

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**U.O. INFRASTRUTTURE NORD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA**

**LINEA CREMONA MANTOVA**

**TRATTA PIADENA MANTOVA**

**NUOVO SOTTOPASSO CICLOPEDONALE AL KM 86+982**

Relazione idrologica e idraulica

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


N M 2 5 0 3 D 2 6 R I N V 3 6 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Tipo di Emissione	G. Coppa	Aprile 2020	M. Ventura	Aprile 2020	M. Berlingeri	Aprile 2020	

File: NM2503D26RINV3600001A.doc

## Sommario

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>3. RIFERIMENTI NORMATIVI .....</b>	<b>4</b>
<b>4. ANALISI IDROLOGICA .....</b>	<b>6</b>
<b>5. STIMA DELLE PORTATE DI PIENA .....</b>	<b>9</b>
<b>6. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE .....</b>	<b>13</b>
<b>7. SISTEMI DI ACCUMULO E DISPERSIONE PER LA GESTIONE DELLE ACQUE METEORICHE DI PIATTAFORMA .....</b>	<b>14</b>
Dati ed assunzioni di base .....	14
Aspetti normativi .....	14
Indagini geologiche .....	16
Criteri di dimensionamento .....	18
<b>8. OPERE DI DRENAGGIO IDRAULICO .....</b>	<b>20</b>
Sottopassi ciclopedonali .....	20
Dimensionamento idraulico .....	22
<b>9. COMPATIBILITA' IDRAULICA .....</b>	<b>24</b>
Studio idrologico .....	24
Sistemazione idraulica di piattaforma .....	24
Analisi di compatibilità idraulica .....	25

	<b>CREMONA MANTOVA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO – PIADENA MANTOVA</b> <b>LOTTO 03</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26	DOCUMENTO RINV3600001	REV. A	FOGLIO 2 di 30

## 1. PREMESSA

Nel Programma Regionale Mobilità e Trasporti della Regione Lombardia è riportata la pianificazione di “Riqualficazione Milano – Codogno – Cremona - Mantova”. Tale voce, oltre a citare gli interventi di raddoppio conclusi nel 2015 tra la località Cavatigozzi e Cremona, riporta anche l’intervento di raddoppio, proposto in maniera selettiva, sull’intera relazione.

Recentemente sulla linea sono stati firmati impegni e convenzioni attuative che hanno interessato la Regione Lombardia e Rete Ferroviaria Italiana. L’obiettivo commerciale, alla base di questi interventi, è creare le condizioni per l’incremento della regolarità sulla relazione regionale Milano – Mantova ed un suo successivo potenziamento, nonché raggiungere la frequenza di un treno/h per direzione.

Successivi approfondimenti svolti dalle strutture territoriali di RFI congiuntamente alla Regione Lombardia, hanno messo in evidenza la necessità di approfondire la tratta prioritaria di raddoppio, anche alla luce del modello di esercizio che sarà adottato dalla Regione stessa.

La linea ha inoltre un notevole interesse merci legato, non solo alla presenza degli impianti industriali raccordati, ma anche al fatto che tale linea fa parte del corridoio alternativo al Mediterraneo.

In quest’ottica, il presente Progetto Definitivo, compendia gli interventi necessari, nell’ambito della linea Codogno – Cremona – Mantova, all’attivazione prioritaria della tratta Piadena – Mantova, 1<sup>a</sup> fase funzionale del raddoppio della linea in oggetto.

L’opera si sviluppa nella bassa pianura lombarda, ad una quota compresa tra i 60 e i 20 metri s.l.m. andando da ovest verso est; lo sviluppo della tratta è di circa 34km tra le località di Piadena (km 55+286 LS) e Mantova (km 89+557 LS).

La 1<sup>a</sup> fase del progetto prevede i seguenti interventi:

- Raddoppio tratta Piadena – Bozzolo: raddoppio con tratti in variante tramite la realizzazione di un nuovo binario ad interasse di circa 22.50 m dall’attuale, da eseguirsi in presenza di esercizio ferroviario;
- Raddoppio tratta Bozzolo – Mantova: raddoppio in stretto affiancamento da eseguirsi in interruzione prolungata di esercizio ferroviario.


	<b>CREMONA MANTOVA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO – PIADENA MANTOVA</b> <b>LOTTO 03</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26	DOCUMENTO RINV3600001	REV. A	FOGLIO 3 di 30

Il progetto prevede, nell'ambito della realizzazione nuova della sede ferroviaria a doppio binario, dei relativi impianti ed apparati tecnologici e di trazione elettrica, inoltre la riqualificazione delle Stazioni e dei PRG di Piadena, Bozzolo e Marcaria, della Fermata di Castellucchio e del PRG di Mantova. È prevista, ancora, la soppressione di tutti i PL di linea tramite realizzazione di opportune nuove opere sostitutive.

L'intervento, nel suo complesso, grazie all'incremento delle prestazioni della linea, si caratterizza come un potenziamento dei collegamenti regionali e merci attualmente programmati.

## 2. INTRODUZIONE

Nella presente relazione vengono riportati i criteri progettuali e le verifiche idrauliche riguardanti il drenaggio e lo smaltimento delle acque meteoriche del sottopasso ciclopedonale in progetto il quale prevede la realizzazione di una canaletta in cls lungo il bordo banchina fino al punto di minimo idraulico dove verrà convogliata all'interno della vasca di sollevamento e da lì fino al recapito finale che risulta essere una vasca drenate. Dopo alcuni richiami su gli aspetti idrologici, si illustreranno i riferimenti normativi e le caratteristiche idrogeologiche del territorio, che costituiscono le condizioni al contorno sulla base delle quali sono state operate le scelte progettuali, di seguito illustrate.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>CREMONA MANTOVA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO – PIADENA MANTOVA</b> <b>LOTTO 03</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA</b></p>	<p>COMMESSA NM25</p>	<p>LOTTO 03</p>	<p>CODIFICA D26</p>	<p>DOCUMENTO RINV3600001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 4 di 30</p>

### 3. RIFERIMENTI NORMATIVI

Il progetto è stato redatto 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.
- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008).
- 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) aggiornato.
- 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”.
- 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.

	<b>CREMONA MANTOVA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO – PIADENA MANTOVA</b> <b>LOTTO 03</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26	DOCUMENTO RINV3600001	REV. A	FOGLIO 5 di 30

- 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)”

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>CREMONA MANTOVA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO – PIADENA MANTOVA</b> <b>LOTTO 03</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA</b></p>	<p>COMMESSA NM25</p>	<p>LOTTO 03</p>	<p>CODIFICA D26</p>	<p>DOCUMENTO RINV3600001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 6 di 30</p>

#### 4. ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica dei bacini in questione è stata condotta con riferimento ai seguenti documenti prodotti dalle autorità competenti sul territorio lombardo:

- *Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni – Art.7 della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs. n.49 del 23.02.2010 – Profili fi piena dei corsi d'acqua del reticolo principale*
- *Studio di fattibilità della sistemazione idraulica: - dell'Adda nel tratto da Olginate alla confluenza nel Po, del Fiume Brembo nel tratto da Lenna alla confluenza in Adda, del Fiume Serio nel tratto da Parre alla confluenza in Adda*

I valori delle portate di piena sono stati stimati mediante l'utilizzo delle curve di possibilità pluviometrica fornite dall'ARPA Lombardia e successivamente l'applicazione di modelli idrologici afflussi-deflussi.

Per la stima delle portate di piena defluenti nei corsi d'acqua sono stati utilizzati modelli di trasformazione afflussi-deflussi che a partire dalle curve di possibilità pluviometrica dell'ARPA Lombardia forniscono il corrispondente andamento nel tempo delle portate.

L'applicazione di tali modelli necessita quindi della conoscenza del regime delle precipitazioni di forte intensità nel territorio di interesse, sintetizzato nelle cosiddette Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP) che legano l'altezza h, la durata d della pioggia e il tempo di ritorno T tramite l'espressione:

$$h(t) = a t^n$$

Per il calcolo del regime pluviometrico sono state considerati i parametri delle LSPP più gravosi in termini di intensità di pioggia.

Tr (anni)	a (mm/h)	n
25	45.392	0.266
50	55.212	
100	62.238	
200	69.615	

**Tabella 1 - Parametri delle CPP al variare del Tr per piogge extraorarie t>1h**

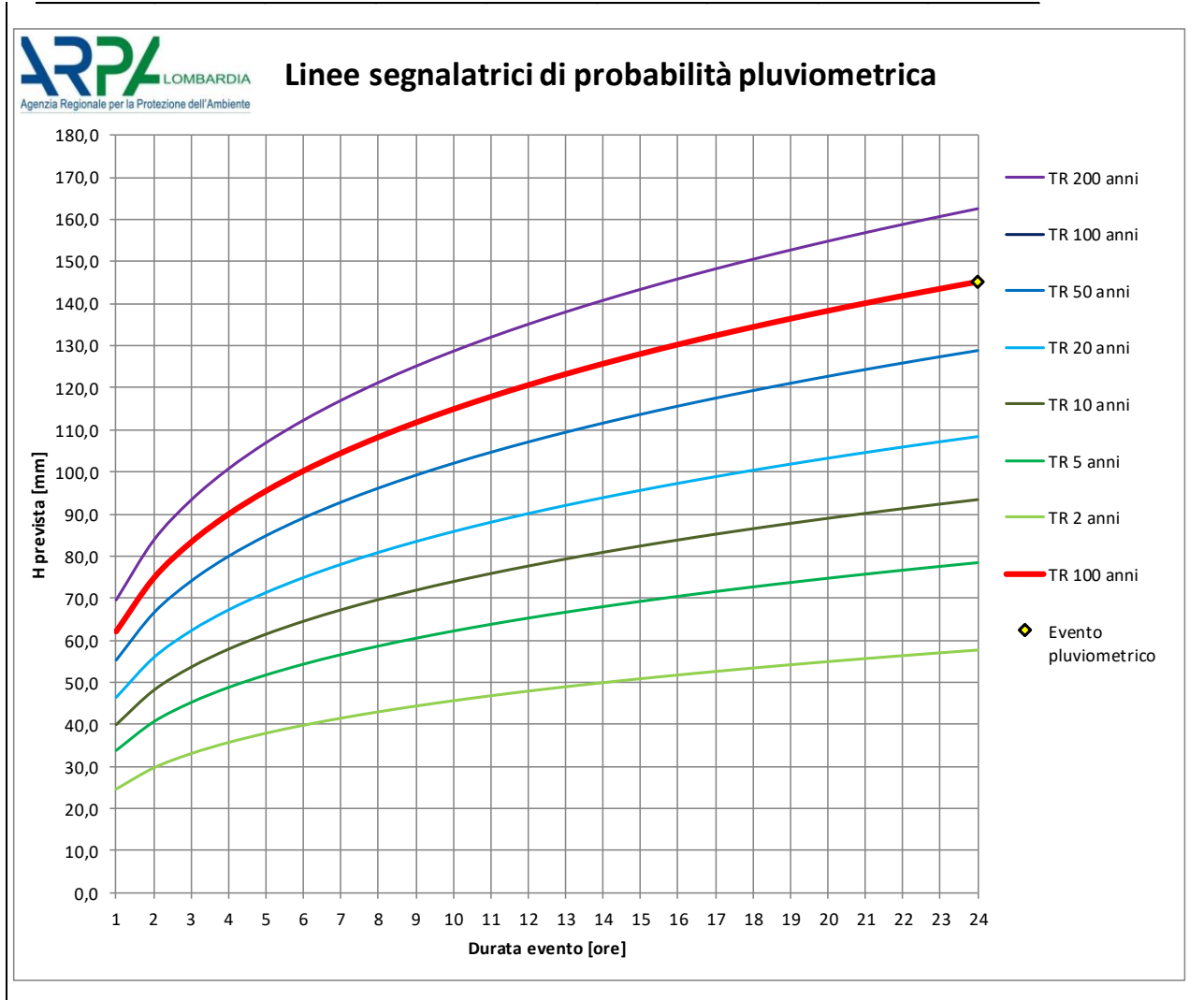


Figura 1 - LSPP ARPA Lombardia

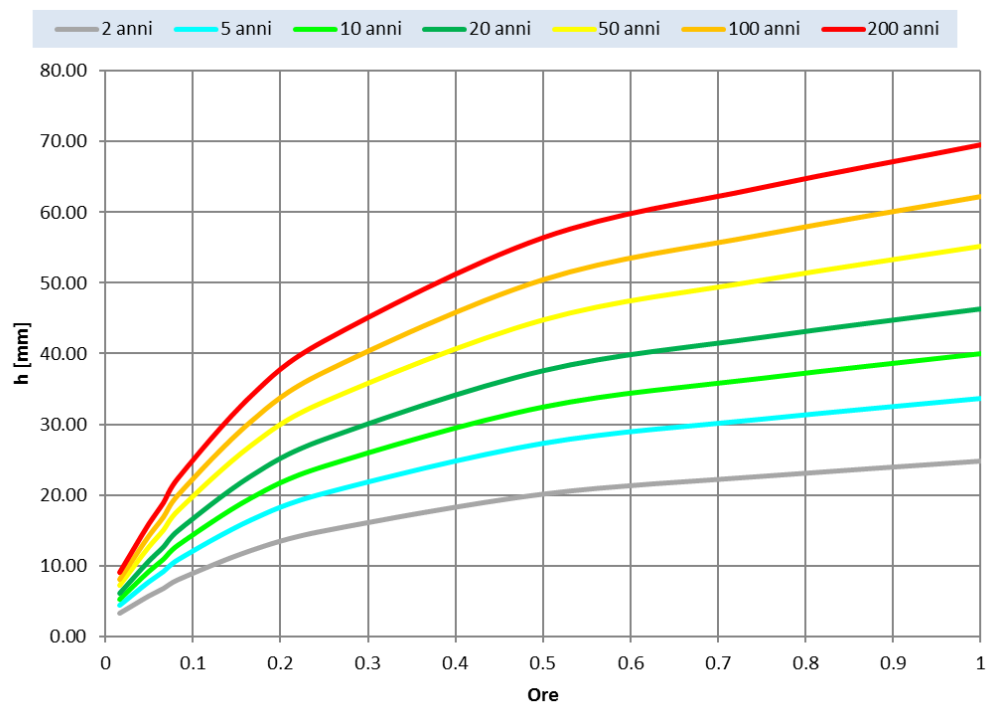


A seguito dell'analisi delle piogge di breve durata secondo il metodo di Bell nella seguente tabella i parametri  $a$  e  $n$  delle leggi di probabilità pluviometrica per eventi di durata inferiore all'ora misurati in minuti per i vari tempi di ritorno:

Tr (anni)	$a$ (mm/h)	$n$
25	51.69	0.518
50	61.50	
100	69.29	
200	77.54	

**Tabella 2 - Parametri delle CPP al variare del Tr per piogge sub-orarie  $t < 1h$**

Le curve di possibilità pluviometrica per i vari tempi di ritorno durata inferiore ad un'ora (stimate con il metodo di Bell), riferite al progetto in essere, sono riportate di seguito, con tempo  $t$  espresso in minuti.



**Figura 2 - Curve di possibilità pluviometrica piogge di forte intensità e breve durata**

## 5. STIMA DELLE PORTATE DI PIENA

L'impostazione idrologica ed i metodi di dimensionamento delle opere tengono conto delle prescrizioni del "Manuale di progettazione"; le relazioni proposte nel manuale di progettazione derivano dal metodo dell'invaso secondo l'impostazione data dal "Metodo italiano", nel quale si fa l'ipotesi che il funzionamento dei collettori sia autonomo e sincrono:

- autonomo significa che ogni condotto si riempie e si svuota per effetto delle caratteristiche idrologiche del bacino drenato trascurando quindi eventuali rigurgiti indotti dai rami che seguono a valle,
- sincrono significa che tutti i condotti si riempiono e si svuotano contemporaneamente.

Tali ipotesi di funzionamento non sono pienamente aderenti alla realtà nella quale invece si ha una propagazione dell'onda di piena da monte verso valle e quindi il volume W effettivamente invasato è minore di quello intero complessivo della rete.

### METODO DELL'INVASO

La portata fluviale della rete è calcolata con il metodo empirico dell'invaso che tiene conto della diminuzione di portata per il velo (sottilissimo) che rimane sul terreno e per il volume immagazzinato in rete. In zone completamente pianeggianti, come quelle di progetto, il metodo empirico dell'invaso risulta il più adatto.

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

Dell'acqua piovana una parte viene assorbita dal terreno, una porzione evapora ed il resto defluisce; la porzione che evapora è molto piccola e quindi trascurabile.

Indicando con " $\psi$ " l'aliquota che defluisce sul terreno bisogna tenere conto che tale valore dipenderà dalla natura del terreno, dalla durata dell'evento di pioggia, dal grado di umidità dell'atmosfera e dalla stagione,  $\varphi$  prende il nome di coefficiente di afflusso e moltiplicato per l'area del bacino (A) e per l'intensità di pioggia (I) ci fornirà una stima della portata che affluisce nel bacino nell'unità di tempo.

$$p = \varphi \cdot I \cdot A$$

nel tempo  $dt$  il volume d'acqua affluito sarà  $p \cdot dt$ , mentre nell'istante  $t$  nella rete di drenaggio defluirà, una portata  $q$ , inizialmente nulla e man mano crescente.

Se il volume che affluisce nel tempo  $dt$  è pari a  $p \cdot dt$  e quello che defluisce è  $q \cdot dt$ , la differenza, che indicheremo con  $dw$ , rappresenterà il volume d'acqua che si invasa nel tempo.

Pertanto l'equazione di continuità in forma differenziale sarà:

$$p \cdot dt = q \cdot dt + dw$$

Il metodo dell'invaso utilizzato per lo studio idraulico e la verifica dei collettori di smaltimento delle acque delle aree esterne si basa proprio sull'equazione di continuità.

Considerando che la portata  $q$  può essere considerata costante, le variabili da determinare sono  $q(t)$ ,  $w(t)$ , e  $t$ , per cui l'equazione a seguire non sarebbe integrabile se non fissando  $q$  o  $w$ :

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

in cui  $\omega$  è l'area della sezione,  $w$  è il volume invasato totale,  $W$  è il volume immagazzinato nella rete posta a monte della sezione in questione.

Tuttavia valutando che il valore massimo di portata verrà raggiunto alla fine dell'evento di pioggia di durata  $t$ , il problema di progetto si riduce ad individuare la durata di pioggia che massimizzi la portata, tenuto conto che al diminuire di questa aumenta l'intensità di pioggia  $I$ .

Tale problema è stato risolto, nell'ipotesi di intensità di pioggia ( $I$ ) costante e di rete di drenaggio inizialmente vuota ( $q = 0$  per  $t = 0$ ) considerando:

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

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

Questa condizione, nel caso di un singolo tratto, corrisponde all'ipotesi di moto uniforme, mentre nel caso di reti, si basa su due ulteriori ipotesi: che i vari elementi si riempiano contemporaneamente senza che mai il deflusso affluente sia ostacolato (funzionamento autonomo) e che il grado di riempimento di ogni elemento sia coincidente con quello degli altri (funzionamento sincrono);

- Una relazione lineare tra la portata defluente e l'area della sezione a monte:

$$q/\omega = Q/\Omega = \text{cost}$$

(Q portata a monte della sezione,  $\Omega$  area della sezione a monte)

Tale relazione corrisponde all'ipotesi di velocità costante in condotta, ipotesi abbastanza prossima alla realtà nella fascia dei tiranti idrici che in genere si considerano.

Con queste ipotesi semplificative si ottiene:

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

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

L'equazione di continuità diviene quindi:

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

Ovvero:

$$p - q = \frac{dw}{dt}$$

L'integrazione dell'equazione di continuità consente di ottenere una relazione tra la portata e il tempo di riempimento di un canale, ovvero consente la stima dell'intervallo temporale tra un valore nullo di portata ed un valore massimo. Definendo T il tempo necessario per passare da  $q=0$  a  $q=q_{\max}$ , e  $t_r$  il tempo di riempimento, si avrà:

- un canale adeguato se  $T \leq t_r$ ,
- un canale insufficiente se  $T > t_r$ .

Il corretto dimensionamento del canale di drenaggio delle acque piovane si ottiene ponendo  $T = t_r$ , ovvero nel caso in cui la durata dell'evento piovoso eguagli il tempo di riempimento del canale. In quest'ottica nasce il metodo dell'invaso non come metodo di verifica, ma come strumento progettazione, imponendo la relazione  $T = t_r$  si ottiene l'espressione analitica del coefficiente udometrico:

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

In cui:

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

$\varphi$ , coefficiente di deflusso;

$W$ , il volume  $w$  rappresenta il volume specifico di invaso totale pari al rapporto tra il volume di invaso totale  $W_{tot}$  e la superficie drenata, è valutato secondo la seguente espressione:

$$W = \frac{0.005(A_p + A_s) + 0.003A_e + \sigma L}{A_p + A_r + A_e}$$

- $A_p$  denota l'area della piattaforma ferroviaria di progetto ( $m^2$ );
- $A_s$  denota l'area della scarpata dell'eventuale trincea e della piattaforma ferroviaria esistente ( $m^2$ );
- $A_e$  denota l'area esterna ( $m^2$ );
- $L$  (m) e  $\sigma$  ( $m^2$ ), rispettivamente, rappresentano la lunghezza e la sezione idrica nel fosso per il grado di riempimento effettivo.

In particolare,  $W$  è dato dalla somma del volume proprio di invaso  $W_1$ , del volume di invaso dei tratti confluenti depurato del termine dei piccoli invasi  $W_2$ , del volume dei piccoli invasi considerando l'intera superficie del bacino drenata  $W_3$ .

- $a, n$  coefficienti della curva di possibilità pluviometrica per durate inferiori all'ora vista l'estensione dei bacini e per tempo di ritorno pari a 100 anni (con  $a$  espresso il mm/h);
- $k$ , coefficiente che assume il valore "2168 n" [Sistemi di Fognatura, Manuale di Progettazione, CSU Editore, Hoepli; Appunti di Costruzioni Idrauliche, Girolamo Ippolito, Liguori Editore].

L'espressione del coefficiente udometrico utilizzata nel nostro studio è dunque:

$$u = 2168 \cdot n \cdot \frac{(\varphi \cdot a)^{1/n}}{w^{\frac{1}{n}-1}}$$

Per quanto attiene il coefficiente di deflusso esso è stato assunto:

- $\varphi = 0.90$  per la piattaforma ferroviaria di progetto;

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>CREMONA MANTOVA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO – PIADENA MANTOVA</b> <b>LOTTO 03</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA</b></p>	<p>COMMESSA NM25</p>	<p>LOTTO 03</p>	<p>CODIFICA D26</p>	<p>DOCUMENTO RINV3600001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 13 di 30</p>

- $\phi = 0.40$  per la piattaforma ferroviaria esterna, scarpata della trincea e aree esterne.

Ricavato il coefficiente udometrico, la portata si ottiene come

$$Q = u(A_p + A_r + A_e)$$

Dove la superficie totale drenata  $A = A_p + A_r + A_e$  è espressa in ettari e la portata  $Q$  in l/s.

## 6. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Per lo smaltimento delle acque meteoriche della piattaforma ciclopedonale si è individuato come recapito finale il terreno per adempire alle richieste del Regolamento Regionale. Lo smaltimento delle acque meteoriche è stato dimensionato tenendo in conto delle caratteristiche idrogeologiche del terreno attraversato dai nuovi sottopassi ciclopedonali.

KM	K[m/s]	Profondità falda[m]
86+980	0.000028	4.12

**Tabella 3 – Coefficienti di permeabilità**

Il sistema adottato per lo smaltimento delle acque meteoriche di piattaforma è quello della dispersione delle stesse nel terreno mediante la realizzazione di opere di drenaggio. Tali opere sono state individuate in vasche drenanti.

## **7. SISTEMI DI ACCUMULO E DISPERSIONE PER LA GESTIONE DELLE ACQUE METEORICHE DI PIATTAFORMA**

La presente nota tecnica ha lo scopo di illustrare la soluzione proposta per lo smaltimento delle acque meteoriche di piattaforma relative al raddoppio della linea ferroviaria Codogno – Cremona - Mantova, in fase di sviluppo nell’ambito del Progetto Definitivo della tratta Piadena – Mantova. Nei paragrafi seguenti, verranno riportate le condizioni al contorno che caratterizzano i territori in oggetto, definendo un quadro generale dei vincoli di tipo morfologico, geologico, funzionale, autorizzativo, normativo, manutentivo e autorizzativo. La definizione di tali aspetti sarà la base di partenza per giustificare la soluzione proposta, che verrà quindi descritta nel dettaglio sia negli aspetti geometrici sia nei criteri di dimensionamento.

### ***Dati ed assunzioni di base***

Come anticipato, si riportano di seguito alcune considerazioni, che hanno lo scopo di definire il quadro dei vincoli e delle caratteristiche intrinseche del territorio in esame.

### ***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 una regolamentazione ben preciso sul tema dell’invarianza idraulica (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”). In tale regolamento si specifica che le misure di compensazione per la salvaguardia dell’invarianza idraulica devono essere applicate anche per:

	<b>CREMONA MANTOVA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO – PIADENA MANTOVA</b> <b>LOTTO 03</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26	DOCUMENTO RINV3600001	REV. A	FOGLIO 15 di 30

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

All'articolo 4.3 inoltre viene precisato quanto segue:


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

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

*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;*



 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>CREMONA MANTOVA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO – PIADENA MANTOVA</b> <b>LOTTO 03</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA</b></p>	<p>COMMESSA NM25</p>	<p>LOTTO 03</p>	<p>CODIFICA D26</p>	<p>DOCUMENTO RINV3600001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 16 di 30</p>

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, verrà analizzato nella presente nota, il punto 2 dell’elenco sopra riportato.

### ***Indagini geologiche***

Tali indagini sono fondamentali per definire la fattibilità di un sistema ad infiltrazione negli strati superficiali del suolo e per poterne effettuare il dimensionamento.

I parametri più importanti a tale scopo sono indubbiamente la permeabilità del terreno “k” (negli strati interessati dal fenomeno di infiltrazione) e la quota della falda. Entrambe le caratteristiche richiamate possono essere misurate mediante indagini specifiche in situ. È evidente, che maggiore sarà il dettaglio della prova maggiore sarà l’affidabilità del dato e quindi del dimensionamento.

Per il progetto della Piadena - Mantova sono state previste una serie di indagini geologiche lungo il tracciato, con lo scopo specifico di realizzare un sistema a dispersione. Per quanto riguarda il coefficiente di permeabilità ad esempio, la metodologia di prova è stata concordata per ottenere il dato richiesto, riproducendo il fenomeno dell’infiltrazione, nel modo più simile possibile a quello che si verificherebbe in condizioni di esercizio. Di seguito viene descritta sinteticamente la metodologia utilizzata per la stima del coefficiente di permeabilità:

la prova consiste nella stima del coefficiente di permeabilità con l’esecuzione di pozzetti di profondità variabile tra 1 e 1,5 m, utilizzando una dima cilindrica, di 40 cm di altezza e 35/40 cm di diametro (a seconda del modello presente sul mercato).

Tale dima viene infissa nel terreno di fondo scavo per circa 10 cm, ed eseguita la prova, in conformità a quanto previsto nelle AGI e con modalità funzione della granulometria del terreno. Di volta in volta vengono inoltre calibrati parametri quali il tempo di saturazione e la durata della prova stessa.

Viene inoltre prelevato, in corrispondenza dell'intervallo di prova, materiale in quantità sufficiente ad eseguire una prova granulometrica completa.

I risultati vengono quindi definiti in condizione di terreno saturo, e non occorrerà quindi applicare ulteriori coefficienti riduttivi.



**Figura 3 - Fasi di esecuzione delle prove di permeabilità.**

Vista la presenza della falda molto in superficie, viene stabilito di posizionare il fondo di un eventuale sistema a dispersione, massimo ad una quota di -1,5 m dal piano campagna. Di conseguenza vengono scartate soluzioni con pozzi disperdenti.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>CREMONA MANTOVA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO – PIADENA MANTOVA</b> <b>LOTTO 03</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26	DOCUMENTO RINV3600001	REV. A

### Criteria di dimensionamento

Per il dimensionamento del sistema, essendo la superficie impermeabile del sottopasso inferiore a 10ha, è stato considerato il metodo delle sole piogge, così come richiesto dalle linee Guida della Regione Lombardia:

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

**Tabella 4 - Linee guida Regione Lombardia**

Sulla base di tale metodo al punto 2, è stato sviluppato un foglio di calcolo in grado di determinare le dimensioni minime dei sistemi a dispersione tenendo in conto le caratteristiche idrologiche, geologiche e geometriche delle opere.

Per la verifica è stato considerato di avere un coefficiente di sicurezza minimo di 1,3. Per quanto riguarda i tempi di svuotamento, è stato verificato che una volta terminato l'evento di pioggia, il sistema nell'ipotesi B, abbia a disposizione dopo 48 un volume tale da poter invasare un secondo evento con tempo di ritorno 50 anni.

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

**RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D26	RINV3600001	A	19 di 30

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

$W_{lam}$  è stato stimato valutando il volume massimo raggiunto nella vasca, corrispondente cioè ad un evento di durata critica. Il valore  $Q_u$  è stato considerato nullo, mentre il valore di  $q_{inf}$  è stato valutato con il prodotto tra la permeabilità  $k$  e la superficie drenante del sistema (lati + fondo) considerando l'altezza raggiunta nella vasca alla fine dell'evento che nel caso di scarico di troppo pieno corrisponde alla quota dal fondo del recapito nel canale.

In queste ipotesi è stato verificato che dopo 48 sia disponibile nel sistema un volume sufficiente ad accogliere un altro evento di progetto e che dopo 72 ore la vasca sia vuota.

Nel caso in esame sono state dimensionate le due vasche drenanti con un tempo di ritorno pari a 50 anni e si è verificato anche il coefficiente di sicurezza con un tempo di ritorno pari a 100 anni in quanto nelle immediate vicinanze della vasca ci sono sia centri abitati che la nuova linea ferroviaria.

$T_{rit}$ [anni]	$a$ [mm/h]	$n$ [-]	$n' (t < 1)$ [-]
50	55.21	0.266	0.518

(valori massimi su tutta la tratta)

$S_{bacino\_tot}$ [m <sup>2</sup> ]	$\psi_{medio}$ [-]	$S_{afferente}$ [m <sup>2</sup> ]	$S_{afferente}$ [ha]
1322	0.90	1189.80	0.12

permeabilità	$K$ [m/s]*
	0.000028

\*In caso di  $k$  stimato per terreni non saturi moltiplicare per 0,5

TIPO	$V$ invaso [m <sup>3</sup> ]	$Q$ filtrazione max [m <sup>3</sup> /s]	VERIFICA	Coeff. Sicurezza <sup>1</sup>
Tr. Drenante (filtrazione attraverso fondo)	166.25	0.0084	OK	4.6897

Verifiche tempi svuotamento			(inizia dopo la fine dell'evento piovoso di durata critica)						
$V$ max invasato [m <sup>3</sup> ]	$Q_{fit,fosso}$ [m <sup>3</sup> /s]	$t_{svuot}$ [h]	Volume disperso a 48h	Acqua in vasca a 48h	Volume disponibile a 48h	Ver. secondo evento (Reg. Lombardia)	Volume disperso a 72h	Acqua in vasca a 72h	Ver. svuotamento totale dopo 72h (Reg. Lombardia)
35.45	0.0084	1.17	1451.52	0.00	166.25	OK	2177.28	0.00	OK

Il coefficiente di sicurezza per un evento centennale è stato calcolato pari a 1.27.

	<b>CREMONA MANTOVA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO – PIADENA MANTOVA</b> <b>LOTTO 03</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26	DOCUMENTO RINV3600001	REV. A	FOGLIO 20 di 30

## 8. OPERE DI DRENAGGIO IDRAULICO

Il sistema di drenaggio previsto è costituito da un sistema di raccolta, collettamento e smaltimento delle acque meteoriche afferenti la piattaforma dei sottopassi ciclopeditoni.

In funzione della sezione tipologica è stata individuata la tipologia di smaltimento delle acque di piattaforma:

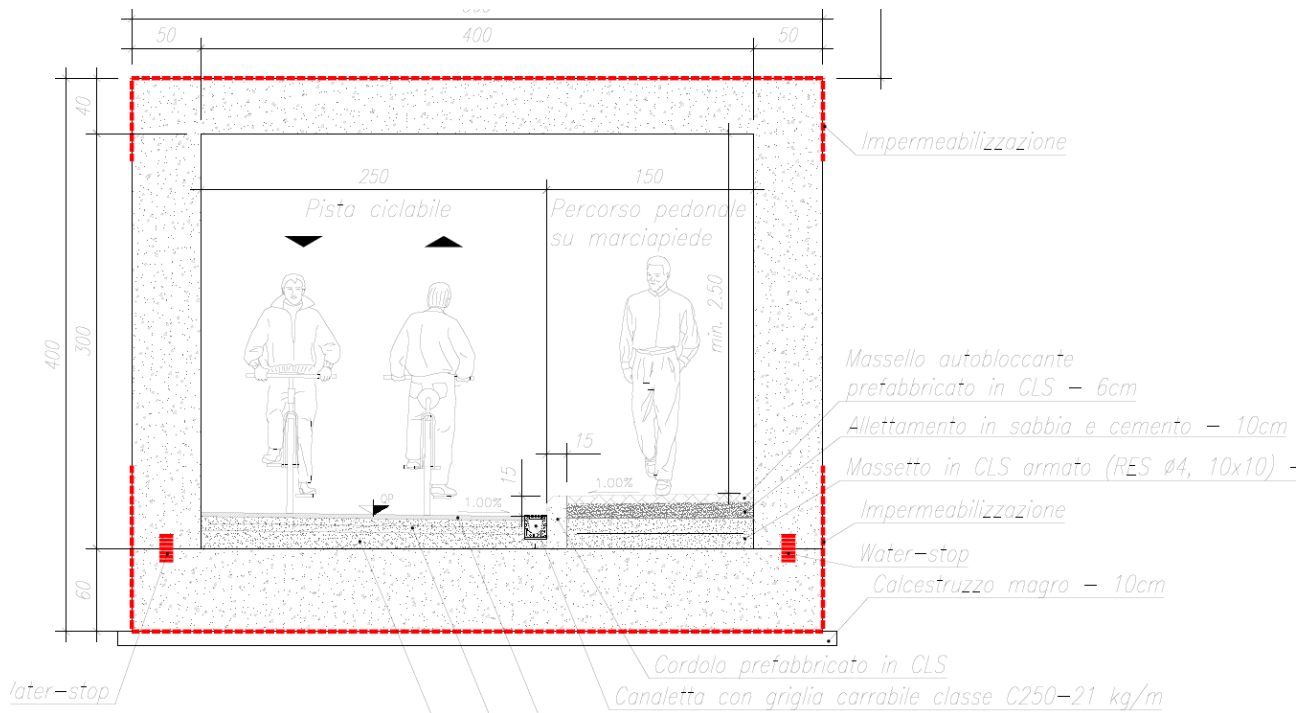
- Sezioni in scavo: è affidato canalette in cls 15x20cm, caditoie munite di griglie in ghisa, impianto di sollevamento e dispersione nel terreno mediante bauletti drenanti.

In base alle relazioni di cui sopra, è possibile verificare le differenti opere idrauliche, tenendo conto dei seguenti vincoli di progetto:

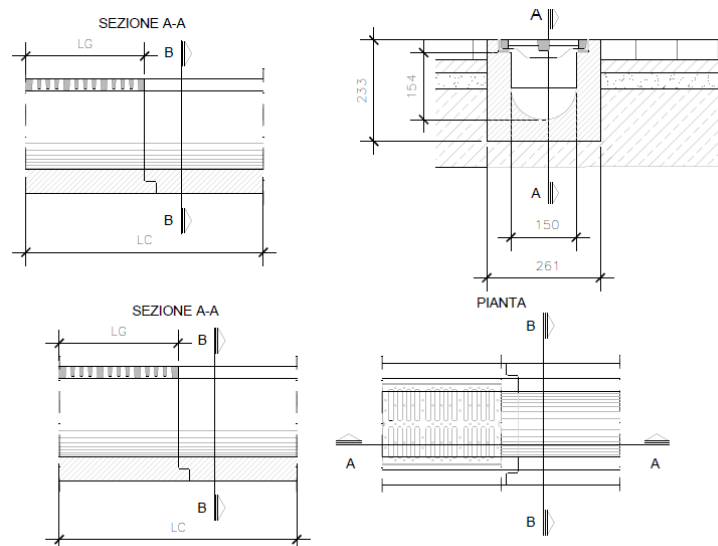
- la velocità minima di moto uniforme non deve essere inferiore a  $0,4 \div 0,5$  m/s, ove possibile, al fine di evitare fenomeni di sedimentazione sul fondo che necessiti di una manutenzione più frequente dell'ordinaria;
- la velocità massima non deve essere maggiore di 5 m/s, al fine di contenere i fenomeni di abrasione (Circolare n. 11633 del 07.01.1974 del Ministero dei Lavori Pubblici);
- il grado di riempimento, per le opere idrauliche connesse alla piattaforma deve essere non superiore al 67% per elementi chiusi per evitare che la condotta possa andare in pressione; il grado di riempimento per le opere idrauliche deve essere non superiore al 50% per le condotte con DN minore di 500 mm.

### ***Sottopassi ciclopeditoni***

La raccolta delle acque di piattaforma avviene in corrispondenza del cordolo prefabbricato in cls attraverso canalette in cls 15x15cm canalizzando le acque all'impianto di sollevamento che convoglierà le acque all'interno del bauletto drenante.



**Figura 4 - Sezione tipo**



**Figura 5 - Dettaglio canaletta**

Il recapito finale del sistema di drenaggio avviene con canalette rettangolari in cls che recapitando all'interno dell'impianto di sollevamento che a sua volta, tramite pompe e tubazioni in PEAD convogliano le acque di piattaforma all'interno dei manufatti drenanti.

### ***Dimensionamento idraulico***

Definiti i parametri pluviometrici, il metodo di trasformazione afflussi/deflussi si effettua il dimensionamento delle opere idrauliche in progetto. La verifica idraulica degli elementi in progetto viene effettuata valutando le altezze idriche e le velocità relative alle portate di progetto tramite l'espressione di Chezy:

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

e l'equazione di continuità

$$Q = \sigma V$$

dove K, il coefficiente di scabrezza, è stato valutato secondo la formula di Gauckler-Strickler:

$$K = K_s R^{1/6}$$

ottenendo:

$$Q = A K_s R^{2/3} i^{1/2}$$

dove:

- Q, portata (m<sup>3</sup>/s)
- i, pendenza media del fosso (m/m);
- A, sezione idrica (m<sup>2</sup>);
- K<sub>s</sub>, il coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler, pari a 80 mm<sup>1/3</sup> · s<sup>-1</sup> per le tubazioni in materiale plastico, pari a 67 mm<sup>1/3</sup> · s<sup>-1</sup> per le canalette in cls;
- R, raggio idraulico pari al rapporto tra sezione idrica e perimetro bagnato (m).

**RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D26	RINV3600001	A	23 di 30

DATI RETE				COLLETTORE					INVASO			VERIFICHE	
N <sub>i</sub>	N <sub>i+1</sub>	L	i <sub>med</sub>	Ks	Diam/B	Diam/H	Tirante	Q	W <sub>p</sub>	u	Q <sub>p</sub>	G.R.	Fr
ID <sub>N</sub>	ID <sub>N</sub>	[m]	[m/m]	[mm <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> ]	[m]	[m]	[m]	[l/s]	[m <sup>3</sup> ]	[l/(s*ha)]	[l/s]	[%]	
0+000	0+025	25.000	0.0290	67.000	0.200	0.150	0.022	3.458	0.500	345.929	3.459	11.0%	1.690
0+025	0+050	25.000	0.0411	67.000	0.200	0.150	0.030	6.713	0.500	325.379	6.713	15.2%	2.030
0+050	0+075	25.000	0.0389	67.000	0.200	0.150	0.040	9.763	0.500	305.022	9.763	19.8%	1.971
0+075	0+100	25.000	0.1037	67.000	0.200	0.150	0.034	12.924	0.500	316.051	12.924	17.2%	3.226
0+100	0+125	25.000	0.0440	67.000	0.200	0.150	0.053	15.730	0.500	280.646	15.730	26.4%	2.072
0+125	0+150	25.000	0.0235	67.000	0.200	0.150	0.073	18.228	0.500	249.739	18.228	36.6%	1.470
0+150	0+175	25.000	0.0036	67.000	0.300	0.500	0.106	19.949	0.500	172.074	19.948	35.2%	0.619
0+200	0+175	25.000	0.0287	67.000	0.200	0.150	0.069	18.488	0.500	255.815	18.488	34.4%	1.637
0+225	0+200	25.000	0.0440	67.000	0.200	0.150	0.053	15.930	0.500	279.852	15.930	26.6%	2.071
0+250	0+225	25.000	0.0260	67.000	0.200	0.150	0.056	13.131	0.500	275.403	13.131	27.9%	1.586
0+275	0+250	25.000	0.0327	67.000	0.200	0.150	0.044	10.377	0.500	296.732	10.377	21.9%	1.802
0+300	0+275	25.000	0.0440	67.000	0.200	0.150	0.032	7.410	0.500	322.313	7.410	15.8%	2.101
0+300	0+325	25.000	0.0264	67.000	0.200	0.150	0.026	4.187	0.500	336.421	4.187	12.9%	1.620
0+325	0+330.42	5.420	0.0172	67.000	0.200	0.150	0.010	0.823	0.108	379.465	0.823	5.2%	1.226

**Tabella 5 - Verifica canaletta rettangolare 15x20**



## 9. COMPATIBILITA' IDRAULICA

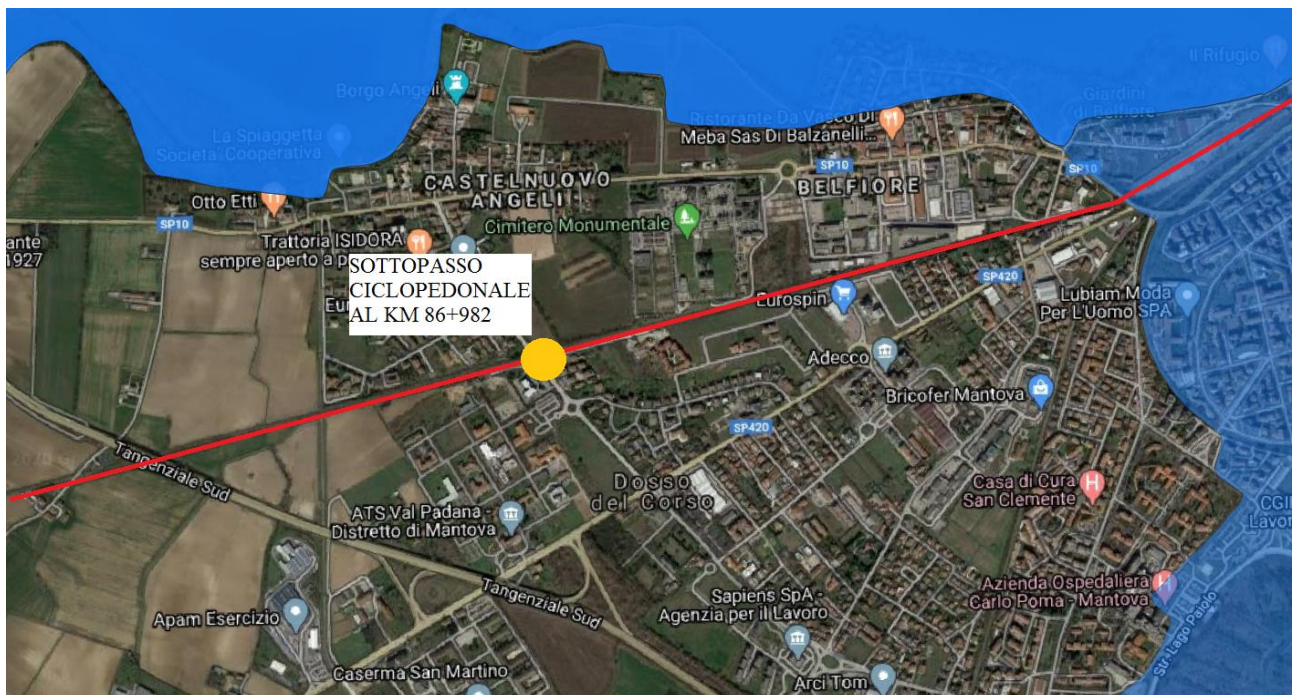
Le opere in progetto fanno parte del progetto di Raddoppio della linea ferroviaria Codogno-Cremona-Mantova nel tratto Piadena – Mantova dal km 55+780 al km 89+731.83 – Lotto 3.

Nello studio effettuato è stata valutata la compatibilità idraulica dell'infrastruttura di progetto con il territorio.

### *Studio idrologico*

Come riportato nella relazione idrologica, per la definizione delle portate di calcolo si è fatto riferimento a quanto indicato nelle normative regionali.

Dalla figura riportata si evince che il sottopasso ciclopeditonale al km 86+982 non ricade all'interno delle aree alluvionali.



### *Sistemazione idraulica di piattaforma*

Gli interventi di sistemazione per lo smaltimento delle acque meteoriche lungo la piattaforma dei sottopassi ciclopeditonali prevedono la raccolta delle acque stesse mediante la realizzazione di un sistema di canalette, impianti di sollevamento e opere di smaltimento a dispersione nel terreno quali vasche drenanti.

	<b>CREMONA MANTOVA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO – PIADENA MANTOVA</b> <b>LOTTO 03</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA</b>	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26	DOCUMENTO RINV3600001	REV. A	FOGLIO 25 di 30

Le sistemazioni idrauliche sono state progettate in generale con lo scopo di:

- assicurare con il periodo di ritorno previsto la sicurezza dell'infrastruttura;
- diminuire le eventuali condizioni di rischio, eliminando o riducendo eventuali esondazioni nella zona di intervento;
- non alterare le condizioni di deflusso idrico e solido nel tratto oggetto di studio;

Particolari accorgimenti sono stati adottati per una corretta manutenzione delle opere, onde poter ridurre al minimo gli interventi atti a garantirne l'efficienza e, in ogni caso, a ridurre a livelli minimi i costi delle opere.

#### ***Analisi di compatibilità idraulica***

Le soluzioni prescelte seguono gli indirizzi indicati nelle norme nazionali ed in quelle riportate nelle norme Regionali, in quanto:

- il potenziamento della infrastruttura in progetto risponde a specifiche esigenze di sviluppo ed è legata a fattori di pubblico interesse;
- l'impermeabilizzazione dell'area dove verrà realizzata la nuova infrastruttura non comporterà l'estensione delle aree soggette ad allagamento in quanto tale infrastruttura le acque di piattaforma verranno opportunamente smaltite come descritto nella presente relazione senza alterare il naturale deflusso delle acque.

Avendo individuato come ricettore finale il terreno mediante la realizzazione di opere di drenaggio delle acque di piattaforma direttamente nel terreno stesso in funzione dei livelli piezometrici di falda rispetto al piano campagna, l'opera non determina problemi di incompatibilità idraulica con le aree di interesse, in quanto non va a creare contributi idrici all'interno dei canali esistenti e non altera i volumi di piena dell'area, rispettando il principio di invarianza idrologica e idraulica.