

Lavori per il miglioramento delle condizioni di sicurezza della S.S. n° 36 dal Km 27+800 al Km 44+300, tratta Giussano-Civate lungo la Strada Statale n° 36 "del Lago di Como e dello Spluga"

PROGETTO DEFINITIVO

COD. SIL. NOMSMI00668

PROGETTISTA



I PROGETTISTI:

Ing. Andrea Polli
Ordine degli Ingegneri Roma N°A19540

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.:

Ing. Andrea Polli
Ordine degli Ingegneri Roma N°A19540

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Lorenzo Verzani
Ordine dei Geologi della Lombardia N°1234

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Marco Meneguzzer
Ordine degli Ingegneri della provincia di Trento N°1483

VISTO:

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO : *Ing. Pietro Gualandi*
IL DIRETTORE DELL'ESECUZIONE DEL CONTRATTO: *Ing. Emanuele Fiorenza*

PROTOCOLLO

—

DATA

Aprile 2023

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

- - MSM I 06 D 2 1 0 1

NOME FILE

T00ID00IDRRE01_B

CODICE ELAB. T 0 0 I D 0 0 I D R R E 0 1

REVISIONE

SCALA:

B

B

Revisione per istruttoria ANAS

Aprile 2023

M. Schiavo

M. Del Fedele

A. Polli

A

Emissione Progetto Definitivo

08/04/2022

M. Schiavo

E. Trussoni

F. Bontempi

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3	ANALISI IDROLOGICA	4
3.1	Piogge orarie	4
3.2	Piogge di durata inferiore all'ora.....	7
4	IDRAULICA DI PIATTAFORMA	8
4.1	Descrizione rete di drenaggio della piattaforma stradale	8
4.1.1	<i>Sezioni a doppia carreggiata in rettilo senza pista di servizio</i>	8
4.1.1.1	Sezioni in rilevato	8
4.1.1.2	Sezioni in trincea	9
4.1.2	<i>Sezioni a doppia carreggiata in rettilo con pista di servizio</i>	10
4.1.3	<i>Sezioni in rilevato/trincea in curva</i>	11
4.2	Portate di progetto della rete di drenaggio della piattaforma stradale	12
4.3	Calcolo dell'altezza del velo liquido della piattaforma stradale	13
4.4	Verifica rete di drenaggio della piattaforma stradale.....	14
4.4.1	<i>Tubazioni</i>	15
4.4.2	<i>Cunetta alla francese</i>	18
4.4.3	<i>Calcolo interasse caditoie</i>	21
4.4.4	<i>Calcolo interasse embrici</i>	25
4.4.5	<i>Canale di raccolta in spartitraffico e tra viabilità principale e pista di servizio</i>	26
4.4.6	<i>Fosso trapezio al piede del rilevato</i>	30
4.4.7	<i>Dispersione delle acque di piattaforma</i>	32
5	INVARIANZA IDRAULICA	36

1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto definitivo relativo ai lavori di manutenzione straordinaria per il miglioramento delle condizioni di sicurezza della S.S. n°36 dal Km 27+800 al Km 44+300, tratta Giussano-Civate lungo la Strada Statale n°36 “del Lago di Como e dello Spluga”.

Nel presente documento viene descritto il progetto delle opere costituenti il sistema di drenaggio delle acque di piattaforma stradale, connesso ai lavori di manutenzione straordinaria.

Nello specifico, viene riportata:

- l'analisi idrologica, svolta utilizzando i parametri idrologici consultabili sul sito dell'ARPA Lombardia, necessaria a definire gli eventi pluviometrici critici considerati per il dimensionamento dei manufatti di raccolta della rete di drenaggio;
- il dimensionamento idraulico degli elementi della rete di drenaggio.

Per la descrizione generale dell'intervento si rimanda all'elaborato P00PS00GENRE01_A “Relazione generale descrittiva e tecnica”.

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 8 del 17/01/2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20/02/2018 – Supplemento ordinario n. 8;
- Decreto Legislativo n. 152 del 03/04/2006 “Norme in materia ambientale” pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14/04/2006 – Supplemento Ordinario n. 96 art. 113 “Acque meteoriche di dilavamento e acque di prima pioggia”;
- Regolamento Regionale Lombardia n. 7 del 24/04/2006 “Norme tecniche per la costruzione delle strade” pubblicato sul Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia Serie Ordinaria n. 1 del 27/04/2006;
- Regolamento Regionale Lombardia n. 7 del 23/11/2017 “Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell’invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell’articolo 58bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio)” pubblicato sul Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia Serie Ordinaria n. 51 del 21/12/2019;

3 ANALISI IDROLOGICA

Nel presente capitolo viene illustrata l'analisi pluviometrica che sarà alla base delle successive attività di modellazione e progettazione idraulica.

3.1 Piogge orarie

Per l'analisi dei dati relativi alle piogge con durata superiore all'ora si è fatto riferimento ai valori dei parametri messi a disposizione, per la zona ove insistono le opere in progetto, da ARPA Lombardia tramite il Portale https://iris.arpalombardia.it/gisINM/common/webgis_central.php?TYPE=quest.

I dati sono stati elaborati mediante un modello scala-invariante secondo la distribuzione probabilistica GEV (Generalized Extreme Value); i parametri ottenuti sono stati estesi a tutto il territorio regionale tramite tecniche di estrapolazione geostatistica.

La formulazione analitica utilizzata per la stima dei parametri è la seguente:

$$h_T(D) = a_1 \cdot w_T \cdot D^n$$
$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \cdot \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

dove:

- D : durata della precipitazione;
- T : tempo di ritorno;
- a_1 : coefficiente pluviometrico orario;
- n : coefficiente di scala;
- α , k e ε : parametri distribuzione GEV.

I parametri sono discretizzati su un reticolo di 1.500 m di lato e sono visualizzati come segue:

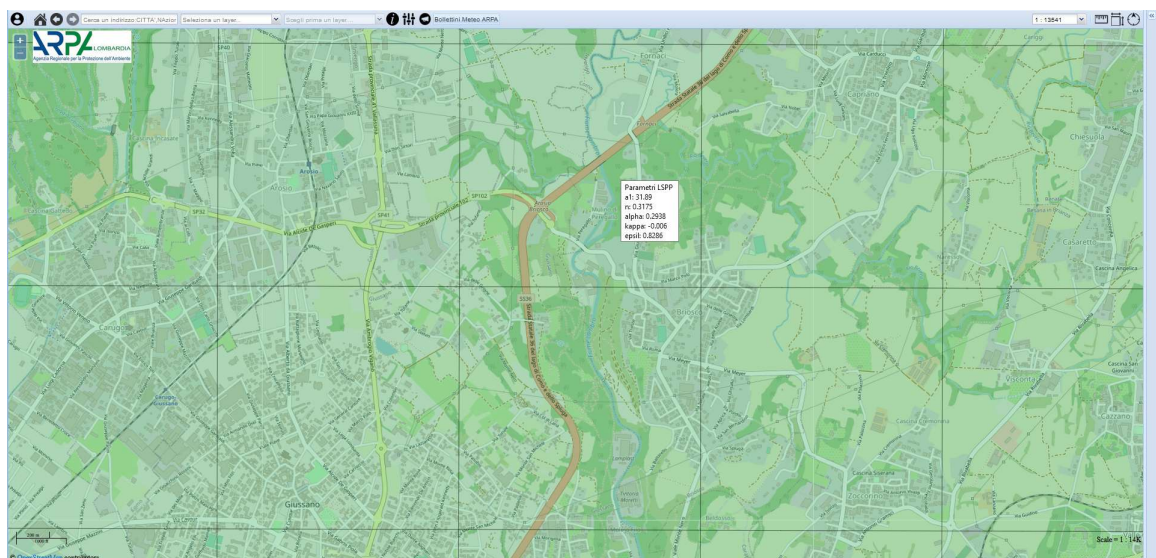


Figura 1: Parametri della Linea segnalatrice di probabilità pluviometrica LSPP (curva di Briosco).

In considerazione dell'estensione dell'intervento, che interessa più elementi del reticolo in cui è stato discretizzato il territorio regionale, si è provveduto ad analizzare i parametri per ogni maglia, così come riportato nell'immagine seguente:

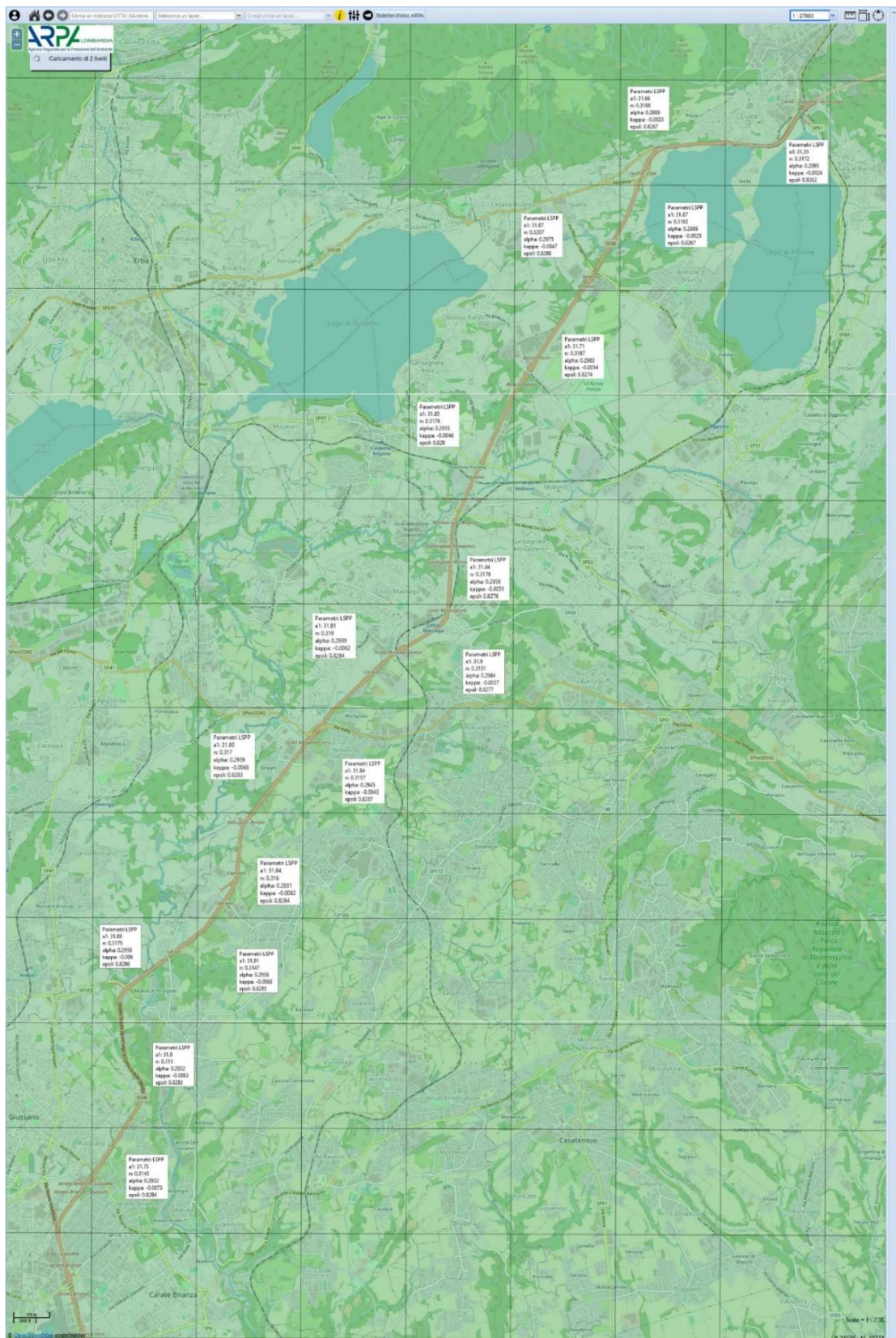


Figura 2: Parametri pluviometrici lungo l'intervento.

Sulla base dei parametri riepilogati in Figura 2 sono state redatte le tabelle sotto riportate in cui vengono individuate in funzione dei parametri pluviometrici le altezze di pioggia con evidenza delle massime precipitazioni previste per le varie durate di pioggia.

I tempi di ritorno analizzati sono:

- TR = 25 anni per l'idraulica di piattaforma: cunette, caditoie, banchine ed embrici;
- TR = 50 anni per i recettori: fossi e collettori.

Tabella 1: Tabella delle precipitazioni previste con evidenza dei massimi- TR = 25 anni

	Verano Brianza	Briosco	Fornaci	Capriano	Colzano	Gaggio	Nibionno	Costa Masnaga	Bulciago	Garbate	Frazione Paolina	Borisio Parini	Suello	Annone Brianza	Pozzo	Civate
a_1	31,75	31,90	31,89	31,91	31,94	31,93	31,84	31,81	31,90	31,84	31,85	31,71	31,67	31,67	31,66	31,55
n	0,3143	0,3150	0,2175	0,3147	0,3160	0,3170	0,3157	0,3190	0,3151	0,3179	0,3176	0,3187	0,3207	0,3182	0,3188	0,3172
α	0,2932	0,2932	0,2938	0,2936	0,2931	0,2939	0,2945	0,2939	0,2964	0,2958	0,2955	0,2983	0,2975	0,2989	0,2989	0,2995
k	-0,0073	-0,0083	-0,0060	-0,0068	-0,0082	-0,0068	-0,0043	-0,0062	-0,0037	-0,0051	-0,0046	-0,0014	-0,0047	-0,0025	-0,0023	-0,0026
ε	0,8284	0,8283	0,8286	0,8285	0,8284	0,8283	0,8287	0,8284	0,8277	0,8276	0,8280	0,8274	0,8268	0,8267	0,8267	0,8262
w_T	1,7772	1,7787	1,7774	1,7779	1,7783	1,7786	1,7772	1,7778	1,7814	1,7815	1,7802	1,7837	1,7856	1,7866	1,7863	1,7882

D [h]	Altezza di precipitazione h [mm]															
1	56,4	56,7	56,7	56,7	56,8	56,8	56,6	56,6	56,8	56,7	56,7	56,6	56,5	56,6	56,6	56,4
2	70,2	70,6	65,9	70,6	70,7	70,7	70,4	70,5	70,7	70,7	70,7	70,5	70,6	70,5	70,5	70,3
3	79,7	80,2	72,0	80,2	80,4	80,5	80,0	80,3	80,3	80,4	80,4	80,3	80,4	80,3	80,3	79,9
6	99,1	99,8	83,7	99,7	100,1	100,2	99,6	100,2	99,9	100,3	100,2	100,1	100,5	100,1	100,1	99,6
12	123,2	124,1	97,3	124,0	124,6	124,9	124,0	124,9	124,3	125,0	124,8	124,9	125,5	124,8	124,9	124,1
18	140,0	141,0	106,3	140,9	141,6	142,0	140,9	142,2	141,3	142,2	142,0	142,1	142,9	141,9	142,1	141,1
24	153,2	154,4	113,1	154,2	155,1	155,5	154,3	155,9	154,7	155,8	155,6	155,7	156,7	155,5	155,8	154,6

Tabella 2: Tabella delle precipitazioni previste con evidenza dei massimi- TR = 50 anni

	Verano Brianza	Briosco	Fornaci	Capriano	Colzano	Gaggio	Nibionno	Costa Masnaga	Bulciago	Garbate	Frazione Paolina	Borisio Parini	Suello	Annone Brianza	Pozzo	Civate
a_1	31,75	31,90	31,89	31,91	31,94	31,93	31,84	31,81	31,90	31,84	31,85	31,71	31,67	31,67	31,66	31,55
n	0,3143	0,3150	0,2175	0,3147	0,3160	0,3170	0,3157	0,3190	0,3151	0,3179	0,3176	0,3187	0,3207	0,3182	0,3188	0,3172
α	0,2932	0,2932	0,2938	0,2936	0,2931	0,2939	0,2945	0,2939	0,2964	0,2958	0,2955	0,2983	0,2975	0,2989	0,2989	0,2995
k	-0,0073	-0,0083	-0,0060	-0,0068	-0,0082	-0,0068	-0,0043	-0,0062	-0,0037	-0,0051	-0,0046	-0,0014	-0,0047	-0,0025	-0,0023	-0,0026
ε	0,8284	0,8283	0,8286	0,8285	0,8284	0,8283	0,8287	0,8284	0,8277	0,8276	0,8280	0,8274	0,8268	0,8267	0,8267	0,8262
w_T	1,9889	1,9911	1,9885	1,9894	1,9906	1,9904	1,9875	1,9892	1,9926	1,9934	1,9914	1,9945	1,9983	1,9987	1,9982	2,0008

D [h]	Altezza di precipitazione h [mm]															
1	63,1	63,5	63,4	63,5	63,6	63,6	63,3	63,3	63,6	63,5	63,4	63,2	63,3	63,3	63,3	63,1
2	78,5	79,0	73,7	79,0	79,1	79,2	78,8	78,9	79,1	79,1	79,0	78,9	79,0	78,9	78,9	78,6
3	89,2	89,8	80,5	89,7	90,0	90,0	89,5	89,8	89,9	90,0	89,9	89,8	90,0	89,8	89,8	89,4
6	110,9	111,7	93,6	111,6	112,0	112,2	111,4	112,1	111,8	112,2	112,1	112,0	112,4	111,9	112,0	111,4
12	137,9	138,9	108,9	138,8	139,4	139,7	138,7	139,8	139,1	139,8	139,6	139,6	140,4	139,6	139,7	138,8
18	156,6	157,9	118,9	157,6	158,5	158,9	157,6	159,1	158,0	159,1	158,8	158,9	159,9	158,8	159,0	157,9
24	171,5	172,8	126,6	172,6	173,6	174,0	172,6	174,4	173,0	174,3	174,0	174,1	175,4	174,0	174,2	173,0

3.2 Piogge di durata inferiore all’ora

In considerazione della ridotta estensione del bacino tributario sotteso costituito dalla piattaforma stradale, i tempi di corrivazione sono inferiori all’ora.

Per il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica per tempi inferiori ad un’ora si utilizza la formula di Bell “Generalized Rainfall-Duration-Frequency Relationship” pubblicata sul Journal of the Hydraulics Division edito dalla American Society of Civil Engineers (1969, Vol. 95, Issue 1), valida per durata di pioggia inferiori all’ora:

$$\frac{h_{\tau,Tr}}{h_{60,Tr}} = (0,54 \cdot \tau^{0,25} - 0,50)$$

dove:

- $h_{\tau,Tr}$ indica l’altezza di pioggia relativa ad un evento pari al tempo τ riferita al periodo di ritorno Tr ;
- $h_{60,Tr}$ è l’altezza di pioggia relativa ad un evento di durata pari ad un’ora, con periodo di ritorno Tr ;
- τ è il tempo di pioggia espresso in minuti.

In considerazione dei massimi orari individuati nelle Tabella 1 e nella Tabella 2 per i tempi di ritorno di 25 e 50 anni vengono riassunti nella tabella seguenti valori delle precipitazioni previste per i tempi di pioggia inferiori all’ora.

Tabella 3: Altezze e intensità di pioggia di assegnato tempo di ritorno e durata della precipitazione

TR	Altezza di precipitazione h [mm]								Intensità di precipitazione i [mm/h]							
	Durata di pioggia [min.]								Durata di pioggia [min.]							
	5	10	15	20	25	30	45	60	5	10	15	20	25	30	45	60
25	17,5	26,2	32,0	36,5	40,2	43,4	51,1	57,0	209,7	156,9	127,9	109,4	96,5	86,8	68,1	57,0
50	19,5	29,3	35,8	40,8	45,0	48,6	57,1	63,8	234,6	175,6	143,1	122,4	108,0	97,1	76,2	63,8

4 IDRAULICA DI PIATTAFORMA

La strada è caratterizzata da una doppia carreggiata a due corsie per senso di marcia con banchine laterali e centrali e spartitraffico centrale con barriera di sicurezza in calcestruzzo; nelle sezioni in rilevato o caratterizzate dalla presenza di pista di servizio affiancata, è prevista la posa di una barriera di sicurezza in materiale metallico lato esterno carreggiata.

La rete di drenaggio tratta principalmente le acque di scolo dalle superfici asfaltate e le acque ruscellanti dalle scarpate delle trincee sia per i tratti esistenti oggetto di allargamento che per il nuovo svincolo di Briosco.

La rete di drenaggio in progetto, laddove possibile, è collegata agli elementi della rete esistente quali pozzetti di salto, caditoie grigliate, cunette e fossi di guardia.

Nello specifico si prevede il ripristino dei pozzetti e delle cunette esistenti (pulizia, riparazione, etc....), nonché il ripristino della corretta sezione idraulica dei fossi di guardia esistenti.

4.1 Descrizione rete di drenaggio della piattaforma stradale

Nel tratto compreso tra inizio intervento (termine del viadotto sul torrente Bevero – km 29+600) e lo svincolo di Gaggio (km 32+140) la SS36 è caratterizzata da doppia carreggiata; oltre tale svincolo, la strada presenta una pista di servizio in affiancamento separata dalla carreggiata principale da uno spartitraffico al cui interno è localizzata la barriera di sicurezza in materiale metallico.

L'allargamento della carreggiata per l'inserimento delle banchine comporta la riduzione sensibile di tale spartitraffico con impatti sulla capacità di drenaggio dello stesso.

La raccolta delle acque di piattaforma avviene con modalità differenti a seconda della tipologia delle sezioni stradali.

4.1.1 Sezioni a doppia carreggiata in rettilineo senza pista di servizio

4.1.1.1 Sezioni in rilevato

Le acque di piattaforma vengono raccolte lungo la banchina esterna e scaricate mediante embrici all'interno del fosso di guardia posto al piede del rilevato.

L'interasse degli embrici è funzione della pendenza della strada e della sezione drenata e va da un minimo di 10 m ad un massimo di 20 m.

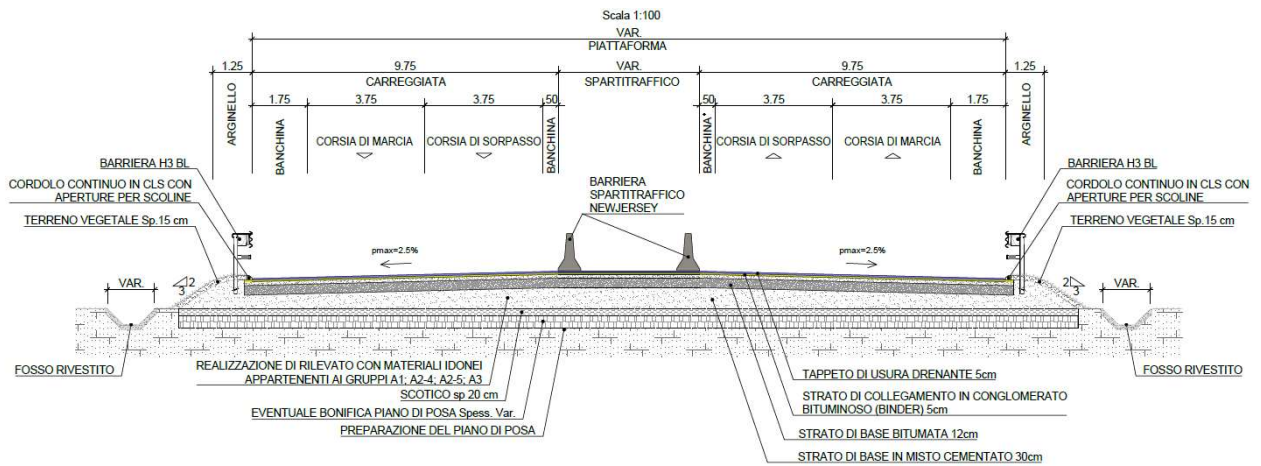


Figura 3: Sezione tipo in rilevato in rettilo senza pista di servizio

4.1.1.2 Sezioni in trincea

Le acque di precipitazione, unitamente a quelle di versante, vengono raccolte:

- con cunetta alla francese posizionata in corrispondenza del ciglio stradale e scaricate, mediante griglie posizionate longitudinalmente con un interasse variabile, in un collettore interrato in PEAD SN 8 diametro interno variabile ID400-600mm

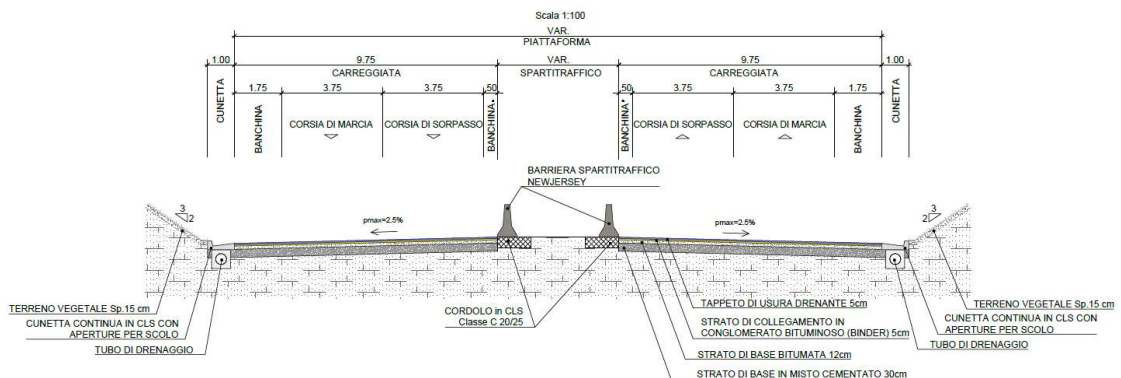


Figura 4: Sezione tipo in trincea in rettilo senza pista di servizio – Cunetta alla francese e collettore interrato

- con fosso trapezio rivestito posizionato in corrispondenza del ciglio stradale

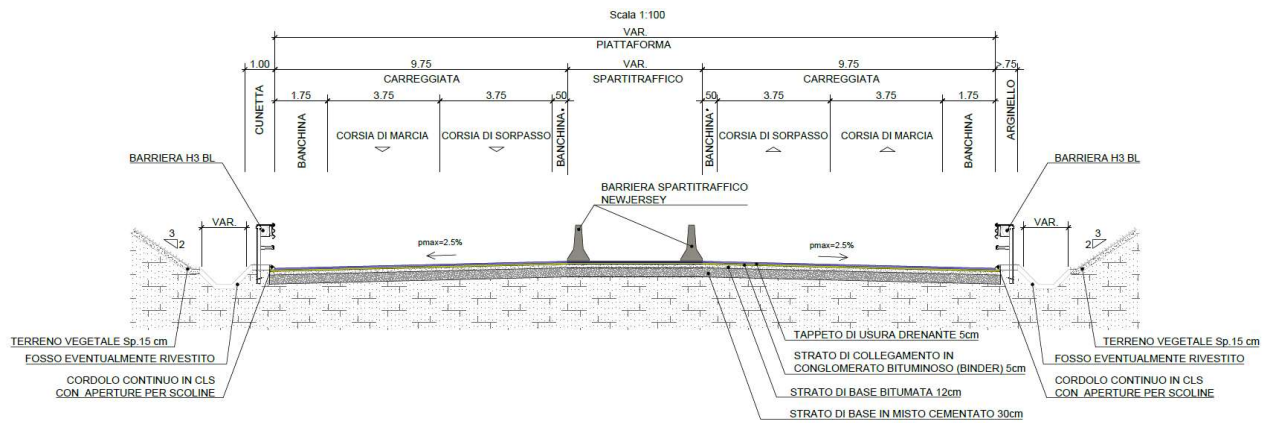


Figura 5: Sezione tipo in trincea in rettilo senza pista di servizio – Fosso trapezoidale

4.1.2 Sezioni a doppia carreggiata in rettilo con pista di servizio

La realizzazione della banchina lungo la carreggiata comporta la riduzione dello spartitraffico attualmente posizionato tra le due viabilità, riducendo la capacità di drenaggio del sistema di smaltimento presente e costituito principalmente da fossi drenanti.

La presenza di una barriera di sicurezza tra le due viabilità, nonché la necessità di prevedere lo smaltimento delle acque di piattaforma, comporta la necessità di garantire uno spazio minimo di 2 m tra le aree asfaltate da permettere la deformazione della barriera senza che la stessa vada ad invadere la pista di servizio.

In tale area sarà installato il sistema di drenaggio costituito da una raccolta superficiale costituita da una canaletta semicircolare (mezzo tubo in calcestruzzo) con diametro massimo pari a 80 cm che consente lo smaltimento dell'acqua meteorica all'interno dei recettori; qualora le portate non possano essere smaltite dalla canaletta, è previsto lo scarico delle portate a mezzo pozzetti all'interno di tubazioni di sottoattraversamento della viabilità secondaria con scarico all'interno di fossi disperdenti atti a consentire l'infiltrazione all'interno del terreno delle acque drenate.

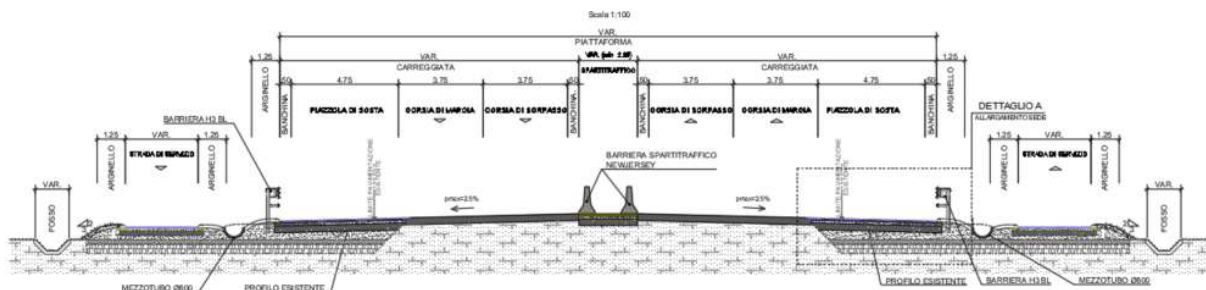


Figura 6: Sezione tipo con pista di servizio e cunetta semicircolare

4.1.3 Sezioni in rilevato/trincea in curva

A causa dell'inversione dei cigli che avviene in curva che comporta che la pendenza convogli le acque all'interno curva, la carreggiata esterna drena le portate afferenti in corrispondenza dello spartitraffico centrale.

All'interno dello spazio di spartitraffico compreso tra le barriere di sicurezza in calcestruzzo le acque che attraversano la barriera di sicurezza in corrispondenza delle asole presenti sul piano di appoggio della barriera stessa, nella maggior parte dei casi vengono raccolte per mezzo di fossi semicircolari in calcestruzzo di diametro interno 600mm e convogliate all'interno dei recettori presenti per mezzo di pozzetti su collettori preesistenti o tubazioni di sottoattraversamento della carreggiata predisposti ad hoc.

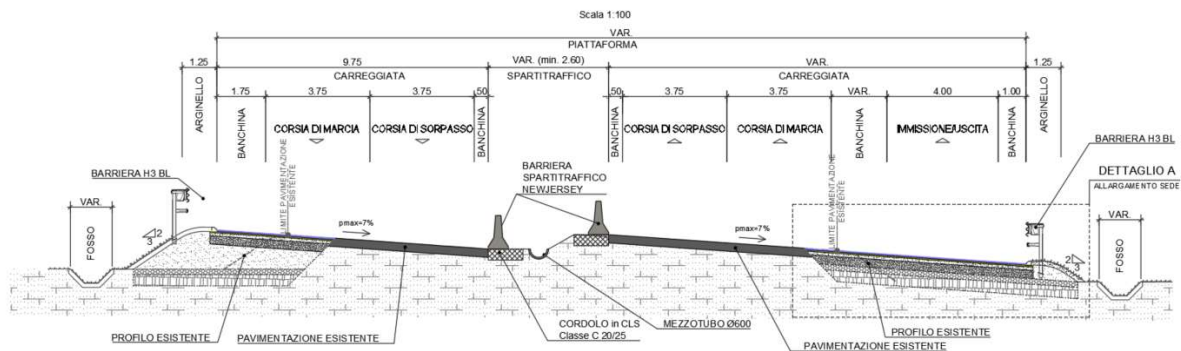


Figura 7: Sezione tipo in curva – Drenaggio con collettore semicircolare

Per situazioni particolari dove gli spazi lo consentano e non sono disponibili recettori in prossimità (p.e. svincolo di Costa Masnaga al km 35+700 circa) la soluzione progettuale adottata prevede che all'interno dello spartitraffico vengano realizzate fossi disperdenti atti a consentire l'infiltrazione all'interno del terreno delle acque drenate.

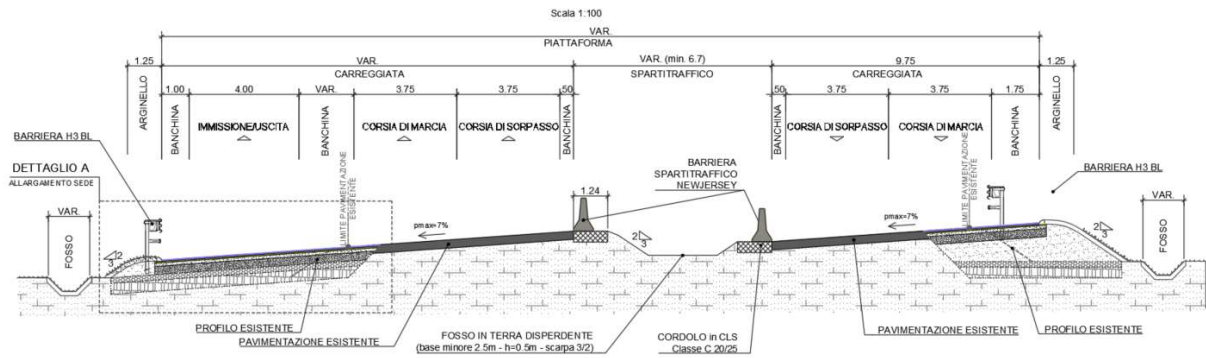


Figura 8: Sezione tipo in curva – Drenaggio con fosso disperdente

Per la carreggiata interno curva, il drenaggio è analogo a quanto già previsto per le sezioni in rettilo a meno del valore di pendenza trasversale della carreggiata che può subire un aumento in funzione del raggio di curvatura della carreggiata stessa.

Nella nuova curva di Briosco le acque della carreggiata esterna vengono raccolte con cunetta alla francese posizionata in corrispondenza dello spartitraffico e scaricate mediante griglie posizionate longitudinalmente con interasse variabile, in un collettore interrato in PEAD SN8 diametro ID400 mm.

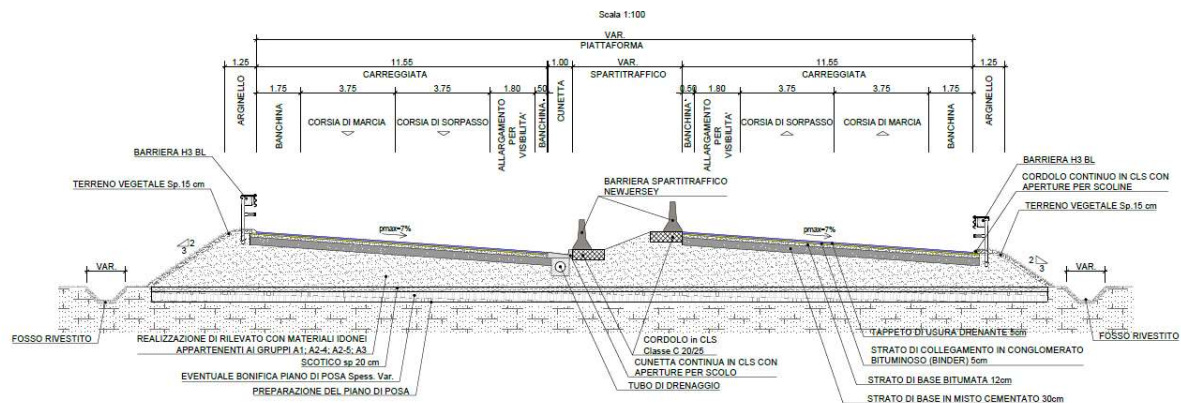


Figura 9 -Sezione tipo curva Briosco - Cunetta alla francese e collettore interrato

4.2 Portate di progetto della rete di drenaggio della piattaforma stradale

Le portate defluenti sulla piattaforma stradale e sulle scarpate del rilevato e/o trincea sono state determinate attraverso l'applicazione di un modello afflussi netti-deflussi. Tale metodo ammette due parametri fondamentali ossia: il coefficiente di deflusso φ (rapporto tra il volume totale dei deflussi superficiali e il volume totale degli afflussi meteorici) e il tempo di corrivazione t_c (tempo caratteristico di formazione degli scorrimenti superficiali).

La trasformazione afflussi netti-deflussi è stata effettuata attraverso l'applicazione di un modello

lineare basato sulla teoria dell'idrogramma unitario istantaneo (IUH). È stato adottato l'idrogramma unitario istantaneo derivante dal modello della corrivazione, schematizzando il bacino come un insieme di canali lineari caratterizzati da tempi di percorrenza invariati. L'IUH risultante ha la seguente espressione:

$$h(t) = \frac{1}{t_c}$$

essendo t_c il tempo di corrivazione del bacino considerato.

Nel caso in esame, sono stati adottati i seguenti valori di coefficiente di deflusso:

- $\varphi = 0.95$ per le superfici stradali;
- $\varphi = 0.4$ per le superfici permeabili esterne alla piattaforma stradale.

Viste le ridotte dimensioni delle superfici scolanti e per mantenere un adeguato margine di sicurezza unitamente all'esigenza di adottare manufatti economicamente sostenibili, è stato adottato, indipendentemente dalle singole superfici, un tempo di corrivazione pari a:

$$t_c = 10 \text{ min} = 0.17 \text{ ore}$$

Nel presente studio, è stato adottato uno ietogramma costante, dedotto dalle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica, presentate al paragrafo 3, ipotizzando che l'intensità di pioggia sia costante per tutta la durata dell'evento meteorico:

$$i = a \frac{t^n}{t} = at^{n-1}$$

La portata al colmo di piena è stata ottenuta attraverso l'applicazione della formula razionale:

$$Q = \frac{\varphi S i_{t,TR}}{3.6}$$

dove:

- Q è la portata al colmo di piena (m^3/s);
- φ è il coefficiente di deflusso;
- S è la superficie del bacino scolante (km^2);
- $i_{t,TR}$ è l'intensità di pioggia di durata t e assegnato tempo di ritorno TR (mm/ora).

4.3 Calcolo dell'altezza del velo liquido della piattaforma stradale

È stata utilizzata la relazione proposta in Gran Bretagna dal Road Research Laboratory:

$$y = 0.0474 (L j)^{0.5} i_L^{-0.2}$$

dove:

- y è l'altezza del velo liquido espresso in (mm);
- j è l'intensità di pioggia riferita alla durata di pochi minuti espressa in (mm/ora);
- L è la lunghezza del percorso dell'acqua espressa in (m);
- i_L è la pendenza della strada lungo la linea della corrente.

La lunghezza L del percorso della corrente e la pendenza i_L sono legate dalle seguenti relazioni:

$$L = b \left[1 + \left(\frac{i_l}{i_t} \right)^2 \right]^{0.5}$$

$$i_L = (i_l^2 + i_t^2)^{0.5}$$

dove:

- b è la larghezza della sede stradale espressa in (m);
- i_l è la pendenza longitudinale della strada;
- i_t è la pendenza trasversale della strada.

L'applicazione numerica delle precedenti relazioni è stata eseguita con riferimento a un valore della durata critica di pioggia di 5 min e un tempo di ritorno di 25 anni.

L'intensità di pioggia corrispondente è pari a 209,7 mm/ora, come riportato in Tabella 3.

Con riferimento alla situazione di progetto si considera una larghezza della sede stradale di 10 m, e i seguenti valori di pendenze:

- $i_l = 0.002$
- $i_t = 0.025$

Sostituendo i precedenti valori nelle relazioni precedenti si ottiene un'altezza massima del velo liquido di 4,55 mm, valore che consente di scongiurare ragionevolmente pericolosi fenomeni di accumulo dell'acqua sulla piattaforma stradale garantendo sufficienti standard di sicurezza.

4.4 Verifica rete di drenaggio della piattaforma stradale

La verifica idraulica dei collettori e degli elementi marginali di raccolta è stata condotta sotto l'ipotesi che ciascun ramo della rete sia percorso tutto dalla stessa portata e che il moto sia uniforme. È stata, dunque, utilizzata nel calcolo delle portate la formula di Gauckler-Strickler:

$$Q = A K_s R_H^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}$$

dove:

- Q è la portata di progetto del ramo (m^3/s);
- K_s è il coefficiente di scabrezza secondo Strickler ($m^{1/3}/s$);
- A è l'area della sezione liquida (m^2);
- R_H è il raggio idraulico (m);
- i è la pendenza longitudinale del ramo.

I valori del coefficiente di scabrezza K_s assunti nel seguente studio sono:

- $K_s = 33 m^{\frac{1}{3}}/s$ per fossi in terra;
- $K_s = 65 m^{\frac{1}{3}}/s$ per canalette in cls, cunette alla francese e fossi rivestiti;
- $K_s = 70 m^{\frac{1}{3}}/s$ per banchina in conglomerato bituminoso;
- $K_s = 100 m^{\frac{1}{3}}/s$ per tubazioni in PEAD.

Nelle verifiche idrauliche delle tubazioni, detto h il tirante idrico e D il diametro interno, sono stati considerati i seguenti gradi di riempimento massimo:

- $h/D = 50\%$ per condotte di diametro minore o uguale a DN400 mm;
- $h/D = 75\%$ per condotte di diametro maggiore a DN400 mm.

Nelle verifiche idrauliche degli elementi aperti della rete, quali canalette in cls, fossi al piede del rilevato, detto h il tirante idrico e H l'altezza interna dell'elemento, è stato considerato il seguente grado di riempimento massimo:

- $h/H = 80\%$.

4.4.1 Tubazioni

La verifica idraulica delle condotte è stata effettuata considerando un tempo di ritorno pari a 50 anni e una durata dell'evento meteorico di 10 min.

Come riportato in Tabella 3, l'intensità di pioggia relativa a una durata dell'evento meteorico di 10 min è pari a 175.58 mm/ora.

Per semplicità ed economicità di realizzazione è stata adottata, dove possibile, una pendenza longitudinale della tubazione pari a quella della livelletta stradale, limitando il più possibile i tratti in contropendenza.

Fissati il coefficiente di scabrezza K_s e la pendenza longitudinale della condotta, è stato possibile attraverso la formula di Gauckler-Strickler determinare la combinazione ottimale di diametro e grado di riempimento che danno luogo a una portata Q pari alla Q_{max} di progetto calcolata con la formula razionale. La verifica idraulica è soddisfatta se il grado di riempimento risultante è minore del grado

di riempimento massimo assunto pari a 50% per DN≤400 mm e 75% per DN>400mm.

Sono state adottate tubazioni in PEAD SN8 con diametro interno DN400÷DN600 per tubazioni poste esternamente alla carreggiata e tubazioni in PEAD SN16 con diametro interno DN300÷DN600 per tubazioni di attraversamento stradale.

Nella successiva tabella vengono riportate le verifiche idrauliche delle principali condotte a servizio della rete di drenaggio.

Tabella 4 – Verifica idraulica principali collettori.

tratta di calcolo	posizione	funzione	classe	DN interno	pendenza	Q_{max}	h	GR
				[m]	[%]	[m ³ /s]	[m]	[%]
da pk.27+960 a pk.28+245	ciglio esterno Carreggiata Nord	raccolta e scarico acque cunetta	SN8	0,4	4,24%	0,184	0,16	40%
da pk.27+960 a pk.28+246	ciglio interno Carreggiata Sud	raccolta e scarico acque cunetta	SN8	0,4	4,24%	0,18	0,156	39%
pk. 28+394	attraversamento Carreggiata Nord	raccolta e scarico acque cunetta	SN16	0,4	7,00%	0,18	0,14	34%
da pk.28+430 a pk.28+654	ciglio interno Carreggiata Sud	raccolta e scarico acque cunetta	SN8	0,4	4,24%	0,112	0,12	30%
pk.28+654	attraversamento Carreggiata Nord	raccolta e scarico acque cunetta	SN16	0,4	7,00%	0,112	0,11	27%

I collettori della nuova rete di drenaggio sono collegati alla rete esistente, scaricando all'interno di quest'ultima le acque di piattaforma ad essa afferenti.

Questo ha comportato una verifica delle tubazioni di collettamento della rete esistente sulle quali andranno scaricate le acque di piattaforma. In questa fase di progettazione ci si limita a fornire delle indicazioni sul diametro che queste devono possedere per garantire un corretto funzionamento del sistema di smaltimento.

Considerando la tratta di intervento di Briosco, le acque di piattaforma provenienti dalla carreggiata nord, dalla carreggiata sud e dalla rampa di uscita nord, non essendoci nelle vicinanze un recettore finale, vengono scaricate all'interno della tubazione posta sotto al marciapiede lungo la SP102 in destra rotatoria.

La verifica idraulica è stata condotta considerando una pendenza del 2%, pendenza longitudinale minima della livelletta stradale in quel tratto.

Nella successiva tabella viene riportata la verifica idraulica della tubazione della rete di drenaggio esistente (da verificare nelle fasi successive di progettazioni la continuità del collettore).

Tabella 5 – Verifica idraulica tubazione rete di drenaggio esistente.

posizione	classe	DN interno	pendenza	Q_{max}	h	GR
		[m]	[%]	[m ³ /s]	[m]	[%]
rotatoria SP102, uscita Briosco carreggiata nord	SN8	0,6	2,00%	0,811	0,380	63%

Le acque di piattaforma raccolte dal canale semicircolare posto tra la viabilità principale e la strada di servizio, quando non presente nelle vicinanze un recettore finale, vengono scaricate a mezzo di tubazioni in PEAD SN16 con diametro interno DN300÷400 all'interno di fossi in terra con funzione disperdente posti al piede dei rilevati. La verifica idraulica è stata condotta considerando una pendenza longitudinale della tubazione del 3.5%, la larghezza massima della piattaforma stradale pari a 13.5 m e un interasse massimo gli scarichi di 190 m.

Nella successiva tabella viene riportata la verifica idraulica della tubazione di scarico delle acque di piattaforma raccolte dal canale semicircolare.

Tabella 6 - Verifica idraulica tubazione di scarico in fossi disperdenti a piede rilevato.

classe	Area afferente	DN interno	pendenza	Q_{max}	h	GR
	[m ²]	[m]	[%]	[m ³ /s]	[m]	[%]
SN16	2565	0,3	3,5%	0,118	0,151	50%

Le acque di piattaforma raccolte dal canale semicircolare posto in spartitraffico nei tratti in curva, quando non presente nelle vicinanze un recettore finale, vengono scaricate a mezzo di tubazioni in PEAD SN16 con diametro interno DN300 all'interno di fossi al piede dei rilevati.

Nella successiva tabella vengono riportate le verifiche idrauliche delle condotte di scarico delle acque di piattaforma raccolte in spartitraffico.

Tabella 7 - Verifica idraulica tubazione di scarico acque raccolte in spartitraffico.

tratta di calcolo	posizione	funzione	classe	DN interno	pendenza	Q_{max}	h	GR
				[m]	[%]	[m ³ /s]	[m]	[%]
pk. 29+610	attraversamento Carreggiata Nord	raccolta e scarico acque canale in spartitraffico	SN16	0,3	6,00%	0,102	0,120	40%
pk. 31+320	attraversamento Carreggiata Sud	raccolta e scarico acque canale in spartitraffico	SN16	0,3	3,50%	0,12	0,15	50%
pk. 33+467	attraversamento Carreggiata Nord	raccolta e scarico acque canale in spartitraffico	SN16	0,3	2,00%	0,06	0,12	40%
pk. 37+140	attraversamento Carreggiata Sud	raccolta e scarico acque canale in spartitraffico	SN16	0,3	5,50%	0,147	0,15	50%
pk. 42+060	attraversamento Carreggiata Nord	raccolta e scarico acque canale in spartitraffico	SN16	0,3	2,00%	0,086	0,15	50%

4.4.2 Cunetta alla francese

Nelle sezioni in trincea le acque provenienti dalla piattaforma stradale, unitamente a quelle di versante, vengono raccolte da una cunetta alla francese posta in corrispondenza del ciglio stradale e da questa scaricate in una tubazione sub-parallela in PEAD SN8 attraverso caditoie grigliate posizionate longitudinalmente ad intervalli regolari di 20 m. Le acque scaricate all'interno della tubazione sub-parallela vengono trasportate verso il recettore finale più vicino (fossi al piede del rilevato, rete di raccolta preesistente).

Questo schema di raccolta è stato, inoltre, adottato per la raccolta e l'allontanamento delle acque di piattaforma in interno carreggiata esterna della nuova curva di Briosco.

La cunetta è costituita da elementi prefabbricati in cls aventi le dimensioni riportate in Figura 10.

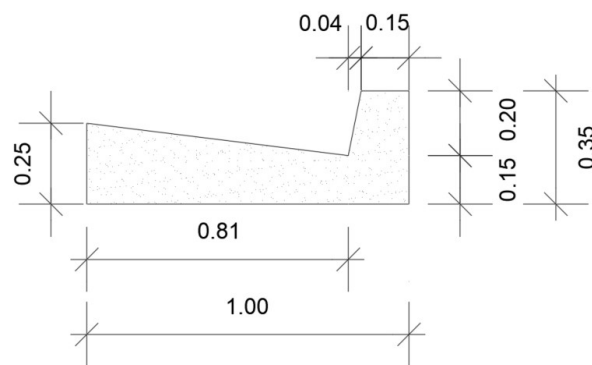


Figura 10 - Cunetta alla francese in cls (dimensioni in m).

Fissati il coefficiente di scabrezza K_s e la geometria della cunetta è stato possibile, attraverso la formula di Gauckler-Strickler, costruire le scale di deflusso di moto uniforme della cunetta per diversi valori di pendenza longitudinale.

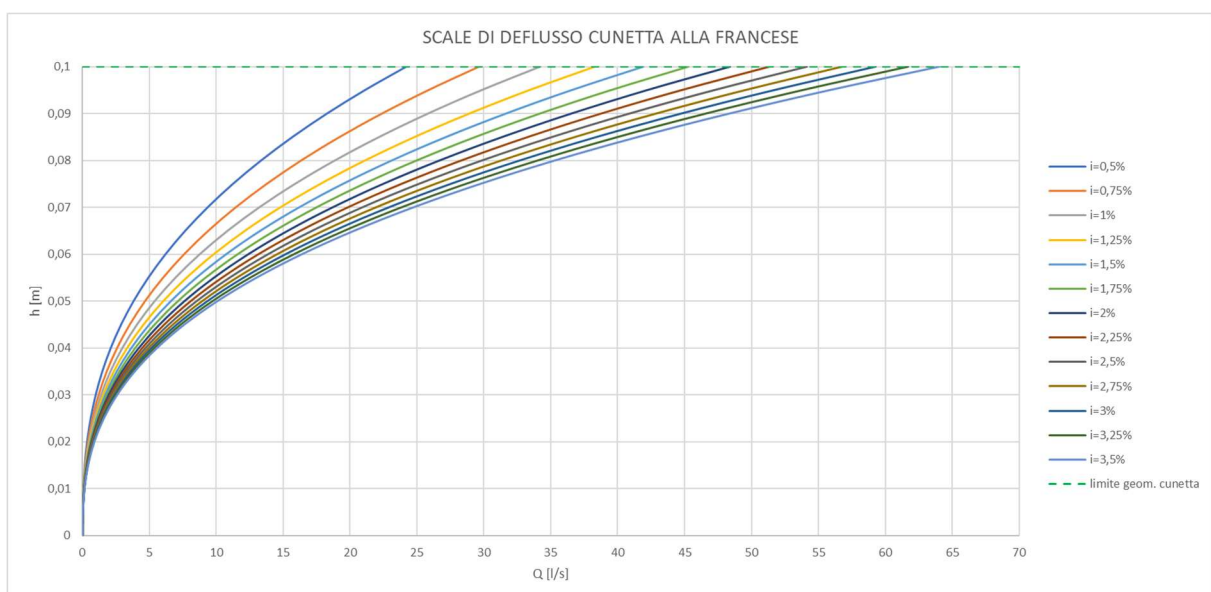


Figura 11 - Scale di deflusso cunetta alla francese per diversi valori di pendenza longitudinale i .

La verifica della funzionalità idraulica della cunetta è soddisfatta se la massima portata che la cunetta deve raccogliere tra due successive caditoie, calcolata con la formula razionale, risulta essere minore o uguale alla massima portata che è in grado di convogliare in condizioni di moto uniforme.

La massima portata raccolta dalla cunetta tra due successive caditoie è stata calcolata considerando un tempo di ritorno pari a 25 anni e una durata dell'evento meteorico di 5 min.

Come riportato in Tabella 3, l'intensità di pioggia relativa a una durata dell'evento meteorico di 5 min è pari a 209.7 mm/ora.

La verifica idraulica è stata condotta considerando la cunetta alla francese maggiormente sollecitata.

Considerando una larghezza della piattaforma stradale pari a 11.75 m, larghezza della piattaforma stradale in corrispondenza della nuova curva di Briosco, e un interasse tra gli scarichi di 20 m, la superficie stradale afferente al sistema di smaltimento è di 235 m². Sulla cunetta insiste, inoltre, una scarpa di trincea avente larghezza media di circa 4 m e lunghezza pari a 20 m, la superficie di terreno afferente al sistema di smaltimento è di 80 m².

La massima portata che la cunetta deve raccogliere, calcolata con la formula razionale, è pari a 14.65 l/s.

La pendenza longitudinale di calcolo della cunetta è pari a 4.24%.

In Figura 12 viene riportata la scala di deflusso della cunetta alla francese che è stata oggetto di verifica, con indicazione della massima portata che è in grado di convogliare in condizioni di moto uniforme e della massima portata Q_{25} raccolta.

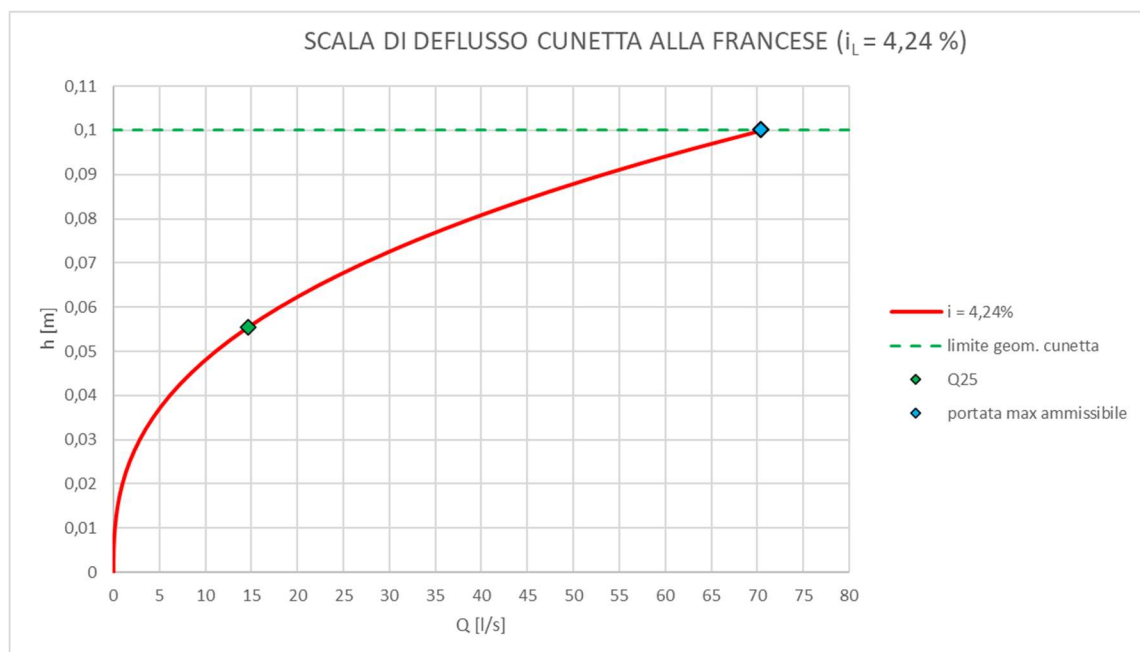


Figura 12 - Scala di deflusso della cunetta alla francese in progetto ($i_L = 4.24\%$).

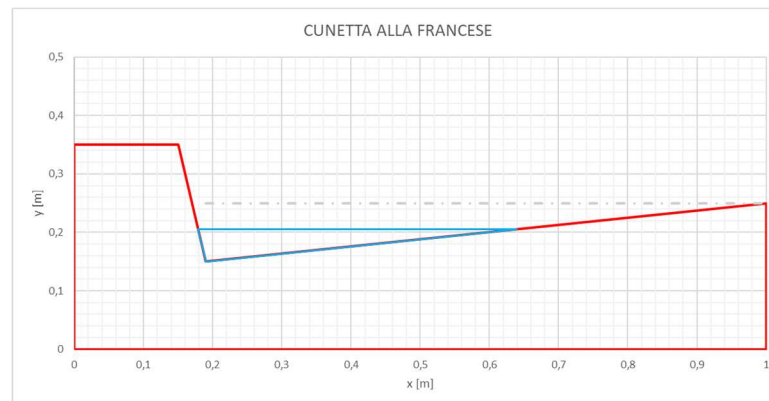


Figura 13 - Verifica idraulica cunetta alla francese: in azzurro sezione liquida ($Q=14.65$ l/s e $i_L=4.24\%$).

Come evidenziato nelle precedenti figure, la cunetta alla francese in progetto risulta verificata.

È stata, inoltre, verificata la cunetta alla francese posta lungo il ciglio destro della nuova rampa di uscita nord della curva di Briosco, che raccoglie le acque scolanti dalla scarpa della trincea. Sulla cunetta insiste una larghezza della scarpa di trincea di circa 7.8 m e lunghezza pari a 345 m (lunghezza della cunetta alla francese), la superficie di terreno afferente al sistema di smaltimento è di 2691 m².

In questo caso, vista la lunghezza del percorso di deflusso, la massima portata raccolta dalla cunetta è stata calcolata considerando un tempo di ritorno pari a 25 anni e una durata dell'evento meteorico di 10 min.

Come riportato in Tabella 3, l'intensità di pioggia relativa a una durata dell'evento meteorico di 10 min è pari a 156.93 mm/ora.

La massima portata che la cunetta deve raccogliere è pari a 46.92 l/s.

La pendenza longitudinale di calcolo della cunetta è pari a 8%.

In Figura 14 viene riportata la scala di deflusso della cunetta alla francese che è stata oggetto di verifica, con indicazione della massima portata che è in grado di convogliare in condizioni di moto uniforme e della massima portata Q_{25} raccolta.

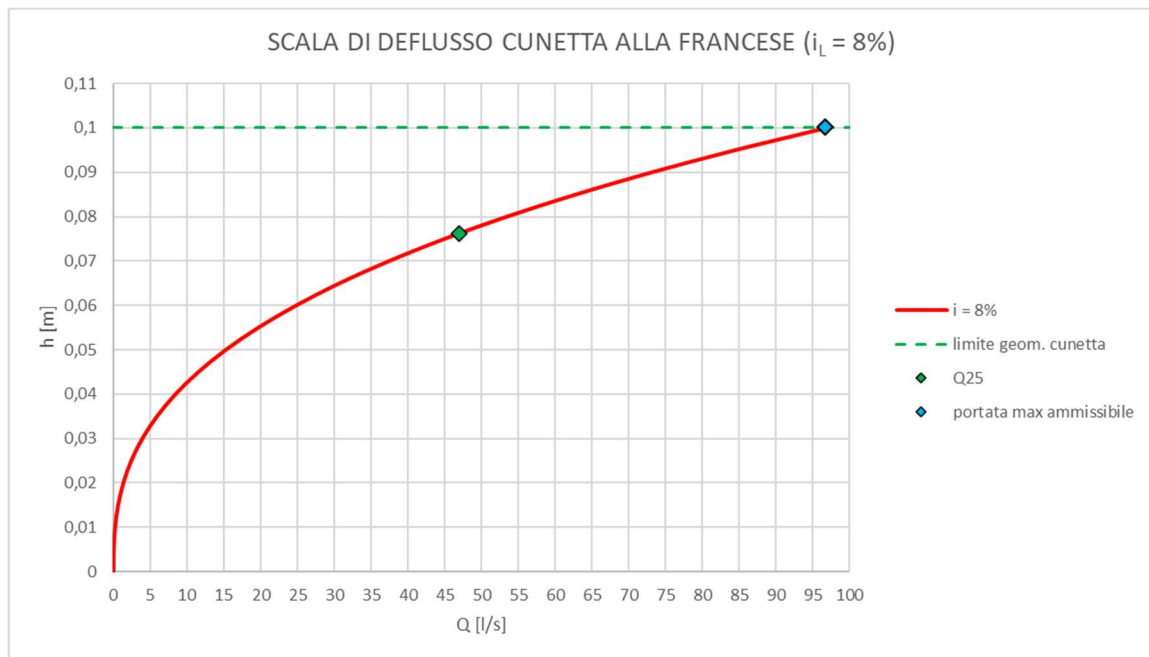


Figura 14 - Scala di deflusso della cunetta alla francese in progetto ($i_L = 8\%$).

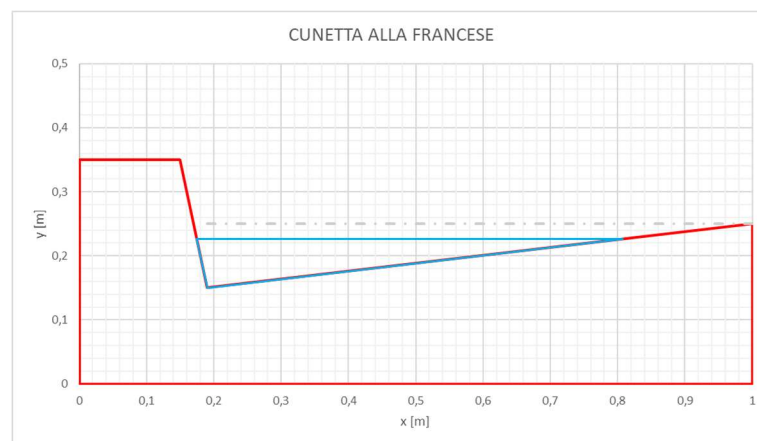


Figura 15 - Verifica idraulica cunetta alla francese: in azzurro sezione liquida ($Q=46.92$ l/s e $i_L=8\%$).

Come evidenziato nelle precedenti figure, la cunetta alla francese in progetto risulta verificata.

4.4.3 Calcolo interasse caditoie

Come descritto in precedenza, la cunetta alla francese scarica i volumi raccolti in una tubazione sub-parallela attraverso caditoie grigliate poste ad intervalli regolari di 20 m. Le caditoie grigliate hanno forma quadrata, dimensioni comprese tra 0.4x0.4 m e 0.6x0.6 m e sono dotate di una griglia in ghisa sferoidale di classe UNI EN 124 C250 con grate parallele alla direzione della corrente.

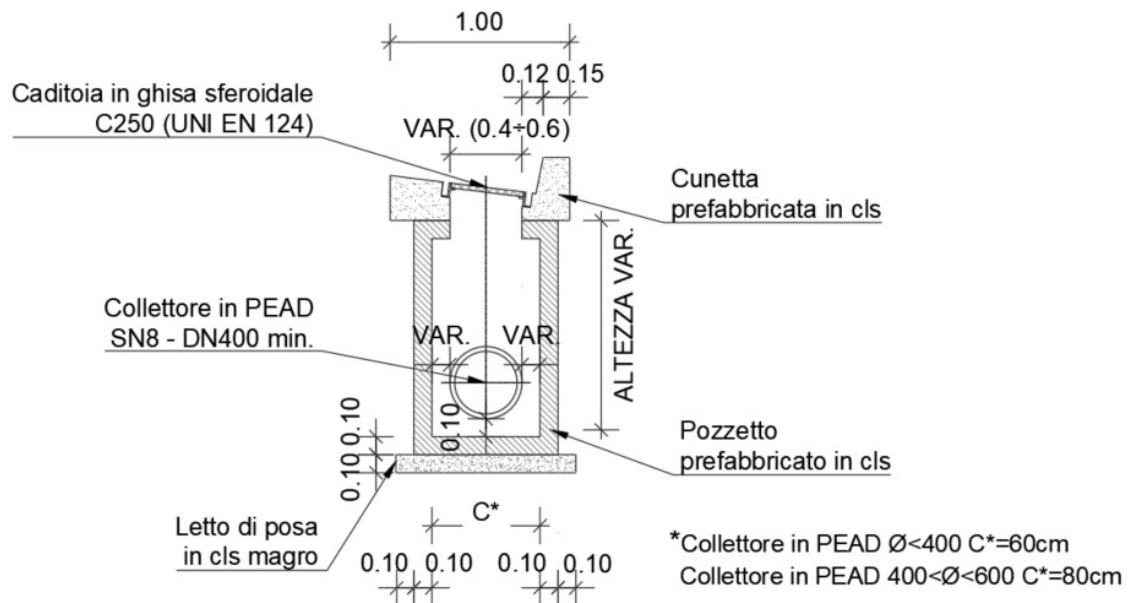


Figura 16 - Dettaglio scarico caditoia grigliata (dimensioni in m).

Il calcolo della massima portata scaricabile attraverso la caditoia grigliata è stato svolto ipotizzando un funzionamento tipo stramazzo a larga soglia della stessa.

È stata, dunque, applicata la formula di efflusso di uno stramazzo a larga soglia:

$$Q = \mu Ph \sqrt{2gh}$$

dove:

- $\mu = 0.385$ è il coefficiente di efflusso stramazzo a larga soglia;
- P è la lunghezza di intercettazione, pari a $(P = 2l + L)$ per intercettazioni su tre lati, con l larghezza della griglia e L lunghezza della griglia;
- h è il carico sulla soglia sfiorante, posto pari a 5 cm.

Il numero di elementi necessari a scaricare la portata defluente dall'area di carreggiata considerata lo si ricava dal rapporto tra la massima portata raccolta in cunetta Q_{max} , calcolata con la formula razionale, e la portata Q_{cad} che la singola caditoia è in grado di scaricare:

$$N_{cad} = Q_{max} / Q_{cad}$$

L'interasse massimo degli elementi di scarico è ottenuto dividendo la lunghezza del tratto stradale considerato per il numero di elementi necessari.

La massima portata raccolta dalla cunetta tra due successive caditoie grigliate è stata calcolata considerando un tempo di ritorno pari a 25 anni e una durata dell'evento meteorico di 5 min.

Come riportato in Tabella 3, l'intensità di pioggia relativa a una durata dell'evento meteorico di 5 min è pari a 209.7 mm/ora.

Verificato che l'interasse di progetto delle caditoie grigliate sia minore o uguale dell'interasse massimo teorico, si procede alla verifica dell'efficienza idraulica della griglia.

L'efficienza della griglia è calcolata come il rapporto tra la portata massima intercettata frontalmente Q_1 e la portata totale Q raccolta a monte dalla cunetta alla francese:

$$E_0 = \frac{Q_1}{Q} = 1 - \frac{Q_2}{Q} = 1 - \left(1 - \frac{L_1}{D}\right)^{\frac{8}{3}}$$

dove:

- E_0 è l'efficienza di una caditoia;
- Q_1 è la portata intercettata frontalmente dalla griglia (m^3/s);
- Q_2 è la portata intercettata lateralmente dalla griglia (m^3/s);
- Q è la portata totale raccolta a monte dalla cunetta alla francese (m^3/s);
- L_1 è la larghezza della griglia (m);
- D è la base maggiore della sezione liquida nella cunetta alla francese (m).

La formula dell'efficienza E_0 è valida per un valore di velocità della corrente in cunetta inferiore ai seguenti valori di velocità v_0 :

- $v_0 = 1.86 L_0^{0.79}$ per griglie a barre normali alla direzione della corrente;
- $v_0 = 2.54 L_0^{0.51}$ per griglie a barre parallele alla direzione della corrente.

Dove L_0 rappresenta la lunghezza della griglia espressa in metri.

Se la velocità in cunetta v è maggiore della velocità v_0 l'efficienza totale E della griglia è calcolata attraverso la seguente formula:

$$E = R_1 E_0 + R_2 (1 - E_0)$$

dove:

- R_1 è il rendimento frontale della griglia;
- R_2 è il rendimento laterale della griglia;
- E_0 è l'efficienza calcolata con la formula precedente.

I rendimenti R_1 e R_2 sono calcolati con le seguenti formule:

$$R_1 = \frac{Q_1^*}{Q_1} = 1 - 0.3(v - v_0)$$

$$R_2 = \frac{Q_2^*}{Q_2} = \left(1 + \frac{0.083v^{1.8}}{TL^{2.3}}\right)^{-1}$$

dove:

- T è la pendenza trasversale della cunetta;
- L è la lunghezza della caditoia (m).

La verifica idraulica è stata condotta considerando la caditoia grigliata di dimensione 0.4x0.4 maggiormente sollecitata.

Una griglia di questo tipo, considerando un'altezza sulla soglia sfiorante di 5 cm, altezza d'acqua che garantisce l'allagamento della sola cunetta alla francese, è in grado di scaricare una portata Q_{cad} pari a 0.0267 m³/s.

Considerando una larghezza della piattaforma stradale pari a 11.75 m, larghezza della piattaforma stradale in corrispondenza della nuova curva di Briosco, e un interasse tra gli scarichi di 20 m, la superficie stradale afferente al sistema di smaltimento è di 231 m². Sulla caditoia insiste, inoltre, una scarpa di trincea avente larghezza media di circa 4 m, la superficie di terreno afferente al sistema di smaltimento è di 80 m².

La massima portata raccolta in cunetta è pari a 0.015 m³/s. Dal rapporto tra la massima portata raccolta in cunetta Q_{max} e la massima portata scaricabile dalla caditoia grigliata Q_{cad} risulterebbero necessarie 0.55 caditoie poste ad interasse di 36.5 m. Ne segue che l'interasse di progetto scelto garantisce margini di sicurezza.

In Tabella 8 viene riportata, inoltre, la verifica dell'efficienza della caditoia scelta per la condizione di carico sopra definita.

Tabella 8 - Verifica efficienza della caditoia grigliata (0.4x0.4 m).

dimensioni caditoia grigliata	pendenza longitudinale	E_0	v	$v_{0, //}$	R_1	R_2	E
[m x m]	[%]	[%]	[m ² /s]	[m ² /s]	[%]	[%]	[%]
0,4 x 0,4	4,2%	100%	1,15	1,6	100%	100%	100%

Lungo il ciglio destro della nuova rampa di uscita nord della curva di Briosco, le acque scolanti dalla scarpa della trincea vengono raccolte da una cunetta alla francese avente le dimensioni riportate in Figura 10. Al termine della rampa le acque vengono scaricate attraverso una caditoia di dimensioni 0.6x0.6 m all'interno di una tubazione in PEAD di collegamento alla rete esistente.

Una griglia di questo tipo, considerando un'altezza sulla soglia sfiorante di 7 cm, altezza d'acqua che garantisce l'allagamento della sola cunetta, è in grado di scaricare una portata Q_{cad} pari a 0.0568 m³/s.

Considerando una larghezza della scarpa di trincea di circa 7.8 m e lunghezza pari a 345 m (lunghezza della cunetta alla francese), la superficie di terreno afferente al sistema di smaltimento è di 2691 m².

In questo caso, vista la lunghezza del percorso di deflusso, la massima portata raccolta dalla cunetta è stata calcolata considerando un tempo di ritorno pari a 25 anni e una durata dell'evento meteorico di 10 min.

Come riportato in Tabella 3, l'intensità di pioggia relativa a una durata dell'evento meteorico di 10 min è pari a 156.93 mm/ora.

La massima portata raccolta in cunetta è pari a 0.047 m³/s. Dal rapporto tra la massima portata raccolta in cunetta Q_{max} e la massima portata scaricabile dalla caditoia grigliata Q_{cad} risulterebbero

necessarie 0.8 caditoie poste ad interasse di 418 m. Ne segue che l'interasse di progetto scelto garantisce margini di sicurezza.

In Tabella 9 viene riportata, inoltre, la verifica dell'efficienza della caditoia scelta per la condizione di carico sopra definita.

Tabella 9 - Verifica efficienza della caditoia grigliata (0.6x0.6 m).

<i>dimensioni caditoia grigliata</i>	<i>pendenza longitudinale</i>	E_0	v	$v_{0, //}$	R_1	R_2	E
<i>[m x m]</i>	<i>[%]</i>	<i>[%]</i>	<i>[m²/s]</i>	<i>[m²/s]</i>	<i>[%]</i>	<i>[%]</i>	<i>[%]</i>
0,6 x 0,6	8,0%	100%	1,95	1,96	100%	100%	100%

4.4.4 Calcolo interasse embrici

Nelle sezioni in rilevato le acque provenienti dalla piattaforma stradale vengono smaltite attraverso un sistema di canalette a embrice poste ad intervalli regolari di 10÷20 m che scaricano le acque di piattaforma all'interno di fossi rivestiti in cls e in terra al piede del rilevato.

Il calcolo della massima portata che un embrice è in grado di scaricare può essere effettuato, assimilando l'embrice ad una soglia sfiorante, attraverso la formula:

$$Q = \mu L h \sqrt{2gh}$$

dove:

- $\mu = 0.385$ è il coefficiente di efflusso stramazzo a larga soglia;
- $L = 0.5 \text{ m}$ è la larghezza minore dell'embrice;
- h è il carico sulla soglia sfiorante, posto pari a 5 cm.

La portata scaricabile da un embrice di queste dimensioni è pari 0.0095 m³/s.

Il numero di elementi necessari a scaricare la portata defluente dall'area di carreggiata considerata lo si ricava dal rapporto tra la massima portata raccolta in banchina Q_{max} , calcolata con la formula razionale, e la portata Q_{emb} che il singolo embrice è in grado di scaricare:

$$N_{embrici} = Q_{max}/Q_{emb}$$

L'interasse minimo degli elementi di scarico è stato ottenuto dividendo la lunghezza del tratto stradale considerato per il numero di elementi necessari.

La massima portata raccolta dalla banchina tra due successive canalette ad embrice è stata calcolata considerando un tempo di ritorno pari a 25 anni e una durata dell'evento meteorico di 5 min.

Come riportato in Tabella 3, l'intensità di pioggia relativa a una durata dell'evento meteorico di 5

min è pari a 209.7 mm/ora.

In corrispondenza degli svincoli e nei tratti dove è presente un allargamento per visibilità in curva la sezione stradale assume una larghezza maggiore. Considerando la larghezza massima di 13.75 m e un interasse tra gli scarichi di 10 m, la superficie stradale afferente al sistema di smaltimento è di 137.5 m². La massima portata raccolta in banchina è pari a 0.0076 m³/s e quindi risulterebbero necessari 0.8 embrici posti ad interasse di 12.53 m. Ne segue che l'interasse di progetto scelto garantisce margini di sicurezza.

Nei restanti tratti, dove la superficie stradale assume una larghezza di 9.75 m, si è considerato un interasse tra gli scarichi di 15 m. In questo caso, la superficie stradale afferente al sistema di smaltimento è di 146.25 m² e la massima portata raccolta in banchina è pari a 0.0091 m³/s. Risulterebbero necessari 0.85 embrici posti ad interasse di 17.6 m. Ne segue che l'interasse di progetto scelto garantisce, anche in questo caso, margini di sicurezza.

Per i tratti in rilevato delle rampe di accesso/uscita alla/dalla viabilità principale, dove la superficie stradale assume una larghezza di 6 m, si è considerato un interasse tra gli scarichi di 20 m. In questo caso, la superficie stradale afferente al sistema di smaltimento è di 120 m² e la massima portata raccolta in banchina è pari a 0.0066 m³/s. Risulterebbero necessari 0.70 embrici posti ad interasse di 28.7 m. Ne segue che l'interasse di progetto scelto garantisce, anche in questo caso, margini di sicurezza.

4.4.5 Canale di raccolta in spartitraffico e tra viabilità principale e pista di servizio

Fatta eccezione per la nuova curva di Briosco dove il sistema di raccolta e allontanamento delle acque di piattaforma è costituito da cunetta alla francese-caditoia grigliata-tubazione subparallela, nei tratti in curva le acque di piattaforma attraversano la barriera di sicurezza in corrispondenza delle asole presenti sul piano di appoggio della barriera stessa e nella maggior parte dei casi raccolte per mezzo di canali semicircolari in calcestruzzo di diametro interno 600 mm posizionati in spartitraffico. Il canale semicircolare convoglia le acque di piattaforma all'interno di recettori presenti per mezzo di pozzetti su collettori preesistenti o tubazioni di sottoattraversamento della carreggiata predisposti ad hoc.

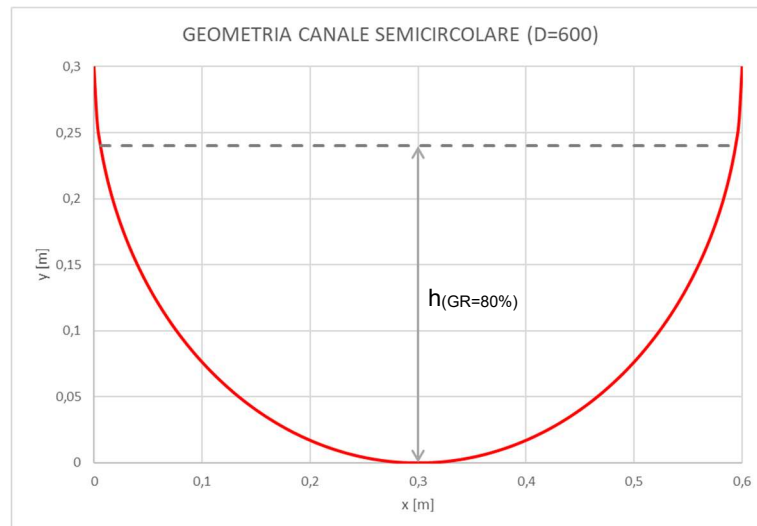


Figura 17 - Geometria canale D600 mm (in grigio indicazione del grado di riempimento massimo (GR=80%).

Fissati il coefficiente di scabrezza K_s e la geometria del canale semicircolare è stato possibile, attraverso la formula di Gauckler-Strickler, costruire le scale di deflusso di moto uniforme del canale per diversi valori di pendenza longitudinale.

Nella figura seguente sono riportate le scale di deflusso, al variare della pendenza longitudinale, del canale semicircolare di diametro pari a 600 mm.

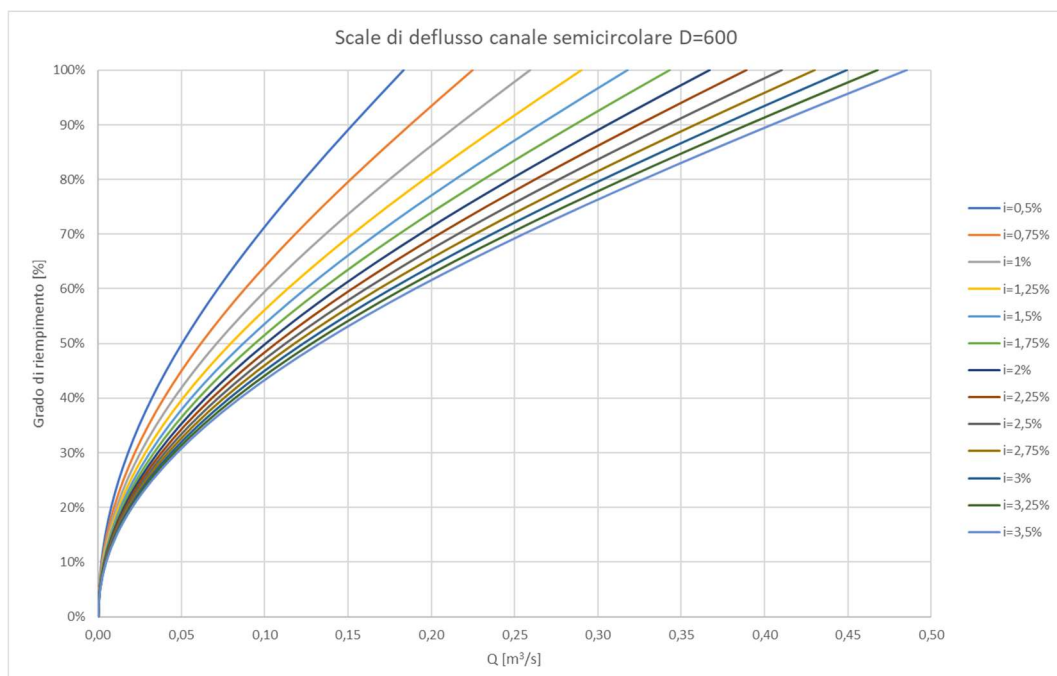


Figura 18 - Scale di deflusso canale semicircolare (D=600 mm) per diversi valori di pendenza longitudinale i .

La verifica della funzionalità idraulica del canale è soddisfatta se la massima portata che il canale deve raccogliere in spartitraffico, calcolata con la formula razionale, risulta essere minore o uguale

alla massima portata che è in grado di convogliare in condizioni di moto uniforme con il grado di riempimento massimo considerato.

La verifica idraulica dei canali semicircolari è stata effettuata considerando un tempo di ritorno pari a 50 anni e una durata dell'evento meteorico di 10 min.

Come riportato in Tabella 3, l'intensità di pioggia relativa a una durata dell'evento meteorico di 10 min è pari a 175.58 mm/ora.

In Tabella 10 viene riportata la verifica idraulica dei canali semicircolari posizionati in spartitraffico per la raccolta delle acque di piattaforma nei tratti in curva.

Tabella 10 - Verifica idraulica canali semicircolari in spartitraffico.

tratta di calcolo	Area afferente	Q_{max}	DN interno	pendenza	h	GR
	[m ²]	[m ³ /s]	[m]	[%]	[m]	[%]
da pk.29+739 a pk.29+968	2193,75	0,102	0,6	1,00%	0,127	42%
da pk. 30+470 a pk.30+749	2671,5	0,124	0,6	2,00%	0,161	54%
da pk.31+320 a pk.31+543	259,75	0,12	0,6	1,90%	0,172	69%
da pk.33+456 a pk.33+670	2468,06	0,114	0,6	1,08%	0,181	60%
da pk.34+550 a pk.34+763	2354	0,109	0,6	3,50%	0,131	44%
da pk.36+812 a pk.37+146	3173,6	0,147	0,6	0,60%	0,24	80%
da pk.39+060 a pk.39+216	1946,8	0,09	0,6	0,30%	0,224	75%
da pk.41+840 a pk.42+060	1852,5	0,086	0,6	3%	0,121	40%
da pk.44+100 a pk.44+150	653,25	0,03	0,6	0,85%	0,10	33%

Nello spazio compreso tra la viabilità principale e la pista di servizio è previsto un sistema di drenaggio costituito da una raccolta superficiale per mezzo di una canaletta semicircolare con diametro interno pari a 800 mm, che consente lo smaltimento dell'acqua meteorica all'interno dei recettori a mezzo di pozzetti di salto e tubazioni di scarico.

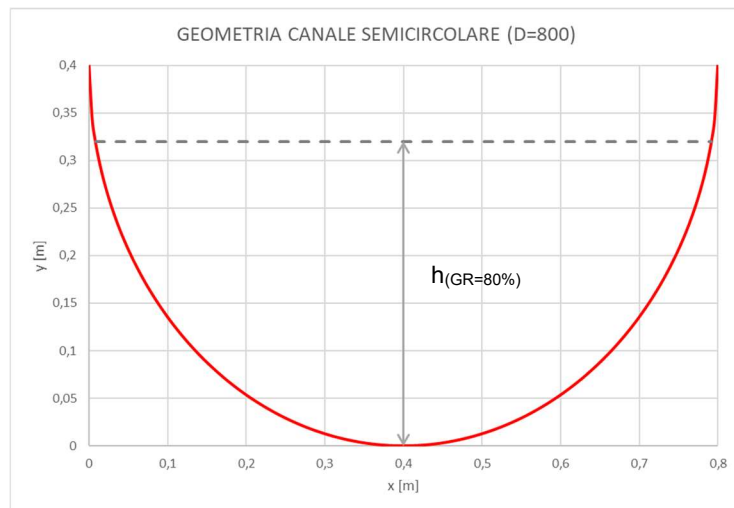


Figura 19 - Geometria canale D800 mm (in grigio indicazione del grado di riempimento massimo (GR=80%).

Nella figura seguente sono riportate le scale di deflusso, al variare della pendenza longitudinale, del canale semicircolare di diametro pari a 800 mm.

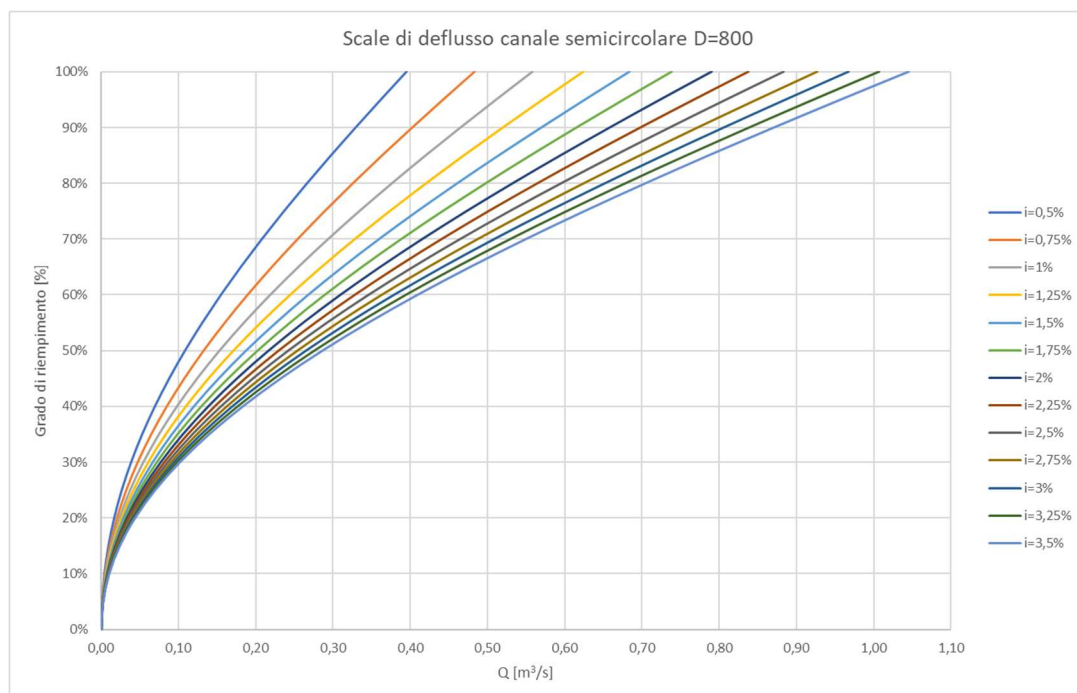


Figura 20 - Scale di deflusso canale semicircolare (D=800 mm) per diversi valori di pendenza longitudinale i .

La verifica idraulica delle dimensioni del canale semicircolare in progetto è stata condotta considerando uno dei canali semicircolari con sviluppo maggiore pari a circa 380 m. Sul canale insiste una larghezza di piattaforma stradale pari a 9.75 m. La superficie totale ricadente sul canale semicircolare è di circa 3705 m². La massima portata, calcolata con la formula razionale, che il canale semicircolare deve essere in grado di trasportare è pari a 0.172 m³/s. Entrando nei grafici di Figura 20 con questo valore di portata, si evince che il canale semicircolare, avente diametro interno

pari a 800 mm, è verificato idraulicamente per pendenze longitudinali maggiori o uguali a 0.5%.

4.4.6 Fosso trapezio al piede del rilevato

In rilevato le acque di piattaforma vengono scaricate per mezzo di canalette ad embrice in fossi in terra e rivestiti in calcestruzzo posizionati al piede del rilevato che trasportano le acque fino al recettore finale più prossimo.

I fossi in progetto hanno sezione trapezia con base minore $b=0.5$ m, altezza $h=0.5$ m e scarpa (H/V) 1/1.

Il sistema di raccolta e trasporto delle acque di piattaforma per mezzo di fossi rivestiti in calcestruzzo è stato, inoltre, adottato in alcune sezioni in trincea per continuità con la rete di drenaggio esistente.

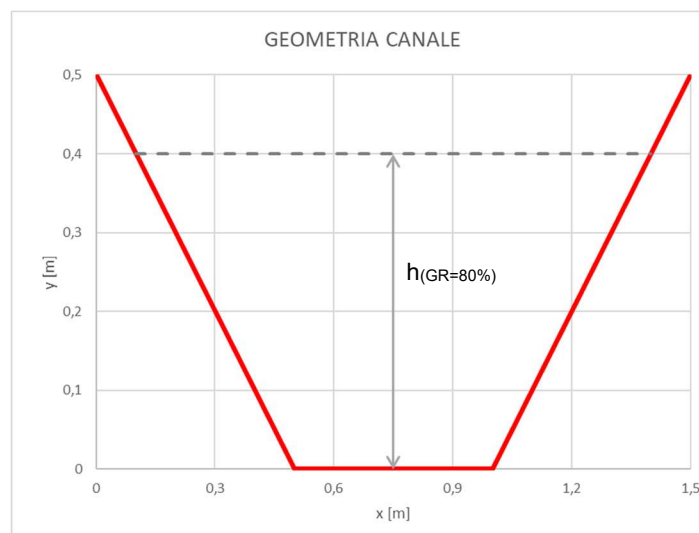


Figura 21 - Geometria canale trapezio (in grigio indicazione del grado di riempimento massimo (GR=80%)).

Fissati il coefficiente di scabrezza K_s e la geometria del canale trapezio è stato possibile, attraverso la formula di Gauckler-Strickler, costruire le scale di deflusso di moto uniforme del canale per diversi valori di pendenza longitudinale.

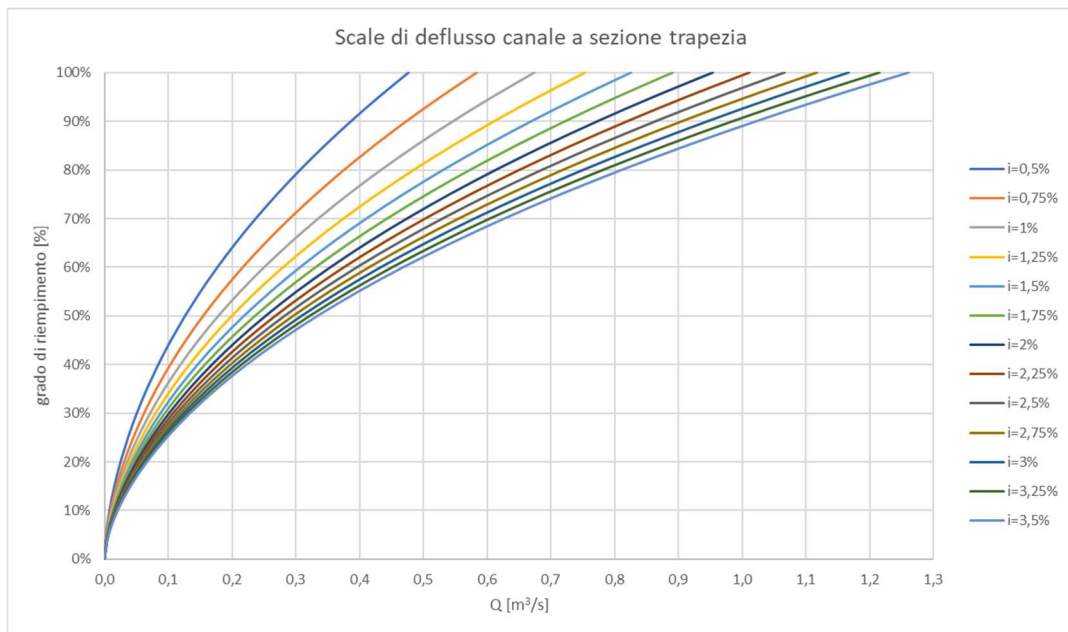


Figura 22 - Scale di deflusso canale trapezio in terra ($b=0.5\text{ m}$, $H=0.5\text{ m}$, scarpa 1/1, $K_s=33\text{ m}^{1/3}/\text{s}$) per diversi valori di pendenza longitudinale i .

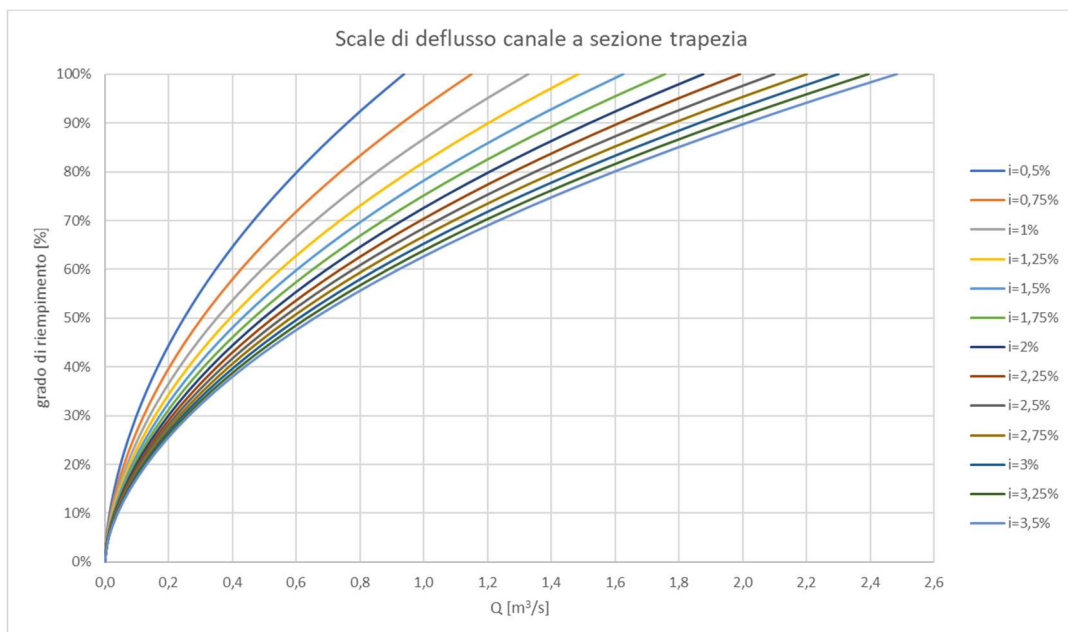


Figura 23 - Scale di deflusso canale trapezio rivestito in cls ($b=0.5\text{ m}$, $H=0.5\text{ m}$, scarpa 1/1, $K_s=65\text{ m}^{1/3}/\text{s}$) per diversi valori di pendenza longitudinale i .

La verifica della funzionalità idraulica del canale è soddisfatta se la massima portata che il canale deve raccogliere, calcolata con la formula razionale, risulta essere minore o uguale alla massima portata che è in grado di convogliare in condizioni di moto uniforme con un grado di riempimento massimo pari all'80%.

La verifica idraulica dei fossi trapezi è stata effettuata considerando un tempo di ritorno pari a 50 anni e una durata dell'evento meteorico di 10 min.

Come riportato in Tabella 3, l'intensità di pioggia relativa a una durata dell'evento meteorico di 10

min è pari a 175.58 mm/ora.

La verifica idraulica delle dimensioni del fosso in progetto è stata condotta considerando uno dei fossi al piede del rilevato con sviluppo maggiore pari a circa 550 m. Sul fosso insiste una larghezza di piattaforma stradale pari a 9.75 m per metà sviluppo del fosso e pari a 13.75 m per la restante metà e una larghezza di scarpata di circa 2 m. La superficie totale ricadente sul fosso è di circa 7521 m². La massima portata, calcolata con la formula razionale, che il fosso deve essere in grado di trasportare è pari a 0.319 m³/s. Entrando nei grafici di Figura 22 e Figura 23 con questo valore di portata, si evince che il fosso trapezoidale, avente base minore $b=0.5$ m, altezza $h=0.5$ m e scarpa (H/V) 1/1, è verificato idraulicamente per pendenze longitudinali maggiori o uguali a 0.5%, sia nel caso di fosso rivestito in calcestruzzo sia nel caso di fossi in terra.

4.4.7 Dispersione delle acque di piattaforma

In corrispondenza di svincoli e laddove non è presente un recettore finale nelle vicinanze, le acque di piattaforma vengono convogliate all'interno di fossi di guardia filtranti posizionati ai lati della carreggiata. La dispersione delle acque mediante fossi disperdenti viene, inoltre, adottata in spartitraffico quando non è presente un recettore finale e lo spazio disponibile in spartitraffico risulta sufficiente (p.e. svincolo di Costa Masnaga al km 35+700 circa).

I fossi disperdenti devono essere in grado di contenere la totalità delle acque raccolte dalla superficie stradale.

La portata infiltrata è stata determinata ipotizzando un moto di filtrazione bidimensionale e piano, considerando falda a profondità indefinita.

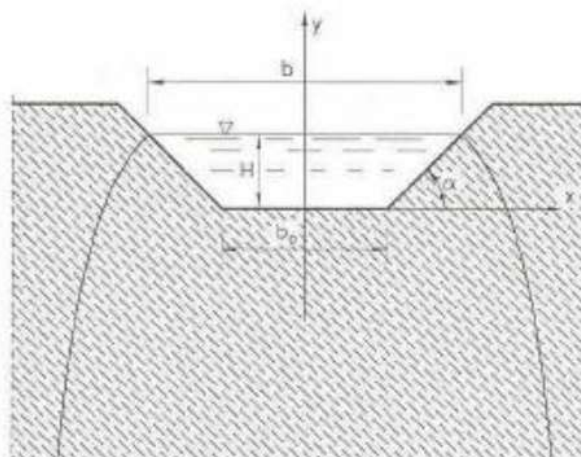


Figura 24 – Moto di filtrazione bidimensionale e piano.

La portata infiltrata è ricavata con la seguente relazione:

$$Q = K * H \left(\frac{b}{H} + C \right) L$$

dove:

- Q è la portata infiltrata (m^3/s);
- b è la base maggiore della sezione liquida (m);
- H è l'altezza della sezione liquida (m);
- L è la lunghezza del fosso disperdente (m);
- K è il coefficiente di permeabilità del terreno (m/s);
- C è un coefficiente che misura il contributo alla formazione della portata dovuta all'infiltrazione delle sponde.

Il coefficiente C è stato determinato attraverso la formula proposta da V. V. Vedernikow (1934):

$$C = a \left(\frac{b}{H} \right)^m$$

dove a e m sono dei coefficienti che dipendono dall'inclinazione delle sponde del fosso.

scarpa	a	m	b/H
1/1	1,584	0,375	2
3/2	1,332	0,38	3
2/1	1,009	0,448	4

Figura 25 - Valori di a e m al variare dell'inclinazione della sponda (l'ultima colonna indica il limite inferiore di b/H).

La portata infiltrata è funzione dell'altezza idrica all'interno del fosso, questa non assumerà un valore univoco ma variabile nel tempo.

L'altezza idrica $h(t)$ è a sua volta funzione della portata $Q_{in}(t)$ in arrivo al fosso all'istante temporale Δt , quindi della durata dell'evento meteorico, e dalla portata infiltrata $Q_{out}(t)$ all'istante temporale Δt . Il dimensionamento degli elementi disperdenti è stato sviluppato attraverso un procedimento iterativo che per ogni istante temporale calcola l'altezza idrica $h(t)$, la portata in ingresso $Q_{in}(t)$ e la portata infiltrata $Q_{out}(t)$.

L'idrogramma di piena è stato calcolato attraverso il metodo della corrivazione considerando un evento meteorico con diverse durate con un tempo di ritorno di 25 anni. Viene definito evento critico quello che provoca il riempimento maggiore del fosso disperdente.

La verifica idraulica del fosso disperdente è stata condotta assumendo un valore medio del coefficiente di permeabilità K , ricavato dalla relazione geologica, pari a $2,4 \cdot 10^{-6}$ m/s e un tempo di corrivazione t_c del bacino stradale di 5 min.

Considerando che il valore medio di permeabilità, dedotto dalla relazione geologica, deriva da prove effettuate a profondità maggiori di 6 m, sono stati simulati in via cautelativa eventi meteorici di durata 1 e 2 ore. Per le successive fasi di progettazione è opportuno effettuare delle prove di permeabilità

a profondità inferiori, al fine di accertare se questo valore basso di permeabilità risulti valido per i primi metri di terreno.

Di seguito viene riportata la verifica del fosso disperdenti posti in spartitraffico, con indicazione delle dimensioni, del massimo volume in ingresso $W_{i,max}$, del massimo volume invasato $W_{inv,max}$ e della massima altezza d'acqua per le durate di 1 e 2 ore.

Tabella 11 - Verifica idraulica dei fossi disperdenti in progetto per la raccolta e smaltimento in spartitraffico.

tratta di calcolo	scarpa	dimensioni	pendenza	Lunghezza [m]	Area afferente [m ²]	tempo di pioggia [ora]	$W_{i,max}$ [m ³]	$W_{inv,max}$ [m ³]	h_{max} [m]
		(base minore*altezza)							
da pk.35+405 a pk.35+600	3/2	2,5x0,5	orizzontale	199	2736,25	1	147,7	141,5	0,25
						2	183,8	171,15	0,29
da pk.35+630 a pk.35+760	3/2	2,5x0,5	orizzontale	130	1787,5	1	96,5	92,43	0,25
						2	120,1	111,81	0,29

Come si vede dalla tabella sopra riportata i fossi disperdenti in progetto sono in grado di contenere un volume di acqua derivante da eventi meteorici di 1 e 2 ore, garantendo un certo franco di sicurezza.

La raccolta e dispersione delle acque di piattaforma defluenti dalla carreggiata principale e dalle rampe di uscita/immissione in rilevato, avviene per mezzo di fossi disperdenti al piede dei rilevati. I fossi al piede del rilevato della carreggiata principale hanno dimensioni: base minore 0.8 m, base maggiore 2.4 m, altezza 0.8 m e scarpa 1/1.

I fossi al piede del rilevato delle rampe di immissione/uscita hanno dimensioni: base minore 0.5 m, base maggiore 1.5 m, altezza 0.5 m e scarpa 1/1.

Viene riportata in Tabella 12 la verifica idraulica di un fosso disperdente tipo, di lunghezza 100 m, posizionato al piede rilevato della carreggiata principale e di una rampa di uscita/immissione.

La verifica del fosso disperdente tipo al piede del rilevato della carreggiata principale è stata condotta considerando la larghezza massima della carreggiata pari a 13.75 e una larghezza di scarpata di 2.5 m.

La verifica del fosso disperdente tipo al piede del rilevato delle rampe di immissione/uscita è stata condotta considerando la larghezza della piattaforma pari a 6 m e una larghezza di scarpata di 2 m.

Tabella 12 - Verifica idraulica dei fossi disperdenti tipo al piede rilevato della carreggiata principale e delle rampe di uscita/immissione.

scarpa	dimensioni	pendenza	Lunghezza [m]	Area afferente [m ²]	tempo di pioggia [ora]	$W_{i,max}$ [m ³]	$W_{inv,max}$ [m ³]	h_{max} [m]
	(base minore*altezza)							
1/1	0,8x0,8	orizzontale	100	1625	1	79,2	77,1	0,56
					2	98,53	94,02	0,65
1/1	0,5x0,5	orizzontale	100	800	1	36,9	35,5	0,39
					2	45,95	42,9	0,45

Come si vede dalla tabella sopra riportata i fossi disperdenti in progetto sono in grado di contenere

un volume di acqua derivante da eventi meteorici di 1 e 2 ore, garantendo un certo franco di sicurezza.

5 INVARIANZA IDRAULICA

L'invarianza idraulica è oggetto del Regolamento Regionale n. 7 del 23/11/2017 “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)”. L'art. 3 “Interventi richiedenti le misure di invarianza idraulica” disciplina quali interventi siano tenuti al rispetto del principio dell'invarianza idraulica.

Il comma 3 dell'art. 3 disciplina gli interventi relativi alle infrastrutture stradali e autostradali, loro pertinenze e parcheggi ed evidenzia, al comma b), che sono esclusi dall'applicazione del presente regolamento “gli interventi di ammodernamento, definito ai sensi dell'articolo 2 del regolamento regionale 24 aprile 2006, n. 7 (Norme tecniche per la costruzione delle strade)”.

In considerazione che il citato R.R. n.7/2006 all'articolo 2 “Definizioni”, comma b) definisce “ammodernamento l'intervento infrastrutturale su assi stradali e/o aree di intersezione esistenti finalizzato principalmente alla messa in sicurezza degli assi e/o delle aree di intersezione e che non comporta sostanziali incrementi della capacità di deflusso veicolare” ed in considerazione che la tipologia di interventi previsti sulla viabilità rientra pienamente nella definizione sopra riportata, detti interventi non sono soggetti all'applicazione del R.R. n.7/2017 sul rispetto dell'invarianza idraulica.

