

Lavori di allargamento in tratti saltuari della S.S. n°38  
 dal Km 18+200 al Km 68+300

**PROGETTO DEFINITIVO**

COD.SIL NOMSMI01070

PROGETTISTA



I PROGETTISTI:

*Dott. Ing. Andrea Polli*  
*Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma n.19540*

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.:

IL GEOLOGO:

*Dott. Geol. Giampiero Carrieri*  
*Ordine dei Geologi del Piemonte n.274*

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

*Dott. Geol. Giampiero Carrieri*  
*Ordine dei Geologi del Piemonte n.274*

VISTO:

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

PROTOCOLLO

—

DATA

**IDROLOGIA e IDRAULICA**  
 Relazione Idraulica

CODICE PROGETTO			NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00ID00IDTRE01_A.dwg			
-	MSMI09	D 2101	CODICE ELAB. T00ID00IDRRE01		A	—
<b>A</b>	<i>Emissione Progetto Definitivo</i>		<i>Dicembre 2022</i>	<i>E. Eila</i>	<i>M. Del Fedele</i>	<i>A. Polli</i>
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

# INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>ANALISI IDROLOGICA</b> .....	<b>4</b>
3.1	Piogge orarie .....	4
3.2	Piogge di durata inferiore all'ora.....	5
<b>4</b>	<b>IDRAULICA DI PIATTAFORMA</b> .....	<b>7</b>
4.1	Descrizione degli interventi .....	7
4.1.1	<i>TRATTA 1: dal Km 20+589 al Km 23+218 per uno sviluppo di circa 2.630 m.....</i>	<i>7</i>
4.1.2	<i>TRATTA 2: dal Km 25+040 al km 27+270 per una lunghezza di 2.230 m. ....</i>	<i>8</i>
4.1.3	<i>TRATTA 3: dal Km 55+201 al Km 56+420 per uno sviluppo di 1.219m. ....</i>	<i>8</i>
4.1.4	<i>TRATTA 4: dal Km 57+984 e il Km 58+524 per uno sviluppo di 540 m .....</i>	<i>9</i>
4.2	Portate di progetto della rete di drenaggio della piattaforma stradale .....	9
4.3	Calcolo dell'altezza del velo liquido della piattaforma stradale .....	10
4.4	Verifica rete di drenaggio della piattaforma stradale.....	11
4.4.1	<i>Calcolo interasse embrici .....</i>	<i>11</i>
4.4.2	<i>Dispersione delle acque di piattaforma.....</i>	<i>13</i>
<b>5</b>	<b>INVARIANZA IDRAULICA</b> .....	<b>16</b>

## 1 INTRODUZIONE

La presente Relazione idrologica-idraulica è parte del Progetto Definitivo (PD) di adeguamento della sezione stradale esistente alla sezione C1 delle seguenti tratte della SS38 (Figura 1):

- Tratta T1 - km 20+590 – 23+220 L = 2.630 m
- Tratta T2 - km 25+040 – 27+280 L = 2.240 m
- Tratta T3 - km 55+224 – 56+447 L = 1.223 m
- Tratta T4 - km 57+984 – 58+515 L = 531 m

Per uno sviluppo totale di 6.624 m dei quattro interventi.



Figura 1: Posizione delle 4 tratte di SS38 interessate dagli interventi in progetto (immagine da Google Maps)

## **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](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;
- $\alpha$ ,  $k$  e  $\varepsilon$ : parametri distribuzione GEV.

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

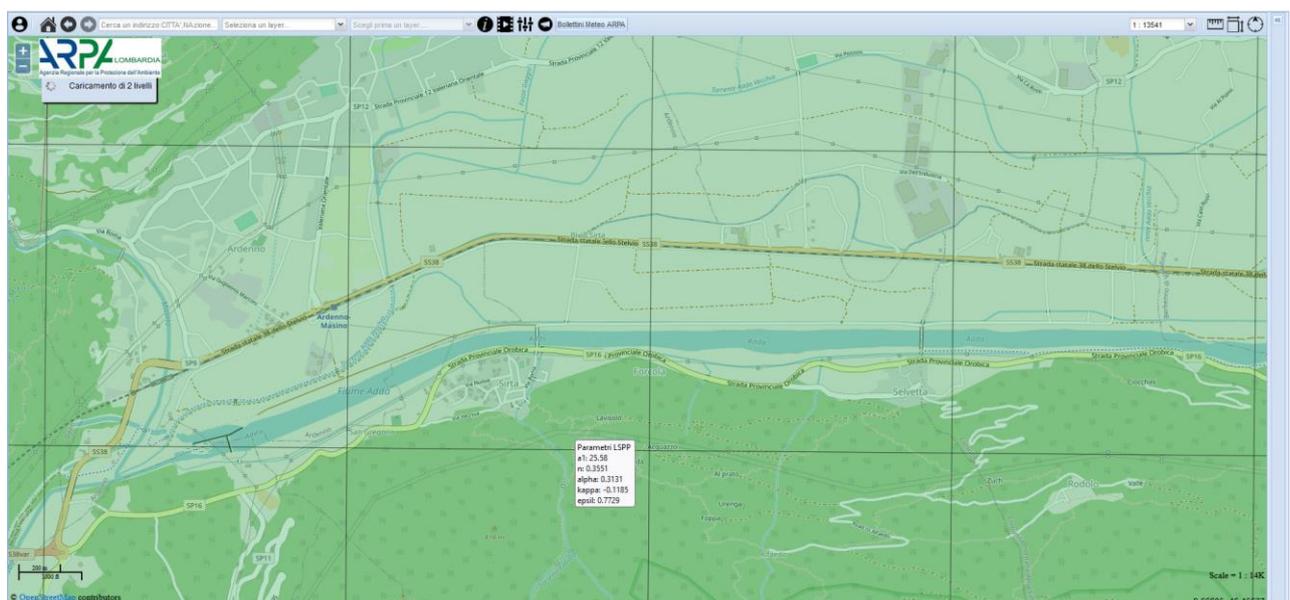


Figura 2: Parametri della Linea segnalatrice di probabilità pluviometrica LSPP (Andenno – Inizio Tratta 1).

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; sulla base dei parametri 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

	Tratta 1		Tratta 2		Tratta 3		Tratta 4	
	Andenno	Forcola	Berberno di Valtellina 01	Berberno di Valtellina 02	Teglio 06	Teglio 07 Bianzone 01	Bianzone 02	Bianzone 03
$a_i$	25,58	24,99	24,85	24,83	21,38	22,13	21,87	21,91
$n$	0,3551	0,3619	0,3600	0,3590	0,3934	0,3767	0,3804	0,3771
$\alpha$	0,3131	0,3117	0,3106	0,3091	0,2976	0,2954	0,2948	0,2930
$k$	-0,1185	-0,1244	-0,1287	-0,1265	-0,1341	-0,1278	-0,1336	-0,1310
$\varepsilon$	0,7729	0,7717	0,7694	0,7722	0,7773	0,7810	0,7793	0,7821
$w_T$	1,9906	1,9962	1,9985	1,9908	1,9659	1,9482	1,9557	1,9462

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

	Tratta 1		Tratta 2		Tratta 3		Tratta 4	
	Andenno	Forcola	Berberno di Valtellina 01	Berberno di Valtellina 02	Teglio 06	Teglio 07 Bianzone 01	Bianzone 02	Bianzone 03
$a_i$	25,58	24,99	24,85	24,83	21,38	22,13	21,87	21,91
$n$	0,3551	0,3619	0,3600	0,3590	0,3934	0,3767	0,3804	0,3771
$\alpha$	0,3131	0,3117	0,3106	0,3091	0,2976	0,2954	0,2948	0,2930
$k$	-0,1185	-0,1244	-0,1287	-0,1265	-0,1341	-0,1278	-0,1336	-0,1310
$\varepsilon$	0,7729	0,7717	0,7694	0,7722	0,7773	0,7810	0,7793	0,7821
$w_T$	2,3261	2,3373	2,3437	2,3316	2,3030	2,2754	2,2891	2,2744

D [h]	Altezza di precipitazione h [mm]							
1	50,9	49,9	49,7	49,4	42,0	43,1	42,8	42,6
2	65,1	64,1	63,7	63,4	55,2	56,0	55,7	55,4
3	75,2	74,2	73,8	73,3	64,8	65,2	65,0	64,5
6	96,2	95,4	94,7	94,1	85,1	84,7	84,6	83,8
12	123,1	122,6	121,5	120,6	111,7	109,9	110,1	108,8
18	142,1	142,0	140,6	139,5	131,0	128,1	128,4	126,8
24	157,4	157,6	155,9	154,7	146,7	142,7	143,3	141,4

D [h]	Altezza di precipitazione h [mm]							
1	59,5	58,4	58,2	57,9	49,2	50,4	50,1	49,8
2	76,1	75,1	74,7	74,3	64,7	65,4	65,2	64,7
3	87,9	86,9	86,5	85,9	75,9	76,2	76,0	75,4
6	112,4	111,7	111,0	110,2	99,6	98,9	99,0	97,9
12	143,8	143,6	142,5	141,3	130,9	128,4	128,8	127,2
18	166,1	166,2	164,9	163,4	153,5	149,6	150,3	148,2
24	183,9	184,5	182,9	181,2	171,9	166,7	167,7	165,2

### 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  $\tau$  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  $Tr$ ;
- $\tau$  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	15,7	23,4	28,7	32,7	36,0	38,9	45,8	51,1	187,9	140,6	114,6	98,1	86,5	77,8	61,0	51,1
50	18,3	27,4	33,5	38,2	42,1	45,4	53,5	59,7	219,6	164,3	133,9	114,6	101,0	90,9	71,3	59,7

## 4 IDRAULICA DI PIATTAFORMA

La strada è caratterizzata da una singola carreggiata a una corsia per senso di marcia con banchine laterali e centrali (sezione tipo C); in ampi tratti, la strada corre in affiancamento alla linea ferroviaria Milano – Tirano.

La rete di drenaggio tratta le acque di scolo dalle superfici asfaltate e, laddove possibile, è collegata agli elementi della rete esistente quali cunette e fossi di guardia.

Nello specifico si prevede principalmente il ripristino della corretta sezione idraulica dei fossi di guardia esistenti.

### 4.1 Descrizione degli interventi

La Figura 3 mostra le due tipologie di adeguamento (allargamento):

1. allargamento dell'attuale sede stradale per ottenere la nuova banchina (Tipo A – allargamento di 2,3 m);
2. allargamento dell'attuale sede stradale per ottenere banchina e corsia di viabilità secondaria (Tipo B – allargamento di 7,6 m).

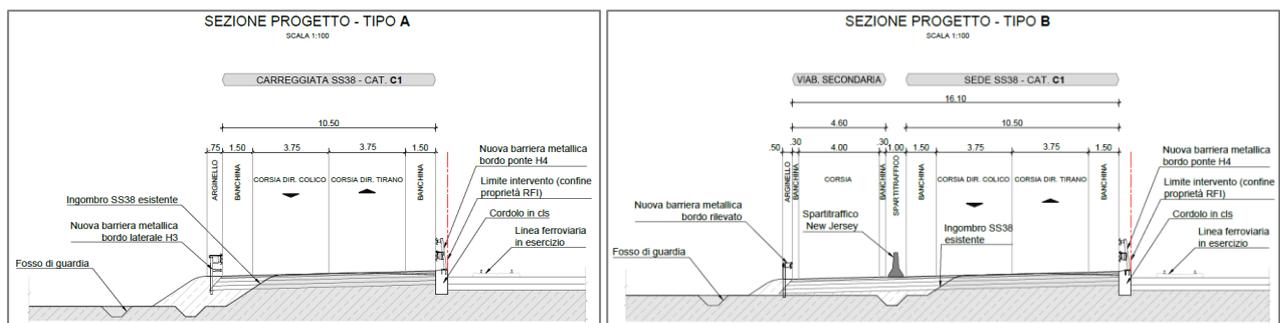


Figura 3: Tipologia di adeguamento alla sezione stradale tipo C1 previste in progetto.

Nella tratta T2 è previsto, il prolungamento del ritombamento del canale che corre in fregio alla statale lato nord, già parzialmente intubato in corrispondenza degli accessi esistenti.

Nella tratta T4 è inoltre previsto il prolungamento di un ponte per lo scavalco di un torrente.

#### 4.1.1 TRATTA 1: dal Km 20+589 al Km 23+218 per uno sviluppo di circa 2.630 m

In questa tratta è previsto l'inserimento di una nuova intersezione con corsie di accumulo per la svolta a sinistra al Km 21+430 al fine di dare continuità alla nuova viabilità prevista dal progetto RFI volta alla chiusura del passaggio a livello esistente (oggetto di altra progettazione).

Le intersezioni esistenti (al Km 22+250, 22+700 e 23+100) verranno adeguate in termini di larghezza e lunghezza delle corsie specializzate in accordo al D.M. 19.04.2006 e a quanto prescritto nelle "Linee Guida nelle Zone di Intersezione" della regione Lombardia.

Allo scopo di chiudere gli accessi diretti sulla SS38 sono previste tre viabilità locali lungo la tratta in esame, in particolare: dal Km 20+850 al Km 21+430 verrà ripristinata una strada bianca a raso a tergo del riposizionamento del canale a servizio dei mezzi agricoli per l'accesso ai campi; al Km 21+600 è prevista una strada complanare a servizio dei due accessi privati separata da opportuni

sistemi di ritenuta e collegata alla viabilità in progetto da RFI; dal Km 21+700 al Km 22+250 si prevede la realizzazione di una strada pavimentata di tipo F2 secondo il DM 5.11.2001 al fine di consentire l'accesso ai campi agricoli e collegare la viabilità ciclo-pedonale a quanto previsto dal progetto RFI.

Infine, dal Km 22+500 al Km 22+700 è prevista una strada pavimentata di tipo F2 a servizio dell'attività commerciale presente al Km 22+550 consentendo anche l'accesso ai campi agricoli. L'accesso diretto di via Piani verrà chiuso con opportuni sistemi mobili al fine di garantire un accesso solo in casi di emergenza.

Dal punto di vista idraulico è previsto lo spostamento ed il ripristino dei fossi drenanti esistenti.

#### **4.1.2 TRATTA 2: dal Km 25+040 al km 27+270 per una lunghezza di 2.230 m.**

In questa tratta è previsto l'inserimento di una nuova intersezione con corsie di accumulo per la svolta a sinistra al Km 25+500 e una nuova rotatoria (50 m diametro esterno) al Km 27+700 circa. La prima intersezione permette di chiudere una serie di accessi ai campi e alle abitazioni private garantendo l'accessibilità tramite la viabilità interna in parte esistente in parte nuova.

La viabilità interna metterà in collegamento gli accessi ai campi agricoli e alle abitazioni poste intorno al Km 26+000m. Un ulteriore collegamento per l'accesso ai capi sarà previsto tramite una strada bianca tra il Km 25+050 e il Km 26+430. La nuova rotatoria collegherà la SS38 alla strada SP 12 (via Valeriana) tramite una seconda rotatoria (40m diametro esterno).

Tale connessione permetterà di diminuire il traffico all'interno dell'intersezione esistente al Km 27+260 dove verrà imposto il divieto della svolta a sinistra sia in direzione Tirano che in direzione della SP12. Ulteriori strade locali ad est ed ovest della rotatoria permetteranno la chiusura di accessi diretti alla SS38.

Dal punto di vista idraulico, la tratta è caratterizzata dal prolungamento del ritombamento del canale esistente un fregio alla strada lato Nord con il mantenimento della sezione idraulica già prevista in corrispondenza degli accessi esistenti.

Le acque di piattaforma della strada statale saranno scaricate principalmente all'interno del canale esistente mentre quelle delle nuove viabilità di accesso saranno convogliate sia nel canale che all'interno di fossi drenanti.

#### **4.1.3 TRATTA 3: dal Km 55+201 al Km 56+420 per uno sviluppo di 1.219m.**

Anche in questa tratta l'obiettivo è quello di eliminare, per quanto possibile, gli accessi diretti sulla SS38 riducendo le pericolose svolte a sinistra attualmente effettuate senza le opportune corsie specializzate.

Per questo motivo è stata inserita una nuova intersezione con corsie di accumulo per la svolta al Km 55+640, garantendo l'accessibilità ai campi agricoli e alle abitazioni private attraverso delle strade locali, separate dalla carreggiata principale da opportuni sistemi di protezione.

Per poter garantire l'allargamento della carreggiata e la viabilità locale si prevede di allargare la struttura di un ponte esistente (Km 55+900) che oltrepassa un canale regimentato. Per lo stesso

motivo è previsto l'esproprio e la demolizione di un edificio posto in prossimità della carreggiata stradale al km 56+190.

Dal punto di vista idraulico è previsto lo spostamento ed il ripristino dei fossi drenanti esistenti.

#### **4.1.4 TRATTA 4: dal Km 57+984 e il Km 58+524 per uno sviluppo di 540 m**

Tale intervento termina in corrispondenza del progetto previsto per la variante di Tirano in prossimità della futura una rotonda.

Questa tratta si allontana dalla linea ferroviaria, pertanto, considerata anche la presenza di un canale interrato lungo la corsia in direzione Sondrio, l'allargamento sarà previsto lungo la corsia in direzione nord (direzione Tirano). Considerata l'esigua presenza di accessi diretti sulla SS38 non sono previsti variazioni e chiusure di accessi se non il divieto di svolta a sinistra.

Dal punto di vista idraulico è previsto lo spostamento ed il ripristino dei fossi drenanti esistenti.

### **4.2 Portate di progetto della rete di drenaggio della piattaforma stradale**

Le portate defluenti sulla piattaforma stradale sono state determinate attraverso l'applicazione di un modello afflussi netti-deflussi. Tale metodo ammette due parametri fondamentali ossia: il coefficiente di deflusso  $\varphi$  (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 invarianti. 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, è stato adottato un valore di coefficiente di deflusso pari  $\varphi = 0,95$  tipico delle superfici pressoché impermeabili quale quella stradale;

Viste le ridotte dimensioni delle superfici scolanti e per mantenere un adeguato margine di sicurezza è stato adottato 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 nel capitolo 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 ( $m^3/s$ );
- $\varphi$  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 187,9 *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 4,31 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 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 9,5 l/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 m<sup>2</sup>. La massima portata raccolta in banchina è pari a 6,8 l/s e quindi risulterebbero necessari 0,7 embrici: ne consegue 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 m<sup>2</sup> e la massima portata raccolta in banchina è pari a 8,2 l/s. Risulterebbero necessari 0,86 embrici: ne consegue 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 m<sup>2</sup> e la massima portata raccolta in banchina è pari a 5,9 l/s. Risulterebbero necessari 0,62 embrici: ne consegue che l'interasse di progetto scelto garantisce, anche in questo caso, margini di sicurezza.

#### 4.4.2 Dispersione delle acque di piattaforma

In analogia alla condizione attuale, anche in considerazione dell'assenza di recettori, le acque di piattaforma vengono convogliate all'interno di fossi di guardia filtranti posizionati ai lati della carreggiata.

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.

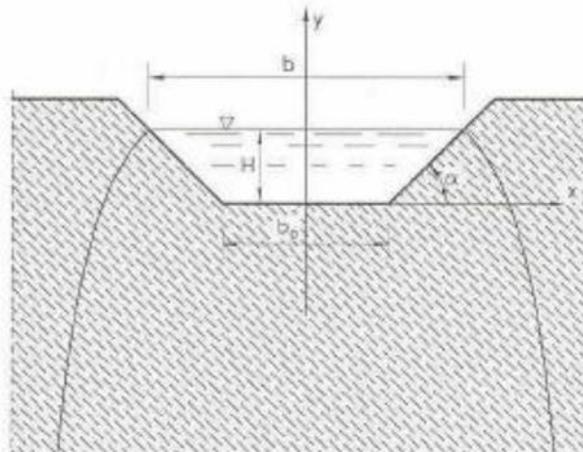


Figura 4 – Moto di filtrazione bidimensionale e piano.

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.

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

Figura 5 - 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  $\Delta t$ , quindi della durata dell'evento meteorico, e dalla portata infiltrata  $Q_{out}(t)$  all'istante temporale  $\Delta t$ . 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  $K$  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.

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 4 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 4 - Verifica idraulica dei fossi disperdenti tipo al piede rilevato della carreggiata principale e delle rampe di uscita/immissione.

scarpa	dimensioni	pendenza	Lunghezza	Area afferente	tempo di pioggia	$W_{in,max}$	$W_{inv,max}$	$h_{max}$
	(base minore*altezza)		[m]	[m <sup>2</sup> ]	[ora]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m]
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), ad eccezione della realizzazione di nuove rotonde di diametro esterno superiore ai 50 metri su strade diverse da quelle di tipo "E – strada urbana di quartiere", "F – strada locale" e "F-bis – itinerario ciclopedonale", così classificate ai sensi dell'articolo 2 del decreto legislativo 30 aprile 1992, n. 285 (Nuovo codice della strada)" (rif. "Testo coordinato del r.r. 23 novembre 2017, n. 7" pubblicato sul Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia, Serie Ordinaria n. 51 – Sabato 21 dicembre 2019)

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"
- la tipologia di interventi previsti sulla viabilità relativi agli allargamenti rientra pienamente nella definizione sopra riportata
- che le rotonde previste nella Tratta n. 2 hanno diametro non superiore a 50 m di raggio;

si ritiene che detti interventi non siano soggetti all'applicazione del R.R. n.7/2017 sul rispetto dell'invarianza idraulica.