



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



MIT  
MINISTERO  
DELLE INFRASTRUTTURE  
E DEI TRASPORTI



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



RegioneLombardia  
Direzione Generale Infrastrutture e Opere Pubbliche



CODICE  
COMMESSA

LIVELLO  
PROGETTAZIONE

D.P.R.  
207/10

PROGRESSIVO  
ELABORATO

CATEGORIA  
OPERA

NUMERO  
OPERA

REVISIONE

SCALA

B 3 5

D

b

0 0 9

I D

0 1

R 0

===

IMPIANTO DI PRODUZIONE, STOCCAGGIO E DISTRIBUZIONE IDROGENO  
ADEGUAMENTO IMPIANTO FERROVIARIO DI EDOLO  
Progetto Definitivo

Binari adibiti al rifornimento di idrogeno  
Stazione di Edolo  
Relazione idraulica

Revisioni		Data	Descrizione	Redatto	Controllato
	3		-		
	2		-		
	1		-		
	0	Giu. 2024	PRIMA EMISSIONE	D.Magni	R.Pantalena

FERROVIENORD

APPALTATORE

Progettista



REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	DATA
D.Magni	R.Pantalena	A.Fava	Giu. 2024
CODICE ARCHIVIO COLLABORATORE			AGG.

## SOMMARIO

<b>1. Premessa.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Normativa di riferimento .....</b>	<b>2</b>
<b>3. Invarianza idraulica.....</b>	<b>2</b>
<b>4. Analisi idrologica .....</b>	<b>4</b>
<b>5. Il sistema di drenaggio .....</b>	<b>7</b>
5.1. Modalità di smaltimento .....	7
5.2. Metodologia di calcolo .....	7
5.2.1. <i>Calcolo delle portate</i> .....	7
5.2.2. <i>Il tempo di corrivazione</i> .....	8
5.2.3. <i>Il coefficiente di deflusso</i> .....	8
5.3. Dimensionamento dei collettori e delle canalette.....	9
5.4. Dimensionamento dei sistemi a dispersione .....	10
5.4.1. <i>Requisiti minimi</i> .....	10
5.4.2. <i>Metodo analitico di dettaglio</i> .....	11
5.4.3. <i>Permeabilità del Terreno e Livello di Falda</i> .....	11
5.4.4. <i>Trincee drenanti in ghiaia</i> .....	12

## **1. PREMESSA**

La presente relazione descrive le reti di smaltimento delle acque meteoriche di linea e di banchina da prevedersi nell'ambito della prima fase funzionale relativa al progetto definitivo dell'impianto di produzione, stoccaggio e distribuzione idrogeno e dell'adeguamento dell'impianto ferroviario di Edolo. Gli interventi previsti in progetto sono quelli relativi all'adeguamento dell'attuale impianto di Edolo, realizzando le opere necessarie affinché si seguano anche gli standard per l'interoperabilità delle linee.

## **2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

La progettazione è conforme alle normative vigenti nonché alle istruzioni dell'Ente FNM. L'appaltatore è comunque tenuto all'osservanza di tutte le norme, nazionali ed internazionali, applicabili ed in vigore al momento della realizzazione, tra cui:

### Normativa Nazionale

- D. Lgs 16 gennaio 2008 n.4: Ulteriori disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale.
- D.Lgs. 152/2006: Norme in materia ambientale e relativi allegati
- Decreto Ministeriale 12/12/1985 "Norme tecniche relative alle tubazioni".
- Circolare Ministeriale LL.PP.: 12/12/1985, n. 27291 "Istruzioni relative alla normativa per le tubazioni".

### Normativa Regione Lombardia, Regole Tecniche e Prescrizioni Tecniche

- R.R. 7 del 23 novembre 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 e successive modifiche (l.r 26 novembre 2019, n. 18, entrata in vigore il 11 dicembre 2019)
- L.R. 15 marzo 2016 n.4: Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d'acqua.
- L.R. 11 marzo 2005 n.12: Legge per il governo del territorio.
- L.R. 22 febbraio 2010: Norme per il governo delle acque, la difesa del suolo e la prevenzione dei rischi geologici, idrogeologici e sismici, che introduce modifiche alla L.R. 11 marzo 2005, n. 12, ed alla L.R. 5 gennaio 2000, n.1.

## **3. INVARIANZA IDRAULICA**

Il Regolamento regionale 23 novembre 2017 – n.7, e successivi aggiornamenti, definisce i criteri per il rispetto del principio di invarianza idraulica e idrologica delle acque meteoriche al fine di ridurre l'impatto degli scarichi provenienti dalle aree impermeabilizzate relative a nuovi interventi edilizi e ristrutturazioni/ricostruzioni di aree esistenti.

Il suddetto Regolamento Regionale, 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) riporta nell' Art.5 i sistemi di controllo e gestione delle acque pluviali:

1. Il controllo e la gestione delle acque pluviali vengono effettuati, ove possibile, mediante sistemi che garantiscono l'infiltrazione, l'evapotraspirazione e il riuso.
2. La realizzazione di uno scarico delle acque pluviali in un ricettore è dovuta in caso di capacità di infiltrazione dei suoli inferiore rispetto all'intensità delle piogge più intense. Il medesimo scarico deve avvenire a valle di invasi di laminazione dimensionati per rispettare le portate massime ammissibili di cui all'articolo 8.
3. Lo smaltimento dei volumi invasati deve avvenire secondo il seguente ordine decrescente di priorità:
  - a) mediante il riuso dei volumi stoccati, in funzione dei vincoli di qualità e delle effettive possibilità, quali innaffiamento di giardini, acque grigie e lavaggio di pavimentazioni e auto;
  - b) mediante infiltrazione nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo, compatibilmente con le caratteristiche pedologiche del suolo e idrogeologiche del sottosuolo, con le normative ambientali e sanitarie e con le pertinenti indicazioni contenute nella componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio (PGT) comunale;
  - c) scarico in corpo idrico superficiale naturale o artificiale, con i limiti di portata di cui all'articolo 8 (in particolare per il territorio di Segrate ad alta criticità idraulica il limite di scarico è di 10 l/s per ettaro impermeabile);
  - d) scarico in fognatura, con i limiti di portata di cui all'articolo 8 (in particolare per il territorio di Segrate ad alta criticità idraulica il limite di scarico è di 10 l/s per ettaro impermeabile).

Il Regolamento prevede un tempo di ritorno di 50 anni per la progettazione delle opere di invarianza idraulica e di 100 anni per la verifica dei franchi di sicurezza, dimostrando la necessità di avere margini di sicurezza relativi a possibili allagamenti rispetto agli eventi meteorici estremi che si verificano con crescente frequenza.

L'intervento di progetto prevede l'applicazione del nuovo regolamento di invarianza, mediante la predisposizione di volumi adibiti alla laminazione ed infiltrazione negli strati superficiali del sottosuolo.

In base alla sistemazione superficiale prevista in progetto, le superfici interessate dall'intervento possono essere classificate come permeabili, semi-impermeabili o impermeabili.

A ciascuna delle tre categorie viene assegnato un coefficiente di deflusso, come di seguito riportato:

- pari a 1 per le superfici impermeabili, ovvero tetti, coperture e pavimentazioni continue di strade, parcheggi, vialetti;
- pari a 0.7 per le superfici semi-permeabili, ovvero tetti verdi, giardini pensili, aree verdi sovrapposte a solette, pavimentazioni discontinue drenanti o semipermeabili di strade, vialetti, parcheggi
- pari a 0.3 per le superfici permeabili di qualsiasi tipo, aree verdi, escludendo le aree incolte e di uso agricolo.

Per la stima della superficie scolante impermeabile interessata dall'intervento (area totale efficace), viene determinato il coefficiente di deflusso medio ponderale,

A partire dai coefficienti di deflusso di ogni categoria di superficie, in relazione all'estensione delle stesse (area effettiva), è possibile determinare il coefficiente di deflusso medio ponderale dell'area e la superficie scolante efficace relativa all'intero comparto. In funzione di tali valori è possibile definire la classe di intervento e le relative modalità di calcolo dei volumi di laminazione/infiltrazione, secondo quanto definito nella Tabella 1 del Regolamento regionale 23 novembre 2017 – n.7, di seguito riportata.

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

Tabella 3-1: Regolamento regionale 23 novembre 2017 – n.7 (Tabella 1)

All'interno del comparto, come schematicamente sintetizzato nella tabella seguente, gli interventi in progetto nel loro complesso portano all'impermeabilizzazione effettiva di circa 0.21 ha, con coefficiente medio ponderale (art 11 comma 2 d)) pari a 0.6.

Tipologia di superficie	coeff. deflusso $\phi$	Area efficace [m <sup>2</sup> ]	Area effettiva [m <sup>2</sup> ]
PERM	0.3	1440	4800
SEMI -PERM	0.7	0	0
IMP	1	700	700
	Area totale [m <sup>2</sup> ]	2140	5500
	Area totale [ha]	0.21	
coefficiente deflusso medio ponderale	0.65	art 11 comma 2 d)	

Tabella 3-2: Calcolo delle aree e del coefficiente di deflusso medio ponderale

L'intervento nel suo complesso si classifica come "Impermeabilizzazione potenziale media", pertanto per il calcolo dei volumi di laminazione/infiltrazione potrebbe essere utilizzata una procedura semplificata (metodo delle sole piogge).

Tuttavia, il dimensionamento delle opere è stato effettuato, a maggior grado di sicurezza, utilizzando una procedura dettagliata. Tale metodo prevede di calcolare in modo analitico, minuto per minuto, la curva delle portate entranti nel volume di accumulo, l'altezza idrica di invaso e la contestuale portata uscente, per un evento meteorico di fissata durata e tempo di ritorno.

#### 4. ANALISI IDROLOGICA

La valutazione delle portate che la rete di drenaggio deve essere in grado di convogliare e smaltire è stata effettuata con opportuni metodi di trasformazione afflussi-deflussi, che consentono di associare ad una determinata grandezza idrologica un'assegnata probabilità di accadimento a partire da eventi pluviometrici caratterizzati dalla medesima probabilità.

Volendo determinare le portate che comportano la crisi del sistema di drenaggio occorre fare riferimento agli eventi pluviometrici di breve durata e forte intensità. Per definire le altezze di precipitazione corrispondenti a tali eventi pluviometrici vengono utilizzate le curve di possibilità pluviometrica (CPP), elaborate a partire dalle registrazioni di altezza di pioggia effettuate nelle stazioni pluviometriche.

Indicando con  $h$  l'altezza di precipitazione in mm, la tecnica idrologica abituale fornisce, per le curve di possibilità pluviometrica, la seguente relazione:

$$h = a \cdot t^{n(T)}$$

dove:  $t$  = durata della pioggia [h];  $a, n$  = parametri delle CPP che esprimono la dipendenza dal tempo di ritorno  $T$ ;  $T$  = numero di anni in cui l'altezza di pioggia calcolata viene mediamente raggiunta o superata una sola volta.

Per quanto riguarda i tempi di ritorno l'Art. 11 del Regolamento regionale 23 novembre 2017 – n.7 specifica di adottare  $T_r = 50$  anni per il dimensionamento e  $T_r = 100$  anni per la verifica delle opere di invarianza idraulica e idrologica.

In accordo con l'articolo 11 comma 2 del Regolamento regionale n.7 del 23 novembre 2017 al fine di valutare la sollecitazione pluviometrica sull'area oggetto dell'intervento, sono stati considerati i dati della curva di possibilità pluviometrica per eventi intensi con durata maggiore uguale a un'ora, resi disponibili da Arpa Lombardia. In particolare, si sono utilizzati i dati della cella evidenziata nella Figura 4-1.

Nella Figura 4-2 sono riportate le curve di possibilità pluviometrica per  $T_r$  da 2 a 200 anni per l'area in studio, da cui sono stati ricavati per interpolazione i parametri " $a$ " ed " $n$ ", per durate di pioggia superiori all'ora per i  $T_r$  pari a 50 anni e 100 anni.

In accordo con il manuale di progettazione Rfi, al quale ci si è ispirati, il dimensionamento delle opere di drenaggio di linea è stato effettuato considerando un periodo di ritorno di 100 anni, i valori così ottenuti risultano essere maggiormente cautelativi rispetto a quanto richiesto dal RR citato.

In accordo con il Regolamento Regionale per le durate inferiori all'ora si possono utilizzare tutti i parametri indicati da ARPA tranne il parametro  $n$  per il quale si indica il valore  $n = 0,5$  in aderenza agli standard suggeriti dalla letteratura tecnica idrologica.

I valori assunti per le successive elaborazioni sono quindi riassunti nella tabella sottostante.

*Tabella 4-1: Parametri delle curve di possibilità pluviometrica per  $T_r$  50 e 100 anni.*

	<b>Tr 50 anni</b>		<b>Tr 100 anni</b>	
	<b>a</b>	<b>n</b>	<b>a</b>	<b>n</b>
<b><math>h &lt; 1</math> h</b>	51.469	0.5	51.71	0.5
<b><math>h \geq 1</math> h</b>	51.469	0.4161	51.71	0.4161

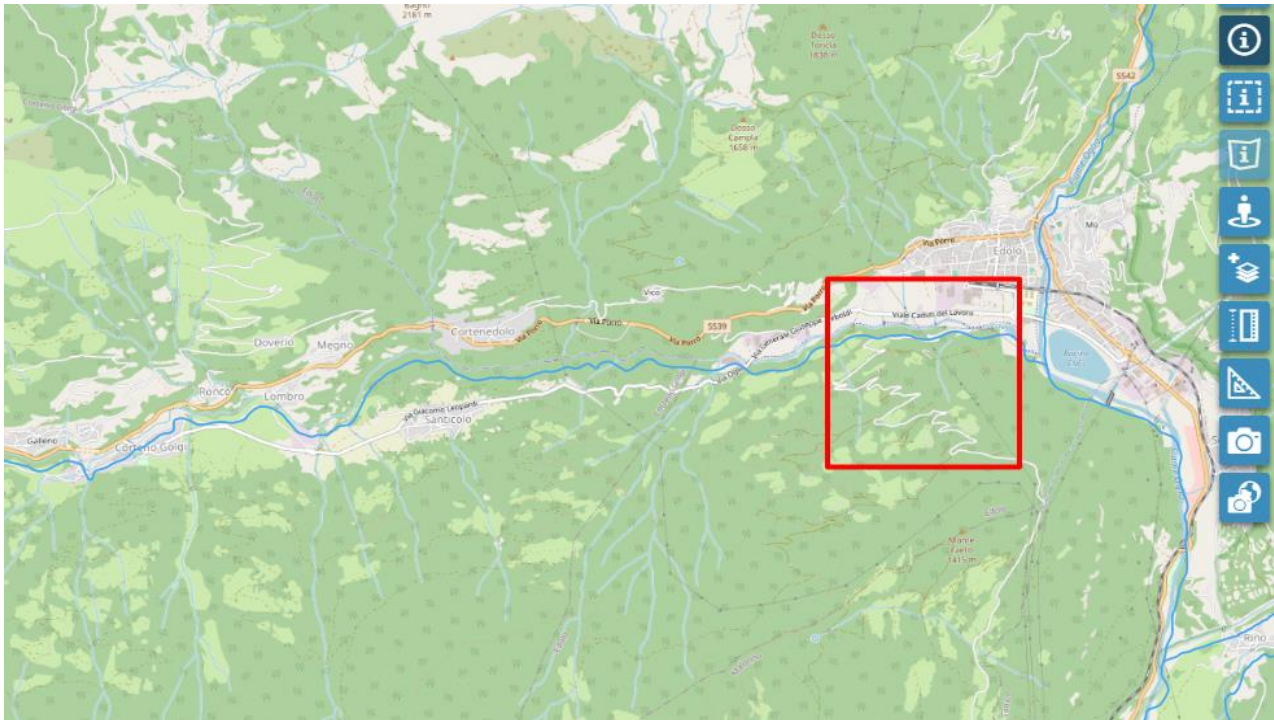


Figura 4-1: Ubicazione della cella con curve di possibilità pluviometrica (da GeoPortale di Arpa Lombardia)

### Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica

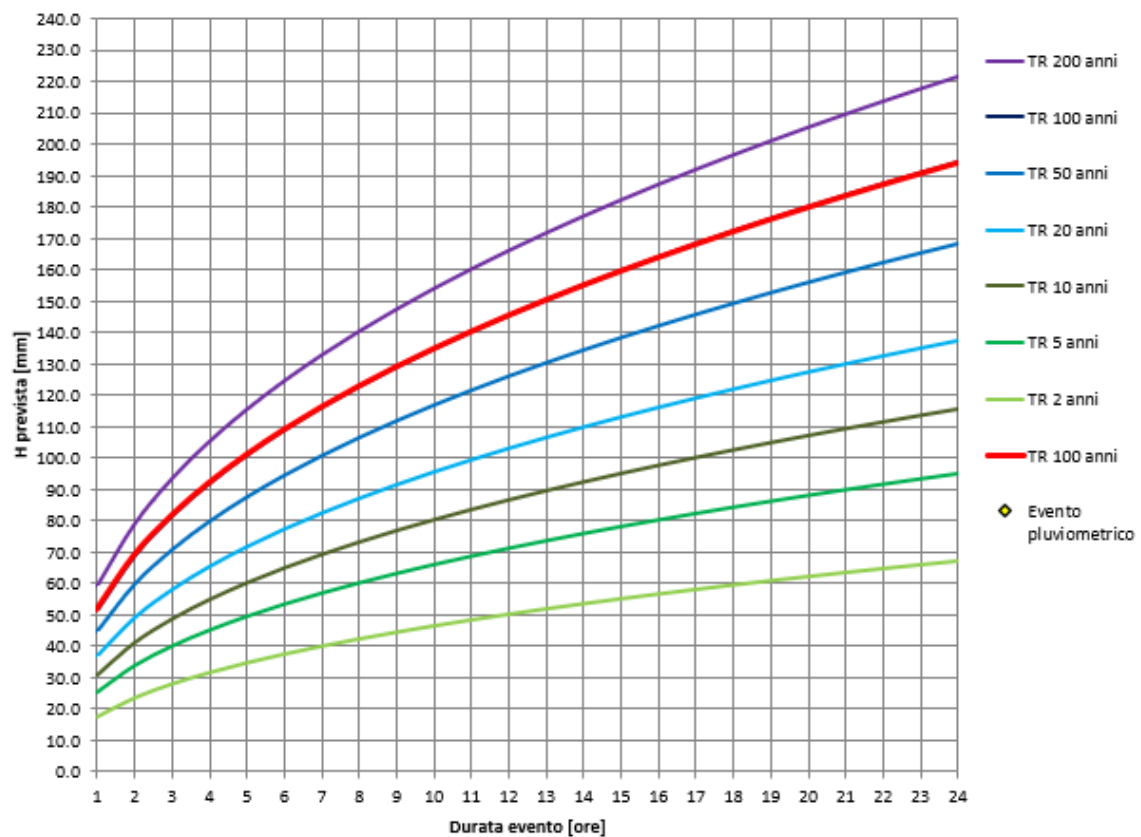


Figura 4-2: Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica per  $Tr=50$  e 100 anni per durate di pioggia superiori all'ora.

## **5. IL SISTEMA DI DRENAGGIO**

### **5.1. Modalità di smaltimento**

Il sistema attuale di raccolta delle acque meteoriche non presenta elementi di raccolta e convogliamento delle portate meteoriche (caditoie/collettori/canaline), bensì è previsto a dispersione in loco.

Le soluzioni previste in progetto per il drenaggio sono coordinate con il disegno architettonico dell'intervento prevedendo l'adozione delle soluzioni più idonee a garantire l'efficace raccolta e allontanamento delle acque di dilavamento, mediante la sistemazione delle superfici e delle pendenze al fine di allontanare le acque e convogliarle ai sistemi di recapito finale.

Il drenaggio di linea prevede la dispersione delle acque nel sottosuolo, in loco, mediante trincee classiche in ghiaia, avvolte in geotessuto, localizzate in adiacenza ai binari. Ove tale soluzione non è stata possibile a causa della presenza di strutture nelle immediate vicinanze (muretti paraballast banchine o muri paraschegge), il drenaggio di piattaforma verrà effettuato mediante tubazioni microfessurate avvolte in geotessuto, passanti lungo l'estradosso delle fondazioni dei muri. I tubi sono poggiati su una sella in cls perfettamente raccordata al sub ballast, rendendo il sistema perfettamente impermeabile. Le suddette tubazioni terminano in corrispondenza delle trincee in ghiaia.

Una volta determinati i parametri caratteristici delle precipitazioni (si veda paragrafo precedente), il dimensionamento degli elementi idraulici è stato sviluppato calcolando le portate di progetto con metodi classici di letteratura e verificando la capacità di smaltimento della sezione idraulica prevista mediante l'utilizzo di scale di deflusso in moto uniforme derivate dalla formulazione di Gauckler Strickler.

Il calcolo delle portate è stato condotto utilizzando il metodo della corrivazione, detto comunemente modello cinematico.

### **5.2. Metodologia di calcolo**

#### **5.2.1. Calcolo delle portate**

La determinazione delle portate al colmo, insistenti sui vari tratti della rete di drenaggio in progetto, è stata effettuata mediante la formula razionale:

$$Q = \frac{c \cdot h \cdot S}{3.6 \cdot t_c}$$

Dove:

- S = superficie del bacino drenante(km<sup>2</sup>);
- c = coefficiente di deflusso in piena del bacino valutato in base a considerazioni derivanti dalla conoscenza diretta del bacino e dalle indicazioni di letteratura. Per maggiori dettagli si rimanda al capitolo successivo.
- h = altezza massima di precipitazione di assegnato tempo di ritorno per una durata pari al tempo di corrivazione del bacino (mm), ricavata dalle cpp;



- $t_c$  = tempo di corrivazione del bacino (ore).

Tale metodo si basa sulle seguenti ipotesi:

- le gocce di pioggia cadute contemporaneamente in luoghi diversi del bacino, arrivano alla sezione di chiusura in tempi diversi;
- il contributo di ogni singolo punto del bacino alla portata di piena è direttamente proporzionale all'intensità di pioggia caduta in quel punto per il tempo necessario al raggiungimento della sezione di chiusura da parte del contributo stesso;
- tale tempo è caratteristico di ogni singolo punto e rimane costante per tutta la durata del fenomeno pluviometrico.

Ne consegue che le portate massime si ottengono per tempi di pioggia non inferiori al tempo di corrivazione/concentrazione determinati alla sezione di chiusura in esame.

### **5.2.2. Il tempo di corrivazione**

Per le reti di drenaggio di piattaforma, il tempo di corrivazione  $t_c$  si determina in riferimento al percorso idraulico più lungo della rete stessa fino alla sezione di chiusura (Paoletti et al. – Sistemi di fognatura, 2004). In particolare, una volta individuata la rete e i sottobacini afferenti, il  $t_c$  si determina mediante:

$$t_c = t_a + \frac{t_r}{1.5}$$

Con:

- $t_a$  = tempo di accesso alla rete relativo al sottobacino drenato dal ramo posto all'estremità di monte del percorso idraulico più lungo.
- $t_r$  = tempo di rete, dato dalla somma dei tempi di percorrenza di ogni singola canalizzazione seguendo il percorso più lungo della rete fognaria, secondo la relazione:

$$t_r = \sum_i \frac{L_i}{V_i}$$

Dove  $L_i$  è la lunghezza dei singoli tratti e  $V_i$  la velocità della corrente all'interno di essi.

### **5.2.3. Il coefficiente di deflusso**

La stima del coefficiente di deflusso è estremamente delicata e costituisce il maggiore elemento di incertezza nella valutazione della portata. Esso ha un significato "sintetico", essendo mediato su tutto il comprensorio in esame: esprime globalmente il rapporto fra i deflussi, che attraversano la sezione di chiusura in un intervallo definito nel tempo, e gli afflussi meteorici.

Tale parametro tiene conto in forma implicita di tutti i fattori che intervengono a determinare la relazione tra la portata al colmo e l'intensità media di pioggia; si utilizzano normalmente valori di riferimento, tratti

dalla letteratura scientifica, adattandoli alle effettive caratteristiche del bacino in studio, anche in base all'esperienza.

Per le opere in progetto sono stati considerati i valori riportati nella tabella sottostante.

Piattaforma ferroviaria	1
Coperture e banchine	1

Tabella 5-1 – Coefficienti di deflusso in relazione alla tipologia di superficie drenata

### 5.3. Dimensionamento dei collettori e delle canalette

Per il dimensionamento degli elementi di convogliamento (canalette e collettori), si utilizza la formula di Gauckler –Strickler, riportata nella formula seguente:

$$Q = k_s \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

Nella quale:

$K_s$  scabrezza della tubazione;  $A$  area liquida;  $R$  raggio idraulico;  $i$  pendenza longitudinale.

Il valore del coefficiente di scabrezza assunto è  $K_s=85 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , valore per le tubazioni in PEAD usurate.

Fissati un coefficiente di scabrezza  $K_s$  ed una pendenza longitudinale  $i$ , si è in grado, con la formula precedente, di determinare la combinazione di diametro e grado di riempimento che danno luogo ad una portata  $Q$  pari a quella massima di progetto.

La verifica consisterà nel rispettare le seguenti condizioni:

- $h/D < 0,75$ , il grado di riempimento delle canalette e delle condotte deve essere tale che il rapporto tra la sezione bagnata e la sezione piena della condotta sia minore di 0,75.
- $0,30 < v_{eff} < 5,00 \text{ m/s}$ , relazione valida per le fognature bianche e miste.

Si riporta la sintesi delle caratteristiche geometriche ed idrauliche da assegnare alle tubazioni per la raccolta delle acque superficiali.

Tratto		Area efficace cumulata	Diametro	Pendenza	T ingresso	Max T traslaz.	T corrivaz.	Qcritica	h	h/D	v
		[m²]	[m]	[m/m]	[min]	[min]	[min]	[m³/s]	[m]	[%]	[m/s]
MT1	MEZZOTUBO ZONA BANCHINA OVEST	238.0	250	0.0100	5.0	1.79	6.19	0.011	0.069	28.8	0.99
MT2	MEZZOTUBO MURO PARASCHEGGE NORD	110.5	250	0.0100	5.0	0.83	5.55	0.005	0.048	20.1	0.80
T1	SCARICO MEZZOTUBO	238.0	300	0.0020	5.0	4.51	8.01	0.009	0.104	34.6	0.43

	BANCHINA OVEST										
--	-------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

#### 5.4. Dimensionamento dei sistemi a dispersione

Al fine di ottemperare alle verifiche di invarianza idraulica e/o idrologica vengono adottati i seguenti

metodi di calcolo:

- metodo dei requisiti minimi
- metodo analitico di dettaglio

Nei paragrafi seguenti verranno descritti tali metodi ed a fine relazione verranno riportati i report dei calcoli.

Tra tutti questi metodi adottati si assumerà quale valore del volume minimo di progetto il maggiore tra tutti i valori calcolati.

##### 5.4.1. Requisiti minimi

Per gli interventi aventi superficie interessata dall'intervento minore o uguale a 300 m<sup>2</sup>, ovunque ubicati nel territorio regionale, il requisito minimo richiesto consiste, in alternativa:

- nell'adozione di un sistema di scarico sul suolo o negli strati superficiali del sottosuolo e non in un ricettore, salvo il caso in cui questo sia costituito da laghi o dai fiumi Po, Ticino, Adda, Brembo, Serio, Oglio, Chiese e Mincio. In questo caso non è richiesto il rispetto della portata massima e non è necessario redigere il progetto d'invarianza idraulica;
- nell'adozione del requisito minimo.

Nel caso d'interventi classificati ad impermeabilizzazione potenziale bassa, indipendentemente dalla criticità dell'ambito territoriale in cui ricadono, e nel caso di interventi classificati ad impermeabilizzazione potenziale media o alta e ricadenti nell'ambito territoriale di bassa criticità, il requisito minimo da soddisfare consiste nella realizzazione di uno o più invasi di laminazione, comunque configurati, dimensionati adottando i seguenti valori parametrici del volume minimo dell'invaso, o del complesso degli invasi, di laminazione:

- Aree A:  $w_{\min} = 800$ \* [m<sub>3</sub> per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento]
- Aree B:  $w_{\min} = 500$  [m<sub>3</sub> per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento]
- Aree C:  $w_{\min} = 400$  [m<sub>3</sub> per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento]

\* Il valore va moltiplicato per il coefficiente di riduzione di cui alla tabella riportata nell'Allegato C del Regolamento.

Tali volumi sono da adottare anche nel caso d'interventi classificati a impermeabilizzazione potenziale media o alta e ricadenti negli ambiti territoriali ad alta e media criticità, qualora il volume risultante dai calcoli fosse minore.

Ulteriormente, il progetto prevede di ottemperare ai requisiti di invarianza mediante il solo utilizzo di strutture di infiltrazione, quindi il requisito minimo di cui sopra è ridotto del 30 per cento. I calcoli di dimensionamento delle strutture di infiltrazione saranno basati su prove di permeabilità,

allegate al progetto, rispondenti ai requisiti riportati nell'Allegato F di cui al R.R. 7/2017 e s.m.i (per maggiori dettagli si veda la relazione geologica-geotecnica).

Il comune di Edolo presenta un livello di criticità idraulica definito "C", al quale, come sopra specificato, corrisponde un volume di laminazione minimo pari a 400 m<sup>3</sup>/ha impermeabile, ridotto del 30% in quanto si prevedono solo elementi ad infiltrazione.

Considerando l'estensione dell'area efficace impermeabile (vedere Tabella 3-2: Calcolo delle aree e del coefficiente di deflusso medio ponderale), si ottiene un volume minimo da adibire all'infiltrazione pari a 71 mc.

#### **5.4.2. Metodo analitico di dettaglio**

Il metodo analitico di dettaglio prevede di calcolare in modo analitico la curva della portata entrante nell'accumulo, minuto per minuto, l'altezza idrica nell'invaso e la contestuale portata uscente o infiltrata, per un evento meteorico di fissata durata e tempo di ritorno.

Noto il volume invasato istante per istante, si calcola il relativo valore massimo, che rappresenta il volume minimo che l'accumulo deve possedere al fine di garantire il vincolo di invarianza ed il rispetto della portata scaricata, per detto evento meteorico di fissata durata e tempo di ritorno.

La durata dell'evento meteorico ritenuto critico viene riportato nel report dei calcoli.

Per quanto attiene alla portata entrante nella trincea essa viene calcolata, mediante il modello cinematico, come somma delle portate generate dalle singole aree.

L'applicazione della procedura dettagliata prevede l'implementazione dei seguenti passaggi:

- calcolo ietogramma di pioggia di progetto lorda mediante lo ietogramma Chicago;
- depurazione delle piogge e calcolo dello ietogramma netto;
- calcolo dell'idrogramma in ingresso all'accumulo come somma degli idrogrammi generati dalla singola area;
- calcolo del bilancio del serbatoio e del battente idrico al suo interno minuto per minuto;
- calcolo del volume invasato e dell'idrogramma in uscita dall'invaso;
- calcolo del volume minimo di laminazione come valore massimo del volume invasato.

La scelta progettuale per i sistemi di dispersione è ricaduta sui sistemi di infiltrazione in ghiaia con tubazioni microfessurati, in relazione alle aree afferenti ed alla superficie disponibile all'infiltrazione.

#### **5.4.3. Permeabilità del Terreno e Livello di Falda**

Il corretto dimensionamento dei sistemi disperdenti si basa su due aspetti fondamentali sito specifici:

- la permeabilità del terreno;
- i livelli di falda, registrati e di progetto.

Per quanto concerne la tipologia dei terreni in sito, i livelli di falda e i valori di permeabilità da adottare per il calcolo di dimensionamento e verifica delle trincee drenanti, il documento di riferimento è il seguente: "Relazione geotecnica". Da quanto riportato nel citato documento, la permeabilità risulta essere dell'ordine di  $3 \times 10^{-5}$ , mentre il livello di falda risulta essere a -14.3m

#### 5.4.4. Trincee drenanti in ghiaia

Lo schema di calcolo per la verifica del funzionamento del sistema di infiltrazione è assimilabile ad un canale disperdente simmetrico rispetto all'asse, avente uno specchio liquido di larghezza  $b$ , lunghezza  $L$ , profondità  $h$  come nella figura sotto riportata.

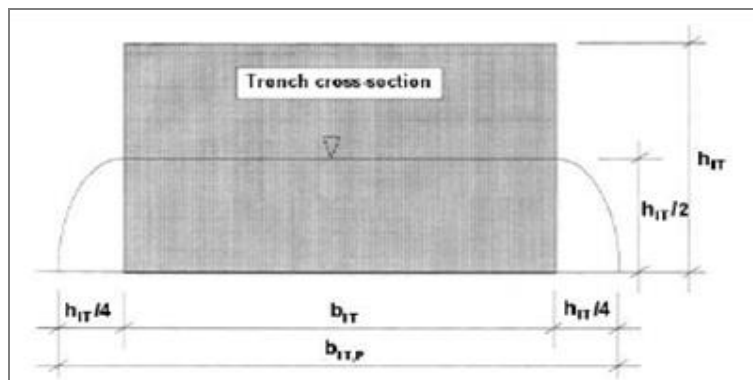


Figura 5-1- Schema del campo di moto

La portata  $Q$  dispersa nel terreno è data dalla seguente formula di Verdenikov:

$$Q = K \cdot S_{inf} = K \cdot [(b \cdot L) + (2 \cdot h \cdot L)]$$

Nella quale:

- $K$  è la permeabilità del terreno;
- $S_{inf}$  è l'effettiva superficie di infiltrazione pari all'area di base della trincea e all'area delle pareti laterali contribuenti per l'altezza di effettivo riempimento.

L'infiltrazione che avviene nel terreno è un processo più lento della generazione della portata al colmo del bacino scolante. Il volume idrico si accumula temporaneamente all'interno dei sistemi di infiltrazione. Per i sistemi in ghiaia può essere utilizzato un indice dei vuoti pari a 0.6.

L'idrogramma di piena utilizzato per il dimensionamento dei sistemi disperdenti è stato calcolato mediante il metodo della corrivazione. Procedendo per tentativi si ricava la durata critica, cioè quella durata di pioggia che massimizza il volume d'acqua invasato e quindi il tirante.

Il metodo della corrivazione, si basa su due ipotesi:

- Pioggia avente intensità costante
- Pioggia uniformemente distribuita su tutto il bacino

Dove l'altezza di pioggia viene descritta tramite le CPP citate nei capitoli precedenti per tempo di ritorno di 100 anni.

L'idrogramma è definito dalle seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} t &\leq T_c & Q(t) &= Q_{max} \cdot \frac{t}{T_c} \\ T_c &< t < T_p & Q(t) &= Q_{max} \\ t &> T_p & Q(t) &= Q_{t-1} - \frac{Q_{max}}{T_c} \end{aligned}$$

Dove:

- $T_c$  descrive il tempo di corrivazione del bacino,
- $T_p$ : la durata dell'evento piovoso (da variare fino ad ottenere quella critica)
- $Q_{max}$ : rappresenta la portata definita tramite la formula razionale come:

$$Q_{max} = a(T_c)^{n-1} \cdot \varphi$$

Il tempo di corrivazione è pari al tempo di corrivazione della rete afferente, assunto pari a 5 min.

Per ogni istante temporale di durata dell'evento quindi calcolata la portata in arrivo ( $Q_e$ ) secondo l'idrogramma sopra descritto e la portata infiltrata ( $Q_u$ ) calcolata con la formula precedentemente esposta.

Dalla differenza tra le due per il passo temporale di calcolo e tenendo in debita considerazione l'indice dei vuoti del sistema si ottiene il volume effettivamente invasato.

$$V_2 - V_1 = \frac{(Q_{e1} - Q_{u1}) + (Q_{e2} - Q_{u2})}{2} \cdot (t_2 - t_1)$$

dove i pedici 1 e 2 identificano istanti temporali distinti e consecutivi.

Fissata una geometria del dispersore è quindi possibile ottenere per ogni istante temporale l'andamento del battente idraulico. Facendo infine variare la durata di pioggia, variando quindi l'idrogramma in ingresso, si ottiene la durata che massimizza il volume di accumulo.

I volumi disperdenti sono stati dimensionati in modo da garantire che il volume di accumulo necessario per laminare eventi con tempo di ritorno di 100 anni sia tale da non superare l'85% del riempimento e che lo svuotamento per infiltrazione avvenga in meno di 48 ore.

Il tempo di svuotamento  $T_{sv}$  [s] viene calcolato come segue:

$$T_{sv} = W / Q_{inf}$$

Dove  $W$  [mc] rappresenta il massimo volume invasato, mentre  $Q_{inf}$  [mc/s] rappresenta il valore medio della portata infiltrata.

Il tempo di svuotamento dell'invaso non deve superare le 48 ore, in modo da ripristinare la capacità d'invaso il prima possibile.

Di seguito si riporta l'esito del dimensionamento dei sistemi di infiltrazione al servizio delle aree oggetto della relazione.

In merito alla trincee lineari a servizio diretto della piattaforma ferroviaria, con deflusso in continuo dalla stessa (elementi TR\_linea), il dimensionamento degli elementi a dispersione è stato effettuato per unità di lunghezza di piattaforma e, di conseguenza, per unità di lunghezza di trincea.

Trincea	Sup drenata [m <sup>2</sup> /m]	Volume minimo [mc]	Base [m]	Altezza H <sub>0</sub> [m]	Lunghezza [m]	Volume acc. [mc]	verifica	T=100anni			
								Tpiogg [min]	Hmax [m]	Hmax/H <sub>0</sub>	Tsv [ore]
TR3	408	11.424	1.5	1	20	30	positiva	60	0.74	0.74	1.99

Trincea	Sup drenata per unità di lunghezza[m <sup>2</sup> / m]	Volume di accumul o minimo [mc]	Base [m]	Altezza H <sub>0</sub> [m]	Lunghezza [m]	Volume acc. [mc]	verifica	Tpiogg [min]	Hmax [m]	Hmax/H <sub>0</sub>	Tsv [ore]
di linea	3.6	0.1008	0.5	0.6	1	0.3	positiva	30	0.27	0.45	0.5828 73

*Figura 5-2 – Dimensionamento delle trincee in ghiaia*