

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI
PROGETTO ESECUTIVO**

Trincea di Linea III Valico da pk 47+375,00 a pk 49+130 - tratto 0

Relazione idrologica-idraulica

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI	
Consorzio Cociv Ing. N. Meistro		

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 4	E	C V	R I	T R 1 6 0 3	0 0 1	A

Progettazione:

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima Emissione	E. Caruso <i>E.C.</i>	15/05/2014	A. Nastasi <i>All.</i>	15/05/2014	A. Palomba <i>[Signature]</i>	15/05/2014	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R
A01	Aggiornamento cartiglio	E. Caruso <i>E.C.</i>	25/11/2015	A. Nastasi <i>All.</i>	25/11/2015	A. Mancarella <i>[Signature]</i>	25/11/2015	
A02	Revisione per cambio lotto	E. Caruso <i>E.C.</i>	22/03/2017	A. Nastasi <i>All.</i>	22/03/2017	A. Mancarella <i>[Signature]</i>	22/03/2017	

n. Elab.:

File: IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica</p> <p style="text-align: right;">Foglio 2 di 32</p>

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	3
2.	ANALISI IDROLOGICA.....	5
3.	CARATTERIZZAZIONE DEI CORSI D'ACQUA INTERCETTATI	6
4.	DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA DEI BACINI MAGGIORI	7
4.1.	Curve di pioggia	7
4.2.	Calcolo della portata al colmo	7
4.2.1.	Metodo razionale.....	7
4.3.	Determinazione del tempo di corrivazione	8
4.3.1.	Stima della precipitazione efficace	10
4.3.2.	Stima del tempo di risposta del bacino e dell'idrogramma unitario	10
5.	SINTESI DEI RISULTATI OTTENUTI	12
6.	DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO BACINI IRRIGUI.....	13
6.1.	Portate irrigue	13
6.2.	Deflusso attraverso le sezioni trasversali d'alveo (sezioni aperte)	14
6.3.	Deflusso attraverso i manufatti di regolazione	14
6.4.	Tombini esistenti	14
7.	ANALISI DEL RETICOLO IDROGRAFICO ESISTENTE	15
8.	STUDIO IDRAULICO	16
8.1.	Individuazione delle modalità di smaltimento	16
8.2.	Valutazione della vulnerabilità idraulica	17
8.3.	Calcolo della portata legata ad un evento di precipitazione intenso.....	17
8.4.	Verifica drenaggio di linea.....	18
8.5.	Verifica della capacità di smaltimento dei fossi rivestiti	21
8.6.	Verifica della capacità di smaltimento dei fossi drenanti	22
9.	DRENAGGIO DI LINEA	26
9.1.	Valutazione della vulnerabilità idraulica	26
9.2.	Dimensionamento della rete drenante	26
9.3.	Descrizione tratta TR16	26
10.	ATTRAVERSAMENTI DI LINEA	28
10.1.	Collettori di raccordo	29
11.	ALLEGATO 1 VERIFICHE IDRAULICHE	31

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica
	Foglio 3 di 32

1. INTRODUZIONE

Oggetto della presente relazione è l'analisi idrologica e la successiva verifica idraulica delle opere in progetto, sulla linea ferroviaria A.C. Milano-Genova nel tratto TR16 che si sviluppa in territorio piemontese all'interno del bacino idrografico del fiume Po. La prima parte è volta alla determinazione delle portate di assegnato tempo di ritorno per i corsi d'acqua naturali od artificiali interferenti con il tracciato.

La presente relazione intende sintetizzare la caratterizzazione idrologica dell'intera area intercettata dal tracciato ferroviario; in particolare vengono definiti i parametri di calcolo delle precipitazioni intense di durata superiore all'ora, desunti dalla relazione pluviometrica del progetto definitivo alla quale si rimanda per ogni dettaglio. Descrive inoltre le applicazioni relative alla determinazione della portata di progetto per il dimensionamento idraulico degli attraversamenti sui corsi d'acqua interferenti con la Linea A.C. e la verifica delle stesse opere in progetto.

Lo studio è stato svolto secondo una metodologia adeguata ad un'area di pianura con morfologia "piatta" dove risulta difficile individuare l'andamento degli impluvi e dei displuvi naturali.

Per quanto riguarda i corpi idrici esistenti si tratta essenzialmente di fossi artificiali realizzati a scopo irriguo, talvolta muniti di manufatti per la ripartizione/regolazione della portata di alimentazione.

Data la morfologia del territorio nel quale risultano inseriti, essi presentano pendenze del fondo generalmente modeste (variabile tra 1 e 5 ‰); in particolare si possono distinguere differenti tipologie dei fossi esistenti in relazione alla funzione che assolvono e precisamente:

- a) adduzione delle portate necessarie all'alimentazione delle reti irrigue delle varie parcelle;
- b) distribuzione nelle singole parcelle dell'acqua fornita dai fossi di cui sopra;
- c) raccolta e smaltimento delle portate residue non utilizzate per le pratiche irrigue.

Alle finalità irrigue può sommarsi o meno la raccolta delle acque meteoriche defluenti dalle varie porzioni di territorio sotteso dal tracciato dei corpi idrici, in funzione della geometria delle sponde dei fossi stessi, che possono essere:

- pensili: ossia delimitate da modesti rilevati arginali con sommità superiore al piano campagna che di fatto impediscono la raccolta delle acque superficiali;
- a raso: ossia raccordate al piano campagna circostante che consentono quindi la raccolta delle acque superficiali.

In generale i fossi di tipo a) consentono il deflusso di portate significative, presentano pendenze di fondo prossime al limite superiore individuato (4-5 ‰) essendo orientati all'incirca secondo la massima pendenza del piano campagna e attraversano le infrastrutture presenti mediante manufatti con sezione di deflusso proporzionata a quella del fosso stesso.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica	Foglio 4 di 32

I fossi di tipologia b) sono invece caratterizzati da sezioni di deflusso sensibilmente inferiori a quelle della tipologia a) ma comunque rilevanti in quanto assolvono alla funzione di invasare i volumi di acqua che successivamente vengono sollevati meccanicamente mediante sistemi di irrigazione mobile (pompe azionate da trattori che alimentano irrigatori a pioggia).

Proprio per la loro funzione di invaso, pur presentando sezioni di deflusso rilevanti, non sono interessati da portate elevate ed i relativi manufatti di attraversamento hanno in generale delle sezioni utili decisamente inferiori a quelle dei fossi stessi.

Per quanto riguarda la tipologia c), i fossi scaricatori presentano in generale sezioni di deflusso ampie e manufatti di attraversamento proporzionati a queste ultime, dovendo raccogliere, oltre alle portate irrigue residue, anche la quota parte delle portate meteoriche drenate dal reticolo idrografico. Queste ultime non sono in genere elevate data la morfologia poco acclive (quasi orizzontale) dei bacini tributanti, nonché la netta rilevanza delle superfici inerbite e drenanti rispetto a quelle pavimentate e impermeabili.

Per tale motivo, pur non essendo presente una vera rete drenante e pur essendovi preponderanza di fossi con sponde pensili (quindi non in grado di raccogliere gli afflussi meteorici) non si segnalano allo stato attuale situazioni critiche, in termini di allagamento delle superfici, anche nel corso di eventi pluviometrici intensi.

Sulla base della situazione preesistente sopradescritta si è quindi predisposta la metodologia di seguito descritta, finalizzata alla determinazione delle portate di progetto da utilizzarsi per il dimensionamento delle opere necessarie alla risoluzione delle interferenze tra il reticolo idrografico e la linea ferroviaria in progetto.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica	Foglio 5 di 32

2. ANALISI IDROLOGICA

Scopo dello studio è la definizione, per ciascuno dei corsi d'acqua interessati, della portata di piena con assegnato tempo di ritorno, in corrispondenza delle sezioni di intersezione con la linea ferroviaria.

Tali valori saranno assunti come dati di partenza per le successive verifiche idrauliche e per il dimensionamento delle necessarie sistemazioni in progetto.

Lo studio è stato svolto secondo le seguenti fasi:

- a) individuazione delle interferenze del tracciato ferroviario con corsi d'acqua naturali ed artificiali;
- c) schematizzazione e ricerca delle caratteristiche morfologiche e fisiografiche (superficie, lunghezza dell'asta principale, acclività, copertura vegetale, uso del suolo, ecc.) dei bacini idrografici dei corsi d'acqua intercettati dal tracciato ferroviario;
- f) determinazione delle portate di piena, per tutti i corsi d'acqua intercettati dal tracciato ferroviario.

Data la mancanza di osservazioni dirette dei deflussi naturali (idrometria), nella valutazione delle portate massime probabili dei corsi d'acqua intercettati, e in particolare per quelli minori, si è fatto necessariamente riferimento a schemi di calcolo basati su una determinazione indiretta, a partire dalle curve di possibilità climatica caratteristiche dei rispettivi bacini.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica
	Foglio 6 di 32

3. CARATTERIZZAZIONE DEI CORSI D'ACQUA INTERCETTATI

Le problematiche, di tipo idrologico - idraulico, da affrontare nello studio progettuale per la definizione degli attraversamenti sul tracciato ferroviario A.C. Milano-Genova risultano differenti a seconda delle caratteristiche del corso d'acqua coinvolto.

La linea ferroviaria in progetto interferisce, lungo il suo tracciato, con due differenti tipologie di corpi idrici così caratterizzabili:

- corsi d'acqua naturali: che, per le dimensioni del reticolo drenante, interessano aree di superficie di bacino idrografico non superiori ad 1 km²;
- fossi appartenenti al reticolo irriguo: nella zona interessata dal tracciato ferroviario risulta presente anche una rete di irrigazione, necessaria a soddisfare le richieste delle colture tipiche dell'agricoltura della zona.

Il presente rapporto ha lo scopo di definire, per ogni corpo idrico individuato, le portate di piena per assegnato tempo di ritorno; per i corsi d'acqua naturali esse rappresentano anche le portate di progetto per le successive verifiche idrauliche delle opere.

Per quanto riguarda i fossi appartenenti al reticolo irriguo, le portate individuate rappresentano il dato di input per le successive valutazioni di carattere idraulico - funzionale, svolte nell'ambito della specifica attività di ricognizione del reticolo idrografico.

Tale dato, opportunamente correlato con le caratteristiche funzionali delle opere irrigue, è stato utilizzato per l'individuazione delle portate di progetto da assumersi per questa seconda tipologia di corpo idrico.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica
	Foglio 7 di 32

4. DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA DEI BACINI MAGGIORI

Data la mancanza di osservazioni dirette dei deflussi naturali, nella valutazione delle portate massime probabili dei corsi d'acqua intercettati, e in particolare per quelli minori, si è fatto necessariamente riferimento a schemi di calcolo basati su una determinazione indiretta, a partire dalle curve di possibilità climatica caratteristiche dei rispettivi bacini.

4.1. Curve di pioggia

In fase di progetto definitivo sono state fatte delle analisi statistiche che hanno isolato le stazioni di riferimento e ne hanno analizzato i parametri. Per l'intero studio si rimanda alla relazione pluviometrica e idrologica del PD.

Le curve di possibilità climatica, definite in sede di PD sulla singola stazione di misura, danno una rappresentazione puntuale della legge caratteristica di pioggia; per ottenere la distribuzione della precipitazione sulla porzione di territorio ricompresa tra le stazioni strumentate considerate, si è operata una regionalizzazione dell'informazione intensa pluviometrica, mediante ragguglio alla superficie dei parametri a ed n delle curve di possibilità climatica, secondo una maglia costituita da un'area di dimensioni pari a 4 km²; l'operazione è stata eseguita utilizzando il metodo "KRIGING".

Tale procedura permette di definire in una qualsiasi area omogenea una altezza di pioggia per assegnati tempi di ritorno e durate. Sono state utilizzate le curve di pioggia calcolate nello studio idrologico del PD per il calcolo della portata di progetto delle opere.

4.2. Calcolo della portata al colmo

4.2.1. Metodo razionale

La caratterizzazione idrologica di piena per un bacino idrografico viene eseguita raggugliando il valore di pioggia intensa per prefissato tempo di ritorno assegnato allo stesso bacino e successivamente attraverso un metodo di correlazione afflussi - deflussi si calcola il valore della portata. In tali casi vengono attribuiti alle piene gli stessi tempi di ritorno delle precipitazioni che le hanno generate.

Tale metodo di correlazione afflussi-deflussi è basato sull'ipotesi che la portata massima in un bacino, dovuta a precipitazioni di intensità costante nel tempo, si ha per eventi di durata pari al tempo di corrivazione t_c del bacino stesso e si verifica dopo il tempo t_c dall'inizio del fenomeno.

Il calcolo della portata avviene mediante l'applicazione della formula di Turazza:

$$Q = \frac{c \cdot h \cdot S}{3.6 \cdot t_c} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

dove:

S = superficie del bacino (km²);

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 297"> <tr> <td>Foglio 8 di 32</td> </tr> </table>	Foglio 8 di 32
Foglio 8 di 32		

- c = coefficiente di deflusso valutato in base a considerazioni di tipo generale;
 h = altezza massima di precipitazione per una durata pari al tempo di corrivazione del bacino (mm);
 t_c = tempo di corrivazione del bacino (ore).

4.3. Determinazione del tempo di corrivazione

Si è precedentemente osservata la necessità di valutare il tempo di corrivazione dei bacini in esame allo scopo di definire la durata critica dell'evento di pioggia da considerare nell'applicazione del metodo razionale, considerando come tempo minimo di corrivazione 10 minuti.

Le formule normalmente adottate per la stima di tale valore sono le seguenti:

- formula di Giandotti;
- formula di Pezzoli;
- formula di Ventura;
- formula di Horton;
- formula di Kirpich;
- formula di Pasini.

Esse necessitano, come dati di input, di alcuni valori relativi alle caratteristiche morfologiche, fisiografiche ed altimetriche dei bacini definiti alle rispettive sezioni di chiusura, e più precisamente:

- superficie S (km²);
- altitudine massima H_{max} (m s.m.);
- altitudine media H_{med} (m s.m.);
- quota della sezione di chiusura H_{sez} (m s.m.);
- lunghezza dell'asta principale L (km);
- pendenza dell'asta principale i (m/m);
- velocità di scorrimento v (m/s).

La pendenza dell'asta principale è stata determinata utilizzando la relazione del Fornari che permette la determinazione di tale parametro dal valore della pendenza dei singoli tratti, utilizzando la media pesata:

$$^1i = (\sum_{k=1}^n l_k / \sqrt{i_k})^{-1} * L$$

dove l_k ed i_k sono rispettivamente la lunghezza e la pendenza dei singoli tratti omogenei in cui l'asta principale si considera divisa.

Vengono di seguito espresse le formule di calcolo del tempo di corrivazione (espresso in ore), per ognuno dei metodi adottati. I simboli indicati rappresentano le grandezze precedentemente elencate.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica
	Foglio 9 di 32

Formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4 \cdot S^{0.5} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot (H_m - H_{sez})^{0.5}} ;$$

Formula di Pezzoli:

$$t_c = 0.055 \cdot \frac{L}{i^{0.5}} ;$$

Formula di Kirpich:

$$t_c = 0.066 \cdot L^{0.77} \cdot (1000 \cdot L / (H_{max} - H_{sez}))^{0.385} ;$$

Formula di Ventura:

$$t_c = 0.1272 \cdot (S / i)^{0.5} ;$$

Formula di Horton:

$$t_c = 3.6 \cdot L / v ;$$

Formula di Pasini:

$$t_c = 0.108 \cdot (S \cdot L)^{1/3} / i^{0.5} ;$$

Determinazione del 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 la stima di tale parametro si devono tenere in conto i diversi fattori che influiscono sulla formazione dei deflussi, fra cui la natura dei terreni e la loro copertura vegetale, la capacità di accumulo del bacino e l'effetto di laminazione dell'intera rete idrica superficiale, la dimensione del bacino, la presenza di zone urbanizzate, ecc...

Il ruolo del tipo di suolo e della copertura vegetale nella formazione del deflusso superficiale per gli stati idrologici di piena, che si identificano con eventi di piovosità intensa, è duplice: riguarda, infatti, sia la funzione di trattenuta o intercettazione (coefficiente di deflusso), sia il controllo del tempo di concentrazione delle portate superficiali.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica
	Foglio 10 di 32

Gli studi disponibili, per altro in numero piuttosto limitato, indicano tutti che il valore di c in un dato bacino varia in misura elevata da evento ad evento, in particolare in funzione delle differenti condizioni climatiche antecedenti. E' possibile comunque ipotizzare che, per gli eventi gravosi che sono di interesse nel campo della progettazione e delle verifiche idrauliche, il parametro assuma valori sufficientemente stabili. In qualche caso si assume che il valore di c cresca in funzione del tempo di ritorno dell'evento, supponendo in tal modo una risposta non lineare del bacino.

4.3.1. Stima della precipitazione efficace

Per la stima della precipitazione efficace è utilizzato il metodo proposto da Fantoli, che separa i due fattori altezza di pioggia e caratteristiche del terreno, attraverso una formulazione di tipo monomio strettamente legata con l'espressione monomia delle curve di possibilità climatica. Tale metodo si basa sul calcolo del coefficiente di deflusso, Φ , rapporto fra la pioggia netta (afflusso efficace) e la pioggia lorda (afflusso totale). Se si approssima tale metodo all'andamento della forma monomia, si può ipotizzare:

$$\Phi = 0.2811\Phi_* H(d,T)^{1/3} = C_F H(d,T)^{1/3}$$

nella quale Φ_* è il valore assegnato al coefficiente di deflusso standard, valutato per una precipitazione di durata standard pari ad 1 ora e intensità standard pari a 45 mm/ora.

Il coefficiente C_F può essere stimato anche facendo riferimento al metodo sviluppato dal Soil Conservation Service (USDA) detto CN (Curve Number). In tal caso si propone un'ipotesi di legame concettuale del tipo:

$$C_F = \frac{3}{4} \left(4 \cdot 25.4 \frac{1000 - 10CN}{CN} \right)^{-1/3}$$

4.3.2. Stima del tempo di risposta del bacino e dell'idrogramma unitario

Un possibile legame fra il tempo di corrivazione di un bacino, t_c e le grandezze fisiche per la sua quantificazione non può prescindere dal valore di area drenata che, per ambiti morfologicamente omogenei, può anche essere assunta come sufficiente alla sua determinazione. L'espressione che lega il t_c all'area contribuyente è espresso con la seguente:

$$t_c = 0.25 + 0.27A^{1/2}$$

nella quale t_c è ottenuto in ore con A in km^2 .

Questo valore è quindi assunto come tempo di base, t_b , di un idrogramma unitario istantaneo, $h(t)$, avente forma triangolare, risposta di picco $h_p=2/t_b$ e tempo al picco pari a t_p . La funzione $h(t)$ può essere espressa :

$$h(t) = \begin{cases} \frac{h_p}{t_p} t & \text{se } 0 \leq t \leq t_p \\ \frac{h_p}{t_b} \frac{t_b - t}{t_b - t_p} & \text{se } t_p \leq t \leq t_b \\ 0 & \text{se } t_b < t \end{cases}$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica
	Foglio 11 di 32

La portata di picco della risposta del bacino ad un afflusso efficace di intensità i e durata finita, Θ , è esprimibile con la seguente:

$$Q_{\max} = \max_{0 < t < \infty} \int_0^t h(t - \tau) i(\tau) d\tau$$

Per un IUH (idrogramma unitario) triangolare il valore Q_{\max} si ottiene per $t_p = 0$ e vale:

$$Q_{\max} = Q_{\max}(\Theta, i) = 2i \frac{\Theta}{t_b} \left(1 - \frac{\Theta}{2t_b} \right)$$

se $Q < t_b$, altrimenti $Q_{\max} = i$.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica
	Foglio 12 di 32

5. SINTESI DEI RISULTATI OTTENUTI

Le portate idrologiche sono state calcolate secondo le formulazioni di Pezzoli e Kirpich, in ragione delle dimensioni dei bacini considerati; i valori di portata per tempo di ritorno assegnato, riportati per ciascun bacino nella seguente tabella, corrispondono ai valori medi provenienti dalle formulazioni sopra descritte.

Nel tratto oggetto di studio l'unico corso d'acqua analizzato, date le sue caratteristiche è riportato nella tabella seguente:

La metodologia da utilizzare per il calcolo idrologico di piena è quella indicata nel P.A.I. dall'Autorità di bacino del fiume Po.

Il calcolo idrologico di piena è stato eseguito per tempi di ritorno di 50, 200, 500 anni.

Le interferenze idrauliche con la Linea A.C. è costituita da un bacino scolante denominato N. 23, che risulta essere parallelo alla linea attuale e si sovrappone al progetto di allargamento della piattaforma previsto.

Le principali caratteristiche fisiografiche dei bacini, sottesi alla Linea A.C., sono di seguito riportate.

Bacino n.23

S (km²)	3.45
Hmax (m slm)	127.00
Hmed (m slm)	121.00
Hsez (m slm)	116.00
L (km)	3.44
i asta (%)	0.2

I valori di pioggia, provenienti dalla media delle celle regionalizzate su griglia 4 km², utilizzati per ciascun bacino sono i seguenti.

AG_50	NG_50	AG_200	NG_200	AG_500	NG_500
56.74	0.295	69.43	0.294	77.80	0.293

N°	N° Fosso in ricognizione	Prog.	Linea	Denominazione	Lunghezza asta	Pendenza asta	Superf.	Q50	Q200	Q500
[-]		[km]	[-]	[-]	[km]	[%]	[km ²]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
23	1	*	SEZ.F	Scaricatore Roggia Cerca	3.44	0.20	3.45	5.14	6.28	7.03

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica
	Foglio 13 di 32

6. DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO BACINI IRRIGUI

Di seguito si descrive la metodologia seguita per la definizione delle portate di progetto da assumersi per il dimensionamento delle opere idrauliche previste nell'ambito della realizzazione della linea ad Alta Capacità per i bacini minori.

Sono stati valutati i tre contributi:

- destinati esclusivamente al deflusso delle portate irrigue, pertanto "isolati" dal territorio esterno mediante sponde munite di arginelli, ed alimentati mediante opere di regolazione/ripartizione;
- destinati alla raccolta delle sole acque meteoriche di bacino e quindi privi di sponde in rilevato e di opere di alimentazione/regolazione;
- aventi la funzione mista di trasporto della portata irrigua e di raccolta delle acque meteoriche di bacino.

Pertanto si è provveduto a definire separatamente i valori delle portate irrigue e/o smaltibili e di quelle di piena idrologica relative ad ogni corpo idrico indagato, definendo poi le portate di progetto come segue, in relazione alle tipologie sopraesposte:

- portata di progetto uguale alla portata irrigua per i fossi destinati alla sola funzione irrigua e quindi "isolati" dall'esterno mediante modeste arginature delle sponde (tipologia a);
- portata di progetto pari alla portata di piena idrologica per i fossi aventi la sola funzione di drenaggio dei bacini circostanti (tipologia b);
- portata di progetto pari alla maggiore tra la portata irrigua e quella idrologica per i fossi aventi funzionalità mista (tipologia c).

Le portate di base per il calcolo delle portate di progetto da assumersi sono state determinate secondo i principi descritti di seguito.

6.1. Portate irrigue

In assenza di precise indicazioni da parte degli enti gestori del sistema irriguo le portate sono state definite analizzando la capacità di deflusso dei corpi idrici e dei manufatti esistenti (come meglio illustrato al paragrafo seguente) studiando il reticolo per tratti omogenei, compresi generalmente tra due nodi, e verificando:

- la portata massima defluibile dal sistema di alimentazione del tratto (partitori, paratoie ecc.);
- la portata massima defluibile nelle differenti sezioni trasversali d'alveo lungo il tratto indagato;
- la portata massima defluibile nei manufatti di attraversamento esistenti.

Successivamente è stata assunta, quale portata irrigua, la minore delle tre sopraesposte assumendo di fatto che il sistema esistente sia dimensionato correttamente e venga gestito in modo tale da non creare situazioni di criticità per quanto riguarda il superamento della portata ammissibile in nessuna delle componenti analizzate.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica	Foglio 14 di 32

Di seguito si descrivono in dettaglio le metodologie di calcolo utilizzate per la determinazione delle portate sopraesposte, con riferimento alle differenti tipologie di manufatti analizzati.

6.2. Deflusso attraverso le sezioni trasversali d'alveo (sezioni aperte)

La portata defluibile attraverso le sezioni d'alveo naturali (sezioni aperte) è stata valutata in moto uniforme applicando la formulazione di Chezy:

$$Q = X \cdot \Omega \cdot (R \cdot i_f)^{1/2} \quad [1]$$

dove

$$X = C \cdot R^{1/6}$$

e dove:

- C: coefficiente di resistenza distribuita al moto secondo Strickler, in $m^{1/3}/s$;
- R: raggio idraulico (Ω/b), in m;
- Ω : sezione di deflusso bagnata, in m^2 ;
- b: contorno bagnato, in m;
- i_f : pendenza del fondo, in m/m;

sostituendo il valore di X nella [1] si ottiene:

$$Q = C \cdot \Omega \cdot R^{2/3} \cdot i_f^{1/2}$$

La portata irrigua di riferimento assunta per i singoli tratti indagati è quella desunta dall'applicazione della [1] alla condizione di deflusso con riempimento del 90%

6.3. Deflusso attraverso i manufatti di regolazione

La formulazione utilizzata per la determinazione della portata massima smaltibile dalle paratoie dei manufatti partitori è quella dello stramazzo a larga soglia. Il metodo utilizzato prescinde dalla effettiva pendenza del fondo scorrevole dell'opera (che viene considerato orizzontale) e quindi si presta a rappresentare, in via cautelativa ma fedele, il funzionamento dei manufatti inseriti in un reticolo irriguo caratterizzato da manufatti di lunghezza molto esigua (generalmente dell'ordine di pochi metri) inseriti in un contesto di pendenze di fondo medie del sistema alquanto modeste.

6.4. Tombini esistenti

Per il calcolo della portata defluibile attraverso tombini scatolari o circolari viene utilizzata sempre la formula di Chezy sopra riportata.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica	Foglio 15 di 32

7. ANALISI DEL RETICOLO IDROGRAFICO ESISTENTE

Nell'area oggetto di studio si sono riscontrate, tramite elaborati di PD, sopralluoghi e integrazioni di rilievo topografico, le seguenti interferenze con il reticolo idrografico,:

- **TR16** PK 47+375 a PK 49+130 si hanno tre intersezioni a PK 47+834 denominata Roggia Marengano, PK 47+907 denominata Roggia Patoni e PK 48+510 corso d'acqua denominato Roggia Cerca. Tuttavia esistono vari altri attraversamenti minori che risultano inofficiosi, precisamente alle PK 48+200 e 48+471

Ciascuna di queste interferenze esclusi quelli a PK 48+200 e 48+471, è stata risolta con un'opera idraulica che dia continuità al corso d'acqua, per il quale è stata calcolata una portata di progetto con i metodi appena esposti. Ciascun attraversamento è stato ricollegato al corso d'acqua a valle della ferrovia con canali e fossi opportunamente dimensionati. Ciascuno di questi attraversamenti in progetto sostituisce un manufatto esistente, rispettando le dimensioni geometriche minime richieste dal Manuale di progettazione Italferr e cercando di ottimizzare le pendenze e il riammaglio alla rete esistente. Per ciascun progetto e verifica dei tombini idraulici riferirsi al progetto specifico dell'opera.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica
	Foglio 16 di 32

8. STUDIO IDRAULICO

Il presente capitolo è finalizzato alla descrizione delle attività svolte nell'ambito della definizione della rete di drenaggio per il tratto TR16 all'aperto della linea ferroviaria ad Alta Capacità Milano-Genova, a partire dalla progressiva km 47+375 a PK 49+130.

Si intende definire lo schema di drenaggio ed il dimensionamento delle opere necessarie a smaltire le acque di piattaforma e di scarpata ed alla messa in sicurezza del corpo ferroviario nei confronti delle acque meteoriche precipitate sui versanti sottesi dalla linea.

Per quanto concerne gli attraversamenti della linea derivanti da interferenze con i corsi d'acqua esistenti o dalla necessità di smaltire le acque di competenza di un lato della piattaforma in un recettore sul lato opposto occorre riferirsi agli elaborati di progetto relativi.

A tale riguardo è da notare che non sono state evidenziate situazioni di particolare criticità nei tratti considerati e che il tracciato si sviluppa al di fuori delle fasce dei corsi d'acqua presenti nella regione.

Il principio secondo il quale si è operato è stato di utilizzare quali recettori delle acque intercettate i corpi idrici, naturali od artificiali, già esistenti nella zona.

La metodologia seguita ha previsto la suddivisione del lavoro in tre passi principali:

- l'analisi morfologica del territorio interessato dalla linea per individuare i possibili recettori e le modalità di smaltimento delle acque;
- la valutazione della vulnerabilità idraulica del corpo ferroviario legata alle acque provenienti dal bacino esterno;
- il dimensionamento delle opere di smaltimento e/o protezione

Gli elaborati grafici (Planimetrie idrauliche) contengono l'individuazione schematica di tutti gli elementi del reticolo idraulico in progetto.

Di seguito vengono illustrati la metodologia adottata, per quanto riguarda il dimensionamento e le verifiche relative ai vari step progettuali, ed una sintesi dei risultati ottenuti.

8.1. Individuazione delle modalità di smaltimento

È stata effettuata un'analisi puntuale del territorio interessato dal passaggio della linea ferroviaria per individuare tutti i possibili recettori esistenti, generalmente appartenenti al reticolo irriguo.

I corpi idrici sono stati localizzati sulla base dei rilievi disponibili, integrati con le risultanze di sopralluoghi mirati. In seguito a tale analisi sono state individuate delle aree omogenee per modalità di smaltimento.

In conformità a quanto previsto dall' art. 39 del D.Lgs. 152/99 modificato come da art. 18 del D.L. 258/2000 e dagli art. 29 e 32 del Piano di Tutela delle Acque emesso dalla Regione Piemonte che non consentono lo scarico o l'immissione diretta di acque meteoriche di dilavamento nelle acque sotterranee non si è reso possibile l'utilizzo di fossi drenanti per le acque provenienti dalla piattaforma ferroviaria.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica
	Foglio 17 di 32

Sono stati previsti invece fossi drenanti aventi la funzione di difesa del rilevato ferroviario dalle acque di ruscellamento provenienti dal bacino esterno con pendenza in direzione della linea ferroviaria. Essi si trovano in particolare laddove non sono stati individuati corsi d'acqua irrigui e non, recettori

Nei tratti in cui la quota dello stradello di servizio sia 0.4 m superiore al piano campagna, la protezione del rilevato ferroviario risulta essere svolta dal rilevato dello stradello stesso, così come indicato da progetto definitivo.

Ove previsti, i fossi drenanti di difesa del rilevato ferroviario sono stati dimensionati tenendo conto di un bacino esterno sotteso di larghezza pari a 30 m.

8.2. Valutazione della vulnerabilità idraulica

Nel progetto definitivo la tratta era stata classificata in base alle criticità idrauliche legate al ruscellamento delle acque meteoriche provenienti dai versanti.

La pendenza media del bacino esterno afferente al tratto e la tipologia di corpo ferroviario (trincea, rilevato basso, rilevato alto) sono stati assunti quali parametri determinanti la presenza e la gravità di tale criticità.

In particolare a ciascun tratto nel quale il bacino esterno sotteso presentasse una pendenza media in direzione della linea è stato attribuito un fattore di rischio tra 0 e 4, che rappresenta il livello di criticità e la tipologia appropriata di intervento:

Stabilite le criticità, si è individuato il tipo di drenaggio da adottare nelle varie tratte. Tale tipo di drenaggio viene approfondito in fase esecutiva, ricalcando le scelte del progetto definitivo che ha individuato sistemi disperdenti per le acque di ruscellamento e sistemi dir accolta con recapito ai tombini in altri tratti.

8.3. Calcolo della portata legata ad un evento di precipitazione intenso

Determinata, la tipologia di smaltimento delle acque intercettate, si è proceduto con la perimetrazione dei bacini drenati, sia esterni che relativi alla piattaforma ed in generale al corpo ferroviario.

Dalla dimensione di tali superfici si è potuto risalire ad una portata massima afferente ai diversi tratti legata ad un evento di precipitazione intenso della durata di un'ora, con tempo di ritorno TR=100 anni.

Per il dettaglio delle modalità di determinazione delle curve di possibilità pluviometrica, si rimanda a quanto contenuto nella relazione pluviometrica del progetto definitivo approvato.

I parametri delle curve di possibilità pluviometrica

$h = a t^{n'}$, relative a TR=100, 50 e 20 anni sono riportate di seguito specificando i tombini vengono verificati per 100 anni, le strade interferenti 50 anni e 20 anni gli elementi minori.

T=100 anni

Tratta di linea		Durata	a	n'
Da km	A km	(ore)	mm/ora	
43+500	53+840	1	75.37	0.276
		0.5	74.94	0.276
		0.25	73.90	0.276

T=50 anni

Tratta di linea		Durata	a	n'
Da km	A km	(ore)	mm/ora	
43+500	53+840	0.25	66.07	0.278
		0.5	66.99	0.278
		1	67.34	0.278

T=20 anni

Tratta di linea		Durata	a	n'
Da km	A km	(ore)	mm/ora	
43+500	53+840	0.25	55.54	0.28
		0.5	56.45	0.28
		1	56.71	0.28

Per la definizione della portata affluente si è applicato il modello afflussi-deflussi dell'invaso semplificato, che simula efficacemente le effettive condizioni di funzionamento della rete drenante.

8.4. Verifica drenaggio di linea

La protezione della linea ferroviaria dalle acque meteoriche che vengono ad interessare il corpo ferroviario richiede la realizzazione di cunette e di fossi di guardia ai lati della linea.

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

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

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

Per la verifica dei fossi ai lati della ferrovia si è tenuto in conto del contributo delle acque pertinenti a metà della piattaforma ferroviaria esistente e del relativo rilevato dei contributi di portata provenienti dall'esterno all'area ferroviaria.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica
	Foglio 19 di 32

Nei tratti in cui la nuova linea in progetto risultasse di ostacolo al naturale deflusso delle acque (in tal caso i fossi assumono la funzione di canali di gronda).

Il calcolo delle portate è stato eseguito secondo il metodo del volume di invaso mediante la relazione:

$$u = 2168n_0 \frac{(\varphi a)^{\frac{1}{n_0}}}{W^{\frac{1-n_0}{n_0}}} \quad (1)$$

In cui:

- u coefficiente udometrico (l/s/ha)
- φ coefficiente di deflusso (-)
- W il volume specifico d'invaso (m)
- a , coefficiente della curva di possibilità pluviometrica espresso il m/h^n
- n_0 $4/3 n'$

Il volume W è valutato secondo la seguente espressione:

$$W = \frac{0.005(A_p + A_s) + 0.005A_e + \sigma L}{A_p + A_r + A_e} \quad (2)$$

In cui:

- A_p denota l'area della piattaforma ferroviaria (m^2);
- A_s denota l'area della scarpata (m^2);
- A_e denota l'area esterna (m^2);
- L (m) e σ (m^2), rispettivamente, rappresentano la lunghezza e la sezione idrica nel fosso per il grado di riempimento effettivo

L'altezza di tale velo è assunta pari a 5 mm per tutte le aree relative al corpo ferroviario (presenza della massicciata) e a 5 mm per le aree di versante, ritenendo tale valore già comprensivo dell'effetto di ritenzione esercitato da eventuali altre canalizzazioni, tubazioni, pozzetti, aree depresse presenti sull'intero bacino idrografico.

$$Q = u(A_p + A_r + A_e) \quad (3)$$

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

Al fine di valutare il volume invasato nei fossi, sono state imposte, come è usuale, condizioni di moto uniforme assumendo valida la legge di Gauckler-Stricker:

$$Q = A K_s R^{2/3} i^{1/2} \quad (4)$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica
	Foglio 20 di 32

in cui si è indicato con

- Q la portata (m^3/s)
- i la pendenza media del fosso (m/m);
- A la sezione idrica (m^2);
- K_s il coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler, assunto per i fossi non rivestiti pari a $33 m^{1/3}/s$ (m di Manning $0.03 s/ m^{1/3}$) e $66 m^{1/3}/s$ per le canalette;
- R il raggio idraulico pari al rapporto tra sezione idrica e perimetro bagnato (m).

I fossi di guardia sono stati dimensionati assumendo un grado di riempimento non superiore a 70%.

Per valutare il volume nel fosso (σL) si assume un grado di riempimento di primo tentativo, si ricava il coefficiente udometrico e quindi la portata. Si ricava il grado di riempimento associato a tale portata e si ripete il procedimento sino ad ottenere i valori corretti di portata e di grado di riempimento. Il volume invasato nel fosso di calcolo è determinato per tentativi: assunto un primo valore, si ricava il coefficiente udometrico e quindi la portata ed il grado di riempimento ad essa associato. Il procedimento viene ripetuto in successive iterazioni fino ad ottenere il corretto valore della portata e del grado di riempimento.

La predetta procedura applicata alle singole aree della stazione (piazzali, platee, pensiline, viabilità, edifici) ha consentito di definire i valori delle portate critiche defluenti dalle stesse. Rimandando alla planimetria lo schema idraulico e la localizzazione dei singoli punti di recapito, in allegato si riportano i risultati delle elaborazioni.

Per le verifiche dei fossi e delle canalette si rimanda agli allegati alla presente relazione

- piattaforma ferroviaria: coefficiente di deflusso $\varphi=0.9$;
- scarpata inerbita (trincea o rilevato): coefficiente di deflusso $\varphi=0.70$.
- versante con pendenza media elevata ($>2\%$): coefficiente di deflusso $\varphi=0.40$.

Il metodo dell'invaso semplificato, non considerando il meccanismo della corrivazione, introduce l'approssimazione che il tempo di pioggia critico sia coincidente con il tempo necessario a riempire tutti gli invasi, vale a dire il velo d'acqua uniformemente ripartito sulle superfici e l'invaso proprio delle canalette a monte della sezione considerata. Poiché tali invasi sono talvolta piccoli in confronto alle aree di pioggia (in quanto le canalette realizzano invasi generalmente trascurabili ed il velo d'acqua sul versante è sottostimato per ragioni cautelative) questo metodo sovrastima le portate al colmo di piena, "schiacciando" il volume di pioggia in un tempo molto breve; la sua adozione è pertanto già di per sé cautelativa.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica
	Foglio 21 di 32

Occorre comunque evidenziare che, per quanto riguarda gli elementi dello schema di smaltimento che ricevono portata da una o più canalette a monte, oltre all'eventuale drenaggio che essi stessi operano, sono state semplicemente sommate le portate in ingresso. In tal modo non si tiene conto dell'effetto di laminazione globale del sistema, per cui il colmo di piena dell'ultimo tratto non ha intensità minore della somma dei valori di picco dei tratti precedenti.

8.5. Verifica della capacità di smaltimento dei fossi rivestiti

La verifica della capacità di smaltimento dei fossi rivestiti è effettuata verificandone il grado di riempimento in relazione alla portata massima ad essi affluente (con TR=100 anni, come descritto precedentemente).

Poiché si considerano tratti di canaletta sostanzialmente rettilinei ed a pendenza costante il livello d'acqua utilizzato per la verifica è quello corrispondente al deflusso della portata in moto uniforme.

La verifica si considera superata se in tali condizioni l'area bagnata della sezione di deflusso è minore od uguale al 70% della sezione geometrica della canaletta.

La scala di deflusso in moto uniforme è definita dalla nota formula di Chèzy:

$$Q = \frac{1}{n} \Omega R^{3/2} i^{1/2}$$

Il calcolo è stato eseguito utilizzando la nota espressione di Chezy dove:

- Q è la portata in mc/s
- n è il coefficiente di scabrezza di Manning
- R il raggio idraulico della sezione bagnata in m
- i la pendenza
- Ω la sezione bagnata in mq

dove i simboli utilizzati hanno il seguente significato:

- Q: portata in moto uniforme, in m³/s; Manning e 35 m^{1/3}/s per i fossi in massi ed in terra (0.028 m^{-1/3}·s Manning).
- Ω: area bagnata della sezione di deflusso, in m²;
- R: raggio idraulico, in m;
- i: pendenza longitudinale del fondo scorrevole, in m/m.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica
	Foglio 22 di 32

La scala di deflusso permette di individuare l'altezza d'acqua corrispondente alla portata Q ed il conseguente grado di riempimento del manufatto.

8.6. Verifica della capacità di smaltimento dei fossi drenanti

Il dimensionamento dei fossi disperdenti è stato condotto risolvendo, per incrementi finiti di tempo, l'equazione differenziale di continuità di un serbatoio, applicata alla situazione in esame. La procedura prevede, per diverse durate dell'evento piovoso, la scrittura dell'**equazione di continuità** con riferimento al volume di controllo costituito dal fosso:

$$\frac{dW(t)}{dt} = Q_e(t) - Q_u(t)$$

In tale equazione con $W(t)$ si è indicato il volume invasato nel fosso al tempo t , e con $Q_e(t)$ e $Q_u(t)$ le portate, in ingresso ed in uscita al tempo t , dal fosso medesimo.

La portata in ingresso, variabile temporalmente, è costituita dall'idrogramma generato dalle acque meteoriche cadute sulle superficie da drenare. L'**idrogramma di afflusso** adottato presenta una forma trapezoidale, ovvero la portata cresce dal valore zero al valore massimo nei primi 5 minuti di pioggia, si mantiene al valore massimo per tutta la durata dell'evento, e torna al valore zero nei 5 minuti successivi alla fine dell'evento meteorico. Il valore di picco dell'idrogramma è stato ottenuto, per ciascuna durata di pioggia considerata, con la seguente espressione:

$$Q_{e_max} = \varphi \cdot A \cdot a \cdot d^{n-1} \quad [m^3/s]$$

nella quale:

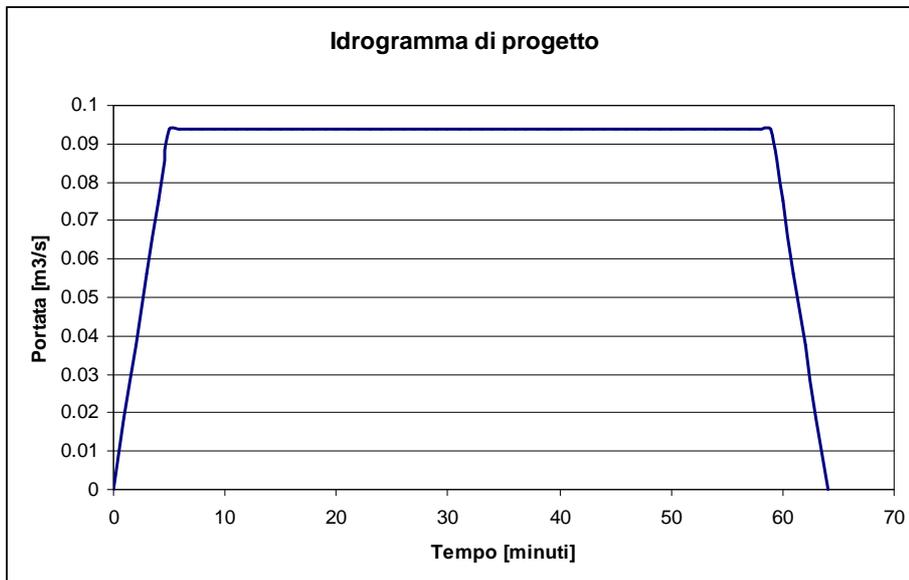
φ coefficiente di deflusso, assunto pari a 0.40

A superficie drenata [m^2];

d [h] durata dell'evento piovoso;

a [m/h^n], n [-] parametri della curva di possibilità pluviometrica per $Tr = 100$ anni;

Nella figura seguente si riporta a titolo esemplificativo un possibile idrogramma di progetto costruito secondo le ipotesi adottate, per la durata di pioggia di 60 minuti.



La portata in uscita, che si infila nel terreno attraverso il fondo e le superfici laterali del fosso, è stata valutata moltiplicando la velocità di filtrazione per la superficie (fondo + laterale) bagnata dal liquido. La velocità di filtrazione K a sua volta è stata valutata assumendo un valore unitario della cadente piezometrica ed un coefficiente di filtrazione pari a $4 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Per fossi di sezione trasversale trapezia, indicando con:

- b [m] base minore
- L [m] lunghezza del fosso
- h [m] tirante d'acqua nel fosso
- $(b+h) \cdot h \cdot L$ [m³] volume invasato
- $(b+2h) \cdot L$ [m²] superficie filtrante

la **legge dei deflussi** risulta:

$$Q_u(t) = K \cdot (b+2h) \cdot L$$

Pertanto, per ogni durata considerata dell'evento piovoso, è stato costruito l'idrogramma di afflusso al fosso $Q_e(t)$, discretizzando il tempo in intervalli di 1 minuto, e dalla soluzione dell'equazione di continuità alle differenze finite sono stati valutati, istante per istante, il valore del tirante all'interno del fosso e il volume in esso invasato.

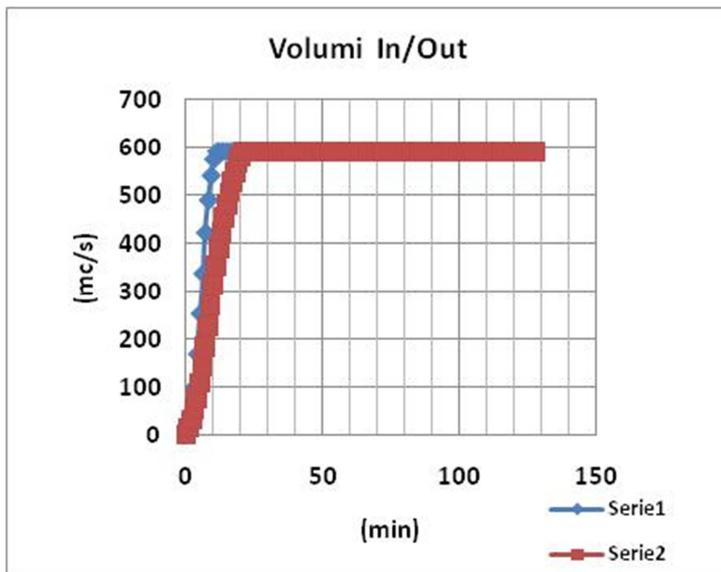
Nei calcoli si è considerato nullo il volume in ingresso nel fosso fintanto che il volume cumulato ottenuto dall'idrogramma non fosse superiore alla capacità di invaso del bacino drenato.

Variando quindi la durata dell'evento piovoso iterativamente è stato possibile determinare la durata critica alla quale corrisponde il massimo valore del tirante idrico e quindi il massimo volume di invaso necessario per il fosso in esame.

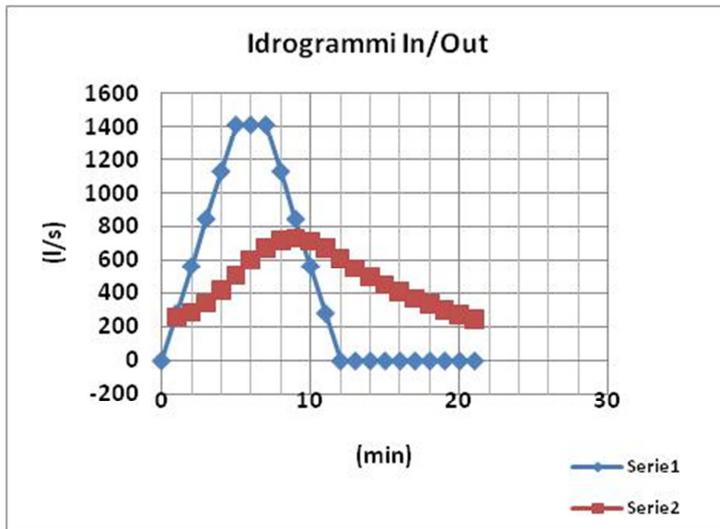
Nel caso in cui si adottino, per problemi di pulizia e manutenzione, dei fossi disperdenti riempiti con materiale di grossa pezzatura, le formulazioni esposte si mantengono valide con l'avvertenza di considerare utile per l'invaso solo il volume dei vuoti tra gli elementi del materiale ($n=0.30$).

Di seguito si riportano le verifiche dei fossi disperdenti in progetto, indicando i valori massimi del tirante idrico e del volume invasato, nonché i grafici di tali grandezze per il tempo di pioggia che rende massimo il valore del tirante idrico e il massimo volume di invaso.

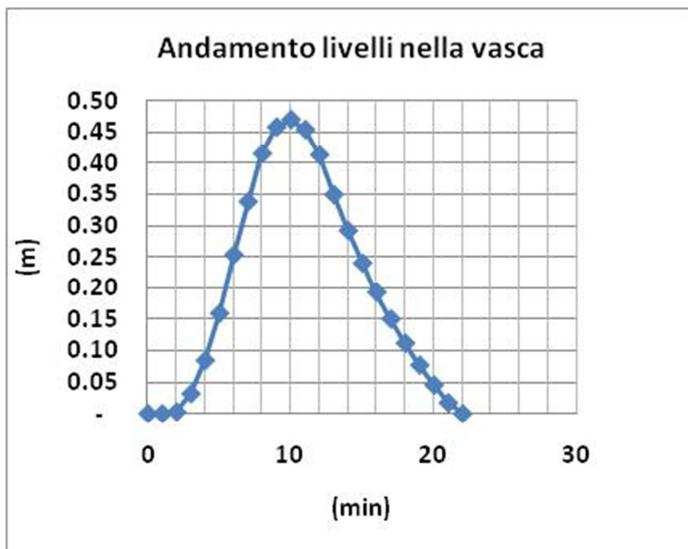
Fosso d 3 L 1148



Volume in ingresso-Volume in uscita



Idrogramma in ingresso-portata infiltrata



Andamento livelli idrici in vasca

Il massimo livello che si verifica è di 47 cm, nell'evento peggiore, quindi accettabile, considerando una fascia afferente di 30 m.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica
	Foglio 26 di 32

9. DRENAGGIO DI LINEA

9.1. Valutazione della vulnerabilità idraulica

In base alle valutazioni dei tratti di linea ferroviaria effettuata in sede di progetto definitivo riguardante la vulnerabilità idraulica legata alle acque meteoriche provenienti dai versanti, vengono inoltre riassunte le tipologie di intervento previste in ciascun tratto.

Progressiva		Binario	Tipo drenaggio
Da km	Akm		
47+520	48+510	dispari	stradello
48+510	49+200	dispari	stradello

9.2. Dimensionamento della rete drenante

I paragrafi seguenti riassumono le caratteristiche salienti del reticolo di drenaggio in progetto per ciascun tratto di linea. I dettagli delle verifiche sono riprodotti in Allegato 1; posizionamento, dimensioni, lunghezze dei tratti ed indicazioni riguardo al recapito delle acque sono forniti nelle planimetrie idrauliche allegate .

Le sezioni delle canalette adottate sono riportate nelle Tabelle e in particolare viene indicato:

- nome;
- tipo (Cc: in cls, Ct: in terra, Cm: in massi cementati);
- dimensioni in m (base e altezza);
- pendenza delle sponde x/y;
- lunghezza del tratto in m.

9.3. Descrizione tratta TR16

Per quanto riguarda il tratto di WBS TR16 sono stati individuati alcuni corpi idrici superficiali con funzione primariamente irrigua che possono essere utilizzati come recapito per le acque meteoriche, ovvero il 23 (roggia Marenganino), 24 (roggia Patoni), 28 (Roggia Cerca). Il corpo ferroviario viene drenato da canalette in calcestruzzo situate su entrambi i lati della piattaforma ferroviaria tra lo stradello di servizio e i binari le quali scaricano le acque raccolte nei tombini che consentono ai fossi di recapito l'attraversamento della linea.

Il drenaggio di piattaforma del TR16, conferma la scelta del PD con la presenza della canaletta trapezia da 47+750 fino al tombino 47+834 di base 1.2 m e altezza 1 m con sponde 1/1. Nella tratta precedente, tra PK 47+300 fino a Pk 47+750 si prevede una canaletta rettangolare di base 2 m e altezza 1m, per ragioni di spazio, a differenza del PD che prevedeva sempre una sezione trapezia. Questa tratta è caratterizzata

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica
	Foglio 27 di 32

dall'affiancamento del RI72, infatti, in corrispondenza delle PK 47+725 fino al tombino IN15, è previsto un collettore in PVC in affiancamento alla canaletta trapezia. Il collettore sarà realizzato in PVC e avrà diametro DN600 per recapitare le acque raccolte dalla canaletta rettangolare proveniente dai rilevati RI71 e RI72. Il drenaggio delle piattaforme del RI72 e della TR16 da PK 47+725 fino al IN15 è affidato alla canaletta trapezia 1.2X1 m già prevista nel PD, considerato che le quote scorrimento e le dimensioni di questa canaletta sono compatibili con entrambe le piattaforme. La quota di arrivo della canaletta trapezia e del collettore non possono prescindere dalla quota scorrimento del tombino. Di conseguenza ciò ha vincolato le quote di arrivo e quindi le pendenze del tubo e delle canalette. Ma mentre il fosso a servizio del TR16 non ha particolari problemi, il drenaggio del binario RI71 presenta un punto di minimo e nello stesso punto un tratto a pendenza zero, che hanno imposto il collettore nell'ultimo tratto.

Per completezza si sintetizza che nel PE, i rilevati RI71 e RI72 fino a PK 47+725 è prevista una canaletta rettangolare come nel PD, nel primo tratto 0.5X0.5 m che poi diventa 0.6X0.5 m, con riempimento di seconda fase.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica
	Foglio 28 di 32

10. ATTRAVERSAMENTI DI LINEA

Di seguito si riporta una sintesi degli attraversamenti della linea individuati nei tratti in esame per il cui progetto e verifiche però si rimanda agli elaborati specifici.

Qualora l'attraversamento dia continuità ad un fosso appartenente al reticolo idrografico esistente, come portata di progetto si è assunta la portata di piena idrologica, mentre qualora l'attraversamento risulti funzionale esclusivamente alle acque di piattaforma si considera la portata massima proveniente dalle canalette ad esso collegato; nel caso in cui l'attraversamento della linea serva sia per dare continuità ad un fosso irriguo che per lo scarico delle acque di piattaforma, è stata assunta la portata maggiore tra le due.

Le verifiche idrauliche sono effettuate con una simulazione di moto uniforme.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica
	Foglio 29 di 32

Esistenti da ripristinare

Tombino	PK	Tipologia esistente	Provenienza acque	Fosso n.
T-16-1	47+834	Ø1000	Irriguo+Piattaforma	23
T-16-2	47+907	1,3X0,80	Irriguo+Piattaforma	24
T-16-3	48+510	2,5X1.70	Irriguo+Piattaforma	28

In progetto

Tombino	PK	Tipologia	Provenienza acque
T-16-1	47+834	Ø1500	Irriguo+Piattaforma
T-16-2	47+907	Ø1500	Irriguo+Piattaforma
T-16-3	48+510	2,5X2	Irriguo+Piattaforma

TR16

IN15: tombino circolare di diametro 1500 mm per l'attraversamento della linea da parte del fosso 23 (Roggia Marenganino) e per lo scarico delle acque di piattaforma sia lato binario pari che lato binario dispari nel fosso stesso. Si fa notare che parte della portata viene scolmata e inviata al tombino successivo T-T16-2.

IN16: tombino circolare di diametro 1500 mm per l'attraversamento della linea da parte del fosso 24 (Roggia Patoni) e per lo scarico delle acque di piattaforma sia lato binario pari che lato binario dispari nel fosso stesso.

IN18: scatolare di dimensioni $b \times h = 2,50 \times 2,00$ m, consente l'attraversamento della linea da parte della deviazione del fosso 28, ed è raccordato a valle con l'imbocco di un manufatto tombato esistente. Nel tombino vengono scaricate acque di piattaforma proveniente dal lato binario dispari.

Per quanto riguarda invece i fossi alle progressive 48+205 e 48+216, essi risultano essere il ramo terminale del reticolo irriguo, direttamente alimentati dalla roggia Cerca; come tali, non approvvigionano altri terreni a valle della linea, ma terminano poco distanti da essa.

Analogo discorso vale per il tombino esistente alla progressiva km 48+472, che risulta essere a servizio di un piccolo fosso non più attivo, e che comunque a valle della linea si congiungerebbe con il fosso 28. Si è pertanto deciso di eliminare il tombino esistente.

10.1. Collettori di raccordo

Di seguito si riportano i collettori che sotto la linea collegano elementi di piattaforma con le relative quote di progetto.

TR16

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica
	Foglio 30 di 32

T-T16-1: tombino circolare di diametro 800 mm a PK 48+092, per l'attraversamento dei binari delle acque di piattaforma lato binario pari.

A PK 47+523 passaggio sotto la stradina di accesso al fabbricato FA1S Ø600

A PK 47+610 passaggio sotto la stradina di accesso al fabbricato FA1S Ø600

PROGRESSIVA	WBS	L(m)	Ø mm	Q ingresso	Q uscita
48+092	T-T16-1	11	800	133.6	133.0041
47+523		6	600	135.36	135.34
47+610		6	600	135.12	135.10

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-04-E-CV-RI-TR16-03-001-A02.DOCX Relazione idrologica-idraulica</p>	<p>Foglio 31 di 32</p>

11. ALLEGATO 1 VERIFICHE IDRAULICHE

Nodo iniz.	Nodo fin.	Q iniz. (m)	Q fin. (m)	L (m)	i med (m/m)	Ks	% riemp.	Tip. Sez.	B (m)	H (m)	Q (l/s)	L fosso (m)	Sup. Piatt. (mq)	Sup. Ril. (mq)	Sup. Est. (mq)	Wp piatt. (mc)	Wp ril. (mc)	Wp est. (mc)	Wp canaletta. (mc)	W tot (mc)	ϕ	a (m/h)	n	u (l/s/ha)
D1e-1	D1e-2	141.91	135.90	1400	0.0043	66	0.628802	T	1	0.5	648.91	1400	15050	1400	0	604.56	56.24	0.00	578.549	1239.35	0.88	0.0754	0.368	126.4898
T.R15_2-1	T.R15_2-2	135.36	135.32	22	0.0020	66	0.619638	C	0.5	1	648.91	22	0.000001	0	0	11.25	0.00	0.00	11.24608	22.49	0.90	0.0754	0.368	4.15E-13
D1-1	D1-2	135.80	135.10	365	0.0019	66	0.551142	R	0.5	0.7	159.09	365	4186.25	0	0	91.34	0.00	0.00	70.40839	161.75	0.90	0.0754	0.368	380.0289
D1a-1	D1a-2	135.10	134.77	222	0.0015	66	0.659624	R	0.5	1	270.05	222	3672.5	0	0	91.58	0.00	0.00	73.21826	164.80	0.90	0.0754	0.368	302.1299
D4-1	D4-2	135.38	135.28	70	0.0015	66	0.399966	R	0.5	0.5	59.07	70	752.5	0	0	10.76	0.00	0.00	6.9994	17.76	0.90	0.0754	0.368	785.0094
D5a-1	D5a-2	135.00	134.85	38	0.0040	66	0.100916	R	1	0.7	46.14	38	408.5	0	0	4.73	0.00	0.00	2.684353	7.41	0.90	0.0754	0.368	1129.481
D5b-1	D5b-2	134.85	132.06	558	0.0050	66	0.281412	R	1	0.7	249.42	558	5998.5	0	0	139.91	0.00	0.00	109.9197	249.83	0.90	0.0754	0.368	338.8821
D6a-1	D6a-2	132.05	129.72	437	0.0053	66	0.602923	T	0.5	0.5	369.58	437	4697.75	0	0	129.07	0.00	0.00	105.5835	234.66	0.90	0.0754	0.368	255.7942
D6b-1	D6b-2	129.72	128.86	285	0.0030	66	0.540538	T	1	0.5	416.73	285	3063.75	0	0	113.16	0.00	0.00	97.8446	211.01	0.90	0.0754	0.368	153.8826
D6c-1	D6c-2	128.86	128.77	31	0.0030	66	0.482895	R	1.5	0.5	421.46	31	333.25	0	0	12.89	0.00	0.00	11.2273	24.12	0.90	0.0754	0.368	142.0967
D6d-1	D6d-2	128.77	128.50	88	0.0031	66	0.54931	T	1	0.5	435.61	88	946	0	0	35.54	0.00	0.00	30.80797	66.35	0.90	0.0754	0.368	149.4749

Nodo iniz.	Nodo fin.	Q iniz. (m)	Q fin. (m)	L (m)	i med (m/m)	Ks	% riemp.	Tip. Sez.	B (m)	H (m)	Q (l/s)	L fosso (m)	Sup. Piatt. (mq)	Sup. Ril. (mq)	Sup. Est. (mq)	Wp piatt. (mc)	Wp ril. (mc)	Wp est. (mc)	Wp canaletta. (mc)	W tot (mc)	ϕ	a (m/h)	n	u (l/s/ha)
P1c-1	P1c-2	138.41	135.40	668	0.0045	66	0.612479	T	1	0.7	1151.98	668	13660.6	1336	0	441.03	43.13	0.00	409.1833	893.35	0.88	0.0754	0.368	183.643
P1-1	P1-2	135.24	134.67	450	0.0013	66	0.708225	R	2	1	1852.39	450	9202.5	900	0	626.63	61.28	0.00	637.4029	1325.32	0.88	0.0754	0.368	50.97535
P1a-1	P1a-2	134.67	134.55	80	0.0015	66	0.692337	T	1.2	1	1862.75	80	1636	160	0	103.65	10.14	0.00	104.8108	218.60	0.88	0.0754	0.368	57.69311
P2-1	P2-2	134.75	134.50	70	0.0036	66	0.429517	T	0.5	0.5	161.67	70	1431.5	140	0	16.95	1.66	0.00	10.74505	29.35	0.88	0.0754	0.368	1028.767
P3b-1	P3b-2	134.30	134.20	57	0.0018	66	0.646671	R	0.5	0.3	62.07	57	661.2	28.5	0	8.61	0.37	0.00	5.529039	14.51	0.89	0.0754	0.368	899.9202
P3a-1	P3a-2	135.00	134.30	180	0.0039	66	0.556015	T	0.5	0.5	271.59	180	3051	1080	0	44.01	15.58	0.00	38.93253	98.52	0.85	0.0754	0.368	657.4373
T.R16_1-1	T.R16_1-2	133.70	133.00	14	0.0500	66	0.244923	C	0.4	0.8	333.65	14	0.000001	0	0	1.34	0.00	0.00	1.336516	2.67	0.90	0.0754	0.368	1.61E-11