

COMMITTENTE:



ALTA
SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE
OBIETTIVO N. 443/01
LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA
Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza
PROGETTO ESECUTIVO
PARTE GENERALE
NV55 - ALLARGAMENTO VIA PONTARA SANDRI TRATTO VERONA
GENERALE
Relazione idraulica e smaltimento acque meteoriche**

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Consorzio Iricav Due ing. Paolo CARMONA Data: Giugno 2021			

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV. FOGLIO

I	N	1	7	1	2	E	I	2	R	I	N	V	5	5	0	X	0	0	1	A	-	-	-	P	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma Luca RANDOLFI	Data

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	Coding 	20/09/21	C.Pinti 	20/09/21	P. Luciani 	20/09/21	

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712EI2RINV550X001A
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

TUTTI I DIRITTI DEL PRESENTE DOCUMENTO SONO RISERVATI: LA RIPRODUZIONE ANCHE PARZIALE È VIETATA

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RINV550X0001	A

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
3.	ELABORATI DI RIFERIMENTO	5
4.	SINTESI DEGLI STUDI IDROLOGICI	6
5.	DESCRIZIONE DEI PRESIDI IDRAULICI ADOTTATI PER IL DRENAGGIO E LA LAMINAZIONE	7
6.	PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI DRENAGGIO	9
6.1	PROGETTAZIONE DELL'INTERASSE MINIMO DEGLI EMBRICI.....	10
6.2	PROGETTAZIONE DELLA RETE DI DRENAGGIO	12
7.	VERIFICA DELLE OPERE MINORI	15
8.	CONCLUSIONI.....	19
9.	ALLEGATI DI CALCOLO.....	20
9.1	DIMENSIONAMENTO DELLA RETE DI DRENAGGIO	20

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RINV550X0001	A

1. PREMESSA

La presente relazione illustra la metodologia adottata e i risultati ottenuti per la progettazione del sistema di drenaggio del cavalcaferrovia "NV55 - ALLARGAMENTO VIA PONTARA SANDRI TRATTO VERONA" parte integrante dell'intervento Infrastrutture Ferroviarie Strategiche definite dalla Legge Obiettivo N.443/01 – Linea AV/AC Torino – Venezia, tratta Verona-Padova Lotto Funzionale Verona – Bivio Vicenza.

Il documento, redatto in ragione dei pregressi studi idrologici e idraulici realizzati nell'ambito della progettazione ferroviaria, si articola nei capitoli che seguono:

- Capitolo 2 – riferimenti normativi, bibliografici e documenti di istruttoria Italferr;
- Capitolo 3 – elaborati grafici di riferimento;
- Capitolo 4 – sintesi degli studi idrologici e definizione delle Curve di Possibilità Pluviometrica;
- Capitolo 5 – descrizione dei presidi idraulici adottati per l'intervento in esame;
- Capitolo 6 – progettazione della rete di drenaggio (embrici, condotte e fossi);
- Capitolo 7 – verifica delle opere minori;
- Capitolo 8 – conclusioni;
- Capitolo 9 – allegati di calcolo.

In ottemperanza alle prescrizioni presenti all'interno del Manuale di Progettazione Italferr, il dimensionamento dei presidi idraulici è realizzato per un periodo di ritorno non inferiore a 50 anni. Il sistema di drenaggio, inoltre, risponde alle indicazioni riportate nel Decreto Regionale 2948 del 6 ottobre 2009 (Valutazione di compatibilità idraulica per la redazione degli strumenti urbanistici), ovvero alle prescrizioni fornite degli Enti Territoriali Competenti (Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RINV550X0001	A

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Di seguito sono riportati i principali riferimenti normativi e bibliografici per la progettazione:

- Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Veneto (PAI);
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA);
- Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018);
- Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP.;
- Regio Decreto del 25/07/1904 n.523;
- Manuale di Progettazione RFI;
- Piano di tutela delle acque art 121, Decreto legislativo 3 aprile 2006, n.152, “Norme in materia ambientale” – Norme tecniche di attuazione – Allegato A3 alla Delibera del Consiglio Regionale n. 107 del 5/11/2009 e successive modifiche e integrazioni Aggiornamento a LUGLIO 2018;
- Rapporto di verifica alla Progettazione (Italferr, 2020.08.08 - IINOD00D11ISNV5500001B);
- Idraulica dei sistemi fognari. Dalla teoria alla pratica (Gisonni C., Hager W.H.).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RINV550X0001	A

3. ELABORATI DI RIFERIMENTO

1. IN1712EI2P8NV550X001A – Planimetria idraulica;
2. IN1712EI2BZNV550X001A – Particolari idraulici.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 		
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RINV550X0001	A

4. SINTESI DEGLI STUDI IDROLOGICI

Congruentemente alle indicazioni presenti all'interno del Progetto Esecutivo ("Relazione Idrologica e Idraulica Attraversamenti Secondari" - IN1710EI2RHID0000002B), contenente lo studio idrologico redatto tenendo conto delle prescrizioni fornite da parte del Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta (2016), derivanti dal quadro prescrittivo a seguito dell'approvazione del Progetto Definitivo e specificate nell'allegato 1 della Delibera Cipe con Delibera n.84 del 22.12.2017 e derivanti dalle istruttorie ITF relative al Progetto Definitivo (2018-2019).

La tabella che segue riporta i parametri di riferimento per le CPP relativi alla stazione di Buttapietra (si rimanda al documento citato sopra per approfondimenti).

$$h(t) = at^n \quad (\text{formulazione a due parametri})$$

2 PARAMETRI (d<60min)		2 PARAMETRI (d>60min)	
a mm/h ⁿ	n	a mm/h ⁿ	n
78.5	0.603	73.8	0.131

Tabella 4-1 - Parametri delle CPP relativi a un evento con periodicità statistica cinquantennale

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RINV550X0001	A

5. DESCRIZIONE DEI PRESIDI IDRAULICI ADOTTATI PER IL DRENAGGIO E LA LAMINAZIONE

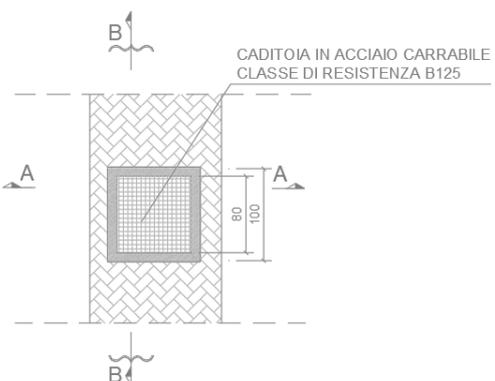
Il presente capitolo offre una descrizione dei presidi idraulici adottati per il drenaggio della piattaforma stradale e per la laminazione delle portate. Come è possibile osservare dalle figure che seguono, il sistema di drenaggio e laminazione per la viabilità in esame è caratterizzato da:

Viabilità in rilevato (presenza abitazioni) – lo smaltimento dei volumi meteorici intercettati dalla piattaforma stradale è realizzato a mezzo di un sistema di pozzetti prefabbricati in calcestruzzo vibrocompreso, costituiti da base, prolunga e griglia carrabile (classe di resistenza B125, dimensioni utili 80x80cm), opportunamente distribuiti e una rete di condotte di diametro variabile (PVC – resistenza anulare SN 8);

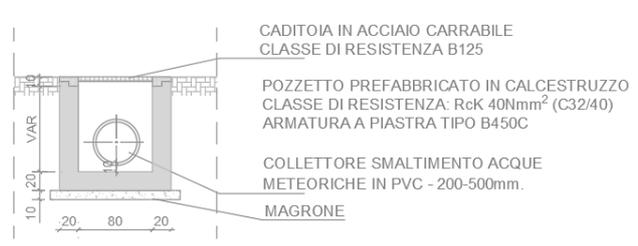
POZZETTO DI ISPEZIONE IN CALCESTRUZZO

SCALA 1:50

PIANTA



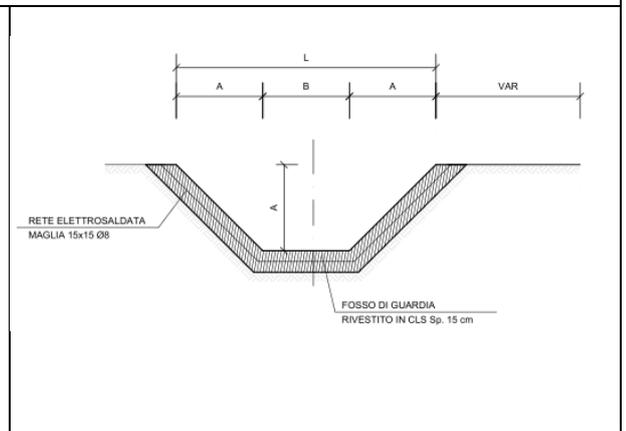
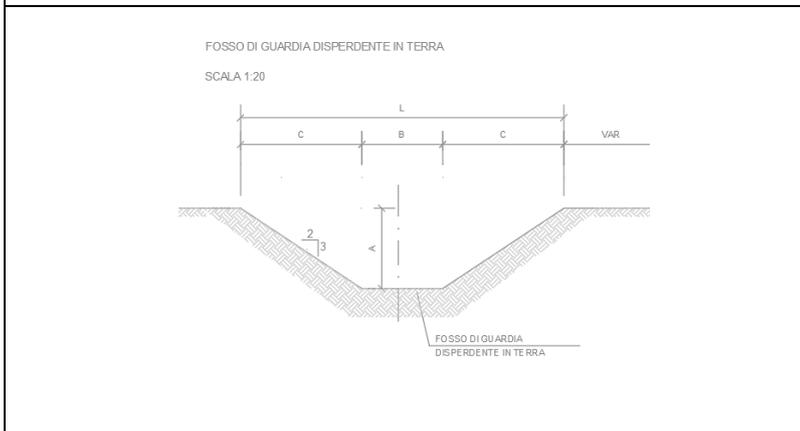
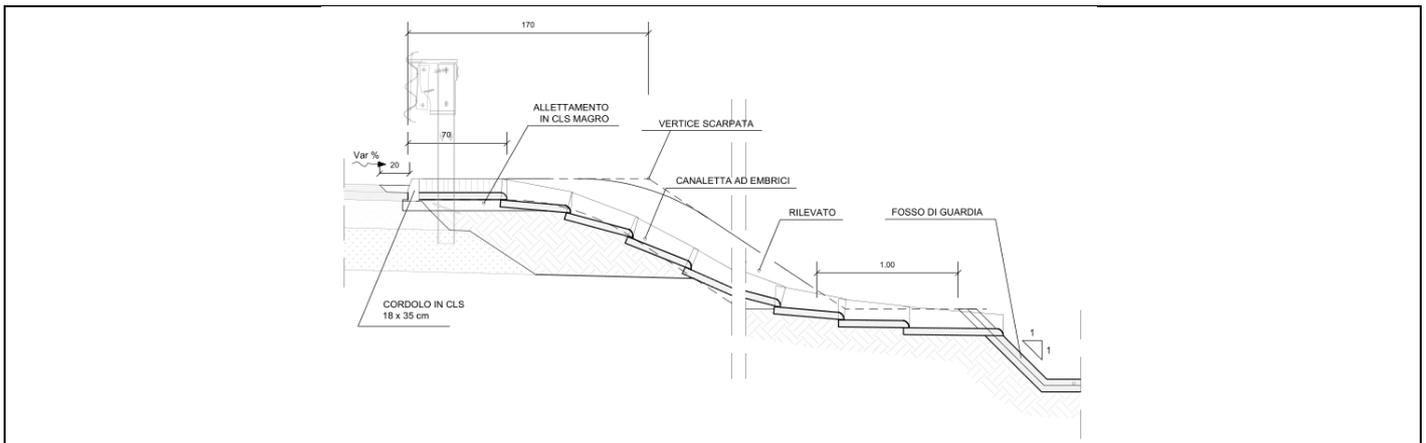
SEZIONE A - A



ID	Di (mm)	De (mm)
PVC – DN 315	296.6	315
PVC – DN 400	376.6	400
PVC – DN 500	470.8	500
PVC – DN 630	593.2	630

Tabella 5 1 – Sistema d drenaggio per porzioni di viabilità in rilevato. In alto a sinistra: tipologico della caditoia; in alto a destra: tipologico del pozzetto; in basso a sinistra: tabella dei diametri delle condotte utilizzate per il presente intervento.

- Viabilità in rilevato (assenza abitazioni) - lo smaltimento dei volumi meteorici intercettati dalla piattaforma stradale è realizzato a mezzo di embrici che convogliano le portate ai fossi di guardia in terra e prefabbricati in calcestruzzo, sezione trapezoidale con base 0.5m, profondità 0.5m e pendenza 1/1 posti a presidio del rilevato stradale



ID/TIPOLOGIA	B (mm)	H (mm)
FOSSO 50X50	500	500

ID/TIPOLOGIA	B (mm)	H (mm)
FOSSO 100X100	1000	1000

Tabella 5-3 – Sistema di drenaggio per porzioni di viabilità in rilevato. In alto: embrice; a sinistra: tipologico del fosso di guardia in terra; a destra: tipologico del fosso di guardia prefabbricato in calcestruzzo; in basso: tabella delle dimensioni.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 		
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RINV550X0001 A

6. PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI DRENAGGIO

Il presente capitolo ha come obiettivo la progettazione del sistema di raccolta e convogliamento delle portate a mezzo di rete di drenaggio. Come già anticipato nel paragrafo descrittivo dei presidi idraulici, i volumi meteorici intercettati dalla piattaforma stradale vengono convogliati dai pozzetti con caditoia grigliata alla rete di collettori interrata (viabilità in rilevato in presenza di abitazioni), o a mezzo di embrici (viabilità in rilevato in assenza di abitazioni) che raccolgono l'acqua nei fossi di guardia laterali. Entrambi i sistemi recapitano all'interno di tombini idraulici che vengono dimensionati al fine di assicurare lo scarico nei recapiti esistenti della Fossa Mattanara e della Fossa Gardesana).

Il tratto del Fossa Mattanara a monte della confluenza nel Fossa Gardesana dovrà essere rivestito mediante elementi prefabbricati disposti a cascata (embrici), al fine di costituire uno scivolo che recapiti le acque meteoriche fino al piede della scarpata. Tale rivestimento ha una lunghezza di circa 23 m.

La determinazione del massimo interasse ammissibile per gli embrici è realizzata raffrontando la portata critica generata da un evento di pioggia ($t_c=10\text{min}$ – formula razionale) con la capacità idraulica della porzione di piattaforma individuata tra cordolo e banchina (deflusso in condizioni di moto uniforme).

La progettazione del sistema di drenaggio è ottenuta, in ottemperanza alle indicazioni presenti all'interno del "Manuale di Progettazione Italferr", per applicazione del Metodo dell'Invaso Lineare.

Tutte le verifiche sono state condotte nell'ipotesi di evento di progetto con periodicità statistica media cinquantennale.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 		
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RINV550X0001	A

6.1 PROGETTAZIONE DELL'INTERASSE MINIMO DEGLI EMBRICI

Il dimensionamento dell'interasse di posizionamento è realizzato raffrontando la capacità del manufatto con le portate convogliate nella porzione di piattaforma compresa tra banchina e cordolo, rispetto a un evento meteorico di progetto.

L'analisi è condotta nell'ipotesi che, per i presidi in esame, i fenomeni di natura cinematica prevalgano rispetto alle condizioni di accumulo volumetrico, rendendo di fatto applicabile la formula razionale per la determinazione del picco di piena.

L'evento di progetto è calcolato per un periodo di ritorno pari a 50anni e un tempo di corrivazione del bacino drenato non superiore a 10 minuti.

Alle condizioni indicate, la portata critica risulta:

$$Q(d, TR) = ad^{n-1}L \sum_i^n \varphi_i b_i$$

Con a ed n parametri delle CPP per assegnato periodo di ritorno, φ_i coefficiente di afflusso in rete, L lunghezza dell'interasse massimo tra condotte e b_i larghezza del bacino drenato.

La capacità di convogliamento è determinata ipotizzando che la massima superficie bagnata generata non ecceda i 100 cm. In tali condizioni, ipotizzando una pendenza media trasversale del 2.5%, il tirante massimo individuato è pari a 2.5cm. La massima portata è dunque:

$$Q_c = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \sigma \sqrt{s}$$

Con n coefficiente di scabrezza di Manning ($n=0.015 \text{ s/m}^{1/3}$), R raggio idraulico, σ sezione bagnata e s pendenza media della viabilità.

I risultati del dimensionamento dell'interasse sono di seguito riportati. Come è possibile osservare, per valori di pendenza media e ingombro di piattaforma variabili la capacità della caditoia grigliata e dell'embrice eccede sempre quella del sistema cordolo+piattaforma. A vantaggio di sicurezza, per l'intervento in esame, si fissa un valore massimo dell'interasse non superiore a 15m.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	12	EI2RINV550X0001	A

sl m/m	L m	B m	A m ²	b m	Qc m ³ /s	h m	σ m ²	v m/s	Qd m ³ /s	Qg m ³ /s	Ld m
0.002	15.70	5.00	78.52	1.00	0.003	0.03	0.01	0.26	0.003	0.08425	15
0.005	24.83	5.00	124.15	1.00	0.005	0.03	0.01	0.41	0.005	0.08425	20
0.01	35.11	5.00	175.57	1.00	0.007	0.03	0.01	0.58	0.007	0.08425	20
0.015	43.01	5.00	215.03	1.00	0.009	0.03	0.01	0.72	0.009	0.08425	20
0.02	49.66	5.00	248.30	1.00	0.010	0.03	0.01	0.83	0.010	0.08425	20
0.025	55.52	5.00	277.61	1.00	0.012	0.03	0.01	0.92	0.012	0.08425	20
0.03	60.82	5.00	304.10	1.00	0.013	0.03	0.01	1.01	0.013	0.08425	20

sl m/m	L m	B m	A m ²	b m	Qc m ³ /s	h m	σ m ²	v m/s	Qd m ³ /s	Qg m ³ /s	Ld m
0.002	7.85	10.00	78.52	1.00	0.003	0.03	0.01	0.26	0.003	0.08425	7
0.005	12.41	10.00	124.15	1.00	0.005	0.03	0.01	0.41	0.005	0.08425	12
0.01	17.56	10.00	175.57	1.00	0.007	0.03	0.01	0.58	0.007	0.08425	17
0.015	21.50	10.00	215.03	1.00	0.009	0.03	0.01	0.72	0.009	0.08425	20
0.02	24.83	10.00	248.30	1.00	0.010	0.03	0.01	0.83	0.010	0.08425	20
0.025	27.76	10.00	277.61	1.00	0.012	0.03	0.01	0.92	0.012	0.08425	20
0.03	30.41	10.00	304.10	1.00	0.013	0.03	0.01	1.01	0.013	0.08425	20

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RINV550X0001	A

6.2 PROGETTAZIONE DELLA RETE DI DRENAGGIO

Il presente paragrafo illustra sinteticamente la procedura adottata per il dimensionamento della rete di canalette a drenaggio della viabilità di progetto per applicazione del modello dell'Invaso Lineare.

La metodologia indicata assimila il deflusso caratterizzante il sistema di drenaggio a quello di un serbatoio a funzionamento autonomo (riempimento/svuotamento generato dalle caratteristiche idrologiche del bacino in assenza di effetti indotti dalla rete a valle del punto di indagine) e sincrono (riempimento/svuotamento contemporaneo). In tali condizioni, la distribuzione temporale dei volumi all'interno del serbatoio può esprimersi a mezzo dell'equazione di continuità:

$$(p - q)dt = dw$$

Con p e q portata entrante e uscente dal serbatoio nell'unità di tempo dt e dw volume infinitesimo accumulato. L'equazione è risolta nell'ipotesi di proporzionale linearità tra volume totale accumulato a monte della sezione di chiusura, portata convogliata e area sottesa.

$$\frac{W}{\omega} = cost$$

$$\frac{Q}{\omega} = cost$$

Questa condizione, nel caso di un singolo tratto, corrisponde all'ipotesi di moto uniforme e caratterizza il comportamento autonomo e sincrono delle reti complesse.

Applicando le condizioni appena introdotte risulta:

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 		
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RINV550X0001	A

L'integrazione dell'equazione di continuità consente di definire la relazione tra la portata e il tempo di riempimento di un canale, permettendo dunque la stima del deflusso massimo all'interno del condotto al tempo di riempimento t_r .

Applicando la condizione $t = t_r$ è possibile determinare l'espressione analitica del coefficiente udometrico:

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

Con:

- u - coefficiente udometrico, rappresenta la portata per unità di superficie del bacino (l/s/ha);
- φ - il coefficiente di deflusso medio pesato rispetto alla superficie (bacino naturale: 0.4; scarpata di progetto: 0.6; piattaforma: 0.9);
- a, n - coefficienti della curva di possibilità pluviometrica per durate inferiori all'ora;
- k - coefficiente che assume il valore "2168 n" [Sistemi di Fognatura, Manuale di Progettazione, CSU Editore, Hoepli; Appunti di Costruzioni Idrauliche, Girolamo Ippolito, Liguori Editore];
- w - volume specifico di invaso totale, pari al rapporto tra il volume di invaso a monte della sezione di chiusura indagata e superficie drenata, è valutato secondo la seguente espressione:

$$w = \frac{W}{A} = \frac{w_0 A + W_{c-1} + W_c}{A}$$

- A rappresenta la superficie del bacino sotteso;
- w_0 rappresenta il volume specifico dei piccoli invasi, compreso tra 15-20m³/ha (Artina e Martinelli, 1997) - bacini e reti di collettamento caratterizzati da modesta pendenza (0.1-0.3%) e valori di coefficiente di afflusso superiori uguali a 0.5. Per la presente progettazione il valore è stato fissato a 15 m³/ha;
- W_{c-1} rappresenta il volume accumulato all'interno della rete di collettori a monte del tratto indagato.

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 		
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RINV550X0001 A

Ricavato il coefficiente udometrico, la portata critica come

$$Q = Au$$

Il valore viene raffrontato alla massima capacità della sezione del presidio idraulico (condizioni di deflusso in moto uniforme) a mezzo della relazione di Strickler-Manning:

$$Q_c = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \sigma \sqrt{s}$$

Con n coefficiente di scabrezza di Manning (PVC/PeAD: $n=0.011 \text{ s/m}^{1/3}$; Calcestruzzo: $n=0.015 \text{ s/m}^{1/3}$), R raggio idraulico, σ sezione bagnata e s pendenza media del presidio.

Le verifiche della rete di drenaggio sono realizzate in ragione delle prescrizioni che seguono:

1. Presidi "chiusi" (Condotte):
 - Altezza utile $\leq 500\text{mm}$ – Massimo riempimento $< 50\%$;
 - Altezza utile $> 500\text{mm}$ – Massimo riempimento $< 67\%$;
 - Velocità di deflusso – $[0.20 - 5]$ m/s.
2. Presidi "aperti" (Fossi):
 - Franco idraulico minimo $> 5\text{cm}$
 - Velocità di deflusso – $[0.1 - 5]$ m/s.

Tutte le verifiche del sistema di drenaggio sono riportate all'interno degli allegati di calcolo. Come è possibile osservare:

- La rete risulta costituita da condotte in PVC di diametro esterno di 315 400 500 e 630 mm;
- Il grado di riempimento delle canalette è ovunque inferiore al 50% della sezione utile;
- La velocità di deflusso è compresa tra 0.64 e 1.05m/s.
- La rete è costituita da fossi di guardia in terra e prefabbricati in calcestruzzo di altezza pari a 500mm e base di 500 e base 1000mm e altezza 100mm;
- Il grado di riempimento dei fossi è ovunque inferiore al 50% della sezione utile;
- La velocità di deflusso è compresa tra 0.15 e 0.56 m/s.

La verifica del sistema interrato di drenaggio può dunque ritenersi soddisfatta.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 		
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RINV550X0001 A

7. VERIFICA DELLE OPERE MINORI

Il presente paragrafo illustra la procedura adottata per il dimensionamento idraulico delle opere necessarie a garantire lo scarico delle acque raccolte dal sistema di drenaggio nella Fossa Mattanara e nella Fossa Gardesana. Le opere sono rappresentate da una condotta circolare DN 1000 in calcestruzzo e una condotta circolare DN 800 in calcestruzzo. I manufatti sono soggetti a una portata cinquantennale calcolata con metodo dell'invaso pari a 120 l/s e 130 l/s rispettivamente.

Il funzionamento idraulico dei manufatti di attraversamento, a sezione chiusa, dipende in generale da numerosi fattori quali:

- la pendenza;
- la sezione;
- la forma e la geometria dell'imbocco;
- la scabrezza.

Le verifiche necessarie per garantire la compatibilità idraulica dei tombini sono di diverso tipo a seconda che si consideri di determinarne il funzionamento all'imbocco (inlet control), il funzionamento all'interno della canna per le quali possono ritenersi cautelative le condizioni di moto uniforme e il possibile effetto di rigurgito da valle (outlet control).

La sola verifica di moto uniforme, rappresentativa delle condizioni di deflusso nella canna per tombini idraulicamente lunghi, non garantisce in generale dal possibile funzionamento in pressione che può generarsi in corrispondenza dell'imbocco, a causa della modifica della geometria della sezione e della necessaria variazione di pendenza all'interno dell'opera realizzata.

Al fine di determinare in modo cautelativo la capacità idraulica della sezione di progetto dell'opera, si è verificata la capacità della sezione d'imbocco, considerando che in corrispondenza dello stesso possano verificarsi condizioni di passaggio attraverso lo stato critico (transizione da corrente lenta a corrente veloce). In tale condizioni, appare comunque adeguatamente cautelativo fare riferimento alle quote del carico idraulico totale a monte dell'opera stessa, includendo le perdite di carico che possono verificarsi in corrispondenza dell'imbocco stesso.

Per quanto riguarda le determinazioni delle caratteristiche del deflusso in corrispondenza dell'imbocco si è ipotizzato il passaggio attraverso le condizioni critiche, caratterizzate per la sezione generica dall'equazione

$$\left. \frac{dE}{dh} \right|_{cr} = 1 - \frac{\alpha Q^2}{g \Omega^3} \frac{d\Omega}{dh} = 0$$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 		
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RINV550X0001 A

- Q portata di progetto (m³/s);
- g costante di gravità (m/s²);
- Ω area della sezione bagnata (m/s²);
- α coefficiente di Coriolis.

l'equazione precedente può essere risolta numericamente per le sezioni circolari, mentre per quelle rettangolari ci si avvale della formula esplicita:

$$h_{cr} = \left(\frac{\alpha Q^2}{g b^2} \right)^{1/3}$$

Affinché il passaggio avvenga in condizioni critiche, l'energia che ci si deve attendere a monte dell'imbocco deve essere pari all'energia minima per l'attraversamento della sezione chiusa con la portata assegnata (e dunque l'energia in condizioni critiche), data da:

$$E_{cr} = h_{cr} + \frac{\alpha Q^2}{2g\Omega_{cr}^2}$$

Nel caso specifico di corrente critica si ha che l'energia specifica E_{cr} è pari a 1.5 l'altezza h_{cr} .

Il funzionamento a superficie libera è garantito nel caso in cui l'energia a monte dell'opera non superi 1,5 volte l'altezza del tombino.

Le condizioni di moto uniforme sono utili alla determinazione dei tiranti e delle velocità che sono da attendersi nel caso la canna dell'opera abbia sufficiente lunghezza da permettere l'instaurarsi di un regime di condizioni uniformi. Tali verifiche sono state utilizzate per determinare in modo congiunto dimensioni trasversali e pendenze longitudinali dell'opera di modo da contenere le velocità all'interno del tombino. Tali velocità sono state limitate a 5 m/s in considerazione della resistenza e durabilità dei materiali e all'azione abrasiva dell'acqua e del materiale trasportato in sospensione e sul fondo.

Le verifiche sono state effettuate considerando la formula di Chezy:

$$Q = K \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

nella quale:

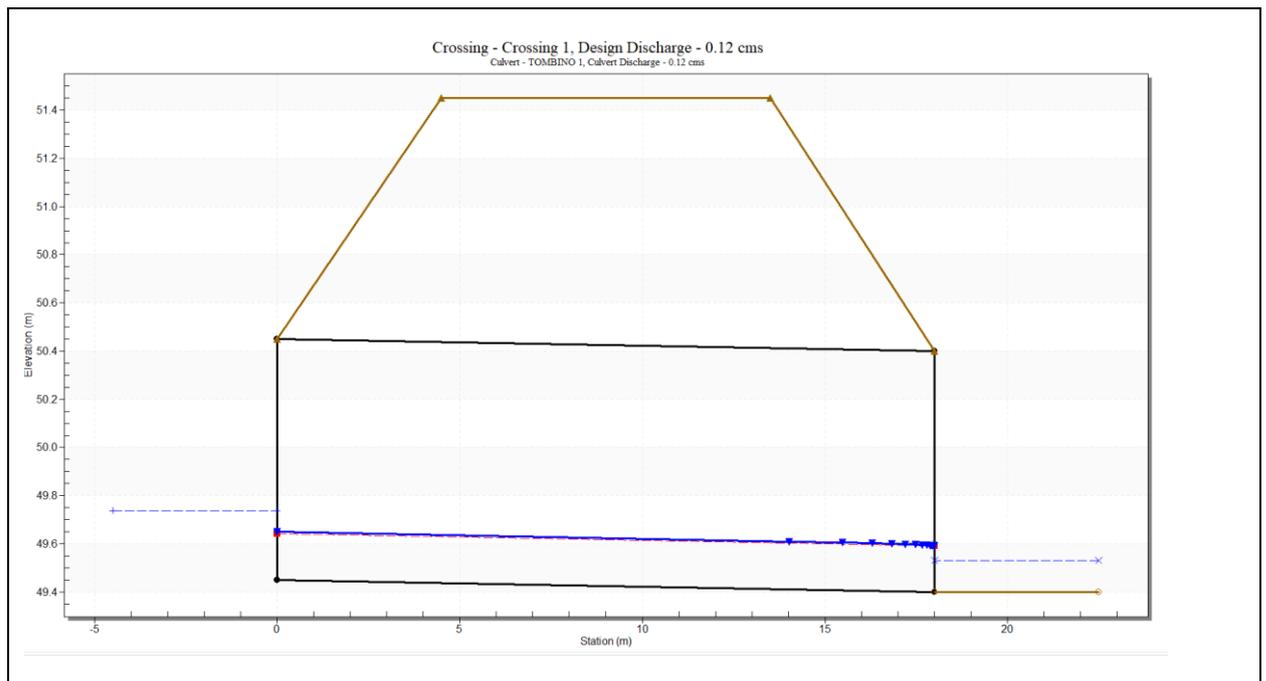
- A è l'area della sezione bagnata (m²);
- R è il raggio idraulico (m);
- i la pendenza di progetto (m/m);
- K il coefficiente di scabrezza, per il quale è stato utilizzata l'espressione alla Manning;
- $K = R^{1/6}/n$, per la quale è stato utilizzato il valore di 0,020 sm^{-1/3}.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RINV550X0001</p>	<p>A</p>

La soluzione in forma implicita dell'equazione di Chezy fornisce i valori di tirante e velocità una volta assegnate per tentativo la geometria della sezione e la pendenza longitudinale dell'opera.

Le verifiche allo sbocco, infine, sono necessarie per determinare quei casi di possibile funzionamento rigurgitato dei tombini, con conseguente insufficienza di capacità determinata dalle condizioni di valle. Tale verifica è motivata in tutti quei casi in cui l'inalveazione posta a valle dell'opera di attraversamento, a causa della difformità della geometria della sezione o della pendenza longitudinale rispetto alla sezione dell'opera stessa, possa rappresentare una effettiva riduzione dei franchi o un incremento del rapporto di riempimento.

Per i circolari oggetti di studio le analisi sono state condotte con l'ausilio del software Open Source HY-8 che permette di vagliare il comportamento relativo al deflusso dell'opera. Di seguito si rappresentano i risultati.



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RINV550X0001</p>	<p>A</p>

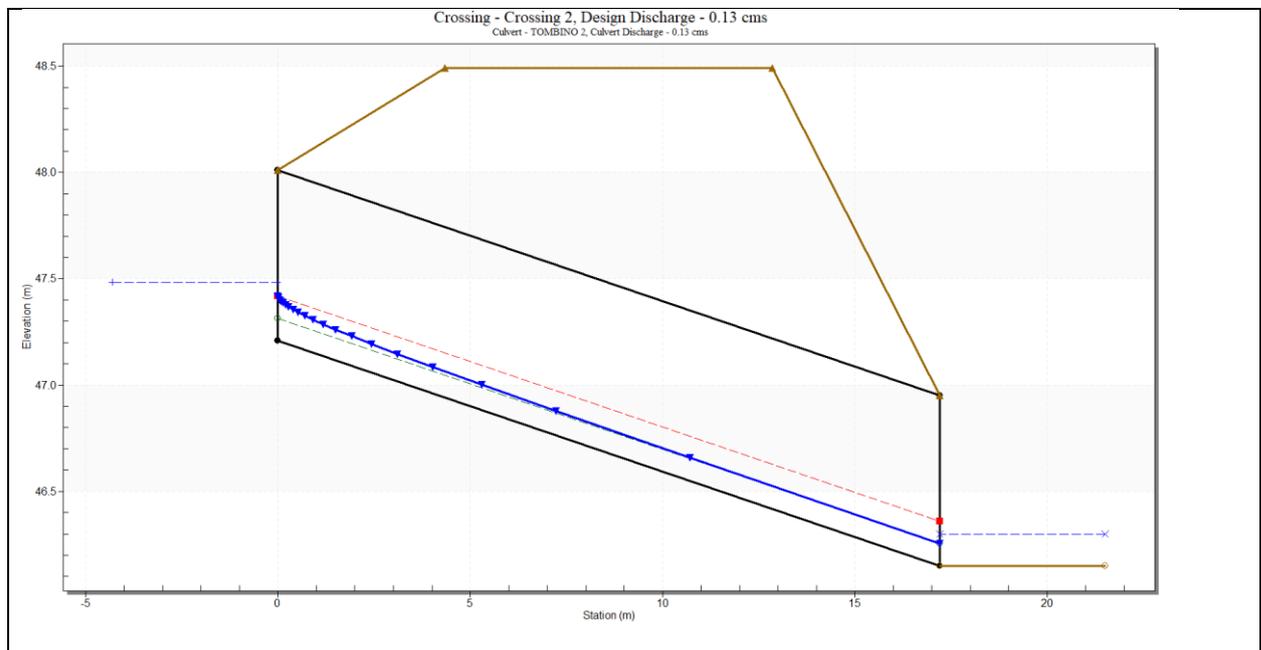


Figura 2 – Profilo di rigurgito del tombino circolare DN 1000 e DN800 in calcestruzzo.

Le verifiche permettono di osservare che:

1. Il riempimento del manufatto si mantiene sempre inferiore al 50% della sezione disponibile;
2. La velocità di deflusso è ovunque inferiore al valore soglia di 5m/s.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RINV550X0001	A

8. CONCLUSIONI

La presente relazione ha illustrato la progettazione del sistema di smaltimento idraulico del cavalcavia "NV55 - ALLARGAMENTO VIA PONTARA SANDRI TRATTO VERONA", parte integrante dell'intervento Infrastrutture Ferroviarie Strategiche definite dalla Legge Obiettivo N.443/01 – Linea AV/AC Torino – Venezia, tratta Verona-Padova Lotto Funzionale Verona – Bivio Vicenza.

Il sistema di drenaggio lungo il rilevato stradale in presenza di abitazioni risulta costituito da una rete interrata realizzato mediante caditoie grigliate e condotte in PVC con diametro variabile compreso tra 315-630mm.

Il sistema di drenaggio lungo il rilevato in assenza di abitazioni risulta costituito da embrici che raccolgono l'acqua e la fanno defluire all'interno dei fossi di guardia in terra e in calcestruzzo di progetto.

Le portate intercettate vengono recapitate alle fosse esistenti (Fossa Mattanara e Fossa Gardesana) tramite l'impiego di tombini idraulici circolari di dimensioni DN800 e DN1000.

9. ALLEGATI DI CALCOLO

9.1 DIMENSIONAMENTO DELLA RETE DI DRENAGGIO

	Dati plano-altimetrici			Metodo dell'invaso italiano - dati di bacino										Canaletta/Condotta			Analisi in moto uniforme - Capacità della canaletta/condotta							
	ID	L m	s m/m	W _{C_{i-1}} m ³	w ₀ m ³ /ha	Apav m ²	φ _{pav}	Ascp m ²	φ _{scp}	Ab m ²	φ _b	A m ²	φ	TIPOLOGIA	B_EST m	B_INT m	h m	alpha rd	A m ²	P m	R m	n s/m ^{1/3}	V m/s	Q mc/s
RETE 1	PK 5 PK 8	75.00	0.0020	0.00	15.00	675.00	0.90	0.00	0.60	0.00	0.40	675.00	0.90	CIRC	400	376.6	0.149	2.72	0.0410	0.51	0.08	0.011	0.77	0.0314
	PK 8 PK 11	75.00	0.0020	3.07	15.00	675.00	0.90	0.00	0.60	0.00	0.40	675.00	0.90	CIRC	400	376.6	0.126	2.47	0.0328	0.47	0.07	0.011	0.71	0.0231
	PK 11 PK 14	75.00	0.0020	5.53	15.00	1012.50	0.90	0.00	0.60	0.00	0.40	1012.50	0.90	CIRC	400	376.6	0.154	2.78	0.0430	0.52	0.08	0.011	0.78	0.0336
	PK 14 PK 17	75.00	0.0020	8.76	15.00	1350.00	0.90	0.00	0.60	0.00	0.40	1350.00	0.90	CIRC	400	376.6	0.177	3.02	0.0515	0.57	0.09	0.011	0.83	0.0429
	PK 17 PK 20	75.00	0.0020	12.62	15.00	1350.00	0.90	0.00	0.60	0.00	0.40	1350.00	0.90	CIRC	400	376.6	0.164	2.88	0.0464	0.54	0.09	0.011	0.80	0.0373
	PK 20 PK 23	75.00	0.0020	16.10	15.00	1687.50	0.90	0.00	0.60	0.00	0.40	1687.50	0.90	CIRC	400	376.6	0.186	3.11	0.0547	0.59	0.09	0.011	0.85	0.0465
	PK 23 PK 26	75.00	0.0020	20.20	15.00	2025.00	0.90	0.00	0.60	0.00	0.40	2025.00	0.90	CIRC	500	470.8	0.183	2.69	0.0624	0.63	0.10	0.011	0.88	0.0550
	PK 26 PK 29	75.00	0.0020	24.89	15.00	2362.50	0.90	0.00	0.60	0.00	0.40	2362.50	0.90	CIRC	500	470.8	0.197	2.81	0.0688	0.66	0.10	0.011	0.91	0.0629
	PK 29 PK 32	75.00	0.0020	30.05	15.00	3037.50	0.90	0.00	0.60	0.00	0.40	3037.50	0.90	CIRC	500	470.8	0.231	3.11	0.0850	0.73	0.12	0.011	0.98	0.0836
	PK 32 PK 35	75.00	0.0020	36.43	15.00	3712.50	0.90	0.00	0.60	0.00	0.40	3712.50	0.90	CIRC	630	580.4	0.234	2.75	0.0999	0.80	0.13	0.011	1.03	0.1031
PK 35 PK 38	75.00	0.0020	43.92	15.00	4050.00	0.90	0.00	0.60	0.00	0.40	4050.00	0.90	CIRC	630	580.4	0.240	2.79	0.1031	0.81	0.13	0.011	1.04	0.1076	
PK 38 PK 40	50.00	0.0020	51.66	15.00	4275.00	0.90	0.00	0.60	0.00	0.40	4275.00	0.90	CIRC	630	580.4	0.244	2.82	0.1053	0.82	0.13	0.011	1.05	0.1107	
RETE 2	PK 41 PK 43	50.00	0.0020	0.00	15.00	300.00	0.90	0.00	0.60	0.00	0.40	300.00	0.90	CIRC	315	296.6	0.111	2.63	0.0236	0.39	0.06	0.011	0.64	0.0150
	PK 43 PK 45	50.00	0.0020	1.18	15.00	525.00	0.90	0.00	0.60	0.00	0.40	525.00	0.90	CIRC	315	296.6	0.139	3.02	0.0319	0.45	0.07	0.011	0.71	0.0227
	PK 45 PK 47	50.00	0.0020	2.77	15.00	750.00	0.90	0.00	0.60	0.00	0.40	750.00	0.90	CIRC	400	376.6	0.144	2.67	0.0392	0.50	0.08	0.011	0.76	0.0296
	PK 47 PK 49	50.00	0.0020	4.73	15.00	975.00	0.90	0.00	0.60	0.00	0.40	975.00	0.90	CIRC	400	376.6	0.160	2.84	0.0452	0.54	0.08	0.011	0.80	0.0359
	PK 49 PK 51	50.00	0.0020	6.99	15.00	1200.00	0.90	0.00	0.60	0.00	0.40	1200.00	0.90	CIRC	400	376.6	0.174	2.99	0.0505	0.56	0.09	0.011	0.83	0.0417
	PK 51 PK 53	50.00	0.0020	9.52	15.00	1425.00	0.90	0.00	0.60	0.00	0.40	1425.00	0.90	CIRC	500	470.8	0.169	2.57	0.0561	0.60	0.09	0.011	0.85	0.0475
	PK 53 PK 55	50.00	0.0020	12.33	15.00	1650.00	0.90	0.00	0.60	0.00	0.40	1650.00	0.90	CIRC	500	470.8	0.179	2.66	0.0610	0.63	0.10	0.011	0.87	0.0532
	PK 55 PK 57	50.00	0.0020	15.37	15.00	1875.00	0.90	0.00	0.60	0.00	0.40	1875.00	0.90	CIRC	500	470.8	0.187	2.73	0.0646	0.64	0.10	0.011	0.89	0.0577

Tabella 9-1.1 - Determinazione portata critica - ID identificativo condotta; L lunghezza condotta; s pendenza longitudinale condotta; W_{C_{i-1}} volume accumulato all'interno della rete delle canalette a monte del tratto indagato; w₀ volume specifico dei piccoli invasi; Apav/φ_{pav}: superficie e coefficiente di afflusso della pavimentazione stradale; Ascp/φ_{scp} superficie e coefficiente di afflusso della scarpata stradale; Ab/φ_b superficie e coefficiente di afflusso del bacino esterno; A superficie equivalente; φ coefficiente di afflusso medio; TIPOLOGIA condotta; B_EST base esterna; B_INT base interna; h tirante idraulico; alpha angolo al centro per assegnato tirante; A area bagnata; P perimetro bagnato; R raggio idraulico; n coefficiente di scabrezza di Manning; V velocità di deflusso; Q capacità della condotta per assegnato tirante.

	Dati plano-altimetrici			Metodo dell'invaso italiano - dati di bacino											Fosso			Analisi in moto uniforme - Capacità del fosso							
	ID	L m	s m/m	Wc _{i-1} m ³	w ₀ m ³ /ha	B	Apavtot m ²	φpav	Ascp m ²	φ ^{sc} p	B (SCARP)	Ab m ²	φb	A m ²	φ	TIPOLOGIA	a m	H m	h m	A m ²	P m	R m	n s/m ^{1/3}	V m/s	Q mc/s
FOSSO A	PK 5 PK 8	75.00	0.0020	0.00	15.00	0.00	0.00	0.90	150.00	0.40	2.00	0.00	0.40	150.00	0.40	0.50	0.50	0.50	0.0181	0.01	0.55	0.02	0.020	0.15	0.001
	PK 8 PK 11	75.00	0.0020	0.71	15.00	9.00	675.00	0.90	300.00	0.40	2.00	0.00	0.40	975.00	0.75	0.50	0.50	0.50	0.1223	0.08	0.85	0.09	0.020	0.46	0.035
	PK 11 PK 14	75.00	0.0020	6.41	15.00	4.50	1012.50	0.90	450.00	0.40	2.00	0.00	0.40	1462.50	0.75	0.50	0.50	0.50	0.1370	0.09	0.89	0.10	0.020	0.48	0.042
	PK 14 PK 17	75.00	0.0020	12.95	15.00	4.50	1350.00	0.90	600.00	0.40	2.00	0.00	0.40	1950.00	0.75	0.50	0.50	0.50	0.1512	0.10	0.93	0.11	0.020	0.51	0.050
	PK 17 PK 20	75.00	0.0020	20.34	15.00	0.00	1350.00	0.90	750.00	0.40	2.00	0.00	0.40	2100.00	0.72	0.50	0.50	0.50	0.1378	0.09	0.89	0.10	0.020	0.49	0.043
	PK 20 PK 23	75.00	0.0020	26.93	15.00	4.50	1687.50	0.90	900.00	0.40	2.00	0.00	0.40	2587.50	0.73	0.50	0.50	0.50	0.1550	0.10	0.94	0.11	0.020	0.52	0.052
	PK 23 PK 26	75.00	0.0020	34.54	15.00	4.50	2025.00	0.90	1050.00	0.40	2.00	0.00	0.40	3075.00	0.73	0.50	0.50	0.50	0.1688	0.11	0.98	0.12	0.020	0.54	0.061
	PK 26 PK 29	75.00	0.0020	43.01	15.00	4.50	2362.50	0.90	1200.00	0.40	2.00	0.00	0.40	3562.50	0.73	0.50	0.50	0.50	0.1807	0.12	1.01	0.12	0.020	0.56	0.068
	PK 29 PK 32	75.00	0.0020	52.24	15.00	0.00	2362.50	0.90	1350.00	0.40	2.00	0.00	0.40	3712.50	0.72	0.50	0.50	0.50	0.1716	0.12	0.99	0.12	0.020	0.54	0.063
	PK 32 PK 35	75.00	0.0020	60.88	15.00	0.00	2362.50	0.90	1500.00	0.40	2.00	0.00	0.40	3862.50	0.71	0.50	0.50	0.50	0.1661	0.11	0.97	0.11	0.020	0.53	0.059
PK 35 PK 38	75.00	0.0020	69.18	15.00	4.50	2700.00	0.90	1650.00	0.40	2.00	0.00	0.40	4350.00	0.71	0.50	0.50	0.50	0.1775	0.12	1.00	0.12	0.020	0.55	0.066	
PK 38 PK 40	50.00	0.0020	78.20	15.00	4.50	2925.00	0.90	1750.00	0.40	2.00	0.00	0.40	4675.00	0.71	0.50	0.50	0.50	0.1856	0.13	1.03	0.12	0.020	0.56	0.072	
FOSSO B	PK 53 PK 55	28.00	0.002	0.00	15.00	4.50	126.00	0.90	56.00	0.40	2.00	0.00	0.40	182.00	0.75	0.50	0.50	0.50	0.0552	0.03	0.66	0.05	0.020	0.30	0.009
	PK 55 PK 57	42.70	0.002	0.86	15.00	4.50	318.15	0.90	141.40	0.40	2.00	0.00	0.40	459.55	0.75	0.50	0.50	0.50	0.0817	0.05	0.73	0.07	0.020	0.37	0.018
FOSSO D	PK 61 PK 60	29.08	0.002	0.00	15.00	0.00	0.00	0.90	58.15	0.40	2.00	0.00	0.40	58.15	0.40	0.50	0.50	0.50	0.0168	0.01	0.55	0.02	0.020	0.15	0.001
	PK 60 PK 59	29.08	0.002	0.25	15.00	0.00	0.00	0.90	116.30	0.40	2.00	0.00	0.40	116.30	0.40	0.50	0.50	0.50	0.0220	0.01	0.56	0.02	0.020	0.17	0.002
FOSSO C	PK 59 PK 58	10.50	0.002	0.00	15.00	0.00	0.00	0.90	21.00	0.40	2.00	596.30	0.40	617.30	0.40	0.50	1.00	1.00	0.0507	0.05	1.14	0.05	0.015	0.39	0.021
	PK 58 PK 57	10.50	0.002	0.56	15.00	0.00	0.00	0.90	42.00	0.40	2.00	596.30	0.40	638.30	0.40	0.50	1.00	1.00	0.0443	0.05	1.13	0.04	0.015	0.36	0.017

Tabella 9-1.2 - Determinazione portata critica - ID identificativo fosso; L lunghezza; s pendenza longitudinale; Wci-1 volume accumulato all'interno della rete di a monte del tratto indagato; w0 volume specifico dei piccoli invasi; Apav/φpav: superficie e coefficiente di afflusso della pavimentazione stradale; Ascp/φscp superficie e coefficiente di afflusso della scarpata stradale; Ab/φb superficie e coefficiente di afflusso del bacino esterno; A superficie equivalente; φ coefficiente di afflusso medio; TIPOLOGIA fosso; a base fosso; H altezza fosso; h tirante idraulico; alpha angolo al centro per assegnato tirante; A area bagnata; P perimetro bagnato; R raggio idraulico; n coefficiente di scabrezza di Manning; V velocità di deflusso; Q capacità del fosso per assegnato tirante.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	12	EI2RIV100X0001	A

Metodo dell'Invaso italiano - verifica											
	ID	Wc_i m^3	w m^3/m^2	a mm/h^n	a m/h^n	n	u $l/s/ha$	Q mc/s	G $\%$	V m/s	
RETE 1	PK 5 PK 8	4.08	0.00605	78.5	0.0785	0.603	465.73	0.0314	39.5	0.77	
	PK 8 PK 11	6.54	0.00969	78.5	0.0785	0.603	341.57	0.0231	33.5	0.71	
	PK 11 PK 14	10.27	0.01015	78.5	0.0785	0.603	331.38	0.0336	41.0	0.78	
	PK 14 PK 17	14.64	0.01085	78.5	0.0785	0.603	317.14	0.0428	47.1	0.83	
	PK 17 PK 20	18.13	0.01343	78.5	0.0785	0.603	275.58	0.0372	43.5	0.80	
	PK 20 PK 23	22.74	0.01347	78.5	0.0785	0.603	274.97	0.0464	49.3	0.85	
	PK 23 PK 26	27.92	0.01379	78.5	0.0785	0.603	270.80	0.0548	38.8	0.88	
	PK 26 PK 29	33.59	0.01422	78.5	0.0785	0.603	265.39	0.0627	41.7	0.91	
	PK 29 PK 32	40.98	0.01349	78.5	0.0785	0.603	274.71	0.0834	49.1	0.98	
	PK 32 PK 35	49.49	0.01333	78.5	0.0785	0.603	276.90	0.1028	40.3	1.03	
	PK 35 PK 38	57.73	0.01425	78.5	0.0785	0.603	264.95	0.1073	41.3	1.04	
PK 38 PK 40	63.34	0.01482	78.5	0.0785	0.603	258.30	0.1104	42.0	1.05		
RETE 2	PK 41 PK 43	1.63	0.00543	78.5	0.0785	0.603	500.31	0.0150	37.4	0.64	
	PK 43 PK 45	3.56	0.00678	78.5	0.0785	0.603	432.00	0.0227	47.0	0.71	
	PK 45 PK 47	5.86	0.00781	78.5	0.0785	0.603	393.62	0.0295	38.3	0.76	
	PK 47 PK 49	8.46	0.00867	78.5	0.0785	0.603	367.47	0.0358	42.6	0.80	
	PK 49 PK 51	11.32	0.00943	78.5	0.0785	0.603	347.73	0.0417	46.3	0.83	
	PK 51 PK 53	14.46	0.01015	78.5	0.0785	0.603	331.35	0.0472	35.9	0.85	
	PK 53 PK 55	17.85	0.01082	78.5	0.0785	0.603	317.74	0.0524	38.1	0.87	
	PK 55 PK 57	21.42	0.01142	78.5	0.0785	0.603	306.55	0.0575	39.8	0.89	

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 		
		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12R1IV100X0001 A

		Metodo dell'invaso italiano - verifica								
		Wc _i m ³	w m ³ /m ²	a mm/h n	a m/h ⁿ	n	u l/s/ha	Q mc/s	G %	V m/s
FOSSO A	0.93	0.0062	76.5	0.0765	0.533	143.19	0.002	4%	0.15	
	7.87	0.0081	76.5	0.0765	0.533	365.98	0.036	24%	0.46	
	15.15	0.0104	76.5	0.0765	0.533	294.26	0.043	27%	0.48	
	23.26	0.0119	76.5	0.0765	0.533	260.00	0.051	30%	0.51	
	30.08	0.0143	76.5	0.0765	0.533	207.92	0.044	28%	0.49	
	38.43	0.0149	76.5	0.0765	0.533	203.89	0.053	31%	0.52	
	47.62	0.0155	76.5	0.0765	0.533	198.15	0.061	34%	0.54	
	57.58	0.0162	76.5	0.0765	0.533	192.01	0.068	36%	0.56	
	66.45	0.0179	76.5	0.0765	0.533	169.61	0.063	34%	0.54	
	74.97	0.0194	76.5	0.0765	0.533	152.92	0.059	33%	0.53	
	84.72	0.0195	76.5	0.0765	0.533	154.30	0.067	35%	0.55	
	91.57	0.0196	76.5	0.0765	0.533	154.54	0.072	37%	0.56	
FOSSO B	1.13	0.0062	76.5	0.0765	0.533	460.58	0.008	11%	0.30	
	3.58	0.0078	76.5	0.0765	0.533	377.96	0.017	16%	0.37	
FOSSO D	0.34	0.0059	76.5	0.0765	0.533	150.69	0.001	3%	0.15	
	0.76	0.0065	76.5	0.0765	0.533	136.51	0.002	4%	0.17	
FOSSO C	1.49	0.0024	76.5	0.0765	0.533	328.15	0.020	5%	0.39	
	2.00	0.0031	76.5	0.0765	0.533	260.05	0.017	4%	0.36	

Tabella 9-1.3 – Verifica della rete di drenaggio - ID: identificativo collettore/condotta/fosso; Wc_i volume di invaso a monte della sezione di chiusura indagata; w volume specifico di invaso totale; a, n coefficienti della curva di possibilità pluviometrica per durate inferiori all'ora; u coefficiente udometrico; Q capacità del collettore/condotta/fosso per assegnato tirante; G grado di riempimento; V velocità di deflusso.