

# Comune di Casale Monferrato

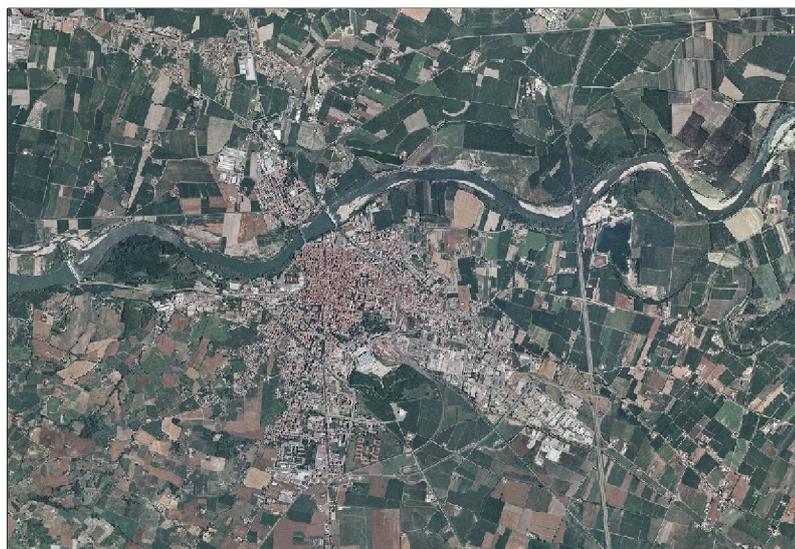
Settore Pianificazione Urbana e Territoriale

Provincia di Alessandria

Regione Piemonte



Verifica di compatibilità idraulica delle previsioni del P.R.G.C.  
ai sensi dell'art. 18 comma 2 delle norme di attuazione del PAI  
circolare del P.G.R. 8 maggio 1996 n.7/LAP



## INTEGRAZIONI STUDIO IDRAULICO

COMMESSA

DET. 1011 28/08/2006

ELABORATO

25

DATA

Giugno 2008

OGGETTO DELL'ELABORATO

VERIFICHE IDRAULICHE INTEGRATIVE SULLE TOMBINATURE SECONDARIE



### R&C Associati

C.so Principe Oddone 5/A - 10144 TORINO

Via Garibaldi 16 - 13900 BIELLA

Tel. 011.4377242 - Fax 011.5692444

www.recing.it - [mail@recing.it](mailto:mail@recing.it)

ALTRE SEDI: BIELLA-SAVONA-FIRENZE-CAGLIARI

SISTEMA QUALITÀ  
AZIENDALE

certificato in accordo alla norma  
ISO 9001:2000 e sottoposto a  
verifiche ispettive e postulate



TIMBRI - FIRME

Dott. ing. Cristiano CAVALLO

Ordine degli Ingegneri Provincia di Torino

Posizione n.8177F

Cod. Fisc. CVL CST 70C02 E506S

REDATTO

Dott. ing. Luca AGAGLIATE

CONTROLLATO

Dott. ing. Roberto SESENNA

APPROVATO

Dott. ing. Cristiano CAVALLO

CODICE GENERALE ELABORATO

CODICE COMMESSA	TIPOLOGIA LAVORO	SETTORE	N° ATTIVITÀ	TIPOLOGIA ELABORATO	TIPO DOCUMENTO	IDENTIFICATIVO ELABORATO	VERSIONE
186	C	I	01	RI	E	25	1

VERSIONE N°	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE E RIFERIMENTI DOCUMENTI SOSTITUTIVI
1	Giugno 2008	Emissione
2		
3		
4		



## INDICE

<b>1. INTRODUZIONE</b> .....	<b>2</b>
<b>2. STUDI IDROLOGICI E IDRAULICI DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>3</b>
<b>3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E IDROGRAFICO</b> .....	<b>5</b>
<b>4. ANALISI IDROLOGICA</b> .....	<b>8</b>
<b>5. CALCOLO DELLE PORTATE CON METODI EMPIRICI</b> .....	<b>10</b>
5.1 STIMA DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO .....	12
<b>6. VERIFICHE IDRAULICHE</b> .....	<b>13</b>
6.1 RIO RONZONE .....	13
6.1.1 Portate di riferimento.....	14
6.1.2 Verifiche idrauliche per il rio Ronzone.....	14
6.2 RIO VIALE.....	16
6.2.1 Portate di riferimento.....	18
6.2.2 Verifiche idrauliche per il rio Viale.....	18
6.3 RIO FOSSALONE.....	21
6.3.1 Portate di riferimento.....	23
6.3.2 Verifiche idrauliche per il rio Fossalone .....	23



## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione costituisce un approfondimento dello studio di compatibilità idraulica del P.R.G.C. redatto nel maggio 2003, relativamente alle tombinature presenti lungo il rio Ronzone, il rio Viale e il rio Fossalone, come richiesto dal settore decentrato OO.PP. di Alessandria della Regione Piemonte, con nota della pratica n. 24635/14.04 del 03 Aprile 2008.

L'obiettivo del documento è di effettuare la verifica idraulica dei rii in riferimento alle loro capacità di deflusso rispettivamente in tre sezioni tombinate di lunghezza significativa.

Per le verifiche idrauliche oggetto della presente relazione si farà riferimento a valori di portata derivanti da studi idrologici di riferimento ed a ulteriori valori di portata calcolati tramite formulazioni empiriche descritte nel seguito della relazione; le analisi sono state condotte sulla base di rilievi topografici di dettaglio dei tratti di corso d'acqua sotesi.



## 2. STUDI IDROLOGICI E IDRAULICI DI RIFERIMENTO

Per la presente relazione di verifica idraulica si è fatto riferimento ai seguenti studi:

- “Relazione idrologica”, Maggio 2003, redatta da R&C Studio Associato nell’ambito della “Verifica di compatibilità idraulica delle previsioni del P.R.G.C. ai sensi dell’art.18 comma 2 delle norme di attuazione del PAI circolare del P.G.R. 8 Maggio 1996 n.7/LAP”
- “Studio idrologico, idraulico e di fattibilità generale”, giugno 2003 -Elaborato GAT 0.01 redatto dallo Studio Maione Ingegneri Associati nell’ambito del progetto “Interventi di sistemazione del Torrente Gattola dal ponte in località Cascina Dario sino alla confluenza con il Rio Rotaldo”

Nell’analisi idrologica condotta nell’ambito della Verifica di compatibilità idraulica, sono state ricavate le portate al colmo e gli idrogrammi di piena relativamente a due diverse condizioni di saturazione del terreno (AMC II e AMC III) per due dei tre rii in esame. Le portate di piena sono indicate nella Tabella 1.

**Tabella 1 – Portate al colmo calcolate nella “Relazione idrologica”, Maggio 2003, redatta nell’ambito della “Verifica di compatibilità idraulica delle previsioni del P.R.G.C.**

	RIO RONZONE	RIO VIALE
Tr = 200 anni	Q [m <sup>3</sup> /s]	Q [m <sup>3</sup> /s]
AMC II	14,7	23.3
AMC III	22,8	35.1

Nell’analisi idrologica condotta nel secondo studio sono stati invece ricavati gli idrogrammi di piena e le portate al colmo utilizzate per la progettazione delle opere necessarie per la sistemazione del Torrente Gattola, dai quali si è calcolato il contributo unitario alla sez. di riferimento 85 da applicare per similitudine idrologica ai bacini in esame. Le portate di piena sono indicate nella Tabella 2. L’idrogramma di piena per un tempo di ritorno di 100 anni, determinato con il metodo dell’invaso lineare per alcune sezioni lungo l’alveo del T. Gattola, è mostrato nella Figura 1.



Tabella 2 - Portate al colmo di progetto del torrente Gattola (Maione, 2003 – Studio di fattibilità)

Tr [anni]	Q [m <sup>3</sup> /s]
20	17,0
100	22,0
200	24,0

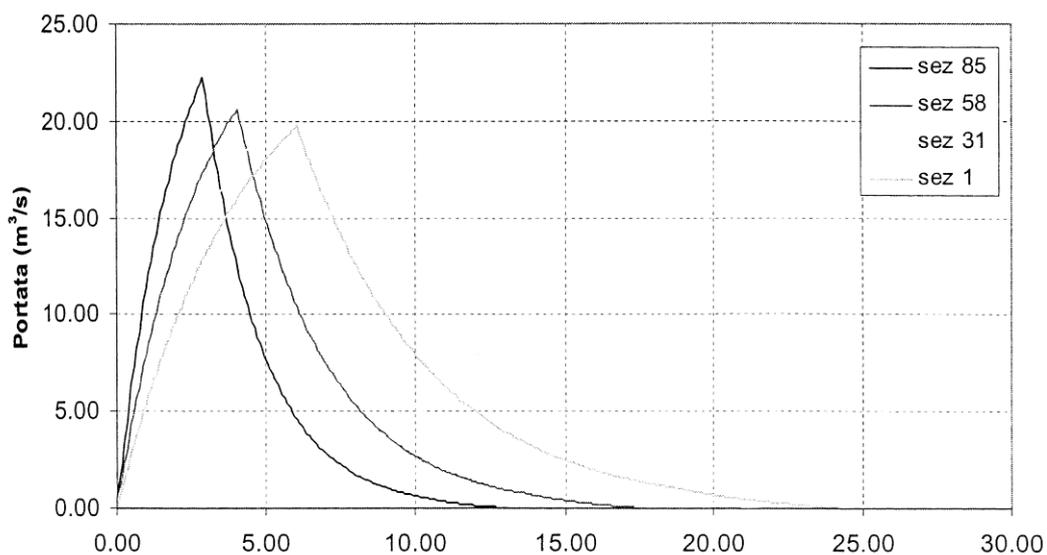


Figura 1 - Idrogramma di piena calcolato con il metodo dell'invaso lineare per un Tr=100 anni (Maione, 2003 – Studio di fattibilità).



### 3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E IDROGRAFICO

Vista le caratteristiche peculiari dei corsi d'acqua oggetto di verifica, legate alle interconnessioni tra cavi irrigui e allo sviluppo in zone molto pianeggianti, si deve tenere presente che la delimitazione dei bacini di competenza è molto difficoltosa e quindi i limiti considerati possono in alcuni casi essere un'approssimazione della situazione reale.

In Tabella 3 si riportano le caratteristiche fisiografiche principali dei bacini così come assunte all'interno dell'analisi idrologica negli studi di riferimento, con chiusure nei tratti tombinati in studio.

Tabella 3 – Caratteristiche del bacino idrografico.

	SEZIONE	S	L	$h_0$	$\Delta h$	$t_c$	CN (II)	CN (III)
<b>Rio RONZONE</b>	<b>Chiusura Tratto tomb.</b>	[km <sup>2</sup> ]	[km]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[h]		
		1,80	2,30	114,00	136,00	1,10	75	87
<b>Rio VIALE</b>	<b>Chiusura Tratto tomb.</b>	[km <sup>2</sup> ]	[km]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[h]		
		3,10	2,70	130,00	140,00	1,20	76	88
<b>Rio FOSSALONE</b>	<b>Chiusura Tratto tomb.</b>	[km <sup>2</sup> ]	[km]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[h]		
		1,61	1,83	125,00	75,00	1,29	76	88

Di seguito si riporta la delimitazione dei bacini idrografici dei rii oggetto d'intervento con l'ubicazione dei tratti interrati oggetto di verifica:

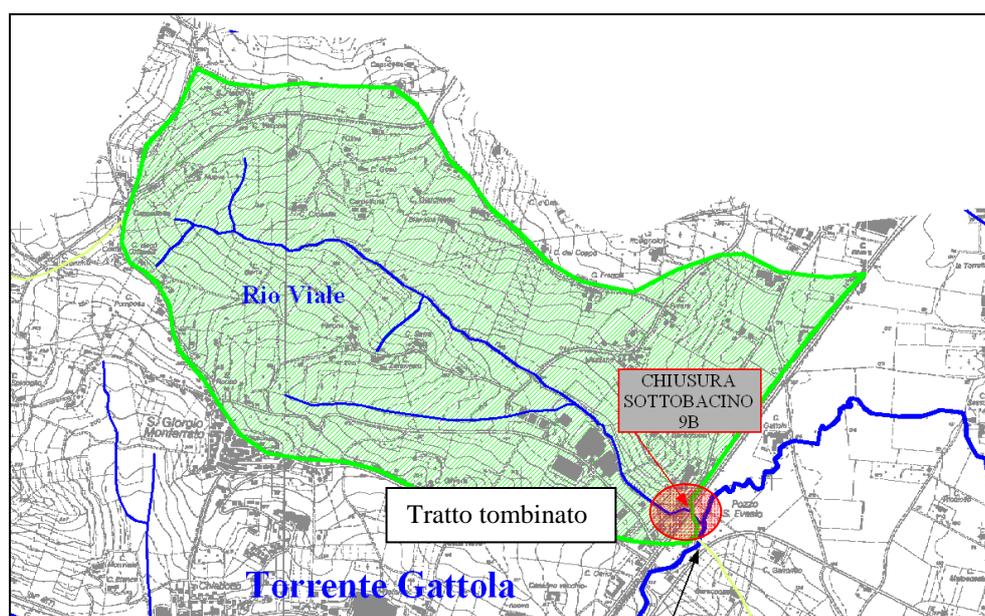


Figura 2 – Bacino idrografico del Rio Viale.

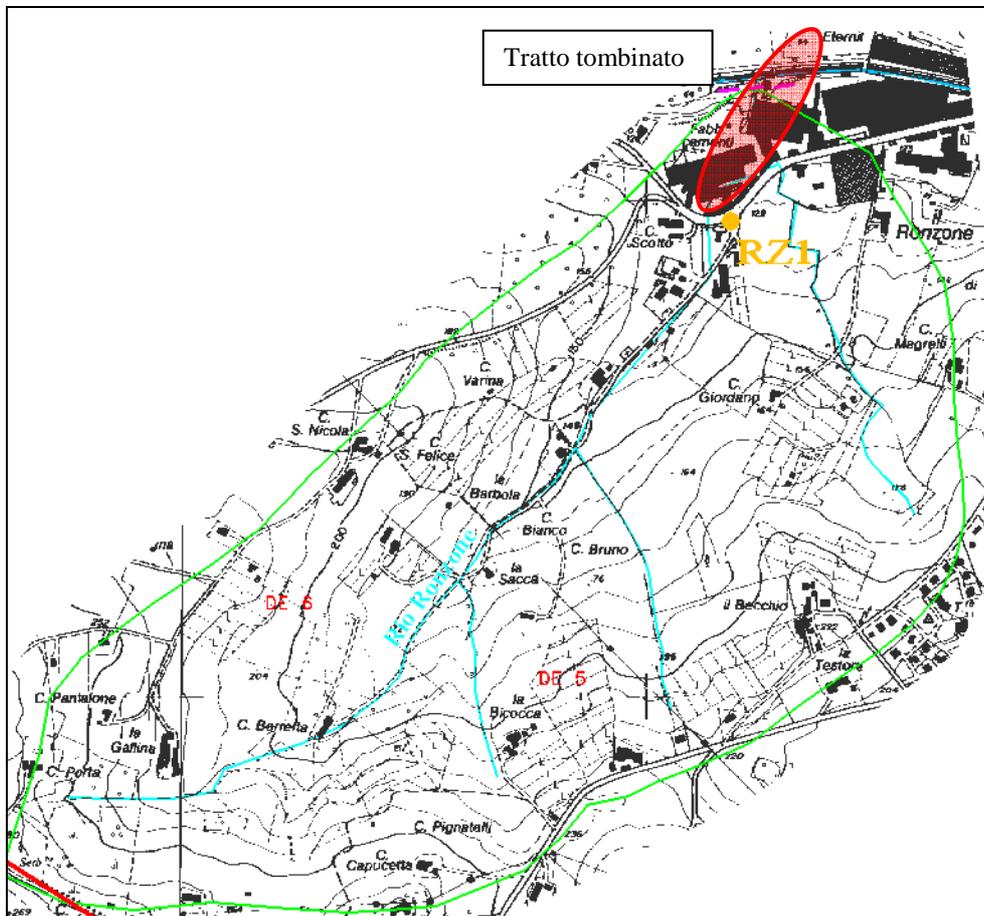


Figura 3 – Bacino idrografico del rio Ronzone.

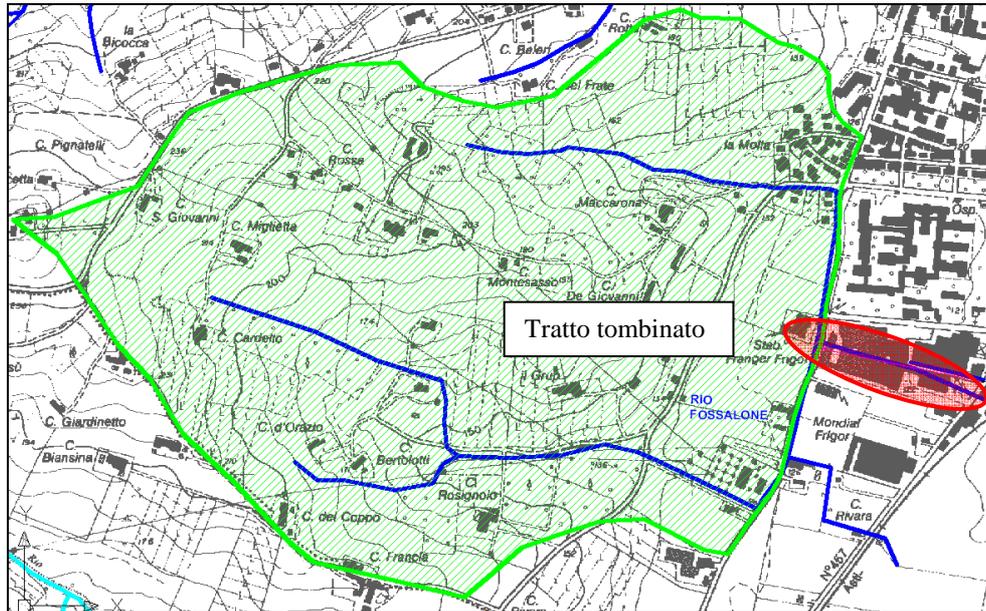


Figura 4 – Bacino idrografico del Rio Fossalone.



#### 4. ANALISI IDROLOGICA

Lo scopo principale dell'analisi idrologica è quello di determinare le portate di deflusso dei bacini oggetto di verifica, in particolare in riferimento ad eventi meteorici intensi.

È buona prassi negli studi idrologici analizzare le precipitazioni affluenti sul bacino, dedicando particolare attenzione al reperimento dei dati pluviometrici ed alla loro elaborazione statistica: in mancanza di misure dirette di portata, è necessaria un'approfondita conoscenza del regime pluviometrico (in particolare, in relazione alle precipitazioni di notevole intensità e breve durata) per poter valutare il massimo deflusso superficiale mediante metodi indiretti, che correlino le altezze di pioggia di assegnata frequenza con la portata in alveo.

Dato che l'analisi statistica delle serie storiche, con il fine di ricavare le curve di massima possibilità pluviometrica per tempi di ritorno di 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anni, sono state effettuate negli studi idrologici di riferimento, si rimanda a tali studi per eventuali approfondimenti, riportando di seguito i risultati ottenuti con i dati proposti nella *“Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica”* adottata dall'Autorità di Bacino con il Piano di Assetto Idrogeologico (21/4/2001).

L'Autorità di Bacino del Fiume Po ha effettuato un'analisi statistica delle serie storiche dei pluviometri presenti sul territorio del bacino, riportando i risultati nel *Piano Stralcio d'Assetto Idrogeologico*. Nella *“Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica”* adottata dall'Autorità di Bacino con il Piano di Assetto Idrogeologico (21/4/2001), sono riportati:

- i dati puntuali riferiti alle singole stazioni pluviometriche, ottenuti dall'analisi statistiche;
- i valori distribuiti su tutta l'area del bacino, ottenute attraverso l'interpolazione con il reticolo di kriging (Tabella 4).

Tabella 4 – Valori di  $a$  ed  $n$  determinati dal reticolo di kriging (PAI).

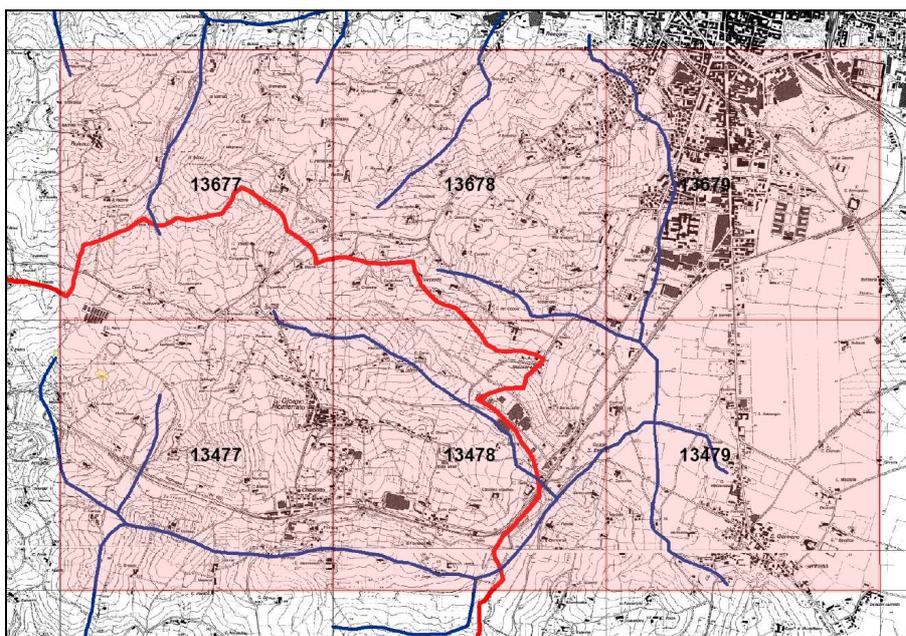
Bacino	$T_r=10$ anni		$T_r=20$ anni		$T_r=50$ anni		$T_r=100$ anni		$T_r=200$ anni	
	$a$	$n$	$a$	$n$	$a$	$n$	$a$	$n$	$a$	$n$
13677	44.67	0.21	52.23	0.20	61.96	0.19	69.27	0.18	76.55	0.17
13477	42.73	0.22	49.94	0.22	59.22	0.21	66.18	0.20	73.13	0.19
13678	46.20	0.19	54.07	0.18	64.20	0.17	71.81	0.16	79.39	0.15
13478	43.83	0.21	51.24	0.20	60.79	0.19	67.95	0.18	75.09	0.17
13679	46.32	0.18	54.19	0.17	64.31	0.16	71.90	0.15	79.48	0.14
13479	44.18	0.20	51.64	0.19	61.23	0.18	68.44	0.17	75.62	0.16
<b>media</b>	<b>44.66</b>	<b>0.20</b>	<b>52.22</b>	<b>0.19</b>	<b>61.95</b>	<b>0.18</b>	<b>69.26</b>	<b>0.17</b>	<b>76.54</b>	<b>0.17</b>



Al fine di fornire uno strumento per l'analisi di frequenza delle piogge intense, nei punti privi di misure dirette è stata condotta un'interpolazione spaziale con il metodo di Kriging dei parametri  $a$  e  $n$  delle curve di possibilità pluviometrica, discretizzate in base a un reticolo di 2 Km di lato (Figura 5). I risultati sono riportati negli allegati cartografici e numerici della Direttiva del PAI.

Gli elaborati consentono il calcolo delle curve di possibilità pluviometrica in ciascun punto del bacino, a meno dell'approssimazione derivante dalla risoluzione spaziale della griglia di discretizzazione, per tempi di ritorno di 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anni, identificando la localizzazione su cartografia in ambiente GIS.

Per i bacini in esame, sono stati valutati gli  $a$  ed gli  $n$  sulla base dei valori riportati nella citata direttiva. In Tabella 4 si riportano i risultati ottenuti, utilizzando una media aritmetica in cui il punteggio è dato dai valori riportati nel reticolo di kriging.



**Figura 5 - Carta del reticolo di kriging**

Per le successive verifiche si è scelto quindi di fare riferimento ai valori dei parametri  $a$  ed  $n$  derivanti dall'interpolazione con il reticolo di kriging, che tengono conto di tutte le stazioni pluviometriche presenti nell'intorno dei bacini idrografici. I risultati, quindi, sono maggiormente rappresentativi dell'area in esame e sono in grado (entro certi limiti) di tener conto della variabilità del regime pluviometrico, tra la zona di monte e di valle del bacino stesso; inoltre, i valori utilizzati risultano essere i più cautelativi e conformi alle indicazioni dell'Autorità di Bacino.



## 5. CALCOLO DELLE PORTATE CON METODI EMPIRICI

Le portate di massima piena dei bacini considerati sono state calcolate anche il metodo empirico secondo due diverse formulazioni, per verificare le portate di progetto calcolata con il modello numerico di trasformazione afflussi-deflussi, proposte nell'ambito della Relazione idrologica del P.R.G.C. del maggio 2003.

Si è fatto riferimento alle formulazioni più note e validate in letteratura, raccomandate anche nella “Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica” proposta dall’Autorità di Bacino nelle Norme di Attuazione del PAI in data 26/4/2001, per il calcolo delle portate di piena sui bacini idrografici di piccole dimensioni.

Un'importante formula empirica per determinare la portata al colmo corrispondente a una precipitazione di assegnato tempo di ritorno è rappresentata dal Soil Conservation Service Method, applicabile per bacini di dimensioni medio-piccole, privi di stazioni di misura. Il metodo adotta le seguenti assunzioni:

- la durata  $D$  della pioggia netta è inferiore o uguale di  $0,133 t_c$ ,
- la durata  $D$  è minore di 0,2 volte il tempo crescita dell'onda di piena ( $t_p$ ).

In queste condizioni il valore al colmo della portata si scrive:

$$Q_c = 0,28 R_o A / t_p \text{ (m}^3\text{/s)}$$

dove:

$R_o$  = volume netto di pioggia per unità di superficie (mm)

$A$  = superficie del bacino (km<sup>2</sup>)

$t_p$  = tempo crescita dell'onda di piena (h)

Il valore di  $t_p$  è posto pari:

$$t_p = D/2 + t_{lag}$$

dove:

$D$  = durata della pioggia (h),

$t_{lag}$  = intervallo di tempo tra il centroide della pioggia e il colmo (h)

$$t_{lag} = 0,6 t_c \text{ e } t_{lag} = (2,587 L^{0,8} (1000/CN - 9)^{0,7}) / 1900 p^{0,5}$$

dove:

$L$  = lunghezza idraulica del bacino (m)

$CN$  = “curve number”, dipende dal tipo di suolo e di copertura vegetale

$p$  = pendenza media del bacino (%)

$$L = 110 A^{0,6}$$

Dove  $A$  è la superficie del bacino espressa in ha.



Assumendo che l'invaso per infiltrazione nel suolo in ogni istante sia proporzionale al valore massimo dello stesso e che la precipitazione efficace sia proporzionale all'afflusso meteorico, si ha la seguente equazione (USDA – SCS, 1986):

$$R_o = (h - \alpha S)^2 / (h + (1 - \alpha)S)$$

dove:

$h$  = precipitazione meteorica (mm)

$S$  = valore massimo dell'invaso per infiltrazione (mm)

$\alpha$  = coefficiente di perdita assunto pari a 0.2 dall' SCS e dall'Autorità di Bacino, ma che in situazioni ambientali simili a quelle italiane in alcuni casi comporta una sottostima del deflusso. In ragione di ciò si possono anche assumere valori < di 0.1 (Colosimo & Mendico, 1993).

Il valore di  $S$  è calcolato dall'equazione:

$$S = 25400 / CN - 254 \text{ (mm)}$$

La seconda formulazione è quella classica basata sul metodo della corrivazione, nell'ipotesi che la durata della pioggia critica  $t_p$  sia pari al tempo di corrivazione  $T_c$ :

$$Q_{\max} = \frac{c \cdot V}{3600 \cdot T_c}$$

dove:

$c$  = coefficiente di deflusso

$V$  = volume affluito sul bacino (m<sup>3</sup>)

La relazione, dedotta da considerazioni di carattere cinematico, fornisce il valore della portata di piena al colmo, in funzione sia del volume d'acqua precipitato durante l'evento meteorico, che delle caratteristiche fisiche e morfologiche del bacino.

L'ammettere che il massimo della portata si raggiunga quando il tempo di pioggia  $t_p$  (durata della precipitazione) eguagli il tempo di corrivazione  $T_c$  significa ricercare il contributo massimo che il bacino può fornire per una data precipitazione considerata costante e di durata sufficiente, affinché tutta la sua superficie contribuisca alla formazione dei deflussi nella sezione di chiusura. La precipitazione si ricava direttamente dalla curva di possibilità pluviometrica e viene quindi assunta un'intensità costante per tutta la durata della precipitazione.



## 5.1 Stima del coefficiente di deflusso

Dato che non tutto il volume di pioggia  $V$  che cade sul bacino raggiunge la sezione di chiusura contribuendo alla formazione della portata di massima piena, occorre ammettere che una parte del volume vada perduta agli effetti dei deflussi ed una parte non transiti nella sezione considerata nel periodo per cui permane l'onda di piena, ma si presenti alla sezione di chiusura con un certo ritardo.

Indicando quindi con “ $c$ ” il coefficiente di deflusso o coefficiente di riduzione, che tiene conto di queste ed altre considerazioni (perdite per evaporazione, infiltrazione ecc), il volume d'acqua che contribuisce alla formazione dell'onda di piena, risulta essere:

$$V_D = c \cdot V$$

Il valore del coefficiente di deflusso adottato è stato ricavato considerando le caratteristiche di permeabilità che sono funzione sia del tipo di terreno che delle caratteristiche litologiche e di uso del suolo dei singoli sottobacini considerati, attribuendo un coefficiente di deflusso a ciascuna area di uguali caratteristiche e operando una media pesata dei valori ottenuti.

Si è fatto riferimento ai valori riportati nella Direttiva succitata proposta dall'Autorità di Bacino. Nelle indicazioni per il calcolo delle portate di piena sui bacini idrografici di piccole dimensioni, relativamente al metodo razionale si raccomanda di applicare i coefficienti di deflusso riportati nella tabella 5.

**TABELLA 5 -Coefficienti di deflusso raccomandati dall'Autorità di Bacino (da Handbook of Applied Hydrology, Ven Te Chow, 1964).**

Tipo di suolo	Coefficiente C		
	Uso del Suolo		
	Coltivato	Pascolo	Bosco
Suolo con infiltrazione elevata, normalmente sabbioso o ghiaioso	0,20	0,15	0,10
Suolo con infiltrazione media, senza lenti argillose; suoli limosi e simili	0,40	0,35	0,30
Suolo con infiltrazione bassa, suoli argillosi e suoli con lenti argillose vicino alla superficie, strati di suolo sottile al di sopra di roccia impermeabile	0,5	0,45	0,40



## 6. VERIFICHE IDRAULICHE

Nel presente paragrafo vengono riportate i valori di portata al colmo calcolati e le relative verifiche idrauliche dei tratti tombinati in oggetto.

### 6.1 Rio Ronzone

Il tratto tombinato del rio Ronzone oggetto di verifica è quello nel tratto compreso all'interno delle aree pertinenti al sub – ambito 2/A (Stabilimento ex-Bargero) di via Aristide Oggero, come si può osservare dalla Figura 6.

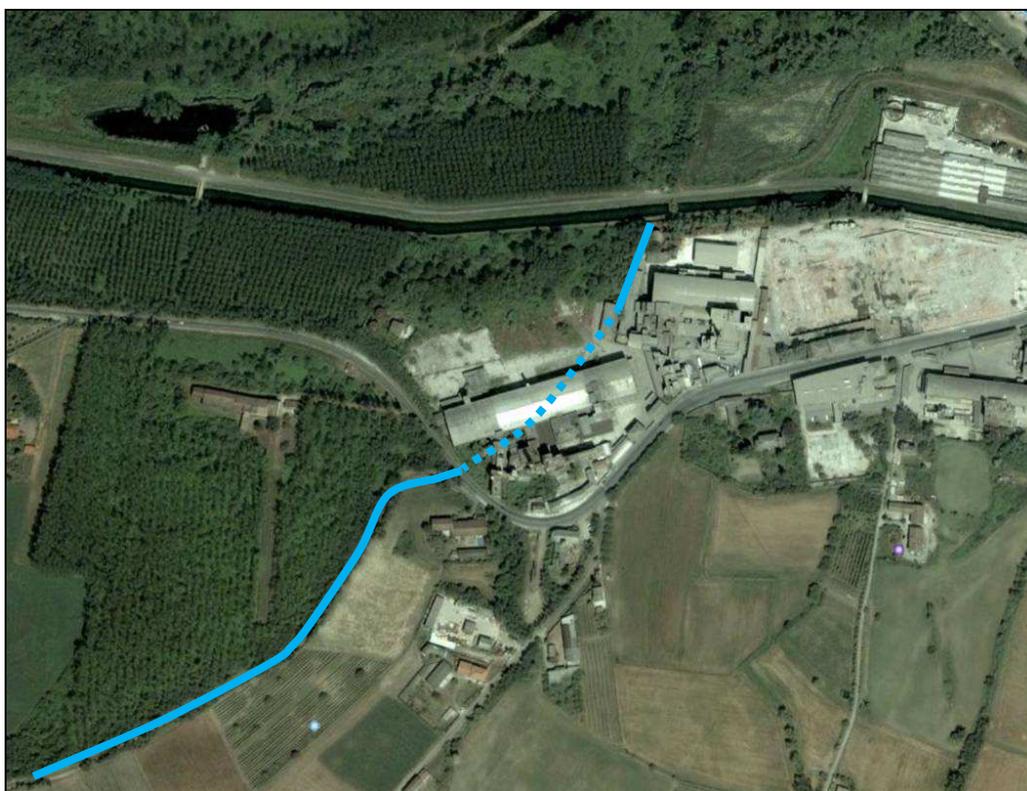


Figura 6 - Immagine aerea del tratto intubato del Rio Ronzone.



### 6.1.1 Portate di riferimento

Dagli studi idrologici di riferimento e dall'applicazione delle formulazioni empiriche per il calcolo delle portate al colmo si sono ricavati i seguenti valori sulla base delle quali sono state effettuate le verifiche idrauliche.

Tabella 6 – Portate al colmo utilizzate per la verifica idraulica del rio Ronzone

Tr	SCS empirico		Formulazione	Contributo unitario	Studio idrologico PRGC 2003	
	AMC (II)	AMC (III)	Razionale	[Studio Maione]	AMC (II)	AMC (III)
10 anni	2.84	9.14	5.14	[-]	[-]	[-]
20 anni	4.28	12.00	6.01	2.78	[-]	[-]
50 anni	6.40	15.86	7.12	[-]	[-]	[-]
100 anni	8.16	18.88	9.55	3.60	[-]	[-]
200 anni	10.02	21.95	10.55	3.93	14.7	22.8

### 6.1.2 Verifiche idrauliche per il rio Ronzone

Sulla base delle portate precedentemente individuate sono state condotte le verifiche idrauliche in riferimento alla sezione tipo della tombinatura, così come individuata sulla documentazione topografica fornita dal Comune di Casale Monferrato e riportata in Figura 7.



Figura 7 – Sezione tipo rio Ronzone nel tratto sito al di sotto dello stabilimento.

Le verifiche condotte hanno permesso di individuare la scala delle portate riportata in Figura 8 e associata alla sezione tipo sulla base della pendenza media del tunnel pari a 2,31%.

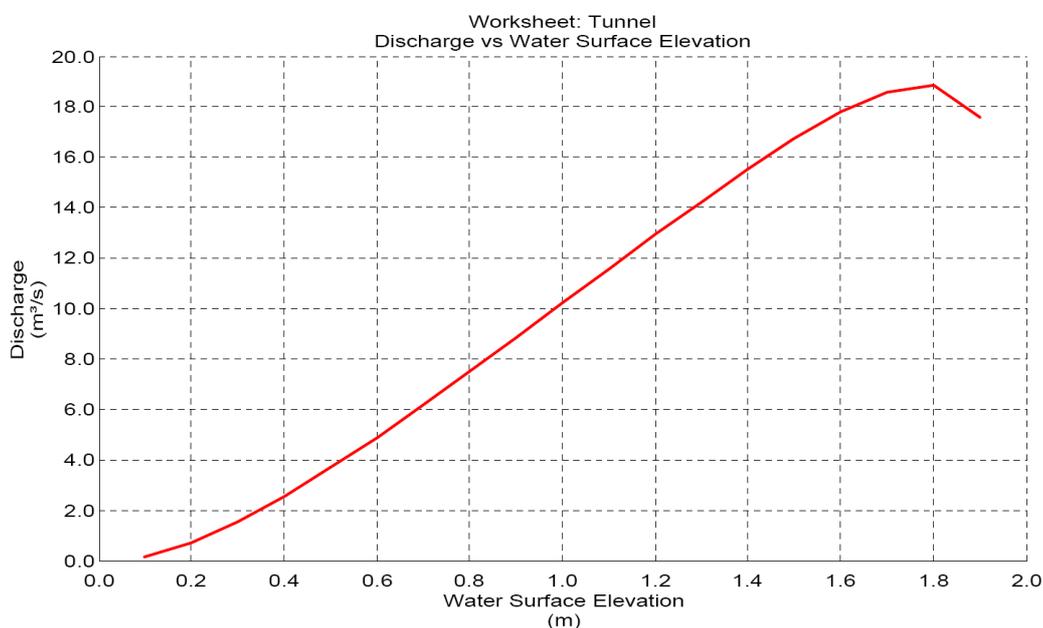


Figura 8 – Scala numerica delle portate per la sezione tipo del rio Ronzone

In particolare sono state condotte due diverse tipologie di verifica. La prima ha individuato il dato di portata defluente in condizioni di riempimento del tunnel pari al 70% dell'area. Il valore ottenuto è risultato pari a  $13,33 \text{ m}^3/\text{s}$  (Figura 9).

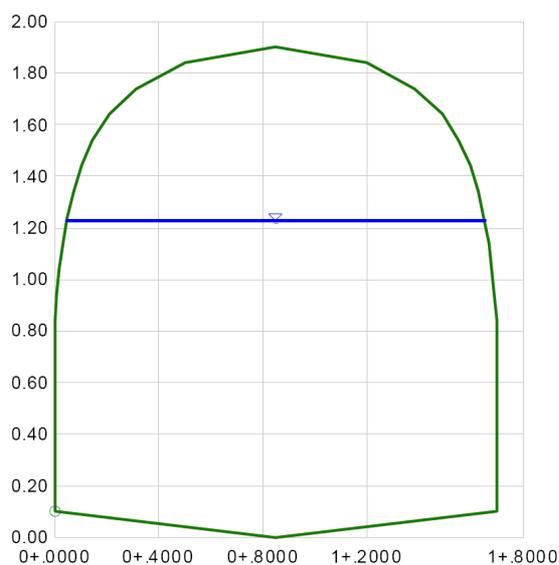


Figura 9 – Livello associato alla portata di riempimento pari al 70% della sezione di deflusso.

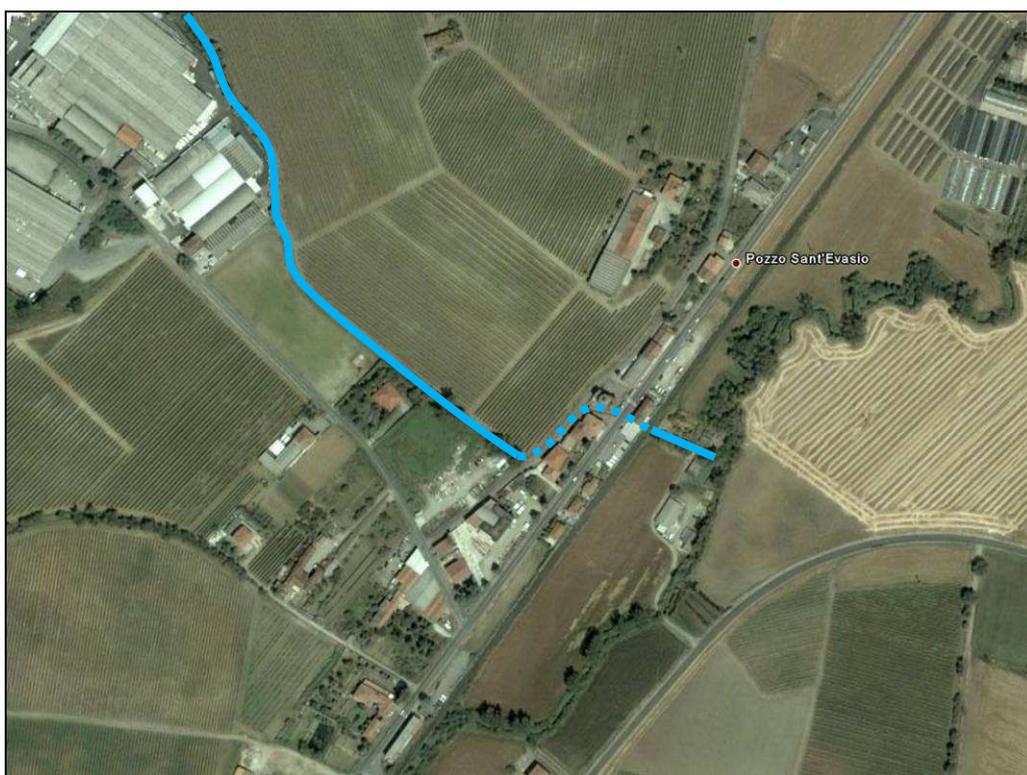
Come seconda verifica si è individuato il massimo valore di portata che la condotta può ospitare a “tubo pieno”: tale dato è pari a  $18,85 \text{ m}^3/\text{s}$ .



In conclusione si evidenzia che il tratto intubato del rio Ronzone ha una elevata capacità di deflusso in grado di smaltire a “sezione piena” tutte le portate con un tempo di ritorno pari a 100 anni calcolate con le diverse metodologie. Con tempo di ritorno pari a 200 anni, a seconda della metodologia utilizzata per calcolare la portata, si nota invece come il tratto intubato riesce nella peggiore delle ipotesi a smaltire il 75,8 % della portata duecentennale.

## 6.2 Rio Viale

Il tratto del rio Viale oggetto di verifica è quello in località Pozzo S. Evasio, dove è intubato a partire da una strada secondaria a monte dell'area urbanizzata e torna nel suo alveo naturale a valle della ferrovia, dopo un tratto di circa 130 m, come si può osservare dalla Figura 10.



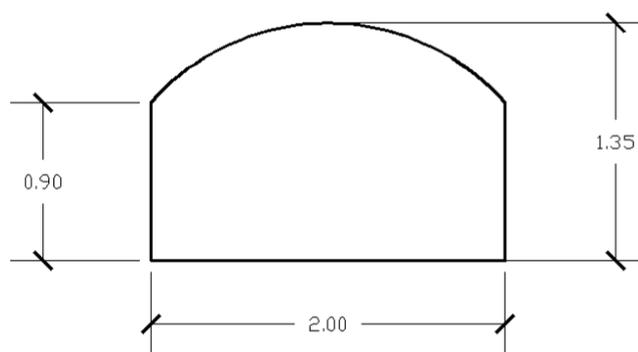
**Figura 10 - Immagine aerea del tratto intubato del Rio Viale.**

Dal rilievo topografico effettuato in data 21 giugno 2008 si sono rilevate le seguenti caratteristiche del tratto intubato:

- lunghezza tratto intubato: circa 130 m;
- sezione d'ingresso: tubazione  $\Phi$  1500 mm;



- sezione di uscita: vedi Figura 11.;
- pendenza media del tratto intubato: 1,30 %.



**Figura 11 - Sezione di sbocco del tratto intubato a valle della linea ferroviaria.**



**Foto 1 – Vista dell’imbocco e dello sbocco del tratto intubato.**



### 6.2.1 Portate di riferimento

Dagli studi idrologici di riferimento e dall'applicazione delle formulazioni empiriche per il calcolo delle portate al colmo si sono ricavati i seguenti valori sulla base delle quali sono state effettuate le verifiche idrauliche.

Tabella 7 – Portate al colmo utilizzate per la verifica idraulica del rio Viale

Tr	SCS empirico		Formulazione	Contributo unitario	Studio idrologico PRGC 2003	
	AMC (II)	AMC (III)	Razionale	[Studio Maione]	AMC (II)	AMC (III)
10 anni	4.56	14.43	8.27	[-]	[-]	[-]
20 anni	6.72	18.72	9.66	4.79	[-]	[-]
50 anni	9.86	24.47	11.43	[-]	[-]	[-]
100 anni	12.44	28.92	15.32	6.20	[-]	[-]
200 anni	15.16	33.45	16.91	6.76	23.3	35.1

### 6.2.2 Verifiche idrauliche per il rio Viale

Sulla base delle portate precedentemente individuate sono state condotte le verifiche idrauliche in riferimento alla sezione di ingresso e di uscita della tombinatura. Si riportano di seguito le verifiche della sezione di ingresso che risulta essere quella con capacità di deflusso minore.

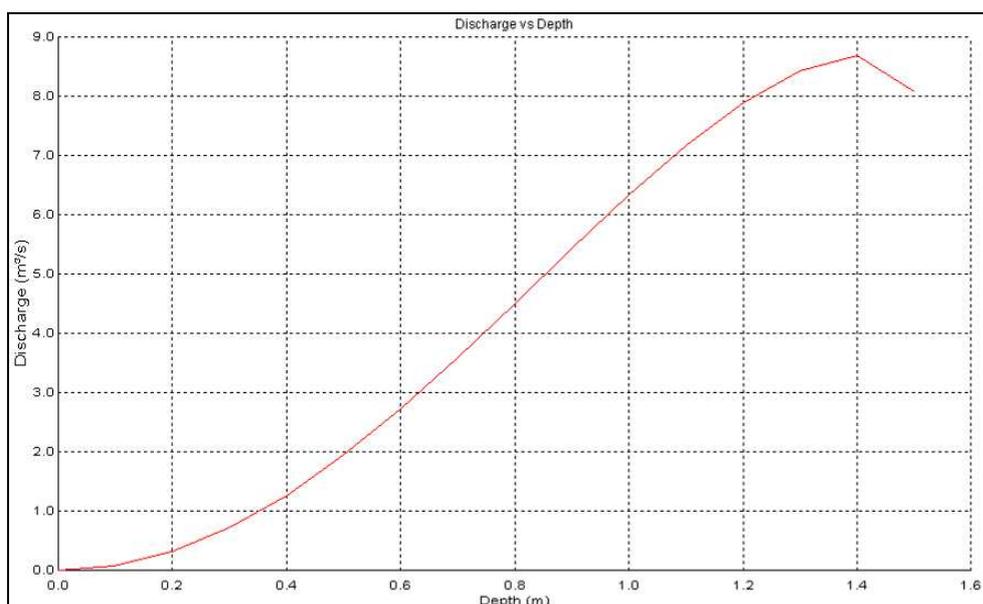


Figura 12 - Scala numerica delle portate per la sezione di ingresso del rio Viale



In particolare sono state condotte due diverse tipologie di verifica. La prima ha individuato il dato di portata defluente in condizioni di riempimento della tubazione pari al 70% dell'area. Il valore ottenuto è risultato pari a 6,75 m<sup>3</sup>/s (Figura 13).

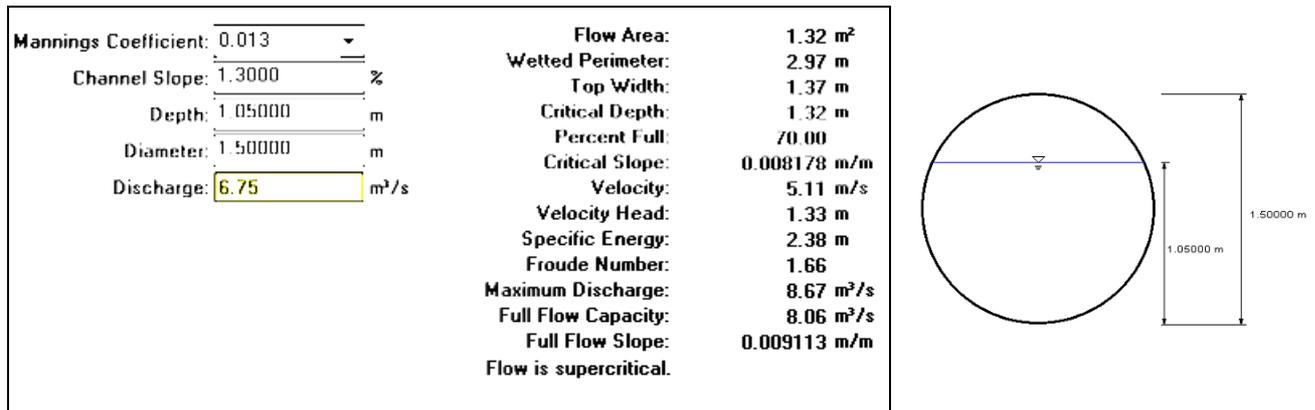


Figura 13 – Verifica idraulica in moto uniforme con riempimento della sezione al 70%.

La seconda ha individuato il dato di portata in condizioni di “tubo pieno”. Il valore ottenuto è risultato pari a 8,06 m<sup>3</sup>/s.

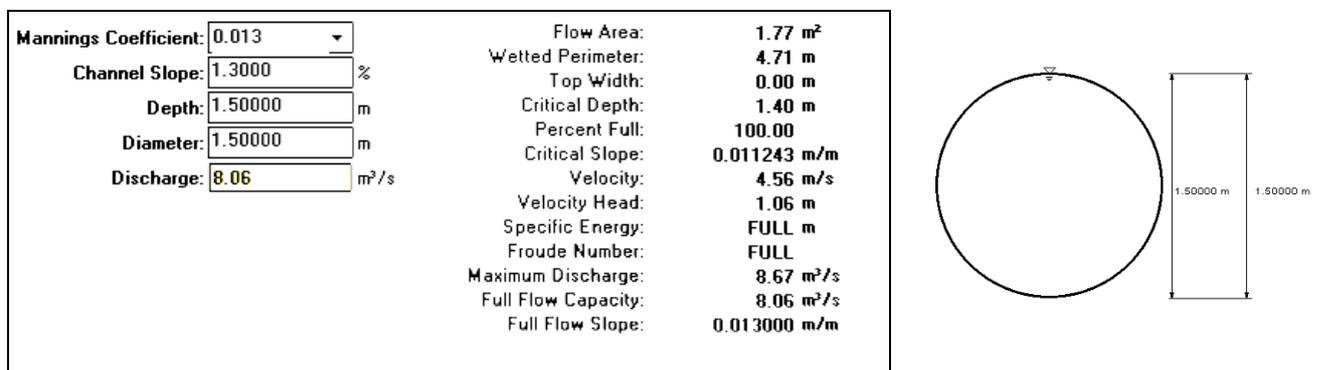


Figura 14 - Verifica idraulica in moto uniforme con riempimento della sezione al 100%.

Per completezza si è anche analizzato in modo speditivo la capacità di deflusso del tratto di alveo immediatamente a monte del tratto tombinato che dal rilievo topografico risulta avere una pendenza del 2,3 % e una sezione tipo trapezia riportata in Figura 15. Dalle simulazioni in moto uniforme effettuate sull'alveo si è ricavato che questo è in grado di smaltire a piene rive una portata di circa 9 m<sup>3</sup>/s.

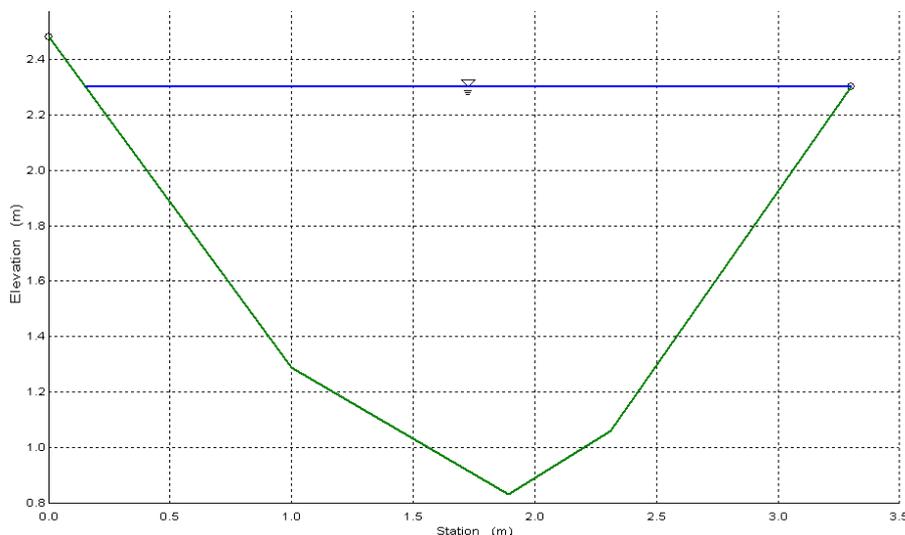


Figura 15 – Sezione tipo alveo Rio viale a monte del tratto tombinato.

Tabella 8 – Risultati simulazione in moto uniforme del tratto di alveo del Rio Viale a monte della tombinatura.

Wtd. Mannings Coefficient:	<input type="text" value="0.033"/>	Flow Area:	2.72 m <sup>2</sup>
Channel Slope:	<input type="text" value="2.3000"/> %	Wetted Perimeter:	4.39 m
Water Surface Elevation:	<input type="text" value="2.30"/> m	Top Width:	3.15 m
Elevation range:	0.83 m to 2.48 m.	Height:	1.47 m
Edit Irregular Section		Critical Depth:	2.38 m
Discharge:	<input type="text" value="8.97"/> m <sup>3</sup> /s	Critical Slope:	0.017882 m/m
		Velocity:	3.30 m/s
		Velocity Head:	0.56 m
		Specific Energy:	2.86 m
		Froude Number:	1.14
		Flow is supercritical.	

In conclusione si evidenzia che il tratto intubato del rio Viale ha capacità di deflusso limitata in grado di smaltire portate di piena derivanti da eventi pluviometrici con tempi di ritorno compresi tra i 10 e i 20 anni. Si rivela invece inadatto a smaltire portate con tempo di ritorno superiore ai valori sopra citati.

Non essendo stato possibile rilevare l'interno del tratto intubato del rio Viale non è certa la geometria interna e dunque la lunghezza del tratto con sezione di deflusso più limitante, si è allora eseguita un'ulteriore verifica di capacità di deflusso sulla sezione di uscita che risulta essere in grado di smaltire all'incirca una portata di 8,5 m<sup>3</sup>/s, comparabile sempre con portate derivanti da eventi pluviometrici con tempi di ritorno compresi tra i 10 e i 20 anni a seconda delle formulazioni.

Si mette in evidenza inoltre che la capacità di deflusso del tratto tombinato in esame è dello stesso ordine di grandezza di quella dell'alveo del rio Viale a monte del tratto tombinato e quindi eventuali fenomeni di esondazione in località Pozzo S. Evasio non sarebbero



unicamente imputabili ad una sezione di deflusso del tratto tombinato insufficiente, ma anche ad una sezione dell'alveo del rio inadatta.

Di conseguenza è verosimile che al tratto tombinato non vi sia in arrivo una portata superiore a quella che può essere smaltita nel tratto di monte e che, per effetti di laminazione si attesta su valori di circa  $9 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 6.3 Rio Fossalone

Il tratto interrato del rio Fossalone oggetto di verifica è quello sotto gli stabilimenti Frigor in prossimità dell'abitato di Casale Monferrato dove è intubato a partire da Strada Vecchia Pozzo S. Evasio fino a Strada Asti come si può osservare dalla Figura 10.



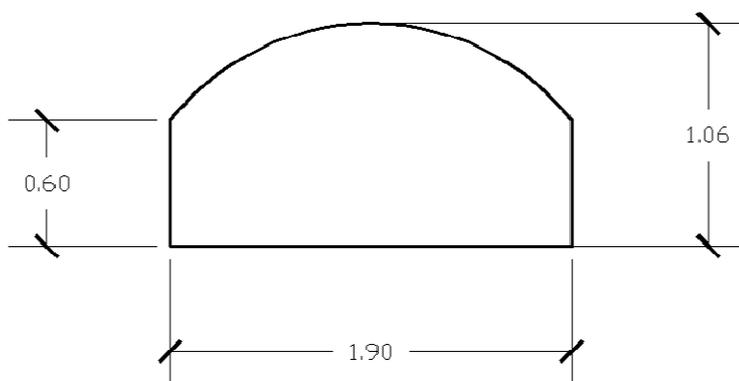
Figura 16 - Immagine aerea del tratto intubato del Rio Fossalone.

Dal rilievo topografico effettuato in data 21 giugno 2008 si sono rilevate le seguenti caratteristiche del tratto intubato:

- lunghezza tratto intubato: circa 370 m;
- sezione d'ingresso: vedi Figura 17;



- sezione di uscita: tubazione  $\Phi$  800 mm.;
- pendenza media del tratto intubato: 0,70 %.



**Figura 17 - Sezione di imbocco del tratto intubato a monte degli stabilimenti Frigor.**



**Foto 2 – Vista dell’imbocco e dello sbocco del tratto intubato.**



### 6.3.1 Portate di riferimento

Dagli studi idrologici di riferimento e dall'applicazione delle formulazioni empiriche per il calcolo delle portate al colmo si sono ricavati i seguenti valori sulla base delle quali sono state effettuate le verifiche idrauliche.

Tabella 9 – Portate al colmo utilizzate per la verifica idraulica del rio Fossalone

Tr	SCS empirico		Formulazione	Contributo unitario	Studio idrologico PRGC 2003	
	AMC (II)	AMC (III)	Razionale	[Studio Maione]	AMC (II)	AMC (III)
10 anni	2.86	8.60	4.06	[-]	[-]	[-]
20 anni	4.20	11.13	4.74	2.49	[-]	[-]
50 anni	6.13	14.51	5.60	[-]	[-]	[-]
100 anni	7.71	17.13	7.50	3.22	[-]	[-]
200 anni	9.37	19.78	8.28	3.51	[-]	[-]

### 6.3.2 Verifiche idrauliche per il rio Fossalone

Sulla base delle portate precedentemente individuate sono state condotte le verifiche idrauliche in riferimento alla sezione di ingresso e di uscita della tombinatura. Si riportano di seguito le verifiche della sezione di uscita che risulta essere quella con capacità di deflusso minore.

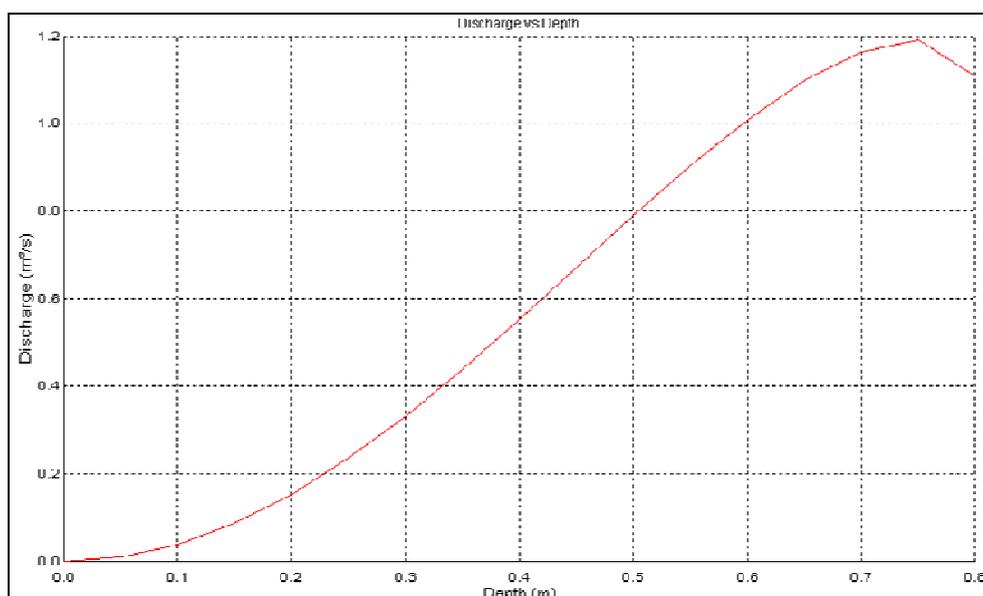


Figura 18 - Scala numerica delle portate per la sezione di uscita del rio Fossalone.



In particolare sono state condotte due diverse tipologie di verifica. La prima ha individuato il dato di portata defluente in condizioni di riempimento della tubazione pari al 70% dell'area. Il valore ottenuto è risultato pari a 0,93 m<sup>3</sup>/s (Figura 19).

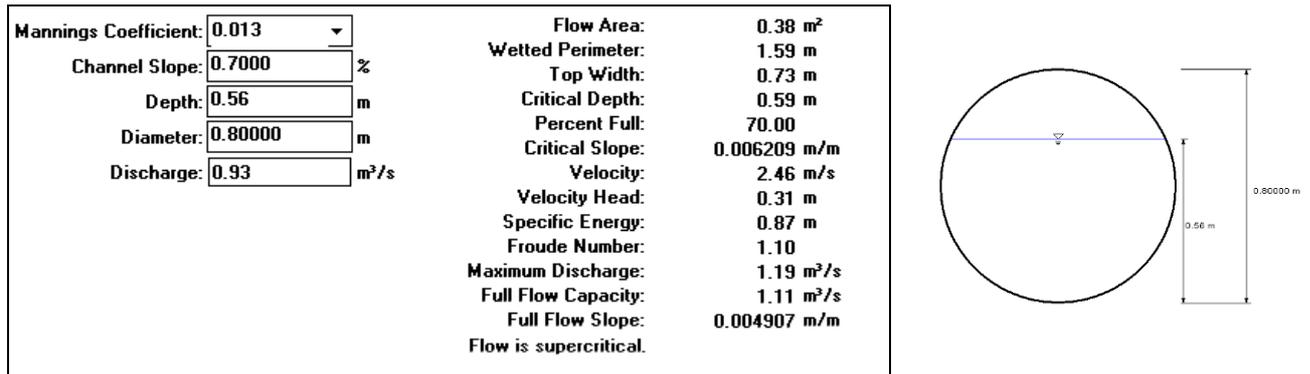


Figura 19 - Verifica idraulica in moto uniforme con riempimento della sezione al 70%.

La seconda ha individuato il dato di portata in condizioni di “tubo pieno”. Il valore ottenuto è risultato pari a 1,11 m<sup>3</sup>/s.

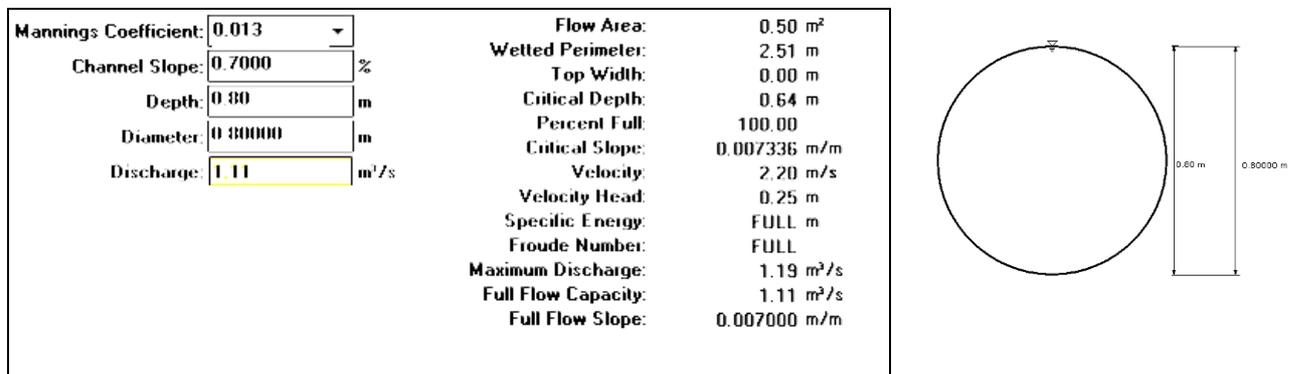


Figura 20 - Verifica idraulica in moto uniforme con riempimento della sezione al 100%.

Per completezza si è anche analizzato in modo speditivo la capacità di deflusso del tratto di alveo del rio Fossalone immediatamente a monte del tratto tombinato; in questo punto del rio confluiscono due rami distinti che, dal rilievo topografico risultano avere pendenza del 0,95 % in sinistra idrografica della tombinatura e 0,72 % in destra. Le sezioni tipo sono riportate in Figura 21 e Figura 22 mentre in Tabella 10 e Tabella 11 sono riportate le simulazioni in moto uniforme per i due rami; nel complesso, immediatamente a monte del tratto tombinato, il Rio



Fossalone ha una portata massima che può defluire di 9,61 m<sup>3</sup>/s pari alla somma delle portate a piene rive provenienti dai due rami.

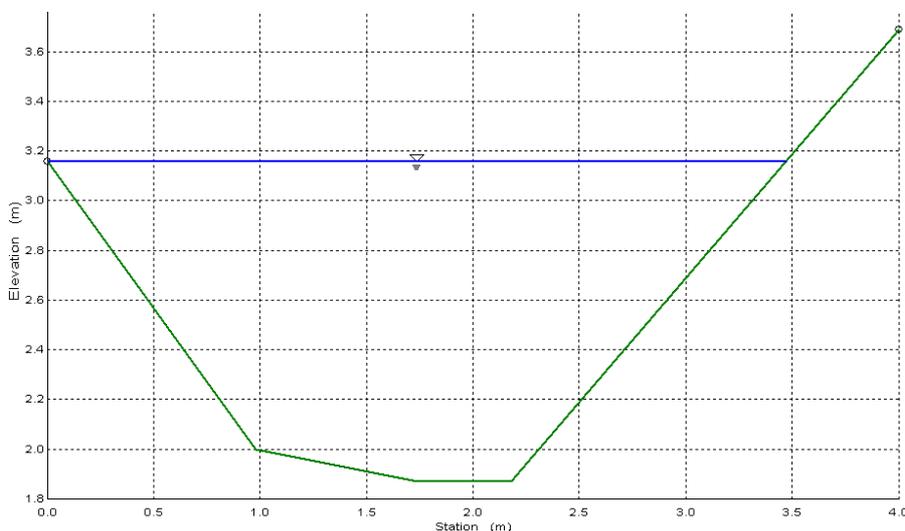


Figura 21 - Sezione tipo alveo Rio Fossalone a monte del tratto tombinato (DX idrografica).

Tabella 10 - Risultati simulazione in moto uniforme del tratto di alveo del Rio Fossalone a monte del tratto tombinato (DX idrografica).

Wtd. Mannings Coefficient:	0.033	Flow Area:	2.90 m <sup>2</sup>
Channel Slope:	0.7200 %	Wetted Perimeter:	4.55 m
Water Surface Elevation:	3.16 m	Top Width:	3.47 m
Elevation range:	1.87 m to 3.69 m.	Height:	1.29 m
Edit Irregular Section		Critical Depth:	2.91 m
Discharge:	5.46 m <sup>3</sup> /s	Critical Slope:	0.017224 m/m
		Velocity:	1.88 m/s
		Velocity Head:	0.18 m
		Specific Energy:	3.34 m
		Froude Number:	0.66
		Flow is subcritical.	

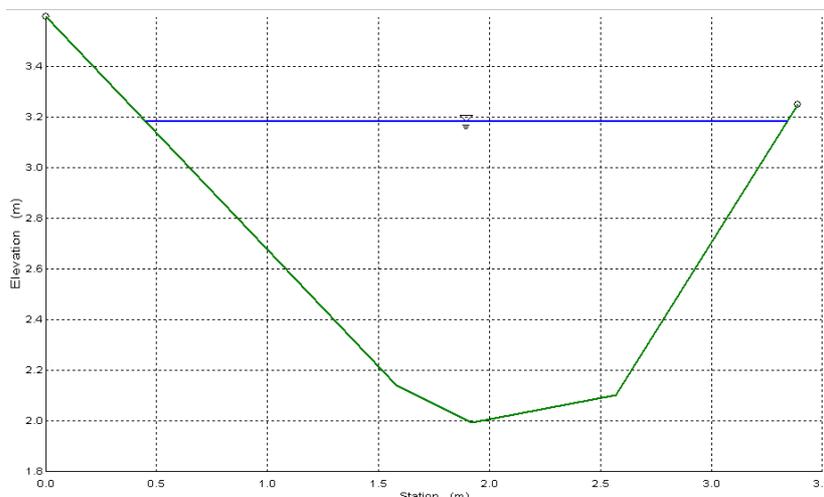


Figura 22 – Sezione tipo alveo Rio Fossalone a monte del tratto tombinato (SX idrografica).

Tabella 11 - Risultati simulazione in moto uniforme del tratto di alveo del Rio Fossalone a monte del tratto tombinato (SX idrografica).

Wtd. Mannings Coefficient:	0.033	Flow Area:	2.13 m <sup>2</sup>
Channel Slope:	0.9500 %	Wetted Perimeter:	3.90 m
Water Surface Elevation:	3.18 m	Top Width:	2.89 m
Elevation range:	1.99 m to 3.60 m.	Height:	1.19 m
Edit Irregular Section		Critical Depth:	3.01 m
Discharge:	4.15 m <sup>3</sup> /s	Critical Slope:	0.018470 m/m
		Velocity:	1.95 m/s
		Velocity Head:	0.19 m
		Specific Energy:	3.38 m
		Froude Number:	0.73
		Flow is subcritical.	

In conclusione si evidenzia che il tratto intubato del rio Fossalone oggetto di verifica ha capacità di deflusso inadatta a smaltire portate con tempi di ritorno anche solo di 10 anni.

Anche in questo caso, non essendo stato possibile rilevare l'interno del tratto intubato del rio Fossalone non è certa la geometria interna e dunque la lunghezza del tratto con sezione di deflusso più limitante, si è allora eseguita un'ulteriore verifica di capacità di deflusso sulla sezione di ingresso che risulta essere in grado di smaltire all'incirca una portata di 3 m<sup>3</sup>/s, comparabile con portate derivanti da eventi pluviometrici con tempi di ritorno compresi tra i 10 e i 20 anni a seconda delle formulazioni.

Si mette infine in evidenza che la capacità di deflusso del tratto tombinato in esame è inferiore di quella dell'alveo del rio a monte del tratto in esame: eventuali fenomeni di esondazione del rio Fossalone nella porzione d'area adiacente agli stabilimenti Frigor potrebbero quindi essere imputabili ad una sezione di deflusso del tratto tombinato insufficiente.