



# Anas SpA

Direzione Progettazione Realizzazione Lavori

**ITINERARIO INTERNAZIONALE E78  
S.G.C. GROSSETO - FANO  
ADEGUAMENTO A 4 CORSIE  
NEL TRATTO GROSSETO - SIENA (S.S. 223 "DI PAGANICO")  
DAL KM 41+600 AL KM 53+400 - LOTTO 9**

## PROGETTO DEFINITIVO

<b>PROGETTISTA:</b> <i>Ing. ALESSANDRO MICHELI</i> <i>Ordine Ing. di Roma n. 19654</i>  <i>Ing. ACHILLE DEVITOFRANCESCHI</i> <i>Ordine Ing. di Roma n. 19116</i>												
<b>IL GEOLOGO:</b> <i>Geol. SERENA MAJETTA</i> <i>Ordine Geol. del Lazio n. 928</i>												
<b>IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:</b> <i>Geom. FABIO QUONDAM</i>												
<b>VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:</b> <i>Ing. CARLO DIEMOZ</i>	<b>COD. PROG.</b> PROGETTO      LIV. PROG.      N. PROG. <table border="1"><tr><td>L</td><td>0</td><td>7</td><td>0</td><td>2</td><td>D</td><td>D</td><td>0</td><td>3</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	L	0	7	0	2	D	D	0	3	0	1
L	0	7	0	2	D	D	0	3	0	1		

IDROLOGIA E IDRAULICA  
RELAZIONE IDROLOGICA

	NOME FILE T00ID00IDRRE01B	REVISIONE	SCALA:															
	<table border="1"><tr><td>T</td><td>0</td><td>0</td><td>I</td><td>D</td><td>0</td><td>0</td><td>I</td><td>D</td><td>R</td><td>R</td><td>E</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	T	0	0	I	D	0	0	I	D	R	R	E	0	1	<table border="1"><tr><td>B</td></tr></table>	B	-
T	0	0	I	D	0	0	I	D	R	R	E	0	1					
B																		
B	Aggiornamento e integrazioni (richiesta MIT n° 4655 del 27/04/2016)	LUG. 2016																
A	Emissione	SET. 2005																
		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO													

1	PREMESSA .....	1
2	STIMA DELLE PIOGGE DI PROGETTO .....	2
3	CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO.....	4
3.1.	IL METODO RAZIONALE.....	4
3.2.	IL METODO DEL CURVE NUMBER PER L'INDIVIDUAZIONE DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO .....	5
4	PORTATE DI PIENA NEI SOTTOBACINI 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8. ....	8
	Metodologia Utilizzata.....	9
4.1.	PORTATE DI PIENA PER GLI ATTRAVERSAMENTI S05-06 E S17.....	13
5	PORTATE DI PIENA PER I TOMBINI MINORI (SCATOLARI 2*2, 3*2, 3*3).....	14
6	PORTATE DI PIENA DEL FIUME MERSE.....	18
6.1.	LA SERIE STORICA DEI DATI IDROMETRICI.....	19
6.2.	ANALISI DELLA SERIE STORICA DELLE PORTATE AL COLMO CON IL METODO DI GUMBEL .....	25
6.3.	APPLICAZIONE DEL MODELLO DI NASH E DETERMINAZIONE DELL'IDROGRAMMA DI PIENA .....	28
6.4.	LO STUDIO DI “REGIONALIZZAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA IN TOSCANA” .....	33
6.5.	CONCLUSIONI DELLO STUDIO IDROLOGICO DEL FIUME MERSE.....	38

## 1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto lo studio idrologico relativo all'intervento Itinerario Internazionale E78 S.G.C. Grosseto – Fano, adeguamento a 4 corsie nel tratto Grosseto – Siena (SS 223 “di Paganico”) dal km 41+600 al km 53+400 – IX Lotto.

Lo studio idrologico comprende analisi dei dati pluviometrici e idrometrici disponibili e ricostruzione delle portate di piena;

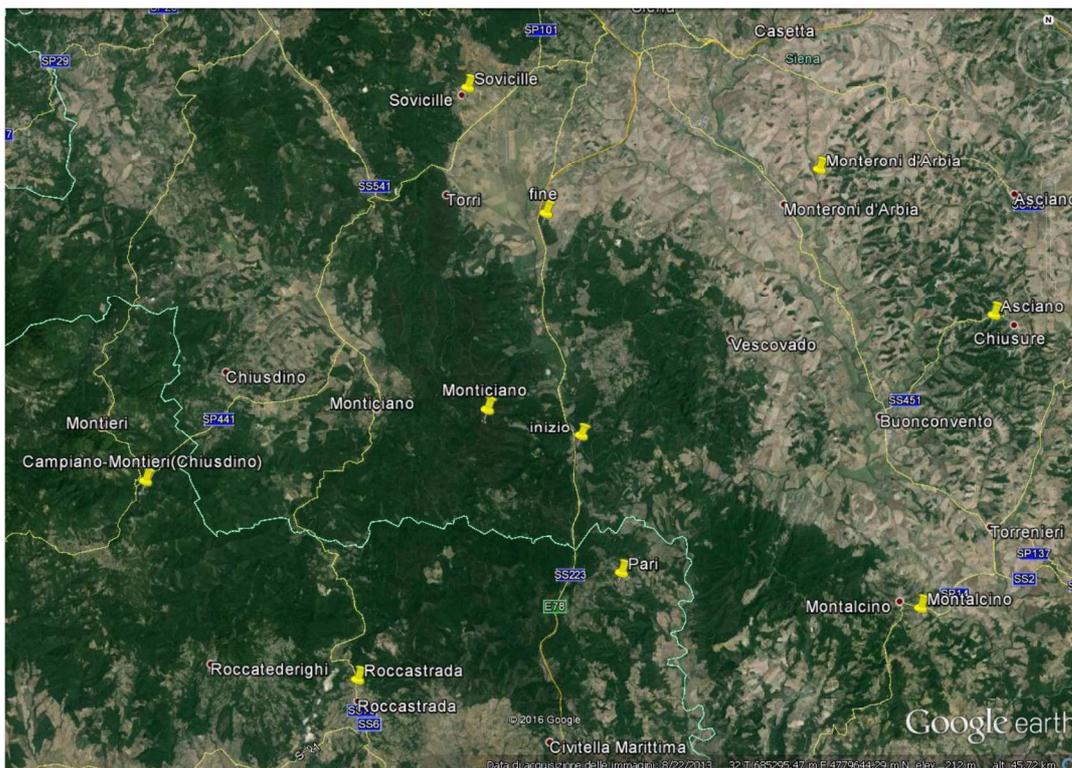
I risultati dei dimensionamenti effettuati, descritti nella presente relazione di calcolo, sono completati:

- dagli allegati della relazione;
- dalla carta di individuazione dei bacini (scala 1:10.000).

## 2 STIMA DELLE PIOGGE DI PROGETTO

Per la determinazione delle piogge di progetto, sono stati presi a riferimento i parametri della curva di possibilità pluviometrica elaborati dal S.I.R. (Settore Idrologico Regionale) della Regione Toscana ([www.sir.toscana.it](http://www.sir.toscana.it)), per diverse stazioni pluviometriche, per precipitazioni di durata superiore all'ora.

In figura si mostrano le stazioni considerate:



Si mostra di seguito l'elenco di tutte le stazioni presenti nella zona d'interesse, con il loro identificativo e le loro coordinate geografiche, nonché la quota sul livello del mare.

STAZIONE	ID stazione	UTM		H (m.s.l.m.)
		EST	NORD	
Asciano (Monte Olivetto)	TOS 0300 2621	706890	4783448	267
Campiano-Montieri (Chiusdino)	TOS 0100 2779	665900	4774211	500
Monteroni d'Arbia	TOS 1100 0082	698239	4790388	165
Monticchio	TOS 0300 2742	682348	4778177	450
Montalcino	TOS 1100 0086	703602	4769092	500
Pari	TOS 0300 2789	689118	4770375	330
Roccastrada	TOS 0300 2531	676437	4764897	504
Sovicille	TOS 0300 2761	680939	4793912	260

Inoltre si mostra, per le suddette stazioni, il valore dei parametri di pioggia “a” e “n” per i tempi di ritorno:

Tr = 20 anni

*Relazione idrologica*

Tr = 30 anni  
Tr = 50 anni  
Tr = 200 anni

STAZIONE	Tr=20		Tr=30		Tr=50		Tr=200	
	a	n	a	n	a	n	a	n
Asciano (Monte Olivetto)	48.59	0.22	52.75	0.24	58.12	0.26	73.37	0.30
Campiano-Montieri (Chiusdino)	53.97	0.30	58.58	0.32	64.55	0.34	81.49	0.38
Monteroni d'Arbia	50.65	0.24	54.98	0.26	60.58	0.28	76.48	0.32
Monticiano	51.54	0.26	55.95	0.28	61.65	0.30	77.82	0.34
Montalcino	47.70	0.22	50.86	0.22	54.55	0.23	63.94	0.25
Pari	52.08	0.24	56.54	0.26	62.30	0.28	78.64	0.32
Roccastrada	56.59	0.27	61.44	0.29	67.69	0.31	85.45	0.35
Sovicille	47.84	0.28	51.93	0.30	57.22	0.32	72.23	0.36

Poiché la stazione pluviometrica di Monticiano è la più vicina al tracciato in oggetto, considerando che i valori che si riferiscono a tale stazione sono leggermente cautelativi rispetto alla media dei valori che si riferiscono all'insieme dei pluviometri sopra elencati, si è deciso di utilizzare la sola stazione di Monticiano.

Nel caso in esame si farà riferimento alla portata massima calcolata:

- con Tr = 50 anni
- con Tr = 100 anni
- con Tr = 200 anni

Si mostrano di seguito i valori per la stazione di Monticiano:

Tr=50		Tr=100		Tr=200	
a	n	a	n	a	n
61.645	0.303	69.61	0.33	77.818	0.344

Si ricavano i valori relativi all'altezza di pioggia secondo l'espressione classica (per assegnato tempo di ritorno), per durate inferiori e superiori all'ora:

$$h = a t^n$$

essendo h = altezza di pioggia espressa in mm,

t = durata di pioggia espressa in ore,

a, n = parametri della curva di possibilità pluviometrica.

### 3 CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO

In riferimento ai tempi di ritorno dell'evento di progetto, sono stati utilizzati i seguenti metodi di ricostruzione delle portate:

- per il F. Merse, costituente il maggiore corso d'acqua in studio, è stata ricostruita la portata di piena con Tr 200 anni per l'attraversamento in loc.tà Ponte a Macereto (opera S10), attraverso il confronto di più metodologie;
- per gli attraversamenti dei corsi d'acqua ricadenti nell'elenco della LR n. 230/94 e smi, è stato applicato il metodo del *Curve Number* per l'individuazione del coefficiente di deflusso, applicando il metodo razionale per il calcolo delle portate con Tr 200 anni;
- per gli attraversamenti delle opere d'arte S 05 – 06 e S17, nonché per i dimensionamenti e verifica dei tombini e dei manufatti per lo smaltimento delle acque di piattaforma, è stato applicato il metodo razionale, in ragione delle ridotte dimensioni dei bacini, con stima del coefficiente di deflusso.

#### 3.1. Il metodo razionale

Per il calcolo delle portate di progetto è stato applicato il metodo razionale, secondo la relazione:

$$Q = \frac{C \cdot A \cdot i}{3,6} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

essendo:

- $i = \frac{at_c^n}{t_c}$  [mm/ora] intensità di pioggia supposta uniformemente distribuita su tutto il bacino;
- A area del bacino;
- C il coefficiente di deflusso, dato dal rapporto tra la pioggia che dà origine al deflusso e la pioggia totale.

Tale metodo prevede quindi una pioggia di intensità  $i$  costante, riferita al tempo di ritorno considerato, di durata pari al tempo di corrivazione del bacino in oggetto.

Il tempo di corrivazione si definisce come somma di due contributi:

$$t_c = t_a + t_r$$

essendo:

- $t_a$  il tempo, misurato dall'inizio dell'evento pluviometrico, a cui si manifesta lo scorrimento nel canale di drenaggio principale (tempo di saturazione + tempo di trasferimento alla rete principale);
- $t_r$  il tempo di scorrimento lungo il corso d'acqua o lungo il canale, fino alla sezione di chiusura.

Per quello che riguarda la stima del coefficiente C di deflusso, per bacini di ridotte dimensioni, sono stati assunti i valori dei coefficienti di afflusso C e le percentuali di ripartizione tra aree boschive, aree ad uso agricolo e aree urbanizzate, sulla base dei valori riportati nella tabella seguente e da cui deriva un valore stimato di  $C=0.32$ .

	Coefficiente di afflusso C	%
Aree boschive	0,3	90%
Aree ad uso agricolo	0,5	10%
Aree urbanizzate	0,9 – 1,0	0.00%

Tabella 1 Coefficienti di afflusso C per tipologia di uso del suolo dei bacini

### 3.2. Il metodo del Curve Number per l'individuazione del coefficiente di deflusso

Il metodo del Curve Number (CN), sviluppato dal Soil Conservation Service americano, si colloca a metà strada fra i modelli basati sul calcolo delle perdite per infiltrazione in un punto, quindi coerentemente utilizzabili solo in approcci distribuiti e semidistribuiti, e i modelli formulati in maniera da essere specificatamente utilizzati in approcci integrati.

Il metodo CN si basa su una semplice equazione di bilancio fra i valori cumulati nel tempo, dall'inizio dell'evento di precipitazione, ponendo la pioggia  $P(t)$ , uguale alla somma del deflusso superficiale  $Q(t)$ , delle perdite iniziali  $I_a(t)$  prima della produzione di deflusso e di quelle successive  $I(t)$ :

$$P(t) = I_a(t) + I(t) + Q(t)$$

Tutte queste grandezze sono espresse in termini di volume per un'unità di area, ovvero di un'altezza (mm).

L'ipotesi di base del metodo è che il rapporto fra il volume di deflusso e il volume di pioggia depurato delle perdite iniziali rimanga, ad ogni istante, uguale al rapporto tra il volume delle perdite successive ed il volume massimo teorico delle perdite (a saturazione), indicato con il simbolo S:

$$\frac{Q}{P - I_a} = \frac{I}{S}$$

È inoltre supposto che le perdite iniziali siano proporzionali alle perdite massime possibili S (a saturazione):

$$I_a = \beta S$$

con valori tipici di  $\beta$  compresi tra 0,1 e 0,3, che nella procedura standard utilizzata viene assunto pari a 0,2.

Il nucleo fondamentale di tutto il metodo è costituito dal parametro S, che a sua volta è espresso in funzione di un indice dimensionale CN, detto appunto *curve number*, che a sua

volta è tabulato in funzione del tipo di suolo, per tenere conto delle capacità di infiltrazione, e dell'uso del suolo, che influenzerà sia l'ammontare della quota delle perdite iniziali dovute a intercettazione che la capacità di infiltrazione stessa del suolo.

I valori CN hanno come limite inferiore 0 (superficie totalmente permeabile, con nessuna produzione di deflusso) e come limite superiore 100 (superficie totalmente impermeabile, con nessuna perdita e deflusso uguale alla precipitazione). Il termine *curve number* deriva dal fatto che a ciascun valore di CN corrisponde una diversa curva che rappresenta il rapporto tra i volumi di deflusso e di precipitazione (*coefficiente di deflusso cumulato*) in funzione del volume della precipitazione.

Definendo il coefficiente di deflusso come:

$$C = Q / P$$

Dove:

Q (mm) è il deflusso di piena

P (mm) è l'afflusso meteorico

Il coefficiente di afflusso è funzione dell'afflusso meteorico P, secondo l'espressione:

$$C = \frac{(1 - 0.2 K)^2}{(1 + 0.8 K)}$$

dove:  $K = S / P$

dipende dalla grandezza S (mm), definita *ritenzione potenziale* del bacino, che risulta funzione, attraverso "runoff curve number" (CN), della tessitura e dell'umidità iniziale del suolo, della sua copertura vegetale, ecc., secondo l'espressione:

$$S = 254 \left[ \frac{100}{CN} - 1 \right]$$

I valori dell'indice CN sono tabulati in letteratura per differenti tipi di copertura del suolo, diverse caratteristiche del terreno e per condizioni medie di umidità iniziale del suolo (condizione II), secondo 4 gruppi principali di terreno<sup>1</sup>:

- *gruppo A*: (elevata infiltrazione) terreni sabbiosi molto permeabili;
- *gruppo B*: (infiltrazione moderata) terreni franchi moderatamente permeabili, depositi sabbiosi superficiali;
- *gruppo C*: (infiltrazione lenta) terreni franco – limosi poco permeabili: argille di medio impasto, ad elevato tenore di argilla;
- *gruppo D*: (infiltrazione molto lenta) terreni argillosi quasi impermeabili.

Le condizioni di umidità iniziale del suolo risultano 3:

- *condizione I*: il terreno è secco pur senza raggiungere il punto di appassimento e le colture o la vegetazione sono ben sviluppate;
- *condizione II*: il terreno è mediamente umido;
- *condizione III*: il terreno è saturo di umidità a causa di intense precipitazioni con almeno 50 mm di altezza di pioggia nei 5 giorni precedenti l'evento considerato;

<sup>1</sup> Cfr Manuale di Ingegneria Civile, Ed.ni ESA C- Zanichelli, Vol. I - Sezione Idraulica – Idrologia Tecnica.

*Relazione idrologica*

nella stagione fredda si considera raggiunta la saturazione dopo 25 mm di pioggia in 5 giorni.

Le relazioni tra le condizioni medie CN II e la condizione I e III sono basate sulle seguenti relazioni semplificate:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - 0.013CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057CN_{II}}$$

Il SCS propone per l'intercettazione iniziale (perdite iniziali):  $I_a = 0.2 S$

Dalle relazioni precedenti, è possibile quindi calcolare il deflusso medio Q (mm) durante un evento piovoso, applicando le relazioni:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad \text{se } P > 0,2 S$$

$$Q = 0 \quad \text{se } P \leq 0,2 S$$

In considerazione dei tipi e degli usi di suolo della zona in esame, sono stati assunti i seguenti valori di CN II:

	CN II
boscoso - arbusti	67
foresta	70
brughiera	77
agricolo	79

#### 4 PORTATE DI PIENA NEI SOTTOBACINI 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

Sono stati analizzati n°8 sottobacini d'interesse, che ricadono tra quelli da sottoporre a controllo ai sensi della L.R. 230/94 e smi, elencati di seguito nell'ordine procedendo lungo la viabilità di progetto da Siena verso Grosseto:

1. Fosso Quercione (opere S21 P - S21 sec - S22 sec);
2. Fosso S. Biagio (opere S20 - S19);
3. Fosso Maceratano (opera S15 P - S15 sec);
4. Fosso Lellarone (opera S14 P - S14 sec);
5. Fosso Ginepraiolo (opera S12 P - S12 sec);
6. Fosso Solfare (opera S11 P - S11 sec);
7. Fosso Faulle (opere S9 - S8);
8. Fosso Ornate (opera S2).

I fossi dal n.1 al n. 6 sono collocati in sinistra idrografica del T. Merse, mentre i rimanenti due (n. 7 e 8) ricadono in destra.

Per l'individuazione del coefficiente di deflusso il procedimento seguito è spiegato di seguito. Innanzitutto è stato individuato il CN II sulla base dell'uso del suolo, si è fatto poi riferimento al CN III (terreno saturo), ipotizzando il terreno saturo a causa d'intense precipitazioni con almeno 50 mm di altezza di pioggia nei 5 giorni precedenti all'evento considerato, a vantaggio di sicurezza. Tale ipotesi appare opportuna in ragione delle ridotte dimensioni dei bacini in esame.

I principali dati dei bacini in esame sono stati ricavati dalla CTR 1:10.000, con riferimento all'elaborato grafico COROGRAFIA DEI BACINI.

Di seguito si riportano i dati utilizzati e il calcolo delle portate di piena con  $Tr = 200$  anni, utilizzando la curva di possibilità climatica di Monticiano.

TIPOLOGIA		
principale	bacino 1	fosso Quercione
S19 secondaria - S20 principale	bacino 2	fosso San Biagio
S 15 principale + secondaria	bacino 3	fosso Maceratano
S14 principale + secondaria	bacino 4	fosso Lellarone
S 12 principale + secondaria	bacino 5	fosso Ginepraiolo
S 11 principale + secondaria	bacino 6	fosso Solfare
S08 principale - S09 secondaria	bacino 7	fosso Faulle
S01 principale - S02 secondaria	bacino 8	fosso Ornate

Le caratteristiche geometriche dei bacini sono mostrate nelle tabelle seguenti.

Nella tabella di seguito mostrata, i bacini sono stati raggruppati sulla base delle Formule utilizzate per il calcolo della portata, che in letteratura sono distinte in base all'estensione del bacino stesso.

Per i bacini 1,2,4,5,6,7 si è utilizzata la Formula di Kirpich; per i bacini 3,8 si è utilizzata la Formula di Giandotti.

		Area bacino	L asta princ	H <sub>0</sub> sez chiusura	Hmax bacino	Hmedia pesata
		kmq	km	m s.l.m.	m s.l.m.	m s.l.m.
bacino 1	fosso Quercione	4.4	3.7	183.9	374	279.0
bacino 2	fosso San Biagio	4.3	4.0	184.8	382	283.4
bacino 4	fosso Lellarone	1.1	1.5	172.8	316	244.4
bacino 5	fosso Ginepraiolo	3.8	3.7	170.7	452.9	311.8
bacino 6	fosso Solfare	1.8	2.3	170.8	496.8	333.8
bacino 7	fosso Faulle	3.7	4.2	169	518	343.5

bacino 3	fosso Maceratano	8.8	4.63	172.2	484.6	328.4
bacino 8	fosso Ornate	17.0	6.68	165.2	557.1	361.15

### Metodologia Utilizzata

All'interno del metodo di corrivazione è qui descritto in breve il procedimento seguito per la determinazione delle portate.

#### 1) Determinazione t<sub>c</sub>:

Le formule utilizzate per l'individuazione del tempo di corrivazione del bacino sono:

- Per bacini di A > 8 km<sup>2</sup>:  
(bacini 3 e 8 = Area media pari a 13 km<sup>2</sup>) si è scelto di utilizzare la Formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{h_{media} - h_{min}}}$$

- Per bacini di A < 8 km<sup>2</sup>:  
(bacini 1, 2, 4, 5, 6 e 7 = Area media pari a 3.2 km<sup>2</sup>) si è scelto di utilizzare un tempo di corrivazione mediato da diverse formule sperimentali presenti in letteratura.  
Si è desunto un t<sub>c</sub> compatibile con quelli restituiti da Ventura, Viparelli, Pasini, Kirpich, Pezzoli, le cui formule sono di seguito riportate:

$$t_c = 0.127 \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{i}}$$

Ventura:

Viparelli  $T_c = L / (60 * V)$

Pasini  $T_c = \frac{24 \cdot 0.045 \cdot \sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{i \cdot 100}}$

Kirpich:  $T_c = 0.0078L^{0.77} S^{-0.385}$

Pezzoli  $t_c = \frac{0.055 L}{\sqrt{i}}$

2) Curva di possibilità climatica (pluviometro di Monticiano)

In base all'analisi della serie storica delle piogge al pluviometro di Monticiano operata dal S.I.R., i parametri caratteristici della curva segnalatrice di possibilità pluviometrica sono sintetizzati di seguito:

Tr=50		Tr=100		Tr=200	
a	n	a	n	a	n
61.645	0.303	69.61	0.33	77.818	0.344

Tabella 2 - parametri della curva di possibilità climatica

Si mostrano per i bacini i tempi di corrivazione, l'altezza di pioggia e l'intensità di pioggia critica per i diversi tempi di ritorno considerati:

		Tr=50			Tr=100		Tr=200	
		tc (ore)	h (mm)	ic (mm/h)	h (mm)	ic (mm/h)	h (mm)	ic (mm/h)
bacino 1	fosso del Quercione	0.85	58.7	68.9	66.1	77.5	73.7	86.4
bacino 2	fosso San Biagio	0.89	59.5	66.9	67.0	75.3	74.8	84.0
bacino 3	fosso Maceratano	1.88	74.7	39.6	85.6	45.4	96.8	51.4
bacino 4	fosso Lellarone	0.32	43.7	136.5	48.0	150.0	52.6	164.4
bacino 5	fosso Ginepraiolo	0.71	55.6	78.2	62.3	87.6	69.2	97.3
bacino 6	fosso Solfare	0.37	45.8	122.5	50.5	135.1	55.4	148.5
bacino 7	fosso Faulle	0.71	55.5	78.4	62.2	87.9	69.1	97.6
bacino 8	fosso Ornate	2.37	80.0	33.8	92.2	39.0	104.7	44.2

3) Metodo del Curve Number per determinazione coefficiente di deflusso:

$$S = 25.4 \times ((1000/CN)-10)$$

$$K = S/hc$$

$$C = (1-0.2xK)^2 / (1+0.8xK)$$

4) Determinazione del valore della portata

$$Q = C \times i \times A / 3.6 \text{ mc/sec}$$

Si mostrano i valori delle portate calcolati per tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni.

Tr=50		S	k	C	Q 50 (m3/s)
bacino 1	fosso del Quercione	45.0455	0.7668	0.4443	37.4
bacino 2	fosso San Biagio	45.0455	0.7569	0.4485	35.6
bacino 3	fosso Maceratano	45.0455	0.6033	0.5215	50.7
bacino 4	fosso Lellarone	45.0455	1.0319	0.3450	14.0
bacino 5	fosso Ginepraiolo	45.0455	0.8102	0.4260	35.6
bacino 6	fosso Solfare	45.0455	0.9845	0.3608	21.9
bacino 7	fosso Faulle	45.0455	0.8113	0.4256	34.1
bacino 8	fosso Ornate	45.0455	0.5630	0.5430	86.7

Tr=100		S	k	C	Q 100 (m3/s)
bacino 1	fosso del Quercione	45.0455	0.6817	0.4827	45.7
bacino 2	fosso San Biagio	45.0455	0.6722	0.4872	43.5
bacino 3	fosso Maceratano	45.0455	0.5263	0.5634	62.8
bacino 4	fosso Lellarone	45.0455	0.9391	0.3767	16.7
bacino 5	fosso Ginepraiolo	45.0455	0.7234	0.4634	43.3
bacino 6	fosso Solfare	45.0455	0.8927	0.3937	26.4
bacino 7	fosso Faulle	45.0455	0.7245	0.4629	41.5
bacino 8	fosso Ornate	45.0455	0.4884	0.5854	107.8

*Relazione idrologica*

<b>Tr=200</b>		<b>S</b>	<b>k</b>	<b>C</b>	<b>Q 200 (m3/s)</b>	<b>CONTRIBUTO UNITARIO di Q (m3/s/ km2)</b>
bacino 1	fosso del Quercione	45.0455	0.6114	0.5173	<b>54.6</b>	12.4
bacino 2	fosso San Biagio	45.0455	0.6025	0.5219	<b>52.0</b>	12.2
bacino 3	fosso Maceratano	45.0455	0.4656	0.5993	<b>75.5</b>	8.6
bacino 4	fosso Lellarone	45.0455	0.8570	0.4073	<b>19.8</b>	18.6
bacino 5	fosso Ginepraiolo	45.0455	0.6510	0.4975	<b>51.7</b>	13.5
bacino 6	fosso Solfare	45.0455	0.8125	0.4251	<b>31.3</b>	17.5
bacino 7	fosso Faulle	45.0455	0.6520	0.4970	<b>49.5</b>	13.5
bacino 8	fosso Ornate	45.0455	0.4303	0.6214	<b>129.8</b>	7.6

#### 4.1. Portate di piena per gli attraversamenti S05-06 e S17.

Le verifiche in oggetto riguardano tre attraversamenti, di cui due consecutivi, di fossi secondari sul IX lotto della S.G.C. Grosseto-Fano, di bacino sotteso inferiore al Km<sup>2</sup>.

	Area bacino km <sup>2</sup>	H <sub>0</sub> sez chiusura m s.l.m.	Hmax bacino m s.l.m.
attraversamento S05-S06	0.33	189.6	365
attraversamento S17	0.71	179.9	332.9

Il calcolo delle portate di piena, con Tr 200 anni, è stato eseguito applicando il metodo razionale, secondo la teoria in precedenza esposta.

Il coefficiente di afflusso C della formula razionale è stato calcolato tenendo conto della ripartizione per uso del suolo (superficie agricola / boschiva) dei bacini studiati, individuata sulla CTR 1:10.000.

Coefficiente di afflusso C		
aree	%	C
boschive	0.9	0.320
uso agricolo	0.1	-
urbanizzate	0	-

Le portate di progetto, per Tr=50, 100 e 200 anni, sono state calcolate con il metodo razionale suesposto e in particolare utilizzando la formula di Kirpich:

Kirpich				
	tc min	0.150		
<b>Tr = 200</b>	tc (ore)	h (mm)	ic (mm/h)	Q (m <sup>3</sup> /s)
	0.15	40.51	270.05	<b>7.9</b>
	0.19	43.92	231.48	<b>14.6</b>
<b>Tr = 100</b>	tc (ore)	h (mm)	ic (mm/h)	Q (m <sup>3</sup> /s)
	0.15	37.46	249.75	<b>7.3</b>
	0.19	40.45	213.19	<b>13.5</b>
<b>Tr = 50</b>	tc (ore)	h (mm)	ic (mm/h)	Q (m <sup>3</sup> /s)
	0.15	34.72	231.45	<b>6.7</b>
	0.19	37.28	196.46	<b>12.4</b>

Tabella 3 Portate di progetto

## 5 PORTATE DI PIENA PER I TOMBINI MINORI (SCATOLARI 2\*2, 3\*2, 3\*3)

I tombini cui si fa riferimento di seguito sono cosiddetti “minori”, in ragione del fatto che le dimensioni prospettate per codesti attraversamenti della sede stradale non superano i 3\*3 m.

Nelle tabelle inserite di seguito si mostrano le caratteristiche geometriche dei bacini che afferiscono a questi tombini, le caratteristiche idrologiche e le portate.

I tombini sono stati suddivisi in “**principali**” e “**secondari**” a seconda che attraversino la viabilità principale o secondaria.

Le caratteristiche geometriche dei bacini riferiti ai tombini principali:

<b>principali</b>	Area bacino	H0 sez chiusura	Hmax bacino	Lungh percorso	i media asta
	kmq	m s.l.m.	m s.l.m.	m	m/m
tombino 1	0.059	169	264.7	559	0.17
tombino 2	0.140	167.1	300	635.6	0.21
tombino 3	0.139	162.8	312.1	752.89	0.20
tombino 4	0.366	164	336.5	1157.4	0.15
tombino 5	0.038	172	230	256.18	0.23
tombino 6	0.137	173	320.1	505.8	0.29
tombino 7	0.67	175.7	429.4	1917	0.13
tombino 8	0.043	186.6	290	334.6	0.31
tombino 9	0.019	196	290	314	0.30
tombino 10	0.004	196	217	141.5	0.15
tombino 11	0.106	171.6	309.6	434.57	0.32
tombino 12	0.304	170.3	314.1	888.4	0.16
tombino 13	0.059	167.8	213.2	456.2	0.10
tombino 15	0.108	171.7	211.1	466.9	0.08
tombino 16	0.052	178.5	211.1	431.48	0.08
tombino 18	0.217	170.9	249.1	849.5	0.09
tombino 19	0.88	174.9	320.1	1325	0.11
tombino 20	0.026	203	220.3	230	0.08
tombino 21	0.020	200	220.3	287.2	0.07
tombino 22	0.119	187	264.9	620.8	0.13
tombino 23	0.075	181	264.9	522.5	0.16
tombino 24	0.056	178	224.9	352.6	0.13
tombino 25	0.126	176.7	255.9	499	0.16
tombino 26	0.154	177.9	332.9	852.7	0.18
tombino 27	0.240	179.7	332.9	849.45	0.18
tombino 28	0.128	183.2	225	480	0.09
tombino 29	0.049	181.9	222.2	384	0.10
tombino 30	0.095	181.9	222.2	529.5	0.08
tombino 31	0.169	185.6	217.9	639.5	0.05

*Relazione idrologica*

tombino 32	0.214	183.4	224.3	817.5	0.05
------------	-------	-------	-------	-------	------

Le caratteristiche idrologiche dei bacini riferiti ai tombini principali:

principali	Kirpich			
	tc (ore)	h (mm)	ic (mm/h)	Q (m3/s)
tombino 1	0.15	40.51	270.05	1.4
tombino 2	0.15	40.51	270.05	3.4
tombino 3	0.15	40.51	270.05	3.3
tombino 4	0.15	40.93	264.82	8.6
tombino 5	0.15	40.51	270.05	0.9
tombino 6	0.15	40.51	270.05	3.3
tombino 7	0.24	47.52	199.18	11.9
tombino 8	0.15	40.51	270.05	1.0
tombino 9	0.15	40.51	270.05	0.5
tombino 10	0.15	40.51	270.05	0.1
tombino 11	0.15	40.51	270.05	2.5
tombino 12	0.15	40.51	270.05	7.3
tombino 13	0.15	40.51	270.05	1.4
tombino 15	0.15	40.51	270.05	2.6
tombino 16	0.15	40.51	270.05	1.2
tombino 18	0.15	40.51	270.05	5.2
tombino 19	0.19	44.18	228.86	17.8
tombino 20	0.15	40.51	270.05	0.6
tombino 21	0.15	40.51	270.05	0.5
tombino 22	0.15	40.51	270.05	2.9
tombino 23	0.15	40.51	270.05	1.8
tombino 24	0.15	40.51	270.05	1.3
tombino 25	0.15	40.51	270.05	3.0
tombino 26	0.15	40.51	270.05	3.7
tombino 27	0.15	40.51	270.05	5.8
tombino 28	0.15	40.51	270.05	3.1
tombino 29	0.15	40.51	270.05	1.2
tombino 30	0.15	40.51	270.05	2.3
tombino 31	0.15	40.51	270.05	4.1
tombino 32	0.18	43.13	239.61	4.5

Le caratteristiche geometriche dei bacini riferiti ai tombini secondari:

*Relazione idrologica*

<b>secondari</b>	Area bacino	H0 sez chiusura	Hmax bacino	L percorso	i media asta
	kmq	m s.l.m.	m s.l.m.	km	m/m
tombino S 01	0.0033	173	178.8	0.0661	0.087733
tombino S 02	0.2674	172.9	187	0.1520	0.092763
tombino S 02 bis	0.0156	172.9	314.1	0.7347	0.192187
tombino S 03	0.0209	177.3	207	0.2852	0.104137
tombino S 04	0.0122	183	208.4	0.2312	0.109862
tombino S 05	0.0128	188	208.4	0.1732	0.117783
tombino S 06	0.0410	187	209.4	0.2104	0.106464
tombino S 07 C	0.0029	168.0	210.0	0.2050	0.204878
tombino S 07	0.0072	171.0	245.0	0.2550	0.290196
tombino S 07 bis	0.0115	178.0	210.0	0.1990	0.160804
tombino 11 G	0.0221	166.0	315.0	0.4346	0.342868
tombino 11 E	0.0073	162	326	0.3057	0.536474
tombino 11 D	0.0084	178	312	0.4562	0.293731
tombino 11 F	0.0029	159	309.6	0.4669	0.322553
tombino 11 C	0.0258	171	308	0.4315	0.317512
tombino 11 bis	0.0637	162	311	0.8495	0.175397
tombino S 14	0.0450	169.0	213.2	0.2940	0.150340
tombino 17	0.0263	175.0	253.0	0.2940	0.265306
tombino 17 B	0.0027	177.0	241.0	0.1150	0.556522
tombino 17 A	0.0087	165.0	235.0	0.1230	0.569106
tombino 17 C	0.0062	152.0	222.0	0.1650	0.424242
tombino 17 D	0.0074	154.0	225.0	0.1850	0.383784
tombino 17 E	0.0114	168.0	210.0	0.2050	0.204878

Le caratteristiche idrologiche dei bacini riferiti ai tombini secondari:

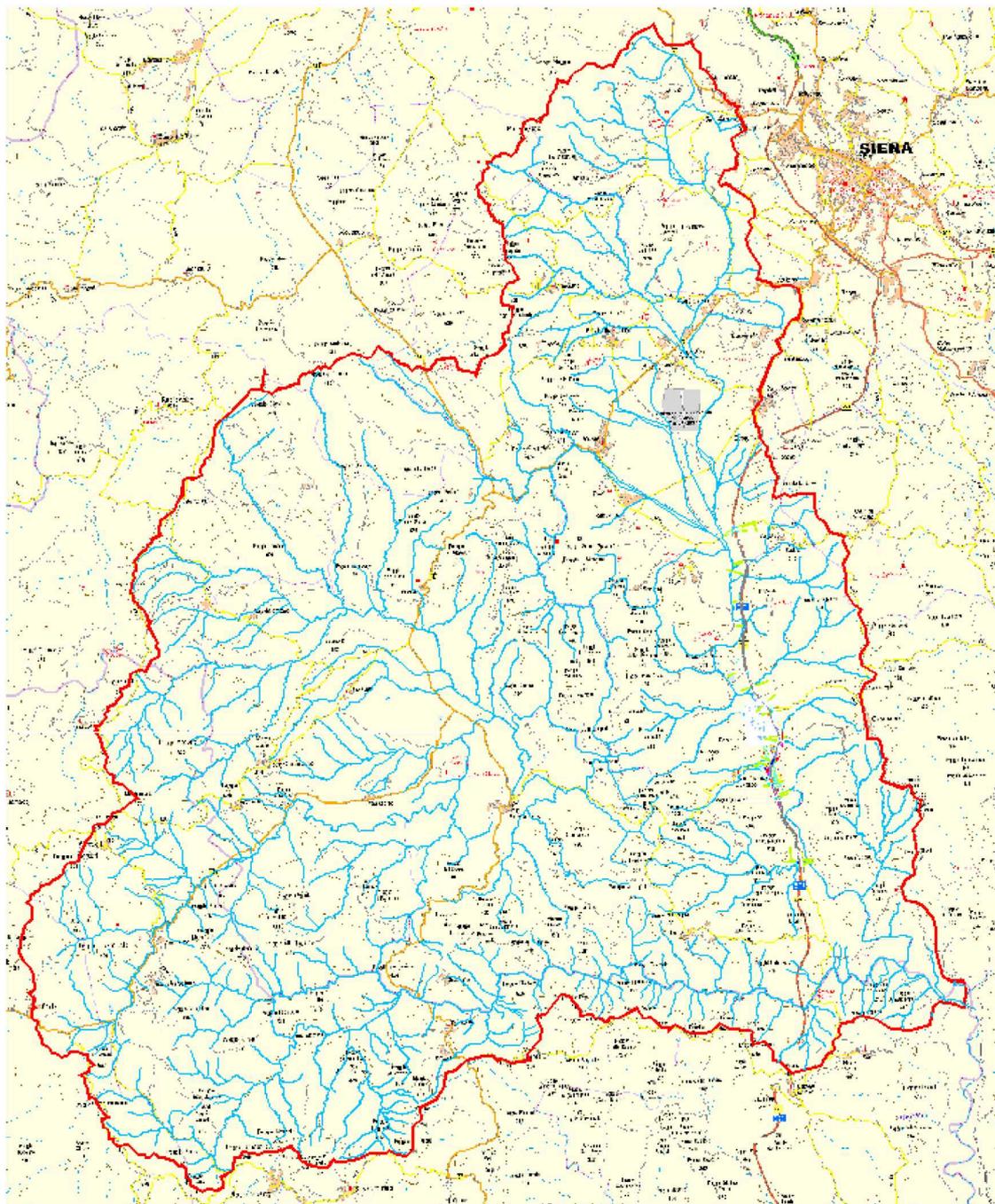
*Relazione idrologica*

<b>secondari</b>	Kirpich			
	tc (ore)	h (mm)	ic (mm/h)	Q (m3/s)
tombino S 01	0.15	40.51	270.0478	<b>0.1</b>
tombino S 02	0.15	40.51	270.0478	<b>6.4</b>
tombino S 02 bis	0.15	40.51	270.0478	<b>0.4</b>
tombino S 03	0.15	40.51	270.0478	<b>0.5</b>
tombino S 04	0.15	40.51	270.0478	<b>0.3</b>
tombino S 05	0.15	40.51	270.0478	<b>0.3</b>
tombino S 06	0.15	40.51	270.0478	<b>1.0</b>
tombino S 07 C	0.15	40.51	270.048	<b>0.1</b>
tombino S 07	0.15	40.51	270.048	<b>0.2</b>
tombino S 07 bis	0.15	40.51	270.048	<b>0.3</b>
tombino 11 G	0.15	40.51	270.0478	<b>0.5</b>
tombino 11 E	0.15	40.51	270.0478	<b>0.2</b>
tombino 11 D	0.15	40.51	270.0478	<b>0.2</b>
tombino 11 F	0.15	40.51	270.0478	<b>0.1</b>
tombino 11 C	0.15	40.51	270.0478	<b>0.6</b>
tombino 11 bis	0.15	40.51	270.0478	<b>1.5</b>
tombino S 14	0.15	40.51	270.048	<b>1.1</b>
tombino 17	0.15	40.51	270.048	<b>0.6</b>
tombino 17 B	0.15	40.51	270.048	<b>0.1</b>
tombino 17 A	0.15	40.51	270.048	<b>0.2</b>
tombino 17 C	0.15	40.51	270.048	<b>0.1</b>
tombino 17 D	0.15	40.51	270.048	<b>0.2</b>
tombino 17 E	0.15	40.51	270.048	<b>0.3</b>

## 6 PORTATE DI PIENA DEL FIUME MERSE

Il fiume Merse, affluente in destra idrografica del fiume Ombrone, attraversa la viabilità principale in progetto in corrispondenza del viadotto denominato Macereto (opera S10).

Si mostra il bacino idrografico del fiume Merse:



In ragione delle dimensioni del bacino idrografico sotteso, pari a circa 480 kmq in corrispondenza della stazione idrografica di Ornate, la portata di piena con Tr 200 anni da utilizzarsi per le verifiche idrauliche è stata individuata confrontando i risultati dei seguenti metodi:

- analisi della serie storica dei dati idrometrici disponibili;

- ricostruzione dell'idrogramma di piena mediante l'applicazione del metodo di Nash;
- analisi dei dati dello studio di regionalizzazione delle portate di piena in Toscana.

### **6.1. La serie storica dei dati idrometrici**

Sul fiume Merse hanno funzionato due stazioni idrometriche del S.I.M.I.:

Codice	Nome stazione	Quota zero idrometrico	Area bacino (Km <sup>2</sup> )	Altitudine media (m s.l.m.)	Dati disponibili
5700	Merse a Casa Mallecchi	226	265	419	1962 - 1982
5710	Merse a Ornate	140	483	365	1931 – 1979

Si è proceduto quindi alla stima della portata massima con tempo di ritorno pari a 200 anni per il fiume Merse in località Ponte a Macereto, avendo a disposizione i dati idrometrici della stazione di Ornate che presenta un bacino più esteso di quello considerato (condizione a vantaggio di sicurezza).

Alla serie storica dei dati delle portate massime annue misurate presso la stazione del fiume Merse a Ornate, è stata applicata una distribuzione del massimo valore secondo la legge di Gumbel (prima legge asintotica - EV1), come per le precipitazioni di massima intensità.

I dati disponibili delle portate massime annue sono elencati di seguito:

Data	Altezza idrometrica	Portata mc/s
13.12.1933	4.56	296
16.12.1934	5.55	430
11.11.1935	3.99	227
28.02.1936	4.56	296
11.12.1937	6.26	537
27.11.1938	3.94	220
14.05.1939	4.54	293
24.10.1940	6.74	613
31.01.1941	4.90	340
1942	-	-
05.12.1943	5.00	354
1944	-	-
1945	-	-
1946	-	-
1947	-	-
1948	-	-
26.11.1949	4.88	380
23.11.1950	5.06	362
03.01.1951	4.68	312
31.12.1952	3.14	135
20.12.1953	4.08	248
03.05.1954	4.04	232
20.12.1955	3.05	126
29.04.1956	3.92	218
21.02.1957	4.04	231
23.12.1958	6.22	531
24.12.1959	7.32	709

*Relazione idrologica*

Data	Altezza idrometrica	Portata mc/s
1960	-	-
1961	-	-
1962	-	-
1963	-	-
18.12.1964	4.68	311
01.09.1965	7.96	821
04.11.1966	8.58	934
17.02.1967	3.80	204
1968	-	-
1969	-	-
31.12.1970	4.14	244
07.06.1971	4.36	271
01.12.1972	4.20	252
14.02.1973	3.28	149
04.03.1974	3.83	208
19.03.1975	4.22	255
30.10.1976	5.15	374
31.01.1977	3.68	191
26.02.1978	5.14	373
10.01.1979	4.92	343

Tab. 1. – Altezza e portata massima al colmo annue – fiume Merse ad Ormate

Sugli annali idrologici, parte II – Portate e bilanci idrologici – è riportata una portata massima pari a 2.050 m<sup>3</sup>/s, con un contributo unitario di piena di 4.25 m<sup>3</sup>/s Km<sup>2</sup>, registrata durante la piena del 5 settembre del 1960: tale dato è stato ricavato dall'estrapolazione della scala di deflusso dal livello misurato pari a 10,22 m.

Durante tal evento tuttavia, che distrusse l'impianto di misura, la portata eccezionale fu causata dall'onda di piena provocata dall'ostruzione seguita poi dal crollo del ponte di S. Lorenzo a Merse, il quale per la massa del materiale addossato alle sue strutture che ne limitavano la sezione fluviale, aveva parzialmente sbarrato il corso d'acqua determinando così, un notevole invaso a monte<sup>2</sup>.

Tale dato non risulta quindi utilizzabile, essendo legato ad un evento particolare<sup>3</sup>.

Durante tal evento eccezionale, dalle ore 6 alle 14 del 5 – 9 – 1960 furono registrate nei pluviometri riportati di seguito le seguenti precipitazioni:

Stazione	Altezza totale di pioggia (mm), registrata dalle ore 6 alle 14	Precipitazione massima in un'ora mm
Chiusdino	295	85
Rosia	212	-
Cotorniano	208	56
S. Galgano	297	-
Sovicille	155	-
Siena Poggio al Vento	99	-

<sup>2</sup> Vedi sezione G – annali idrologici parte II anno 1960 – eventi di carattere eccezionale: Nubifragio del 5 settembre 1960 sulla marea toscana – bacini Cornia, Pecora, Bruna, Ombrone e Merse

<sup>3</sup> Il Servizio Idrografico di Pisa riporta per questo evento una ricostruzione “con metodo pluviometrico” della portata massima, corrispondente a 1380 mc/s.

*Relazione idrologica*

La pioggia ragguagliata al bacino chiuso alla stazione di Ornate è stata di 197 mm.

Relazione idrologica

Tabella 4 - Dati riassuntivo stazione idrometrica sul fiume Merse ad Ornate (da Annali Idrologici)

UFFICIO IDROGRAFICO DI PISA

Portate e bilanci idrologici - Tab. 25

**MERSE (Ombrone) a Ornate**

Bacino km<sup>2</sup> 483 [permeab. 20%] - Altit. max 1051 m s.m.; med. 365 m s.m.; zero idrom. [140.00] m s.m.; distanza dalla confluenza col Farma km 6.80 circa - Inizio osserv. I (dicembre 1930) Ir (luglio 1934) (con lacune dal giugno 1944 al luglio 1947; dal settembre 1960 al maggio 1963 e dall'ottobre 1968 al gennaio 1970); inizio misure novembre 1930 - Alt. idr. max m 10.22 (5 settembre 1960); min. m 0.24 (10 luglio 1948) - Portata max m<sup>3</sup>/s 2050.00 (5 settembre 1960); min. m<sup>3</sup>/s 0.82 (6-7-8 settembre 1949)



ANNI	Portate annue		PORTATE MENSILI (m <sup>3</sup> /s)											
	l/s. km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settem.	Ottobre	Novem.	Dicem.
1931-1959	12.4	5.97	7.80	9.04	9.30	6.66	6.16	3.41	2.45	1.81	2.38	4.38	6.93	11.40
1961	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1962	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1963	14.9	7.19	19.40	15.60	4.88	8.41	5.84	4.97	2.23	1.89	2.11	2.98	7.79	10.80
1964	18.3	8.84	4.22	10.30	19.80	9.98	3.44	2.53	2.19	1.74	1.70	14.50	6.89	28.40
1965	22.2	10.70	18.80	6.66	15.50	6.03	5.24	5.01	2.19	2.53	23.00	2.96	29.40	10.90
1966	21.7	10.50	12.50	15.00	6.07	5.27	3.91	2.67	2.04	1.75	2.56	11.30	52.30	11.00
1967	11.5	5.57	7.68	11.10	10.60	6.13	5.77	6.32	1.58	1.44	2.42	2.02	4.30	7.46
1968	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1969	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1970	14.0	6.75	18.30	9.83	17.10	6.16	4.21	2.77	1.81	1.89	1.67	1.53	2.28	13.30
1963-1970	17.1	8.26	13.50	11.40	12.30	7.00	4.73	4.05	2.01	1.87	5.58	5.88	17.20	13.60

ANNI	BILANCIO IDROLOGICO				PORTATE (m <sup>3</sup> /s)										
	Afflusso meteor. mm	Deflusso mm	Perdita appar. mm	Coeff. di deflusso	corrispondenti alle durate di giorni					Minima	Massima				
					10	91	182	274	355		giornaliera		al colmo		
m <sup>3</sup> /s	l/s. km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	l/s. km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	l/s. km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	l/s. km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	l/s. km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	l/s. km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	l/s. km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	l/s. km <sup>2</sup>
1931-1959	1008	390	618	0.39	29.1	5.27	2.90	1.95	1.25	0.82	315.0	652	709	1468	
1961	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
1962	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
1963	1071	469	602	0.44	34.4	7.65	3.92	2.22	1.68	1.55	106.0	219	»	»	
1964	1151	579	572	0.50	59.7	7.60	3.57	2.27	1.61	1.54	132.0	273	311	644	
1965	1169	695	474	0.59	55.6	9.93	5.45	3.01	1.67	1.58	433.0	896	821	1700	
1966	1234	682	552	0.55	41.2	8.50	4.61	2.18	1.55	1.46	629.0	1302	934	1934	
1967	833	361	472	0.43	24.8	5.57	4.01	2.23	1.13	1.05	71.6	148	204	422	
1968	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
1969	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
1970	890	441	449	0.50	50.1	5.93	2.64	1.67	1.46	1.41	112.0	232	244	505	
1963-1970	1058	538	520	0.51	42.20	7.30	3.98	2.18	1.47	1.05	629.0	1302	(*)934	1934	
1931-1970	1019	421	598	0.41	33.00	5.71	3.06	2.00	1.29	0.82	629.0	1302	934	1934	

ELEMENTI CARATTERISTICI	VALORI RIASSUNTIVI PER IL PERIODO 1931 + 1940; 1949 + 1959; 1963 + 1967 e 1970													
	ANNO	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settem.	Ottobre	Novem.	Dicem.	
Q max (m <sup>3</sup> /s)	629.00	116.00	172.00	168.00	139.00	143.00	49.80	79.20	11.20	433.00	252.00	629.00	315.00	
Q med. (m <sup>3</sup> /s)	6.49	9.06	9.57	9.97	6.74	5.85	3.55	2.35	1.83	3.09	4.72	9.21	11.90	
Q min. (m <sup>3</sup> /s)	0.82	1.53	1.40	1.68	1.20	1.48	0.96	1.12	0.94	0.82	0.90	1.15	1.51	
q (l/s. km <sup>2</sup> )	13.4	18.8	19.8	20.6	14.0	12.1	7.3	4.9	3.8	6.4	9.8	19.1	24.6	
Deflusso (mm)	421	50	48	55	36	32	19	13	10	17	26	49	66	
Afflus. meteor. (mm)	1019	88	76	85	76	88	56	30	41	87	124	146	122	
Perdite app. (mm)	598	38	28	30	40	56	37	17	31	70	98	97	56	

(\*) In effetti la portata massima registrata è stata di m<sup>3</sup>/s 2050, avvenuta il 5 settembre 1960, anno, però, in cui non fu possibile eseguire il bilancio, perché l'impianto andò distrutto con la piena.

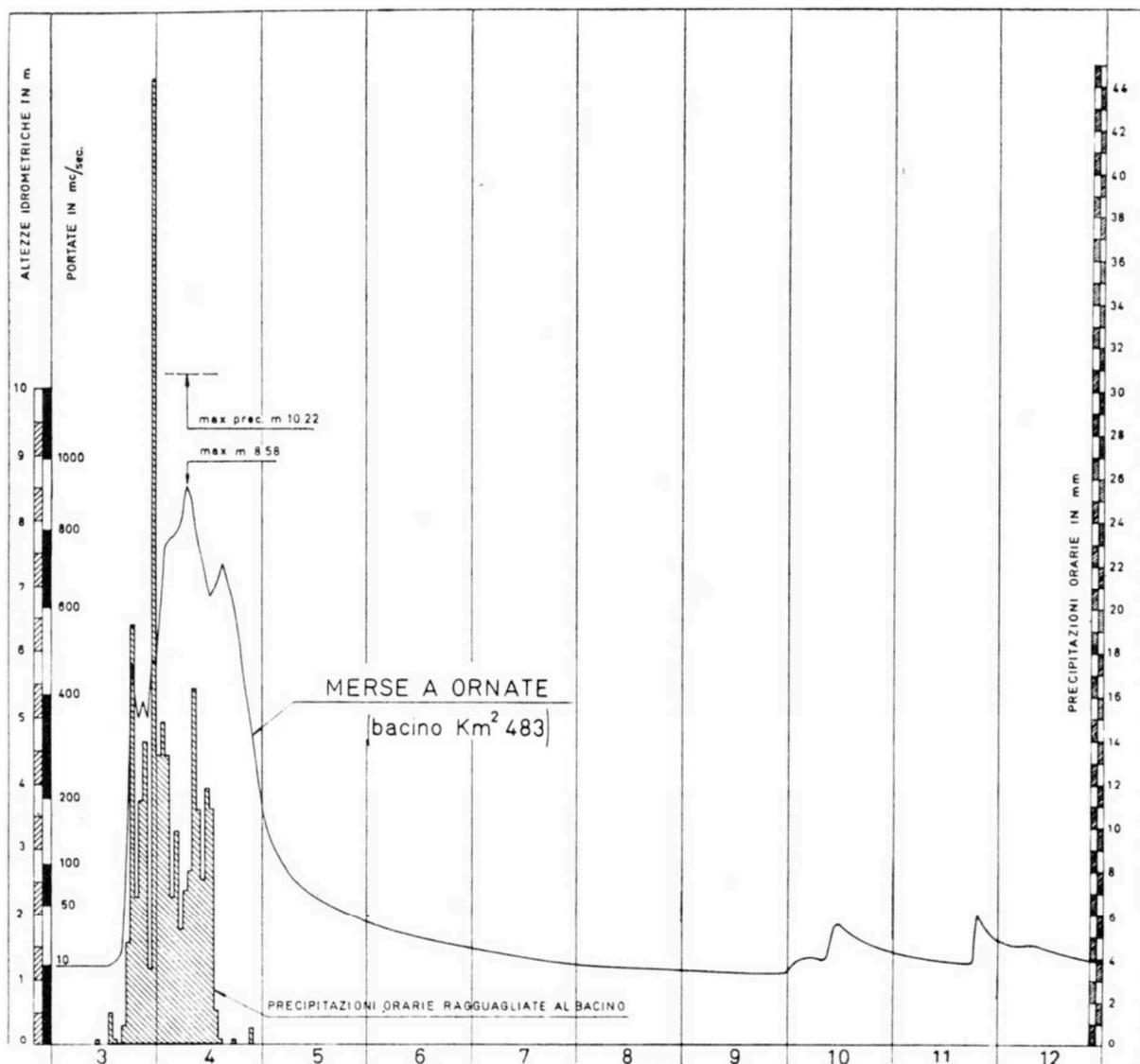
*Relazione idrologica*

La portata massima registrata nella serie storica disponibile risulta invece quella dell'evento alluvionale del novembre 1966, in cui le piogge furono caratterizzate dalla eccezionale concomitanza di continuità, di intensità e di estensione.

L'altezza al colmo è stata rilevata in m 8,58 sullo zero idrometrico: la portata corrispondente, dedotta dalla equazione  $Q = 4,54 (h-1,07)^{3/2}$  (valida per  $h > 2,70$  m), risulta di **934 m<sup>3</sup>/s**, ed il relativo contributo unitario è di 1,93 m<sup>3</sup>/s Km<sup>2</sup>.

Per questo evento si dispone, dagli annali idrologici, della registrazione dei livelli idrometrici e della ricostruzione delle precipitazioni medie ragguagliate, compiuta dal S.I.M.I., così come mostrato nella figura di seguito:

Fig. 2. – Piena del novembre 1966 – fiume Merse ad Ormate



In tabella 7 sono riportati per il bacino della Merse a Ormate i valori caratteristici della piena del novembre 1966:

Relazione idrologica

Tabella 7

VALORI CARATTERISTICI RELATIVI ALLA PIENA DEL NOVEMBRE 1966

CORSO D'ACQUA e STAZIONE	Bacino tributario		Afflusso meteorico				Deflusso				Rapporti caratteristici																							
	Superficie km <sup>2</sup>	Altitudine media m s.m.	nelle 48 ore di massima precipita- zione A		nelle 24 ore di massima precipita- zione A <sup>1</sup>		nelle 48 ore di max deflusso D		nelle 24 ore di max deflusso D <sup>1</sup>		nell'ora di max deflusso D <sup>2</sup>		Portata massima	D   A	D <sup>1</sup>   A <sup>1</sup>	D <sup>2</sup>   A <sup>2</sup>	Q max/A	Q max/A <sup>1</sup>	Q max/A <sup>2</sup>															
			mm	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	mm	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /s	l/s km	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	l/s km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	l/s km <sup>2</sup>								10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /s	l/s km <sup>2</sup>												
<i>Sieve (Arno)</i>																																		
a Fornacina . .	831	490	5	201,3	167,3	180,8	150,2	12,3	10,2	598,00	719,6	103,3	1122,7	933,00	80,6	1330,00	1600,4	4,8	1340,00	1612,5	0,62	0,54	0,47	1,38	0,77	0,47								
<i>Arno (*)</i>																																		
a S. Giovanni al- la Vena . .	8186	330	5	164,3	1345,0	145,7	1192,7	8,9	72,9	1623,00	198,3	280,5	224,8	158,9	2290,00	2279,7	8,2	2290,00	279,7	0,21	0,13	0,11	0,29	0,17	0,11									
<i>Merse (Ombrone)</i>																																		
a Ornate . .	483	365	20	245,3	118,5	242,1	116,9	41,3	21,4	405,00	838,5	70,0	1364,4	659,00	56,9	925,00	1915,1	3,3	934,00	1933,7	0,59	0,49	0,15	1,36	0,69	0,16								
<i>Ombrone</i>																																		
a Sasso d'Om- brone . .	2657	346	7	201,3	534,9	190,3	505,6	22,7	60,3	1750,00	638,0	302,5	1031,2	2740,00	236,5	3110,00	1170,5	11,2	3110,00	1170,5	0,57	0,47	0,19	1,00	0,53	0,19								

(\*) E da tener presente che a monte della stazione di S. Giovanni alla Vena sono esondate, dall'Arno e dai suoi affluenti, imponenti masse d'acqua che, nella fase di crescita, hanno determinato una riduzione del gradiente di salita ed attenuata l'altezza al colmo, mentre nella fase di decrescita, man mano che le zone allagate restituivano le acque invasate, i livelli dell'Arno si sono mantenuti alquanto elevati per più giorni, determinando una lunga fase di esaurimento.

Per tali motivi i rapporti caratteristici dell'Arno a S. Giovanni alla Vena risultano così bassi.

*Relazione idrologica*

Per il fiume Farma al Ponte di Torniella, fu registrato un contributo unitario di 6,63 m<sup>3</sup>/s Km<sup>2</sup>, contro il massimo precedente di 2,24 m<sup>3</sup>/s Km<sup>2</sup>.

Come riportato sugli annali idrologici, “l’alluvione del 4 novembre ha assunto, nel Compartimento, l’ampiezza ed il rilievo di una catastrofe che non trova, negli eventi calamitosi naturali, almeno a memoria d’uomo, alcun possibile riscontro” (cfr. pag. 114).

**6.2. Analisi della serie storica delle portate al colmo con il metodo di Gumbel**

La stima dei parametri della distribuzione di Gumbel viene effettuata come per le precipitazioni massime con il metodo dei momenti.

I parametri  $\alpha$  e  $u$  della distribuzione sono determinati dalle seguenti relazioni, in funzione della media  $\mu$  e della varianza  $\sigma^2$  della serie storica dei dati:

$$u = \frac{\sigma^2}{6\alpha} \quad \mu = \alpha \left( \frac{1}{6} + \frac{1}{\alpha^2} \right)$$

E’ possibile rappresentare i dati su carta probabilistica di Gumbel, che ha coordinate lineari sia per la variabile in esame, cioè la portata, rappresentata in ascissa, che per la variabile ridotta  $y$ , riportata in ordinata:

$$y = \alpha (h-u) = -\ln(-\ln(P(h))) \quad (6)$$

Per il tempo di ritorno  $T_r$ , definito come la durata media, in anni, del periodo in cui la variabile idrologica  $X_T$  viene superata una sola volta, il legame con la probabilità di non superamento è espresso dalla:

$$P(X_T) = P(x \leq X_T) = 1 - 1/T_r \quad (7)$$

Ordinati quindi gli  $N$  eventi disponibili (pari agli anni di osservazione) in ordine decrescente e numerati da 1 a  $N$ , l’evento caratterizzato dalla  $i$ -esima posizione ha probabilità di non superamento espressa da:

$$P(i) = \frac{N+1-i}{N+1} = 1 - \frac{1}{T_r} \quad (8)$$

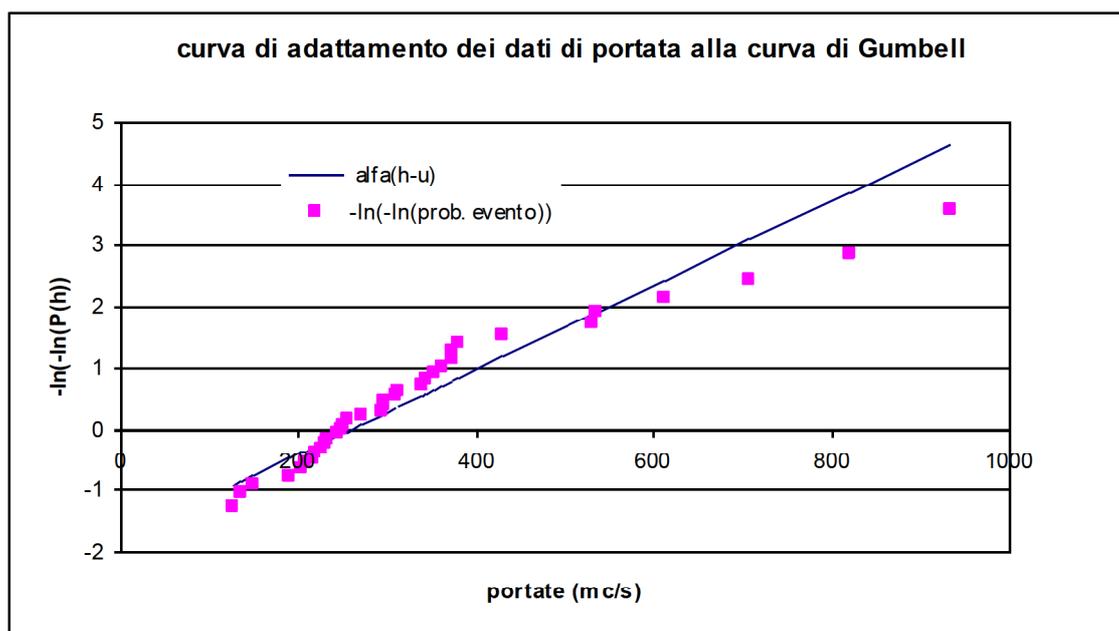
$$T_r = \frac{N+1}{i}$$

Numero progressivo	serie storica portate max (mc/s)	variabile ridotta alfa(h-u)	P(i)	$-\ln(-\ln(P(i)))$
1	934	4,652	0,972	3,569
2	821	3,873	0,944	2,862
3	709	3,100	0,917	2,442
4	613	2,437	0,889	2,139
5	537	1,913	0,861	1,900
6	531	1,872	0,833	1,702
7	430	1,175	0,806	1,531
8	380	0,830	0,778	1,381
9	374	0,788	0,750	1,246
10	373	0,781	0,722	1,123
11	362	0,705	0,694	1,009
12	354	0,650	0,667	0,903

*Relazione idrologica*

Numero progressivo	serie storica portate max (mc/s)	variabile ridotta alfa(h-u)	P(i)	-ln(-ln(P(i)))
13	343	0,574	0,639	0,803
14	340	0,554	0,611	0,708
15	312	0,360	0,583	0,618
16	311	0,354	0,556	0,531
17	296	0,250	0,528	0,448
18	296	0,250	0,500	0,367
19	293	0,229	0,472	0,287
20	271	0,078	0,444	0,210
21	255	-0,033	0,417	0,133
22	252	-0,054	0,389	0,057
23	248	-0,081	0,361	-0,018
24	244	-0,109	0,333	-0,094
25	232	-0,192	0,306	-0,170
26	231	-0,198	0,278	-0,248
27	227	-0,226	0,250	-0,327
28	220	-0,274	0,222	-0,408
29	218	-0,288	0,194	-0,493
30	208	-0,357	0,167	-0,583
31	204	-0,385	0,139	-0,680
32	191	-0,474	0,111	-0,787
33	149	-0,764	0,083	-0,910
34	135	-0,861	0,056	-1,061
35	126	-0,923	0,028	-1,276

Tab. 3. – Adattamento dei dati alla distribuzione di Gumbel



*Relazione idrologica*

I risultati dell'elaborazione con il metodo dei momenti hanno portato a stimare i seguenti parametri per la serie storica disponibile:

media	343,429
Varianza $\sigma^2$	34.574,605
Std $\sigma$	185,942
u	259,754
alfa	0,00690

Utilizzando quindi l'espressione di Gumbel, nota la probabilità corrispondente al tempo di ritorno prefissato di 200 anni, si determina la portata massima:

$$P(h) = 1 - \frac{1}{T_r} \quad (9)$$
$$h = u - \frac{\ln(-\ln(P(h)))}{\alpha}$$

La portata massima e il contributo unitario contempo di ritorno duecentennale sono pari a:

$$Q_{200} = 1.027 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$U_{200} = 2,13 \text{ m}^3/\text{s Km}^2$$

### 6.3. Applicazione del modello di Nash e determinazione dell'idrogramma di piena

Avendo a disposizione una registrazione di piena, per l'evento del novembre 1966, in cui è stato elaborato da S.I.M.I. l'idrogramma di piena registrato e il corrispondente ietogramma delle piogge ragguagliate all'intero bacino, ricavate dai pluviometri interni, è possibile stimare i parametri dell'idrogramma unitario (I.U.), incluso nelle procedure standard dell'U.S. Geological Survey.

Formalmente, l'I.U. può essere interpretato come l'idrogramma della piena provocata da una precipitazione di durata infinitesima e di volume unitario. La forma dell'I.U. è legata alla morfologia del bacino e della sua rete idrografica e può essere descritta attraverso diversi tipi di modelli.

Per la scelta del modello che si presta a descrivere matematicamente il bacino idrografico, si fa riferimento a quello di NASH (1957), che ipotizza una cascata di  $n$  serbatoi tutti uguali, con costante di invaso  $K$ .

Il sistema idrologico può essere descritto da un'equazione di continuità si fatta:

$$\frac{dV(t)}{dt} = I(t) - Q(t)$$

dove:

$V(t)$  = volume

$I(t)$  = input

$Q(t)$  = output

Le ipotesi di risposta lineare del bacino e l'uniformità e la costanza dell'intensità della precipitazione su tutto il bacino permettono di ricavare una relazione tra input e output (run-off), tramite l'integrale di convoluzione tra la funzione di trasferimento del sistema (I.U.) e gli afflussi ( $p(t)$ ):

$$Q(t) = \int_0^t U(t) \cdot p(t - \tau) d\tau$$

dove:

$U(t)$  = IU (idrogramma istantaneo unitario di piena)

$p(t)$  = afflusso efficace (o precipitazione netta)

$Q(t)$  = portata in uscita (run-off)

Il modello di Nash porta a una funzione di trasferimento  $U(t)$ , avente le dimensioni dell'inverso di un tempo del tipo di distribuzione gamma a due parametri, funzione solo delle caratteristiche fisiche del sistema.

In particolare  $n$  il parametro di forma è uguale al numero di serbatoi e il parametro di scala  $K$  alla loro costante di tempo.

Un serbatoio lineare è caratterizzato dalla relazione lineare tra volume e output:

$$S(t) = kQ(t)$$

e la risposta impulsiva di ciascun serbatoio è :

$$U(t) = \frac{1}{K} e^{-\frac{t}{K}}$$

Essendo tutti i serbatoi in serie l'uno con l'altro e avendo tutti la stessa costante di tempo, per la cascata di n serbatoi si ottiene la funzione di trasferimento data da:

$$U(t) = \frac{1}{K \Gamma(n)} \left(\frac{t}{K}\right)^{n-1} e^{-\frac{t}{K}} \quad n > 1, \quad K \geq 0$$

Dopo aver digitalizzato l'idrogramma e lo ietogramma disponibili per l'evento di piena del novembre 1966, si è proceduto alla stima dei parametri n e K per il fiume Merse fino ad Ornate. Tale tipo di approccio è stato utilizzato anche dallo Studio di Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana<sup>4</sup> (vedi paragrafi successivi).

I parametri del modello da stimare risultano:

- n - parametro di forma dell'idrogramma di Nash (numero di serbatoi lineari del modello di Nash)
- K - parametro di scala dell'idrogramma di Nash (ore)
- C<sub>d</sub> - coefficiente di deflusso dell'evento, rapporto tra pioggia efficace e pioggia totale

La stima è stata effettuata utilizzando un foglio di calcolo elettronico, mediante un metodo numerico iterativo in grado di minimizzare la somma dei quadrati delle differenze tra l'idrogramma misurato e quello riprodotto.

La taratura sull'evento del 1966 ha consentito di stimare i seguenti parametri:

n = 2,033	parametro di forma
K = 4,804 ore	parametro di scala
C <sub>d</sub> = 0,561	coefficiente di deflusso medio dell'evento

I parametri n e K possono tuttavia risentire del tipo di evento, mentre il loro prodotto (tempo di ritardo, distanza tra i baricentri dello ietogramma e dell'idrogramma) è più stabile per un bacino e risulta pari a:

nK = 9,764 ore	tempo di ritardo
----------------	------------------

Una volta calcolati i parametri n e K del modello di Nash, introducendo una distribuzione delle piogge (ietogramma) è possibile calcolare la risposta in termini di deflusso del bacino idrografico modellato (ideogramma di piena).

La portata di massima piena con tempo di ritorno duecentennale è stata quindi determinata secondo il modello di Nash, tarato per il fiume Merse a Ornate, utilizzando le seguenti ipotesi:

- per le precipitazioni, una pioggia di intensità costante, pari al rapporto tra l'altezza di pioggia calcolata attraverso la ricostruita curva di possibilità pluviometrica del

<sup>4</sup> Cfr in particolare la Relazione conclusiva di sintesi.

### *Relazione idrologica*

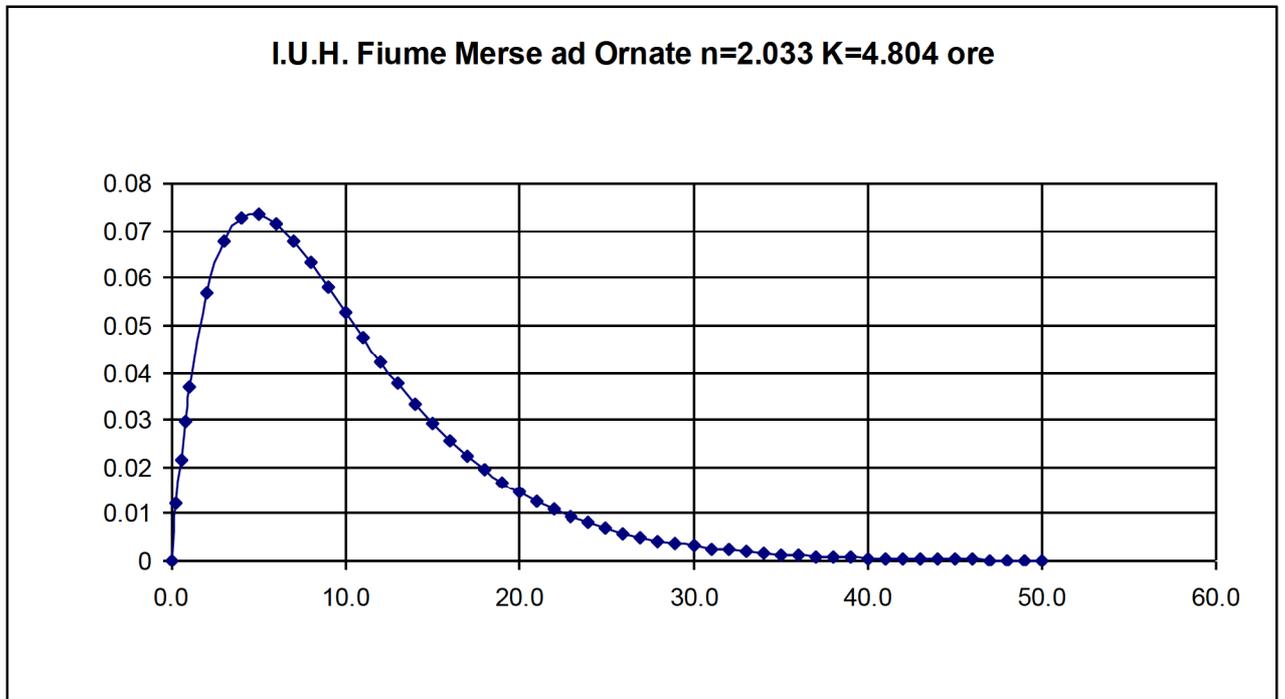
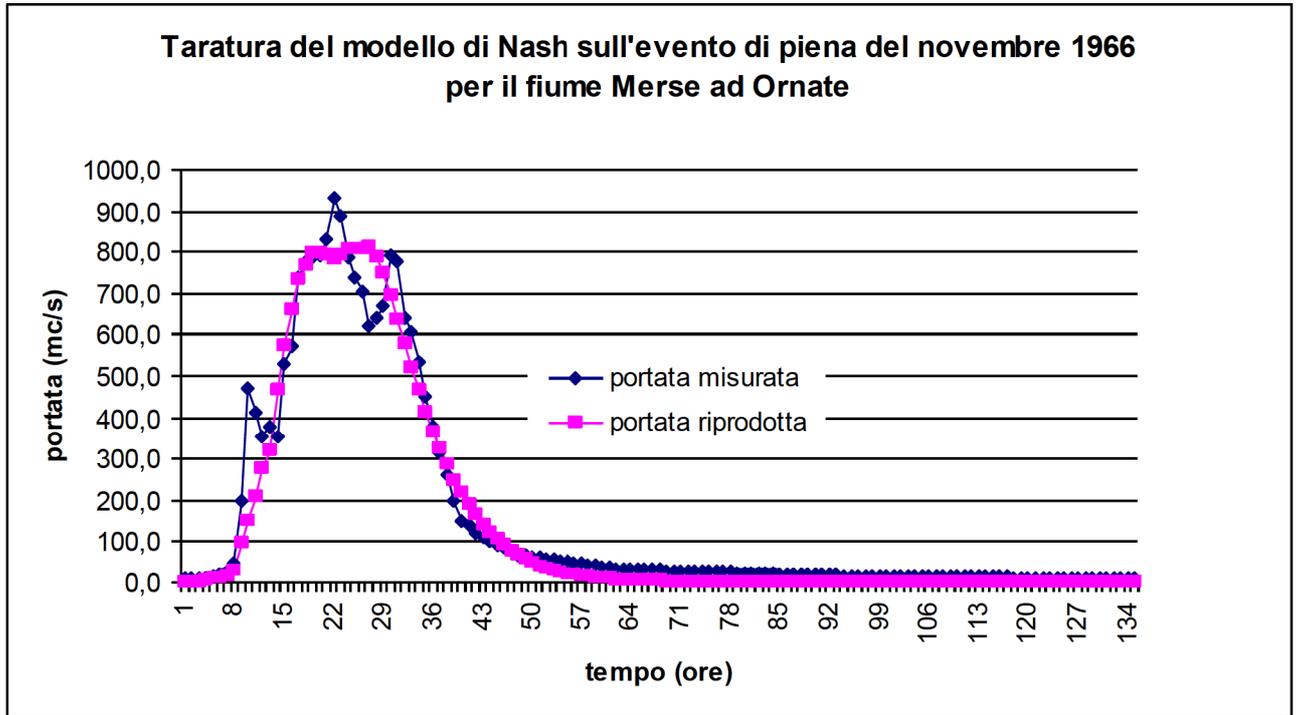
pluviometro di Chiusdino e la durata considerata. Per la durata critica della pioggia (di intensità costante), la portata massima è stata individuata per un tempo di pioggia pari a 11 ore, tramite una successione di iterazioni con durate variabili, in modo da individuarne la rispettiva portata al colmo (vedi idrogrammi di piena riportati nelle figure successive). A favore di sicurezza non è stato effettuato alcun ragguaglio sulla precipitazione così calcolata;

- un coefficiente di deflusso medio di bacino pari a 0,80. Tale valore appare particolarmente cautelativo in ragione dei valori registrati nell'evento nel 1966 (dove è stato individuato un coefficiente di deflusso medio pari a 0,561).

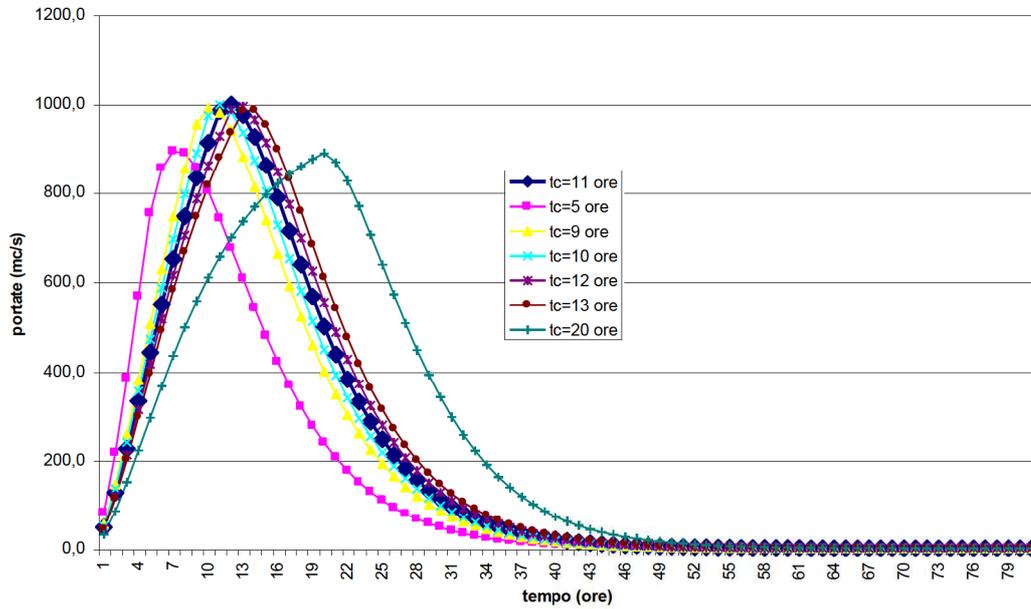
La portata massima calcolata con tempo di ritorno duecentennale, corrisponde ad una durata critica di pioggia di 11 ore (di intensità costante), risulta pari a:

$$Q_{200} = 999 \text{ m}^3/\text{s}$$

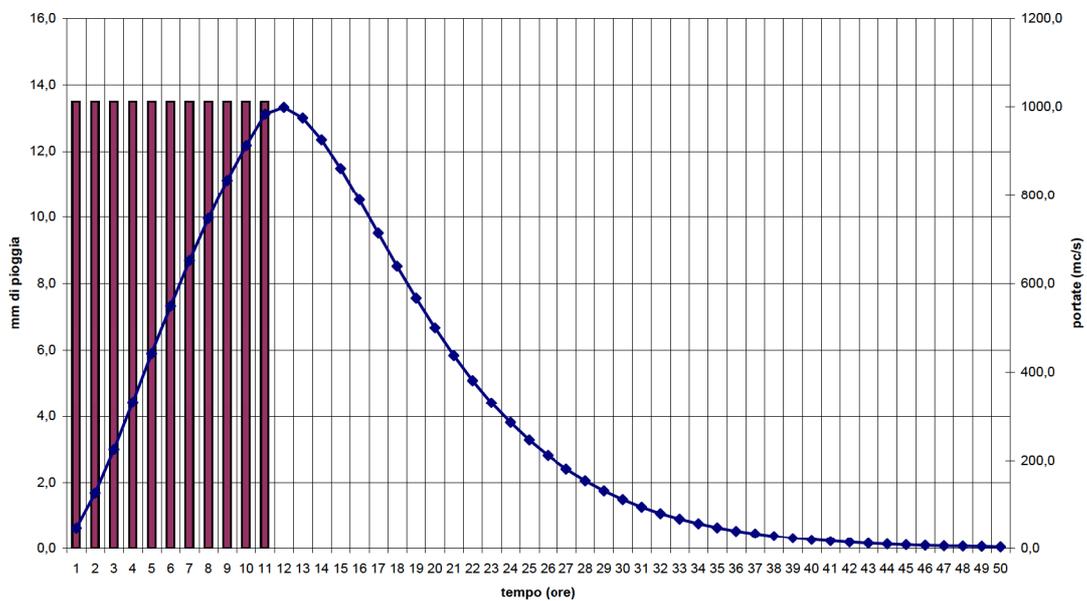
$$U_{200} = 2,07 \text{ m}^3/\text{s Km}^2 \quad \text{contributo unitario}$$



Idrogrammi di piena generati con il metodo di Nash; pluviogramma di intensità di pioggia costante pari a quella corrispondente al tempo di corrivazione



Ietogramma di progetto ed idrogramma di piena ricostruito con il metodo di Nash -  
Fiume Merse ad Ornate -  $Tr=200$  anni



#### 6.4. Lo studio di “Regionalizzazione delle portate di Piena in Toscana”

Come confronto dell'analisi idrologica svolta, sono stati utilizzati i dati disponibili presso l'Ufficio Regionale per la Tutela del Territorio di Siena, desunti dallo studio di “Regionalizzazione delle Portate di Piena in Toscana”, realizzato dal PIN - Centro Studi Ingegneria di Prato, per conto della Regione Toscana.

Tale studio costituisce “..parte integrante del quadro conoscitivo regionale ...” del Piano di Indirizzo Territoriale (PIT), approvato ai sensi della L.R. n.5/1995 con deliberazione della Giunta Regionale n.12 del 25/12/2000, costituendo (vedi art.83 – Disposizioni Finali della Del. G.R. 868 del 07/08/2000 – Misure di Salvaguardia del PIT (art.11 LR n.5/95) – Indirizzi per l'applicazione – Circolare):

*punto c)*

*archivio informatico e programmi di gestione per la "regionalizzazione delle portate di piena" dei corsi d'acqua di cui all'elenco precedente, consistente nella individuazione della portata di piena, in ogni punto di sezione significativo, basata essenzialmente su dati idrologici, associata a diversi tempi di ritorno e nella definizione di una metodologia che consente, alla scala della pianificazione territoriale provinciale, tramite il rilievo di una serie di sezioni geometriche, di individuare l'altezza d'acqua in funzione della portata di piena, nonché i volumi d'acqua definibili tracciando l'idrogramma sintetico associato;*

Dallo studio sono state ricavate le portate al colmo ( $Q_{max}$ ) di dato tempo di ritorno, presso la sezione sul fiume Merse ad Ornate, e l'idrogramma di piena ricostruito secondo il modello di Nash, del quale si riportano i principali dati.

Lo studio di regionalizzazione delle portate di piena ha riguardato i seguenti parametri<sup>5</sup>:

- input pluviometrico:
  - $a$ ,  $n$ ,  $m$  (curva di possibilità pluviometrica del tipo  $h = a t^n Tr^m$ ) e  $Kr$  (coefficiente di ragguaglio areale delle precipitazioni);
- GIUH (Idrogramma Istantaneo Unitario Geomorfologico):
  - $n$  (parametro di forma);
  - $K$  (parametro di scala);
- Trasformazione afflussi – deflussi:
  - $K_s$  (caratteristiche di infiltrazione del suolo a saturazione);
  - $l_a$  (perdita iniziale per intercettazione).

Per il fiume Merse ad Ornate lo studio riporta i seguenti dati:

<sup>5</sup> Per una trattazione completa si rimanda alla Relazione Conclusiva di Sintesi e al volume “Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana – Manuale per l'analisi dei fenomeni alluvionali” pubblicato a cura della G.R. Toscana.

### Simbologia tabelle riassuntive

Cover	identificativo dell'asta in esame
Ns	codice L.R.230/94
Nome	toponimo
Areabac	area del bacino utilizzata per la portata
ia	perdita iniziale (mm)
Ks	velocità di infiltrazione a saturazione (mm/ora)
Nn	parametro di forma dell'idrogramma di Nash
Kc	parametro di scala dell'idrogramma di Nash
La	parametro "a" della curva di possibilità pluviometrica $h(mm)=a*Tr^m*t^n$ , per durate < 1 ora
Ln	parametro "n" della curva di possibilità pluviometrica $h(mm)=a*Tr^m*t^n$ , per durate < 1 ora
Lm	parametro "m" della curva di possibilità pluviometrica $h(mm)=a*Tr^m*t^n$ , per durate < 1 ora
Ha	parametro "a" della curva di possibilità pluviometrica $h(mm)=a*Tr^m*t^n$ , per durate > 1 ora
Hn	parametro "n" della curva di possibilità pluviometrica $h(mm)=a*Tr^m*t^n$ , per durate > 1 ora
Hm	parametro "m" della curva di possibilità pluviometrica $h(mm)=a*Tr^m*t^n$ , per durate > 1 ora
Tr	tempo di ritorno (anni)
Q	portata di piena (mc/s)
q	contributo unitario di piena (mc/s/Kmq)
D	durata critica di pioggia (ore)
Pt	precipitazione totale (mm)
Dt	precipitazione netta (mm)
I	intensità di precipitazione (mm/ora)
C	coefficiente della formula razionale
Kr	coefficiente di ragguglio delle piogge
Tp	tempo di picco dell'idrogramma unitario (ore)
Tl	tempo di ritardo caratteristico del bacino (ore)
Fa	parametro della formula di ragguglio areale
Fb	parametro della formula di ragguglio areale
Fc	parametro della formula di ragguglio areale

### Simbologia idrogrammi

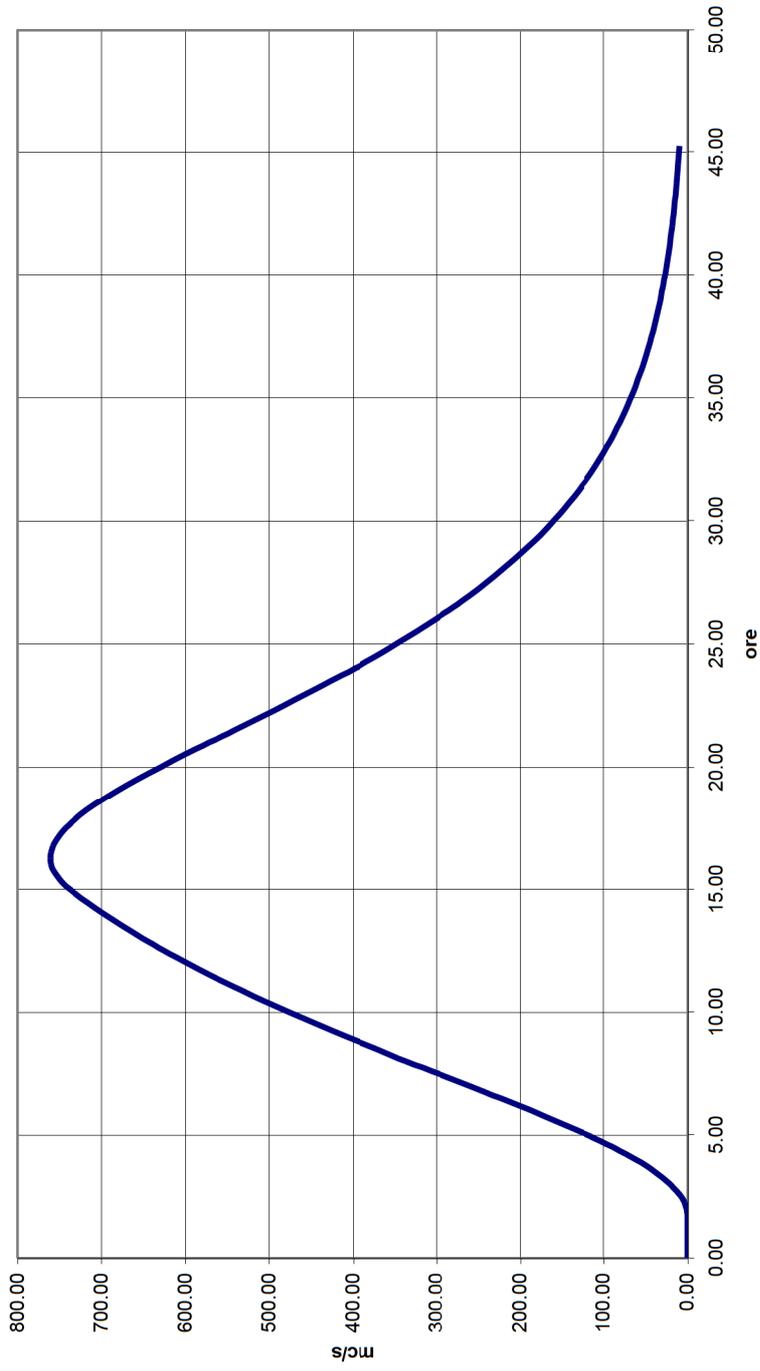
NF	nome corso d'acqua
NS	codice L.R.230/94
DS	tempo di ritorno
DA	commenti
DT	intervallo di discretizzazione dell'idrogramma (secondi)
NI	numero intervalli di discretizzazione dell'idrogramma

Relazione idrologica

Cover	Ns	Nome	Areaabac	ia(mm)	Ks(mm/ora)	Nn()	Kc()	La	Ln	Lm	Ha	Hn	Hm
17252	733	MERSE	474.32	17.49	0.909	2.344	4.227	23.454	0.379	0.164	21.653	0.36	0.208
	Tr [annij]	Q [mc/s]	q [mc/(kmq*s)]	D [h]	Pt [mm]	Dt [mm]	I [mm/h]	C □	Kr □	Tp [h]	Tl [h]	FA □	FB □
>	20	480.57	1.013	15.355	107.938	76.49	7.029	0.519	0.788	5.681	9.908	0.036	0.25
>	50	581.84	1.227	15.29	125.239	93.85	8.191	0.539	0.788	5.681	9.908	0.036	0.25
>	100	668.84	1.41	15.257	140.199	108.841	9.189	0.552	0.788	5.681	9.908	0.036	0.25
>	200	766.09	1.615	15.232	156.98	125.644	10.306	0.564	0.787	5.681	9.908	0.036	0.25

*Relazione idrologica*

**Idrogramma di piena del Fiume Merse ad Ornate (T<sub>r</sub>=200 anni - Dati Regionalizzazione)**



### *Relazione idrologica*

Si rileva che la taratura effettuata del modello di Nash della Merse ad Ornate, secondo l'idrogramma e lo ietogramma delle piogge registrati durante la piena del 1960, concorda con quella contenuta nello studio di regionalizzazione.

Risulta infatti un tempo di ritardo (parametro indipendente dall'evento di piena) pari a 9,764 ore stimato con la taratura effettuata, rispetto a quello stimato dalla Regionalizzazione pari a 9,908 ore.

Nella stima della portata massima di piena, con tempo di ritorno duecentennale, il coefficiente di deflusso della formula razionale risulta pari a 0,564 (nell'evento del 1960 la taratura effettuata con il modello di Nash aveva individuato un coefficiente di deflusso pari a 0,561), mentre la portata massima individuata risulta di:

$$Q_{200} = 766 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$U_{200} = 1,615 \text{ m}^3/\text{s Km}^2 \quad \text{contributo unitario}$$

Dall'analisi del campo di applicabilità, contenuta nella relazione finale allegata allo studio di regionalizzazione, risulta che:

- una variazione del 30% sulla stima della portata può essere dello stesso ordine di grandezza dell'errore sperimentale sulle misure di portata;
- solo al variare di tutti i parametri principali del modello, la Q100 ha presentato una variabilità massima inferiore al 30% e quindi dell'ordine di grandezza delle misure sperimentali, mentre tale variabilità è risultata assai inferiore al variare dei singoli parametri. Una variazione del 30% può essere indicativa per un incremento cautelativo apportato ai valori calcolati.

Alla luce di queste considerazioni, accrescendo cautelativamente la portata stimata dalla regionalizzazione di un 30%, si ottiene un valore limite pari a:

$$Q_{200} = 766 \times 1,3 = 996 \text{ m}^3/\text{s}$$

da utilizzarsi come dato di confronto superiore per le stime effettuate.

## **6.5. Conclusioni dello studio idrologico del fiume Merse**

Dalle analisi effettuate risultano i seguenti dati di portate al colmo con tempo di ritorno duecentennale:

- analisi della serie storica delle portate registrate dall'idrometro di Ornate:

$$Q_{200} = 1027 \text{ mc/s}$$

- ricostruzione con il modello di Nash (taratura su evento del novembre del 1966<sup>6</sup>):

$$Q_{200} = 999 \text{ mc/s}$$

- regionalizzazione delle portate di piena in Toscana, con maggiorazione del 30% (dati Ufficio Regionale della Tutela del Territorio di Siena):

$$Q_{200} = 996 \text{ mc/s}$$

Essendo i dati stimati ben allineati, si assume per le verifiche idrauliche una portata di piena con tempo di ritorno duecentennale pari a 1050 mc/s.

---

<sup>6</sup> Si ricorda che la portata massima registrata durante l'alluvione eccezionale del 1966 risulta pari a 934 mc/s