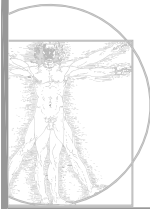


All.2



STUDIO FORTI S.r.l. Società di ingegneria

Piazza Paganora, 6 - 25080 Mazzano (Bs) - Cod.Fisc. e P.Iva 03416530982 - Numero REA: BS - 532252
Tel. 030 / 25 90 021 Fax 030 / 25 95 700 - e.mail studioforti@studioforti.net

N. DISEGNO	COMUNI REZZATO - BOTTICINO	PROVINCIA BRESCIA
COMMESSA C20/01_2016	COMMITTENTI COMUNI DI REZZATO - BOTTICINO	
DATA 06.06.2016	PROGETTO MITIGAZIONE FENOMENI DI ALLAGAMENTO INDOTTI DAL TORRENTE RINO - MUSIA E DALLE ASTE IDRICHE AD ESSO AFFERENTI	
AGGIORNAMENTO		
SCALA	DESCRIZIONE STUDIO DI FATTIBILITA'	
DISEGNATORE Diego	<hr/> RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	

IL PROGETTISTA

.....

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

A.) INQUADRAMENTO

L'asta del Torrente Musia si sviluppa quasi esclusivamente sul Comune di Rezzato nella porzione pianeggiante del territorio comunale dove i corsi d'acqua del Torrente Rino e Fontanone confluiscono.

Il bacino del Torrente Musia è quindi costituito da due sottobacini principali: quello del Torrente Rino e quello del Torrente Fontanone.

I Torrenti Rino e Fontanone, come detto in precedenza, confluiscono in un'unica asta alla quota di circa 145 m s.l.m. appena a valle della frazione Molinetto formando appunto il Torrente Musia.

Tali bacini si sviluppano maggiormente in Comune di Botticino ed in minima parte sul Comune di Rezzato.

L'intero bacino si sviluppa in senso N - S dalla quota di circa 1000 m s.l.m. fino alla quota di circa 145 m s.l.m.

Nella cartografia tecnica regionale CTR la zona è individuabile nel Foglio D5-D6, alla scala 1:50.000, ed in maggior dettaglio nelle Sezioni D5c5-D5d5 e D6c1-D6d1 alla scala 1:10.000.

Nell'immagine sottostante vengono riportati i bacini del Torrente Rino e Fontanone e le aste che li compongono.

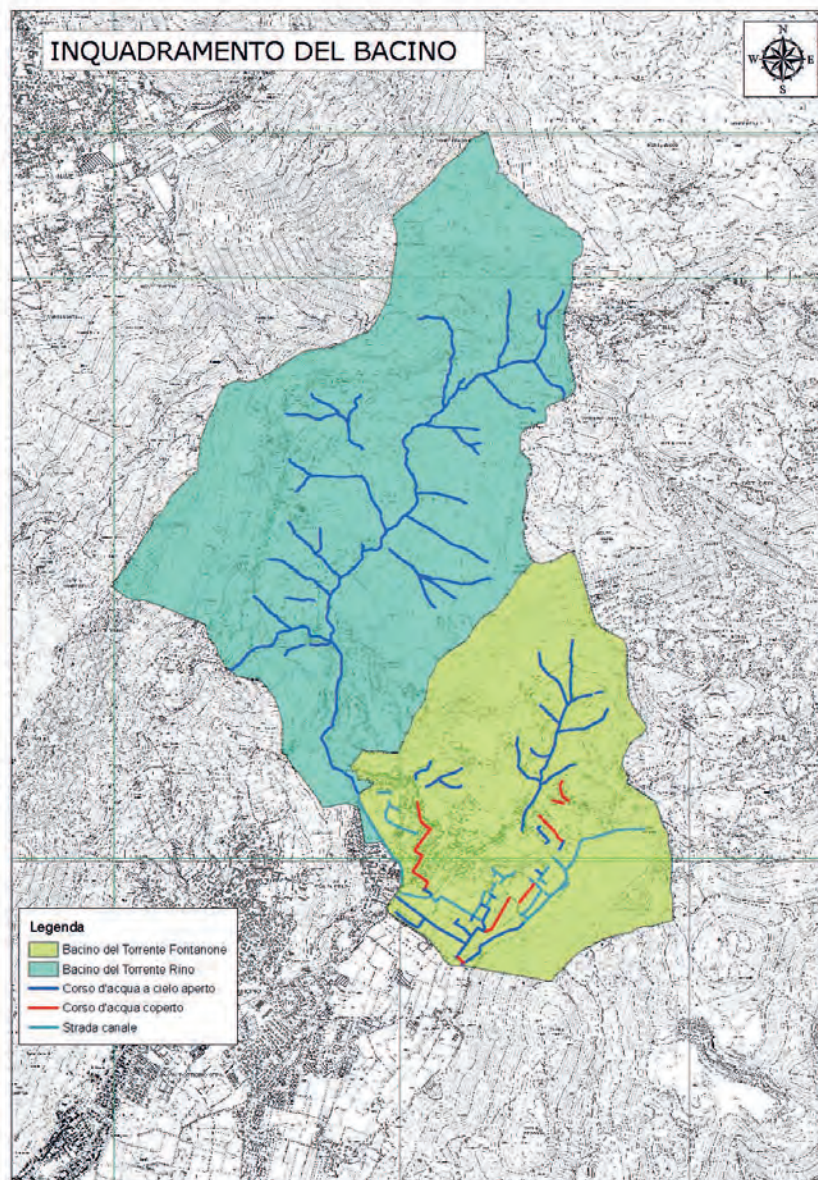


Figura 1: Inquadramento

B. IDROLOGIA E D IDRAULICA

B.1 PREMESSA

Nello studio idraulico di un corso d'acqua la variabile fondamentale è la portata massima di piena. Tale variabile deve essere associata ad un tempo di ritorno Tr che indica il numero di anni in cui tale indice viene raggiunto e/o superato in media almeno una volta. Il Tr deve essere scelto sulla base delle normative vigenti ed in funzione al rischio ed al tipo di sistemazione del bacino. Altro parametro fondamentale è la stima della magnitudo, cioè la stima del volume di materiale mobilizzabile durante un evento di piena. La successiva analisi idrologica e idraulica si concentra sulla definizione delle caratteristiche del bacino del Torrente Rino-Musia.

B.2 ANALISI MORFOMETRICA BACINO

L'analisi morfometrica e le caratteristiche intrinseche del bacino è stata effettuata sulla base del modello digitale del terreno (DTM) della Regione Lombardia mediante l'applicativo geoHMS della U.S. Army Corps of Engineers. Per bacino idrografico si intende l'entità geografica costituita dalla proiezione su un piano orizzontale della superficie scolante sottesa alla sezione di chiusura. La sezione di chiusura del bacino di studio viene considerata alla quota di 145 m slm. Assume particolare importanza nelle analisi l'individuazione delle curva ipsografica che è la rappresentazione altimetrica di un bacino. Essa si ottiene riportando in un diagramma i punti le cui ordinate ed ascisse rappresentano la quota e la superficie delle porzioni di bacino che si trovano a quote superiori di questa, perciò, a quota massima, abbiamo superficie nulla e viceversa, a quota minima, coinciderà l'intera superficie del bacino.

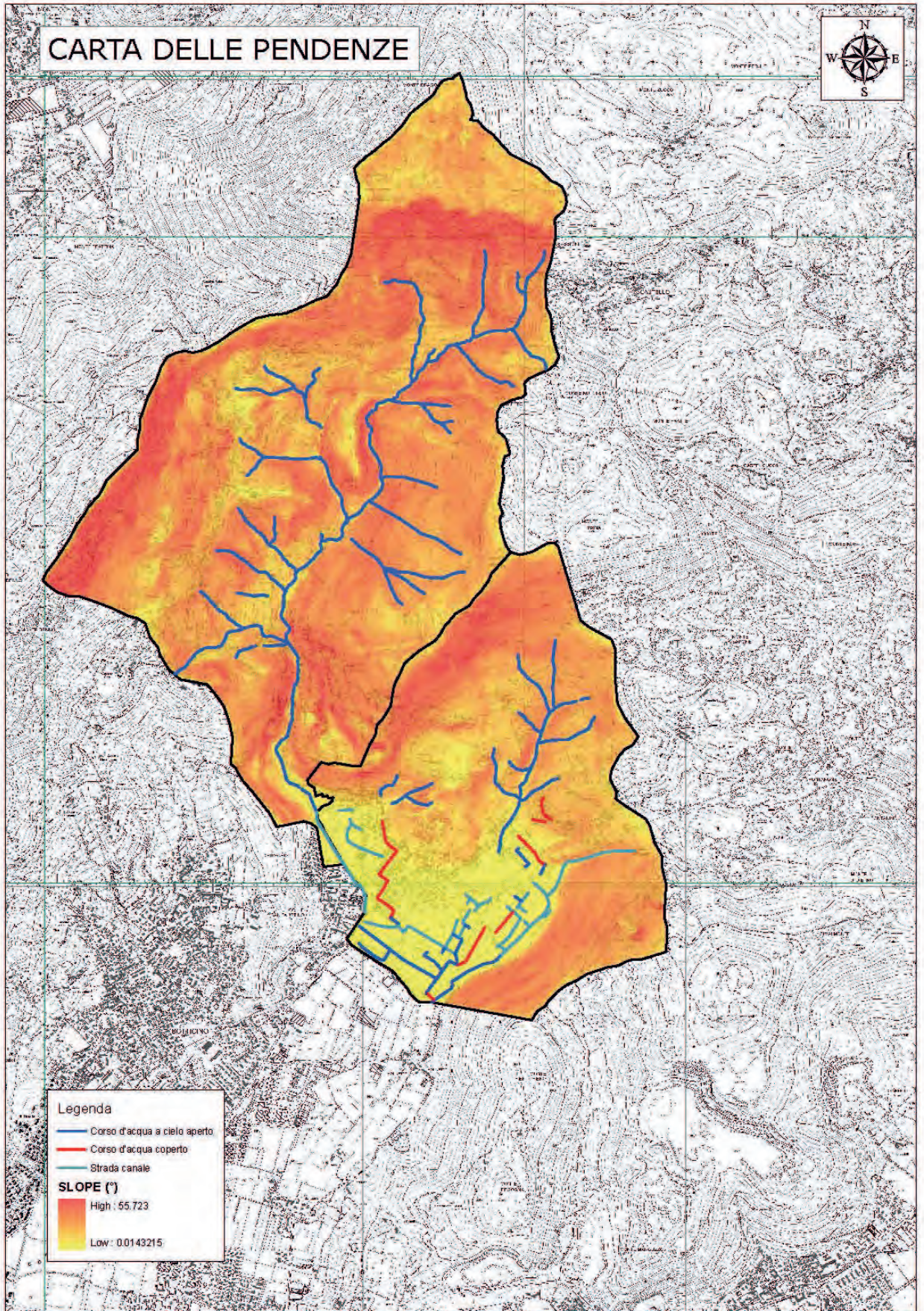
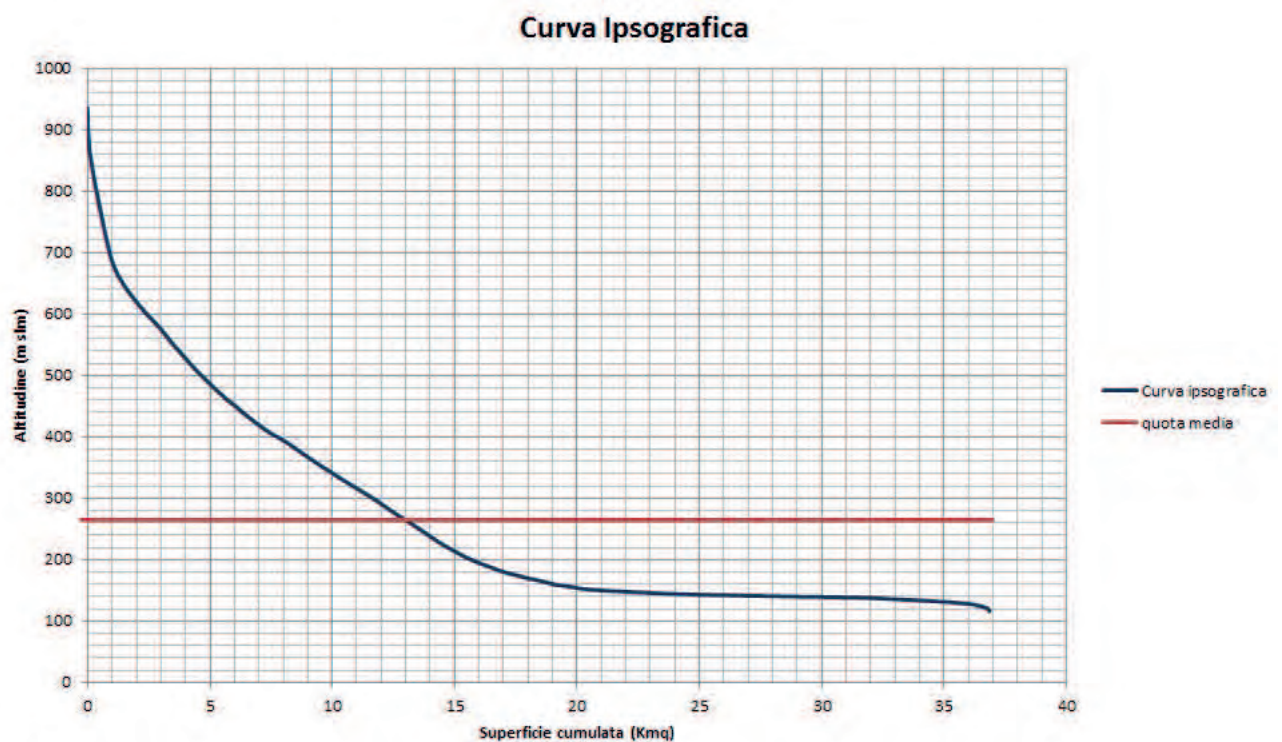


Figura 6: Mappa delle pendenze del bacino

I dati per il tracciamento della curva vengono derivati dal DTM della Regione Lombardia per la sola porzione delimitata dallo spartiacque del bacino oggetto di studio. Di seguito rappresenta in forma tabellare e grafica della curva ipsografica.

Intervallo di quota	Superficie parziale		Superficie progressiva	
	kmq	%	kmq	%
1100-800	0,36	0,99	0,36	0,99
800-600	2,05	5,56	2,41	6,55
600-400	5,34	14,48	7,75	21,03
400-200	7,93	21,51	15,68	42,54
200-100	21,17	57,46	36,85	100,00
TOTALE	36,85	100,00		



In modo del tutto analogo alla definizione della curva ipsografica si possono definire le caratteristiche morfometriche del bacino derivandole dall'analisi del DTM effettuata mediante il software geoHMS. Di seguito si riportano i dati di maggior rilevanza al fine dei calcoli idrologici:

Superficie del Bacino	36,85	kmq
Lunghezza asta principale	5,5	km
Altezza media del bacino	260	m slm
Quota sezione di chiusura	140	m slm

B.3 CALCOLO DELLE PORTATE

Nel presente studio di fattibilità si tengono in considerazione tempi di ritorno di 100 e 200 anni. I metodi adottati per la stima della portata al colmo sono i seguenti:

- Metodo razionale;
- Metodo razionale modificato;
- Metodo SCS-CN;
- Metodo afflussi deflussi accoppiato al software HEC-HMS.

B.3.1 METODO RAZIONALE

Il metodo indiretto di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi, come indicato dalle direttive PAI dell'Autorità di Bacino del Po (Legge 18 maggio 1989 n. 183) è condotto utilizzando la seguente formula di calcolo della portata critica Q_c (assumendo nota la precipitazione temibile di assegnato tempo di ritorno):

$$Q_c = \phi \cdot S \cdot i(d_c, T_r, r) \cdot \varepsilon$$

ϕ indica il coefficiente di deflusso, S l'area del bacino in kmq, i è l'intensità di precipitazione in funzione della durata critica d_c , del tempo di ritorno T_r e del coefficiente di ragguaglio r , infine ε è il coefficiente di laminazione.

Il tempo di corrivazione T_c viene determinato con la formula proposta da Giandotti:

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{h_m - h_0}}$$

S indica la superficie del bacino in kmq, L la lunghezza dell'asta principale, h_m l'altezza media del bacino in m slm e h_0 la quota della sezione di chiusura in m slm.

Le altezze di pioggia vengono calcolate in funzione della linea segnalatrice di possibilità climatica ($h_d = ad^n$) relativa alla cella della griglia di discretizzazione delle piogge intense (cfr. All. 3 della Direttiva n. 2 PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Po). All'interno del progetto per semplicità il bacino è stato suddiviso in due sottobacini (T. Rino – T. Fontanone).

L		Tr = 100 anni		Tr = 50 anni		Tr = 20 anni	
		a	n	a	n	a	n
a	Rino	55.70	0,29	50,429	0,29	43,84	0,296
	Fontanone	55.90	0,283	51,09	0,32	44,10	0,290

portata di massima piena viene quindi definita secondo:

$$Q_c = 0,278 \frac{\phi \cdot h_d \cdot S}{T_c}$$

Di seguito sono riassunti i risultati ottenuti:

METODO RAZIONALE Bacino T. Rino	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	13.5
50	12.2
20	10

METODO RAZIONALE Bacino T. Fontanone	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	9.0
50	8.3
20	7.2

B.3.2 METODO RAZIONALE MODIFICATO

L'analisi viene condotta con riferimento alle indicazioni dello studio di Ranzi, Mariani, Rossini, Armanelli e Bacchi sull'Analisi e sintesi delle piogge intense nel territorio bresciano (1999). L'altezza di pioggia viene qui ipotizzata appartenente ad una popolazione la cui funzione di probabilità è la distribuzione asintotica del massimo valore, nota come distribuzione di Gumbel. Di seguito si riportano le formule che hanno portato alla stima della portata.

Per il calcolo dell'altezza di pioggia si utilizza la seguente relazione:

$$h = a_T T_c^{m_1}$$

Posto:

$$a_T = m_1 \left\{ 1 - \frac{CV \sqrt{6}}{\pi} \left[\varepsilon + \text{Ln} \left(\text{Ln} \left(\frac{T}{T-1} \right) \right) \right] \right\}$$

(T è il tempo di ritorno e ε il numero di Eulero)

$$T_c = \frac{3,3\sqrt{S + 3,2L}}{0,8\sqrt{h_m - h_0}}$$

(S è l'area del bacino L è la lunghezza dell'asta principale)

Per il calcolo della portata al colmo si utilizza quindi la seguente formula:

$$Q_c = \frac{1}{3,6} \phi \cdot r \cdot S \cdot a_T \cdot T_c^{n_1-1}$$

Dove ϕ indica il coefficiente di afflusso locale, ed r è un coefficiente che dipende dall'area del bacino e dal tempo di corrivazione.

Tale metodo restituisce dei valori di portata che risultano sovradimensionati e quindi poco significativi.

METODO RAZIONALE MODIFICATO Bacino T. Rino	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	16.1
50	14.6
20	7.3

METODO RAZIONALE MODIFICATO Bacino T. Fontanone	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	10.8
50	9.9
20	5.5

B.3.3 METODO SCS-CN

Il metodo dell'U.S. Soil Conservation Service prevede l'utilizzo del modello SCS-CN. Con tale modello vengono depurati i dati di pioggia dalle perdite che si hanno a causa dell'infiltrazione e dell'accumulo temporaneo negli strati superficiali del suolo attraverso la seguente formula:

$$h_{netta} = \frac{(h_{lorda} - I_a)^2}{(h_{lorda} + S - I_a)}$$

I_a indica l'assorbimento iniziale ed è posto pari a $I_a = 0,2 S$.

Il valore di S si ricava dalla formula:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

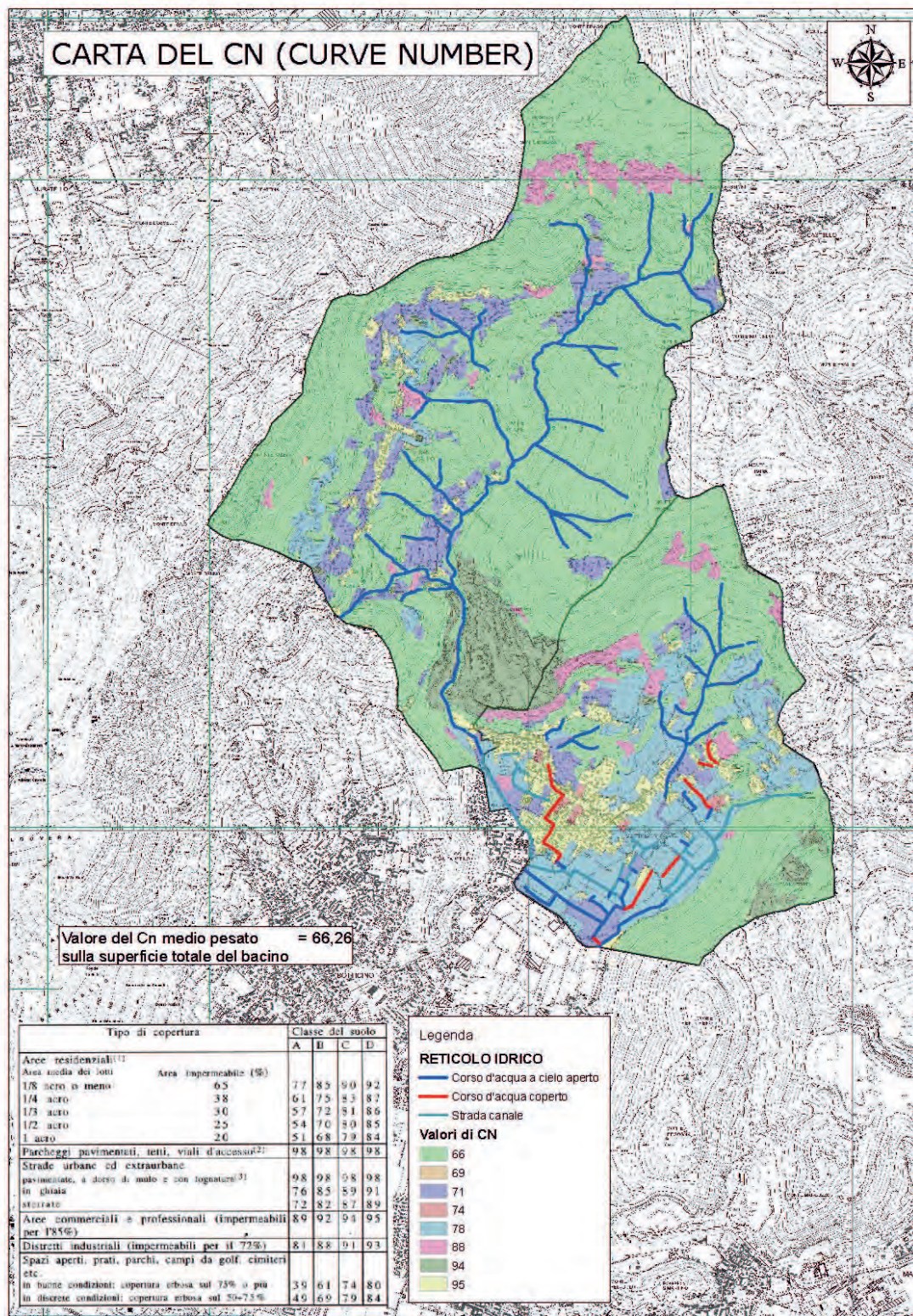


Figura 2: Carta del CN

Il parametro CN rappresenta l'attitudine di un bacino a produrre deflussi e può assumere valori che variano da 0 a 100 in base alle caratteristiche idrologiche dei suoli, alla copertura vegetale del bacino in esame e alla condizione di umidità del terreno agli inizi dell'evento meteorico (denotata con Antecedent Moisture Condition, AMC). Nel caso in esame le "coperture" dei suoli vengono

definite sulla base della cartografia DUSAF della Regione Lombardia. Per ognuna di queste aree, definite dalla "classe di copertura del suolo", è stato attribuito un valore di CN(II) preliminare arrivando così a calcolare un valore medio ponderato per il bacino in oggetto pari a 66,26. Successivamente, al fine di considerare il grado di umidità del bacino, si è proceduto alla definizione del valore di CN(III) corrispondente alla classe AMC di terreni caratterizzati da uno stato di umidità elevato. Tale condizione, in caso di eventi meteorici estremi, risulta essere la situazione più cautelativa per il calcolo della portata di progetto. Per questa classe le altezze di pioggia nei 5 giorni precedenti all'inizio dell'evento sono poste pari a 58mm per il periodo vegetativo, e 28 mm per il periodo di riposo. Ne consegue che **CN(III)** risulta pari a 82,09 calcolato secondo quanto dispone l'SCS.

Per stimare la portata è necessario calcolare il tempo di corrivazione T_c ed il tempo di ritardo T_l . L'US del Soil Conservation Service propone queste formule:

$$T_c = \frac{100L^{0.8} \left[\left(\frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0.7}}{1900s^{0.5}}$$

$$T_l = 0.342 \cdot \left(\frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \right) \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

L indica la lunghezza dell'asta principale e s la pendenza media dei versanti. Con questi due parametri è possibile calcolare il tempo di accumulo T_a pari a

$$T_a = 0.5T_c + T_l$$

Il calcolo finale della portata è effettuato utilizzando la seguente formula:

$$Q_p = 0.208 \cdot \frac{V \cdot A}{T_a}$$

A indica la superficie del bacino e V il volume di deflusso e si calcola come:

$$V = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

P indica la precipitazione critica calcolata per assegnati valori di tempo di ritorno. Di seguito sono riassunti i risultati ottenuti:

METODO SCS-CN Bacino T. Rino	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	13.5
50	10.8
20	7.6

METODO SCS-CN Bacino T. Fontanone	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	9.2
50	8.1
20	5.8

I valori di portata trovati con questo metodo sono molto simili a quelli trovati con il metodo razionale e quindi possono essere quelli significativi da utilizzare nella progettazione.

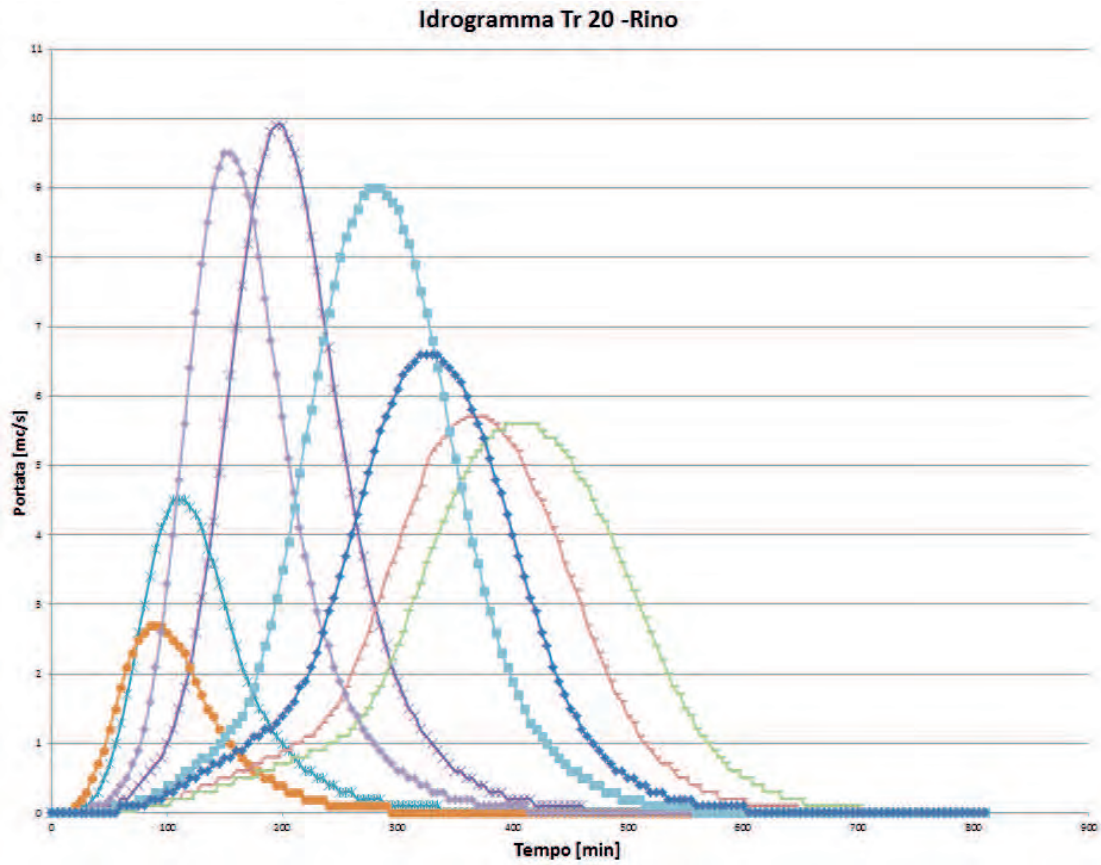
Peraltro si precisa che gli stessi collimano con quelli calcolati nel progetto preliminare Avanzi, Agostini, Marcandelli.

B.3.4 METODO AFFLUSSI-DEFLUSSI

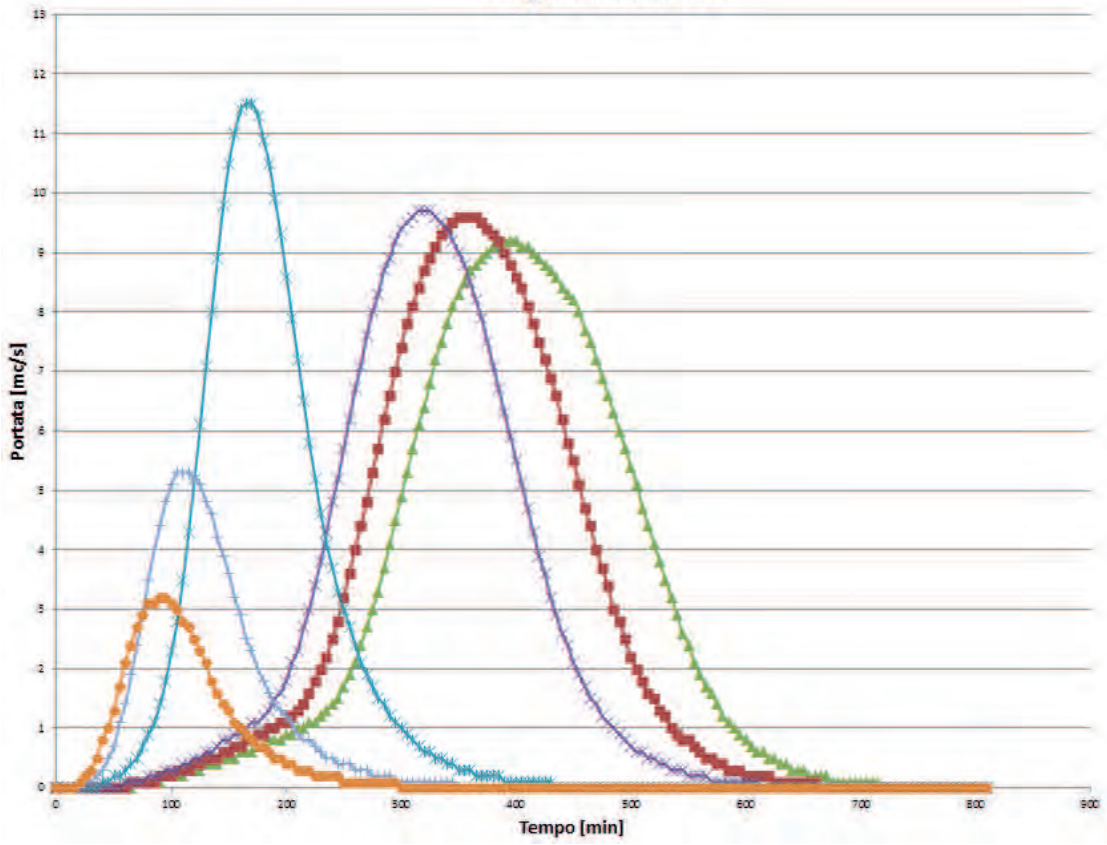
Per avere una panoramica più completa dei valori stimati di portata in funzione alle durate di pioggia è stato impiegato l'apposito software HEC-HMS elaborato dell'U.S. Army Corps of Engineers. Tale software è in grado di simulare processi relativi alla trasformazione afflussi deflussi di bacini idrografici, fornendo al sistema i parametri morfologici del bacino e quelli specifici del tipo di modello scelto per la trasformazione, stimando la portata al colmo di piena alla sezione di chiusura. Per quanto concerne il metodo di calcolo delle perdite superficiali si è utilizzato il metodo SCS-CN, secondo il quale le perdite vengono rappresentate mediante un fattore di assorbimento iniziale (Initial Loss). Naturalmente non si ha precipitazione efficace fino a che non viene raggiunto il valore di Initial Loss. Per stimare i parametri richiesti dal modello sono stati analizzati i dati relativi alla tipologia ed all'utilizzo del suolo, ricavando un valore di CN medio dal quale si è poi definito il valore delle perdite iniziali. Sempre attraverso l'utilizzo di questo software sono stati elaborati, a parità di tempo di ritorno e durata di pioggia, svariati ietogrammi a ciascuno dei quali compete una diversa onda di piena. In particolare sono stati utilizzati ietogrammi triangolari di durate variabili (mezz'ora, un'ora, due ore e quattro ore) e con tempo di ritorno 100

e 200 anni ricostruiti sulla base delle relative LSPP suggerite dalla'Autorità di Bacino del Po per la cella della griglia di discretizzazione delle piogge intense EM65.

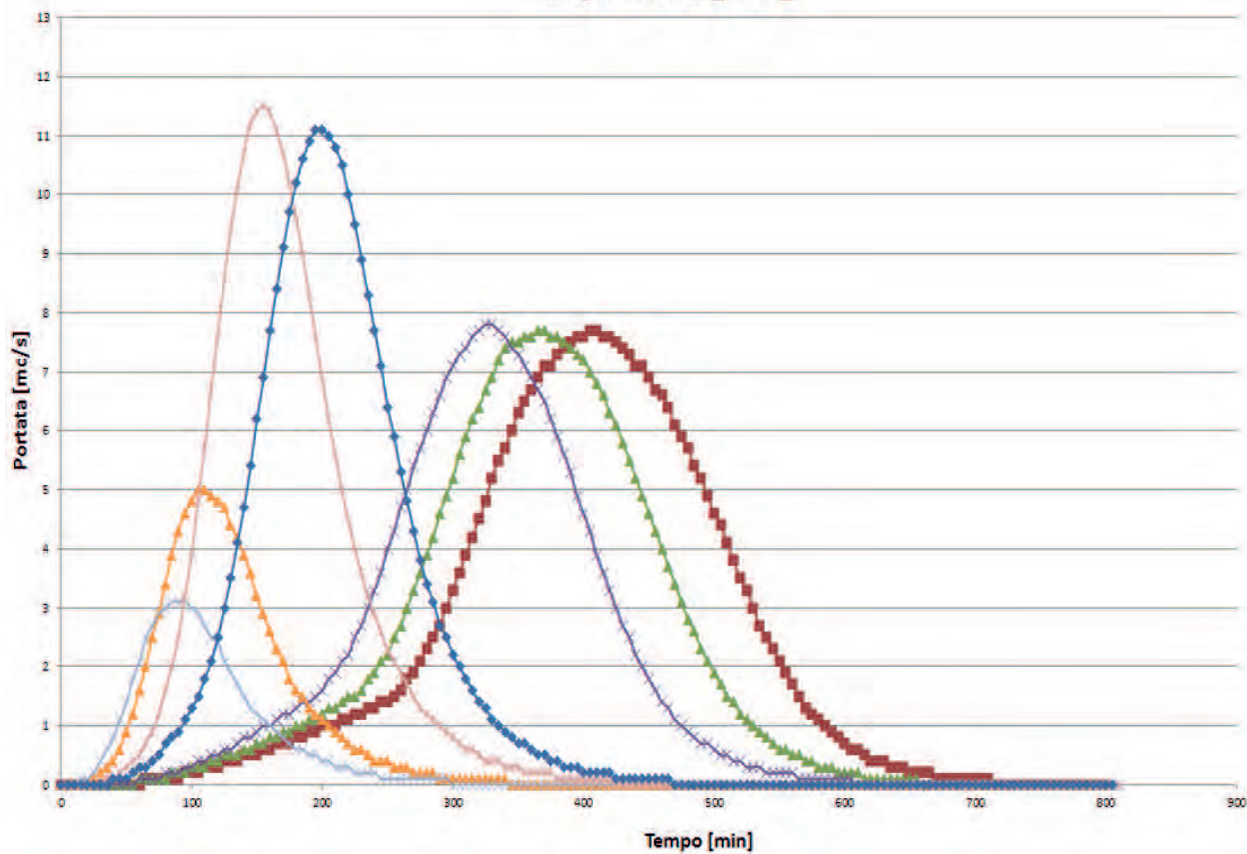
Di seguito si riportano gli idrogrammi di piena calcolati in funzione delle diverse durate di pioggia per ogni tempo di ritorno considerato per il bacino del T. Rino e per il bacino del T. Musia:

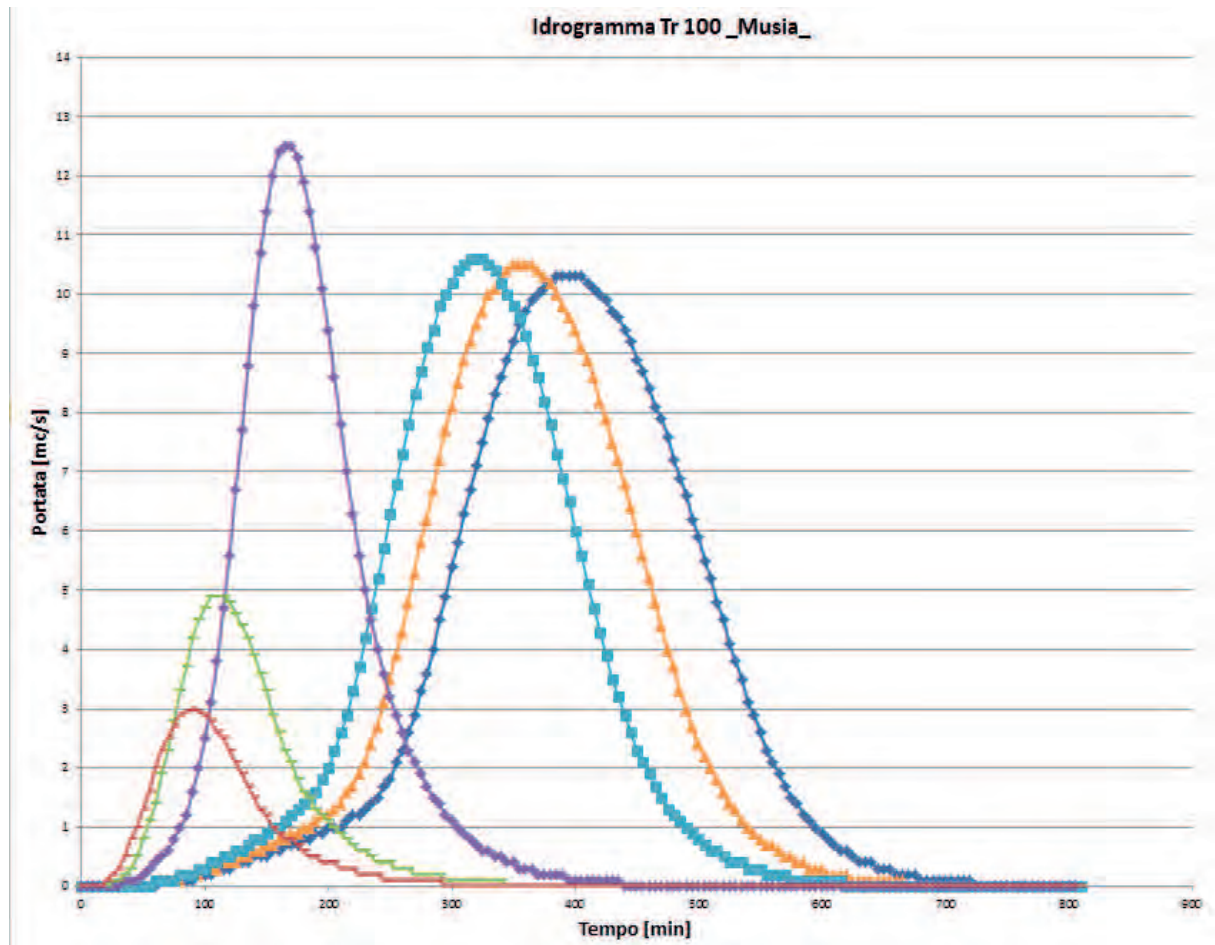


Idrogramma Tr 100- Rino



Idrogramma Tr 20_Musia_





B.4 ANALISI IDROGRAMMI DI PIENA

Analizzando gli idrogrammi di piena si possono estrapolare i volumi necessari per la progettazione delle vasche di laminazione per contenere le portate in arrivo che verranno introdotte e descritte nel prosieguo del progetto.

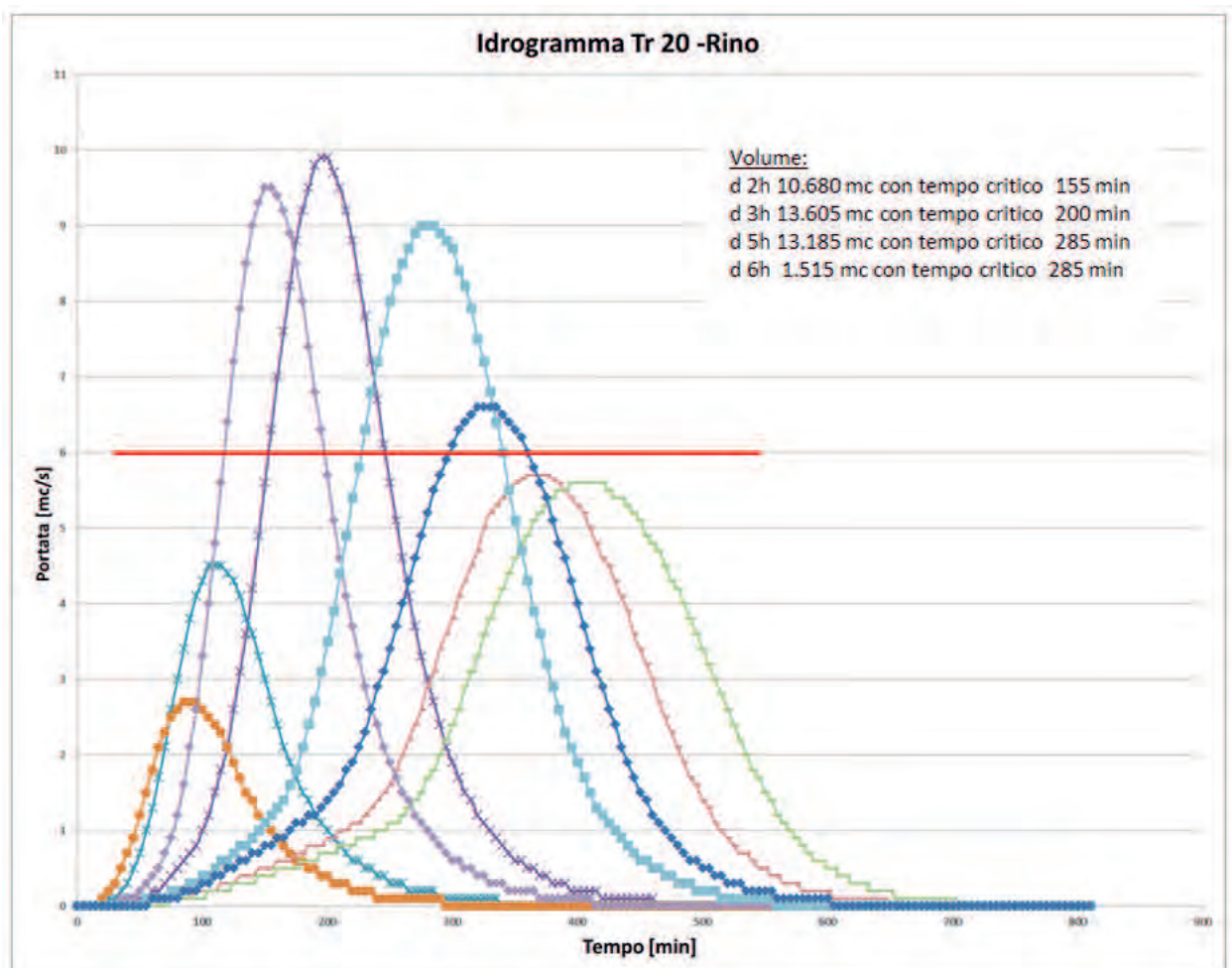
In particolare gli idrogrammi sono stati simulati considerando un tempo di ritorno pari a 20 e a 100 anni e differenti durate di pioggia.

A differenza del calcolo delle portate effettuato con il metodo razionale, con il metodo razionale modificato e con il metodo del CN, in cui si sono ricavate le portate per il bacino del Torrente Rino e le portate del Torrente Fontanone; gli idrogrammi di piena simulano l'andamento delle portate in funzione del tempo di pioggia per il ramo del Torrente Rino e per il Torrente Musia.

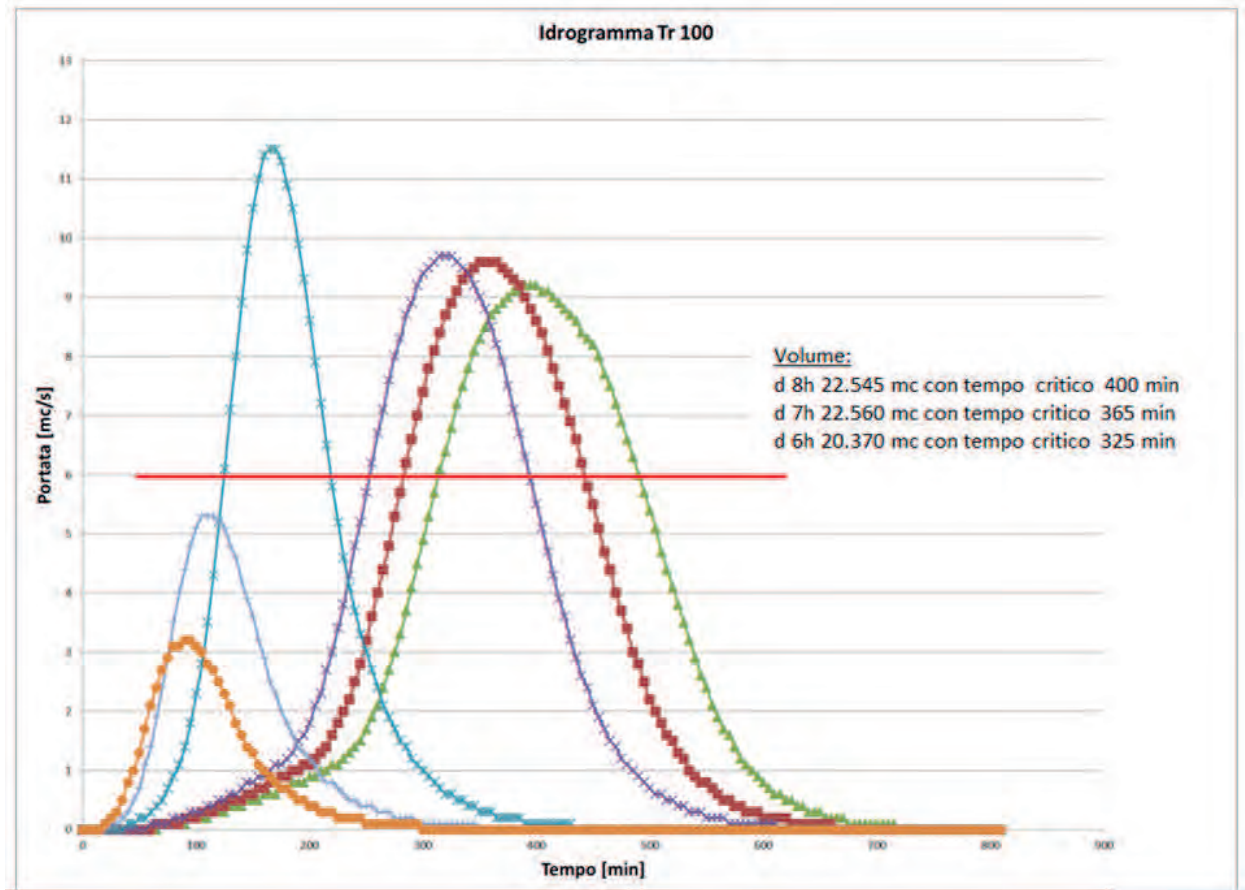
Il limite della portata transitabile per l'asta del Torrente Rino è stato posto pari a 6 mc/s, massima transitabile al ponte levatoio di Molinetto dopo adeguata manutenzione straordinaria, mentre

quello per l'asta del Torrente Musia è stato posto pari a 7 mc/s. portata massima transitabile dalle paratoie a valle della strada provinciale. I risultati ottenuti con relativo volume da invasare e tempo di durata critica sono riportati nei seguenti grafici.

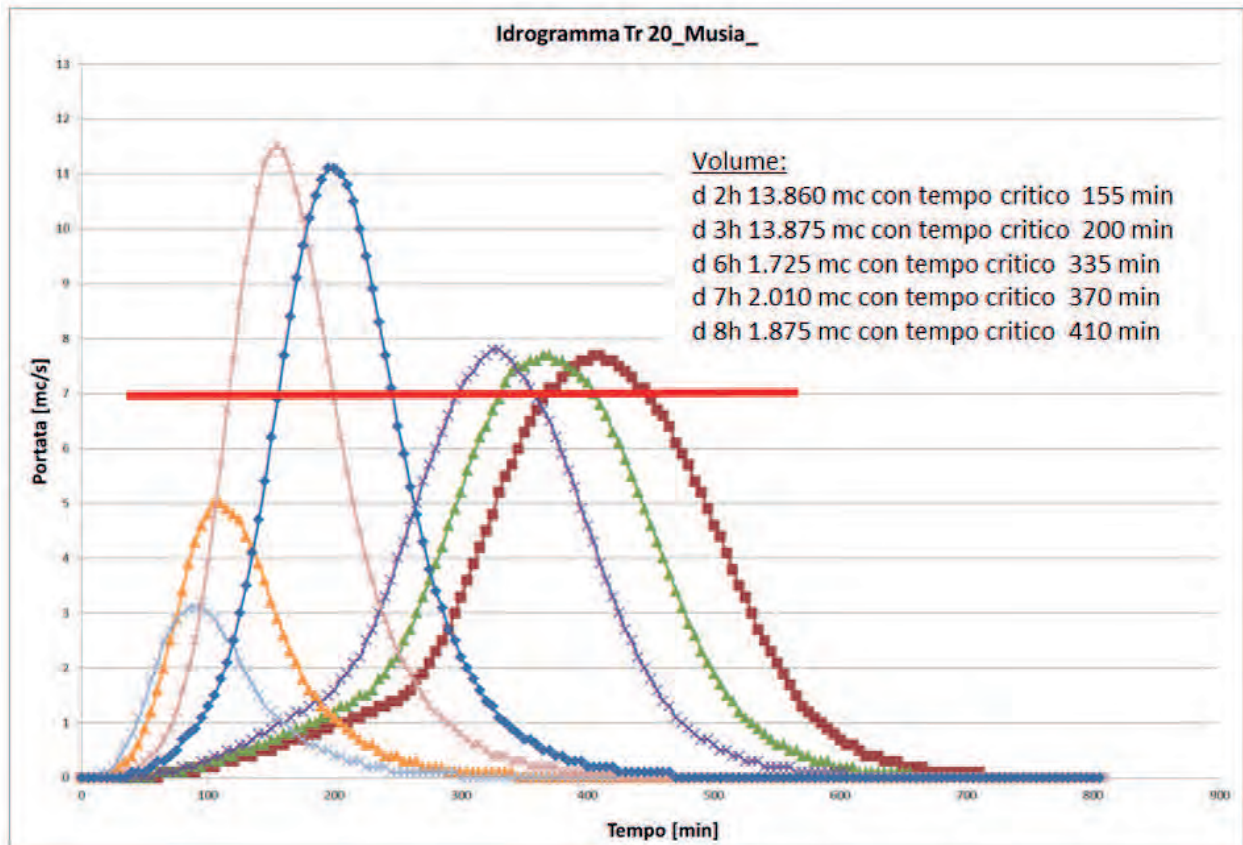
T. Rino con TR 20



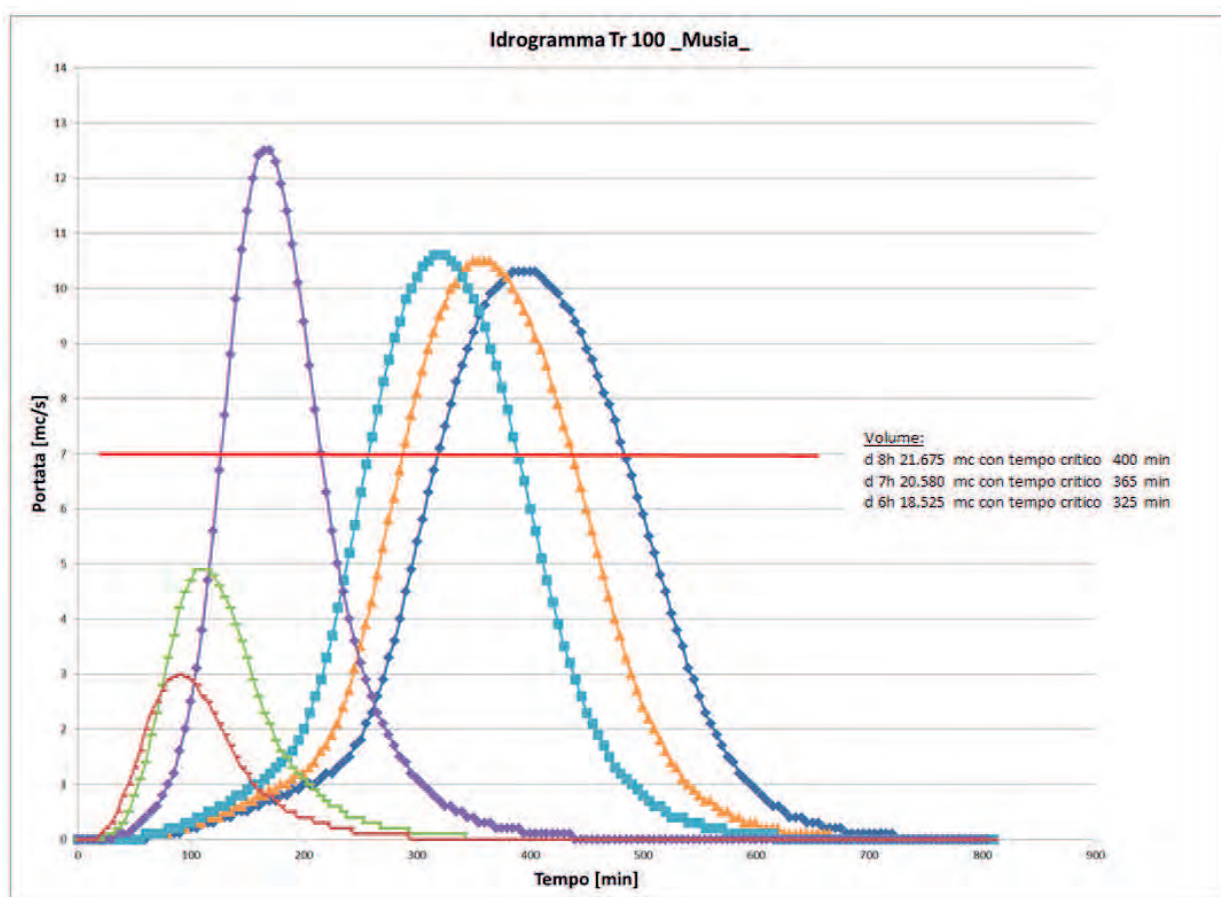
T. Rino con TR 100



T. Musia con TR 20



T. Musia con TR 100



Dai diagrammi sopra descritti prendendo in considerazione un tempo di ritorno di 100 anni (T100) risulta un volume (area sottesa alla curva dell'evento critico) delle vasche rispettivamente:

vasca 1 torrente Rino mc. **22.575**

vasca 2 torrente Musia mc. **21.675**

B.5 Verifica delle sezioni

La verifica delle sezioni viene effettuata mediante l'applicazione della formula di Chezy che determina la velocità e quindi la portata in una sezione tenendo conto della pendenza del raggio idraulico e della tipologia del materiale costituente le sponde ed il fondo del corso d'acqua

$$Q=A \times \sqrt{RJ}$$

Dove: A = area bagnata;

X = coefficiente di attrito dipendente dal raggio idraulico e dalla tipologia strutturale della superficie dell'alveo;

R = raggio idraulico definito quale rapporto tra l'area occupata dalla sezione ed il contorno bagnato ;

J= pendenza del fondo.

Viene sotto indicata la tabella delle portate di deflusso nelle sezioni esaminate e rappresentate nell'allegato specifico.

Tabella verifica sezioni

Portata (formula di Bazin)

	Base mag	Base min	H	Area (A)	perimetro bagnato	Raggio idraulico	Rad R	pendenza j	RadR*j	Coeff scabrezza Y	87*RadR/(Rad R+Y)	V=I*K	Q=A*V
Musia													
Sez. 1	6,6	6,6	1,7	11,2	10	1,122	1,05924501	0,002	0,04737088	0,36	64,93	3,08	34,51
Sez. 2A	2,1	2,1	1,5	3,15	5,1	0,617647	0,78590525	0,002	0,03514675	0,36	59,67	2,10	6,61
Sez. 2B	3,7	3,7	1,4	5,18	6,5	0,796923	0,89270548	0,002	0,039923	0,36	62,00	2,48	12,82
Sez. 3	3,7	3,7	1,5	5,55	6,7	0,828358	0,91014186	0,002	0,04070278	0,36	62,34	2,54	14,08
Sez. 4	3,2	3,2	1,2	3,68	5,2	0,707692	0,8412445	0,002	0,0376216	0,8	44,59	1,68	6,17
Sez. 5	5	2,8	1,6	6,24	6,8	0,917647	0,95793896	0,002	0,04284033	1,75	30,78	1,32	8,23
Sez. 6	5,2	3,2	1,7	7,14	7,3	0,978082	0,98898038	0,002	0,04422855	1,75	31,41	1,39	9,92
Sez. 7	5,8	3	1,8	7,92	6,8	1,164706	1,0792154	0,001	0,03412779	0,36	65,24	2,23	17,63
Sez. 8	3,25	3,25	1,4	4,55	6,25	0,728	0,85322916	0,001	0,02698148	0,36	61,18	1,65	7,51
Sez. 9	3,25	3,25	1,5	4,88	6,25	0,78	0,88317609	0,002	0,03949684	0,36	61,81	2,44	11,90
Sez. 10	4,6	3	1,7	6,46	6,4	1,009375	1,00467656	0,002	0,0449305	1,75	31,73	1,43	9,21
Sez. 11	5,5	5,5	1,5	8,25	8	1,03125	1,0155048	0,002	0,04541476	1,75	31,95	1,45	11,97
Sez. 12	7	5,5	1,6	10	9,1	1,098901	1,04828484	0,002	0,04688072	1,75	32,59	1,53	15,28
Sez. 13	6	2,8	1,8	7,92	6,8	1,164706	1,0792154	0,002	0,04826398	1,75	33,19	1,60	12,69
Sez. 14	5,4	2,7	1,8	7,29	6,3	1,157143	1,07570575	0,002	0,04810702	1,75	33,11	1,59	11,62
Sez. 15	5,4	2,5	1,8	7,11	6,3	1,128571	1,06234243	0,002	0,0475094	1,75	32,86	1,56	11,10
Sez. 16	6,8	2,6	2,5	11,8	7,6	1,546053	1,24340365	0,002	0,0556067	1,75	36,14	2,01	23,61
Sez. 17	5,6	3	1,6	6,88	6,6	1,042424	1,02099179	0,002	0,04566014	1,75	32,06	1,46	10,07
Sez. 18	5,2	2,6	2,1	8,19	7,2	1,1375	1,06653645	0,002	0,04769696	1,75	32,94	1,57	12,87
Sez. 19	6	2,4	2,2	9,24	7,2	1,283333	1,13284303	0,002	0,05066228	1,75	34,19	1,73	16,00
Sez. 20	5	1,9	2,1	7,25	6,5	1,114615	1,05575347	0,002	0,04721473	1,75	32,74	1,55	11,20
Sez. 21	5,4	2,6	1,6	6,4	6,8	0,941176	0,9701425	0,002	0,04338609	1,75	31,03	1,35	8,62
Sez. 22	5	2,6	1,8	6,84	6,6	1,036364	1,01801947	0,002	0,04552721	1,75	32,00	1,46	9,96
Sez 23/24	3	3	0,8	2,4	4,6	0,521739	0,72231512	0,002	0,03230291	0,36	58,06	1,88	4,50
Fontanone													
Sez 27	4	1,8	1,2	3,48	4,4	0,79090909	0,8893307	0,001	0,028123106	1,75	29,31	0,82	2,87
Sez 28	4	2,5	1	3,25	4,9	0,66326531	0,81441102	0,001	0,025753938	1,75	27,63	0,71	2,31
Sez 29	5	2,8	1	3,9	5,2	0,75	0,8660254	0,001	0,027386128	1,75	28,80	0,79	3,08
Sez 30	4,3	2	1,48	4,662	6,1	0,7642623	0,87422096	0,001	0,027645294	1,75	28,98	0,80	3,74
Sez 31	5	2,2	1,03	3,708	6,1	0,60786885	0,77965945	0,001	0,024654997	1,75	26,81	0,66	2,45
Sez 32	5,2	1,8	1,28	4,48	6,1	0,73442623	0,85698671	0,001	0,027100299	1,75	28,60	0,78	3,47

Dall'esame del tabulato risultano praticamente verificate tutte le sezioni del Musia a valle dello sfioratore della seconda vasca, salvo la sezione n 4 che dovrà essere ridimensionata mediante allargamento o sovrizzo degli argini nel tratto interessato in modo che possa contenere la portata massima di 7 mc/sec.

Analogamente anche per la sezione al ponte levatoio di Molinetto si dovrà procedere al suo adeguamento mediante riprofilatura del fondo aumentando il più possibile nei limiti morfologici la pendenza e procedere alla lisciatura del fondo stesso mediante malta cementizia onde aumentare la velocità di scorrimento dell'acqua e conseguentemente la portata massima prevista pari a 6 mc/sec.

Le sezioni del Fontanone nel tratto a valle della vasca di laminazione dovranno essere tutte adeguate al convogliamento della portata massima pari a 9,2 mc/sec.

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

A.) INQUADRAMENTO

L'asta del Torrente Musia si sviluppa quasi esclusivamente sul Comune di Rezzato nella porzione pianeggiante del territorio comunale dove i corsi d'acqua del Torrente Rino e Fontanone confluiscono.

Il bacino del Torrente Musia è quindi costituito da due sottobacini principali: quello del Torrente Rino e quello del Torrente Fontanone.

I Torrenti Rino e Fontanone, come detto in precedenza, confluiscono in un'unica asta alla quota di circa 145 m s.l.m. appena a valle della frazione Molinetto formando appunto il Torrente Musia.

Tali bacini si sviluppano maggiormente in Comune di Botticino ed in minima parte sul Comune di Rezzato.

L'intero bacino si sviluppa in senso N - S dalla quota di circa 1000 m s.l.m. fino alla quota di circa 145 m s.l.m.

Nella cartografia tecnica regionale CTR la zona è individuabile nel Foglio D5-D6, alla scala 1:50.000, ed in maggior dettaglio nelle Sezioni D5c5-D5d5 e D6c1-D6d1 alla scala 1:10.000.

Nell'immagine sottostante vengono riportati i bacini del Torrente Rino e Fontanone e le aste che li compongono.

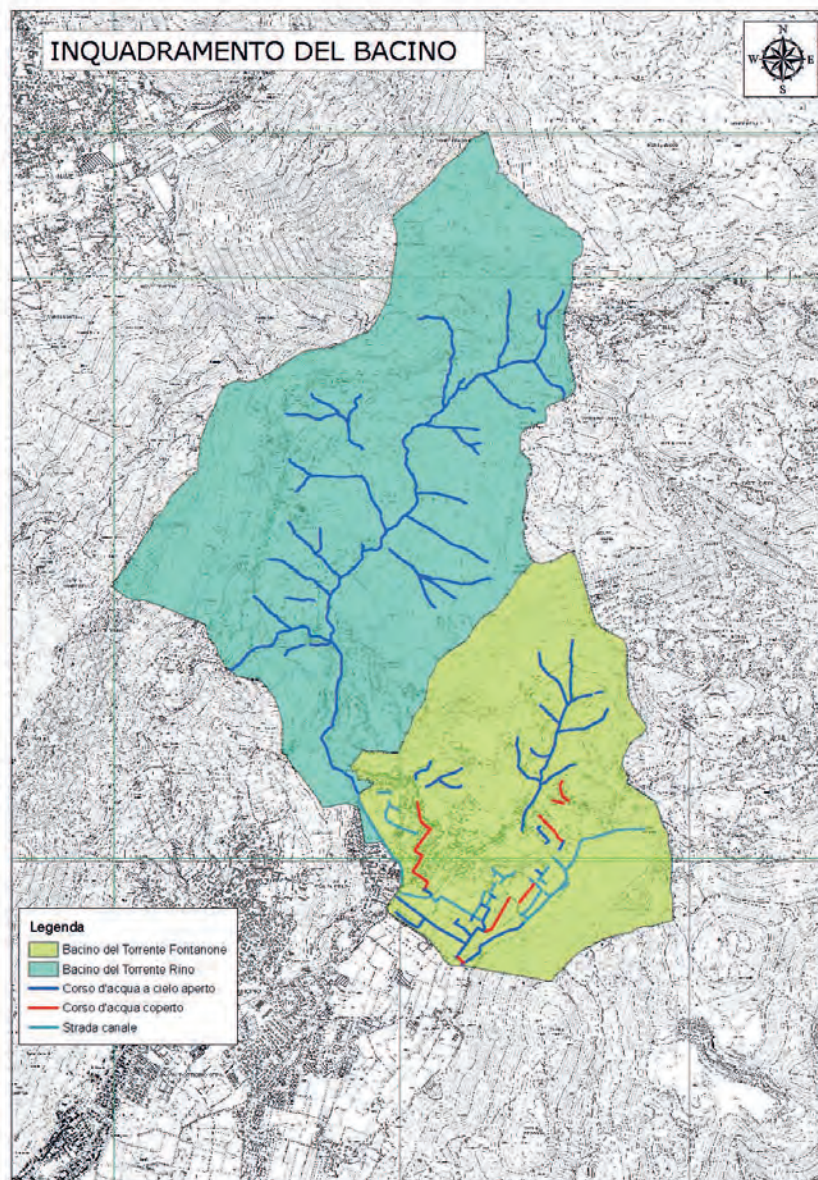


Figura 1: Inquadramento

B. IDROLOGIA E D IDRAULICA

B.1 PREMESSA

Nello studio idraulico di un corso d'acqua la variabile fondamentale è la portata massima di piena. Tale variabile deve essere associata ad un tempo di ritorno Tr che indica il numero di anni in cui tale indice viene raggiunto e/o superato in media almeno una volta. Il Tr deve essere scelto sulla base delle normative vigenti ed in funzione al rischio ed al tipo di sistemazione del bacino. Altro parametro fondamentale è la stima della magnitudo, cioè la stima del volume di materiale mobilizzabile durante un evento di piena. La successiva analisi idrologica e idraulica si concentra sulla definizione delle caratteristiche del bacino del Torrente Rino-Musia.

B.2 ANALISI MORFOMETRICA BACINO

L'analisi morfometrica e le caratteristiche intrinseche del bacino è stata effettuata sulla base del modello digitale del terreno (DTM) della Regione Lombardia mediante l'applicativo geoHMS della U.S. Army Corps of Engineers. Per bacino idrografico si intende l'entità geografica costituita dalla proiezione su un piano orizzontale della superficie scolante sottesa alla sezione di chiusura. La sezione di chiusura del bacino di studio viene considerata alla quota di 145 m slm. Assume particolare importanza nelle analisi l'individuazione delle curva ipsografica che è la rappresentazione altimetrica di un bacino. Essa si ottiene riportando in un diagramma i punti le cui ordinate ed ascisse rappresentano la quota e la superficie delle porzioni di bacino che si trovano a quote superiori di questa, perciò, a quota massima, abbiamo superficie nulla e viceversa, a quota minima, coinciderà l'intera superficie del bacino.

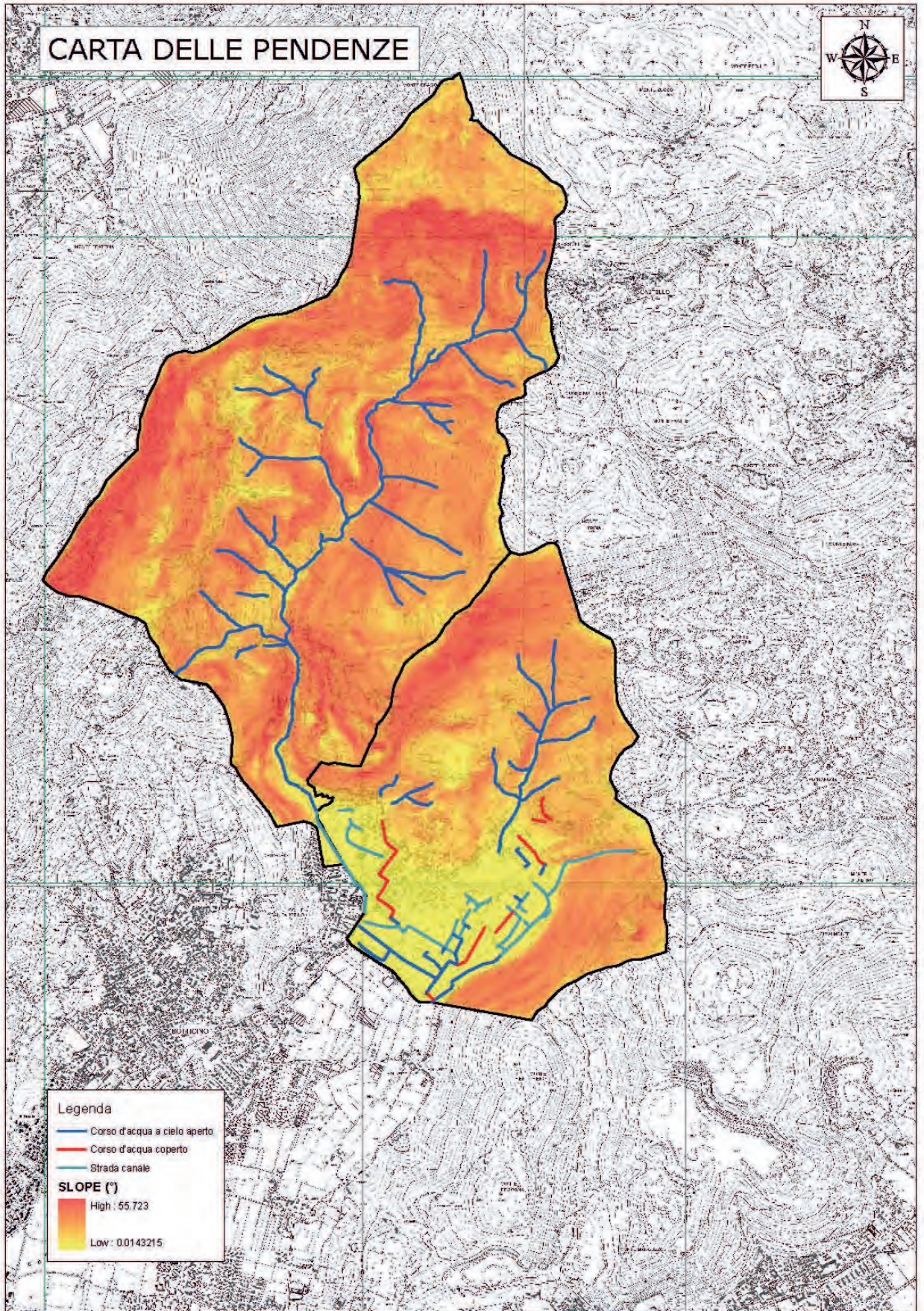
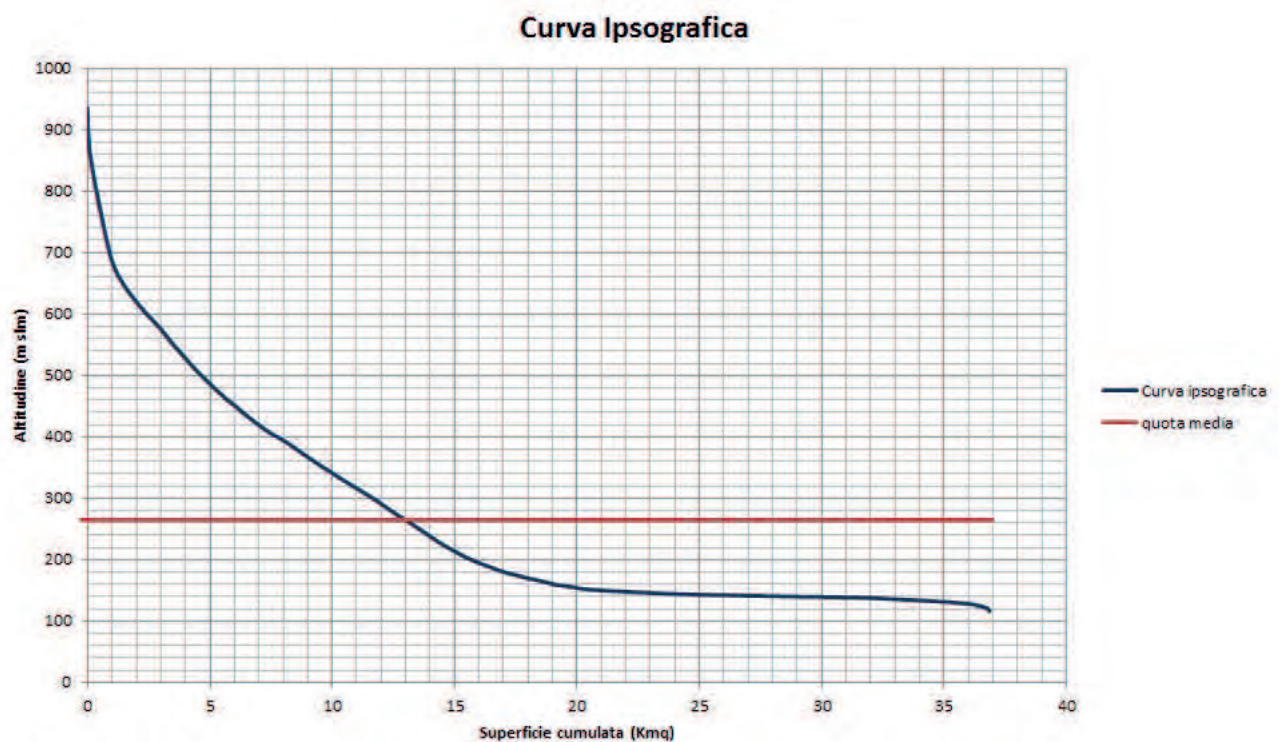


Figura 6: Mappa delle pendenze del bacino

I dati per il tracciamento della curva vengono derivati dal DTM della Regione Lombardia per la sola porzione delimitata dallo spartiacque del bacino oggetto di studio. Di seguito rappresenta in forma tabellare e grafica della curva ipsografica.

Intervallo di quota	Superficie parziale		Superficie progressiva	
	kmq	%	kmq	%
1100-800	0,36	0,99	0,36	0,99
800-600	2,05	5,56	2,41	6,55
600-400	5,34	14,48	7,75	21,03
400-200	7,93	21,51	15,68	42,54
200-100	21,17	57,46	36,85	100,00
TOTALE	36,85	100,00		



In modo del tutto analogo alla definizione della curva ipsografica si possono definire le caratteristiche morfometriche del bacino derivandole dall'analisi del DTM effettuata mediante il software geoHMS. Di seguito si riportano i dati di maggior rilevanza al fine dei calcoli idrologici:

Superficie del Bacino	36,85	kmq
Lunghezza asta principale	5,5	km
Altezza media del bacino	260	m slm
Quota sezione di chiusura	140	m slm

B.3 CALCOLO DELLE PORTATE

Nel presente studio di fattibilità si tengono in considerazione tempi di ritorno di 100 e 200 anni. I metodi adottati per la stima della portata al colmo sono i seguenti:

- Metodo razionale;
- Metodo razionale modificato;
- Metodo SCS-CN;
- Metodo afflussi deflussi accoppiato al software HEC-HMS.

B.3.1 METODO RAZIONALE

Il metodo indiretto di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi, come indicato dalle direttive PAI dell'Autorità di Bacino del Po (Legge 18 maggio 1989 n. 183) è condotto utilizzando la seguente formula di calcolo della portata critica Q_c (assumendo nota la precipitazione temibile di assegnato tempo di ritorno):

$$Q_c = \phi \cdot S \cdot i(d_c, T_r, r) \cdot \varepsilon$$

ϕ indica il coefficiente di deflusso, S l'area del bacino in kmq, i è l'intensità di precipitazione in funzione della durata critica d_c , del tempo di ritorno T_r e del coefficiente di ragguglio r , infine ε è il coefficiente di laminazione.

Il tempo di corrivazione T_c viene determinato con la formula proposta da Giandotti:

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{h_m - h_0}}$$

S indica la superficie del bacino in kmq, L la lunghezza dell'asta principale, h_m l'altezza media del bacino in m slm e h_0 la quota della sezione di chiusura in m slm.

Le altezze di pioggia vengono calcolate in funzione della linea segnalatrice di possibilità climatica ($h_d = ad^n$) relativa alla cella della griglia di discretizzazione delle piogge intense (cfr. All. 3 della Direttiva n. 2 PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Po). All'interno del progetto per semplicità il bacino è stato suddiviso in due sottobacini (T. Rino – T. Fontanone).

L		Tr = 100 anni		Tr = 50 anni		Tr = 20 anni	
		a	n	a	n	a	n
a	Rino	55.70	0,29	50,429	0,29	43,84	0,296
	Fontanone	55.90	0,283	51,09	0,32	44,10	0,290

portata di massima piena viene quindi definita secondo:

$$Q_c = 0,278 \frac{\phi \cdot h_d \cdot S}{T_c}$$

Di seguito sono riassunti i risultati ottenuti:

METODO RAZIONALE Bacino T. Rino	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	13.5
50	12.2
20	10

METODO RAZIONALE Bacino T. Fontanone	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	9.0
50	8.3
20	7.2

B.3.2 METODO RAZIONALE MODIFICATO

L'analisi viene condotta con riferimento alle indicazioni dello studio di Ranzi, Mariani, Rossini, Armanelli e Bacchi sull'Analisi e sintesi delle piogge intense nel territorio bresciano (1999). L'altezza di pioggia viene qui ipotizzata appartenente ad una popolazione la cui funzione di probabilità è la distribuzione asintotica del massimo valore, nota come distribuzione di Gumbel. Di seguito si riportano le formule che hanno portato alla stima della portata.

Per il calcolo dell'altezza di pioggia si utilizza la seguente relazione:

$$h = a_T T_c^{m_1}$$

Posto:

$$a_T = m_1 \left\{ 1 - \frac{CV \sqrt{6}}{\pi} \left[\varepsilon + \text{Ln} \left(\text{Ln} \left(\frac{T}{T-1} \right) \right) \right] \right\}$$

(T è il tempo di ritorno e ε il numero di Eulero)

$$T_c = \frac{3,3\sqrt{S + 3,2L}}{0,8\sqrt{h_m - h_0}}$$

(S è l'area del bacino L è la lunghezza dell'asta principale)

Per il calcolo della portata al colmo si utilizza quindi la seguente formula:

$$Q_c = \frac{1}{3,6} \phi \cdot r \cdot S \cdot a_T \cdot T_c^{n_1-1}$$

Dove ϕ indica il coefficiente di afflusso locale, ed r è un coefficiente che dipende dall'area del bacino e dal tempo di corrivazione.

Tale metodo restituisce dei valori di portata che risultano sovradimensionati e quindi poco significativi.

METODO RAZIONALE MODIFICATO Bacino T. Rino	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	16.1
50	14.6
20	7.3

METODO RAZIONALE MODIFICATO Bacino T. Fontanone	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	10.8
50	9.9
20	5.5

B.3.3 METODO SCS-CN

Il metodo dell'U.S. Soil Conservation Service prevede l'utilizzo del modello SCS-CN. Con tale modello vengono depurati i dati di pioggia dalle perdite che si hanno a causa dell'infiltrazione e dell'accumulo temporaneo negli strati superficiali del suolo attraverso la seguente formula:

$$h_{netta} = \frac{(h_{lorda} - I_a)^2}{(h_{lorda} + S - I_a)}$$

I_a indica l'assorbimento iniziale ed è posto pari a $I_a = 0,2 S$.

Il valore di S si ricava dalla formula:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

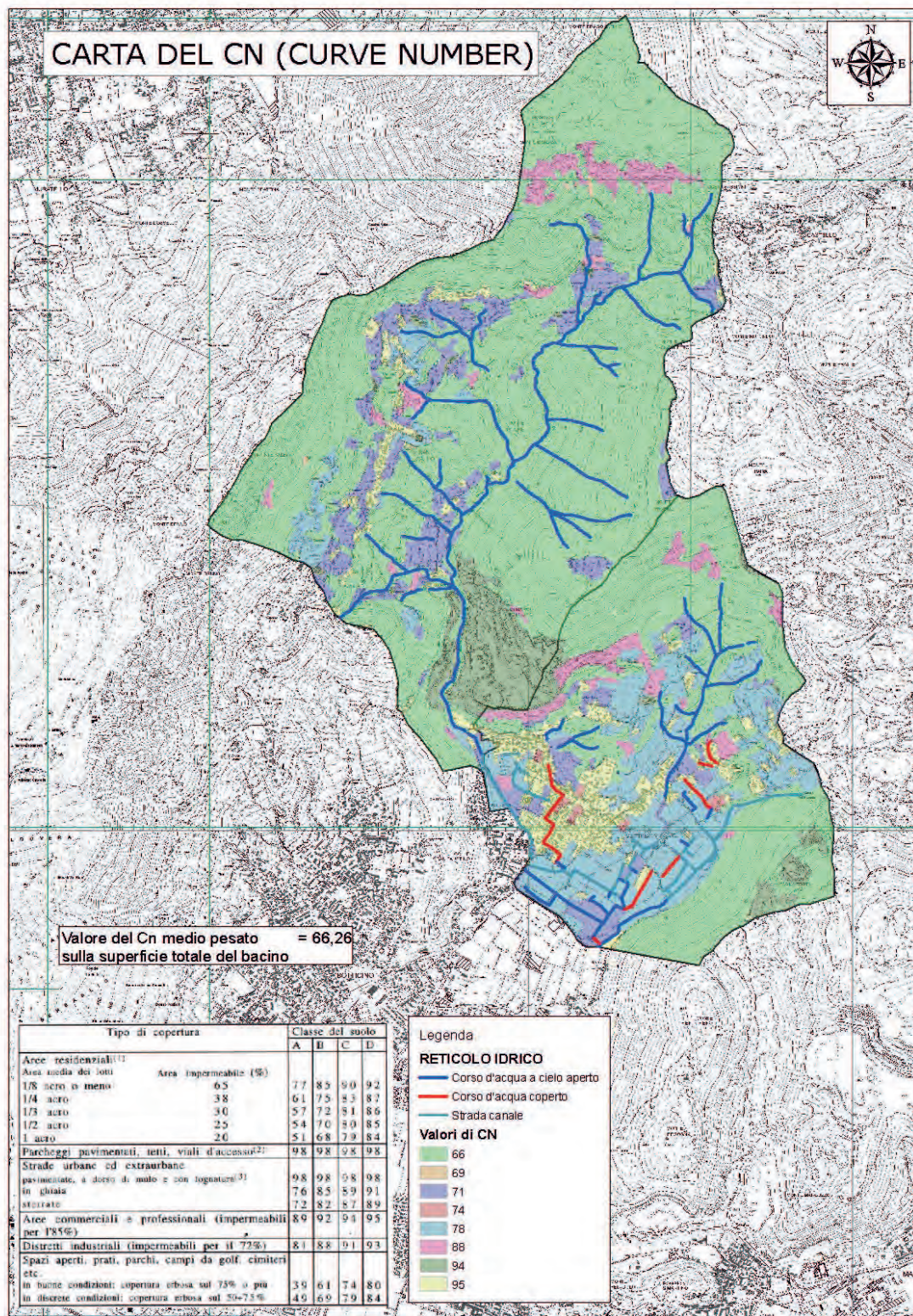


Figura 2: Carta del CN

Il parametro CN rappresenta l'attitudine di un bacino a produrre deflussi e può assumere valori che variano da 0 a 100 in base alle caratteristiche idrologiche dei suoli, alla copertura vegetale del bacino in esame e alla condizione di umidità del terreno agli inizi dell'evento meteorico (denotata con Antecedent Moisture Condition, AMC). Nel caso in esame le "coperture" dei suoli vengono

definite sulla base della cartografia DUSAF della Regione Lombardia. Per ognuna di queste aree, definite dalla "classe di copertura del suolo", è stato attribuito un valore di CN(II) preliminare arrivando così a calcolare un valore medio ponderato per il bacino in oggetto pari a 66,26. Successivamente, al fine di considerare il grado di umidità del bacino, si è proceduto alla definizione del valore di CN(III) corrispondente alla classe AMC di terreni caratterizzati da uno stato di umidità elevato. Tale condizione, in caso di eventi meteorici estremi, risulta essere la situazione più cautelativa per il calcolo della portata di progetto. Per questa classe le altezze di pioggia nei 5 giorni precedenti all'inizio dell'evento sono poste pari a 58mm per il periodo vegetativo, e 28 mm per il periodo di riposo. Ne consegue che **CN(III)** risulta pari a 82,09 calcolato secondo quanto dispone l'SCS.

Per stimare la portata è necessario calcolare il tempo di corrivazione T_c ed il tempo di ritardo T_l . L'US del Soil Conservation Service propone queste formule:

$$T_c = \frac{100L^{0.8} \left[\left(\frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0.7}}{1900s^{0.5}}$$

$$T_l = 0.342 \cdot \left(\frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \right) \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

L indica la lunghezza dell'asta principale e s la pendenza media dei versanti. Con questi due parametri è possibile calcolare il tempo di accumulo T_a pari a

$$T_a = 0.5T_c + T_l$$

Il calcolo finale della portata è effettuato utilizzando la seguente formula:

$$Q_p = 0.208 \cdot \frac{V \cdot A}{T_a}$$

A indica la superficie del bacino e V il volume di deflusso e si calcola come:

$$V = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

P indica la precipitazione critica calcolata per assegnati valori di tempo di ritorno. Di seguito sono riassunti i risultati ottenuti:

METODO SCS-CN Bacino T. Rino	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	13.5
50	10.8
20	7.6

METODO SCS-CN Bacino T. Fontanone	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	9.2
50	8.1
20	5.8

I valori di portata trovati con questo metodo sono molto simili a quelli trovati con il metodo razionale e quindi possono essere quelli significativi da utilizzare nella progettazione.

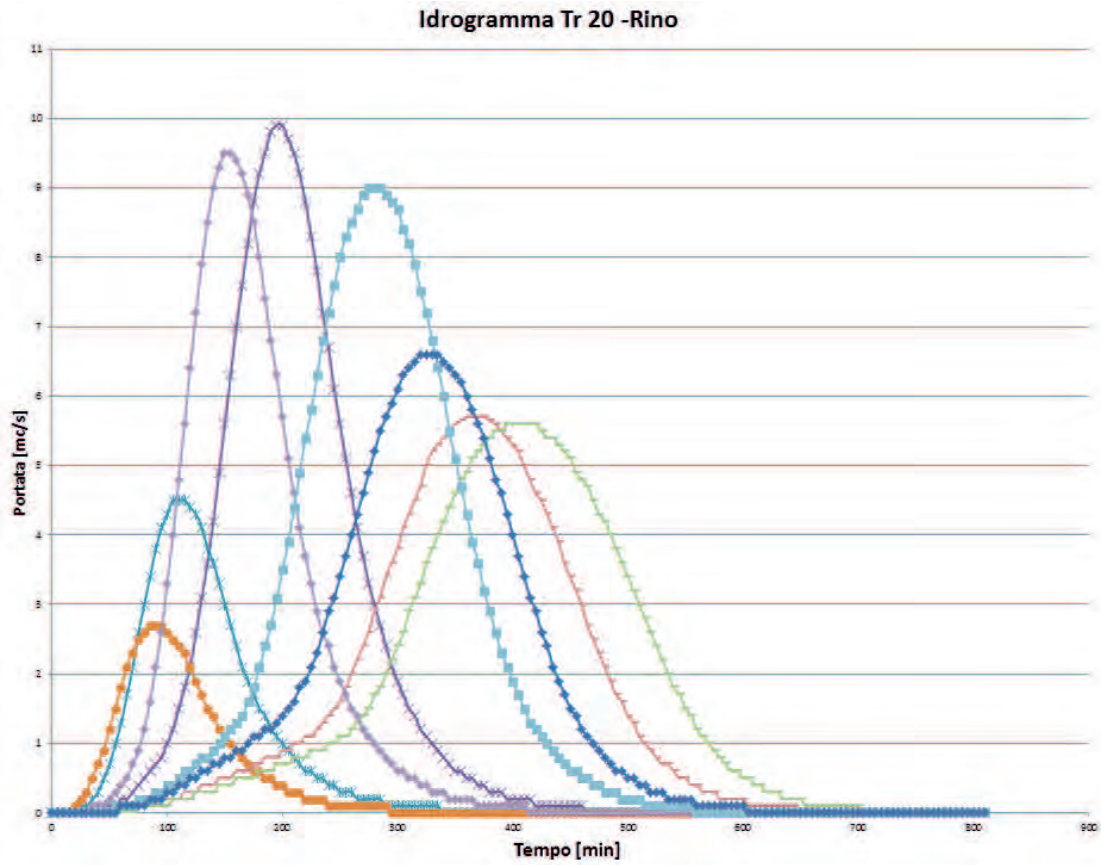
Peraltro si precisa che gli stessi collimano con quelli calcolati nel progetto preliminare Avanzi, Agostini, Marcandelli.

B.3.4 METODO AFFLUSSI-DEFLUSSI

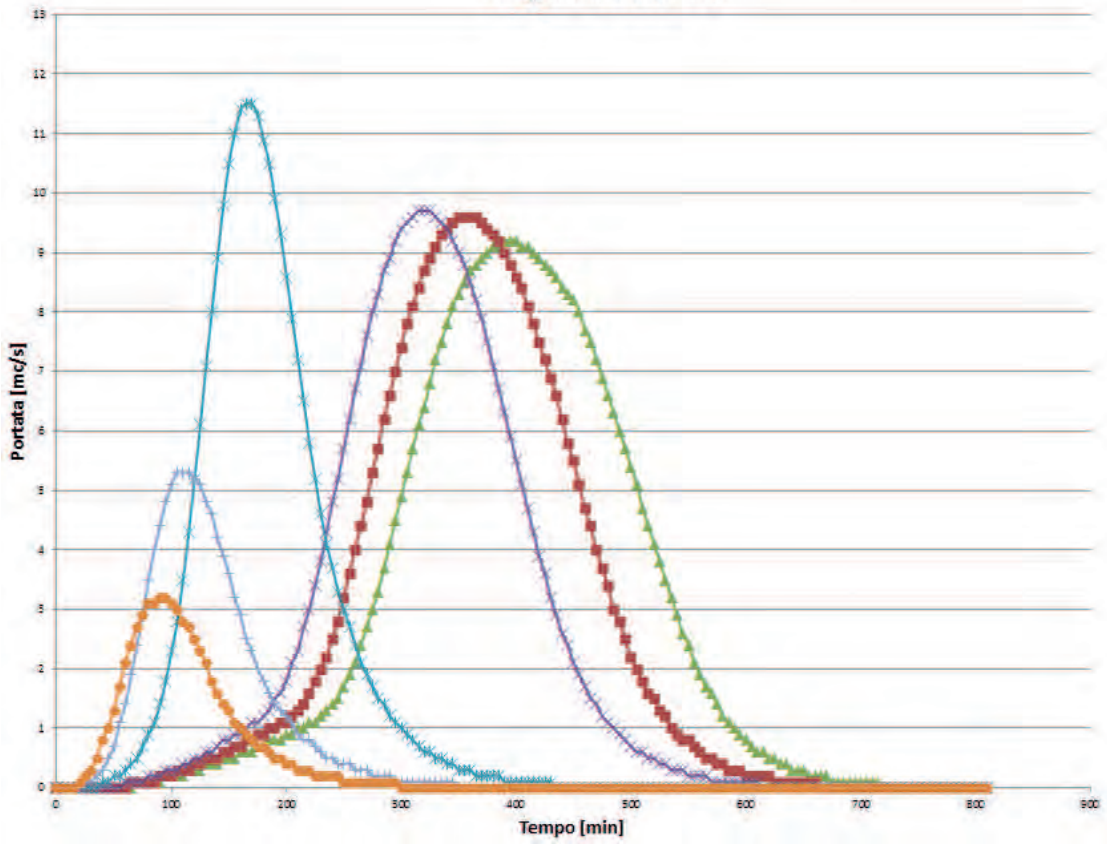
Per avere una panoramica più completa dei valori stimati di portata in funzione alle durate di pioggia è stato impiegato l'apposito software HEC-HMS elaborato dell'U.S. Army Corps of Engineers. Tale software è in grado di simulare processi relativi alla trasformazione afflussi deflussi di bacini idrografici, fornendo al sistema i parametri morfologici del bacino e quelli specifici del tipo di modello scelto per la trasformazione, stimando la portata al colmo di piena alla sezione di chiusura. Per quanto concerne il metodo di calcolo delle perdite superficiali si è utilizzato il metodo SCS-CN, secondo il quale le perdite vengono rappresentate mediante un fattore di assorbimento iniziale (Initial Loss). Naturalmente non si ha precipitazione efficace fino a che non viene raggiunto il valore di Initial Loss. Per stimare i parametri richiesti dal modello sono stati analizzati i dati relativi alla tipologia ed all'utilizzo del suolo, ricavando un valore di CN medio dal quale si è poi definito il valore delle perdite iniziali. Sempre attraverso l'utilizzo di questo software sono stati elaborati, a parità di tempo di ritorno e durata di pioggia, svariati ietogrammi a ciascuno dei quali compete una diversa onda di piena. In particolare sono stati utilizzati ietogrammi triangolari di durate variabili (mezz'ora, un'ora, due ore e quattro ore) e con tempo di ritorno 100

e 200 anni ricostruiti sulla base delle relative LSPP suggerite dalla'Autorità di Bacino del Po per la cella della griglia di discretizzazione delle piogge intense EM65.

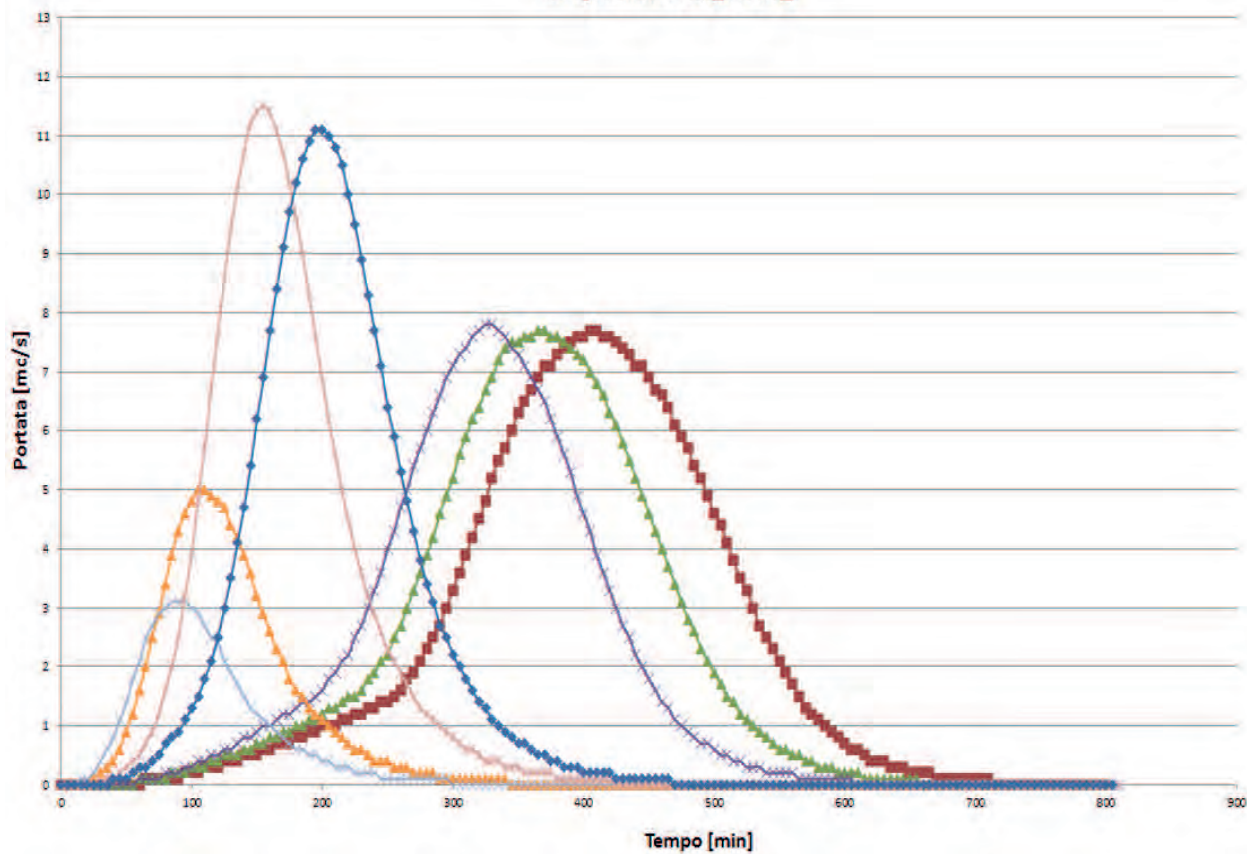
Di seguito si riportano gli idrogrammi di piena calcolati in funzione delle diverse durate di pioggia per ogni tempo di ritorno considerato per il bacino del T. Rino e per il bacino del T. Musia:

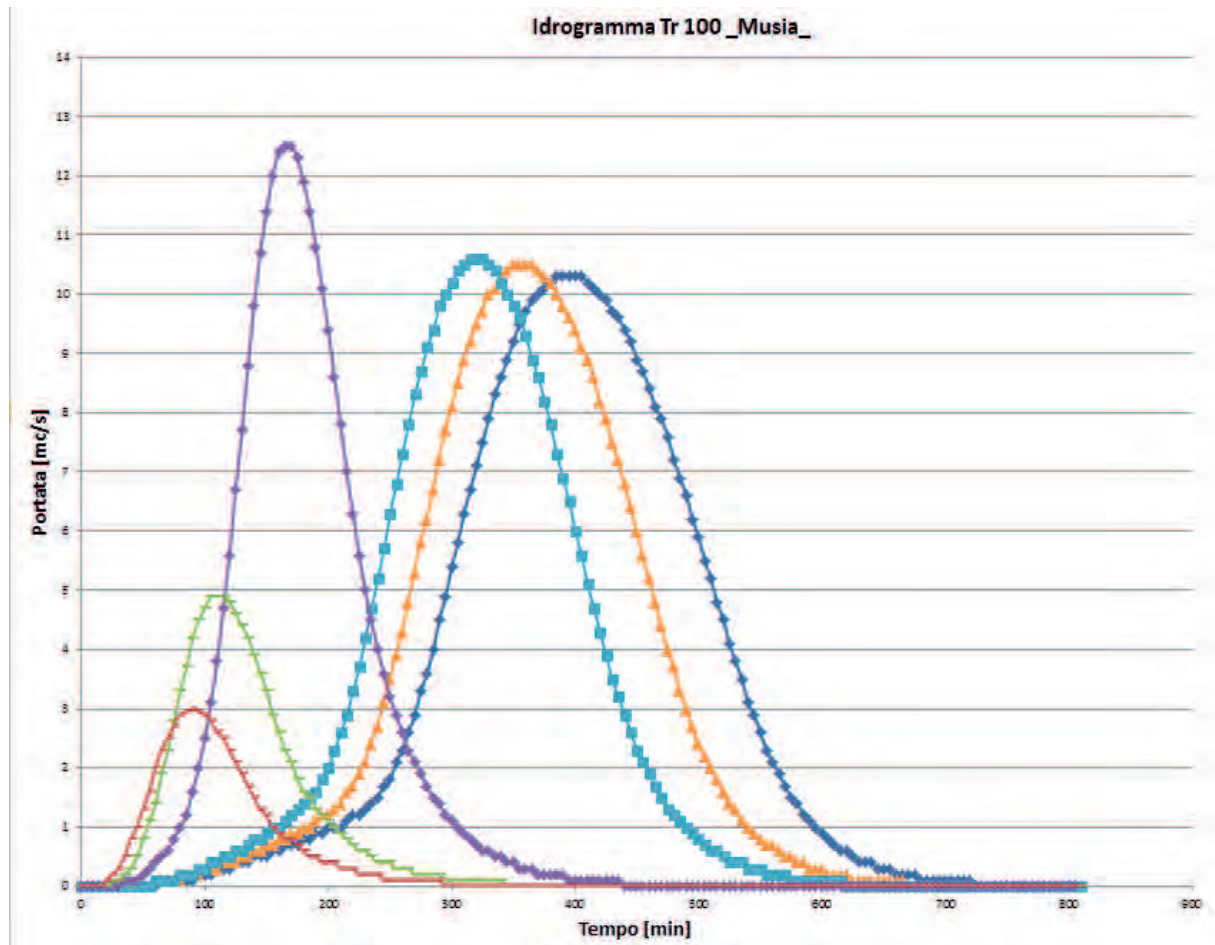


Idrogramma Tr 100- Rino



Idrogramma Tr 20_Musia_





B.4 ANALISI IDROGRAMMI DI PIENA

Analizzando gli idrogrammi di piena si possono estrapolare i volumi necessari per la progettazione delle vasche di laminazione per contenere le portate in arrivo che verranno introdotte e descritte nel prosieguo del progetto.

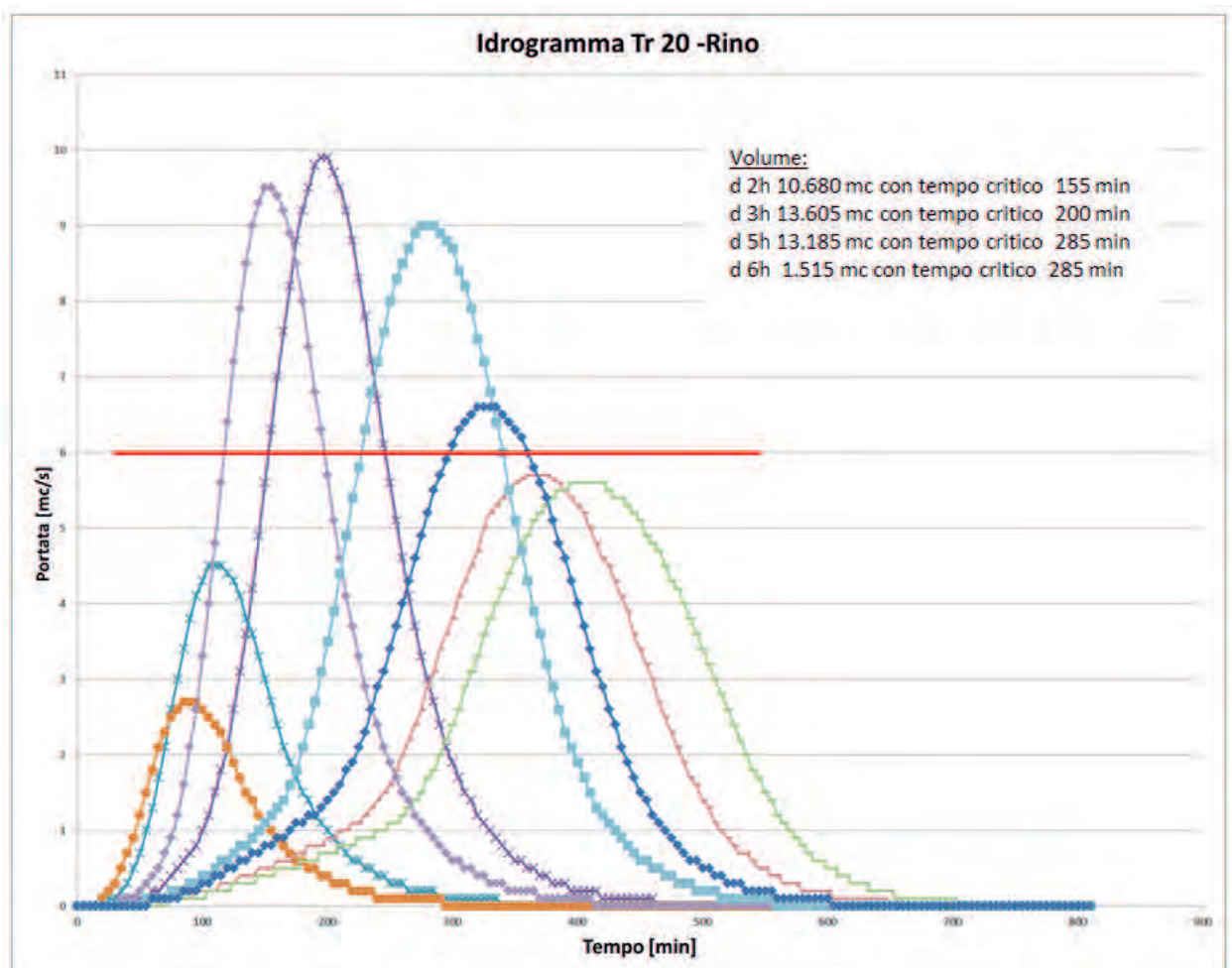
In particolare gli idrogrammi sono stati simulati considerando un tempo di ritorno pari a 20 e a 100 anni e differenti durate di pioggia.

A differenza del calcolo delle portate effettuato con il metodo razionale, con il metodo razionale modificato e con il metodo del CN, in cui si sono ricavate le portate per il bacino del Torrente Rino e le portate del Torrente Fontanone; gli idrogrammi di piena simulano l'andamento delle portate in funzione del tempo di pioggia per il ramo del Torrente Rino e per il Torrente Musia.

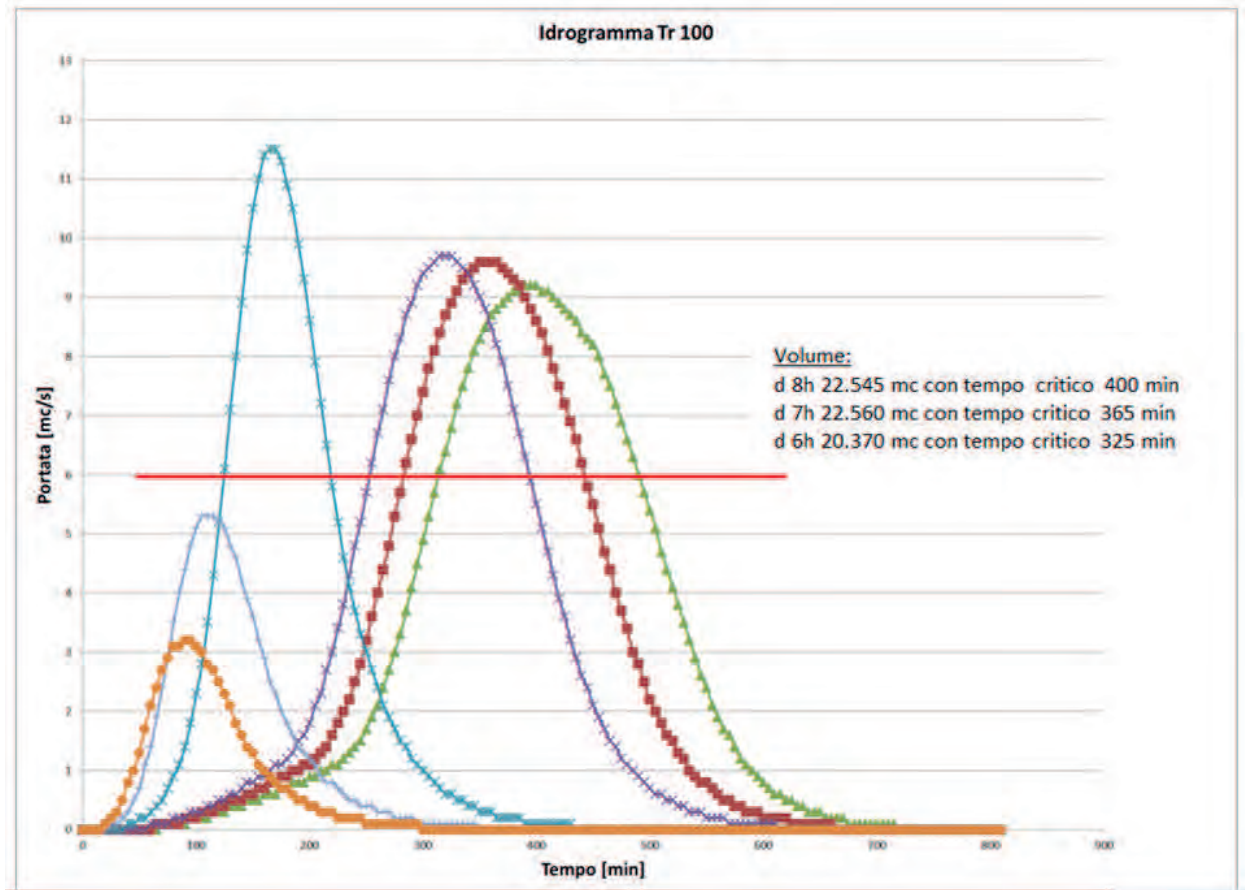
Il limite della portata transitabile per l'asta del Torrente Rino è stato posto pari a 6 mc/s, massima transitabile al ponte levatoio di Molinetto dopo adeguata manutenzione straordinaria, mentre

quello per l'asta del Torrente Musia è stato posto pari a 7 mc/s. portata massima transitabile dalle paratoie a valle della strada provinciale. I risultati ottenuti con relativo volume da invasare e tempo di durata critica sono riportati nei seguenti grafici.

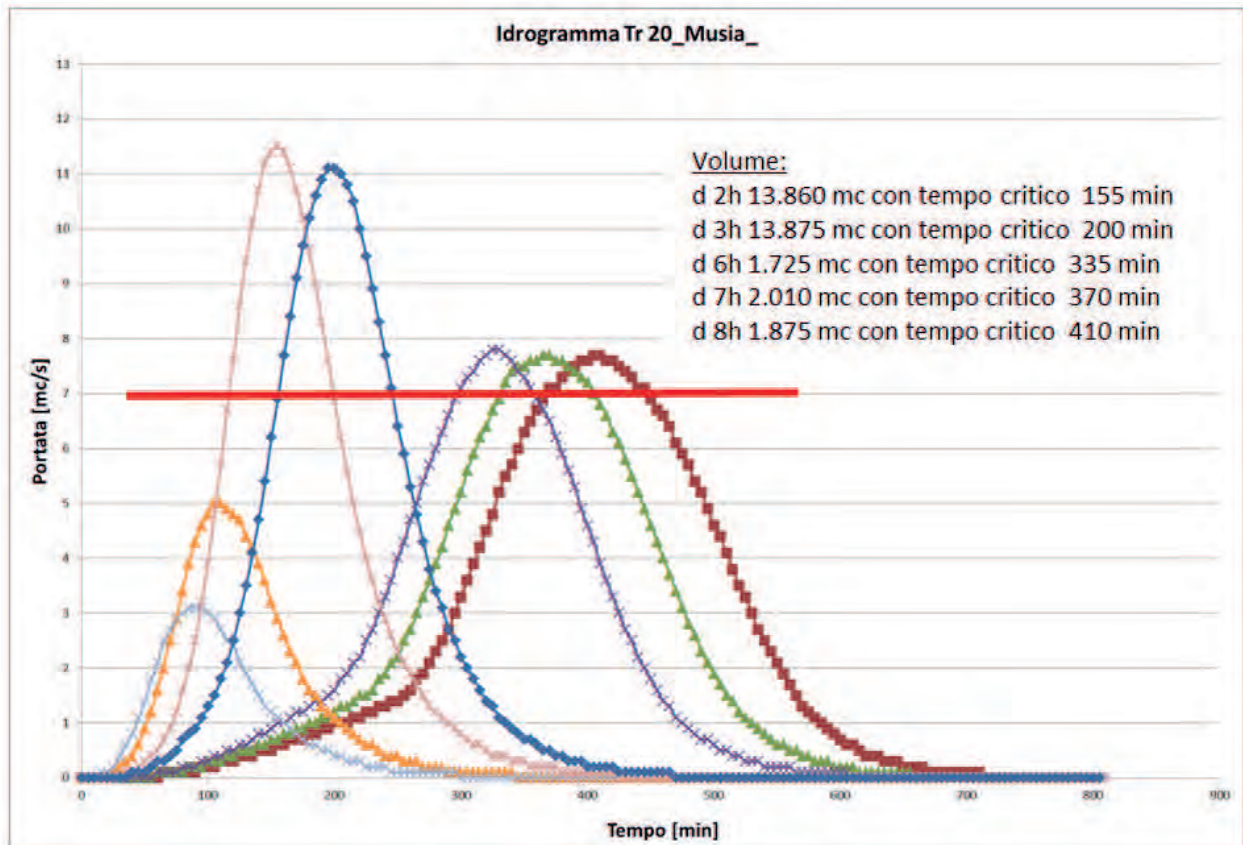
T. Rino con TR 20



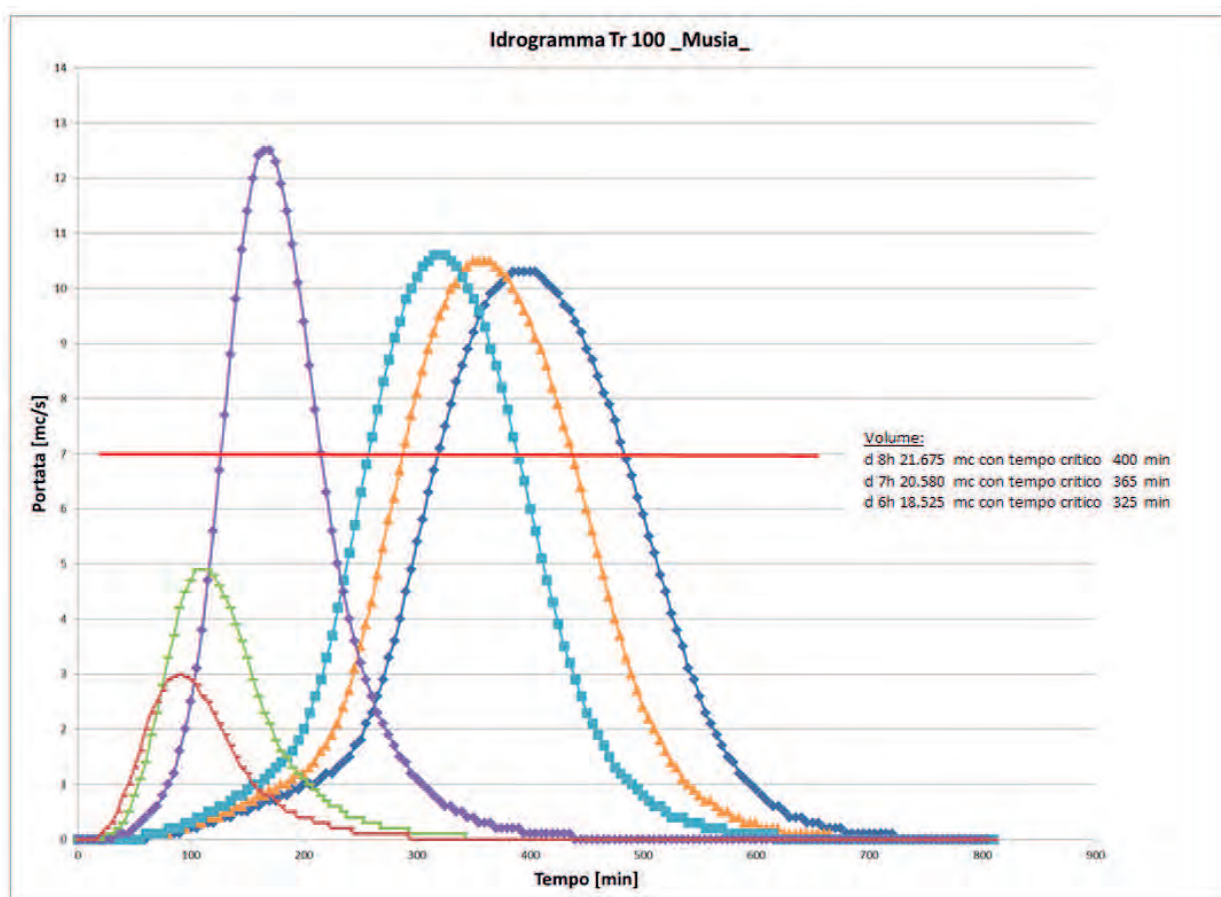
T. Rino con TR 100



T. Musia con TR 20



T. Musia con TR 100



Dai diagrammi sopra descritti prendendo in considerazione un tempo di ritorno di 100 anni (T100) risulta un volume (area sottesa alla curva dell'evento critico) delle vasche rispettivamente:

vasca 1 torrente Rino mc. **22.575**

vasca 2 torrente Musia mc. **21.675**

B.5 Verifica delle sezioni

La verifica delle sezioni viene effettuata mediante l'applicazione della formula di Chezy che determina la velocità e quindi la portata in una sezione tenendo conto della pendenza del raggio idraulico e della tipologia del materiale costituente le sponde ed il fondo del corso d'acqua

$$Q=A \times \sqrt{RJ}$$

Dove: A = area bagnata;

X = coefficiente di attrito dipendente dal raggio idraulico e dalla tipologia strutturale della superficie dell'alveo;

R = raggio idraulico definito quale rapporto tra l'area occupata dalla sezione ed il contorno bagnato ;

J= pendenza del fondo.

Viene sotto indicata la tabella delle portate di deflusso nelle sezioni esaminate e rappresentate nell'allegato specifico.

Tabella verifica sezioni

Portata (formula di Bazin)

	Base mag	Base min	H	Area (A)	perimetro bagnato	Raggio idraulico	Rad R	pendenza j	RadR*j	Coeff scabrezza Y	87*RadR/(Rad R+Y)	V=I*K	Q=A*V
Musia													
Sez. 1	6,6	6,6	1,7	11,2	10	1,122	1,05924501	0,002	0,04737088	0,36	64,93	3,08	34,51
Sez. 2A	2,1	2,1	1,5	3,15	5,1	0,617647	0,78590525	0,002	0,03514675	0,36	59,67	2,10	6,61
Sez. 2B	3,7	3,7	1,4	5,18	6,5	0,796923	0,89270548	0,002	0,039923	0,36	62,00	2,48	12,82
Sez. 3	3,7	3,7	1,5	5,55	6,7	0,828358	0,91014186	0,002	0,04070278	0,36	62,34	2,54	14,08
Sez. 4	3,2	3,2	1,2	3,68	5,2	0,707692	0,8412445	0,002	0,0376216	0,8	44,59	1,68	6,17
Sez. 5	5	2,8	1,6	6,24	6,8	0,917647	0,95793896	0,002	0,04284033	1,75	30,78	1,32	8,23
Sez. 6	5,2	3,2	1,7	7,14	7,3	0,978082	0,98898038	0,002	0,04422855	1,75	31,41	1,39	9,92
Sez. 7	5,8	3	1,8	7,92	6,8	1,164706	1,0792154	0,001	0,03412779	0,36	65,24	2,23	17,63
Sez. 8	3,25	3,25	1,4	4,55	6,25	0,728	0,85322916	0,001	0,02698148	0,36	61,18	1,65	7,51
Sez. 9	3,25	3,25	1,5	4,88	6,25	0,78	0,88317609	0,002	0,03949684	0,36	61,81	2,44	11,90
Sez. 10	4,6	3	1,7	6,46	6,4	1,009375	1,00467656	0,002	0,0449305	1,75	31,73	1,43	9,21
Sez. 11	5,5	5,5	1,5	8,25	8	1,03125	1,0155048	0,002	0,04541476	1,75	31,95	1,45	11,97
Sez. 12	7	5,5	1,6	10	9,1	1,098901	1,04828484	0,002	0,04688072	1,75	32,59	1,53	15,28
Sez. 13	6	2,8	1,8	7,92	6,8	1,164706	1,0792154	0,002	0,04826398	1,75	33,19	1,60	12,69
Sez. 14	5,4	2,7	1,8	7,29	6,3	1,157143	1,07570575	0,002	0,04810702	1,75	33,11	1,59	11,62
Sez. 15	5,4	2,5	1,8	7,11	6,3	1,128571	1,06234243	0,002	0,0475094	1,75	32,86	1,56	11,10
Sez. 16	6,8	2,6	2,5	11,8	7,6	1,546053	1,24340365	0,002	0,0556067	1,75	36,14	2,01	23,61
Sez. 17	5,6	3	1,6	6,88	6,6	1,042424	1,02099179	0,002	0,04566014	1,75	32,06	1,46	10,07
Sez. 18	5,2	2,6	2,1	8,19	7,2	1,1375	1,06653645	0,002	0,04769696	1,75	32,94	1,57	12,87
Sez. 19	6	2,4	2,2	9,24	7,2	1,283333	1,13284303	0,002	0,05066228	1,75	34,19	1,73	16,00
Sez. 20	5	1,9	2,1	7,25	6,5	1,114615	1,05575347	0,002	0,04721473	1,75	32,74	1,55	11,20
Sez. 21	5,4	2,6	1,6	6,4	6,8	0,941176	0,9701425	0,002	0,04338609	1,75	31,03	1,35	8,62
Sez. 22	5	2,6	1,8	6,84	6,6	1,036364	1,01801947	0,002	0,04552721	1,75	32,00	1,46	9,96
Sez 23/24	3	3	0,8	2,4	4,6	0,521739	0,72231512	0,002	0,03230291	0,36	58,06	1,88	4,50
Fontanone													
Sez 27	4	1,8	1,2	3,48	4,4	0,79090909	0,8893307	0,001	0,028123106	1,75	29,31	0,82	2,87
Sez 28	4	2,5	1	3,25	4,9	0,66326531	0,81441102	0,001	0,025753938	1,75	27,63	0,71	2,31
Sez 29	5	2,8	1	3,9	5,2	0,75	0,8660254	0,001	0,027386128	1,75	28,80	0,79	3,08
Sez 30	4,3	2	1,48	4,662	6,1	0,7642623	0,87422096	0,001	0,027645294	1,75	28,98	0,80	3,74
Sez 31	5	2,2	1,03	3,708	6,1	0,60786885	0,77965945	0,001	0,024654997	1,75	26,81	0,66	2,45
Sez 32	5,2	1,8	1,28	4,48	6,1	0,73442623	0,85698671	0,001	0,027100299	1,75	28,60	0,78	3,47

Dall'esame del tabulato risultano praticamente verificate tutte le sezioni del Musia a valle dello sfioratore della seconda vasca, salvo la sezione n 4 che dovrà essere ridimensionata mediante allargamento o sovrizzo degli argini nel tratto interessato in modo che possa contenere la portata massima di 7 mc/sec.

Analogamente anche per la sezione al ponte levatoio di Molinetto si dovrà procedere al suo adeguamento mediante riprofilatura del fondo aumentando il più possibile nei limiti morfologici la pendenza e procedere alla lisciatura del fondo stesso mediante malta cementizia onde aumentare la velocità di scorrimento dell'acqua e conseguentemente la portata massima prevista pari a 6 mc/sec.

Le sezioni del Fontanone nel tratto a valle della vasca di laminazione dovranno essere tutte adeguate al convogliamento della portata massima pari a 9,2 mc/sec.

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

A.) INQUADRAMENTO

L'asta del Torrente Musia si sviluppa quasi esclusivamente sul Comune di Rezzato nella porzione pianeggiante del territorio comunale dove i corsi d'acqua del Torrente Rino e Fontanone confluiscono.

Il bacino del Torrente Musia è quindi costituito da due sottobacini principali: quello del Torrente Rino e quello del Torrente Fontanone.

I Torrenti Rino e Fontanone, come detto in precedenza, confluiscono in un'unica asta alla quota di circa 145 m s.l.m. appena a valle della frazione Molinetto formando appunto il Torrente Musia.

Tali bacini si sviluppano maggiormente in Comune di Botticino ed in minima parte sul Comune di Rezzato.

L'intero bacino si sviluppa in senso N - S dalla quota di circa 1000 m s.l.m. fino alla quota di circa 145 m s.l.m.

Nella cartografia tecnica regionale CTR la zona è individuabile nel Foglio D5-D6, alla scala 1:50.000, ed in maggior dettaglio nelle Sezioni D5c5-D5d5 e D6c1-D6d1 alla scala 1:10.000.

Nell'immagine sottostante vengono riportati i bacini del Torrente Rino e Fontanone e le aste che li compongono.

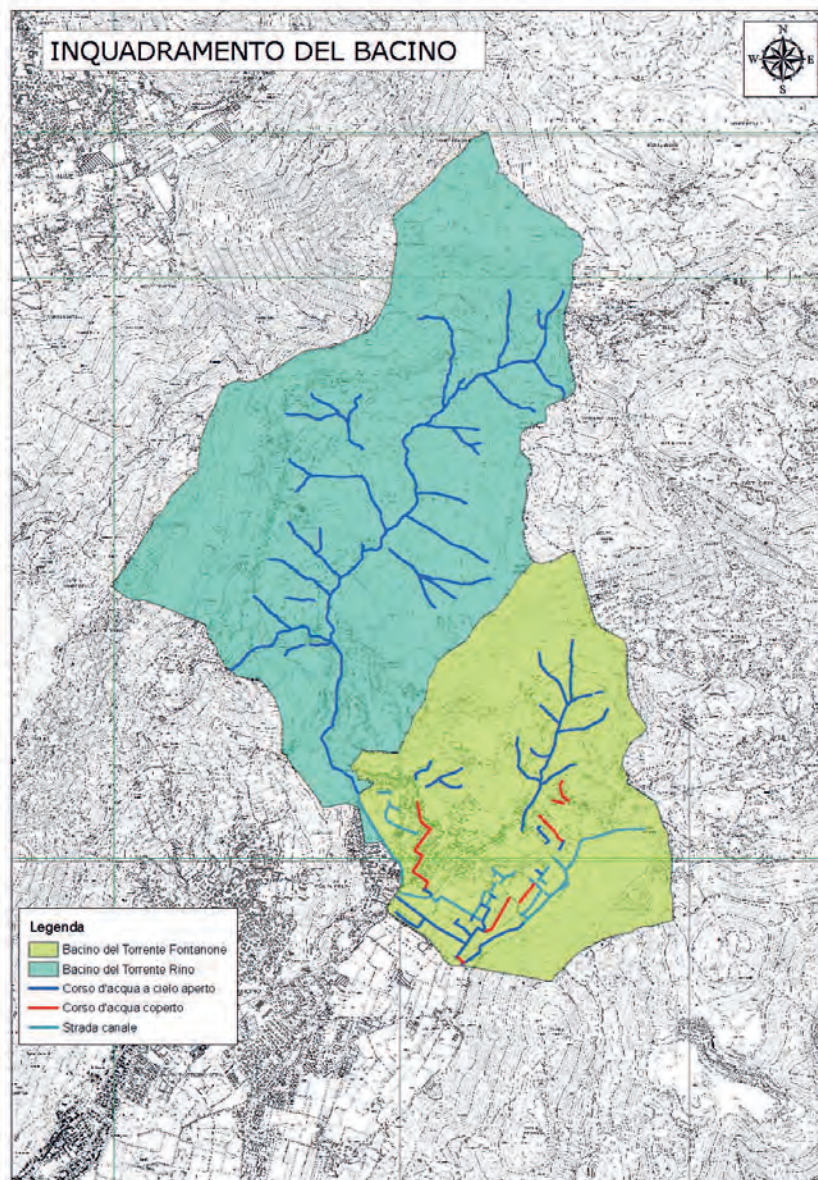


Figura 1: Inquadramento

B. IDROLOGIA E D IDRAULICA

B.1 PREMESSA

Nello studio idraulico di un corso d'acqua la variabile fondamentale è la portata massima di piena. Tale variabile deve essere associata ad un tempo di ritorno Tr che indica il numero di anni in cui tale indice viene raggiunto e/o superato in media almeno una volta. Il Tr deve essere scelto sulla base delle normative vigenti ed in funzione al rischio ed al tipo di sistemazione del bacino. Altro parametro fondamentale è la stima della magnitudo, cioè la stima del volume di materiale mobilizzabile durante un evento di piena. La successiva analisi idrologica e idraulica si concentra sulla definizione delle caratteristiche del bacino del Torrente Rino-Musia.

B.2 ANALISI MORFOMETRICA BACINO

L'analisi morfometrica e le caratteristiche intrinseche del bacino è stata effettuata sulla base del modello digitale del terreno (DTM) della Regione Lombardia mediante l'applicativo geoHMS della U.S. Army Corps of Engineers. Per bacino idrografico si intende l'entità geografica costituita dalla proiezione su un piano orizzontale della superficie scolante sottesa alla sezione di chiusura. La sezione di chiusura del bacino di studio viene considerata alla quota di 145 m slm. Assume particolare importanza nelle analisi l'individuazione delle curva ipsografica che è la rappresentazione altimetrica di un bacino. Essa si ottiene riportando in un diagramma i punti le cui ordinate ed ascisse rappresentano la quota e la superficie delle porzioni di bacino che si trovano a quote superiori di questa, perciò, a quota massima, abbiamo superficie nulla e viceversa, a quota minima, coinciderà l'intera superficie del bacino.

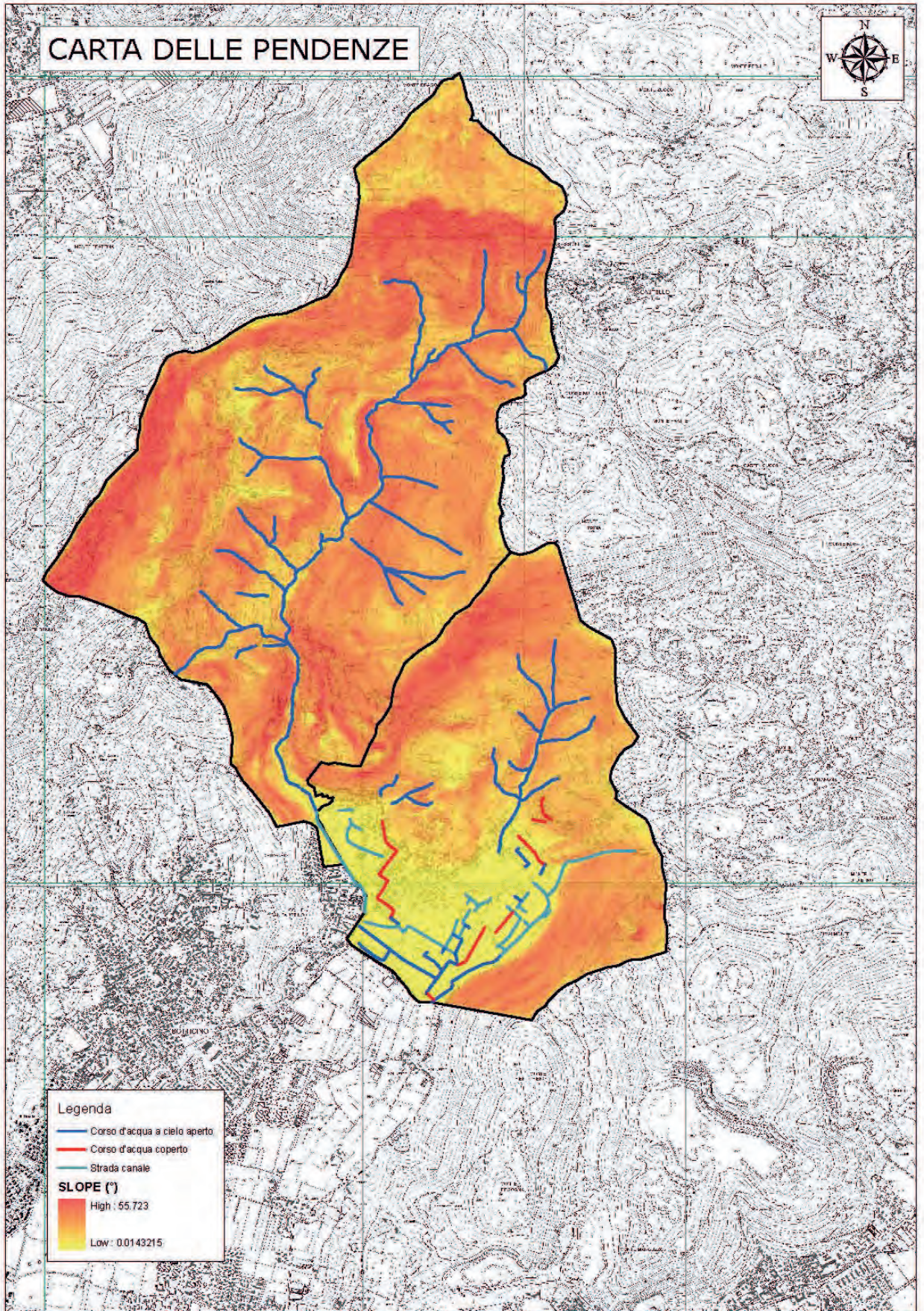
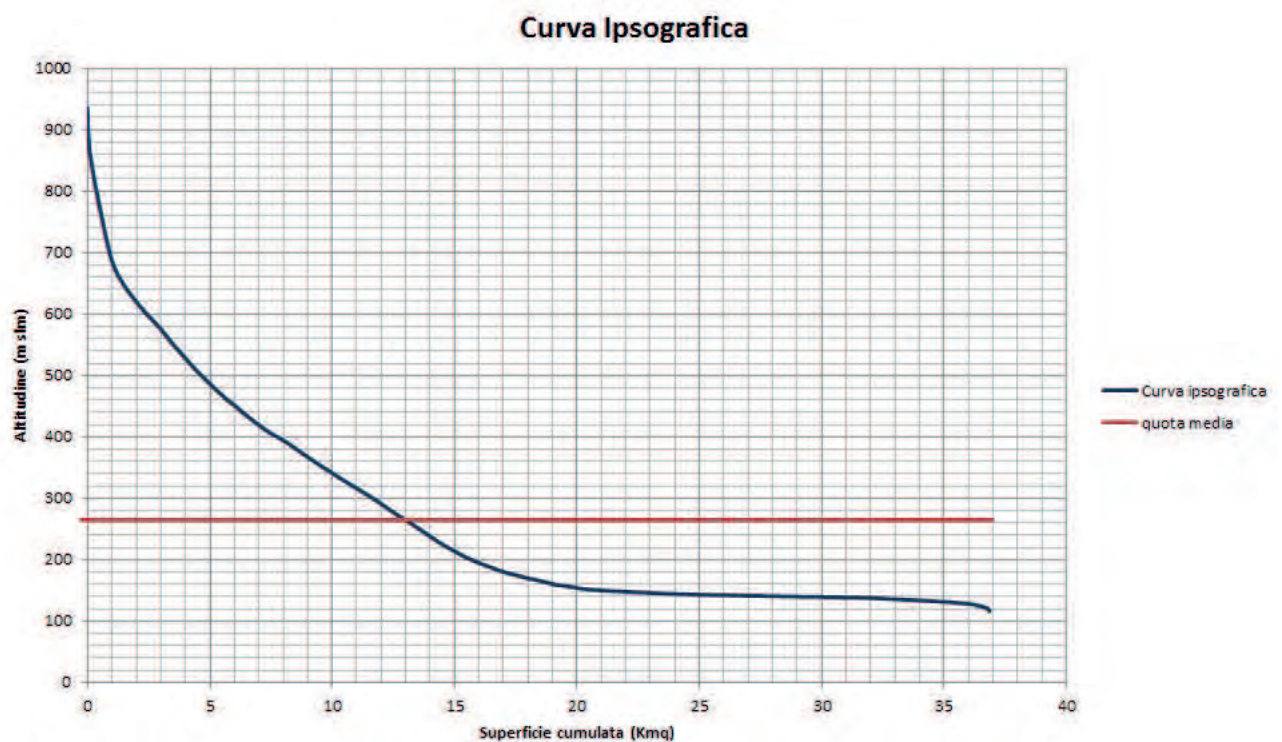


Figura 6: Mappa delle pendenze del bacino

I dati per il tracciamento della curva vengono derivati dal DTM della Regione Lombardia per la sola porzione delimitata dallo spartiacque del bacino oggetto di studio. Di seguito rappresenta in forma tabellare e grafica della curva ipsografica.

Intervallo di quota	Superficie parziale		Superficie progressiva	
	kmq	%	kmq	%
1100-800	0,36	0,99	0,36	0,99
800-600	2,05	5,56	2,41	6,55
600-400	5,34	14,48	7,75	21,03
400-200	7,93	21,51	15,68	42,54
200-100	21,17	57,46	36,85	100,00
TOTALE	36,85	100,00		



In modo del tutto analogo alla definizione della curva ipsografica si possono definire le caratteristiche morfometriche del bacino derivandole dall'analisi del DTM effettuata mediante il software geoHMS. Di seguito si riportano i dati di maggior rilevanza al fine dei calcoli idrologici:

Superficie del Bacino	36,85	kmq
Lunghezza asta principale	5,5	km
Altezza media del bacino	260	m slm
Quota sezione di chiusura	140	m slm

B.3 CALCOLO DELLE PORTATE

Nel presente studio di fattibilità si tengono in considerazione tempi di ritorno di 100 e 200 anni. I metodi adottati per la stima della portata al colmo sono i seguenti:

- Metodo razionale;
- Metodo razionale modificato;
- Metodo SCS-CN;
- Metodo afflussi deflussi accoppiato al software HEC-HMS.

B.3.1 METODO RAZIONALE

Il metodo indiretto di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi, come indicato dalle direttive PAI dell'Autorità di Bacino del Po (Legge 18 maggio 1989 n. 183) è condotto utilizzando la seguente formula di calcolo della portata critica Q_c (assumendo nota la precipitazione temibile di assegnato tempo di ritorno):

$$Q_c = \phi \cdot S \cdot i(d_c, T_r, r) \cdot \varepsilon$$

ϕ indica il coefficiente di deflusso, S l'area del bacino in kmq, i è l'intensità di precipitazione in funzione della durata critica d_c , del tempo di ritorno T_r e del coefficiente di ragguglio r , infine ε è il coefficiente di laminazione.

Il tempo di corrivazione T_c viene determinato con la formula proposta da Giandotti:

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{h_m - h_0}}$$

S indica la superficie del bacino in kmq, L la lunghezza dell'asta principale, h_m l'altezza media del bacino in m slm e h_0 la quota della sezione di chiusura in m slm.

Le altezze di pioggia vengono calcolate in funzione della linea segnalatrice di possibilità climatica ($h_d = ad^n$) relativa alla cella della griglia di discretizzazione delle piogge intense (cfr. All. 3 della Direttiva n. 2 PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Po). All'interno del progetto per semplicità il bacino è stato suddiviso in due sottobacini (T. Rino – T. Fontanone).

L		Tr = 100 anni		Tr = 50 anni		Tr = 20 anni	
		a	n	a	n	a	n
a	Rino	55.70	0,29	50,429	0,29	43,84	0,296
	Fontanone	55.90	0,283	51,09	0,32	44,10	0,290

portata di massima piena viene quindi definita secondo:

$$Q_c = 0,278 \frac{\phi \cdot h_d \cdot S}{T_c}$$

Di seguito sono riassunti i risultati ottenuti:

METODO RAZIONALE Bacino T. Rino	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	13.5
50	12.2
20	10

METODO RAZIONALE Bacino T. Fontanone	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	9.0
50	8.3
20	7.2

B.3.2 METODO RAZIONALE MODIFICATO

L'analisi viene condotta con riferimento alle indicazioni dello studio di Ranzi, Mariani, Rossini, Armanelli e Bacchi sull'Analisi e sintesi delle piogge intense nel territorio bresciano (1999). L'altezza di pioggia viene qui ipotizzata appartenente ad una popolazione la cui funzione di probabilità è la distribuzione asintotica del massimo valore, nota come distribuzione di Gumbel. Di seguito si riportano le formule che hanno portato alla stima della portata.

Per il calcolo dell'altezza di pioggia si utilizza la seguente relazione:

$$h = a_T T_c^{m_1}$$

Posto:

$$a_T = m_1 \left\{ 1 - \frac{CV \sqrt{6}}{\pi} \left[\varepsilon + \text{Ln} \left(\text{Ln} \left(\frac{T}{T-1} \right) \right) \right] \right\}$$

(T è il tempo di ritorno e ε il numero di Eulero)

$$T_c = \frac{3,3\sqrt{S + 3,2L}}{0,8\sqrt{h_m - h_0}}$$

(S è l'area del bacino L è la lunghezza dell'asta principale)

Per il calcolo della portata al colmo si utilizza quindi la seguente formula:

$$Q_c = \frac{1}{3,6} \phi \cdot r \cdot S \cdot a_T \cdot T_c^{n_1-1}$$

Dove ϕ indica il coefficiente di afflusso locale, ed r è un coefficiente che dipende dall'area del bacino e dal tempo di corrivazione.

Tale metodo restituisce dei valori di portata che risultano sovradimensionati e quindi poco significativi.

METODO RAZIONALE MODIFICATO Bacino T. Rino	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	16.1
50	14.6
20	7.3

METODO RAZIONALE MODIFICATO Bacino T. Fontanone	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	10.8
50	9.9
20	5.5

B.3.3 METODO SCS-CN

Il metodo dell'U.S. Soil Conservation Service prevede l'utilizzo del modello SCS-CN. Con tale modello vengono depurati i dati di pioggia dalle perdite che si hanno a causa dell'infiltrazione e dell'accumulo temporaneo negli strati superficiali del suolo attraverso la seguente formula:

$$h_{netta} = \frac{(h_{lorda} - I_a)^2}{(h_{lorda} + S - I_a)}$$

I_a indica l'assorbimento iniziale ed è posto pari a $I_a = 0,2 S$.

Il valore di S si ricava dalla formula:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

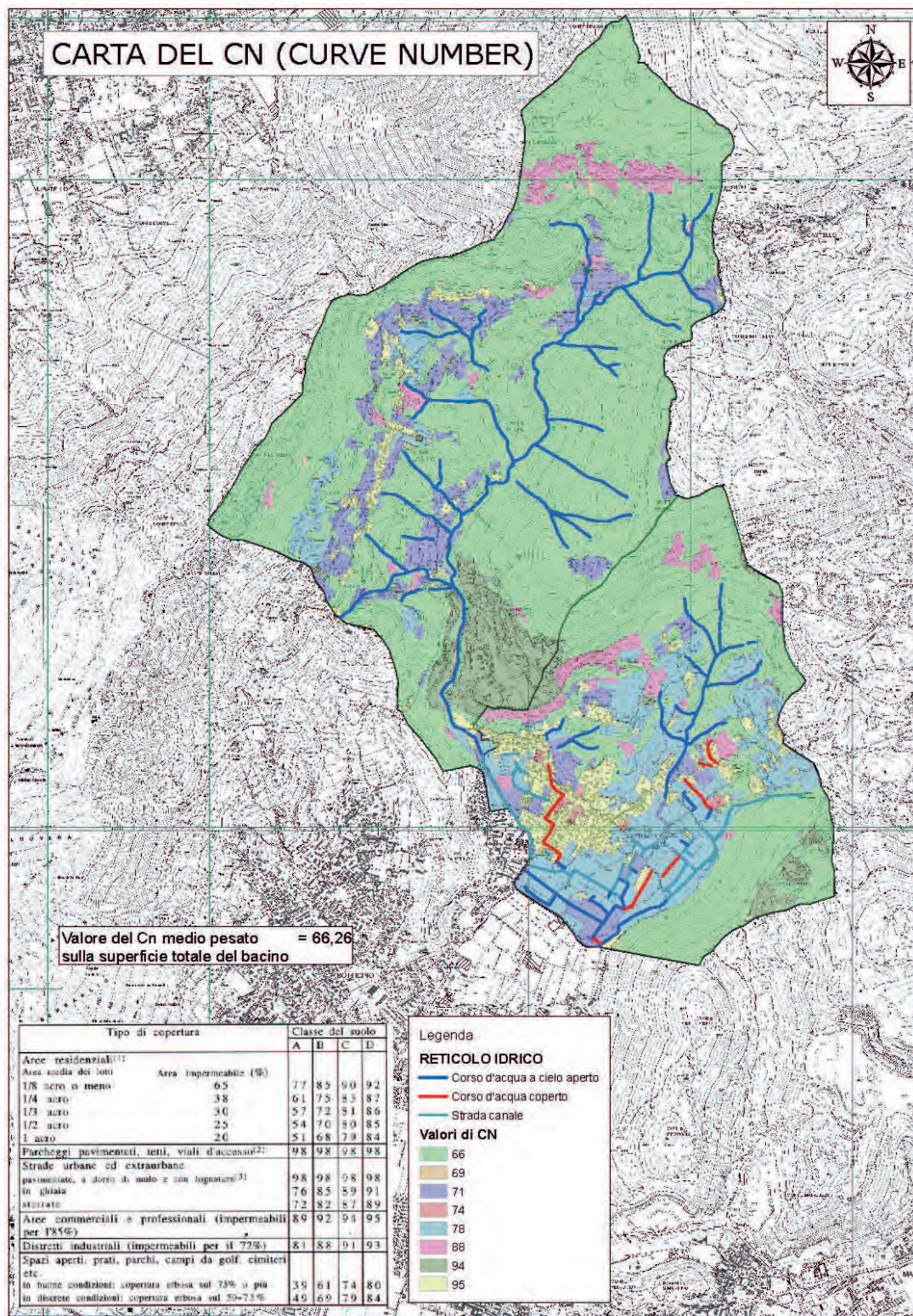


Figura 2: Carta del CN

Il parametro CN rappresenta l'attitudine di un bacino a produrre deflussi e può assumere valori che variano da 0 a 100 in base alle caratteristiche idrologiche dei suoli, alla copertura vegetale del bacino in esame e alla condizione di umidità del terreno agli inizi dell'evento meteorico (denotata con Antecedent Moisture Condition, AMC). Nel caso in esame le "coperture" dei suoli vengono

definite sulla base della cartografia DUSAF della Regione Lombardia. Per ognuna di queste aree, definite dalla "classe di copertura del suolo", è stato attribuito un valore di CN(II) preliminare arrivando così a calcolare un valore medio ponderato per il bacino in oggetto pari a 66,26. Successivamente, al fine di considerare il grado di umidità del bacino, si è proceduto alla definizione del valore di CN(III) corrispondente alla classe AMC di terreni caratterizzati da uno stato di umidità elevato. Tale condizione, in caso di eventi meteorici estremi, risulta essere la situazione più cautelativa per il calcolo della portata di progetto. Per questa classe le altezze di pioggia nei 5 giorni precedenti all'inizio dell'evento sono poste pari a 58mm per il periodo vegetativo, e 28 mm per il periodo di riposo. Ne consegue che **CN(III)** risulta pari a 82,09 calcolato secondo quanto dispone l'SCS.

Per stimare la portata è necessario calcolare il tempo di corrivazione T_c ed il tempo di ritardo T_l . L'US del Soil Conservation Service propone queste formule:

$$T_c = \frac{100L^{0.8} \left[\left(\frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0.7}}{1900s^{0.5}}$$

$$T_l = 0.342 \cdot \left(\frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \right) \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

L indica la lunghezza dell'asta principale e s la pendenza media dei versanti. Con questi due parametri è possibile calcolare il tempo di accumulo T_a pari a

$$T_a = 0.5T_c + T_l$$

Il calcolo finale della portata è effettuato utilizzando la seguente formula:

$$Q_p = 0.208 \cdot \frac{V \cdot A}{T_a}$$

A indica la superficie del bacino e V il volume di deflusso e si calcola come:

$$V = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

P indica la precipitazione critica calcolata per assegnati valori di tempo di ritorno. Di seguito sono riassunti i risultati ottenuti:

METODO SCS-CN Bacino T. Rino	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	13.5
50	10.8
20	7.6

METODO SCS-CN Bacino T. Fontanone	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [mc/sec]
100	9.2
50	8.1
20	5.8

I valori di portata trovati con questo metodo sono molto simili a quelli trovati con il metodo razionale e quindi possono essere quelli significativi da utilizzare nella progettazione.

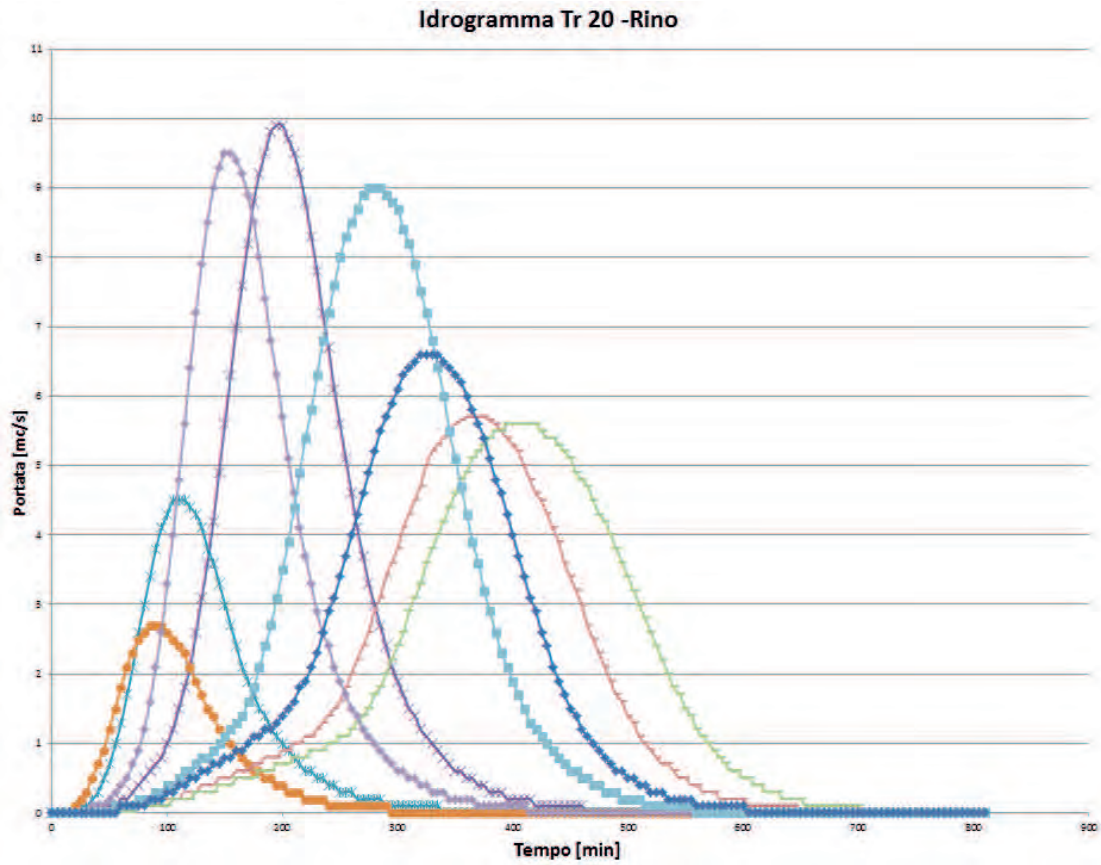
Peraltro si precisa che gli stessi collimano con quelli calcolati nel progetto preliminare Avanzi, Agostini, Marcandelli.

B.3.4 METODO AFFLUSSI-DEFLUSSI

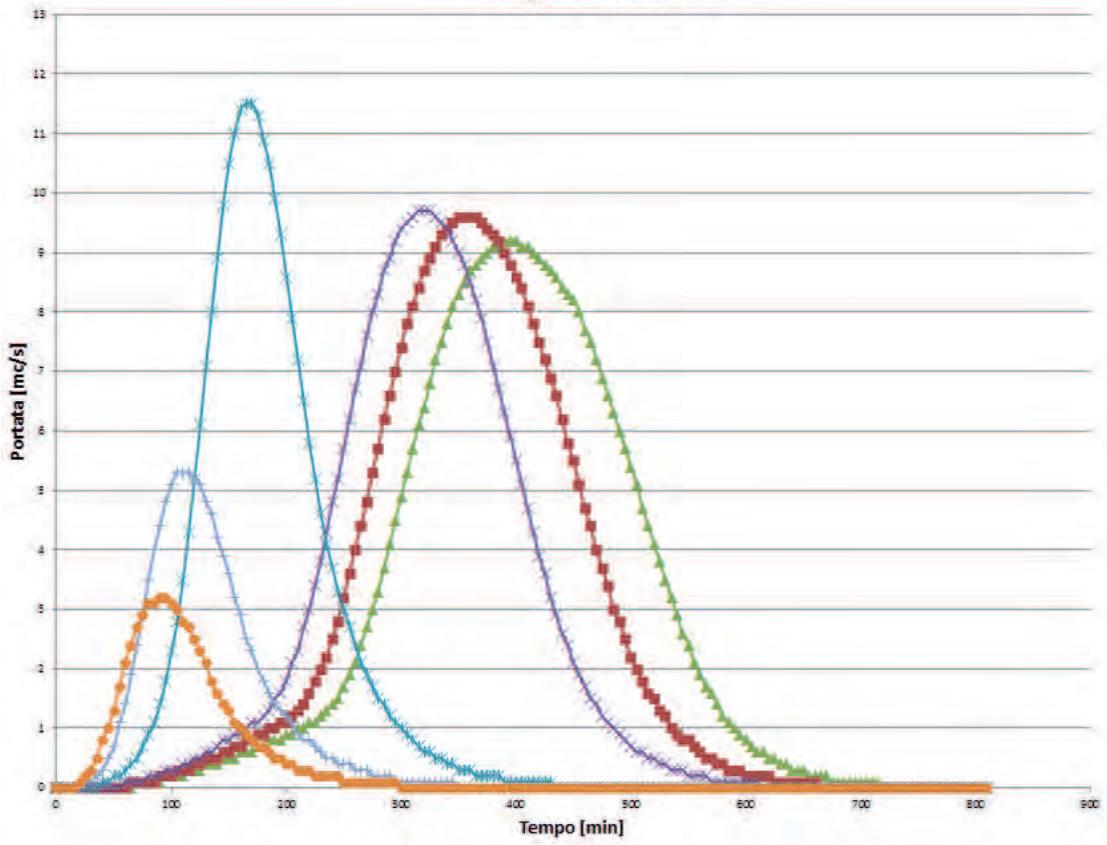
Per avere una panoramica più completa dei valori stimati di portata in funzione alle durate di pioggia è stato impiegato l'apposito software HEC-HMS elaborato dell'U.S. Army Corps of Engineers. Tale software è in grado di simulare processi relativi alla trasformazione afflussi deflussi di bacini idrografici, fornendo al sistema i parametri morfologici del bacino e quelli specifici del tipo di modello scelto per la trasformazione, stimando la portata al colmo di piena alla sezione di chiusura. Per quanto concerne il metodo di calcolo delle perdite superficiali si è utilizzato il metodo SCS-CN, secondo il quale le perdite vengono rappresentate mediante un fattore di assorbimento iniziale (Initial Loss). Naturalmente non si ha precipitazione efficace fino a che non viene raggiunto il valore di Initial Loss. Per stimare i parametri richiesti dal modello sono stati analizzati i dati relativi alla tipologia ed all'utilizzo del suolo, ricavando un valore di CN medio dal quale si è poi definito il valore delle perdite iniziali. Sempre attraverso l'utilizzo di questo software sono stati elaborati, a parità di tempo di ritorno e durata di pioggia, svariati ietogrammi a ciascuno dei quali compete una diversa onda di piena. In particolare sono stati utilizzati ietogrammi triangolari di durate variabili (mezz'ora, un'ora, due ore e quattro ore) e con tempo di ritorno 100

e 200 anni ricostruiti sulla base delle relative LSPP suggerite dalla'Autorità di Bacino del Po per la cella della griglia di discretizzazione delle piogge intense EM65.

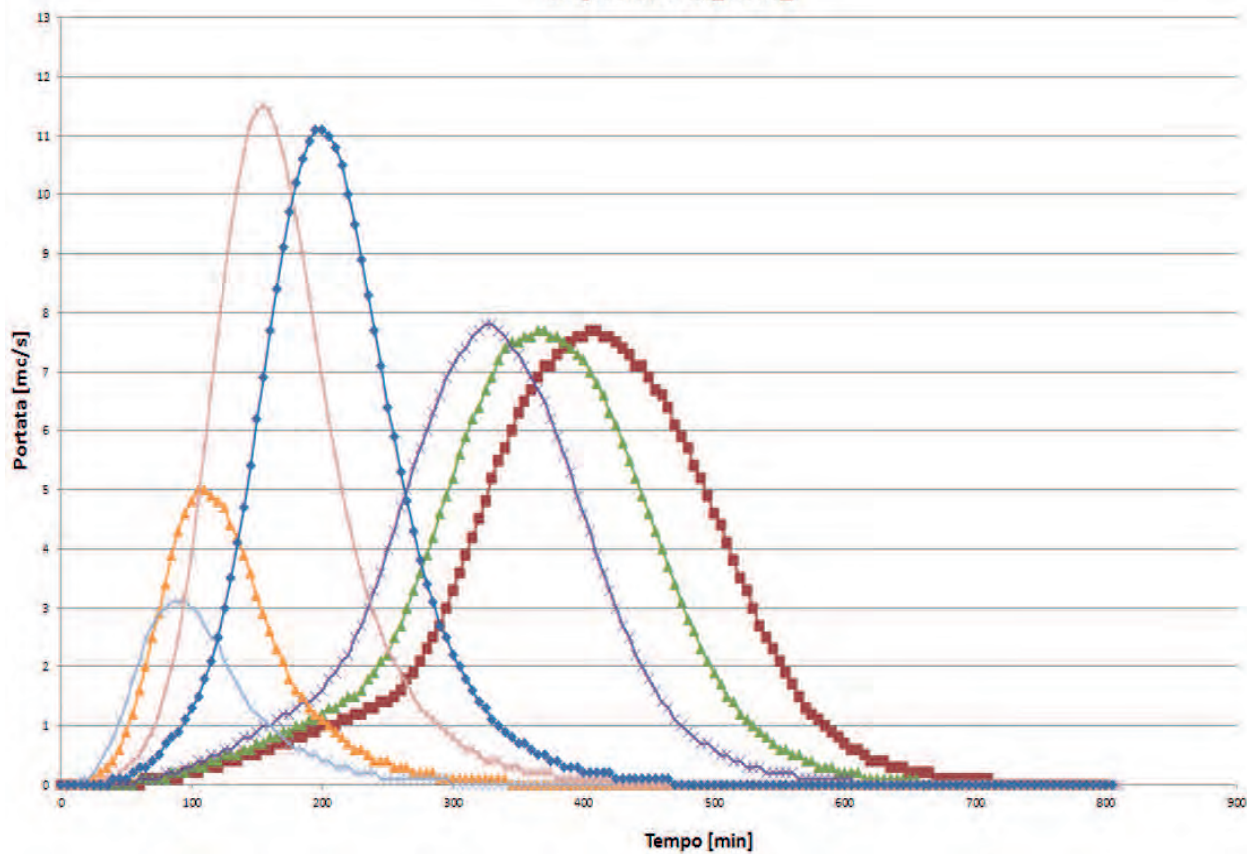
Di seguito si riportano gli idrogrammi di piena calcolati in funzione delle diverse durate di pioggia per ogni tempo di ritorno considerato per il bacino del T. Rino e per il bacino del T. Musia:

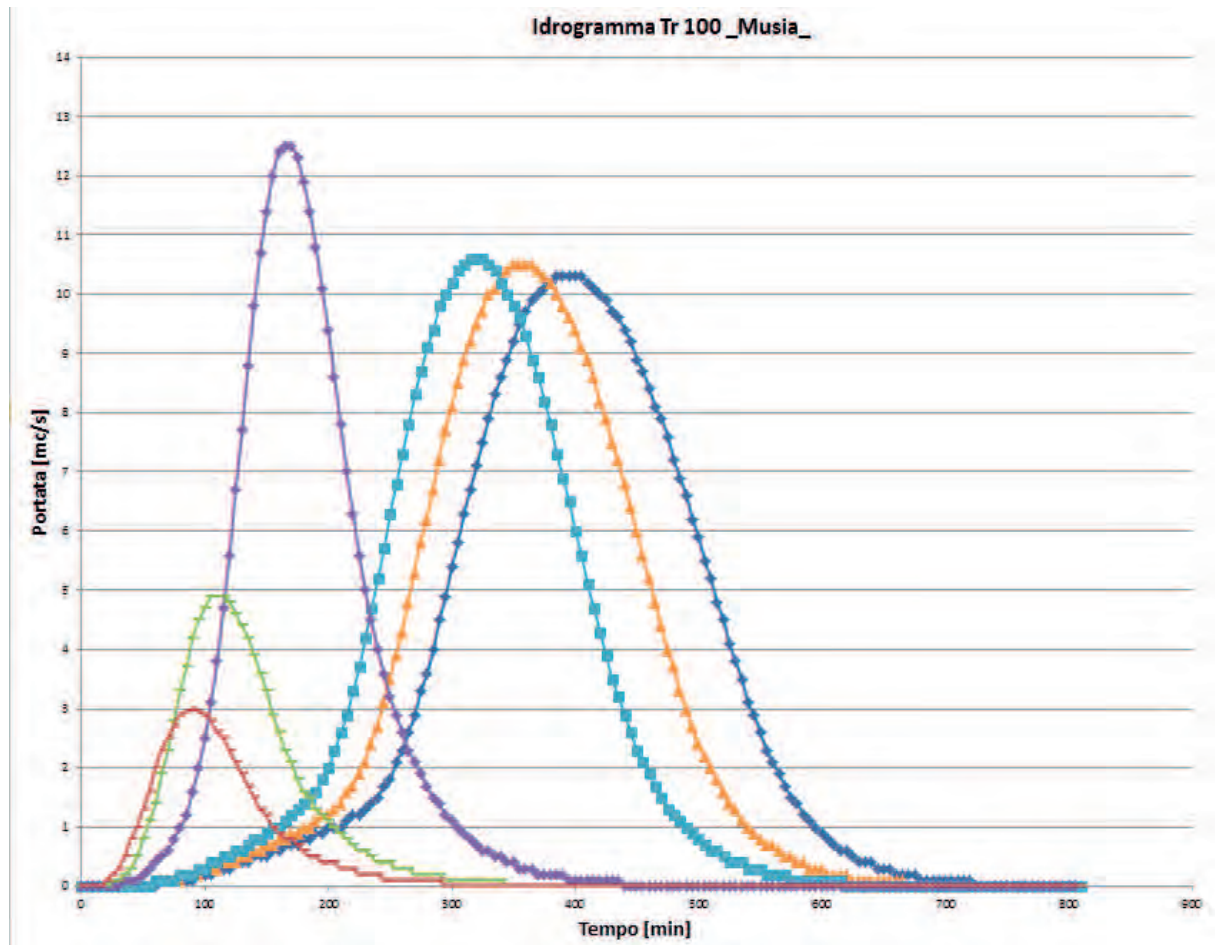


Idrogramma Tr 100- Rino



Idrogramma Tr 20_Musia_





B.4 ANALISI IDROGRAMMI DI PIENA

Analizzando gli idrogrammi di piena si possono estrapolare i volumi necessari per la progettazione delle vasche di laminazione per contenere le portate in arrivo che verranno introdotte e descritte nel prosieguo del progetto.

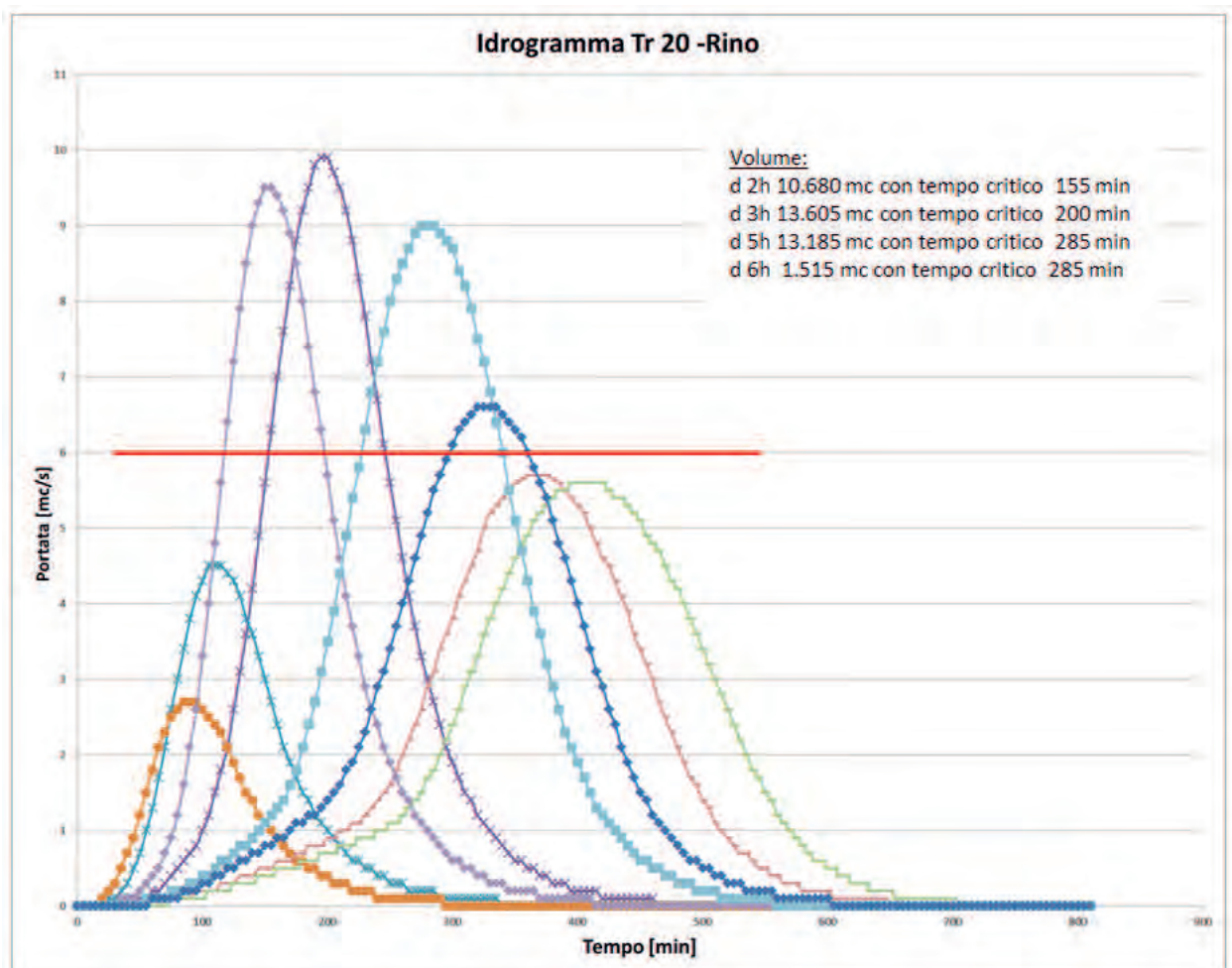
In particolare gli idrogrammi sono stati simulati considerando un tempo di ritorno pari a 20 e a 100 anni e differenti durate di pioggia.

A differenza del calcolo delle portate effettuato con il metodo razionale, con il metodo razionale modificato e con il metodo del CN, in cui si sono ricavate le portate per il bacino del Torrente Rino e le portate del Torrente Fontanone; gli idrogrammi di piena simulano l'andamento delle portate in funzione del tempo di pioggia per il ramo del Torrente Rino e per il Torrente Musia.

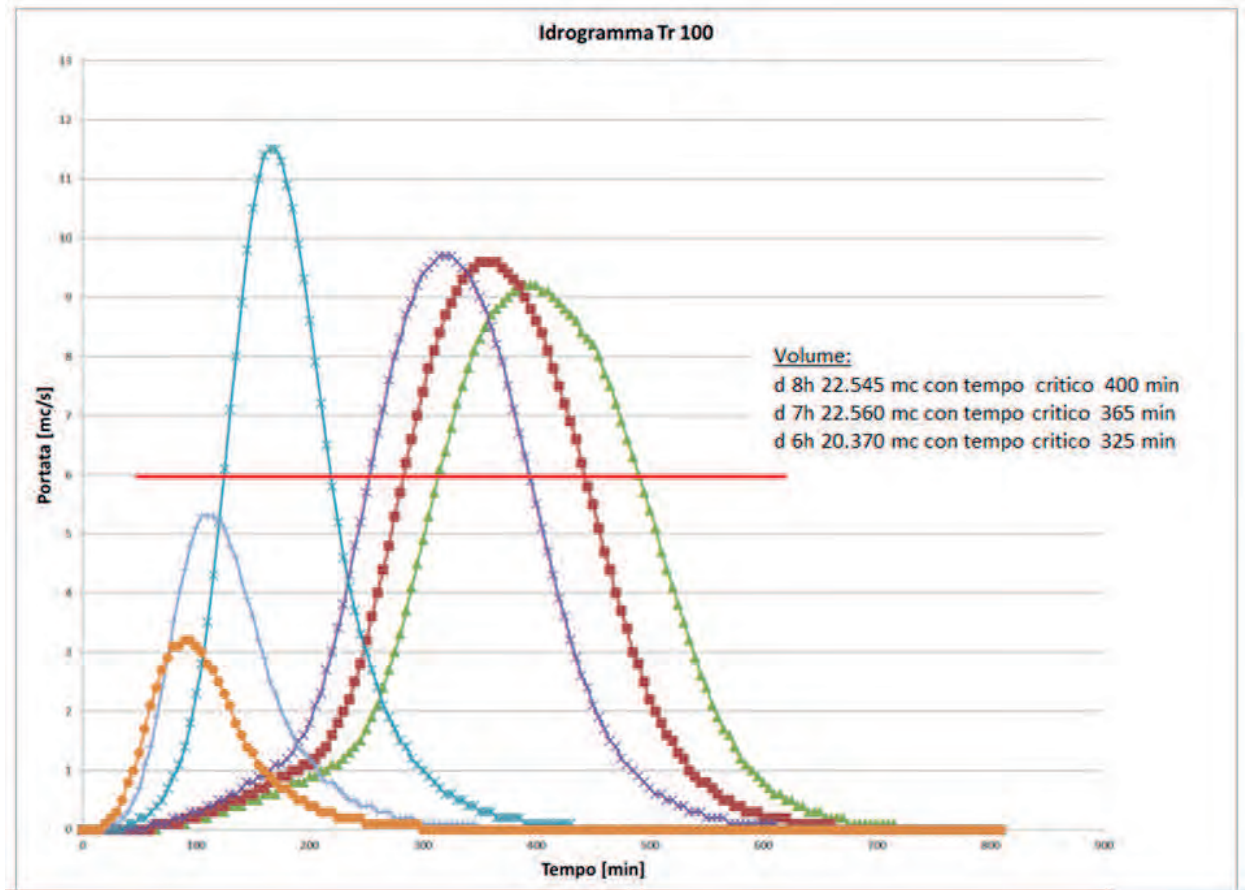
Il limite della portata transitabile per l'asta del Torrente Rino è stato posto pari a 6 mc/s, massima transitabile al ponte levatoio di Molinetto dopo adeguata manutenzione straordinaria, mentre

quello per l'asta del Torrente Musia è stato posto pari a 7 mc/s. portata massima transitabile dalle paratoie a valle della strada provinciale. I risultati ottenuti con relativo volume da invasare e tempo di durata critica sono riportati nei seguenti grafici.

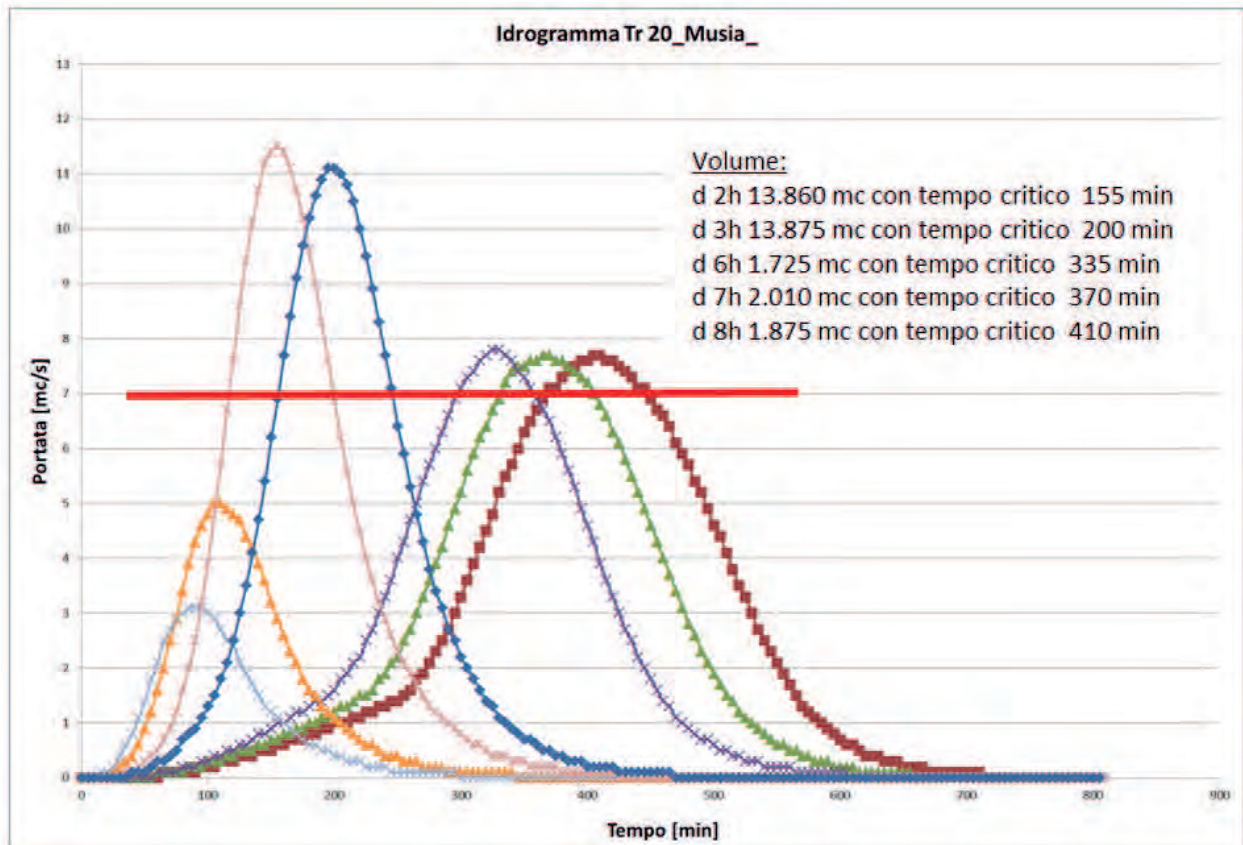
T. Rino con TR 20



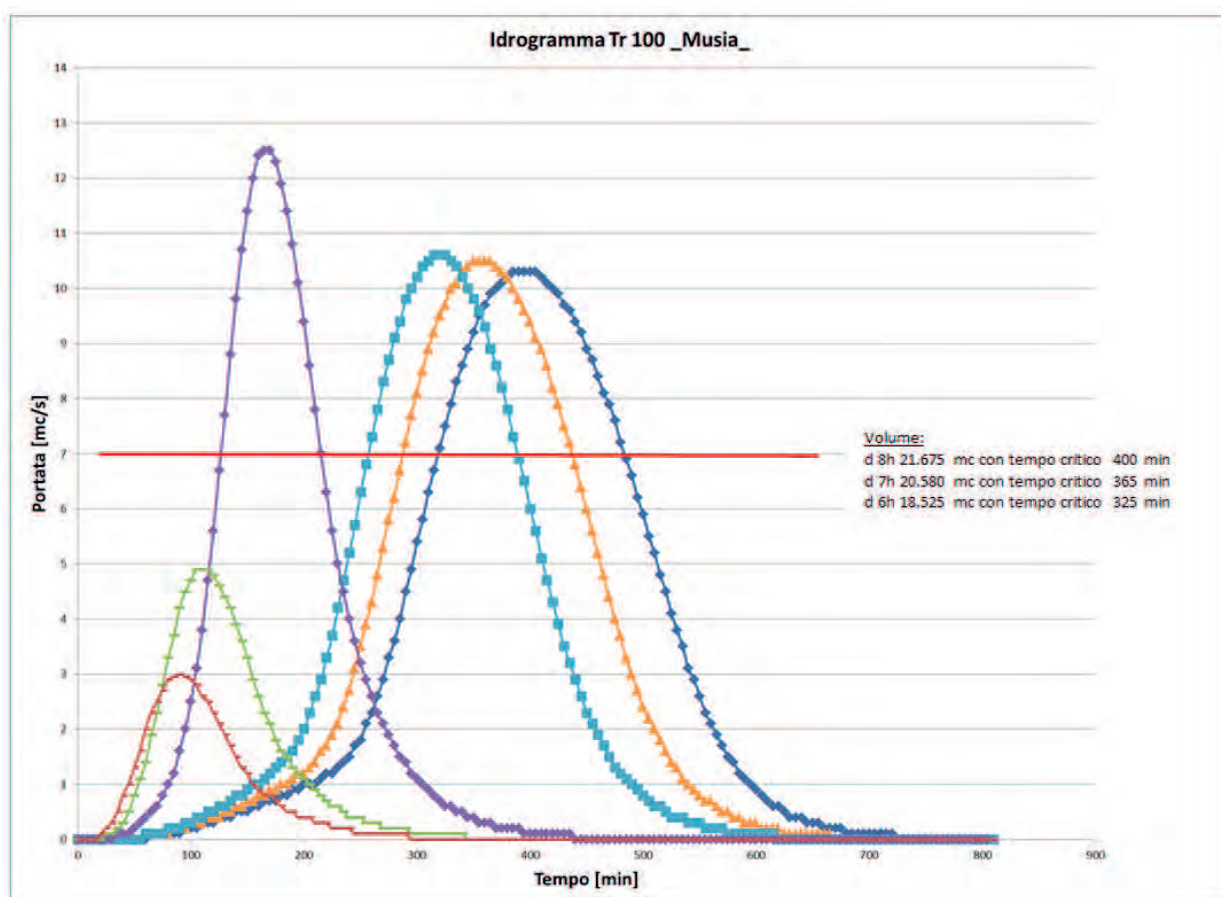
T. Rino con TR 100



T. Musia con TR 20



T. Musia con TR 100



Dai diagrammi sopra descritti prendendo in considerazione un tempo di ritorno di 100 anni (T100) risulta un volume (area sottesa alla curva dell'evento critico) delle vasche rispettivamente:

vasca 1 torrente Rino mc. **22.575**

vasca 2 torrente Musia mc. **21.675**

B.5 Verifica delle sezioni

La verifica delle sezioni viene effettuata mediante l'applicazione della formula di Chezy che determina la velocità e quindi la portata in una sezione tenendo conto della pendenza del raggio idraulico e della tipologia del materiale costituente le sponde ed il fondo del corso d'acqua

$$Q=A \times \sqrt{RJ}$$

Dove: A = area bagnata;

X = coefficiente di attrito dipendente dal raggio idraulico e dalla tipologia strutturale della superficie dell'alveo;

R = raggio idraulico definito quale rapporto tra l'area occupata dalla sezione ed il contorno bagnato ;

J= pendenza del fondo.

Viene sotto indicata la tabella delle portate di deflusso nelle sezioni esaminate e rappresentate nell'allegato specifico.

Tabella verifica sezioni

Portata (formula di Bazin)

	Base mag	Base min	H	Area (A)	perimetro bagnato	Raggio idraulico	Rad R	pendenza j	RadR*j	Coeff scabrezza Y	87*RadR/(Rad R+Y)	V=I*K	Q=A*V
Musia													
Sez. 1	6,6	6,6	1,7	11,2	10	1,122	1,05924501	0,002	0,04737088	0,36	64,93	3,08	34,51
Sez. 2A	2,1	2,1	1,5	3,15	5,1	0,617647	0,78590525	0,002	0,03514675	0,36	59,67	2,10	6,61
Sez. 2B	3,7	3,7	1,4	5,18	6,5	0,796923	0,89270548	0,002	0,039923	0,36	62,00	2,48	12,82
Sez. 3	3,7	3,7	1,5	5,55	6,7	0,828358	0,91014186	0,002	0,04070278	0,36	62,34	2,54	14,08
Sez. 4	3,2	3,2	1,2	3,68	5,2	0,707692	0,8412445	0,002	0,0376216	0,8	44,59	1,68	6,17
Sez. 5	5	2,8	1,6	6,24	6,8	0,917647	0,95793896	0,002	0,04284033	1,75	30,78	1,32	8,23
Sez. 6	5,2	3,2	1,7	7,14	7,3	0,978082	0,98898038	0,002	0,04422855	1,75	31,41	1,39	9,92
Sez. 7	5,8	3	1,8	7,92	6,8	1,164706	1,0792154	0,001	0,03412779	0,36	65,24	2,23	17,63
Sez. 8	3,25	3,25	1,4	4,55	6,25	0,728	0,85322916	0,001	0,02698148	0,36	61,18	1,65	7,51
Sez. 9	3,25	3,25	1,5	4,88	6,25	0,78	0,88317609	0,002	0,03949684	0,36	61,81	2,44	11,90
Sez. 10	4,6	3	1,7	6,46	6,4	1,009375	1,00467656	0,002	0,0449305	1,75	31,73	1,43	9,21
Sez. 11	5,5	5,5	1,5	8,25	8	1,03125	1,0155048	0,002	0,04541476	1,75	31,95	1,45	11,97
Sez. 12	7	5,5	1,6	10	9,1	1,098901	1,04828484	0,002	0,04688072	1,75	32,59	1,53	15,28
Sez. 13	6	2,8	1,8	7,92	6,8	1,164706	1,0792154	0,002	0,04826398	1,75	33,19	1,60	12,69
Sez. 14	5,4	2,7	1,8	7,29	6,3	1,157143	1,07570575	0,002	0,04810702	1,75	33,11	1,59	11,62
Sez. 15	5,4	2,5	1,8	7,11	6,3	1,128571	1,06234243	0,002	0,0475094	1,75	32,86	1,56	11,10
Sez. 16	6,8	2,6	2,5	11,8	7,6	1,546053	1,24340365	0,002	0,0556067	1,75	36,14	2,01	23,61
Sez. 17	5,6	3	1,6	6,88	6,6	1,042424	1,02099179	0,002	0,04566014	1,75	32,06	1,46	10,07
Sez. 18	5,2	2,6	2,1	8,19	7,2	1,1375	1,06653645	0,002	0,04769696	1,75	32,94	1,57	12,87
Sez. 19	6	2,4	2,2	9,24	7,2	1,283333	1,13284303	0,002	0,05066228	1,75	34,19	1,73	16,00
Sez. 20	5	1,9	2,1	7,25	6,5	1,114615	1,05575347	0,002	0,04721473	1,75	32,74	1,55	11,20
Sez. 21	5,4	2,6	1,6	6,4	6,8	0,941176	0,9701425	0,002	0,04338609	1,75	31,03	1,35	8,62
Sez. 22	5	2,6	1,8	6,84	6,6	1,036364	1,01801947	0,002	0,04552721	1,75	32,00	1,46	9,96
Sez 23/24	3	3	0,8	2,4	4,6	0,521739	0,72231512	0,002	0,03230291	0,36	58,06	1,88	4,50
Fontanone													
Sez 27	4	1,8	1,2	3,48	4,4	0,79090909	0,8893307	0,001	0,028123106	1,75	29,31	0,82	2,87
Sez 28	4	2,5	1	3,25	4,9	0,66326531	0,814441102	0,001	0,025753938	1,75	27,63	0,71	2,31
Sez 29	5	2,8	1	3,9	5,2	0,75	0,8660254	0,001	0,027386128	1,75	28,80	0,79	3,08
Sez 30	4,3	2	1,48	4,662	6,1	0,7642623	0,87422096	0,001	0,027645294	1,75	28,98	0,80	3,74
Sez 31	5	2,2	1,03	3,708	6,1	0,60786885	0,77965945	0,001	0,024654997	1,75	26,81	0,66	2,45
Sez 32	5,2	1,8	1,28	4,48	6,1	0,73442623	0,85698671	0,001	0,027100299	1,75	28,60	0,78	3,47

Dall'esame del tabulato risultano praticamente verificate tutte le sezioni del Musia a valle dello sfioratore della seconda vasca, salvo la sezione n 4 che dovrà essere ridimensionata mediante allargamento o sovrizzo degli argini nel tratto interessato in modo che possa contenere la portata massima di 7 mc/sec.

Analogamente anche per la sezione al ponte levatoio di Molinetto si dovrà procedere al suo adeguamento mediante riprofilatura del fondo aumentando il più possibile nei limiti morfologici la pendenza e procedere alla lisciatura del fondo stesso mediante malta cementizia onde aumentare la velocità di scorrimento dell'acqua e conseguentemente la portata massima prevista pari a 6 mc/sec.

Le sezioni del Fontanone nel tratto a valle della vasca di laminazione dovranno essere tutte adeguate al convogliamento della portata massima pari a 9,2 mc/sec.