



COMUNE DI SIENA

**STUDIO IDROLOGICO - IDRAULICO DEI TORRENTI TRESSA,
RILUOGO, BOZZONE, SORRA E SERPENNA NEL TERRITORIO
COMUNALE DI SIENA**

ET. 01* *RELAZIONE GENERALE

Agosto 2008 Rev.0

Progettista

Dott. Ing. CLAUDIO LOMBARDI

Collaboratori

Dott. Ing. ALESSIO GIUNTI

Dott. Ing. ALESSIO MAGAZZINI

Dott. Ing. ALBERTO NASTASI

Studio Tecnico Ing. CLAUDIO LOMBARDI

Strada di Busseto 18, 53100 SIENA (Italy)

T-F: +39 0577 47463

E: claudio.lombardi@sitingegneria.it

Indice

PREMESSA	3
STUDIO IDROLOGICO	4
ELABORAZIONI CON ALTO 2000.....	6
ELABORAZIONI CON ALTO 2000 GIS	9
RIEPILOGO DEI TRATTI PER CUI SI RITIENE ATTENDIBILE LO STUDIO CON ALTO 2000	17
METODO GIUH	18
STIMA DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO	19
IL METODO DEL CURVE NUMBER.....	19
APPLICAZIONE DEL MODELLO DI NASH E DETERMINAZIONE DELL'IDROGRAMMA DI PIENA	26
PIOGGE DI PROGETTO.....	28
SINTESI DEI RISULTATI.....	29
IDROGRAMMI DI PIENA UTILIZZATI PER LE VERIFICHE.....	32
<i>Torrente Tressa – tratto Tre.01</i>	32
<i>Torrente Tressa – tratto Tre.02</i>	34
<i>Torrente Riluogo – tratto Ril.01</i>	38
<i>Torrente Riluogo – tratto Ril.02</i>	42
<i>Torrente Bozzone – tratto Boz.01</i>	46
<i>Torrente Sorra – tratto Sor.01</i>	50
<i>F.sso Serpenna – tratto Ser01</i>	52
STUDIO IDRAULICO.....	53
APPLICATIVO HEC RAS 3.1.3	54
APPLICATIVO SWMM 5.0	55
COEFFICIENTI UTILIZZATI PER LE VERIFICHE IDRAULICHE	57
CONDIZIONI AL CONTORNO.....	58
MODELLAZIONE DI CONFLUENZE CON APPLICATIVO HEC RAS	60
MODELLAZIONE DEI PONTI CON APPLICATIVO HEC RAS	60
MODELLAZIONE DI CULVERT (TOMBINI) CON APPLICATIVO HEC RAS.....	60
RISULTATI DELLE VERIFICHE IDRAULICHE	61

Premessa

Il presente studio, su incarico del Comune di Siena, aggiorna e sostituisce il precedente studio consegnato nel Febbraio 2005 di corredo e supporto alla redazione del Piano Strutturale.

I corsi d'acqua interessati dallo studio risultano:

<i>tratto</i>	<i>corso d'acqua</i>	<i>Descrizione tratto</i>
Tre.01	T. Tressa	da svincolo Colonna S. Marco - Massetana Romana – zona Cerchiaia fino alla nuova rotonda variante Cassia (innesto SGC Siena - Grosseto)
Tre.02	T. Tressa	in corrispondenza della confluenza con il T. Arbia, a valle dell'abitato di Isola d'Arbia (zona ex Idit - depuratore comunale di Siena)
Ril.01	T. Riluogo	da zona edificio ex-Socini a svincolo Ruffolo - lotto 0
Ril.02	T. Riluogo	dalla confluenza con il T. Ribucciano fino alla confluenza con T. Arbia
Boz.01	T. Bozzone	dal ponte del raccordo autostradale Siena - Bettolle (zona Ropole) fino alla confluenza con T. Arbia
Sor.01	T. Sorra	tratto a monte e a valle della confluenza con T. Alfino, in corrispondenza dell'abitato di Pian delle Fornaci e dell'ippodromo comunale
Ser.01	F.sso Serpenna	località Volte Basse – Pian dei Mori al confine con il Comune di Sovicille (SI)

Il lavoro è articolato nelle seguenti fasi:

- studio idrologico, con individuazione delle portate e degli idrogrammi di piena significativi per Tr 20, 30 e 200 anni
- modellazione idraulica in regime di moto permanente o vario monodimensionale, con individuazione dei livelli di rischio idraulico per Tr20, 30 e 200 anni
- restituzione delle aree allagate per Tr 30 e 200 anni su base CTR 1:2000, CTR 1:5000 o rilievo topografico.

Per determinare le condizioni a contorno per le verifiche idrauliche relative a tratti di confluenza con il T. Arbia si è fatto riferimento allo studio di “Analisi della pericolosità idraulica del T. Arbia dal T. Massellone alla confluenza del F. Ombrone”, redatto dallo Studio Associato IIDEA di Prato (di seguito studio IIDEA), facente parte del quadro conoscitivo del Bacino Regionale del fiume Ombrone.

Studio idrologico

Lo studio idrologico per l'individuazione delle portate e degli idrogrammi di piena relativi ai Tr 20, 30 e 200 anni è stato effettuato utilizzando come riferimento l'applicativo AITo 2000, sviluppato dalla Regione Toscana (versione Aprile 2003), che implementa la metodologia ufficiale per la regionalizzazione delle portate di piena in Toscana.

L'applicativo AIto2000, integrato in ambiente ESRI-ArcGIS, che ne costituisce l'interfaccia geografica, applica le procedure di cui alla "Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana" [PIN, 1996 e s.m.i.], fondate sulle seguenti ipotesi metodologiche:

- modelli T.C.E.V. ed E.V.I. delle distribuzioni probabilistiche regionalizzate dei valori estremi di precipitazione (L.S.P.P. a 3 parametri);
- modello afflussi-deflussi lineare del tipo IUH (idrogramma di Nash);
- metodo dell'evento pluviometrico critico, cioè della determinazione della durata critica di pioggia che massimizza la portata al colmo per un assegnato tempo di ritorno;
- determinazione della pioggia efficace, ottenuta decurtando lo idrogramma della quota di perdite per assorbimento iniziale (Ia) e infiltrazione (Ks).

In ragione delle ridotte dimensioni di alcuni dei bacini idrografici in esame, sono state riscontrate delle anomalie legate alla corretta individuazione dei bacini stessi e dei parametri geomorfologici, nonché nella stima dei parametri della pioggia netta (o efficace).

Si è provveduto pertanto a rivedere, ove necessario, i parametri geomorfologici, disponendo delle informazioni della carta tecnica regionale (CTR 1:2000, 1:5000 e 1:10.000), e i coefficienti di deflusso, applicando il metodo del *Curve Number*, calcolando quindi gli idrogrammi di piena con il metodo dell'Idrogramma Istantaneo Unitario Geomorfologico (GIUH), basandosi sulle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica della stazione di Siena Poggio al Vento.

In sintesi lo studio idrologico:

- per i tratti di studio alla confluenza con il T. Arbia (T. Bozzone Boz.01, T. Riluogo Boz.02 e T. Tressa Tre.02), sono stati utilizzati gli idrogrammi generati con l'applicativo AIto 2000, utili in particolare per le verifiche relative al colmo dei torrenti alla confluenza con il T. Arbia (per il colmo del T. Arbia si dispone infatti dei livelli di rischio idraulico individuati dallo studio IIDEA, utilizzati come condizione al contorno di valle per i suddetti torrenti); sono state pertanto analizzate due condizioni (corrispondenti a due durate critiche di pioggia), una che massimizza le portate degli affluenti e l'altra che massimizza le portate del T. Arbia. In entrambi i casi, gli idrogrammi per le sezioni del T. Arbia a monte delle confluenze sono stati calcolati come differenza tra l'idrogramma di valle del T. Arbia e quello dell'affluente.
- per gli altri tratti di studio collocati a monte delle confluenze in Arbia (T. Tressa Tr.01, T. Riluogo Ril.01) o nei casi dei torrenti non direttamente tributari (T. Sorra Sor.01, F.sso Serpenna Ser.01) sono stati generati gli idrogrammi di piena applicando il metodo GIUH con il metodo del *Curve Number* (CN) per la stima del

coefficiente di deflusso; i dati geomorfologici in corrispondenza delle sezioni di chiusura finali ed intermedie sono stati dedotti da AITo 2000 e corretti quando ritenuti non congrui (T. Sorra, F.sso Serpenna, T. Riluogo).

Elaborazioni con AITo 2000

Si riportano di seguito le tabelle di sintesi delle portate al colmo elaborate con l'applicativo AITo2000 nelle sezioni di chiusura per le quali sono disponibili i parametri geomorfologici:

SIMBOLOGIA TABELLE RIASSUNTIVE

Parametri del bacino

ID	ID asta
Codice	Codice della D.C.R.T. 230/94
Nome	Denominazione del corso d'acqua;
Area	Area sottesa [kmq];
la	Perdita iniziale media sul bacino [mm];
Ks	Infiltrazione a saturazione media sul bacino [mm/ora];
N	parametro di forma dell'idrogramma di Nash;
K	parametro di scala dell'idrogramma di Nash [ore];
a1	parametro a1 della curva di possibilità pluviometrica per durate inferiori all'ora [mm/y ^m *h ⁿ];
n1	parametro n1 della curva di possibilità pluviometrica per durate inferiori all'ora;
m1	parametro m1 della curva di possibilità pluviometrica per durate inferiori all'ora;
a	parametro a della curva di possibilità pluviometrica per durate superiori all'ora [mm/y ^m *h ⁿ];
n	parametro n della curva di possibilità pluviometrica per durate superiori all'ora;
m	parametro m della curva di possibilità pluviometrica per durate superiori all'ora;
Qbase	portata di base [mc/s kmq];
Qmax	portata massima limite [mc/s] (se non indicata si assume che non vi sia limite).

Risultati elaborazione

ID	ID asta
Codice	Codice della D.C.R.T. 230/94;
Nome	Denominazione del corso d'acqua;
Tr[anni]	Tempo di ritorno;
Durata [h]	Durata evento;
Forma ieto	Intensità costante (0), Ietogramma Chicago (1);
Picco ieto	Tempo di picco dello ietogramma tipo Chicago;
Afflusso [mm]	Afflusso meteorico;
Intensità [mm/h]	Intensità media dell'evento;
Fa	Parametro a della formula di ragguglio areale;
Fb	Parametro b della formula di ragguglio areale;
Fc	Parametro c della formula di ragguglio areale;
Tipo calcolo Kr	Singola sezione (0), Globale (1), Fisso (2), Area fissa (3)
Area fissa [kmq]	Area fissa su cui calcolare il Kr
Kr	Valore del coefficiente di ragguglio areale;
Prec	precipitazione
Vol. lib.	volume libero nel suolo [mm]
Inf.tot.[mm]	Quantità di acqua che si infiltra nel suolo;
Defl.tot. [mm]	Deflusso, Afflusso ridotto meno Infiltrazione;
Q [mc/s]	Portata al colmo;
Max vol. [mc]	Massimo volume invasato nell'opera di laminazione [mc];
Max liv. [m]	Massimo livello nell'opera di laminazione [m];
Q valle [mc/s]	Portata al colmo a valle dall'opera di laminazione [mc/s].

3724 - Tressa monte (Acqua Calda)

ID	CODICE	NOME	Area [kmq]	la	Ks	N	K [h]	a1	n1	m1	a	n	m	Qbase [mc/skmq]	Qmax [mc/s]
3724	0	TRESSA	3.168	4.532	0.9	2.45	0.29	28.747	0.499	0.18	24.462	0.31	0.22	0	1000000

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Tipo Kr	Area Fissa	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defl tot [mm]	Q	MaxVol [mc]	Max Liv [mc]	Qvalle [mc/s]
3724	0	TRESSA	20	0.842	1	0.4	45.226	53.742	0.036	0.25	0.01	1	100	0.987	44.62	3.179	5.249	39.772	31.585	0	0	31.585
3724	0	TRESSA	30	0.962	1	0.4	51.602	53.665	0.036	0.25	0.01	1	100	0.987	50.929	3.134	5.348	45.982	34.626	0	0	34.626
3724	0	TRESSA	200	1.082	1	0.4	77.583	71.733	0.036	0.25	0.01	1	100	0.987	76.598	3.085	5.447	71.552	50.392	0	0	50.392

4133 - Riluogo monte Ravacciano

ID	CODICE	NOME	Area [kmq]	la	Ks	N	K [h]	a1	n1	m1	a	n	m	Qbase [mc/skmq]	Qmax [mc/s]
4133	0	RILUOGO	3.872	4.29	2.33	2.73	0.277	28.747	0.499	0.18	24.462	0.31	0.22	0	1000000

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Tipo Kr	Area Fissa	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defl tot [mm]	Q	MaxVol [mc]	Max Liv [mc]	Qvalle [mc/s]
4133	0	RILUOGO	20	0.892	1	0.4	46.064	51.651	0.036	0.25	0.01	1	100	0.984	45.32	3.619	6.189	39.529	36.814	0	0	36.814
4133	0	RILUOGO	30	0.952	1	0.4	51.441	54.044	0.036	0.25	0.01	1	100	0.984	50.622	3.597	6.315	44.705	40.516	0	0	40.516
4133	0	RILUOGO	200	1.132	1	0.4	79.362	70.119	0.036	0.25	0.01	1	100	0.985	78.147	3.529	6.695	71.85	59.516	0	0	59.516

5532 Sorra monte Alfino

ID	CODICE	NOME	Area [kmq]	la	Ks	N	K [h]	a1	n1	m1	a	n	m	Qbase [mc/skmq]	Qmax [mc/s]
5532	0	SORRA	2.24	4.774	2.17	1.146	0.534	28.747	0.499	0.18	24.462	0.31	0.22	0	1000000

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Tipo Kr	Area Fissa	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defl tot [mm]	Q	MaxVol [mc]	Max Liv [mc]	Qvalle [mc/s]
5532	0	SORRA	20	0.853	1	0.4	45.441	53.262	0.036	0.25	0.01	1	100	0.99	45.009	3.968	6.507	38.893	22.337	0	0	22.337
5532	0	SORRA	30	0.913	1	0.4	50.674	55.493	0.036	0.25	0.01	1	100	0.991	50.2	3.943	6.626	43.964	24.334	0	0	24.334
5532	0	SORRA	200	0.913	1	0.4	71.3	78.081	0.036	0.25	0.01	1	100	0.991	70.632	3.938	6.626	64.397	35.133	0	0	35.133

5727 Riluogo monte Ribucciano

ID	CODICE	NOME	Area [kmq]	la	Ks	N	K [h]	a1	n1	m1	a	n	m	Qbase [mc/skmq]	Qmax [mc/s]
5727	0	RILUOGO	11.44	3.96	1.83	2.678	0.65	28.747	0.499	0.18	24.462	0.31	0.22	0	1000000

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Tipo Kr	Area Fissa	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defl tot [mm]	Q	MaxVol [mc]	Max Liv [mc]	Qvalle [mc/s]
5727	0	RILUOGO	20	1.855	1	0.4	57.675	31.095	0.036	0.25	0.01	1	100	0.961	55.444	2.959	6.952	48.961	59.728	0	0	59.728
5727	0	RILUOGO	30	1.855	1	0.4	63.133	34.038	0.036	0.25	0.01	1	100	0.961	60.691	2.957	6.952	54.208	65.998	0	0	65.998
5727	0	RILUOGO	200	1.855	1	0.4	96.38	51.963	0.036	0.25	0.01	1	100	0.961	92.652	2.952	6.952	86.169	104.195	0	0	104.195

5809 Serpenna monte

ID	CODICE	NOME	Area [kmq]	la	Ks	N	K [h]	a1	n1	m1	a	n	m	Qbase [mc/skmq]	Qmax [mc/s]
5809	0	SERPENNA E DEL PONTE ALLO SPINO	0.528	10.626	2.33	1.847	0.146	28.747	0.499	0.18	24.462	0.31	0.22	0	1000000

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Tipo Kr	Area Fissa	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defl tot [mm]	Q	MaxVol [mc]	Max Liv [mc]	Qvalle [mc/s]
5809	0	SERPENNA E DEL PONTE ALLO SPINO	20	0.597	1	0.4	38.094	63.848	0.036	0.25	0.01	1	100	0.998	38.001	8.015	11.939	26.684	7.475	0	0	7.475
5809	0	SERPENNA E DEL PONTE ALLO SPINO	30	0.597	1	0.4	40.978	68.683	0.036	0.25	0.01	1	100	0.998	40.878	8.009	11.939	29.561	8.168	0	0	8.168
5809	0	SERPENNA E DEL PONTE ALLO SPINO	200	0.537	1	0.4	54.687	101.909	0.036	0.25	0.01	1	100	0.998	54.552	8.042	11.808	43.365	12.117	0	0	12.117

6210 Serpenna valle

ID	CODICE	NOME	Area [kmq]	la	Ks	N	K [h]	a1	n1	m1	a	n	m	Qbase [mc/skmq]	Qmax [mc/s]
6210	0	SERPENNA E DEL PONTE ALLO SPINO	5.456	4.708	1.43	2.596	0.458	28.747	0.499	0.18	24.462	0.31	0.22	0	1000000

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Tipo Kr	Area Fissa	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defl tot [mm]	Q	MaxVol [mc]	Max Liv [mc]	Qvalle [mc/s]
6210	0	SERPENNA E DEL PONTE ALLO SPINO	20	1.308	1	0.4	51.809	39.614	0.036	0.25	0.01	1	100	0.979	50.736	3.491	6.4	44.808	37.796	0	0	37.796
6210	0	SERPENNA E DEL PONTE ALLO SPINO	30	1.308	1	0.4	56.712	43.362	0.036	0.25	0.01	1	100	0.979	55.538	3.489	6.4	49.609	41.742	0	0	41.742
6210	0	SERPENNA E DEL PONTE ALLO SPINO	200	1.428	1	0.4	88.943	62.291	0.036	0.25	0.01	1	100	0.98	87.139	3.436	6.554	81.057	65.569	0	0	65.569

Elaborazioni con AITo 2000 GIS

Si riportano di seguito le elaborazioni effettuate con l'applicativo AITo 2000 GIS, in ambiente ESRI, sviluppato dalla Regione Toscana, nelle sezioni di chiusura dei bacini oggetto del presente studio.

Torrente Tressa – tratto Tre01

Parametri del bacino

ID	CODICE	NOME	Area [kmq]	la	Ks	N	K [h]	a1	n1	m1	a	n	m	Qbase [mc/skmq]	Qmax [mc/s]
5831	0	TRESSA	14.432	3.837	0.99	2.719	0.789	28.747	0.499	0.18	24.462	0.31	0.22	0	1000000

Portate calcolate

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defl tot [mm]	Qvalle [mc/s]
5831	0	TRESSA	20	2.36	1	0.4	62.101	26.316	0.036	0.25	0.01	0.955	59.299	2.612	5.896	53.882	66.678
5831	0	TRESSA	30	2.289	1	0.4	67.345	29.421	0.036	0.25	0.01	0.955	64.281	2.63	5.834	58.926	73.495
5831	0	TRESSA	200	2.289	1	0.4	102.81	44.914	0.036	0.25	0.01	0.955	98.133	2.625	5.834	92.778	115.009

Torrente Tressa – tratto Tre02

Parametri del bacino

ID	CODICE	NOME	Area [kmq]	la	Ks	N	K [h]	a1	n1	m1	a	n	m	Qbase [mc/skmq]	Qmax [mc/s]
6760	0	TRESSA	22.704	4.004	0.63	2.667	1.185	28.747	0.499	0.18	24.462	0.31	0.22	0	1000000

Portate calcolate – Evento critico per Torrente Tressa

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defl tot [mm]	Qvalle [mc/s]
6760	0	TRESSA	20	3.476	1	0.4	69.944	20.119	0.036	0.25	0.01	0.939	65.676	2.642	5.901	60.328	79.27
6760	0	TRESSA	30	3.476	1	0.4	76.563	22.023	0.036	0.25	0.01	0.939	71.891	2.641	5.901	66.543	87.298
6760	0	TRESSA	200	3.476	1	0.4	116.883	33.621	0.036	0.25	0.01	0.939	109.75	2.636	5.901	104.402	136.171

Portate calcolate – Evento critico per Torrente Arbia

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defl tot [mm]	Qvalle [mc/s]
6760	0	TRESSA	20	6.698	1	0.4	85.543	12.771	0.036	0.25	0.01	0.951	81.33	2.29	7.652	74.231	68.712
6760	0	TRESSA	30	6.698	1	0.4	93.639	13.98	0.036	0.25	0.01	0.951	89.026	2.288	7.652	81.927	75.595
6760	0	TRESSA	200	6.698	1	0.4	142.951	21.342	0.036	0.25	0.01	0.951	135.909	2.281	7.652	128.811	117.515

Torrente Riluogo - tratto Ril01

Parametri del bacino

ID	CODICE	NOME	Area [kmq]	la	Ks	N	K [h]	a1	n1	m1	a	n	m	Qbase [mc/skmq]	Qmax [mc/s]
5299	0	RILUOGO	8.448	4.217	2.03	2.696	0.522	28.747	0.499	0.18	24.462	0.31	0.22	0	1000000

Portate calcolate

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defl tot [mm]	Qvalle [mc/s]
5299	0	RILUOGO	20	1.488	1	0.4	53.903	36.224	0.036	0.25	0.01	0.969	52.252	3.299	6.93	45.789	51.358
5299	0	RILUOGO	30	1.488	1	0.4	59.004	39.652	0.036	0.25	0.01	0.969	57.197	3.297	6.93	50.734	56.780
5299	0	RILUOGO	200	1.488	1	0.4	90.077	60.534	0.036	0.25	0.01	0.969	87.318	3.291	6.93	80.855	89.778

Note:

L'individuazione del bacino idrografico del torrente Riluogo risulta errata, soprattutto nella parte a monte del Fosso di Ravacciano, così come la rappresentazione delle aste idrografiche e le loro interconnessioni, determinando un evidente errore nel calcolo dei parametri geomorfologici.

Torrente Riluogo - tratto Ril02

Parametri del bacino

ID	CODICE	NOME	Area [kmq]	la	Ks	N	K [h]	a1	n1	m1	a	n	m	Qbase [mc/skmq]	Qmax [mc/s]
5884	0	RILUOGO	21.8	3.696	1.05	2.271	0.74	1.68054	28.747	0.499	0.18	24.5	0.31	0.223	1000000

Portate calcolate – Evento critico per Torrente Riluogo

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defl tot [mm]	Qvalle [mc/s]
5884	0	RILUOGO	20	1.969	1	0.4	58.739	29.838	0.036	0.25	0.01	0.931	54.685	3.086	5.495	49.696	112.3
5884	0	RILUOGO	30	1.969	1	0.4	64.298	32.662	0.036	0.25	0.01	0.931	59.86	3.086	5.495	54.871	123.7
5884	0	RILUOGO	200	1.849	1	0.4	96.281	52.084	0.036	0.25	0.01	0.93	89.527	3.102	5.386	84.647	193.5

Portate calcolate – Evento critico per Torrente Arbia

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defl tot [mm]	Qvalle [mc/s]
5884	0	RILUOGO	20	6.345	1	0.4	84.133	13.26	0.036	0.25	0.01	0.952	80.06	3.06	9.476	71.09	70.6
5884	0	RILUOGO	30	6.345	1	0.4	92.095	14.515	0.036	0.25	0.01	0.952	87.636	3.059	9.476	78.667	77.8
5884	0	RILUOGO	200	6.345	1	0.4	140.595	22.158	0.036	0.25	0.01	0.952	133.788	3.056	9.476	124.818	121.7

Torrente Bozzone – tratto Boz01

Parametri del bacino

ID	CODICE	NOME	Area [kmq]	la	Ks	N	K [h]	a1	n1	m1	a	n	m	Qbase [mc/skmq]	Qmax [mc/s]
5762	0	BOZZONE	57.08	11.223	2.54	2.208	1.387	28.351	0.47	0.17	24.585	0.3	0.22	0	1000000

Portate calcolate – Evento critico per Torrente Bozzone

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defl tot [mm]	Qvalle [mc/s]
5762	0	BOZZONE	20	3.773	1	0.4	70.755	18.753	0.036	0.25	0.01	0.873	61.791	7.795	19.219	44.474	147.2
5762	0	BOZZONE	30	3.773	1	0.4	77.325	20.494	0.036	0.25	0.01	0.873	67.529	7.781	19.219	50.211	165.2
5762	0	BOZZONE	200	3.672	1	0.4	116.197	31.645	0.036	0.25	0.01	0.872	101.354	7.785	19.006	84.249	273.9

Portate calcolate – Evento critico per Torrente Arbia

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defl tot [mm]	Qvalle [mc/s]
5762	0	BOZZONE	20	6.124	1	0.4	81.899	13.374	0.036	0.25	0.01	0.892	73.048	9.26	24.183	50.766	135.0
5762	0	BOZZONE	30	6.124	1	0.4	89.504	14.615	0.036	0.25	0.01	0.892	79.831	9.25	24.187	57.544	151.4
5762	0	BOZZONE	200	6.124	1	0.4	135.607	22.143	0.036	0.25	0.01	0.892	120.95	9.216	24.214	98.637	249.8

Torrente Sorra – tratto Sor01

Parametri del bacino

ID	CODICE	NOME	Area [kmq]	la	Ks	N	K [h]	a1	n1	m1	a	n	m	Qbase [mc/skmq]	Qmax [mc/s]
5576	0	SORRA	3.872	4.3	2.11	2.166	0.593	28.747	0.499	0.18	24.462	0.31	0.22	0	1000000

Portate calcolate

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defl tot [mm]	Qvalle [mc/s]
5576	0	SORRA	20	1.413	1	0.4	53.052	37.549	0.036	0.25	0.01	0.985	52.281	3.037	7.023	45.656	24.386
5576	0	SORRA	30	1.413	1	0.4	58.073	41.102	0.036	0.25	0.01	0.985	57.228	3.035	7.023	50.603	26.968
5576	0	SORRA	200	1.413	1	0.4	88.65	62.744	0.036	0.25	0.01	0.985	87.361	3.027	7.023	80.737	42.686

Note:

La confluenza tra i Torrenti Sorra e Alfino non è correttamente individuata, determinando una imprecisione nelle aree drenanti. Risulta dalle elaborazioni una evidente sovrastima delle portate, in considerazione dell'elevato contributo areale.

Torrente Serpenna – tratto Ser01

Parametri del bacino

ID	CODICE	NOME	Area [kmq]	la	Ks	N	K [h]	a1	n1	m1	a	n	m	Qbase [mc/skmq]	Qmax [mc/s]
5789	0	SERPENNA E DEL PONTE ALLO SPINO	2.816	4.675	1.74	2.747	0.243	28.747	0.499	0.18	24.462	0.31	0.22	0	1000000

Portate calcolate

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defi tot [mm]	Qvalle [mc/s]
5789	0	SERPENNA E DEL PONTE ALLO SPINO	20	0.854	1	0.4	45.459	53.214	0.036	0.25	0.01	0.988	44.918	2.897	6.038	39.283	29.418
5789	0	SERPENNA E DEL PONTE ALLO SPINO	30	0.914	1	0.4	50.705	55.459	0.036	0.25	0.01	0.988	50.11	2.849	6.133	44.38	32.193
5789	0	SERPENNA E DEL PONTE ALLO SPINO	200	1.004	1	0.4	74.766	74.448	0.036	0.25	0.01	0.989	73.906	2.771	6.277	68.032	46.548

Note:

Le aree drenanti di valle del Torrente Serpenna non sono correttamente individuate, in relazione alle ridotte dimensioni del bacino in esame che non consentono di rappresentare la densità e le connessioni del reticolo di drenaggio minore (scoline, canalette...). Risulta dalle elaborazioni una evidente sovrastima delle portate, in considerazione dell'elevato contributo areale.

Di seguito si riportano anche i risultati per le sezioni del torrente Arbia a valle della confluenza con i torrenti Bozzone, Rilugo e Tressa, relativi agli scenari di progetto per la modellazione delle confluenze descritti in precedenza.

Torrente Arbia – tratto Arb01

Parametri del bacino

ID	CODICE	NOME	Area [kmq]	la	Ks	N	K [h]	a1	n1	m1	a	n	m	Qbase [mc/skmq]	Qmax [mc/s]
5883	0	ARBIA	297.52	14.177	2.63	2.008	2.338	26.618	0.38	0.16	25.145	0.28	0.2	0	1000000

Portate calcolate – Evento critico per Torrente Arbia

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defl tot [mm]	Qvalle [mc/s]
5883	0	ARBIA	20	6.124	1	0.4	76.356	12.468	0.036	0.25	0.01	0.772	58.912	11.478	26.442	35.887	399.4
5883	0	ARBIA	30	6.124	1	0.4	82.874	13.532	0.036	0.25	0.01	0.772	63.941	11.462	26.446	40.912	451.6
5883	0	ARBIA	200	6.124	1	0.4	121.576	19.852	0.036	0.25	0.01	0.772	93.801	11.407	26.466	70.752	758.8

Portate calcolate – Evento critico per Torrente Bozzone

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defl tot [mm]	Qvalle [mc/s]
5883	0	ARBIA	20	3.773	1	0.4	66.705	17.679	0.036	0.25	0.01	0.731	48.778	12.11	21.848	30.348	371.6
5883	0	ARBIA	30	3.773	1	0.4	72.398	19.188	0.036	0.25	0.01	0.731	52.941	12.1	21.848	34.511	421.1
5883	0	ARBIA	200	3.672	1	0.4	101.86	27.74	0.036	0.25	0.01	0.729	74.251	12.101	21.608	56.06	678.3

Torrente Arbia – tratto Arb02

Parametri del bacino

ID	CODICE	NOME	Area [kmq]	la	Ks	N	K [h]	a1	n1	m1	a	n	m	Qbase [mc/skmq]	Qmax [mc/s]
6666	0	ARBIA	323.68	13.327	2.5	2.071	2.469	26.795	0.39	0.16	25.088	0.28	0.2	0	1000000

Portate calcolate – Evento critico per Torrente Arbia

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defl tot [mm]	Qvalle [mc/s]
6666	0	ARBIA	20	6.345	1	0.4	77.688	12.245	0.036	0.25	0.01	0.771	59.888	10.725	25.341	37.816	425.0
6666	0	ARBIA	30	6.345	1	0.4	84.387	13.301	0.036	0.25	0.01	0.771	65.052	10.712	25.341	42.98	479.7
6666	0	ARBIA	200	6.345	1	0.4	124.266	19.586	0.036	0.25	0.01	0.771	95.794	10.666	25.341	73.722	802.6

Portate calcolate – Evento critico per Torrente Riluogo

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Defl tot [mm]	Qvalle [mc/s]
6666	0	ARBIA	20	1.969	1	0.4	55.919	28.4	0.036	0.25	0.01	0.67	37.489	11.847	17.181	23.578	303.1
6666	0	ARBIA	30	1.969	1	0.4	60.138	30.542	0.036	0.25	0.01	0.67	40.318	11.843	17.181	26.407	339.2
6666	0	ARBIA	200	1.849	1	0.4	79.492	42.992	0.036	0.25	0.01	0.665	52.853	11.859	16.954	39.168	502.7

Torrente Arbia – tratto Arb03

Parametri del bacino

ID	CODICE	NOME	Area [kmq]	la	Ks	N	K [h]	a1	n1	m1	a	n	m	Qbase [mc/skmq]	Qmax [mc/s]
6682	0	ARBIA	345.52	12.72	2.4	2.094	2.491	26.922	0.397	0.16	25.047	0.28	0.21	0	1000000

Portate calcolate – Evento critico per Torrente Arbia

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Def tot [mm]	Qvalle [mc/s]
6682	0	ARBIA	20	6.698	1	0.4	79.288	11.838	0.036	0.25	0.01	0.773	61.287	10.137	24.828	39.622	459.8
6682	0	ARBIA	30	6.698	1	0.4	86.16	12.864	0.036	0.25	0.01	0.773	66.599	10.125	24.828	44.934	517.8
6682	0	ARBIA	200	6.698	1	0.4	127.117	18.979	0.036	0.25	0.01	0.773	98.258	10.082	24.828	76.593	861.4

Portate calcolate – Evento critico per Torrente Tressa

ID	CODICE	NOME	Tr	Durata [h]	Forma leto	Picco leto	Afflusso [mm]	Intensità [mm]	Fa	Fb	Fc	Kr	Prec	Vol lib [mm]	Inf tot [mm]	Def tot [mm]	Qvalle [mc/s]
6682	0	ARBIA	20	3.475	1	0.4	65.85	18.95	0.036	0.25	0.01	0.717	47.231	10.947	18.99	31.404	410.6
6682	0	ARBIA	30	3.475	1	0.4	71.558	20.592	0.036	0.25	0.01	0.717	51.325	10.94	18.99	35.498	463.1
6682	0	ARBIA	200	3.475	1	0.4	103.046	29.654	0.036	0.25	0.01	0.717	73.91	10.915	18.99	58.083	751.4

Riepilogo dei tratti per cui si ritiene attendibile lo studio con AITO 2000

Per le considerazioni espresse nelle note precedenti, poiché i risultati delle elaborazioni di AITo 2000 GIS non risultano attendibili per alcuni dei tratti in esame, in ragione di inesatte individuazioni dei bacini idrografici e delle aste drenanti e, conseguentemente, nella stima dei parametri geomorfologici, si ritengono valide le elaborazioni con tale applicativo per i seguenti tratti:

- Torrente Tressa tratto Tre.02, confluenza con torrente Arbia;
- Torrente Rilugo tratto Ril.02, confluenza con torrente Arbia;
- Torrente Bozzone tratto Boz.01, confluenza con torrente Arbia.

Metodo GIUH

Per i bacini per i quali non risultavano coerenti le elaborazioni di AlTo2000, gli idrogrammi di piena sono stati calcolati mediante il metodo del GIUH (*idrogramma unitario di piena geomorfologico*).

Per i tratti T. Tressa – Tre.01 e T. Riluogo – Ril.01, al fine di tener conto nella modellazione idraulica del contributo degli affluenti laterali alla portata di piena, sono stati a loro volta suddivisi in altri sotto-tratti di cui sono stati calcolati gli idrogrammi specifici relativamente ai bacini sottesi, con piogge con durata critica compatibile con quella del bacino di valle.

Il coefficiente di deflusso è stato ottenuto tramite il metodo del Curve Number (CN), mentre i parametri geomorfologici sono stati utilizzati quelli di AlTo, ove ritenuti corretti (Torrente Sorra e Torrente Tressa), o calcolati attraverso le formule del Rosso, mediante i parametri di Horton, determinati su base cartografica CTR (Torrente Riluogo e Fosso Serpenna).

Si riportano i tratti per cui è stato utilizzato il metodo del GIUH, con le specifiche di calcolo degli idrogrammi di piena in caso di sottobacini:

- Torrente Tressa Tre.01:
 - T. Tressa Tre01.a – a monte del Fosso dei Tufi
 - T. Tressa Tre01.b – a monte del Fosso di Valdimontone
 - T. Tressa Tre01.c – a valle del Fosso di Valdimontone
 - T. Tressa Tre01.d – a chiusura del tratto di studio

Per la coerenza e la continuità degli idrogrammi, la durata critica per le piogge dei bacini di monte è stata assunta come quella che massimizza la portata nella sezione di chiusura (Tre01.d).

- Torrente Riluogo Ril.01:
 - T. Riluogo Ril01.a - a monte complesso ex-Socini
 - T. Riluogo Ril01.b – a monte del Fosso di Ravacciano
 - T. Riluogo Ril01.c - a monte del Fosso della Tombola
 - T. Riluogo Ril01.d - a monte del Fosso del Paradiso
 - T. Riluogo Ril01.e – a valle dei Fossi Tombola e Paradiso
 - T. Riluogo Ril01.f - a chiusura del tratto di studio (a monte del Fosso Borrino)

Poiché la simulazione idraulica del tratto Ril01 è stata suddivisa in due parti (effettuata inoltre con due applicativi differenti), per consentire una migliore rappresentazione dei tratti tombati di monte e a cielo aperto di valle, anche i sotto-tratti suddetti presentano una durata critica delle piogge tale da garantire la coerenza degli idrogrammi. In particolare, i sotto-tratti *Ril01.a*, *Ril01.b*, *Ril01.c*, *Ril01.d*, *Ril01.e* simulati con l'applicativo EPA-SWMM5.0, presentano una durata di pioggia critica che massimizza le portate alla chiusura del tratto *Ril01.e*. Il tratto, invece *Ril01.f* ha una durata critica diversa e tale da massimizzare le proprie portate di piena a chiusura. La differenza tra i picchi dei due idrogrammi *Ril01.e* e *Ril01.f* è stata applicata in modo distribuito lungo l'asta.

- Torrente Sorra Sor.01
- Fosso Serpenna Ser.01

Stima del coefficiente di deflusso

Il metodo del Curve Number

Il coefficiente di deflusso è stato individuato utilizzando il metodo del Curve Number (CN), sviluppato dal *Soil Conservation Service* americano (SCS).

Tale metodo si colloca a metà strada fra i modelli basati sul calcolo delle perdite per infiltrazione in un punto, quindi coerentemente utilizzabili in approcci distribuiti e semidistribuiti, ed i modelli formulati in maniera da essere specificatamente utilizzati in approcci integrati, secondo la teoria esposta di seguito.

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

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

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 ed 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:

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

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

$$I_a = \beta S$$

con valori tipici di β compresi tra 0,1 e 0,3. Il SCS propone per l'intercettazione iniziale: $I_a = 0.2 S$

Il nucleo fondamentale di tutto il metodo è costituito dal parametro S, che a sua volta viene espresso in funzione di un indice dimensionale CN, detto appunto curve number, che a sua volta viene 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 viene fatto dipendere dall'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 terreno¹:

- *gruppo A*: terreni sabbiosi molto permeabili
- *gruppo B*: terreni franchi moderatamente permeabili, depositi sabbiosi superficiali;
- *gruppo C*: terreni franco – limosi poco permeabili: argille di medio impasto, ad elevato tenore di argilla;
- *gruppo D*: 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; 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:

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

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

¹ Vedi Manuale di Ingegneria Civile, Ed.ni ESA C- Zanichelli, Vol. I - Sezione Idraulica – Idrologia Tecnica.

Pr la determinazione del CN2 dei bacini dei fossi esaminati sono stati utilizzati i dati provenienti dalla carta di uso del suolo², corretta con la carta litologica³ per l'individuazione del gruppo (A, B, C, D) del terreno previsto dal metodo.

² Copertura della Provincia di Siena, scala 1:25.000.

³ Copertura della Provincia di Siena, scala 1:25.000.











Carta della Litologia



Legenda

 Aste principali

Litologia


-  al, depositi alluvionali
-  d, detriti e discariche
-  fla, flysch arenacei
-  flag, flysch argillitici
-  flcm, flysch calcareo marnosi
-  ma, argille sabbiose
-  pa, argille
-  pc, conglomerati
-  pcg, sabbia con intercalazione di argille e ciottoli
-  tr, depositi colluviali

















0 500 1 000 2 000 3 000 4 000
Metri

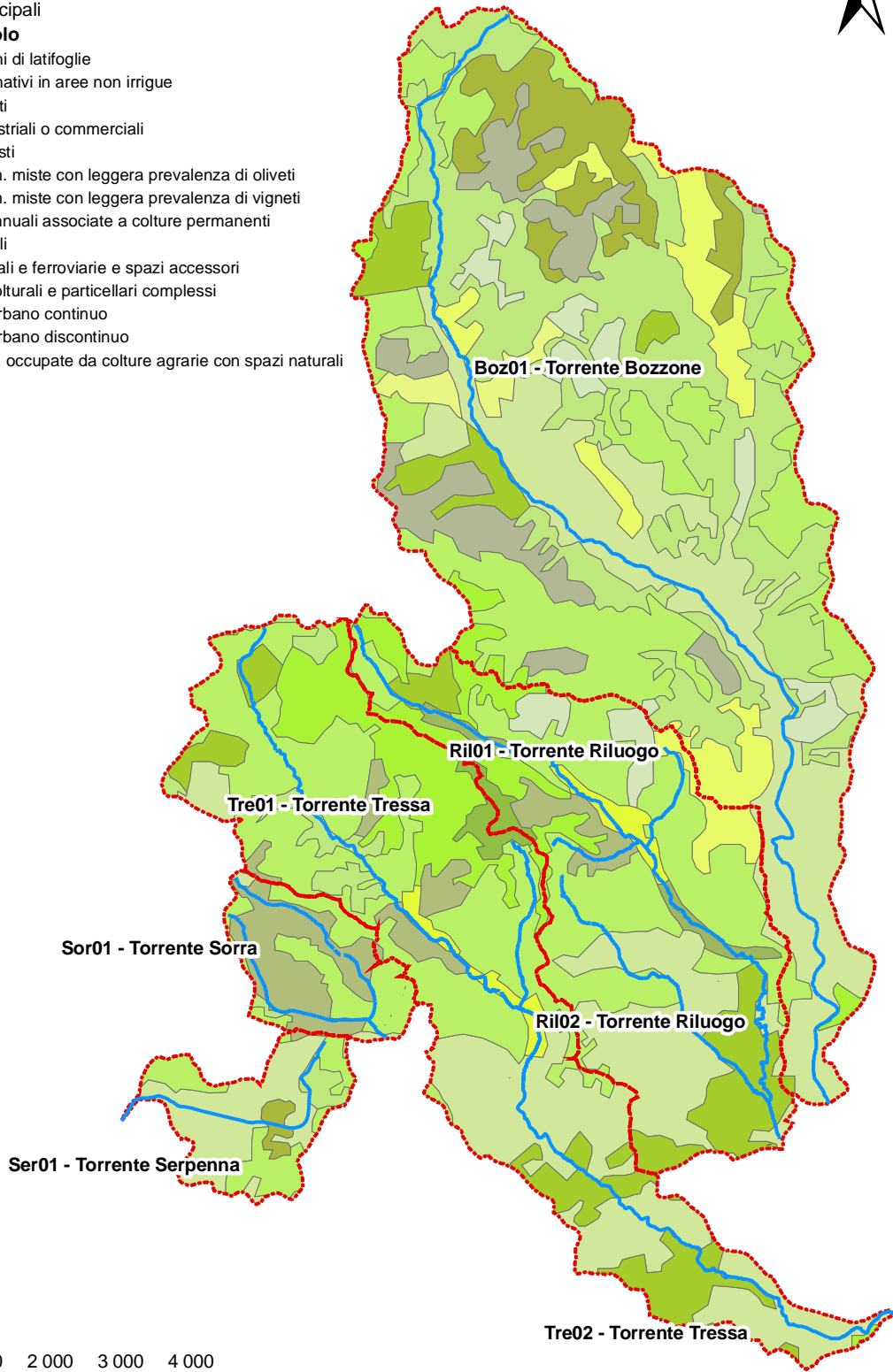
Carta dell'uso del suolo

Legenda

 Aste principali

Uso del Suolo

-  Altri boschi di latifoglie
-  Altri seminativi in aree non irrigue
-  Altri vigneti
-  Aree industriali o commerciali
-  Boschi misti
-  Colt. perm. miste con leggera prevalenza di oliveti
-  Colt. perm. miste con leggera prevalenza di vigneti
-  Colture annuali associate a colture permanenti
-  Prati stabili
-  Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori
-  Sistemi culturali e particellari complessi
-  Tessuto urbano continuo
-  Tessuto urbano discontinuo
-  Aree prev. occupate da colture agrarie con spazi naturali





0 500 1 000 2 000 3 000 4 000
Metri

Carta del CN





























Legenda

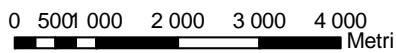
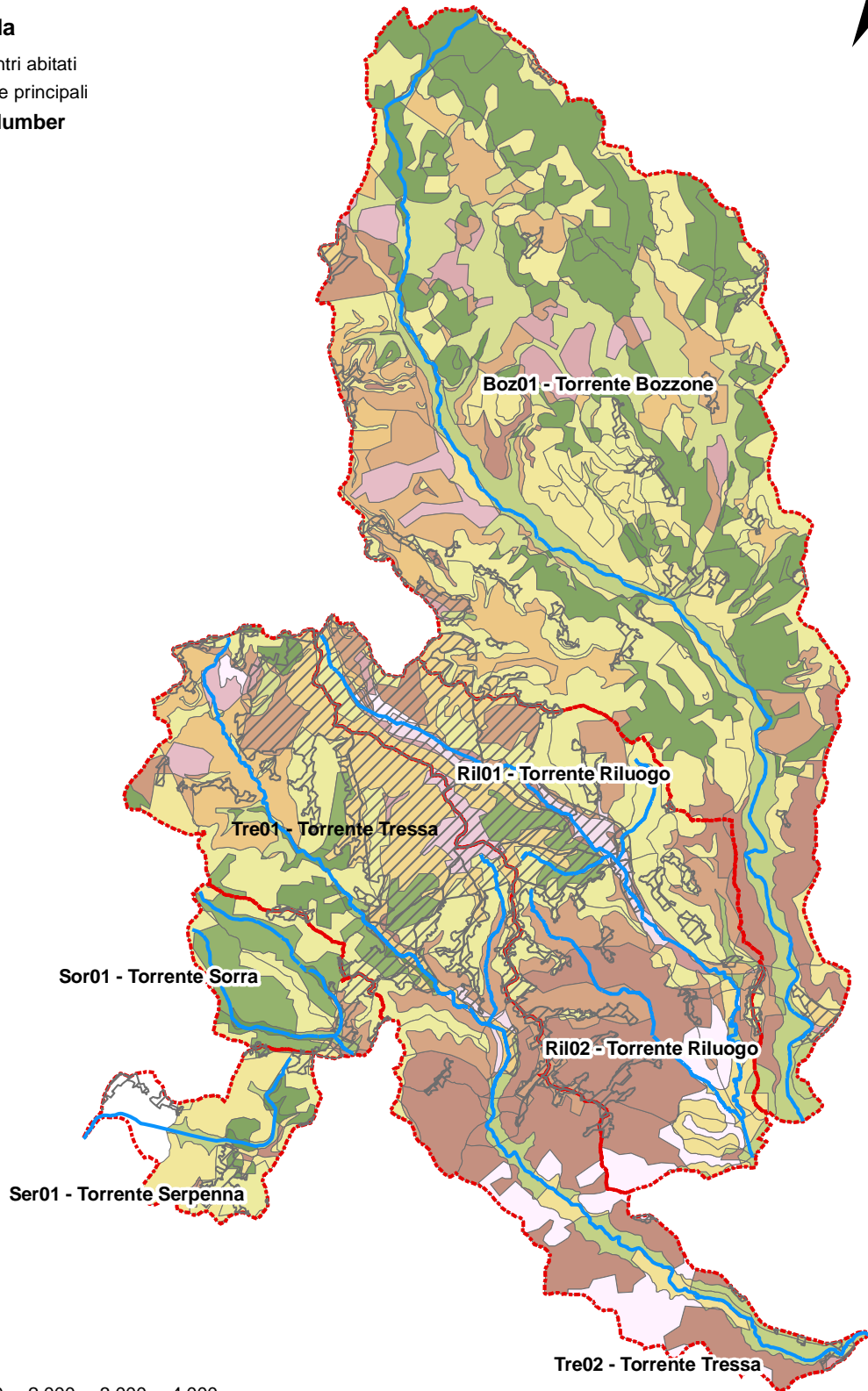
 Centri abitati

 Aste principali

Curve Number

CN2

-  30
-  55
-  58
-  63
-  65
-  70
-  74
-  75
-  76
-  77
-  78
-  80
-  81
-  82
-  83
-  84
-  85
-  86
-  87
-  88
-  89
-  90
-  91
-  92
-  93
-  94



Le verifiche idrauliche sono state effettuate in riferimento alle condizioni idrologiche di suolo saturo (CN3) individuate per la generazione degli idrogrammi di piena.

Tali condizioni risultano particolarmente cautelative, considerando che l'evento di piena si realizzi con scrosci di massima intensità (basati sulle curve di possibilità pluviometrica con assegnato tempo di ritorno) applicati su un bacino idrografico con condizioni di suolo saturo.

Applicazione del modello di Nash e determinazione dell'idrogramma di piena

L'idrogramma unitario di piena (IUH) può essere interpretato formalmente come l'idrogramma della piena provocata da una precipitazione di durata infinitesima e di volume unitario. La forma dell'IUH 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 del tipo:

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

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 ($p(t)$):

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

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 il parametro di forma n 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:

$$V(t) = kQ(t)$$

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:

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

L'integrale di convoluzione può essere sostituito da una sommatoria discreta di valori medi su intervalli di tempo discreti e alle variabili continue t e τ i numeri di ordine k e j , secondo l'espressione seguente:

$$q(k) = \sum_{j=1}^k p(j) h(k-j+1) \Delta t$$

per $k = 1 \dots n$ e $j = 1 \dots m$

Mentre i parametri n e K possono variare in funzione del tipo di evento, il loro prodotto (tempo di ritardo, distanza tra i baricentri dello ietogramma e dell'idrogramma) è più stabile e risulta caratteristico per il bacino in esame.

Per la stima dei parametri n e k si è ricorso ai dati individuati nello Studio di Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana (tramite AITo2000), disponibili per alcune sezioni dei principali corsi d'acqua, basati sui parametri geomorfologici secondo Horton – Stralher.

Per i bacini del Torrente Riluogo e del Fosso Serpenna, i parametri n e k sono stati stimati tramite le formule del Rosso, a partire dalla gerarchizzazione di Horton delle aste idrografiche, su base cartografica CTR.

Piogge di progetto

Le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica, inerenti le piogge di progetto (afflussi), basate sull'analisi dalle serie storiche disponibili (dati aggiornati al 1998), sono state desunte dall'*Analisi delle precipitazioni intense delle stazioni del compartimento di Pisa*, pubblicate a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento dei Servizi Tecnici Nazionali, secondo la forma:

$$h = a t^n T_r^m$$

con

h = altezza di precipitazione [mm]

t = durata [ore]

T_r = tempo di ritorno [anni]

I dati riassuntivi per la stazione di riferimento (Siena Poggio al Vento) sono riportati nella tabella seguente:

		<i>t > 1 ora</i>			<i>T < 1 ora</i>		
		<i>a</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>m</i>
2660	Siena – Poggio al Vento	23,972	0,300	0,209	28,747	0,499	0,178

Sintesi dei risultati

Di seguito sono riportati i parametri caratteristici dei bacini e la sintesi dei risultati ottenuti.

Torrente Tressa – tratto Tre.01

Parametri dei bacini

Cod.	Descrizione	Area	CN1	CN2	CN3
		[kmq]	[-]	[-]	[-]
Tre01.a	a monte F. dei Tufi	13.2	57.8	75.9	88.0
Tre01.b	a monte F. Valdimontone	15.1	58.0	76.0	88.1
Tre01.c	a valle del Fosso di Valdimontone	17.3	58.8	76.7	88.4
Tre01.d	a chiusura tratto studio	19.7	60.1	77.6	89.0

Portate calcolate

Cod.	Descrizione	Tr	Dcr	Tp	Qvalle	q unitaria
		[anni]	[h]	[h]	[mc/s]	[mc/s kmq]
Tre01.a	a monte F. dei Tufi	20	2.6	2.86	44.70	3.4
		30	2.6	2.86	50.80	3.9
		200	2.6	2.86	89.10	6.8
Tre01.b	a monte F. Valdimontone	20	2.6	2.86	47.60	3.2
		30	2.6	2.86	54.10	3.6
		200	2.6	2.86	94.70	6.3
Tre01.c	a valle del Fosso di Valdimontone	20	2.6	3.12	52.90	3.1
		30	2.6	3.12	60.00	3.5
		200	2.6	3.12	104.60	6.1
Tre01.d	a chiusura tratto studio	20	2.6	3.12	59.50	3.0
		30	2.6	3.12	67.40	3.4
		200	2.6	3.12	116.20	5.9

Torrente Riluogo – tratto Ril.01

Parametri dei bacini

Cod.	Descrizione	Area	CN1	CN2	CN3
		[kmq]	[-]	[-]	[-]
Ril01.a	a monte ex-Socini	2.8	66.8	82.2	91.5
Ril01.b	a monte F. di Ravacciano	4.3	65.5	81.4	91.0
Ril01.c	a monte F. della Tombola	7.2	63.1	79.7	90.1
Ril01.d	a monte F. del Paradiso	7.9	61.8	78.8	89.7
Ril01.e	a valle dei F. Tombola e Paradiso	8.6	61.4	78.5	89.5
Ril01.f	a chiusura. Monte F.Borrino	10.3	61.7	78.7	89.6

Portate calcolate

Cod.	Descrizione	Tr	Dcr	Tp	Qvalle	q unitaria
		[anni]	[h]	[h]	[mc/s]	[mc/s kmq]
Ril01.a	a monte ex-Socini	20	0.96	1.248	20.10	7.1
		30	0.96	1.248	22.30	7.8
		200	0.96	1.248	35.50	12.5
Ril01.b	a monte F. di Ravacciano	20	0.96	1.248	27.40	6.4
		30	0.96	1.248	30.50	7.1
		200	0.96	1.248	48.70	11.3
Ril01.c	a monte F. della Tombola	20	0.96	1.344	37.30	5.2
		30	0.96	1.344	41.60	5.7
		200	0.96	1.344	67.50	9.3
Ril01.d	a monte F. del Paradiso	20	0.96	1.344	38.70	4.9
		30	0.96	1.344	43.20	5.4
		200	0.96	1.344	70.60	8.9
Ril01.e	a valle dei F. Tombola e Paradiso	20	0.96	1.344	40.60	4.7
		30	0.96	1.344	45.40	5.3
		200	0.96	1.344	74.40	8.6
Ril01.f	a chiusura. Monte F.Borrino	20	1.65	1.98	40.7	4.0
		30	1.65	1.98	46.4	4.5
		200	1.65	1.98	82.3	8.0

Torrente Sorra – tratto Sor.01

Parametri del bacino

ID	Descrizione	Area	N	K	TI
		[kmq]	[-]	[h]	[h]
5576	SORRA	4.254	2.166	0.593	1.28

Portate calcolate

ID	Descrizione	Tr	Dcr	Tp	Qvalle	q unitaria
		[anni]	[h]	[h]	[mc/s]	[mc/s kmq]
5576	SORRA	20	1	1.3	10.4	2.4
		30	1	1.3	12.0	2.8
		200	1	1.3	22.4	5.3

Fosso Serpenna – tratto Ser.01

Parametri del bacino

ID	Descrizione	Area	N	K	TI
		[kmq]	[-]	[h]	[h]
5789	SERPENNA E DEL PONTE ALLO SPINO	3.46	2.980	0.5048	1.504

Portate calcolate

ID	Descrizione	Tr	Dcr	Tp	Qvalle	q unitaria
		[anni]	[h]	[h]	[mc/s]	[mc/s kmq]
5789	SERPENNA E DEL PONTE ALLO SPINO	20	1.4	1.82	9.97	2.9
		30	1.4	1.82	11.60	3.4
		200	1.609	2.09	22.30	6.4

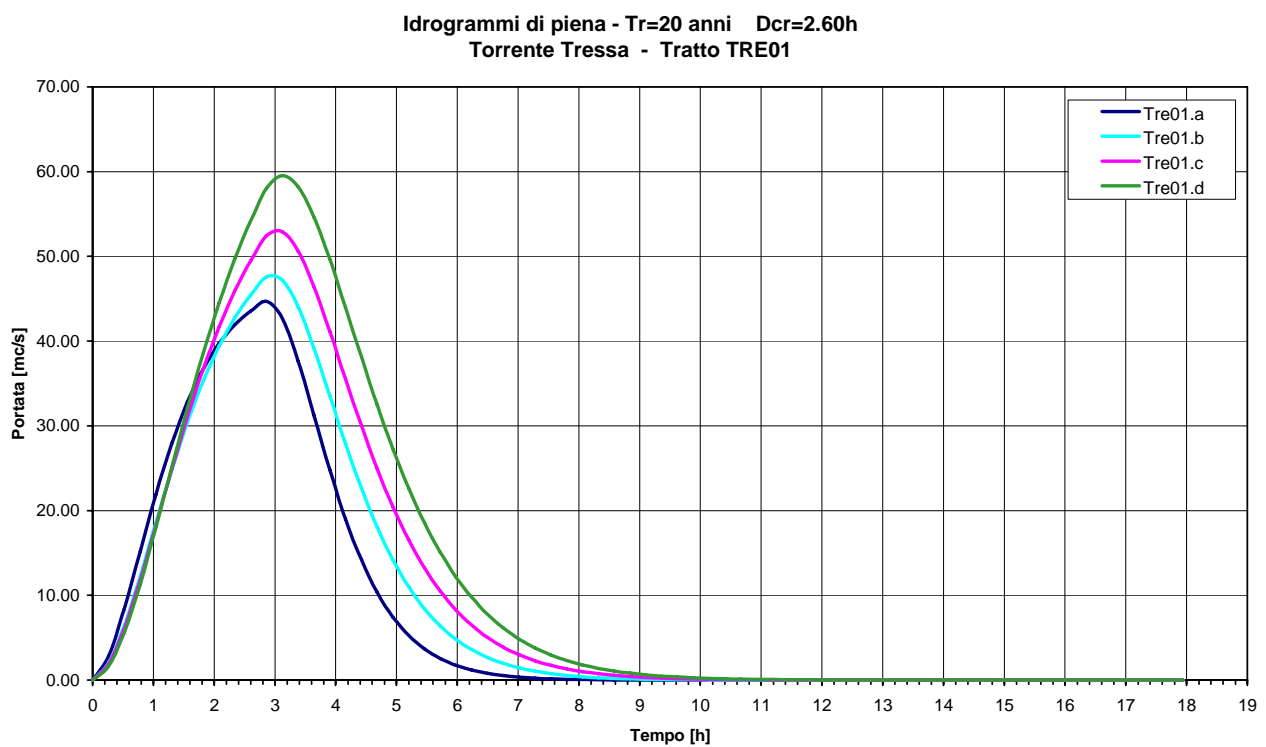
Idrogrammi di piena utilizzati per le verifiche

Torrente Tressa – tratto Tre.01

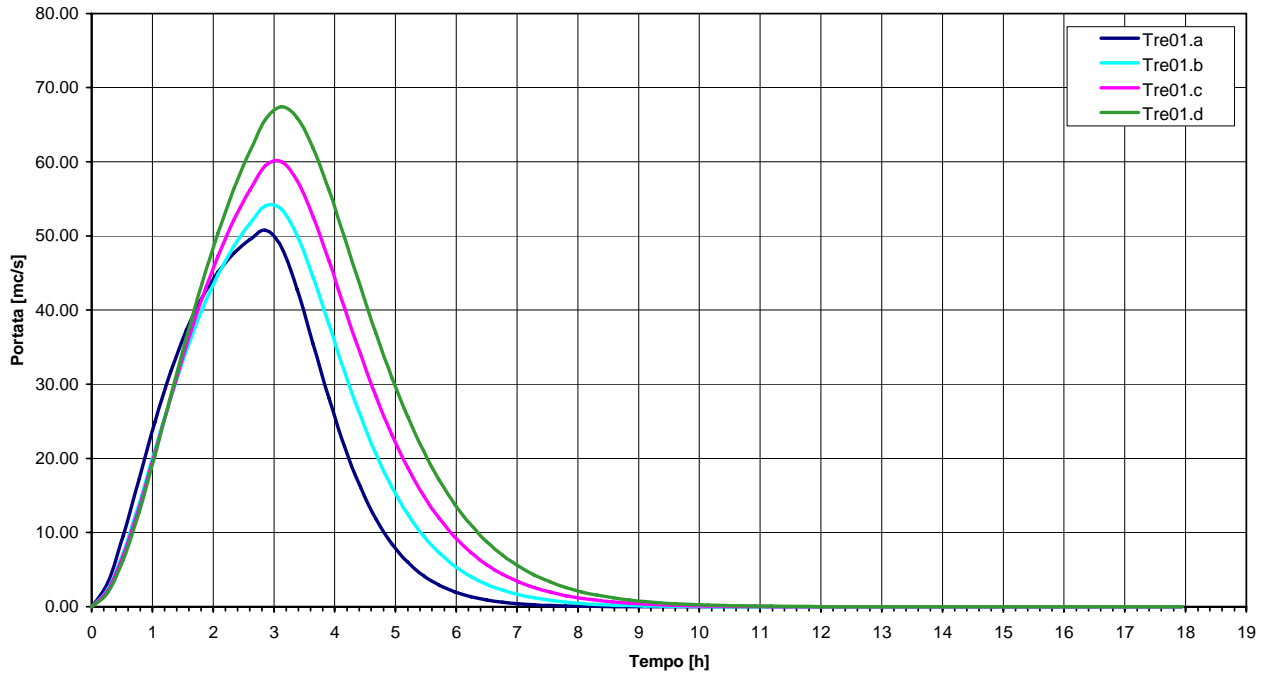
I tratti in studio risultano:

- Tre.01.a - Torrente Tressa a monte del fosso di Val di Tufi
- Tre.01.b - Torrente Tressa a monte del Fosso di Val di Montone
- Tre.01.c - Torrente Tressa a valle del Fosso di Val di Montone
- Tre.01.d - Torrente Tressa a valle finale

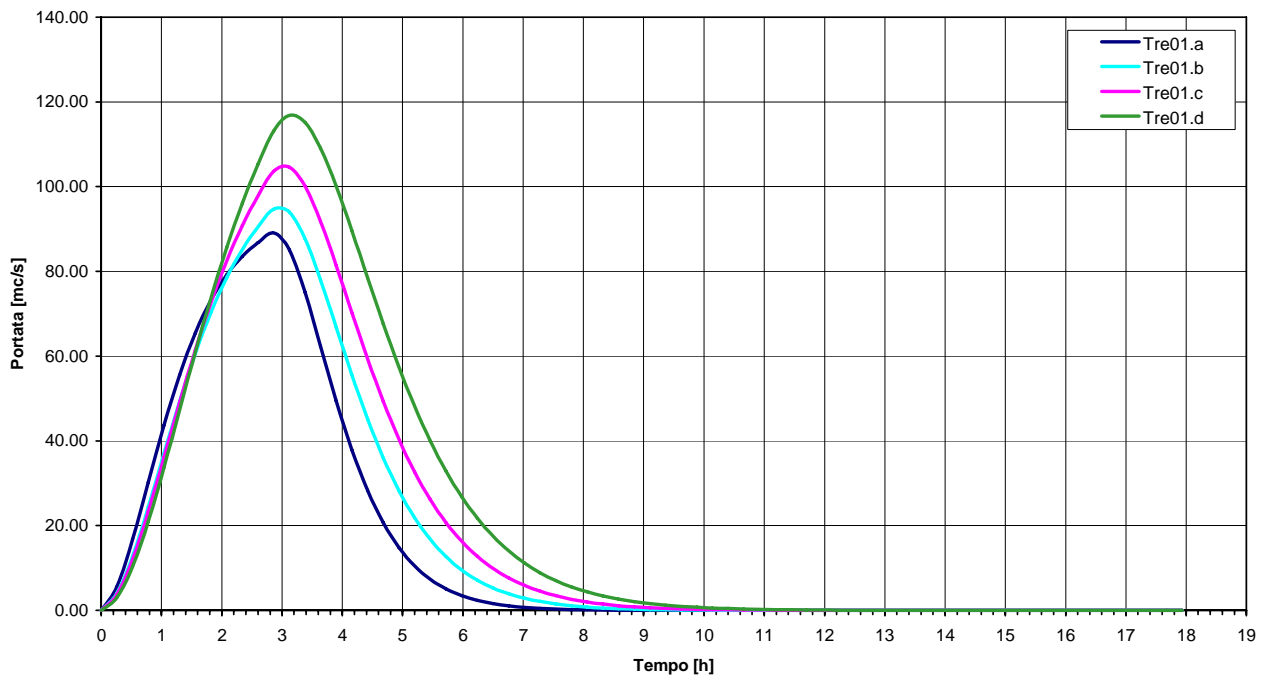
Gli idrogrammi sono calcolati per la durata critica che massimizza le portate del T. Tressa → Dcr = 2,60 h.



Idrogrammi di piena - Tr=30 anni Dcr=2.60h
Torrente Tressa - Tratto TRE01



Idrogrammi di piena - Tr=200 anni Dcr=2.60h
Torrente Tressa - Tratto TRE01



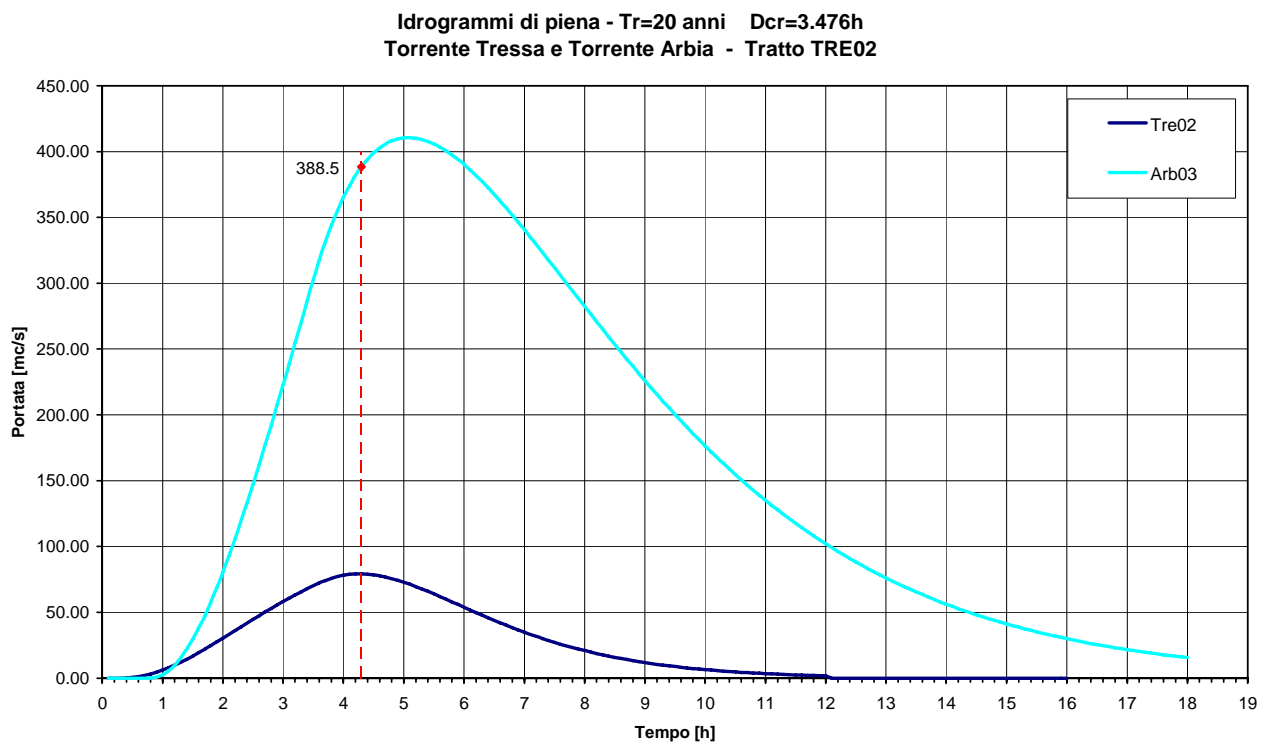
Torrente Tressa – tratto Tre.02

Gli idrogrammi sono calcolati per la durata critica che massimizza le portate del T. Arbia e per la durata critica che massimizza le portate del T. Tressa a monte della confluenza.

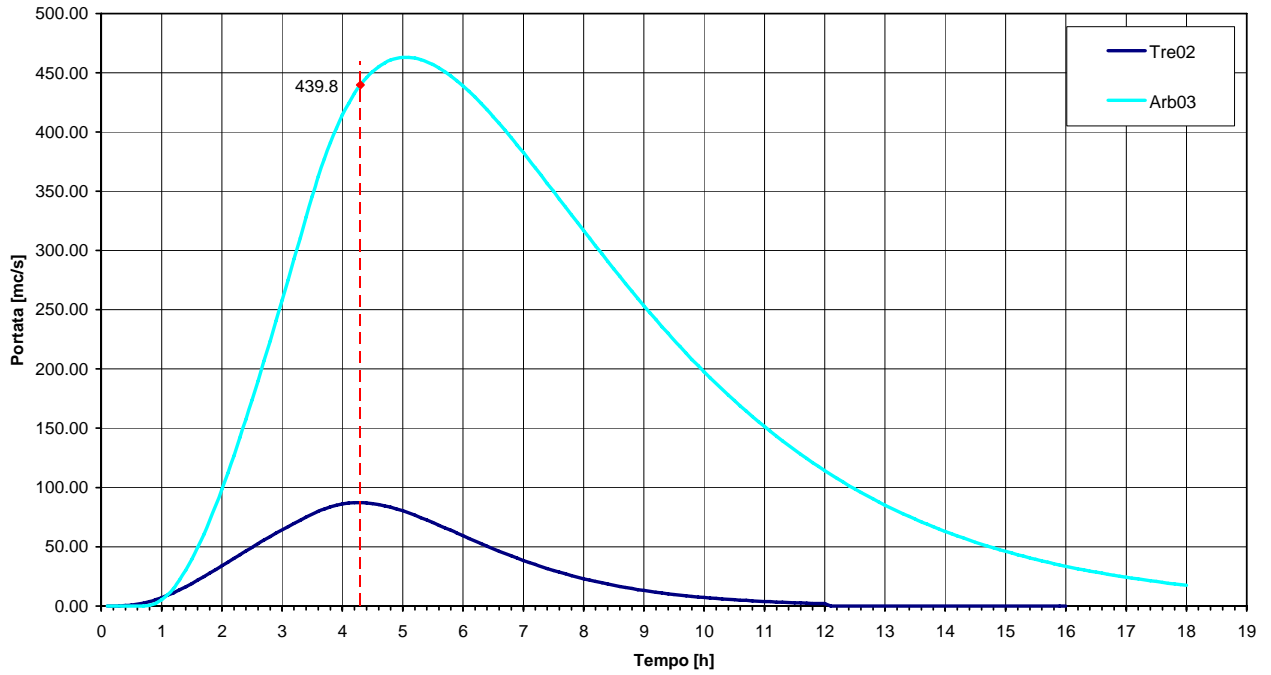
Tre.02 - Torrente Tressa a monte del T. Arbia

Arb.03 - Torrente Arbia a valle del T. Tressa

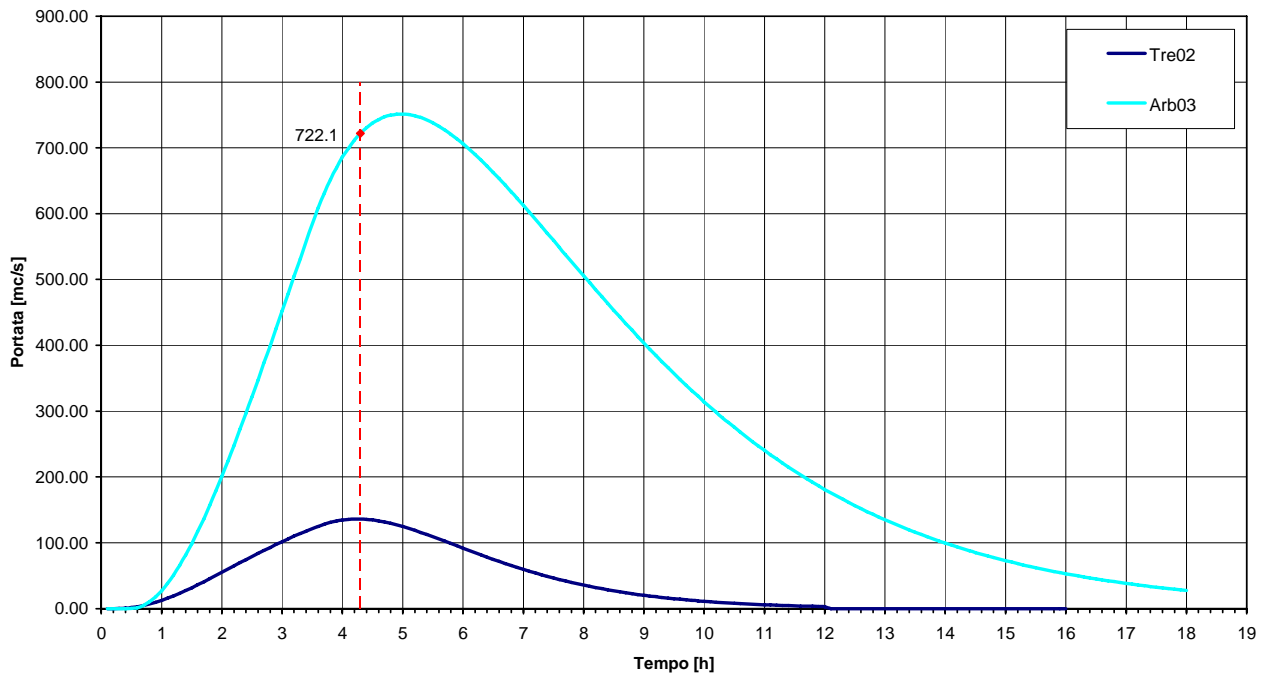
Si riportano di seguito gli idrogrammi calcolati per la durata critica che massimizza le portate del T. Tressa → Dcr = 3,48 h.



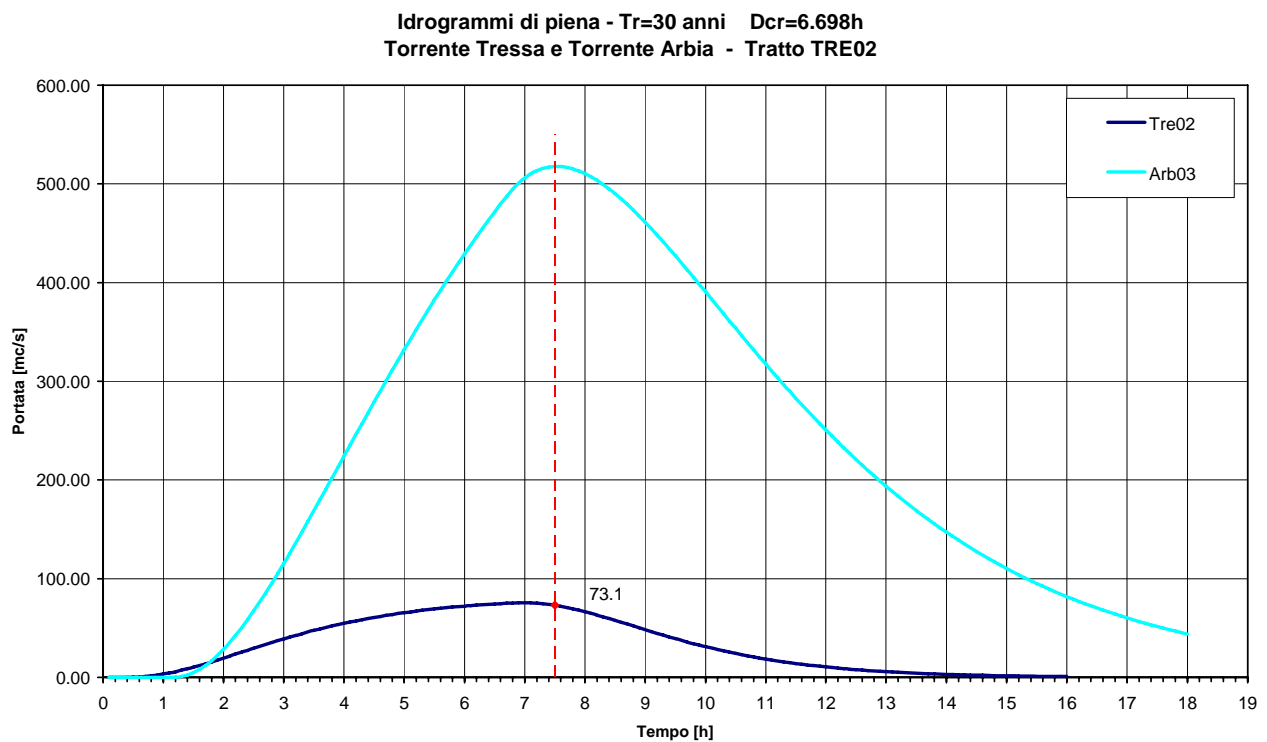
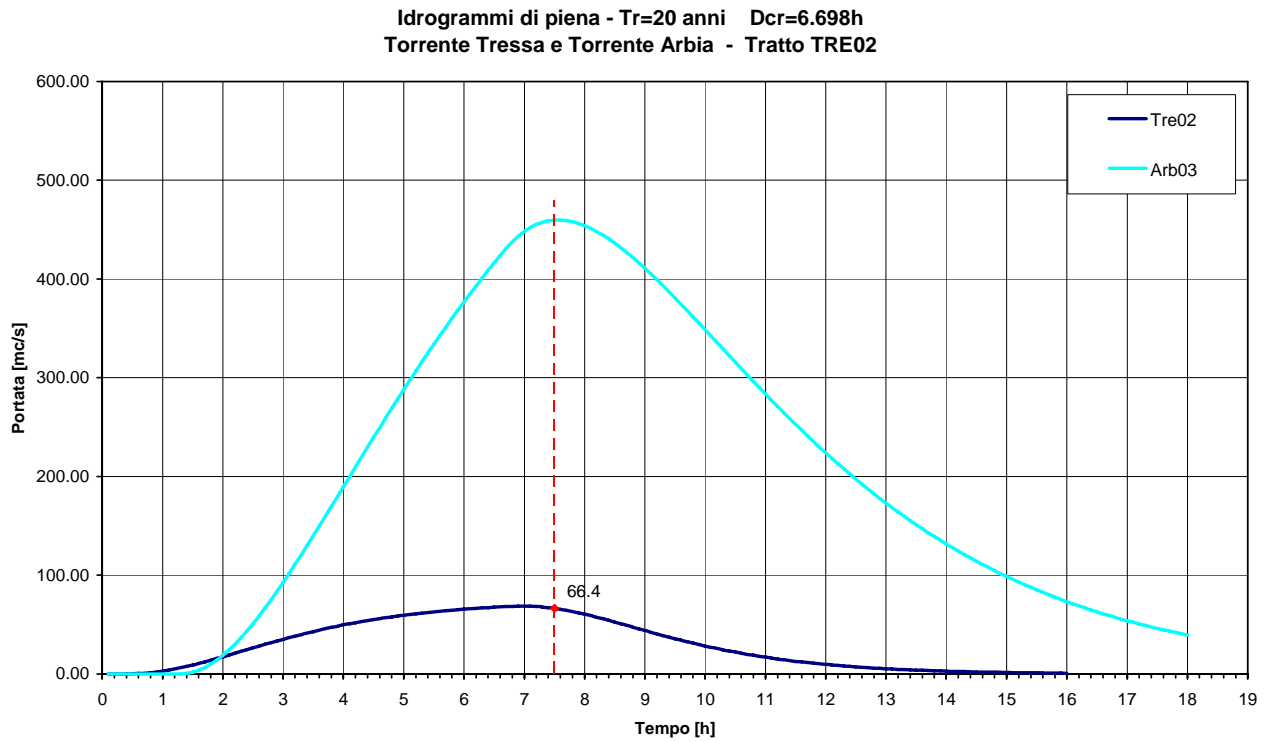
Idrogrammi di piena - Tr=30 anni Dcr=3.476h
Torrente Tressa e Torrente Arbia - Tratto TRE02



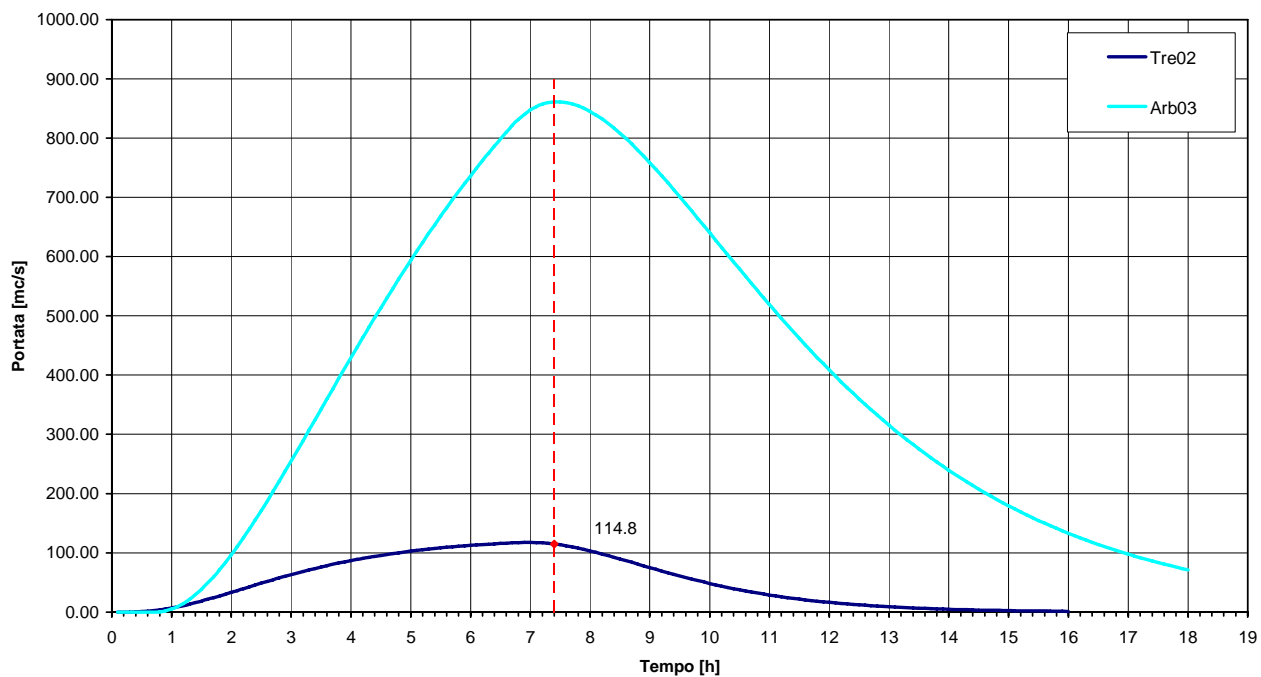
Idrogrammi di piena - Tr=200 anni Dcr=3.476h
Torrente Tressa e Torrente Arbia - Tratto TRE02



Si riportano di seguito gli idrogrammi calcolati per la durata critica che massimizza le portate del T. Arbia → Dcr = 6,70 h.



Idrogrammi di piena - Tr=200 anni Dcr=6.698h
Torrente Tressa e Torrente Arbia - Tratto TRE02



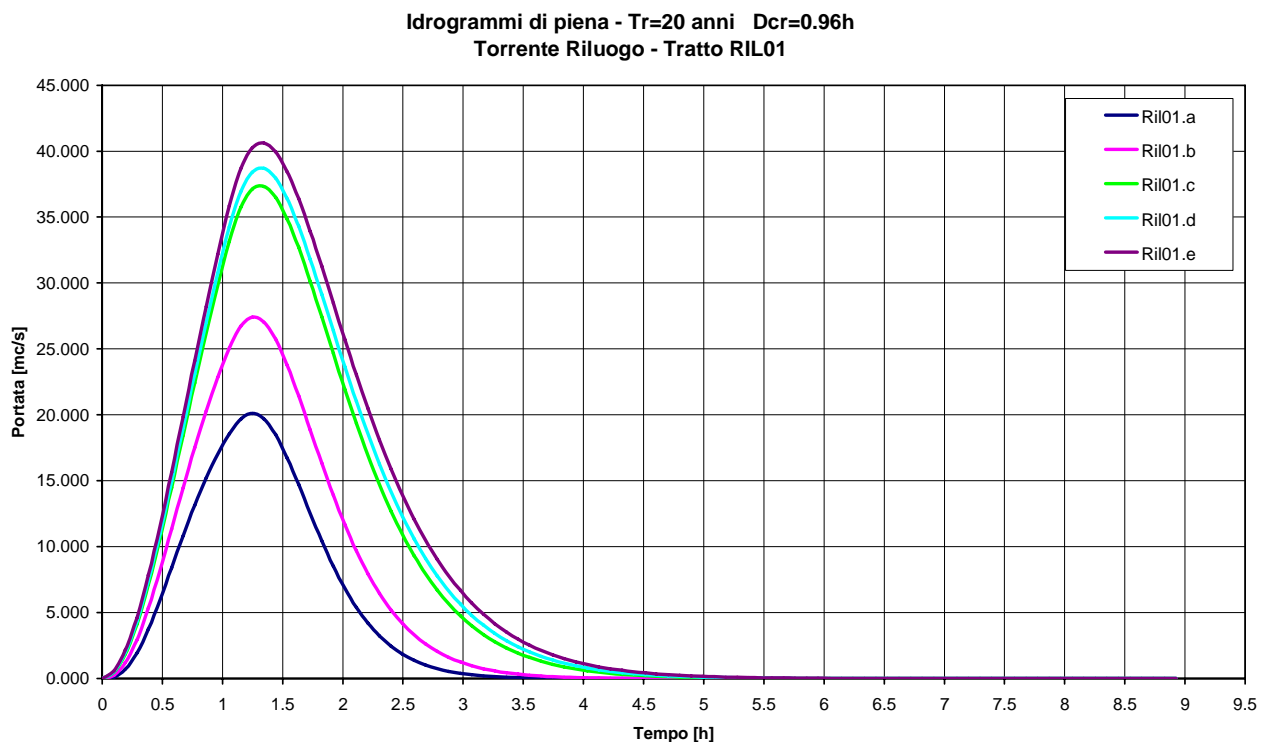
Torrente Riluogo – tratto Ril.01

I tratti in studio risultano:

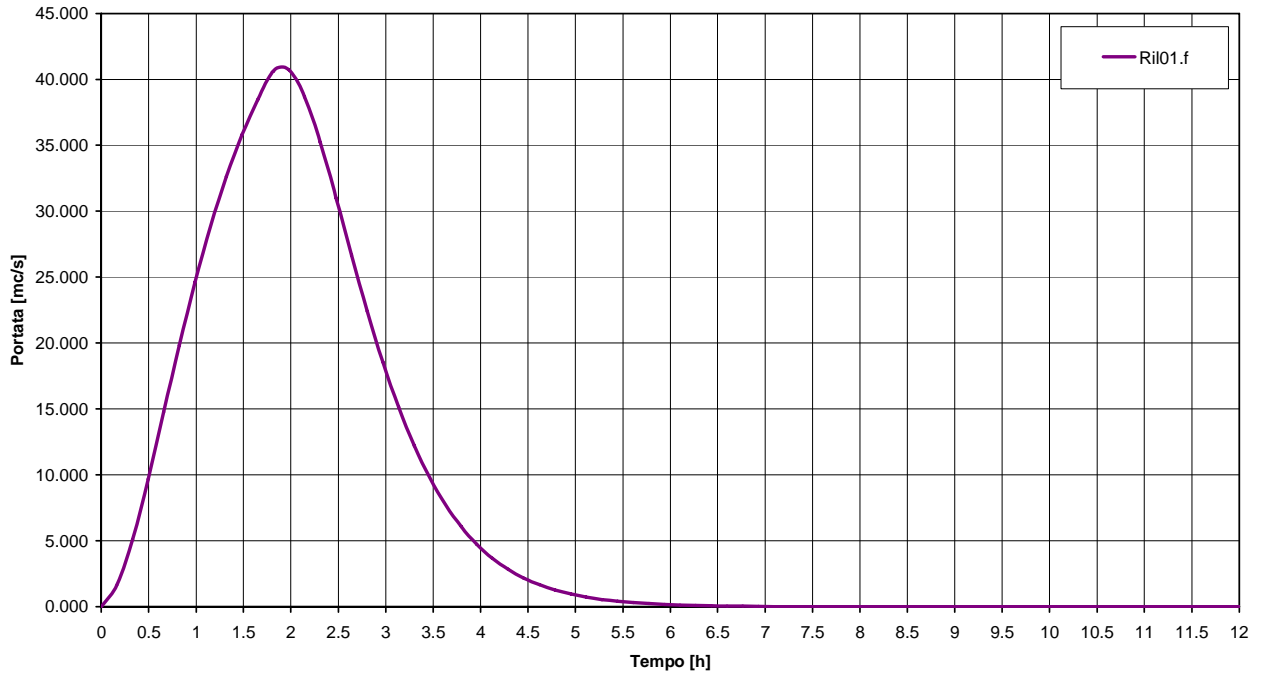
- Ril.01.a - Torrente Riluogo a monte del complesso Ex Socini
- Ril.01.b - Torrente Riluogo a monte del Fosso di Ravacciano
- Ril.01.c - Torrente Riluogo a monte del Fosso della Tombola
- Ril.01.d - Torrente Riluogo a valle del Fosso della Tombola
- Ril.01.e - Torrente Riluogo a valle del Fosso del Paradiso
- Ril.01.f - Torrente Riluogo finale (a monte del Fosso del Borrino)

Gli idrogrammi per i tratti a-b-c-d-e sono calcolati per la durata critica che massimizza le portate del T. Riluogo relativa al tratto Ril.01.e → $D_{cr} = 0,96$ h.

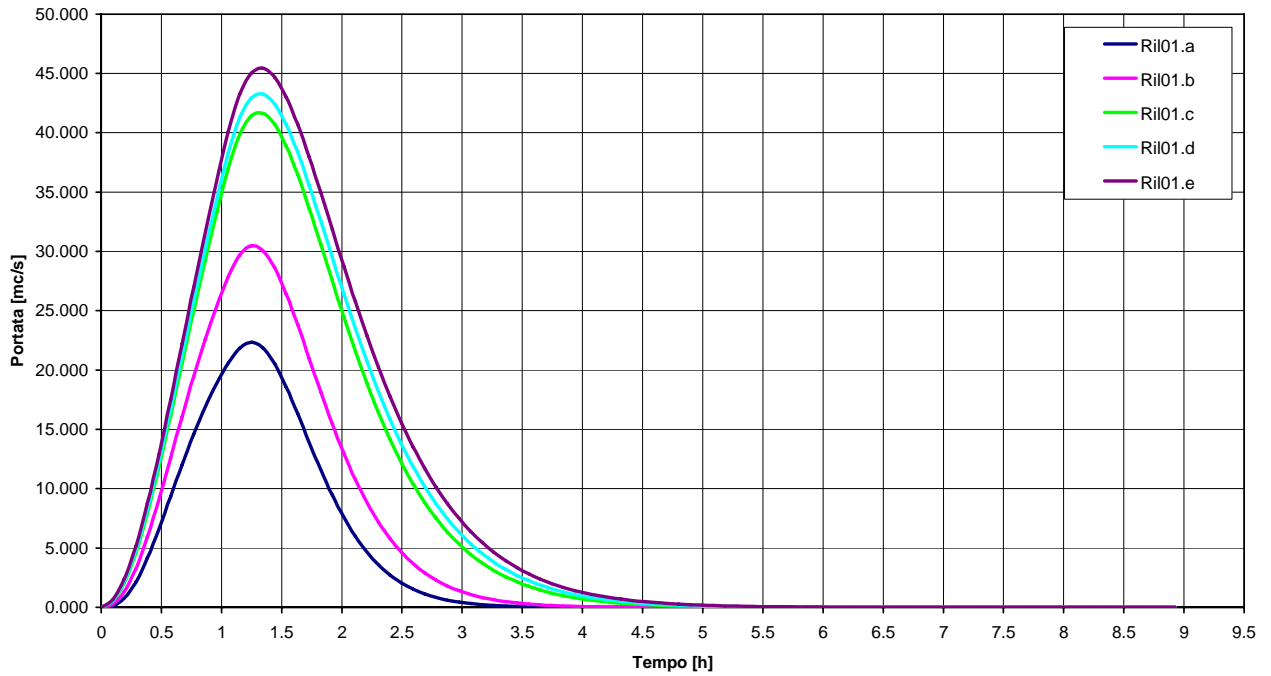
Per il tratto Ril.01.f gli idrogrammi sono calcolati per la durata critica che massimizza quest'ultimo → $D_{cr} = 1,65$ h.



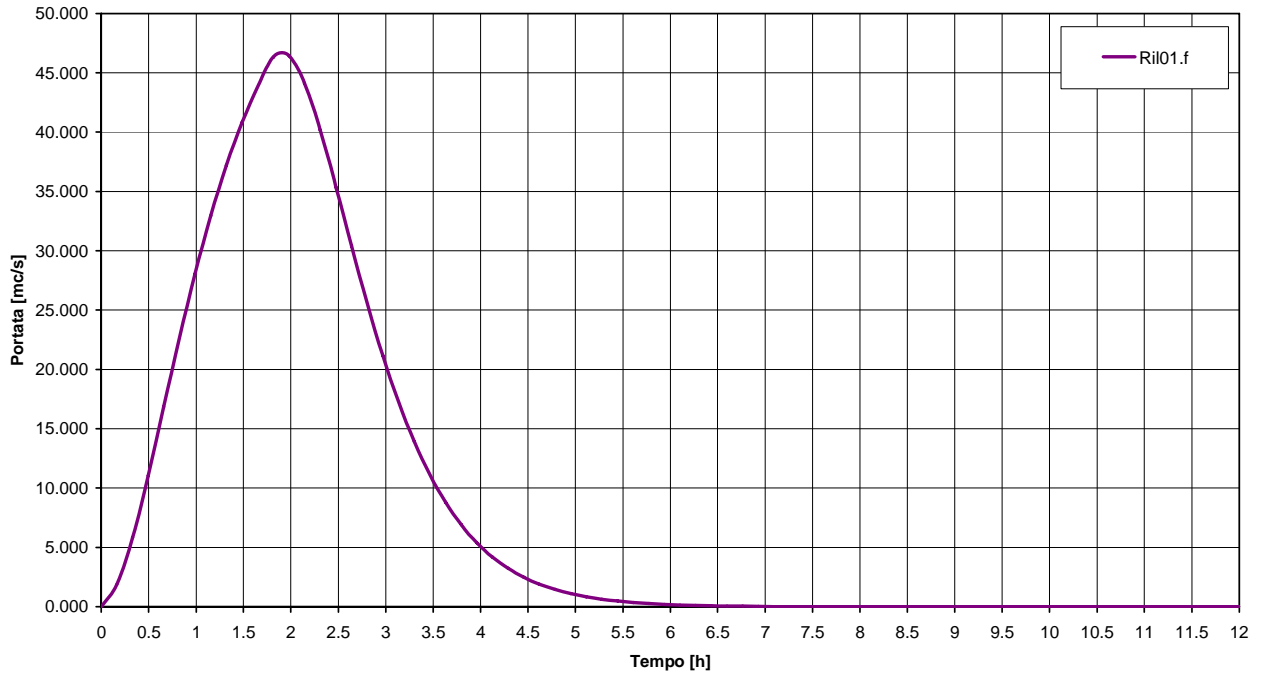
Idrogrammi di piena - Tr=20 anni Dcr=1.65h
Torrente Riluogo - Tratto RIL01



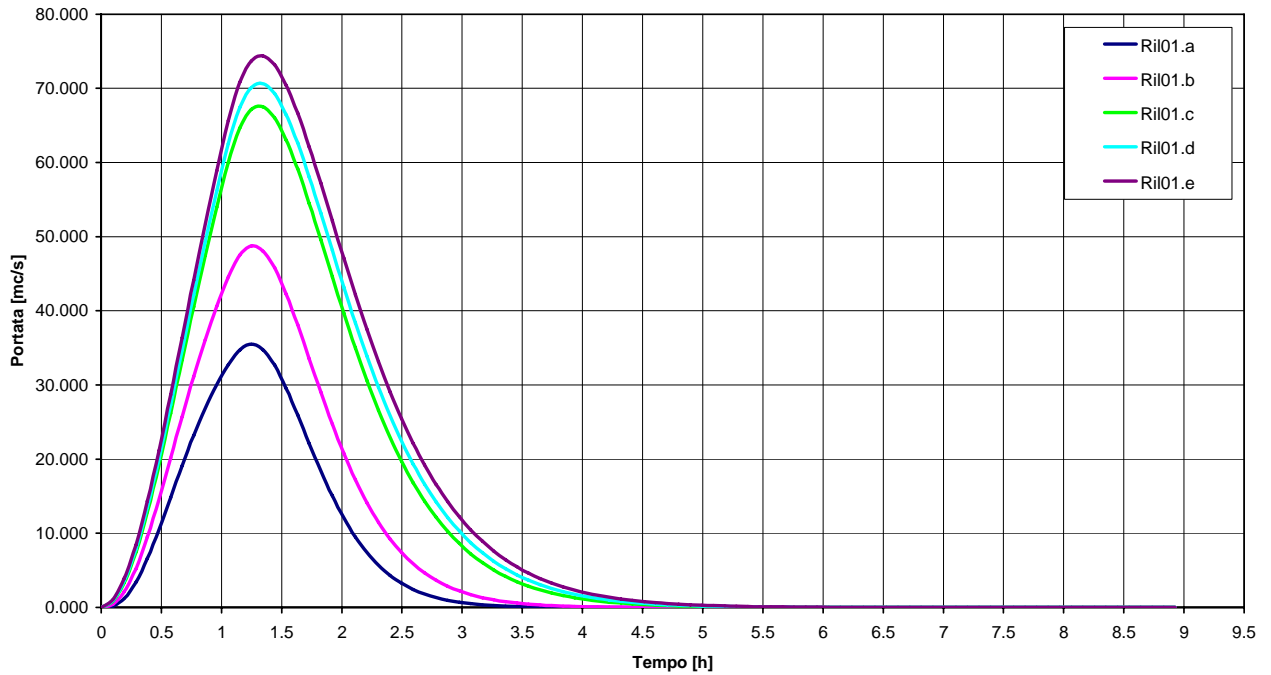
Idrogrammi di piena - Tr=30 anni Dcr=0.96h
Torrente Riluogo - Tratto RIL01



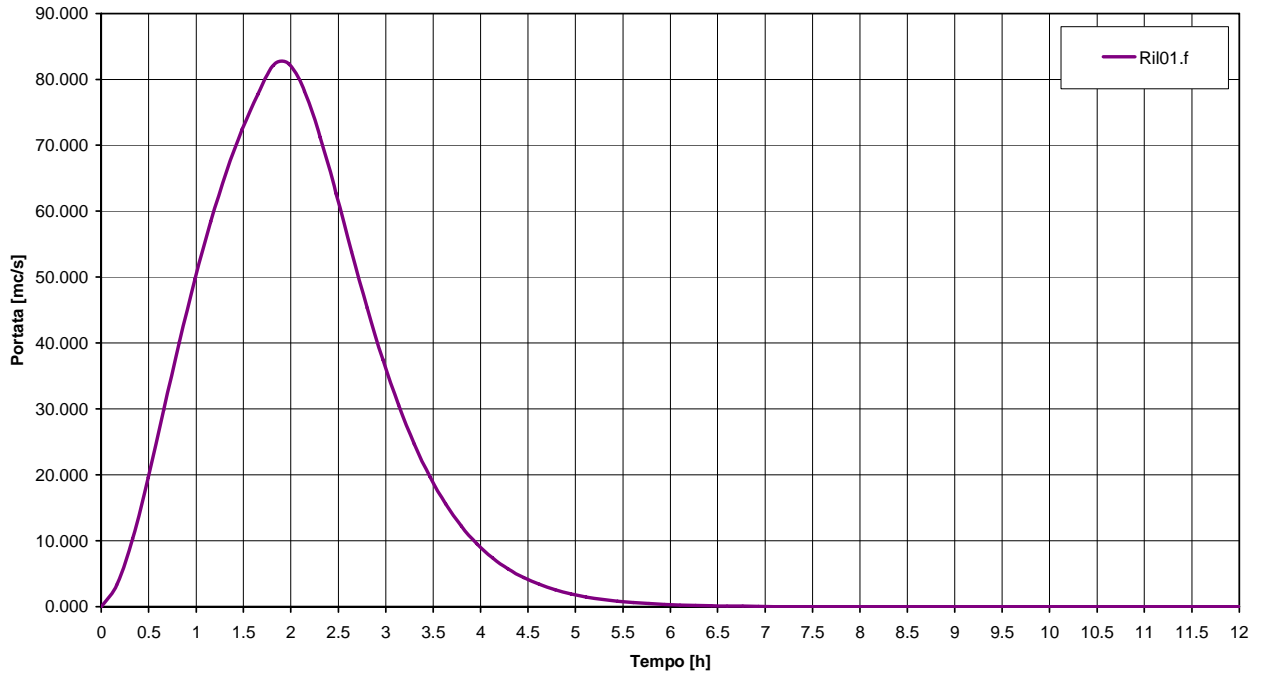
Idrogrammi di piena - Tr=30 anni Dcr=1.65h
Torrente Riluogo - Tratto RIL01



Idrogrammi di piena - Tr=200 anni Dcr=0.96h
Torrente Riluogo - Tratto RIL01



Idrogrammi di piena - Tr=200 anni Dcr=1.65h
Torrente Riluogo - Tratto RIL01



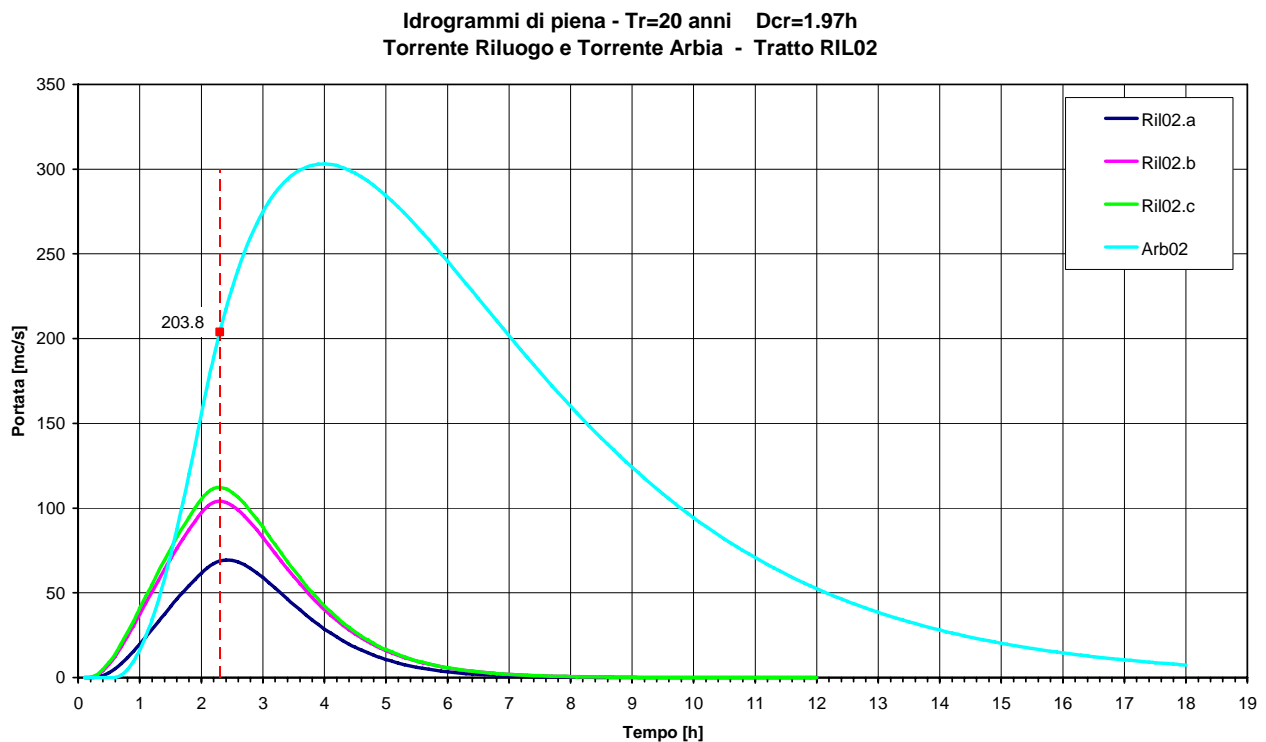
Torrente Riluogo – tratto Ril.02

Gli idrogrammi sono calcolati per la durata critica che massimizza le portate del T. Arbia e per la durata critica che massimizza le portate del T. Riluogo a monte della confluenza.

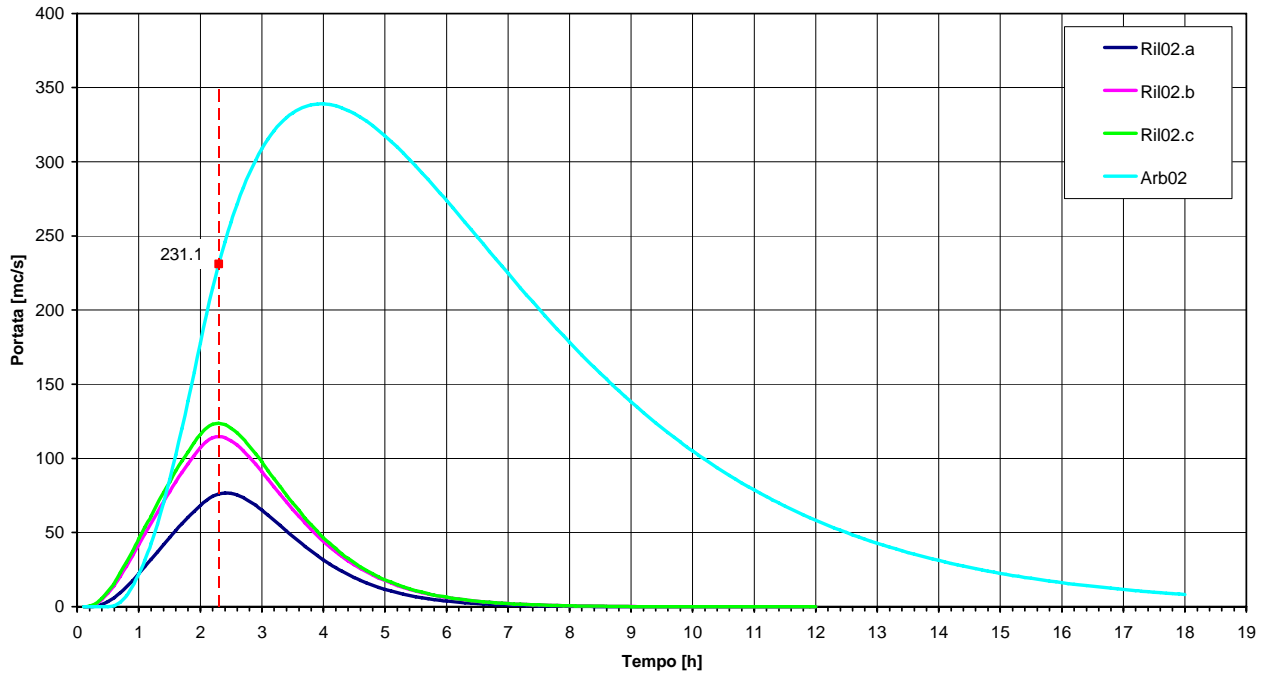
I tratti in studio risultano:

- Ril.02.a - Torrente Riluogo a monte del F.sso Ribucciano
- Ril.02.b - Torrente Riluogo a monte del F.sso della Bocca di Cane
- Ril.02.c - Torrente Riluogo a monte del T. Arbia
- Arb.02 – Torrente Arbia a valle del T. Riluogo

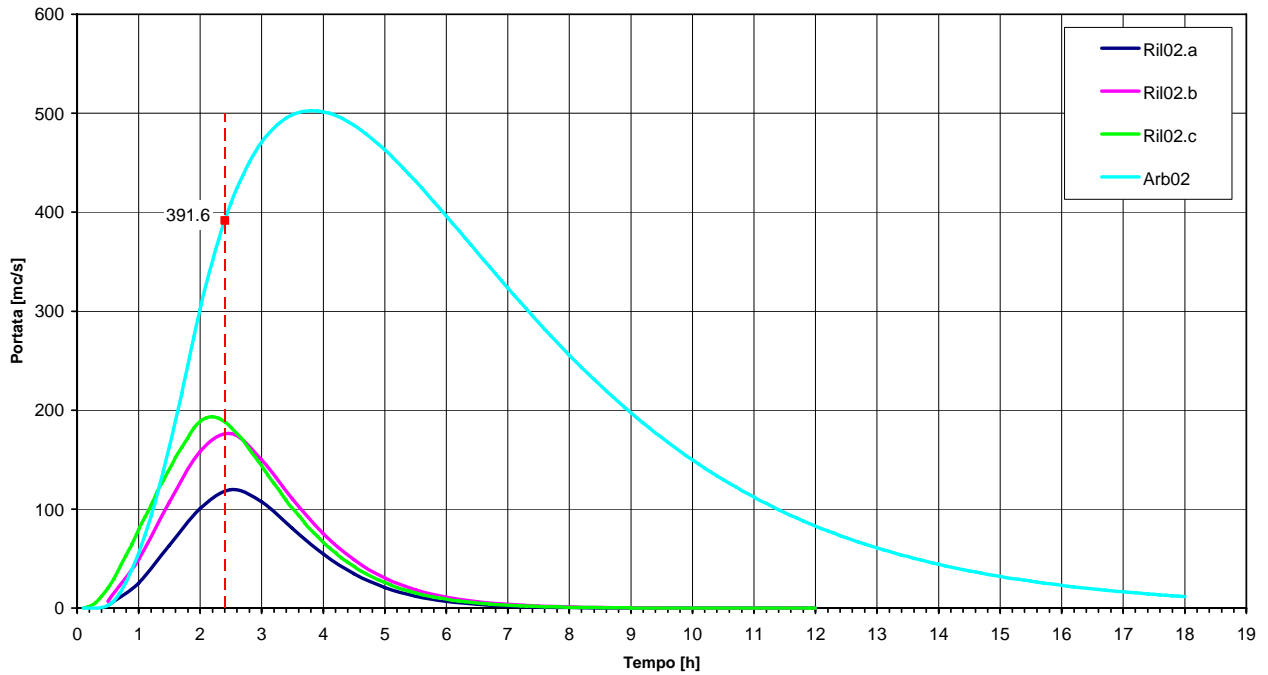
Si riportano di seguito gli idrogrammi calcolati per la durata critica che massimizza le portate del T. Riluogo → Dcr = 1,97 h (Tr20 e 30) e 1,85 h (Tr200).



Idrogrammi di piena - Tr=30 anni Dcr=1.97h
Torrente Riluogo e Torrente Arbia - Tratto RIL02

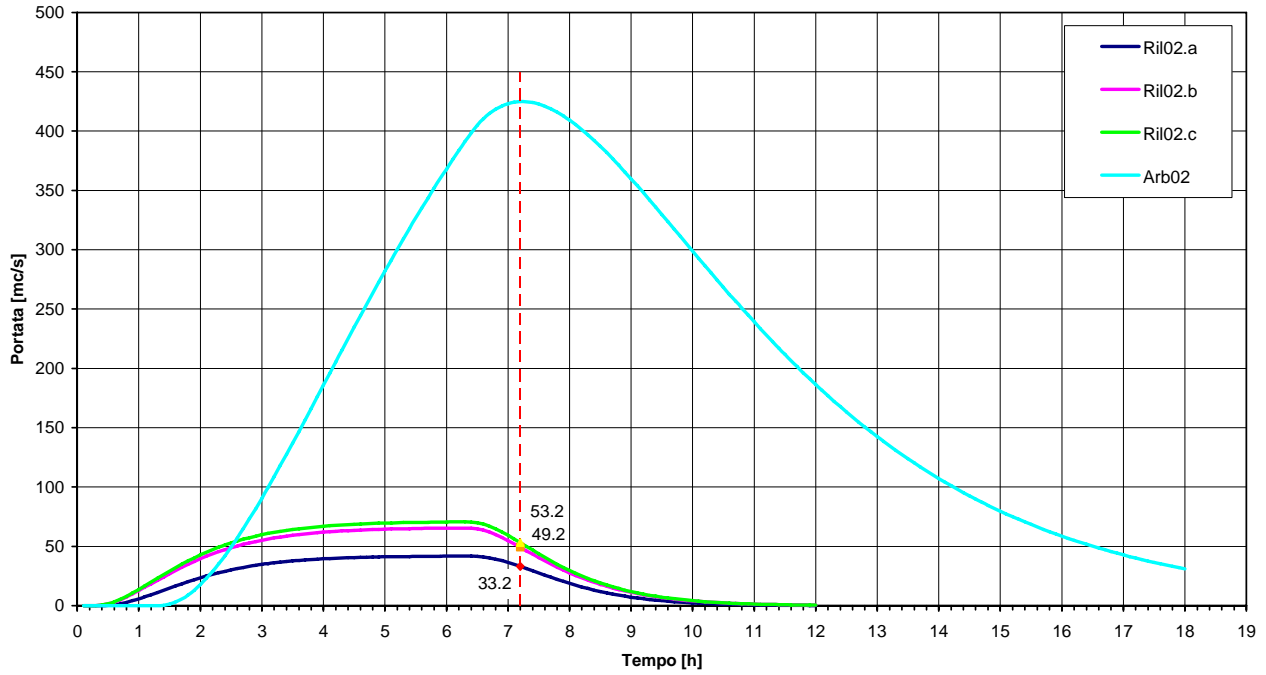


Idrogrammi di piena - Tr=200 anni Dcr=1.85h
Torrente Riluogo e Torrente Arbia - Tratto RIL02

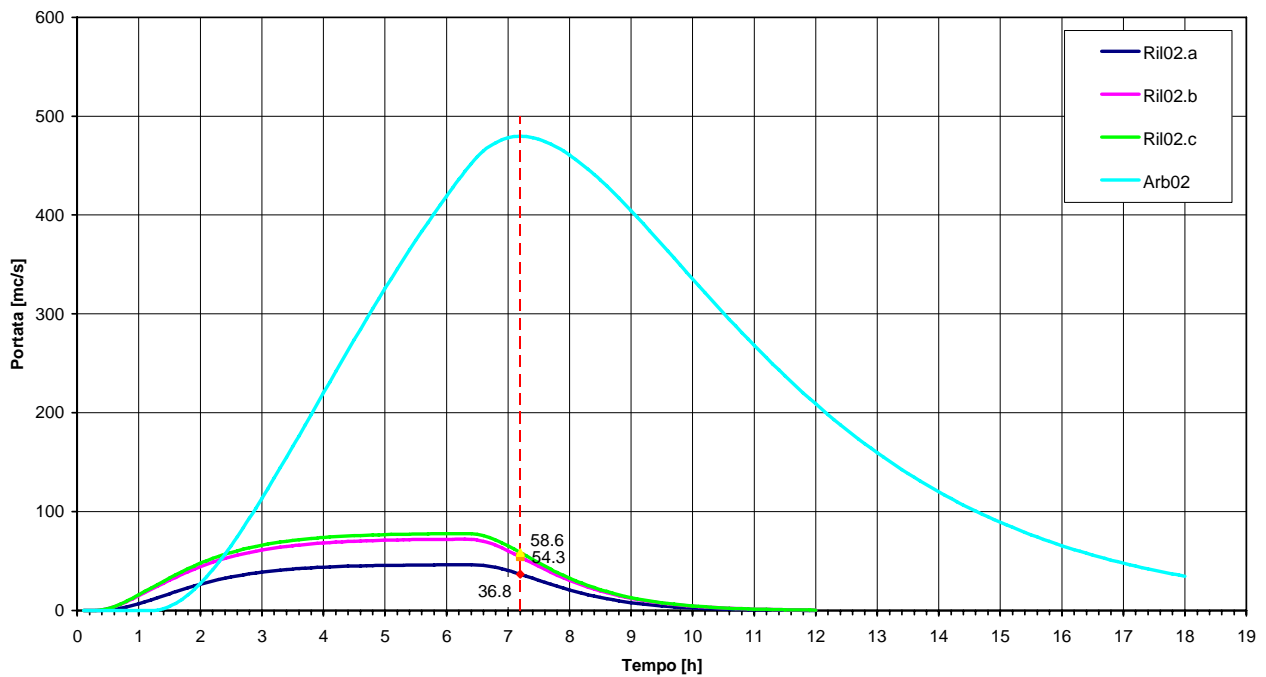


Si riportano di seguito gli idrogrammi calcolati per la durata critica che massimizza le portate del T. Arbia → Dcr = 6,35 h.

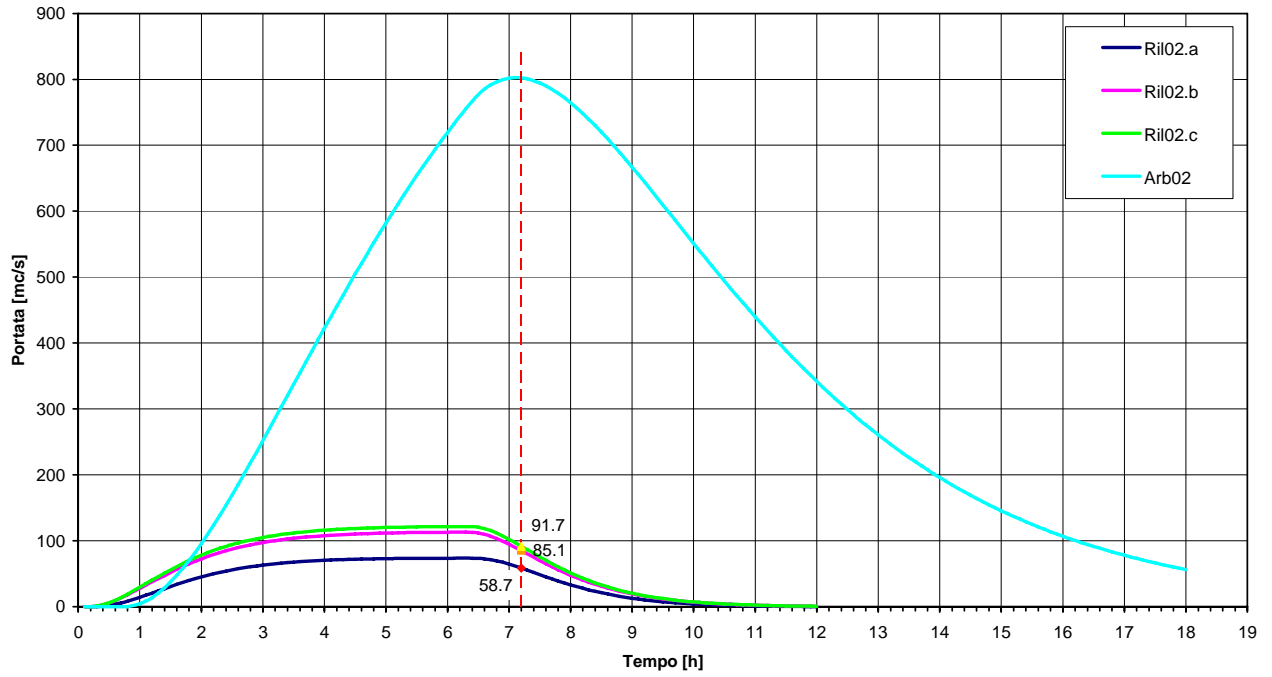
**Idrogrammi di piena - Tr=20 anni Dcr=6.35h
Torrente Riluogo e Torrente Arbia - Tratto RIL02**



**Idrogrammi di piena - Tr=30 anni Dcr=6.35h
Torrente Riluogo e Torrente Arbia - Tratto RIL02**



Idrogrammi di piena - Tr=200 anni Dcr=6.35h
Torrente Riluogo e Torrente Arbia - Tratto RIL02



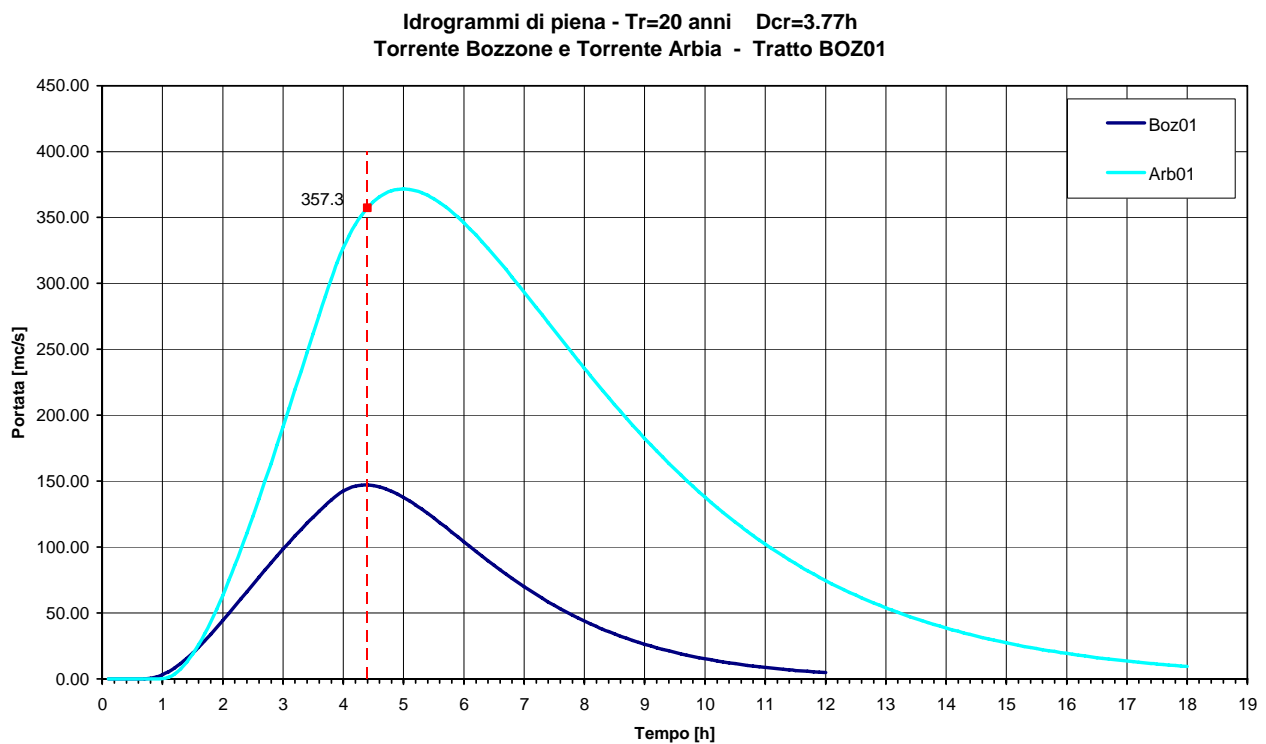
Torrente Bozzone – tratto Boz.01

Gli idrogrammi sono stati calcolati per la durata critica che massimizza le portate del T. Arbia e per la durata critica che massimizza le portate del T. Bozzone a monte della confluenza.

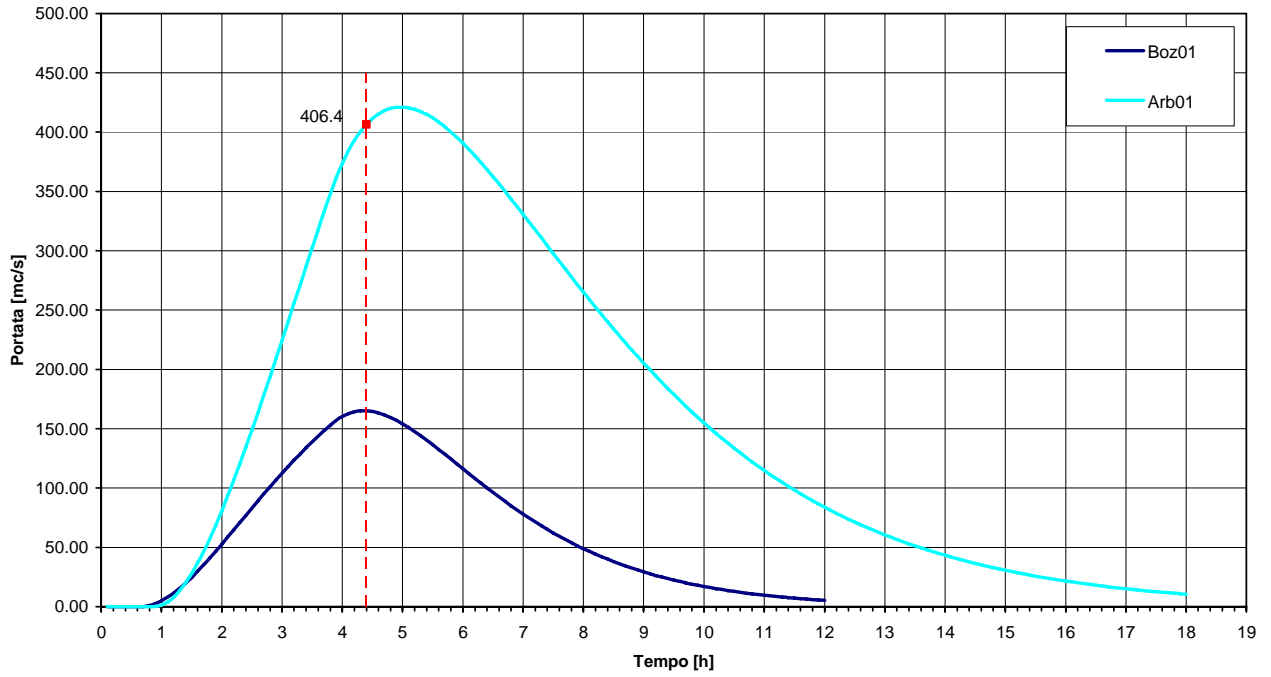
Boz.01 - Torrente Bozzone a monte del T. Arbia

Arb.01 - Torrente Arbia a valle del T. Bozzone

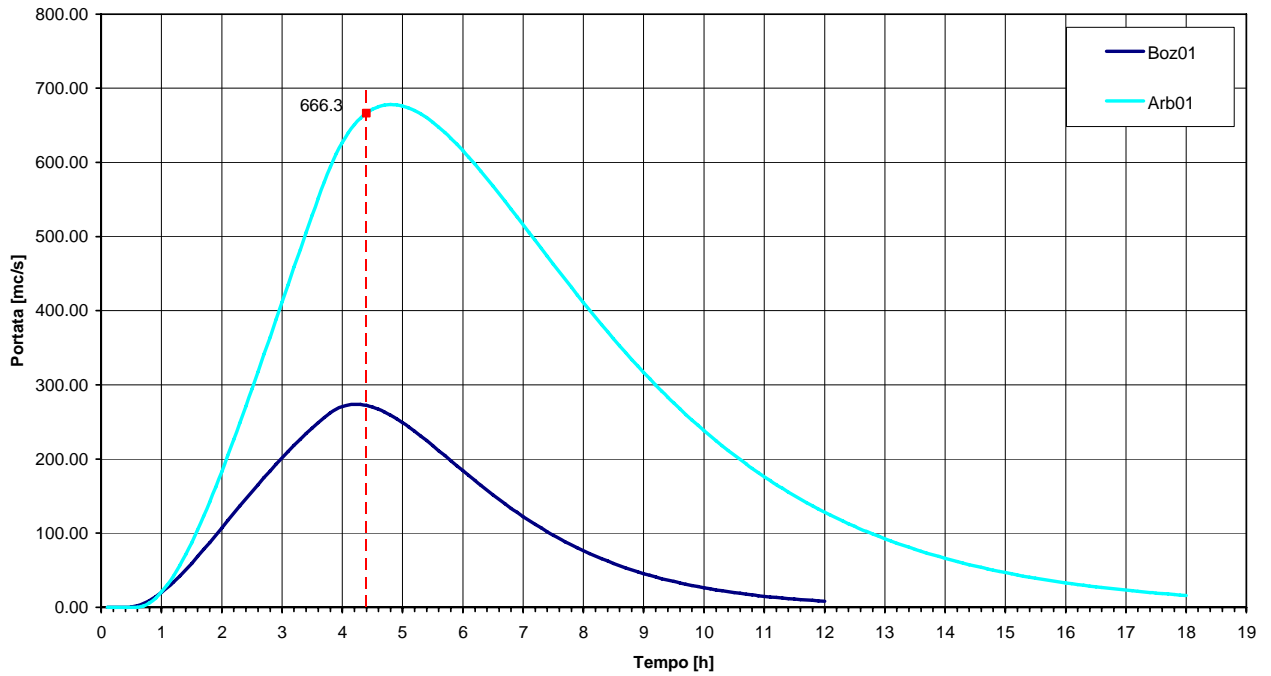
Si riportano di seguito gli idrogrammi calcolati per la durata critica che massimizza le portate del T. Bozzone → Dcr = 3,77 h (Tr20 e 30) e 3,67 h (Tr200).



Idrogrammi di piena - Tr=30 anni Dcr=3.77h
Torrente Bozzone e Torrente Arbia - Tratto BOZ01

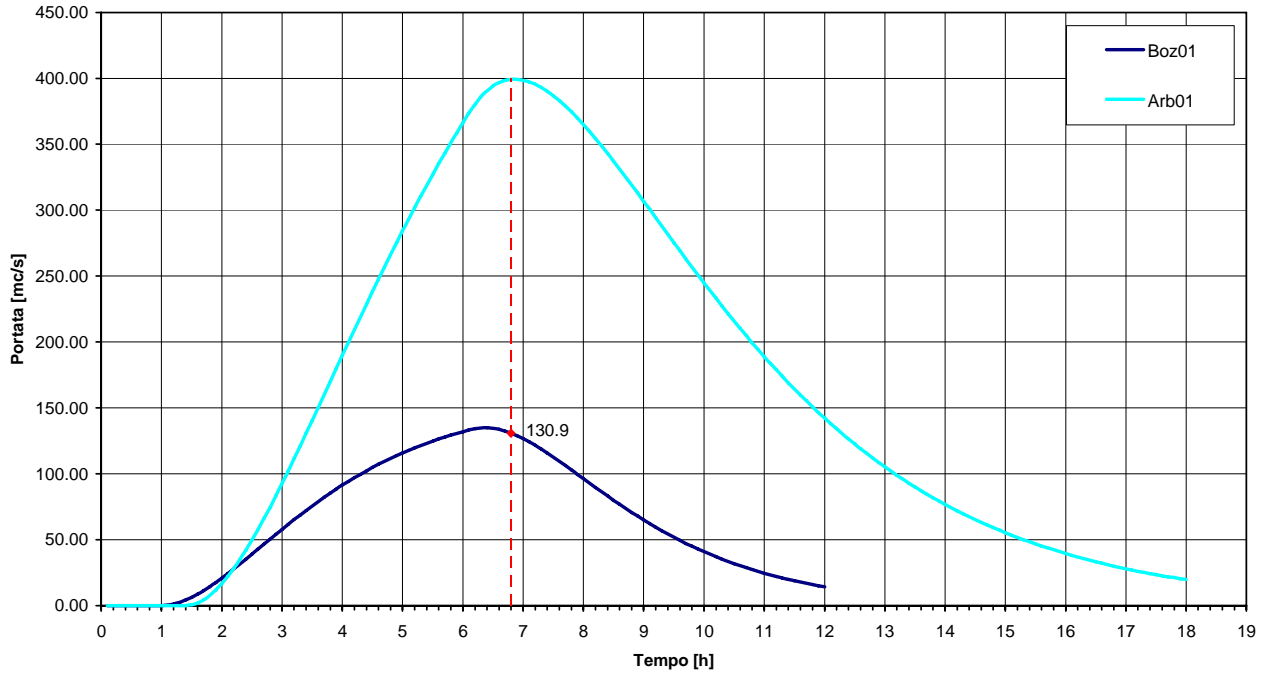


Idrogrammi di piena - Tr=200 anni Dcr=3.67h
Torrente Bozzone e Torrente Arbia - Tratto BOZ01

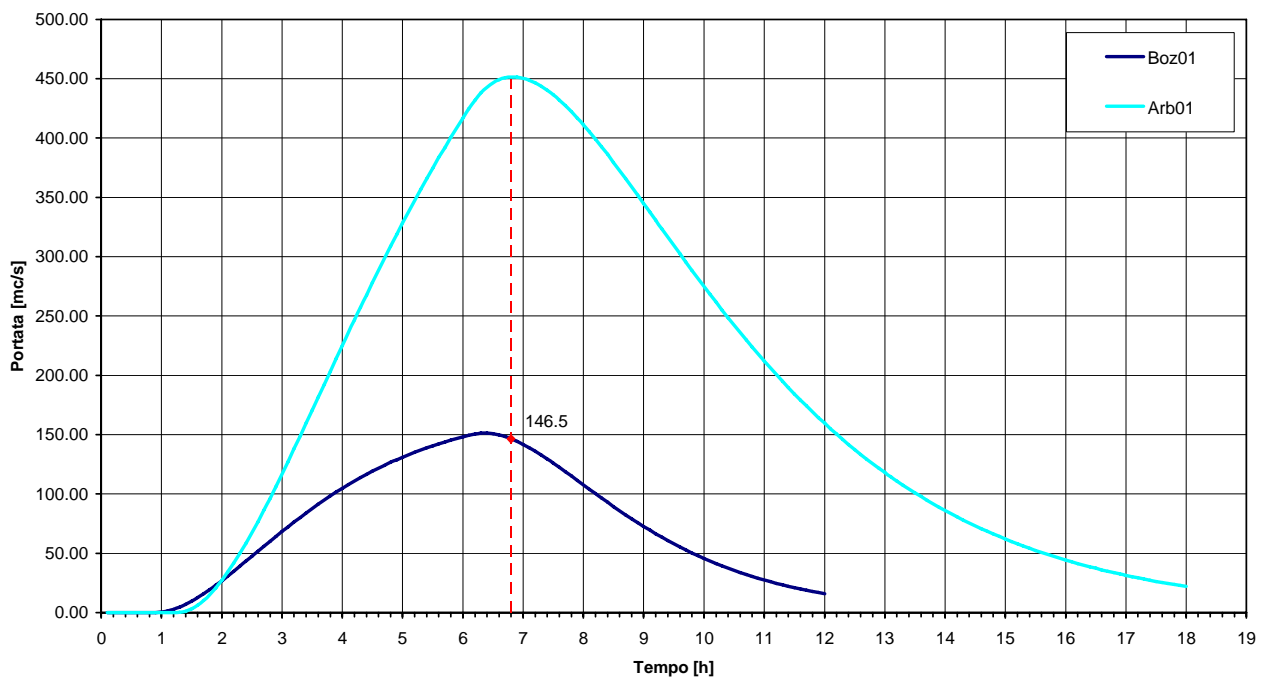


Si riportano di seguito gli idrogrammi calcolati per la durata critica che massimizza le portate del T. Arbia → $D_{cr} = 6,12$ h.

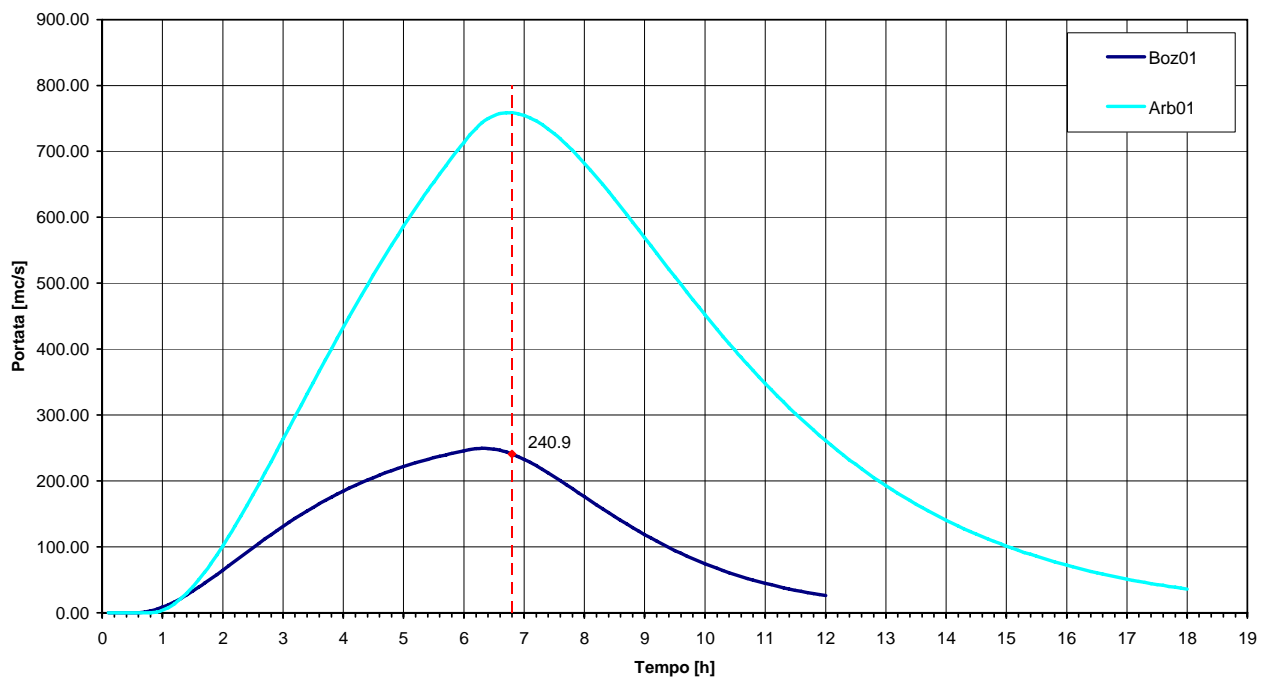
Idrogrammi di piena - $Tr=20$ anni $D_{cr}=6.124$ h
Torrente Bozzone e Torrente Arbia - Tratto BOZ01



Idrogrammi di piena - $Tr=30$ anni $D_{cr}=6.124$ h
Torrente Bozzone e Torrente Arbia - Tratto BOZ01



Idrogrammi di piena - Tr=200 anni Dcr=6.124h
Torrente Bozzone e Torrente Arbia - Tratto BOZ01

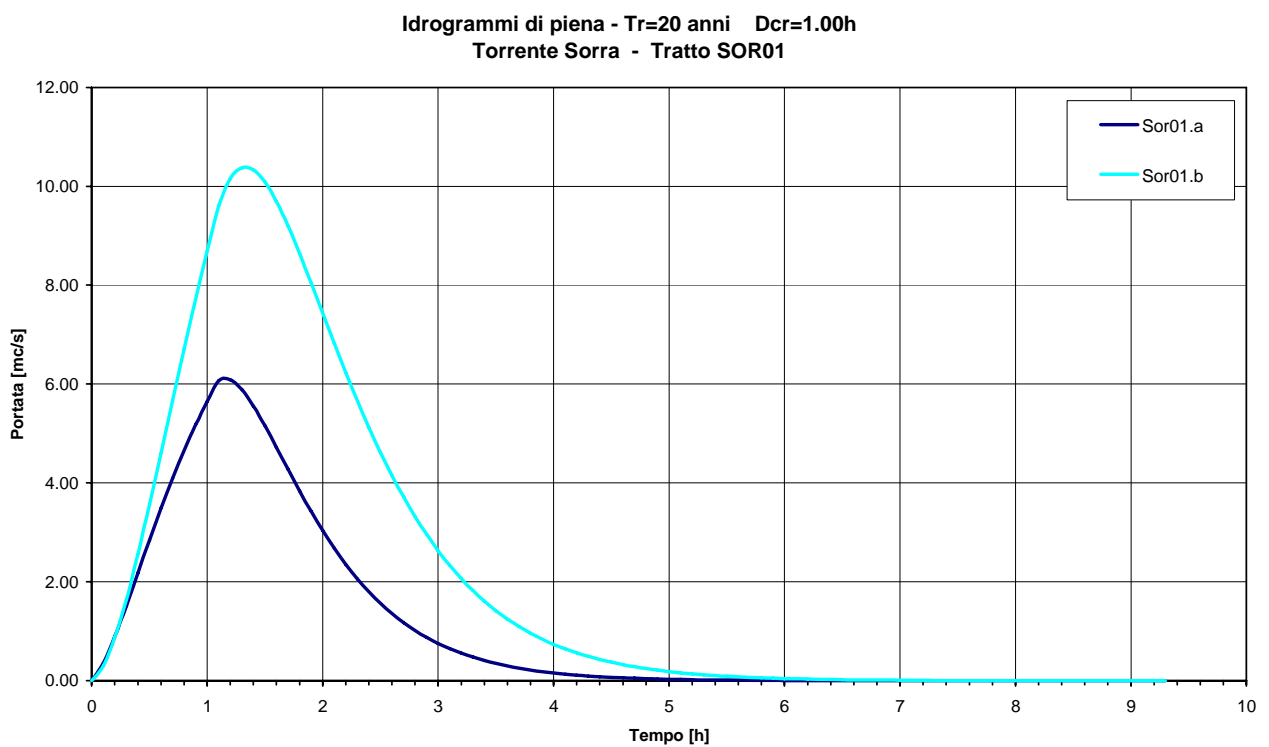


Torrente Sorra – tratto Sor.01

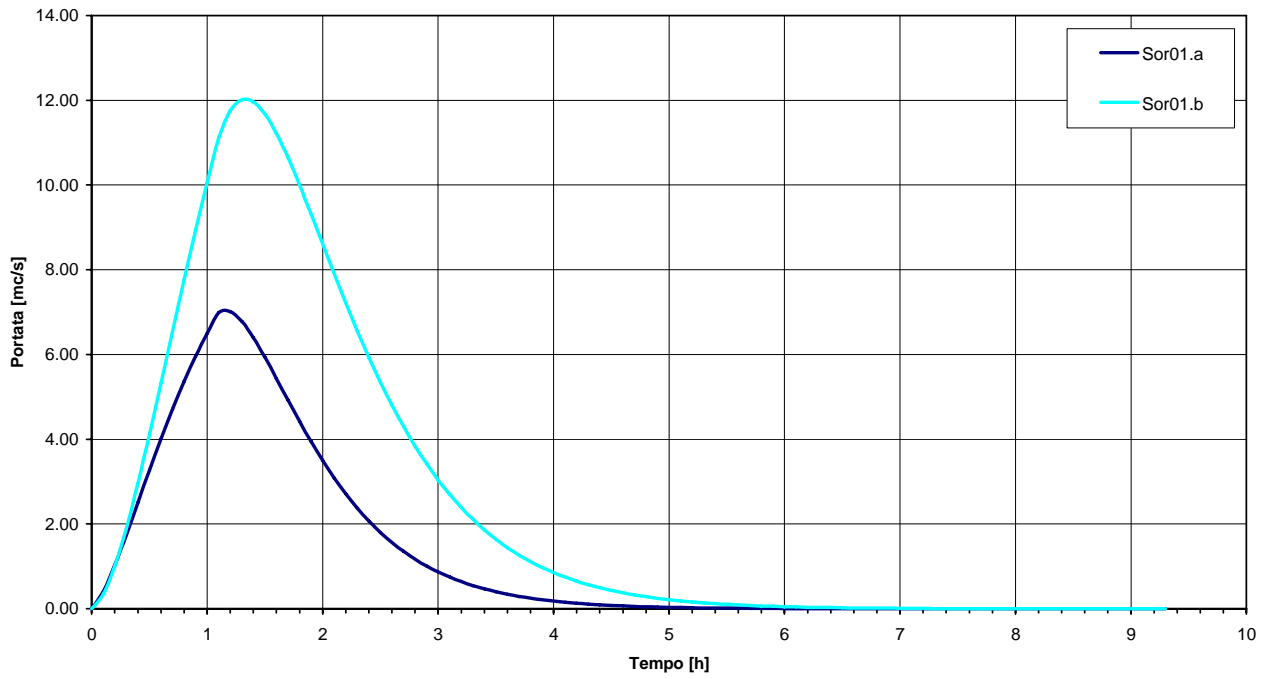
I tratti in studio risultano:

- Sor.01.a - Torrente Sorra a monte del T. Alfino
- Sor.01.b - Torrente Sorra a valle T. Alfino (ottenuto per rapporto areale)

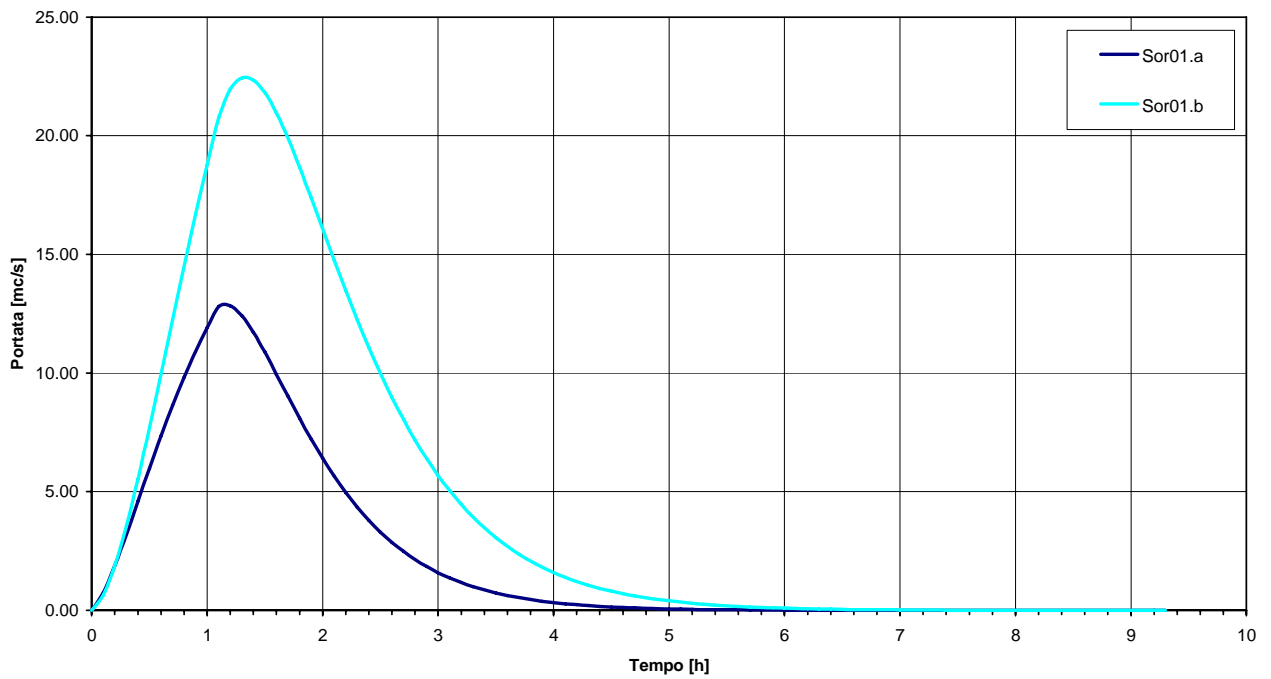
Si riportano di seguito gli idrogrammi calcolati per la durata critica che massimizza le portate del T. Sorra → $Dcr = 1,00$ h.



Idrogrammi di piena - Tr=30 anni Dcr=1.00h
Torrente Sorra - Tratto SOR01



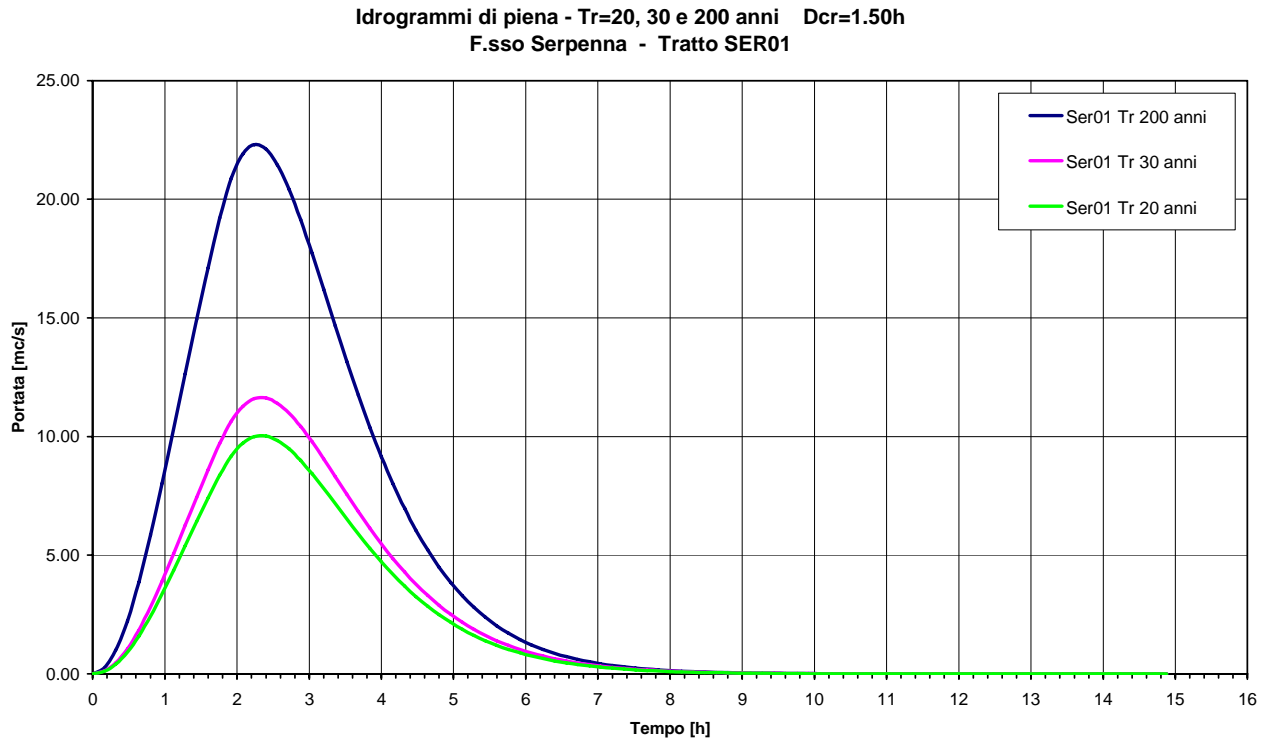
Idrogrammi di piena - Tr=200 anni Dcr=1.00h
Torrente Sorra - Tratto SOR01



F.sso Serpenna – tratto Ser01

Ser.01 - F.sso Serpenna in località Pian dei Mori

Si riportano di seguito gli idrogrammi calcolati per la durata critica che massimizza le portate del F.sso Serpenna →
Dcr=1,50h.



Studio idraulico

Le verifiche idrauliche sono state realizzate utilizzando l'applicativo HEC RAS, sviluppato dall'US Corps of Engineers, in regime di moto permanente o vario a seconda dei tratti.

Per il tratto iniziale del T. Riluogo, compreso tra il complesso Ex Socini e la località Due Ponti a Siena, è stato utilizzato l'applicativo EPA SWMM 5.0 (*Storm Water Management Model*), sviluppato dalla US Environmental Protection Agency, in condizioni di moto vario; per questo tratto in gran parte costituito da sezioni chiuse, non risulta possibile utilizzare l'applicativo Hec Ras, idoneo per simulazione di tratti a sezione aperta con limitati attraversamenti.

Le sezioni idrauliche utilizzate nei modelli sono state rilevate topograficamente con stazione totale e GPS per poligonale di appoggio su capisaldi IGM, con integrazione da cartografia CTR 1:2000.

Le verifiche idrauliche effettuate sono sintetizzate nella seguente tabella di sintesi:

<i>tratto</i>	<i>corso d'acqua</i>	<i>Verifiche effettuate</i>
Tre.01	T. Tressa	Max T. Tressa (moto permanente)
Tre.02	T. Tressa	Max T. Tressa (moto permanente) Max T. Arbia (moto permanente)
Ril.01	T. Riluogo	Max T. Riluogo (tratto prevalentemente chiuso) in moto vario (SWMM5.0): da sezione 900 a sezione 51 Max T. Riluogo (tratto prevalentemente aperto) in moto permanente: da sezione 51 a sezione 31
Ril.02	T. Riluogo	Max T. Riluogo (moto permanente) Max T. Arbia (moto permanente)
Boz.01	T. Bozzone	Max T. Bozzone (moto permanente) Max T. Arbia (moto permanente)
Sor.01	T. Sorra	Max T. Sorra (moto permanente)
Ser.01	F.sso Serpenna ⁴	Max T. Sorra - alveo principale (moto vario) verifica golena DX (moto permanente) verifica golena SX (moto permanente)

⁴ Per la descrizione del modello idraulico e dei risultati delle verifiche idrauliche si rimanda all'allegato ET.02.5 – verifiche idrauliche e allegati di calcolo.

Applicativo Hec Ras 3.1.3

L'equazione del moto, in regime permanente, può essere scritta nella forma:

$$-\frac{dH}{ds} = \frac{\tau_0}{\gamma R} = J$$

Nel caso invece di regime di moto vario le equazioni di continuità e di moto (o dell'energia), scritte nella forma indefinita per una corrente gradualmente variata monodimensionale, sono le seguenti:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + q(x) = 0$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} - J$$

dove:

- A è l'area della sezione liquida [m²]
- Q è la portata [m³/s]
- q(x) è la portata laterale [m²/s], positiva se entrante
- H è il carico totale della corrente [m]
- g è l'accelerazione di gravità [m/s²]
- U è la velocità media della corrente [m/s]
- J è la perdita di carico effettivo per unità di lunghezza
- x è l'ascissa lungo l'alveo [m]
- t è il tempo [s]

La perdita di carico effettivo può essere stimata con un'equazione analoga a quella adottata per il moto uniforme:

$$J = \frac{U|U|}{\chi^2 R} \quad \text{equazione di Chezy}$$

con:

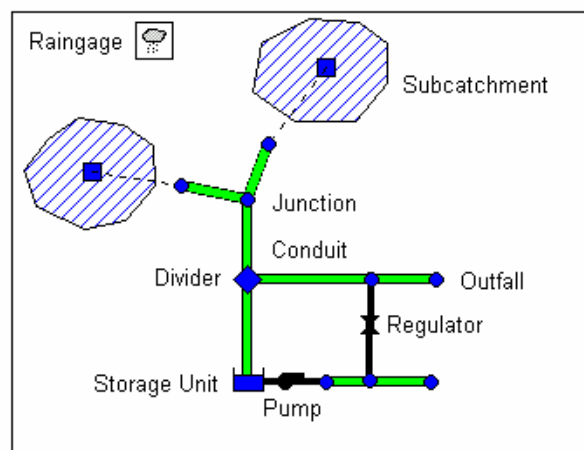
$$\chi = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad \text{coefficiente di resistenza secondo l'espressione di Manning}$$

indicando con R il raggio idraulico della sezione

Applicativo SWMM 5.0

L'EPA Storm Water Management Model (SWMM) è un modello di simulazione afflusso-deflusso-scorrimento, usato per un singolo evento meteorico o per la simulazione in continuo dello scorrimento superficiale associato alla qualità/inquinamento di aree principalmente urbane. La sezione di SWMM riguardante l'afflusso/deflusso opera sulle precipitazioni su zone ben definite o a partire da idrogrammi di piena, che generano lo scorrimento superficiale. L'applicativo SWMM simula quindi il deflusso calcolato attraverso un sistema di tubi, scotolari, canali aperti, ecc..

Il modello idraulico è basato sulle seguenti entità, "nodes" e "links", rispettivamente nodi e tratti di verifica. Ad ogni tratto compreso fra diversi nodi deve essere associata una sezione (*transect*) per i tratti chiusi (*conduit*) e per i tratti aperti (*channel*), nonché i coefficienti di attrito del materiale. Ai nodi viene invece associata la quota del fondo (*invert elevation*), le immissioni di portata e per i tratti chiusi il dislivello con il piano campagna (*max depth*) e il dislivello aggiuntivo prima che si verifichi l'esondazione (*subcharge depth*), pari ad esempio alla contropressione massima delle chiusure di ispezione.



Le simulazioni idrauliche sono effettuate in condizioni di moto vario; in particolare è possibile applicare le equazioni sia del modello cinematico (*kinematic wave*) che di quello parabolico (*dynamic wave*).

Le equazioni di continuità e di moto (o dell'energia), in regime di moto vario, scritte nella forma indefinita per una corrente gradualmente variata, sono le seguenti:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0 \quad \text{equazione di continuità}$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{g} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = s_0 - s \quad \text{equazione di moto}$$

dove:

- $y(x,t)$ è la profondità d' acqua
- $u(x,t)$ è la velocità media nella sezione
- $q(x,t)=u \cdot y$ è la portata per unità di larghezza

- s_0 è la pendenza del fondo
- s sono le perdite per attrito, valutate con le formule del moto uniforme (cadente della linea dei carichi totali)

Le equazioni di De Saint Venant formano un sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali del primo ordine, non lineari nelle due incognite u e y (oppure q e y), funzioni delle variabili indipendenti x e t .

Il programma SWMM5.0 risolve numericamente il sistema di equazioni di moto della rete idraulica simulata; in particolare nelle verifiche effettuate è stato utilizzato il modello parabolico, che introduce rispetto il modello cinematico il termine di “laminazione” durante la propagazione dell’onda di piena, ossia della riduzione della portata al colmo legata ai fenomeni di attrito durante lo scorrimento da monte verso valle.

La scabrezza, ossia il parametro di resistenza che determina le perdite per attrito durante il moto della corrente, è introdotta nel modello utilizzando il parametro di Manning (n , in $m^{1/3} s^{-1}$).

Per i tratti chiusi (*conduit*) l’applicativo consente di selezionare la tipologia di sezione fra quelle seguenti:

Table 3-1. Available cross section shapes for conduits






















Name	Parameters	Shape	Name	Parameters	Shape
Circular	Depth		Filled Circular	Depth, Filled Depth	
Rectangular - Closed	Depth, Width		Rectangular - Open	Depth, Width	
Trapezoidal	Depth, Base Width, Side Slopes		Triangular	Depth, Top Width	
Horizontal Ellipse	Depth, Max., Width		Vertical Ellipse	Depth, Max. Width	
Arch	Depth, Max. Width		Parabolic	Depth, Top Width	
Power	Depth, Top Width, Exponent		Rectangular-Triangular	Depth, Top Width, Triangle Height	
Rectangular-Round	Depth, Top Width, Bottom Radius		Modified Baskethandle	Depth, Top Width	
Egg	Depth		Horseshoe	Depth	
Gothic	Depth		Catenary	Depth	
Semi-Elliptical	Depth		Baskethandle	Depth	
Semi-Circular	Depth				

Figura 1 - Tabella tratta da “User’s Manual dell’applicativo SWMM versione 5.0

Coefficienti utilizzati per le verifiche idrauliche

La scabrezza, ossia il parametro di resistenza che determina le perdite per attrito durante il moto della corrente, è introdotta nel modello utilizzando il parametro di Manning (n , in $1/m^{1/3} s^{-1}$)⁵.

A maggiori scabrezze corrispondono maggiori perdite per attrito e quindi minori velocità e maggiori profondità di moto.

Per i coefficienti di scabrezza si è fatto riferimento ai valori indicati in “Open Channel Hydraulics”, Ven Te Chow, Mc Graw Hill 1959.

Sono stati inoltre consultate altre fonti di letteratura in materia (vedi “Open-Channel Flow, M.H. Chaudhry 1993), oltre ai valori riportati nell’“Hydraulic Reference Manual di HEC – RAS, Chapter 3 – Energy loss Coefficients – Manning’s n ”.

In particolare, i valori di riferimento, riportati nella trattazione del Chow, trattandosi di corsi d’acqua naturali con larghezze di piena inferiori a 30 metri, irregolari e con presenza di vegetazione, risultano compresi tra 0,035 e 0,1 [$1/m^{1/3} s^{-1}$]⁶. (vedi Table 5-6 Value of Roughness - coefficient n).

Nella modellazione idraulica, alla luce di quanto esposto, sono stati assunti i seguenti valori di scabrezza (coefficiente di Manning):

— alveo inciso	0,035 - 0,07	[$1/(m^{1/3} s^{-1})$]
— alveo inciso – rivestimento in calcestruzzo	0,015 - 0,025	[$1/(m^{1/3} s^{-1})$]
— alveo inciso – rivestimento in lamiera ondulata	0,025	[$1/(m^{1/3} s^{-1})$]
— golene	0,05 – 0,1 ⁷	[$1/(m^{1/3} s^{-1})$]

Per i coefficienti di espansione e contrazione della corrente sono stati utilizzati i seguenti valori (perdite localizzate in termini dell’altezza cinetica), applicati in corrispondenza dei principali allargamenti / restringimenti:

Modalità di transizione	Contrazione	Espansione
Graduale	0,1	0,3
Brusca	0,3	0,5

⁵ Il coefficiente di Manning corrisponde all’inverso del coefficiente di scabrezza di Gauckler Strickler K_s (vedi anche *Sistemazione dei Corsi d’acqua*, L. Da Deppo, C. Datei e P. Salandin, Ed.ni Cortina 1997).

⁶ vedi Table 5-6 Value of Roughness - coefficient n .

⁷ Il valore di scabrezza superiore adottato rispetto quelli indicati per aree coltivate (valori di 0,025 – 0,035) garantisce un fattore di sicurezza nelle verifiche effettuate, giustificato dall’osservazione che nelle aree golenali di espansione l’acqua risulta effettivamente rallentata, a differenza dell’alveo centrale in cui le velocità risultano maggiori. Tale ipotesi può essere verificata controllando che i valori di portata e di velocità dell’alveo (*main channel*) risultino superiori a quelli calcolati nelle aree golenali (*left e right overbanks*), in modo da riprodurre condizioni di moto permanente verosimili.

Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno sono state introdotte all'estremità inferiore dei singoli tratti, trattandosi di correnti in condizioni lente (condizionate quindi da valle); si riporta comunque anche la condizione di monte necessaria al programma per verificare tale condizione di regime.

Nei tratti in corrispondenza delle confluenze con il T. Arbia (T. Bozzone, T. Riluogo e T. Tressa) sono state simulate due condizioni:

- massima piena dell'affluente del T. Arbia, con portata del T. Arbia corrispondente al tempo di picco dell'idrogramma del tributario suddetto;
- massima piena del T. Arbia; in questo caso sono stati utilizzati direttamente come condizioni di valle per l'affluente i livelli di massima piena disponibili dallo studio IIDEA 2005.

In particolare per i singoli tratti sono state introdotte le seguenti condizioni:

<i>tratto</i>	<i>corso d'acqua</i>	<i>Condizioni al contorno</i>
Tre.01	T. Tressa	Max Tressa moto uniforme a monte T. Tressa – p = 0,70 % moto uniforme a valle T. Tressa – p = 0,60 %
Tre.02	T. Tressa	Max Tressa moto uniforme a monte T. Tressa – p = 0,30 % moto uniforme a monte T. Arbia – p = 0,60 % moto uniforme a valle T. Arbia – p = 1,00 % Max Arbia moto uniforme a monte T. Tressa – p = 0,30 % livello massima piena a valle raggiunto da T. Arbia (Tr 20, 30 e 200 anni) Tr 20 anni 165.86 m slm Tr 30 anni 165.86 m slm Tr 200 anni 166.82 m slm
Ril.01	T. Riluogo	Max Riluogo (SWMM moto vario) Idrogrammi di piena a monte T. Riluogo Altezza minima fra condizione critica e di moto uniforme con p = 0,40 % (<i>free condition</i>) Max Riluogo (HECRAS) moto uniforme a monte T. Riluogo – p = 0,40 % moto uniforme a valle T. Riluogo – p = 0,86 %
Ril.02	T. Riluogo	Max Riluogo moto uniforme a monte T. Ribucciano – p = 0,34 % moto uniforme a monte T. Riluogo – p = 0,34 % moto uniforme a monte T. Arbia – p = 0,52 % moto uniforme a valle T. Arbia – p = 0,20 % Max Arbia moto uniforme a monte T. Ribucciano – p = 0,34 % moto uniforme a monte T. Riluogo – p = 0,34 % livello massima piena a valle raggiunto da T. Arbia (Tr 20, 30 e 200 anni) Tr 20 anni 172.73 m slm Tr 30 anni 172.73 m slm Tr 200 anni 173.36 m slm
Boz.01	T. Bozzone	Max Bozzone moto uniforme a monte T. Bozzone – p = 0,40 % moto uniforme a monte T. Arbia – p = 0,20 % moto uniforme a valle T. Arbia – p = 0,27 %

<i>tratto</i>	<i>corso d'acqua</i>	<i>Condizioni al contorno</i>
		Max Arbia moto uniforme a monte T. Bozzone – p = 0,40 % livello massima piena a valle raggiunto da T. Arbia (Tr 20, 30 e 200 anni) Tr 20 anni 175.50 m slm Tr 30 anni 175.50 m slm Tr 200 anni 176.50 m slm
Sor.01	T. Sorra	Max Sorra moto uniforme a monte T. Sorra – p = 1,00 % moto uniforme a monte T. Alfino – p = 2,00% moto uniforme a valle T. Sorra – p = 1,00 %
Ser.01	F.sso Serpenna ⁸	Max Serpenna (moto vario) Idrogrammi di piena a monte F.sso Serpenna moto uniforme a valle F.sso Serpenna – p = 0,60% Golena SX moto uniforme a valle – p = 0,50% Golena DX moto uniforme a valle – p = 0,50%

⁸ Per la descrizione del modello idraulico e dei risultati delle verifiche idrauliche si rimanda all'allegato ET.02.5 – verifiche idrauliche e allegati di calcolo.

Modellazione di confluenze con applicativo Hec Ras

Le confluenze dei tratti modellati sono state simulate utilizzando i seguenti metodi:

- il metodo dell'energia (*standard method*);
- il metodo del momento (*momentum method*), basato sull'equazione del momento della quantità di moto della corrente, che considera le perdite legate all'angolo del tributario, non valutabili con il metodo dell'energia.

E' stato pertanto assunto a vantaggio di sicurezza il metodo che produce i livelli idraulici di piena maggiori; solitamente risulta il metodo del momento, quando l'angolo dei tributari supera i 30°.

Modellazione dei ponti con applicativo Hec Ras

Trattandosi nella maggior parte dei casi di condizioni di moto per portate notevoli (*high flow method*), il programma consente di scegliere tra il metodo dell'energia (*Energy Equation*⁹), valido nei casi in cui il manufatto non entra in pressione (pelo libero della corrente inferiore alla quota di intradosso dell'impalcato), o il metodo basato sul teorema della quantità di moto (*Momentum Balance Method*).

Nelle sezioni a monte e a valle dei ponti, sono state inserite aree di moto ineffettivo (*ineffective flow area*) per simulare correttamente il restringimento e il successivo allargamento della sezione, con le conseguenti perdite di energia della corrente (contrazione ed espansione).

Modellazione di culvert (tombini) con applicativo Hec Ras

La modellazione dei culvert, che richiede la definizione di una geometria simile a quella richiesta per i ponti, consente di definire il tipo di funzionamento del tombino:

- tombino non rigurgitato da valle (*inlet control*);
- tombino rigurgitato da valle (*outlet control*).

I tombini simulati sono stati calcolati considerando la condizione che produce i maggiori livelli idraulici a partire dalla due condizioni (*highest criteria*).

Nelle sezioni a monte e a valle dei ponti, sono state inserite aree di moto ineffettivo (*ineffective flow area*) per simulare correttamente il restringimento e il successivo allargamento della sezione, con le conseguenti perdite di energia della corrente (contrazione ed espansione).

⁹ Si tratta dello "standard step method" del programma, che viene applicato di default.

Risultati delle verifiche idrauliche

Si rimanda agli elaborati ET. 02.1-2-3-4-5 riferiti rispettivamente ai Torrenti Tressa, Riluogo, Bozzone, Sorra e F.sso Serpenna, nei quali sono descritti i risultati delle simulazioni dei modelli idraulici e riportati gli allegati di calcolo (output applicativi Hec Ras 3.1.3 e SWMM5.0).