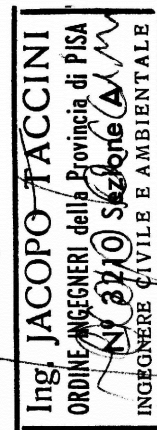


**Ing. Jacopo TACCINI**



via del Rio, 2 - 56025 PONTEDERA PI  
e-mail: [jacopo.taccini@sta-eng.it](mailto:jacopo.taccini@sta-eng.it)  
Cell. +39.328.4564561  
PEC: [jacopo.taccini@ingpec.eu](mailto:jacopo.taccini@ingpec.eu)  
Curriculum: <http://www.l2l.it/JTaccini>



Il Progettista

ALLEGATO:

**STUDIO IDRAULICO**

**Rii**

Pr. n°: 19-007

DATA: Gennaio 2019

OGGETTO: Studio idrologico-idraulico a supporto della redazione del Piano Operativo di Volterra  
UBICAZIONE: VOLTERRA PI  
COMMITTENTE: Comune di VOLTERRA  
ELABORATO: RELAZIONE IDROLOGICA

Il Direttore dei Lavori

Rev.	Data	Motivo
00	25.03.2020	Prima emissione
01		
02		
03		
04		
05		

## **RELAZIONE TECNICA**

### **Sommario**

Premessa .....	2
I bacini idraulici di interesse .....	3
Grandezze geomorfologiche.....	4
Definizione del regime pluviometrico.....	6
Ietogramma di progetto.....	8
Quantificazione della pioggia netta .....	9
Trasformazione afflussi-deflussi .....	14
Stima del tempo di corrivazione .....	14
Idrogramma Unitario SCS.....	15
Idrogramma Unitario di Clark.....	15
Kinematic Wave.....	16
Modellazione delle briglie esistenti .....	18
Idrogrammi di piena indagati .....	20

## **PREMESSA**

La presente relazione idrologica ha come scopo la determinazione degli idrogrammi di piena e le relative portate massime attese alle sezioni di chiusura dei vari bacini che sono stati analizzati nel presente studio di supporto alla redazione del Piano Operativo Comunale di Volterra.

L'obiettivo primario del presente studio è infatti quello di determinare le condizioni di rischio idraulico nell'abitato di Saline di Volterra, derivanti dai tre corsi d'acqua che lo attraversano: Botro dei Canonici, Botro di Sant'Antonio e Botro Santa Marta. La pericolosità idraulica dei tre corsi d'acqua è infatti nota anche storicamente per eventi alluvionali più o meno recenti che hanno interessato l'abitato di Saline di Volterra, particolarmente per quanto riguarda il Botro dei Canonici che presenta un tratto tombato di lunghezza non trascurabile e sezione decisamente insufficiente.

I suddetti idrogrammi sono determinati mediante l'implementazione di appositi modelli idrologici redatti con il software HEC-HMS sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers. Nelle analisi sono stati considerati i tempi di ritorno trentennale TR30 e duecentennale TR200, valutati per diverse durate di pioggia tali da individuare l'evento pluviometrico critico per i corsi d'acqua indagati.

Si descrivono allora gli approcci di analisi adottati per i diversi bacini di studio ed i parametri di calcolo con i quali sono ottenuti gli idrogrammi riportati in calce.

## ***I BACINI IDRAULICI DI INTERESSE***

I bacini idrografici oggetto di studio si collocano a Sud dell'abitato di Volterra, in provincia di Pisa. I corsi d'acqua studiati sono il Botro dei Canonici e il Botro di Santa Marta, assieme al suo affluente Botro di Sant'Antonio. I suddetti corsi d'acqua drenano i rilievi a Sud di Volterra per poi andare a confluire nel fiume Cecina.

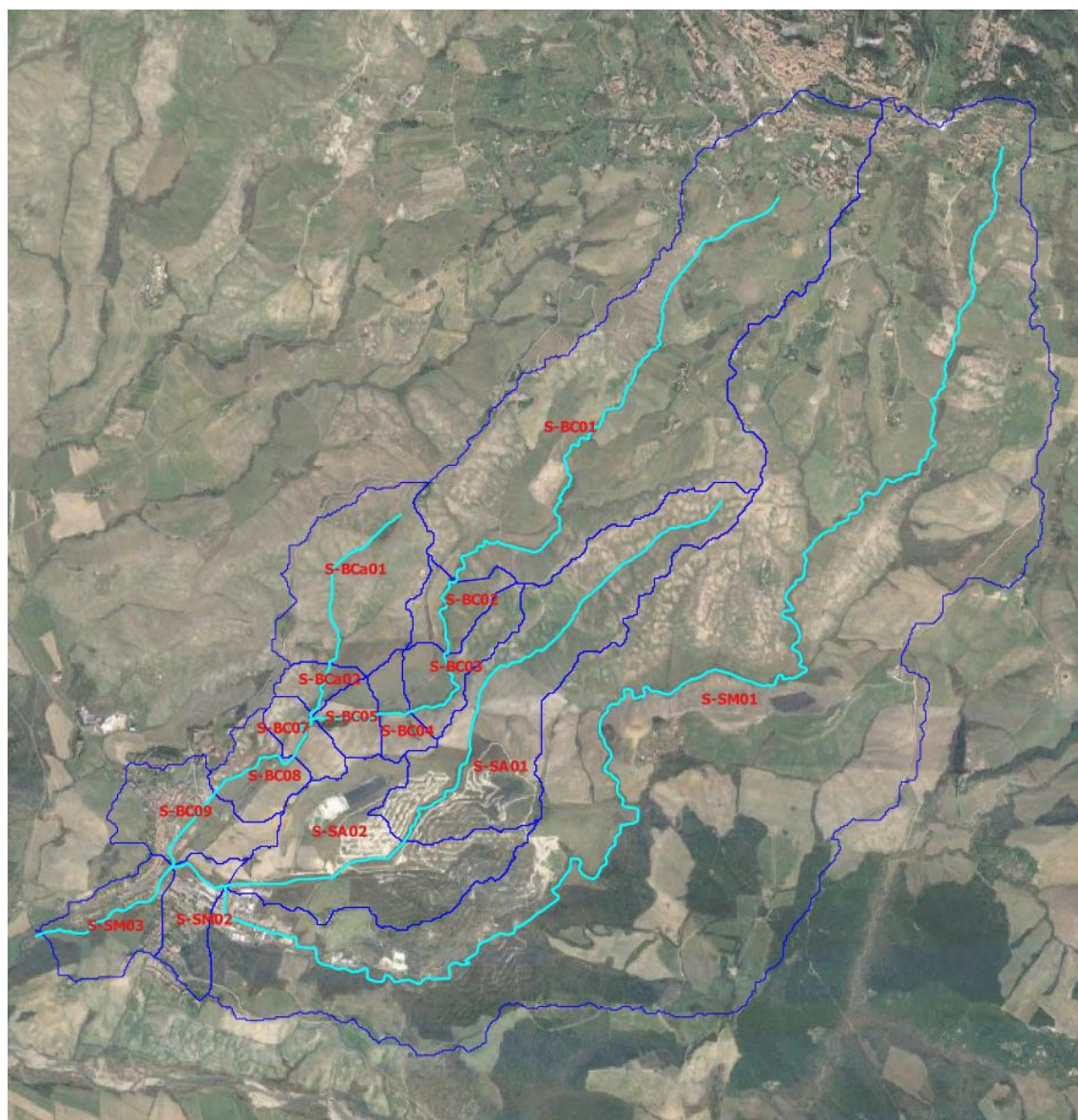
La sezione di chiusura del bacino idrografico complessivo è stata posta in corrispondenza della confluenza tra il Botro Santa Marta ed il Rio Ergagno, a valle dell'abitato di Saline di Volterra.

Il bacino così individuato, afferente al Botro Santa Marta presenta una superficie complessiva di circa 17,61 Km<sup>2</sup>, di cui 2,16 Km<sup>2</sup> afferenti al Botro di Sant'Antonio e 5,18 Km<sup>2</sup> afferenti al Botro dei Canonici.

I bacini idrografici dei corsi d'acqua sopra individuati sono stati ulteriormente suddivisi in sottobacini idrografici chiusi in corrispondenza delle briglie esistenti e delle varie confluenze, in modo tale da determinare gli idrogrammi di piena in corrispondenza delle sezioni di interesse. Per motivi di opportunità, di confronto e di congruenza con gli studi idraulici presenti sul territorio, si è scelto di mantenere la nomenclatura dei sottobacini assegnata nello studio "Sistemazione idraulica dei sottobacini del Botro dei Canonici e del Botro Santa Marta ai fini della messa in sicurezza a fronte di eventi con tempo di ritorno 200 anni" redatto per conto della COMUNITA' MONTANA ALTA VAL DI CECINA da parte di H.S. Ingegneria s.r.l. Rispetto a tale studio sono stati integrati alcuni bacini vallivi per tenere conto dei contributi offerti al Santa Marta a valle della confluenza con il Botro dei Canonici. Tutti i parametri idrologici sono stati poi rideterminati e confrontati.

Si riporta di seguito l'individuazione dei bacini e dei sottobacini idrografici. Si riporta anche lo schema del modello idrologico, di cui sarà dettagliata ogni componente ai successivi paragrafi.

I bacini sono stati perimetrati con metodologia GIS a partire dalla base cartografica di tipo lidar DTMI 10x10 m messa a disposizione dalla Regione Toscana sulla propria pagina web Geoscopio WGS, verificandone di volta in volta l'attendibilità sulla base della cartografia CTR 1:10.000 o 1:2000 dove disponibile. Inoltre i bacini così individuati sono stati riscontrati con quelli perimetrati nello studio della Comunità Montana, verificandone trascurabili e localizzate differenze, imputabili al maggior grado di accuratezza offerto dalla cartografia lidar DTMI 10x10 m.



### Grandezze geomorfologiche

Si riportano ora alcune grandezze geomorfologiche dei bacini analizzati.

- Area è espressa in kmq
- Hmax è l'altitudine massima del bacino in m.s.l.m.m
- Hmin è l'altitudine minima del bacino in m.s.l.m.m in corrispondenza della sezione di chiusura
- Hmedia è l'altitudine media pesata areale del bacino rispetto alla sezione di chiusura espressa in m
- $i_v$  è la pendenza media pesata areale del bacino espressa in %

- $i$  è la pendenza media dell'alveo espressa in %
- $L$  è la lunghezza del corso d'acqua in km
- $L_{max}$  è la lunghezza del percorso idraulico più lungo in km

Nome del bacino	Area	Hmax	Hmin	Hmedia	$i_v$	$i$	L	$L_{max}$
S-BC01	3.02	555.87	110.54	150.47	19.8	7.7	3.54	4.19
S-BC02	0.17	160.00	99.97	24.72	14.68	2.17	0.55	0.75
S-BC03	0.24	160.00	91.32	26.43	16.52	1.56	0.57	1.10
S-BC04	0.12	145.20	90.28	26.15	16.54	1.01	0.18	0.45
S-BC05	0.12	140.00	85.15	21.37	19.30	1.35	0.43	0.56
S-BC07	0.13	140.33	80.00	26.83	19.71	1.12	0.45	0.45
S-BC08	0.21	138.56	77.36	18.63	19.03	1.25	0.48	0.64
S-BC09	0.37	130.00	61.33	28.05	11.23	1.70	0.52	0.72
S-BCa01	0.70	170.00	89.61	35.80	18.62	4.51	1.09	1.30
S-BCa02	0.09	138.37	85.09	22.75	19.94	1.20	0.39	0.54
S-SA01	1.29	250.67	84.49	55.83	20.27	4.07	2.95	3.71
S-SA02	0.87	181.98	76.30	31.41	16.40	0.77	1.12	1.93
S-SM01	9.75	541.07	74.38	131.94	19.82	3.94	9.86	10.22
S-SM02	0.22	150.00	68.70	25.17	12.92	1.99	0.38	1.02
S-SM03	0.32	130.51	61.39	26.25	18.03	0.69	0.97	1.07

## **DEFINIZIONE DEL REGIME PLUVIOMETRICO**

Il regime pluviometrico della zona in esame è stato determinato con riferimento allo studio a carattere regionale "ANALISI DI FREQUENZA REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME – LSPP – Aggiornamento al 2012" redatto grazie alla collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012, e disponibile sul sito del Settore Idrologico Regionale.

Il sistema ha provveduto alla definizione dei parametri  $a$ ,  $n$  ed  $m$  descrittivi delle LSPP secondo una maglia regolare di lato 1km, e permette così di individuare i valori più appropriati dei tre parametri, semplicemente introducendone latitudine e longitudine.

Attraverso l'utilizzo del metodo statistico TCEV (Two Component Extreme Value) il citato studio definisce per il campo delle durate di pioggia minori e maggiori ad un'ora le curve di possibilità pluviometrica nella forma trinomia convenzionale

$$h = a \cdot t^n \cdot T_R^m$$

In questo caso sono presi in considerazione solo i parametri della curva di possibilità pluviometrica definiti per il campo delle durate di pioggia superiori ad un'ora. Il parametro  $m$  non è disponibile ma sono diversificati i valori  $a$  ed  $n$  per i diversi tempi di ritorno.

Per la presente analisi, in accordo con quanto riportato nel documento "Guida all'uso" allegato allo stesso studio "ANALISI DI FREQUENZA REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME" già citato, si è provveduto mediante tecnologia GIS a caricare i files forniti dallo studio riportanti i parametri georeferenziati  $a$  ed  $n$ , ed a ritagliare tale dato secondo il perimetro del macro-bacino del Botro Santa Marta, con sezione di chiusura in corrispondenza della confluenza con il Rio Ergagno. Così facendo si sono determinati i valori medi delle 17 celle della maglia ricadenti all'interno del perimetro. In tal modo sono stati individuati i parametri medi ritenuti validi su tutti i sottobacini di interesse per ciascun tempo di ritorno.

Per il campo di durate di pioggia inferiori a mezzora, la curva di possibilità pluviometrica assume parametri "a" ed "n" differenti.

Il succitato studio "ANALISI DI FREQUENZA REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME" e la relativa "Guida all'uso", però, non definiscono le curve nel campo di durate inferiori all'ora, né indicano una metodologia da seguire.

Tuttavia l'adozione del parametro  $n$  per il campo di durate inferiori ad un'ora pari a quello indicato dallo studio condurrebbe a consistenti sovrastime delle altezze di pioggia, come comunemente dimostrato in letteratura.

Lo stesso studio indica però la possibilità di estendere la curva sino alle durate di pioggia di 30 minuti senza incorrere in eccessivi errori, lasciando al professionista la scelta della curva per durate inferiori.

Nel presente studio si è scelto allora di adottare, per piogge di durata inferiore a 30 minuti, per il parametro "n" il valore di 0,48 in accordo con vari studi sperimentali (CSDU 1997<sup>1</sup>). Il parametro "a" valido al di sotto dei 30 minuti è invece determinato per ciascun tempo di ritorno come:

$$a_{<30min} = a_{>30min} * 0.5^{n_{>30min}} / 0.5^{0.48}$$

Il parametro a così determinato per la curva in corrispondenza di durate inferiori a 30 minuti è tale da far corrispondere l'altezza di pioggia di durata 30 minuti, sia essa determinata da destra (mediante cioè la curva valida per d>0.5h) o da sinistra (mediante cioè la curva valida per d<0.5h), assicurando la congruenza del dato e la continuità della curva, che diversamente fornirebbe paradossalmente altezze di pioggia per d<0.5h superiori a quelle determinate per alcune durate >0.5h.

In definitiva le curve di possibilità pluviometriche adottate sono le seguenti.

TR	a > 30 min		a < 30 min	
	a	n	a	n
2	24.714	0.231	29.377	0.48
5	34.864	0.227	41.542	0.48
10	42.112	0.237	49.838	0.48
20	49.598	0.251	58.142	0.48
30	54.020	0.258	62.992	0.48
50	59.679	0.267	69.188	0.48
100	67.365	0.276	77.575	0.48
150	71.978	0.281	82.607	0.48
200	75.174	0.284	86.114	0.48
500	85.741	0.291	97.767	0.48

<sup>1</sup> Centro Studi Deflussi Urbani, Milano.



## ***IETOGRAMMA DI PROGETTO***

Le curve di possibilità pluviometrica forniscono i volumi integrali di pioggia attesi in funzione della durata e per un prefissato periodo di ritorno, mentre non forniscono alcuna indicazione sulla distribuzione temporale della pioggia, che rappresenta un elemento fondamentale nel processo di trasformazione afflussi-deflussi.

D'altronde la modalità con cui l'intensità di pioggia varia durante un dato evento pluviometrico è da ritenersi del tutto casuale e quindi il suo studio dovrebbe essere caratterizzato da opportune indagini statistiche atte ad individuare la forma dello ietogramma.

Nella pratica progettuale si ovvia alla mancanza di dati statistici che permettano la ricostruzione dello ietogramma, mediante l'adozione di ietogrammi detti sintetici, tali cioè da non rappresentare il reale andamento dell'evento pluviometrico, ma in grado di introdurre nelle procedure di trasformazione afflussi-deflussi una variabilità temporale della pioggia che dia luogo a risultati che si possano ritenere cautelativi. La legge di distribuzione che si introduce rappresenta, in tal modo, quello che viene definito lo ietogramma di progetto.

Tra le varie procedure note in letteratura, si è scelto di impiegare lo ietogramma di tipo triangolare con picco in posizione centrale, ritenuto idoneo per i bacini analizzati. Per le finalità dello studio in esame, infatti, avendo determinato gli idrogrammi di piena per molte durate di pioggia e visti i modelli di trasformazione afflussi-deflussi adottati, non risulta opportuno impiegare ietogrammi sintetici che rappresentino in modo spinto la variabilità temporale dell'evento pluviometrico. Diversamente l'effetto di picco introdotto contemporaneamente dallo ietogramma e dal modello di trasformazione A-D, condurrebbe a risultati eccessivamente cautelativi nei confronti dei valori di picco delle portate, e inciderebbe negativamente sulla determinazione delle esondazioni concentrandone la durata temporale.

## QUANTIFICAZIONE DELLA PIOGGIA NETTA

Per quantificare la pioggia netta, ovvero la quota parte del volume di pioggia che va a produrre deflusso superficiale, si stimano le perdite idrologiche che avvengono per intercettazione della vegetazione, detenzione superficiale, immagazzinamento nelle depressioni superficiali, evapotraspirazione e infiltrazione.

Il metodo applicato è quello Curve Number (CN), che valuta istante per istante il quantitativo di pioggia che va a produrre deflusso superficiale in funzione della litologia del suolo, del suo uso e del grado di imbibizione iniziale (AMC). Sotto l'aspetto litologico i suoli sono distinti in 4 gruppi, indicati in Tabella 1, a cui sono legati, in funzione dell'utilizzazione, i parametri CN riportati in Tabella 2. La Tabella 2 riporta i valori di CN per la classe di imbibizione iniziale II, per passare alle altre classi si utilizzano i valori riportati nella Tabella 3.

Tabella 1 - Classificazione litologica dei suoli secondo il Soil Conservation Service (SCS)

GRUPPO	DESCRIZIONE
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla, ghiaie profonde molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi, meno profondi rispetto al gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alte. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se in quantità minore del gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Tabella 2 - Parametri CN relativi alla classe AMC II di umidità iniziale, per le quattro classi litologiche e per i vari tipi di uso del suolo

Tipo di copertura (uso del suolo)	A	B	C	D
TERRENO COLTIVATO				
Senza trattamenti di conservazione	72	81	88	91
Con interventi di conservazione	62	71	78	81
TERRENO DA PASCOLO				
Cattive condizioni	68	79	86	89
Buone condizioni	39	61	74	80
PRATERIE				
Buone condizioni	30	58	71	78
TERRENI BOSCOSE o FORESTATI				
Terreno sottile sottobosco povero di foglie	45	66	77	83
Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
SPAZI APERTI, PRATI RASATI, PARCHI				
Buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
Condizioni normali con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
AREE COMMERCIALI				
(impermeabilità 85%)	89	92	94	95
DISTRETTI INDUSTRIALI				

(impermeabilità 72%)	81	88	91	93
AREE RESIDENZIALI				
Impermeabilità media (%)				
65%	77	85	90	92
38%	61	75	83	87
30%	57	72	81	86
25%	54	70	80	85
20%	51	68	79	84
PARCHEGGI IMPERMEABILIZZATI, TETTI	98	98	98	98
STRADE				
Pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
Inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Tabella 3 - Conversione dei valori del CN a seconda delle condizioni AMC di umidità iniziali.

CLASSE AMC			CLASSE AMC		
I	II	III	I	II	III
100	100	100	40	60	78
87	95	98	35	55	74
78	90	96	31	50	70
70	85	94	22	40	60
63	80	91	15	30	50
57	75	88	9	20	37
51	70	85	4	10	22
45	65	82	0	0	0

Per la stima del parametro CN abbiamo scelto di avvalersi dello Studio "ATTIVITA' DI RICERCA PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO NELLA REGIONE TOSCANA" frutto dell'ACCORDO DI COLLABORAZIONE SCIENTIFICA TRA REGIONE TOSCANA E DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE DELL'UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI FIRENZE, i cui risultati sono pubblicati sul sito della Regione Toscana.

Lo Studio suddetto ha prodotto una cartografia in formato shapefile rappresentante la zonizzazione del territorio toscano, e per ogni area omogenea fornisce i dati di uso del suolo e tipo di terreno, nonché la lettera raffigurante il tipo di suolo ed il valore CN II associato.

Secondo le indicazioni suggerite dagli Uffici del Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa, si è proceduto a correggere i valori di CN II ottenuti per le aree boscate relative ai codici Corine Land Cover 311, 312 e 313 assegnando i seguenti valori:

- Per Tipo di Suolo "A" si assume CN II pari a 36
- Per Tipo di Suolo "B" si assume CN II pari a 48
- Per Tipo di Suolo "C" si assume CN II pari a 57
- Per Tipo di Suolo "D" si assume CN II pari a 63

Si riportano allora i valori ottenuti per ciascuna area omogenea interna ai bacini.

Bacino	Uso del suolo	Terreno	Tipo suolo	CN II	Area KMq
S-BC01	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	LOAM	B	56	0.0102
	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	SANDY LOAM	A	35	0.0020
	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	SILT	B	56	0.0006

	Prati stabili	LOAM	B	69	0.0001
	Prati stabili	SILTY CLAY	D	84	0.4103
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY LOAM	D	84	0.0006
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	1.7805
	Sistemi colturali e particellari permanenti	LOAM	B	73	0.1494
	Sistemi colturali e particellari permanenti	SANDY LOAM	A	61	0.0627
	Sistemi colturali e particellari permanenti	SILTY CLAY	D	84	0.3620
	Tessuto urbano discontinuo	LOAM	B	85	0.1296
	Tessuto urbano discontinuo	SANDY LOAM	A	77	0.0489
	Tessuto urbano discontinuo	SILT	B	85	0.0656
<b>S-BC02</b>	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY LOAM	D	84	0.0297
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	0.1452
<b>S-BC03</b>	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY LOAM	D	84	0.0645
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	0.1758
<b>S-BC04</b>	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY LOAM	D	84	0.0203
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	0.1008
<b>S-BC05</b>	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY LOAM	D	84	0.0421
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	0.0786
<b>S-BC07</b>	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY LOAM	D	84	0.0399
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	0.0866
<b>S-BC08</b>	Aree industriali o commerciali	SILT	B	88	0.0000
	Aree industriali o commerciali	SILTY CLAY	D	93	0.0073
	Seminitavi in aree non irrigue	SILT	B	73	0.0004
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY LOAM	D	84	0.0862
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	0.1151
<b>S-BC09</b>	Aree industriali o commerciali	SILT	B	88	0.1393
	Aree industriali o commerciali	SILTY CLAY LOAM	D	93	0.0222
	Aree industriali o commerciali	SILTY CLAY	D	93	0.0325
	Seminitavi in aree non irrigue	SILT LOAM	B	73	0.0203
	Seminitavi in aree non irrigue	SILT	B	73	0.0083
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY LOAM	D	84	0.0535
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	0.0959
<b>S-BCa01</b>	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY LOAM	D	84	0.0004
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	0.7014
<b>S-BCa02</b>	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY LOAM	D	84	0.0130
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	0.0761
<b>S-SA01</b>	Seminitavi in aree non irrigue	SILT	B	73	0.0003
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY LOAM	D	84	0.0032
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	1.2850
<b>S-SA02</b>	Aree industriali o commerciali	SILT LOAM	B	88	0.0024
	Aree industriali o commerciali	SILT	B	88	0.0087
	Aree industriali o commerciali	SILTY CLAY LOAM	D	93	0.0002
	Seminitavi in aree non irrigue	SILT LOAM	B	73	0.1645
	Seminitavi in aree non irrigue	SILT	B	73	0.2603
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY LOAM	D	84	0.1605

	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	0.2706
<b>S-SM01</b>	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	LOAM	B	56	0.0331
	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	SANDY LOAM	A	35	0.0164
	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	SILT	B	56	0.0012
	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	SILTY CLAY	D	77	0.6331
	Aree industriali o commerciali	SILT LOAM	B	88	0.0270
	Aree industriali o commerciali	SILT	B	88	0.1068
	Aree industriali o commerciali	SILTY CLAY LOAM	D	93	0.0095
	Boschi di latifoglie	CLAY LOAM	D	79	0.3733
	Boschi di latifoglie	LOAM	B	60	0.0048
	Boschi di latifoglie	SILT LOAM	B	60	0.4105
	Boschi di latifoglie	SILTY CLAY LOAM	D	79	0.1226
	Boschi di latifoglie	SILTY CLAY	D	79	0.2749
	Colture annuali associate e colture permanenti	LOAM	B	73	0.0079
	Colture annuali associate e colture permanenti	SILTY CLAY	D	84	0.0410
	Prati stabili	SILT LOAM	B	69	0.0433
	Prati stabili	SILTY CLAY	D	84	0.0244
	Seminitavi in aree non irrigue	CLAY LOAM	D	84	0.3939
	Seminitavi in aree non irrigue	LOAM	B	73	0.2408
	Seminitavi in aree non irrigue	SILT LOAM	B	73	0.4671
	Seminitavi in aree non irrigue	SILT	B	73	0.1010
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY LOAM	D	84	0.7398
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	5.3925
	Sistemi colturali e particellari permanenti	LOAM	B	73	0.0054
	Sistemi colturali e particellari permanenti	SILTY CLAY	D	84	0.1360
Tessuto urbano discontinuo	LOAM	B	85	0.0239	
Tessuto urbano discontinuo	SANDY LOAM	A	77	0.0109	
Tessuto urbano discontinuo	SILT	B	85	0.0327	
Tessuto urbano discontinuo	SILTY CLAY	D	92	0.0724	
<b>S-SM02</b>	Aree industriali o commerciali	SILT LOAM	B	88	0.0024
	Aree industriali o commerciali	SILT	B	88	0.1107
	Aree industriali o commerciali	SILTY CLAY LOAM	D	93	0.0035
	Seminitavi in aree non irrigue	SILT LOAM	B	73	0.0455
	Seminitavi in aree non irrigue	SILT	B	73	0.0229
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY LOAM	D	84	0.0254
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	0.0075
<b>S-SM03</b>	Aree industriali o commerciali	SANDY LOAM	A	81	0.0004
	Aree industriali o commerciali	SILT LOAM	B	88	0.0032
	Aree industriali o commerciali	SILT	B	88	0.0855
	Aree industriali o commerciali	SILTY CLAY LOAM	D	93	0.0001
	Aree industriali o commerciali	SILTY CLAY	D	93	0.0033
	Seminitavi in aree non irrigue	SANDY LOAM	A	61	0.0415
	Seminitavi in aree non irrigue	SILT LOAM	B	73	0.1564
	Seminitavi in aree non irrigue	SILT	B	73	0.0157
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY LOAM	D	84	0.0028
	Seminitavi in aree non irrigue	SILTY CLAY	D	84	0.0061

È allora necessario valutare il parametro CN II di ciascun bacino come media pesata sull'area dei vari CN II di ciascuna area omogenea.

$$\text{Media Ponderata} = \frac{\sum_{i=1}^n [x_i \cdot P_i]}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

Così facendo si ottiene i seguenti valori medi pesati di CNII

Come di pratica comune, per tenere conto della situazione più cautelativa in cui l'evento critico possa presentarsi in corrispondenza di una condizione satura del suolo, si è scelto di adottare per l'esame in oggetto il valore relativo alla classe AMC III, ottenendo il parametro di progetto **CN III** già incontrato per la formula di calcolo SCS del tempo di corruzione.

Si sono calcolati dunque gli altri due parametri del metodo: S è la capacità di ritenzione superficiale e  $Ia^2$  il valore limite di pioggia che il terreno può trattenere nella fase iniziale.

Nome del bacino	CN	CN III	S	ia
S-BC01	82.8	92.7	20.06	4.01
S-BC02	84.0	93.4	17.95	3.59
S-BC03	84.0	93.4	17.95	3.59
S-BC04	84.0	93.4	17.95	3.59
S-BC05	84.0	93.4	17.95	3.59
S-BC07	84.0	93.4	17.95	3.59
S-BC08	84.3	93.6	17.43	3.49
S-BC09	86.0	94.4	15.10	3.02
S-BCa01	84.0	93.4	17.95	3.59
S-BCa02	84.0	93.4	17.95	3.59
S-SA01	84.0	93.4	17.95	3.59
S-SA02	78.7	90.2	27.60	5.52
S-SM01	81.1	91.6	23.16	4.63
S-SM02	82.8	92.7	20.11	4.02
S-SM03	76.2	88.7	32.32	6.46

Infine si è valutata la pioggia netta mediante la seguente espressione:

$$h_n = \frac{(h - Ia)^2}{h - Ia + S}$$

Si sono così ottenuti gli ietogrammi di pioggia netta per ciascun bacino analizzato, ciascun tempo di ritorno considerato e ciascuna durata di pioggia indagata.

$$^2 S = 25.4 \left[ \left( \frac{100}{CN} \right) - 10 \right] \quad Ia = 0.2 \cdot S$$

## **TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI**

Al fine di stimare le portate che defluiscono all'interno del nuovo corso d'acqua, la trasformazione afflussi-deflussi è stata svolta, per ciascun tempo di ritorno, adottando il modello *dell'Idrogramma Unitario SCS (Soil Conservation Service)*, *l'Idrogramma Unitario di Clark o il metodo cinematico (Kinematic Wave)* scegliendo di volta in volta per ogni bacino tra l'uno o l'altro metodo, in funzione delle diverse caratteristiche, particolarmente nei riguardi della pendenza media del versante.

### Stima del tempo di corrivazione

Una delle grandezze più importanti da individuare in idrologia per determinare l'idrogramma relativo alla sezione di chiusura di un bacino è rappresentata dal relativo Tempo di Corrivazione. Convenzionalmente il tempo di corrivazione valutato in un determinato punto di una rete di drenaggio è definito come il tempo che occorre alla generica goccia di pioggia caduta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura del bacino in esame.

La stima di tale grandezza spesso può risultare poco agevole e l'impiego delle relative formule di calcolo può dare perciò luogo a valori non univoci che devono essere validati da dati sperimentali, là dove disponibili, o dalla sensibilità del progettista.

Data la difficoltà di tale valutazione, la soluzione più frequentemente adottata attribuisce al tempo di corrivazione la media dei valori calcolati mediante le formule note in letteratura di volta in volta ritenute valide per il bacino in esame, escludendo i valori singolari.

Le formule impiegate nel presente studio sono:

1. La formula di Giandotti Aronica Paltrnieri valida per bacini di dimensioni minori a 10 kmq

$$T_c = \frac{1}{M \cdot d} \cdot \sqrt{A_b + 1.5 \cdot L_b} \\ 0.8 \cdot \sqrt{H_m}$$

2. La formula di Puglisi

$$T_c = 6 \cdot L^{(2/3)} \cdot (H_{max} - H_0)^{-(1/3)}$$

3. La formula SCS Chow, Maidment, Mays (dipendente dal valore del parametron CN, nel caso in analisi posto pari al CNIII determinate come illustrato più Avanti)

$$T_c = \frac{0.095 \cdot L_{max}^{0.8} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{\sqrt{i_v}}$$

4. La formula di Rosso, Bocchiola, De Michele e Pecora

$$T_1 = 0.26 L^{0.82} i_v^{-0.2} (1+S)^{0.13}$$

5. La formula di Ferro (a partire dai dati di Kirpich-Chow-Watt-Pezzoli)

$$T_c = \frac{0.02221}{60} \left( \frac{L}{\sqrt{i}} \right)^{0.8}$$

6. La formula di Ferro

$$T_c = 0.675 A^{0.5}$$

### Idrogramma Unitario SCS

L'idrogramma SCS è un idrogramma adimensionale definito dal Soil Conservation Service in base all'analisi di idrogrammi di piena in uscita dalla sezione di chiusura di numerosi bacini idrografici strumentati, di varia misura. Vista la sua semplicità e la sua generalità, rappresenta il metodo maggiormente impiegato nelle analisi di trasformazione afflussi-deflussi.

Questo metodo si basa sulla stima del "lag time" che rappresenta lo sfasamento temporale tra il picco dell'idrogramma ed il baricentro dello ietogramma che lo ha prodotto. Il valore del "lag time" è definito dalla seguente espressione empirica:

$$T_L = \frac{3}{5} \cdot T_C$$

dove:

$T_C$  è il tempo di corrivazione precedentemente determinato

Il metodo dell'Idrogramma Unitario SCS è stato applicato per i bacini S-SM01 e S-SA01

<b>Sottobacino</b>	<b>Tc [h]</b>	<b>TI [min]</b>
S-SM01	2.62	94.2
S-SA01	1.31	47.2

### Idrogramma Unitario di Clark

L'idrogramma unitario di Clark simula il comportamento del bacino attraverso i due seguenti fenomeni fisici:

- il trasferimento della pioggia netta dal punto generico del bacino idrografico sino alla sezione di chiusura;
- la laminazione della massa liquida dovuta al temporaneo invaso delle precipitazioni sulla superficie del bacino idrografico.

Per la sua definizione si richiede la stima del tempo di corrivazione e della costante di invaso. La costante di invaso R può essere determinata assumendo per il rapporto

$$\frac{R}{T_C + R}$$

un valore costante all'interno di regioni idrologiche omogenee variando generalmente da valori prossimi a 0.1, tipici solitamente di idrogrammi caratterizzati da un ramo ascendente ripido, (ad esempio idrogrammi generati da bacini urbani o da bacini ad elevata pendenza media) fino a valori prossimi a 0.7, per idrogrammi relativi a bacini agricoli pianeggianti o coperti da boschi con bassa pendenza media.

Il metodo dell'Idrogramma Unitario di Clark è stato applicato per i bacini S-BC01 e S-BCa01.



<b>Sottobacino</b>	<b>Tc [h]</b>	<b>R [h]</b>
S-BC01	1.37	0.39
S-BCa01	0.78	0.52

### Kinematic Wave

Per quanto riguarda tutti gli altri bacini, non di testa del reticolo idraulico, si è scelto di adottare il metodo cinematico, che prescinde dalla determinazione del tempo di corrivazione.

Il metodo cinematico utilizza l'equazione di continuità e l'approssimazione cinematica delle equazioni complete di De Saint Venant per trasformare la precipitazione efficace in deflusso superficiale.

Il bacino viene rappresentato tramite un modello concettuale in cui possono essere definiti due piani rettangolari, percorsi dal deflusso superficiale (overland flow planes) e tre canali che raccolgono il deflusso proveniente dai piani rettangolari.

Il calcolo inizia a partire con l'analisi del deflusso sui piani rettangolari (overland flow planes). HEC-HMS calcola l'idrogramma dei deflussi relativo al primo piano ed al secondo piano. Il deflusso proveniente dai due piani rettangolari viene sommato e poi immesso nel canale principale (main channel) come portata laterale uniformemente distribuita lungo tutto il corso del canale.

L'equazione che modella il fenomeno di trasferimento della massa liquida sia sui versanti (overland flow planes) che nell'alveo del corso d'acqua e l'equazione dell'onda cinematica:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \alpha m A^{m-1} \frac{\partial A}{\partial x} = q$$

in cui A è l'area liquida della sezione di deflusso, q la portata continua in ingresso lungo l'ascissa x del corso d'acqua, a ed m due parametri univocamente determinati dalla geometria e dalla scabrezza della sezione di deflusso, essendo per ipotesi nel metodo cinematico:

$$Q = aA^m$$

Il coefficiente di scabrezza relativo al moto sui versanti (che è diverso dal coefficiente di Manning) può essere ricavato dalla seguente tabella:

n	Surface Description
0.011	Smooth asphalt
0.012	Smooth concrete
0.013	Concrete lining
0.014	Good wood
0.014	Brick with cement mortar
0.015	Vitrified clay
0.015	Cast iron
0.024	Corrugated metal pipe
0.024	Cement rubble surface
0.050	Fallow (no residue)
	<b>Cultivated soils</b>
0.060	Residue cover $\leq$ 20%
0.170	Residue cover $>$ 20%
0.130	Range (natural)
	<b>Grass</b>
0.150	Short grass prairie
0.240	Dense grasses
0.410	Bermuda grass
	<b>Woods</b>
0.400	Light underbrush
0.800	Dense underbrush

\*When selecting n for woody underbrush, consider cover to a height of about 30 mm (0.1 ft). This is the only part of the plant cover that will obstruct sheet flow.

Per ciascun bacino si è allora assegnata l'area, il parametro CN e la pendenza media precedentemente determinati, mentre si sono determinate la lunghezza, la scabrezza e la rugosità dei plane, la lunghezza, la pendenza ed il Manning dei channel. I channel sono stati impostati con sezione trapezia, larghezza al fondo pari a 6 m e sponde in ogni caso con pendenza pari a 1H:1V. Si riportano i parametri impiegati.

Bacino	Plane Length	Slope	Roughness	Channel length	Channel slope	Manning's
S-BC02	157	0.15	0.21	554	0.022	0.05
S-BC03	210	0.17	0.21	571	0.156	0.05
S-BC04	346	0.17	0.21	175	0.010	0.05
S-BC05	141	0.19	0.21	426	0.013	0.05
S-BC07	140	0.2	0.21	450	0.011	0.05
S-BC08	220	0.19	0.21	475	0.013	0.05
S-BC09	359	0.11	0.21	517	0.017	0.05
S-BCa02	115	0.2	0.21	389	0.012	0.05
S-SA02	388	0.16	0.25	1116	0.008	0.06
S-SM02	289	0.13	0.24	376	0.020	0.045
S-SM03	162	0.18	0.24	969	0.007	0.05

Inoltre sono stati modellati gli elementi reach e la successiva junction posti a valle dei sottobacini per i quali non è stato possibile applicare (solo per motivi di restituzione dei risultati) l'opzione di route upstream per simulare il trasferimento dell'onda proveniente da monte. L'elemento reach

in tal caso è stato modellato secondo il trasferimento dell'onda cinematica, adottando di volta in volta i corrispondenti parametri indicati nella precedente tabella.

Per quanto riguarda i valori di Manning adottati per i channel, e sopra riportati, sono stati impiegati valori coerenti con quelli desunti dal già citato studio della Comunità Montana, e ritenuti validi in base alle effettive condizioni verificate in sito durante i nostri sopralluoghi.

### Modellazione delle briglie esistenti

Sul Botro dei Canonici sono presenti tre briglie a fessura realizzate negli anni 90. Le tre briglie, con i conseguenti invasi a monte, sono state inserite nel modello idrologico dello stato attuale come elementi reservoir (serbatoio).

Ad ogni elemento reservoir sono state associate le curve elevation-storage-discharge, che legano la quota del pelo libero a monte della struttura al volume invasato ed alle portate defluenti a valle dell'opera. Tali curve sono state assunte valide come riportate nello studio "Sistemazione idraulica dei sottobacini del Botro dei Canonici e del Botro Santa Marta ai fini della messa in sicurezza a fronte di eventi con tempo di ritorno 200 anni" redatto dalla COMUNITA' MONTANA ALTA VAL DI CECINA. Le curve impiegate sono riportate nelle seguenti tabelle, anche in questo caso è stata mantenuta la nomenclatura:

<b>Briglia R-BC03</b>	<b>Elevation [mslm]</b>	<b>Storage [1000 mc]</b>	<b>Discharge [mc/s]</b>
	92,32	0,000	0,00
	92,40	0,004	0,00
	92,50	0,019	0,01
	92,60	0,038	0,02
	92,80	0,107	0,06
	93,00	0,216	0,13
	93,30	0,571	0,32
	93,55	0,927	0,55
	93,80	1,340	0,87
	94,05	1,835	1,28
	94,30	2,482	1,79
	94,55	3,289	2,40
	94,80	4,300	3,12
	95,05	5,457	3,96
	95,10	5,708	4,14
	95,30	6,791	4,92
	96,00	11,388	8,31
	96,10	12,156	9,54
	96,30	13,790	11,63
96,50	15,595	14,29	
96,70	17,720	24,26	
96,90	20,146	51,49	

<b>Briglia R-BC04</b>	<b>Elevation [mslm]</b>	<b>Storage [1000 mc]</b>	<b>Discharge [mc/s]</b>
	90,04	0,000	0,00
	90,15	0,001	0,01
	90,75	0,036	0,19
	91,30	0,186	0,80
	91,80	0,506	1,85
	92,30	1,053	3,47
	92,80	1,831	5,72
	93,05	2,289	7,11
	94,05	6,678	58,27

<b>Briglia R-BC05</b>	<b>Elevation [mslm]</b>	<b>Storage [1000 mc]</b>	<b>Discharge [mc/s]</b>
	83,82	0,0000	0,00
	84,00	0,0001	0,01
	84,50	0,0002	0,10
	84,85	0,0210	0,29
	85,10	0,0640	0,49
	85,80	0,4580	1,43
	86,80	2,2570	3,93
	87,30	3,9420	5,78
	87,80	6,2970	8,08
	88,07	8,1210	8,63
	88,26	9,6800	10,08
	88,46	11,5630	12,24
	88,56	12,6010	13,49
	88,59	12,9270	15,19
	88,76	14,9280	24,92
	88,86	16,2370	32,86
88,96	17,6500	42,02	
89,06	19,1710	52,25	
89,26	22,2550	75,48	

Recentemente è stata realizzata una nuova briglia sul corso del Botro dei Canonici, denominata R-BC07, pertanto è stata modellata anch'essa come elemento reservoir cui è associata le curva elevation-storage, che lega la quota del pelo libero a monte della struttura al volume invasato. Tale curva è stata anch'essa assunta valida come riportata nello studio sopra citato.

<b>Briglia R-BC07</b>	<b>Elevation [mslm]</b>	<b>Storage [1000 mc]</b>
	79,29	0,0000
	79,70	0,0001
	80,00	0,0200
	80,25	0,0760
	80,50	0,2040
	81,00	0,8330
	81,50	2,1600
	82,00	4,4200
	82,50	7,6440
	83,00	11,8390
	83,50	17,0140
	84,00	23,1770
	84,50	30,3280
	85,00	38,4740
	85,50	47,6260
	86,00	56,7780

Per la modellazione dell'efflusso, tuttavia, si è preferito in questo caso introdurre le dimensioni dell'organo di scarico costituito da una luce ricavata sul paramento della traversa, oltre allo sfioratore di sicurezza superficiale. La modellazione della cassa R-BC07 è stata quindi riprodotta anche nel modello idraulico, in modo da ottenere l'idrogramma di efflusso con maggiore correttezza, tenendo conto anche degli eventuali rigurgiti di valle.

Le dimensioni degli organi di scarico sono ricavate dal progetto esecutivo del primo stralcio funzionale del sopra citato progetto di sistemazione redatto dalla Comunità Montana e sono pari a 1.78 x 1 m per quanto riguarda la luce di fondo impostata a quota 79.3 msm, mentre lo sfioratore di superficie ha lunghezza di 92 m ed è impostato a quota 85.5 msm.

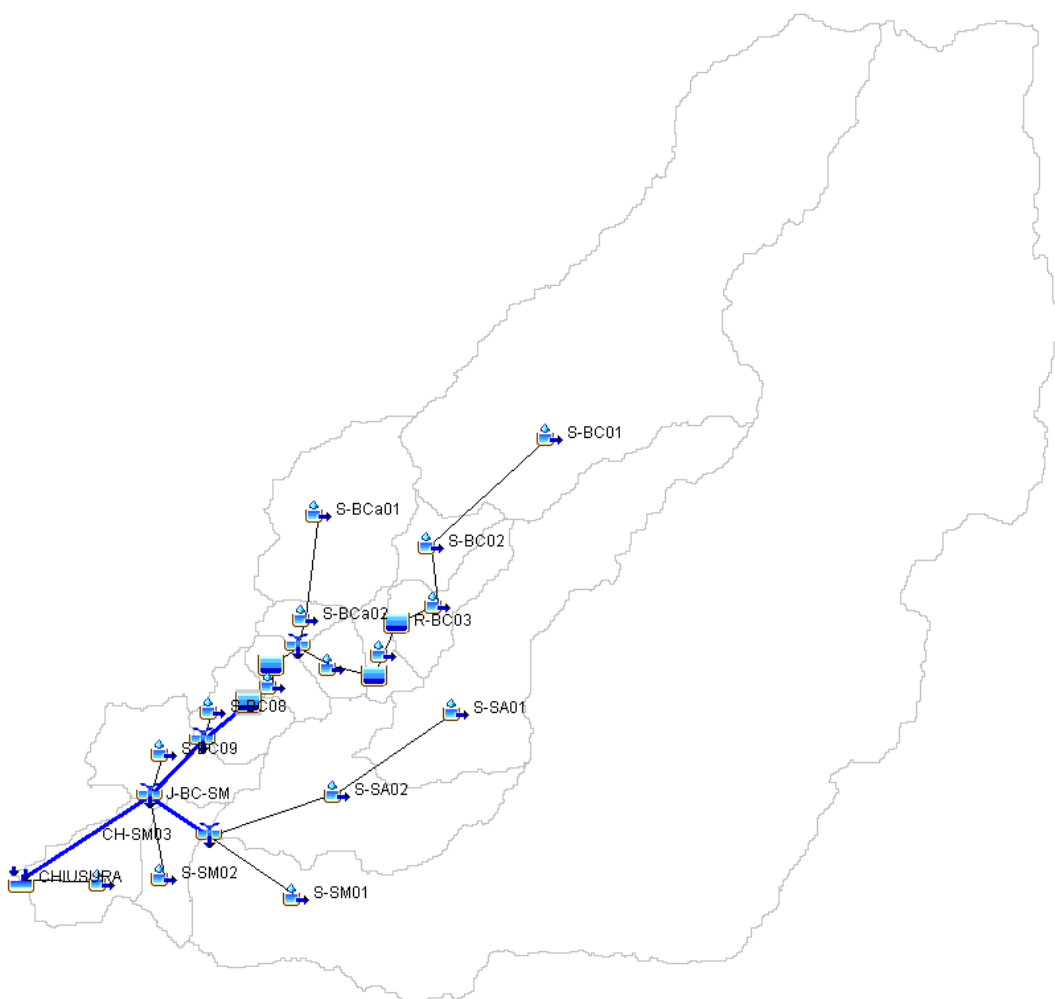
## **IDROGRAMMI DI PIENA INDAGATI**

Si riportano di seguito lo schema del modello idrologico realizzato con il software HEC-HMS 4.2.1 e gli idrogrammi di piena calcolati per gli elementi di interesse, che costituiranno dato di input per l'analisi idraulica. Come precedentemente esposto, per motivi di continuità negli studi sviluppati e di confrontabilità, si è scelto di impiegare nomenclatura analoga a quella adottata nello studio della Comunità Montana.

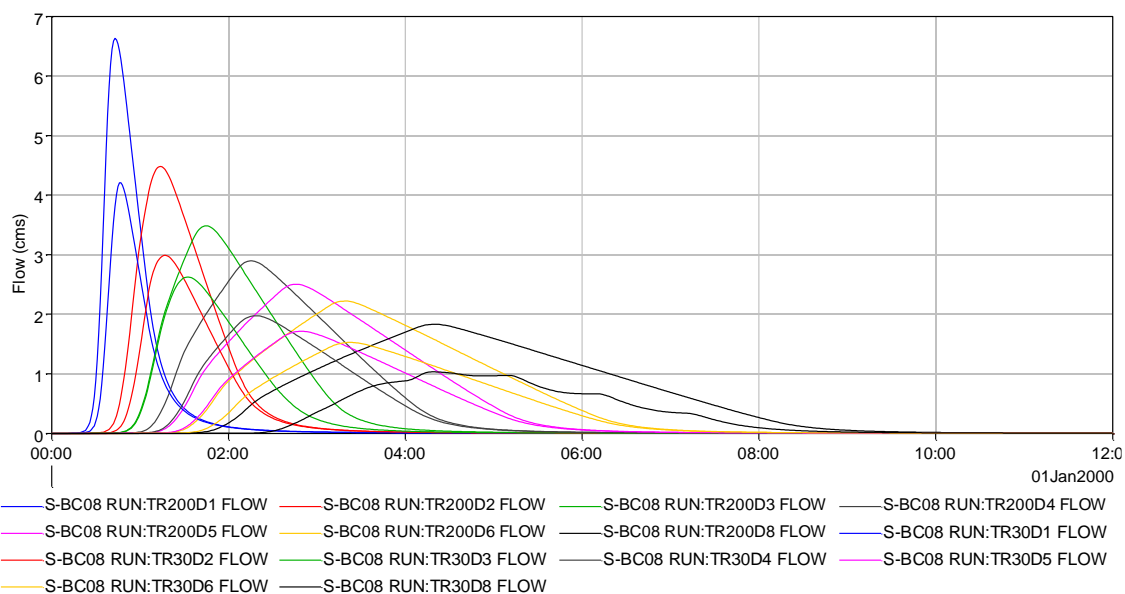
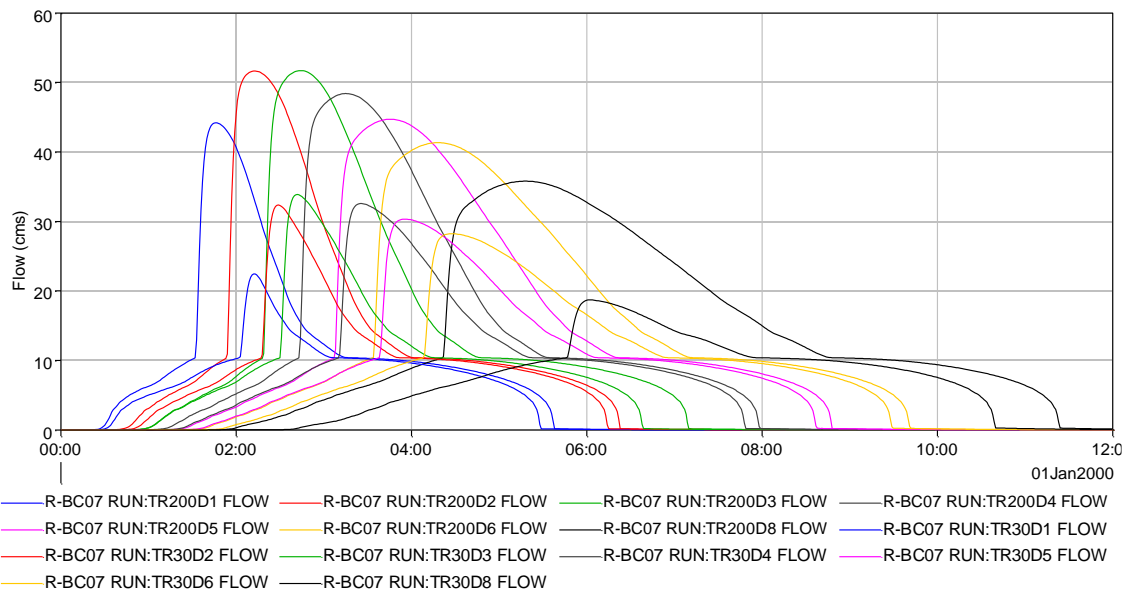
Pertanto gli elementi idrologici preceduti dalla lettera S rappresentano i sottobacini idrografici (elementi subbasin), quelli preceduti dalla lettera R le casse d'espansione in linea (elementi reservoir) e quelli preceduti dalla lettera J le confluenze (elementi junction). La chiusura del modello localizzata in corrispondenza della confluenza tra il Botro Santa Marta e il Rio Ergagno è rappresentata dall'elemento CHIUSURA (posta più a valle della sezione di chiusura del precedente studio).

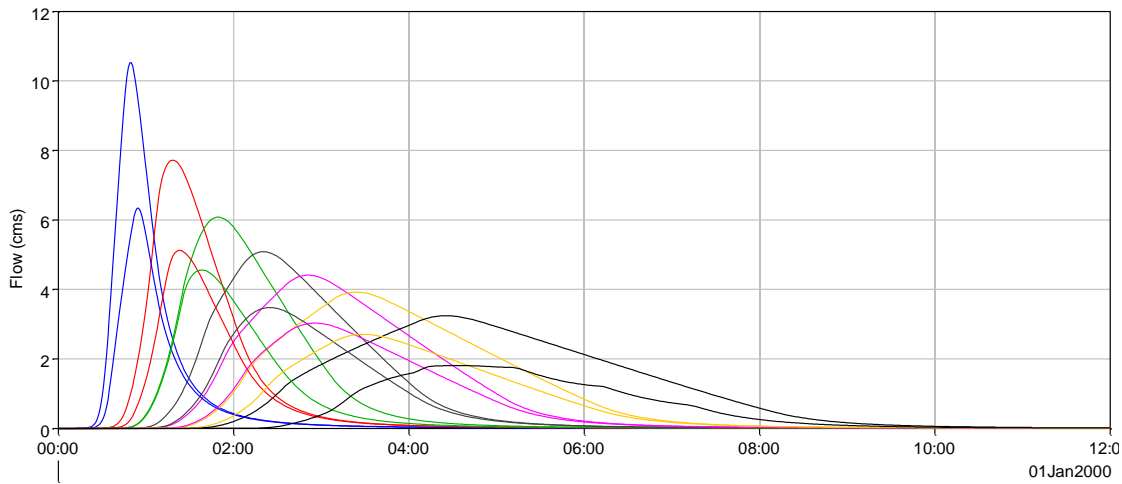
Le lettere BC indicano elementi appartenenti all'asta principale del Botro dei Canonici, BCa al suo affluente di destra, SM al Santa Marta e SA al Sant'Antonio.

Gli elementi idrologici R-BC03, R-BC04, R-BC05 e R-BC07 rappresentano le tre briglie esistenti lungo il corso del Botro dei Canonici.

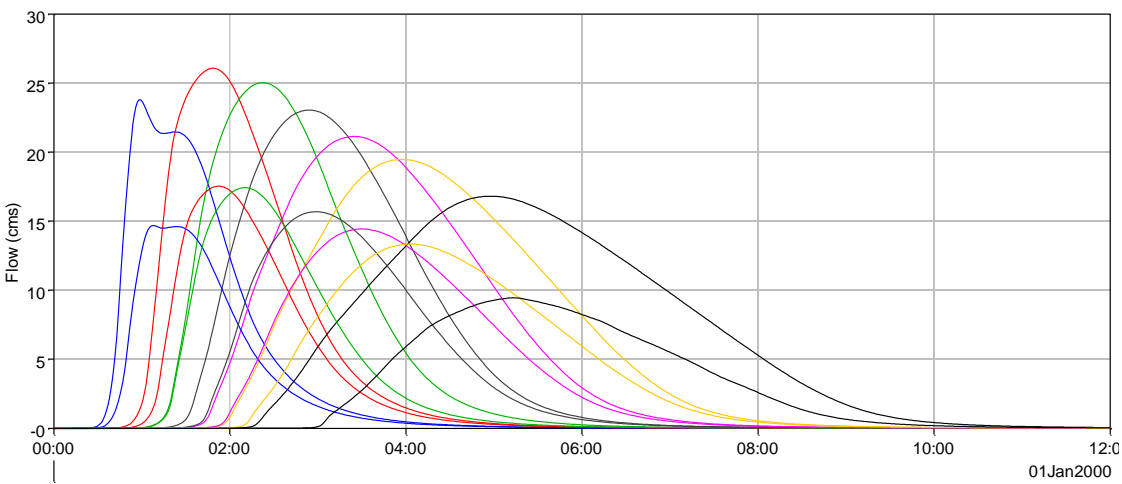


Sulla base del modello idrologico costruito sono state eseguite 14 simulazioni, con durate di precipitazione comprese tra 1 e 8 ore e tempi di ritorno 30 e 200 anni.

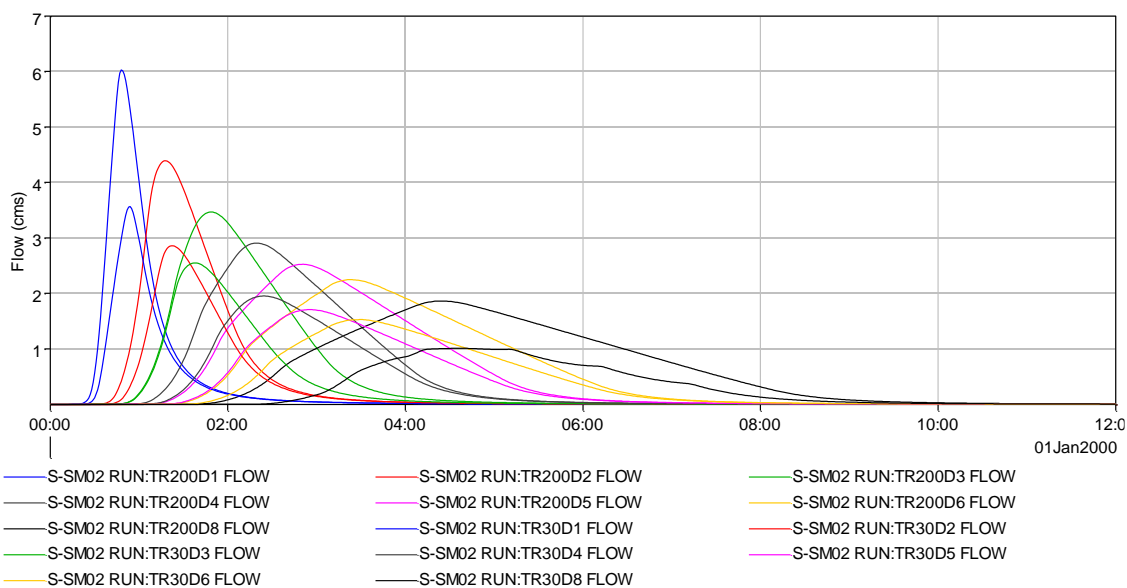
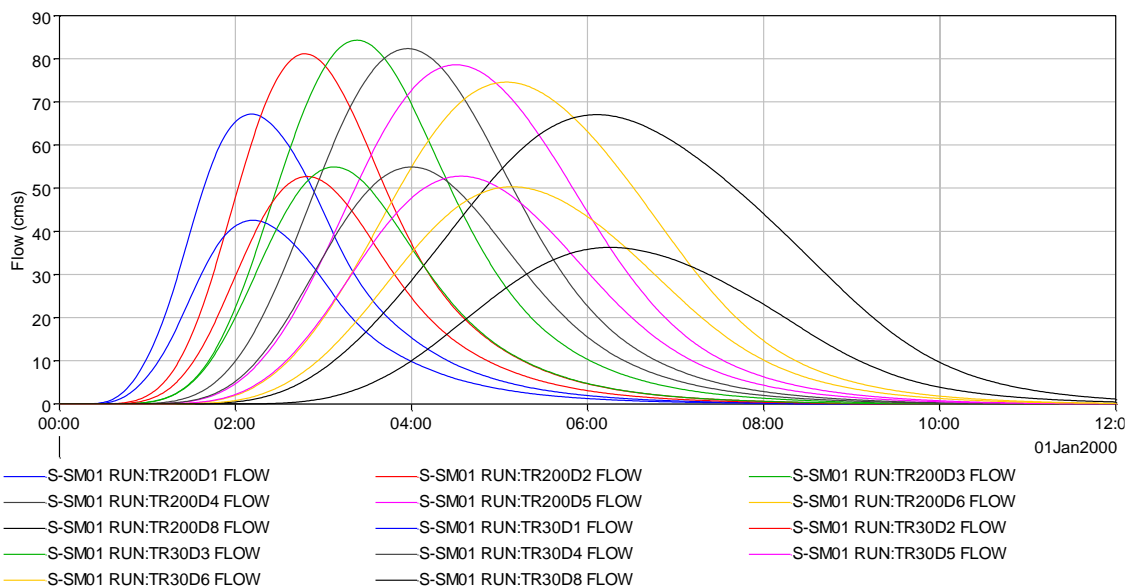




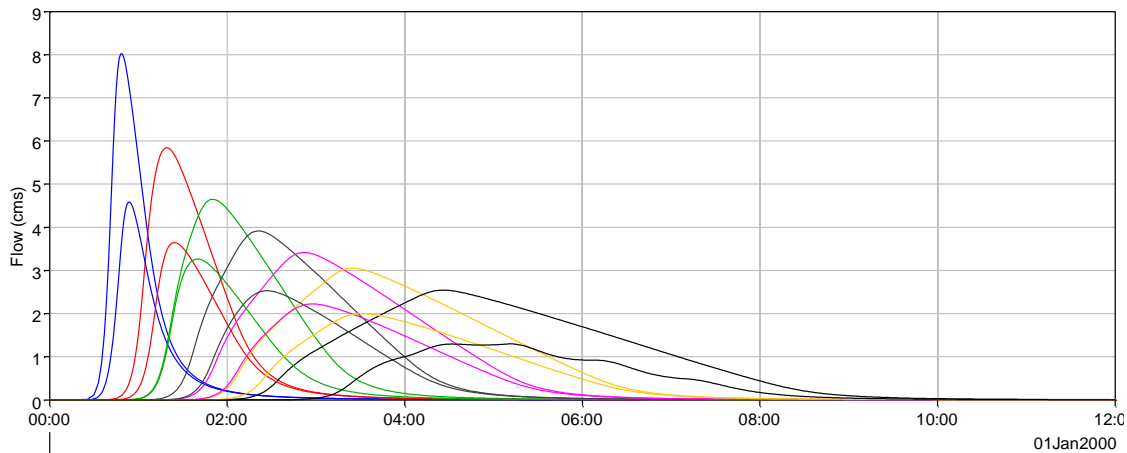
- S-BC09 RUN:TR200D1 FLOW    S-BC09 RUN:TR200D2 FLOW    S-BC09 RUN:TR200D3 FLOW    S-BC09 RUN:TR200D4 FLOW
- S-BC09 RUN:TR200D5 FLOW    S-BC09 RUN:TR200D6 FLOW    S-BC09 RUN:TR200D8 FLOW    S-BC09 RUN:TR30D1 FLOW
- S-BC09 RUN:TR30D2 FLOW    S-BC09 RUN:TR30D3 FLOW    S-BC09 RUN:TR30D4 FLOW    S-BC09 RUN:TR30D5 FLOW
- S-BC09 RUN:TR30D6 FLOW    S-BC09 RUN:TR30D8 FLOW



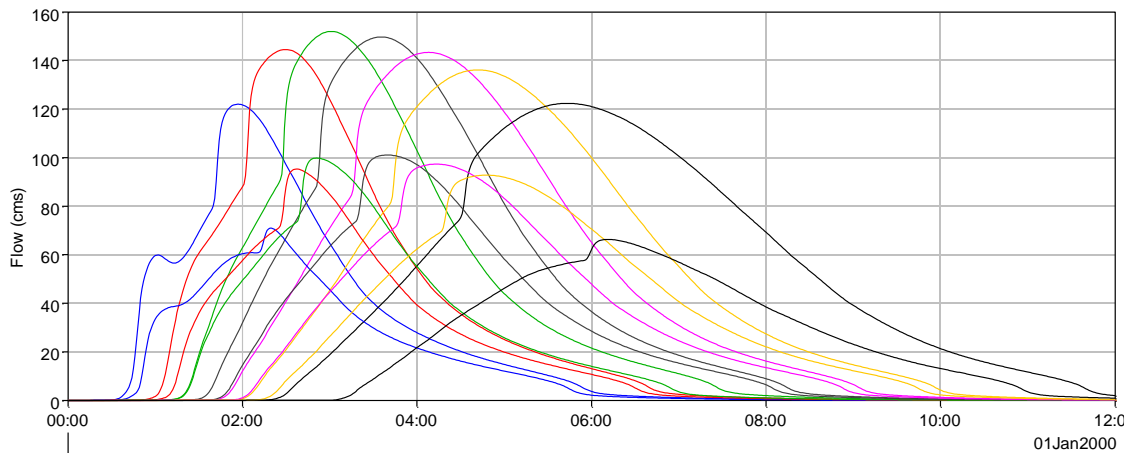
- S-SA02 RUN:TR200D1 FLOW    S-SA02 RUN:TR200D2 FLOW    S-SA02 RUN:TR200D3 FLOW    S-SA02 RUN:TR200D4 FLOW
- S-SA02 RUN:TR200D5 FLOW    S-SA02 RUN:TR200D6 FLOW    S-SA02 RUN:TR200D8 FLOW    S-SA02 RUN:TR30D1 FLOW
- S-SA02 RUN:TR30D2 FLOW    S-SA02 RUN:TR30D3 FLOW    S-SA02 RUN:TR30D4 FLOW    S-SA02 RUN:TR30D5 FLOW
- S-SA02 RUN:TR30D6 FLOW    S-SA02 RUN:TR30D8 FLOW







- |                           |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| — S-SM03 RUN:TR200D1 FLOW | — S-SM03 RUN:TR200D2 FLOW | — S-SM03 RUN:TR200D3 FLOW |
| — S-SM03 RUN:TR200D4 FLOW | — S-SM03 RUN:TR200D5 FLOW | — S-SM03 RUN:TR200D6 FLOW |
| — S-SM03 RUN:TR200D8 FLOW | — S-SM03 RUN:TR30D1 FLOW  | — S-SM03 RUN:TR30D2 FLOW  |
| — S-SM03 RUN:TR30D3 FLOW  | — S-SM03 RUN:TR30D4 FLOW  | — S-SM03 RUN:TR30D5 FLOW  |
| — S-SM03 RUN:TR30D6 FLOW  | — S-SM03 RUN:TR30D8 FLOW  |                           |



- |                             |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| — CHIUSURA RUN:TR200D1 FLOW | — CHIUSURA RUN:TR200D2 FLOW | — CHIUSURA RUN:TR200D3 FLOW |
| — CHIUSURA RUN:TR200D4 FLOW | — CHIUSURA RUN:TR200D5 FLOW | — CHIUSURA RUN:TR200D6 FLOW |
| — CHIUSURA RUN:TR200D8 FLOW | — CHIUSURA RUN:TR30D1 FLOW  | — CHIUSURA RUN:TR30D2 FLOW  |
| — CHIUSURA RUN:TR30D3 FLOW  | — CHIUSURA RUN:TR30D4 FLOW  | — CHIUSURA RUN:TR30D5 FLOW  |
| — CHIUSURA RUN:TR30D6 FLOW  | — CHIUSURA RUN:TR30D8 FLOW  |                             |