

**CONSORZIO DI BONIFICA DELLA
BARAGGIA BIELLESE E VERCELLESE**

**RIFACIMENTO INVASO SUL TORRENTE SESSERA IN SOSTITUZIONE
DELL'ESISTENTE PER IL SUPERAMENTO DELLE CRISI
IDRICHE RICORRENTI, IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA IDRICA
DEGLI INVASI ESISTENTI SUI TORRENTI RAVASANELLA ED OSTOLA,
LA VALORIZZAZIONE AMBIENTALE DEL COMPENSORIO**

DATA PROGETTO

APRILE 2010

AGGIORNAMENTO
PROGETTO

ATTIVITÀ DI PROGETTAZIONE



(dott. ing. Domenico Castelli)

NUOVA DIGA

RELAZIONE IDROLOGICA

ELABORATO N.

RD2

PROGETTO DEFINITIVO

PRATICA N°10131D

ARCH. N° IB080

MODIFICHE AGGIORNAMENTI	Aggiornamento	1°		
	Data	OTTOBRE 2010		
CONTROLLO		OPERATORE	CONTROLLO	APPROVAZIONE
	Firma	GV	DC	DC

INDICE

1. PREMESSA	1
2. BREVE DESCRIZIONE DEL BACINO DEL TORRENTE SESSERA	2
2.1 MODELLAZIONE GIS APPLICATA ALL'ANALISI IDROLOGICA	2
3. CALCOLO DELLE CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA PER ASSEGNATO TEMPO DI RITORNO	4
4. CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA PER ASSOCIATO TEMPO DI RITORNO	10
4.1 VALUTAZIONE DEGLI AFFLUSSI – IL MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI	10
4.1.1 <i>Parametri fondamentali nella modellazione della trasformazione afflussi-deflussi</i>	11
4.1.2 <i>Calcolo delle portate con il metodo SCS-CN</i>	11
4.1.2.1 Determinazione della portata di piena e degli idrogrammi di piena	18
4.1.3 <i>Calcolo delle portate col metodo razionale</i>	37
4.1.3.1 Calcolo del tempo di corrivazione t_c	37
4.1.3.2 Determinazione della portata con il Metodo Razionale	39
4.2 RIEPILOGO DELLE ELABORAZIONI VOLTE ALLA DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI PIENA PER ASSOCIATO TEMPO DI RITORNO	44

1. PREMESSA

La relazione illustra i risultati delle analisi sviluppate per la valutazione della portata al colmo di piena prevedibile in occasione di eventi idrologici eccezionali alla nuova diga sul T. Sessera. Per completezza lo studio è stato esteso a tutto il bacino del T. Sessera chiuso alla confluenza con il F. Sesia.

Lo studio è volto alla valutazione delle portate di massima piena con tempi di ritorno significativi per le successive analisi idrauliche; in particolare si è fatto riferimento ai tempi di ritorno di 5, 15, 25, 40, 50, 100, 200, 500, 1.000 ed un tempo statisticamente infinito di anni (25.000.000).

Le portate associate a tempi di ritorno inferiori ai 50 anni saranno utilizzate per le verifiche idrauliche delle opere provvisorie di deviazione delle acque durante le fasi di lavorazione mentre quelle superiori saranno utilizzate per le verifiche idrauliche inerenti lo sfioratore superficiale libero della diga in progetto.

Le indagini riportate nei capitoli a seguire sono pertanto finalizzate a valutare le portate al colmo di piena di prefissato rischio, individuato tramite il tempo di ritorno, e dei corrispondenti idrogrammi di piena associati.

Nel seguito, per una più agevole presentazione delle elaborazioni, lo studio è stato suddiviso nei seguenti capitoli:

- breve descrizione della morfologia del bacino del T. Sessera;
- valutazione delle curve di possibilità pluviometrica di assegnato tempo di ritorno;
- calcolo della portata al colmo di piena e dell'idrogramma di piena di assegnato tempo di ritorno mediante simulazione con il modello afflussi-deflussi di corrispondente tempo di ritorno T_R .

Le relazioni e le basi teoriche alla base della metodologie utilizzate sono riportate in misura strettamente necessaria alla comprensione dell'elaborato, rimandando alla bibliografia specializzata per eventuali approfondimenti.

2. BREVE DESCRIZIONE DEL BACINO DEL TORRENTE SESSERA

Il territorio è situato in provincia di Biella e si estende fra le coordinate 45°32'48'' Nord, 45°32'22'' Sud, 4°14'48'' Est e 4°24'8'' Ovest.

L'altimetria varia da 2530 m s.l.m. ai 325 m s.l.m. della sezione di chiusura.

Il regime termico è molto temperato, con modeste escursioni annue, mensili e diurne. Il regime pluviometrico è caratterizzato da precipitazioni molto elevate in senso assoluto con una distribuzione prettamente equinoziale: massimi molto marcati in primavera ed in autunno e minimi in inverno ed in estate. Il clima ha così un tono tipicamente "atlantico", molto umido e molto livellato dal punto di vista termico. L'orientamento prevalente del bacino del Torrente Sessera (verso Sud-Est) fa sì che le correnti umide risalenti dalla pianura padana si attenuino leggermente ed il fatto stesso è accusato dalla vegetazione spontanea.

La vegetazione arborea mette in evidenza una fascia pedemontana e montana inferiore (fino a 900-1000 m s.l.m.) ed una fascia montana superiore (da 900-1000 m fino a 1500-1600 m).

Nella prima si possono distinguere due consociazioni principali, con tutte le fasi di passaggio dall'una all'altra: sui terreni piuttosto superficiali prevale un bosco a querce, betulla, castagno; il sottobosco è a ginestra, rovi, calluna, evidente espressione di aridità. Nei tratti peggiori si passa alla vera brughiera a calluna. Sui terreni più profondi si è invece insediato un bosco misto di latifoglie mesofite con presenza di tiglio, frassino, acero montano, querce.

Oggetto del presente studio è il bacino del T. Sessera in corrispondenza della confluenza con il F. Sesia.

Particolare attenzione sarà dedicata alla porzione del bacino chiuso in corrispondenza della nuova diga. Il bacino in parola ha una estensione di 51,31 Km² con un'altitudine media di 1.439 m s.l.m. Morfologicamente si presenta come una struttura ad anfiteatro chiusa sulla diga suddivisa in due sottobacini uno sotteso dal Torrente Sessera e l'altro dal Torrente Dolca. La confluenza dei due torrenti è in prossimità della diga.

2.1 MODELLAZIONE GIS APPLICATA ALL'ANALISI IDROLOGICA

Nell'ultima decade i Sistemi Informativi Geografici (GIS, Geographical Information System) sono evoluti in una tecnologia che coinvolge ogni aspetto della nostra vita, dalla ricerca dei percorsi stradali in automobile alla gestione dei disastri naturali.

Per Sistema Informativo Geografico si intende una raccolta di informazioni con un sistema di

riferimento spaziale comune che descrivono caratteristiche dell'atmosfera, della superficie terrestre e della litosfera permettendo la gestione, l'aggiornamento e l'analisi dei dati.

Un GIS permette di soddisfare la necessità di disporre informazioni sul territorio ordinate ed accessibili. Necessità che per altro esiste da sempre. La storia della cartografia ne è un chiarissimo esempio.

I sistemi informativi hanno un'estensione che va ben oltre l'infrastruttura di calcolo e di gestione utilizzata.

Il sistema è costituito da un insieme di componenti fondamentali:

- le strutture organizzative;
- i metodi di lavoro, i procedimenti;
- l'infrastruttura di calcolo e gestione (Hardware e software)
- i dati.

I dati presenti all'interno di GIS forniscono una rappresentazione digitale dei fenomeni relativi ad una regione.

L'aspetto più importante è che i dati sono georiferiti ossia posseggono una componente spaziale che ne descrive la posizione rispetto ad un sistema di riferimento convenzionale.

L'implementazione del GIS è stata fatta utilizzando il software GRASS (Geographic Resources Analysis Support System).

GRASS è un sistema GIS combinato raster/vettoriale con integrati dei sottosistemi di image-processing e visualizzazione dei dati. Include più di 350 moduli per la gestione, l'elaborazione, l'analisi e la visualizzazione dei dati georeferenziati.

I dati costituenti il GIS che è stato creato sono sia morfologici che climatici.

La base di partenza morfologica è costituita dal modello digitale del terreno (DTM) della Regione Piemonte. La base climatica è costituita dai dati di pioggia misurati e dalle relazioni che esprimono il gradiente tecnico in funzione della quota.

L'analisi del DTM permette di estrarre i parametri morfologici quali limiti del bacino, rete idrografica (e sua estensione), altitudine media, esposizione dei versanti.

L'analisi della pluviometria permette attraverso elaborazioni tradizionali (poligoni di Thiessen) di risalire alla quantità d'acqua affluita.

3. CALCOLO DELLE CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA PER ASSEGNATO TEMPO DI RITORNO

L'oggetto dell'indagine può essere inquadrato come la stima della portata al colmo con tempo di ritorno assegnato in una sezione generica del bacino del T. Sessera in cui sono disponibili le registrazioni pluviometriche delle precipitazioni intense rilevate nelle stazioni viciniori di Campertogno, Coggiola ed Oropa.

Le stazioni, eccezion fatta per Coggiola, sono esterne al bacino e sono disposte in modo da racchiuderne il contorno.

Identificativo stazione	Stazione	Quota [m slm]	Latitudine N	Longitudine W	Periodo di osservazione S.I.M.N.
1	Campertogno	815	45°47'	4°25'	1922-86
2	Coggiola	468	45°41'	4°17'	1916-86
3	Oropa	1180	45°38'	4°30'	1913-86

Tabella 1 - Anagrafica delle stazioni pluviometriche utilizzate.

Nella Fig. 1 sono indicate le ubicazioni delle stazioni di misura sullo sfondo dei sottobacini del T. Sessera, ai quali è stato assegnato un codice identificativo alfanumerico per comodità di lettura.

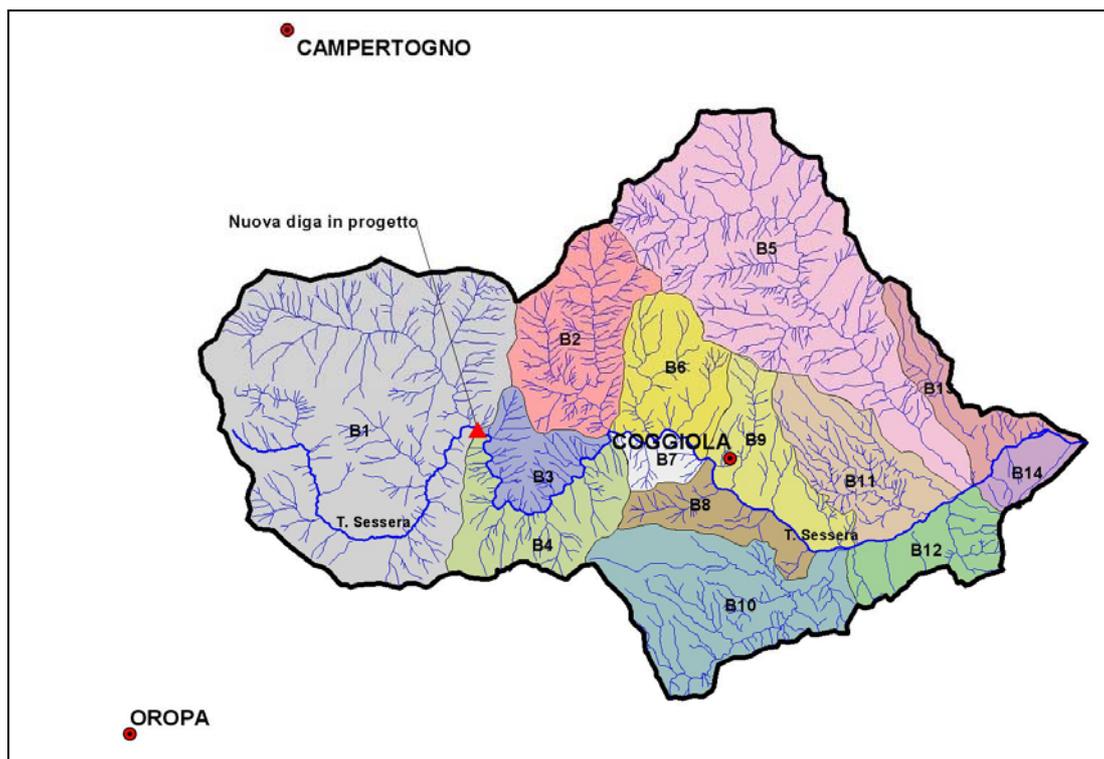


Figura 1 – Individuazione dei sottobacini del T. Sessera con indicazione delle stazioni pluviometriche utilizzate (punto rosso) nelle elaborazioni.

Nella Tab. 2, facendo riferimento alla Fig. 1, sono riportati i codici identificativi dei bacini considerati.

Codice identificativo bacino	Descrizione
B1	Bacino sotteso alla nuova diga in progetto
B2	Bacino sotteso T. Confienza
B3	Interbacino sinistra Diga-Piancone
B4	Interbacino destra Diga-Piancone
B5	Bacino sotteso T. Strona di Postua
B6	Interbacino sinistra Piancone-Portula
B7	Interbacino destra Piancone-Portula
B8	Interbacino destra Portula-Pray
B9	Interbacino sinistra Portula-Pray
B10	Bacino sotteso T. Ponzone
B11	Interbacino sinistra Pray-Strona
B12	Interbacino destra Pray-Strona
B13	Interbacino sinistra Strona-Sesia
B14	Interbacino destra Strona-Sesia

Tabella 2 - Anagrafica dei sottobacini e degli interbacini nei quali è stato suddiviso il bacino del T. Sessera chiuso in corrispondenza della confluenza in F. Sesia

Lo studio idrologico riguarda un'indagine sulle precipitazioni di breve durata e massima intensità per caratterizzare gli eventi gravosi nella loro intensità, durata e frequenza. Tramite elaborazioni statistiche effettuate sulle registrazioni degli eventi gravosi, ricavati dagli Annali Idrologici pubblicati dal Servizio Idrografico, si giunge a definire le curve di possibilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno.

Da tali curve si deduce l'altezza di precipitazione che si verifica sul bacino per una certa durata di pioggia e con un certo tempo di ritorno: in altre parole si valuta la quantità di pioggia in ingresso nel bacino. Una parte di questa pioggia, però, si perde per effetto di una serie di fenomeni idrologici ancor prima di arrivare alla rete idrografica.

I dati relativi alle precipitazioni sono tratti dalle misurazioni effettuate nelle stazioni di Campertogno, Oropa e Coggiola.

L'applicazione del metodo dei topoi (Fig. 2), ha permesso di selezionare le stazioni che effettivamente hanno un'influenza nel bacino in esame.

Le stazioni esaminate sono particolarmente significative per l'area in esame perché dotate di una serie storica delle osservazioni orarie particolarmente estesa. Sono state calcolate le curve di possibilità pluviometrica per ogni stazione in parola e quindi applicando il metodo dei topoi si è valutata l'altezza di precipitazione media areale in ogni sottobacino ed interbacino.

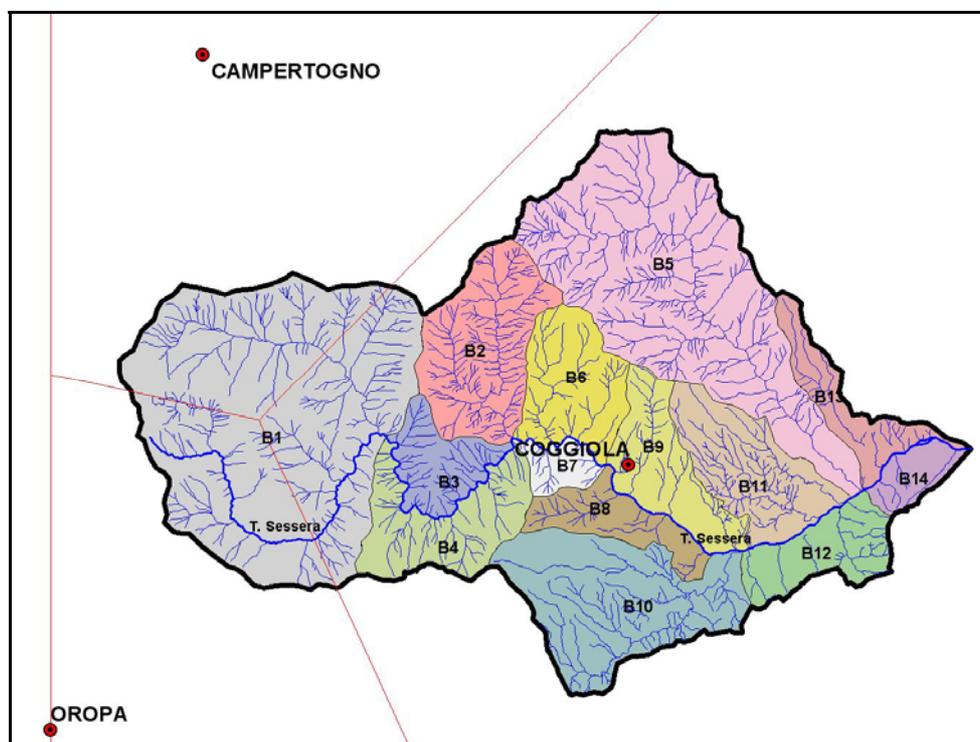


Figura 2 – Delineazione dei poligoni di Thiessen per il bacino del T. Sessera. I poligoni sono delimitati dalla linea sottile di colore rosso.

Nella Tab. 3 sono indicati i coefficienti di peso assegnati alle varie stazioni calcolati come rapporto tra il valore dell'area afferente ad una stazione e l'area totale del bacino in esame:

ID bacino	Stazione pluviometrica di:		
	Campertogno	Coggiola	Oropa
B1	0.337	0.350	0.313
B2	0.0	1.0	0.0
B3	0.0	1.0	0.0
B4	0.0	1.0	0.0
B5	0.0	1.0	0.0
B6	0.0	1.0	0.0
B7	0.0	1.0	0.0
B8	0.0	1.0	0.0
B9	0.0	1.0	0.0
B10	0.0	1.0	0.0
B11	0.0	1.0	0.0
B12	0.0	1.0	0.0
B13	0.0	1.0	0.0
B14	0.0	1.0	0.0

Tab. 3 – Coefficienti di influenza areale delle stazioni pluviometriche secondo il metodo dei poligoni di Thiessen

Le serie storiche dei dati di precipitazione di durata compresa tra una e 24 ore di ogni stazione sono state sottoposte a regolarizzazione probabilistica al fine di determinare le curve di possibilità pluviometrica per i tempi di ritorno di 5, 15, 25, 40, 50, 100, 200, 500, 1.000 e un tempo statisticamente infinito di anni (25.000.000).

Di seguito sono elencati per sommi capi i passi effettuati per regolarizzare le serie temporali riferite a durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore così come desumibili dagli Annali Idrologici e per determinare successivamente le curve di possibilità pluviometrica.

Ogni serie temporale deve essere ordinata in senso crescente per poter calcolare la frequenza cumulata relativa.

Per ogni serie si calcolano i momenti del primo e secondo ordine ed i parametri caratteristici della distribuzione di Gumbel. Di seguito si riportano le formule utilizzate relativamente al

$$\bar{h}_t = \frac{\sum_{i=1}^N h_{i,t}}{N}$$

$$\sigma_{(N-1)_t} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (h_{i,t} - \bar{h}_t)^2}{N-1}}$$

$$u_t = \bar{h}_t - 0.45 \cdot \sigma_{(N-1)_t}$$

$$\alpha_t = \frac{1.283}{\sigma_{(N-1)_t}}$$

calcolo dei principali parametri statistici.

Dalla definizione di tempo di ritorno (T) si può calcolare il valore di altezza massima di precipitazione in funzione di T con la seguente formula:

$$h_{i,max_i} = u_i - \frac{1}{\alpha_i} \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]$$

dove u_i e α_i sono i parametri della distribuzione di Gumbel per ogni serie adattata.

Noti i valori di $h_{i,max}$ in funzione di del tempo di ritorno T calcolati per le durate dell'evento di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, è possibile determinare i parametri caratteristici a ed n dell'equazione generale della curva di possibilità pluviometrica che è del tipo:

$$h(t) = a \cdot t^n$$

Specializzando l'equazione considerata secondo le ipotesi della distribuzione di Gumbel si può scrivere la relazione che esprime l'altezza h in funzione della durata e del tempo di ritorno:

$$h(t) = a_\mu \cdot (1 + V \cdot K_T) \cdot t^n$$

dove a_μ ed n possono essere stimati mediante una regressione lineare tra le trasformate logaritmiche delle medie di $h(t)$ e delle loro durate corrispondenti, V è il coefficiente di variazione (dato dal rapporto σ/μ) e K_T è il fattore di frequenza funzione del tempo di ritorno T .

Il coefficiente di variazione può essere stimato come media dei coefficienti di variazione V_i corrispondenti alle diverse durate mediante la:

$$V = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k V_i^2}$$

dove k indica il numero di durate disponibili.

Il fattore di frequenza per la distribuzione di probabilità di Gumbel è definito come:

$$K_T = - \left[0.45 + 0.7797 \cdot \ln \left(- \ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right]$$

Nella Tab. 4 sono riportati i parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica associate ai rispettivi bacini:

- Parametro caratteristico a :

Tempo di ritorno	Identificativo bacino	
	B1	B2-B14
5	53.2	45.2
15	67.0	57.2
25	73.2	62.5
40	78.8	67.4
50	81.5	69.7
100	89.7	76.8
200	97.9	83.9
500	108.7	93.2
1000	116.8	100.3
∞	236.0	203.5

Tab. 4 – Parametro caratteristico a delle curve di possibilità pluviometrica

- Parametro caratteristico n :

Parametro n stazione	Identificativo bacino	
	B1	B2-B14
Campertogno	0.544	0.0
Coggiola	0.430	0.430
Oropa	0.510	0.0

Tabella 5 – Parametro caratteristico n delle curve di possibilità pluviometrica

4. CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA PER ASSOCIATO TEMPO DI RITORNO

Non disponendo per il bacino del T. Sessera di dati idrometrici da elaborare per la valutazione diretta delle portate di piena, si è fatto ricorso alla stima indiretta delle portate utilizzando il modello afflussi-deflussi denominato SCS-CN proposto dal Soil Conservation Service. In particolare per il bacino sotteso dalla nuova diga si è calcolata la portata di piena anche con il metodo razionale al fine di instaurare un confronto.

L'uso oramai ampiamente diffuso della trasformazione afflussi-deflussi per la stima della portata di assegnato rischio è giustificato da una duplice constatazione: la prima è che i fenomeni di piena sono sempre conseguenza di eventi pluviometrici intensi, la seconda è che la disponibilità dei dati storici di precipitazione è di gran lunga superiore a quella dei dati idrometrici il che garantisce una maggior attendibilità nei procedimenti di inferenza statistica, in particolare modo per i tempi di ritorno più elevati.

4.1 VALUTAZIONE DEGLI AFFLUSSI – IL MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI

L'utilizzo del DTM del bacino ha permesso di condurre lo studio idrologico del bacino stesso ricorrendo al modello SCS nella implementazione fornita dal codice di calcolo automatico HEC-HMS e nella sua estensione per sistemi informativi territoriali GIS HEC-GeoHMS.

Il codice di calcolo Hydrologic Modeling System, HMS per l'appunto, è stato progettato per simulare la trasformazione afflussi-deflussi in un bacino di tipo dendritico.

La metodologia di trasformazione adottata è quella denominata SCS-CN proposta dal Soil Conservation Service. L'estensione HEC-GeoHMS è un preprocessore di dati utilizzato per estrarre tutti i parametri geomorfologici necessari alla modellazione eseguita col motore di calcoli HEC-HMS.

Delineati i bacini e gli interbacini è stato agevole per tramite della cartografia tematica digitale fornita dalla Regione Piemonte procedere alla classificazione della litologia e dell'uso del suolo appropriato.

Le informazioni riguardanti la litologia sono state utilizzate per determinare le caratteristiche idrologiche dei suoli che, incrociate con la tipologia di uso del suolo, permettono di desumere i valori del parametro CN.

4.1.1 Parametri fondamentali nella modellazione della trasformazione afflussi-deflussi

Il diverso utilizzo del suolo determina una diversa risposta alle sollecitazioni pluviometriche. La scelta degli eventi meteorici da considerare nel modello idrodinamico deve essere molto accurata, in modo che si possa dare ai risultati un significato probabilistico ben preciso. La correlazione tra i volumi affluiti nel corso dell'evento considerato, caratterizzato da un associato tempo di ritorno e quelli defluiti è avvenuta implementando il calcolo dell'Idrogramma Unitario di piena (U.H.M.) tale da consentire di simulare la risposta di un determinato bacino sottoposto all'evento meteorologico considerato.

A monte della determinazione della pioggia netta, cioè di quella componente che origina il deflusso, è risultato evidentemente necessario valutare la modalità con cui il bacino consente di dare luogo alla formazione del deflusso.

4.1.2 Calcolo delle portate con il metodo SCS-CN

Definito il tempo di ritorno dell'evento meteorologico considerato nonché l'entità della pioggia attesa in funzione della durata della stessa, si sono configurati i criteri scelti per la definizione della modalità di formazione dei deflussi.

Il calcolo dei deflussi procede quindi con la determinazione dell'idrogramma di piena supponendo il verificarsi dell'evento considerato in maniera uniforme sull'intero bacino complessivo.

Il metodo Soil Conservation Service è una procedura che consente la ricostruzione delle piene nei bacini idrografici. Il metodo consente sia la semplice determinazione del volume della piena o della sua portata al colmo sia la completa ricostruzione dell'idrogramma di piena.

Per la determinazione del volume di piena il metodo si fonda sull'ipotesi che sia sempre valida la seguente relazione:

$$\frac{V}{P_n} = \frac{W}{S}$$

avendo indicato con V il volume di deflusso, con P_n la precipitazione netta, con W l'invaso del suolo, cioè il volume idrico effettivamente immagazzinato nel suolo, e con S il valore massimo del suddetto invasore.

La precipitazione netta si ottiene sottraendo alla precipitazione totale P le perdite iniziali I_a

dovute all'immagazzinamento superficiale, imputabili per esempio, alla presenza sulla superficie del bacino di zone che, per la loro morfologia, consentono l'accumulo di volumi idrici, all'intercettazione operata dalla copertura vegetale presente e all'infiltrazione prima della formazione del deflusso. La precipitazione netta si ripartisce completamente tra il volume di deflusso superficiale e l'invaso del suolo:

$$P_n = V + W$$

Sostituendo il valore di W ricavato in precedenza, si ottiene:

$$V = \frac{P_n^2}{P_n + S}$$

Le perdite iniziali sono espresse dalla relazione in pratica costante per ogni tipo di bacino:

$$I_a = 0,2S$$

e tenendo conto che $P_n = P - I_a$, si ottiene:

$$V = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

L'applicazione dell'espressione ottenuta presuppone, oltre alla conoscenza della precipitazione totale P, la stima del massimo invaso S del suolo che, teoricamente, può assumere tutti i valori positivi compresi tra 0 (superficie perfettamente impermeabile) e infinito (nessuna formazione di deflusso superficiale).

La valutazione di S viene condotta mediante la seguente relazione:

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

in cui figura un parametro CN, denominato *curve number*, che assume valori compresi tra 100 e 0. Il CN rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso e si stima, sulla base dei valori riportati in apposite tabelle (reperibili in letteratura), in relazione alle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale presenti nel bacino. La stima del CN presuppone, inizialmente, la determinazione del gruppo idrologico di ciascun suolo ricadente nel bacino e, all'interno di ciascun gruppo, l'individuazione di aree omogenee per destinazione d'uso, sistemazione e condizione idrica. A ciascuna area omogenea, di nota superficie, viene attribuito l'appropriato CN sulla base di quelli riportati in letteratura; il valore di CN dell'intero bacino si ottiene come media pesata, con peso la superficie, dei valori stimati per

le singole aree omogenee.

Per la stima del CN si distinguono i seguenti quattro gruppi idrologici denominati A, B, C e D.

Gruppo A: Bassa capacità di formazione del deflusso. Suoli con elevata infiltrabilità anche in condizioni di completa saturazione. Si tratta di sabbie o ghiaie profonde molto ben drenate. La conducibilità idrica alla saturazione è elevata.

Gruppo B: Suoli con modesta infiltrabilità se saturi. Discretamente drenati e profondi sono caratterizzati da una tessitura medio-grossa e da una conducibilità idrica non molto elevata.

Gruppo C: Suoli con bassa infiltrabilità se saturi. Sono per lo più suoli con uno strato che impedisce il movimento dell'acqua verso il basso (a drenaggio impedito) oppure suoli con tessitura medio-fine e bassa infiltrabilità. La conducibilità idrica è bassa.

Gruppo D: Suoli a elevata capacità di formazione del deflusso. Appartengono a questo gruppo i suoli ricchi di argilla con capacità rigonfianti, i suoli con uno strato di argilla presso la superficie, i suoli poco profondi su substrati impermeabili. La conducibilità idrica è estremamente bassa.

Gruppi idrologici

Destinazione	Sistemazione	Condizione idrica	A	B	C	D	
Incolto			77	86	91	94	
Coltivazione in filari	Rittochino	Povera	72	81	88	91	
		Buona	67	78	85	89	
	Girapoggio	Povera	70	79	84	88	
		Buona	65	75	82	86	
	Terrazzato	Povera	66	74	80	82	
		Buona	62	71	78	81	
	Cereali da granella	Rittochino	Povera	65	76	84	88
			Buona	63	75	83	87
Girapoggio		Povera	63	74	82	85	
		Buona	61	73	81	84	
Terrazzato		Povera	61	72	79	82	
		Buona	59	70	78	81	
Prati di leguminose o a rotazione		Rittochino	Povera	66	77	85	89
			Buona	58	72	81	85
	Girapoggio	Povera	64	75	83	85	
		Buona	55	69	78	83	
	Terrazzato	Povera	63	73	80	83	
		Buona	51	67	76	80	
	Prato permanente Boschi		Buona	30	58	71	78
			Povera	45	66	77	83
		Discreta	36	60	73	79	
		Buona	25	55	70	77	
Strade sterrate			74	84	90	92	
Superfici impermeabili e superfici d'acqua			100	100	100	100	

Il metodo tiene anche conto delle condizioni di umidità del suolo antecedenti all'inizio dell'evento (Antecedent Moisture Conditions, AMC) e a tal fine va precisato che i valori di CN riportati si riferiscono a condizioni medie del parametro AMC denominate AMCII.

La definizione di AMC richiede la determinazione della precipitazione totale caduta nei cinque giorni precedenti l'evento in esame che consente di definire la condizione di umidità antecedente l'evento (AMCI, AMCII, AMCIII).

Definizione delle condizioni di umidità antecedenti l'evento (AMC)

Periodo vegetativo	Riposo vegetativo	AMC
Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento minore di 35 mm	Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento minore di 13 mm	I
Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento tra 35 e 53 mm	Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento tra 13 e 28 mm	II
Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento maggiore di 53 mm	Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento maggiore di 28 mm	III

Nel caso in cui si ricada nella condizione *AMCI* (secca) o in quella *AMCIII* (umida) devono essere utilizzati i valori di *CN* riportati nella tabella seguente.

Valori di CN per le condizioni AMCI, AMCII e AMCIII

<i>CN per AMCI</i>	<i>CN per AMCII</i>	<i>CN per AMCIII</i>
100	100	100
87	95	98
78	90	96
70	85	94
63	80	91
57	75	88
51	70	85
45	65	82
40	60	78
35	55	74
31	50	70
26	45	65
22	40	60
18	35	55
15	30	50
12	25	43
9	20	37
6	15	30
4	10	22
2	5	13

In alternativa i valori di *CN* devono essere corretti utilizzando i fattori *FI* e *FIII*, rispettivamente per la condizione secca e per quella umida, aventi le seguenti espressioni:

$$FI = 0,3 + 0,00636 CN$$

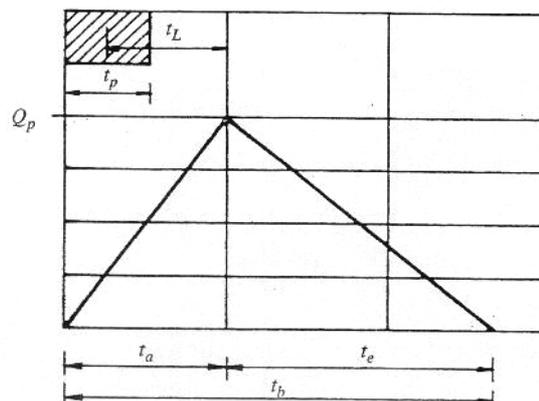
valida per valori di $20 \leq CN \leq 95$, e:

$$FIII = 3,4212 - 1,1999 \log CN$$

valida in tutto il campo dei valori di *CN* ($5 \leq CN \leq 100$)

Dalla teoria dell'idrogramma triangolare derivano le valutazioni circa la costruzione dell'idrogramma del corso d'acqua in studio.

L'idrogramma di base è riportato nella seguente figura.



Per il calcolo della portata al colmo Q_p si considera un idrogramma approssimato di forma triangolare che ha una fase crescente di durata t_a (tempo di accumulo) e una fase di esaurimento di durata t_e (tempo di esaurimento) e il cui volume V ha la seguente espressione:

$$V = \frac{Q_p}{2}(t_a + t_e) = \frac{Q_p t_b}{2}$$

avendo indicato con t_b la durata dell'evento di piena.

Poiché è stato stabilito sperimentalmente che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume idrico che è pari al 37,5 % del volume totale V di deflusso, ne consegue che la durata della fase crescente è pari a 0,375 volte la durata dell'evento di piena t_b e pertanto:

$$t_b = 2,67 t_a$$

Utilizzando tali espressioni, esprimendo il volume di deflusso V in mm, il tempo t_a in ore, l'area A del bacino in km^2 , si ottiene:

$$Q_p = 0,208 \frac{VA}{t_a}$$

La determinazione di t_a , nell'ipotesi di precipitazione di intensità costante di durata t_p e indicando con t_L il tempo di ritardo (distanza tra il baricentro dello istogramma e il picco dell'idrogramma triangolare), si effettua con la semplice relazione:

$$t_a = 0,5 t_p + t_L$$

Per la determinazione del tempo di ritardo, espresso in ore, si utilizza la formula di Mockus:

$$t_L = 0,342 \frac{L^{0,8}}{s^{0,5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}$$

in cui s è la pendenza del bacino espressa in %, L è la lunghezza dell'asta principale prolungata fino alla displuviale espressa in km.

L'idrogramma unitario SCS relativo a un volume di deflusso V pari a un millimetro, si costruisce a partire dall'idrogramma adimensionale di Mockus che è una curva dimensionale, ricavata da numerosi idrogrammi unitari ottenuti da idrogrammi di piena registrati in bacini di differente estensione e posizione geografica, che mette in relazione il rapporto tra la generica portata Q all'istante t e la portata al colmo Q_p che si verifica all'istante t_a (durata della fase di crescita) con la variabile dimensionale t/t_a . Per il suddetto idrogramma unitario il 37,5% del volume totale di deflusso, che corrisponde ovviamente all'intera area ricadente tra l'idrogramma e l'asse delle ascisse t/t_a , si verifica in corrispondenza della sola fase ascenden-

te dell'idrogramma stesso. In altri termini il volume di deflusso corrispondente alla fase crescente dell'idrogramma è pari al 37,5% del volume totale di deflusso.

L'idrogramma triangolare già esaminato per il calcolo della portata al colmo di piena è, pertanto, una semplificazione dell'idrogramma di Mockus che è stato costruito facendo in modo che i due idrogrammi (triangolare e Mockus) abbiano la stessa portata al picco Q_p e sottendano la stessa area, cioè abbiano lo stesso volume totale di deflusso.

Idrogramma adimensionale di Mockus

t/t_a	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
Q/Q_p	0,03	0,10	0,19	0,31	0,47	0,66	0,82	0,93
	0,99	1,00	0,99	0,93	0,86	0,78	0,68	0,56
t/t_a	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,5	5,0
Q/Q_p	0,46	0,39	0,33	0,28	0,207	0,147	0,107	0,077
	0,055	0,04	0,029	0,021	0,015	0,011	0,005	0,0

La portata al colmo Q_p dell'idrogramma unitario si ottiene ponendo $V = 1$ e pertanto ha la seguente espressione:

$$Q_p = 0,208 \frac{A}{t_a}$$

La durata t_p della precipitazione che produce l'idrogramma unitario viene correlata al tempo di accumulo t_a dalla seguente relazione:

$$t_p = 0,2 t_a$$

Si ricavano infine le relazioni che legano il tempo di accumulo e la durata t_p al tempo di ritardo:

$$t_a = \frac{t_L}{0,9}$$

$$t_p = \frac{t_L}{4,5}$$

Poiché le coordinate dell'idrogramma unitario di Mockus sono espresse in termini Q/Q_p e di t/t_a , per un particolare bacino occorre calcolare il tempo di accumulo e poi il valore della portata al picco. La determinazione dell'idrogramma unitario di un bacino di note caratteristiche (A, L, s, CN) consiste, in definitiva, nell'amplificare l'ascissa e l'ordinata dell'idrogramma unitario di Mockus mediante due fattori, rispettivamente pari a t_a e Q_p , che sono specifici del bacino esaminato.

4.1.2.1 Determinazione della portata di piena e degli idrogrammi di piena

La valutazione delle portate al colmo di piena per i bacini ed interbacini in esame ha comportato:

- l'implementazione di un modello pluviometrico rappresentativo degli afflussi meteorici per associato tempo di ritorno. La precipitazione sui bacini è stata considerata uniforme con valore mediato secondo il metodo dei topoieti e con durata pari al tempo di corrivazione;
- l'implementazione del metodo SCS-CN al fine di valutare la risposta del singolo bacino sia come portata al colmo di piena sia come idrogramma di piena.

Di seguito sono riportati i passi principali necessari al calcolo delle portate e degli idrogrammi di piena per ogni bacino:

- a) Il modello pluviometrico è descritto dai parametri caratteristici a e n dell'equazione generale della curva di possibilità pluviometrica del tipo:

$$h(t) = a \cdot t^n$$

- Parametro caratteristico a , per comodità di lettura si ripropone la Tab. 4:

Tempo di ritorno	Identificativo bacino	
	B1	B2-B14
5	53.2	45.2
15	67.0	57.2
25	73.2	62.5
40	78.8	67.4
50	81.5	69.7
100	89.7	76.8
200	97.9	83.9
500	108.7	93.2
1000	116.8	100.3
∞	236.0	203.5

- Parametro caratteristico n , per comodità di lettura si riporta la Tab. 5:

Parametro n stazione	Identificativo bacino	
	B1	B2-B14
Campertogno	0.544	0.0
Coggiola	0.430	0.430
Oropa	0.510	0.0

- a) Il valore del parametro CN è stato calcolato come media ponderata dei corrispondenti valori di S relativi alle aree di utilizzo del suolo in cui è suddiviso ogni bacino.

La classificazione dell'uso del suolo è stata condotta utilizzando come base la cartografia tematica Image2000&CorineLandCover2000 CLC2000, resa disponibile da APAT,

al fine di valutare le superficie delle corrispondenti aree.

I valori delle superficie sono quindi impiegati come pesi per il calcolo, per il tramite di S, del valore medio ponderale del CN areale nella condizione AMCIII.

- La stima del gruppo idrologico caratteristico del bacino è stata fatta sulla scorta della carta della litologia pubblicata della Regione Piemonte.

Nella Figg. 3-6 sono rappresentate rispettivamente l'uso del suolo e la litologia del bacino del T. Sessera.

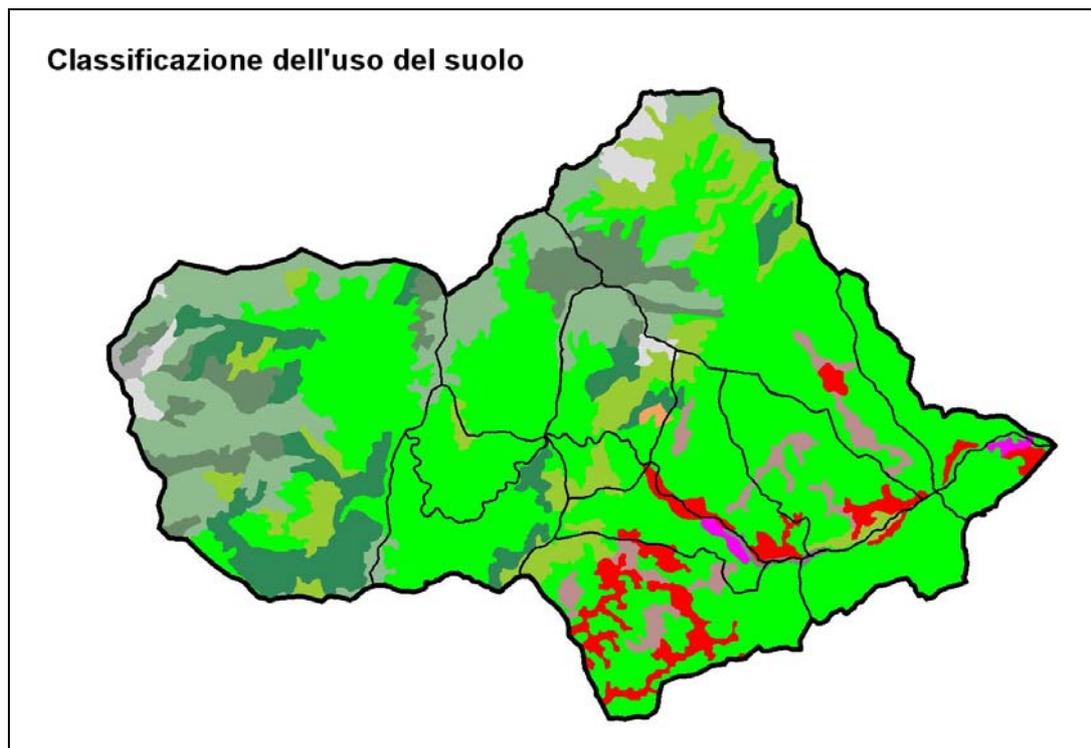


Figura 3 – Classificazione dell'uso del suolo CorineLandCover2000

Classificazione dell'uso del suolo



Figura 4 - Classificazione dell'uso del suolo CorineLandCover2000: legenda.

Classificazione delle unità litologiche

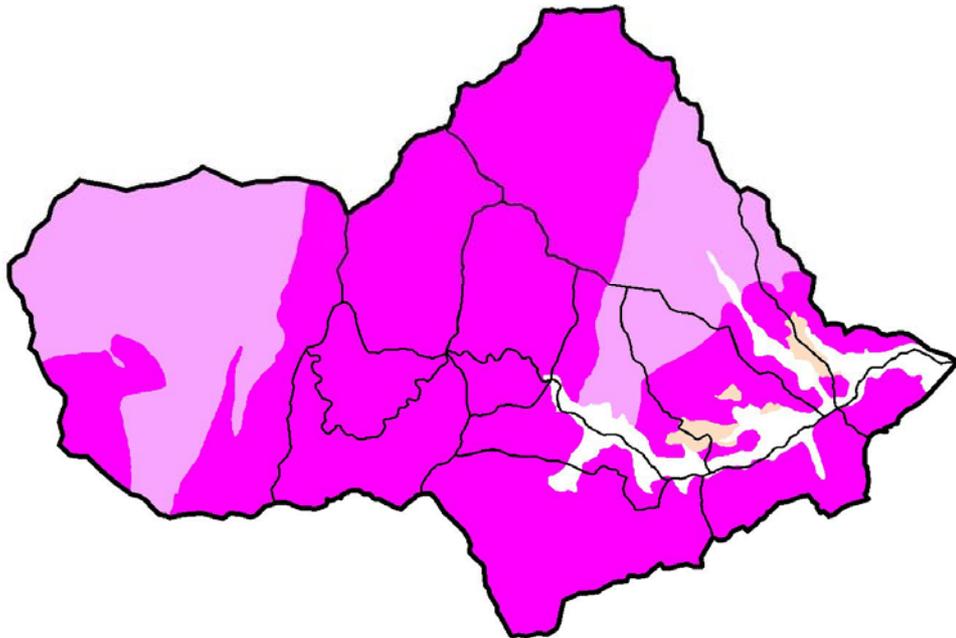


Figura 5 – Classificazione delle unità litologiche.

Classificazione delle unità litologiche

LEGENDA	
	Depositi alluvionali e prevalenti ghiaie sabbie limi nell'area di pianura e lungo i fondovalle principali (Quaternario)
	Depositi morenici a blocchi ghiaie sabbie limi degli anfiteatri di Rivoli Ivrea del Lago Maggiore (Quaternario)
	Banchi e livelli argillosi talora in reciproca alternanza con sabbie da fini a grossolane e lenti ghiaioso-ciottolose localmente solo ghiaie e sabbie. ("Villafranchiano")
	Sabbie da fini a medie localmente con banchi e lenti isolate di arenarie potenti da uno ad alcuni decimetri talora di calcareniti. ("Sabbie di Asti")
	Argille e marne argillose (*) prevalenti con subordinate lenti gessose; marne con locali intercalazioni di conglomerati (Miocene superiore - Miocene medio)
	Strati di marne (*) potenti da uno ad alcuni decimetri con interstratificazioni ritmiche di sabbie e arenarie e sottili giunti argillosi.
	Siltiti marrose (*) in strati mediamente potenti alcuni decimetri subordinate intercalazioni arenacee e lenti conglomeratiche. (Oligocene superiore - Miocene)
	Arenarie e conglomerati in potenti bancate con subordinati livelli marrosi e arenaceo marrosi. ("Formazione di Molare" ed "Arenaria di Ranzano" Oligocene)
	Alternanze di argille, marne (*), calcari complessi caotici a componente argillosa prevalente. ("Complesso Indifferenziato" Flysch Cretaceo - Eocene)
	Serpentiniti, tertzoliti, anfiboliti, prasiniti, metagabbri ("Zona piemontese" Giurassico - Cretaceo)
	Calcescisti con intercalazioni filladiche e lenti di calcari cristallini e di prasiniti. ("Zona piemontese" Giurassico - Cretaceo)
	Dolomie e calcari microcristallini calcari dolomitici ed arenaceo-marrosi con subordinate intercalazioni di scisti ardesiaci, breccie calcaree. (Unità Mesozoiche autoctone e alloctone)
	Gneiss minuti, micascisti talora eclogitici, scisti filladici, scisti porfiroidi, quarzitoscisti. (Massicci cristallini del Dora-Maira Permocarboneo assiale Sesia-Lanzo e Serie dei Laghi)
	Gneiss occhialini per lo più massicci, gneiss migmatitici. (Massicci cristallini dell'Argentera Dora-Maira Gran Paradiso Monte Rosa e Valle d'Ossola)
	Graniti, sieniti, dioriti, migmatiti granitiche, gabbroioriti, porfiriti, ignimbriti riolitiche. (Migmatiti erciniche e tardo-alpine)

Figura 6 – Classificazione delle unità litologiche: legenda.

L'analisi geospaziale dei tematismi è riassunta nelle Tabb. 6 e 7 in cui sono indicate le ripartizioni areali dell'uso del suolo e della litologia. La riclassificazione dell'uso del suolo permette, assegnato un opportuno CN, di calcolarne il valore medio areale.

ID Bacino	Ripartizione areale delle classi di uso del suolo CorineLandCover2000													Totale
	112	121	231	243	311	312	313	321	322	324	331	332	333	
1	0.00	0.00	0.00	0.00	14.86	1.95	10.22	15.68	5.38	1.49	0.00	0.65	1.08	51.31
2	0.00	0.00	0.00	0.00	8.14	0.00	0.00	3.90	1.79	0.12	0.00	0.00	0.00	13.95
3	0.00	0.00	0.00	0.00	5.21	0.00	0.01	0.11	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	5.61
4	0.00	0.00	0.00	0.00	7.56	0.69	1.43	0.34	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	10.05
5	0.41	0.00	0.00	1.27	19.28	0.63	0.77	4.75	2.93	6.03	0.00	0.00	1.86	37.92
6	0.00	0.00	0.24	0.00	3.04	0.00	1.45	2.20	0.35	1.62	0.00	0.00	0.38	9.28
7	0.01	0.00	0.00	0.00	1.60	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.46
8	0.62	0.38	0.00	0.11	4.05	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	5.73
9	1.02	0.00	0.04	0.58	6.38	0.02	0.11	0.00	0.00	0.37	0.07	0.00	0.02	8.60
10	3.95	0.00	0.00	1.95	11.26	1.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.09	0.00	0.00	18.50
11	0.81	0.00	0.00	1.04	8.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	0.04	0.00	0.00	10.65
12	0.18	0.00	0.00	6.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.08	0.00	0.00	6.89
13	0.25	0.03	0.00	0.01	5.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	5.92
14	0.38	0.25	0.00	0.00	2.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	3.03
Totale	7.64	0.66	0.28	11.45	97.61	5.52	13.98	26.98	10.45	10.86	0.47	0.65	3.34	189.90

Tabella 6 – Ripartizione areale delle classi di uso del suolo desunte dall'analisi in ambiente GIS (le superficie sono espresse in km²).

ID Bacino	Ripartizione areale delle classi delle unità litologiche				Tot
	1	3	13	15	
1	0.00	0.00	34.38	16.93	51.31
2	0.00	0.00	0.00	13.95	13.95
3	0.00	0.00	0.00	5.61	5.61
4	0.00	0.00	0.00	10.05	10.05
5	1.48	0.43	0.00	36.01	37.92
6	0.02	0.00	0.00	9.26	9.28
7	0.00	0.00	0.00	2.45	2.46
8	1.26	0.00	0.00	4.47	5.73
9	1.88	0.34	0.00	6.38	8.60
10	0.50	0.00	0.00	18.00	18.50
11	1.89	0.81	0.00	7.95	10.65
12	0.54	0.00	0.00	6.35	6.89
13	1.41	0.33	1.72	2.47	5.92
14	1.05	0.00	0.00	1.98	3.03
	10.04	1.91	36.10	141.84	189.90

Tabella 7 – Ripartizione areale delle classi delle unità litologiche desunte dall’analisi in ambiente GIS (le superficie sono espresse in km²).

Determinata la ripartizione areale delle classi d’uso del suolo e delle unità litologiche è possibile procedere all’assegnazione alle tipologie di uso del suolo del valore di CN più appropriato previa identificazione del gruppo idrologico predominante dei suoli. Dall’analisi della litologia il bacino nel suo complesso è stato assegnato al gruppo C. Ad ogni classe di uso del suolo è stato assegnato un opportuno valore del parametro CN in condizioni AMCII trasformato nel corrispondente valore in condizioni AMCIII (Tab. 8).

Codice classe d’uso del suolo	CNII	CNIII
112	83	93
121	91	97
231	71	85
243	88	96
311	77	89
312	77	89
313	77	89
321	75	88
322	77	89
324	80	91
331	57	75
332	100	102
333	100	102

Tabella 8 – Assegnazione del parametro CN alle classi d’uso del suolo presenti nel bacino del T. Sessera

Nella Tab. 9 si è riportato il risultato del calcolo del CN medio areale in condizioni AMCIII per i bacini in esame.

Bacino	CN medio
1	89
2	89
3	89
4	89
5	90
6	90
7	89
8	90
9	90
10	91
11	90
12	95
13	89
14	90

Tabella 9 – Valore medio areale del parametro CN in condizioni AMCIII per i sottobacini del bacino del T. Sessera chiuso in corrispondenza della confluenza in F. Sesia.

c) Il calcolo della portata di piena per associato tempo di ritorno è funzione dei principali parametri geomorfologici caratterizzanti i bacini e nello specifico: lunghezza dell'asta L , superficie del bacino S , pendenza media dei versanti i e quota media H . I parametri, calcolati conducendo un'analisi morfometrica del bacino, sono riassunti nella Tab. 10.

Bacino	S [km ²]	H [m slmm]	L [km]	i
1	51.31	1439.00	12.73	0.543
2	13.95	1297.59	6.73	0.699
3	5.61	1028.43	8.89	0.693
4	10.05	1124.00	7.88	0.624
5	37.92	1012.16	15.17	0.612
6	9.28	1089.32	6.55	0.629
7	2.46	855.01	3.72	0.656
8	5.73	693.49	6.01	0.394
9	8.60	680.45	8.24	0.362
10	18.50	649.59	10.72	0.251
11	10.65	567.11	6.95	0.292
12	6.89	514.10	3.85	0.442
13	5.92	525.60	6.30	0.341
14	3.03	441.05	3.74	0.326

Tabella 10 – Parametri geomorfologici dei sottobacini del bacino del T. Sessera chiuso in corrispondenza della confluenza in F. Sesia.

Note le caratteristiche geomorfologiche principali è possibile calcolare i tempi caratteristici di ogni bacino: tempo di lag, tempo di corrivazione e tempo di accumulo, i cui valori sono riportati in Tab. 11.

Bacino	t_L [h]	t_c [h]	t_a [h]
1	0.62	1.03	1.13
2	0.33	0.55	0.61
3	0.41	0.69	0.75
4	0.39	0.66	0.72
5	0.65	1.08	1.18
6	0.33	0.55	0.61
7	0.21	0.35	0.39
8	0.39	0.65	0.71
9	0.52	0.86	0.95
10	0.75	1.25	1.37
11	0.50	0.84	0.92
12	0.20	0.33	0.37
13	0.44	0.74	0.81
14	0.29	0.48	0.53

Tabella 11 – Tempi caratteristici dei sottobacini del bacino del T. Sessera chiuso in corrispondenza della confluenza in F. Sesia.

La stima del massimo invaso del suolo S è funzione del parametro CN e vale per ogni bacino:

Bacino	S [mm]
1	31
2	32
3	31
4	31
5	28
6	30
7	31
8	29
9	28
10	26
11	28
12	12
13	30
14	27

Tabella 12 – Massimo invaso al suolo S dei sottobacini del bacino del T. Sessera chiuso in corrispondenza della confluenza in F. Sesia.

I passi principali che hanno portato alla determinazione della portata al colmo di piena per associato tempo di ritorno sono:

i. Valutazione della precipitazione critica

ID bacino	Tempo di ritorno									
	5	15	25	40	50	100	200	500	1000	∞
1	53	67	73	79	81	90	98	109	117	236
2	46	58	63	68	71	78	85	94	102	206
3	35	44	49	52	54	60	65	72	78	158
4	38	49	53	57	59	65	71	79	85	173
5	38	48	52	56	58	64	70	78	84	170
6	47	59	64	70	72	79	87	96	103	210
7	35	44	49	52	54	60	65	72	78	158
8	29	36	40	43	44	49	54	59	64	130
9	38	47	52	56	58	64	70	77	83	169
10	42	54	59	63	65	72	79	88	94	191
11	50	63	69	74	77	84	92	103	110	224
12	42	53	58	62	65	71	78	86	93	188
13	28	36	39	42	43	48	52	58	63	127
14	40	50	55	59	61	67	74	82	88	179

Tabella 13 – Precipitazione critica per assegnato tempo di ritorno calcolata per i sottobacini del bacino del T. Sessera chiuso in corrispondenza della confluenza in F. Sesia espressa in mm.

ii. Determinazione del volume di deflusso

ID bacino	Tempo di ritorno									
	5	15	25	40	50	100	200	500	1000	∞
1	29	41	46	51	54	61	69	79	87	203
2	22	32	36	41	43	49	56	65	71	172
3	14	21	25	28	29	34	39	45	50	126
4	16	24	28	32	33	39	44	51	57	141
5	17	26	29	33	35	40	45	52	58	141
6	24	34	39	43	46	52	59	68	75	178
7	14	21	24	28	29	34	39	45	50	126
8	10	16	18	21	22	26	30	35	39	101
9	17	25	29	32	34	39	44	51	57	139
10	22	31	36	40	42	48	54	62	69	163
11	27	39	44	49	51	58	66	75	83	194
12	30	40	45	50	52	58	65	73	79	174
13	9	15	17	19	21	24	28	33	37	97
14	19	28	32	35	37	43	49	56	62	149

Tabella 14 - Precipitazione critica per assegnato tempo di ritorno calcolata per i sottobacini del bacino del T. Sessera chiuso in corrispondenza della confluenza in F. Sesia espresso in mm.

iii. Calcolo della portata al colmo di piena

ID bacino	Tempo di ritorno									
	5	15	25	40	50	100	200	500	1000	∞
1	269	382	434	482	505	576	648	744	817	1911
2	103	151	173	193	203	234	265	307	338	818
3	22	33	38	43	45	53	60	70	78	196
4	47	71	81	92	96	112	127	148	164	406
5	116	170	196	219	230	266	301	349	386	939
6	75	108	123	138	144	166	187	215	237	565
7	18	28	32	36	38	45	51	60	66	167
8	17	26	31	35	37	43	50	58	65	168
9	32	47	54	61	64	74	83	97	107	262
10	61	88	100	112	117	134	151	174	192	456
11	65	93	106	117	123	140	158	181	199	466
12	117	158	177	194	202	227	252	285	310	681
13	14	22	26	30	31	37	42	50	56	146
14	23	33	38	42	45	51	58	67	74	179

Tabella 15 – Portata al colmo di piena per assegnato tempo di ritorno calcolata per i sottobacini del bacino del T. Sessera chiuso in corrispondenza della confluenza in F. Sesia espressa in m³/s.

- d) La determinazione dell'idrogramma di piena consiste nell'amplificare l'ascissa e l'ordinata dell'idrogramma unitario di Mockus mediante due fattori, rispettivamente pari a t_a e Q_n , che sono specifici di ciascun bacino. Nelle tabelle a seguire sono riportati gli idrogrammi di piena in forma tabulare.

Bacino 1

Idrogramma a-dimensionale di Mockus		t [h]	Idrogramma di piena per assegnato tempo di ritorno									
			5	15	25	40	50	100	200	500	1000	∞
t/ta	Q/Qp											
0.10	0.030	0.11	8	11	13	14	15	17	19	22	25	57
0.20	0.100	0.23	27	38	43	48	50	58	65	74	82	191
0.30	0.190	0.34	51	73	82	92	96	109	123	141	155	363
0.40	0.310	0.45	83	118	134	149	156	179	201	231	253	592
0.50	0.470	0.57	126	179	204	226	237	271	305	350	384	898
0.60	0.660	0.68	177	252	286	318	333	380	428	491	539	1261
0.70	0.820	0.79	220	313	356	395	414	472	531	610	670	1567
0.80	0.930	0.91	250	355	403	448	469	536	603	692	760	1777
0.90	0.990	1.02	266	378	429	477	500	570	642	736	809	1892
1.00	1.000	1.13	269	382	434	482	505	576	648	744	817	1911
1.10	0.990	1.25	266	378	429	477	500	570	642	736	809	1892
1.20	0.930	1.36	250	355	403	448	469	536	603	692	760	1777
1.30	0.860	1.47	231	328	373	414	434	495	557	640	703	1644
1.40	0.780	1.59	210	298	338	376	394	449	505	580	637	1491
1.50	0.680	1.70	183	260	295	328	343	392	441	506	556	1300
1.60	0.560	1.81	150	214	243	270	283	323	363	417	458	1070
1.70	0.460	1.93	124	176	200	222	232	265	298	342	376	879

1.80	0.390	2.04	105	149	169	188	197	225	253	290	319	745
1.90	0.330	2.15	89	126	143	159	167	190	214	245	270	631
2.00	0.280	2.27	75	107	121	135	141	161	181	208	229	535
2.20	0.207	2.49	56	79	90	100	104	119	134	154	169	396
2.40	0.147	2.72	40	56	64	71	74	85	95	109	120	281
2.60	0.107	2.95	29	41	46	52	54	62	69	80	87	204
2.80	0.077	3.17	21	29	33	37	39	44	50	57	63	147
3.00	0.055	3.40	15	21	24	26	28	32	36	41	45	105
3.20	0.040	3.63	11	15	17	19	20	23	26	30	33	76
3.40	0.029	3.85	8	11	13	14	15	17	19	22	24	55
3.60	0.021	4.08	6	8	9	10	11	12	14	16	17	40
3.80	0.015	4.30	4	6	7	7	8	9	10	11	12	29
4.00	0.011	4.53	3	4	5	5	6	6	7	8	9	21
4.50	0.005	5.10	1	2	2	2	3	3	3	4	4	10
5.00	0.000	5.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bacino 2

Idrogramma a-dimensionale di Mockus		t	Idrogramma di piena per assegnato tempo di ritorno									
			5	15	25	40	50	100	200	500	1000	∞
t/ta	Q/Qp											
0.10	0.030	0.06	3	5	5	6	6	7	8	9	10	25
0.20	0.100	0.12	10	15	17	19	20	23	27	31	34	82
0.30	0.190	0.18	20	29	33	37	39	44	50	58	64	155
0.40	0.310	0.24	32	47	54	60	63	73	82	95	105	254
0.50	0.470	0.31	48	71	81	91	96	110	125	144	159	384
0.60	0.660	0.37	68	99	114	128	134	154	175	202	223	540
0.70	0.820	0.43	85	124	142	159	167	192	217	251	277	671
0.80	0.930	0.49	96	140	161	180	189	218	247	285	315	761
0.90	0.990	0.55	102	149	171	192	201	232	262	304	335	810
1.00	1.000	0.61	103	151	173	193	203	234	265	307	338	818
1.10	0.990	0.67	102	149	171	192	201	232	262	304	335	810
1.20	0.930	0.73	96	140	161	180	189	218	247	285	315	761
1.30	0.860	0.79	89	130	149	166	175	201	228	264	291	703
1.40	0.780	0.85	80	118	135	151	159	183	207	239	264	638
1.50	0.680	0.92	70	103	118	132	138	159	180	208	230	556
1.60	0.560	0.98	58	84	97	108	114	131	148	172	189	458
1.70	0.460	1.04	47	69	80	89	94	108	122	141	156	376
1.80	0.390	1.10	40	59	67	75	79	91	103	120	132	319
1.90	0.330	1.16	34	50	57	64	67	77	87	101	112	270
2.00	0.280	1.22	29	42	48	54	57	66	74	86	95	229
2.20	0.207	1.34	21	31	36	40	42	48	55	63	70	169
2.40	0.147	1.46	15	22	25	28	30	34	39	45	50	120
2.60	0.107	1.59	11	16	19	21	22	25	28	33	36	88
2.80	0.077	1.71	8	12	13	15	16	18	20	24	26	63
3.00	0.055	1.83	6	8	10	11	11	13	15	17	19	45
3.20	0.040	1.95	4	6	7	8	8	9	11	12	14	33
3.40	0.029	2.08	3	4	5	6	6	7	8	9	10	24
3.60	0.021	2.20	2	3	4	4	4	5	6	6	7	17
3.80	0.015	2.32	2	2	3	3	3	4	4	5	5	12
4.00	0.011	2.44	1	2	2	2	2	3	3	3	4	9
4.50	0.005	2.75	1	1	1	1	1	1	1	2	2	4
5.00	0.000	3.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bacino 3

Idrogramma a-dimensionale di Mockus		t	Idrogramma di piena per assegnato tempo di ritorno									
			5	15	25	40	50	100	200	500	1000	∞
t/ta	Q/Qp											
0.10	0.030	0.08	1	1	1	1	1	2	2	2	2	6
0.20	0.100	0.15	2	3	4	4	5	5	6	7	8	20
0.30	0.190	0.23	4	6	7	8	9	10	11	13	15	37
0.40	0.310	0.30	7	10	12	13	14	16	19	22	24	61
0.50	0.470	0.38	10	15	18	20	21	25	28	33	37	92
0.60	0.660	0.45	14	22	25	28	30	35	40	46	51	129
0.70	0.820	0.53	18	27	31	35	37	43	49	57	64	160
0.80	0.930	0.60	20	31	35	40	42	49	56	65	72	182
0.90	0.990	0.68	22	33	38	42	45	52	59	69	77	194
1.00	1.000	0.75	22	33	38	43	45	53	60	70	78	196
1.10	0.990	0.83	22	33	38	42	45	52	59	69	77	194
1.20	0.930	0.90	20	31	35	40	42	49	56	65	72	182
1.30	0.860	0.98	19	28	33	37	39	45	52	60	67	168
1.40	0.780	1.06	17	26	30	33	35	41	47	55	61	153
1.50	0.680	1.13	15	22	26	29	31	36	41	48	53	133
1.60	0.560	1.21	12	18	21	24	25	29	34	39	44	110
1.70	0.460	1.28	10	15	18	20	21	24	28	32	36	90
1.80	0.390	1.36	8	13	15	17	18	21	23	27	30	76
1.90	0.330	1.43	7	11	13	14	15	17	20	23	26	65
2.00	0.280	1.51	6	9	11	12	13	15	17	20	22	55
2.20	0.207	1.66	5	7	8	9	9	11	12	15	16	41
2.40	0.147	1.81	3	5	6	6	7	8	9	10	11	29
2.60	0.107	1.96	2	4	4	5	5	6	6	7	8	21
2.80	0.077	2.11	2	3	3	3	3	4	5	5	6	15
3.00	0.055	2.26	1	2	2	2	2	3	3	4	4	11
3.20	0.040	2.41	1	1	2	2	2	2	2	3	3	8
3.40	0.029	2.56	1	1	1	1	1	2	2	2	2	6
3.60	0.021	2.71	0	1	1	1	1	1	1	1	2	4
3.80	0.015	2.86	0	0	1	1	1	1	1	1	1	3
4.00	0.011	3.01	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2
4.50	0.005	3.39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5.00	0.000	3.77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bacino 4

Idrogramma a-dimensionale di Mockus		t	Idrogramma di piena per assegnato tempo di ritorno									
			5	15	25	40	50	100	200	500	1000	∞
t/ta	Q/Qp											
0.10	0.030	0.07	1	2	2	3	3	3	4	4	5	12
0.20	0.100	0.14	5	7	8	9	10	11	13	15	16	41
0.30	0.190	0.22	9	13	15	17	18	21	24	28	31	77
0.40	0.310	0.29	15	22	25	28	30	35	39	46	51	126
0.50	0.470	0.36	22	33	38	43	45	52	60	69	77	191
0.60	0.660	0.43	31	47	54	60	64	74	84	98	108	268
0.70	0.820	0.51	39	58	67	75	79	92	104	121	134	333
0.80	0.930	0.58	44	66	76	85	90	104	118	137	152	377
0.90	0.990	0.65	47	70	81	91	95	111	126	146	162	402

1.00	1.000	0.72	47	71	81	92	96	112	127	148	164	406
1.10	0.990	0.80	47	70	81	91	95	111	126	146	162	402
1.20	0.930	0.87	44	66	76	85	90	104	118	137	152	377
1.30	0.860	0.94	41	61	70	79	83	96	109	127	141	349
1.40	0.780	1.01	37	55	64	71	75	87	99	115	128	316
1.50	0.680	1.09	32	48	55	62	66	76	86	101	111	276
1.60	0.560	1.16	26	39	46	51	54	63	71	83	92	227
1.70	0.460	1.23	22	32	37	42	44	51	58	68	75	187
1.80	0.390	1.30	18	27	32	36	38	44	50	58	64	158
1.90	0.330	1.38	16	23	27	30	32	37	42	49	54	134
2.00	0.280	1.45	13	20	23	26	27	31	36	41	46	114
2.20	0.207	1.59	10	15	17	19	20	23	26	31	34	84
2.40	0.147	1.74	7	10	12	13	14	16	19	22	24	60
2.60	0.107	1.88	5	8	9	10	10	12	14	16	18	43
2.80	0.077	2.03	4	5	6	7	7	9	10	11	13	31
3.00	0.055	2.17	3	4	4	5	5	6	7	8	9	22
3.20	0.040	2.32	2	3	3	4	4	4	5	6	7	16
3.40	0.029	2.46	1	2	2	3	3	3	4	4	5	12
3.60	0.021	2.61	1	1	2	2	2	2	3	3	3	9
3.80	0.015	2.75	1	1	1	1	1	2	2	2	2	6
4.00	0.011	2.90	1	1	1	1	1	1	1	2	2	4
4.50	0.005	3.26	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2
5.00	0.000	3.62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bacino 5

Idrogramma a-dimensionale di Mockus		t	Idrogramma di piena per assegnato tempo di ritorno									
			5	15	25	40	50	100	200	500	1000	∞
t/ta	Q/Qp											
0.10	0.030	0.12	3	5	6	7	7	8	9	10	12	28
0.20	0.100	0.24	12	17	20	22	23	27	30	35	39	94
0.30	0.190	0.35	22	32	37	42	44	50	57	66	73	178
0.40	0.310	0.47	36	53	61	68	71	82	93	108	120	291
0.50	0.470	0.59	54	80	92	103	108	125	142	164	181	441
0.60	0.660	0.71	76	112	129	145	152	175	199	230	255	620
0.70	0.820	0.83	95	139	160	180	189	218	247	286	316	770
0.80	0.930	0.95	108	158	182	204	214	247	280	325	359	873
0.90	0.990	1.06	114	168	194	217	228	263	298	346	382	930
1.00	1.000	1.18	116	170	196	219	230	266	301	349	386	939
1.10	0.990	1.30	114	168	194	217	228	263	298	346	382	930
1.20	0.930	1.42	108	158	182	204	214	247	280	325	359	873
1.30	0.860	1.54	99	146	168	188	198	228	259	300	332	808
1.40	0.780	1.66	90	133	153	171	180	207	235	272	301	733
1.50	0.680	1.77	79	116	133	149	157	181	205	237	262	639
1.60	0.560	1.89	65	95	109	123	129	149	169	196	216	526
1.70	0.460	2.01	53	78	90	101	106	122	139	161	177	432
1.80	0.390	2.13	45	66	76	85	90	104	118	136	150	366
1.90	0.330	2.25	38	56	65	72	76	88	99	115	127	310
2.00	0.280	2.37	32	48	55	61	64	74	84	98	108	263
2.20	0.207	2.60	24	35	40	45	48	55	62	72	80	194
2.40	0.147	2.84	17	25	29	32	34	39	44	51	57	138
2.60	0.107	3.07	12	18	21	23	25	28	32	37	41	100
2.80	0.077	3.31	9	13	15	17	18	20	23	27	30	72

3.00	0.055	3.55	6	9	11	12	13	15	17	19	21	52
3.20	0.040	3.78	5	7	8	9	9	11	12	14	15	38
3.40	0.029	4.02	3	5	6	6	7	8	9	10	11	27
3.60	0.021	4.26	2	4	4	5	5	6	6	7	8	20
3.80	0.015	4.49	2	3	3	3	3	4	5	5	6	14
4.00	0.011	4.73	1	2	2	2	3	3	3	4	4	10
4.50	0.005	5.32	1	1	1	1	1	1	2	2	2	5
5.00	0.000	5.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bacino 6

Idrogramma a-dimensionale di Mockus		t	Idrogramma di piena per assegnato tempo di ritorno									
			5	15	25	40	50	100	200	500	1000	∞
t/ta	Q/Qp											
0.10	0.030	0.06	2	3	4	4	4	5	6	6	7	17
0.20	0.100	0.12	7	11	12	14	14	17	19	22	24	56
0.30	0.190	0.18	14	21	23	26	27	31	36	41	45	107
0.40	0.310	0.24	23	33	38	43	45	51	58	67	74	175
0.50	0.470	0.30	35	51	58	65	68	78	88	101	112	265
0.60	0.660	0.37	49	71	81	91	95	109	123	142	157	373
0.70	0.820	0.43	61	89	101	113	118	136	153	177	195	463
0.80	0.930	0.49	70	100	115	128	134	154	174	200	221	525
0.90	0.990	0.55	74	107	122	136	143	164	185	213	235	559
1.00	1.000	0.61	75	108	123	138	144	166	187	215	237	565
1.10	0.990	0.67	74	107	122	136	143	164	185	213	235	559
1.20	0.930	0.73	70	100	115	128	134	154	174	200	221	525
1.30	0.860	0.79	64	93	106	118	124	142	161	185	204	485
1.40	0.780	0.85	58	84	96	107	113	129	146	168	185	440
1.50	0.680	0.91	51	73	84	94	98	113	127	147	161	384
1.60	0.560	0.98	42	60	69	77	81	93	105	121	133	316
1.70	0.460	1.04	34	50	57	63	66	76	86	99	109	260
1.80	0.390	1.10	29	42	48	54	56	65	73	84	93	220
1.90	0.330	1.16	25	36	41	45	48	55	62	71	78	186
2.00	0.280	1.22	21	30	35	39	40	46	52	60	66	158
2.20	0.207	1.34	15	22	26	28	30	34	39	45	49	117
2.40	0.147	1.46	11	16	18	20	21	24	27	32	35	83
2.60	0.107	1.59	8	12	13	15	15	18	20	23	25	60
2.80	0.077	1.71	6	8	9	11	11	13	14	17	18	43
3.00	0.055	1.83	4	6	7	8	8	9	10	12	13	31
3.20	0.040	1.95	3	4	5	6	6	7	7	9	9	23
3.40	0.029	2.07	2	3	4	4	4	5	5	6	7	16
3.60	0.021	2.20	2	2	3	3	3	3	4	5	5	12
3.80	0.015	2.32	1	2	2	2	2	2	3	3	4	8
4.00	0.011	2.44	1	1	1	2	2	2	2	2	3	6
4.50	0.005	2.74	0	1	1	1	1	1	1	1	1	3
5.00	0.000	3.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bacino 7

Idrogramma a-dimensionale di Mockus		t	Idrogramma di piena per assegnato tempo di ritorno									
			5	15	25	40	50	100	200	500	1000	∞
t/ta	Q/Qp											
0.10	0.030	0.04	1	1	1	1	1	1	2	2	2	5
0.20	0.100	0.08	2	3	3	4	4	4	5	6	7	17
0.30	0.190	0.12	4	5	6	7	7	8	10	11	13	32
0.40	0.310	0.15	6	9	10	11	12	14	16	18	21	52
0.50	0.470	0.19	9	13	15	17	18	21	24	28	31	78
0.60	0.660	0.23	12	18	21	24	25	30	34	39	44	110
0.70	0.820	0.27	15	23	27	30	32	37	42	49	54	137
0.80	0.930	0.31	17	26	30	34	36	42	47	55	62	155
0.90	0.990	0.35	18	28	32	36	38	44	51	59	65	165
1.00	1.000	0.39	18	28	32	36	38	45	51	60	66	167
1.10	0.990	0.43	18	28	32	36	38	44	51	59	65	165
1.20	0.930	0.46	17	26	30	34	36	42	47	55	62	155
1.30	0.860	0.50	16	24	28	31	33	38	44	51	57	143
1.40	0.780	0.54	14	22	25	28	30	35	40	46	52	130
1.50	0.680	0.58	13	19	22	25	26	30	35	41	45	113
1.60	0.560	0.62	10	16	18	20	22	25	29	33	37	93
1.70	0.460	0.66	8	13	15	17	18	21	23	27	30	77
1.80	0.390	0.70	7	11	13	14	15	17	20	23	26	65
1.90	0.330	0.73	6	9	11	12	13	15	17	20	22	55
2.00	0.280	0.77	5	8	9	10	11	13	14	17	19	47
2.20	0.207	0.85	4	6	7	8	8	9	11	12	14	34
2.40	0.147	0.93	3	4	5	5	6	7	8	9	10	24
2.60	0.107	1.01	2	3	3	4	4	5	5	6	7	18
2.80	0.077	1.08	1	2	2	3	3	3	4	5	5	13
3.00	0.055	1.16	1	2	2	2	2	2	3	3	4	9
3.20	0.040	1.24	1	1	1	1	2	2	2	2	3	7
3.40	0.029	1.31	1	1	1	1	1	1	1	2	2	5
3.60	0.021	1.39	0	1	1	1	1	1	1	1	1	3
3.80	0.015	1.47	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2
4.00	0.011	1.55	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2
4.50	0.005	1.74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5.00	0.000	1.93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bacino 8

Idrogramma a-dimensionale di Mockus		t	Idrogramma di piena per assegnato tempo di ritorno									
			5	15	25	40	50	100	200	500	1000	∞
t/ta	Q/Qp											
0.10	0.030	0.07	1	1	1	1	1	1	1	2	2	5
0.20	0.100	0.14	2	3	3	4	4	4	5	6	7	17
0.30	0.190	0.21	3	5	6	7	7	8	9	11	12	32
0.40	0.310	0.29	5	8	10	11	11	13	15	18	20	52
0.50	0.470	0.36	8	12	15	16	17	20	23	27	31	79
0.60	0.660	0.43	11	17	20	23	24	29	33	39	43	111
0.70	0.820	0.50	14	22	25	29	30	36	41	48	53	138
0.80	0.930	0.57	16	25	29	33	34	40	46	54	61	156

0.90	0.990	0.64	17	26	31	35	37	43	49	58	64	167
1.00	1.000	0.71	17	26	31	35	37	43	50	58	65	168
1.10	0.990	0.78	17	26	31	35	37	43	49	58	64	167
1.20	0.930	0.86	16	25	29	33	34	40	46	54	61	156
1.30	0.860	0.93	15	23	27	30	32	37	43	50	56	145
1.40	0.780	1.00	13	21	24	27	29	34	39	46	51	131
1.50	0.680	1.07	12	18	21	24	25	29	34	40	44	114
1.60	0.560	1.14	10	15	17	20	21	24	28	33	36	94
1.70	0.460	1.21	8	12	14	16	17	20	23	27	30	77
1.80	0.390	1.28	7	10	12	14	14	17	19	23	25	66
1.90	0.330	1.36	6	9	10	12	12	14	16	19	21	56
2.00	0.280	1.43	5	7	9	10	10	12	14	16	18	47
2.20	0.207	1.57	4	5	6	7	8	9	10	12	13	35
2.40	0.147	1.71	3	4	5	5	5	6	7	9	10	25
2.60	0.107	1.85	2	3	3	4	4	5	5	6	7	18
2.80	0.077	2.00	1	2	2	3	3	3	4	4	5	13
3.00	0.055	2.14	1	1	2	2	2	2	3	3	4	9
3.20	0.040	2.28	1	1	1	1	1	2	2	2	3	7
3.40	0.029	2.43	0	1	1	1	1	1	1	2	2	5
3.60	0.021	2.57	0	1	1	1	1	1	1	1	1	4
3.80	0.015	2.71	0	0	0	1	1	1	1	1	1	3
4.00	0.011	2.85	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2
4.50	0.005	3.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5.00	0.000	3.57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bacino 9

Idrogramma a-dimensionale di Mockus		t	Idrogramma di piena per assegnato tempo di ritorno										
			5	15	25	40	50	100	200	500	1000	∞	
t/ta	Q/Qp												
0.10	0.030	0.10	1	1	2	2	2	2	3	3	3	8	
0.20	0.100	0.19	3	5	5	6	6	7	8	10	11	26	
0.30	0.190	0.29	6	9	10	12	12	14	16	18	20	50	
0.40	0.310	0.38	10	15	17	19	20	23	26	30	33	81	
0.50	0.470	0.48	15	22	25	28	30	35	39	46	50	123	
0.60	0.660	0.57	21	31	36	40	42	49	55	64	71	173	
0.70	0.820	0.67	26	38	44	50	52	60	68	79	88	215	
0.80	0.930	0.76	30	44	50	56	59	68	78	90	100	244	
0.90	0.990	0.86	31	46	53	60	63	73	83	96	106	259	
1.00	1.000	0.95	32	47	54	61	64	74	83	97	107	262	
1.10	0.990	1.05	31	46	53	60	63	73	83	96	106	259	
1.20	0.930	1.14	30	44	50	56	59	68	78	90	100	244	
1.30	0.860	1.24	27	40	46	52	55	63	72	83	92	225	
1.40	0.780	1.33	25	37	42	47	50	57	65	76	83	204	
1.50	0.680	1.43	22	32	37	41	43	50	57	66	73	178	
1.60	0.560	1.52	18	26	30	34	36	41	47	54	60	147	
1.70	0.460	1.62	15	22	25	28	29	34	38	45	49	120	
1.80	0.390	1.71	12	18	21	24	25	29	33	38	42	102	
1.90	0.330	1.81	10	15	18	20	21	24	28	32	35	86	
2.00	0.280	1.90	9	13	15	17	18	21	23	27	30	73	
2.20	0.207	2.09	7	10	11	13	13	15	17	20	22	54	
2.40	0.147	2.28	5	7	8	9	9	11	12	14	16	38	
2.60	0.107	2.47	3	5	6	6	7	8	9	10	11	28	

2.80	0.077	2.66	2	4	4	5	5	6	6	7	8	20
3.00	0.055	2.85	2	3	3	3	4	4	5	5	6	14
3.20	0.040	3.04	1	2	2	2	3	3	3	4	4	10
3.40	0.029	3.23	1	1	2	2	2	2	2	3	3	8
3.60	0.021	3.42	1	1	1	1	1	2	2	2	2	5
3.80	0.015	3.61	0	1	1	1	1	1	1	1	2	4
4.00	0.011	3.80	0	1	1	1	1	1	1	1	1	3
4.50	0.005	4.28	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
5.00	0.000	4.76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bacino 10

Idrogramma a-dimensionale di Mockus		t	Idrogramma di piena per assegnato tempo di ritorno									
			5	15	25	40	50	100	200	500	1000	∞
t/ta	Q/Qp											
0.10	0.030	0.14	2	3	3	3	4	4	5	5	6	14
0.20	0.100	0.27	6	9	10	11	12	13	15	17	19	46
0.30	0.190	0.41	12	17	19	21	22	26	29	33	36	87
0.40	0.310	0.55	19	27	31	35	36	42	47	54	60	141
0.50	0.470	0.69	29	41	47	52	55	63	71	82	90	214
0.60	0.660	0.82	40	58	66	74	77	89	100	115	127	301
0.70	0.820	0.96	50	72	82	92	96	110	124	143	157	374
0.80	0.930	1.10	57	82	93	104	109	125	141	162	179	424
0.90	0.990	1.24	60	87	99	111	116	133	150	173	190	451
1.00	1.000	1.37	61	88	100	112	117	134	151	174	192	456
1.10	0.990	1.51	60	87	99	111	116	133	150	173	190	451
1.20	0.930	1.65	57	82	93	104	109	125	141	162	179	424
1.30	0.860	1.79	52	75	86	96	101	115	130	150	165	392
1.40	0.780	1.92	47	68	78	87	91	105	118	136	150	356
1.50	0.680	2.06	41	60	68	76	80	91	103	119	131	310
1.60	0.560	2.20	34	49	56	63	66	75	85	98	108	255
1.70	0.460	2.34	28	40	46	51	54	62	70	80	88	210
1.80	0.390	2.47	24	34	39	44	46	52	59	68	75	178
1.90	0.330	2.61	20	29	33	37	39	44	50	58	63	150
2.00	0.280	2.75	17	25	28	31	33	38	42	49	54	128
2.20	0.207	3.02	13	18	21	23	24	28	31	36	40	94
2.40	0.147	3.30	9	13	15	16	17	20	22	26	28	67
2.60	0.107	3.57	7	9	11	12	13	14	16	19	21	49
2.80	0.077	3.85	5	7	8	9	9	10	12	13	15	35
3.00	0.055	4.12	3	5	6	6	6	7	8	10	11	25
3.20	0.040	4.40	2	4	4	4	5	5	6	7	8	18
3.40	0.029	4.67	2	3	3	3	3	4	4	5	6	13
3.60	0.021	4.95	1	2	2	2	2	3	3	4	4	10
3.80	0.015	5.22	1	1	2	2	2	2	2	3	3	7
4.00	0.011	5.50	1	1	1	1	1	1	2	2	2	5
4.50	0.005	6.18	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2
5.00	0.000	6.87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bacino 11

Idrogramma a-dimensionale di Mockus		t	Idrogramma di piena per assegnato tempo di ritorno									
			5	15	25	40	50	100	200	500	1000	∞
t/ta	Q/Qp											
0.10	0.030	0.09	2	3	3	4	4	4	5	5	6	14
0.20	0.100	0.18	7	9	11	12	12	14	16	18	20	47
0.30	0.190	0.28	12	18	20	22	23	27	30	34	38	89
0.40	0.310	0.37	20	29	33	36	38	44	49	56	62	145
0.50	0.470	0.46	31	44	50	55	58	66	74	85	94	219
0.60	0.660	0.55	43	61	70	77	81	93	104	120	132	308
0.70	0.820	0.64	53	76	87	96	101	115	130	149	163	382
0.80	0.930	0.74	61	86	98	109	114	131	147	169	185	434
0.90	0.990	0.83	64	92	105	116	122	139	156	180	197	462
1.00	1.000	0.92	65	93	106	117	123	140	158	181	199	466
1.10	0.990	1.01	64	92	105	116	122	139	156	180	197	462
1.20	0.930	1.10	61	86	98	109	114	131	147	169	185	434
1.30	0.860	1.20	56	80	91	101	106	121	136	156	171	401
1.40	0.780	1.29	51	72	82	92	96	110	123	142	155	364
1.50	0.680	1.38	44	63	72	80	84	95	107	123	135	317
1.60	0.560	1.47	36	52	59	66	69	79	88	102	112	261
1.70	0.460	1.56	30	43	49	54	57	65	73	83	92	214
1.80	0.390	1.66	25	36	41	46	48	55	62	71	78	182
1.90	0.330	1.75	21	31	35	39	41	46	52	60	66	154
2.00	0.280	1.84	18	26	30	33	34	39	44	51	56	131
2.20	0.207	2.02	13	19	22	24	25	29	33	38	41	97
2.40	0.147	2.21	10	14	16	17	18	21	23	27	29	69
2.60	0.107	2.39	7	10	11	13	13	15	17	19	21	50
2.80	0.077	2.58	5	7	8	9	9	11	12	14	15	36
3.00	0.055	2.76	4	5	6	6	7	8	9	10	11	26
3.20	0.040	2.94	3	4	4	5	5	6	6	7	8	19
3.40	0.029	3.13	2	3	3	3	4	4	5	5	6	14
3.60	0.021	3.31	1	2	2	2	3	3	3	4	4	10
3.80	0.015	3.50	1	1	2	2	2	2	2	3	3	7
4.00	0.011	3.68	1	1	1	1	1	2	2	2	2	5
4.50	0.005	4.14	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2
5.00	0.000	4.60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bacino 12

Idrogramma a-dimensionale di Mockus		t	Idrogramma di piena per assegnato tempo di ritorno									
			5	15	25	40	50	100	200	500	1000	∞
t/ta	Q/Qp											
0.10	0.030	0.04	4	5	5	6	6	7	8	9	9	20
0.20	0.100	0.07	12	16	18	19	20	23	25	29	31	68
0.30	0.190	0.11	22	30	34	37	38	43	48	54	59	129
0.40	0.310	0.15	36	49	55	60	63	70	78	88	96	211
0.50	0.470	0.18	55	74	83	91	95	107	118	134	146	320
0.60	0.660	0.22	77	104	117	128	133	150	166	188	205	449
0.70	0.820	0.26	96	130	145	159	165	186	207	234	254	558
0.80	0.930	0.29	109	147	164	180	188	211	234	265	289	633
0.90	0.990	0.33	116	156	175	192	200	225	249	282	307	674

1.00	1.000	0.37	117	158	177	194	202	227	252	285	310	681
1.10	0.990	0.40	116	156	175	192	200	225	249	282	307	674
1.20	0.930	0.44	109	147	164	180	188	211	234	265	289	633
1.30	0.860	0.48	100	136	152	167	174	195	217	245	267	585
1.40	0.780	0.51	91	123	138	151	157	177	197	222	242	531
1.50	0.680	0.55	79	107	120	132	137	154	171	194	211	463
1.60	0.560	0.59	65	88	99	108	113	127	141	160	174	381
1.70	0.460	0.62	54	73	81	89	93	104	116	131	143	313
1.80	0.390	0.66	46	62	69	76	79	88	98	111	121	266
1.90	0.330	0.70	39	52	58	64	67	75	83	94	102	225
2.00	0.280	0.73	33	44	49	54	57	64	71	80	87	191
2.20	0.207	0.81	24	33	37	40	42	47	52	59	64	141
2.40	0.147	0.88	17	23	26	28	30	33	37	42	46	100
2.60	0.107	0.95	12	17	19	21	22	24	27	31	33	73
2.80	0.077	1.03	9	12	14	15	16	17	19	22	24	52
3.00	0.055	1.10	6	9	10	11	11	12	14	16	17	37
3.20	0.040	1.17	5	6	7	8	8	9	10	11	12	27
3.40	0.029	1.25	3	5	5	6	6	7	7	8	9	20
3.60	0.021	1.32	2	3	4	4	4	5	5	6	7	14
3.80	0.015	1.39	2	2	3	3	3	3	4	4	5	10
4.00	0.011	1.47	1	2	2	2	2	2	3	3	3	7
4.50	0.005	1.65	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3
5.00	0.000	1.83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bacino 13

Idrogramma a-dimensionale di Mockus		t	Idrogramma di piena per assegnato tempo di ritorno									
			5	15	25	40	50	100	200	500	1000	∞
t/ta	Q/Qp											
0.10	0.030	0.08	0	1	1	1	1	1	1	1	2	4
0.20	0.100	0.16	1	2	3	3	3	4	4	5	6	15
0.30	0.190	0.24	3	4	5	6	6	7	8	9	11	28
0.40	0.310	0.33	4	7	8	9	10	11	13	15	17	45
0.50	0.470	0.41	7	10	12	14	15	17	20	23	26	69
0.60	0.660	0.49	9	15	17	19	21	24	28	33	37	97
0.70	0.820	0.57	12	18	21	24	26	30	35	41	46	120
0.80	0.930	0.65	13	21	24	27	29	34	39	46	52	136
0.90	0.990	0.73	14	22	26	29	31	36	42	49	55	145
1.00	1.000	0.81	14	22	26	30	31	37	42	50	56	146
1.10	0.990	0.89	14	22	26	29	31	36	42	49	55	145
1.20	0.930	0.98	13	21	24	27	29	34	39	46	52	136
1.30	0.860	1.06	12	19	22	25	27	32	36	43	48	126
1.40	0.780	1.14	11	17	20	23	24	29	33	39	43	114
1.50	0.680	1.22	10	15	18	20	21	25	29	34	38	100
1.60	0.560	1.30	8	12	15	17	17	21	24	28	31	82
1.70	0.460	1.38	6	10	12	14	14	17	19	23	26	67
1.80	0.390	1.46	6	9	10	12	12	14	16	19	22	57
1.90	0.330	1.54	5	7	9	10	10	12	14	16	18	48
2.00	0.280	1.63	4	6	7	8	9	10	12	14	16	41
2.20	0.207	1.79	3	5	5	6	6	8	9	10	12	30
2.40	0.147	1.95	2	3	4	4	5	5	6	7	8	22
2.60	0.107	2.11	2	2	3	3	3	4	5	5	6	16
2.80	0.077	2.28	1	2	2	2	2	3	3	4	4	11

3.00	0.055	2.44	1	1	1	2	2	2	2	3	3	8
3.20	0.040	2.60	1	1	1	1	1	1	2	2	2	6
3.40	0.029	2.76	0	1	1	1	1	1	1	1	2	4
3.60	0.021	2.93	0	0	1	1	1	1	1	1	1	3
3.80	0.015	3.09	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2
4.00	0.011	3.25	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
4.50	0.005	3.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5.00	0.000	4.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bacino 14

Idrogramma a-dimensionale di Mockus		t	Idrogramma di piena per assegnato tempo di ritorno									
			5	15	25	40	50	100	200	500	1000	∞
t/ta	Q/Qp											
0.10	0.030	0.05	1	1	1	1	1	2	2	2	2	5
0.20	0.100	0.11	2	3	4	4	4	5	6	7	7	18
0.30	0.190	0.16	4	6	7	8	8	10	11	13	14	34
0.40	0.310	0.21	7	10	12	13	14	16	18	21	23	55
0.50	0.470	0.26	11	16	18	20	21	24	27	32	35	84
0.60	0.660	0.32	15	22	25	28	29	34	38	44	49	118
0.70	0.820	0.37	19	27	31	35	37	42	48	55	61	147
0.80	0.930	0.42	21	31	35	39	41	48	54	62	69	166
0.90	0.990	0.47	22	33	38	42	44	51	58	66	73	177
1.00	1.000	0.53	23	33	38	42	45	51	58	67	74	179
1.10	0.990	0.58	22	33	38	42	44	51	58	66	73	177
1.20	0.930	0.63	21	31	35	39	41	48	54	62	69	166
1.30	0.860	0.69	19	28	33	37	38	44	50	58	64	154
1.40	0.780	0.74	18	26	30	33	35	40	45	52	58	139
1.50	0.680	0.79	15	23	26	29	30	35	39	46	50	122
1.60	0.560	0.84	13	19	21	24	25	29	33	38	41	100
1.70	0.460	0.90	10	15	17	20	21	24	27	31	34	82
1.80	0.390	0.95	9	13	15	17	17	20	23	26	29	70
1.90	0.330	1.00	7	11	13	14	15	17	19	22	24	59
2.00	0.280	1.05	6	9	11	12	12	14	16	19	21	50
2.20	0.207	1.16	5	7	8	9	9	11	12	14	15	37
2.40	0.147	1.26	3	5	6	6	7	8	9	10	11	26
2.60	0.107	1.37	2	4	4	5	5	5	6	7	8	19
2.80	0.077	1.48	2	3	3	3	3	4	4	5	6	14
3.00	0.055	1.58	1	2	2	2	2	3	3	4	4	10
3.20	0.040	1.69	1	1	2	2	2	2	2	3	3	7
3.40	0.029	1.79	1	1	1	1	1	1	2	2	2	5
3.60	0.021	1.90	0	1	1	1	1	1	1	1	2	4
3.80	0.015	2.00	0	0	1	1	1	1	1	1	1	3
4.00	0.011	2.11	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2
4.50	0.005	2.37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5.00	0.000	2.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4.1.3 Calcolo delle portate col metodo razionale

La valutazione delle portate nel colmo di piena del bacino idrografico sotteso dalla nuova diga è stata condotta anche con il metodo razionale.

Lo scopo è di instaurare un confronto con i valori di portata calcolati in accordo al metodo SCS-CN per i tempi di ritorno di 100, 200, 500 e 1000 anni.

4.1.3.1 Calcolo del tempo di corrivazione t_c

Le usuali formule per il calcolo del tempo di corrivazione, per le particolari condizioni del bacino in istudio, risultano essere le seguenti:

Formula di Giandotti

La formula di Giandotti introduce nel calcolo di corrivazione t_c le caratteristiche morfologiche del bacino attraverso i parametri:

- A: superficie del bacino idrografico [km²];
- L: lunghezza dell'asta principale [km];
- H: altitudine media sulla sezione di chiusura [m].

L'espressione di questa formula è:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}}$$

Formula di Pasini

La formula di Pasini introduce nel calcolo di corrivazione t_c le caratteristiche morfologiche del bacino attraverso i parametri:

- A: superficie del bacino idrografico;
- L: distanza idraulicamente più lontana dalla sezione di chiusura;
- i_m : pendenza media del corso d'acqua

L'espressione di questa formula è:

$$t_c = 0,108 \frac{\sqrt[3]{SL}}{\sqrt{i_m}}$$

Formula di Ventura

La formula di Ventura è espressa in funzione di due parametri morfometrici: la superficie A del bacino e la pendenza media i_m della rete idrografica.

L'espressione di questa formula è:

$$t_c = 0,1272 \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{i_m}}$$

Formula di Kerby

La formula di Kerby introduce nel calcolo di corrvazione t_c le caratteristiche morfologiche del bacino attraverso i parametri:

L: distanza idraulicamente più lontana dalla sezione di chiusura;

i_m : pendenza media del corso d'acqua;

n: fattore di ritardo assunto pari a 0.8.

L'espressione di questa formula è:

$$t_c = \left(\frac{0.342 \cdot L \cdot n}{\sqrt{i_m}} \right)^{0.467}$$

Formula di Puglisi

La formula di Puglisi introduce nel calcolo di corrvazione t_c le caratteristiche morfologiche del bacino attraverso i parametri:

L: distanza idraulicamente più lontana dalla sezione di chiusura;

H: altitudine media sulla sezione di chiusura [m].

L'espressione di questa formula è:

$$t_c = \frac{6L}{H^{0.33}}$$

Formula Flood Studies Report – Natural Env. Research Council

La formula di Pasini introduce nel calcolo di corrvazione t_c le caratteristiche morfologiche del bacino attraverso i parametri:

A: superficie del bacino idrografico;

L: distanza idraulicamente più lontana dalla sezione di chiusura.

L'espressione di questa formula è:

$$t_c = 1.40 \frac{L}{\sqrt{A}}$$

Nella tabella seguente sono riportati i valori ottenuti con l'utilizzo delle espressioni proposte.

Calcolo del tempo di corrivazione		
Formula:	t _c [h]	t _c [min]
Giandotti	1.57	94
Ventura	2.69	161
Pasini	2.76	166
Kerby	2.97	178
Puglisi	2.99	180
Flood Studies Report	2.49	149
Valore medio adottato	2.58	155

Ai fini della valutazione del tempo di corrivazione si è optato per l'adozione del valor medio dei risultati ottenuti pari a 2.58 ore.

4.1.3.2 Determinazione della portata con il Metodo Razionale

Per la determinazione del valore della portata si è fatto riferimento al metodo razionale. La formula razionale è così strutturata:

$$Q_{\max} = \frac{\varphi \cdot 10^6 \cdot S \cdot h}{3600 \cdot t_c}$$

Il coefficiente φ , di difficile determinazione, è funzione della copertura del suolo, della geomorfologia del medesimo e di ulteriori parametri che ne condizionano il valore.

Associando all'espressione di h il valore rappresentato per il tempo di ritorno prefissato si ottiene la correlazione fra la frequenza dell'evento e la portata ad esso correlata.

La determinazione del coefficiente φ è stato condotto per ogni bacino relazionando diversi valori di φ i quali ne condizionano l'entità finale risultante.

La determinazione del coefficiente di ruscellamento è piuttosto empirica e basata forzatamente sull'ipotesi che detto coefficiente rimanga costante nel tempo e nello spazio nonché sull'esistenza di un rapporto lineare tra la pioggia caduta nel bacino e la portata di deflusso.

In virtù di questa semplificazione, peraltro costituita via obbligata laddove manchino stazioni idrometriche i cui dati di deflusso possano venire relazionati con gli afflussi meteorici in un dato intervallo di tempo, si può procedere correlando il coefficiente di ruscellamento con una

serie di parametri caratteristici del bacino in esame.

La definizione analitica del coefficiente di ruscellamento che è stata adottata pertanto è la seguente, che qui proponiamo:

$$\varphi = \varphi_{A,t} \cdot \varphi_i \cdot \varphi_p \cdot \varphi_c \cdot \varphi_e$$

dove:

$\varphi_{A,t}$ = coefficiente dipendente dall'estensione dell'area e del tempo di durata della pioggia

φ_i = coefficiente funzione della pendenza del terreno

φ_p = coefficiente dipendente dalla permeabilità del sottosuolo

φ_c = coefficiente dipendente dalla copertura vegetale

φ_e = coefficiente dipendente dalla evapotraspirazione.

Il coefficiente di ruscellamento definito come prodotto dei diversi coefficienti ora elencati tiene conto di molteplici fattori che influiscono, ciascuno a suo modo, sulla relazione tra afflussi meteorici e deflussi.

Così facendo il valore definitivo risulta da considerazioni di ordine idrologico ($\varphi_{A,t}$), geologico (φ_p), morfologico (φ_i) e dall'analisi del tipo di copertura vegetale esistente.

- Coefficiente $\varphi_{A,t}$

Come dimostrato negli studi condotti su dimensionamento e verifica della rete fognaria di Milano, il coefficiente di ruscellamento decresce con l'estendersi dell'area per una pioggia di durata t_p e, a parità di area, decresce per durate di pioggia crescenti.

La relazione proposta per fornire un'espressione numerica di quanto sostenuto è la seguente:

$$\varphi_{A,t} = \frac{t_p}{t_p + 0,118 + 0,00014 \cdot S} \cdot \frac{2385 + 97 \cdot t_p}{S + 2385 + 97 \cdot t_p}$$

- Coefficiente φ_i

Il ruscellamento è funzione anche della pendenza del terreno in quanto, a parità delle altre condizioni, l'irregolarità del terreno, intesa come presenza sommata di effetti di vaso e velo idrico, si fa molto meno sentire per terreni a forte pendenza mentre per terreni pianeggianti trattiene fortemente l'acqua.

Il calcolo φ_i è stato eseguito con la seguente formula:

$$\varphi_i = \frac{i\% + 1}{i\% + 3}$$

- Coefficiente φ_p

Per il calcolo di questo coefficiente, che tiene debito conto della permeabilità teorica del sottosuolo, si è fatto riferimento allo studio geologico dell'area sottesa supportato dalle pubblicazioni a cura di C.S.I. Piemonte - Regione Piemonte - Settore prevenzione del rischio geologico, meteorologico e sismico.

Ciascuna area di competenza del singolo bacino è caratterizzata da un proprio coefficiente di ruscellamento legato alla tipologia di sottosuolo che la contraddistingue.

Forniremo in seguito un elenco di valori proposti per il coefficiente di ruscellamento in funzione del tipo litologico attraversato.

Calcolate le aree di pertinenza dei vari tipi, l'espressione di φ_p è data dalla relazione

$$\varphi_p = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

dove:

φ_i = coefficienti di ruscellamento relativi alla litologia incontrata

A_i = aree dei singoli tipi litologici.

Da studi sperimentali sulla permeabilità del sottosuolo sono stati ricavati i seguenti valori numerici del coefficiente φ_p , correlati in maniera opportuna a determinate caratteristiche geologiche.

Nella seguente tabella vengono esposti i dati risultanti.

Tipo Geologico	φ_p
Gneiss, dioriti, gabbrodioriti	1
calcari, sieniti	0,98
Graniti porfirici	0,96
Porfidi caolinizzati ferrettizzati	0,92
Depositi morenici, terreni alluvionali alterati, argillosi	0,88
Sabbie, morene recenti	0,80
Alluvioni recenti	0,80

Il passo successivo è basato sulla determinazione della superficie del tipo litologico, delle sue caratteristiche salienti e, infine, sull'attribuzione del valore più opportuno del coefficiente di ruscellamento.

- Coefficiente φ_c

Al pari della struttura geologica anche la copertura superficiale riveste notevole importanza

nello stabilire quale percentuale di afflusso meteorico giunge ad alimentare la rete idrografica. Analogamente a quanto sviluppato nel calcolo del coefficiente φ_p , per determinare φ_c si è provveduto a definire le aree superficiali in funzione del tipo di copertura, assegnando valori medi probabili del coefficiente φ_c .

L'espressione analitica di φ_c è fornita dalla seguente relazione:

$$\varphi_c = \frac{\sum_{i=1}^k A_i \cdot \varphi_{c_i}}{\sum_{i=1}^k A_i}$$

I valori medi assegnati al coefficiente φ_c in funzione della copertura sono riportati in tabella:

Tipo di Copertura	Coefficiente φ_c
Aree urbane	0,90
Terreni sterili	0,80
Pascoli	0,75
Prati	0,72
Seminativi	0,70
Risaie	0,70
Colture speciali	0,70
Frutteti	0,68
Vigneti	0,68
Boschi	0,65
Ghiacciai	0,00

- **Coefficiente φ_e**

L'evapotraspirazione è un fenomeno assai importante quando si vuole calcolare il coefficiente di ruscellamento medio annuo di un dato bacino.

Viceversa, esso diventa trascurabile per eventi la cui durata è di poche ore, in modo particolare durante forti temporali, quando la temperatura si abbassa a valori sotto la media del periodo.

Pertanto, essendo quest'ultima situazione del tutto simile al caso in esame, facendo riferimento ai testi consultati, il valore suggerito per il coefficiente è:

$$\varphi_e = 1$$

Riferendoci a quanto esposto sinora, calcolati i valori parziali del coefficiente di ruscellamento, attraverso la formula razionale si giunge a definire l'entità della portata di dimensionamento la cui frequenza di non superamento è determinata dalla curva di possibilità climatica utilizzata.

I risultati conseguiti sono riassunti nella seguente tabella ove si riepilogano anche i principali parametri determinati nel corso della trattazione.

Metodo Razionale - Portata al como di piena	
Tempo di ritorno [anno]	Q [m ³ /s]
100	598
200	653
500	725
1000	779

Indicazione dei principali parametri utilizzati per il calcolo della portata di massima piena col Metodo Razionale			
<i>Parametri morfologici del bacino idrografico</i>			
L [km]	S [kmq]	i	H _m [m s.l.m.]
12.73	51.31	0.543	1439
<i>Tempo corrivazione</i>		2.58 [h]	
<i>Determinazione coefficiente di ruscellamento ϕ</i>			
$\phi_{A,t}$	0.94		
ϕ_i	0.97		
ϕ_p	0.99		
ϕ_c	0.99		
ϕ_e	1		
ϕ	0.89		
	1		
		Classe	Area [km ²]
		13	34.38
		15	16.93
		$\phi_{p,i}$	
		1	34.38
		0.98	16.59
			0.99
		Classe	Area [km ²]
		13	34.38
		15	16.93
		$\phi_{c,i}$	
		1	34.38
		0.98	16.59
			0.99
Classe	Decodifica		
13	Gneiss minut; micacisti, talora eclogitici, scisti filladici, scisti porfiroidi, quarzitoscisti		
15	Graniti, sieniti, dioriti, migmatiti granitiche, gabbrodioriti, porfiriti, ignimbriti riolitiche		

4.2 RIEPILOGO DELLE ELABORAZIONI VOLTE ALLA DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI PIENA PER ASSOCIATO TEMPO DI RITORNO

Il confronto dei risultati risultati ottenuti applicando le due diverse metodologie proposte ha permesso di verificare che le variazioni percentuali tra i valori calcolati applicando metodi che si appoggiano a due diverse ipotesi di lavoro sono un buon viatico per poter giudicare attendibili i valori proposti.

Occorre precisare che il metodo SCS-CN è stato utilizzato nelle condizioni più gravose di umidità antecedente all'evento (condizioni AMCIII) mentre per il Metodo Razionale pur avendo determinato il coefficiente di ruscellamento si è optato di porlo comunque eguale ad uno. In tal modo si è voluto dare particolare enfasi alla calamitosità dell'evento considerato in relazione anche all'importanza dell'opera.

A tal riguardo si osserva che il tempo di corrivazione adottato, calcolato secondo il metodo SCS-CN, è pari a circa un terzo del valore medio determinato con le usuali formule reperibili in letteratura.

Le valutazioni delle portate al colmo di piena effettuate in accordo ai metodi SCS-CN e Razionale proposte nella seguente tabella sono quindi cautelativamente sovrastimate.

Portata al colmo di piena

TR	SCS-CN	M.R.	$100 \frac{ a - b }{ a }$
[anno]	[a] [m ³ /s]	[b] [m ³ /s]	
100	576	598	-3.81
200	648	653	-0.70
500	744	725	2.60
1000	817	779	4.65

Si ritiene degno di interesse il confronto tra i risultati ottenuti nella presente relazione idrologica con quelli proposti nella relazione idrologica allegata al progetto della diga esistente.

La portata massima venne calcolata in funzione della portata massima misurata nel Mastallone registrata il 3 agosto 1934 e pari a 729 m³/s.

Applicando le regole del Gherardelli per il calcolo delle piene in diverse estensioni dello stesso bacino, o di bacini similari, si trovò per il Sessera - Dolca:

$$Q_{\max} = q_{\max} \left(\frac{S}{s} \right)^{0,3}$$

dove:

q_{\max} = portata massima misurata nel Mastallone

Q_{\max} = portata massima corrispondente nel Sessera

s = superficie del Mastallone a Ponte Folle (149 Km²)

S = superficie del bacino del Sessera nella diga esistente (50,9 Km²)

Si determinò quindi il valore di:

$$Q_{\max} = 729 \left(\frac{50,9}{149} \right)^{0,3} = 528 m^3 / s$$

corrispondente a 10 m³/s Km² riferito ad una piena di eccezionale intensità, ma effettivamente avvenuta.

Nella relazione venne proposto anche il calcolo con la formula del Giandotti:

$$Q_{\max} = 278 \frac{pcHS}{KT}$$

dove il tempo di corrivazione T si calcola:

$$T = \frac{4\sqrt{s}}{0,8} + \frac{1,5L}{\sqrt{4}}$$

con:

H = massima precipitazione in 24 ore.

Venne utilizzato il valore registrato il 3 agosto 1934 nel Sesia pari a 0,12 m che venne cautelativamente arrotondato a 0,20 m

S = superficie del bacino (50,9 Km²)

L = lunghezza di ciascuno dei fondovalle (10,5 Km)

h = dislivello tra la sezione di chiusura e l'altezza media del bacino pari a 450 m

c = coefficiente di deflusso posto pari a 0,55

K = rapporto tra la durata di piena (24 ore) ed il tempo di corrivazione (9)

p = rapporto tra la piena al colmo e la media della portata di piena (0,5)

Si valutò allora il tempo di corrivazione T in 2''36' = 2,6 h e la portata massima in 435 m³/s.

Nella relazione venne proposto il calcolo con altre due formule:

- seconda formula del Giandotti

$$Q_{\max} = 333 \frac{Hs\sqrt{h}}{4\sqrt{s} + 1,50L}$$

dove p venne posto uguale a 0,3 rimanendo inalterati gli altri valori; il valore ottenuto fu: $Q_{\max} = 476 \text{ m}^3/\text{s}$

- Formula del Forti

l'applicazione era consigliata in bacini soggetti a precipitazioni di 200/250 m/m in 24 ore:

$$Q_{\max} = 2,35S \left(\frac{500}{S + 125} + 0,5 \right)$$

che fornì il valore di $400 \text{ m}^3/\text{s}$

La portata che venne utilizzata in sede di redazione del progetto fu di $500 \text{ m}^3/\text{s}$.

I risultati proposti nella relazione idrologica del progetto della diga esistente sono figli del loro tempo, è evidente come non sia presente alcun riferimento probabilistico al concetto di rischio idraulico espresso per il tramite del tempo di ritorno.

Confrontando i risultati ottenuti nella presente relazione con quelli del progetto della diga attuale non si può non osservare come la portata di progetto (millenaria) sia 1,6 volte quella del progetto originario.

Non soffermandosi solo sulla magnitudo ma sulla probabilità di non superamento o parimenti sul tempo di ritorno è evidente come l'incremento di 1,6 nel valore della portata di progetto abbia comportato almeno un incremento di un fattore 10 nella scala probabilistica di misura del tempo di ritorno.

La portata associata ad un tempo di ritorno pari a 100 anni è stata valutata in $576 \text{ m}^3/\text{s}$, contro i $500 \text{ m}^3/\text{s}$ della portata di progetto del progetto originario.

Tale risultato non sorprende essendo la portata di progetto della diga attuale riferita ad una portata massima registrata per la quale non era noto l'associato tempo di ritorno.

In tal senso si è ritenuto degno di interesse ricalcolare la portata di piena della diga attuale utilizzando come riferimento la portata di piena del Mastallone registrata a Ponte Folle in data 02/11/1968 pari a circa $1050 \text{ m}^3/\text{s}$ (Fonte: Linee Generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi – Sesia, Autorità di Bacino del Fiume Po).

La formula di del Gherardelli in questo caso fornisce un valore pari a:

$$Q_{\max} = 1050 \cdot \left(\frac{50,9}{149} \right)^{0,3} = 760 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Il valore così ottenuto è praticamente identico al valore calcolato con il metodo SCS (744 m³/s) e con il metodo Regionale (725 m³/s) per un tempo di ritorno di 500 anni.

L'applicazione della formula del Gherardelli a due eventi di piena lontani nel tempo ha fornito valori della portata di piena confrontabili con portate associate a tempi di ritorno assai diversi, rispettivamente 100 e 500 anni.