



**COMUNE DI
BRACIGLIANO**
Provincia di Salerno

**INTERVENTI DI SISTEMAZIONE
E MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO
DISSESTI IN LOCALITÀ TAVOLARA**

DATA: LUGLIO 2023 *Intervento n°6 della deliberazione CIPE n.8 / 2012* CUP: I43B08000150001
già n.71 dell'allegato 1 all'Accordo di Programma del 12.11.2010

PROGETTO RAFFORZATO DI FATTIBILITÀ TECNICO - ECONOMICA
(ai sensi del art.41 del DL 36/2023 - Allegato 1.7)
APPALTO INTEGRATO PROGETTO ESECUTIVO E LAVORI

numero	titolo	cod. elaborato
09	RELAZIONE IDROLOGICA	PD-ED.09
		scala
		-

Sindaco: Dott.re Giovanni Iuliano

U.T.C UFFICIO TECNICO COMUNALE
Ufficio del Rischio Idrogeologico

RUP: Arch. Paola Giannattasio

Supporto al RUP: Avv. Domenico Leone
Giuridico Amministrativo

Valutazione Incidenza Ambientale:
Dott. Biologo Gabriele De Filippo

Responsabile area economico/finanziaria:
Dott. Alfonso Amabile

Progettazione: Ing. Cono Francesco Cimino

Geologo: Dott. Elio Lo Russo

Valutazione Impatto Ambientale:
Dott. Agronomo Silvestro Caputo



1. **OBIETTIVO E METODOLOGIA**

La presente relazione illustra, l'inquadramento idrologico dell'area interessata dall'intervento di mitigazione del rischio idrogeologico derivante da colate rapide di fango, la metodologia adottata per l'analisi delle portate che gravano sugli impluvi interessati dagli interventi costituiti come riportato nello studio di fattibilità, dalla realizzazione di una serie di briglie realizzate al fine di determinare la formazione di una serie di volumi di invaso aventi la funzione di contenere e laminare le portate di fango. L'analisi seguente è finalizzata alla valutazione dei valori di portate di assegnata probabilità di accadimento e, più in dettaglio, ad una descrizione accurata del campo di flusso, mediante la perimetrazione delle aree inondabili. L'analisi fornisce indicazioni circa la compatibilità idraulica delle sezioni naturali o artificiali e l'entità dei fenomeni di esondazione conseguenti alle portate di riferimento.

La scelta del modello idraulico con cui rappresentare il fenomeno dell'allagamento del territorio è fortemente condizionata, prima ancora che dalle tecniche di soluzione numerica del problema idraulico, dai dati disponibili e dal grado di approssimazione dei risultati attesi.

La parte prevalente delle informazioni necessarie alla costruzione del modello è costituita dalle caratteristiche morfologiche dell'area e dai dati idraulici (portate di assegnata frequenza e idrogrammi di piena). Purtroppo le aree inondate presentano un'orografia se pur regolare, spesso complicata dalla presenza di insediamenti urbani, che ne rendono estremamente onerosa la definizione. Altrettanto onerosa è la caratterizzazione geometrica ed idraulica del versante, spesso complicata da singolarità che hanno un ruolo determinante nella modellazione idraulica: ponti, briglie di consolidamento, ecc. Il modello di calcolo da adottare è pertanto subordinato al grado di approssimazione richiesto ai risultati, all'onere sopportabile per le elaborazioni e per l'acquisizione dei dati; inoltre, deve essere adeguato alla precisione e sufficienza dei dati disponibili.

2. **ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO**

Lo sviluppo dello studio ha seguito il seguente schema concettuale:

A. modellazione idrologica:

- valutazione delle caratteristiche morfometriche del bacino idrografico;
- valutazione della portata di piena con diversi periodi di ritorno;
- valutazione della portata relativa alla colata di fango.

La valutazione delle portate di piena per i diversi periodi di ritorno è stata effettuata con riferimento alla procedura riportata nel rapporto CNR-GNDI "Valutazione delle Piene in Campania" (Rossi e Villani, 1994) e utilizzata dall'Autorità di Bacino Regionale Campania Sud ed Interregionale per il Bacino Idrografico del Fiume Sele e



dall'Autorità di Distretto dell'Appennino Meridionale nel Piano di Gestione delle Alluvioni ai sensi della Direttiva 2007/60/CE, D.lgs. 49/2010, D.lgs. 219/2010.

3. ANALISI IDROLOGICA PRELIMINARE ATTRAVERSO LA METODOLOGIA VAPI E SCS CURVE NUMBER

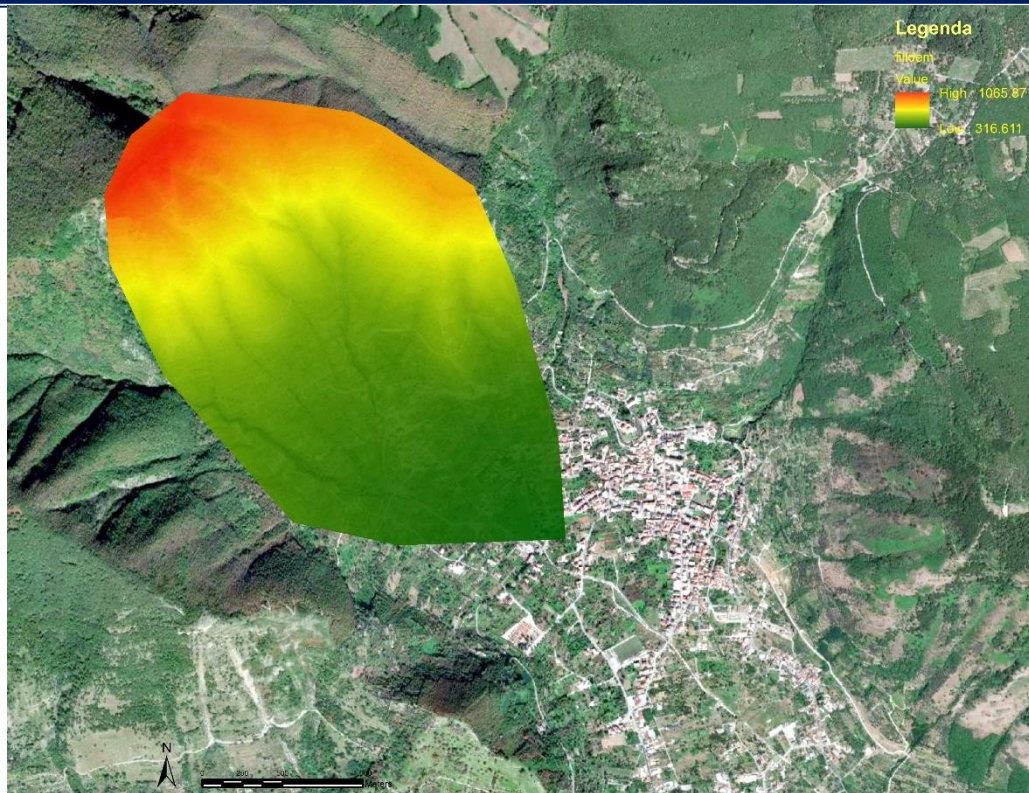
In riferimento alla attività di analisi suddetta, l'area interessata dall'intervento è situata nel comune di Bracigliano (SA).



Ortofoto dell'area di studio

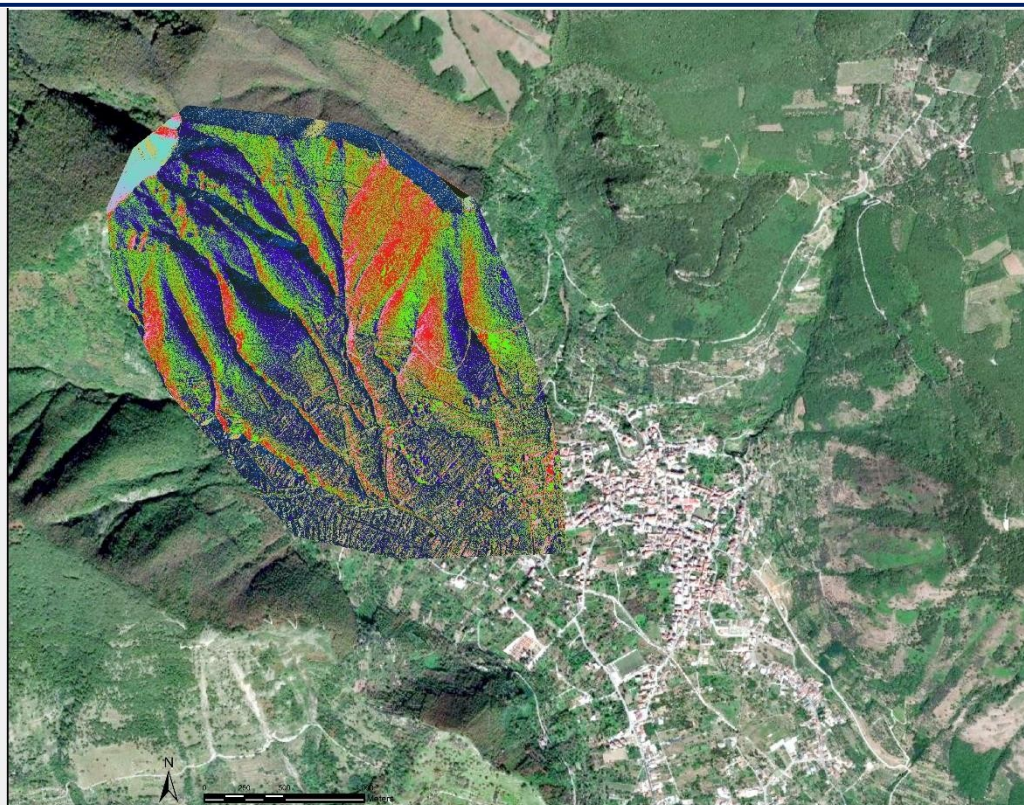
Relativamente a tale area, sono state acquisite preliminarmente informazioni di carattere topografico attraverso la acquisizione del DTM derivato da volo LIDAR con risoluzione di cella 1x1 metri, nonché una planimetria dello stato dei luoghi prodotta attraverso un rilievo di dettaglio.

Nell'immagine seguente è riportato uno stralcio del suddetto DTM dal quale si possono già da subito individuare gli impluvi principali che insistono sul centro abitato sottostante.



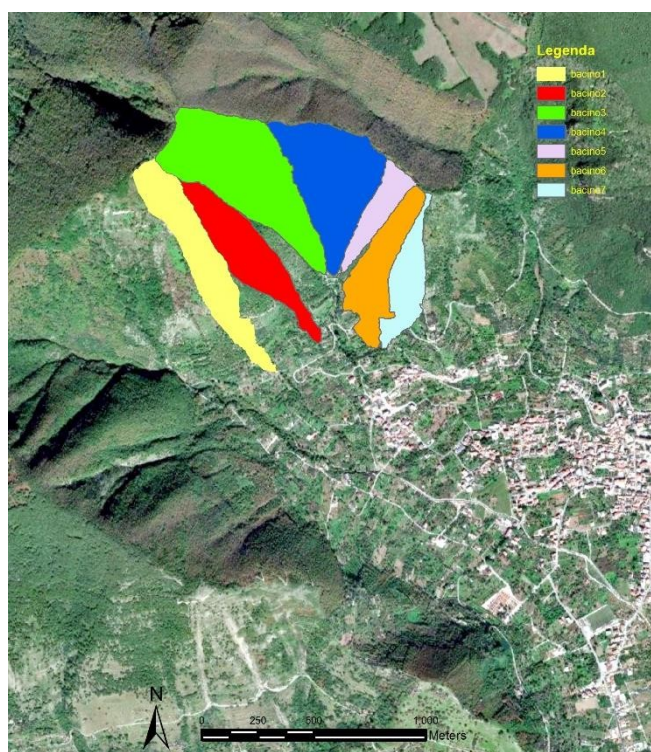
DTM relativo all'area di interesse si possono individuare gli impluvi che insistono sul centro abitato

Attraverso l'elaborazione in ambiente GIS del DTM è stata ricavata la mappa delle direzioni di flusso. Come si può osservare dall'immagine sono evidenti le incisioni principali già evidenziate dal DTM.



Mapa delle direzioni di flusso

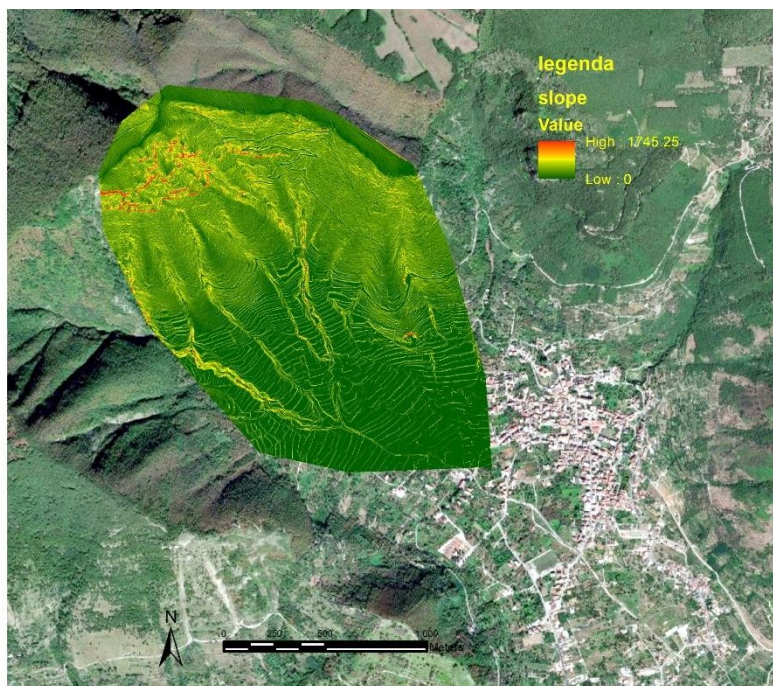
Attraverso l'analisi delle direzioni di flusso, si sono perimetrali i bacini che potenzialmente afferiscono all'intero versante che affaccia sul centro abitato e che sono riportati nella figura seguente:



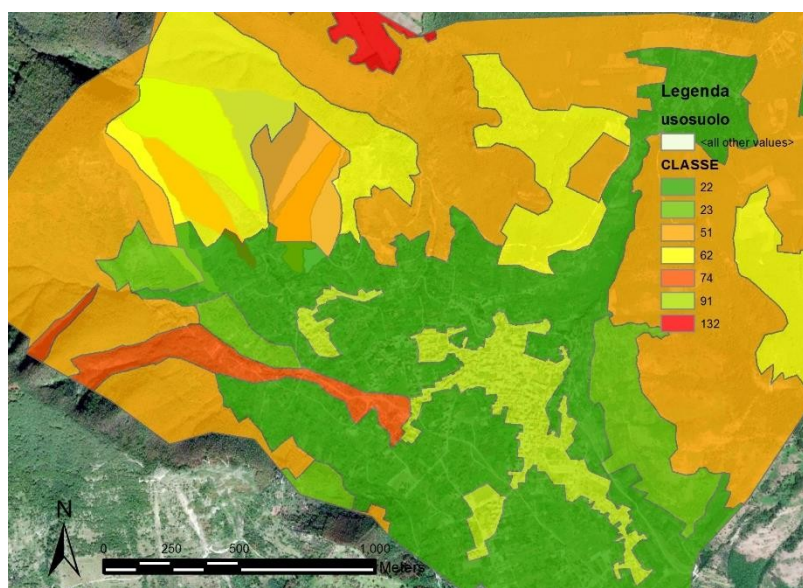


Bacini idrografici insistenti sull'intero versante prospiciente il centro abitato

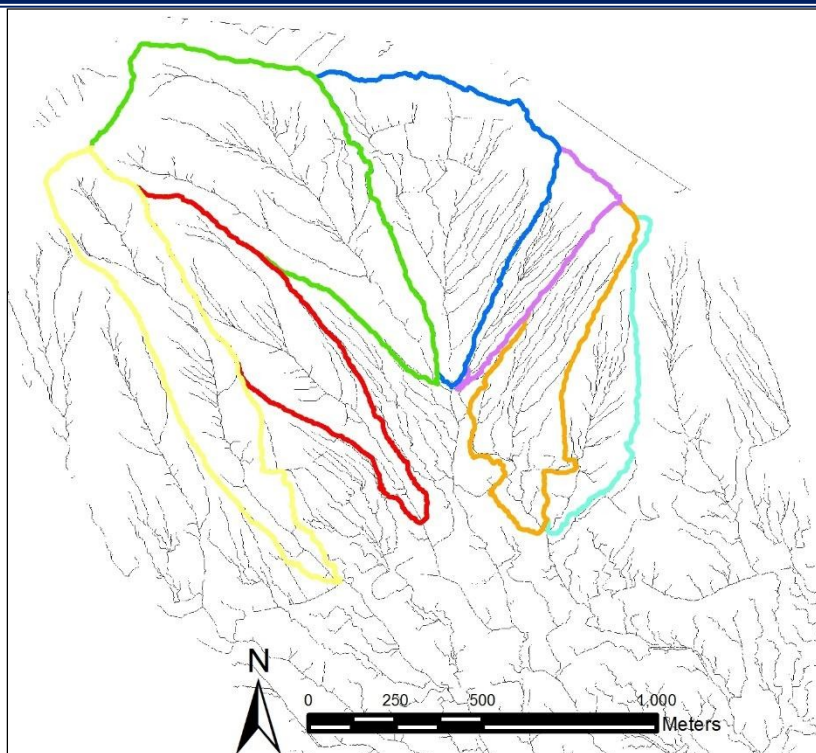
Di seguito, al fine di ricavare le informazioni necessarie alle successive elaborazioni è stata estratta la mappa delle pendenze e quella di uso del suolo e sono state misurate le lunghezze delle aste principali dei singoli bacini individuati.



Mappa delle pendenze relative al bacino individuato



Stralcio della carta di uso del suolo relativo all'area di interesse

**Rete idrografica afferente ai bacini**

Dei bacini così individuati, attraverso una analisi in ambiente GIS, sono state estratte le caratteristiche morfometriche riportate qui di seguito:

DATI BACINI

Bacino	Am (ha)	Am (kmq)	L. asta principale (km)	P. media bacino (%)	Curve Number
1	14.9719	0.149719	1.166	78.9	70
2	12.6839	0.126839	0.934	69.86	70
3	25.8179	0.258179	1.028	84.86	70
4	19.2914	0.192914	0.72	71.26	70
5	5.2983	0.052983	0.504	65.77	70
6	10.6544	0.106544	0.718	54.66	70
7	7.4182	0.074182	0.714	58.58	70

4. MODELLAZIONE IDROLOGICA



Nei paragrafi che seguono si procederà al calcolo della portata al colmo di piena adottando la metodologia proposta dal VAPI per la ricostruzione delle curve di probabilità pluviometrica e quella dell'SCS Curve Number per la ricostruzione degli idrogrammi di piena.

5. VALUTAZIONE DELLE CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA- ANALISI IDROLOGICA

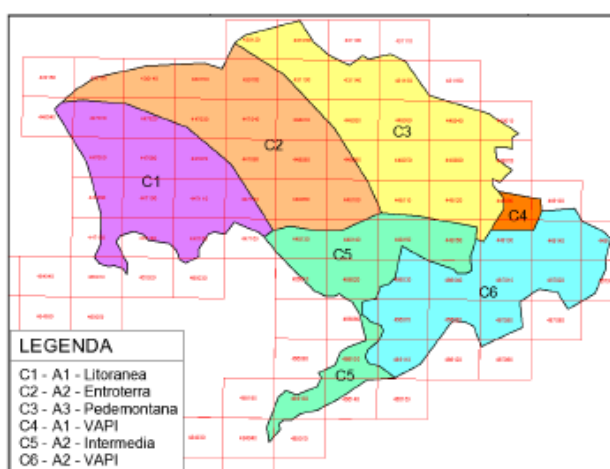
Per stimare le portate di piena con assegnato tempo di ritorno, è necessario valutare gli afflussi meteorici che le generano, desumibili dalle "curve di probabilità pluviometrica".

La determinazione delle curve di probabilità pluviometrica è stata condotta attraverso la metodologia proposta dal VAPI, nella quale viene adottato un modello probabilistico a doppia componente (TCEV) che interpreta gli eventi massimi annuali come il risultato di una miscela di due popolazioni distinte: la prima produce gli eventi massimi ordinari, più frequenti ma meno intensi; la seconda produce gli eventi massimi straordinari, meno frequenti ma spesso catastrofici.

Per la applicazione del metodo proposto dal VAPI, risulta necessario:

- identificare la Sottozona Omogenea in cui ricade il bacino;
- specificare la legge di variazione con il Periodo di Ritorno del coefficiente di crescita;
- stimare il valor medio della distribuzione.

a) Identificazione della Sottozona Omogenea: è stata eseguita, facendo riferimento alla corografia in Figura da cui si evince chiaramente che il bacino in oggetto ricade nella zona omogenea denominata C5.



Sottozone pluviometricamente omogenee Autorità di Bacino della Campania Centrale (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico in Campania).



b) Specificazione della legge di variazione di K_T con il Periodo di ritorno T : si è fatto riferimento ai valori riportati nella tabella seguente:

T:	10	20	50	100	200	300
K_T :	1.63	2.03	2.61	3.07	3.55	3.82

Valori del Coefficiente di Crescita al variare del periodo di Ritorno (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico in Campania).

c) Stima del valor medio della distribuzione: sono state ricostruite le curve di probabilità pluviometrica, che definiscono come varia la media del massimo annuale dell'intensità di pioggia su una fissata durata d , $\mu[I(d)]$, con la durata stessa.

E' stata adottata l'espressione proposta dal documento citato per la Campania, che è del tipo:

$$\mu[I(d)] = \mu(I_0) / \left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^\beta$$

in cui d e d_c vanno espressi in ore, $\mu[I_0]$ e $\mu[I(d)]$ in mm/ora e vale:

$$\beta = C - D * Z$$

con Z quota media del bacino in metri.

I parametri delle relazioni, sono costanti all'interno di singole aree pluviometriche omogenee, e variano nel passare dall'una all'altra e i valori assunti sono riportati nella tabella seguente, in cui $M(I_0)$ è espressa in mm/h, d_c in ore mentre i parametri C e D sono adimensionali.

Area omogenea	$M(I_0)$	d_c	C	$D \cdot 10^5$
C1	68.81	0.2842	0.7580	-14.5
C2	123.96	0.0956	0.7310	-14.4
C3	86.07	0.1980	0.7580	-2.4
C4	77.10	0.3661	0.7995	3.6077
C5	85.00	0.3034	0.7621	9.6554
C6	83.80	0.3312	0.7031	7.7381

Parametri statistici delle legge di probabilità pluviometriche regionali per ogni area pluviometrica omogenea (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico in Campania).

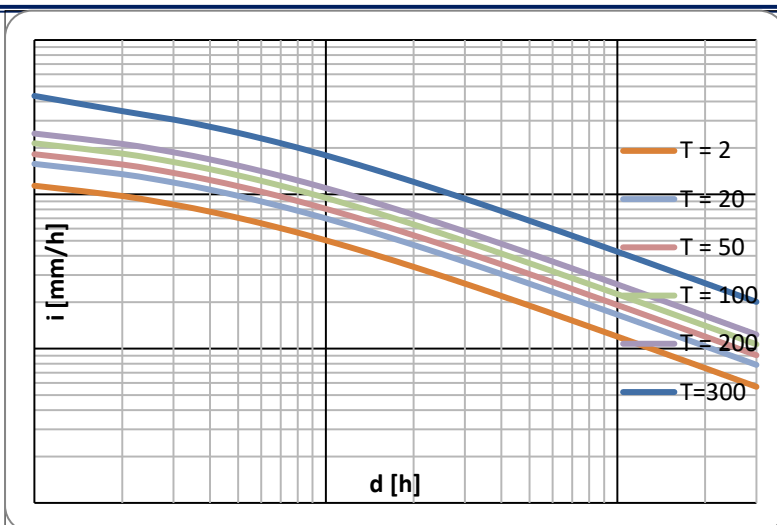
Le curve di probabilità pluviometrica, generalmente sono caratterizzate dalla espressione biparametrica:

$$\mu[I(d)] = a d^{n-1}$$

in cui :

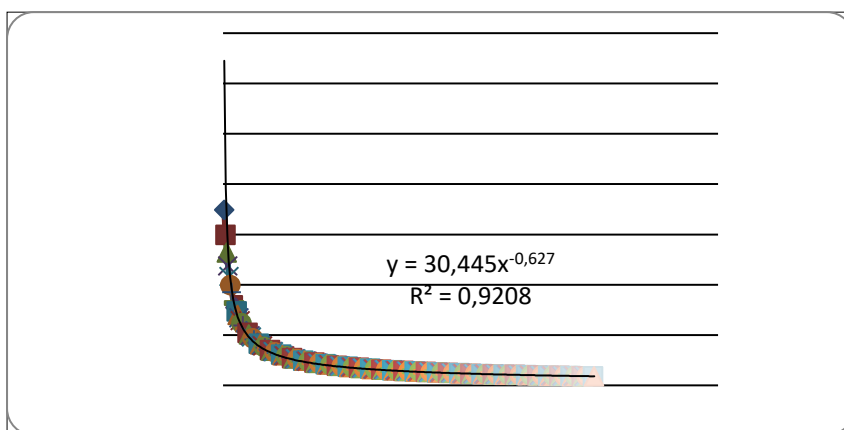
a ed n sono parametri statistici della legge di probabilità pluviometrica e d è la durata della pioggia.

Applicando la procedura di cui sopra, sono state ricavate le seguenti curve di probabilità pluviometrica relative a i periodi di ritorno T di 10, 20, 50, 100, 200, e 300 anni.



Le curve di probabilità pluviometrica per diversi periodi di ritorno. Nella figura gli assi sono in scala logaritmica.

Graficizzando la media del massimo annuale dell'intensità di pioggia su una fissata durata d , $\mu[I(d)]$, con la durata stessa si è ricavata l'espressione della curva interpolante, da cui vengono desunti i parametri a ed n della curva di probabilità pluviometrica scritta nella forma biparametrica.



$$\mu[I(d)] = a d^{n-1}$$

a=	30.445
n=	0.373

Grafico di $\mu[I(d)]$ e relativa equazione della curva interpolante.

6. VALUTAZIONE DELLE PERDITE IDROLOGICHE E DELLO IETOGRAMMA NETTO.



Il metodo utilizzato per ricavare le piogge efficaci al deflusso P_e è quello sviluppato dal Soil Conservation Service (SCS). Esso descrive il fenomeno di infiltrazione della pioggia nel terreno, assumendo che la pioggia netta P_e sia legata alla pioggia lorda P secondo la relazione:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)}$$

dove:

- I_a = perdita iniziale (massimo valore dell'altezza di pioggia che il terreno può trattenere all'inizio del fenomeno piovoso, senza che si verifichi il deflusso superficiale [mm]);
- S = massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione (capacità di campo) [mm].

Quindi fino all'istante in cui non si ha $P > I_a$ il deflusso superficiale è da ritenersi assente.

Per la stima di I_a e di S si può fare ricorso alle seguenti relazioni:

$$I_a = 0.2 \cdot S \qquad S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

dove:

CN = Curve Number, numero adimensionale, compreso tra 0 e 100, funzione della natura del suolo, del tipo di copertura vegetale e delle condizioni di umidità iniziali.

L'SCS ha classificato i vari tipi di suolo in quattro classi (A, B, C e D), sulla base della permeabilità del terreno nudo a seguito di prolungato imbibimento. Si riportano le tabelle di classificazione del tipo di suolo e del CN in funzione del tipo di copertura.

Tipo di suolo	Descrizione
A	Tasso di infiltrazione elevato (scarsa potenzialità di deflusso). Comprende sabbie o ghiaie di considerevole spessore con pochissimo limo e argilla.
B	Tasso di infiltrazione moderato (potenzialità di deflusso moderatamente bassa). Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi con presenza di limi e di moderato spessore.
C	Tasso di infiltrazione basso (potenzialità di deflusso moderatamente alta). Comprende suoli di scarso spessore, suoli contenenti notevoli quantità di argilla, suoli con tracce di materiale organico.
D	Tasso di infiltrazione molto basso (potenzialità di deflusso molto alta). Comprende la maggior parte dei suoli contenenti argille con elevato potenziale di rigonfiamento, ma anche suoli sottili al di sopra di strati quasi impermeabili.

Descrizione del tipo di suolo secondo il SCS



INTERVENTI DI SISTEMAZIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO
DISSESTI IN LOCALITÀ TAVOLARA

Tipo di copertura (uso del suolo)	A	B	C	D
Terreni coltivati senza trattamenti di conservazione (terrazzamenti)	72	81	88	91
Terreni coltivati con interventi di conservazione (terrazzamenti)	62	71	78	81
Terreni da pascolo in cattive condizioni	68	79	86	89
Terreni da pascolo in buone condizioni	39	61	74	80
Praterie in buone condizioni (prati tagliati per il fieno)	30	58	71	78
Boschi e foreste. Terreni sottili, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
Boschi e foreste. Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
Spazi aperti: prati rasati, campi da golf, parchi in buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
Spazi aperti: prati rasati, campi da golf, parchi in condizioni discrete, con copertura erbosa dal 50% al 75%	49	69	79	84
Aree commerciali (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
Aree industriali (impermeabilità 72%)	81	88	91	93
Aree residenziali (impermeabilità media 65%)	77	85	90	92
Aree residenziali (impermeabilità media 38%)	61	75	83	87
Aree residenziali (impermeabilità media 30%)	57	72	81	86
Aree residenziali (impermeabilità media 25%)	54	70	80	85
Aree residenziali (impermeabilità media 20%)	51	68	79	84
Parcheggi impermeabilizzati, tetti	98	98	98	98
Strade pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
Strade selciate con buche	76	85	89	91
Strade in terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Descrizione del tipo di copertura secondo il SCS

Per quanto riguarda le condizioni di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico, il metodo individua tre classi caratterizzate da differenti condizioni iniziali (AMC o *Antecedent Moisture Condition*), in funzione dell'altezza di pioggia totale caduta nei 5 giorni precedenti l'evento meteorico. Per individuare la categoria di AMC si utilizza la seguente tabella, scegliendo la stagione e il valore di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti.

Classe AMC	Precipitazione nei 5 giorni precedenti (mm)	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	< 13	< 36
II	13-28	36-54
III	> 28	> 54

Descrizione delle classi di umidità del suolo secondo il SCS

I valori di CN riportati nella rispettiva tabella si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo di tipo intermedio, indicata come AMC (II). Per condizioni iniziali differenti da quella standard si utilizzano le seguenti relazioni che legano il valore di CN nelle condizioni (I) e (III) a quello (II):

$$CN(I) = \frac{4.2 \cdot CN(II)}{10 - 0.058 \cdot CN(II)} \quad CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0.13 \cdot CN(II)}$$

Nel caso di bacini con differenti classi di uso del suolo e tipo di suolo, l'unico valore di CN per ogni AMC, necessario per i calcoli, può essere stimato effettuando una media pesata dei valori corrispondenti alle differenti sub-aree isoparametriche, ossia caratterizzate da una determinata classe di uso del suolo e da un certo tipo di suolo, con i pesi calcolati in funzione delle aree delle singole parcelle sull'area totale del bacino individuato.

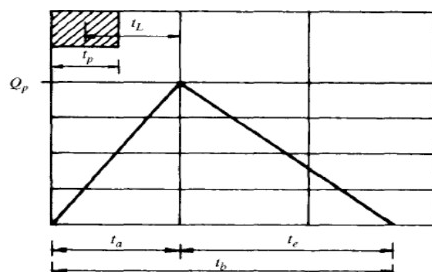


7. STIMA DELLE PORTATE AL COLMO DI PIENA

Il metodo SCS stima il valore della portata al colmo di piena Q_p , considerando un idrogramma unitario istantaneo di forma triangolare con picco Q_p , una fase crescente di durata t_a (tempo di accumulo) ed una fase di esaurimento di durata t_e (tempo di esaurimento), il cui volume V , espresso in m^3 , ha la seguente espressione:

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

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



Idrogramma unitario triangolare del modello SCS.

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:

$$t_b = 2.67 \cdot t_a$$

Utilizzando le formule di cui sopra, esprimendo il volume di deflusso V in mm (ossia P_e), il tempo t_a in ore, l'area del bacino in Km^2 , si ottiene:

$$Q_p = 0.208 \cdot \frac{P_e \cdot A_b}{t_a} = 0.208 \cdot \frac{V}{t_a} \quad [m^3/s]$$

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 (Lag Time), ovvero la distanza tra il baricentro dello idrogramma ed il picco dell'idrogramma, si ottiene dalla seguente relazione:

$$t_a = 0.5 \cdot t_p + t_L$$

dove:

t_p = durata della pioggia [h]

Si pone $t_p = T_c$.

T_c = tempo di corrivazione del bacino [h]

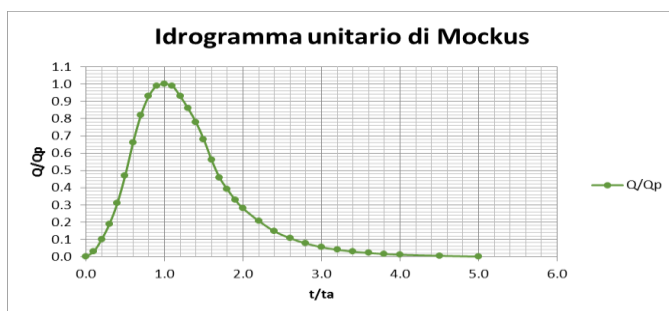
Per la stima del tempo di ritardo del bacino t_L invece si è utilizzata la formula di Mockus:



$$t_L = 0.342 \cdot \frac{L^{0.8}}{\sqrt{i_b}} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}$$

8. RICOSTRUZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA

Gli idrogrammi di piena sono stati ricostruiti a partire dall'idrogramma adimensionale di Mockus, ossia una curva adimensionale ricavata da numerosi idrogrammi unitari, ottenuti da idrogrammi di piena registrati in bacini di differente estensione e posizione geografica. Tale grafico 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 (tempo di accumulo) con la variabile t/t_a . Una volta noti Q_p e t_a (al variare di AMC e T), è possibile ricavare tutti i punti dell'idrogramma.

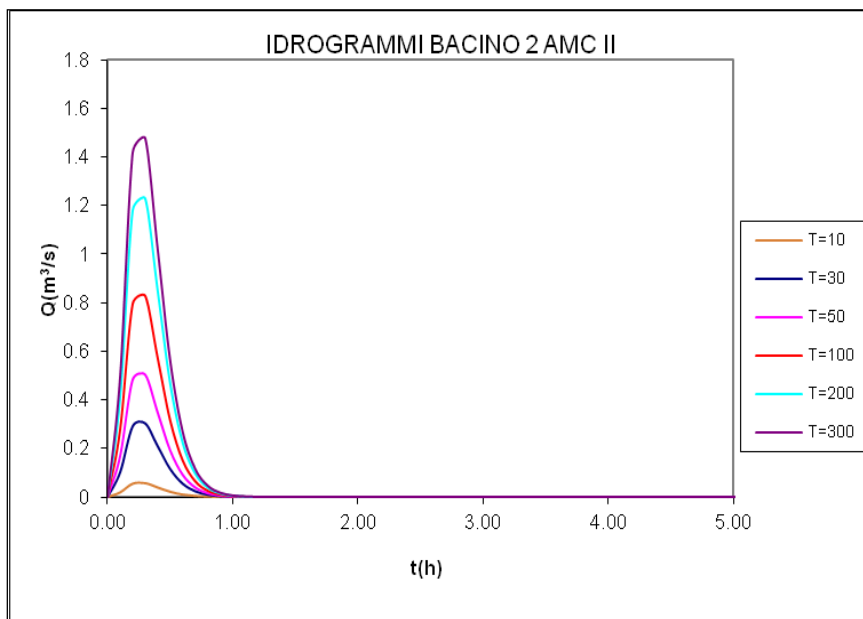
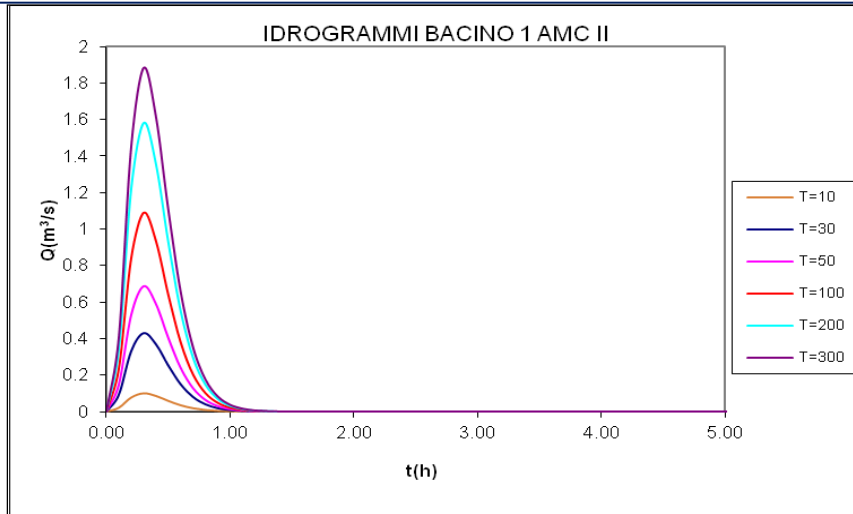


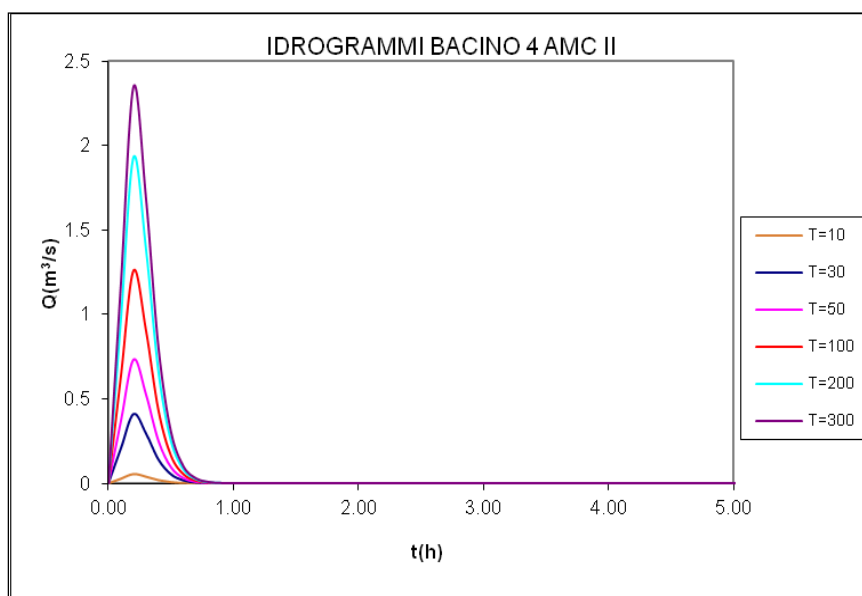
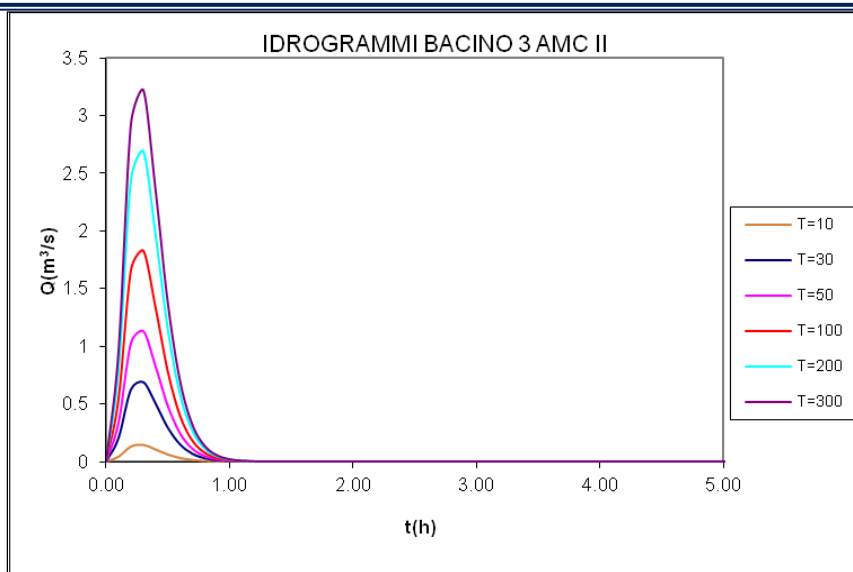
t/t_a	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Q/Q_p	0	0.03	0.1	0.19	0.31	0.47	0.66	0.82	0.93	0.99	1
t/t_a	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.2
Q/Q_p	0.99	0.93	0.86	0.78	0.68	0.56	0.46	0.39	0.33	0.28	0.21
t/t_a	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.6	3.8	4	4.5	5
Q/Q_p	0.15	0.11	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0

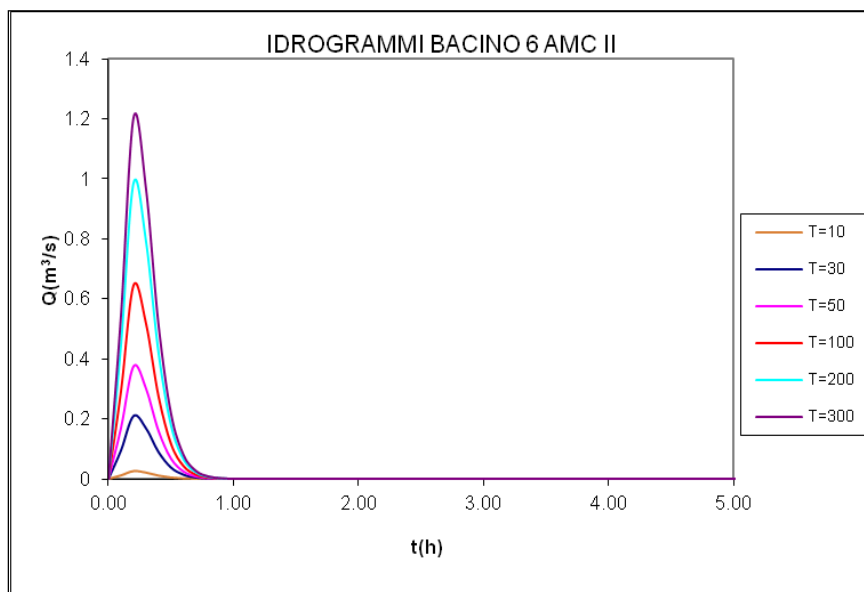
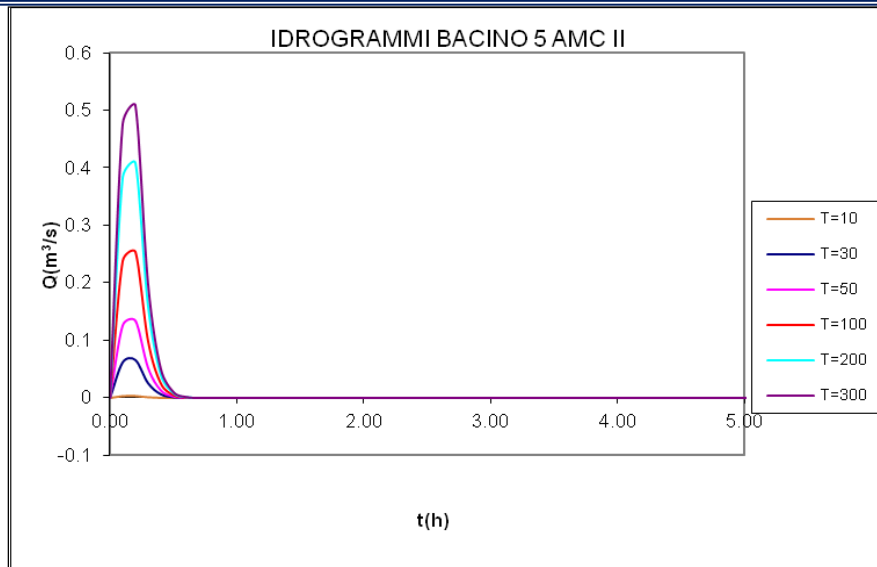
Idrogramma unitario adimensionale di Mockus.

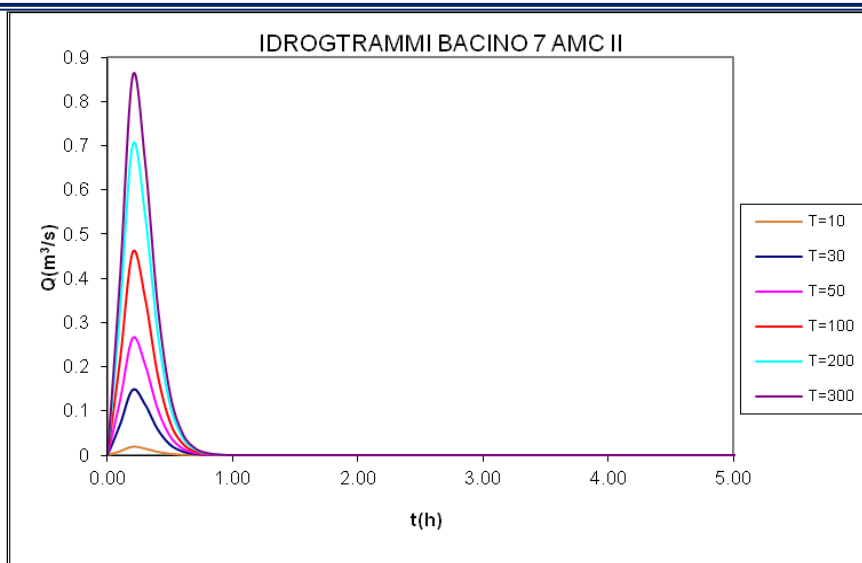
Per la concentrazione dei deflussi attraverso il metodo del SCS e la ricostruzione dell'onda di piena gli idrogrammi di piena relativi ai periodi di ritorno T di 10, 30 50, 100, 200 e 300 anni e per i tre valori di AMC (AMC I, AMC II, AMC III).

Di seguito sono riportati gli ideogrammi di piena relativi alla condizione AMC II che saranno quelli impiegati per le successive calcolazioni.









Idrogrammi di piena relativi ai 7 bacini ottenuti in corrispondenza di diversi periodi di ritorno T.

I valori dei volumi e delle portate al colmo, degli idrogrammi con periodo di ritorno centennale, ovvero sia quello assunto come valore di riferimento per i calcoli successivi, sono riportati nella tabella seguente:

BACINO 1	V100	m3	1582.133
	V/A	mm	10.56735
	Q100	m3/s	1.091172
BACINO 2	V100	m3	1065.719
	V/A	mm	8.402137
	Q100	m3/s	0.872746
BACINO 3	V100	m3	2399.502
	V/A	mm	9.293946
	Q100	m3/s	1.886799



BACINO 4	V100	m3	1213.954
	V/A	mm	6.292721
	Q100	m3/s	1.263033
BACINO 5	V100	m3	214.5862
	V/A	mm	4.050095
	Q1050	m3/s	0.301202
BACINO 6	V100	m3	668.2942
	V/A	mm	6.272471
	Q100	m3/s	0.650914
BACINO 7	V100	m3	462.2979
	V/A	mm	6.231941
	Q100	m3/s	0.460894

Risultati in termini di volumi e portate al colmo calcolate attraverso la metodologia VAPI e SCS

Curve Number relativa ai 7 bacini

9. RICOSTRUZIONE DEI FANGOGRAMMI

Le analisi condotte dai geologi hanno restituito per i bacini in esame i valori tabellati di volumi di materiale potenzialmente mobilizzabile nel caso di un evento di colata, gli stessi tecnici hanno altresì indicato la percentuale del volume potenziale mobilizzabile che viene effettivamente mobilizzato nel corso dell'evento;

Bacino	V. Mobilizzabile (mc)	V. mobilizzato (%)	V. mobilizzato (mc)
1	11500	40	4600
2	21500	40	8600
3	82000	30	24600
4	81600	30	24480
5	41000	30	12300
6	27500	30	8250
7	39000	30	11700

Volumi mobilizzabili e mobilizzati relative ai 7 bacini

A partire dai dati relativi al volume mobilizzato, assunto per il materiale in sito un valore di porosità pari a 0,45 si è determinata il volume di acqua contenuta nei pori nella condizione di materiale saturo, e quella della sola fase solida nonché il volume totale della colata ottenuto sommando ai valori precedenti il volume derivante dall'idrogramma preso a riferimento; infine si è calcolato il valore della concentrazione volumetrica dei sedimenti relativamente a ciascun bacino in esame; i risultati di queste operazioni risultano sintetizzati nella tabella seguente.



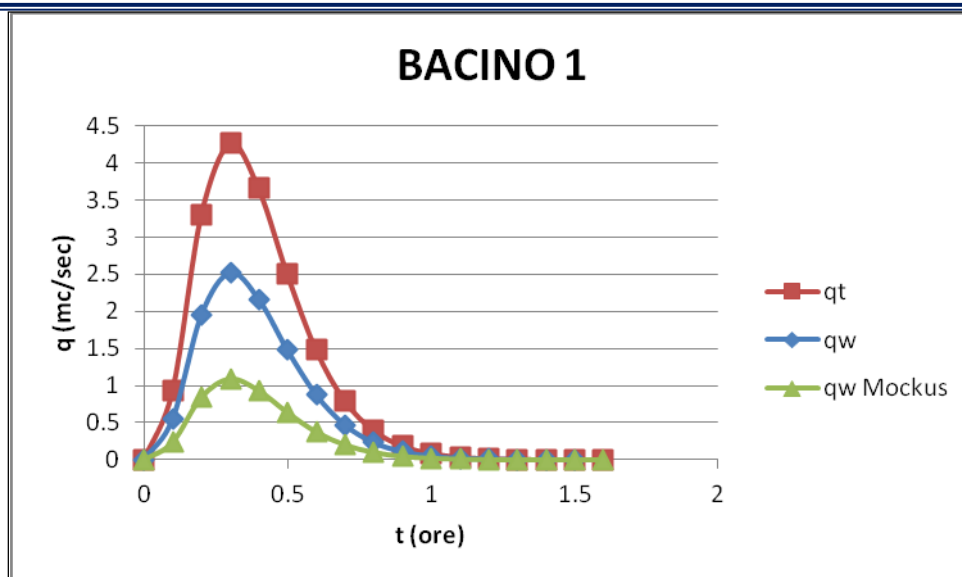
Bacino	Porosità	Vw _i (mc)	Vw _p (mc)	Vs (mc)	Vt (mc)	Vs (mc)	Vw _t (mc)	Cv
		idrogramma	pori	solido				Cv = Vs/Vt
1	0.45	1582.13	2070	2530	6182.13	2530.00	3652.13	0.41
2	0.45	1065.72	3870	4730	9665.72	4730.00	4935.72	0.49
3	0.45	2399.50	11070	13530	26999.50	13530.00	13469.50	0.50
4	0.45	1213.95	11016	13464	25693.95	13464.00	12229.95	0.52
5	0.45	214.59	5535	6765	12514.59	6765.00	5749.59	0.54
6	0.45	668.29	3712.5	4537.5	8918.29	4537.50	4380.79	0.51
7	0.45	462.30	5265	6435	12162.30	6435.00	5727.30	0.53

Caratteristiche delle colate in termini di volumi e concentrazioni volumetriche dei sedimenti ad esse relative per i 7 bacini

I fangogrammi sono stati ricostruiti a partire da quelli di Mockus amplificando i valori delle portate in maniera tale da propagare in un tempo uguale al tempo di esaurimento dell'idrogramma di Mockus l'intero volume della colata.

Per il bacino 1 ad esempio, i risultati delle operazioni sono riportati nella tabella seguente:

t ore	t sec.	qw mc/sec mockus	qw mc/sec totale	qt mc/sec colata	Vw mc mockus	Vw mc totale	Vt mc colata
0	0	0	0	0			
0.1	360	0.23766636	0.548619538	0.929863624	85.55989	197.503	334.7509
0.2	720	0.842485984	1.944761015	3.29620511	303.295	700.114	1186.634
0.3	1080	1.091118894	2.518695299	4.268975083	392.8028	906.7303	1536.831
0.4	1440	0.935723721	2.159987285	3.660995397	336.8605	777.5954	1317.958
0.5	1800	0.640210318	1.477835943	2.504806683	230.4757	532.0209	901.7304
0.6	2160	0.379705611	0.876497276	1.485588604	136.694	315.539	534.8119
0.7	2520	0.204056655	0.471036238	0.798366505	73.4604	169.573	287.4119
0.8	2880	0.1020264	0.235513669	0.399175711	36.7295	84.78492	143.7033
0.9	3240	0.048276567	0.111439699	0.188880847	17.37956	40.11829	67.9971
1	3600	0.02187145	0.050487182	0.085571496	7.873722	18.17539	30.80574
1.1	3960	0.009566255	0.022082362	0.037427731	3.443852	7.94965	13.47398
1.2	4320	0.004064358	0.009382001	0.015901696	1.463169	3.37752	5.724611
1.3	4680	0.001685192	0.003890029	0.006593269	0.606669	1.40041	2.373577
1.4	5040	0.000684362	0.001579753	0.002677548	0.24637	0.568711	0.963917
1.5	5400	0.00027299	0.000630159	0.001068067	0.098276	0.226857	0.384504
1.6	5760	0.000107211	0.00024748	0.000419458	0.038596	0.089093	0.151005
				TOT	1627.028	3755.767	6365.706

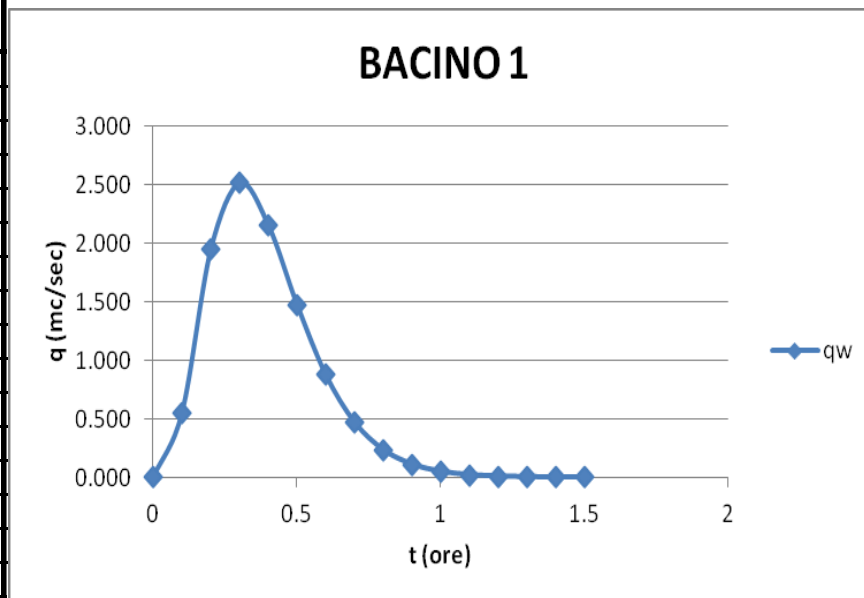
**Idrogrammi e fangogramma relativo al bacino 1**

L'analisi dei risultati ottenuti, in particolare i volumi totali degli idrogrammi e del fangogramma mostra valori leggermente superiori a quelli valutati in precedenza, questo, per effetto delle approssimazioni derivanti dalla discretizzazione del calcolo.

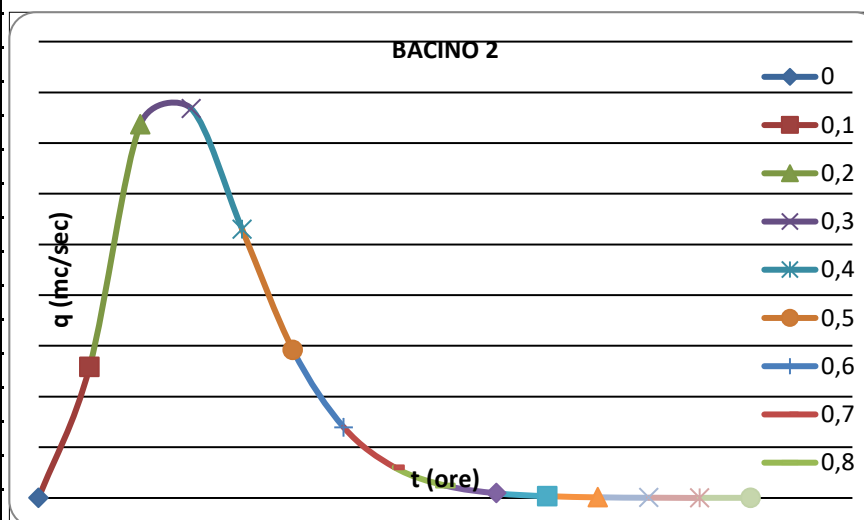
Di seguito sono riportati per ciascun bacino l'andamento dell'idrogramma impiegato nelle simulazioni e il relativo valore di concentrazione volumetrica dei sedimenti, i quali, combinati fra loro determinano l'andamento del fangogramma.



Bacino 1		
t ore	qw mc/sec	Cv
0	0.000	0.41
0.1	0.549	0.41
0.2	1.945	0.41
0.3	2.519	0.41
0.4	2.160	0.41
0.5	1.478	0.41
0.6	0.876	0.41
0.7	0.471	0.41
0.8	0.236	0.41
0.9	0.111	0.41
1	0.050	0.41
1.1	0.022	0.41
1.2	0.009	0.41
1.3	0.004	0.41
1.4	0.002	0.41
1.5	0.001	0.41

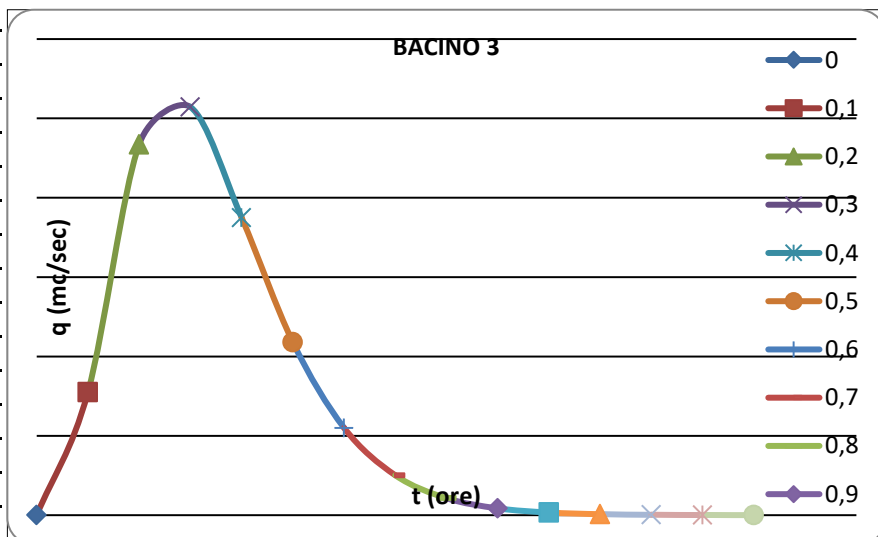


Bacino 2		
t ore	qw mc/sec	Cv
0	0.000	0.49
0.1	1.292	0.49
0.2	3.685	0.49
0.3	3.840	0.49
0.4	2.649	0.49
0.5	1.458	0.49
0.6	0.696	0.49
0.7	0.301	0.49
0.8	0.121	0.49
0.9	0.046	0.49
1	0.017	0.49
1.1	0.006	0.49
1.2	0.002	0.49
1.3	0.001	0.49
1.4	0.000	0.49

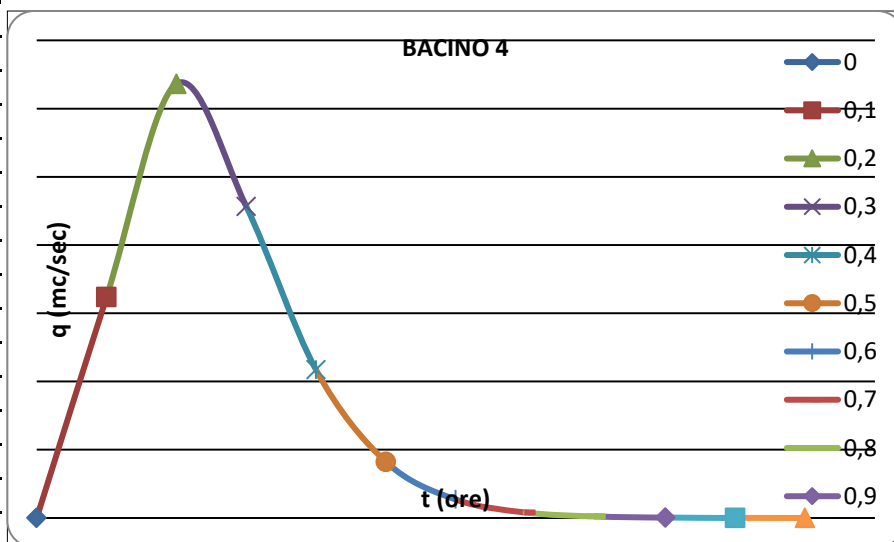




Bacino 3		
t ore	qw mc/sec	Cv
0	0.000	0.50
0.1	3.103	0.50
0.2	9.348	0.50
0.3	10.290	0.50
0.4	7.500	0.50
0.5	4.361	0.50
0.6	2.198	0.50
0.7	1.004	0.50
0.8	0.427	0.50
0.9	0.172	0.50
1	0.066	0.50
1.1	0.025	0.50
1.2	0.009	0.50
1.3	0.003	0.50
1.4	0.001	0.50

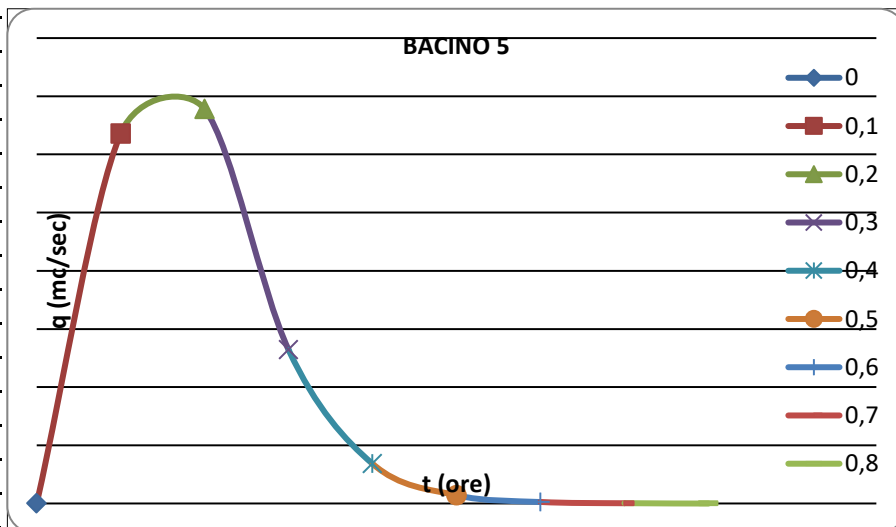


Bacino 4		
t ore	qw mc/sec	Cv
0	0.000	0.52
0.1	6.477	0.52
0.2	12.724	0.52
0.3	9.133	0.52
0.4	4.341	0.52
0.5	1.646	0.52
0.6	0.541	0.52
0.7	0.161	0.52
0.8	0.045	0.52
0.9	0.012	0.52
1	0.003	0.52
1.1	0.001	0.52

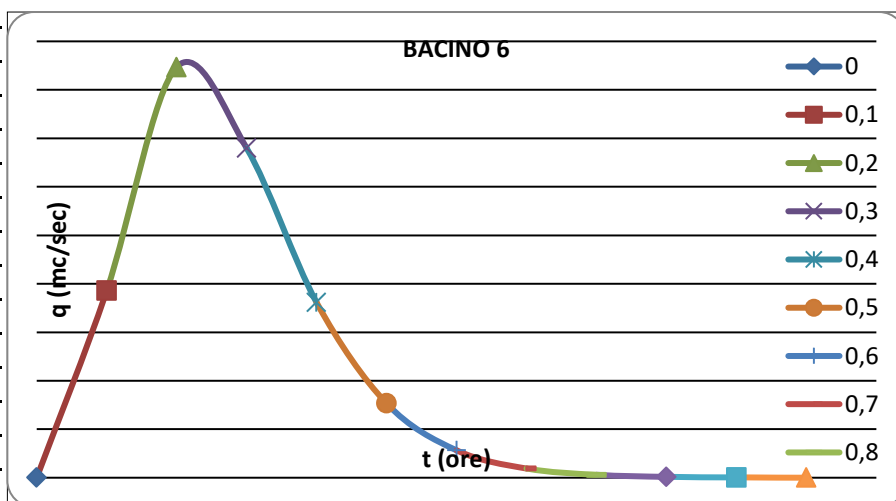


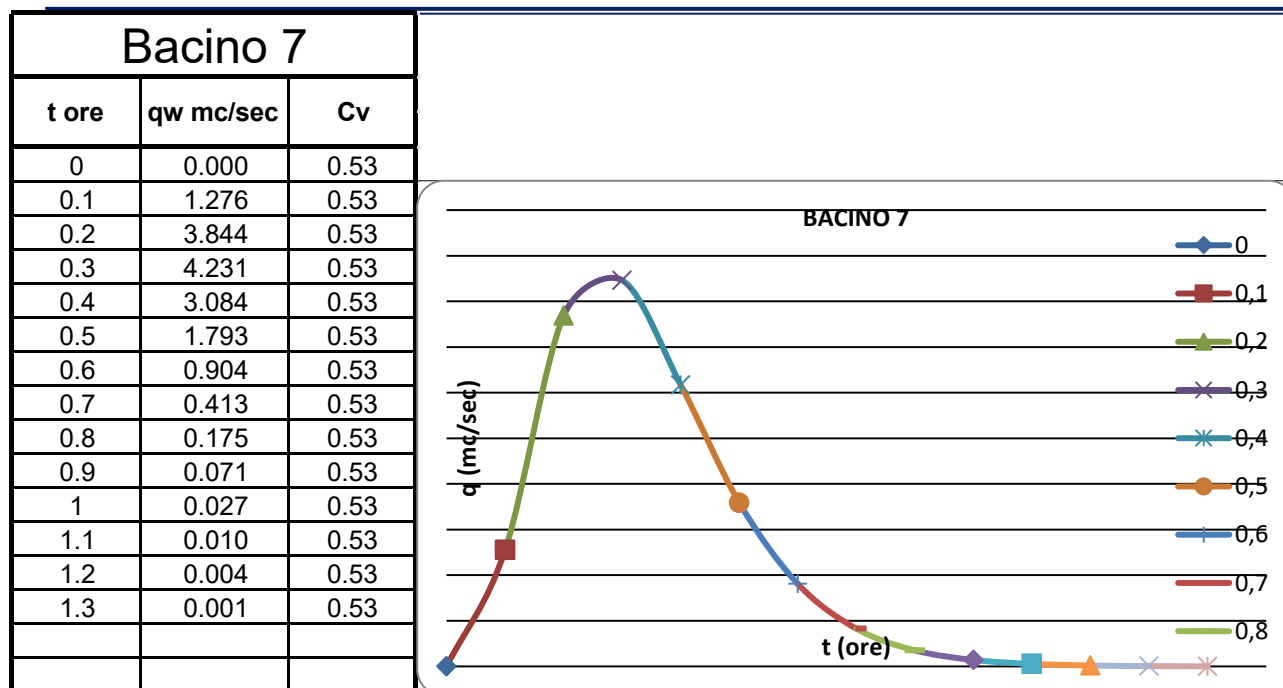


Bacino 5		
t ore	qw mc/sec	Cv
0	0.000	0.54
0.1	6.358	0.54
0.2	6.779	0.54
0.3	2.641	0.54
0.4	0.681	0.54
0.5	0.140	0.54
0.6	0.025	0.54
0.7	0.004	0.54
0.8	0.001	0.54



Bacino 6		
t ore	qw mc/sec	Cv
0	0.000	0.51
0.1	1.928	0.51
0.2	4.236	0.51
0.3	3.400	0.51
0.4	1.807	0.51
0.5	0.766	0.51
0.6	0.282	0.51
0.7	0.094	0.51
0.8	0.029	0.51
0.9	0.009	0.51
1	0.002	0.51
1.1	0.001	0.51





10. RICOSTRUZIONE DEI fangogrammi relativi alla RAPIDA

COLATA

I fangogrammi derivanti dai calcoli descritti al paragrafo precedente, come si può osservare, raggiungono il verificarsi del picco delle portate in tempi variabili fra 0.2 e 0.3 ore, a tale risultato si è giunti in quanto si è ipotizzato che il fenomeno si sviluppi con le stesse modalità di formazione dell'idrogramma di piena derivante dalla formazione del deflusso a partire dalla precipitazione meteorica; tale assunzione è corretta nel caso di fenomeni tipo flussi iperconcentrati. Nel caso delle colate rapide, il fenomeno si sviluppa in un tempo molto più breve conseguenza dei gli elevati valori di velocità che può raggiungere la colata, ad esempio nel caso delle colate di fango che hanno colpito Sarno nel 1998 le colate hanno raggiunto velocità anche superiori a 10 m/sec. L'estrema velocità della colata determina, a parità di volume mobilizzato un aumento della portata al colmo che alcuni autori ritengono possa essere stimata pari a 10 volte la portata idrologica di medesimo periodo di ritorno.



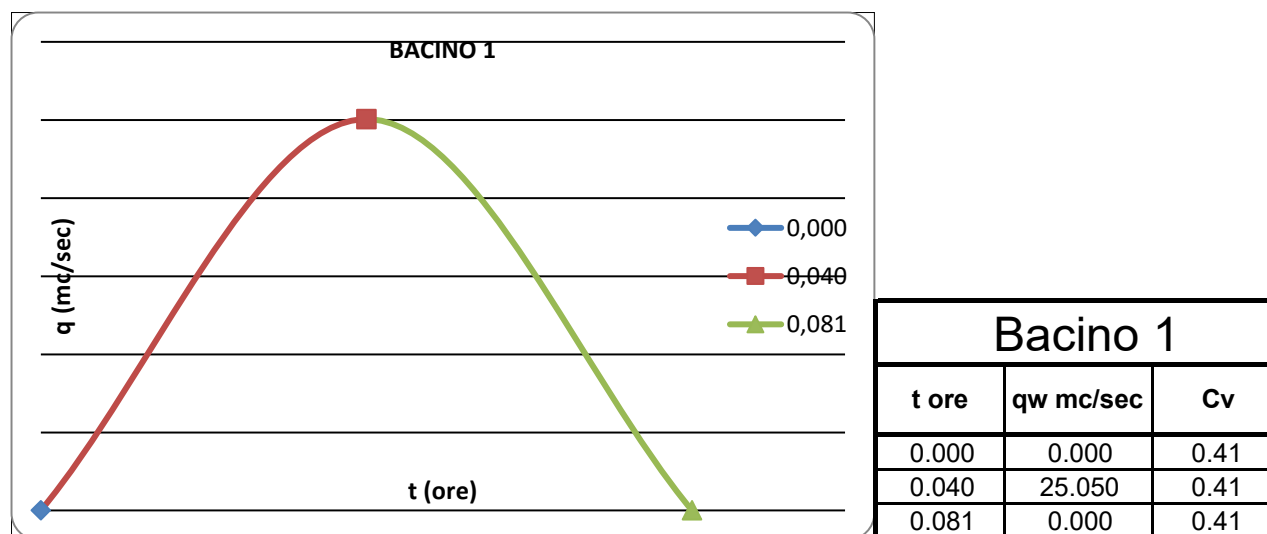
Al fine di valutare la portata derivante da una colata rapida di fango, nel caso specifico si è calcolato il tempo di corrivazione come rapporto fra la lunghezza dell'asta principale del bacino e la velocità media della colata assunta pari a 8 m/sec (Circa 30 Km/h) e si è assunto come idrogramma quello per il quale nel tempo pari a 2 volte il tempo di corrivazione si determina la propagazione del volume totale della fase liquida contenuta nell'intero volume della colata, assumendo come valore di concentrazione volumetrica dei sedimenti quello calcolato in precedenza.

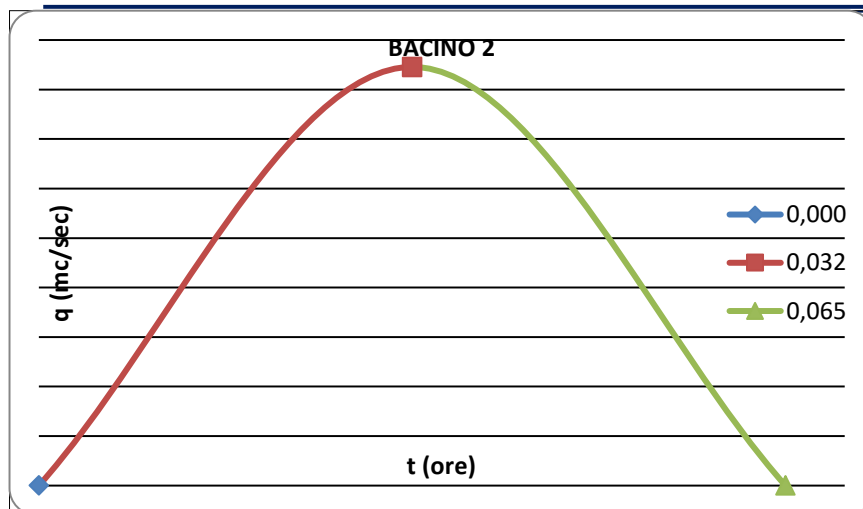
In tali ipotesi di calcolo i risultati ottenuti per i bacini in esame sono riportati nella tabella seguente:

Bacino	portate colate di fango v=30km/h							
	L. asta principale (km)	tc (ore)	tc (sec)	qw (mc/sec)	Ww (mc)	Cv	qt (mc/sec)	Wt (mc)
1	1.166	0.04049	145.75	25.05752	3652.13326	0.41	42.41601	6182.13326
2	0.934	0.03243	116.75	42.27596	4935.71867	0.49	82.78988	9665.71867
3	1.028	0.03569	128.50	104.82102	13469.50163	0.50	210.11285	26999.50163
4	0.720	0.02500	90.00	135.88838	12229.95394	0.52	285.48838	25693.95394
5	0.504	0.01750	63.00	91.26327	5749.58617	0.54	198.64422	12514.58617
6	0.718	0.02493	89.75	48.81108	4380.79415	0.51	99.36818	8918.29415
7	0.714	0.02479	89.25	64.17140	5727.29788	0.53	136.27225	12162.29788

Valori delle portate e concentrazioni volumetriche relativi all colate rapide per i 7 bacini

Di seguito per ognuno dei bacini sono riportati gli idrogrammi e i valori delle concentrazioni volumetriche dei sedimenti nel caso di colata rapida di fango:

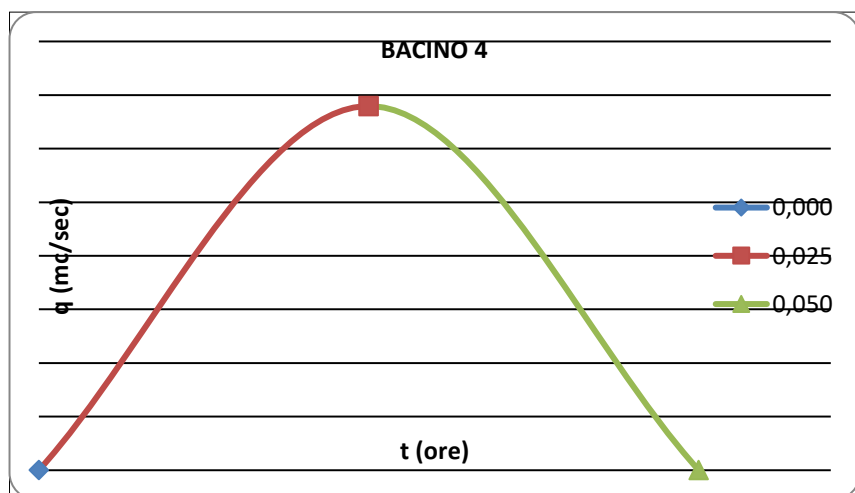




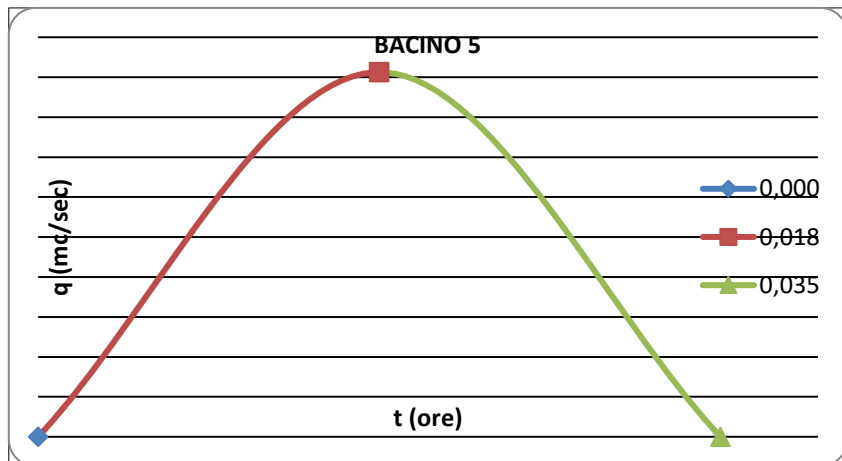
Bacino 2		
t ore	qw mc/sec	Cv
0.000	0.000	0.49
0.032	42.280	0.49
0.065	0.000	0.49



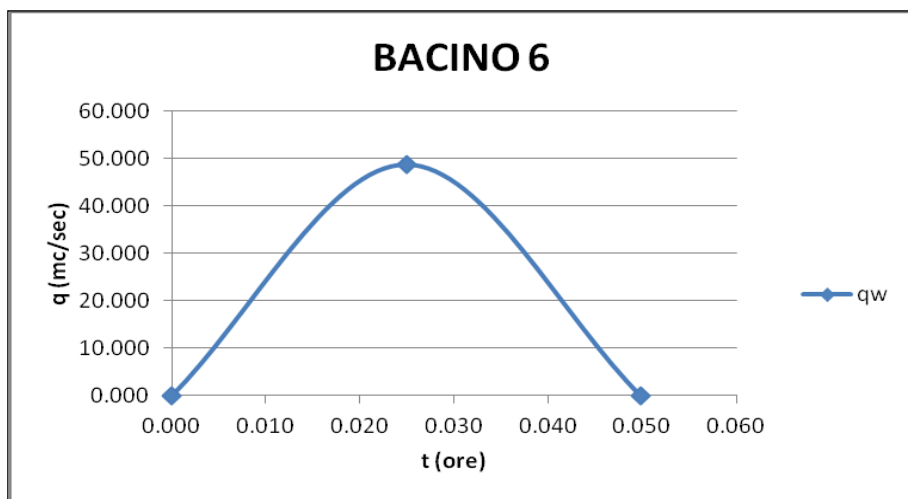
Bacino 3		
t ore	qw mc/sec	Cv
0.000	0.000	0.50
0.036	104.820	0.50
0.071	0.000	0.50



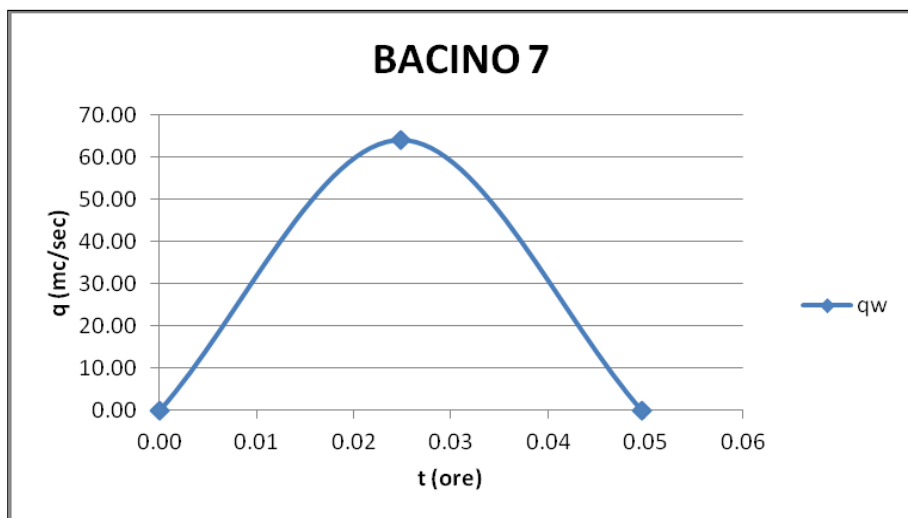
Bacino 4		
t ore	qw mc/sec	Cv
0.000	0.000	0.52
0.025	135.880	0.52
0.050	0.000	0.52



Bacino 5		
t ore	qw mc/sec	Cv
0.000	0.000	0.54
0.018	91.260	0.54
0.035	0.000	0.54



Bacino 6		
t ore	qw mc/sec	Cv
0.000	0.000	0.509
0.025	48.810	0.509
0.050	0.000	0.509



Bacino 7		
t ore	qw mc/sec	Cv
0.00	0.00	0.53
0.02	64.20	0.53
0.05	0.00	0.53



11. OBIETTIVO E METODOLOGIA

La presente relazione illustra, l'inquadramento idrologico dell'area interessata dall'intervento di mitigazione del rischio idrogeologico derivante da colate rapide di fango, la metodologia adottata per l'analisi delle portate che gravano sugli impluvi interessati dagli interventi costituiti come riportato nello studio di fattibilità, dalla realizzazione di una serie di briglie realizzate al fine di determinare la formazione di una serie di volumi di invaso aventi la funzione di contenere e laminare le portate di fango. L'analisi seguente è finalizzata alla valutazione dei valori di portate di assegnata probabilità di accadimento e, più in dettaglio, ad una descrizione accurata del campo di flusso, mediante la perimetrazione delle aree inondabili. L'analisi fornisce indicazioni circa la compatibilità idraulica delle sezioni naturali o artificiali e l'entità dei fenomeni di esondazione conseguenti alle portate di riferimento.

La scelta del modello idraulico con cui rappresentare il fenomeno dell'allagamento del territorio è fortemente condizionata, prima ancora che dalle tecniche di soluzione numerica del problema idraulico, dai dati disponibili e dal grado di approssimazione dei risultati attesi.

La parte prevalente delle informazioni necessarie alla costruzione del modello è costituita dalle caratteristiche morfologiche dell'area e dai dati idraulici (portate di assegnata frequenza e idrogrammi di piena). Purtroppo le aree inondate presentano un'orografia se pur regolare, spesso complicata dalla presenza di insediamenti urbani, che ne rendono estremamente onerosa la definizione. Altrettanto onerosa è la caratterizzazione geometrica ed idraulica del versante, spesso complicata da singolarità che hanno un ruolo determinante nella modellazione idraulica: ponti, briglie di consolidamento, ecc. Il modello di calcolo da adottare è pertanto subordinato al grado di approssimazione richiesto ai risultati, all'onere sopportabile per le elaborazioni e per l'acquisizione dei dati; inoltre, deve essere adeguato alla precisione e sufficienza dei dati disponibili.

12. ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO

Lo sviluppo dello studio ha seguito il seguente schema concettuale:

B. modellazione idrologica:

- valutazione delle caratteristiche morfometriche del bacino idrografico;
- valutazione della portata di piena con diversi periodi di ritorno;
- valutazione della portata relativa alla colata di fango.

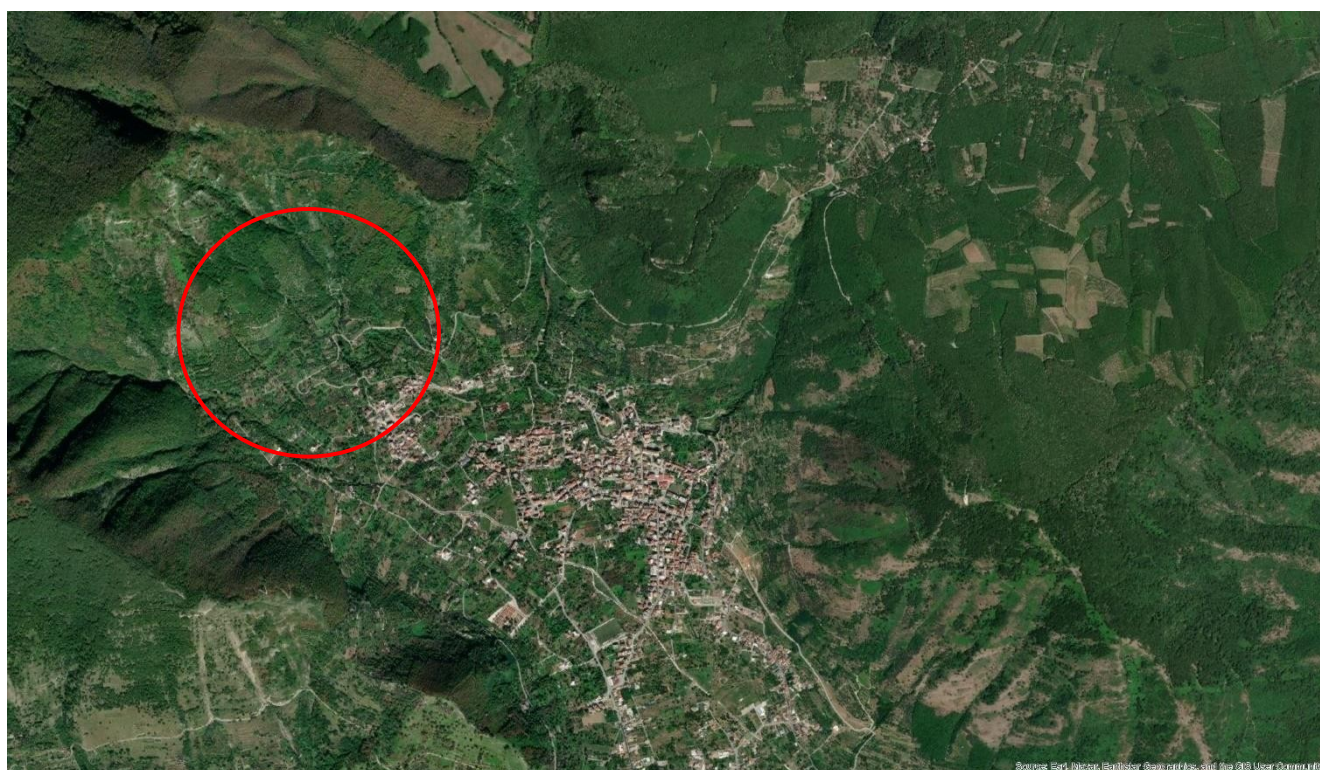
La valutazione delle portate di piena per i diversi periodi di ritorno è stata effettuata con riferimento alla procedura riportata nel rapporto CNR-GNDCl "Valutazione delle Piene in Campania" (Rossi e Villani, 1994) e utilizzata



dall'Autorità di Bacino Regionale Campania Sud ed Interregionale per il Bacino Idrografico del Fiume Sele e dall'Autorità di Distretto dell'Appennino Meridionale nel Piano di Gestione delle Alluvioni ai sensi della Direttiva 2007/60/CE, D.lgs. 49/2010, D.lgs. 219/2010.

13. ANALISI IDROLOGICA PRELIMINARE ATTRAVERSO LA METODOLOGIA VAPI E SCS CURVE NUMBER

In riferimento alla attività di analisi suddetta, l'area interessata dall'intervento è situata nel comune di Bracigliano (SA).



Ortofoto dell'area di studio

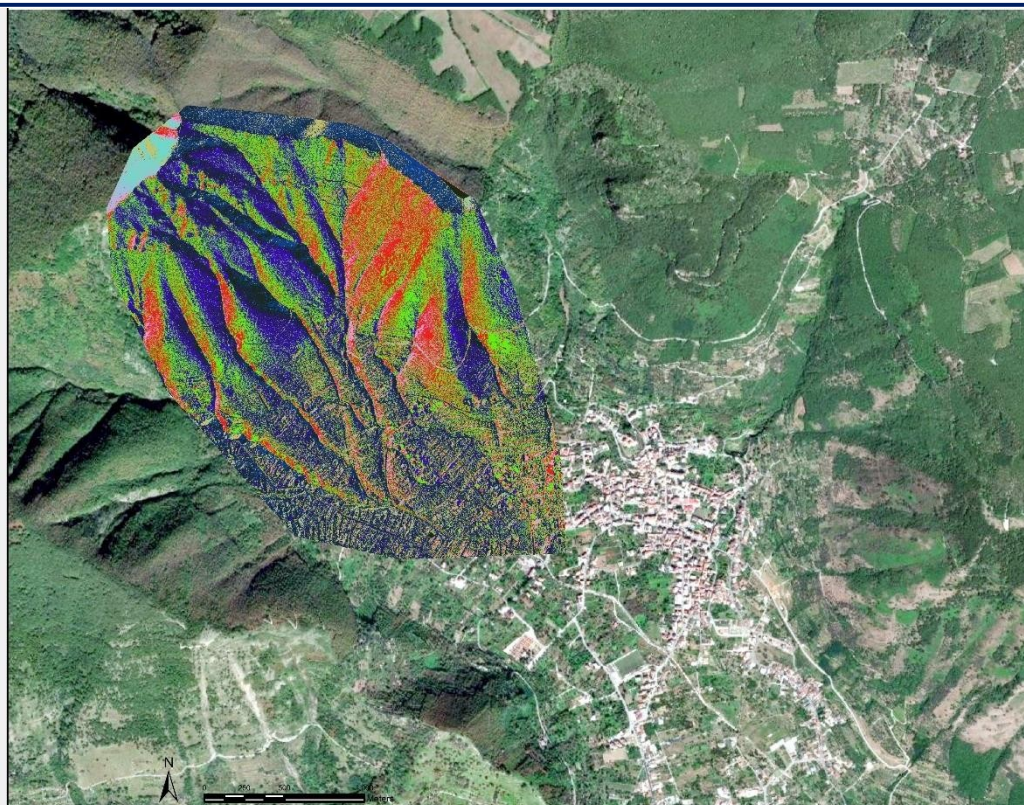
Relativamente a tale area, sono state acquisite preliminarmente informazioni di carattere topografico attraverso la acquisizione del DTM derivato da volo LIDAR con risoluzione di cella 1x1 metri, nonché una planimetria dello stato dei luoghi prodotta attraverso un rilievo di dettaglio.

Nell'immagine seguente è riportato uno stralcio del suddetto DTM dal quale si possono già da subito individuare gli impluvi principali che insistono sul centro abitato sottostante.



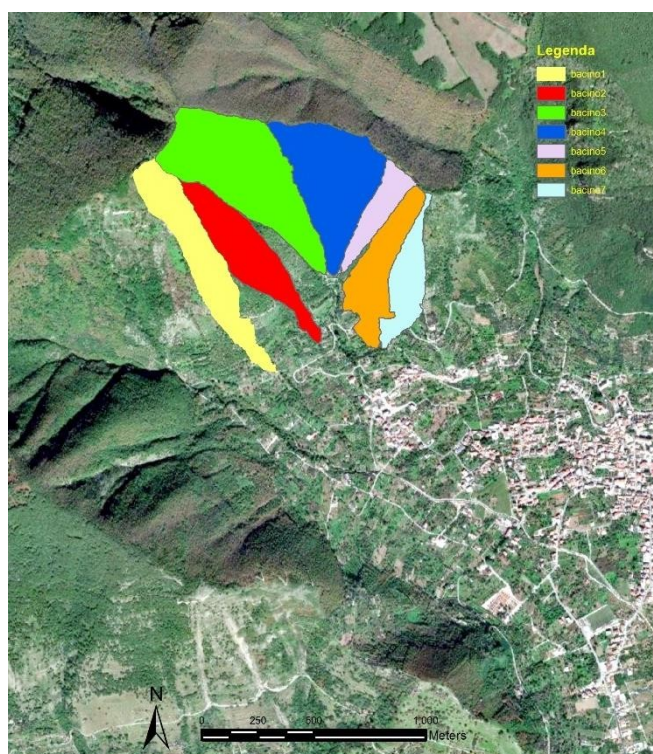
DTM relativo all'area di interesse si possono individuare gli impluvi che insistono sul centro abitato

Attraverso l'elaborazione in ambiente GIS del DTM è stata ricavata la mappa delle direzioni di flusso. Come si può osservare dall'immagine sono evidenti le incisioni principali già evidenziate dal DTM.



Mappa delle direzioni di flusso

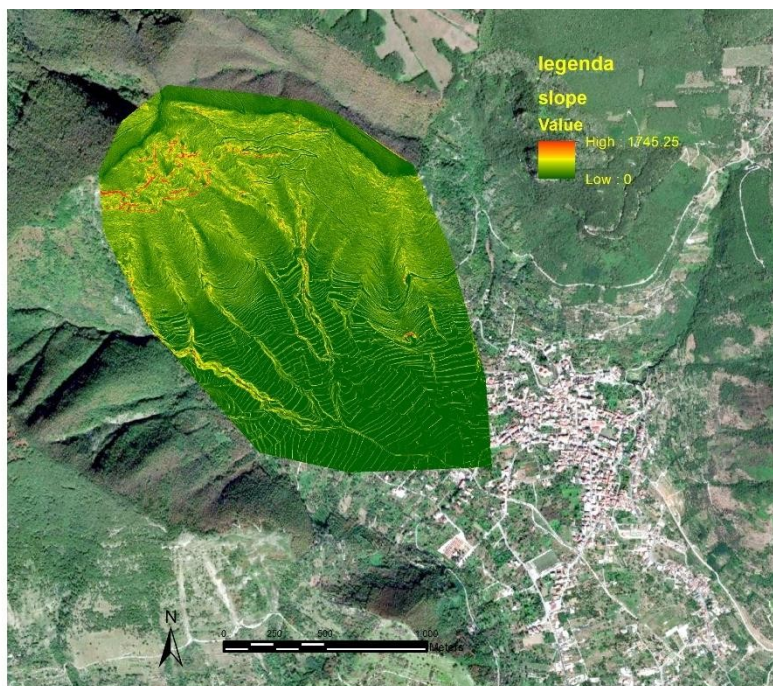
Attraverso l'analisi delle direzioni di flusso, si sono perimetrali i bacini che potenzialmente afferiscono all'intero versante che affaccia sul centro abitato e che sono riportati nella figura seguente:



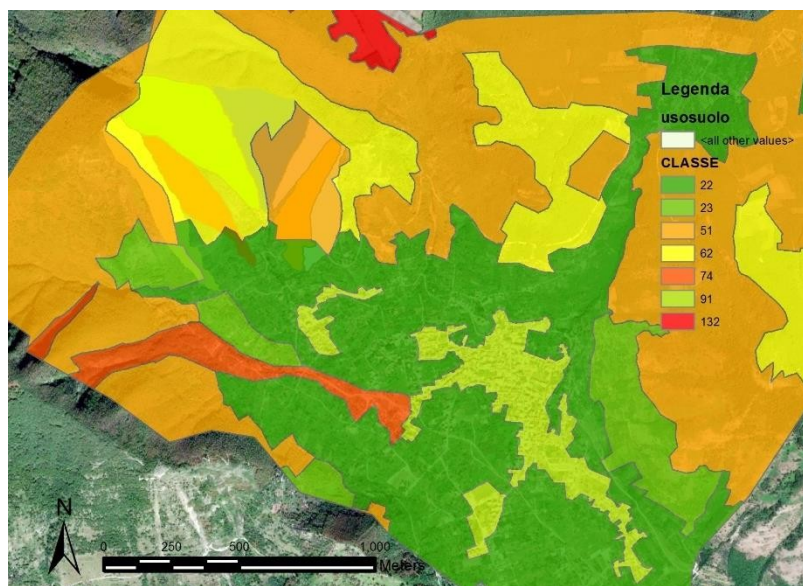


Bacini idrografici insistenti sull'intero versante prospiciente il centro abitato

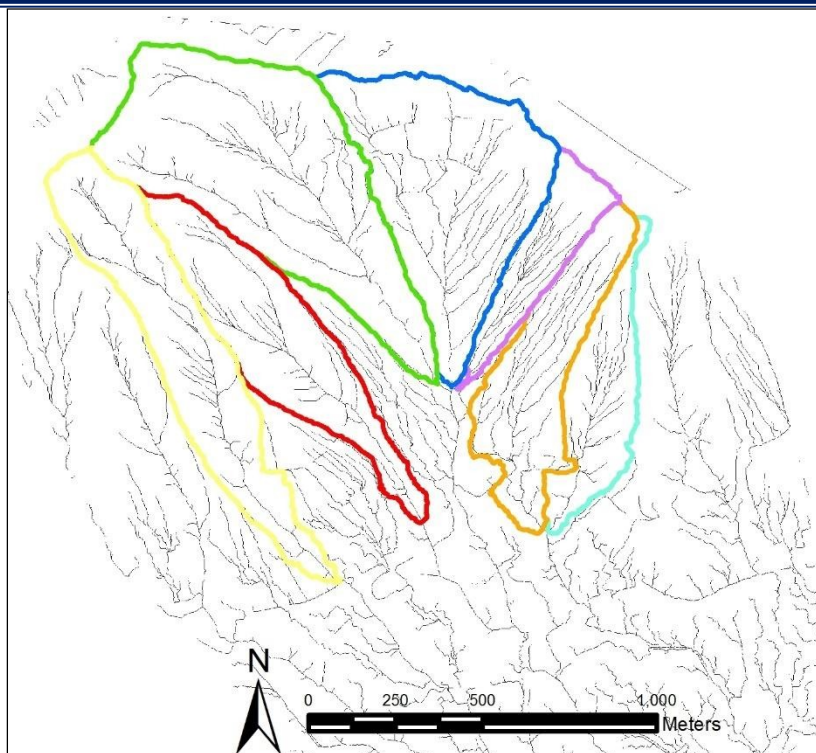
Di seguito, al fine di ricavare le informazioni necessarie alle successive elaborazioni è stata estratta la mappa delle pendenze e quella di uso del suolo e sono state misurate le lunghezze delle aste principali dei singoli bacini individuati.



Mappa delle pendenze relative al bacino individuato



Stralcio della carta di uso del suolo relativo all'area di interesse

**Rete idrografica afferente ai bacini**

Dei bacini così individuati, attraverso una analisi in ambiente GIS, sono state estratte le caratteristiche morfometriche riportate qui di seguito:

DATI BACINI

Bacino	Am (ha)	Am (kmq)	L. asta principale (km)	P. media bacino (%)	Curve Number
1	14.9719	0.149719	1.166	78.9	70
2	12.6839	0.126839	0.934	69.86	70
3	25.8179	0.258179	1.028	84.86	70
4	19.2914	0.192914	0.72	71.26	70
5	5.2983	0.052983	0.504	65.77	70
6	10.6544	0.106544	0.718	54.66	70
7	7.4182	0.074182	0.714	58.58	70

14. MODELLAZIONE IDROLOGICA



Nei paragrafi che seguono si procederà al calcolo della portata al colmo di piena adottando la metodologia proposta dal VAPI per la ricostruzione delle curve di probabilità pluviometrica e quella dell'SCS Curve Number per la ricostruzione degli idrogrammi di piena.

15. VALUTAZIONE DELLE CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA- ANALISI IDROLOGICA

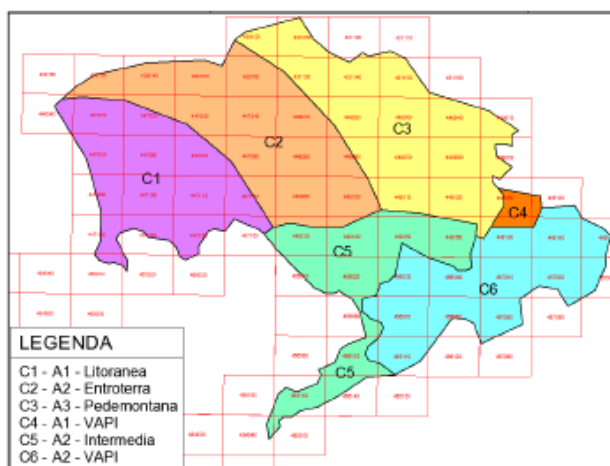
Per stimare le portate di piena con assegnato tempo di ritorno, è necessario valutare gli afflussi meteorici che le generano, desumibili dalle "curve di probabilità pluviometrica".

La determinazione delle curve di probabilità pluviometrica è stata condotta attraverso la metodologia proposta dal VAPI, nella quale viene adottato un modello probabilistico a doppia componente (TCEV) che interpreta gli eventi massimi annuali come il risultato di una miscela di due popolazioni distinte: la prima produce gli eventi massimi ordinari, più frequenti ma meno intensi; la seconda produce gli eventi massimi straordinari, meno frequenti ma spesso catastrofici.

Per la applicazione del metodo proposto dal VAPI, risulta necessario:

- identificare la Sottozona Omogenea in cui ricade il bacino;
- specificare la legge di variazione con il Periodo di Ritorno del coefficiente di crescita;
- stimare il valor medio della distribuzione.

a) Identificazione della Sottozona Omogenea: è stata eseguita, facendo riferimento alla corografia in Figura da cui si evince chiaramente che il bacino in oggetto ricade nella zona omogenea denominata C5.



Sottozone pluviometricamente omogenee Autorità di Bacino della Campania Centrale (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico in Campania).



b) Specificazione della legge di variazione di K_T con il Periodo di ritorno T : si è fatto riferimento ai valori riportati nella tabella seguente:

T:	10	20	50	100	200	300
K_T :	1.63	2.03	2.61	3.07	3.55	3.82

Valori del Coefficiente di Crescita al variare del periodo di Ritorno (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico in Campania).

c) Stima del valor medio della distribuzione: sono state ricostruite le curve di probabilità pluviometrica, che definiscono come varia la media del massimo annuale dell'intensità di pioggia su una fissata durata d , $\mu[I(d)]$, con la durata stessa.

E' stata adottata l'espressione proposta dal documento citato per la Campania, che è del tipo:

$$\mu[I(d)] = \mu(I_0) / \left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^\beta$$

in cui d e d_c vanno espressi in ore, $\mu[I_0]$ e $\mu[I(d)]$ in mm/ora e vale:

$$\beta = C - D * Z$$

con Z quota media del bacino in metri.

I parametri delle relazioni, sono costanti all'interno di singole aree pluviometriche omogenee, e variano nel passare dall'una all'altra e i valori assunti sono riportati nella tabella seguente, in cui $M(I_0)$ è espressa in mm/h, d_c in ore mentre i parametri C e D sono adimensionali.

Area omogenea	$M(I_0)$	d_c	C	$D \cdot 10^5$
C1	68.81	0.2842	0.7580	-14.5
C2	123.96	0.0956	0.7310	-14.4
C3	86.07	0.1980	0.7580	-2.4
C4	77.10	0.3661	0.7995	3.6077
C5	85.00	0.3034	0.7621	9.6554
C6	83.80	0.3312	0.7031	7.7381

Parametri statistici delle legge di probabilità pluviometriche regionali per ogni area pluviometrica omogenea (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico in Campania).

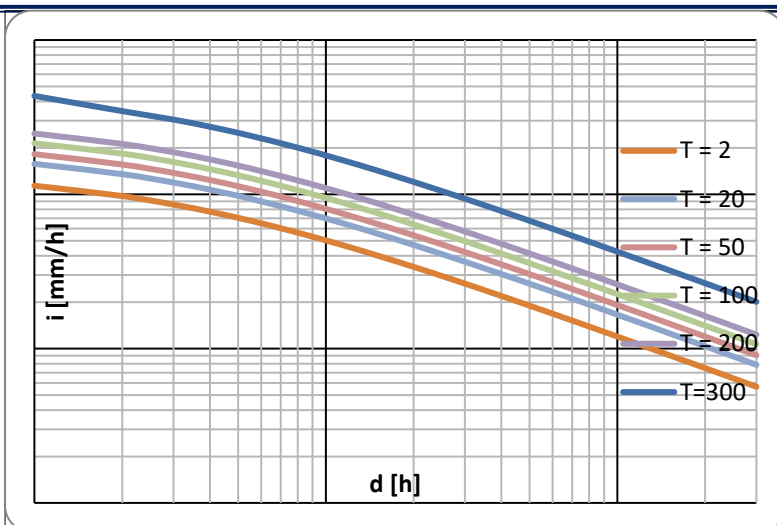
Le curve di probabilità pluviometrica, generalmente sono caratterizzate dalla espressione biparametrica:

$$\mu[I(d)] = a d^{n-1}$$

in cui :

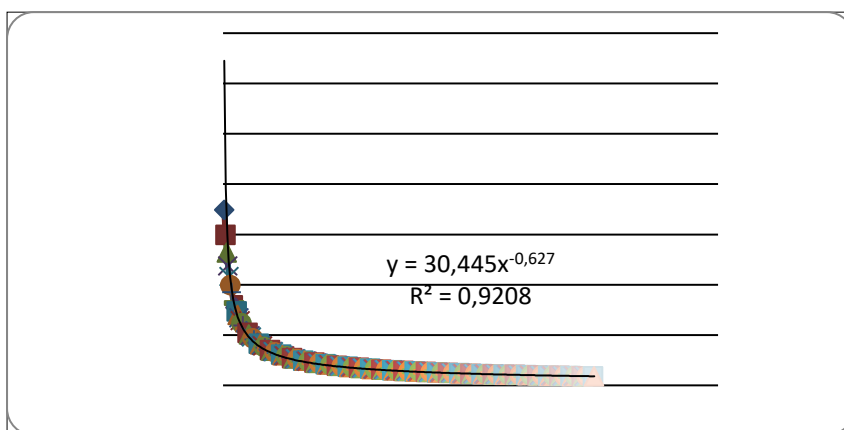
a ed n sono parametri statistici della legge di probabilità pluviometrica e d è la durata della pioggia.

Applicando la procedura di cui sopra, sono state ricavate le seguenti curve di probabilità pluviometrica relative a i periodi di ritorno T di 10, 20, 50, 100, 200, e 300 anni.



Le curve di probabilità pluviometrica per diversi periodi di ritorno. Nella figura gli assi sono in scala logaritmica.

Graficizzando la media del massimo annuale dell'intensità di pioggia su una fissata durata d , $\mu[I(d)]$, con la durata stessa si è ricavata l'espressione della curva interpolante, da cui vengono desunti i parametri a ed n della curva di probabilità pluviometrica scritta nella forma biparametrica.



$$\mu[I(d)] = a d^{n-1}$$

a=	30.445
n=	0.373

Grafico di $\mu[I(d)]$ e relativa equazione della curva interpolante.

16. VALUTAZIONE DELLE PERDITE IDROLOGICHE E DELLO IETOGRAMMA NETTO.



Il metodo utilizzato per ricavare le piogge efficaci al deflusso P_e è quello sviluppato dal Soil Conservation Service (SCS). Esso descrive il fenomeno di infiltrazione della pioggia nel terreno, assumendo che la pioggia netta P_e sia legata alla pioggia lorda P secondo la relazione:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)}$$

dove:

- I_a = perdita iniziale (massimo valore dell'altezza di pioggia che il terreno può trattenere all'inizio del fenomeno piovoso, senza che si verifichi il deflusso superficiale [mm]);
- S = massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione (capacità di campo) [mm].

Quindi fino all'istante in cui non si ha $P > I_a$ il deflusso superficiale è da ritenersi assente.

Per la stima di I_a e di S si può fare ricorso alle seguenti relazioni:

$$I_a = 0.2 \cdot S \qquad S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

dove:

CN = Curve Number, numero adimensionale, compreso tra 0 e 100, funzione della natura del suolo, del tipo di copertura vegetale e delle condizioni di umidità iniziali.

L'SCS ha classificato i vari tipi di suolo in quattro classi (A, B, C e D), sulla base della permeabilità del terreno nudo a seguito di prolungato imbibimento. Si riportano le tabelle di classificazione del tipo di suolo e del CN in funzione del tipo di copertura.

Tipo di suolo	Descrizione
A	Tasso di infiltrazione elevato (scarsa potenzialità di deflusso). Comprende sabbie o ghiaie di considerevole spessore con pochissimo limo e argilla
B	Tasso di infiltrazione moderato (potenzialità di deflusso moderatamente bassa). Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi con presenza di limi e di moderato spessore.
C	Tasso di infiltrazione basso (potenzialità di deflusso moderatamente alta). Comprende suoli di scarso spessore, suoli contenenti notevoli quantità di argilla, suoli con tracce di materiale organico.
D	Tasso di infiltrazione molto basso (potenzialità di deflusso molto alta). Comprende la maggior parte dei suoli contenenti argille con elevato potenziale di rigonfiamento, ma anche suoli sottili al di sopra di strati quasi impermeabili.

Descrizione del tipo di suolo secondo il SCS



INTERVENTI DI SISTEMAZIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO
DISSESTI IN LOCALITÀ TAVOLARA

Tipo di copertura (uso del suolo)	A	B	C	D
Terreni coltivati senza trattamenti di conservazione (terrazzamenti)	72	81	88	91
Terreni coltivati con interventi di conservazione (terrazzamenti)	62	71	78	81
Terreni da pascolo in cattive condizioni	68	79	86	89
Terreni da pascolo in buone condizioni	39	61	74	80
Praterie in buone condizioni (prati tagliati per il fieno)	30	58	71	78
Boschi e foreste. Terreni sottili, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
Boschi e foreste. Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
Spazi aperti: prati rasati, campi da golf, parchi in buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
Spazi aperti: prati rasati, campi da golf, parchi in condizioni discrete, con copertura erbosa dal 50% al 75%	49	69	79	84
Aree commerciali (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
Aree industriali (impermeabilità 72%)	81	88	91	93
Aree residenziali (impermeabilità media 65%)	77	85	90	92
Aree residenziali (impermeabilità media 38%)	61	75	83	87
Aree residenziali (impermeabilità media 30%)	57	72	81	86
Aree residenziali (impermeabilità media 25%)	54	70	80	85
Aree residenziali (impermeabilità media 20%)	51	68	79	84
Parcheggi impermeabilizzati, tetti	98	98	98	98
Strade pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
Strade selciate con buche	76	85	89	91
Strade in terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Descrizione del tipo di copertura secondo il SCS

Per quanto riguarda le condizioni di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico, il metodo individua tre classi caratterizzate da differenti condizioni iniziali (AMC o *Antecedent Moisture Condition*), in funzione dell'altezza di pioggia totale caduta nei 5 giorni precedenti l'evento meteorico. Per individuare la categoria di AMC si utilizza la seguente tabella, scegliendo la stagione e il valore di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti.

Classe AMC	Precipitazione nei 5 giorni precedenti (mm)	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	< 13	< 36
II	13-28	36-54
III	> 28	> 54

Descrizione delle classi di umidità del suolo secondo il SCS

I valori di CN riportati nella rispettiva tabella si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo di tipo intermedio, indicata come AMC (II). Per condizioni iniziali differenti da quella standard si utilizzano le seguenti relazioni che legano il valore di CN nelle condizioni (I) e (III) a quello (II):

$$CN(I) = \frac{4.2 \cdot CN(II)}{10 - 0.058 \cdot CN(II)} \quad CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0.13 \cdot CN(II)}$$

Nel caso di bacini con differenti classi di uso del suolo e tipo di suolo, l'unico valore di CN per ogni AMC, necessario per i calcoli, può essere stimato effettuando una media pesata dei valori corrispondenti alle differenti sub-aree isoparametriche, ossia caratterizzate da una determinata classe di uso del suolo e da un certo tipo di suolo, con i pesi calcolati in funzione delle aree delle singole parcelle sull'area totale del bacino individuato.

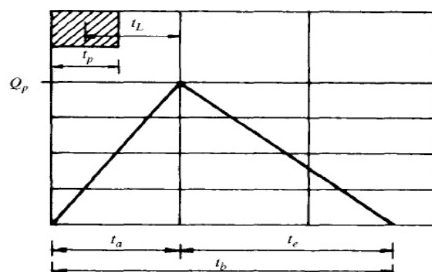


17. STIMA DELLE PORTATE AL COLMO DI PIENA

Il metodo SCS stima il valore della portata al colmo di piena Q_p , considerando un idrogramma unitario istantaneo di forma triangolare con picco Q_p , una fase crescente di durata t_a (tempo di accumulo) ed una fase di esaurimento di durata t_e (tempo di esaurimento), il cui volume V , espresso in m^3 , ha la seguente espressione:

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

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



Idrogramma unitario triangolare del modello SCS.

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:

$$t_b = 2.67 \cdot t_a$$

Utilizzando le formule di cui sopra, esprimendo il volume di deflusso V in mm (ossia P_e), il tempo t_a in ore, l'area del bacino in Km^2 , si ottiene:

$$Q_p = 0.208 \cdot \frac{P_e \cdot A_b}{t_a} = 0.208 \cdot \frac{V}{t_a} \quad [m^3/s]$$

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 (Lag Time), ovvero la distanza tra il baricentro dello idrogramma ed il picco dell'idrogramma, si ottiene dalla seguente relazione:

$$t_a = 0.5 \cdot t_p + t_L$$

dove:

t_p = durata della pioggia [h]

Si pone $t_p = T_c$.

T_c = tempo di corrivazione del bacino [h]

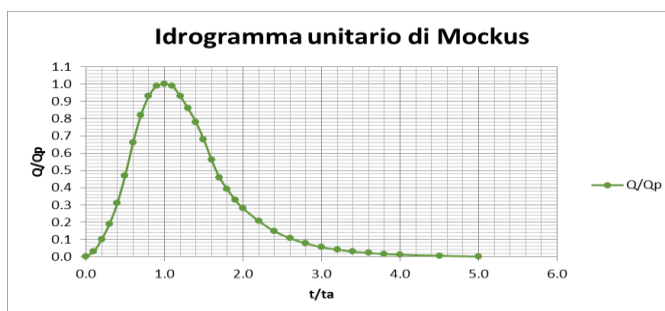
Per la stima del tempo di ritardo del bacino t_L invece si è utilizzata la formula di Mockus:



$$t_L = 0.342 \cdot \frac{L^{0.8}}{\sqrt{i_b}} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}$$

18. RICOSTRUZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA

Gli idrogrammi di piena sono stati ricostruiti a partire dall'idrogramma adimensionale di Mockus, ossia una curva adimensionale ricavata da numerosi idrogrammi unitari, ottenuti da idrogrammi di piena registrati in bacini di differente estensione e posizione geografica. Tale grafico 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 (tempo di accumulo) con la variabile t/t_a. Una volta noti Q_p e t_a (al variare di AMC e T), è possibile ricavare tutti i punti dell'idrogramma.

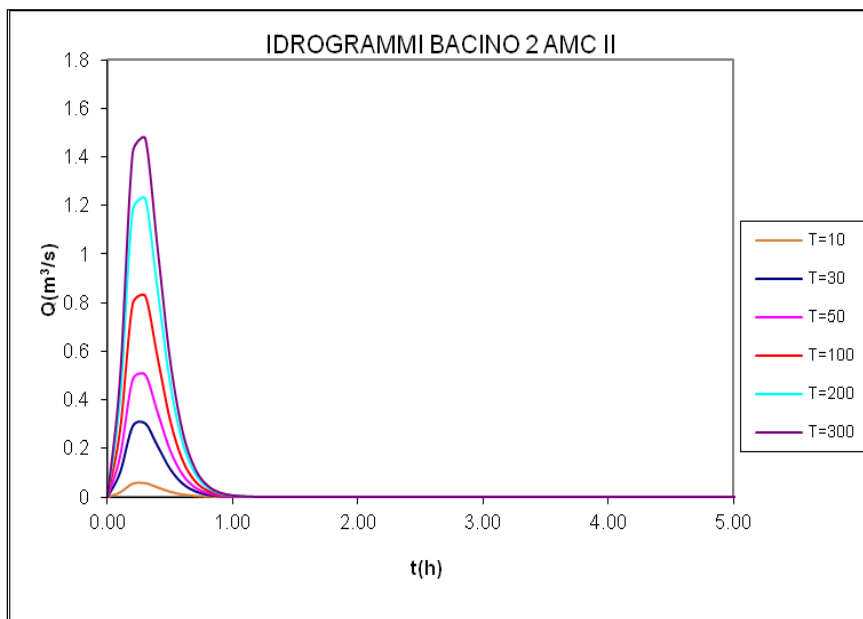
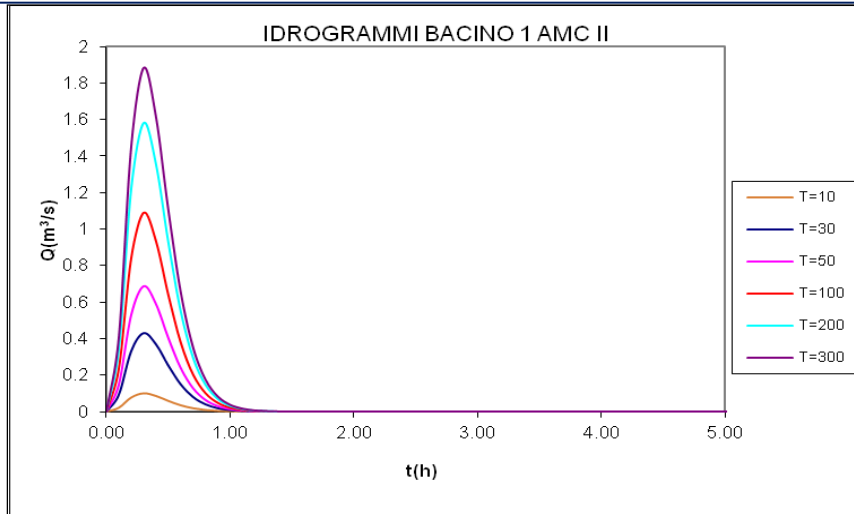


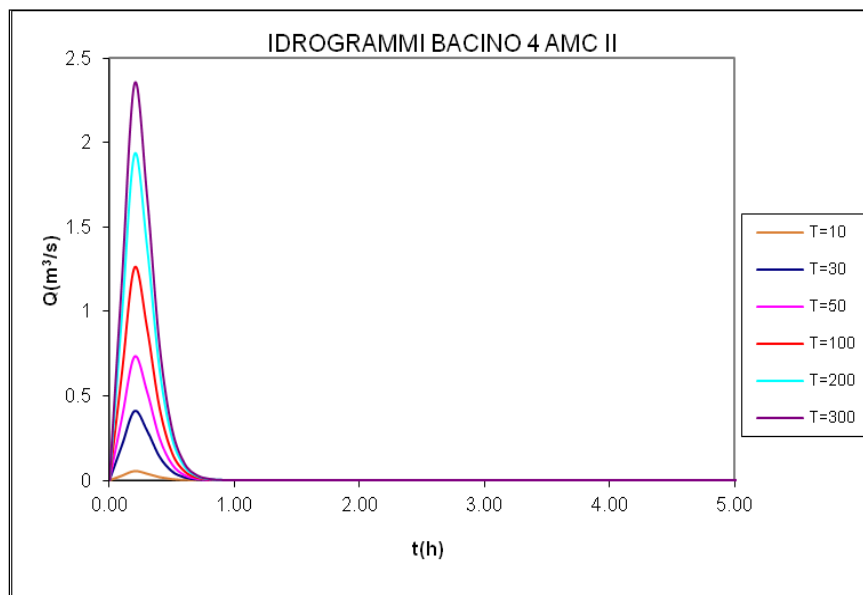
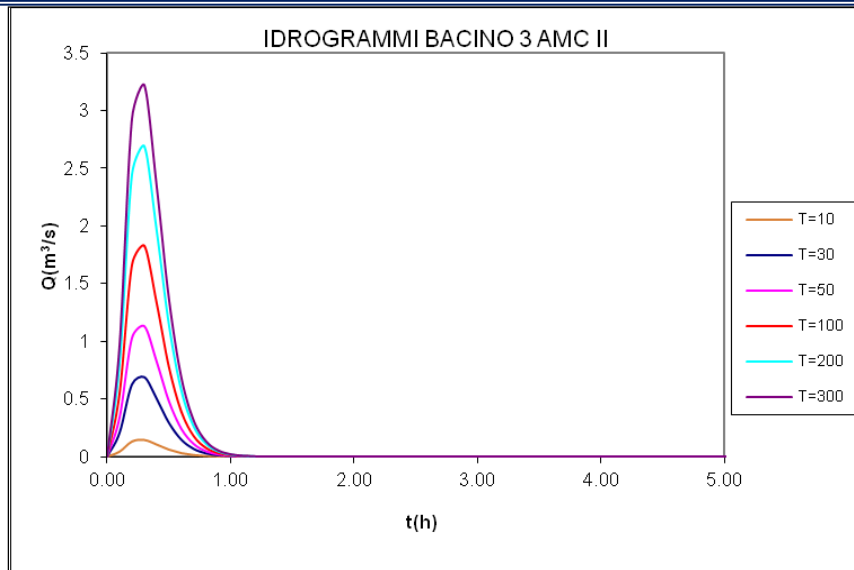
t/t _a	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Q/Q _p	0	0.03	0.1	0.19	0.31	0.47	0.66	0.82	0.93	0.99	1
t/t _a	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.2
Q/Q _p	0.99	0.93	0.86	0.78	0.68	0.56	0.46	0.39	0.33	0.28	0.21
t/t _a	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.6	3.8	4	4.5	5
Q/Q _p	0.15	0.11	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0

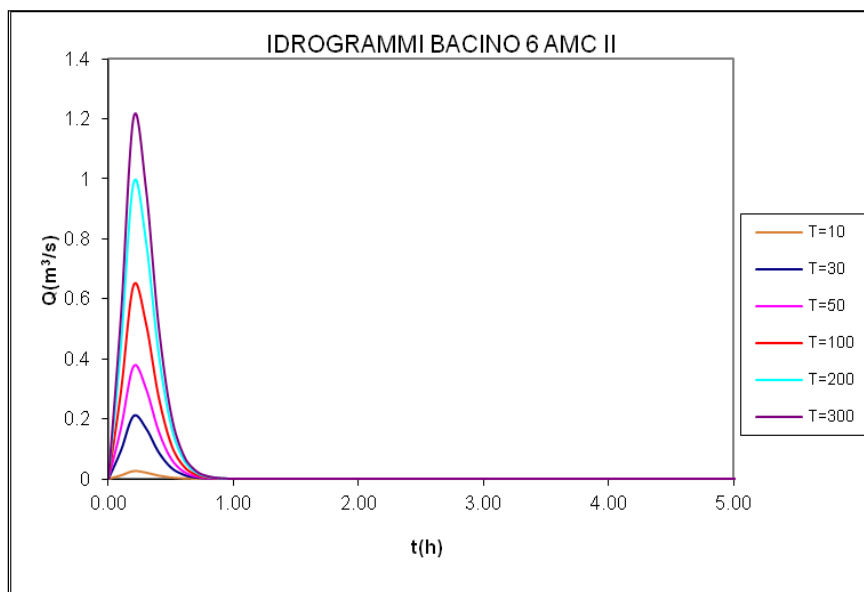
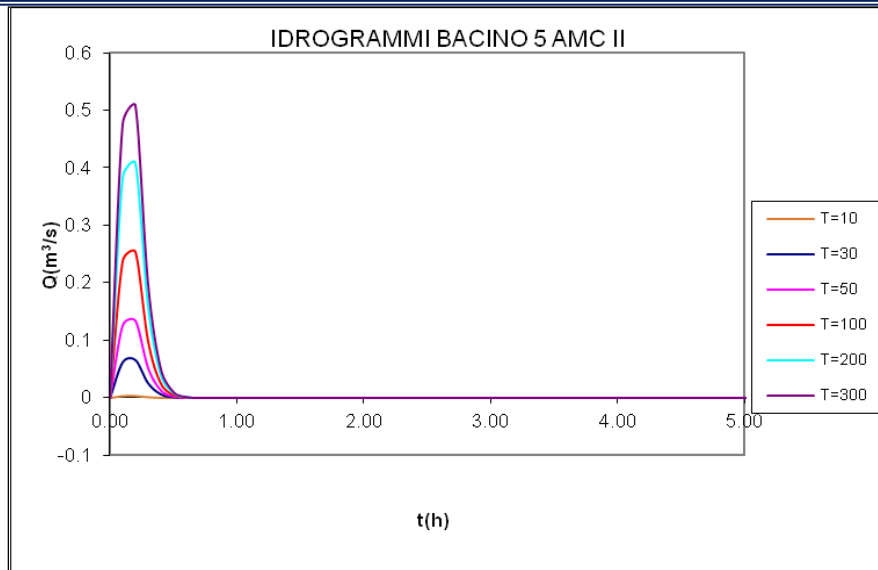
Idrogramma unitario adimensionale di Mockus.

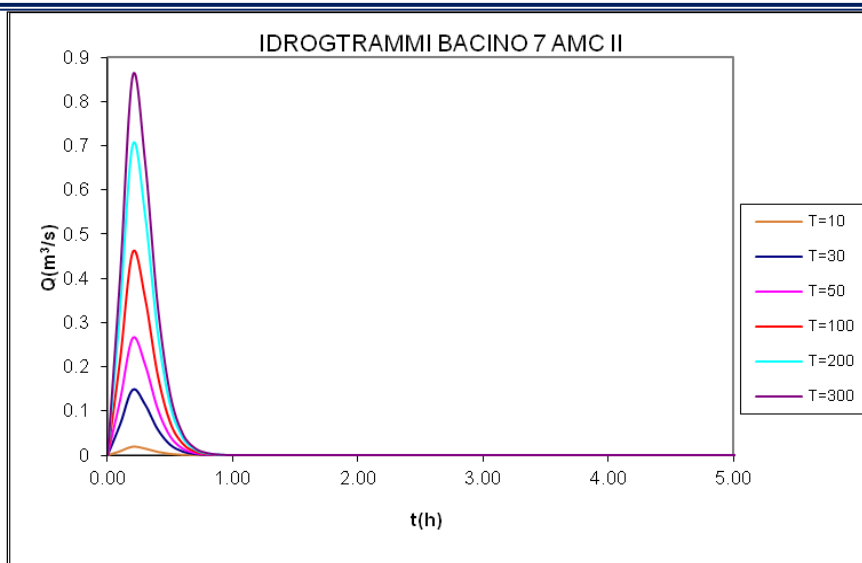
Per la concentrazione dei deflussi attraverso il metodo del SCS e la ricostruzione dell'onda di piena gli idrogrammi di piena relativi ai periodi di ritorno T di 10, 30 50, 100, 200 e 300 anni e per i tre valori di AMC (AMC I, AMC II, AMC III).

Di seguito sono riportati gli ideogrammi di piena relativi alla condizione AMC II che saranno quelli impiegati per le successive calcolazioni.









Idrogrammi di piena relativi ai 7 bacini ottenuti in corrispondenza di diversi periodi di ritorno T.

I valori dei volumi e delle portate al colmo, degli idrogrammi con periodo di ritorno centennale, ovvero sia quello assunto come valore di riferimento per i calcoli successivi, sono riportati nella tabella seguente:

BACINO 1	V100	m3	1582.133
	V/A	mm	10.56735
	Q100	m3/s	1.091172
BACINO 2	V100	m3	1065.719
	V/A	mm	8.402137
	Q100	m3/s	0.872746
BACINO 3	V100	m3	2399.502
	V/A	mm	9.293946
	Q100	m3/s	1.886799



BACINO 4	V100	m3	1213.954
	V/A	mm	6.292721
	Q100	m3/s	1.263033
BACINO 5	V100	m3	214.5862
	V/A	mm	4.050095
	Q1050	m3/s	0.301202
BACINO 6	V100	m3	668.2942
	V/A	mm	6.272471
	Q100	m3/s	0.650914
BACINO 7	V100	m3	462.2979
	V/A	mm	6.231941
	Q100	m3/s	0.460894

Risultati in termini di volumi e portate al colmo calcolate attraverso la metodologia VAPI e SCS

Curve Number relativa ai 7 bacini

19. RICOSTRUZIONE DEI FANGOGRAMMI

Le analisi condotte dai geologi hanno restituito per i bacini in esame i valori tabellati di volumi di materiale potenzialmente mobilizzabile nel caso di un evento di colata, gli stessi tecnici hanno altresì indicato la percentuale del volume potenziale mobilizzabile che viene effettivamente mobilizzato nel corso dell'evento;

Bacino	V. Mobilizzabile (mc)	V. mobilizzato (%)	V. mobilizzato (mc)
1	11500	40	4600
2	21500	40	8600
3	82000	30	24600
4	81600	30	24480
5	41000	30	12300
6	27500	30	8250
7	39000	30	11700

Volumi mobilizzabili e mobilizzati relative ai 7 bacini

A partire dai dati relativi al volume mobilizzato, assunto per il materiale in sito un valore di porosità pari a 0,45 si è determinata il volume di acqua contenuta nei pori nella condizione di materiale saturo, e quella della sola fase solida nonché il volume totale della colata ottenuto sommando ai valori precedenti il volume derivante dall'idrogramma preso a riferimento; infine si è calcolato il valore della concentrazione volumetrica dei sedimenti relativamente a ciascun bacino in esame; i risultati di queste operazioni risultano sintetizzati nella tabella seguente.

INTERVENTI DI SISTEMAZIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO
DISSESTI IN LOCALITÀ TAVOLARA

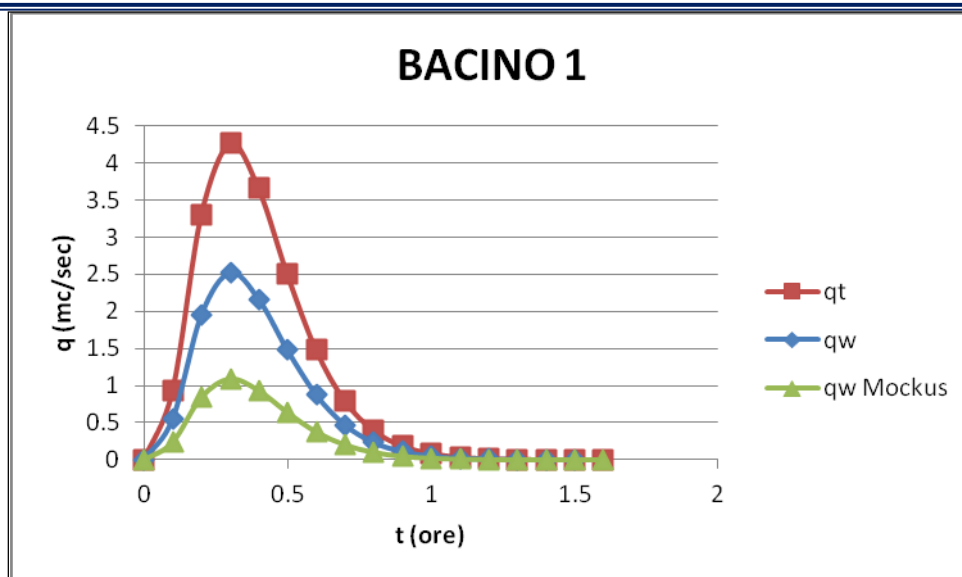
Bacino	Porosità	Vw _i (mc)	Vw _p (mc)	Vs (mc)	Vt (mc)	Vs (mc)	Vw _t (mc)	Cv
		idrogramma	pori	solido				Cv = Vs/Vt
1	0.45	1582.13	2070	2530	6182.13	2530.00	3652.13	0.41
2	0.45	1065.72	3870	4730	9665.72	4730.00	4935.72	0.49
3	0.45	2399.50	11070	13530	26999.50	13530.00	13469.50	0.50
4	0.45	1213.95	11016	13464	25693.95	13464.00	12229.95	0.52
5	0.45	214.59	5535	6765	12514.59	6765.00	5749.59	0.54
6	0.45	668.29	3712.5	4537.5	8918.29	4537.50	4380.79	0.51
7	0.45	462.30	5265	6435	12162.30	6435.00	5727.30	0.53

Caratteristiche delle colate in termini di volumi e concentrazioni volumetriche dei sedimenti ad esse relative per i 7 bacini

I fangogrammi sono stati ricostruiti a partire da quelli di Mockus amplificando i valori delle portate in maniera tale da propagare in un tempo uguale al tempo di esaurimento dell'idrogramma di Mockus l'intero volume della colata.

Per il bacino 1 ad esempio, i risultati delle operazioni sono riportati nella tabella seguente:

t ore	t sec.	qw mc/sec mockus	qw mc/sec totale	qt mc/sec colata	Vw mc mockus	Vw mc totale	Vt mc colata
0	0	0	0	0			
0.1	360	0.23766636	0.548619538	0.929863624	85.55989	197.503	334.7509
0.2	720	0.842485984	1.944761015	3.29620511	303.295	700.114	1186.634
0.3	1080	1.091118894	2.518695299	4.268975083	392.8028	906.7303	1536.831
0.4	1440	0.935723721	2.159987285	3.660995397	336.8605	777.5954	1317.958
0.5	1800	0.640210318	1.477835943	2.504806683	230.4757	532.0209	901.7304
0.6	2160	0.379705611	0.876497276	1.485588604	136.694	315.539	534.8119
0.7	2520	0.204056655	0.471036238	0.798366505	73.4604	169.573	287.4119
0.8	2880	0.1020264	0.235513669	0.399175711	36.7295	84.78492	143.7033
0.9	3240	0.048276567	0.111439699	0.188880847	17.37956	40.11829	67.9971
1	3600	0.02187145	0.050487182	0.085571496	7.873722	18.17539	30.80574
1.1	3960	0.009566255	0.022082362	0.037427731	3.443852	7.94965	13.47398
1.2	4320	0.004064358	0.009382001	0.015901696	1.463169	3.37752	5.724611
1.3	4680	0.001685192	0.003890029	0.006593269	0.606669	1.40041	2.373577
1.4	5040	0.000684362	0.001579753	0.002677548	0.24637	0.568711	0.963917
1.5	5400	0.00027299	0.000630159	0.001068067	0.098276	0.226857	0.384504
1.6	5760	0.000107211	0.00024748	0.000419458	0.038596	0.089093	0.151005
				TOT	1627.028	3755.767	6365.706

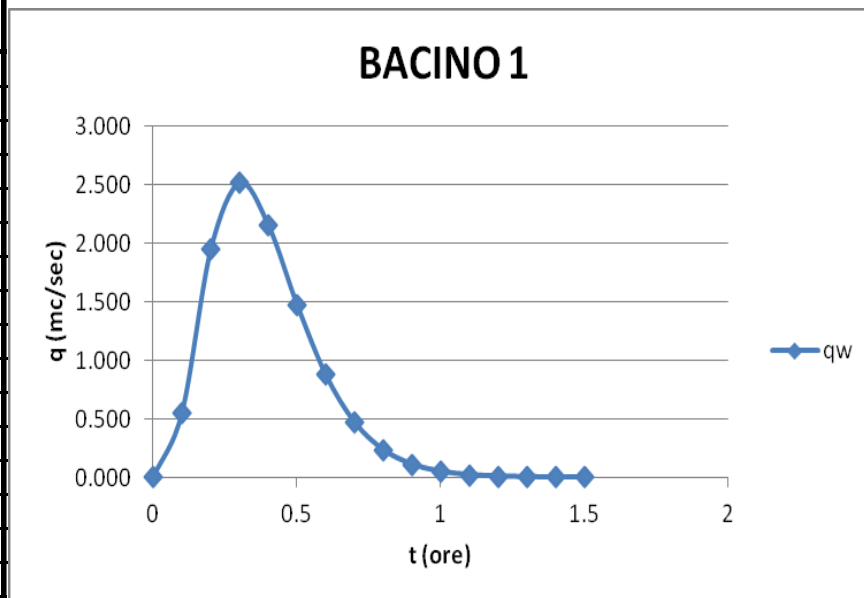
**Idrogrammi e fangogramma relativo al bacino 1**

L'analisi dei risultati ottenuti, in particolare i volumi totali degli idrogrammi e del fangogramma mostra valori leggermente superiori a quelli valutati in precedenza, questo, per effetto delle approssimazioni derivanti dalla discretizzazione del calcolo.

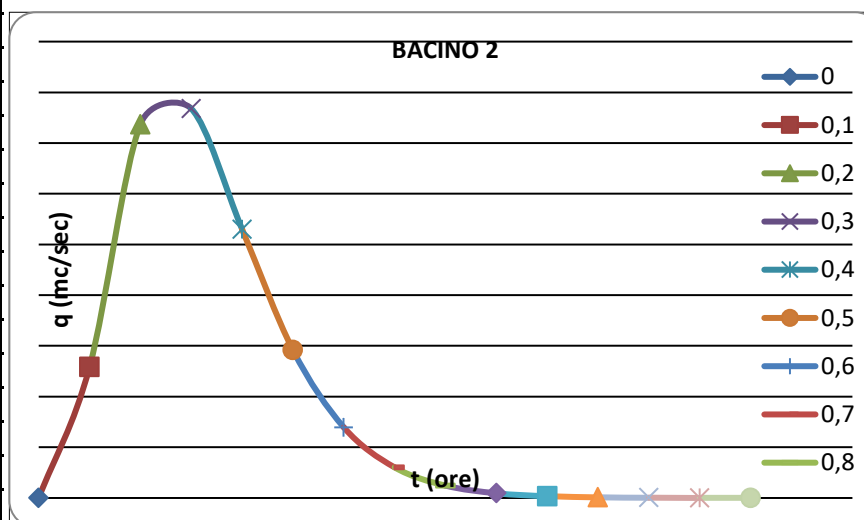
Di seguito sono riportati per ciascun bacino l'andamento dell'idrogramma impiegato nelle simulazioni e il relativo valore di concentrazione volumetrica dei sedimenti, i quali, combinati fra loro determinano l'andamento del fangogramma.



Bacino 1		
t ore	qw mc/sec	Cv
0	0.000	0.41
0.1	0.549	0.41
0.2	1.945	0.41
0.3	2.519	0.41
0.4	2.160	0.41
0.5	1.478	0.41
0.6	0.876	0.41
0.7	0.471	0.41
0.8	0.236	0.41
0.9	0.111	0.41
1	0.050	0.41
1.1	0.022	0.41
1.2	0.009	0.41
1.3	0.004	0.41
1.4	0.002	0.41
1.5	0.001	0.41

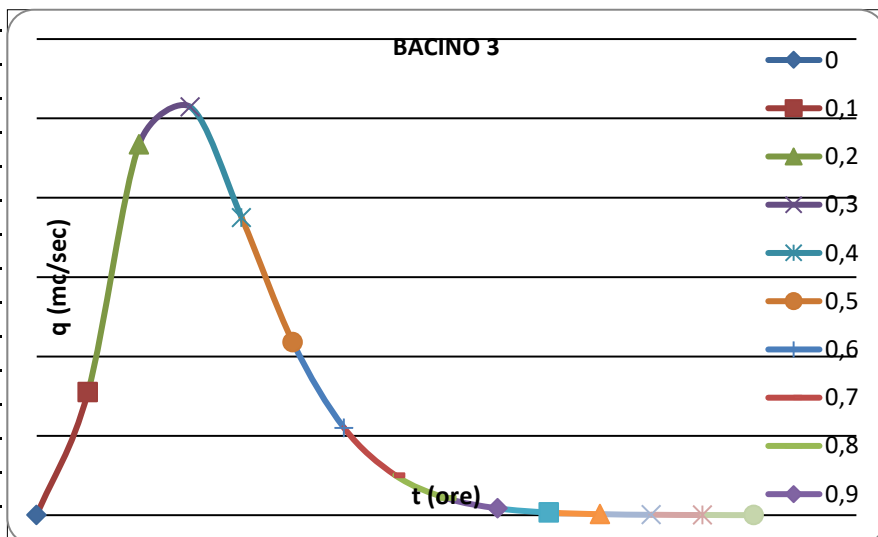


Bacino 2		
t ore	qw mc/sec	Cv
0	0.000	0.49
0.1	1.292	0.49
0.2	3.685	0.49
0.3	3.840	0.49
0.4	2.649	0.49
0.5	1.458	0.49
0.6	0.696	0.49
0.7	0.301	0.49
0.8	0.121	0.49
0.9	0.046	0.49
1	0.017	0.49
1.1	0.006	0.49
1.2	0.002	0.49
1.3	0.001	0.49
1.4	0.000	0.49

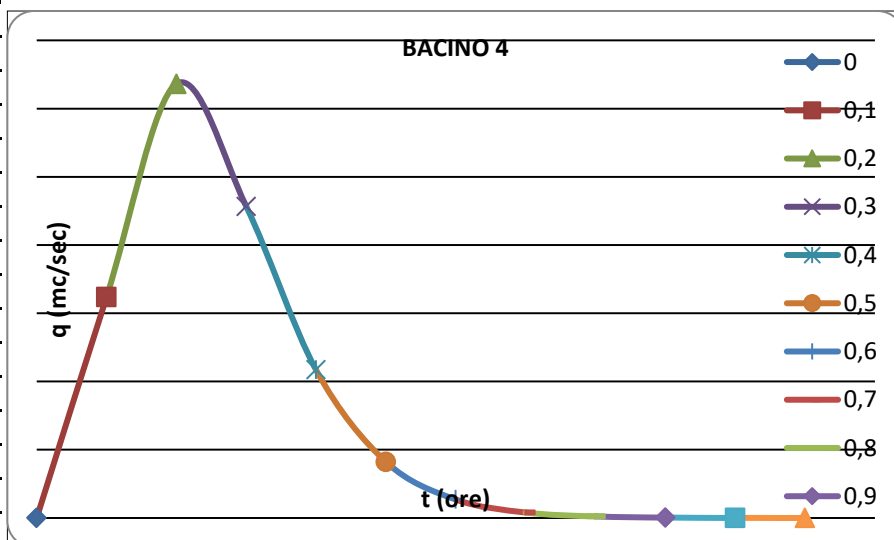




Bacino 3		
t ore	qw mc/sec	Cv
0	0.000	0.50
0.1	3.103	0.50
0.2	9.348	0.50
0.3	10.290	0.50
0.4	7.500	0.50
0.5	4.361	0.50
0.6	2.198	0.50
0.7	1.004	0.50
0.8	0.427	0.50
0.9	0.172	0.50
1	0.066	0.50
1.1	0.025	0.50
1.2	0.009	0.50
1.3	0.003	0.50
1.4	0.001	0.50

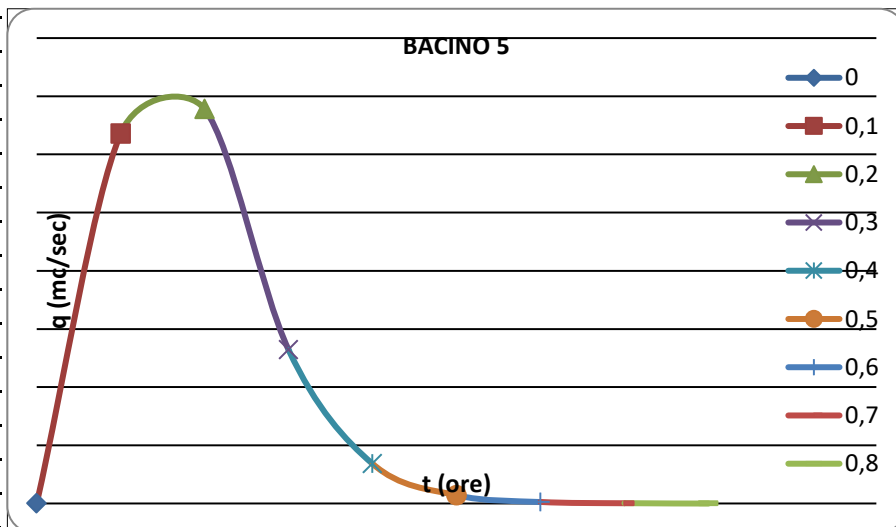


Bacino 4		
t ore	qw mc/sec	Cv
0	0.000	0.52
0.1	6.477	0.52
0.2	12.724	0.52
0.3	9.133	0.52
0.4	4.341	0.52
0.5	1.646	0.52
0.6	0.541	0.52
0.7	0.161	0.52
0.8	0.045	0.52
0.9	0.012	0.52
1	0.003	0.52
1.1	0.001	0.52

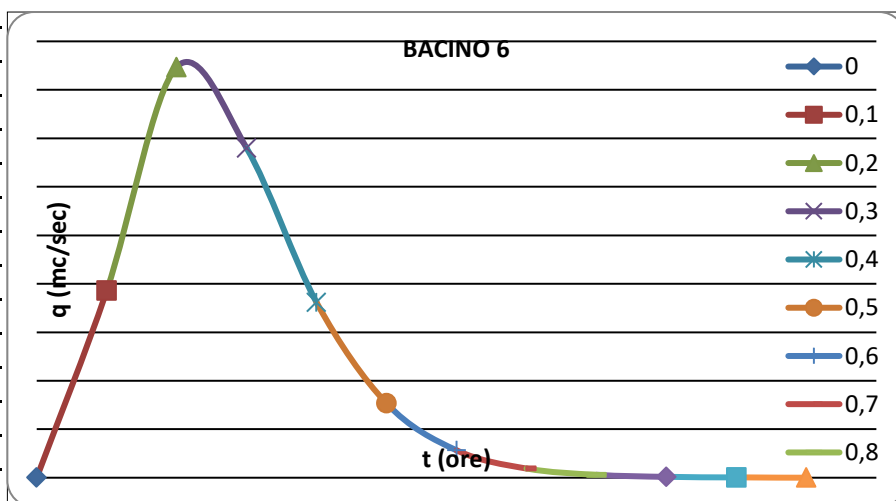


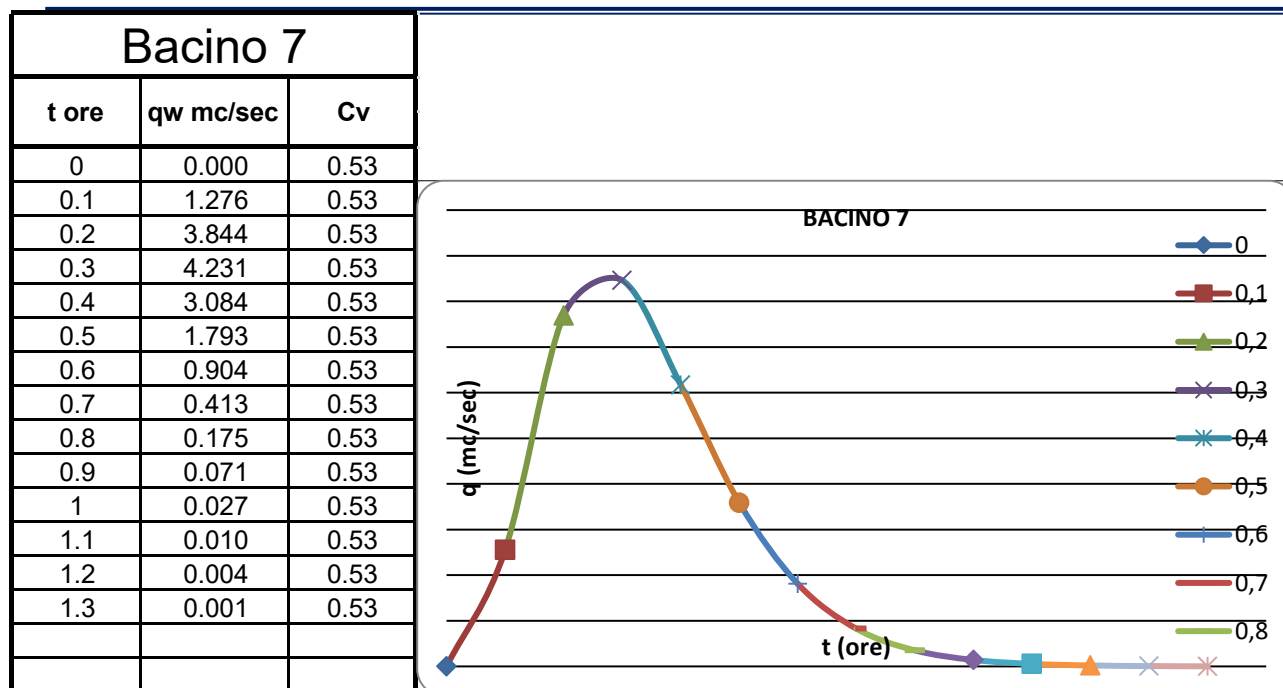


Bacino 5		
t ore	qw mc/sec	Cv
0	0.000	0.54
0.1	6.358	0.54
0.2	6.779	0.54
0.3	2.641	0.54
0.4	0.681	0.54
0.5	0.140	0.54
0.6	0.025	0.54
0.7	0.004	0.54
0.8	0.001	0.54



Bacino 6		
t ore	qw mc/sec	Cv
0	0.000	0.51
0.1	1.928	0.51
0.2	4.236	0.51
0.3	3.400	0.51
0.4	1.807	0.51
0.5	0.766	0.51
0.6	0.282	0.51
0.7	0.094	0.51
0.8	0.029	0.51
0.9	0.009	0.51
1	0.002	0.51
1.1	0.001	0.51





20. RICOSTRUZIONE DEI fangogrammi relativi alla RAPIDA

COLATA

I fangogrammi derivanti dai calcoli descritti al paragrafo precedente, come si può osservare, raggiungono il verificarsi del picco delle portate in tempi variabili fra 0.2 e 0.3 ore, a tale risultato si è giunti in quanto si è ipotizzato che il fenomeno si sviluppi con le stesse modalità di formazione dell'idrogramma di piena derivante dalla formazione del deflusso a partire dalla precipitazione meteorica; tale assunzione è corretta nel caso di fenomeni tipo flussi iperconcentrati. Nel caso delle colate rapide, il fenomeno si sviluppa in un tempo molto più breve conseguenza dei gli elevati valori di velocità che può raggiungere la colata, ad esempio nel caso delle colate di fango che hanno colpito Sarno nel 1998 le colate hanno raggiunto velocità anche superiori a 10 m/sec. L'estrema velocità della colata determina, a parità di volume mobilizzato un aumento della portata al colmo che alcuni autori ritengono possa essere stimata pari a 10 volte la portata idrologica di medesimo periodo di ritorno.



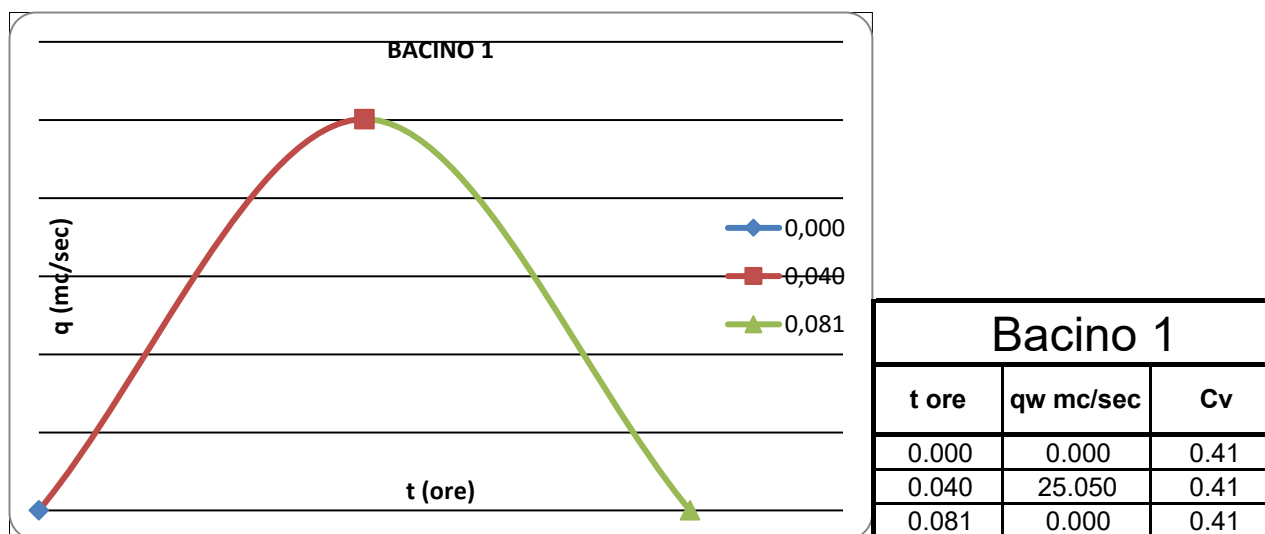
Al fine di valutare la portata derivante da una colata rapida di fango, nel caso specifico si è calcolato il tempo di corrivazione come rapporto fra la lunghezza dell'asta principale del bacino e la velocità media della colata assunta pari a 8 m/sec (Circa 30 Km/h) e si è assunto come idrogramma quello per il quale nel tempo pari a 2 volte il tempo di corrivazione si determina la propagazione del volume totale della fase liquida contenuta nell'intero volume della colata, assumendo come valore di concentrazione volumetrica dei sedimenti quello calcolato in precedenza.

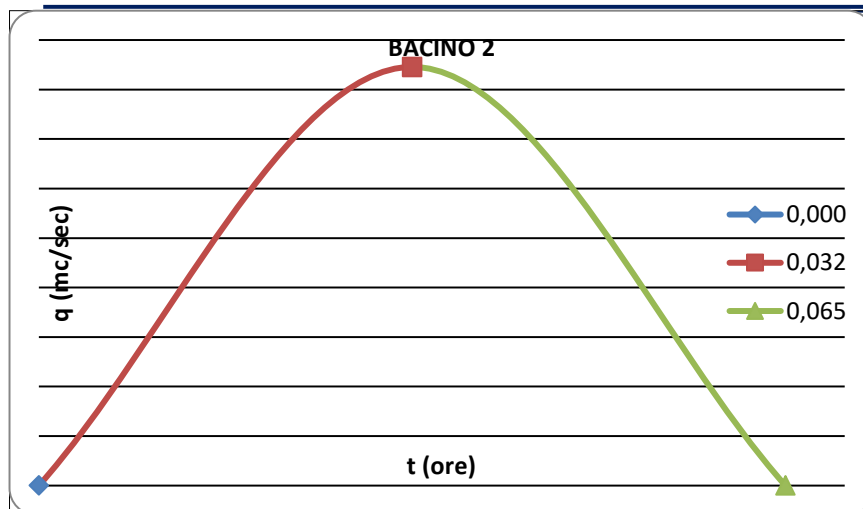
In tali ipotesi di calcolo i risultati ottenuti per i bacini in esame sono riportati nella tabella seguente:

Bacino	portate colate di fango v=30km/h							
	L. asta principale (km)	tc (ore)	tc (sec)	qw (mc/sec)	Ww (mc)	Cv	qt (mc/sec)	Wt (mc)
1	1.166	0.04049	145.75	25.05752	3652.13326	0.41	42.41601	6182.13326
2	0.934	0.03243	116.75	42.27596	4935.71867	0.49	82.78988	9665.71867
3	1.028	0.03569	128.50	104.82102	13469.50163	0.50	210.11285	26999.50163
4	0.720	0.02500	90.00	135.88838	12229.95394	0.52	285.48838	25693.95394
5	0.504	0.01750	63.00	91.26327	5749.58617	0.54	198.64422	12514.58617
6	0.718	0.02493	89.75	48.81108	4380.79415	0.51	99.36818	8918.29415
7	0.714	0.02479	89.25	64.17140	5727.29788	0.53	136.27225	12162.29788

Valori delle portate e concentrazioni volumetriche relativi all colate rapide per i 7 bacini

Di seguito per ognuno dei bacini sono riportati gli idrogrammi e i valori delle concentrazioni volumetriche dei sedimenti nel caso di colata rapida di fango:

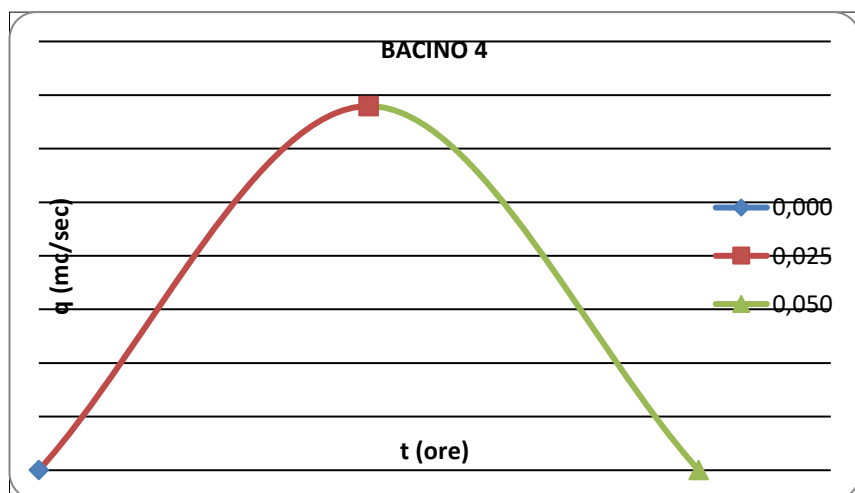




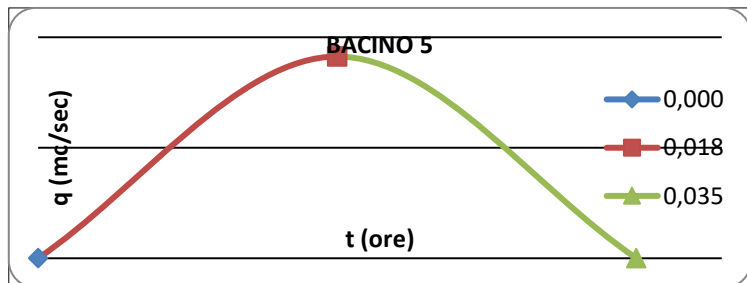
Bacino 2		
t ore	qw mc/sec	Cv
0.000	0.000	0.49
0.032	42.280	0.49
0.065	0.000	0.49



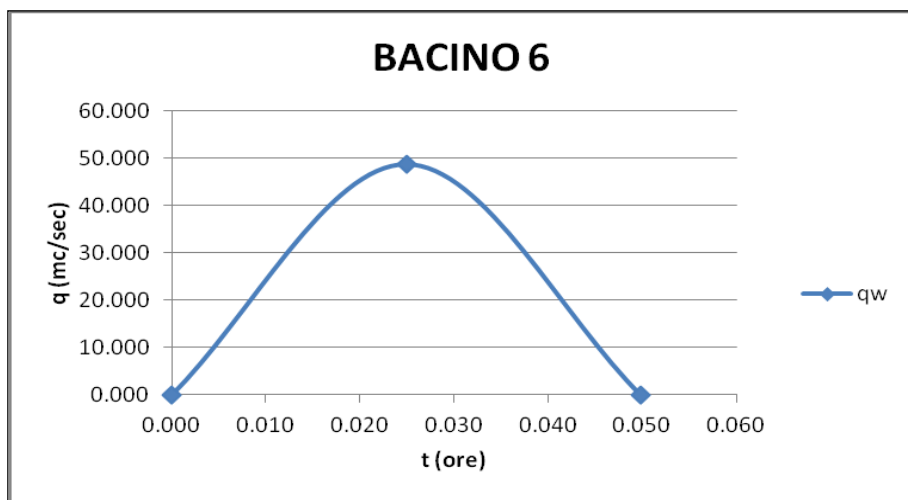
Bacino 3		
t ore	qw mc/sec	Cv
0.000	0.000	0.50
0.036	104.820	0.50
0.071	0.000	0.50



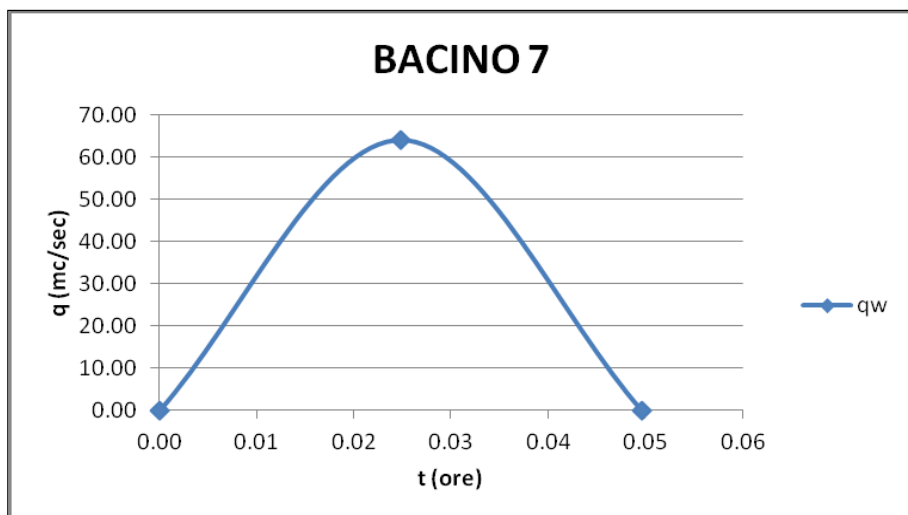
Bacino 4		
t ore	qw mc/sec	Cv
0.000	0.000	0.52
0.025	135.880	0.52
0.050	0.000	0.52



Bacino 5		
t ore	qw mc/sec	Cv
0.000	0.000	0.54
0.018	91.260	0.54
0.035	0.000	0.54



Bacino 6		
t ore	qw mc/sec	Cv
0.000	0.000	0.509
0.025	48.810	0.509
0.050	0.000	0.509



Bacino 7		
t ore	qw mc/sec	Cv
0.00	0.00	0.53
0.02	64.20	0.53
0.05	0.00	0.53



1.OBIETTIVO E METODOLOGIA.....	1
2.ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO.....	1
3.ANALISI IDROLOGICA PRELIMINARE ATTRAVERSO LA METODOLOGIA VAPI E SCS CURVE NUMBER.....	2
4.MODELLAZIONE IDROLOGICA.....	6
5.VALUTAZIONE DELLE CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA- ANALISI IDROLOGICA....	7
6.VALUTAZIONE DELLE PERDITE IDROLOGICHE E DELLO IETOGRAMMA NETTO.....	9
7.STIMA DELLE PORTATE AL COLMO DI PIENA.....	12
8.RICOSTRUZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA.....	13
9.RICOSTRUZIONE DEI FANGOGRAMMI.....	18
10.RICOSTRUZIONE DEI fangogrammi relativi alla COLATA RAPIDA.....	24