



Comune di Bussoleno

Città Metropolitana di Torino

Regione Piemonte



COLATA DETRITICA DEL 07/06/2018 SUL CONOIDE DEL RIO
BACCIAS/REFORNO E COMBA DELLE FOGLIE - *LAVORI DI SOMMA
URGENZA PER IL CONTENIMENTO DEL TRASPORTO SOLIDO IN
APICE DEL CONOIDE*

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

OGGETTO

RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

TIMBRI E FIRME



**STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI**

VIA ROSOLINO PILO 11 - 10143 TORINO
TEL. +39 011 43 77 242 - FAX +39 011 48 31 038
info@sria.it
www.sria.it

dott. ing. Santo LA FERLITA
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino
Posizione n.10943X
Cod. Fisc. LFR SNT 81R08 H163L

dott. ing. Fabio AMBROGIO
Ordine degli Ingegneri di Torino
Posizione n.23B
Cod. Fisc. MBR FBA 78M03 B594K

CONTROLLO QUALITA'

DESCRIZIONE	EMISSIONE
DATA	GIU/2018
COD. LAVORO	336/SR
TIPOL. LAVORO	E
SETTORE	G
N. ATTIVITA'	01
TIPOL. ELAB.	RI
TIPOL. DOC.	E
ID ELABORATO	02
VERSIONE	0

REDATTO

ing. Luca MAGNI

CONTROLLATO

ing. Fabio AMBROGIO

APPROVATO

ing. Santo LA FERLITA

ELABORATO

1.2



INDICE

1. PREMESSA	2
2. PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEL BACINO IDROGRAFICO	3
2.1 PARAMETRI DI FORMA	4
2.2 CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE	5
2.3 CALCOLO DEL NUMERO DI CURVA ADIMENSIONALE CN	7
3. ANALISI IDROLOGICA	11
3.1 RICOSTRUZIONE DELL'EVENTO PLUVIOMETRICO DEL 07/06/2018.....	11
3.2 PLUVIOGRAMMI DI PROGETTO PER EVENTI DI VARI TEMPI DI RITORNO	14
3.2.1 Curve di massima possibilità pluviometrica	14
3.2.2 Ietogramma Chicago.....	16
4. CALCOLO DELLE PORTATE LIQUIDE AL COLMO	18
4.1 APPROCCIO METODOLOGICO	18
4.1.1 Formula razionale.....	18
4.1.2 Modello numerico afflussi-deflussi.....	20
4.2 DEFINIZIONE DELLE PORTATE LIQUIDE DI PIENA DEL RIO BACCIAS/REFORNO	22
5. CALCOLO DEL TRASPORTO SOLIDO IPERCONCETRATO	24
5.1 MECCANICA DELLA MOBILIZZAZIONE E DEL MOVIMENTO DELLA COLATA.....	25
5.2 METODOLOGIA DI CALCOLO PER LA DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI PICCO DELLA COLATA DI DETRITO.....	26
5.3 CALCOLO DELLA PORTATA DI PICCO PER L'EVENTO DI MUD/DEBRIS FLOW DEL 07/06/2018	27
5.3.1 Debrisgramma dell'evento del 06/07/2018	28
5.4 CALCOLO DEL DEBRISGRAMMA PER DIFFERENTI TEMPI DI RITORNO	30
6. DIMENSIONAMENTO IDRAULICO DELLE OPERE DI TRATTENUTA	34
6.1 VOLUMI DI ACCUMULO DEI BACINI	34
6.2 CAPACITÀ DI TRATTENUTA DEL MATERIALE SOLIDO DEI BACINI DI DEPOSITO.....	34
6.3 OPERE IDRAULICHE DEI BACINI DI ACCUMULO.....	36
6.3.1 Dimensionamento gàveta del bacino di accumulo formato dalla rete di contenimento del debris....	36
6.3.2 Dimensionamento della gàveta del bacino di accumulo in apice di conoide	37
6.3.3 Tubazioni di scarico del bacino di valle.....	38

ALLEGATI

- ALLEGATO 1 – Delimitazione del bacino idrografico di riferimento
- ALLEGATO 2 – Linee di possibilità pluviometrica per il bacino del rio Reforno
- ALLEGATO 3 – Ietogrammi Chicago
- ALLEGATO 4 – Metodo razionale – portate liquide di piena
- ALLEGATO 5 – Idrogrammi di piena modello HEC-HMS
- ALLEGATO 6 – Effetto di laminazione di una colata di detrito degli interventi in progetto – evento del 07/06/2018 e evento di Tr 20 anni



1. PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione idrologica e idraulica del progetto definitivo – esecutivo degli interventi in somma urgenza per il contenimento del trasporto solido in apice del conoide conseguenti alla colata detritica del 07/06/2018 sul conoide del rio Baccias/Reforo e Comba delle Foglie.

L'elaborato è volto ad illustrare le dinamiche idrologiche ed idrauliche che hanno portato alla formazione della colata di detrito che nel primo pomeriggio del 07/06/2018 ha investito il centro del Comune di Bussoleno causando danni ingenti ad abitazioni e strade e l'evacuazione di decine di persone dalle proprie abitazioni.

Il prosieguo dello studio idrologico in oggetto si pone l'obiettivo di calcolare sulla base dei dati disponibili lo ietogramma e l'entità delle portate di piena della colata detritica (debris-gramma) che ha interessato il bacino del rio Reforno durante l'evento.

Inoltre, scopo del presente elaborato è l'individuazione delle portate attese (liquide e di trasporto solido iperconcentrato) per eventi meteorologici di progetto con differenti tempi di ritorno che potrebbero nuovamente interessare il bacino in oggetto, al fine di consentire il corretto dimensionamento delle opere di somma urgenza necessarie per la mitigazione del rischio ancora esistente nell'area d'interesse.

Il capitolo terminale del documento riporta i calcoli idraulici di dimensionamento e verifica idraulica delle opere in progetto.



2. PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEL BACINO IDROGRAFICO

Il bacino imbrifero del Comba delle Foglie è ubicato a nord del concentrico del Comune di Bussoleno e orientato in direzione N-S. Esso è caratterizzato da un'estensione areale modesta (circa 1,3 km²) e presenta forma molto allungata lungo la direzione di flusso, essendo per la maggior parte del suo sviluppo piuttosto incassato. L'asta del rio Baccias/Reforo ha caratteri prettamente torrentizi con elevata pendenza e sezione di deflusso ristretta e incassata.

Il bacino è caratterizzato da una coltre di copertura detritica di potenza metrica su un substrato roccioso piuttosto compatto e localmente affiorante. La pendenza del bacino è piuttosto elevata (poco inferiore al 50%), essendo il punto a quota più elevata posto a 1.750 m s.l.m., la chiusura (apice di conoide a monte del concentrico di Bussoleno) alla quota di circa 500 m s.l.m. e la lunghezza dell'asta torrentizia di soli 2,36 km.

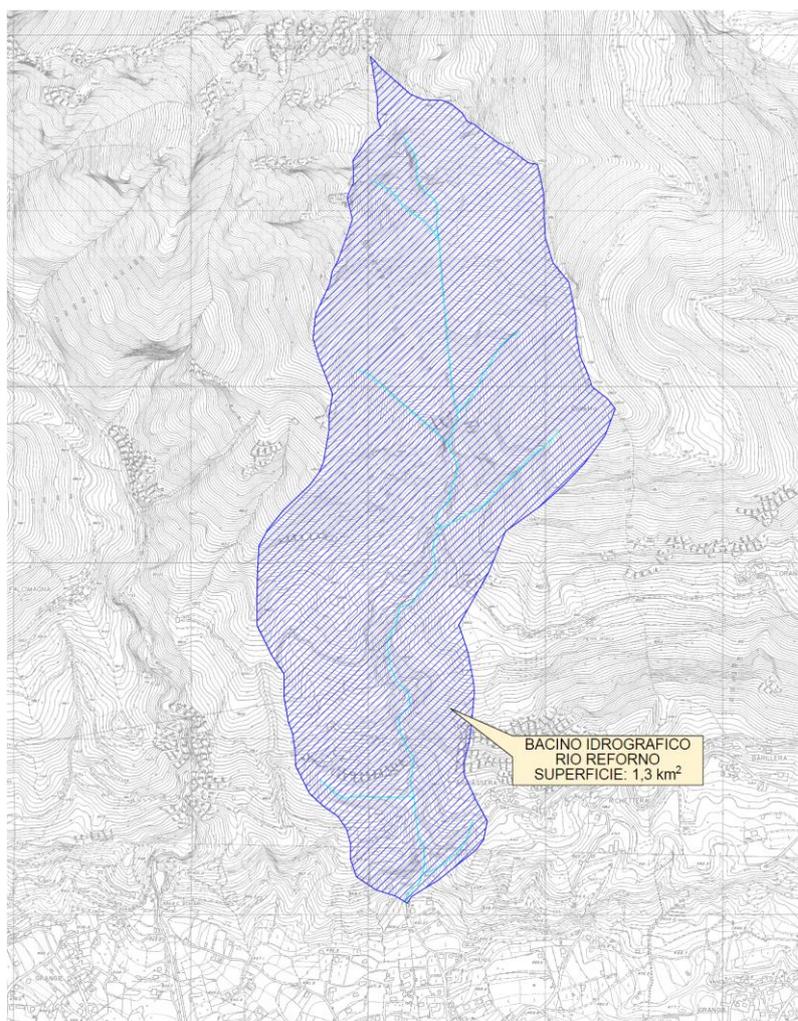


Figura 1 – Bacino idrografico del rio Baccias/Reforo



Il bacino idrografico, prima dell'imponente incendio che ha interessato l'intera valle di Susa ed in particolare la porzione sommitale del bacino idrografico medesimo, si presentava molto boscato con presenza di poche aree incolte e qualche evidenza di affioramento roccioso del substrato (cfr. *Relazione geologica* di Elab. 03). L'indice di ritenzione potenziale del suolo era piuttosto elevato, il suolo era relativamente permeabile e la copertura del bacino era molto efficace nel trattenere gli apporti pluviometrici: il bacino, prima dell'ottobre del 2017, era in grado di trattenere la quasi totalità gli afflussi pluviometrici generando deflussi estremamente contenuti e molto ritardati nel tempo. Non era presente infatti, prima del recente evento di colata detritica, un alveo inciso ben definito a valle dell'apice di conoide che avesse la funzione di collettare gli efflussi del bacino, proprio per le ridotte portate liquide restituite a valle in occasione di eventi pluviometrici anche intensi.

A seguito dell'esteso incendio che ha colpito l'intera valle di Susa nell'ottobre del 2017 la testata del bacino del rio Baccias/Reforo è stata quasi completamente bruciata, con conseguente distruzione di una estesa copertura boscata. Ciò ha determinato una riduzione sensibile della superficie arborea, la formazione di uno strato superficiale di ceneri e residui da combustione facilmente erodibili su una superficie resa poco permeabile dal fuoco, che si sono tradotti in un coefficiente di infiltrazione fortemente ridotto. Inoltre, il terreno ha avuto una sensibile perdita nella capacità coesiva e di resistenza all'azione erosiva del ruscellamento superficiale, essendo venuta meno l'azione radicale degli elementi arborei inceneriti.

Per le analisi nel seguito descritte, il bacino idrografico è stato chiuso in apice di conoide, immediatamente a monte del concentrico cittadino, in corrispondenza del sito di progetto per l'ubicazione del vallo di contenimento della colata di detrito. Si rimanda all'ALLEGATO 1, in cui è riportata la delimitazione del bacino considerato.

2.1 PARAMETRI DI FORMA

Nella valutazione dei parametri morfologici in grado di caratterizzare la conformazione del bacino si è valutata, oltre all'area S , anche il perimetro P .

I rapporti tra i parametri fisiografici di un bacino idrografico costituiscono un'indicazione sintetica e quantitativa della forma del bacino stesso; si definiscono quindi i seguenti coefficienti di forma, introducendo il diametro D e il perimetro P corrispondenti ad un bacino di forma circolare avente la stessa estensione S del bacino in esame:

$$F_1 = \frac{L}{D} = \frac{L}{\sqrt{4S/\pi}} = 1,84 \frac{L}{\sqrt{S}}$$

$$F_2 = \frac{P}{C} = \frac{P}{2\sqrt{S\pi}} = 1,41 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Nella Tabella 1 sono riportati i parametri di forma calcolati per il bacino considerato.

**Tabella 1 - Parametri di forma**

Parametro	Bacino rio Reforno
Perimetro P [km]	5,75
Superficie S [km ²]	1,3
Lunghezza L [km]	2,36
F1	1,84
F2	1,41

2.2 CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

In molte schematizzazioni delle trasformazioni afflussi-deflussi s'introduce l'ipotesi che il tempo impiegato da una particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura del bacino scorrendo in superficie sia una costante che dipende soltanto dalla posizione del punto in cui è caduta e dalle caratteristiche morfologiche del bacino.

Pur essendo un'assunzione che presenta notevoli limiti, è comunque molto utile nella pratica progettuale in quanto, a prescindere dal metodo scelto per la determinazione della portata di piena, fornisce con calcoli relativamente semplici un'indicazione sul comportamento idrologico del bacino in studio.

Il tempo di corrivazione è il tempo impiegato da una particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura del bacino, per cui ad ogni punto della superficie del bacino corrisponde un valore del tempo di corrivazione. Un punto particolare è quello idraulicamente più lontano dalla sezione di chiusura, che rappresenta il contributo "ultimo" del deflusso superficiale. Il tempo di corrivazione di questo punto, che è il tempo impiegato dalla particella d'acqua caduta nel punto idraulicamente più lontano per percorrere l'intero bacino, dall'origine alla sezione di chiusura, e che risulta il maggiore tra quelli dei diversi punti del bacino, prende il nome di *tempo di corrivazione del bacino*.

Quindi, per il bacino esaminato si può determinare il tempo di corrivazione T_c corrispondente, tenendo conto che dipende da numerosi fattori che possono essere di seguito elencati:

- parametri relativi alla topografia e alle caratteristiche planimetriche del bacino, come la superficie, la lunghezza e la pendenza dell'asta principale, la larghezza media del bacino, la distanza del baricentro del bacino dal punto idraulicamente più lontano dalla sezione di chiusura, la pendenza media dei versanti;
- parametri che definiscono le caratteristiche della rete idrografica quali la densità della rete, la capacità d'invaso nella rete e in bacini naturali e artificiali, le scabrezze degli alvei;
- parametri relativi alla copertura vegetale che definiscono la maggiore o minore presenza di boschi, pascoli, seminativi o altra destinazione d'uso del suolo;
- parametri relativi alle caratteristiche geologiche e fisiche del suolo quali la permeabilità e la capacità di trattenuta dell'acqua.

Vista la notevole difficoltà a considerare tutti questi parametri, il tempo di corrivazione si calcola in genere utilizzando formule che derivano dall'analisi di molti casi reali e che esprimono il legame mediamente esistente tra il tempo di corrivazione e alcune altre grandezze caratteristiche del bacino e di facile determinazione.



Nel seguito si riportano le formulazioni utilizzate dagli scriventi per il calcolo del tempo di corrivazione maggiormente rappresentative del bacino idrografico in esame.

1. La formulazione di Pasini per bacini di superficie < 40 km²:

$$T_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{S \cdot L}}{\sqrt{i_f}}$$

dove:

T_c = tempo di corrivazione (ore);

S = superficie del sottobacino (Km²);

L = lunghezza dell'asta principale (Km);

i_f = pendenza caratteristica dell'asta principale (m/m);

2. La formulazione proposta Pezzoli (per bacini < 20 km²):

$$T_c = 0,055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i_f}}$$

dove:

T_c = tempo di corrivazione (ore);

L = lunghezza dell'asta principale (Km);

i_f = pendenza caratteristica dell'asta principale (m/m);

3. La formulazione proposta da Ventura (per bacini <40 km²):

$$T_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{i_f}}$$

T_c = tempo di corrivazione (ore);

S = superficie del sottobacino (Km²);

i_f = pendenza caratteristica dell'asta principale (m/m);

4. La formulazione proposta da Kirpich(per bacini <10 km²):

$$T_c = 0.066 \cdot L^{0.77} \cdot \left(\frac{1000 \cdot L}{h_{\max} - h_{\min}} \right)^{0.385}$$



T_c = tempo di corrivazione (ore);

L = lunghezza dell'asta (Km^2);

h_{min} = altezza minima del bacino;

h_{max} = altezza massima del bacino.

Il tempo di corrivazione del bacino è stato assunto pari alla media dei quattro valori e corrispondente a circa 0,20 ore (12 minuti).

Tabella 2 – Valori del Tempo di corrivazione (T_c) calcolati con differenti formulazioni da letteratura e valore di T_c medio del bacino

Bacino	Area [km^2]	Perimetro [km]	Kirpich (ore)	Pasini (ore)	Pezzoli (ore)	Ventura (ore)	Media (ore)	Media (min)
Rio Reforno Bussoleno	1,30	5,75	0,17	0,23	0,19	0,21	0,20	12

2.3 CALCOLO DEL NUMERO DI CURVA ADIMENSIONALE CN

Il numero di curva adimensionale CN (runoff curve number) è un indice di ritenzione potenziale del suolo, che dipende dalla pedologia, dal tipo e grado di copertura del suolo e dal grado di umidità iniziale del terreno. Tale indice ha un valore compreso tra 0 e 100 e, per la sua determinazione, il Soil Conservation Service propone delle classificazioni, in modo da far rientrare la zona esaminata in una determinata categoria e ricavare da opportune tabelle il valore di CN corrispondente.

Generalmente, i terreni che costituiscono il bacino di riferimento devono essere ricondotti ad una delle quattro classi litologiche Tabella 3).

Tabella 3 - Gruppi idrogeologici assegnabili ai diversi litotipi

Classe	Tipologia di terreno
A	Accumuli di frana da crollo
B	Depositi da debris flow, alluvioni antiche, depositi colluviali, depositi gravitativi di falda e conoide, depositi glaciali di ablazione e indifferenziati
C	Depositi colluviali, prodotti colluviali
D	Calcarei dolomitici, serpentiniti, calcescisti, micascisti, gneiss indifferenziati, metabasiti

Come descritto in premessa, le condizioni di permeabilità e capacità ritentiva del suolo al momento dell'evento del 07/06/2018 sono state fortemente alterate rispetto agli anni precedenti per effetto del grande incendio che ha investito la sommità del bacino, determinando una importante perdita della copertura arborea e riducendo sensibilmente sia la capacità di infiltrazione delle acque superficiali, sia la capacità di ritenzione.



A seguito dei sopralluoghi condotti dagli scriventi nei giorni e nelle settimane immediatamente successive, è stato riscontrato come la vegetazione stia rapidamente ripopolando le estese porzioni di pendio incenerite dall'incendio dell'ottobre 2017, conferendo nuovamente al bacino una certa capacità di ritenzione e di capacità di trattenuta degli afflussi meteorici superficiali, sebbene i tempi necessari per il ripristino della copertura vegetata che interessava il bacino prima dell'incendio saranno verosimilmente lunghi.

Sulla base di tali considerazioni sono stati calcolati per il bacino due valori di CN, rispettivamente rappresentativi delle condizioni di capacità di ritenzione del bacino nei primi giorni del giugno 2018 (data dell'evento di colata detritica) e quelli attesi per il futuro prossimo.

Nel calcolo del CN si tiene inoltre conto di situazioni di umidità del terreno all'inizio della precipitazione diverse da quella media; il metodo infatti classifica le condizioni di umidità in tre categorie:

- AMC I: potenziale di scorrimento superficiale minimo; i suoli del bacino sono sufficientemente asciutti da permettere un'aratura o coltivazione soddisfacente;
- AMC II: condizione media;
- AMC III: potenziale di scorrimento superficiale massimo; il bacino è stato praticamente saturato dalle piogge precedenti.

La categoria a cui fare riferimento si può individuare in base alla precipitazione totale dei 5 giorni precedenti quello dell'evento di pioggia e in base alla stagione (vegetativa o non vegetativa).

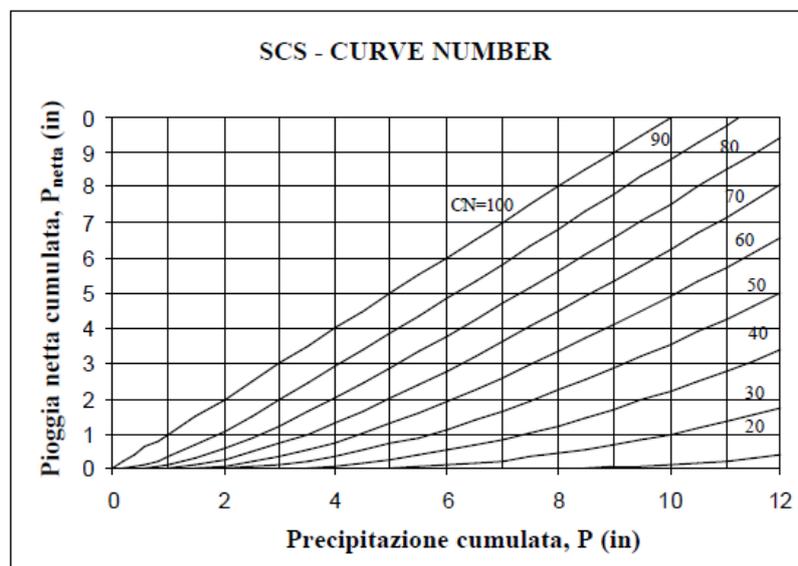


Figura 2 - Influenza del parametro CN nella stima del volume di pioggia netta.

Il 07/06/2018 il terreno era certamente saturo, in quanto fortemente imbibito da oltre un mese di piogge anche consistenti che si sono abbattute con elevata frequenza; inoltre, nei giorni immediatamente precedenti ci sono stati eventi pluviometrici anche a carattere temporalesco che hanno sicuramente portato a saturazione l'intera



superficie del bacino. Tali condizioni possono ovviamente ripresentarsi nell'ambito di un evento parossistico di elevato tempo anche in un prossimo futuro.

Pertanto, sia per l'analisi delle condizioni di umidità del terreno al 07/06/2018 sia per le condizioni di umidità attese per un evento di progetto è stato considerato un potenziale di scorrimento superficiale massimo (condizione AMC III).

Tabella 4 - Condizioni di umidità in funzione della precipitazione antecedente

AMC	Precipitazione antecedente di 5 gg l'evento	
	Stagione di riposo (mm)	Stagione vegetativa (mm)
I	< 12,7	< 35,6
II	12,7 – 27,9	35,6 – 53,3
III	> 27,9	> 53,3

I valori di CN corrispondenti alla categoria AMC I e AMC III si possono ricavare dal valore di CN che corrisponde alla categoria AMC II per mezzo delle seguenti relazioni (Chow et al., 1988), dove n, m e δ sono dei coefficienti numerici noti:

$$CN(I) = \frac{n \cdot CN(II)}{\delta - 0,058 \cdot CN(II)} \quad CN(III) = \frac{m \cdot CN(II)}{\delta + 0,13 \cdot CN(II)}$$

Alla luce delle analisi condotte sono stati pertanto considerati i seguenti valori di CN

Tabella 5 - Valori del CN in condizioni di differente saturazione del terreno

Bacino	Analisi	AMC I	AMC II	AMC III
Rio Reforno	Evento del 07/06/2018	67,8	83,4	92
Rio Reforno	Pioggia eventi di progetto	43,2	64,4	80,6

Le perdite iniziali I_a , sono valutabili con la seguente relazione:

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

Con α definito da letteratura variabile tra 0,1 e 0,2. Nella maggior parte dei casi le linee guida suggeriscono l'applicazione del valore di $\alpha = 0,2$. Tuttavia:



- **Nel corso dell'evento del 07/06/2018** le perdite iniziali sono state sicuramente estremamente contenute (considerate le condizioni di saturazione del terreno, l'estensione della copertura bruciata e il deposito della coltre di ceneri superficiali). Date le elevatissime condizioni di saturazione del terreno superficiale e l'incapacità della copertura di trattenere gli afflussi meteorici, si è scelto di assegnare un valore di α inferiore rispetto ai classici valori previsti da letteratura: $\rightarrow \alpha = 0,05$;
- Tali condizioni parossistiche non possono tuttavia essere assunte anche per **piogge di progetto previste anche nel prossimo futuro** con differenti tempi di ritorno: considerando che la vegetazione sta già rapidamente ricoprendo le superfici bruciate ma i tempi per il ripristino di quella ad alto fusto saranno lunghi, si è assunto un coefficiente α intermedio rispetto ai valori suggeriti da letteratura $\rightarrow \alpha = 0,15$.

Tabella 6 – Valori delle perdite iniziali I_a in condizione AMC III

Bacino	Analisi	I_a
Rio Reforno	Evento del 07/06/2018	1,0
Rio Reforno	Pioggia eventi di progetto	9,2



3. ANALISI IDROLOGICA

Nel seguente paragrafo si riporta l'analisi idrologica condotta al fine di determinare l'idrogramma di piena e le condizioni di saturazione e capacità di infiltrazione del bacino del rio Baccias/Reforno al momento dell'evento di colata di detrito avvenuto nel primo pomeriggio del 07/06/2018 e il conseguente debris-gramma.

Inoltre, sono state condotte le analisi idrologiche per la determinazione dell'idrogramma di progetto secondo condizioni di saturazione e capacità di ritenzione del bacino del rio Baccias/Reforno prossime future, procedendo pertanto al calcolo dell'idrogramma di piena per Tempi di ritorno dell'evento di 10, 20, 50, 100 e 200 anni.

3.1 RICOSTRUZIONE DELL'EVENTO PLUVIOMETRICO DEL 07/06/2018

L'evento pluviometrico che ha colpito il bacino del Comba delle foglie nel primo pomeriggio del 07/06/2018 è stato determinato da una cella temporalesca estremamente concentrata, che si è abbattuta principalmente sui monti a nord del conoide di Bussoleno e Chianocco, interessando anche bacino idrografico in oggetto.

Le analisi condotte da ARPA Piemonte e riportate nel rapporto di evento indicano quanto segue:

“Analizzando in dettaglio le piogge stimate da radar (Figura 22), è stata identificata una cella temporalesca, formatasi intorno alle 11:45UTC sul comune di Chianocco e zone limitrofe e transitata sul bacino in oggetto tra le 11:55 e le 12:25UTC. In Figura 4 sono riportate le mappe con l'evoluzione della cella temporalesca nella zona di Bussoleno. L'intensità di precipitazione stimata da radar sul bacino considerato presenta dei picchi molto intensi compresi tra 60 e 100mm/h alle 12:00UTC. Alcuni valori di poco superiori a 100 mm/h possono indicare la probabile presenza di graupel (grandine molle) alla quota delle osservazioni. L'intensità di precipitazione si è mantenuta oltre i 30-50mm/h fino alle 12:10 UTC. Successivamente la cella temporalesca si è spostata verso Nord-Ovest, con una conseguente riduzione dell'intensità sul bacino del Rio delle Foglie. Quindi tra le ore 14:00 e le ore 14:10 (ora locale) sono caduti circa 10 mm con un'intensità di 60mm/h. La mappa in Figura 3 riporta la stima della cumulata di pioggia al suolo relativa all'intervallo 11:55 – 12:25UTC. Si nota un massimo di circa 15mm (verde chiaro) sul bacino interessato dal mud-debris flow (Rio delle Foglie), corrispondente ad una intensità di precipitazione media di circa 30 mm/h durante 30 minuti. L'analisi statistica delle precipitazioni dell'evento ha evidenziato che le durate più critiche sono state quelle dei 10 minuti e della mezz'ora; infatti sui dieci minuti sono stati registrati circa 10mm e in mezz'ora circa 15mm. Tali quantitativi sono corrispondenti ad un tempo di ritorno di 5 anni”.

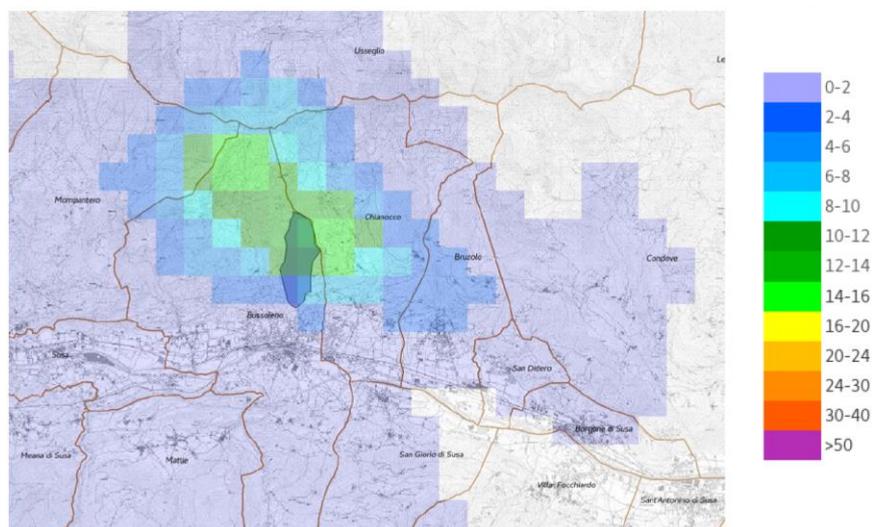
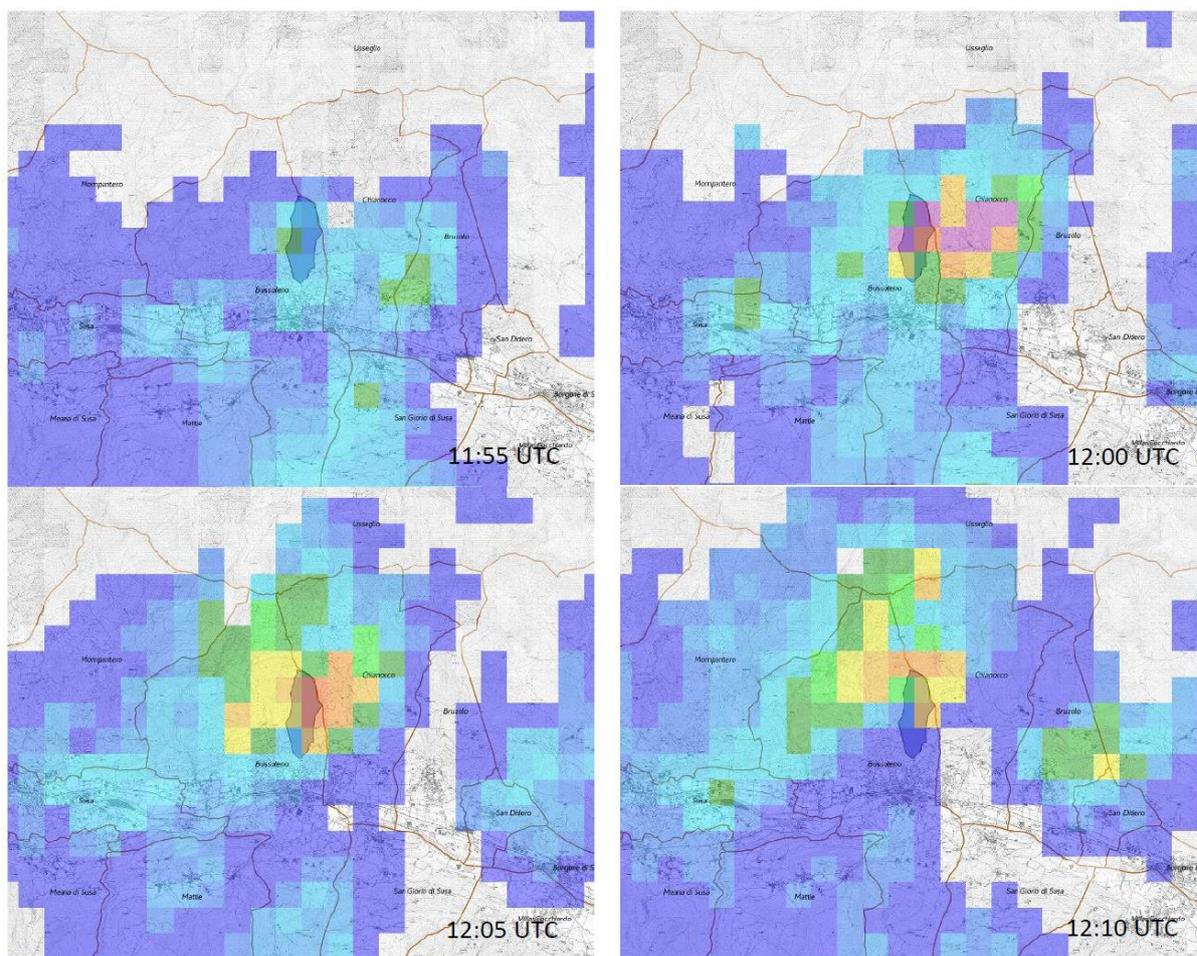


Figura 3 - Cumulata al suolo stimata da radar relativa all'intervallo di tempo 11:55 – 12:25 UTC del 07/06/2018, derivata dall'analisi delle osservazioni a 2.0deg. L'area del bacino del Rio delle Foglie è evidenziata al centro dell'immagine



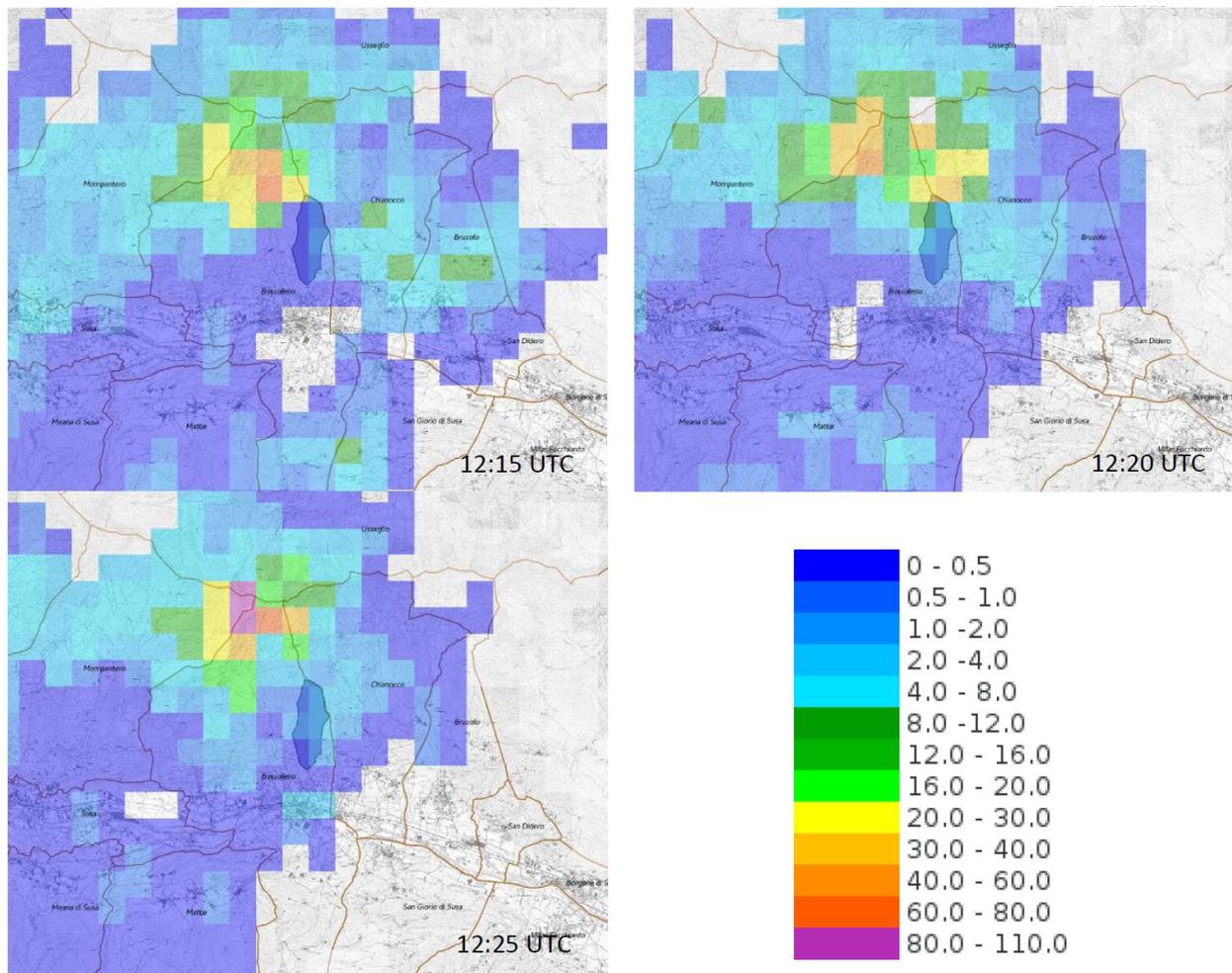


Figura 4 – Intensità oraria di precipitazione stimata dal radar di Bric della Croce tra le 11:55 e le 12:25 UTC. Le osservazioni utilizzate provengono dall'elevazione di 2.0deg e corrispondono ad una quota di circa 250 m s.l.m. nell'area considerata. L'area del bacino del Rio delle Foglie è evidenziata al centro dell'immagine.

Sulla base di tali indicazioni si è proceduto alla ricostruzione dell'evento pluviometrico (cfr. Figura 5).

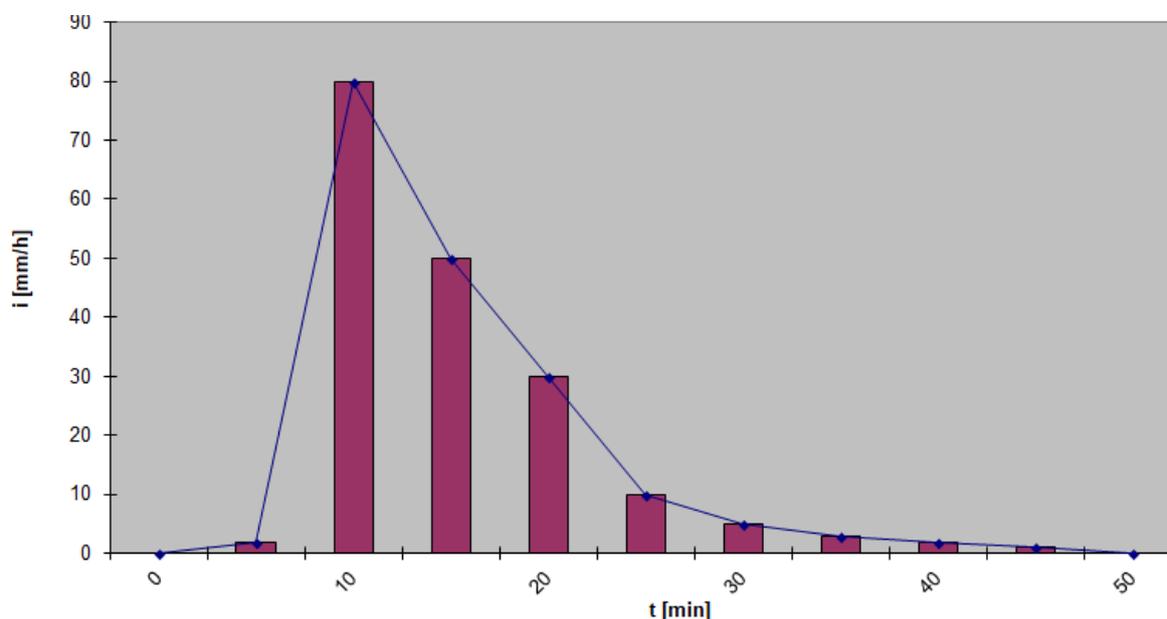


Figura 5 – Ietogramma preliminare dell'evento pluviometrico del 07/06/2018 ricostruito sulla base delle indicazioni fornite da Arpa Piemonte nel rapporto di evento

3.2 PLUVIOGRAMMI DI PROGETTO PER EVENTI DI VARI TEMPI DI RITORNO

3.2.1 Curve di massima possibilità pluviometrica

Il calcolo del pluviogramma di progetto per differenti tempi di ritorno è stato elaborato sulla base delle *curve di massima possibilità pluviometrica*, rappresentata dalla funzione:

$$h = a t^n$$

avendo indicato con

- h l'altezza di precipitazione misurata in mm;
- t il tempo di pioggia in ore;
- a e n parametri della curva, definiti attraverso l'analisi del campione di altezze di precipitazione utilizzando leggi di regolarizzazione statistica.

Per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica si è fatto riferimento ai valori dei coefficienti delle celle omogenee rappresentative dell'area del bacino idrografico individuate da Arpa Piemonte sulla base dell'analisi di serie storiche dei massimi di pioggia per 10', 20', 30', 1h, 3h, 6h, 12h e 24h, considerando i valori di altezze di pioggia calcolate con metodo GEV (valori maggiormente cautelativi per le durate di pioggia di interesse). Il calcolo dei valori di altezze di pioggia medie è stato condotto, in particolare, mediando sui valori dei differenti tempi di pioggia calcolati per i vari tempi di ritorno di 4 celle rappresentative dell'intero bacino idrografico.



Il grafico delle curve di possibilità pluviometriche così determinate è riportato in Figura 6, mentre in Tabella 7 e Tabella 8 si riportano i valori del coefficiente a e dell'esponente n delle curve di possibilità pluviometrica. Si rimanda inoltre all'ALLEGATO 2 per maggiori dettagli.

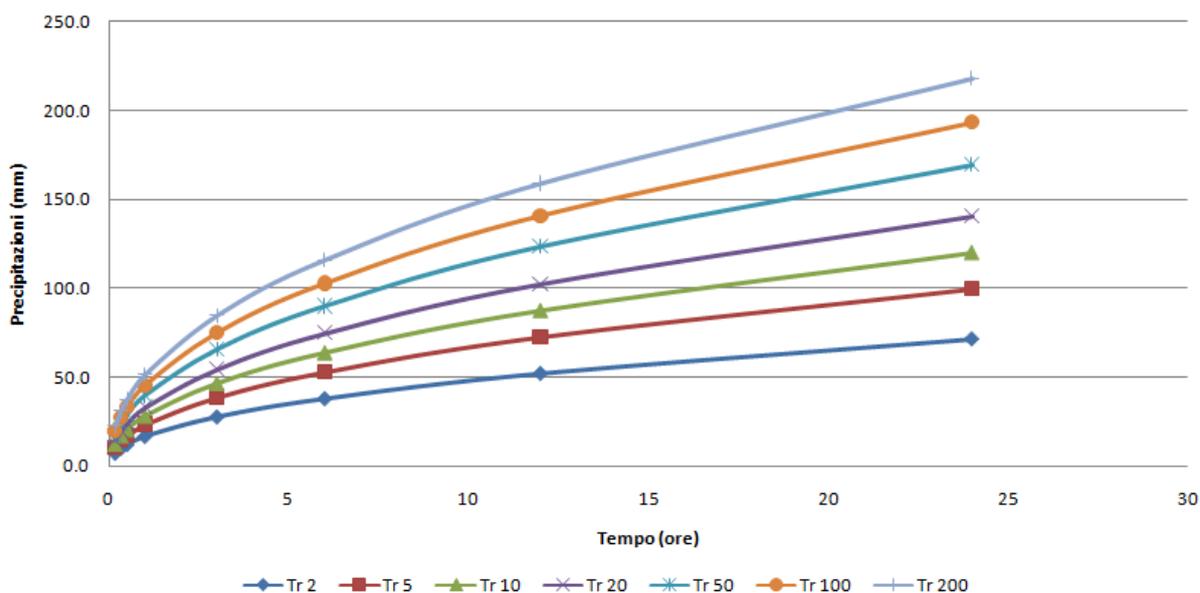


Figura 6 – Curve di possibilità pluviometrica calcolate per il bacino del rio Reforno

Tabella 7 – Altezze di pioggia per differenti tempi di ritorno (media di dati GEV Arpa Piemonte su 4 celle caratteristiche del bacino idrografico del rio Reforno)

Durata	Tempo di ritorno in anni						
	2	5	10	20	50	100	200
10 minuti	7,4	10,3	12,4	14,6	17,6	20,0	22,6
20 minuti	10,2	14,2	17,1	20,1	24,2	27,6	31,1
30 minuti	12,3	17,1	20,6	24,2	29,2	33,2	37,5
1 ora	16,8	23,5	28,2	33,2	40,0	45,5	51,4
3 ore	27,7	38,6	46,5	54,5	65,8	74,9	84,5
6 ore	37,9	52,9	63,7	74,8	90,2	102,7	115,8
12 ore	51,9	72,5	87,3	102,5	123,7	140,7	158,9
24 ore	71,2	99,4	119,8	140,6	169,6	193,0	217,9



Tabella 8 - Valori del coefficiente a ed esponente n determinati con le leggi di regolarizzazione dei dati pluviometrici

	Tempo di ritorno in anni						
	2	5	10	20	50	100	200
a	16,76	23,40	28,19	33,09	39,92	45,42	51,27
n	0,455	0,455	0,455	0,455	0,455	0,455	0,455

Confrontando i valori delle altezze di pioggia che hanno interessato il bacino del rio Reforno durante l'evento del 07/06/2018 ($h_{max} = 10$ mm in 10 min, cfr. §3.1) con le altezze attese calcolate per differenti tempi di ritorno dell'evento pluviometrico si evince come il temporale che ha dettato la formazione della gravosa colata di detrito non sia stato particolarmente intenso (TR di circa 5 anni).

3.2.2 Ietogramma Chicago

Una volta definiti i parametri pluviometrici, occorre calcolare la “pioggia di progetto” che caratterizza, per il bacino in studio, il manifestarsi di un evento meteorico intenso e conseguentemente un evento di piena.

La pioggia di progetto rappresenta un evento ipotetico che, per assegnato tempo di ritorno, presenta una particolare distribuzione temporale delle precipitazioni.

In generale, lo ietogramma può essere caratterizzato da un andamento rettangolare (che presuppone un'intensità costante di precipitazione durante tutto l'evento) o triangolare (in cui si assume un'intensità variabile ed impulsiva nel corso dell'evento). Nel presente studio si è fatto ricorso ad uno ietogramma triangolare, denominato ietogramma Chicago.

Assegnato il tempo di ritorno all'evento che si vuole rappresentare con ietogramma, si assume come tempo di pioggia t_p un valore pari a circa il doppio del T_c : si garantisce, così, che l'intero bacino contribuisca alle portate della sezione di chiusura. La ricostruzione dello ietogramma di tipo Chicago presuppone che durante l'evento, l'intensità di pioggia non sia costante: presenta un picco, la cui posizione dipende dal tipo di trasformazione afflussi – deflussi scelta.

Lo ietogramma Chicago si basa sul rispetto della curva di massima possibilità pluviometrica: la massima intensità media di precipitazione per ciascuna durata coincide con il valore ricavato dalla curva di massima possibilità pluviometrica di adeguato tempo di ritorno. Per il bacino in studio si sono ricavati gli ietogrammi Chicago, relativi a tempi di ritorno di 5, 10, 20, 50, 100, 200 anni per un evento ipotetico con durata pari al doppio del tempo di corruzione del bacino ed intensità variabile. I grafici associati sono riportati in ALLEGATO 3. Nella figura seguente è riportato lo ietogramma Chicago calcolato per un evento pluviometrico di T_r 100 anni.

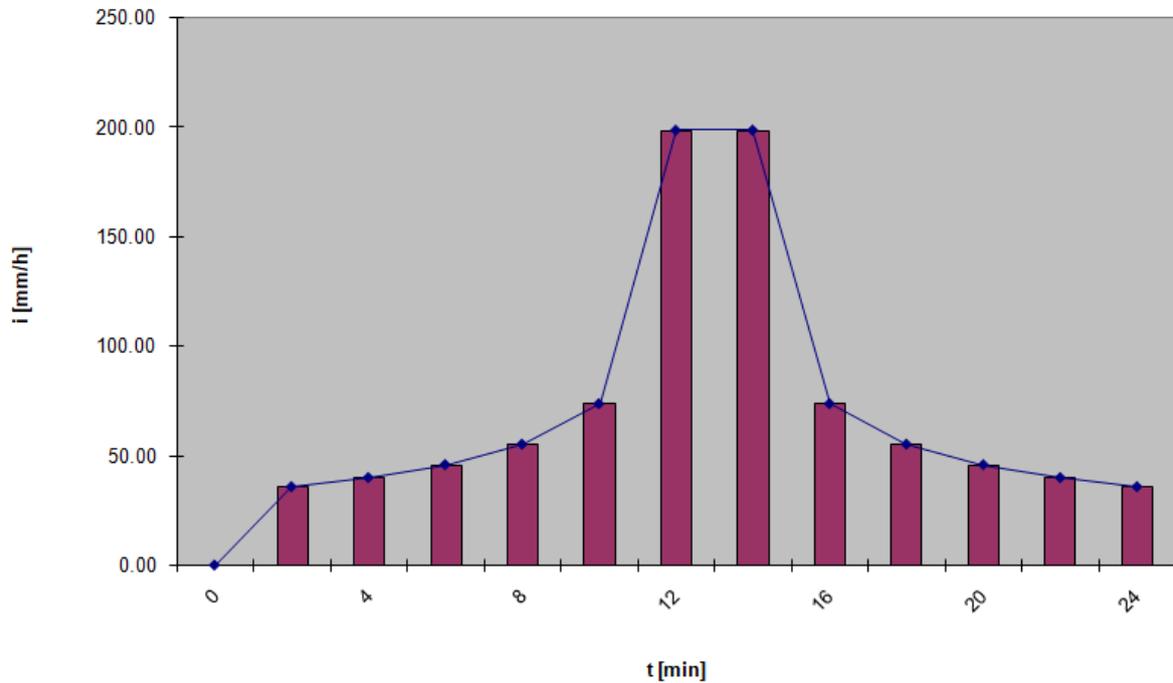


Figura 7 - Ietogramma Chicago calcolato per Tr 100 anni con tempo di pioggia (24 min) pari a 2 volte il tempo di corrivazione



4. CALCOLO DELLE PORTATE LIQUIDE AL COLMO

4.1 APPROCCIO METODOLOGICO

L'analisi idrologica è mirata alla definizione delle portate che verosimilmente hanno interessato il bacino del rio Reforno durante l'evento del primo pomeriggio del 07/06/2018 e per la definizione delle piogge di progetto per le analisi e le verifiche idrauliche degli interventi in progetto.

Per la definizione delle portate di piena ad assegnati tempi di ritorno, sono state applicate due differenti metodologie:

- Il metodo razionale;
- Un approccio modellistico numerico basato sulla trasformazione afflussi-deflussi (HEC-HMS), partendo dai dati di precipitazione disponibili.

Sulla base dei risultati ottenuti, sono poi stati considerati i risultati maggiormente cautelativi e rappresentativi delle analisi svolte.

4.1.1 Formula razionale

La formula razionale è una delle formulazioni più note e validate in letteratura (formula razionale), basata sul *metodo della corrivazione* e raccomandata anche nella *“Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica”* proposta dall'Autorità di Bacino nelle Norme di Attuazione del PAI, per il calcolo delle portate di piena in bacini idrografici di piccole dimensioni. La formula è quella di seguito riportata:

$$Q_{max} = \frac{c \cdot V}{3600 \cdot T_c}$$

dove:

- T_c è il tempo di corrivazione, imposto eguale alla durata della pioggia critica t_c ;
- c è il coefficiente di deflusso;
- V il volume affluito sul bacino (m^3).

Il modello assume che la precipitazione sia uniformemente distribuita nel tempo e nello spazio e si basa sulla curva di massima possibilità climatica. La portata al colmo dipende essenzialmente dal volume d'acqua affluito sul bacino durante l'evento meteorico e dalle caratteristiche fisiche e morfologiche del bacino stesso. La precipitazione è ricavata direttamente dalla curva di massima possibilità climatica calcolata secondo la metodologia precedentemente illustrata con un'intensità costante per tutto l'evento, assumendo una durata pari al tempo di corrivazione del bacino in esame (risulta così garantito che l'intero bacino contribuisca alla formazione dei deflussi alla sezione di chiusura).



Il coefficiente di deflusso (o di riduzione) “c” consente di determinare le precipitazioni efficaci, che contribuiscono effettivamente alla formazione del deflusso in corrispondenza della sezione di chiusura. Si ipotizza che la restante parte dia luogo a perdite (rappresentate essenzialmente dai termini legati ad infiltrazione, evapotraspirazione,...), o che giunga “in ritardo” alla sezione di chiusura, non contribuendo così al picco di portata. Nella succitata Direttiva dell’Autorità di Bacino sono forniti dei valori indicativi per il coefficiente c (vedi Tabella 9). Sulla base di questi valori, è stato valutato il coefficiente di deflusso, sebbene il valore utilizzato sia stato incrementato rispetto ai range proposti per considerare il deflusso sull’area urbanizzata.

Anche in questo caso occorre considerare due scenari:

- Evento del 07/06/2018, caratterizzato da suolo fortemente imbibito, con copertura arborea in gran parte del bacino bruciata → $c = 0,4$;
- Evento meteorico di progetto atteso (parziale rivegetazione del bacino) → $c = 0,2$.

Tabella 9 – Valori del coefficiente di deflusso suggeriti dall’Autorità di Bacino

Tipo di suolo	Coefficiente di deflusso c		
	Coltivato	Pascolo	Bosco
Suolo con infiltrazione elevata, normalmente sabbioso o ghiaioso	0,20	0,15	0,10
Suolo con infiltrazione media, senza lenti argillose; suoli limosi o simili	0,40	0,35	0,30
Suolo con infiltrazione bassa, suoli argillosi e suoli con lenti argillose vicino alla superficie, strati di suolo sottile al di sopra di roccia permeabile	0,50	0,45	0,40

Alla luce di tali considerazioni ed in funzione delle intensità di pioggia calcolate per l’evento del 07/06/2018 e attese per eventi pluviometrici di tempi di ritorno crescenti, si sono determinati i seguenti valori delle portate liquide al colmo (cfr. Tabella 10).

Tabella 10 – Portate liquide al colmo calcolate con metodo razionale

Evento pluviometrico	Q_{MAX} [m ³ /s]
Evento del 07/06/2018	4,3
TR 2 anni	2,9
TR 5 anni	4,1
TR 10 anni	4,9
TR 20 anni	5,7
TR 50 anni	6,9
TR 100 anni	7,9
TR 200 anni	8,9



4.1.2 Modello numerico afflussi-deflussi

Per la determinazione della portata di piena, conseguente ad un evento meteorico intenso, si è fatto inoltre ricorso ad un modello di trasformazione afflussi-deflussi numerico HEC – HMS (Hydrologic Modeling System), derivato da un codice di calcolo elaborato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers.

Il software consente il calcolo dell'idrogramma di piena, definite le principali caratteristiche del bacino e in funzione dello ietogramma dell'evento pluviometrico. Il reticolo idrografico è rappresentato come una serie di elementi idrologicamente interconnessi; per ciascun elemento devono venir specificati i seguenti parametri: le perdite iniziali, il metodo di trasformazione adottato ed il flusso di base.

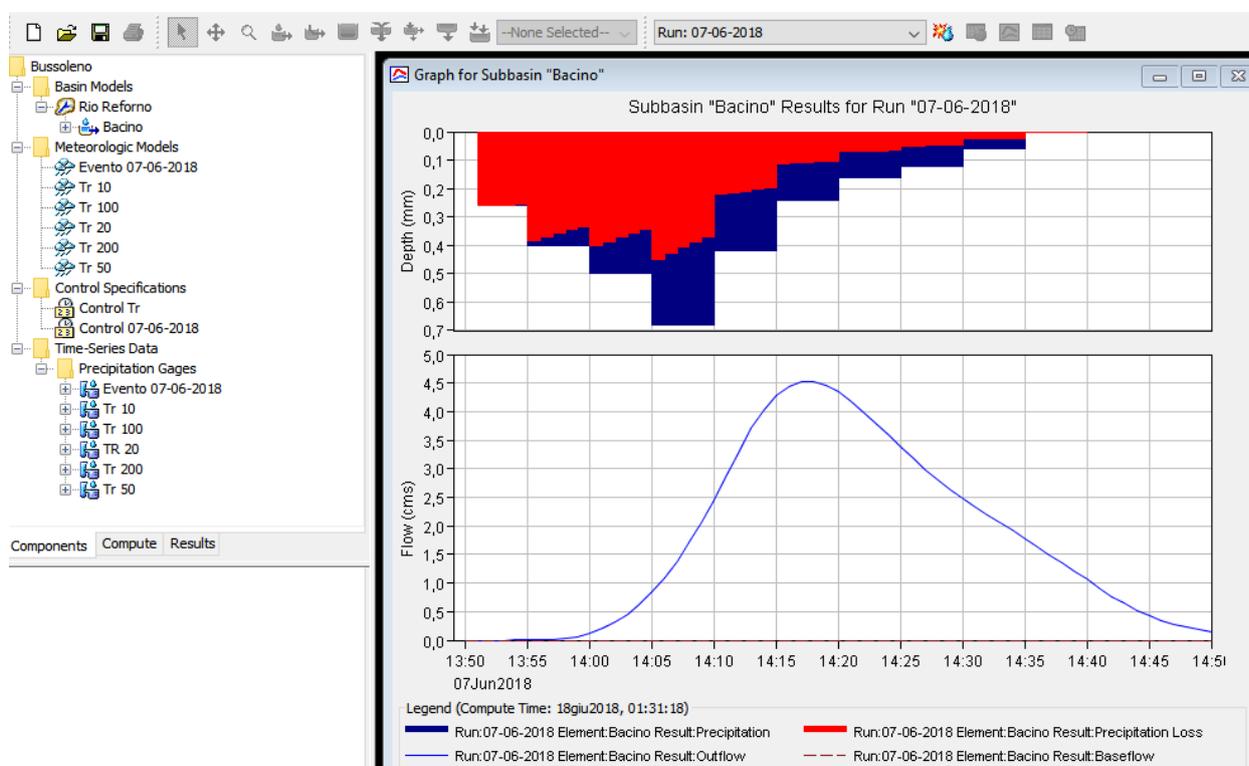


Figura 8 – Allestimento del modello di simulazione afflussi-deflussi con software HEC-HMS per il calcolo dell'idrogramma di piena per l'evento del 07/06/2018 e per eventi pluviometrici attesi per vari tempi di ritorno

Il modello afflussi - deflussi consente il calcolo dell'idrogramma di piena, definite le principali caratteristiche del bacino. Il reticolo idrografico è rappresentato come una serie di elementi idrologicamente interconnessi; per ciascun elemento devono essere specificati i seguenti parametri:

- le perdite iniziali;
- il metodo di trasformazione adottato;
- il flusso di base.



Per determinare le perdite iniziali (ossia la parte di precipitazione che non dà luogo a deflusso superficiale ma viene persa in intercettazione, infiltrazione, evapotraspirazione etc.) si possono utilizzare diverse metodologie che richiedono in ingresso, però, parametri di difficile determinazione. Nell'applicare il modello HEC – HMS ai bacini in studio, si è optato per il metodo sviluppato dal S.C.S., che richiede solo la conoscenza del numero adimensionale CN e delle perdite iniziali I_0 , i cui valori sono stati definiti per ciascun scenario di simulazione al §2.3, al quale si rimanda.

Il metodo di calcolo utilizzato per valutare la trasformazione afflussi – deflussi è quello elaborato dal Soil Conservation Service, che richiede la conoscenza del tempo di ritardo (t_{lag}):

$$t_{lag}=0,6 T_c \text{ (minuti)}$$

dove T_c indica il tempo di corrivazione del bacino, calcolato al §2.2.

Il codice di calcolo consente, inoltre, la scelta tra diverse opzioni per la definizione dell'idrogramma unitario; questo, infatti, può essere fornito direttamente oppure descritto in funzione dei parametri di Clark, Snyder o dell'SCS (Soil Conservation Service). Nel presente studio si è utilizzata la tecnica elaborata dal S.C.S., che si basa sull'idrogramma unitario sintetico.

Analogamente a quanto determinato con il metodo razionale, con il codice HEC-HMS si è al calcolo dell'idrogramma di piena per il bacino del rio Reforno secondo i seguenti due scenari:

- Evento meteorico e condizioni di deflusso ed infiltrazione superficiale caratteristici del 07/06/2018;
- Calcolo dell'idrogramma di piena per un evento prossimo futuro caratterizzato da tempi di ritorno di 10, 20, 50, 100, 200 anni.

Rimandando per il dettaglio numerico all'ALLEGATO 5, si riporta nel seguito la tabella di sintesi delle portate al colmo calcolate con il software HEC-HMS e l'andamento degli idrogrammi di piena più significativi.

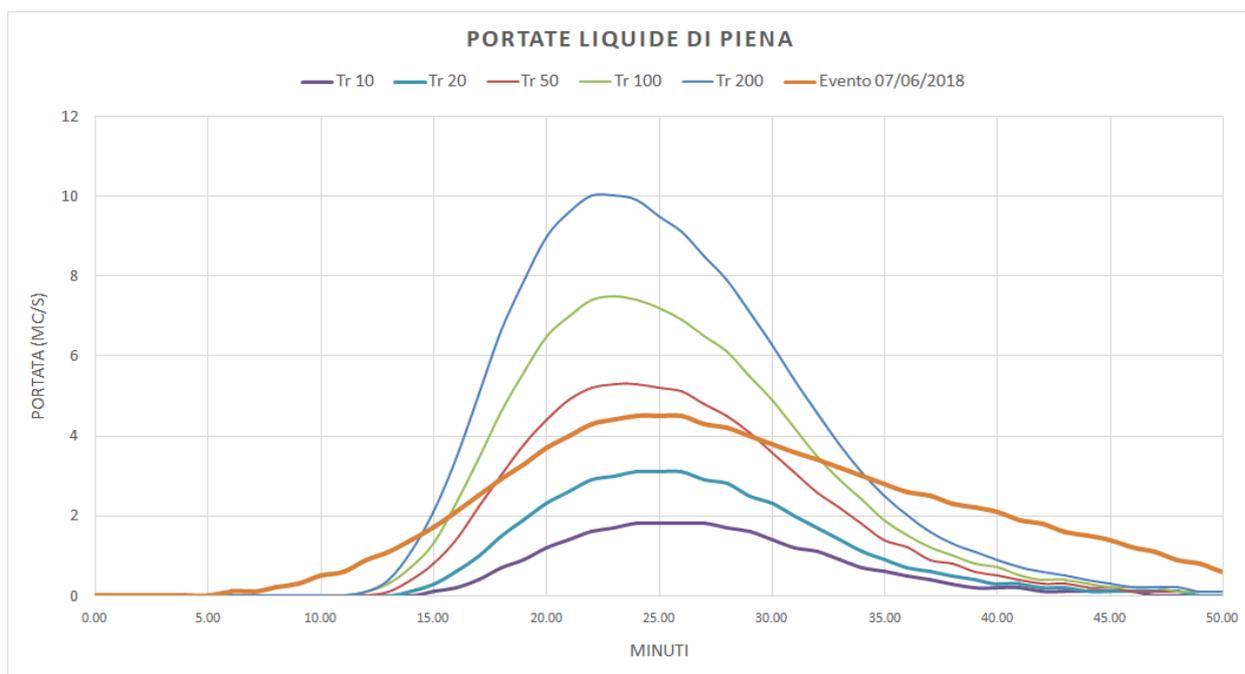


Figura 9 – Idrogrammi di piena calcolati con il modello HEC-HMS per eventi pluviometrici attesi per differenti tempi di ritorno e per l'evento del 07/06/2018

Tabella 11 - Portate liquide al colmo calcolate con il software HEC-HMS

Evento pluviometrico	Q _{MAX} [m ³ /s]
Evento del 07/06/2018	4,5
TR 10 anni	1,8
TR 20 anni	3,1
TR 50 anni	5,3
TR 100 anni	7,5
TR 200 anni	10,0

4.2 DEFINIZIONE DELLE PORTATE LIQUIDE DI PIENA DEL RIO BACCIAS/REFORNO

Confrontando in Tabella 12 i risultati ottenuti per i vari tempi di ritorno utilizzando il Metodo Razionale e il metodo afflussi-deflussi, è possibile illustrare le seguenti osservazioni.

- Le portate al colmo per l'evento del 06/07/2018 calcolate con i due metodi sono del tutto simili tra loro e dell'ordine di 4,5 m³/s;
- Portate calcolate con modello HEC-HMS per tempi di ritorno inferiori a 100 anni sono più basse rispetto a quelle calcolate con metodo razionale, mentre portate superiori a Tr 100 sono leggermente superiori se calcolate con modello afflussi-deflussi; ciò poiché il metodo razionale considera, al variare dei tempi di ritorno, un coefficiente di deflusso costante, mentre il modello afflussi deflussi, considerando le perdite



iniziali al perdurare dell'evento pluviometrico, determina gli efflussi con un grado di approfondimento superiore;

- Il modello HEC-HMS, implementato con lo ietogramma di progetto dell'evento, consente la restituzione non soltanto del valore di picco della portata, ma dell'intero idrogramma liquido di piena rappresentativo dell'evento.

Tabella 12 – Sintesi dei risultati per il calcolo della portata al colmo di piena per differenti tempi di ritorno dell'evento – Metodo Razionale e modello afflussi deflussi

TEMPO DI RITORNO	METODO RAZIONALE	AFFLUSSI-DEFLUSSI HEC-HMS
Evento del 07/06/2018	4,3	4,5
TR = 10 ANNI	4,9	1,8
TR = 20 ANNI	5,7	3,1
TR = 50 ANNI	6,9	5,3
TR = 100 ANNI	7,9	7,5
TR = 200 ANNI	8,9	10,0

Alla luce di quanto esposto si ritengono maggiormente rappresentativi i risultati delle simulazioni condotte con il modello afflussi-deflussi. Le analisi illustrate nel seguito per il calcolo delle portate di trasporto solido iperconcentrato hanno pertanto fatto riferimento a questi ultimi.

Si segnala inoltre, come il picco di portata liquida calcolato all'apice di conoide del rio Reforno per l'evento del 07/06/2018 sia rappresentativo di un evento di piena atteso di Tr compreso tra 20 e 50 anni.



5. CALCOLO DEL TRASPORTO SOLIDO IPERCONCENTRATO

L'evento pluviometrico che ha interessato il bacino del rio Baccias/Reforno nel primo pomeriggio del 07/06/2018 è culminato nella formazione di una colata di fango e detriti che ha investito il conoide del Comune di Bussoleno, per effetto prima dell'erosione superficiale di ampie zone di testata del bacino e, successivamente per la presa in carico di materiale solido anche dall'alveo del torrente (man mano che la colata procedeva verso valle), portando alla messa a nudo del substrato roccioso in numerosi punti dell'asta torrentizia. Il materiale preso in carico era di natura prevalentemente terrosa e con elevata presenza di ceneri e detriti ligei combustibili legate all'incendio dell'ottobre 2017 (per maggiori approfondimenti si rimanda alla *Relazione descrittiva e Relazione geologica* di Elab. 02 e 03).

Dall'analisi dello stato dei luoghi attuale, pare comunque non escludibile che un evento pluviometrico di analoga intensità o di intensità superiore possa portare a fenomeni di erosione superficiale e alla presa in carico di materiale solido potenzialmente erodibile e mobilizzabile ancora presente lungo l'asta del torrente e sui versanti dell'impluvio, con connessa formazione di nuove colate iperconcentrate di detrito o di fango (mud e/o debris flow).

Le colate di trasporto solido iperconcentrato si verificano in particolare in condizioni di forte pendenza dell'alveo e di elevata presenza di materiale solido mobilizzabile di varia pezzatura (condizioni che si sono presentate il 07/06/2018 e potenzialmente ripresentabili per un evento pluviometrico intenso).

La variazione tipologica di trasporto solido dalla condizione ordinaria alla condizione di trasporto iperconcentrato è discriminata dall'altezza della corrente interessata dal trasporto di materiale solido e da quella non interessata o, più specificatamente, interessata esclusivamente dal trasporto di materiale di minutissime dimensioni. Nelle condizioni di trasporto solido ordinario, altrimenti definito bed-load, lo spessore dello strato di corrente caratterizzato dal fenomeno di trasporto solido di fondo è dello stesso ordine di grandezza delle dimensioni del materiale solido trasportato, il cui moto avviene per salti, strisciamenti o rotolamenti. Nelle condizioni di trasporto solido iperconcentrato, che si discriminano a loro volta nella formazione di immature o mature debris flow, si ha un trasporto solido all'interno dello spessore dello strato di corrente che è sensibilmente superiore rispetto alle dimensioni delle particelle veicolate e che, al limite, può interessare tutto lo strato di corrente.

I comportamenti di una colata dipendono in maniera predominante dalla reologia del materiale interessato, grandezza che può variare nel corso dell'evento e da un punto all'altro dell'asta torrentizia. Dallo studio di fenomeni di colata, è emerso come nella maggioranza dei casi essi si presentino in occasione di eventi pluviometrici di particolare intensità, preceduti o non da periodi di pioggia. Tuttavia è importante notare come i fenomeni di colata si possano presentare sotto forma di un'unica onda o di più onde successive di intensità variabile.

5.1 MECCANICA DELLA MOBILIZZAZIONE E DEL MOVIMENTO DELLA COLATA

I diversi meccanismi di mobilizzazione dei sedimenti ed i campi di esistenza di ciascuna tipologia di corrente emergono analizzando un ammasso granulare saturo di spessore D , composto di particelle non coesive di densità ρ_s , con angolo di attrito interno pari a ϕ e granulometria uniforme sulla quale defluisce una corrente idrica in moto uniforme che esercita uno sforzo τ_0 sull'ammasso assunto in quiete. È definita come concentrazione di massimo impaccamento C^* la concentrazione di volume delle particelle nell'ammasso in condizioni statiche.

Dall'osservazione e dall'analisi matematica si rileva come le forze destabilizzanti siano riconducibili a:

- lo sforzo idrodinamico di fondo;
- il peso del materiale solido;
- il peso dell'acqua interstiziale nell'ammasso.

Le forze stabilizzanti dell'ammasso sono invece funzione essenzialmente dell'attrito del materiale, e quindi del peso dello stesso.

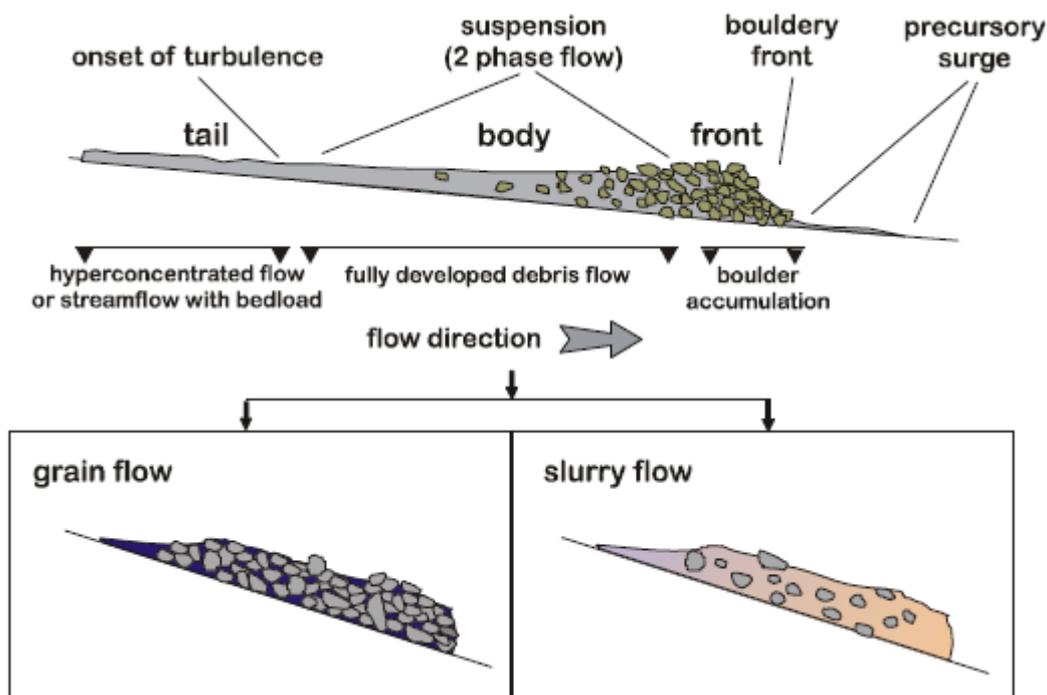


Figura 10 – Schema grafico di un'onda di debris flow



Non approfondendo ulteriormente l'analisi teorica, è utile evidenziare come i meccanismi di mobilitazione delle correnti iperconcentrate, siano esse immature o mature debris flow, sono differenti da quelli che caratterizzano il classico trasporto di fondo.

Nella maggior parte dei casi, quando il processo di formazione è dovuto alla sollecitazione di una corrente defluente su un ammasso di materiale incoerente saturo, ciò che controlla e limita il processo di erosione è la presenza di uno strato staticamente instabile.

Nel processo di formazione la corrente va caricandosi di materiale attraverso la progressiva destabilizzazione di tale strato. Al crescere della concentrazione il suo spessore va riducendosi fino ad annullarsi e la corrente detritica raggiunge la condizione di equilibrio, definita dalla relazione di Takahashi e denominata condizione di saturazione.

$$C = \alpha \frac{\rho \cdot \tan \theta}{(\rho - \rho_s)(\tan \varphi - \tan \theta)^\gamma}$$

Con C concentrazione di equilibrio della colata, α e γ parametri empirici e le altre grandezze definite precedentemente.

5.2 METODOLOGIA DI CALCOLO PER LA DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI PICCO DELLA COLATA DI DETRITO

Uno degli aspetti determinanti per l'analisi di un fenomeno di colata detritica, nell'ottica di una corretta definizione dei fenomeni che potenzialmente si possono manifestare, è rappresentato dalla costruzione del "debrisgramma", ovvero del grafico che rappresenta la variazione di portata della colata nel tempo o dalla determinazione dell'entità del picco di portata in corrispondenza di un evento pluviometrico parossistico.

Le caratteristiche e l'entità del debrisgramma e della portata di picco del fenomeno di colata dipendono in generale dall'apporto di portata liquida dell'evento a cui sono correlate, ovvero dall'idrogramma di piena.

L'analisi idrologica è pertanto propedeutica allo studio dei fenomeni di colate detritiche: una volta ottenuto l'idrogramma della portata liquida corrispondente ad un prefissato T_r si è in grado di stimare la portata di picco del fenomeno di colata utilizzando le metodologie ed i criteri proposti in letteratura.

La metodologia considerata per il calcolo della portata di picco di un debris flow è quella proposta da Takahashi nel 1991:

$$Q_{d \max} = Q_{l \max} \cdot \frac{C^*}{C^* - C}$$

La formula è altrimenti esprimibile come:

$$Q_{d \max} = Q_{l \max} \cdot k$$



$$k = \frac{C^*}{C^* - C}$$

dove con C^* si indica la concentrazione di massimo impaccamento o la concentrazione statica dei sedimenti, ossia la concentrazione prima che l'ammasso si mobiliti, come definito precedentemente.

Le formulazioni per il calcolo della C , ossia della concentrazione solida volumetrica all'equilibrio del fronte stazionario, sono funzioni essenzialmente delle caratteristiche geomeccaniche del sedimento e della pendenza dell'alveo, oltre che della densità dell'acqua e della densità del solido. Inoltre, esse sono funzione anche del valore della concentrazione statica C^* .

Il picco di debris flow è invece determinato in corrispondenza del massimo valore di portata idrica.

5.3 CALCOLO DELLA PORTATA DI PICCO PER L'EVENTO DI MUD/DEBRIS FLOW DEL 07/06/2018

Il calcolo della portata di picco della colata di fango che ha interessato il concentrico di Bussoleno il 07/06/2018 è stato effettuato applicando la metodologia descritta precedentemente.

Come è emerso nell'analisi metodologica, parametro di interesse per la determinazione della concentrazione di equilibrio della colata è la pendenza dell'alveo. Dall'analisi del bacino si è evidenziato come tutta l'asta del rio Reforno sia caratterizzata da pendenze estremamente elevate, mentre la disponibilità dei sedimenti è stata fornita nel corso dell'evento da erosione superficiale del materiale reso ormai incoerente dall'incendio di fine ottobre 2017 (essendo venuta meno l'azione stabilizzante dettata dagli alberi).

Le formulazioni maggiormente utilizzate in letteratura forniscono valori di concentrazione di equilibrio della colata compresi tra 0,65 (valore massimo teorico della colata praticamente mai raggiungibile) e 0,47.

Tabella 13 – Valori della concentrazione di equilibrio della colata (Takahashi, Ou-Mizuyama)

Concentrazione di equilibrio Takahashi	Concentrazione di equilibrio Ou-Mizuyama
<0,65	0,47

Tuttavia, vista l'incertezza legata alla determinazione del parametro di concentrazione di equilibrio della colata, si è proceduto alla stima del colmo di piena per via indiretta, in funzione della sezione di deflusso rilevata dai segni lasciati dalla colata in alcune sezioni dell'alveo e dalla velocità attesa in tali sezioni. Tali valutazioni sono estremamente complesse, vista l'incognita legata alla velocità di deflusso della colata (strettamente legata alla reologia del materiale) ed alla difficoltà di caratterizzazione dal punto di vista fisico di tali tipi di evento.



Figura 11 – Sezione poco a monte della cascata ubicata a ridosso del conoide. La colata presenta una sezione di ampiezza pari a circa 20-30 m²

Alla luce delle considerazioni espresse in ragione della sezione della colata rilevata in alcune sezioni dell'alveo e della velocità di deflusso che presumibilmente aveva la stessa durante l'evento (dell'ordine di alcuni metri al secondo, in funzione della sezione di deflusso e della pendenza locale dell'alveo), **si ritiene attendibile una stima del colmo di piena per l'evento di mud/debris-flow del 07/06/2018 in circa 60-100 m³/s.**

Tali valori di portata sarebbero rappresentativi di una concentrazione di equilibrio *C* della colata compreso tra 0,6 e 0,62, valore pienamente coerente con la formulazione di Takahashi.

5.3.1 Debrisgramma dell'evento del 06/07/2018

In funzione dell'andamento dell'idrogramma di portata liquida calcolato con il modello afflussi-deflussi (cfr. §4.1.2) si è proceduto al calcolo del debrisgramma ipotizzando i due valori di concentrazione di equilibrio indicati al paragrafo precedente, come riportato nella tabella seguente.

Tabella 14 – Portate di picco della colata di mud-flow relativa all'evento del 07/06/2018 calcolate in funzione della portata liquida dell'idrogramma di piena individuata con modello afflussi deflussi e della concentrazione di equilibrio della colata.

Scenario	Portata liquida di picco da modello HEC-HMS (m ³ /s)	Concentrazione di equilibrio (-)	Portata di picco di mud-flow (m ³ /s)
1	4,5	0,6	58,5
2	4,5	0,62	97,5



Le curve di debrisgramma calcolate per i due scenari sono di seguito riportate.

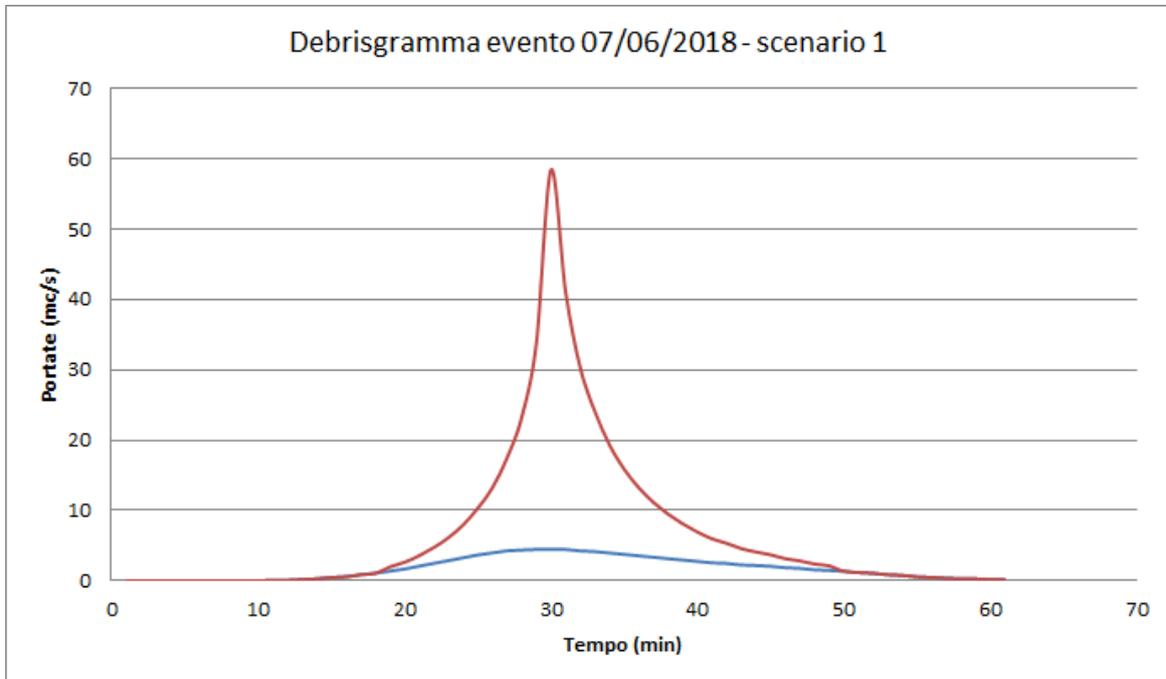


Figura 12 – Debrisgramma dell'evento del 07/06/2018 – Scenario 1

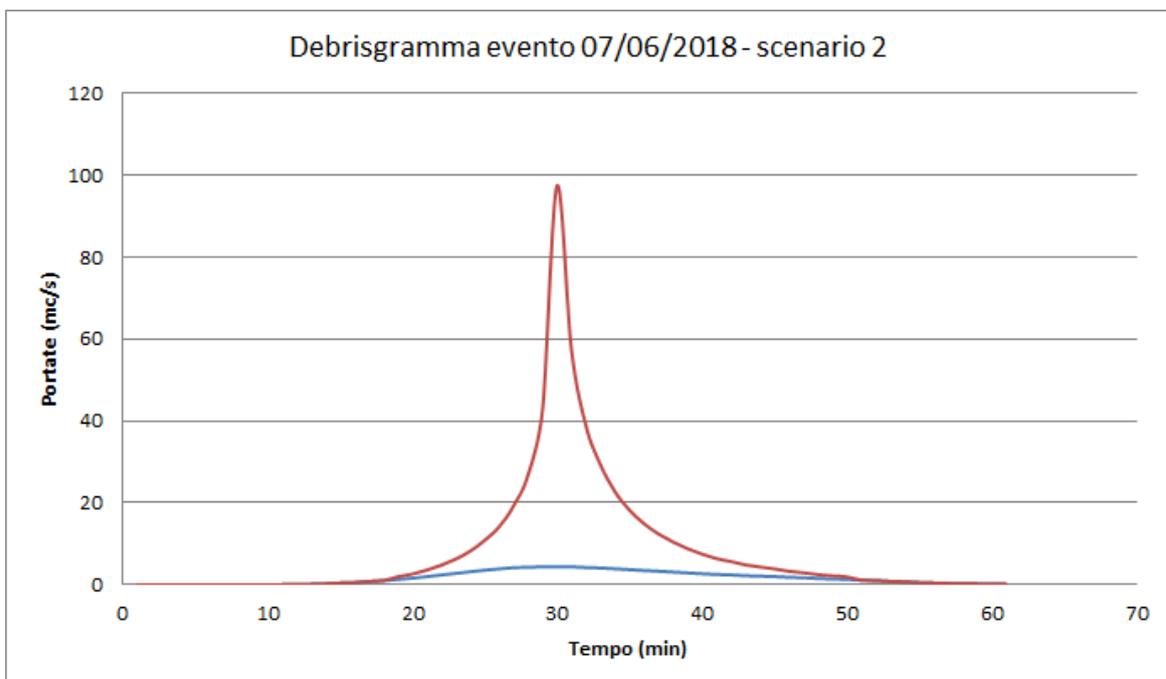


Figura 13 - Debrisgramma dell'evento del 07/06/2018 – Scenario 2



Dai grafici di Figura 12 e Figura 13 è possibile ricavare il volume della colata che verosimilmente ha interessato il conoide del rio Reforno nel corso dell'evento di colata del 07/06/2018 per i due scenari di simulazione (cfr. Tabella 15).

Tabella 15 – Volume della colata relativa all'evento di mud-flow che ha interessato il bacino del rio Reforno in data 07/06/2018 e calcolato per i due scenari di simulazione illustrati

Scenario	Portata liquida di picco da modello HEC-HMS (m ³ /s)	Concentrazione di equilibrio	Portata di picco di mud-flow (m ³ /s)	Volume della colata (m ³)
1	4,5	0,60	58,5	18'000
2	4,5	0,62	97,5	24'000

I volumi calcolati per la colata di mud/debris-flow del 07/06/2018 sono pertanto compresi all'incirca tra 18'000 e 24'000 m³ di materiale solido, valori coerenti sia con quelli indicati da Arpa nel "Rapporto evento del 07/06/2018 - Colata detritica nel comune di Bussoleno", sia con l'applicazione del metodo indiretto da parte degli Scriventi sviluppato sulla scorta della perimetrazione delle aree interessate dai depositi sul conoide di deiezione.

5.4 CALCOLO DEL DEBRISGRAMMA PER DIFFERENTI TEMPI DI RITORNO

In maniera del tutto analoga a quanto descritto al paragrafo precedente, si è proceduto al calcolo del debrisgramma per eventi di colata di debris caratterizzati da tempi di ritorno variabili.

La concentrazione di equilibrio considerata è pari a 0,61, valore medio rispetto ai due illustrati al paragrafo precedente.

Nel seguito si riportano i grafici di riferimento e la tabella con una stima dei volumi attesi di colata. Occorre tuttavia considerare che il volume effettivo di colata deve essere commisurato alla disponibilità del materiale in alveo, come meglio descritto nella *Relazione geologica* di Elab. 03.

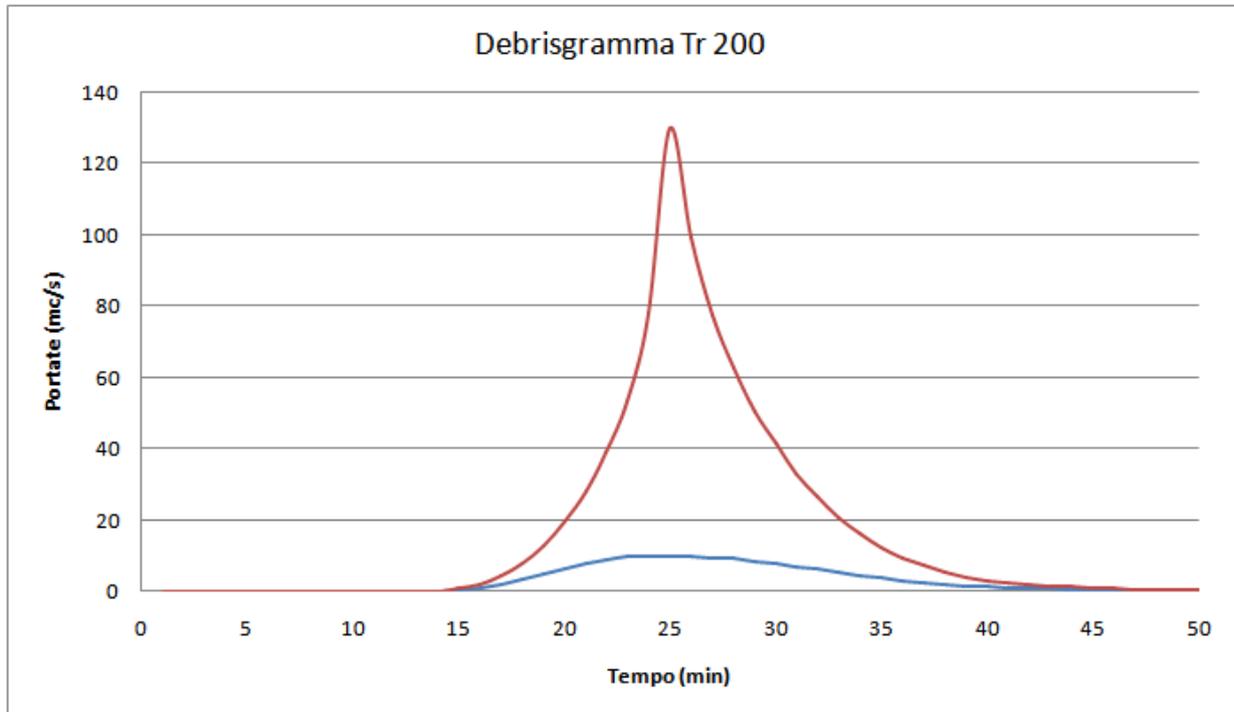


Figura 14 – Debrisgramma per Tr 200 anni

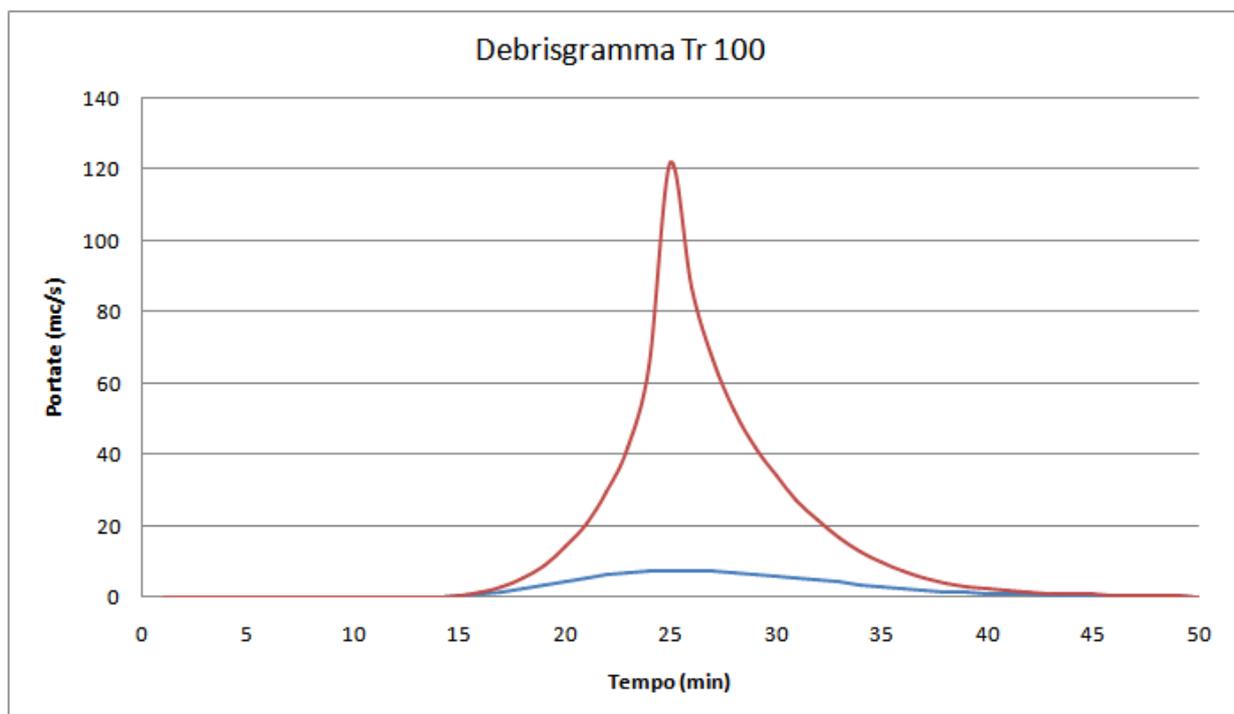


Figura 15 – Debrisgramma per Tr 100 anni

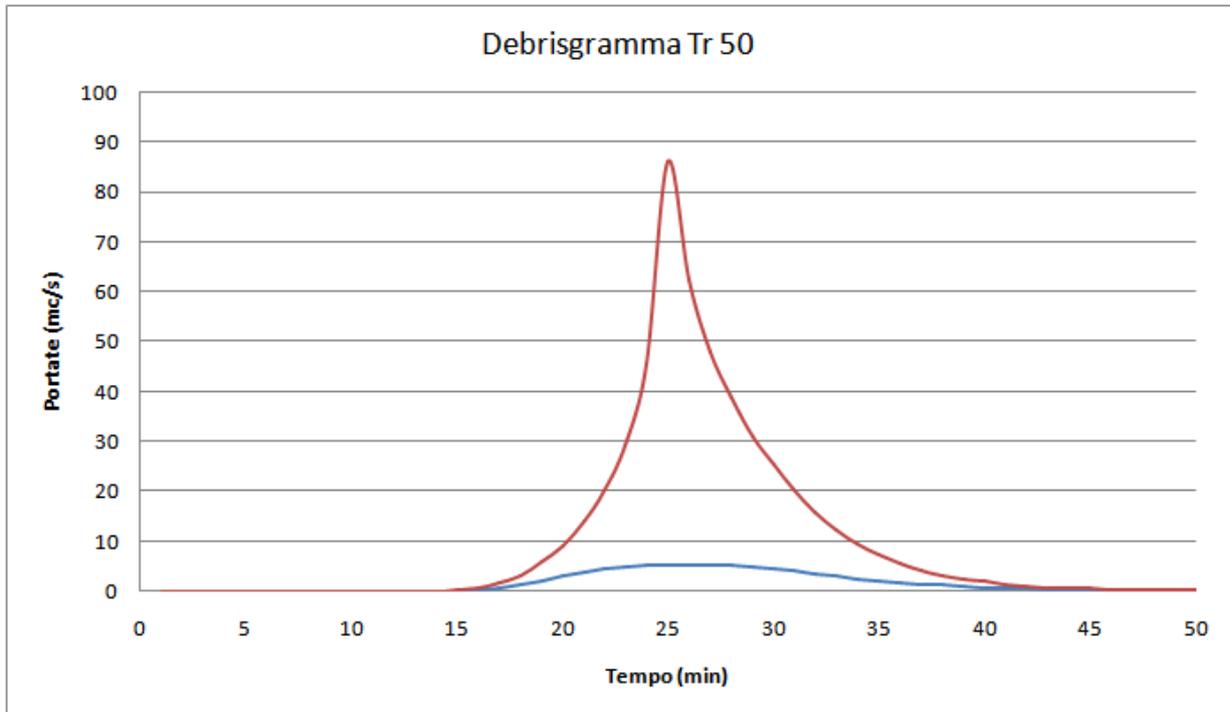


Figura 16 – Debrisgramma per Tr 50 anni

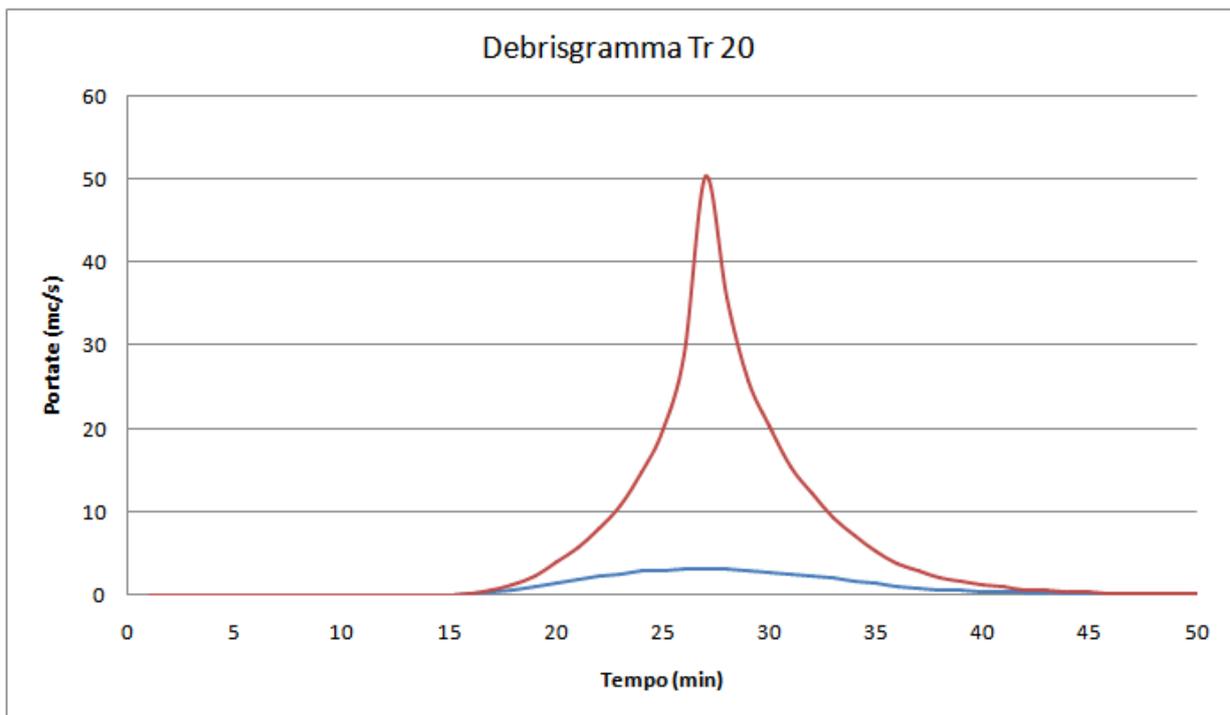


Figura 17 – Debrisgramma per Tr 20 anni

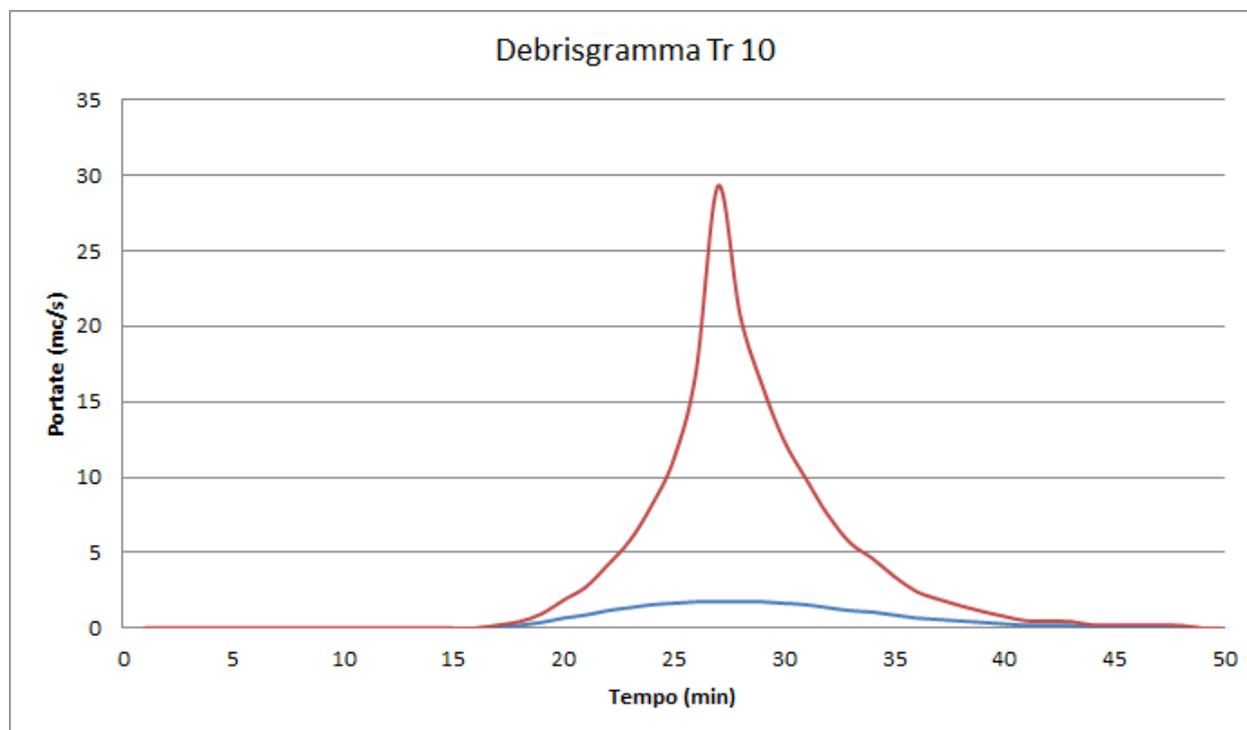


Figura 18 – Debrisgramma per Tr 10 anni

Nella tabella seguente si riporta l'entità del picco di portata solida attesa per i differenti tempi di ritorno e l'entità del volume solido potenzialmente mobilizzabile da una colata detritica.

Tabella 16 – Portate e volumi caratteristici per eventi di debris flow attesi per differenti tempi di ritorno

TR	Picco di portata liquida (m ³ /s)	Picco di portata solida (m ³ /s)	Picco di portata di debris (m ³ /s)	Volume liquido dell'idrogramma (m ³)	Volume solido potenziale della colata (m ³)	Volume potenziale complessivo di debris (m ³)
10	1,8	27	29	1600	8700	10300
20	3,1	47	50	2800	15000	17800
50	5,3	81	86	4900	26000	30900
100	7,5	114	122	6800	36000	42800
200	10	120	130	9200	42000	51200

Il calcolo per i differenti tempi di ritorno dei volumi di materiale solido potenzialmente mobilitabili nel corso di eventi di colata di detrito sono del tutto compatibili con il calcolo dei volumi effettivamente disponibili individuati nella relazione geologica di Elab. 02 (volume massimo 52.000 m³).



6. DIMENSIONAMENTO IDRAULICO DELLE OPERE DI TRATTENUTA

6.1 VOLUMI DI ACCUMULO DEI BACINI

Nella tabella seguente si riportano i volumi di accumulo di materiale solido veicolato da eventi di colata che i bacini in progetto sono in grado di accumulare:

Tabella 17 – Volume di materiale solido per eventi di colata di detrito potenzialmente sedimentabile all'interno dei bacini di accumulo in progetto

BACINO	VOLUME DI ACCUMULO STIMATO DEL MATERIALE SOLIDO DI DEBRIS (m³)
RETE DEBRIS FLOW	4'000
BACINO DI ACCUMULO IN APICE DI CONOIDE	7'000
BACINO DI ACCUMULO SUPPLEMENTARE	6'000
TOTALE	17'000

6.2 CAPACITÀ DI TRATTENUTA DEL MATERIALE SOLIDO DEI BACINI DI DEPOSITO IN PROGETTO

È stata analizzata la capacità di trattenuta delle opere in progetto e l'effetto su un ipotetico evento di debris analogo a quello occorso il 07/06/2018 (cfr. §5.3.1 e Figura 13).

Nelle figure seguenti si riporta la capacità di accumulo del materiale solido offerto dalle opere in progetto e l'andamento del debris-gramma in uscita dall'ultimo bacino di valle, calcolati per un evento analogo a quello occorso il 07/06/2018 e per un evento di Tr 20 anni.

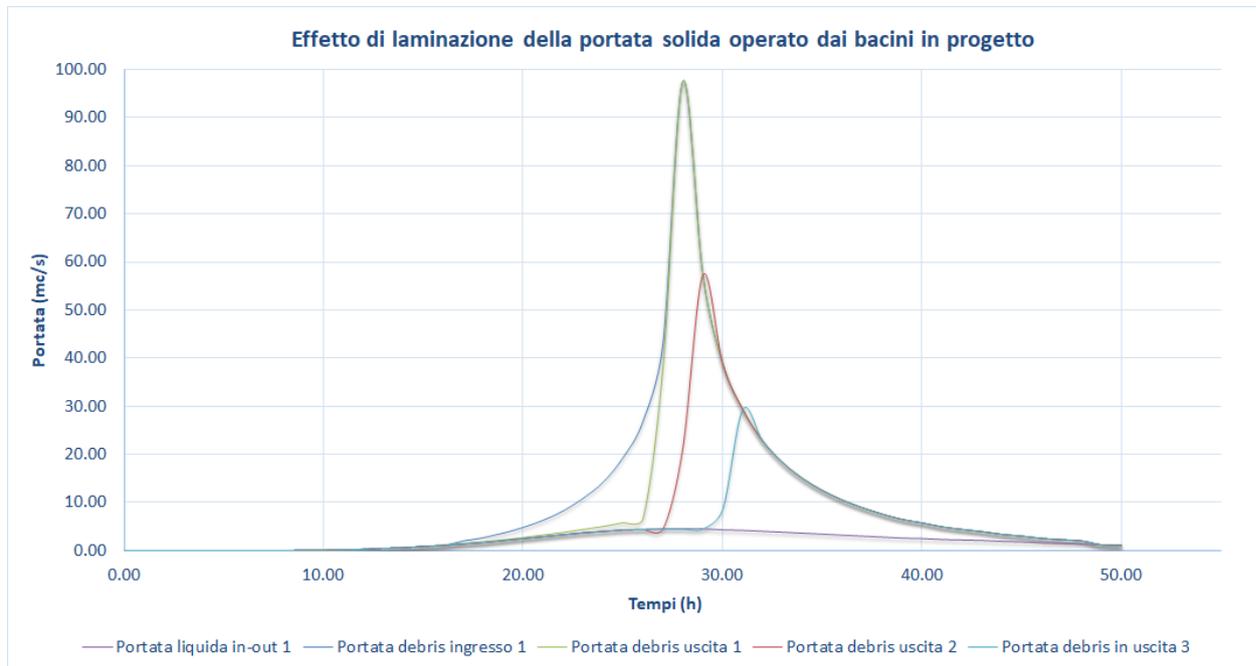


Figura 19 – Effetto di sedimentazione della portata solida operato dalla rete di contenimento del debris e dai bacini di accumulo per il debrisgramma ricostruito dell'evento del 07/06/2018. I 3 bacini di accumulo del materiale solido sono indicati con numerazione crescente da monte verso valle

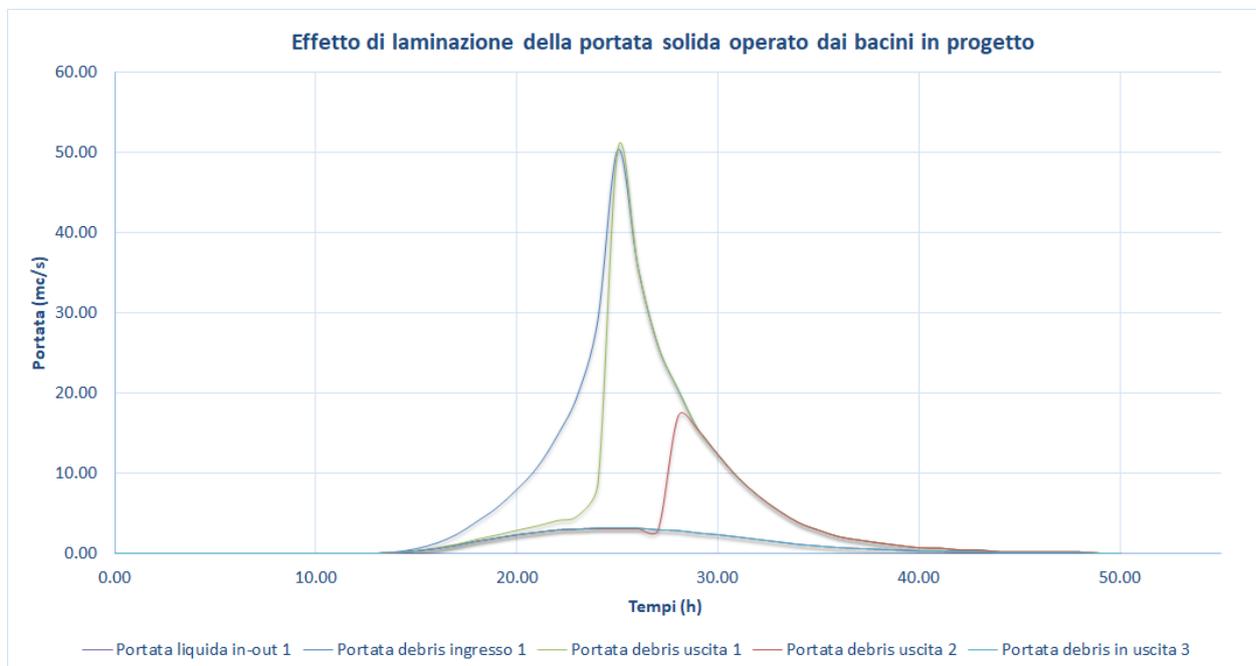


Figura 20 – Effetto di sedimentazione della portata solida operato dalla rete di contenimento del debris e dai bacini di accumulo per una colata di detrito di Tr 20 anni. I 3 bacini di accumulo del materiale solido sono indicati con numerazione crescente da monte verso valle



Le immagini di Figura 19 e Figura 20 evidenziano come nel caso in cui si ripresentasse un evento di mud/debris flow di caratteristiche analoghe a quelle riscontrate per l'evento del 06/07/2018, le opere in progetto sarebbero in grado di contenere gran parte del volume della colata, limitando il picco di portata del debris flow da circa 100 m³/s (scenario 2, maggiormente cautelativo) a circa 30 m³/s.

Nel caso in cui si verificasse un evento di colata di detrito di TR 20 anni, le opere in progetto sarebbero in grado di contenere il totale volume della colata, rilasciando a valle esclusivamente la componente liquida.

Si rimanda per dettagli all'ALLEGATO 6.

6.3 OPERE IDRAULICHE DEI BACINI DI ACCUMULO

6.3.1 Dimensionamento gàveta del bacino di accumulo formato dalla rete di contenimento del debris

Il progetto prevede la realizzazione di una barriera flessibile di contenimento della colata di detrito lungo l'alveo del rio Reformo a valle della strada comunale che attraversa la frazione Lorano.

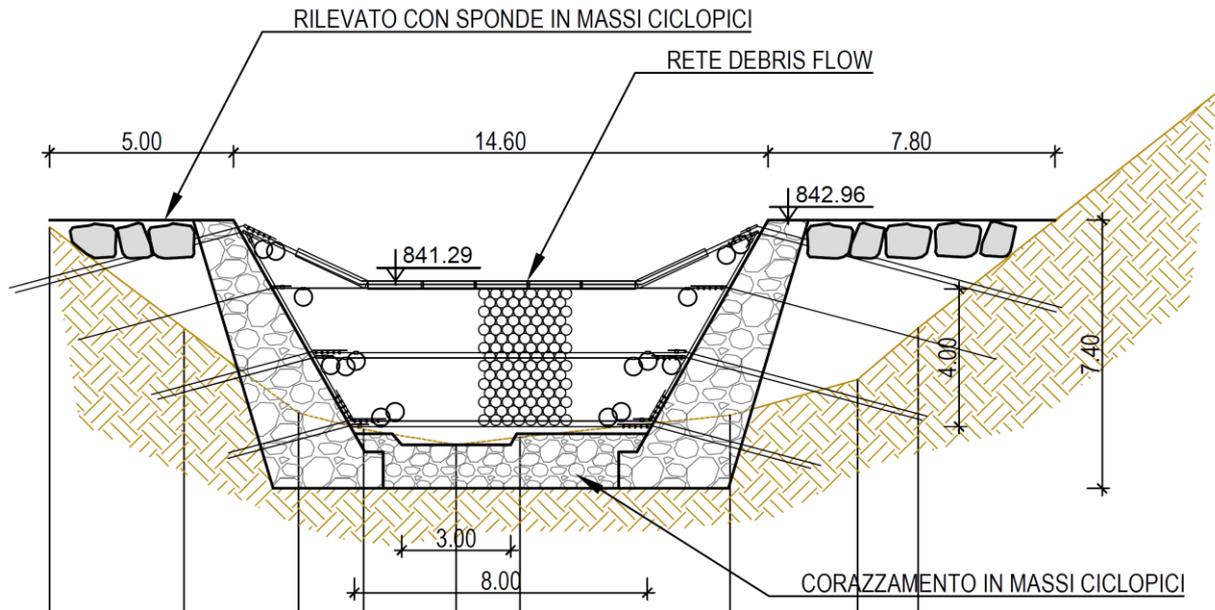
Rimandando alla Relazione di calcolo delle strutture per il dimensionamento dell'opera, dal punto di vista idraulico essa sarà in grado di contenere un volume di accumulo solido a monte di circa 4'000 m³.

Nel caso in cui, a seguito di un evento di colata di detrito, l'opera dovesse riempirsi completamente, la gàveta prevista in testa consentirebbe comunque il deflusso verso valle (cfr. Tabella 18) dell'eccedenza.

Tabella 18 – Portate defluenti dalla gàveta rete debris flow

Q (m ³ /s)	mu	L minore (m)	L maggiore (m)	h (m)
4.9	0.385	7.6	9.7	0.5
14.9	0.385	7.6	11.8	1
29.1	0.385	7.6	13.9	1.5
35.9	0.385	7.6	14.7	1.7

Nel caso di evento parossistico il deflusso interesserà le ali costituite da rilevati protetti da una scogliera in massi ciclopici, assicurando il deflusso della colata a valle senza che possa verificarsi l'aggiramento dell'opera.



6.3.2 Dimensionamento della gàveta del bacino di accumulo in apice di conoide

Il primo bacino di accumulo in apice di conoide consente il deflusso a valle delle portate liquide ordinarie mediante tubazioni di diametro 600 mm.

In occasione di eventi di colate di detrito il bacino potrebbe interamente colmarsi di materiale solido, nel qual caso le portate eccedenti l'accumulo possono defluire a valle attraverso la gàveta di testa che presenta larghezza alla base di 15 m e altezza di 1 m.

Nella tabella seguente si riporta la scala di deflusso delle portate smaltibili attraverso la gàveta.

Tabella 19 – Portate defluenti dalla gàveta bacino di accumulo e laminazione in apice di conoide

Q (m ³ /s)	mu	L minore (m)	L maggiore (m)	h (m)
0,8	0,385	15	15,1	0,1
2,3	0,385	15	15,2	0,2
4,2	0,385	15	15,3	0,3
6,5	0,385	15	15,4	0,4
9,1	0,385	15	15,5	0,5
12,0	0,385	15	15,6	0,6
15,2	0,385	15	15,7	0,7
18,6	0,385	15	15,8	0,8
22,2	0,385	15	15,9	0,9
26,0	0,385	15	16	1



L'opera è pertanto in grado di smaltire la portata solida attesa all'uscita del bacino e convogliata da un evento di colata detritica di Tr 20.

6.3.3 Tubazioni di scarico del bacino di valle

Il deflusso ordinario delle portate attraverso il bacino avviene all'interno di una savanella interna e, in corrispondenza del rilevato di contenimento del bacino lato valle, mediante tubazioni di diametro 600 mm.

Al fine di assicurare che a valle dell'invaso non possa defluire una portata eccessiva (che potrebbe creare dei problemi alle opere di collettamento previste a valle), in corrispondenza dell'imbocco delle condotte di diametro 600 mm è prevista l'installazione di setti in lamiera metallica funzionali a parzializzare la luce di efflusso.

In occasione di eventi di colate di detrito il bacino può colmarsi di materiale solido, mentre le portate eccedenti l'accumulo possono defluire a valle attraverso 4 tubazioni in c.a. disposte con una pendenza del 20% e un'ulteriore gàveta.

Ciascuna tubazione è in grado di scaricare nel canale di valle una portata di 2,5 m³/s. Complessivamente le tubazioni sono in grado di scaricare 10 m³/s, valore corrispondente alla portata liquida di un evento meteorico atteso di Tr superiore a 20 anni.

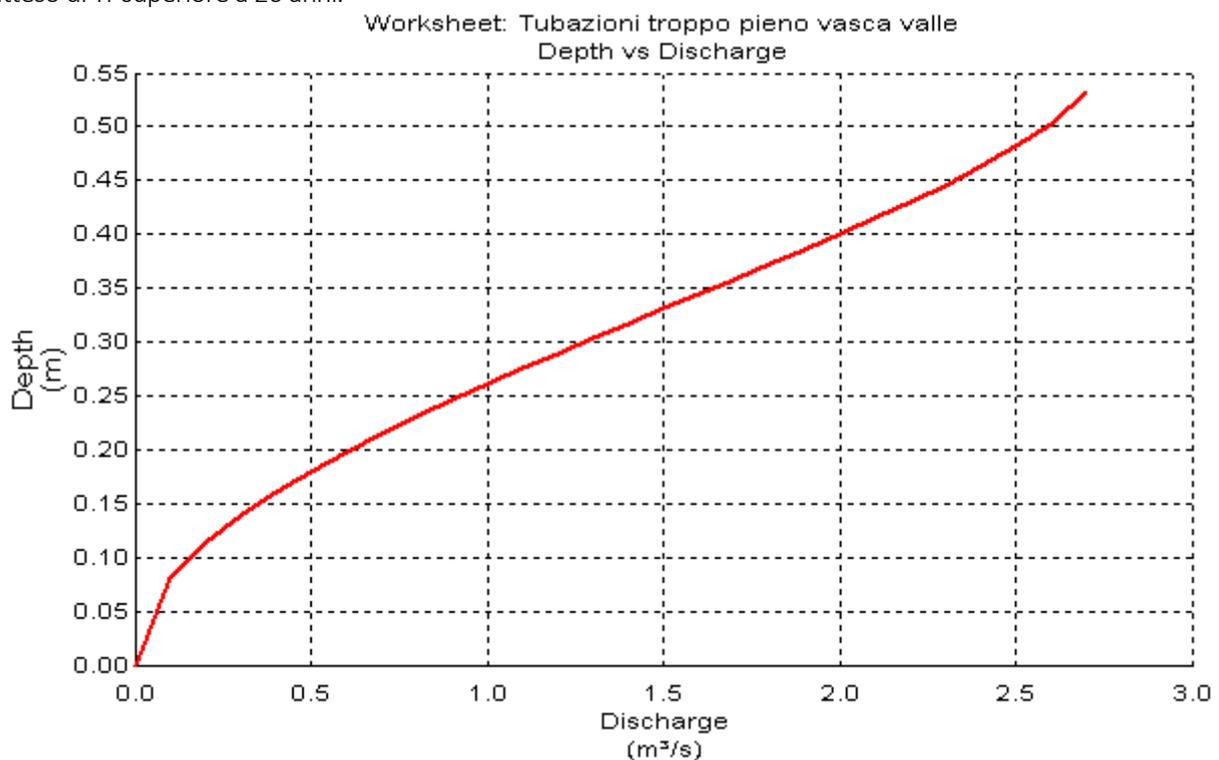


Figura 21 – Scala di deflusso delle tubazioni



REGIONE PIEMONTE – PROVINCIA DI TORINO
Comune di Bussoleno

*Colata detritica del 07/06/2018 sul conoide del rio Baccias/Reforo e
Comba delle foglie – Lavori di somma urgenza per il contenimento
del trasporto solido in apice del conoide*

Progetto Definitivo – Esecutivo



ALLEGATI



REGIONE PIEMONTE – PROVINCIA DI TORINO

Comune di Bussoleno

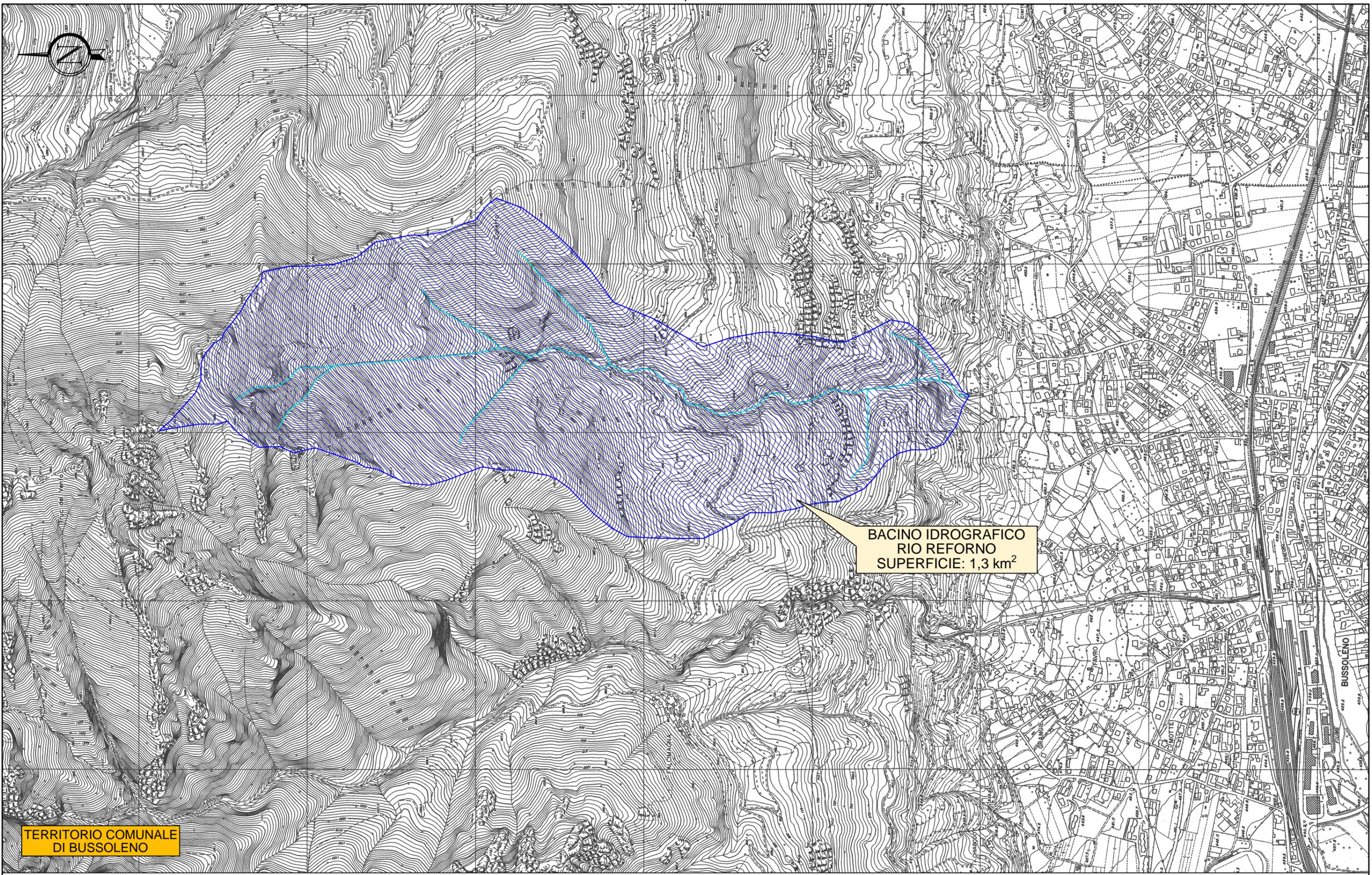
*Colata detritica del 07/06/2018 sul conoide del rio Baccias/Reforo e
Comba delle foglie – Lavori di somma urgenza per il contenimento
del trasporto solido in apice del conoide*

Progetto Definitivo – Esecutivo



ALLEGATO 1

– Delimitazione del bacino idrografico di riferimento



BACINO IDROGRAFICO
RIO REFORNO
SUPERFICIE: 1,3 km²

TERRITORIO COMUNALE
DI BUSSOLENO

Scala 1 : 10.000





REGIONE PIEMONTE – PROVINCIA DI TORINO

Comune di Bussoleno

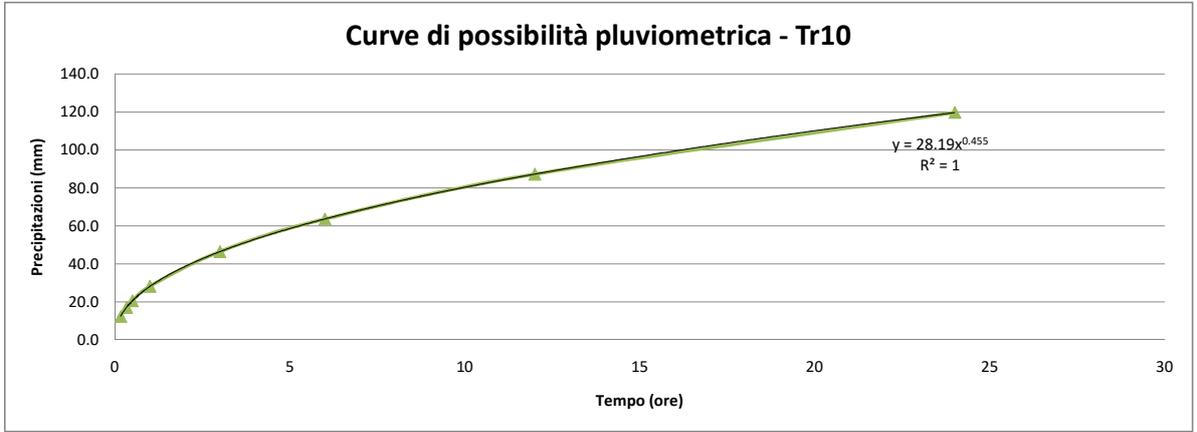
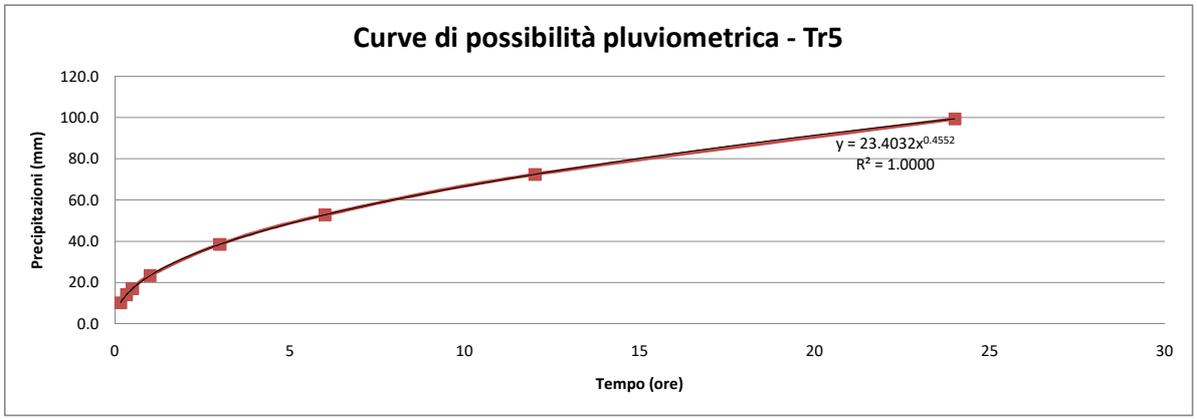
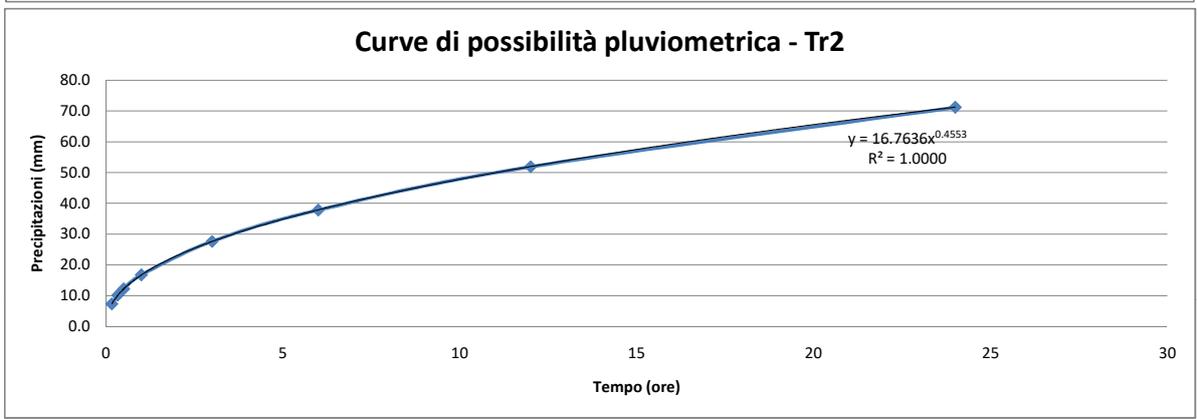
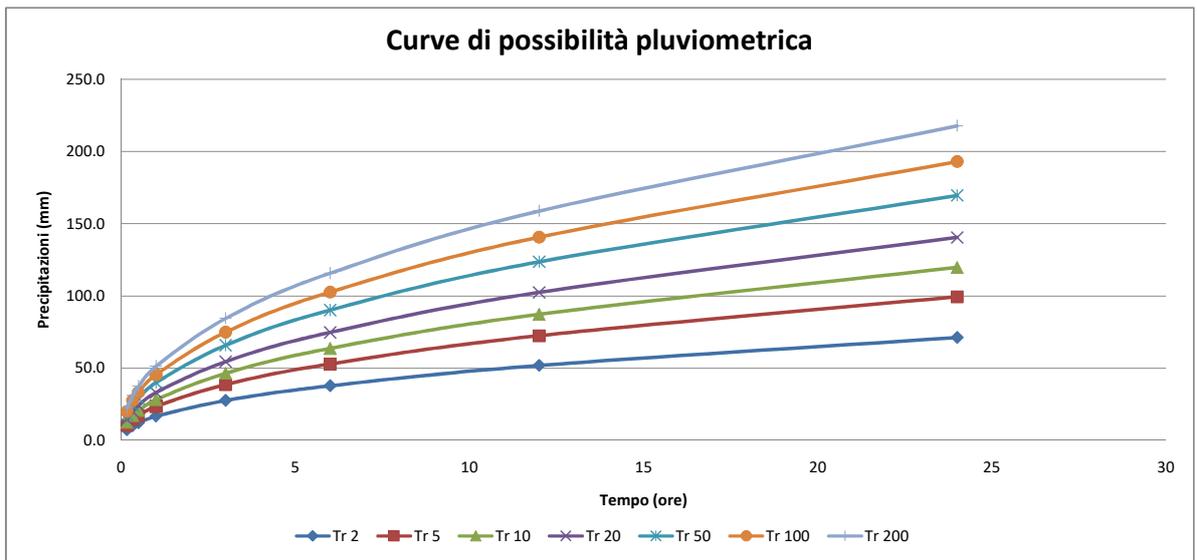
*Colata detritica del 07/06/2018 sul conoide del rio Baccias/Reforo e
Comba delle foglie – Lavori di somma urgenza per il contenimento
del trasporto solido in apice del conoide*

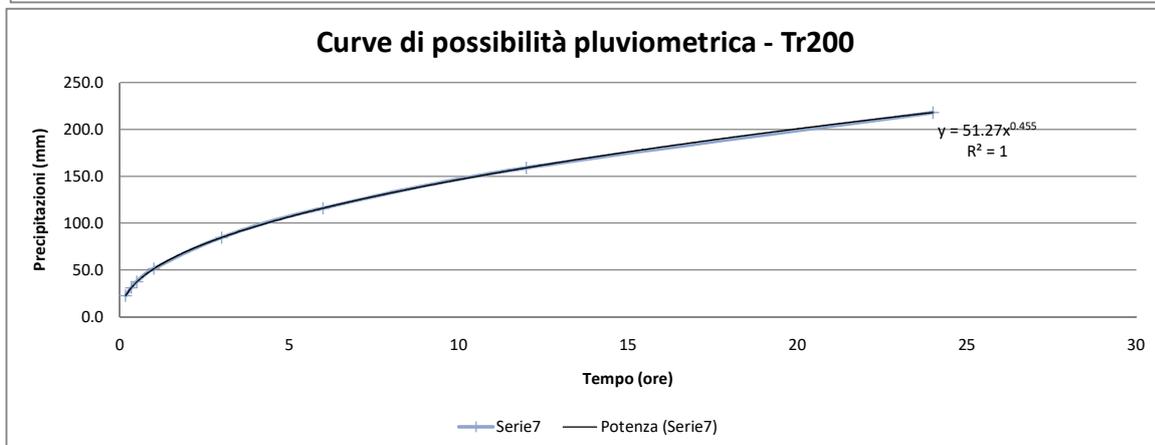
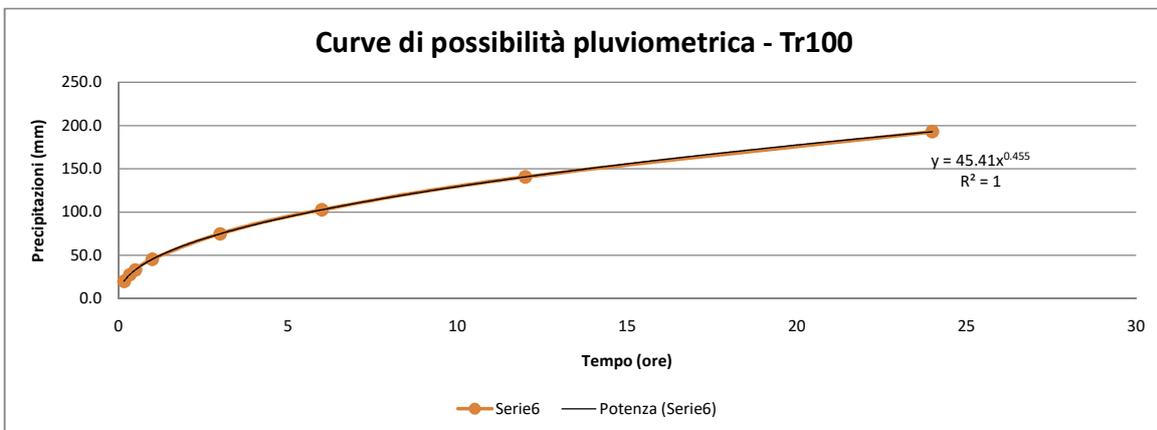
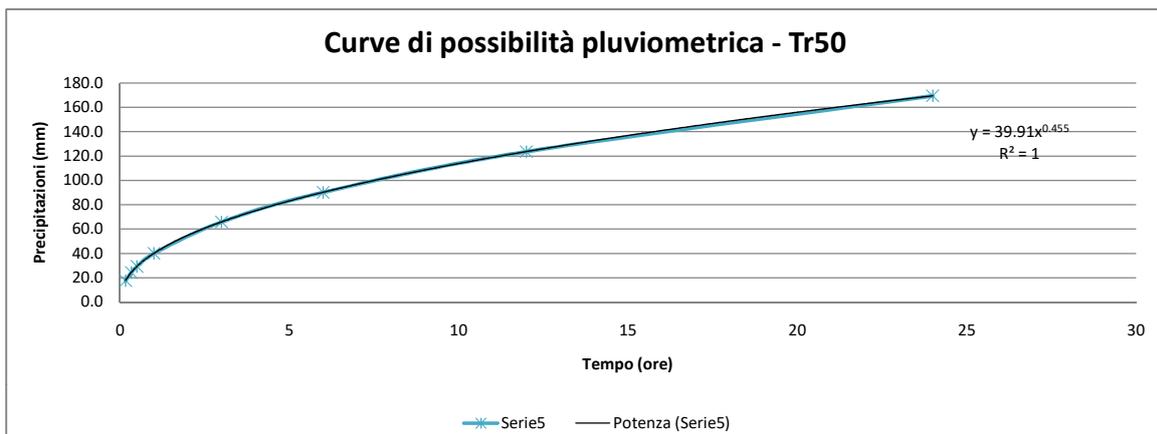
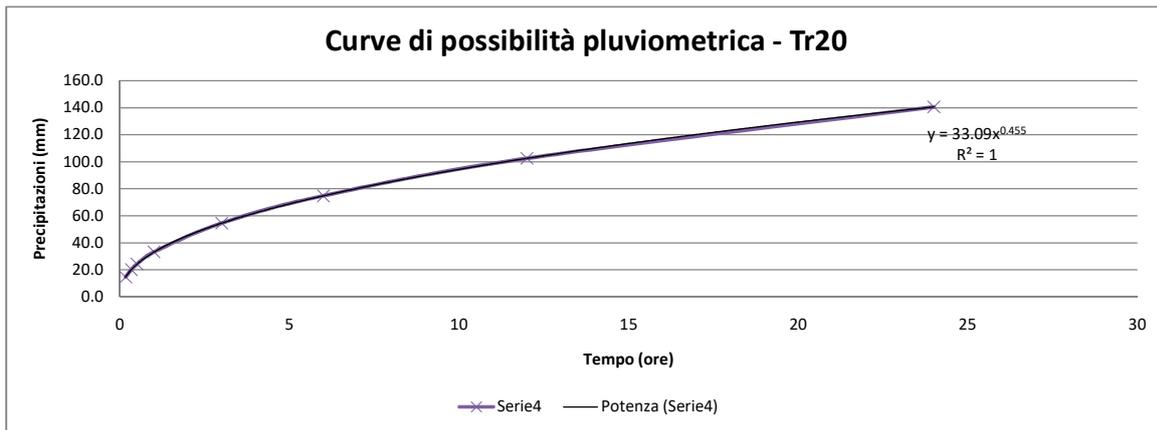
Progetto Definitivo – Esecutivo



ALLEGATO 2

– Linee di possibilità pluviometrica per il bacino del rio Reforno







REGIONE PIEMONTE – PROVINCIA DI TORINO

Comune di Bussoleno

*Colata detritica del 07/06/2018 sul conoide del rio Baccias/Reforo e
Comba delle foglie – Lavori di somma urgenza per il contenimento
del trasporto solido in apice del conoide*

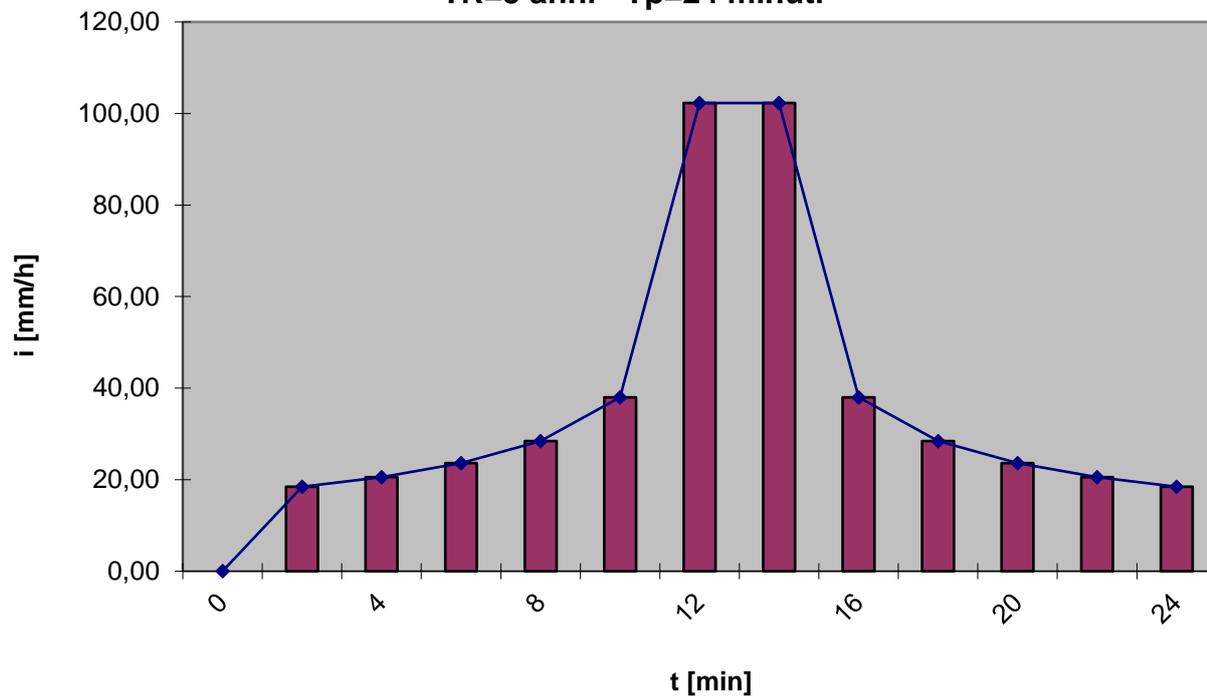
Progetto Definitivo – Esecutivo



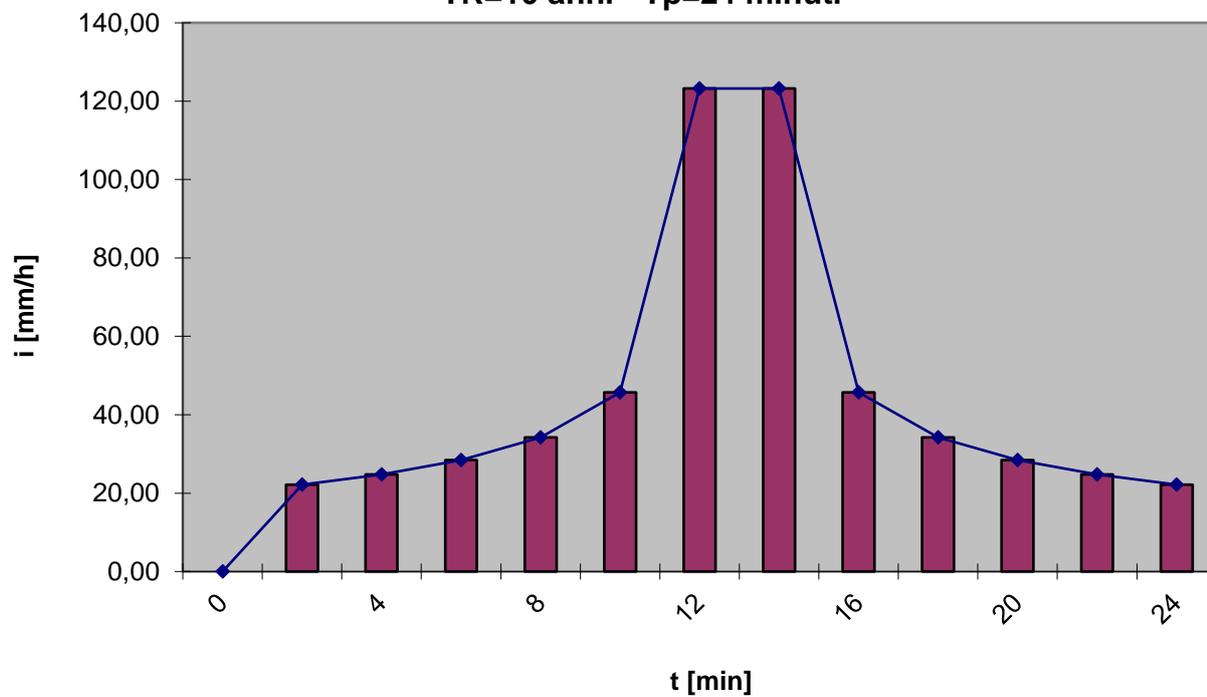
ALLEGATO 3

– letogrammi Chicago

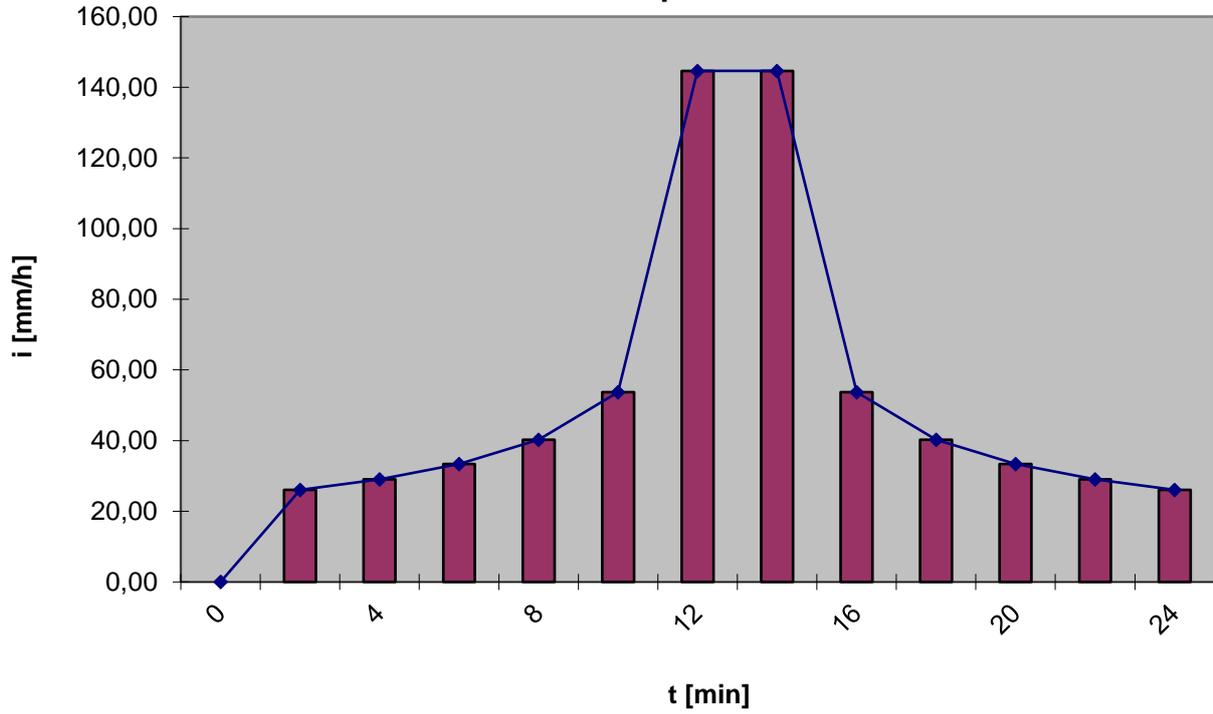
letogramma di progetto
TR=5 anni - Tp=24 minuti



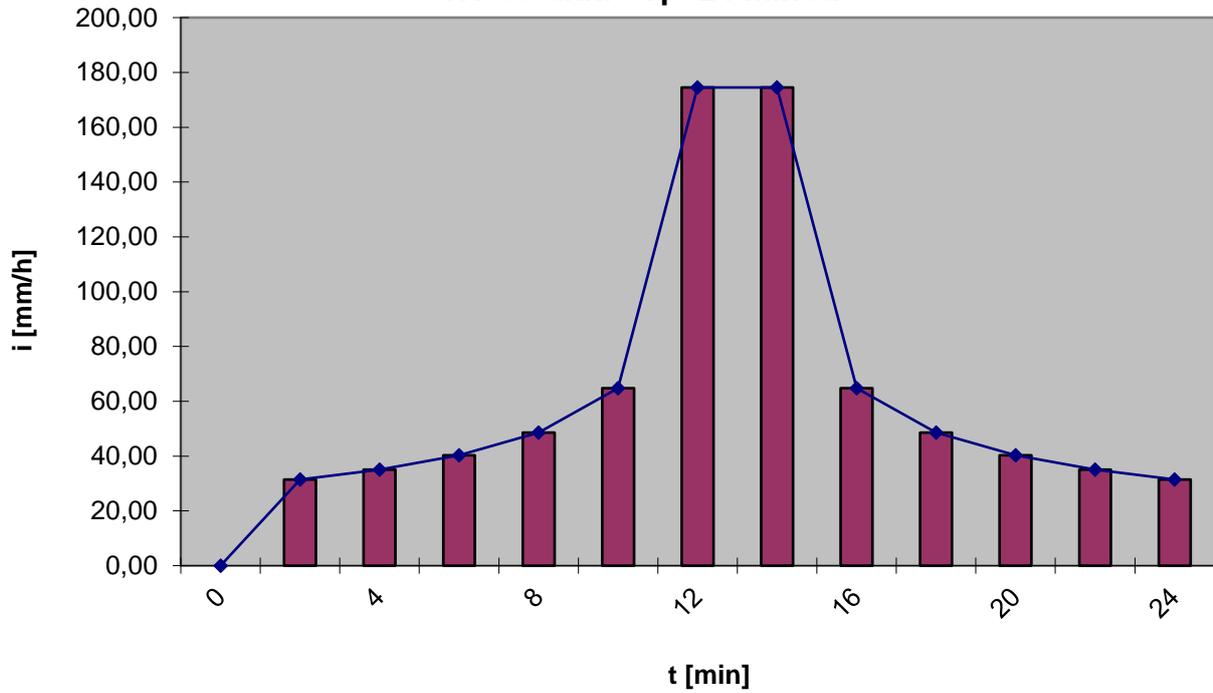
letogramma di progetto
TR=10 anni - Tp=24 minuti



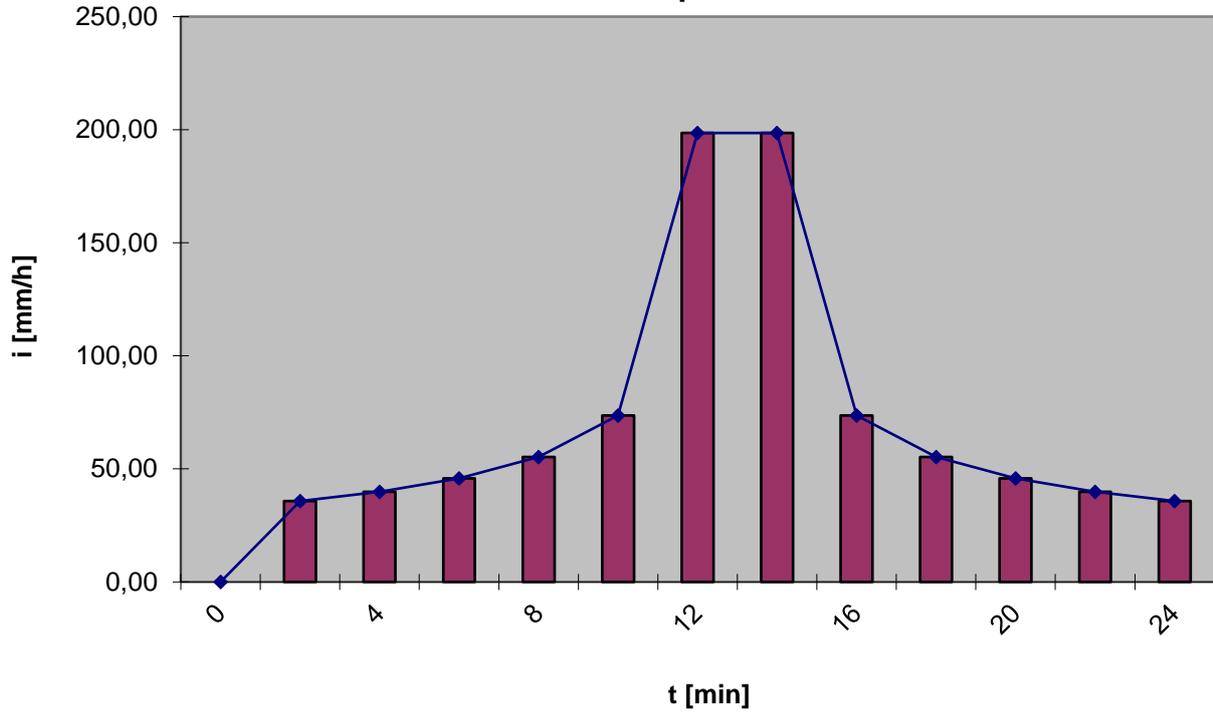
letogramma di progetto
TR=20 anni - Tp=24 minuti



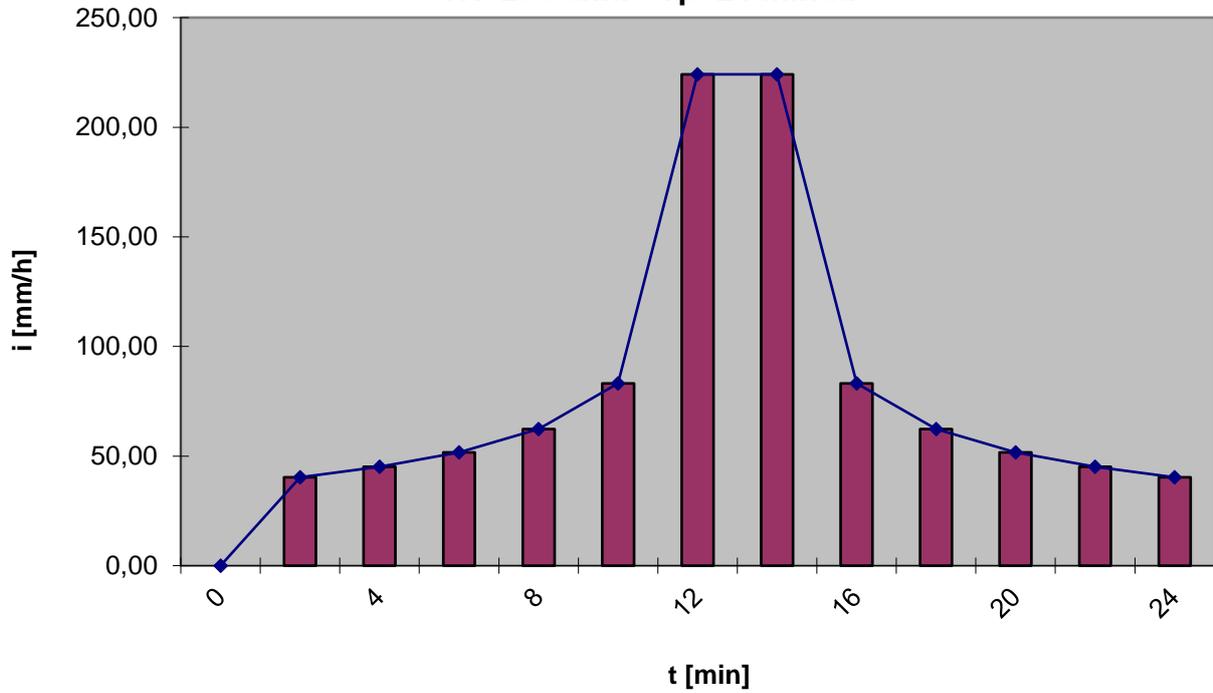
letogramma di progetto
TR=50 anni - Tp=24 minuti



letogramma di progetto
TR=100 anni - Tp=24 minuti



letogramma di progetto
TR=200 anni - Tp=24 minuti





REGIONE PIEMONTE – PROVINCIA DI TORINO

Comune di Bussoleno

*Colata detritica del 07/06/2018 sul conoide del rio Baccias/Reforo e
Comba delle foglie – Lavori di somma urgenza per il contenimento
del trasporto solido in apice del conoide*

Progetto Definitivo – Esecutivo



ALLEGATO 4

– Metodo razionale – portate liquide di piena

Tempo di ritorno di 2 anni		
Tc	[ore]	0.201
a		16.76
n		0.46
Sup. bacino	[km ²]	1.30
altezza pioggia	[mm]	8.07
intensità i	[mm/ora]	40.17
c		0.2
V	[m ³]	10492
Qmax	[m³/s]	2.9

Tempo di ritorno di 5 anni		
Tc	[ore]	0.201
a		23.40
n		0.46
Sup. bacino	[km ²]	1.30
altezza pioggia	[mm]	11.27
intensità i	[mm/ora]	56.09
c		0.2
V	[m ³]	14649
Qmax	[m³/s]	4.1

Tempo di ritorno di 10 anni		
Tc	[ore]	0.201
a		28.19
n		0.4553
Sup. bacino	[km ²]	1.30
altezza pioggia	[mm]	13.58
intensità i	[mm/ora]	67.57
c		0.2
V	[m ³]	17648
Qmax	[m³/s]	4.9

Tempo di ritorno di 20 anni		
Tc	[ore]	0.201
a		33.09
n		0.46
Sup. bacino	[km ²]	1.30
altezza pioggia	[mm]	15.93
intensità i	[mm/ora]	79.32
c		0.2
V	[m ³]	20715
Qmax	[m³/s]	5.7

Tempo di ritorno di 50 anni		
Tc	[ore]	0.201
a		39.92
n		0.46
Sup. bacino	[km ²]	1.30
altezza pioggia	[mm]	19.22
intensità i	[mm/ora]	95.69
c		0.2
V	[m ³]	24991
Qmax	[m³/s]	6.9

Tempo di ritorno di 100 anni		
Tc	[ore]	0.201
a		45.42
n		0.46
Sup. bacino	[km ²]	1.30
altezza pioggia	[mm]	21.87
intensità i	[mm/ora]	108.87
c		0.2
V	[m ³]	28434
Qmax	[m³/s]	7.9

Tempo di ritorno di 200 anni		
Tc	[ore]	0.201
a		51.27
n		0.46
Sup. bacino	[km ²]	1.30
altezza pioggia	[mm]	24.69
intensità i	[mm/ora]	122.89
c		0.2
V	[m ³]	32096
Qmax	[m³/s]	8.9

Evento 07/06/2018		
Tc	[ore]	0.201
a		12.50
n		0.46
Sup. bacino	[km ²]	1.30
altezza pioggia	[mm]	6.02
intensità i	[mm/ora]	29.96
c		0.4
V	[m ³]	7825
Qmax	[m³/s]	4.3



REGIONE PIEMONTE – PROVINCIA DI TORINO

Comune di Bussoleno

*Colata detritica del 07/06/2018 sul conoide del rio Baccias/Reforo e
Comba delle foglie – Lavori di somma urgenza per il contenimento
del trasporto solido in apice del conoide*

Progetto Definitivo – Esecutivo



ALLEGATO 5

– Idrogrammi di piena modello HEC-HMS

Evento pluviometrico del 07/06/2018

Project: Bussoleno Simulation Run: 07-06-2018
 Subbasin: Bacino

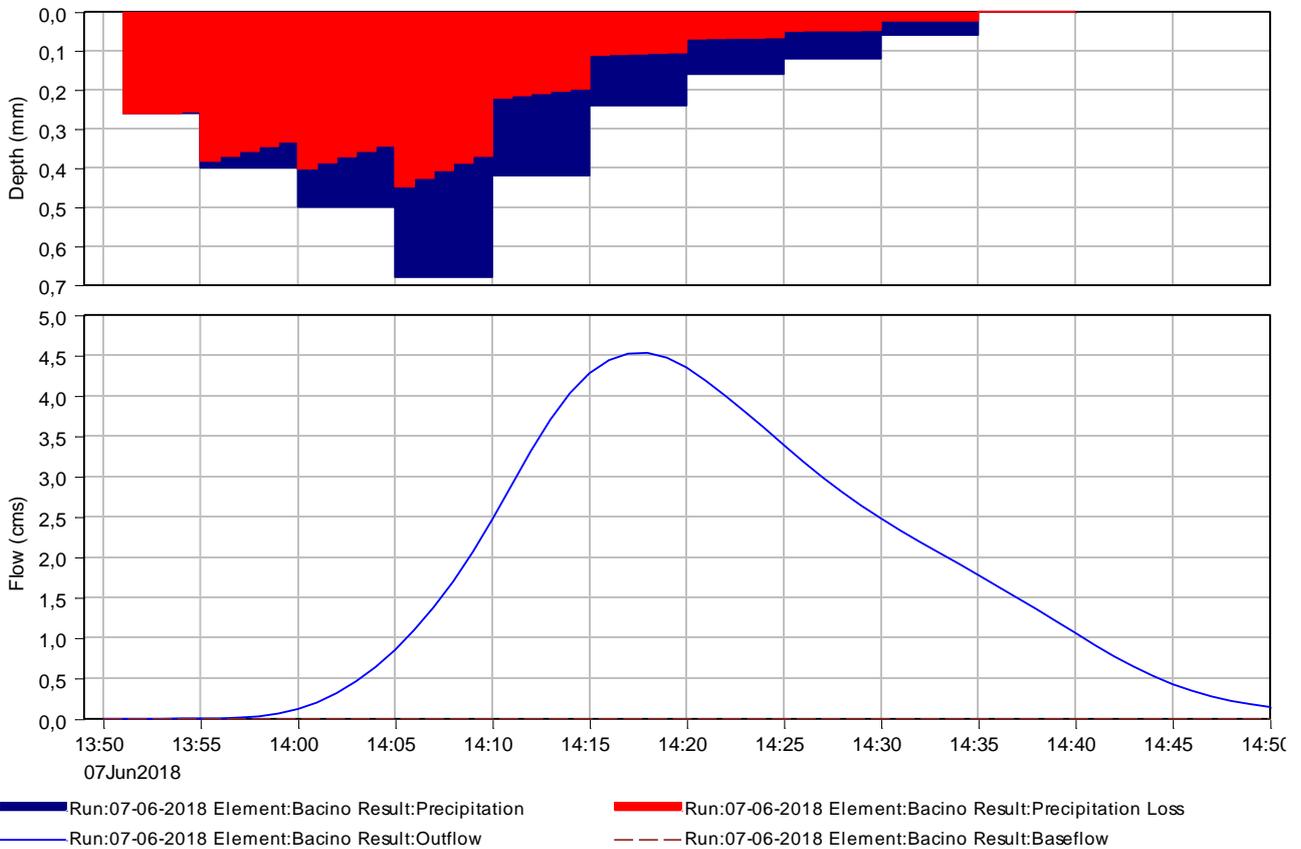
Start of Run: 07giu2018, 13:50 Basin Model: Rio Reforno
 End of Run: 07giu2018, 14:50 Meteorologic Model: Evento 07-06-2018
 Compute Time: 18giu2018, 01:31:18 Control Specifications: Control 07-06-2018

Volume Units: MM 1000 M3

Computed Results

Peak Discharge:	4,5 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	07giu2018, 14:18
Precipitation Volume:	14,20 (MM)	Direct Runoff Volume:	4,91 (MM)
Loss Volume:	9,26 (MM)	Baseflow Volume:	0,00 (MM)
Excess Volume:	4,94 (MM)	Discharge Volume:	4,91 (MM)

Subbasin "Bacino" Results for Run "07-06-2018"



Tr 10 anni

Project: Bussoleno Simulation Run: Tr 10
 Subbasin: Bacino

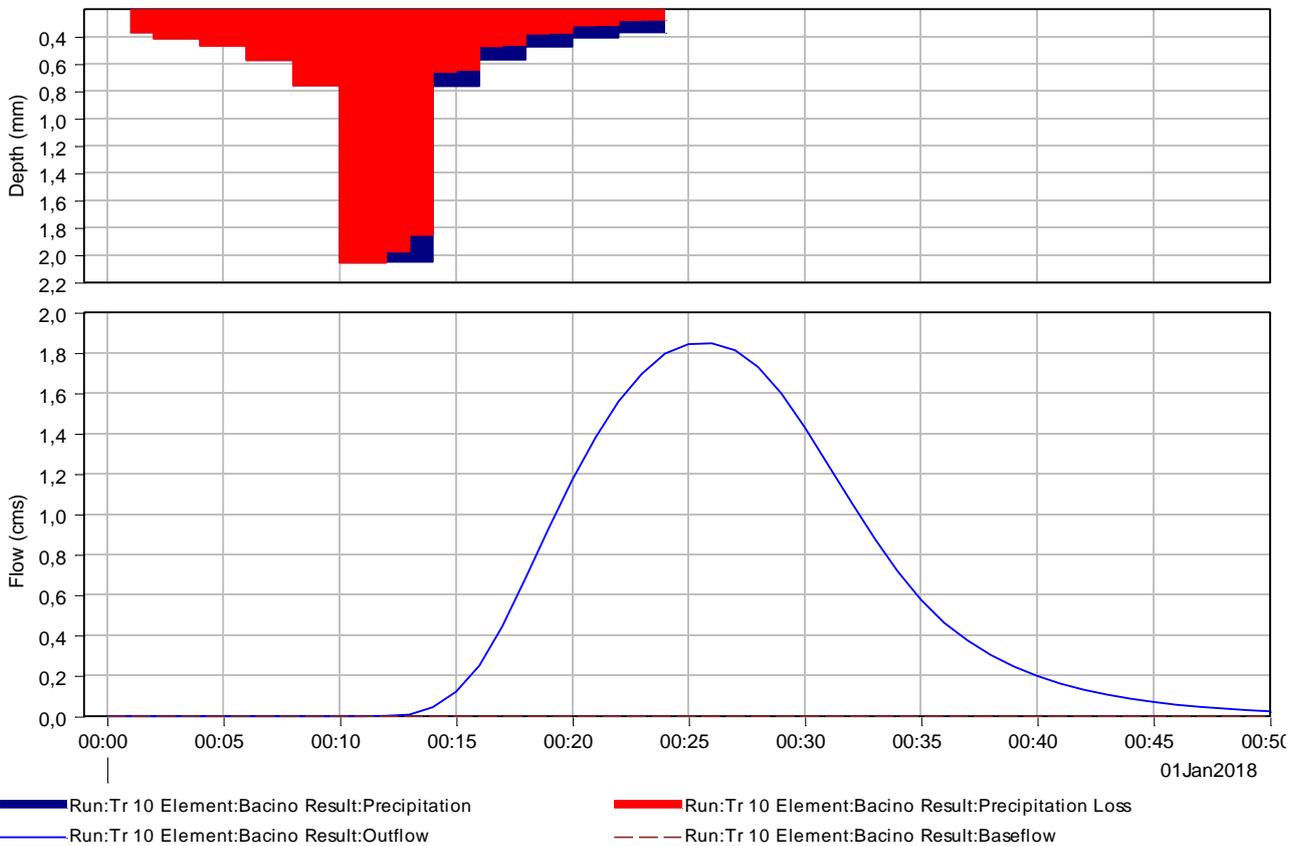
Start of Run: 01gen2018, 00:00 Basin Model: Rio Reforno
 End of Run: 01gen2018, 00:50 Meteorologic Model: Tr 10
 Compute Time: 18giu2018, 01:05:51 Control Specifications: Control Tr

Volume Units: MM 1000 M3

Computed Results

Peak Discharge:	1,8 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	01gen2018, 00:26
Precipitation Volume:	18,57 (MM)	Direct Runoff Volume:	1,25 (MM)
Loss Volume:	17,31 (MM)	Baseflow Volume:	0,00 (MM)
Excess Volume:	1,26 (MM)	Discharge Volume:	1,25 (MM)

Subbasin "Bacino" Results for Run "Tr 10"



Tr 20 anni

Project: Bussoleno Simulation Run: Tr 20
Subbasin: Bacino

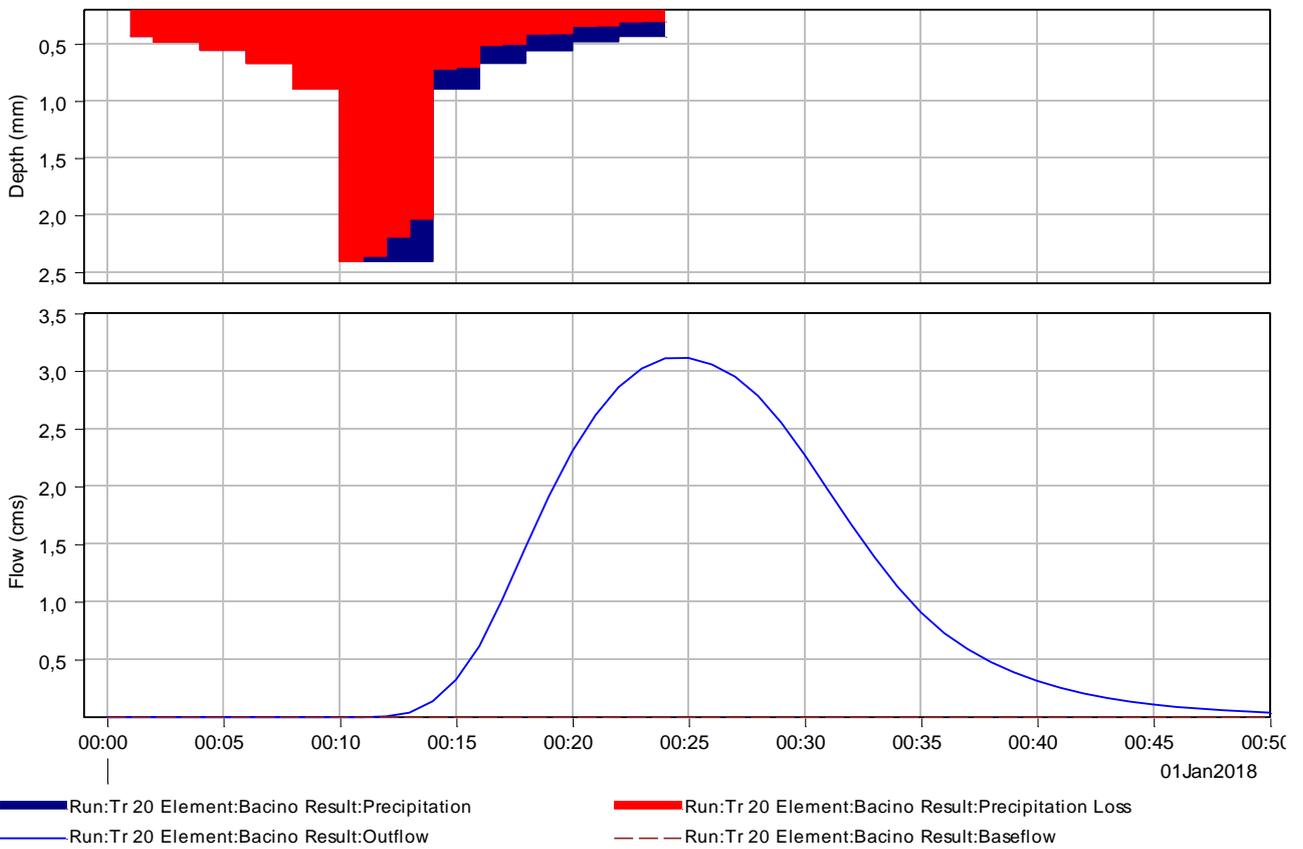
Start of Run: 01gen2018, 00:00	Basin Model: Rio Reforno
End of Run: 01gen2018, 00:50	Meteorologic Model: Tr 20
Compute Time: 18giu2018, 01:05:54	Control Specifications: Control Tr

Volume Units: MM 1000 M3

Computed Results

Peak Discharge: 3,1 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge: 01gen2018, 00:25
Precipitation Volume: 21,80 (MM)	Direct Runoff Volume: 2,16 (MM)
Loss Volume: 19,63 (MM)	Baseflow Volume: 0,00 (MM)
Excess Volume: 2,17 (MM)	Discharge Volume: 2,16 (MM)

Subbasin "Bacino" Results for Run "Tr 20"



Tr 50 anni

Project: Bussoleno Simulation Run: Tr 50
 Subbasin: Bacino

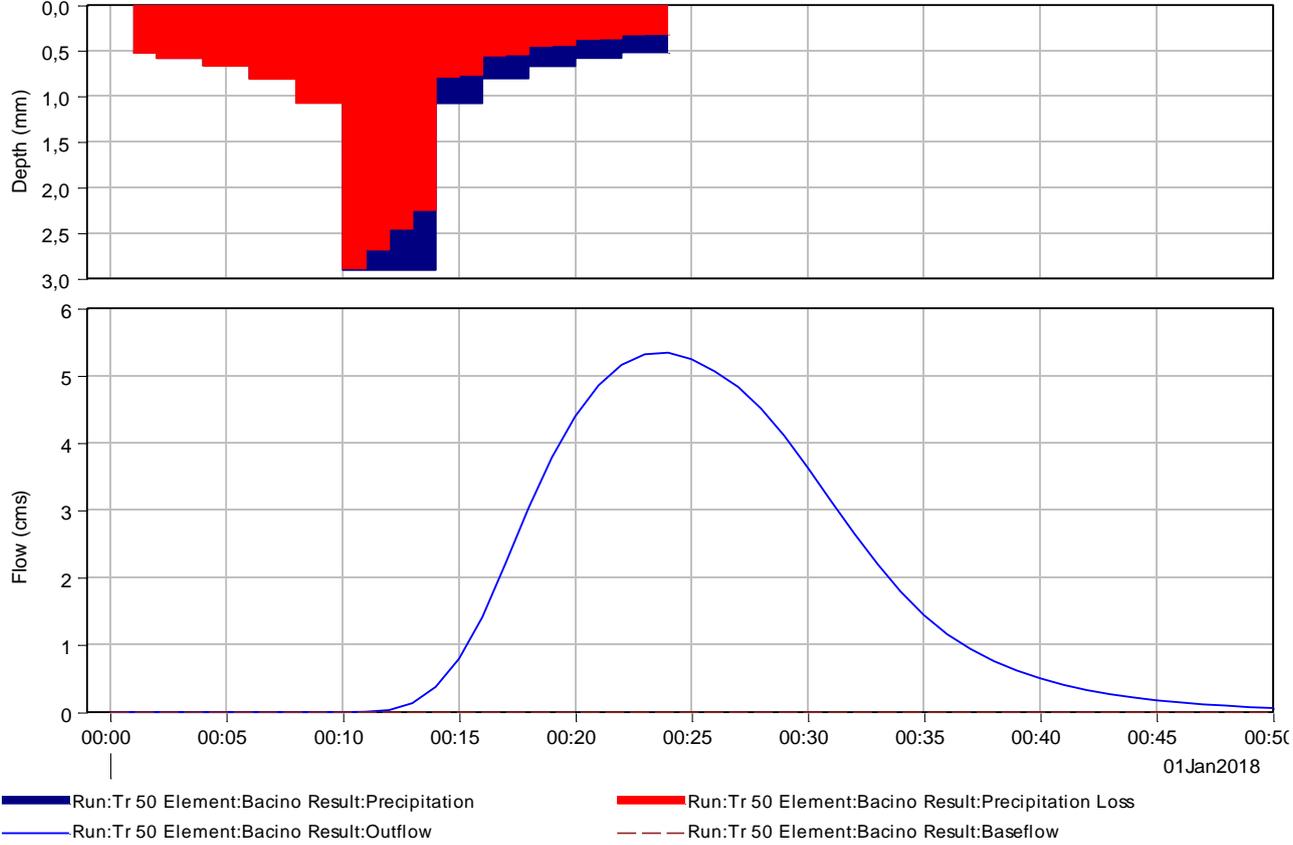
Start of Run: 01gen2018, 00:00 Basin Model: Rio Reforno
 End of Run: 01gen2018, 00:50 Meteorologic Model: Tr 50
 Compute Time: 18giu2018, 01:05:57 Control Specifications: Control Tr

Volume Units: MM 1000 M3

Computed Results

Peak Discharge:	5,3 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	01gen2018, 00:24
Precipitation Volume:	26,30 (MM)	Direct Runoff Volume:	3,74 (MM)
Loss Volume:	22,55 (MM)	Baseflow Volume:	0,00 (MM)
Excess Volume:	3,75 (MM)	Discharge Volume:	3,74 (MM)

Subbasin "Bacino" Results for Run "Tr 50"



Tr 100 anni

Project: Bussoleno Simulation Run: Tr 100
 Subbasin: Bacino

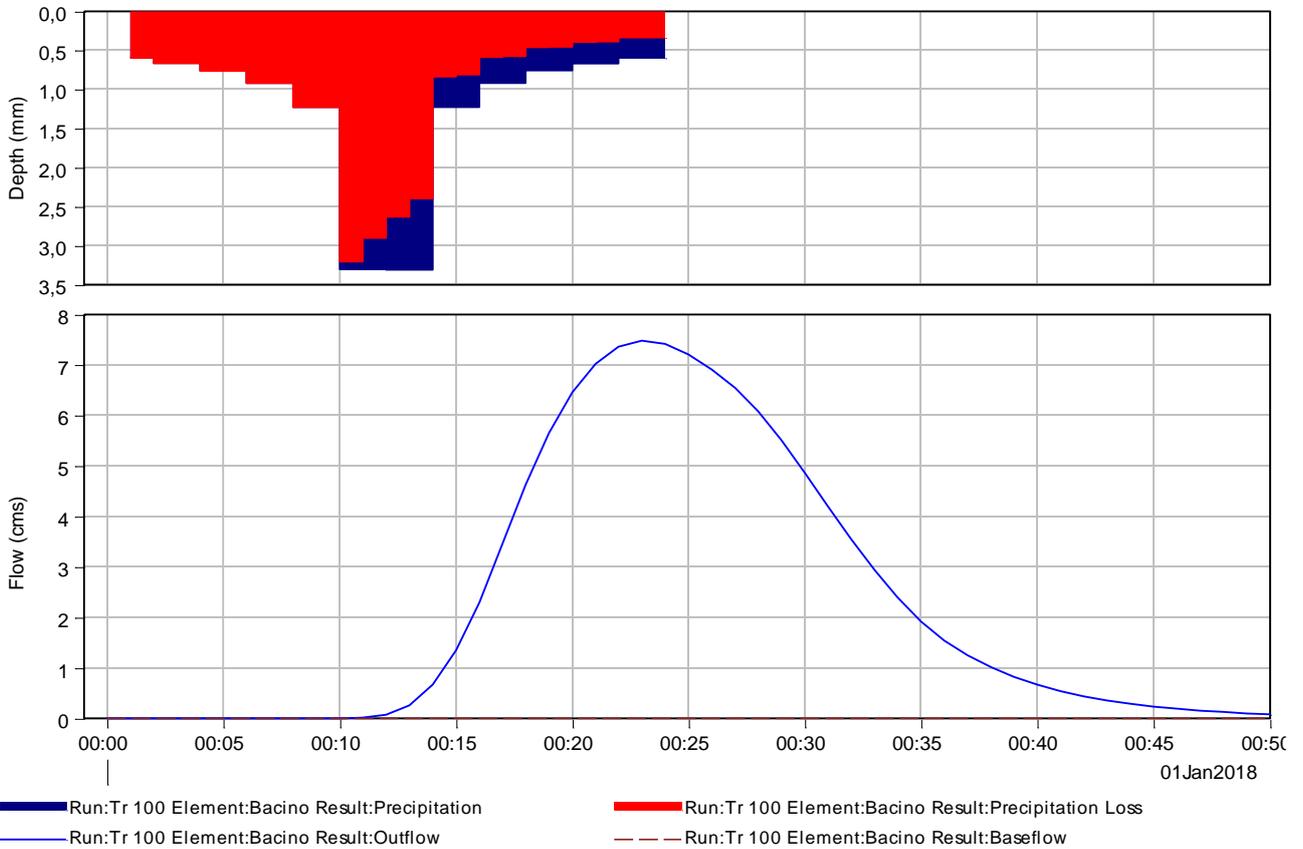
Start of Run: 01gen2018, 00:00 Basin Model: Rio Reforno
 End of Run: 01gen2018, 00:50 Meteorologic Model: Tr 100
 Compute Time: 18giu2018, 01:06:01 Control Specifications: Control Tr

Volume Units: MM 1000 M3

Computed Results

Peak Discharge:	7,5 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	01gen2018, 00:23
Precipitation Volume:	29,93 (MM)	Direct Runoff Volume:	5,26 (MM)
Loss Volume:	24,66 (MM)	Baseflow Volume:	0,00 (MM)
Excess Volume:	5,27 (MM)	Discharge Volume:	5,26 (MM)

Subbasin "Bacino" Results for Run "Tr 100"



Tr 200 anni

Project: Bussoleno Simulation Run: Tr 200
Subbasin: Bacino

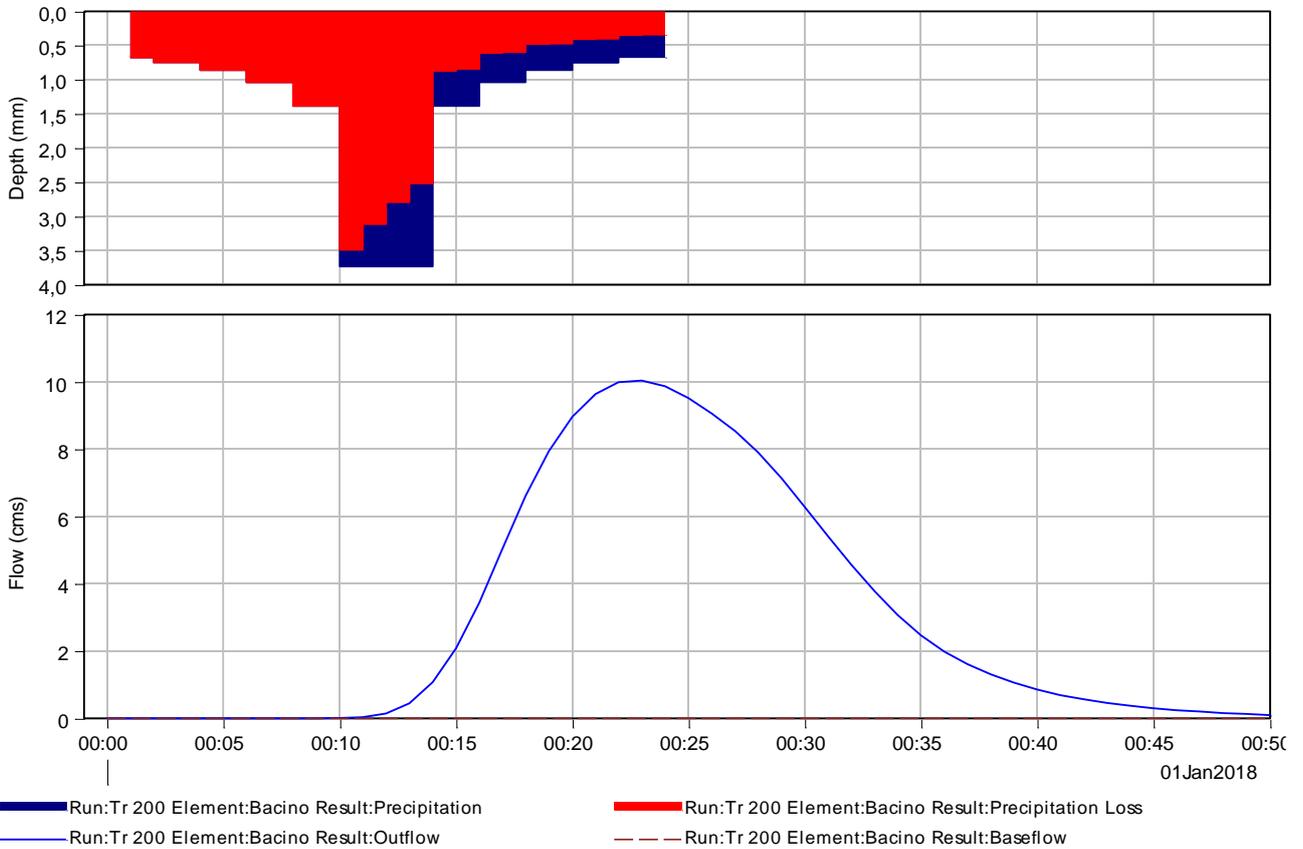
Start of Run: 01gen2018, 00:00	Basin Model: Rio Reforno
End of Run: 01gen2018, 00:50	Meteorologic Model: Tr 200
Compute Time: 18giu2018, 01:06:04	Control Specifications: Control Tr

Volume Units: MM 1000 M3

Computed Results

Peak Discharge: 10,0 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge: 01gen2018, 00:23
Precipitation Volume: 33,78 (MM)	Direct Runoff Volume: 7,05 (MM)
Loss Volume: 26,71 (MM)	Baseflow Volume: 0,00 (MM)
Excess Volume: 7,07 (MM)	Discharge Volume: 7,05 (MM)

Subbasin "Bacino" Results for Run "Tr 200"





REGIONE PIEMONTE – PROVINCIA DI TORINO

Comune di Bussoleno

*Colata detritica del 07/06/2018 sul conoide del rio Baccias/Reforo e
Comba delle foglie – Lavori di somma urgenza per il contenimento
del trasporto solido in apice del conoide*

Progetto Definitivo – Esecutivo



ALLEGATO 6

– Effetto di laminazione di una colata di detrito degli interventi in progetto – evento del
07/06/2018 e evento di Tr 20 anni

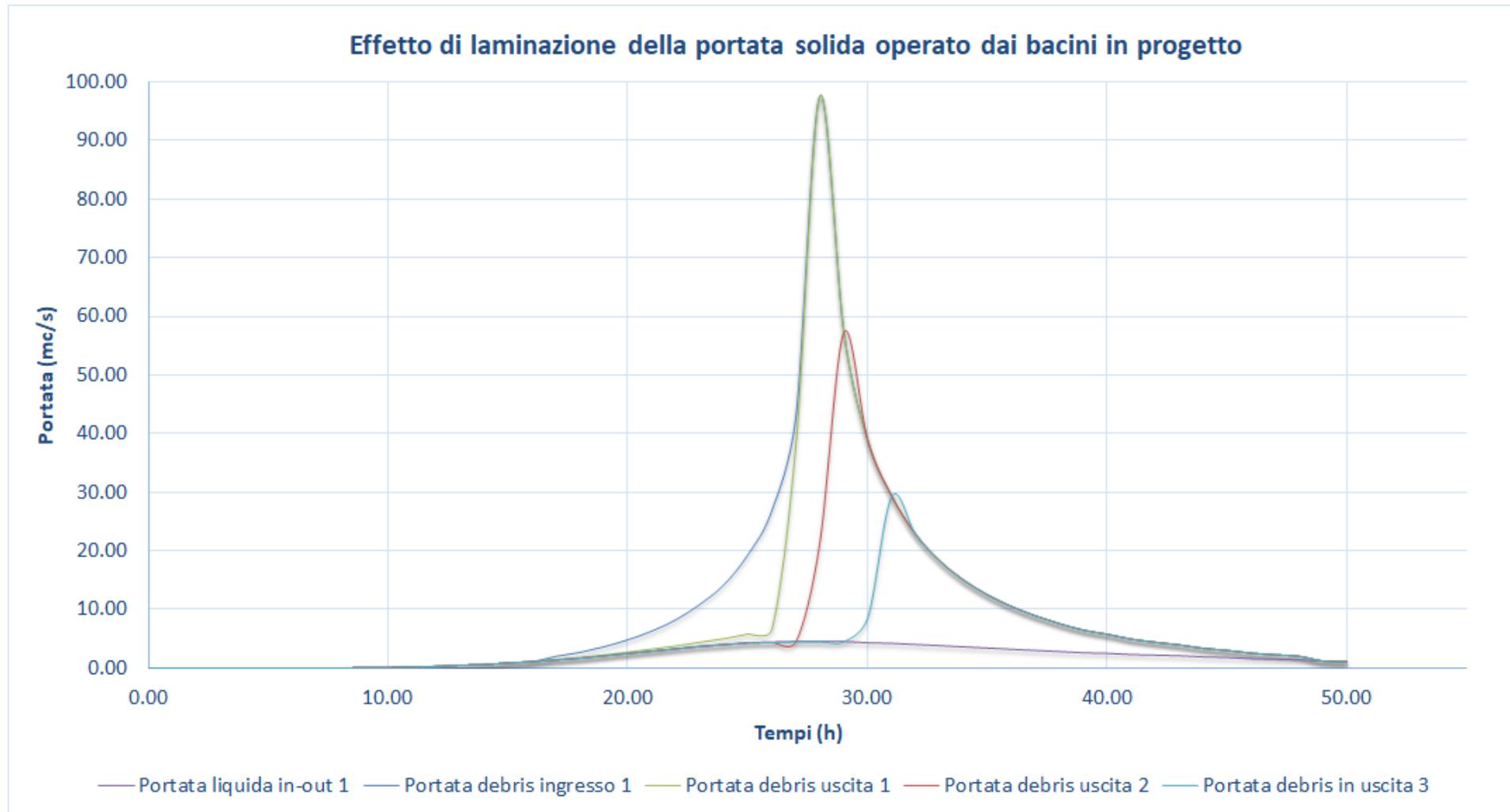


Figura 1 – Effetto di laminazione della portata solida operato dalla rete di contenimento del debris e dai bacini di accumulo e laminazione per il debrisgramma ricostruito dell'evento del 07/06/2018. I 3 bacini di accumulo del materiale solido sono indicati con numerazione crescente da monte verso valle

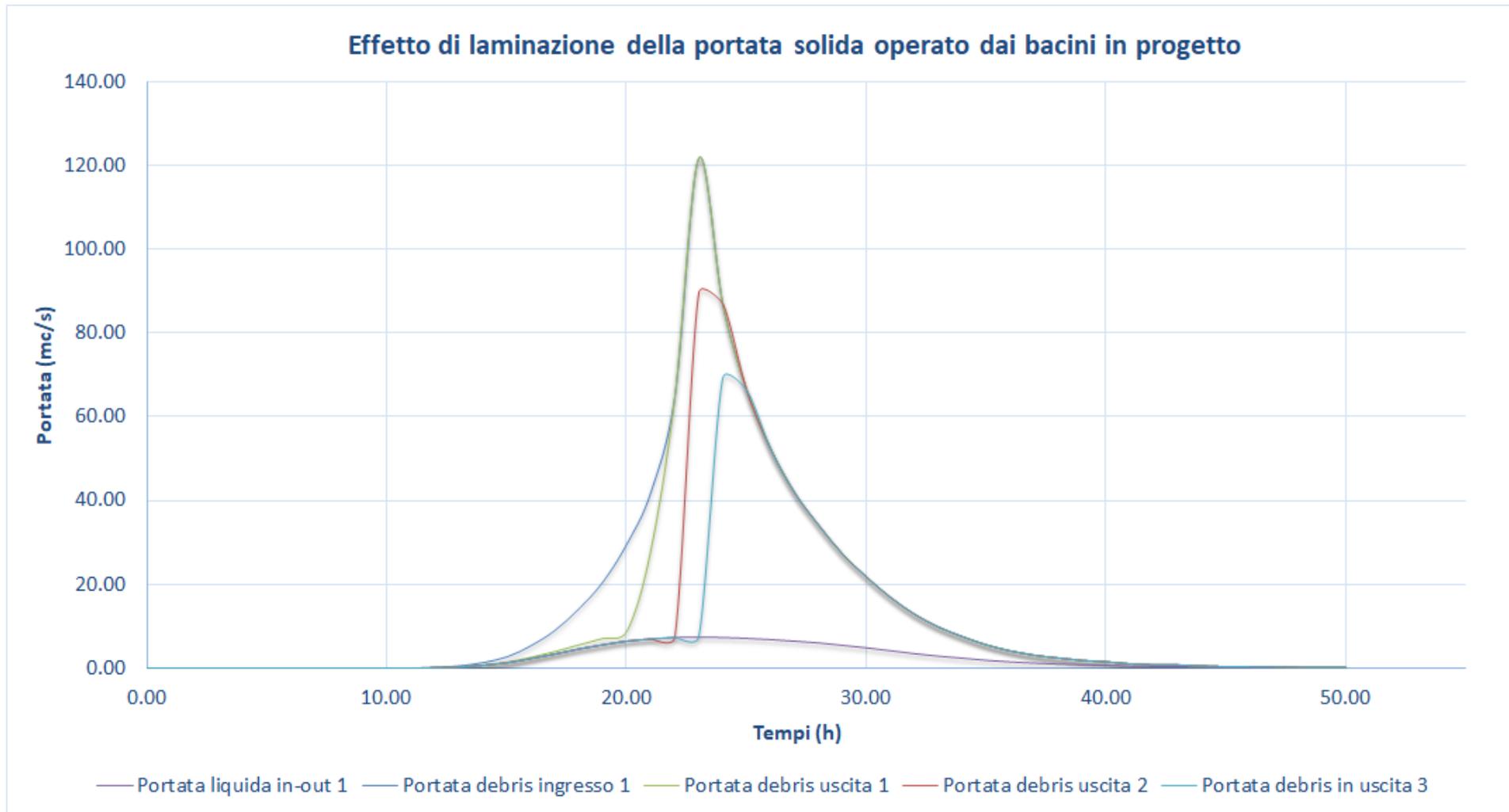


Figura 2 – Effetto di laminazione della portata solida operato dalla rete di contenimento del debris e dai bacini di accumulo e laminazione per una colata di detrito di Tr 20 anni. I 3 bacini di accumulo del materiale solido sono indicati con numerazione crescente da monte verso valle