



**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
già n.71 dell'allegato 1 all'Accordo di Programma del 12.11.2010*

CUP: I43B08000150001

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
10	RELAZIONE IDRAULICA	PD-ED.10
		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



PREMESSA

OBIETTIVO E METODOLOGIA

La presente relazione illustra l'inquadramento idraulico delle aree interessate dall'intervento di mitigazione del rischio idrogeologico derivante da colate rapide di fango, la metodologia adottata per la verifica idraulica degli interventi costituiti da 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 della efficacia delle misure proposte attraverso una serie di modellazioni bidimensionali nelle condizioni ante e post operam. 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.

IL MODELLO DI PROPAGAZIONE BIDIMENSIONALE

A partire dagli idrogrammi di piena ricavati attraverso lo studio idrologico la verifica della efficacia delle soluzioni progettuali sono state eseguite attraverso simulazioni idrauliche condotte su un dominio bidimensionale. Nell'ambito del progetto è stato impiegato il modello di simulazione FLO-2D.

IL CODICE DI CALCOLO UTILIZZATO

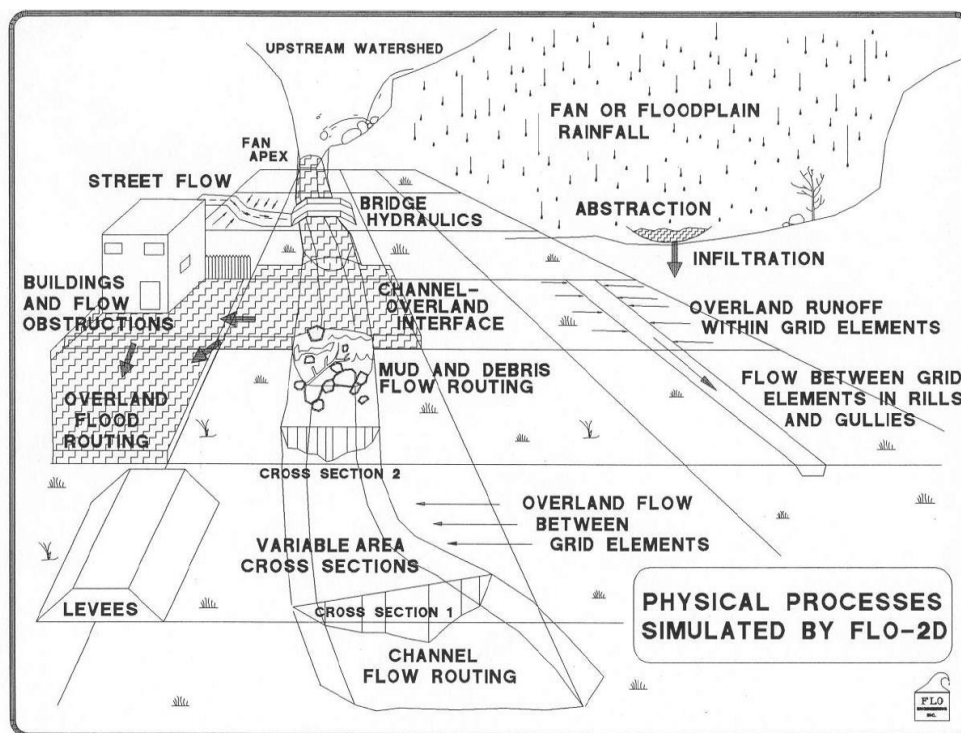
Il codice di calcolo utilizzato per le modellazioni è il FLO-2D, distribuito da FLO-2D Software Inc., ed è un modello di inondazione basato sulla conservazione dei volumi, sviluppato sia per la simulazione di eventi di piena sia per specifiche applicazioni nell'ambito della modellazione di colate detritiche.

Esso fa parte dei modelli idraulici approvati dal FEMA (Federal Emergency Management Agency) per questi tipo di studi.

FLO-2D è uno strumento per delineare il rischio e pianificare le opere di mitigazione contro i fenomeni di inondazione attraverso la simulazione di processi fisici che possono essere simulati mediante routine di calcolo attivabili dalla maschera principale che viene visualizzata all'avvio del programma. Il programma, è in grado di gestire idrogrammi di inondazione in ingresso multipli, sia applicati direttamente alla "floodplain" ossia alla piana inondata, sia come idrogrammi di piena relativi a canali, ed è in grado di combinare gli aspetti idrologici (quantità di pioggia, ruscellamento, infiltrazione, etc.) con aspetti idraulici (effetti delle strade, degli edifici e di ostruzioni in



genere sul flusso, variazione della velocità del flusso tra due elementi di calcolo.



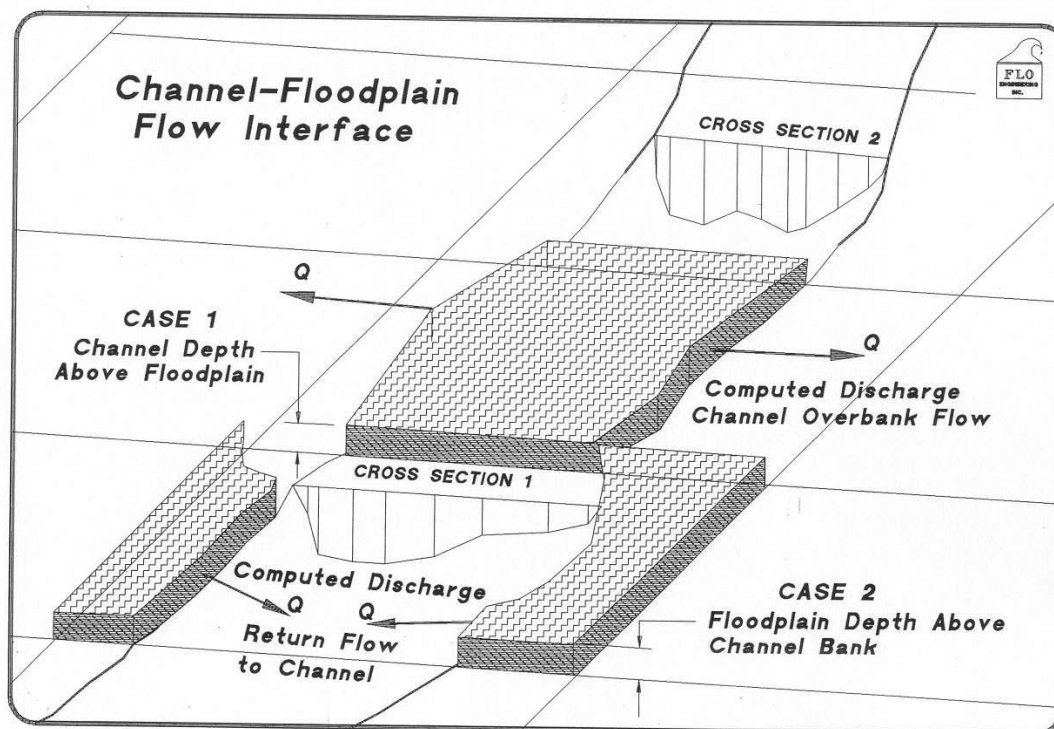
I processi fisici simulati da FLO-2D (da O'Brian J.S. 2009 FLO-2D)

In particolare FLO-2D simula il deflusso nel canale come un flusso monodimensionale attraverso le sezioni dell'alveo di sezione rettangolare, trapezoidale, o, nel caso di alvei naturali, la geometria può essere definita direttamente dall'utente. Il deflusso lungo le strade viene considerato come un flusso monodimensionale lungo un canale rettangolare.

Il flusso, relativamente alla "floodplain" (in figura indicato come overland flow), può essere modellato sia come flusso bidimensionale, sia come flusso attraverso canali multipli (Rills and Gullies), inoltre, il programma è in grado di considerare le interazioni fra canali e floodplain, attraverso una particolare routine di calcolo che simula il deflusso cosiddetto di overbank ossia quello che avviene quando si raggiunge il superamento della massima capacità del canale; questa routine di calcolo permette di determinare lo scambio di flusso con il terreno circostante compreso il flusso di ritorno al canale.

Analogamente, la stessa routine di calcolo permette anche di simulare il flusso di scambio tra le strade e le aree circostanti.

Una volta che il flusso ha superato il canale, esso si disperderà ad altri elementi della rete a seconda delle caratteristiche di topografia, rugosità e ostruzioni.



L'interazione canale-floodplain simulata da FLO-2D

FONDAMENTI TEORICI DEL MODELLO

FLO-2D è un modello di simulazione basato sulla semplice conservazione dei volumi in cui i flussi di acqua sul dominio di calcolo sono controllati dalla topografia e dai fattori di resistenza alla propagazione.

La modellazione bidimensionale si realizza attraverso un'integrazione numerica delle equazioni del moto e della conservazione dei volumi, sia per fenomeni alluvionali che per flussi di sedimenti iperconcentrati.

Le equazioni che governano questi processi sono l'equazione di continuità e l'equazione del moto nella forma completa (equazione dell'onda dinamica) note anche come equazioni di De Saint Venant, e che assumono la forma seguente:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hV}{\partial x} = i$$
$$S_f = S_0 - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial t}$$

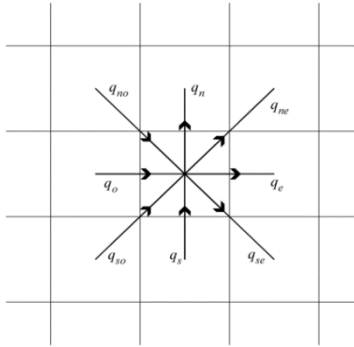
In cui h è il battente idrico; V è la velocità mediata lungo la verticale; i è l'intensità della precipitazione (che può essere nulla); S_f è la pendenza della linea dell'energia (friction slope component) determinata sulla base



dell'equazione di Manning; mentre S_0 è la pendenza di fondo (del terreno); g è l'accelerazione di gravità.

Con x indichiamo la direzione lungo la quale vengono integrate le equazioni di De Saint Venant. La precisazione è fatta in quanto, il codice di calcolo, è basato su un metodo di integrazione alle differenze finite delle equazioni di de Saint-Venant basato su celle quadrate, l'equazione del moto è risolta calcolando la velocità media del flusso attraverso il confine di ogni singola cella una direzione alla volta.

Esistono otto potenziali direzioni di flusso, le quattro direzioni cardinali più le altre quattro diagonali, ed ogni velocità è essenzialmente calcolata con una natura monodimensionale risolvendo lo schema in maniera indipendente alle altre sette direzioni, il che determina che il modello, più che bidimensionale, può essere definito quasi bidimensionale.



Le otto direzioni di flusso considerate da FLO-2D.

La procedura di calcolo utilizzata dal codice è basata su uno schema di risoluzione delle equazioni di De Saint Venant alle differenze finite centrali. Questo schema numerico è di semplice formulazione, ma presenta l'inconveniente che deve essere limitato da un passo temporale piccolo e da ristretti criteri di stabilità numerica. Infatti lo schema delle differenze finite può richiedere un'elevato tempo di calcolo quando sono simulate onde di piena in lieve aumento, bruschi cambiamenti di pendenza, canali con sezioni molto variabili.



LA COSTRUZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO IN FLO-2D

Allo scopo di poter eseguire i calcoli idraulici in Flo-2D si richiedono i seguenti dati:

Dati relativi all'andamento altimetrico dell'area di studio (DEM)

Dati relativi alle strutture, agli impianti, ai corsi d'acqua (shape files)

Dati idrologici (Idrogrammi)

Aperto il preprocessing GDS (Grid Developer System) Pro il primo passo è quello di importare i dati di elevazione del terreno e gli shape files.

Di seguito è necessario creare la griglia di calcolo, utilizzando una dimensione della cella opportuna, per avere un buon compromesso tra dettaglio dei risultati e velocità computazionale, dalle indicazioni fornite nel manuale del programma la dimensione deve essere contenuta entro i seguenti limiti:

$$0.03 \frac{\text{mc/s}}{\text{m}^2} < \frac{Q \text{ picco}}{\text{Area cella}} < 0.3 \frac{\text{mc/s}}{\text{m}^2}$$

Si tracciano poi i confini del dominio computazionale cercando di limitare la sua estensione al fine di ridurre i tempi di calcolo.

I confini del dominio di calcolo rappresentano dei bordi impermeabili dai quali l'acqua non può uscire. Il flusso idrico superficiale si accumulerebbe contro queste barriere a meno che non vengano definiti dei outflow nodes. Questi elementi trasferiscono acqua (fango nel caso del mudflow) al di fuori del dominio senza influenzare i tiranti all'interno dello stesso e approssimano condizioni di moto uniforme a partire dagli elementi adiacenti posti a monte, pertanto si inseriscono outflow nodes lungo il perimetro interno del dominio in corrispondenza dei lati verso cui presumibilmente si dirigerà il flusso.

La presenza di edifici ed altre infrastrutture presenti può essere simulata definendo dei fattori di riduzione areali "ARFs" e "WRFs" che indicano appunto la perdita della capacità di accumulo idrico della cella proprio a causa della presenza di ostacoli areali. Gli attraversamenti (sottopassi) invece, vengono inseriti nel modello associando a ciascuno di essi la relativa scala di deflusso. Infine alle sezioni di chiusura dei bacini vengono assegnati gli idrogrammi in ingresso.



MODELLAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO

L'area di intervento è quella immediatamente a monte del centro abitato del comune di Bracigliano nella quale, risultano già presenti una serie di opere di sistemazione idraulica (Briglie, canali).

Al fine della modellazione idraulica bidimensionale in primo luogo sono stati identificati all'interno dell'area interessata una serie di attraversamenti presenti lungo le aste del reticolo idrografico naturale nonché alcune opere di smaltimento costituite da canali già realizzati e che essendo interessate dal deflusso delle portate provenienti dai bacini a monte saranno inserite nel modello di calcolo.

Nell'immagine successiva è riportata la localizzazione degli attraversamenti suddetti.



Attraversamenti rilevati all'interno dell'area di interesse



Le caratteristiche geometriche sono riassunte nella tabella seguente:

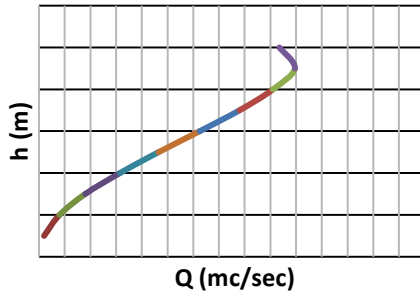
Attraversamento	Descrizione	BASE	ALTEZZA	PENDENZA TRATTO	MATERIALE
0	CIRCOLARE ϕ 1000			1%	CALCESTRUZZO
1	ARCO	2	2.3	14%	CALCESTRUZZO
2	ARCO	2.3	5	8%	CALCESTRUZZO
3	ARCO	3.5	6.5	7%	CALCESTRUZZO
6	RETTANGOLARE	3.6	2	7%	CALCESTRUZZO
8	RETTANGOLARE	5.8	3.7	23%	CALCESTRUZZO
9	RETTANGOLARE	2.4	1.9	10%	CALCESTRUZZO
10	ARCO	7.7	5.2	3%	CALCESTRUZZO
12	RETTANGOLARE	3	3.5	21%	CALCESTRUZZO
13	ARCO	7.7	5.2	5%	CALCESTRUZZO
14	RETTANGOLARE	4.3	2.1	12%	CALCESTRUZZO
16	ARCO	3.1	5	18%	CALCESTRUZZO
17	RETTANGOLARE	3	3	7%	CALCESTRUZZO
18	CIRCOLARE ϕ 1000			5%	CALCESTRUZZO

Attraversamenti rilevati all'interno dell'area di interesse

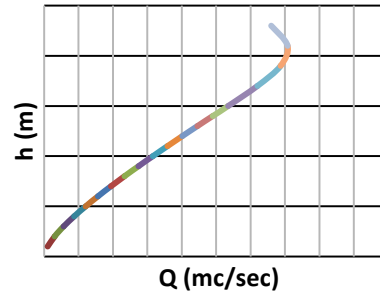
In primo luogo per inserire tali opere all'interno del modello di calcolo si sono costruite le scale di deflusso ad esse relative in condizioni di moto uniforme applicando la relazione di Gaukler Strickler di cui si riportano i risultati ottenuti:



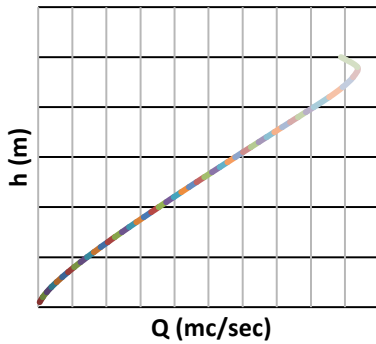
Scala deflusso circolare ϕ 1000



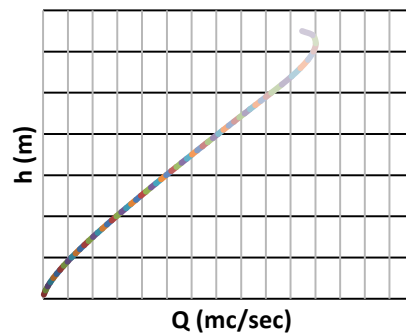
Scala deflusso sottopasso 2x2.3



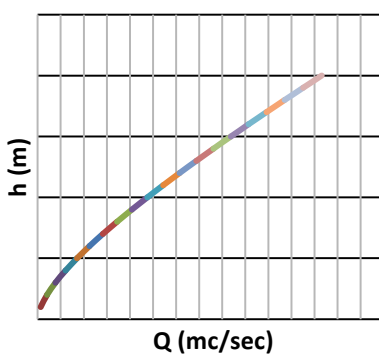
Scala deflusso sottopasso 2.3x5



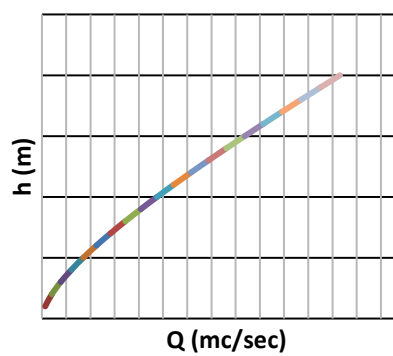
Scala deflusso sottopasso 3.5x6.5



Scala deflusso scatolare 3.6x2

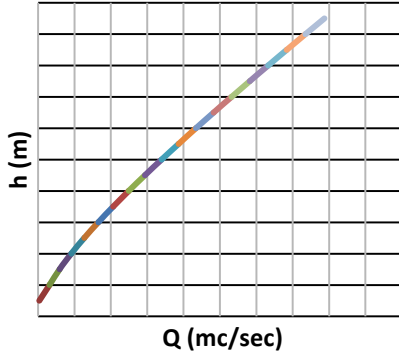


Scala deflusso ingresso vasca 5.8x3.7

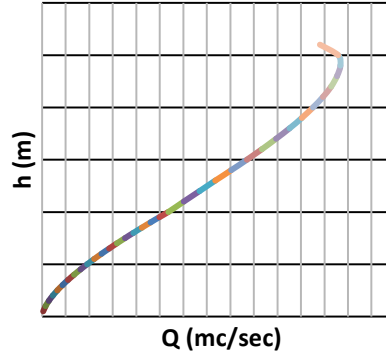




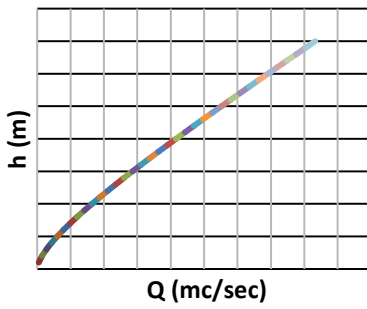
Scala deflusso scatolare 2.4x1.9



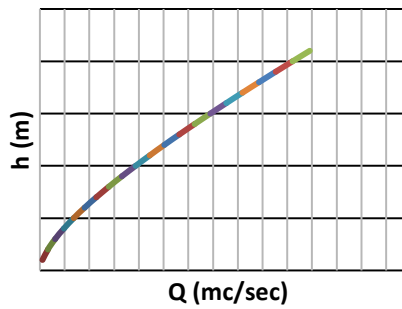
Scala deflusso sottopasso arco 7.7x5.2



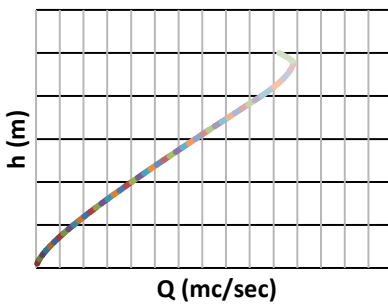
Scala deflusso ingresso vasca 3x3.5



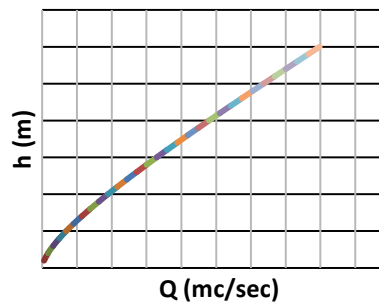
Scala deflusso scatolare 4.3x2.1



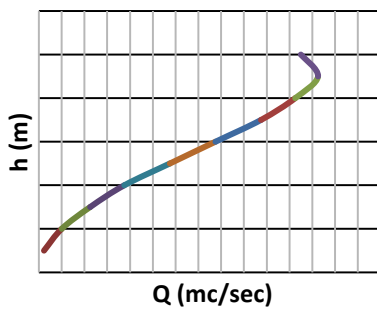
Scala deflusso sottopasso arco 3.1x5



Scala deflusso scatolare 3x3



Scala deflusso bypass $\phi 1000$





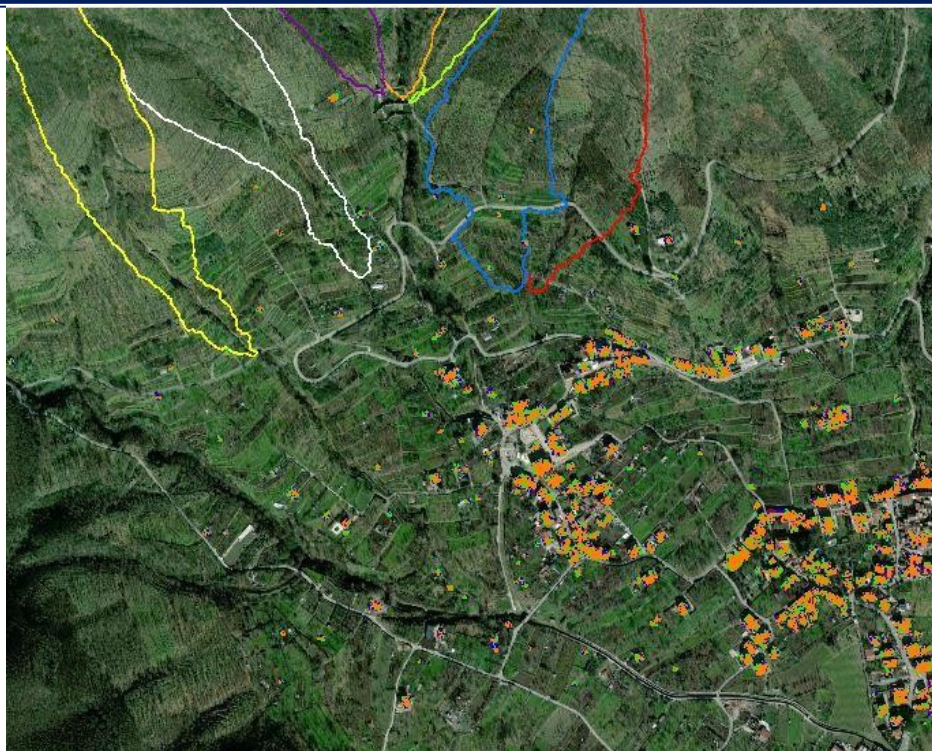
In secondo luogo sono state confrontate le portate massime convogliabili dagli attraversamenti con quelle provenienti dai bacini ad essi afferenti relativamente alle due ipotesi assunte, ovvero quella relativa al fangogramma relativo a un fenomeno tipo flusso iperconcentrato il quale segue l'idrogramma di piena derivante dalle portate meteoriche, e quella relativa al fangogramma relativo a un fenomeno tipo colata rapida per il quale le portate al colmo come si vede risultano di un ordine di grandezza superiore rispetto alle prime.

ATTRAV.	DESCRIZIONE	PORTATA MAX CONVOGLIABILE mc/sec	BACINI AFFERENTI	qt MAX F. IPERCONCENT. mc/sec	qt MAX COLATA RAPIDA mc/sec
0	CIRCOLARE ϕ 1000	1.99	1	4.26	42
1	ARCO	70.74	1	4.26	42
2	ARCO	187.23	2	7.52	82
3	ARCO	440.7	2	7.52	82
6	RETTANGOLARE	123.11	2	7.52	82
8	RETTANGOLARE	953	4+5	41.49	484
9	RETTANGOLARE	78.72	2+3+4+5	69.63	777
10	ARCO	507	3+4+5	62.11	694
12	RETTANGOLARE	333	3	20.63	210
13	ARCO	507	3+4+5	62.11	694
14	RETTANGOLARE	218	7	8.99	136
16	ARCO	432	6+7	17.61	235
17	RETTANGOLARE	159	1+2+3+4+5	73.9	918
18	CIRCOLARE ϕ 1000	1.99	6+7	17.61	235

Attraversamenti rilevati all'interno dell'area di interesse

IL MODELLO DELL'AREA DI STUDIO NELLA CONDIZIONE ANTE OPERAM

Nella prima fase della modellazione bidimensionale si è scelto di impiegare un modello dell'area di studio in cui sono stati inseriti soltanto gli edifici sotto forma di ARF gli attraversamenti critici ovvero quelli per i quali le portate convogliabili risultano inferiori a quelle provenienti dai bacini afferenti, in particolare il bypass contrassegnato come attraversamento N° 9 e quello contrassegnato con il N° 18 i quali, attraversando il centro abitato rappresentano degli elementi sui quali porre particolare attenzione dal punto di vista idraulico.



**Gli edifici modellati come ARF in giallo, sovrapposti all'ortofoto dell'area di interesse;
sono altresì rappresentate le sezioni terminali dei bacini scolanti.**

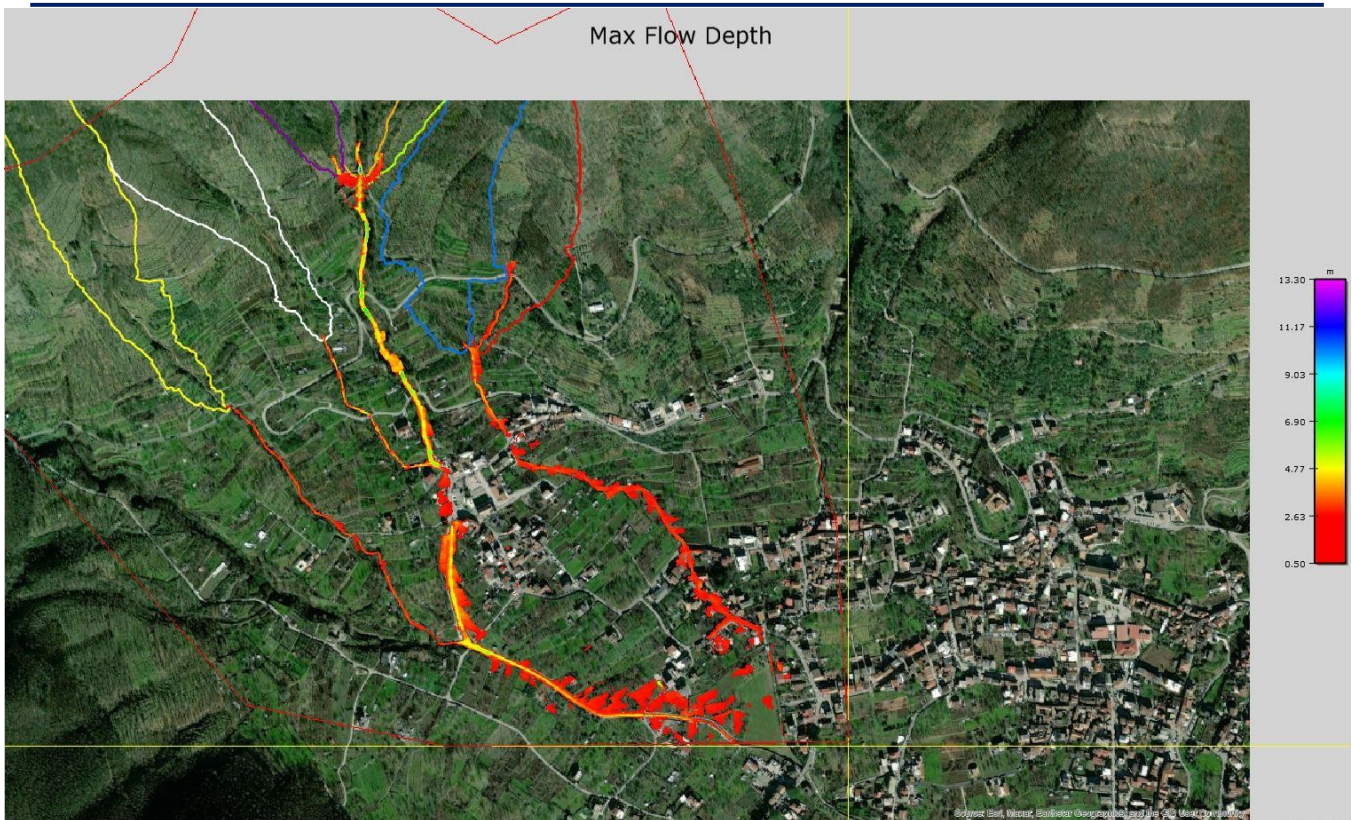
In queste ipotesi è stato costruito un modello sulla base del DEM con risoluzione di cella pari a 1mt,
utilizzando un dominio di calcolo con cella 2x2 metri



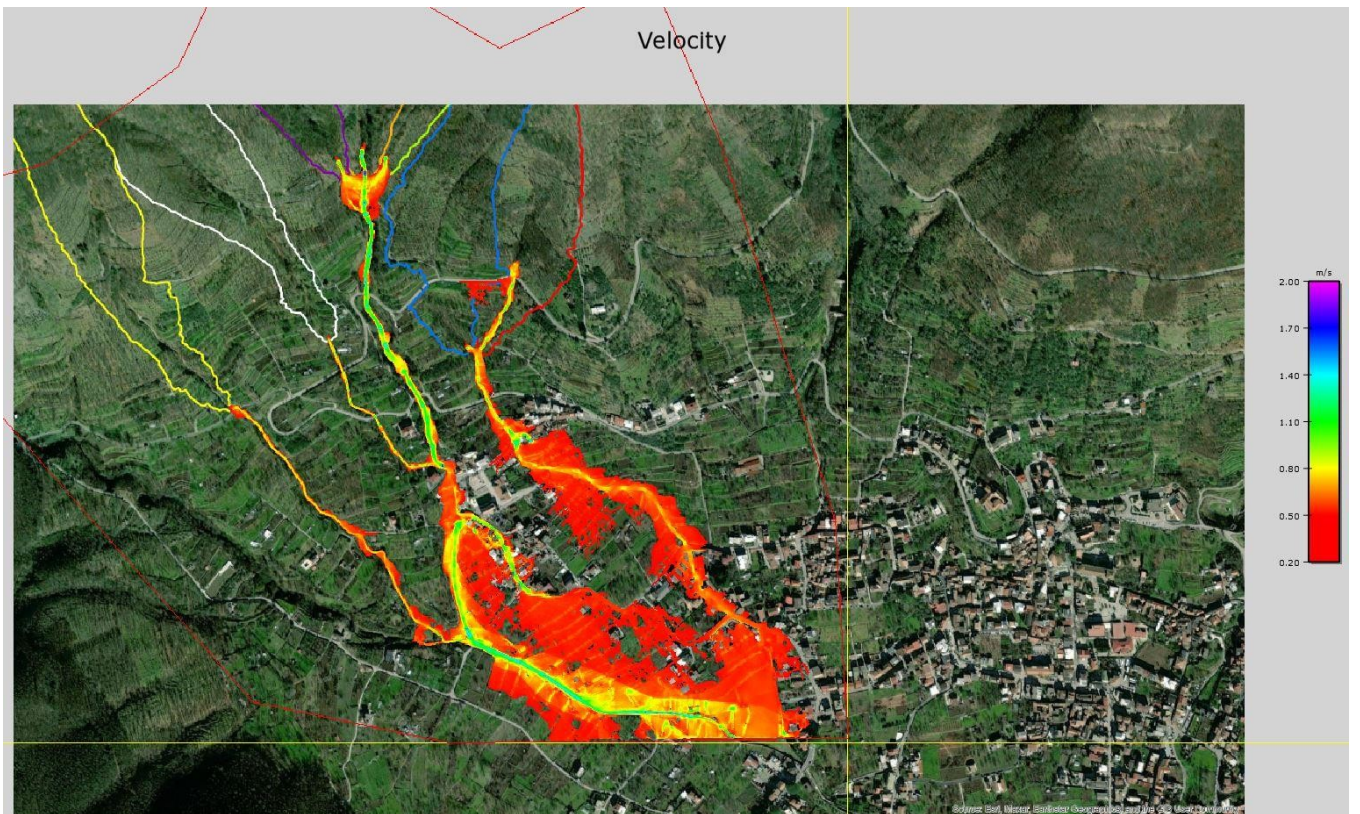
Particolare del dominio di calcolo nella zona del bypass che attraversa il centro abitato in rosso e in blu rispettivamente le celle di ingresso e di uscita del canale

Il modello è stato poi completato con le portate provenienti dai bacini nella ipotesi di flussi iperconcentrati.

I risultati in termini di massimo tirante idrico e massima velocità sul modello costruito come appena descritto, sono riportati nelle immagini seguenti:



Risultati in termini di tirante massimo ottenuti sul modello ante operam (Flusso Iperconcentrato)

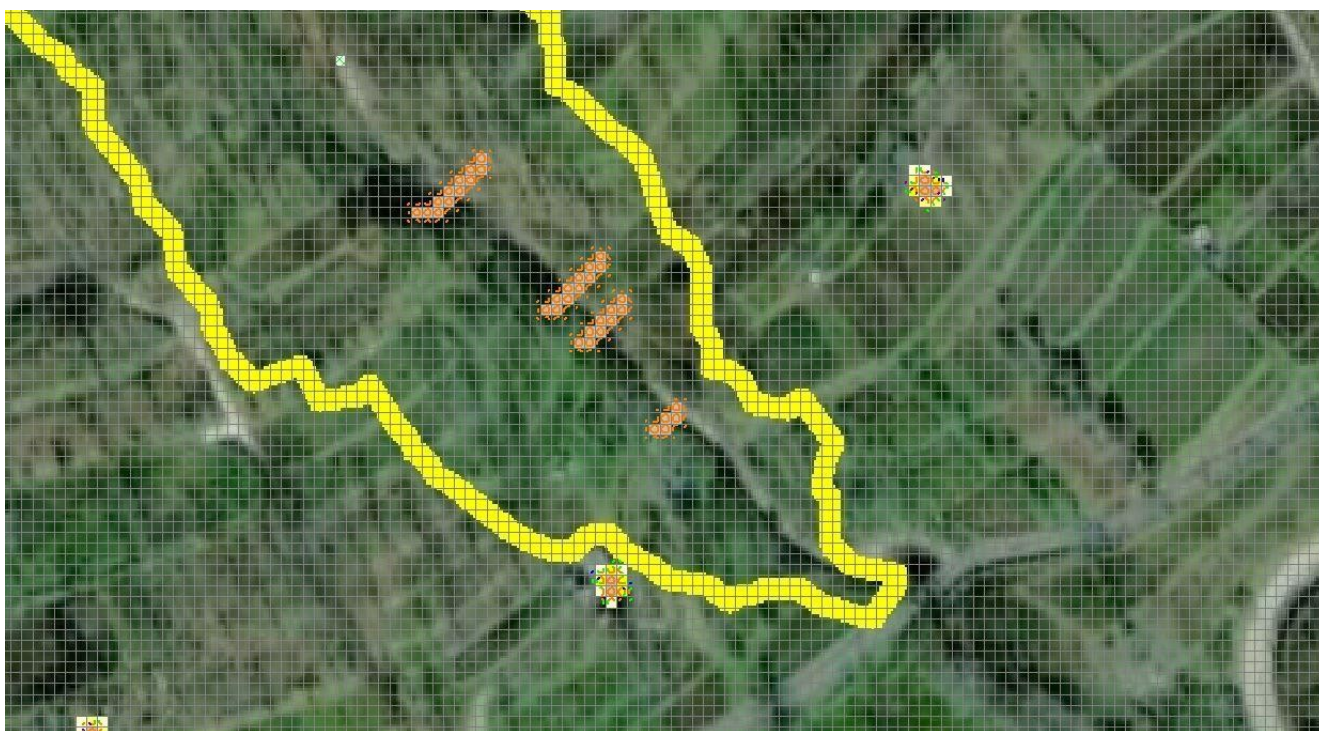




Risultati in termini di velocità ottenuti sul modello ante operam (Flusso Iperconcentrato)

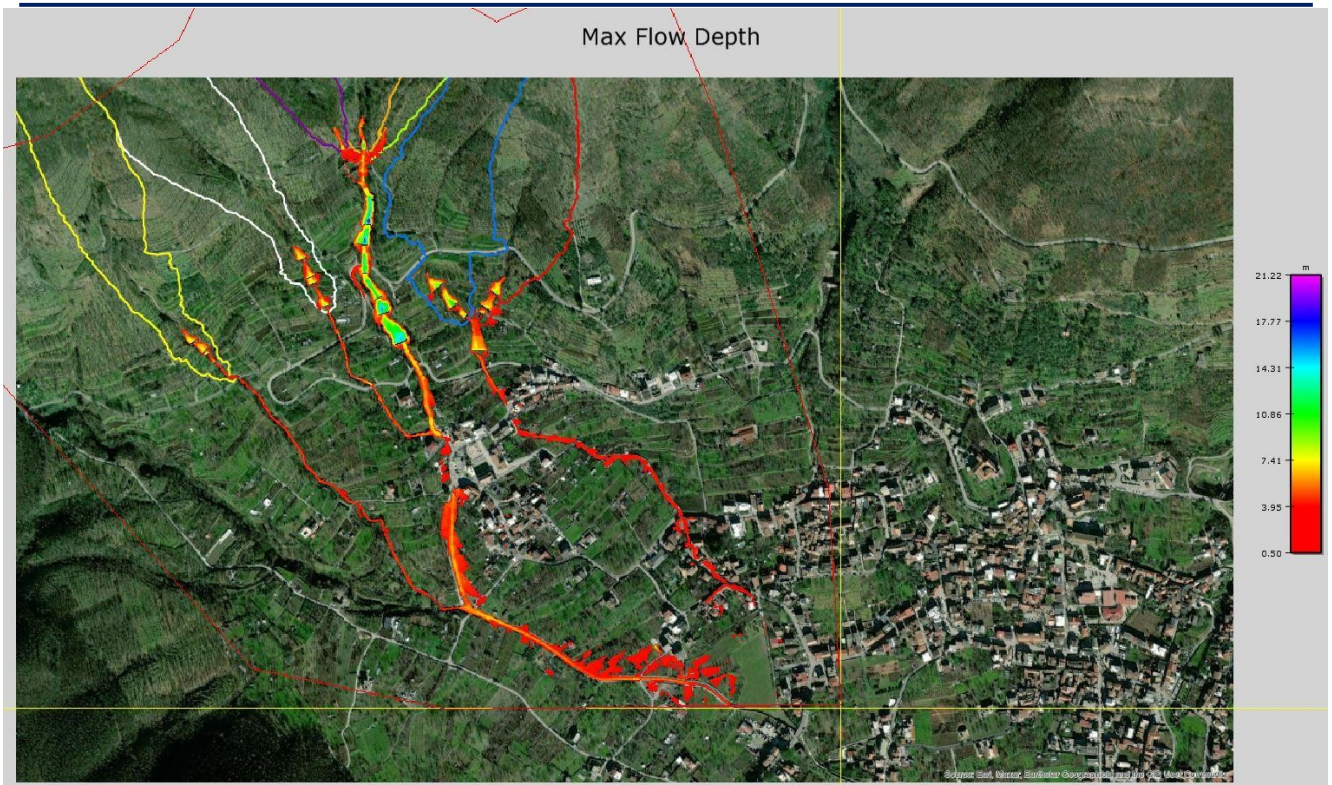
IL MODELLO DELL'AREA DI STUDIO NELLA CONDIZIONE POST OPERAM CON BRIGLIE

Il modello in condizioni ante operam è stato integrato attraverso l'inserimento di briglie dell'altezza di 4 mt alla gaveta, disposte secondo quanto riportato nelle tavole di progetto; in questo modello, alle spalle delle briglie in prima battuta non si è ipotizzata nessuna opera di riprofilatura dei versanti, questo per valutare attraverso i risultati della simulazione l'effetto degli invasi che si realizzano attraverso il solo sbarramento dei canali.

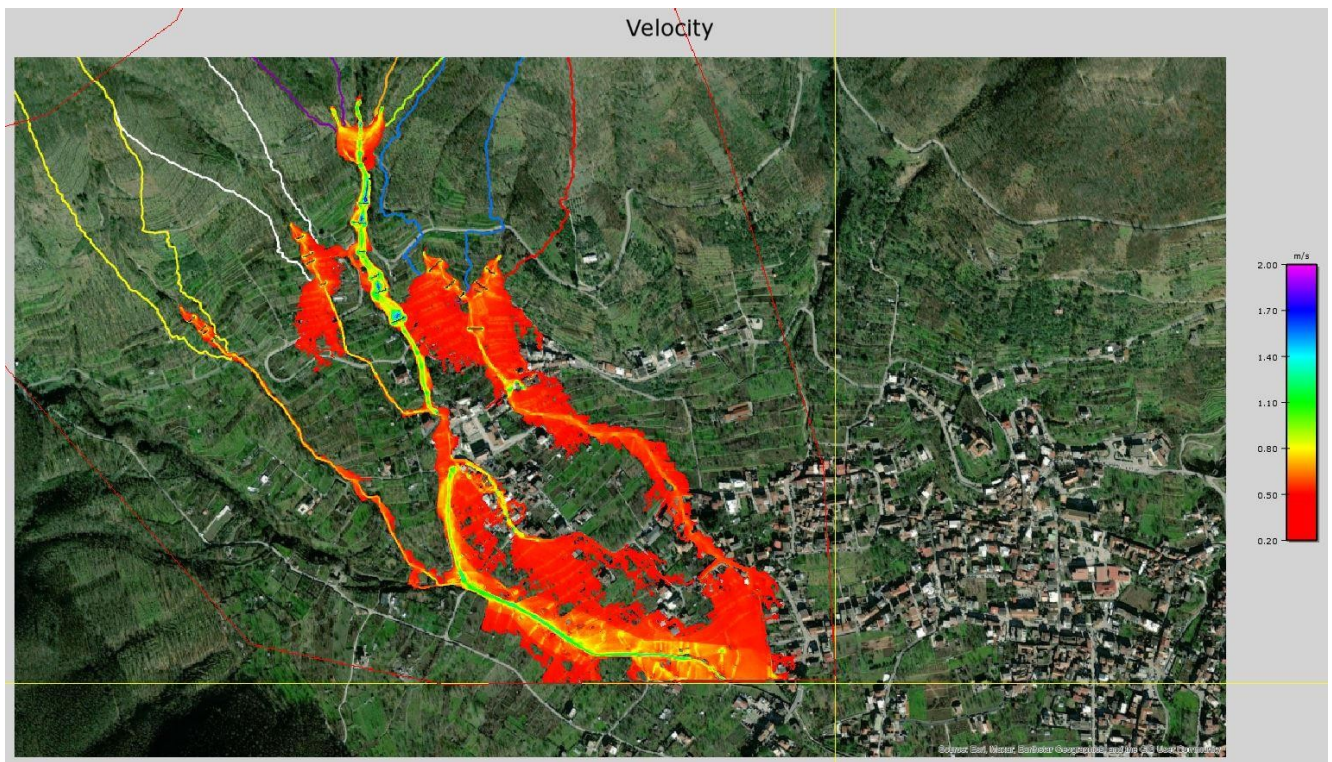


Particolare del dominio di calcolo nella zona delle briglie inserite lungo il canale relativo al bacino1

Il modello, completato con le portate provenienti dai bacini nella ipotesi di flussi iperconcentrati ha restituito i seguenti risultati in termini di massimo tirante idrico e massima velocità:



Risultati in termini di tirante massimo ottenuti sul modello post operam con briglie (Flusso Iperconcentrato)



Risultati in termini di velocità ottenuti sul modello post operam con briglie (Flusso Iperconcentrato)



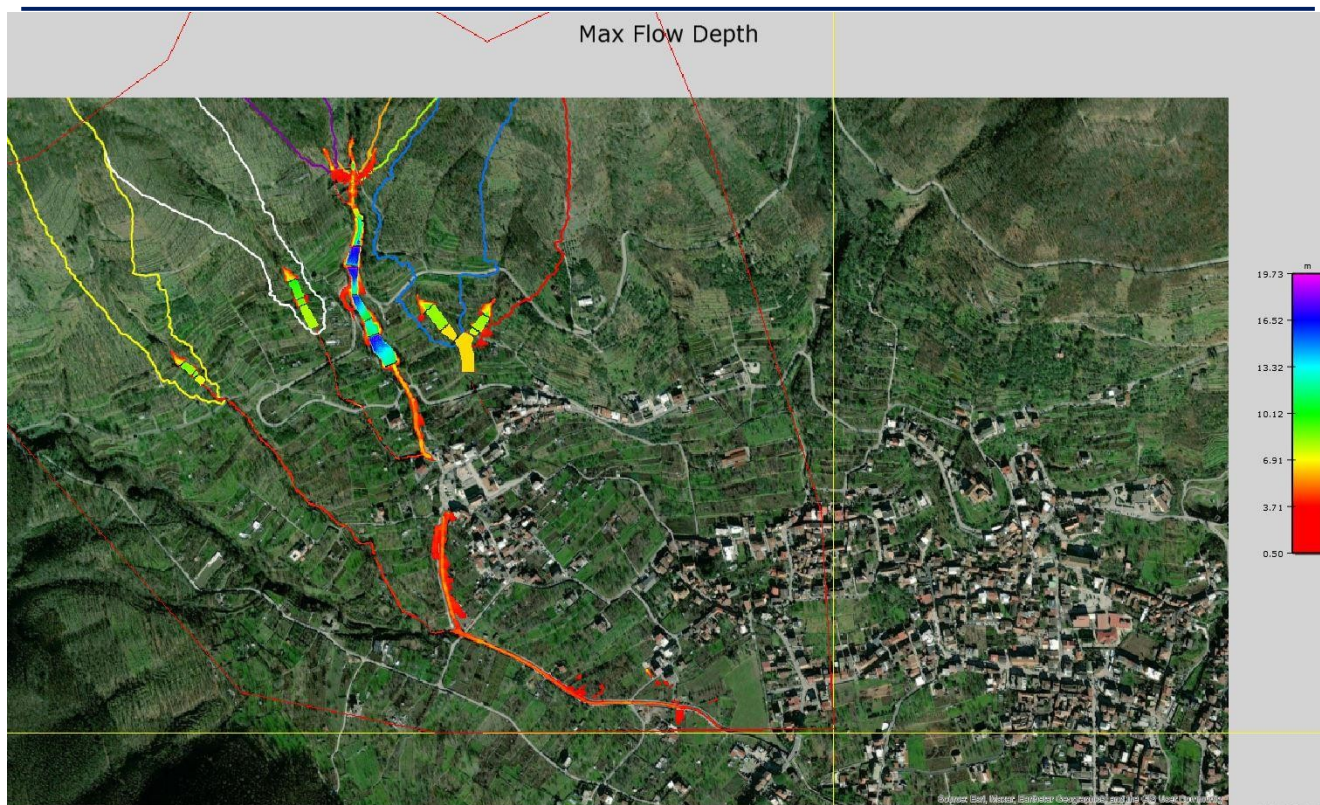
IL MODELLO DELL'AREA DI STUDIO NELLA CONDIZIONE POST OPERAM CON BRIGLIE E RIPROFILATURA DEI VERSANTI

Il modello, integrato attraverso l'inserimento di briglie, è stato aggiornato attraverso le opere di riprofilatura dei versanti; ciò per determinare un aumento dei volumi invasati alle spalle degli sbarramenti. Tale modifica è stata introdotta nel modello introducendo quote delle celle modificate rispetto a quelle naturali, in modo da profilare l'area alle spalle degli sbarramenti secondo quanto riportato nelle tavole di progetto.

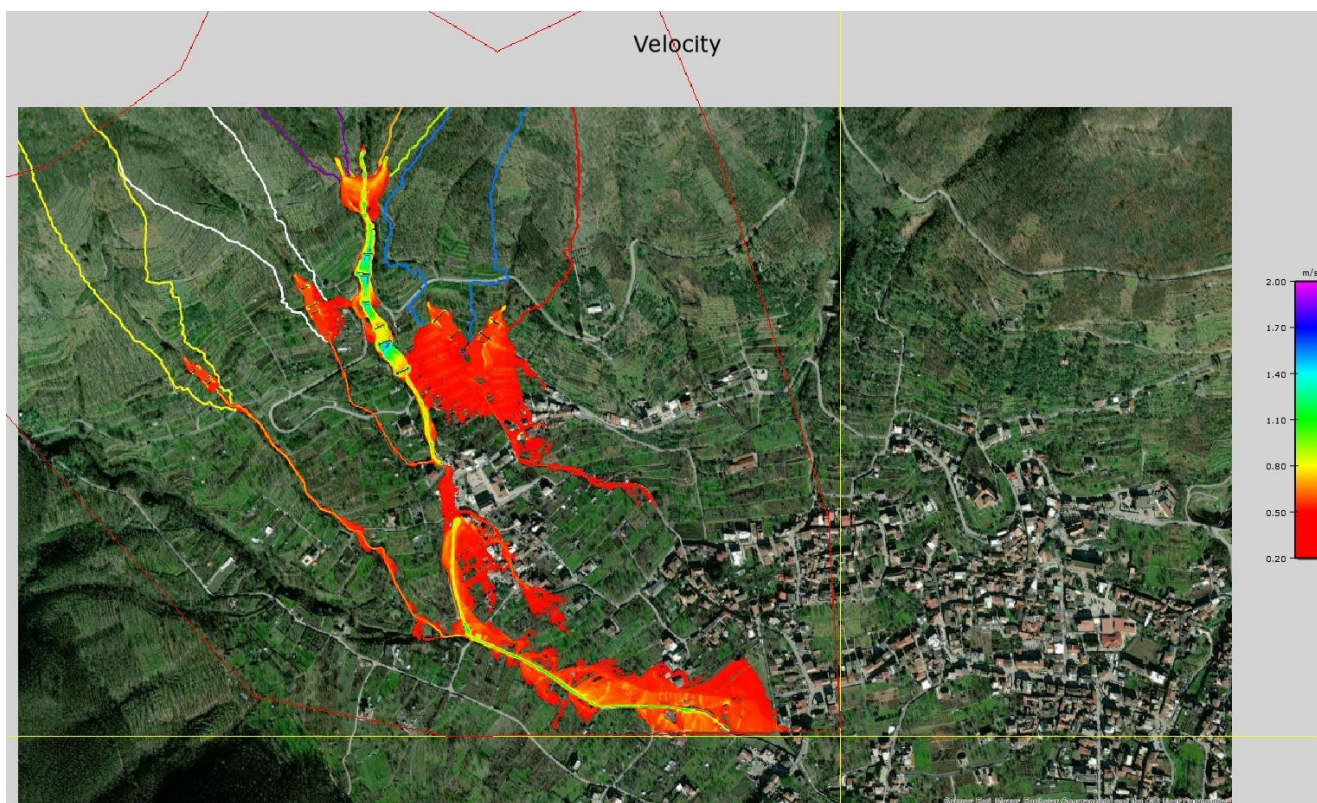
462.00	465.00	465.00	460.00	460.00	460.00	460.00	464.00	463.20	462.54	462.34	462.85	463.54	463.93	464
465.00	465.00	460.00	460.00	460.00	460.00	464.00	464.00	461.18	461.50	461.87	462.07	462.31	463.01	463
466.29	464.87	460.00	460.00	460.00	464.00	464.00	454.00	454.00	454.00	461.22	461.29	461.44	461.86	462
466.59	465.43	464.00	460.00	464.00	464.00	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	460.89	460.87	460.89	460
466.60	465.87	464.90	464.00	464.00	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	460.73	460.70	460
466.77	466.15	465.06	463.20	461.82	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	460.15	460
466.30	465.37	464.31	463.13	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	460
466.11	465.03	463.78	463.02	462.45	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	459
465.63	464.63	463.45	462.97	462.31	460.91	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	459
464.95	464.23	463.38	462.91	461.95	460.89	460.48	454.00	454.00	454.00	454.00	454.00	456.85	458.21	458
464.36	463.62	463.20	462.87	461.62	460.68	460.50	460.39	454.00	454.00	454.00	455.40	458.00	456.34	456
463.99	463.46	463.21	462.53	461.12	460.69	460.54	460.41	454.00	457.42	458.00	458.00	458.00	454.67	454
463.87	463.40	463.19	462.22	461.12	460.78	460.56	460.38	460.02	458.67	458.00	458.00	455.53	454.18	453

Particolare del dominio di calcolo nella zona delle di una delle vasche modellate attraverso la riprofilatura dei versanti in verde le celle che costituiscono il fondo della vasca

Il modello, completato con le portate provenienti dai bacini nella ipotesi di flussi iperconcentrati ha restituito i seguenti risultati in termini di massimo tirante idrico e massima velocità:



Risultati in termini di tirante massimo ottenuti sul modello post operam con briglie e versanti riprofilati (Flusso Iperconcentrato)



Risultati in termini di velocità ottenuti sul modello post operam con briglie e versanti riprofilati

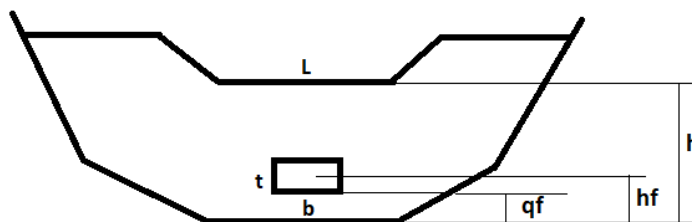


(Flusso Iperconcentrato)

IL MODELLO DELL'AREA DI STUDIO NELLA CONDIZIONE POST OPERAM CON BRIGLIE DOTATE DI LUCE DI FONDO E RIPROFILATURA DEI VERSANTI

Nei modelli precedenti, le briglie sono state modellate come dei semplici sbarramenti, al fine di valutare il solo effetto della presenza di un volume di invaso nel quale poter accogliere parte del volume derivante dal fangogramma di progetto. In questo ultimo modello, le briglie sono state dotate di una luce di fondo al fine di consentire il deflusso delle portate ordinarie e di laminare quelle eccezionali.

Al fine di dimensionare la luce di fondo, si è fatto riferimento allo schema seguente di opera di sbarramento:



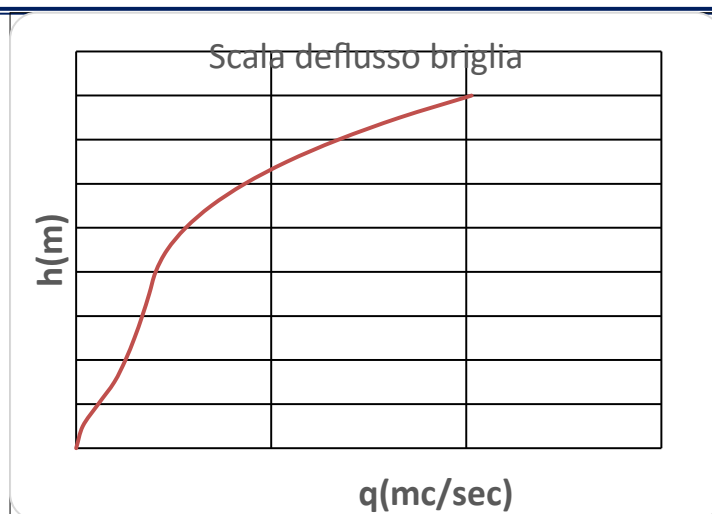
La portata in uscita può essere considerata variabile al variare di h secondo il seguente schema:

- Per $0 < h \leq q_f$ allora $Q_u=0$;
- Per $q_f < h \leq h_f$ allora $Q_u=0.385 b (2g)^{1/2} (h-q_f)^{3/2}$
- Per $h_f < h \leq h_s$ allora $Q_u=\mu_f A (2g)^{1/2} (h-h_f)^{3/2}$
- Per $h > h_s$ allora $Q_u=\mu_f A (2g)^{1/2} (h-h_s)^{3/2} + 0.385 [L + (4/5)(h-h_s)] (2g)^{1/2} (h-h_s)^{3/2}$

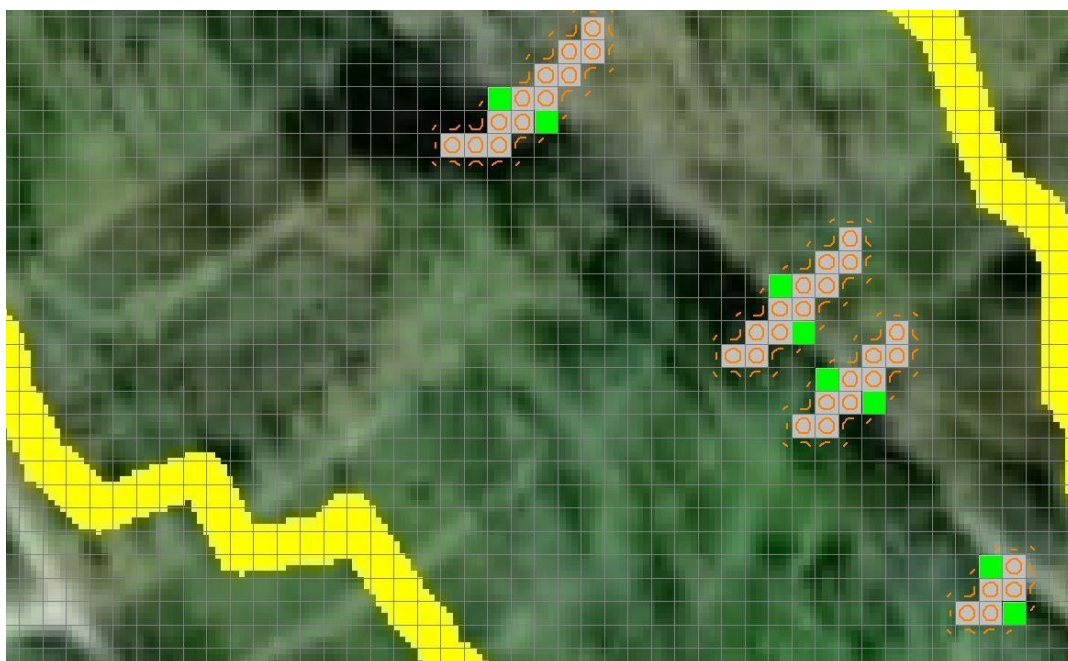
Modello schematico della briglia

Le dimensioni assunte per la luce di fondo sono state quelle riportate di seguito, da cui è scaturita la relativa scala di deflusso:

b=	2 m	t=	1.5 m	hf=	0.75 m	quota del baricentro della luce a battente
		quota di fondo (qf)=	0 m	A=	3 m²	Sezione della luce di efflusso
				muf=	0.85	coefficiente di efflusso per una luce a parete grossa
				L=	2 m	larghezza della gaveta
				mus=	0.385	coefficiente di efflusso per una luce a stramazzo briglia
				hs=	4 m	quota di sfioro gaveta rispetto al fondo

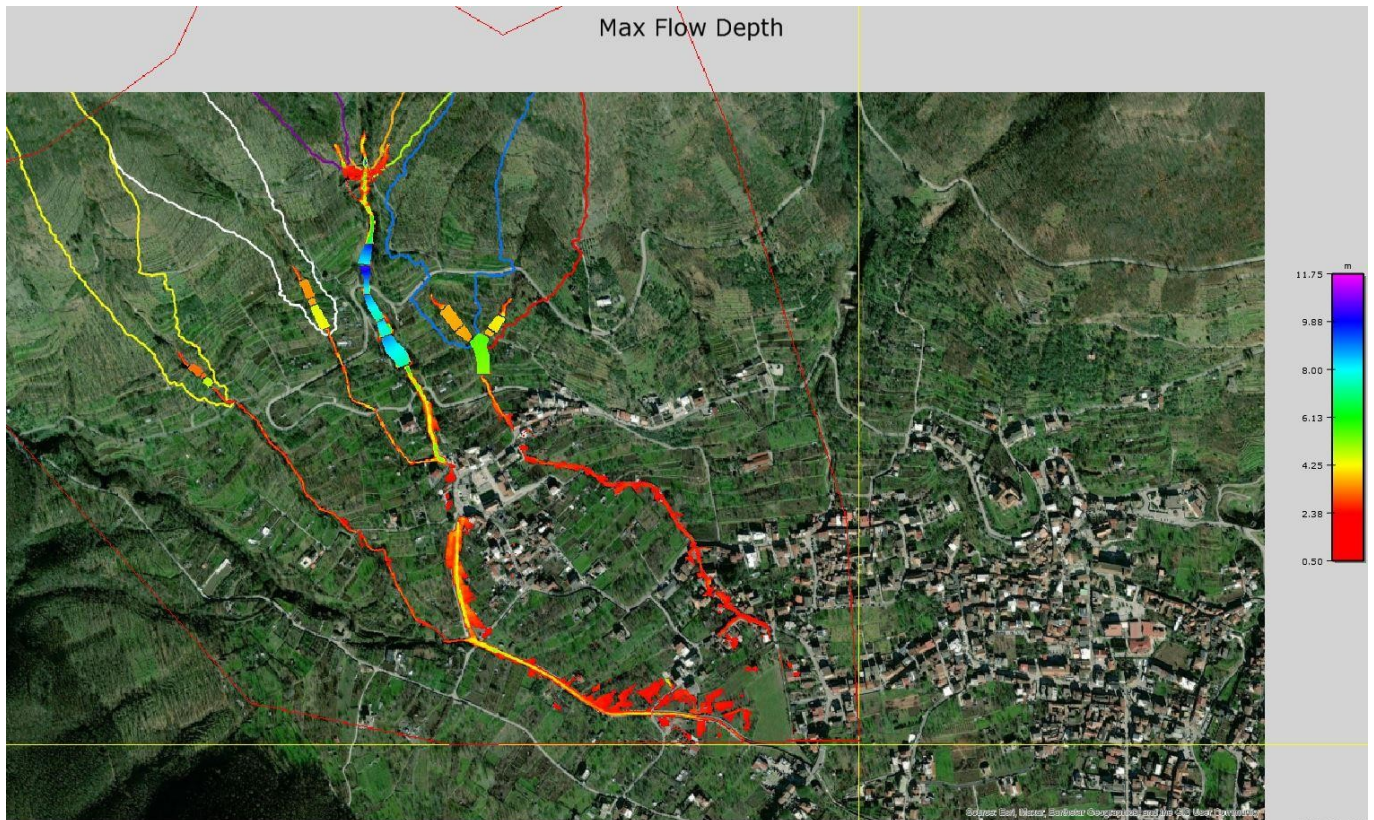


Nel modello di calcolo, la luce di fondo è stata configurata attraverso l'inserimento della scala di deflusso in corrispondenza di ognuna delle briglie disposte all'interno del modello.

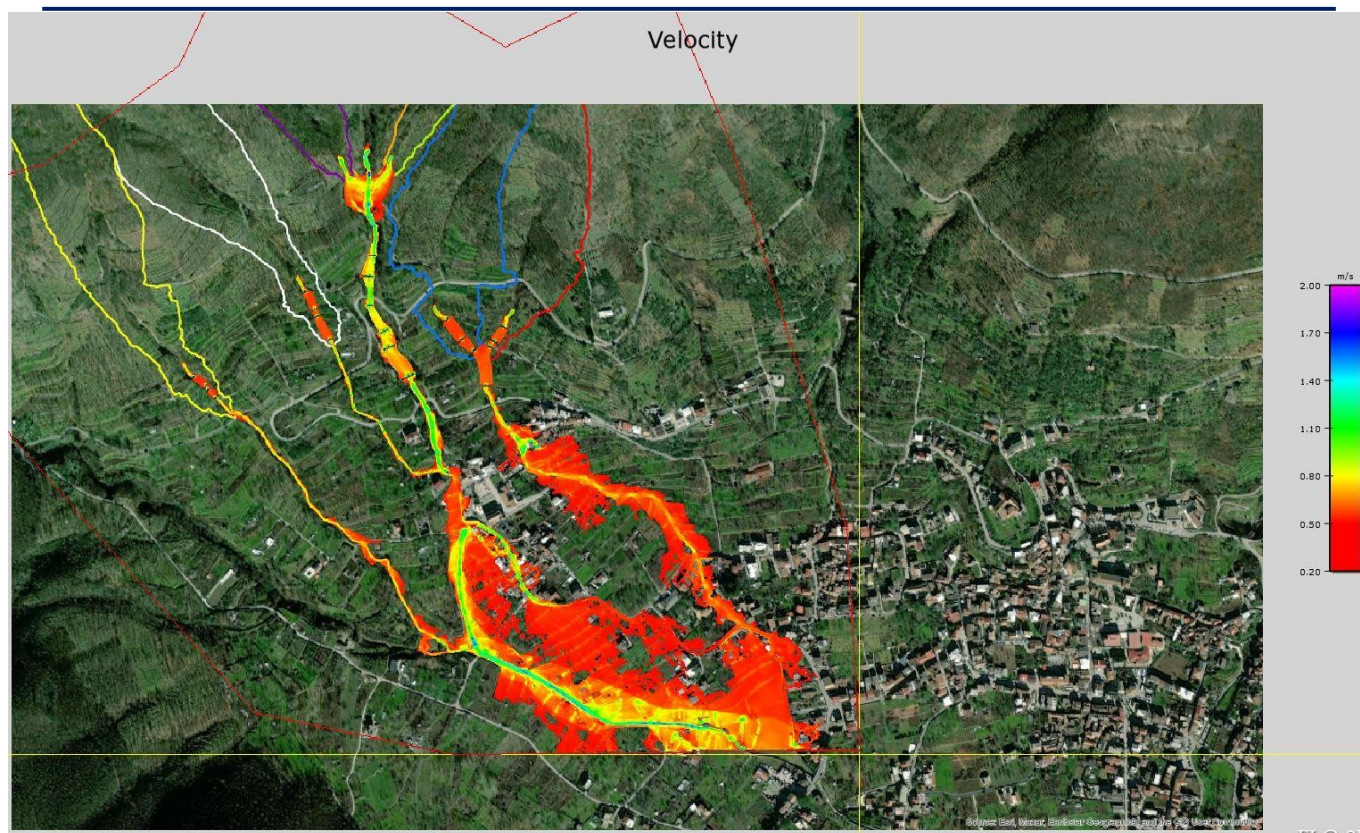


Particolare del dominio di calcolo nella zona delle di una delle vasche modellate attraverso la riprofilatura dei versanti in verde le celle che costituiscono la luce di fondo della briglia

Il modello, completato con le portate provenienti dai bacini nella ipotesi di flussi iperconcentrati ha restituito i seguenti risultati in termini di massimo tirante idrico e massima velocità:



Risultati in termini di velocità ottenuti sul modello post operam con briglie dotate di luci di fondo e versanti riprofilati (Flusso Iperconcentrato)

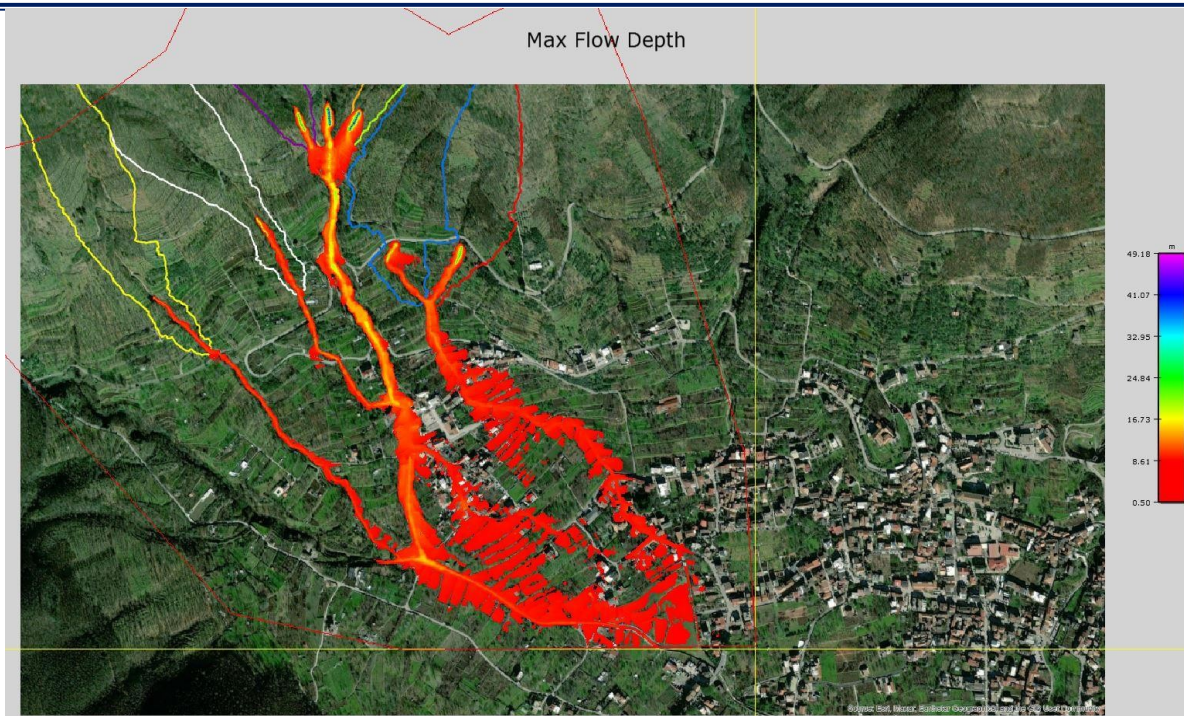


Risultati in termini di velocità ottenuti sul modello post operam con briglie dotate di luci di fondo e versanti riprofilati (Flusso Iperconcentrato)

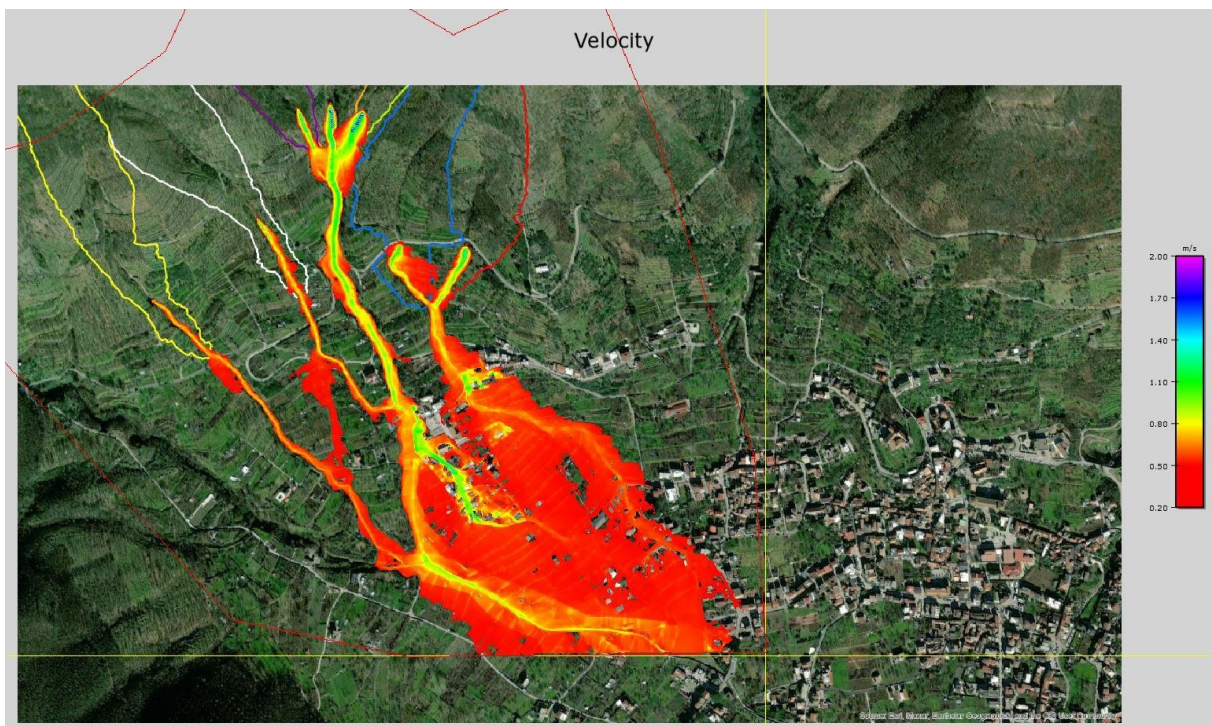
RISULTATI DELLE SIMULAZIONI RELATIVE AI MODELLI DELL'AREA DI STUDIO CON PORTATE RELATIVE ALLA CONDIZIONE DI COLATA RAPIDA

Le simulazioni bidimensionali effettuate sui 4 modelli precedenti, sono state ripetute applicando ai medesimi modelli geometrici, le portate relative alla ipotesi di colata rapida.

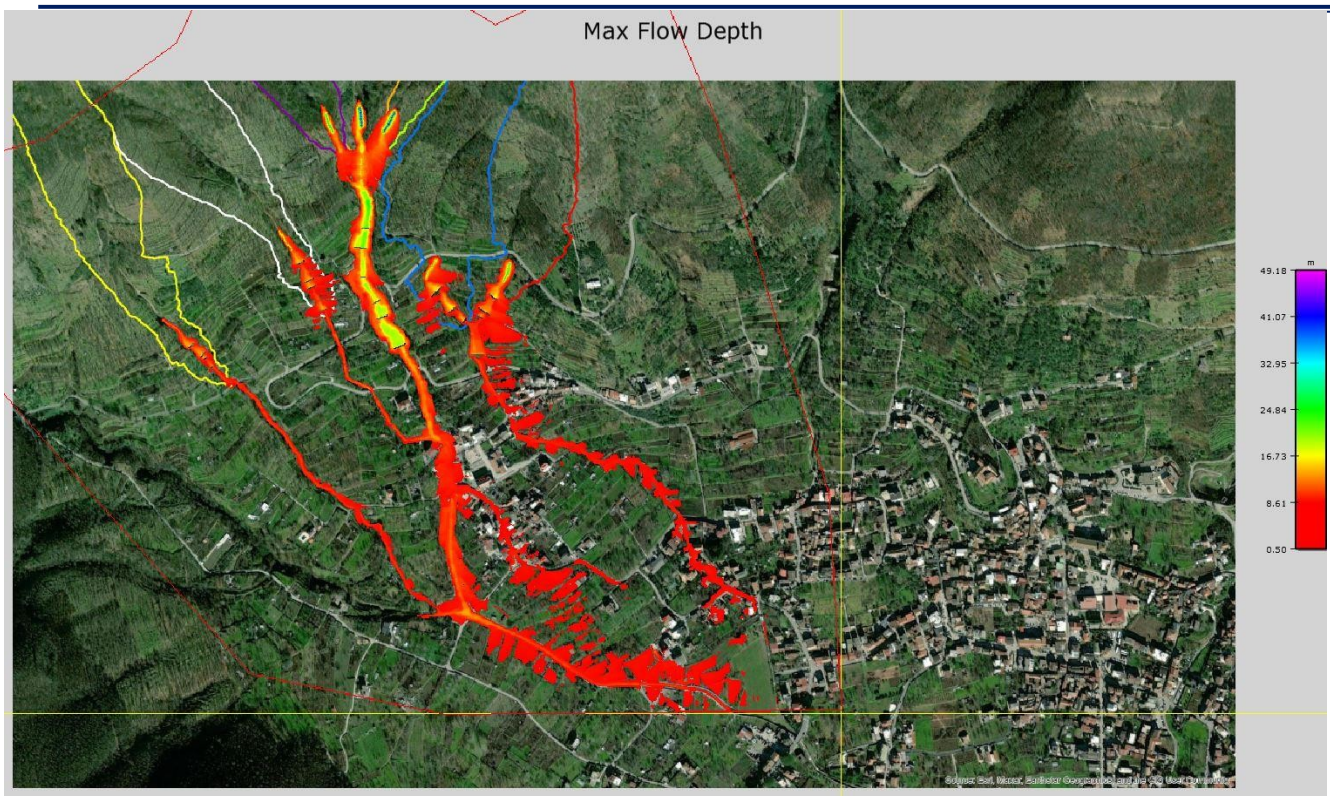
I risultati ottenuti sono riportati nelle immagini seguenti:



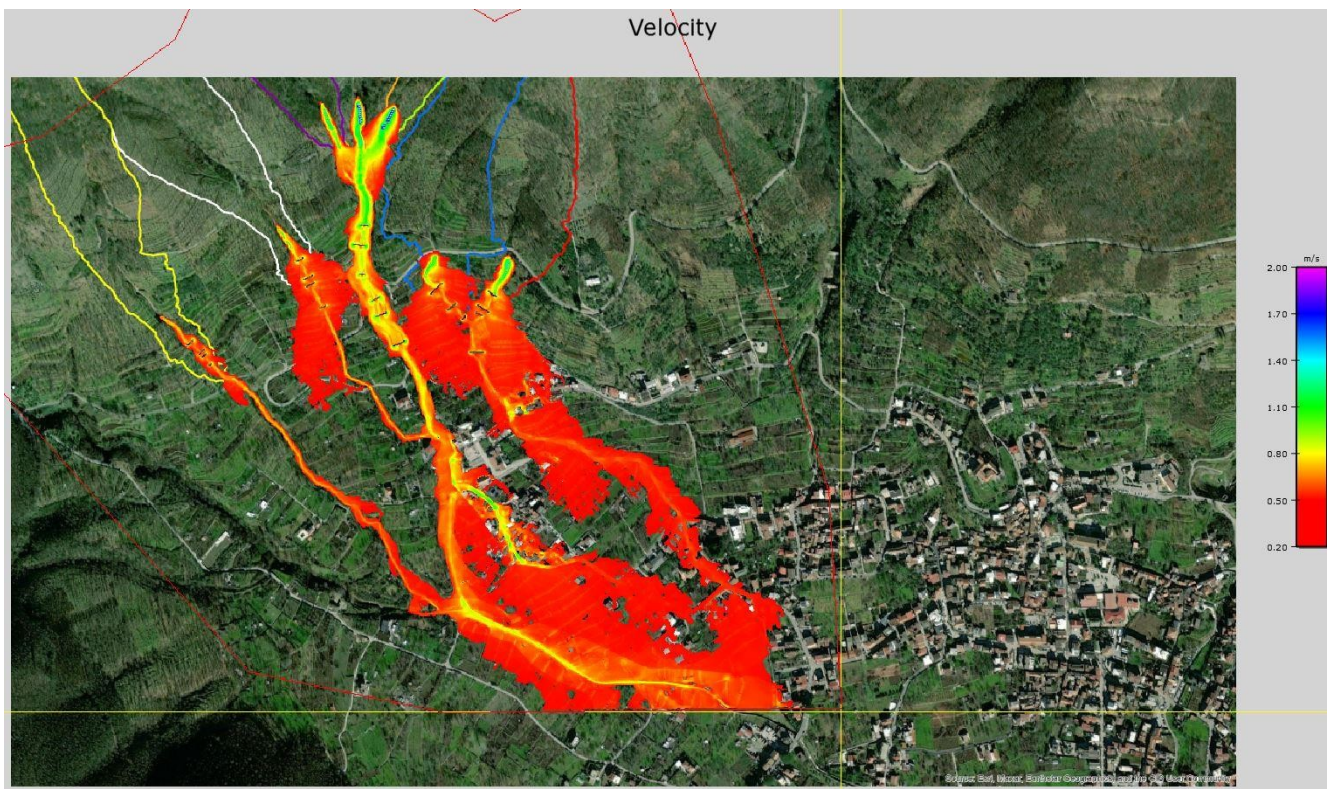
Risultati in termini di tirante massimo ottenuti sul modello ante operam (Colata rapida)



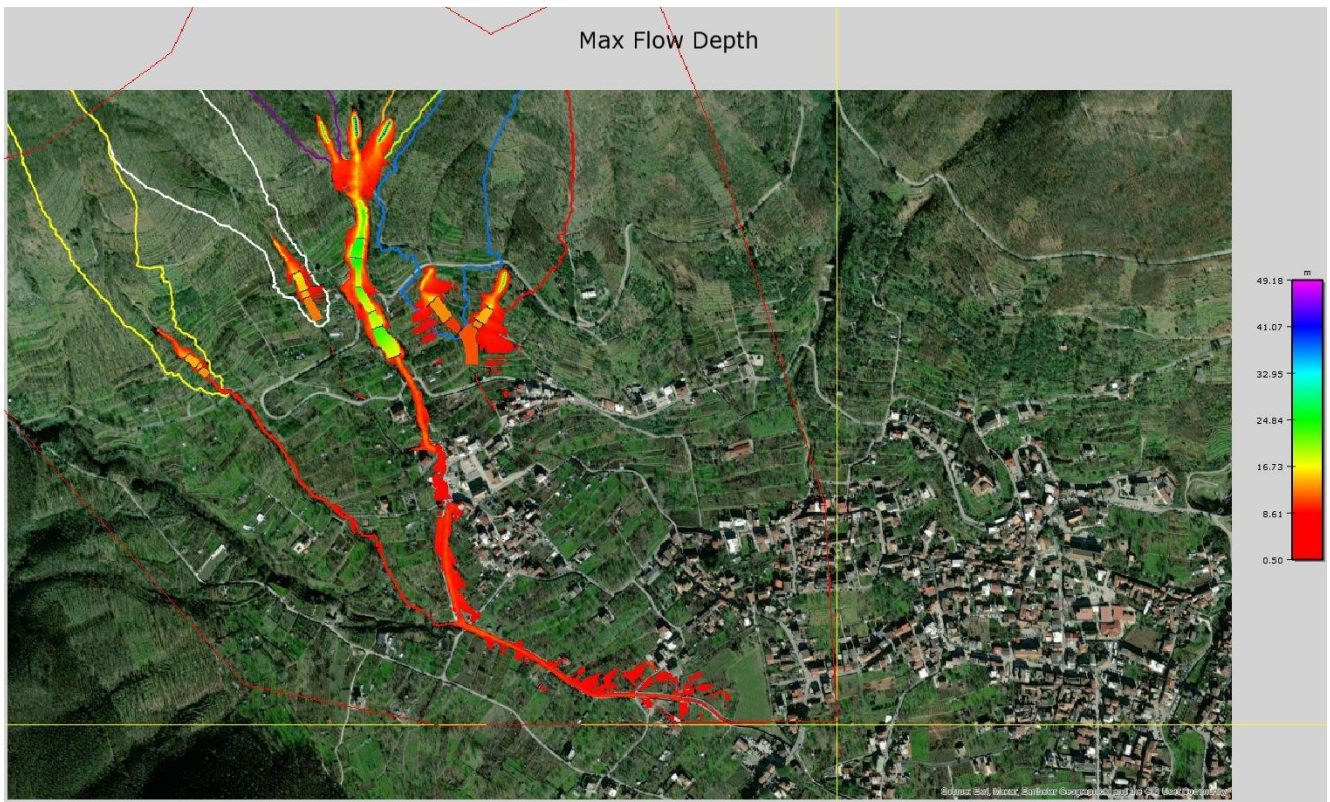
Risultati in termini di velocità ottenuti sul modello ante operam (Colata rapida)



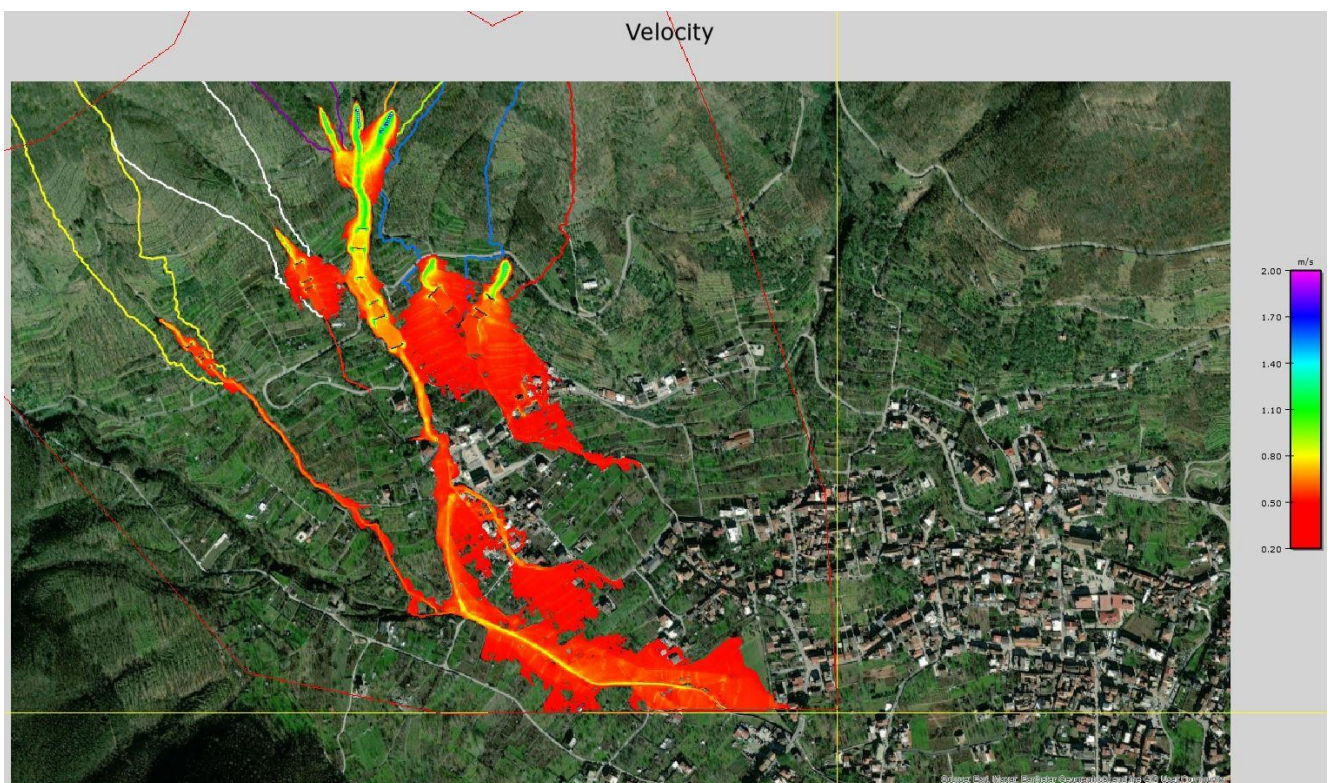
Risultati in termini di tirante massimo ottenuti sul modello post operam con briglie (Colata rapida)



Risultati in termini di velocità ottenuti sul modello post operam con briglie (Colata rapida)

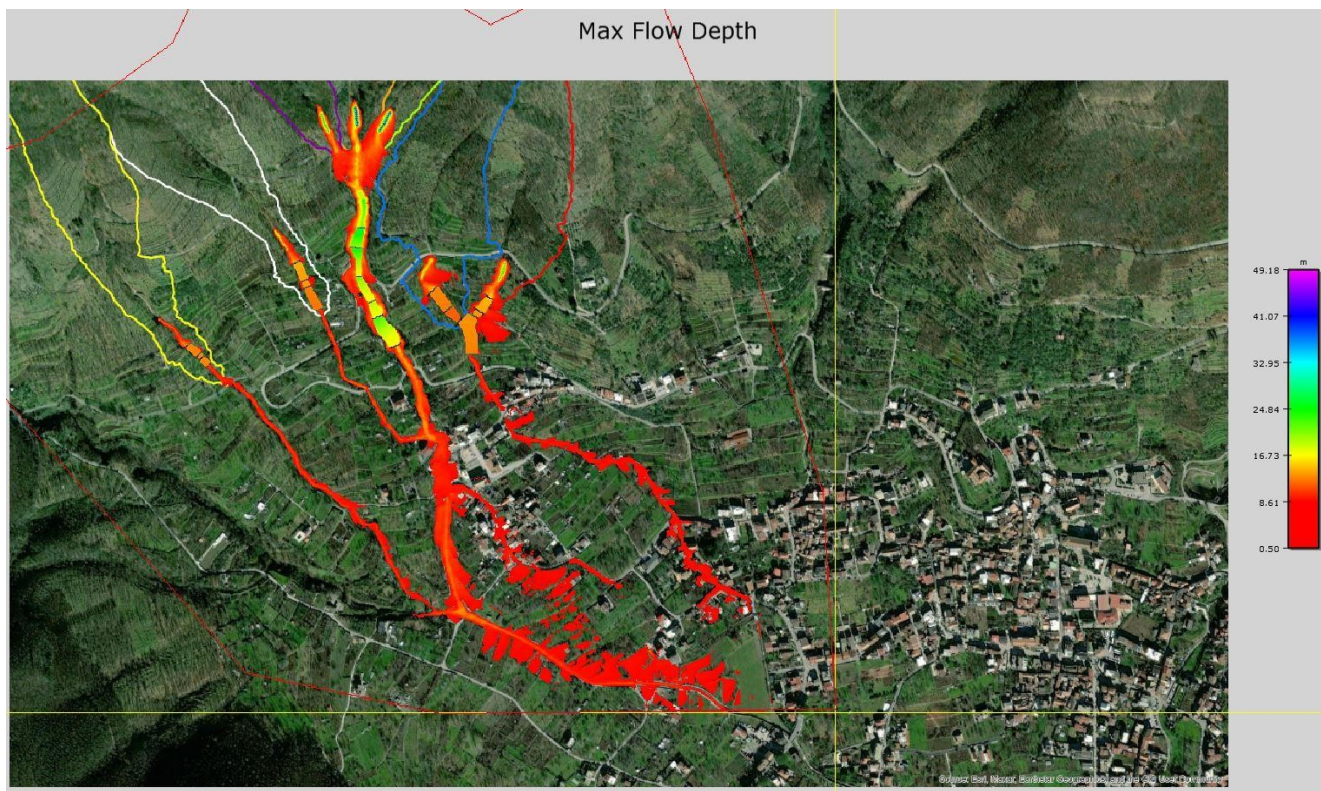


Risultati in termini di tirante massimo ottenuti sul modello post operam con briglie e versanti riprofilati (Colata rapida)

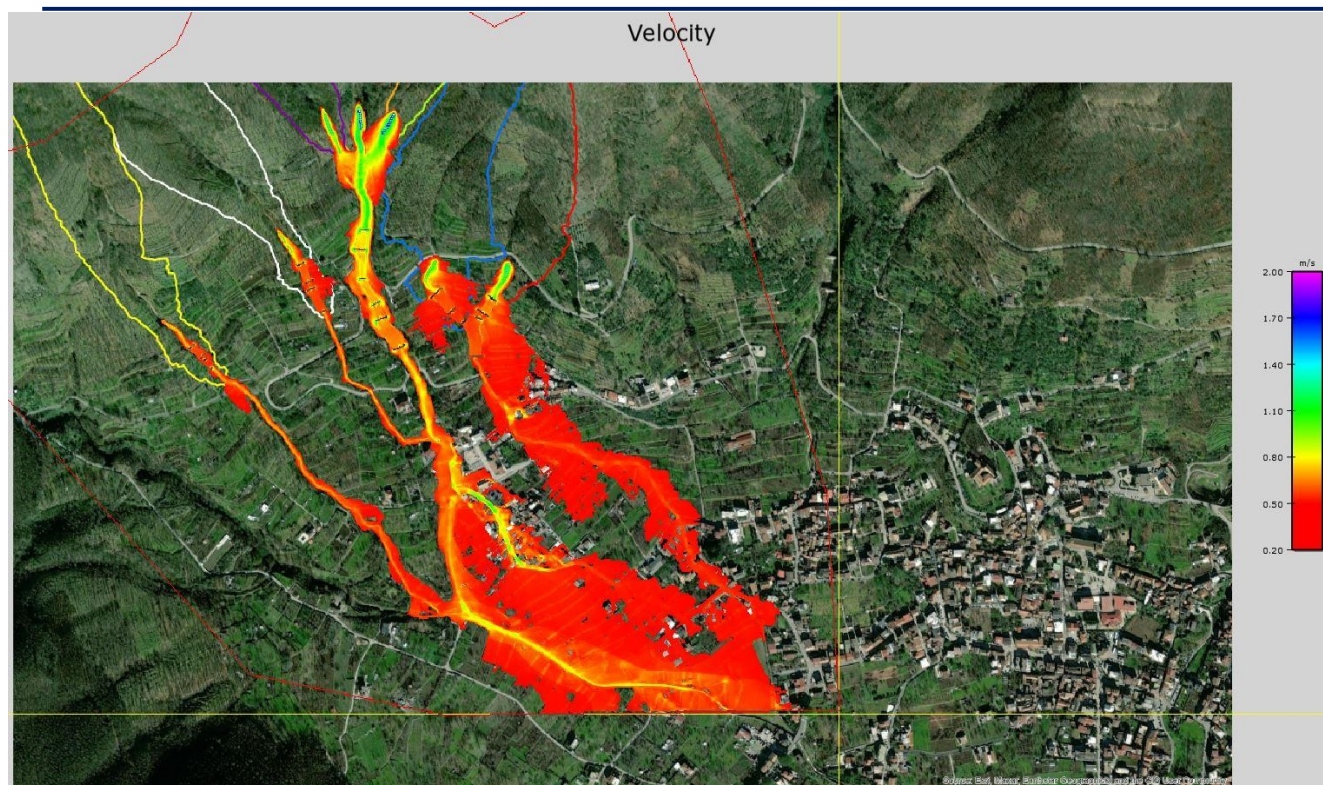




**Risultati in termini di velocità ottenuti sul modello post operam con briglie e versanti riprofilati
(Colata rapida)**



**Risultati in termini di tirante massimo sul modello post operam con briglie dotate di luci di fondo e versanti riprofilati
(Colata rapida)**



Risultati in termini di velocità ottenuti sul modello post operam con briglie dotate di luci di fondo e versanti riprofilati (Colata rapida)

CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI DELLE PRIME SIMULAZIONI

Dall'analisi dei risultati delle modellazioni finora effettuate, si evince come effettivamente le opere introdotte nel modello hanno un effetto di mitigazione del rischio sia nel caso di fenomeni del tipo flussi iperconcentrati che nel caso di colate rapide; nel caso ad esempio di flussi iperconcentrati il modello con briglie e riprofilatura dei versanti, realizzando una vasca di volume tale da contenere l'intero volume del materiale proveniente dai bacini 6 e 7 determina portate a valle trascurabili; lo stesso dicasi per la simulazione nelle stesse condizioni geometriche ma relative a portate afferenti a colate rapide.

La stessa considerazione vale anche per i bacini 1 e 2 che afferiscono a vasche di volumetria adeguata ad accogliere un volume di materiale tale da determinare evidenti effetti migliorativi sia riguardo ai tiranti che alle estensioni delle aree investite dal fango in condizioni post operam.

Per quanto riguarda i bacini 3, 4 e 5, in condizioni di flussi iperconcentrati le vasche disposte a monte del centro abitato risultano essere adeguate a laminare le portate a valori compatibili con quelli convogliabili dal bypass ma risultano insufficienti a gestire le portate derivanti da fenomeni di colata rapida; pertanto limitando gli interventi a quelli illustrati fino a questo punto si ritiene opportuno integrarli con altri in grado di ridurre il rischio derivante dai

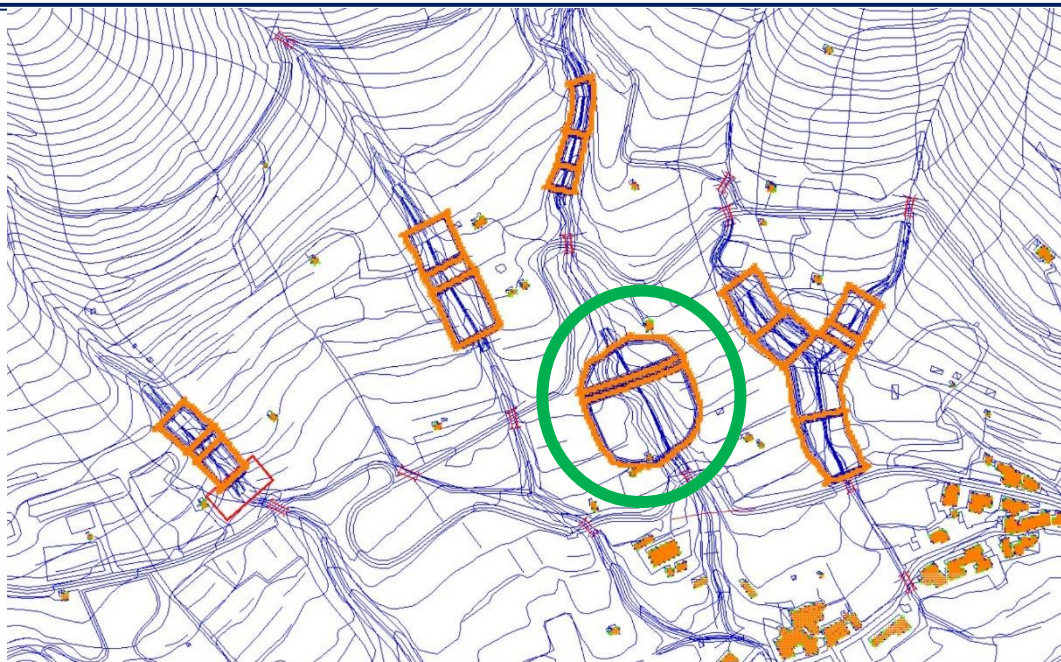


fenomeni suddetti ad esempio sistemi di early warning.

RIDEFINIZIONE DELLA CONFIGURAZIONE DELLE VASCHE E AGGIORNAMENTO DEL MODELLO DI CALCOLO

Sulla base dei risultati ottenuti, relativamente alle simulazioni svolte e mostrati nei paragrafi precedenti, nonché sulla base altre considerazioni tecniche relative alla geometria delle vasche si è deciso di realizzare dei volumi di invaso differenti, andando a modificare, e in alcuni casi ad aggiungere nuovi volumi a quelli già ipotizzati fino a questo momento, al fine di facilitare la realizzazione delle opere e limitare al massimo i deflussi verso valle assicurando un maggior livello di sicurezza nei confronti del verificarsi di fenomeni tipo flusso iperconcentrato o colata rapida.

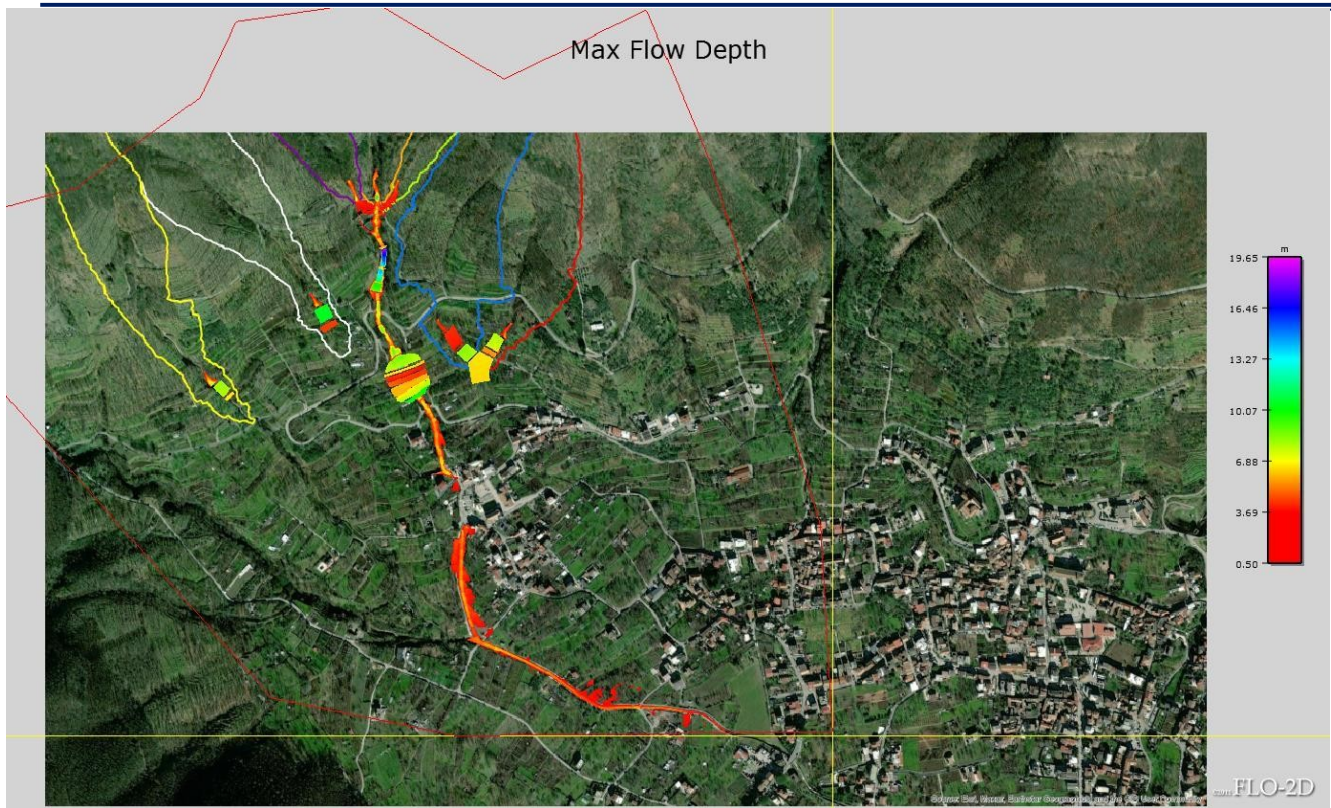
Nell'immagine successiva è riportata la perimetrazione delle vasche assunte quale configurazione definitiva di progetto, per i dettagli relativi alla geometria delle opere previste si rimanda alle tavole progettuali.



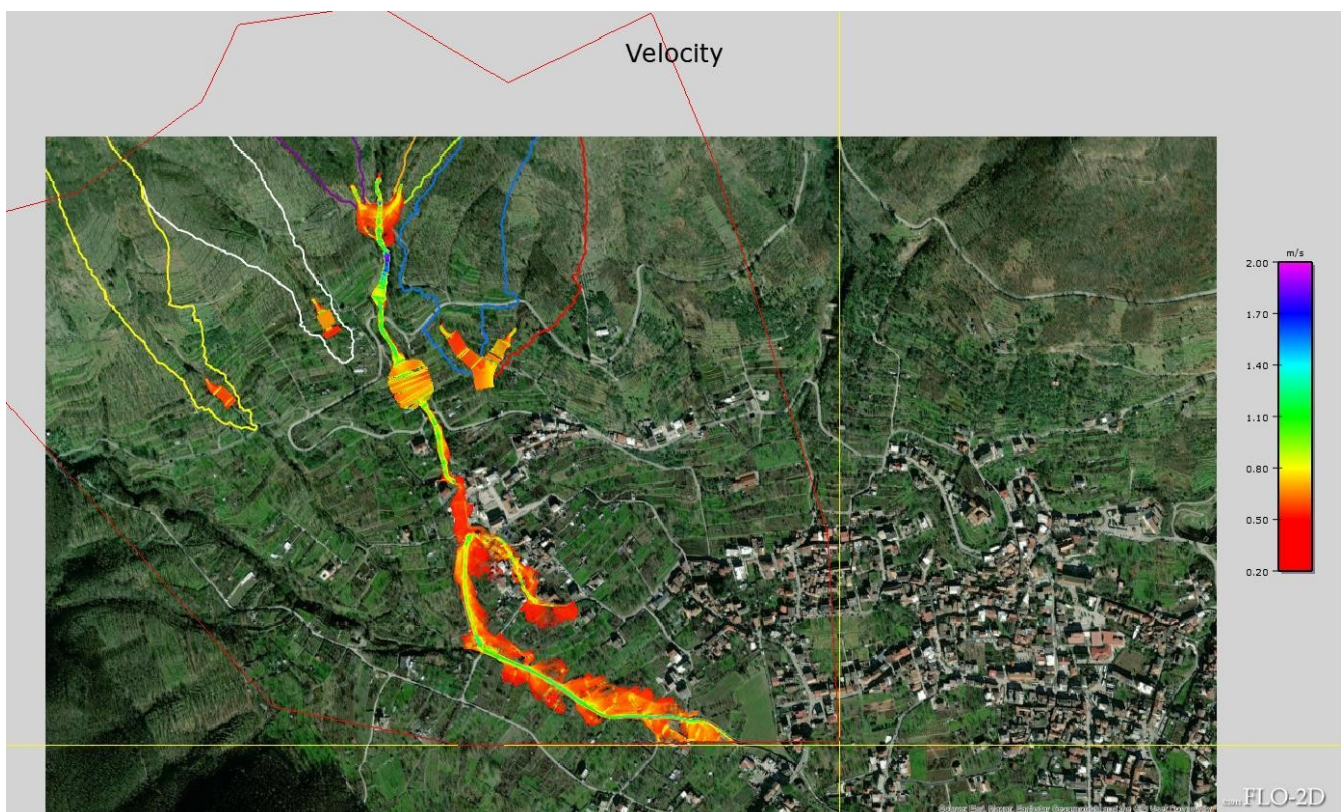
In figura è rappresentata la configurazione delle vasche modificata, risulta evidente il nuovo assetto planimetrico della vasca disposta sull'asta di confluenza dei bacini 3,4,e 5 (evidenziata in verde).

RISULTATI DELLE SIMULAZIONI RELATIVE AL MODELLO DELL'AREA DI STUDIO AGGIORNATO CON LE VASCHE NELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO DEFINITIVE

Le simulazioni bidimensionali effettuate sul modello di calcolo in cui sono state introdotte le vasche nella configurazione aggiornata come mostrato al paragrafo precedente hanno restituito nel caso di flusso iperconcentrato e di colata rapida i risultati riportati nelle immagini seguenti:

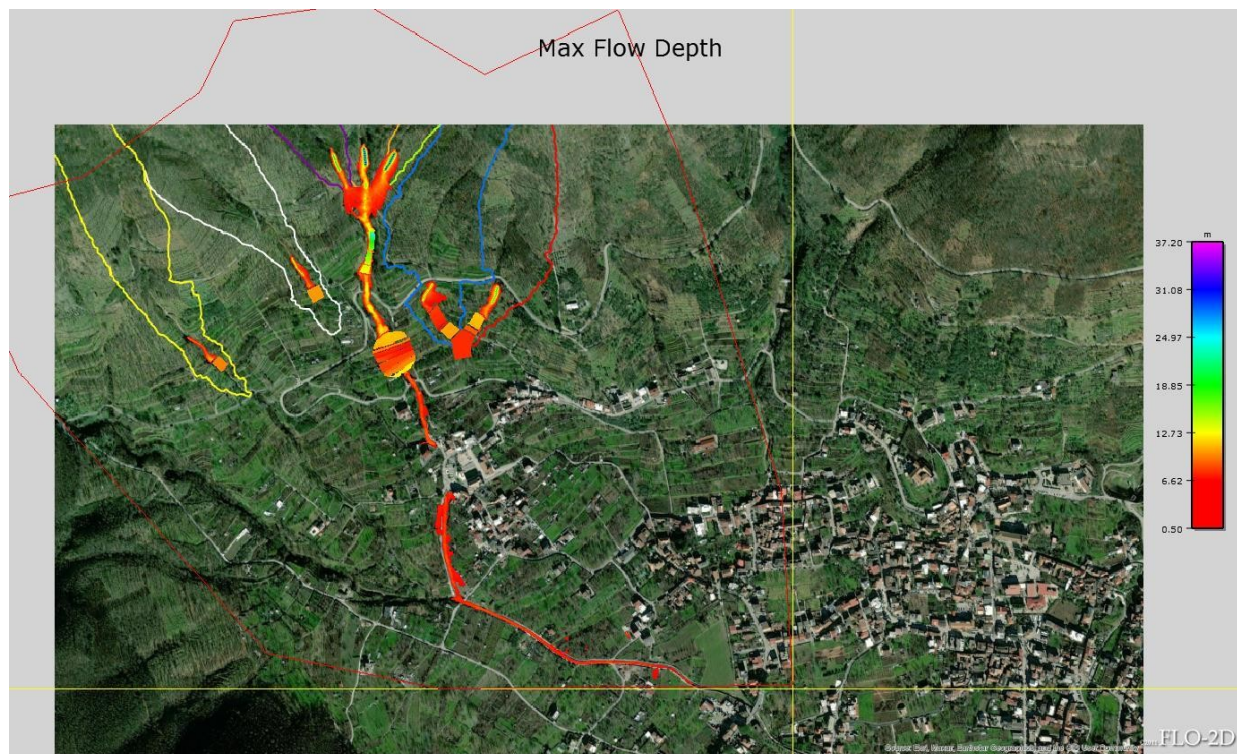


Risultati in termini di tiranti massimi ottenuti sul modello post operam con vasche nella configurazione definitiva di progetto (Flusso Iperconcentrato)

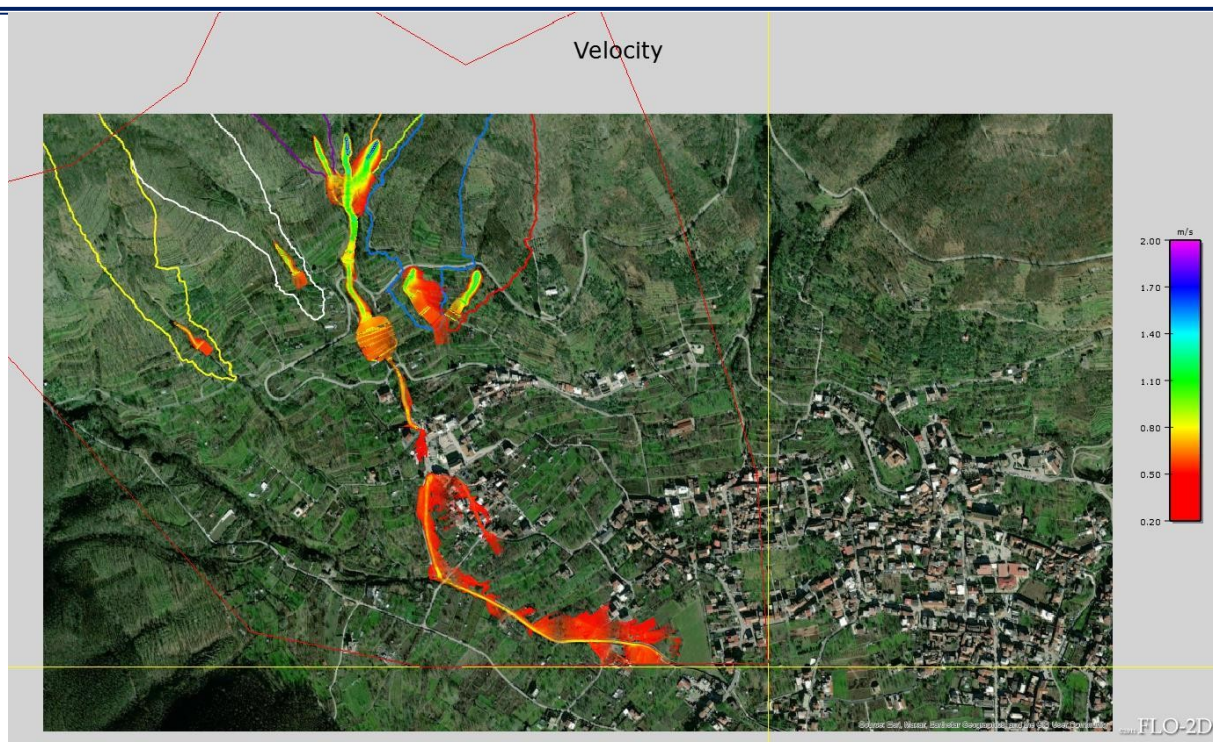




**Risultati in termini di velocità ottenuti sul modello post operam con vasche nella configurazione definitiva di progetto
(Flusso Iperconcentrato)**



**Risultati in termini di tiranti massimi ottenuti sul modello post operam con vasche nella configurazione definitiva di progetto
(Colata Rapida)**



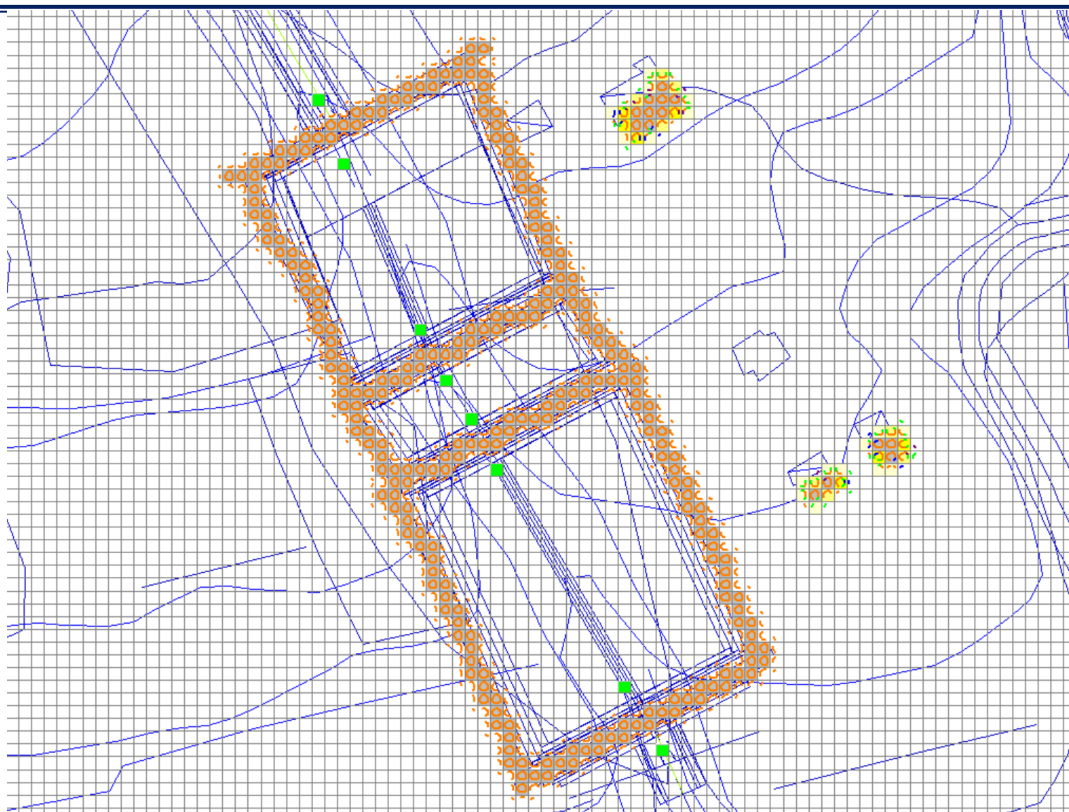
Risultati in termini di velocità ottenuti sul modello post operam con vasche nella configurazione definitiva di progetto (Colata Rapida)

INTRODUZIONE NEL MODELLO AGGIORNATO DI LUCI DI FONDO

Nei modelli al paragrafo 7, le briglie sono state modellate come dei semplici sbarramenti, al fine di valutare il solo effetto della presenza di un volume di invaso nel quale poter accogliere parte del volume derivante dal fangogramma di progetto. In particolare come già esposto, le vasche modellate al paragrafo 7 sono quelle nella configurazione definitiva.

Nel modello elaborato in questa ultima serie di simulazioni, le briglie sono state dotate di una luce di fondo al fine di consentire il deflusso delle portate ordinarie e di laminare quelle eccezionali.

Nel modello di calcolo, le luci di fondo sono state configurate nel software come hydraulic structures e come già esposto in precedenza esse sono state modellate attraverso l'inserimento della scala di deflusso in corrispondenza di celle opportunamente selezionate all'interno dell'area di studio.



Particolare del dominio di calcolo nella zona delle di una delle vasche in verde le celle che costituiscono le luci di fondo delle briglie

Al fine di dimensionare le luci di fondo, innanzitutto si è valutata la massima portata delle sole acque meteoriche con periodo di ritorno centennale afferente a ciascuna vasca, in particolare si è fatto riferimento al valore massimo che risulta essere quello relativo alla vasca che raccoglie i bacini 3, 4 e 5 che come si può verificare dai valori riportati nella tabella seguente è pari a 3.44 mc/sec.

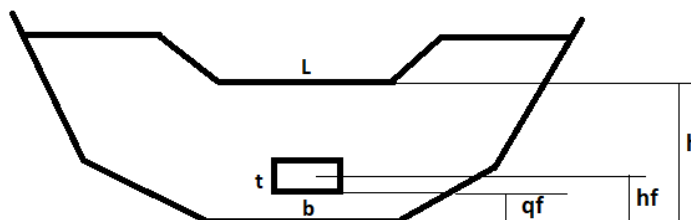
BACINO 1	V100	m3	1582.133
	V/A	mm	10.56735
	Q100	m3/s	1.091172
BACINO 2	V100	m3	1065.719
	V/A	mm	8.402137
	Q100	m3/s	0.872746
BACINO 3	V100	m3	2399.502
	V/A	mm	9.293946
	Q100	m3/s	1.886799
BACINO 4		m3	1213.954



	V100		
	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**

Successivamente, facendo riferimento allo schema di opera di sbarramento già esposto al paragrafo 4.4 che si riporta di seguito, si è dimensionata la bocca di fondo di forma rettangolare in grado di assicurare sotto un battente pari alla quota di sfioro della gaveta una portata pari a quella in arrivo alla vasca.



La portata in uscita può essere considerata variabile al variare di h secondo il seguente schema:

Per $0 < h \leq q_f$ allora $Q_u=0$;

Per $q_f < h \leq h_r$ allora $Q_u=0.385 b (2g)^{1/2} (h-q_f)^{3/2}$

Per $h_r < h \leq h_s$ allora $Q_u=\mu_r A (2g)^{1/2} (h-h_r)^{3/2}$

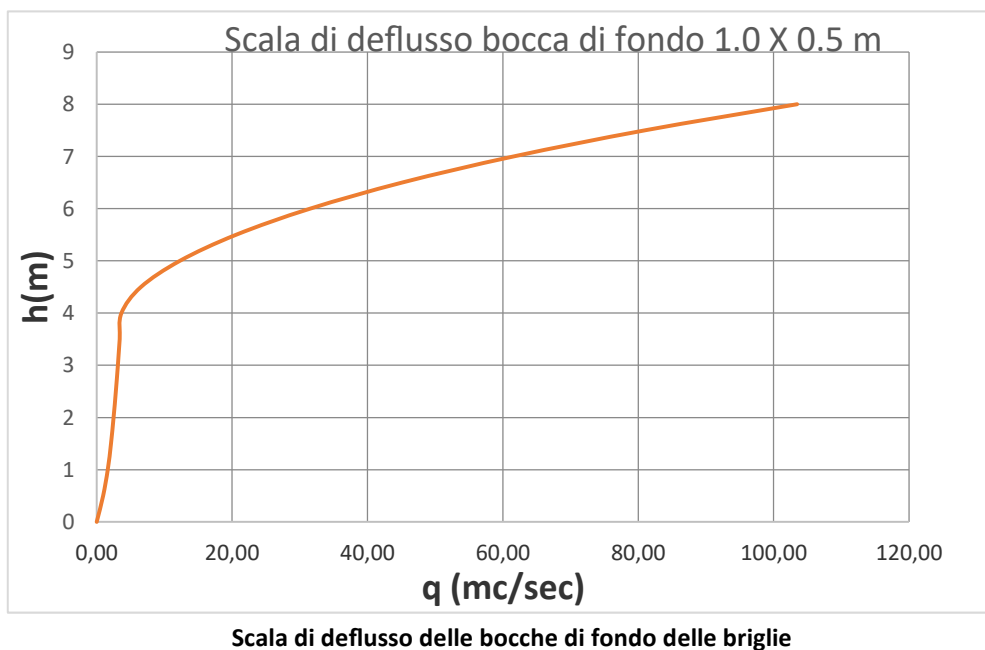
Per $h > h_s$ allora $Q_u=\mu_r A (2g)^{1/2} (h-h_r)^{3/2} + 0.385 [L + (4/5)(h-h_s)] (2g)^{1/2} (h-h_s)^{3/2}$

Modello schematico della briglia

I risultati dei calcoli, hanno restituito una luce di fondo di forma rettangolare di dimensioni 1.0 x 0.5 mt la quale come risulta dalla corrispondente scala di deflusso di seguito riportata determina una portata verso valle pari a 3.65

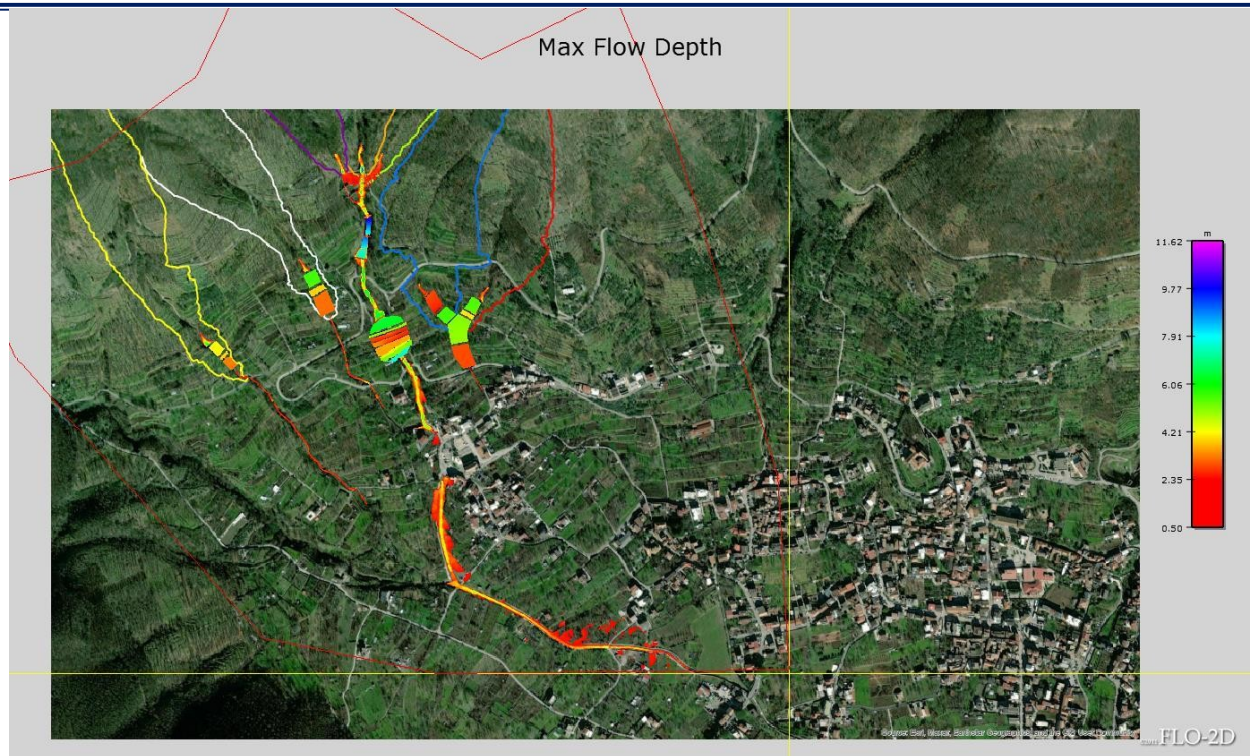


mc/sec in corrispondenza di un tirante pari a 4 mt che corrisponde alla quota di sfioro della gaveta.

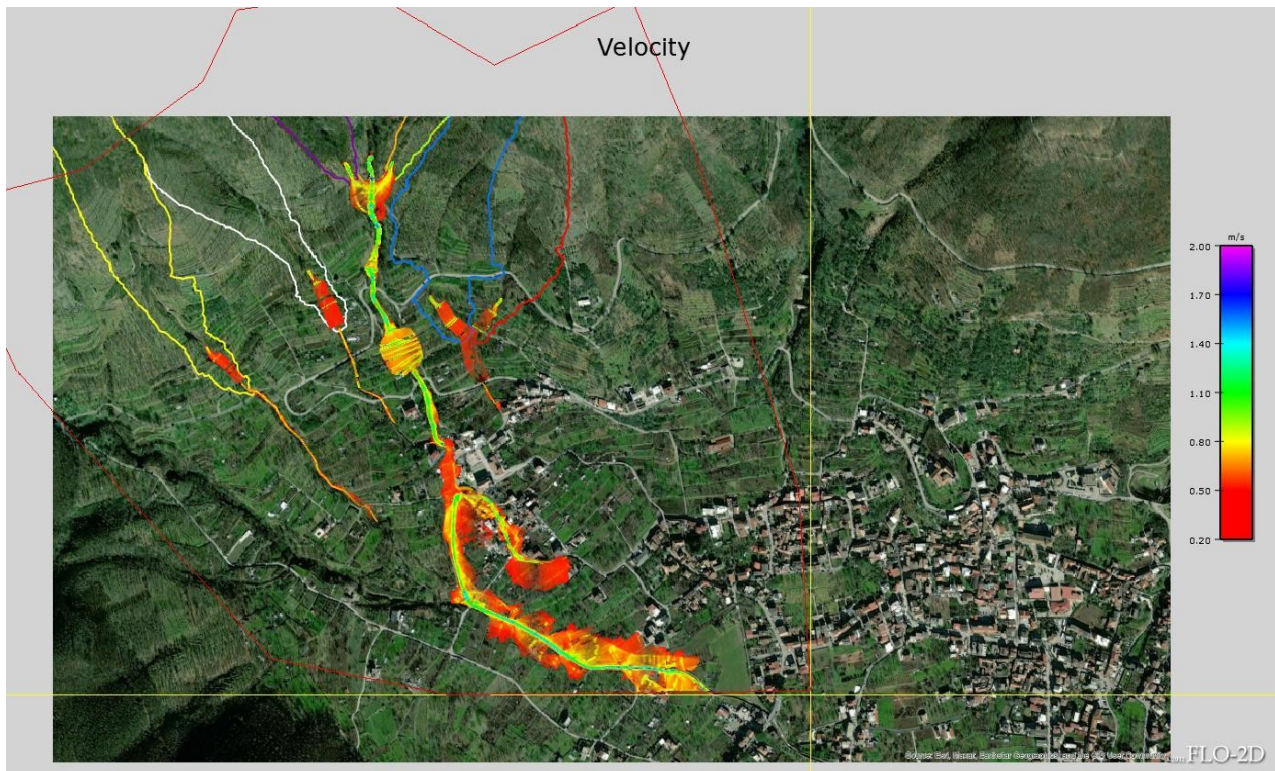


RISULTATI DELLE SIMULAZIONI RELATIVE AL MODELLO AGGIORNATO CON LE VASCHE NELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO DEFINITIVE DOTATE DI LUCI DI FONDO

Le simulazioni bidimensionali effettuate sul modello di calcolo con le vasche nella configurazione di progetto definitive e briglie dotate di luci di fondo aggiornata secondo quanto detto al paragrafo precedente hanno restituito nel caso di flusso iperconcentrato e di colata rapida i risultati riportati nelle immagini seguenti:



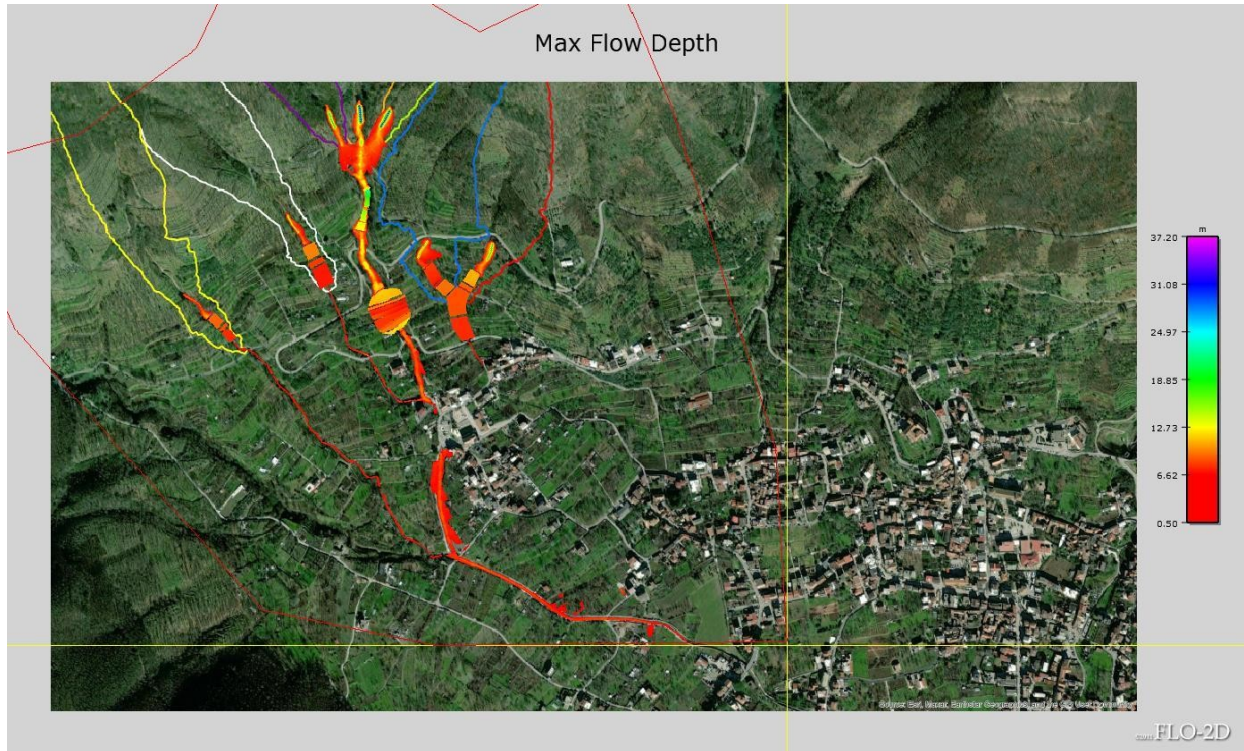
Risultati in termini di tiranti massimi ottenuti sul modello post operam con vasche nella configurazione definitiva di progetto e luci di fondo 1 x 0.5 mt (Flusso Iperconcentrato)



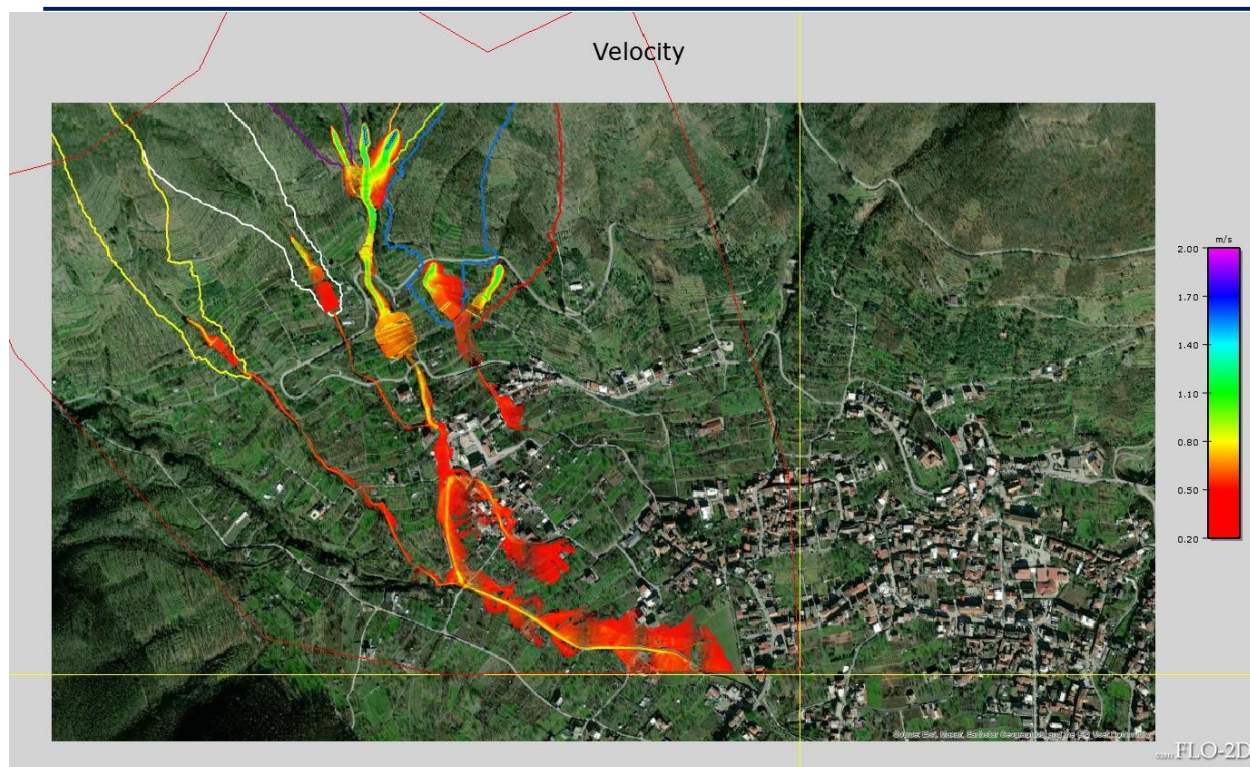
Risultati in termini di velocità ottenuti sul modello post operam con vasche nella configurazione definitiva di progetto e



luci di fondo 1 x 0.5 mt (Flusso Iperconcentrato)



Risultati in termini di tiranti massimi ottenuti sul modello post operam con vasche nella configurazione definitiva di progetto e luci di fondo 1 x 0.5 mt (Colata rapida)



Risultati in termini di velocità ottenuti sul modello post operam con vasche nella configurazione definitiva di progetto e luci di fondo 1 x 0.5 mt (Colata rapida)

CONCLUSIONI

Le modifiche apportate alle geometrie dei volumi di invaso, atti ad accogliere le portate provenienti dai 7 bacini individuati sull'area oggetto dell'intervento in progetto ha determinato un netto miglioramento di quelli che sono gli effetti che si determinano a valle delle vasche, sia a seguito di un fenomeno tipo Flusso iperconcentrato che relativamente al verificarsi di una colata rapida di fango.

In entrambi i casi, come si osserva dai risultati delle simulazioni riportati al paragrafo 7.1 le vasche disposte sulle aste che raccolgono i flussi provenienti dai bacini 1, 2 e (6+7) sono, con la loro capacità, in grado di contenere per intero il volume del materiale proveniente da monte.

Le vasche realizzate a raccogliere i flussi provenienti dai bacini (3+4+5), non contengono per intero il volume del materiale, però l'effetto di laminazione derivante dalla loro realizzazione riduce le portate rilasciate verso valle a valori compatibili con quelli convogliabili dal bypass che attraversa il centro abitato, come dimostrano i risultati in termini di tiranti che si determinano sia nel caso di flusso iperconcentrato che in quello di colata rapida mostrati al paragrafo 7.1 in cui non si rilevano zone di invasione con tiranti significativi all'interno del centro abitato.

Relativamente all'ultimo modello elaborato, ovvero quello in cui le briglie che delimitano le vasche sono state integrate con le luci di fondo, si osserva che tali aperture, previste alla base degli sbarramenti, allo scopo di consentire lo smaltimento delle portate in condizioni ordinarie, in occasione degli eventi estremi esaminati



consentono il deflusso di portate compatibili con quelle che sono le capacità di convogliamento dei canali a valle come mostrano i risultati in termini di tiranti al paragrafo 8.1, pertanto la presenza delle suddette aperture alla base degli sbarramenti non determina un aggravio delle condizioni di sicurezza in occasione dei fenomeni esaminati.

Il confronto fra i risultati ottenuti dalle simulazioni nelle condizioni ante operam per flusso iperconcentrato (paragrafo 4.1) e per colata rapida (paragrafo 5) e quelli relativi alla condizione post operam nella configurazione definitiva delle opere in progetto i cui risultati sono riportati al paragrafo 8.1 evidenziano quanto segue:

nella condizione ante operam per effetto di flusso iperconcentrato, i cui risultati sono riportati nel paragrafo 4.1, il bypass all'interno del centro abitato (attraversamento 9 di figura a pagina 7) non risulta di dimensioni adeguate a convogliare la portata derivante dai bacini afferenti (2+3+4+5), pertanto si osserva la presenza di zone all'interno dell'insediamento caratterizzate da un deflusso superficiale con tiranti significativi (> 50 cm), e velocità massima comprese fra 0.5 e 0.8 m/sec; lo stesso dicasi per la zona a valle della sezione di sbocco del bypass (attraversamento 17 di figura a pagina 7) in cui si osservano numerose aree in cui le sponde del canale risultano essere state sormontate e le aree adiacenti invase da un flusso con tiranti di 50 cm e velocità massima pari a 0.5 – 0.8 m/sec. La medesima situazione si osserva a valle della sezione di imbocco della condotta ϕ 1000 (attraversamento 18 di figura a pagina 7), che raccoglie i flussi provenienti dai bacini 6 e 7, la quale, risultando insufficiente a convogliare le portate derivanti dai due bacini suddetti, determina il deflusso verso valle della portata eccedente, in particolare sono rappresentate le aree caratterizzate da deflussi con tiranti significativi (> 50 cm) in corrispondenza dei quali si evincono velocità massime comprese fra 0.5 e 0.8 m/sec.

Facendo riferimento ancora una volta alla condizione ante operam, si osserva che nel caso di colata rapida, i cui risultati sono mostrati nel paragrafo 5 della presente relazione, la situazione subisce un considerevole peggioramento, derivante dalla differente evoluzione del fenomeno al quale sono associati valori di portate al colmo, decisamente maggiori (come risulta dalla relazione idrologica); infatti appare evidente osservando i risultati delle elaborazioni, che le aree invase dal fango, e caratterizzate da valori significativi di tirante (> 50 cm) sono decisamente più estese rispetto al caso di flusso iperconcentrato, le velocità massime restituite dal modello di calcolo per i flussi transitori in tali aree risultano comprese nell'intervallo 0.5 - 0.8 m/sec.

Nella condizione post operam, relativa alla configurazione definitiva delle opere in progetto, ovvero quella in cui le briglie sono dotate di luci di fondo, i cui risultati sono mostrati nel paragrafo 8.1 si rileva, sia per effetto di flusso iperconcentrato che per effetto di colata rapida, la assenza di zone all'interno del centro abitato interessate da deflussi con tiranti significativi (> 50 cm); la quasi assenza di zone di esondazione a valle dell'attraversamento 17, e si osserva altresì in entrambi i casi la completa assenza di zone di esondazione a valle dalla vasca che raccoglie i deflussi dei bacini 6 e 7.

Pertanto a conclusione del presente studio, si riconosce che le scelte progettuali inerenti l'intervento in oggetto, siano tali da sostenere la compatibilità idraulica dell'opera a farsi, in quanto le trasformazioni che l'intervento comporterà determina una diminuzione delle aree a rischio sia nei confronti di un fenomeno tipo Flusso iperconcentrato che relativamente al verificarsi di una colata rapida di fango.



Sommario

PREMESSA	1
OBIETTIVO E METODOLOGIA	1
IL MODELLO DI PROPAGAZIONE BIDIMENSIONALE	1
IL CODICE DI CALCOLO UTILIZZATO	1
FONDAMENTI TEORICI DEL MODELLO	3
LA COSTRUZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO IN FLO-2D	5
MODELLAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO	6
IL MODELLO DELL'AREA DI STUDIO NELLA CONDIZIONE ANTE OPERAM	10
IL MODELLO DELL'AREA DI STUDIO NELLA CONDIZIONE POST OPERAM CON BRIGLIE	14
IL MODELLO DELL'AREA DI STUDIO NELLA CONDIZIONE POST OPERAM CON BRIGLIE E RIPROFILATURA DEI VERSANTI	16
IL MODELLO DELL'AREA DI STUDIO NELLA CONDIZIONE POST OPERAM CON BRIGLIE DOTATE DI LUCE DI FONDO E RIPROFILATURA DEI VERSANTI	18
RISULTATI DELLE SIMULAZIONI RELATIVE AI MODELLI DELL'AREA DI STUDIO CON PORTATE RELATIVE ALLA CONDIZIONE DI COLATA RAPIDA	21
CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI DELLE PRIME SIMULAZIONI	26
RIDEFINIZIONE DELLA CONFIGURAZIONE DELLE VASCHE E AGGIORNAMENTO DEL MODELLO DI CALCOLO	27
RISULTATI DELLE SIMULAZIONI RELATIVE AL MODELLO DELL'AREA DI STUDIO AGGIORNATO CON LE VASCHE NELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO DEFINITIVE	28
INTRODUZIONE NEL MODELLO AGGIORNATO DI LUCI DI FONDO	31
RISULTATI DELLE SIMULAZIONI RELATIVE AL MODELLO AGGIORNATO CON LE VASCHE NELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO DEFINITIVE DOTATE DI LUCI DI FONDO	34
CONCLUSIONI	37
Sommario	39