



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

TESAF

Dipartimento Territorio
e Sistemi Agro-Forestali
Università di Padova



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

29 Aprile 2022

Carlo Gregoretto

Corso di Analisi di stabilità di
versante e modellazione

Modello idraulico a celle per la
propagazione ed arresto di una colata
detrítica: presentazione ed affidabilità

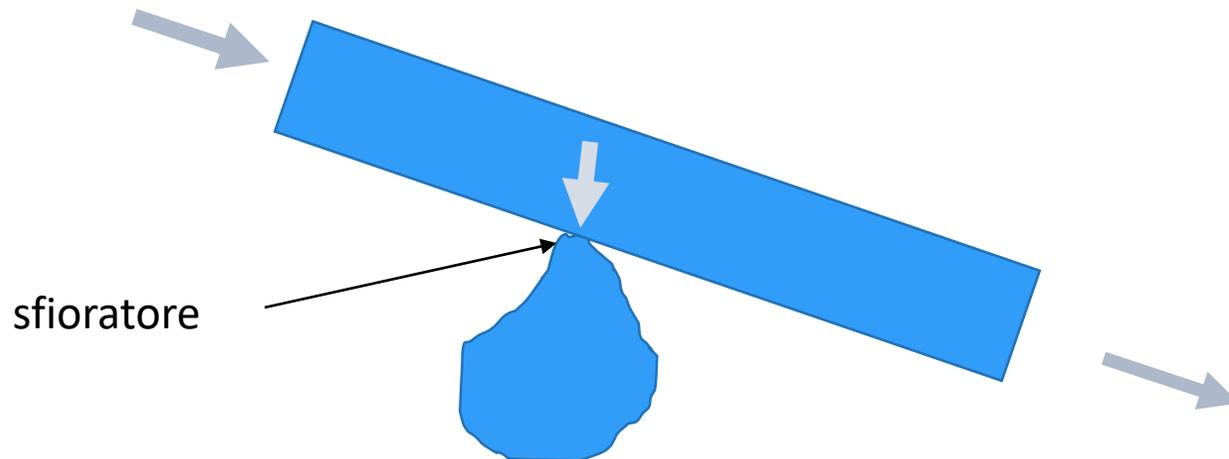
Sommario

1. Presentazione del modello a celle di propagazione idraulica di una colata detritica (cinematico, bifase ed a fondo mobile) di Gregoretti et al. (2019).
2. La riproduzione dell'evento di colata detritica avvenuto sul Ru Secco (San Vito di Cadore, BL) il 4/8/2015.
3. L'affidabilità/predittività del modello, riguardo la variabilità dei parametri, nella riproduzione di tre eventi di colata.
4. L'interfaccia con Q-GIS
5. Conclusioni

Gregoretti, C., Stancanelli, L., Bernard, M., Degetto, M., Boreggio, M., Lanzoni, S. (2019) Relevance of erosion processes when modelling in-channel gravel debris flows for efficient hazard assessment. *Journal of Hydrology*, 569, 575-591.

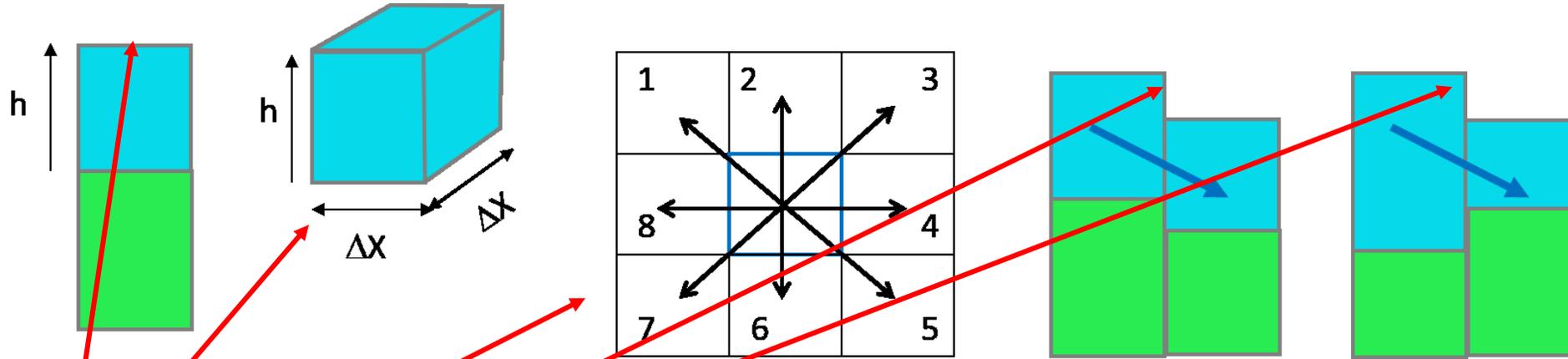
Modello a celle

Il modello a celle è un modello in cui il campo di moto viene suddiviso in aree omogenee connesse idraulicamente tra di loro. Ad esempio un tratto di canale/corso d'acqua ed una cassa di espansione separati da uno sfioratore costituiscono due celle connesse idraulicamente dallo sfioratore.



Modello a celle per colata detritica - 1

Ipotesi ed assunzioni per un modello a celle bifase per la propagazione idraulica di una colata di detrito

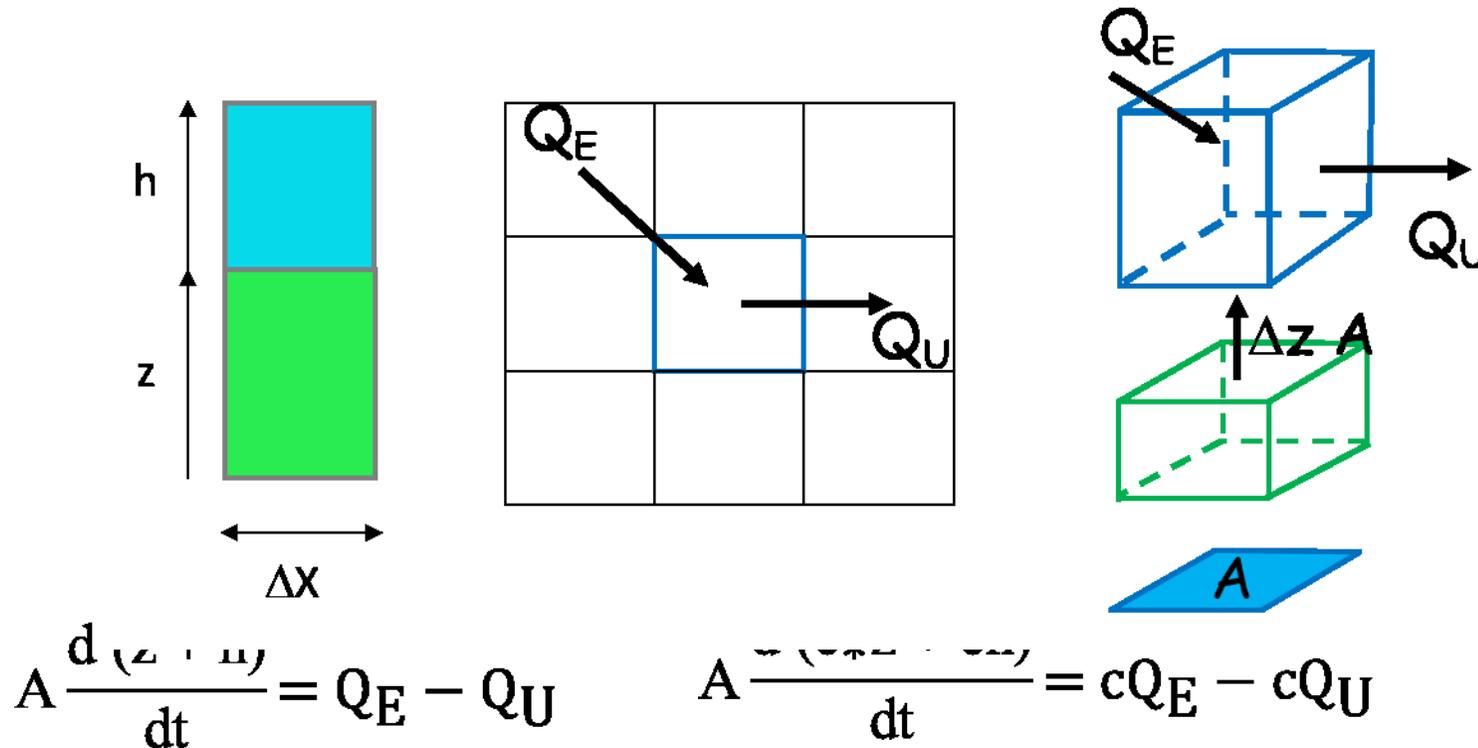


1. Superficie libera nella cella orizzontale
2. Volume solido-liquido in una cella funzione dell'altezza del deflusso nella cella
3. Otto direzioni di deflusso possibili
4. Il deflusso avviene sempre per dislivello topografico della superficie libera
5. Connessioni idrauliche: deflusso a moto uniforme ed a stramazzo (contropendenza)
6. Scambi di quantità di moto e di massa tra tutte le celle in contemporanea

Modello a celle per colata detritica - 2

EQUAZIONI CHE GOVERNANO IL MOTO

Eq. conservazione massa/volume in ipotesi di corrente bifase (solido-liquida): la variazione di massa/volume in una cella è la differenza tra la massa/volume entrante e quella uscente (stesso approccio utilizzato da Hec-Ras 2D)



Modello a celle per colata detritica - 3

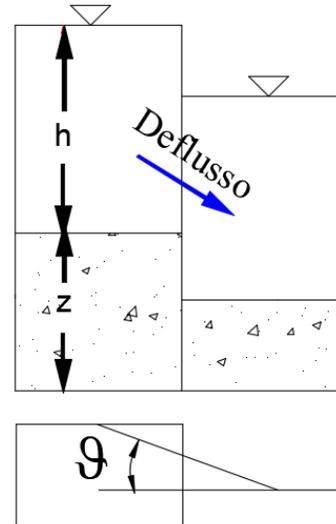
EQUAZIONI CHE GOVERNANO IL MOTO

Eq. conservazione quantità di moto in ipotesi di onda cinematica

Il moto avviene secondo il dislivello topografico della superficie libera

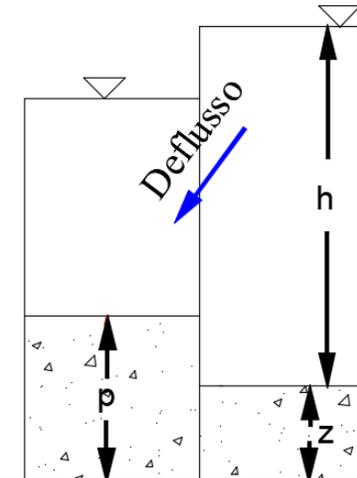
*deflusso a moto uniforme
seguendo la pendenza del fondo*

$$Q = \Delta x C h w \sqrt{g h \sin \vartheta}$$



*deflusso a stramazzo
in contropendenza*

$$Q = \Delta x 0.385 s \sqrt{2g} (h - p)^{1.5}$$



Q = portata entrante od uscente dalla cella; C = coefficiente di conduttanza; ϑ = angolo di inclinazione del fondo; w e s = funzioni peso introdotte per ripartire il flusso in più direzioni (ovvero per tener conto dell'uso di relazioni 1D in un moto 2D); $g = 9.81 \text{ m/s}^2$; $A = \Delta x^2$

Modello a celle per colata detritica - 4

EQUAZIONI CHE REGOLANO I PROCESSI DI DEPOSITO ED EROSIONE

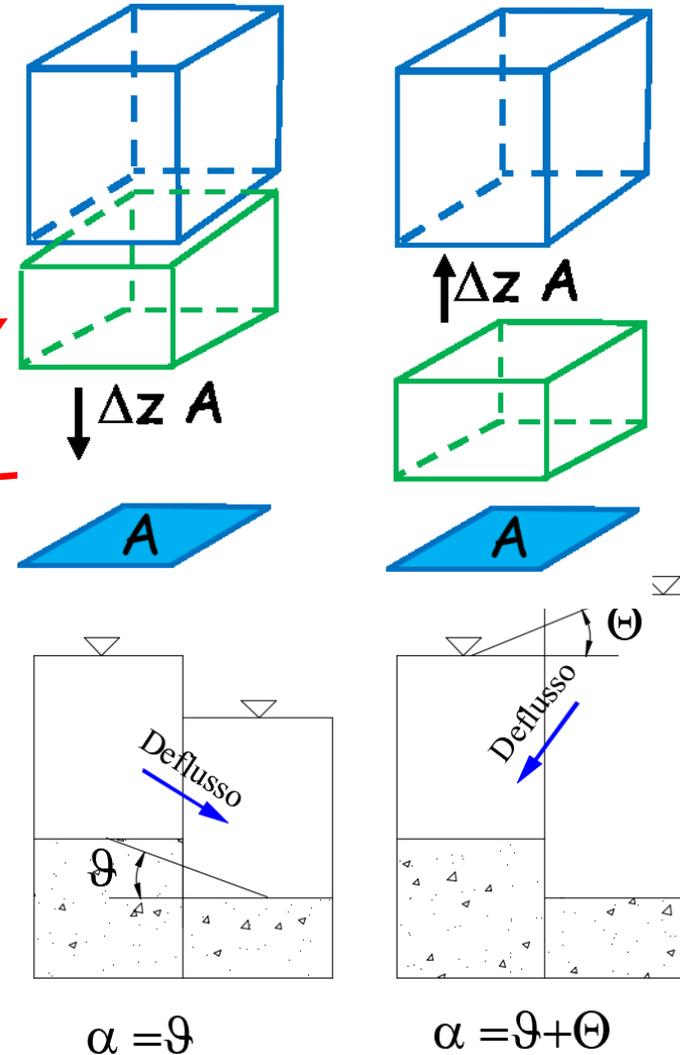
Eq. di Exner o di continuità del fondo

$$\frac{dz}{dt} = D - E$$

Eq. empirica per la definizione delle velocità di innalzamento (deposito **D**) ed abbassamento (erosione **E**)

$$E - D = K [(\sin \alpha_{max} - \sin \alpha_{LIM}) U_{max}]$$

z = quota del fondo della cella; D, E = velocità di deposito ed erosione; K = costante empirica; $\alpha = \vartheta / \vartheta + \Theta$ per deflusso a moto uniforme/stromazzo; α_{max} = angolo corrispondente alla direzione di deflusso tra le otto possibili per cui si ha la velocità massimo U_{max} ; α_{LIM} = valore limite dell'angolo per cui si ha deposito od erosione;



Parametri del modello a celle

Resistenza al moto

$$U = C \sqrt{g h \sin \vartheta}$$

Modellazione processi di deposito ed erosione

$$E - D = K[(\sin \alpha_{\max} - \sin \alpha_{\text{LIM}}) U_{\max}]$$

DEPOSITO ($dz/dt > 0$)

- $U_{\max} < U_{\text{LIM-D}}$
- $\alpha_{\max} < \alpha_{\text{LIM-D}}$
- $K = K_D$

EROSIONE ($dz/dt < 0$)

- $U_{\max} > U_{\text{LIM-E}}$
- $\alpha_{\max} > \alpha_{\text{LIM-E}}$
- $K = K_E$

Le velocità di deposito ed erosione risultano funzione di fattori di controllo quali l'inclinazione del fondo e la velocità. Questi fattori varieranno in funzione della reologia e della natura del fondo.

C = coefficiente di conduttanza; $U_{\text{LIM-D,E}}$ = velocità limite sotto e sopra cui si hanno rispettivamente deposito ed erosione; $\alpha_{\text{LIM-D,E}}$ = angoli limite sotto e sopra cui si hanno rispettivamente deposito ed erosione

Affidabilità modello di propagazione idraulica per colate detritiche - 1

L'affidabilità di un modello di propagazione idraulica di una colata detritica, ovvero la sua «predittività», viene determinata analizzando le prestazioni del modello al variare dei parametri, quando si riproducono eventi reali di colata detritica. La riproduzione riguarda i campi di deposito-erosione stimati mediante rilievi pre-post evento ed i tempi di propagazione osservati.

Si distinguono due fasi:

1. Riproduzione mediante modello dei fenomeni che hanno determinato l'evento: deflussi superficiali, formazione della colata e propagazione idraulica della stessa.
2. Analisi della prestazione del modello idraulico nel riprodurre i fenomeni di deposito ed erosione e le tempistiche di propagazione osservati al variare dei parametri.

Affidabilità modello di propagazione idraulica per colate detritiche - 2

1. Riproduzione

- a) Modellazione idrologica per determinare l'idrogramma di deflusso superficiale nell'area di innesco.
- b) Determinazione dell'idrogramma solido-liquido.
- c) Simulazioni dell'evento al variare dei parametri del modello.

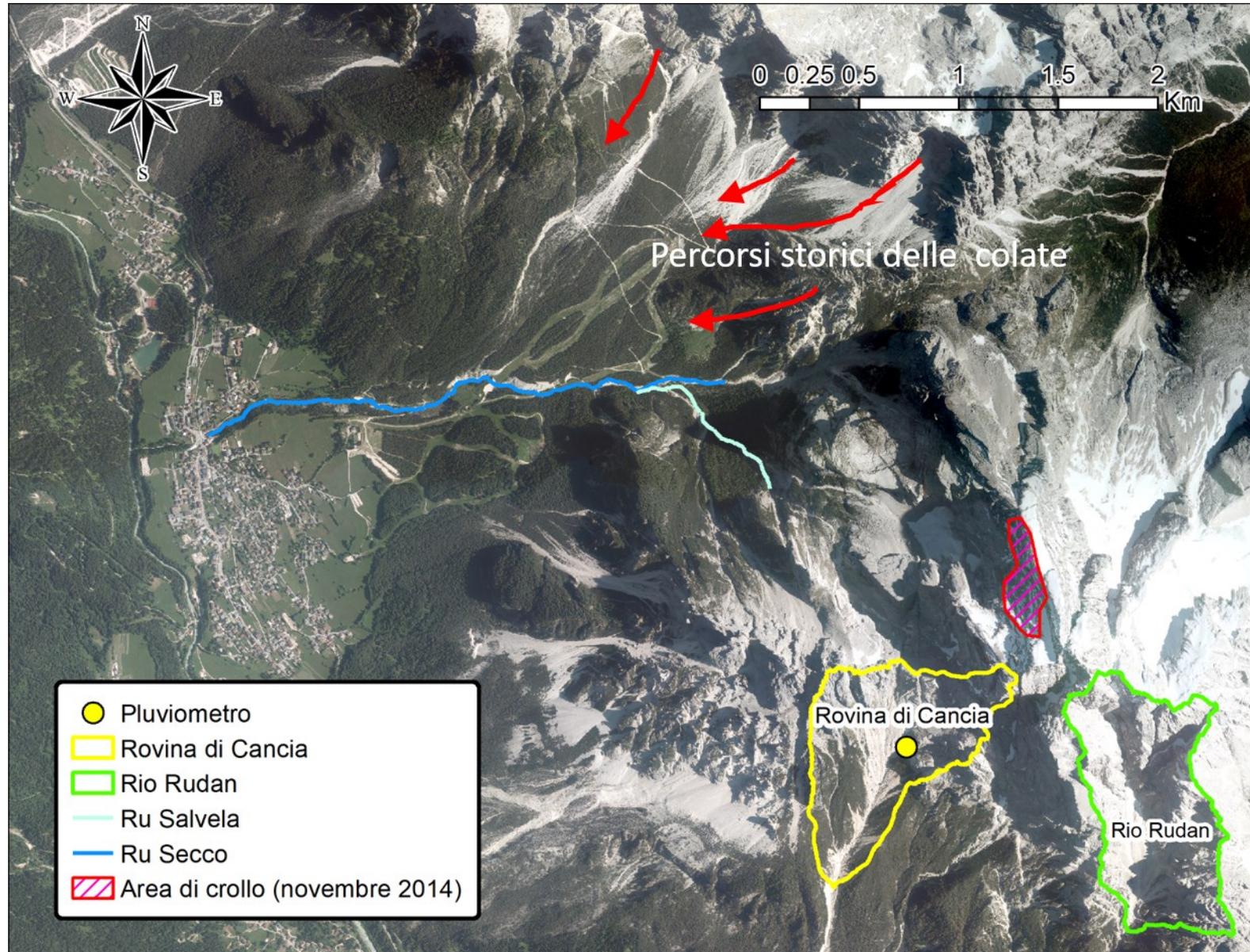
2. Analisi Prestazione e di Sensitività

- a) Confronto tra la mappe di erosione/deposito osservata e simulata e tra i tempi di propagazione osservati e simulati.
- b) Ricerca dei valori dei parametri del modello che permettano la maggior sovrapposizione possibile tra erosione/deposito osservato con quello simulato rispettando i tempi di propagazione.
- c) Stima della miglior sovrapposizione mediante indici di valutazione.
- d) Analisi di sensitività del modello: analisi di variazione degli indici di valutazione, ovvero della qualità della sovrapposizione, al variare dei parametri

Riproduzione dell'evento di colata detritica avvenuto il 4/8/2015 sul Ru Secco (San Vito di Cadore, BL)

- 1) Presentazione del bacino
- 2) Cause che hanno determinato la colata
- 3) Descrizione dell'evento
- 4) Modellazione dell'evento

Il Bacino del Ru Secco - 1



Il Bacino del Ru Secco - 2

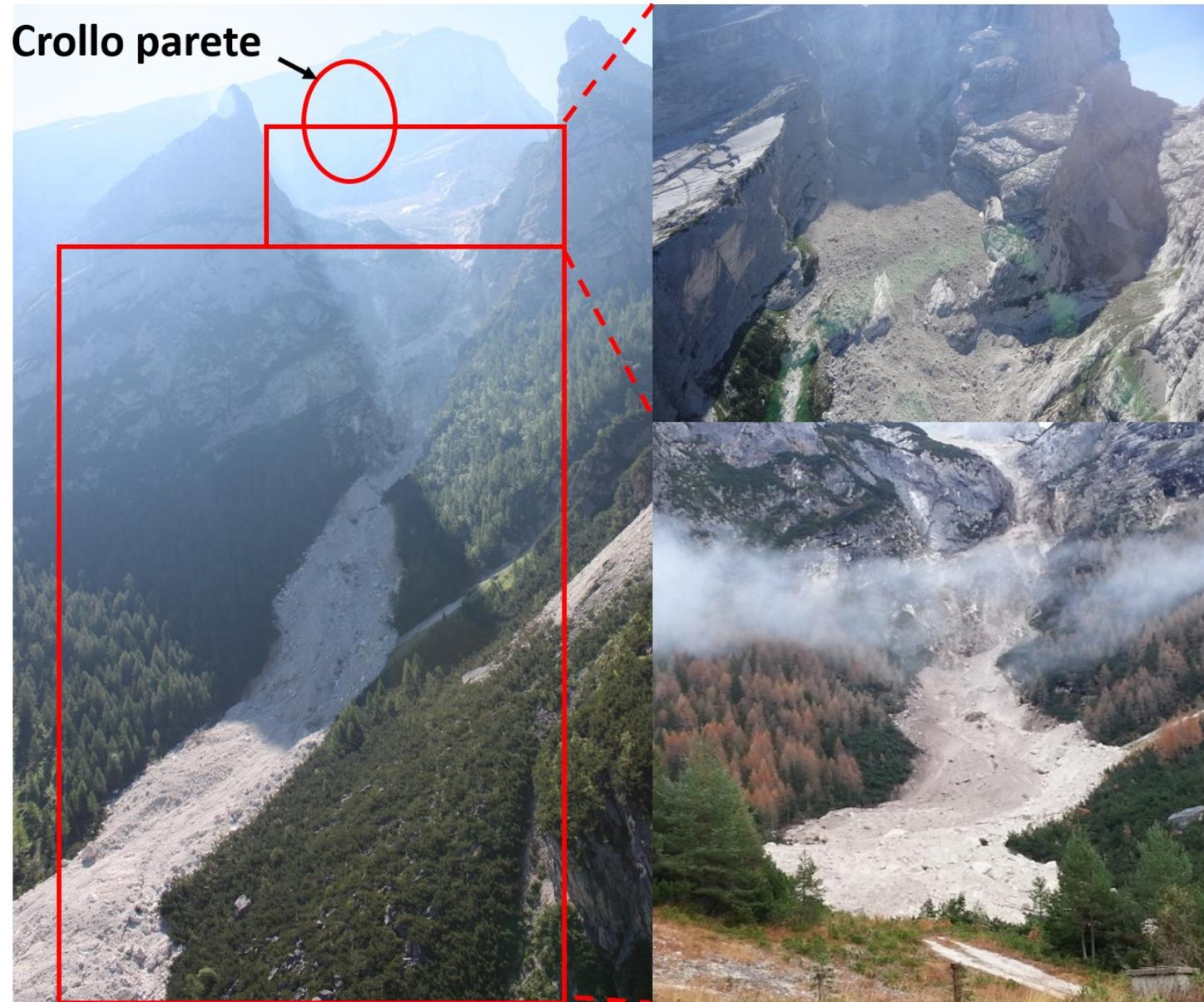
Immagine anni 20-30



Immagine anni 2000



L'evento di crollo del 2014 - 1



L'evento di crollo del 2014 - 2



Il deposito del materiale detritico dovuto al crollo del Novembre 2014 in corrispondenza della confluenza del Ru Salvela con il Ru Secco un mese prima dell'evento di colata.

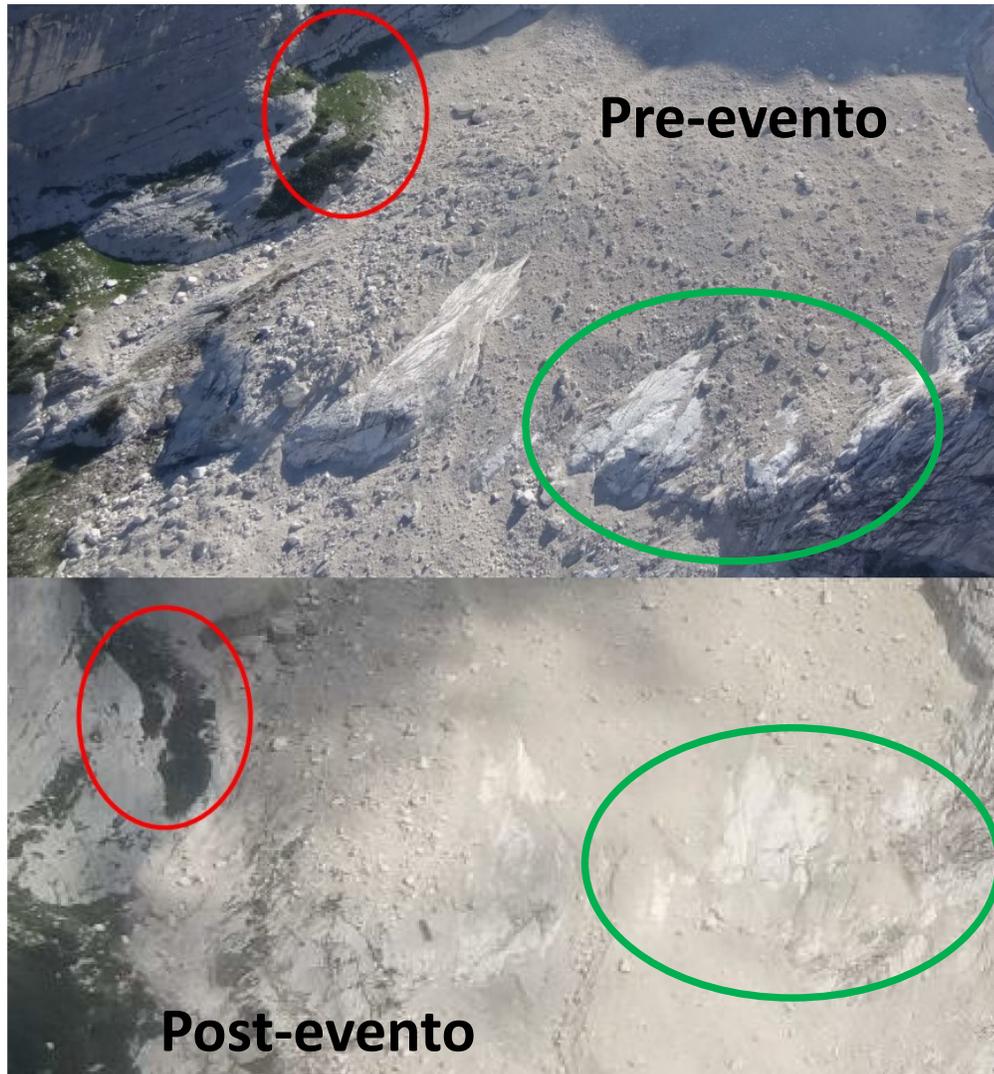
L'evento di colata detritica del 4 Agosto 2015 - 1

----- Fenomeni di colata per l'intero bacino



- Apporti solido-liquidi
- Apporti liquidi
- Apporti solido-liquidi trascurabili

L'evento di colata detritica del 4 Agosto 2015 - 2



Il confronto tra le immagini pre e post-evento del deposito detritico giacente sul Vallon d'Antrimoia, causa la diversa angolazione, non sono in grado di mostrare l'assenza o presenza di erosioni significative per effetto dei deflussi superficiali discendenti dalle pareti dell'Antelao durante l'evento del 4/8/2015.

Dalla differenza tra i DEM pre e post-evento risulta che 52000 m³ di sedimento siano discesi dal Vallon d'Antrimoia.

L'evento di colata detritica del 4 Agosto 2015 - 3

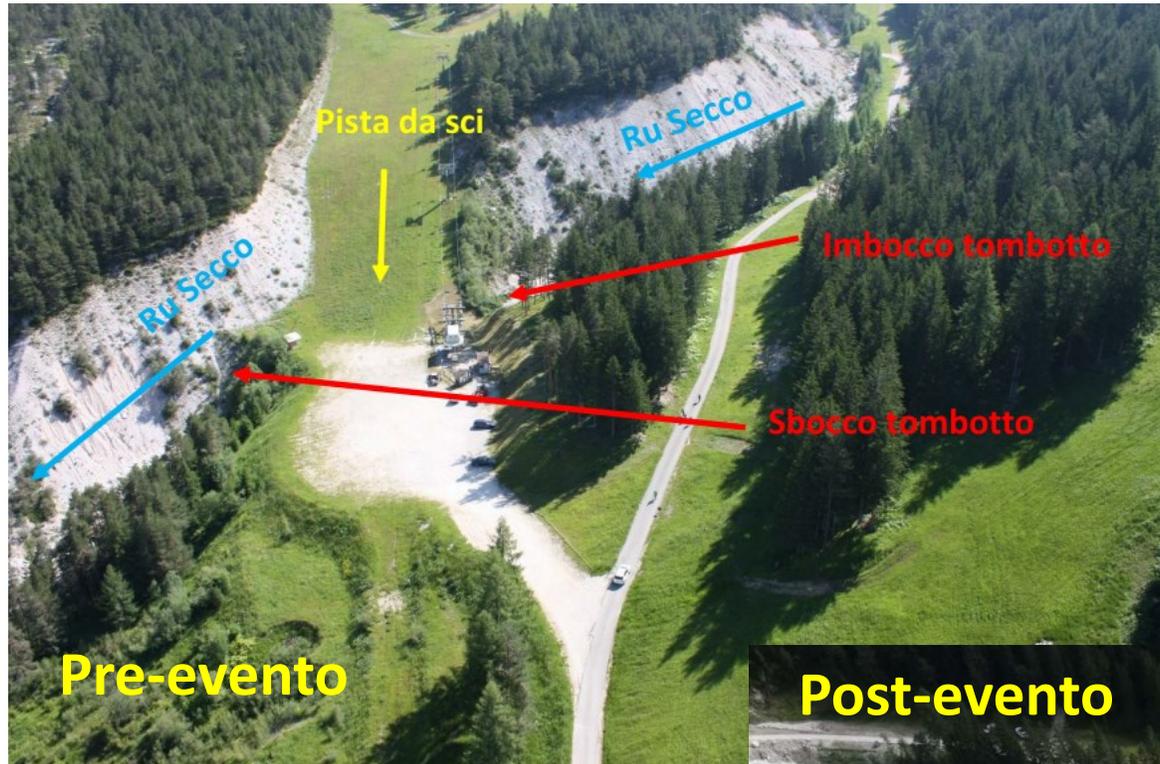


Immagini post-evento dal Vaillon d'Antrimoia alla confluenza del Ru Salveta con il Ru Secco. Si evince lo scavo di un canale nel deposito detritico ricoprente il Ru Salveta.

L'evento di colata detritica del 4 Agosto 2015 - 4



L'evento di colata detritica del 4 Agosto 2015 - 5



Viste pre e post-evento del Ru Secco in corrispondenza del piazzale della seggiovia



L'evento di colata detritica del 4 Agosto 2015 - 6

Tombotto (4 x 3.7): prima dell'evento (2013)



L'evento di colata detritica del 4 Agosto 2015 - 7

Tombotto: subito dopo l'evento



L'evento di colata detritica del 4 Agosto 2015 - 8

Tombotto: 15 giorni dopo l'evento



Il tombotto immediatamente a valle dell'entrata è riempito solo parzialmente

Massi ciclopici facenti parte del fronte della colata che hanno ostruito al loro arrivo l'imbocco



L'evento di colata detritica del 4 Agosto 2015 - 9



Erosioni profonde (circa 9 m) sul piazzale della seggiovia, lato parcheggio



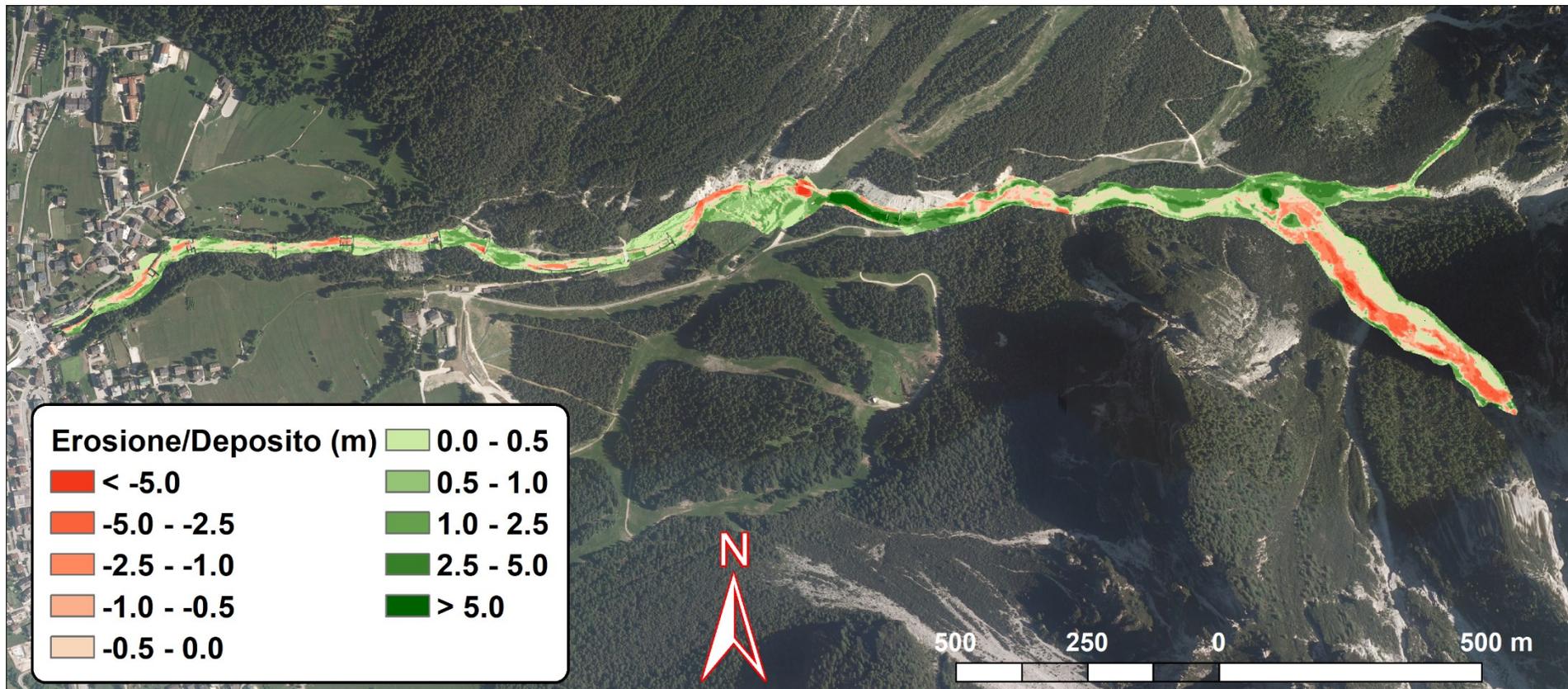
Erosioni significative in curva immediatamente a valle del tombotto

L'evento di colata detritica del 4 Agosto 2015 - 10

Scavi a valle delle briglie

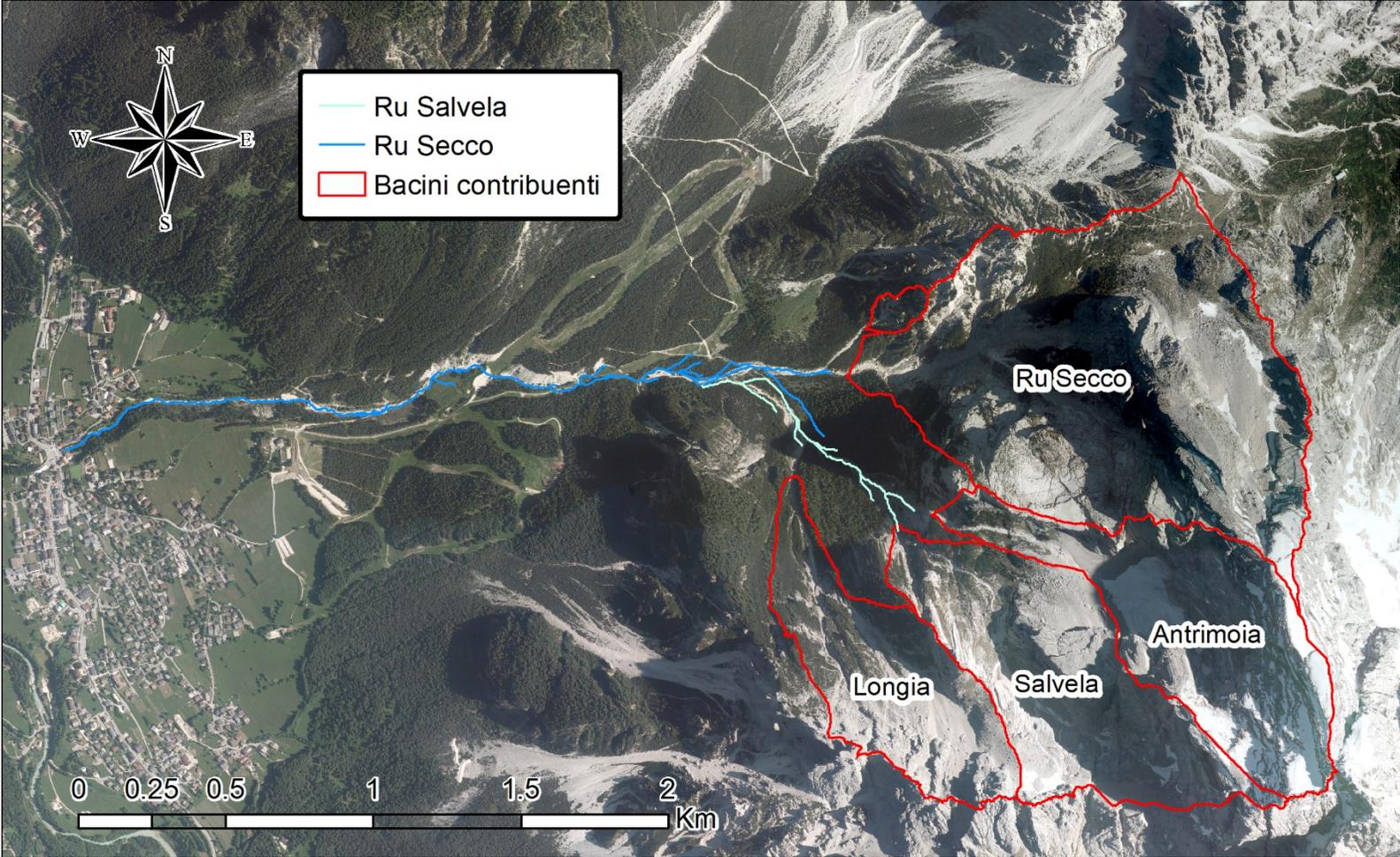


Mappa altezze deposito e profondità di erosione



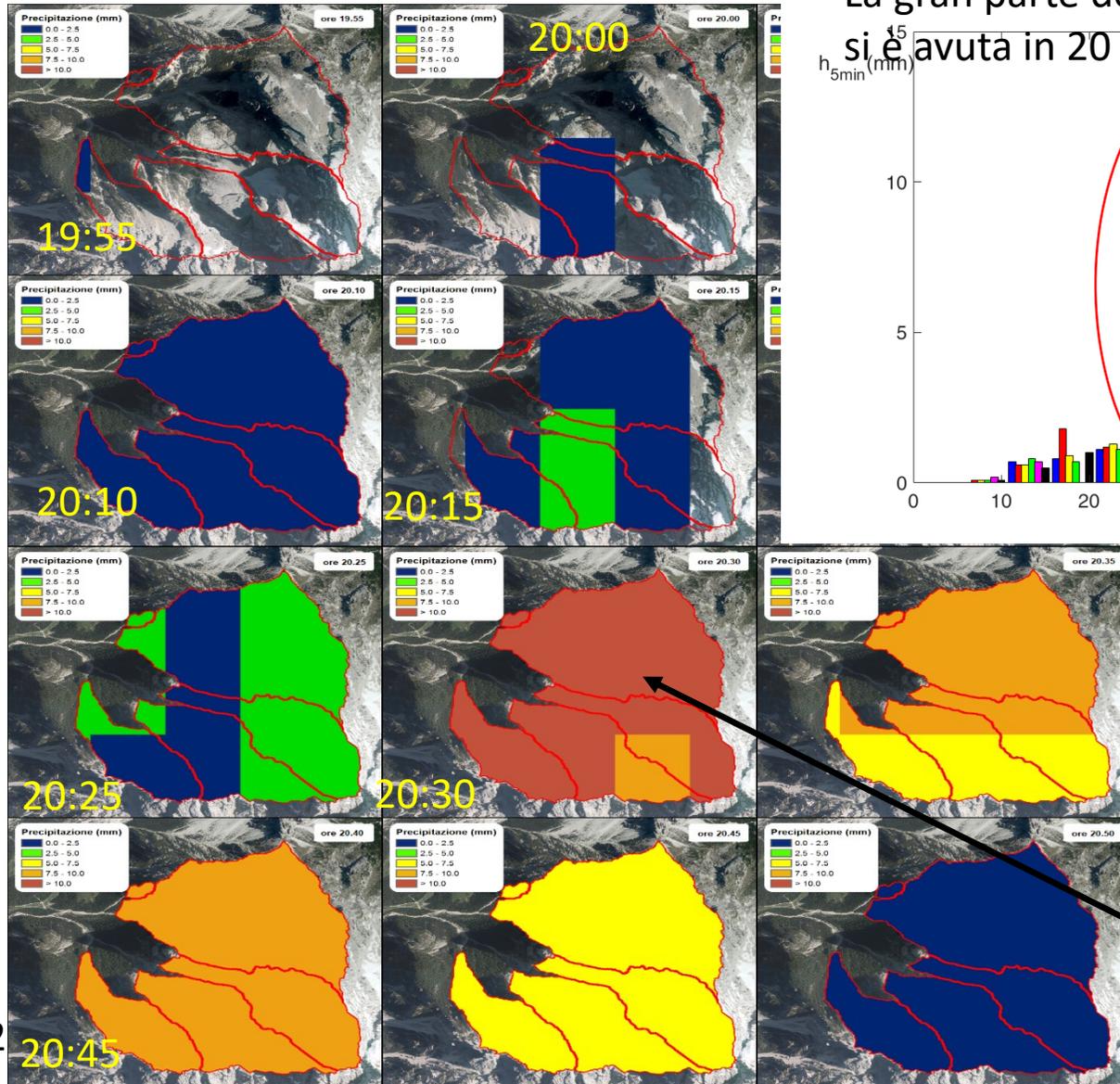
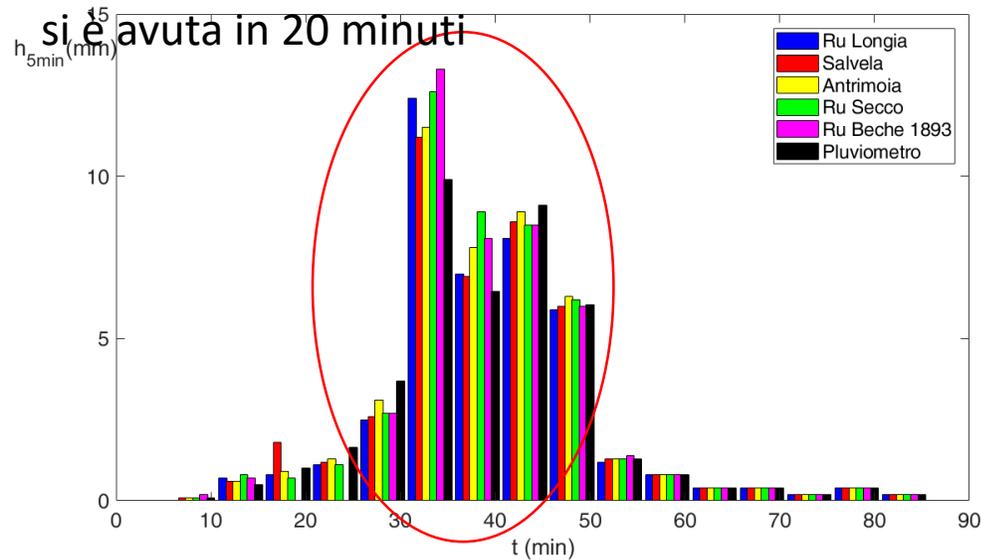
Variazioni Evento	Volumi (m ³)
Volume eroso stimato	57000
Volume depositato stimato	109000

I bacini idrologici il cui deflusso ha contribuito alla colata



La precipitazione che ha innescato l'evento - 1

La gran parte della precipitazione (> 30 mm)

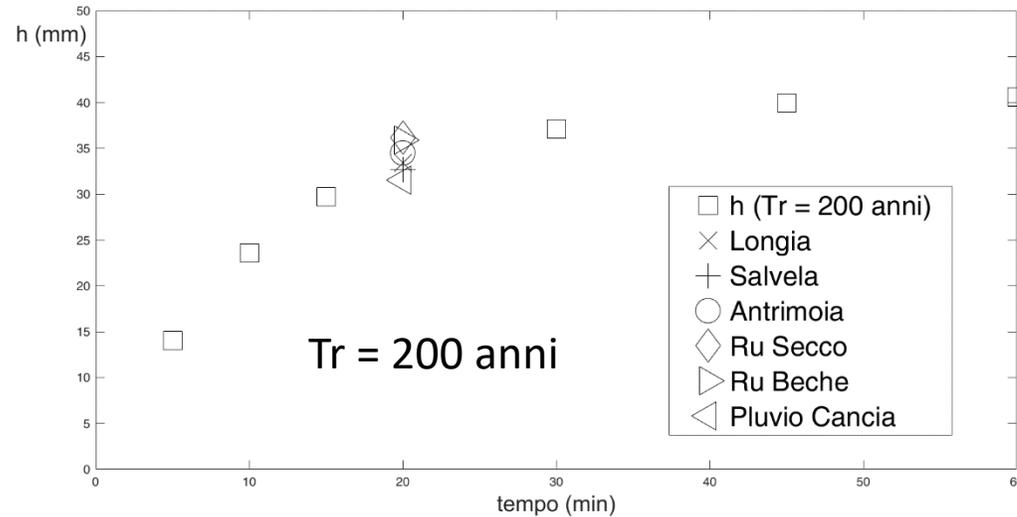


si riapre i valdi di altezza di precipitazione per intervalli di 5 minuti (h_{5min}) dopo la taratura con i dati pluviometrici del pluviometro del sistema di allarme di Cancia per i 5 bacini

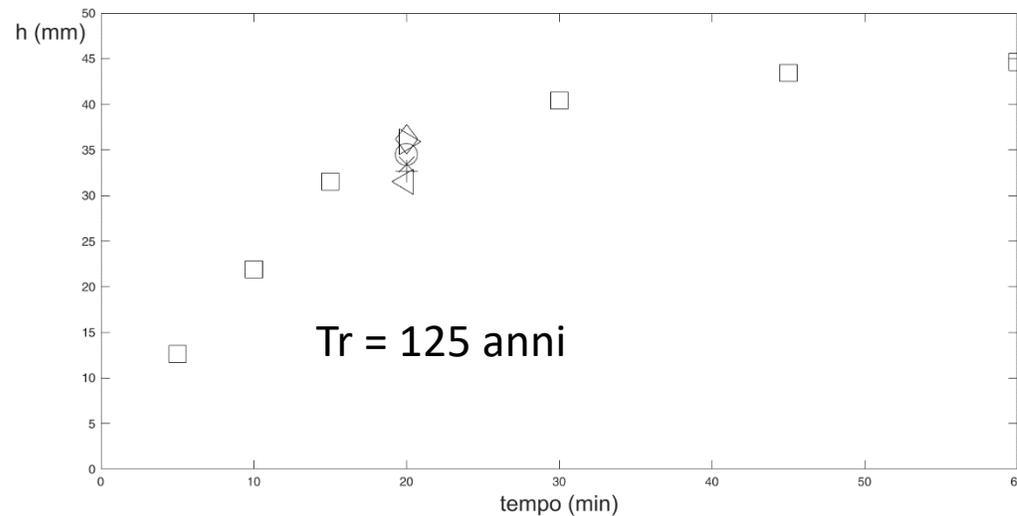
$h_{5min} > 10$ mm
 $I > 120$ mm/h

La precipitazione che ha innescato l'evento - 2

Tempo di ritorno della precipitazione



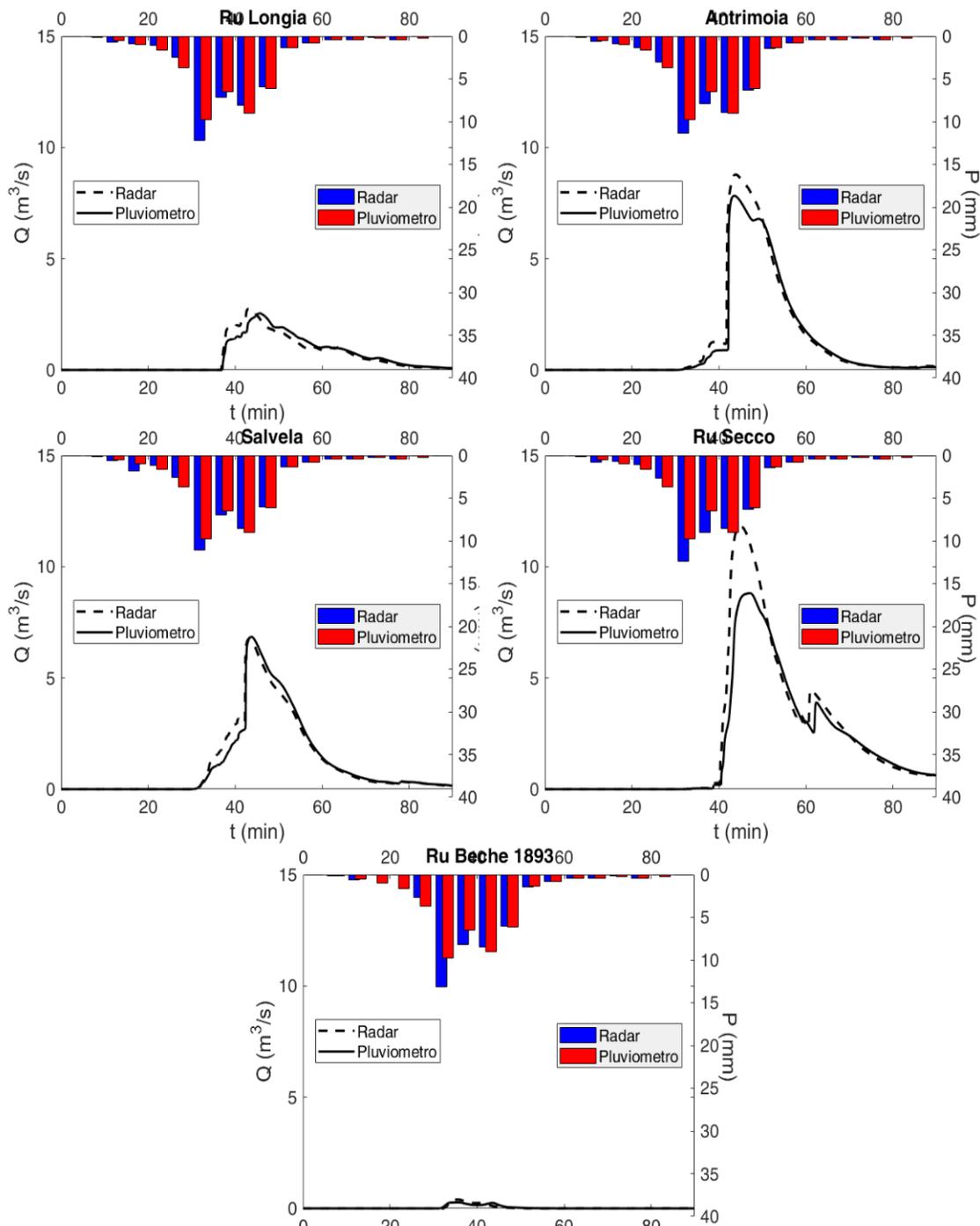
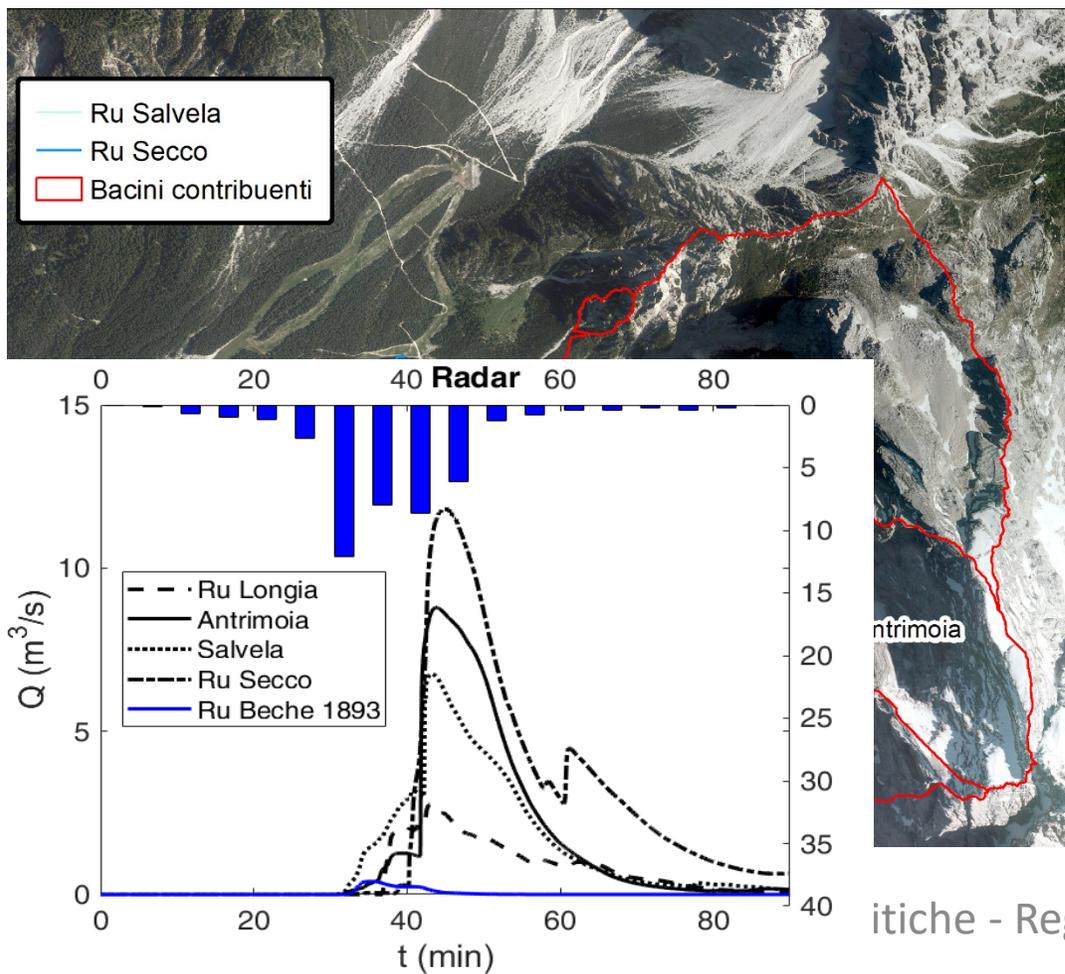
Confronto tra l'altezza di precipitazione in 20 minuti sui 5 bacini con quelle determinate attraverso l'analisi statistico-probabilistico dei massimi annuali (metodo classico di Gumbel).



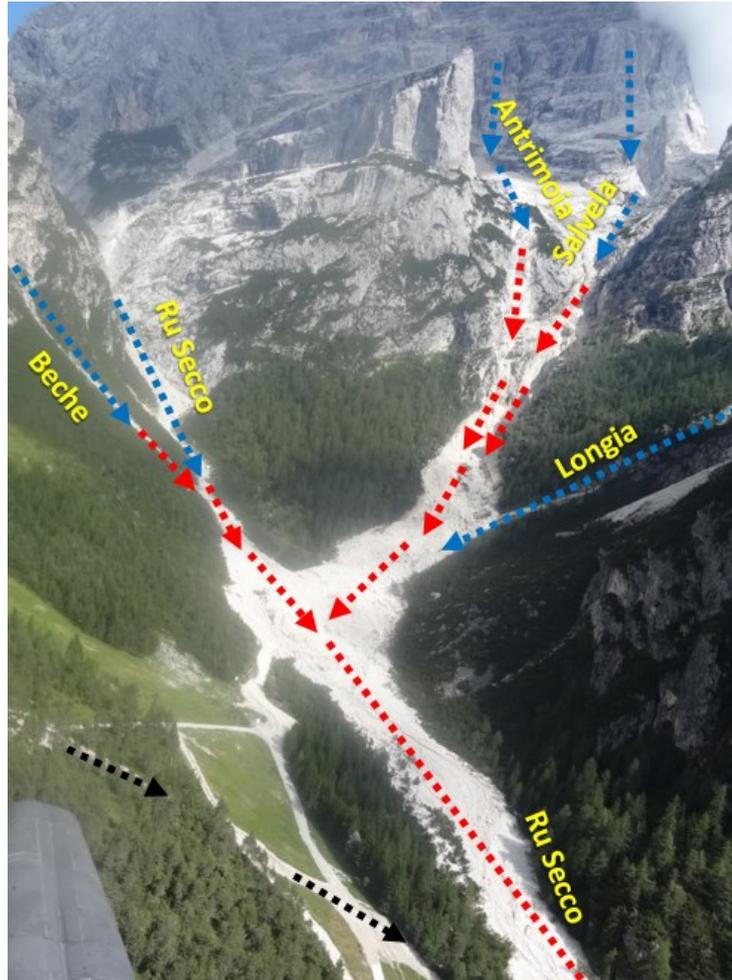
Confronto tra l'altezza di precipitazione in 20 minuti sui 5 bacini con quelle determinate attraverso l'analisi statistico-probabilistico secondo il metodo del Peak Over Threshold.

Modellazione idrologica

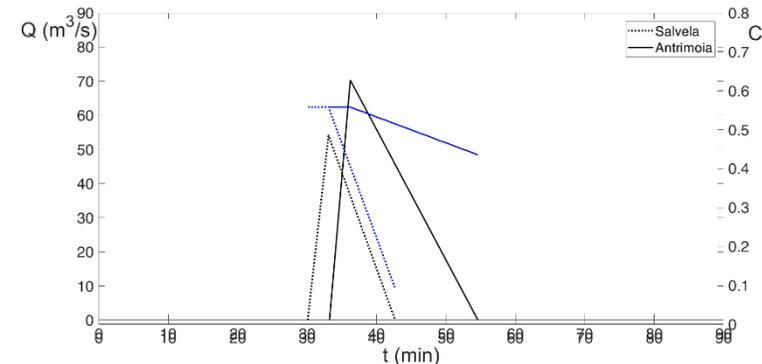
Risultati della modellazione idrologica idrogrammi di deflusso superficiale (i.e. tempo) alla sezione di chiusura dei cinque innescato/contribuito al fenomeno.



Idrogrammi Solido-liquidi

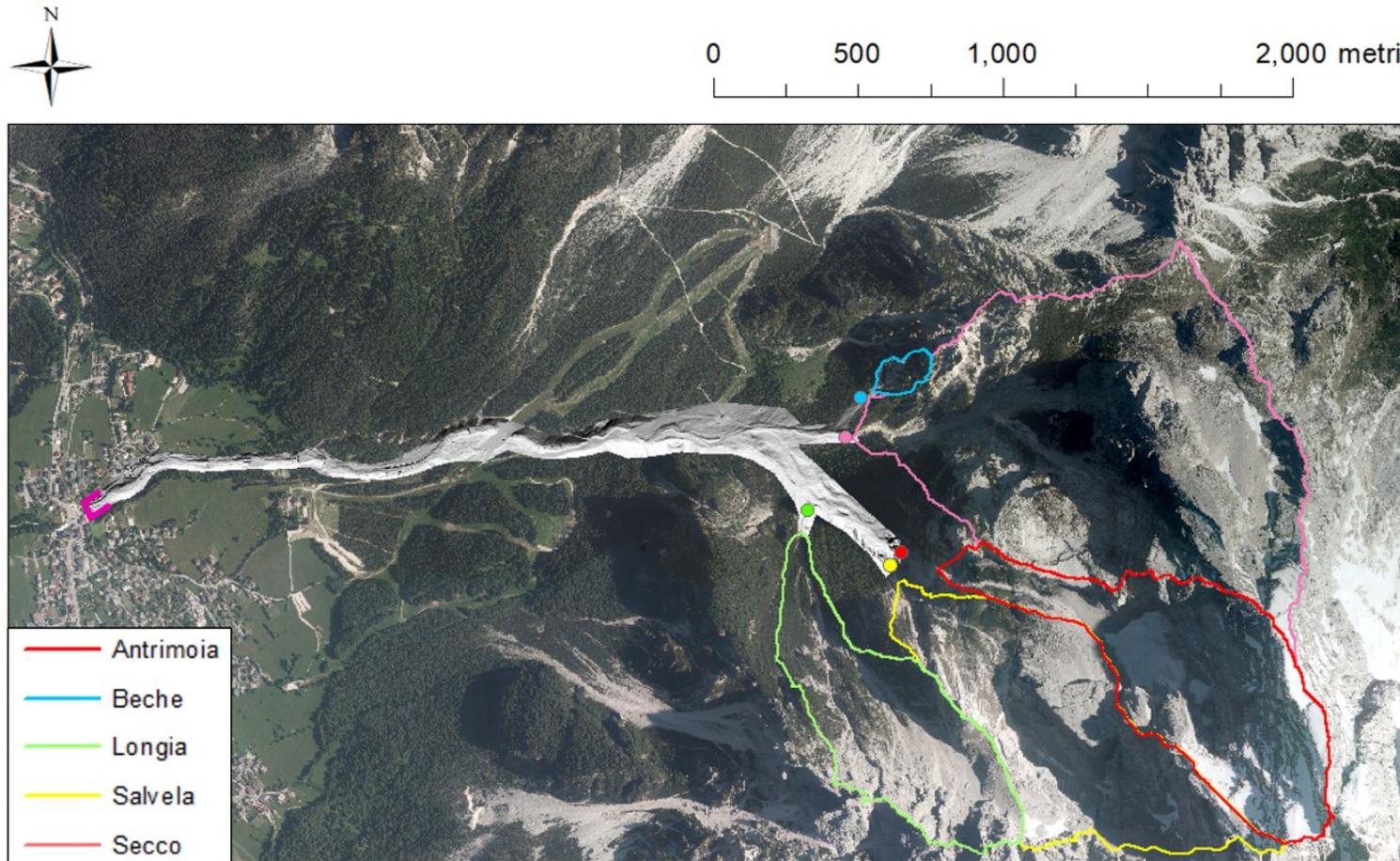


La differenza tra il volume depositato nel campo di moto (109000 m^3) e quello eroso (57000 m^3) è il volume mobilizzato sul vallon d'Antrimoia. Questo volume viene attribuito sia al bacino d'Antrimoia (38000 m^3) che al Salvela (14000 m^3) sulla base dell'area soggetta a deposito (da fotointerpretazione). Gli idrogrammi degli apporti solido-liquidi provenienti da questi due bacini vengono determinati in corrispondenza dell'inizio del Ru Salvela a valle del salto di roccia che lo separa dal Vallon d'Antrimoia. Adottando lo schema di di Gregoretti et al. (2019) si ha:



Modellazione idraulica - 1

Sezioni di ingresso dei deflussi solido-liquidi (Salvela ed Antrimoia) e liquidi (Longia, Ru Secco e Beche) e campo di moto (area di propagazione).



Modellazione idraulica - 2

Profondità di deflusso (m)

- 0.0 - 0.1 (m)
- 0.1 - 0.5 (m)
- 0.5 - 1.0 (m)
- 1.0 - 2.5 (m)
- 2.5 - 5.0 (m)
- >5.0 (m)



Altezze di deposito ed erosione (m)

- < -5.00 (m)
- 5.00 - -2.50 (m)
- 2.00 - -1.00 (m)
- 1.00 - -0.50 (m)
- 0.50 - 0.00 (m)
- 0.00 - 0.50 (m)
- 0.50 - 1.00 (m)
- 1.00 - 2.50 (m)
- 2.50 - 5.00 (m)
- > 5.00 (m)



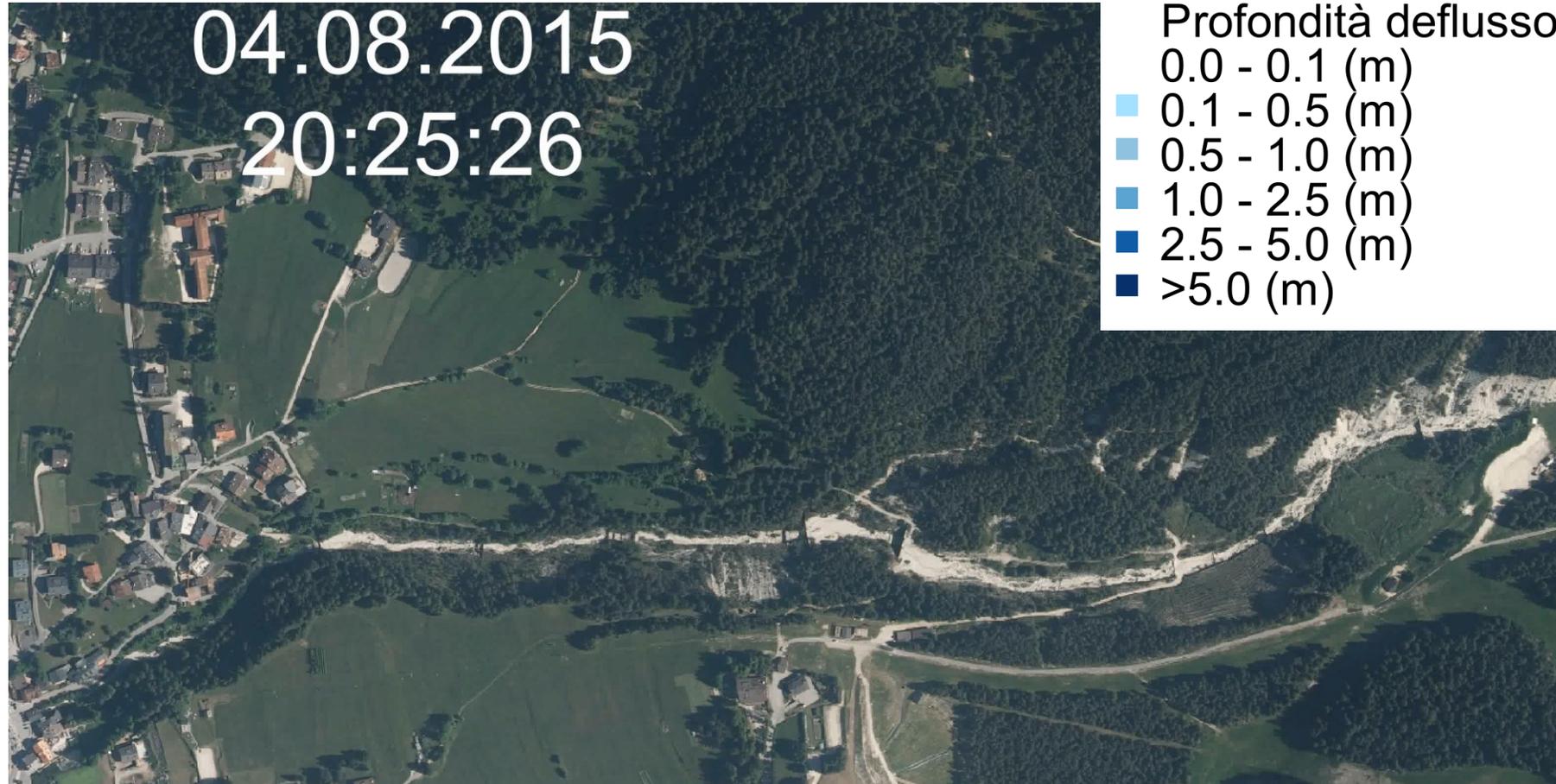
Modellazione idraulica - 3

Profondità di deflusso (m) dal Ru Salveta al tombotto



Modellazione idraulica - 4

Profondità di deflusso (m) dal tombotto al paese



Modellazione idraulica - 5

Altezze di deposito ed erosione (m) dal Ru Salveta al tombotto



Modellazione idraulica - 6

Altezze di deposito ed erosione (m) dal tombotto al paese



Modellazione idraulica - 7

Tombotto



Profondità di deflusso (m)

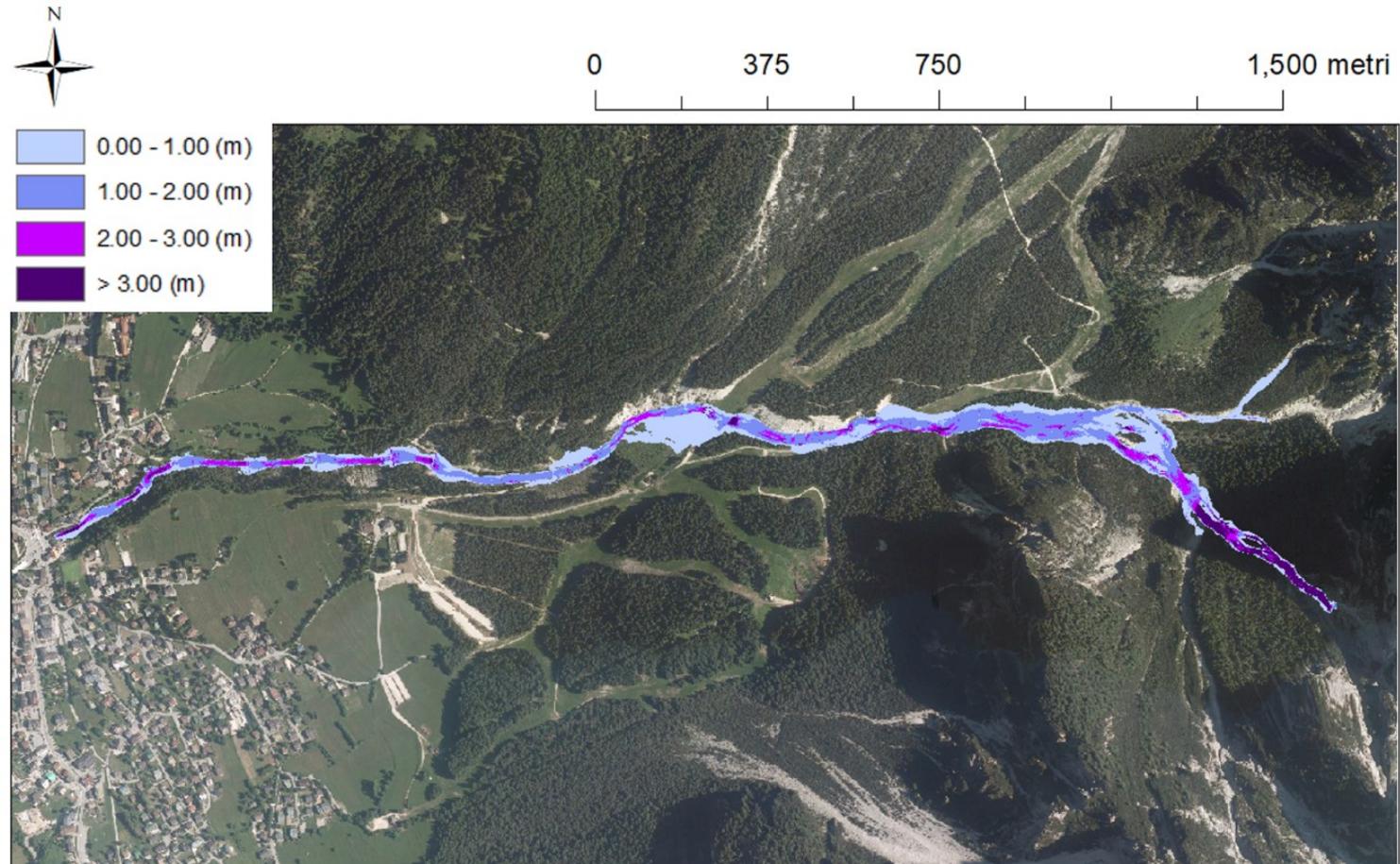
- 0.0 - 0.1 (m)
- 0.1 - 0.5 (m)
- 0.5 - 1.0 (m)
- 1.0 - 2.5 (m)
- 2.5 - 5.0 (m)
- >5.0 (m)

Altezze di deposito ed erosione (m)

- < -5.00 (m)
- 5.00 - -2.50 (m)
- 2.00 - -1.00 (m)
- 1.00 - -0.50 (m)
- 0.50 - 0.00 (m)
- 0.00 - 0.50 (m)
- 0.50 - 1.00 (m)
- 1.00 - 2.50 (m)
- 2.50 - 5.00 (m)
- > 5.00 (m)

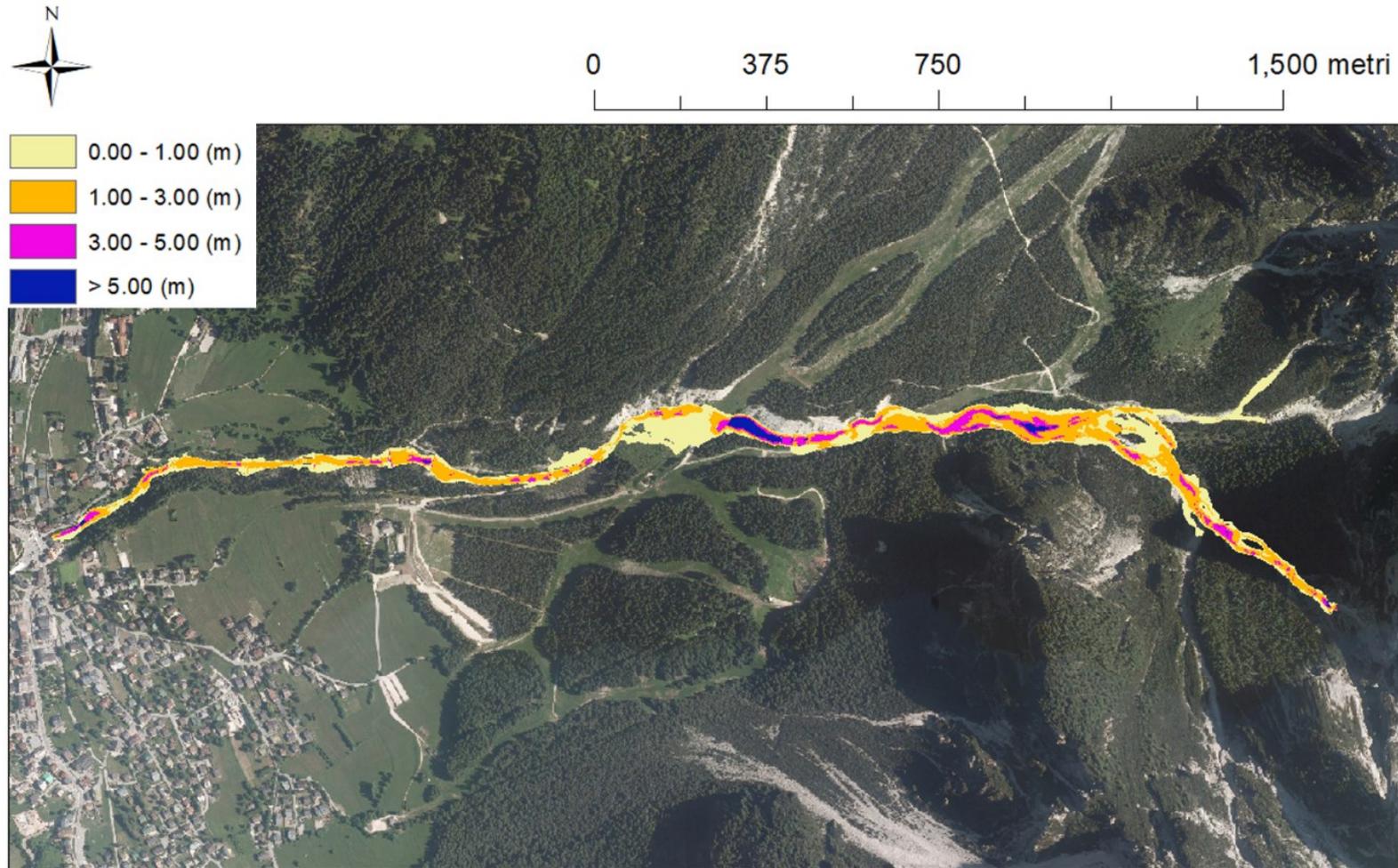
Modellazione idraulica - 8

Mappa dei valori massimi di profondità di deflusso (m)



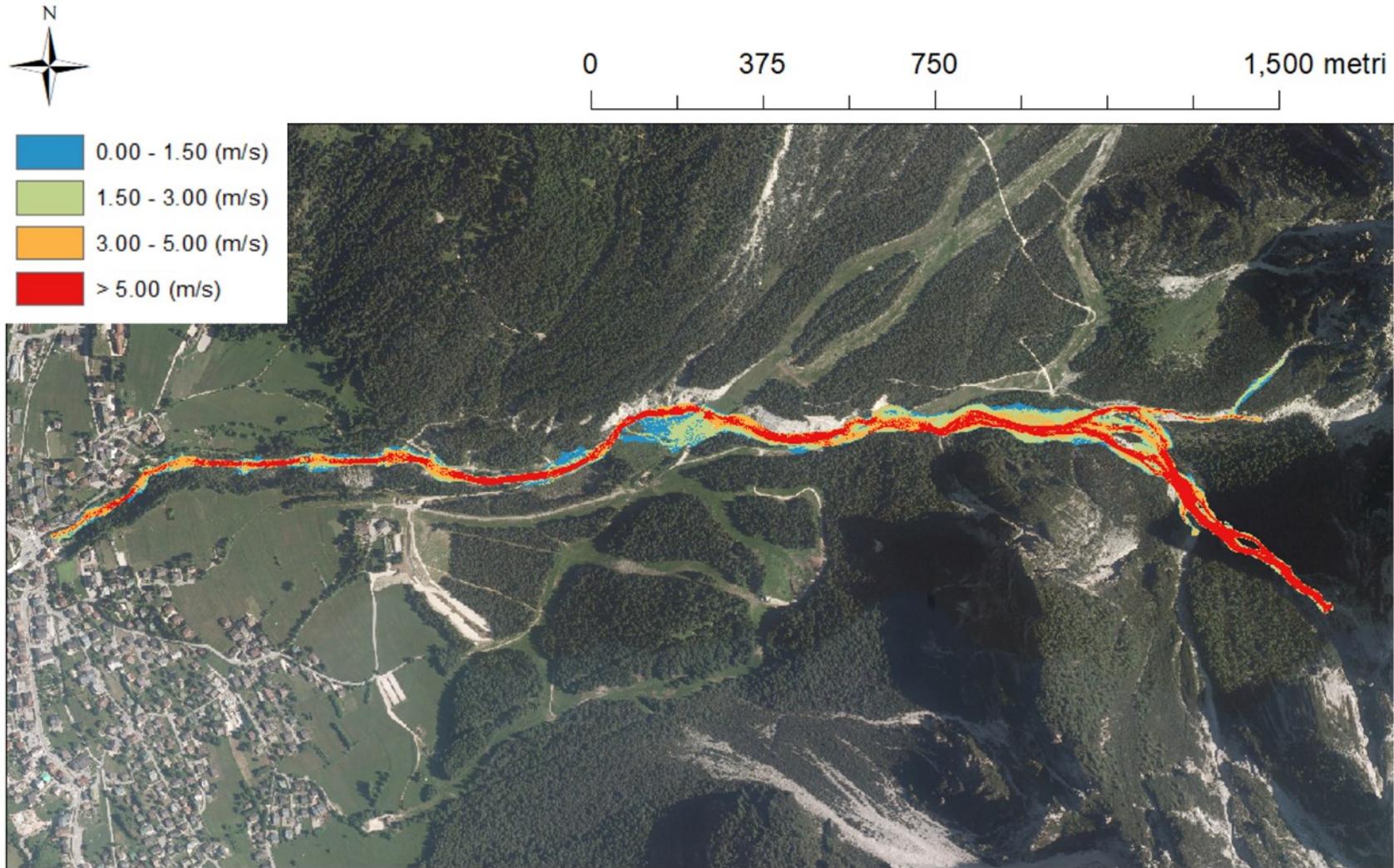
Modellazione idraulica - 9

Mappa dei valori massimi dello spessore (somma altezza di deposito e profondità di deflusso) (m)



Modellazione idraulica - 10

Mappa dei valori massimi di velocità (m/s)



Modellazione idraulica - 11

Confronto tra le altezze di deposito ed erosione (m) stimate (a) e simulate (b)

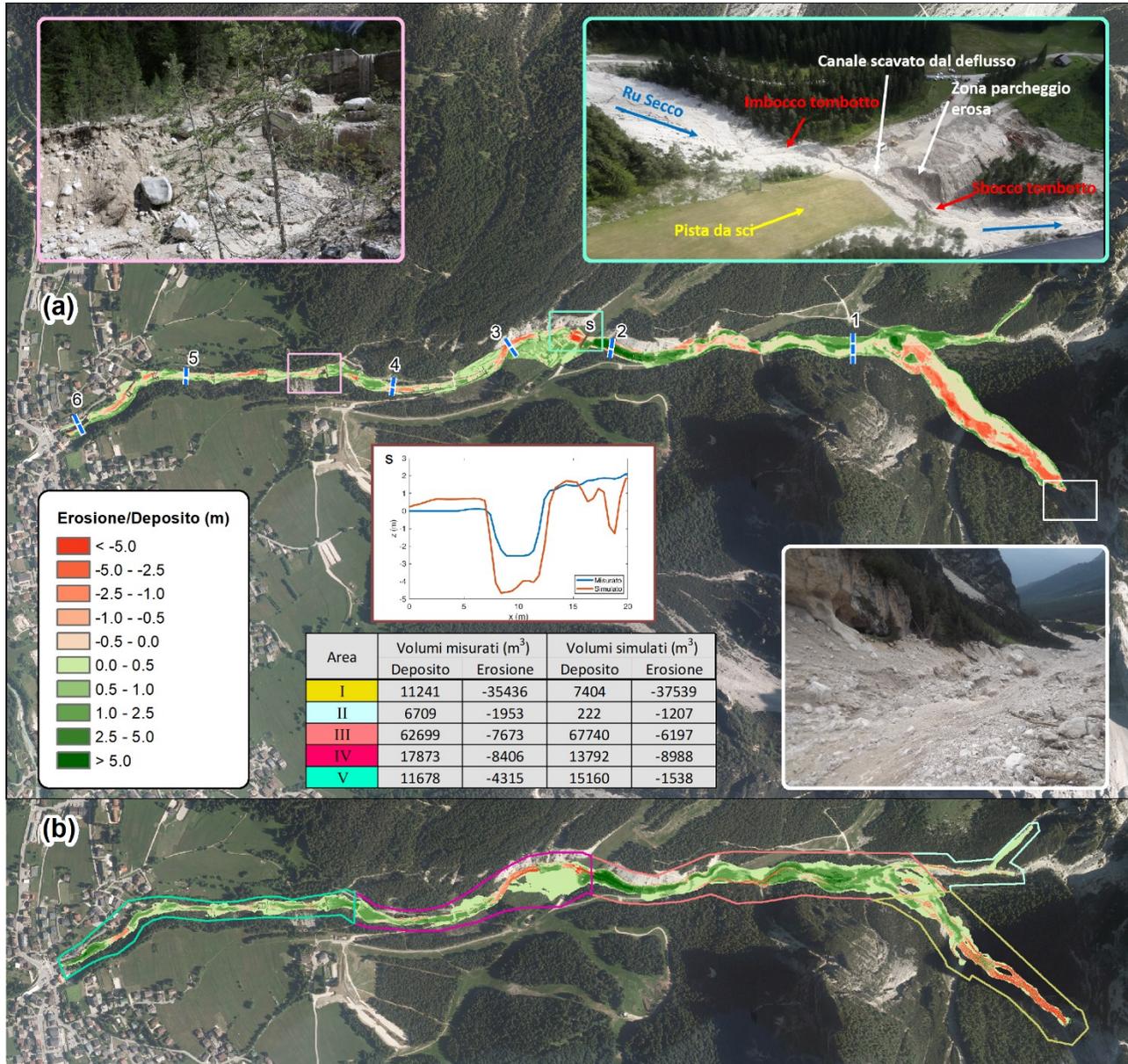
Totali volumetrie

Volume depositato stimato (m³): 108700

Volume depositato simulato (m³): 104300

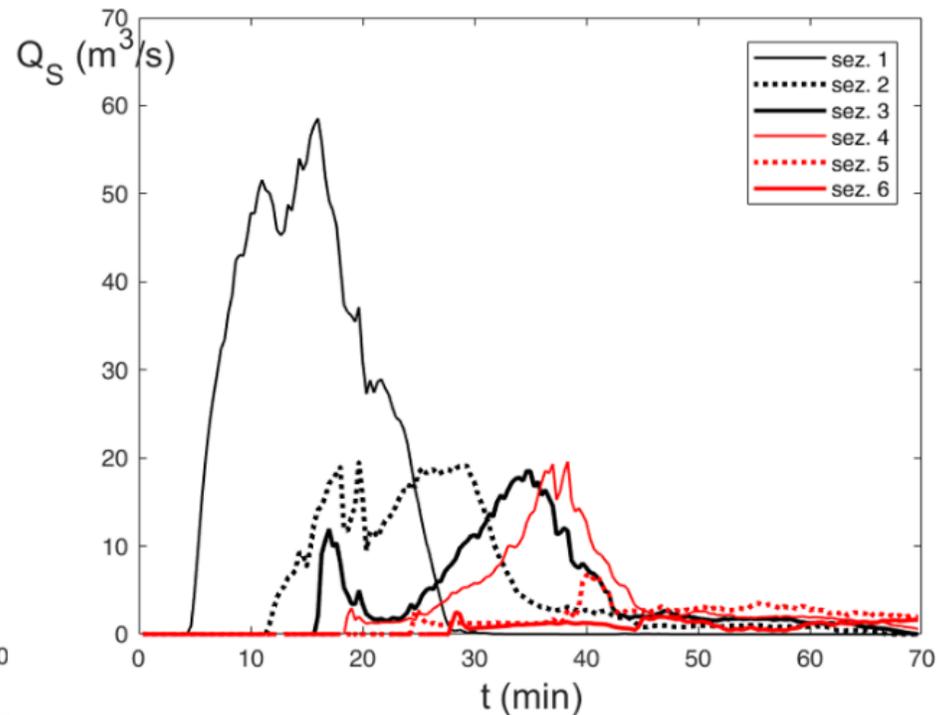
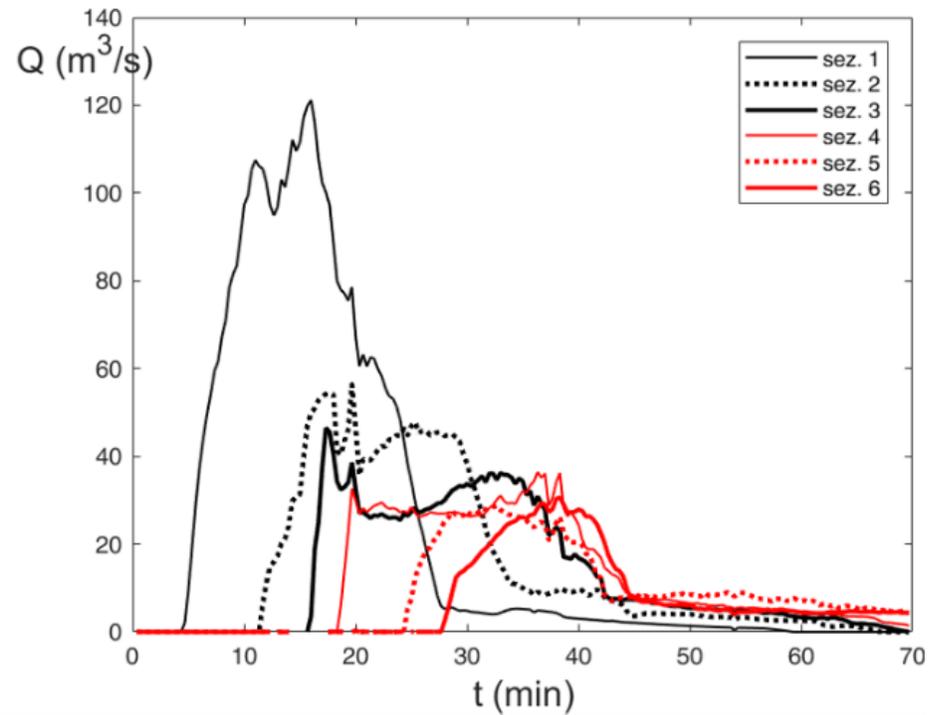
Volume eroso stimato (m³): 57200

Volume eroso simulato (m³): 55400



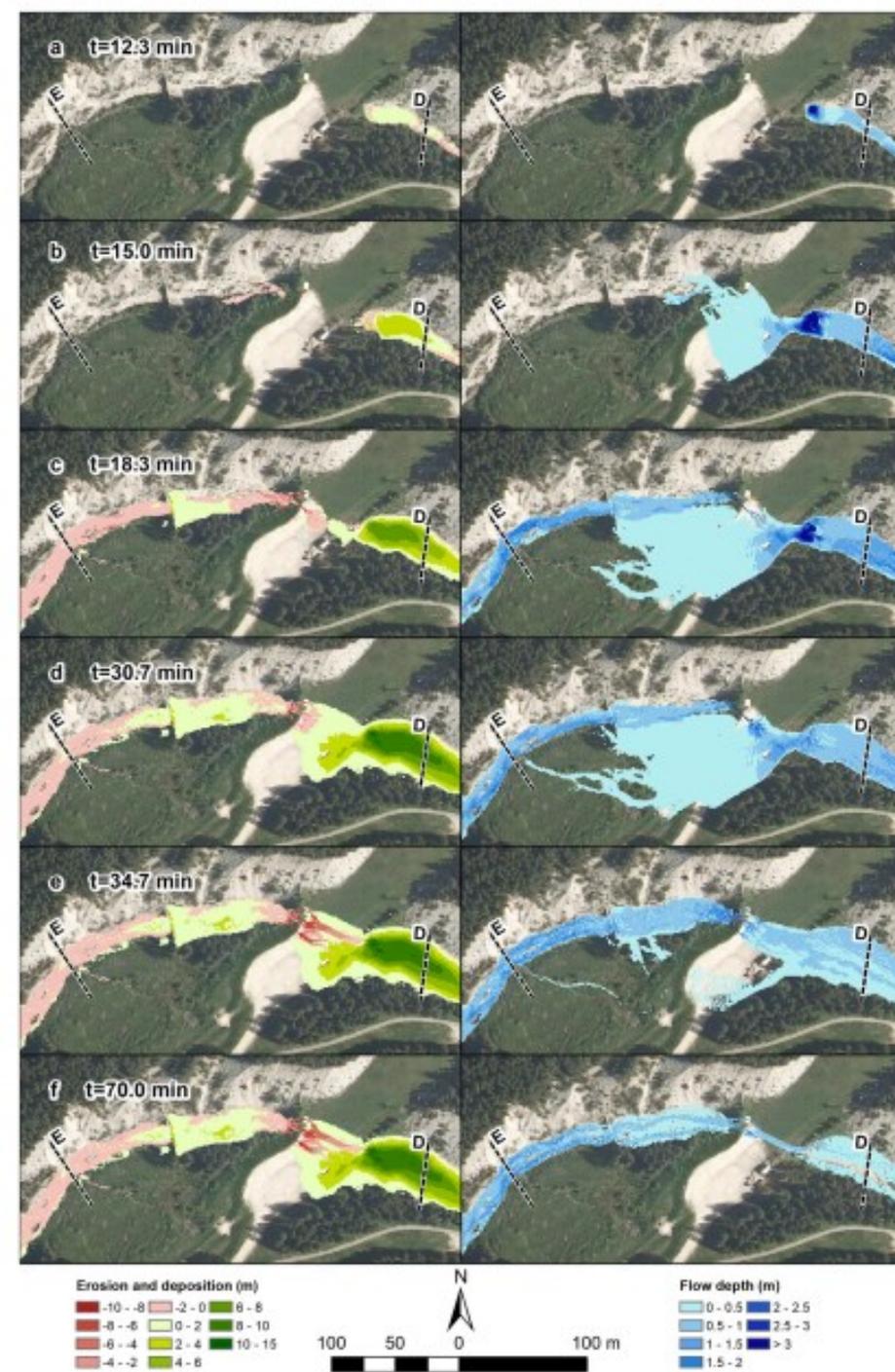
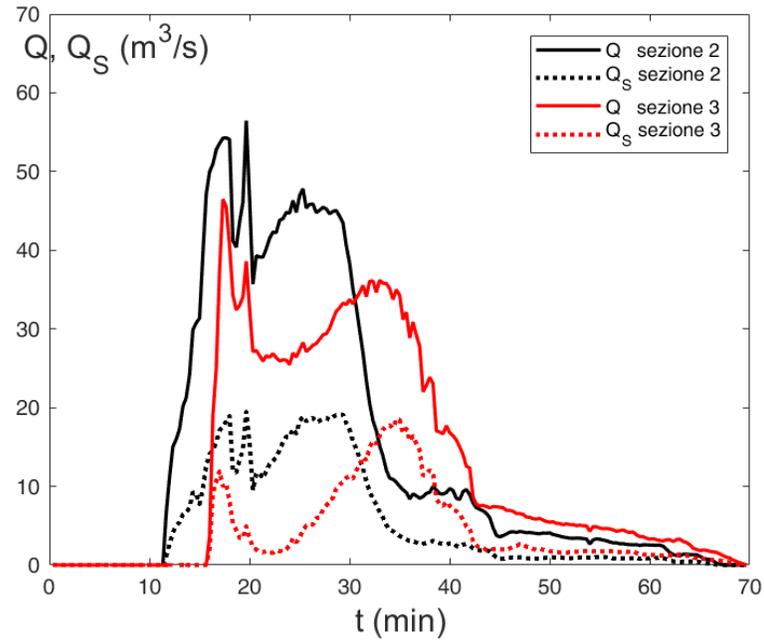
Modellazione idraulica - 12

Idrogrammi della portata solido-liquida (Q) e solida (Q_s)



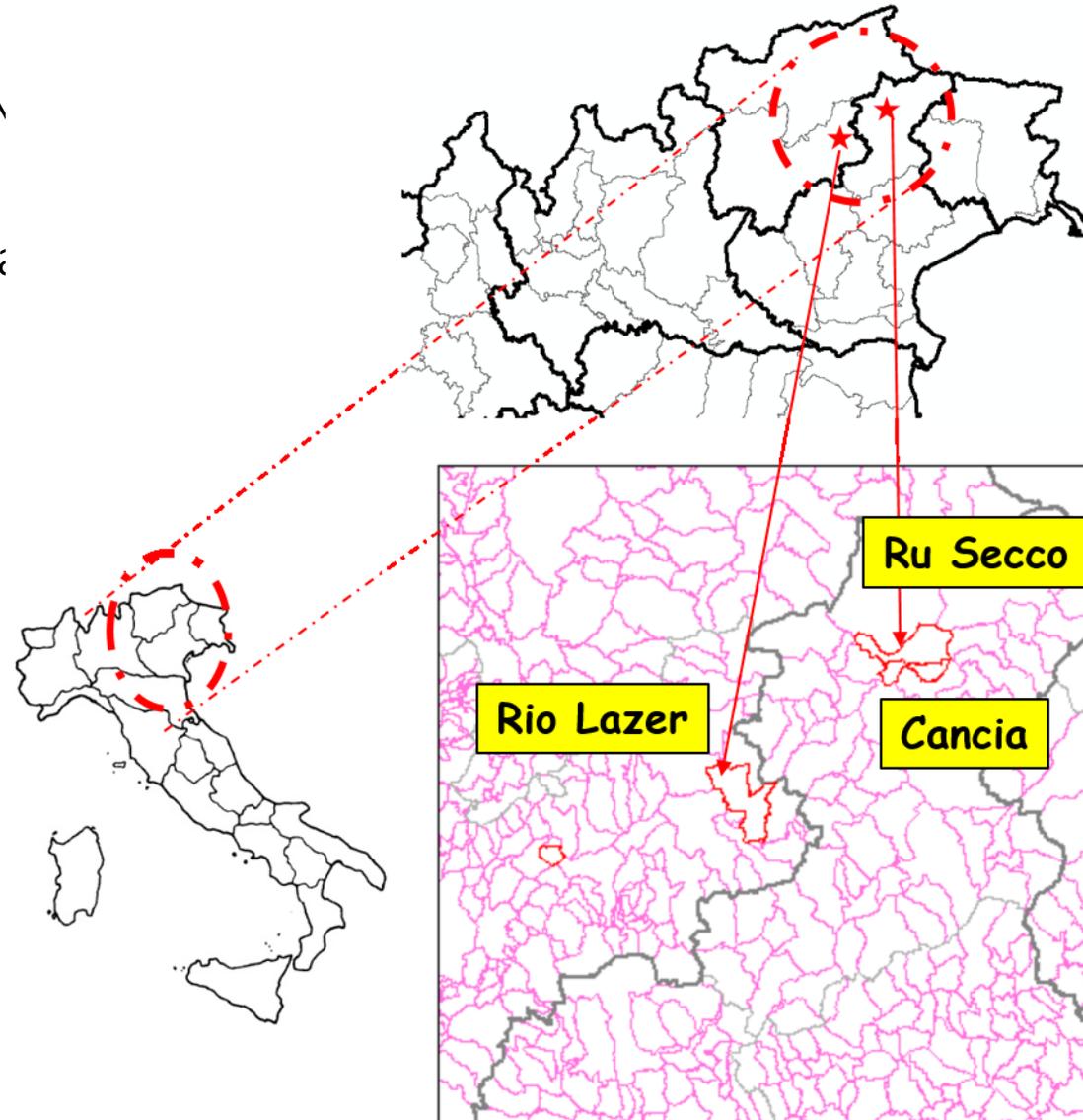
Modellazione idraulica - 13

Altezze di deposito ed erosione (m) e profondità di deflusso (m) al tombotto

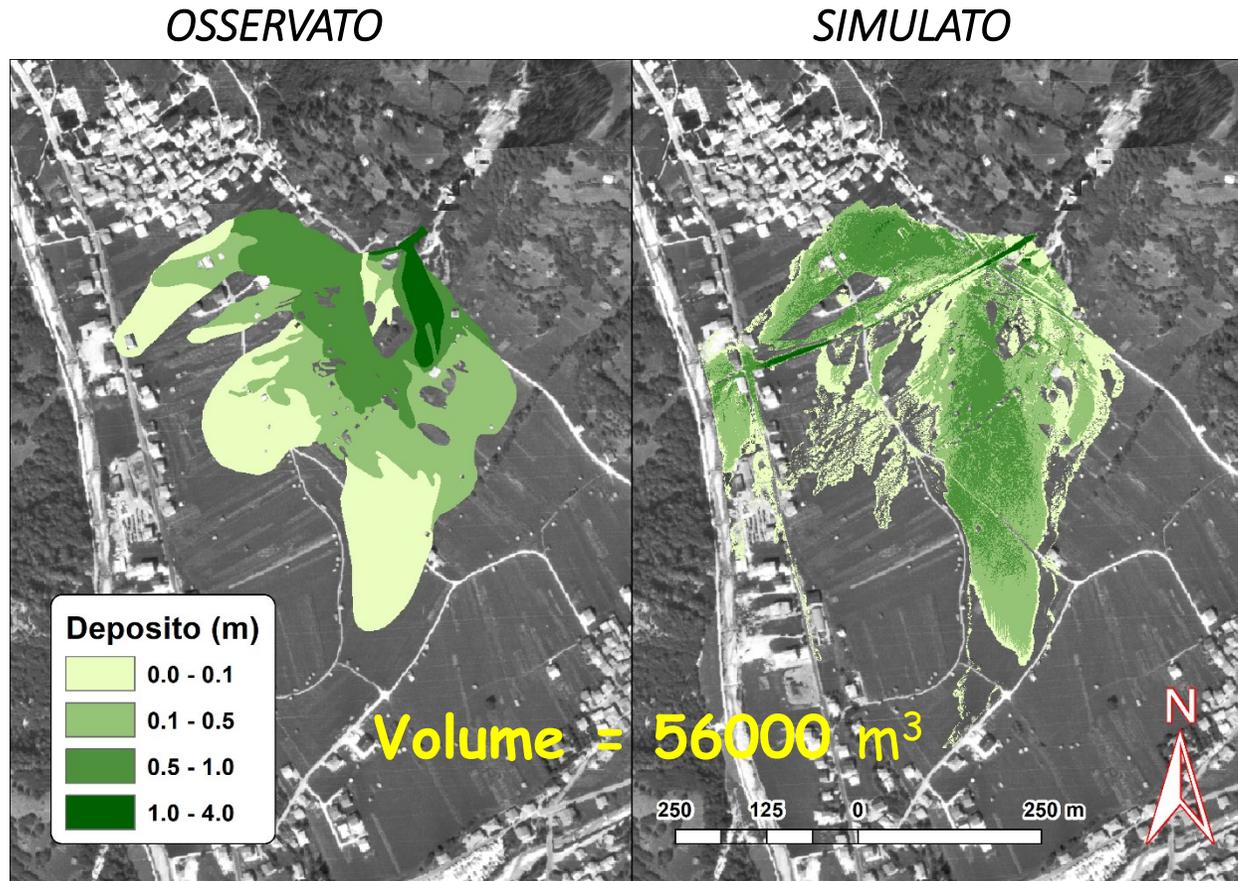


Migliore riproduzione di 3 eventi di colata detritica nelle Alpi Orientali - 1

I tre bacini del Rio Lazer (TN), Cancia e Ru Secco (BL) di riprodotti gli eventi di colata di rispettivamente il 4/11/1966, 4/8/2015.



Evento Rio Lazer del 4/11/1966



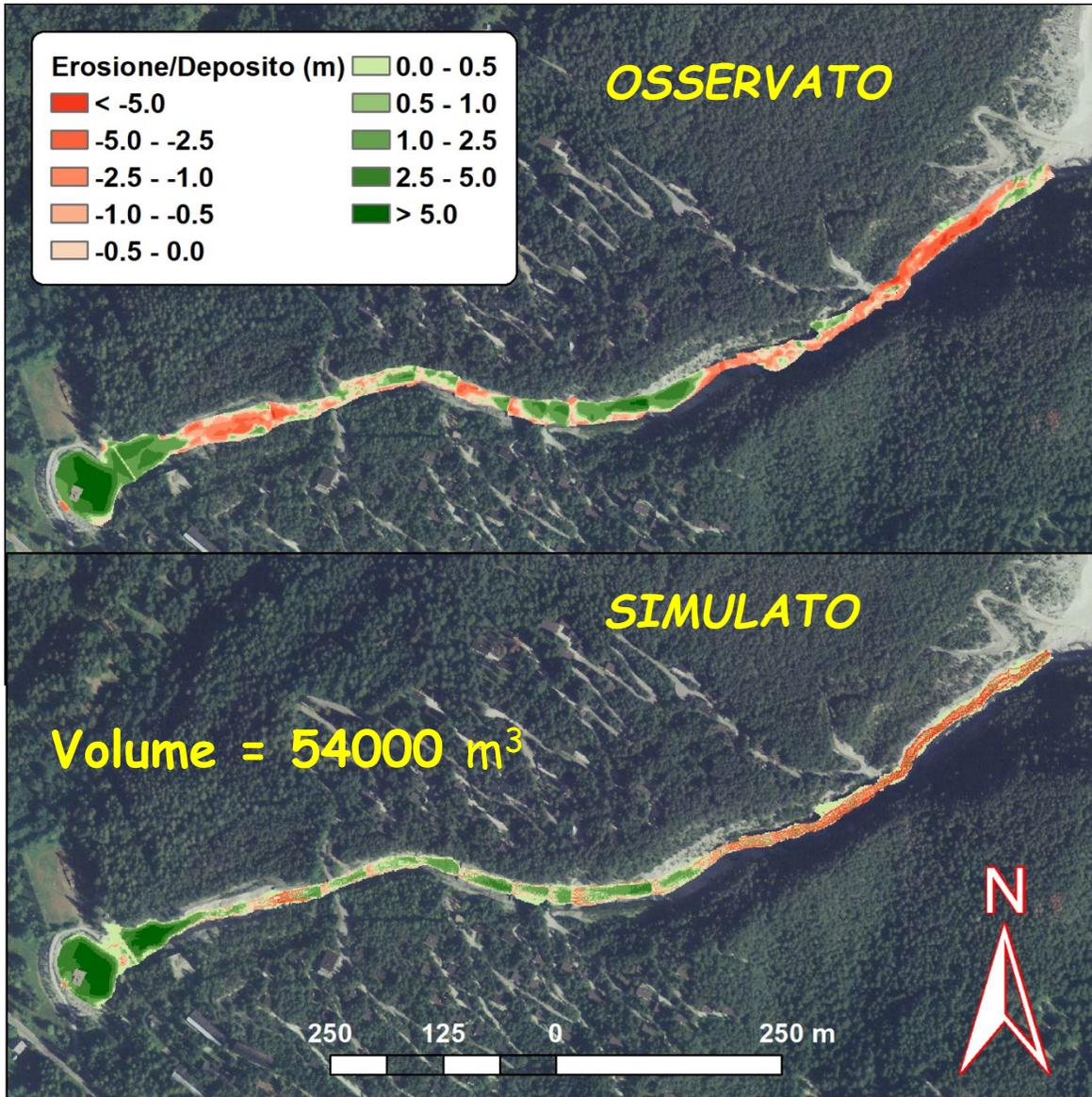
Percentuale di area di deposito osservata, che è stata simulata

78%

Percentuale di volume depositato simulato

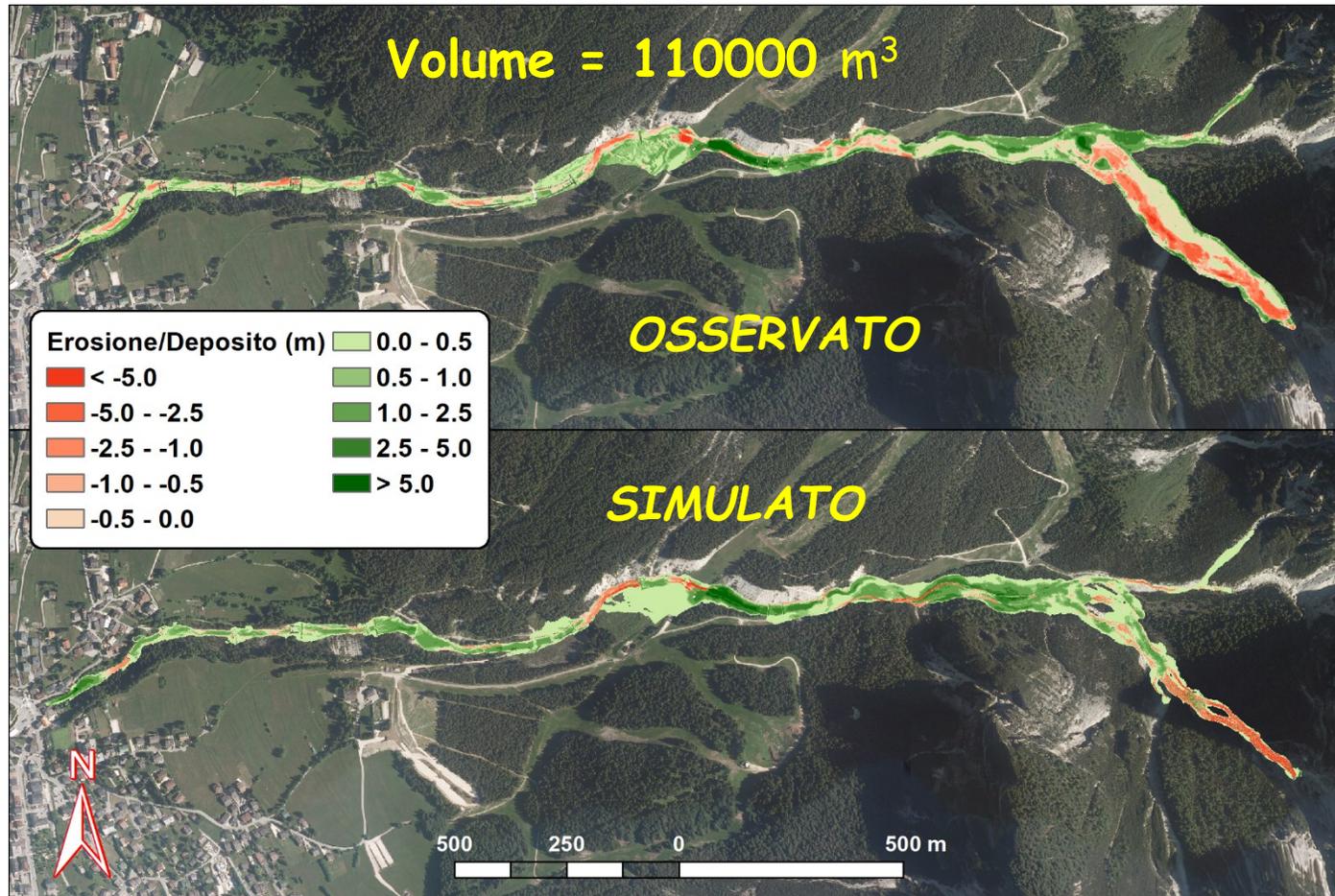
88%

Evento Rovina di Cancia del 18/07/2009



Percentuale di area di deposito osservata, che è stata simulata	72%
Percentuale di area di erosione osservata, che è stata simulata	33%
Percentuale di volume depositato simulato	94%
Percentuale di volume eroso simulato	90%

Evento Ru Secco del 4/08/2015



Percentuale di area di deposito osservata, che è stata simulata	67 %
Percentuale di area di erosione osservata, che è stata simulata	30%
Percentuale di volume depositato simulato	95%
Percentuale di volume eroso simulato	90%

Riassunto confronti osservazioni-simulazione migliore

Aree (A_{OS-D} area in deposito osservata e simulata; A_{OS-E} area in erosione osservata e simulata)

Bacino	A_{OS-D} (%)	A_{OS-E} (%)
Rio Lazer	78	-
Rovina di Cancia	72	33
Ru Secco	67	26

Volumi ($V_{obsD-simD}$ volume di sedimento stimato e simulato; $V_{obsE-simE}$ volume di sedimento stimato e simulato)

Bacino	V_{obsD} (m ³)	V_{simD} (m ³)	V_{simD}/V_{obsD}	V_{obsE} (m ³)	V_{simE} (m ³)	V_{simE}/V_{obsE}
Rio Lazer	55900	49000	0.88	-	-	-
Rovina di Cancia	35374	33186	0.94	19300	17385	0.9
Ru Secco	110000	104300	0.95	57800	55500	0.96

Il confronto tra osservazioni e simulazioni risulta nel complesso buono. Il livello di soddisfazione aumenta considerando che le aree soggette a depositi/erosioni maggiori sono quelle meglio simulate.

Analisi della prestazione - 1

Il confronto tra osservazioni e simulazioni può essere quantificato mediante due indici:

- 1) l'indice di sovrapposizione, F proposto da Bates e DeRoo, (2000);
- 2) l'indice di accuratezza, Ω proposto da Scheidl e Rickenmann (2010) per il solo deposito e generalizzato da Gregoretti et al. (2019) per tener conto dell'erosione.

$$F = \frac{A_{OS_D} + A_{OS_E}}{A_{OS_D} + A_{O_D} + A_{S_D} + A_{OS_E} + A_{O_E} + A_{S_E}}$$

L'indice F valuta la sovrapposizione tra simulato ed osservato, ovvero la percentuale dell'intersezione tra osservato e simulato rispetto al totale osservato-simulato. F varia tra 0 (nessuna corrispondenza) ed 1 (corrispondenza completa) con 0.5 valore intermedio. Attenzione, $F = 0.5$ non significa che il modello simula ad esempio metà dell'area di deposito osservata perchè al denominatore non c'è l'area osservata bensì la totale tra osservata e simulata.

OS = Area osservata e simulata
 O = Area osservata e non simulata
 S = Area simulata e non osservata



Analisi della prestazione - 2

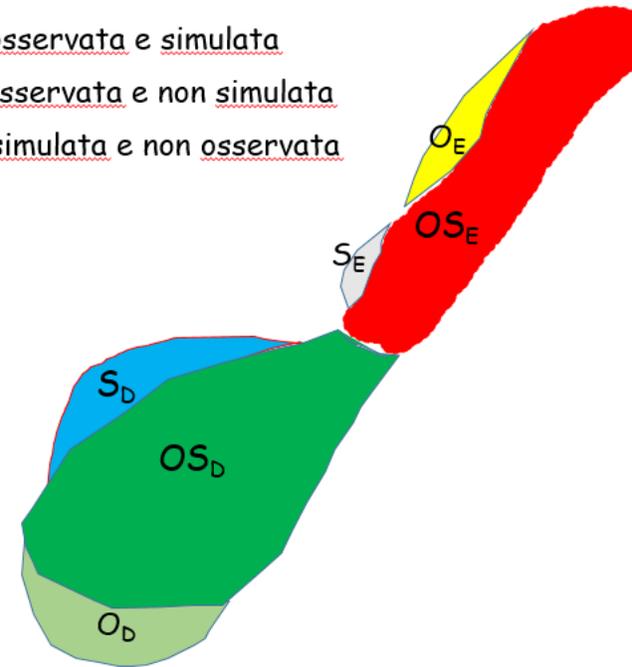
Ω

$$\Omega_A = \frac{[A_{OS_D} + A_{OS_E}] - [A_{S_D} + A_{S_E}] - [A_{O_D} + A_{O_E}]}{(A_{OS_D} + A_{O_D}) + (A_{OS_E} + A_{O_E})}$$

$$\Omega_V = \frac{[V_{OS_D} + V_{OS_E}] - [V_{S_D} + V_{S_E}] - [V_{O_D} + V_{O_E}]}{(V_{OS_D} + V_{O_D}) + (V_{OS_E} + V_{O_E})}$$

$$\Omega = \frac{\Omega_A + \Omega_V}{2}$$

- OS = Area osservata e simulata
- O = Area osservata e non simulata
- S = Area simulata e non osservata



L'indice Ω valuta l'accuratezza del simulato rispetto all'osservato. I termini A_{OS} , A_S e A_O , rappresentano rispettivamente le accuratezze positiva, negativa e mancante e vengono scalati rispetto al totale (area o volume) osservato per definirne il valore percentuale. L'indice Ω assume valore 1 quando vi è corrispondenza tra simulato ed osservato e 0 come valore intermedio. Non esiste limite inferiore per la mancanza di corrispondenza perché il rapporto tra A_S e A_O , in questo caso risulta estremamente variabile.

Analisi della prestazione - 3

Bacino	F	Ω_A	Ω_V	Ω
Rio Lazer	0.78	0.55	0.66	0.604
Rovina di Cancia	0.57	0.339	0.53	0.45
Ru Secco	0.49	0.101	0.126	0.113

Gli indici di valutazione, F e Ω , hanno mediamente valori superiori all'intermedio, per cui le simulazioni risultano soddisfacenti ed il modello sotto questo punto di vista risulta sufficientemente affidabile.

Tempistiche di propagazione

	Osservato (minuti)	Simulato (minuti)
Rio Lazer	30	35
Rovina di Cancia	18	20

Il valore del coefficiente di conduttanza per cui si ha la miglior riproduzione dei fenomeni di deposito ed erosione, è anche quello per cui si ha la riproduzione della tempistica della propagazione. Questo sottolinea la coerenza del modello nella riproduzione dei fenomeni di colata detritica.

Valori dei parametri utilizzati nelle simulazioni

Bacino	C	U_{LIM-D} (m/s)	ϑ_{LIM-D} (°)	U_{LIM-E} (m/s)	ϑ_{LIM-E} (°)
Rio Lazer	3	1.0	14	1.8	16
Rovina di Cancia	5	1.0	14	1.8	16
Ru Secco	5	1.0	14	1.8	16

I valori dei parametri che controllano il deposito e l'erosione sono gli stessi per tutti i bacini eccetto che per il valore di C che risulta 5 per Rovina di Cancia ed il Ru Secco perché il flusso è canalizzato, e, 3 per il Rio Lazer perché disperdente. Questi risultati significano un buon livello di predittività dei fenomeni di colata detritica poiché si sono utilizzati quasi gli stessi valori dei parametri per tutte le simulazioni.

Analisi di sensitività

Si esegue quindi un'analisi di sensitività del modello, valutando la prestazione del modello al variare dei parametri mediante gli indici F e Ω .

L'evento su cui eseguire l'analisi di sensitività è quello del 18/7/2009 avvenuto a Rovina di Cancia, per cui si hanno i dati topografici pre e post-evento più affidabili.

Parametro	C	U_{LIM-D} (m/s)	ϑ_{LIM-D} (°)	U_{LIM-E} (m/s)	ϑ_{LIM-U} (°)
Set calibrazione	5	1	14	1.8	16
Interv. variazione parametro	3-7	0.8-1.2	12-15	1.5-2.1	15-17
Interv. variazione F	0.4-0.6	0.4-0.6			
Interv. variazione Ω	0.06-0.5	0.3-0.5			

I risultati dell'analisi di sensitività sono buoni perché variando i valori dei parametri del modello in un intervallo fisicamente basato, i valori degli indici di valutazione variano tra l'accettabile ed il buono.

L'interfaccia QGIS

DFRM

Input files

DEM

Sezioni di Ingresso/Uscita

Idrogramma

Parametri Distribuiti

Raster uso suolo

Caratteristiche uso suolo

Parametri concentrati

Coefficiente di conduttanza

Sezioni interne

Sezioni interne

Time step interno di output (s)

Dati - Parametri

Durata simulazione (s)

Profondità minima necessaria alla propagazione (m)

Fondo fisso Fondo mobile

Dati - Parametri fondo mobile

Profondità minima per erosione/deposito (m)

Concentrazione solida media

Concentrazione solida di riposo

KE

KD

Angolo limite per deposito agevolato (°)

Coeff. velocità per deposito agevolato

Dati - Parametri concentrati

Angolo limite di erosione (°)

Angolo limite di deposito (°)

Velocità limite di erosione (m/s)

Velocità limite di deposito (m/s)

Carica Salva Esegui Annulla

DFRM
TESAF



File di INPUT

DFRM

Input files

DEM ...

Sezioni di Ingresso/Uscita ...

Idrogramma ...

Parametri Distribuiti

Raster uso suolo ...

Caratteristiche uso suolo ...

Parametri concentrati

Coefficiente di conduttanza

Sezioni interne

Sezioni interne ...

Time step interno di output (s)

Dati - Parametri

Durata simulazione (s) Profondità minima necessaria alla propagazione (m)

Fondo fisso Fondo mobile

Dati - Parametri fondo mobile

Profondità minima per erosione/deposito (m)

Concentrazione solida media Concentrazione solida di riposo

KE KD

Angolo limite per deposito agevolato (°) Coeff. velocità per deposito agevolato

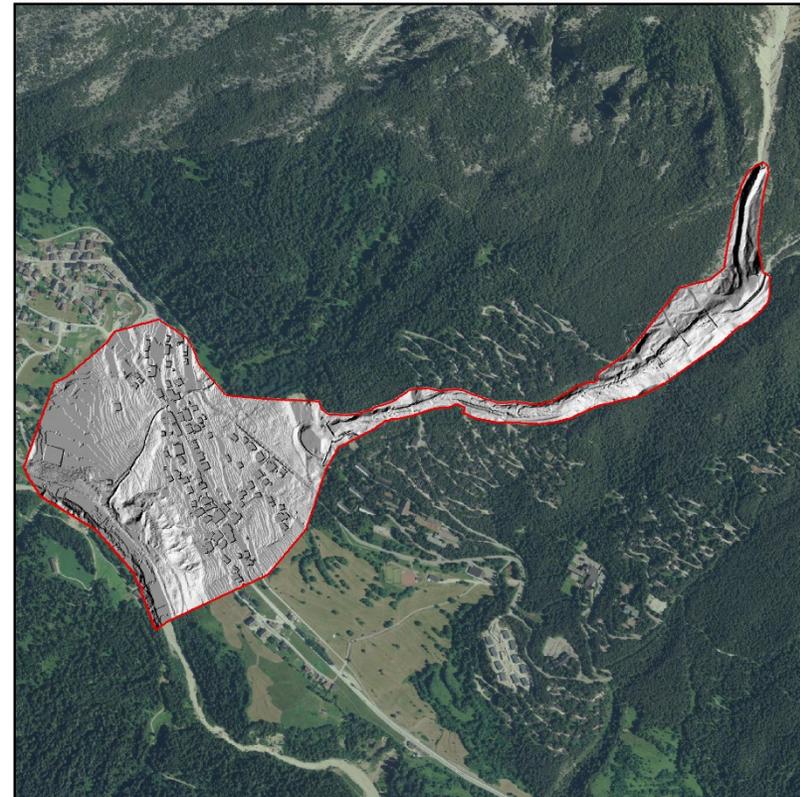
Dati - Parametri concentrati

Angolo limite di erosione (°) Angolo limite di deposito (°)

Velocità limite di erosione (m/s) Velocità limite di deposito (m/s)

Carica Salva Esegui Annulla

D.T.M del dominio di
calcolo (.flt, .hdr)



File di INPUT

DFRM

Input files

DEM

Sezioni di Ingresso/Uscita

Idrogramma

Parametri Distribuiti

Raster uso suolo

Caratteristiche uso suolo

Parametri concentrati

Coefficiente di conduttanza

Sezioni interne

Sezioni interne

Time step interno di output (s)

Dati - Parametri

Durata simulazione (s) Profondità minima necessaria alla propagazione (m)

Fondo fisso Fondo mobile

Dati - Parametri fondo mobile

Profondità minima per erosione/deposito (m)

Concentrazione solida media Concentrazione solida di riposo

KE KD

Angolo limite per deposito agevolato (°) Coeff. velocità per deposito agevolato

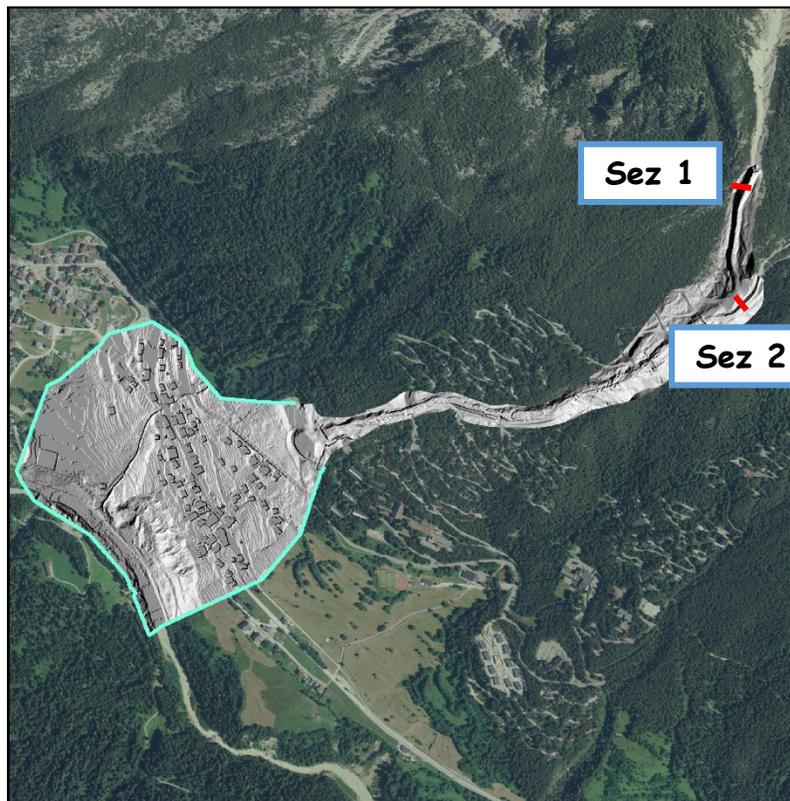
Dati - Parametri concentrati

Angolo limite di erosione (°) Angolo limite di deposito (°)

Velocità limite di erosione (m/s) Velocità limite di deposito (m/s)

Carica Salva Esegui Annulla

File delle condizioni al contorno (.flt, .hdr)



— ingresso — uscita

File di INPUT

DFRM

Input files

DEM

Sezioni di Ingresso/Uscita

Idrogramma

Parametri Distribuiti

 Raster uso suolo

 Caratteristiche 'uso suolo

Parametri concentrati

 Coefficiente di conduttanza

Sezioni interne

 Sezioni interne

 Time step interno di output (s)

Dati - Parametri

Durata simulazione (s) Profondità minima necessaria alla propagazione (m)

Fondo fisso Fondo mobile

Dati - Parametri fondo mobile

Profondità minima per erosione/deposito (m)

Concentrazione solida media Concentrazione solida di riposo

KE KD

Angolo limite per deposito agevolato (°) Coeff. velocità per deposito agevolato

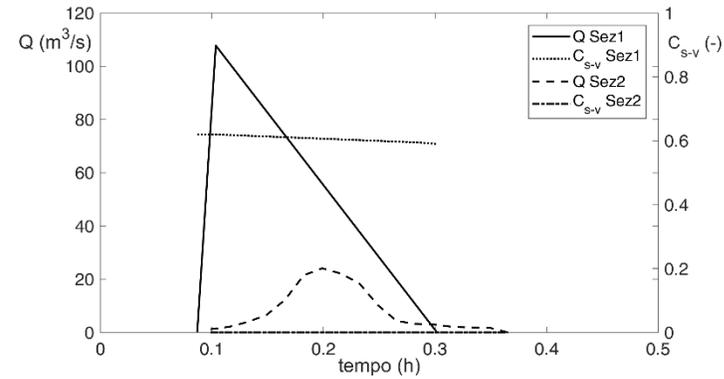
Dati - Parametri concentrati

Angolo limite di erosione (°) Angolo limite di deposito (°)

Velocità limite di erosione (m/s) Velocità limite di deposito (m/s)

Carica Salva Esegui Annulla

Idrogramma solido-liquido della colata (.txt)



Sezione1			Sezione2		
312.611	0	0.62	356	1.238	0
372.611	107.769	0.620002041	416	2.132	0
432.611	98.712	0.617665532	476	3.995	0
492.611	89.655	0.615336568	536	6.557	0
552.611	80.598	0.613005285	596	12.286	0
612.611	71.541	0.610670804	656	21.485	0
672.611	62.483	0.608341469	716	24.121	0
732.611	53.426	0.606015798	776	22.146	0
792.611	44.369	0.603687259	836	18.416	0
852.611	35.312	0.601353647	896	10.209	0
912.611	26.255	0.599009712	956	4.344	0
972.611	17.198	0.59669729	1016	3.238	0
1032.611	8.14	0.594348894	1076	3.005	0
1086.538	0	0.59	1136	2.117	0
			1196	1.866	0
			1256	1.783	0
			1316	0	0

END

File di INPUT

DFRM

Input files

DEM

Sezioni di Ingresso/Uscita

Idrogramma

Parametri Distribuiti

Raster uso suolo

Caratteristiche uso suolo

Parametri concentrati

Coefficiente di conduttanza

Sezioni interne

Sezioni interne

Time step interno di output (s)

Dati - Parametri

Durata simulazione (s) Profondità minima necessaria alla propagazione (m)

Fondo fisso Fondo mobile

Dati - Parametri fondo mobile

Profondità minima per erosione/deposito (m)

Concentrazione solida media Concentrazione solida di riposo

KE KD

Angolo limite per deposito agevolato (°) Coeff. velocità per deposito agevolato

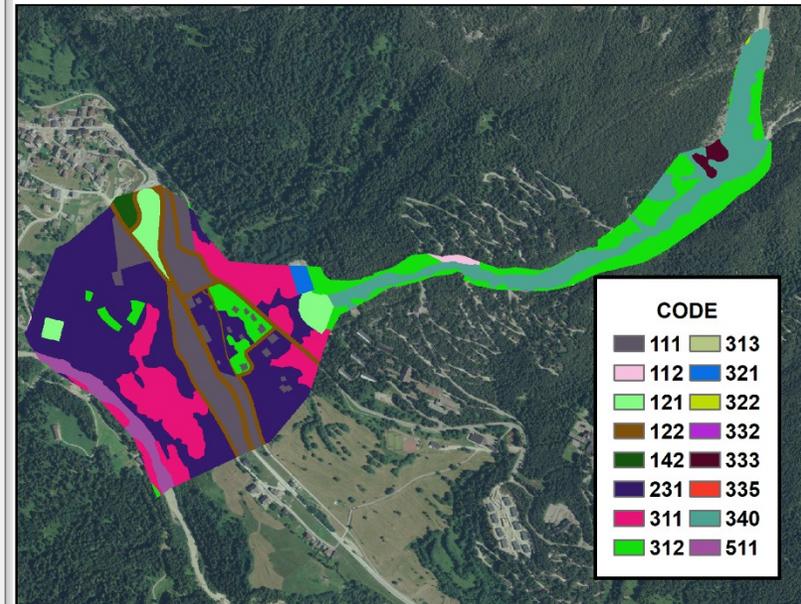
Dati - Parametri concentrati

Angolo limite di erosione (°) Angolo limite di deposito (°)

Velocità limite di erosione (m/s) Velocità limite di deposito (m/s)

Carica Salva Esegui Annulla

Uso del suolo distribuito e associato file delle scabrezze (.flt, .hdr, .txt)



Codice	Scabrezza	Mobile	Ang Inf Eros (°)	Vel Inf Eros (m/s)	Ang Sup Dep (°)
111.0	1.0	1.0	89.0	9.0	14.0
112.0	5.0	1.0	30.0	3.0	14.0
121.0	3.0	1.0	20.0	2.0	14.0
122.0	1.0	1.0	20.0	3.0	14.0
142.0	2.0	1.0	20.0	2.0	14.0
231.0	5.0	0.0	16.0	1.8	14.0
311.0	4.0	1.0	16.0	2.0	14.0
312.0	5.0	1.0	20.0	2.0	14.0

File di INPUT

DFRM

Input files

DEM

Sezioni di Ingresso/Uscita

Idrogramma

Parametri Distribuiti

Raster uso suolo

Caratteristiche uso suolo

Parametri concentrati

Coefficiente di conduttanza

Sezioni interne

Sezioni interne

Time step interno di output (s)

Dati - Parametri

Durata simulazione (s) Profondità minima necessaria alla propagazione (m)

Fondo fisso Fondo mobile

Dati - Parametri fondo mobile

Profondità minima per erosione/deposito (m)

Concentrazione solida media Concentrazione solida di riposo

KE KD

Angolo limite per deposito agevolato (°) Coeff. velocità per deposito agevolato

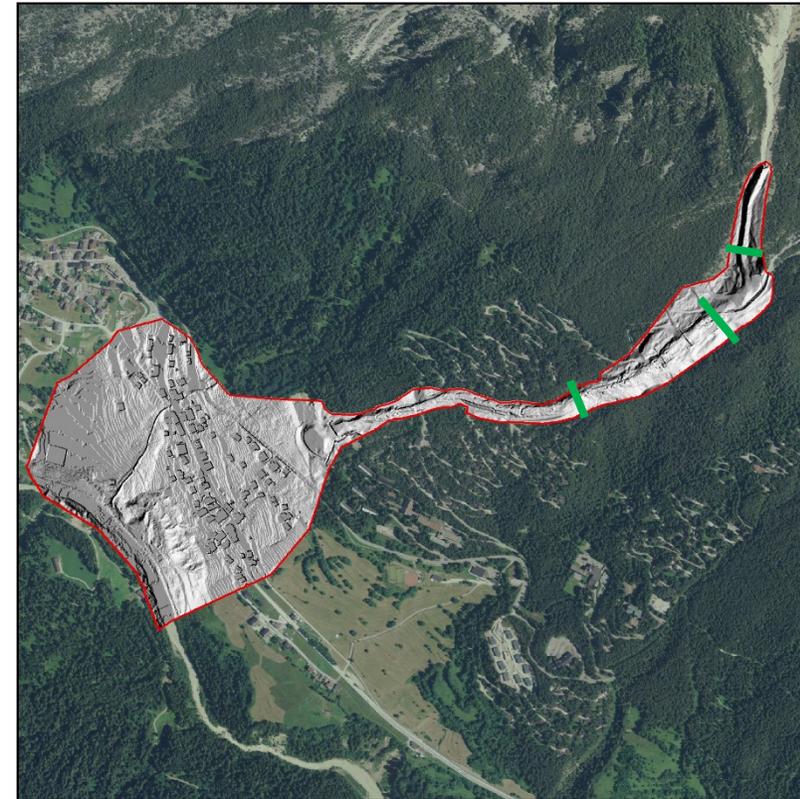
Dati - Parametri concentrati

Angolo limite di erosione (°) Angolo limite di deposito (°)

Velocità limite di erosione (m/s) Velocità limite di deposito (m/s)

Carica Salva Esegui Annulla

File delle sezioni
Interne (.flt, .hdr)



— sez. interne

Parametri

DFRM

Input files

DEM

Sezioni di Ingresso/Uscita

Idrogramma

Parametri Distribuiti

Raster uso suolo

Caratteristiche uso suolo

Parametri concentrati

Coefficiente di conduttanza

Sezioni interne

Sezioni interne

Time step interno di output (s)

Dati - Parametri

Durata simulazione (s)

Profondità minima necessaria alla propagazione (m)

Fondo fisso Fondo mobile

Dati - Parametri fondo mobile

Profondità minima per erosione/deposito (m)

Concentrazione solida media

Concentrazione solida di riposo

KE

KD

Angolo limite per deposito agevolato (°)

Coeff. velocità per deposito agevolato

Dati - Parametri concentrati

Angolo limite di erosione (°)

Angolo limite di deposito (°)

Velocità limite di erosione (m/s)

Velocità limite di deposito (m/s)

Carica Salva Esegui Annulla

Parametri riguardanti la resistenza al moto

Durata della simulazione

Fattore di controllo per la propagazione

Parametri di simulazione fondo fisso/fondo mobile

File di OUTPUT

Tutti i file raster di output sono georiferiti e fruibili DIRETTAMENTE in ambiente G.I.S.

**Report finale
della
simulazione
(.txt)**

RISULTATI FINALI DELLA SIMULAZIONE

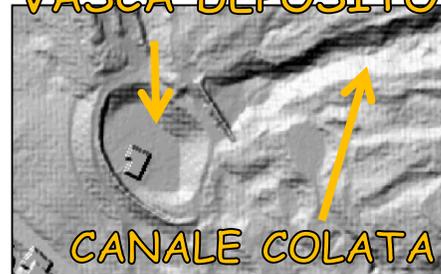
Durata simulazione (sec.) e numero totale di timestep
1500.1 33608

Timestep, Tempo(sec.), Vol.trasportato(m3), Vol.solido

1	317.6579	22.3181	13.8372
2	322.6273	89.3050	55.3693
3	327.6369	201.5361	124.9528
4	332.6454	359.0710	222.6249
5	337.6238	560.3695	347.4304
6	342.6364	808.1458	501.0521
7	347.6135	1098.5638	681.1115
8	352.6323	1436.5302	890.6512
9	357.6148	1818.8438	1126.4537
10	362.6196	2252.4468	1391.2554
11	367.6174	2730.3965	1683.3303
12	372.6145	3253.3599	2003.0820
13	377.6217	3798.5920	2336.3564
14	382.6295	4340.6128	2667.3066
15	387.6141	4876.8198	2994.3538
16	392.6184	5411.6343	3320.1838
17	397.6343	5944.3525	3644.3726
18	402.6146	6469.7881	3963.7686
19	407.6229	6994.8892	4282.5908

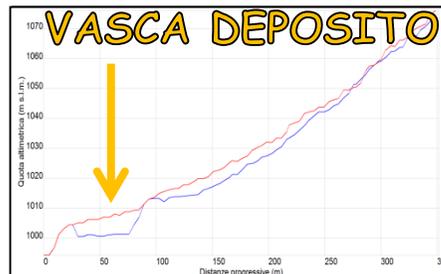
**D.T.M. con quote
ortometriche
aggiornate
(.flt, .hdr)**

VASCA DEPOSITO

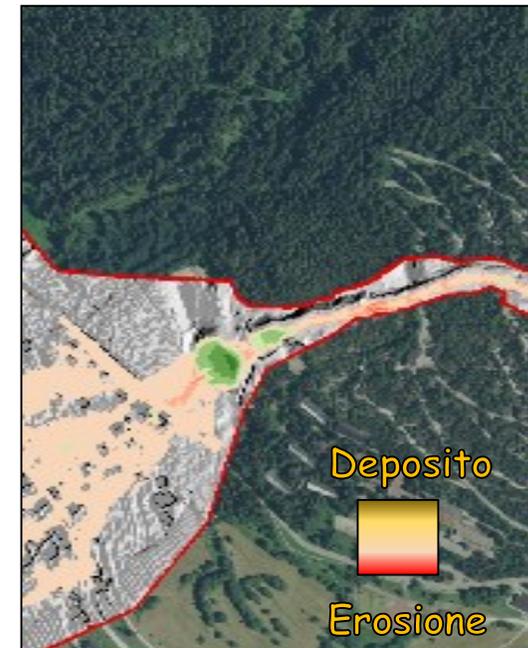


CANALE COLATA

VASCA DEPOSITO



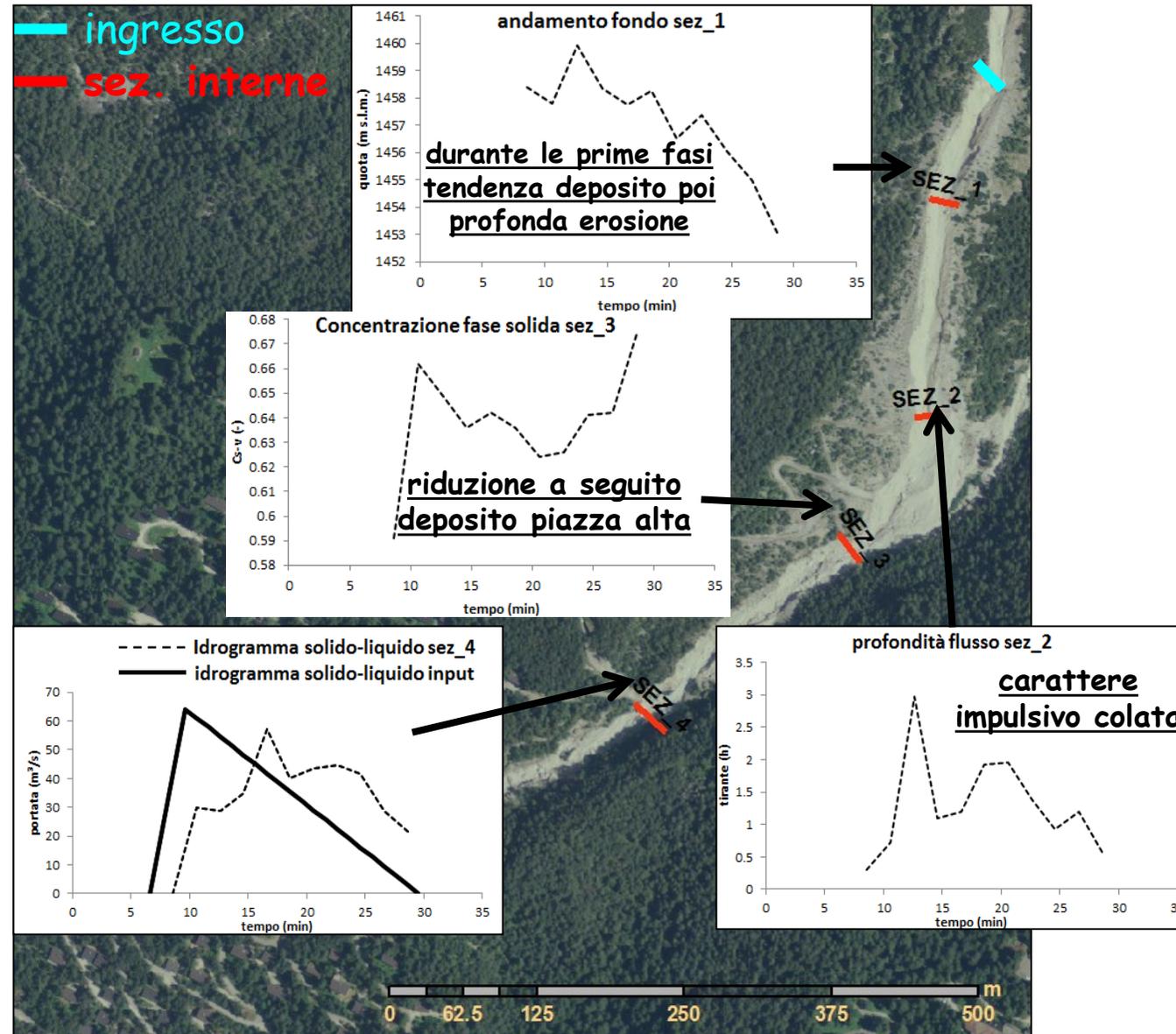
**Spessori di deposito
e profondità di
erosione
(.flt, .hdr)**



File di OUTPUT

File di output
relativi alle
sezioni interne
(.txt)

- ✓ Studio effetti bacini di deposito;
- ✓ Individuazione criticità in corrispondenza di attraversamenti;
- ✓ Individuazione sezioni insufficienti;
- ✓ Analisi di dettaglio variazione morfologica fondo alveo;
- ✓ ...



Conclusioni

Il modello a celle per la propagazione idraulica presentato risulta affidabile perché:

- 1) riproduce apprezzabilmente sia i fenomeni di deposito ed erosione che la tempistica di propagazione in tre casi di colata detritica avvenuti nella Alpi Orientali, utilizzando quasi gli stessi valori dei parametri;
- 2) la riproduzione risulta apprezzabile anche facendo variare i parametri in un intervallo di valori fisicamente ammissibili.

Il modello presentato risulta robusto in quanto cinematico e facile da implementare mediante una semplice interfaccia GIS.

Il modello risulta, quindi, adatto per la realizzazione in tempi «sostenibili» di mappe di pericolosità idraulica per regioni «estese» relativamente al fenomeno di colata detritica secondo la direttiva 2007/60/CE.