

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
Dip. Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali
Indirizzo Protezione del Territorio

Analisi dell'erosione potenziale di una colata detritica sul Ru Secco (San Vito
di Cadore, BL) mediante modello a celle in presenza ed assenza di opere

Relatore

Prof. Ing. **Carlo Gregoretti**

Correlatore

Ing. **Martino Bernard**

Ing. **Matteo Barbini**

Laureando

Simoncello Fabio

Matricola n.

2023683

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

RIASSUNTO

Il 4 agosto 2015 una colata detritica innescata da forti precipitazioni ha interessato il bacino idrografico del torrente Ru Secco, mobilitando circa 110.000 m³ di materiale e trasportandolo a valle in modo impetuoso.

La colata detritica causò notevoli danni all'alveo del Ru Secco e alle opere idrauliche esistenti, causando anche 3 vittime che si trovavano con la loro auto nel piazzale della seggiovia San Marco. La colata ha raggiunto l'abitato di San Vito di Cadore, danneggiando anche alcuni edifici e intasando il tombotto presente al di sotto della SS51 "Strada d'Alemagna", con conseguente straripamento di materiale dall'alveo.

A seguito della colata detritica un finanziamento della Regione Veneto ha previsto la redazione di un progetto per la mitigazione del rischio idrogeologico, mediante la realizzazione di una serie di opere idrauliche.

L'obiettivo di questa elaborato è quello di analizzare i fenomeni di deposito ed erosione lungo tutta l'asta fluviale del Ru Secco simulando una colata detritica a partire da una precipitazione avente un tempo di ritorno di 300 anni e facendo un confronto tra due situazioni: l'assenza e la presenza di opere idrauliche in fase di costruzione.

Le simulazioni idrauliche vengono svolte con il modello di calcolo "DFRM", sviluppato da Gregoretti et al. (2019) e i dati di partenza sono stati rilevati, ricavati ed elaborati dal Prof. Gregoretti e il suo gruppo di studio, in collaborazione con l'autore per una parte.

L'analisi delle erosioni e dei depositi viene fatta analizzando il file raster nelle aree di deposito/erosione sia dal punto di vista fotografico e quantitativo avvalendosi del software QGIS; l'analisi viene quindi integrata graficamente e analiticamente mediante un codice sviluppato su software MATLAB.

ABSTRACT

On August 4, 2015, a debris flow triggered by heavy rainfall affected the basin of the Ru Secco torrent, mobilizing approximately 110,000 m³ of debris material and transported it downstream in an impetuous way.

The debris flow caused considerable damages to the riverbed of the Ru Secco and to the existing hydraulic structures, also causing 3 fatalities. The debris flow reached the inhabited area of San Vito di Cadore, also damaging some buildings and clogging the culvert present below the SS51 "Strada d'Alemagna", causing the overflow of material from the riverbed.

To mitigate the hydrogeological risk of other debris-flow events, the Veneto region has planned the construction of a series of hydraulic structures.

The aim of this paper is the analysis of the deposit and erosion phenomena along the Ru Secco torrent course by simulating a debris flow triggered by different precipitations having a return time of 300 years and making a comparison between two situations: the absence and presence of hydraulic structures in construction.

The hydraulic simulations are carried out with the "DFRM" calculation model, developed by Gregoretti et al. (2019) and the input data were collected, obtained and processed by Prof. Gregoretti and his research group, in collaboration with the author.

The analysis of erosions and deposits is done by analyzing the raster file of the deposit / erosion areas both from a photographic point of view and using the software QGIS; the analysis is then integrated graphically and analytically through a code developed on MATLAB.

Sommario

| | |
|--|----|
| 1. Le colate detritiche..... | 7 |
| 1.1 Caratterizzazione delle colate detritiche | 7 |
| 1.2 Dinamica delle colate detritiche..... | 9 |
| 1.2.1 Zona di innesco | 9 |
| 1.2.2 Canale di scorrimento | 10 |
| 1.2.3 Zona di arresto | 11 |
| 2. Inquadramento caso studio del Ru Secco | 12 |
| 2.1 Inquadramento territoriale..... | 12 |
| 2.2 Descrizione del bacino del torrente Ru Secco | 14 |
| 2.3 Analisi dell'evento di colata del 4 agosto 2015 sul Ru Secco | 22 |
| 2.3.1 Condizioni pre-evento..... | 22 |
| 2.3.2 La precipitazione..... | 24 |
| 2.3.3 Dinamica della colata..... | 24 |
| 2.4 Opere idrauliche presenti nel bacino e in fase di realizzazione | 28 |
| 3. Il modello DFRM di Gregoretto et al. (2019)..... | 40 |
| 3.1 Equazioni di sviluppo del modello..... | 41 |
| 3.2 Condizioni interne e al contorno delle celle..... | 43 |
| 3.3 Implementazione alla modalità multiprocessore del modello..... | 44 |
| 3.4 Modello idrologico e di innesco della colata detritica | 45 |
| 3.4.1 Modellazione idrologica | 45 |
| 3.4.2 Modellazione dell'innesco delle colate detritiche..... | 48 |
| 4. APPLICAZIONE DEL MODELLO AL CASO STUDIO: caratteristiche dei dati in input, preparazione e procedura di esecuzione..... | 51 |
| 4.1 Dati in input | 51 |
| 4.2 Preparazione dei dati di input..... | 54 |
| 4.2.1 Costruzione degli idrogrammi in input | 54 |
| 4.3 Procedura di esecuzione e output..... | 64 |
| 4.3.1. Registro simulazione..... | 64 |
| 4.3.2. Floating raster | 65 |
| 4.3.3. Sezioni interne..... | 66 |
| 5. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI | 67 |
| 5.1 Ietogramma 15 minuti..... | 69 |
| 5.2 Ietogramma 30 minuti a blocchi alterni | 77 |
| 5.3 Ietogramma 30 minuti ad intensità costante | 85 |

| | |
|---|-----|
| 5.4 Ietogramma 45 minuti a blocchi alterni | 92 |
| 5.5 Ietogramma 45 minuti ad intensità costante | 100 |
| 5.6 Ietogramma 60 minuti a blocchi alterni | 105 |
| 5.7 Ietogramma 60 minuti ad intensità costante | 110 |
| 5.8 Ietogramma 75 minuti a blocchi alterni | 115 |
| 5.9 Ietogramma 75 minuti ad intensità costante..... | 120 |
| 5.10 Ietogramma 15 minuti Adb | 125 |
| 5.11 Ietogramma 30 minuti Adb | 133 |
| 5.12 Confronto dei risultati delle precedenti analisi | 141 |
| 5.12.1 Confronto risultati per idrogrammi di input a blocchi alterni | 141 |
| 5.12.2 Confronto risultati per idrogrammi di input ad intensità costante | 144 |
| 5.12.3 Confronto risultati per idrogrammi a blocchi alterni e ad intensità costante | 146 |
| 5.12.4 Confronto risultati per idrogrammi di input secondo PGRA..... | 150 |
| 5.12.5 Confronto dei risultati per idrogrammi di input a blocchi alterni e PGRA..... | 154 |
| 6. CONCLUSIONI..... | 157 |
| 7. BIBLIOGRAFIA | 160 |
| ALLEGATO 1 | 162 |
| ALLEGATI CARTOGRAFICI | 167 |

1. Le colate detritiche

1.1 Caratterizzazione delle colate detritiche

Le colate detritiche, dall'inglese debris flow, possono essere definite come “flussi costituiti da acqua e materiale solido con una concentrazione volumetrica dei sedimenti tale da non potere più assimilare il loro movimento a quello dell'acqua, a causa di una viscosità di diversi ordini di grandezza più grandi” (D'Agostino, 2021).

Le colate detritiche infatti hanno una concentrazione volumetrica (rapporto del volume solido sul volume totale) piuttosto variabile, compresa fra il 25% e il 75%, la quale contribuisce in maniera piuttosto importante a determinare la reologia della colata.

Il bacini idrografici dove le colate detritiche avvengono sono piuttosto piccoli, da un minimo di 200-300 m² fino ad un massimo di 15-20 km², ma nonostante questo range sono tutti caratterizzati da 3 principali parti:

- Bacino di formazione, localizzato nella testata dei bacini idrografici e in riferimenti ai debris flow costituisce la zona di innesco; le pendenze normalmente sono sempre superiori a 20°, potendo arrivare anche a 80°
- Canale collettore o adduttore, che costituisce il tratto di trasporto; presenta pendenze superiori all'angolo massimo di deposito (da 10-12° a 30°)
- Conoide di deiezione, che costituisce la zona di deposito della colata detritica a causa della morfologia a minor pendenza (< 12°); spesso ha una forma a ventaglio

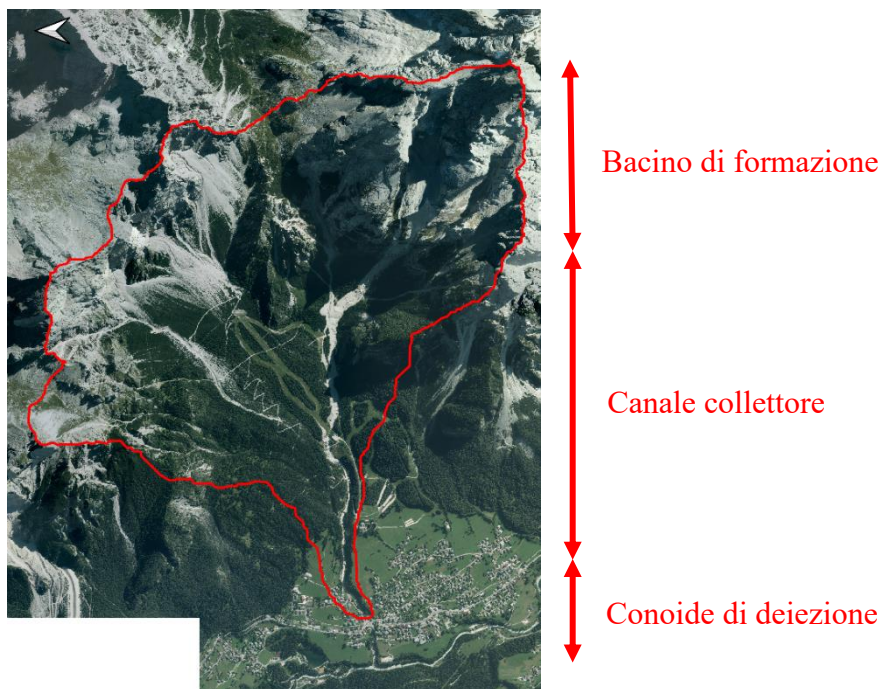


Figura 1. Suddivisione del bacino idrografico del Ru Secco

Dal punto di vista dinamico invece, le colate detritiche hanno una tipica forma ad onda, che può essere suddivisa in 3 principali porzioni, come indicato in figura 2. Il fronte di avanzamento è quello che spesso assume in carico tronchi e i massi più grossi, oltre ad essere caratterizzato da un tirante idraulico più elevato. A seguire il fronte si hanno il corpo centrale e la coda, caratterizzati da una concentrazione di sedimento che si fa via via minore più ci si sposta verso la coda della colata detritica.

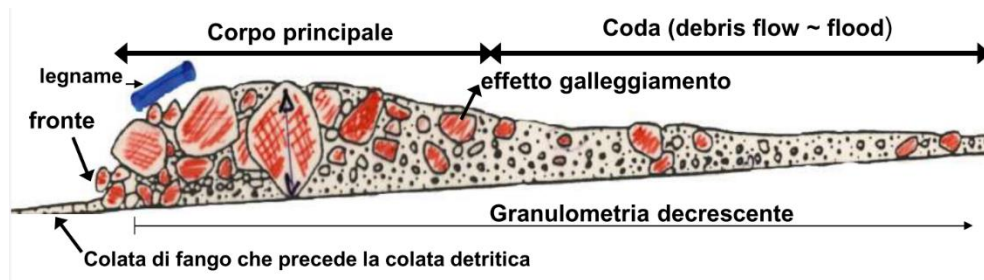


Figura 2. Forma tipica di una colata detritica (D'Agostino, 2021)

Tale forma tipica però può variare in funzione della composizione dei clasti, per cui si hanno diverse forme:

- Rigonfiamento: caratterizza le colate pietrose-granulari (stony debris flow), con materiale di grosse dimensioni e velocità di 1-10 m/s
- Cuneo: caratterizza le colate fangose o con detriti di piccole dimensioni (mudflow) e le velocità sono più elevate, da 1 a 20 m/s
- Cresta: è un mudflow in scorrimento liscio o su modeste pendenze

Nello scorrimento su sezioni ampie (per esempio in un conoide) l'altezza della colata dipende dalle dimensioni maggiori dei massi. Inoltre, il carattere dei debris flow è di tipo pulsante ed è spesso caratterizzato da più ondate che si possono avere a causa di fenomeni di ostruzione dell'alveo per la presenza di massi e tronchi.

1.2 Dinamica delle colate detritiche

Nei successivi paragrafi verranno descritte le dinamiche delle colate detritiche per ogni parte di un bacino idrografico.

1.2.1 Zona di innesco

L'innesco delle colate detritiche avviene a seguito di eventi precipitativi più o meno intensi in zona ad elevata pendenza e dove vi è disponibilità di sedimento idricamente saturo che possa essere trasportato a valle.

Sono 2 i principali inneschi delle colate detritiche (D'Agostino, 2021):

- Innesco da frane superficiali in materiale colluviale: sono zone di convergenza topografica, dove si concentrano i deflussi sottosuperficiali, con elevate quantità di acqua che si infiltrano rapidamente negli strati più superficiali del suolo e non smaltibile altrettanto celermente nelle parti più profonde e meno permeabili o attraverso il substrato roccioso.

Si ha un possibile ruolo dei canalicoli nell'influencare l'intensità e la direzione dei deflussi, che possono essere scavati più o meno profondamente. In ambito montano sono fenomeni molto frequenti, ma spesso non vengono registrati in quanto l'impatto e il danno sono quasi nulli, vista la scala molto ridotta.

- Innesco su falda detritica, detto anche innesco per "effetto idrante": le parti superiori delle falde detritiche presenti al piede delle pareti rocciose costituiscono dei siti interessati dall'innesco di colate detritiche in occasione di eventi piovosi intensi; la rapida concentrazione di deflussi liquidi nei canali rocciosi che solcano le pareti soprastanti è quindi responsabile dell'innesco delle colate detritiche. L'effetto idrante causa quindi un'intensa erosione del materiale detritico a causa della corrente a getto, imbibendo i sedimenti, che quindi possono compiere il loro viaggio verso valle. Questo causa una progressiva destabilizzazione dell'alveo e una rapida trasformazione da trasporto al fondo a flusso iperconcentrato e colata detritica, assumendo la classica forma di onda solida che discende a valle (figura 3).

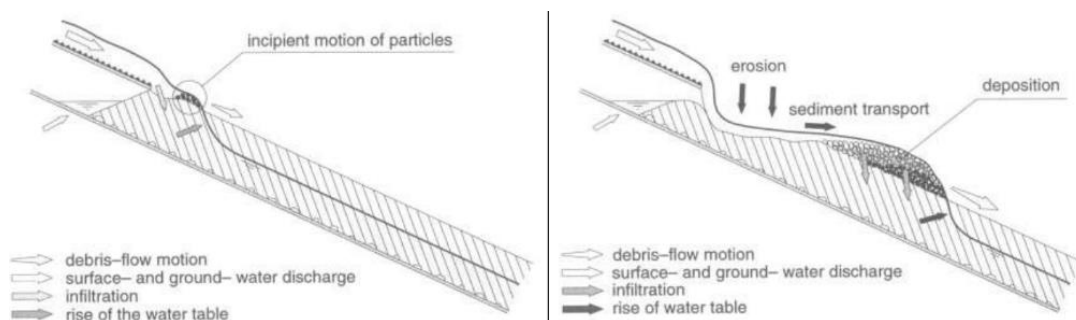


Figura 3. Rappresentazione della degradazione dell'alveo e innesco della colata detritica (D'Agostino, 2021)

Altre possibili aree di innesco sono gli alvei torrentizi in seguito al crollo di briglie di consolidamento, aree recentemente abbandonate dal permafrost, così come falde detritiche e tratti superiori di torrenti in seguito al repentino scioglimento di nevai e ghiacciai.

1.2.2 Canale di scorrimento

È la zona in cui il debris flow transita a valle, causando una forte erosione e trasporto del materiale presente sia nel canale che nelle sponde, instabilità spondali indotte dal passaggio della colata stessa e approfondimento dell'alveo fino al substrato roccioso inamovibile. Si hanno anche profondi rimaneggiamenti dei depositi in alveo a causa dei deflussi liquidi successivi alla colata, a cui si aggiunge una forte presenza di depositi laterali sulle sponde, con massi di grosse dimensioni.

Nei torrenti montani caratterizzati da sinuosità più o meno marcata, come per il canale di scorrimento del Ru Secco, si assiste alla formazione di argini laterali fino alla parte superiore dei conoidi alluvionali.

Tali depositi sono caratterizzati dalla presenza di clasti di maggiori dimensioni nella parte superiore e derivano dal debordamento laterale del fronte della colata; il deposito però non avviene in modo omogeneo per entrambi i lati dell'alveo, dato che la maggiore deposizione avviene nella parte esterna della curva, con la formazione di un cordone di sponda (figura 4).

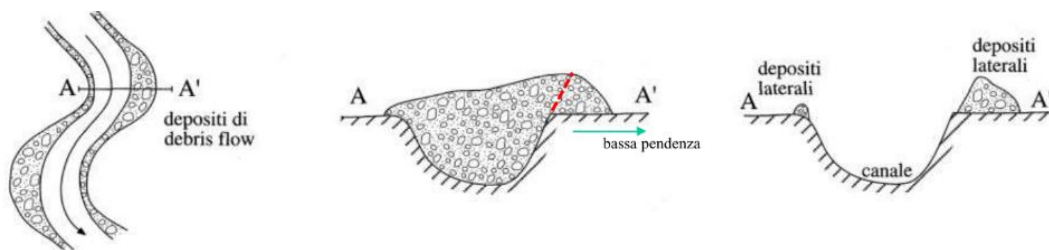


Figura 4. Depositi della colata detritica che costituiscono i cordoni spondali (D'Agostino, 2021)

I cordoni spondali variano a seconda delle caratteristiche reologiche della massa: per le colate detritiche a matrice fangosa hanno una sommità arrotondata e sono ricchi di materiale fino, mentre il materiale grossolano è immerso nella matrice fine, che quindi lo sostiene; l'erosione dei depositi nella fasi di esaurimento dell'evento porta alla formazione dei diversi livelli di terrazzi.

Se invece le colate detritiche sono granulari si ha abbondante presenza di materiale grossolano, ciottoli e massi a diretto contatto fra di loro, mentre la matrice fine è prevalentemente scarsa e a granulometria sabbiosa; in questo caso il profilo trasversale degli argini laterali si presenta irregolare e con sezioni approssimativamente triangolari.

1.2.3 Zona di arresto

La zona di arresto di una colata detritica è facilmente individuabile in quanto la pendenza del canale si riduce notevolmente; il punto di cambio di pendenza infatti è detto apice del conoide e la colata detritica si distribuisce poi con una forma lobata, aprendosi a “ventaglio”, generando così un deposito. I depositi di forma lobata sono composti da detrito di granulometria fortemente eterogenea e sono caratteristici delle colate detritiche. Si osservano solitamente sui conoidi alluvionali, ma possono presentarsi anche in forma di lobi laterali ai lati del canale di scorrimento; a seconda della litologia del bacino possono contenere massi di diverse dimensioni.

Nel caso di colate detritiche a matrice fangosa i lobi hanno una forma ben definita e caratterizzati da una terminazione frontale molto brusca, con prevalenza di matrice fine, che consente all’acqua di drenare e far rimanere in loco solo la componente solida. Nel caso di colate detritiche granulari invece, il lobo frontale presenta dei grossi blocchi granitici e assumono una forma meno regolare, mentre nei depositi terminali si ha una diminuzione della granulometria del materiale.

2. Inquadramento caso studio del Ru Secco

2.1 Inquadramento territoriale

L'area oggetto di analisi si inserisce nel contesto geografico della valle del Bòite, nella quale scorre l'omonimo torrente Bòite, che scarica le sue acque nel fiume Piave nei pressi di Perarolo di Cadore (BL) a seguito di un percorso di 45 km iniziato nella porzione nord del Comune di Cortina d'Ampezzo (BL).

Analizzando più nello specifico l'area di analisi, il bacino del torrente Ru Secco è situato nella porzione nord-est del Comune di San Vito di Cadore (BL) ed è un affluente di sinistra del torrente Bòite (fig. 5).

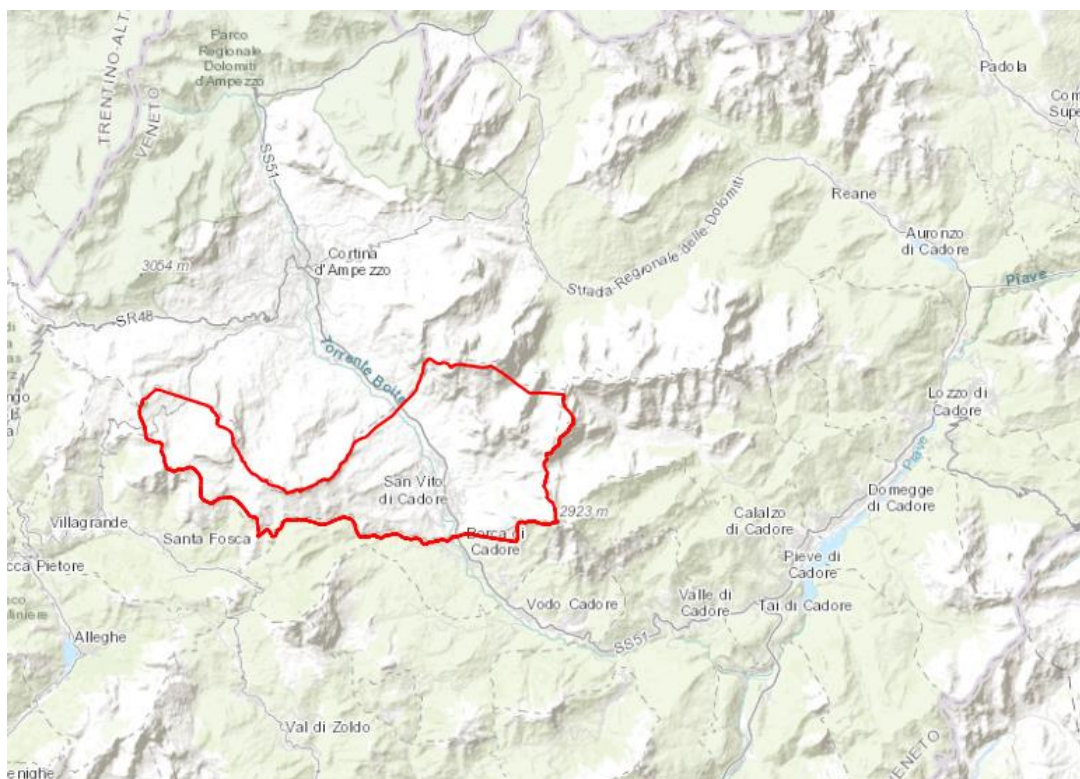
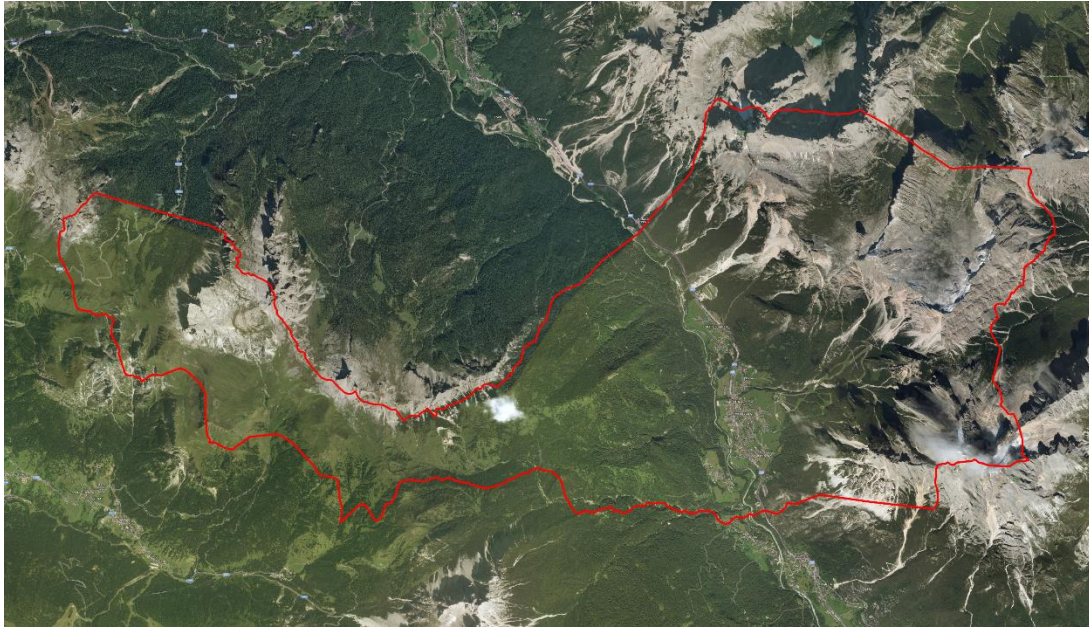


Figura 5. Localizzazione del Comune di San Vito di Cadore nel contesto della Valle del Boite e delle Dolomiti Bellunesi

Il Comune di San Vito di Cadore conta attualmente 1945 abitanti e ha un'estensione di 61,62 km², costituendo il cuore della zona montuosa delle Dolomiti Bellunesi. San Vito di Cadore è particolarmente rinomata come località turistica, vista la cornice montuosa che la circonda sia nel periodo estivo sia nel periodo invernale.



| *Figura 6. Limite amministrativo di San Vito di Cadore su base ortofotografica*

Le principali vette sono l'Antelao (3264 m.), la Cima Scotter (2716 m.), la Punta Tre Sorelle (3005 m.), la Punta Sorapiss (3205 m.), il Becco di Mezzodi (2603 m.), la Ra Gusela (2595 m.) e il Monte Mondeval (2455) dal quale si dilunga la famosa Alpe di Mondeval.

2.2 Descrizione del bacino del torrente Ru Secco

Il bacino idrografico del torrente Ru Secco presenta un'estensione di 8,72 km², assumendo come sezione di chiusura l'imbocco del tombotto a monte della Strada Statale 51 detta "di Alemagna". Tale tombotto permette al torrente Ru Secco l'attraversamento della SS51 e, tramite un breve tratto a fondo naturale della lunghezza di 250 metri circa, il Ru Secco si immette nel torrente Bòite in sinistra idrografica.

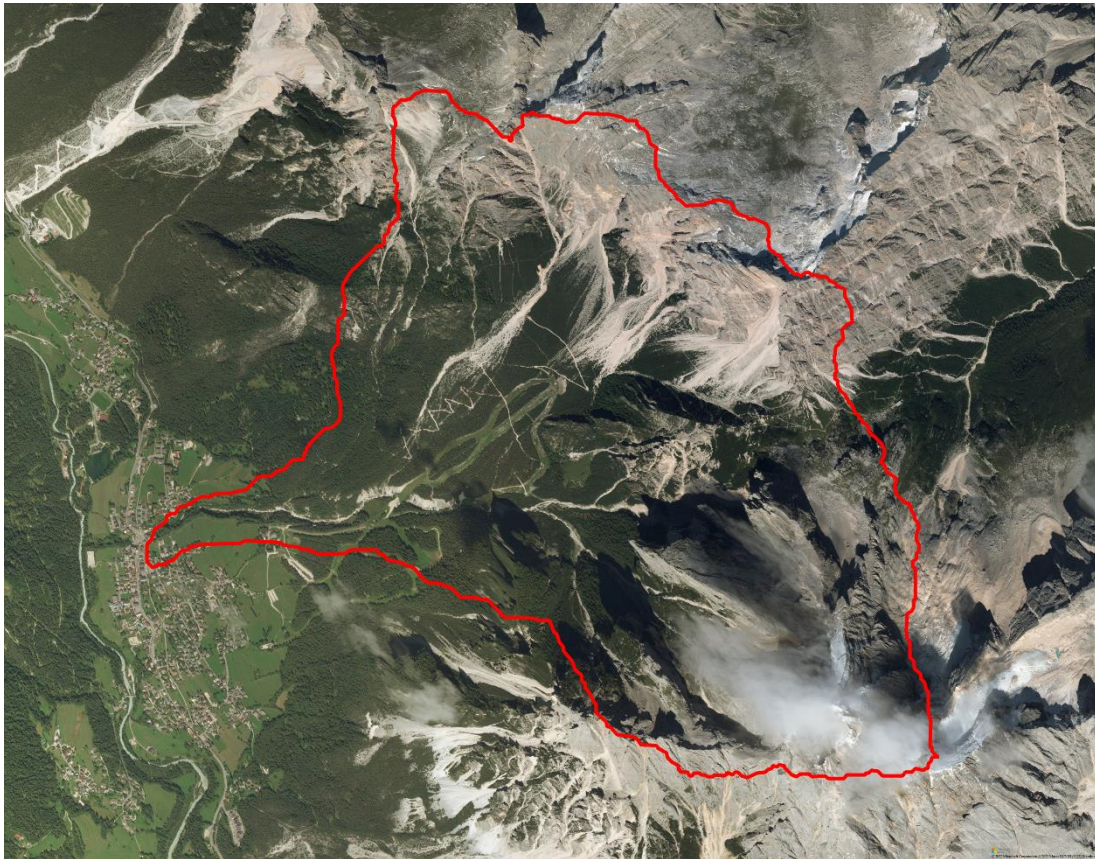


Figura 7. Bacino idrografico del torrente Ru Secco rispetto all'abitato di San Vito di Cadore

Il torrente Ru Secco è caratterizzato da un regime torrentizio e presenta deflusso solo durante le precipitazioni più intense e nel periodo primaverile/estivo a seguito dello scioglimento nivale; l'asta principale ha una lunghezza totale di 2,75 km compiendo un salto altimetrico di circa 460 metri, così da rendere particolarmente impetuosa la corrente durante gli eventi di piena.

La morfologia del bacino è piuttosto complessa in quanto, essendo caratterizzato da una forte erosione, nel tempo i versanti rocciosi sono stati scavati dall'azione dell'acqua, portando ad avere l'attuale reticolo idrografico. Le pendenze di alcune porzioni di reticolo idrografico sono piuttosto elevate, tale per cui in presenza di forti precipitazioni il materiale precedentemente eroso e accumulato nell'alveo si movimenta, portando nel caso più estremo ad una colata detritica.

Vengono ora elencati e descritti i diversi sottobacini che compongono e alimentano con deflusso liquido o solido-liquido il bacino complessivo del Ru Secco, riportati in figura 8.

- Ru de Beche: è un sottobacino di dimensioni molto modeste, pari a 2,16 ha, ma in grado di generare modeste quantità di detrito derivanti dai forti processi di erosione del sottobacino stesso; si posiziona a nord-ovest rispetto al bacino del Ru Secco.
- Ru Secco: ha origine a valle della Forcella Piccola, che si trova nella porzione est del bacino complessivo del Ru Secco ed è il più grande sottobacino, con una superficie di 125,09 ha; proprio per questa sua ultima caratteristica il bacino chiuso a San Vito di Cadore prende il nome di Ru Secco; tale sottobacino, una volta raggiunta l'intersezione con altri sottobacini, seguendo un percorso pressoché rettilineo raggiunge il fondovalle dell'abitato di San Vito di Cadore, dove prosegue intubato al di sotto della piazza principale del Comune e della SS51 dell'Alemagna, proseguendo poi il percorso fino ad sfociare nel Bòite in sinistra idrografica.
- Ru Salvella Antrimoia: ha origine alla sommità dell'Antelao (3264 m.s.l.m.) e successivamente confluisce nel Ru Secco; ricopre una superficie di 56,46 ha ed è caratterizzato da forti pendenze, tanto che il dislivello massimo è pari a 1429 metri su una lunghezza dell'asta di 1500 metri circa.
- Ru Salvella Forcella: è situato nella porzione sud-est del bacino complessivo del Ru Secco e prende il nome dalla Salvella Forcella, posta sulla linea di spartiacque ad una quota di 2455 m.s.l.m., si trova al giorno d'oggi profondamente eroso; il sottobacino ha una lunghezza di circa 1000 metri per una superficie di 57,04 ha, dopodiché si unisce al Ru Salvella Antrimoia e prosegue verso valle.
- Ru Longia: è situato nella porzione sud del bacino complessivo del Ru Secco e ha forma allungata, con una lunghezza massima di circa 1000 metri e una superficie di 39,97 ha; a valle della sua sezione di chiusura il deflusso da esso prodotto si unisce a quello derivante dalla Salvella Forcella e Salvella Antrimoia, confluendo a valle nel bacino del Ru Secco.
- Ru de Saco: è uno dei 5 bacini posizionati in destra idrografica, assieme al Ru de Rede, Cengia Pezuo e Scotter; ha una superficie complessiva di 27,40 ha e per metà di essa è ricoperto da mughete, pinete di pino silvestre e abetine miste. Il canale principale è profondamente eroso e prosegue verso valle fino ad unirsi al canale principale del Ru Secco circa 1400 m a monte dell'abitato di San Vito di Cadore.
- Ru de Rede: ha una superficie di 29,00 ha ed è caratterizzato dall'assenza di vegetazione a causa delle sue elevate quote e la forte erosione che lo distinguono, con un canale principale fortemente eroso e incassato, sul quale confluiscono diversi sotto-canali delle diverse cenge rocciose.
- Cengia del Pezuo: ai fini dell'analisi idrologica il sottobacino è stato suddiviso a sua volta in 3 porzioni:

- Cengia del Pezuo ovest, con una superficie di 8,11 ha
- Cengia del Pezuo centrale, con una superficie di 1,93 ha
- Cengia del Pezuo est, con una superficie di 14,19 ha

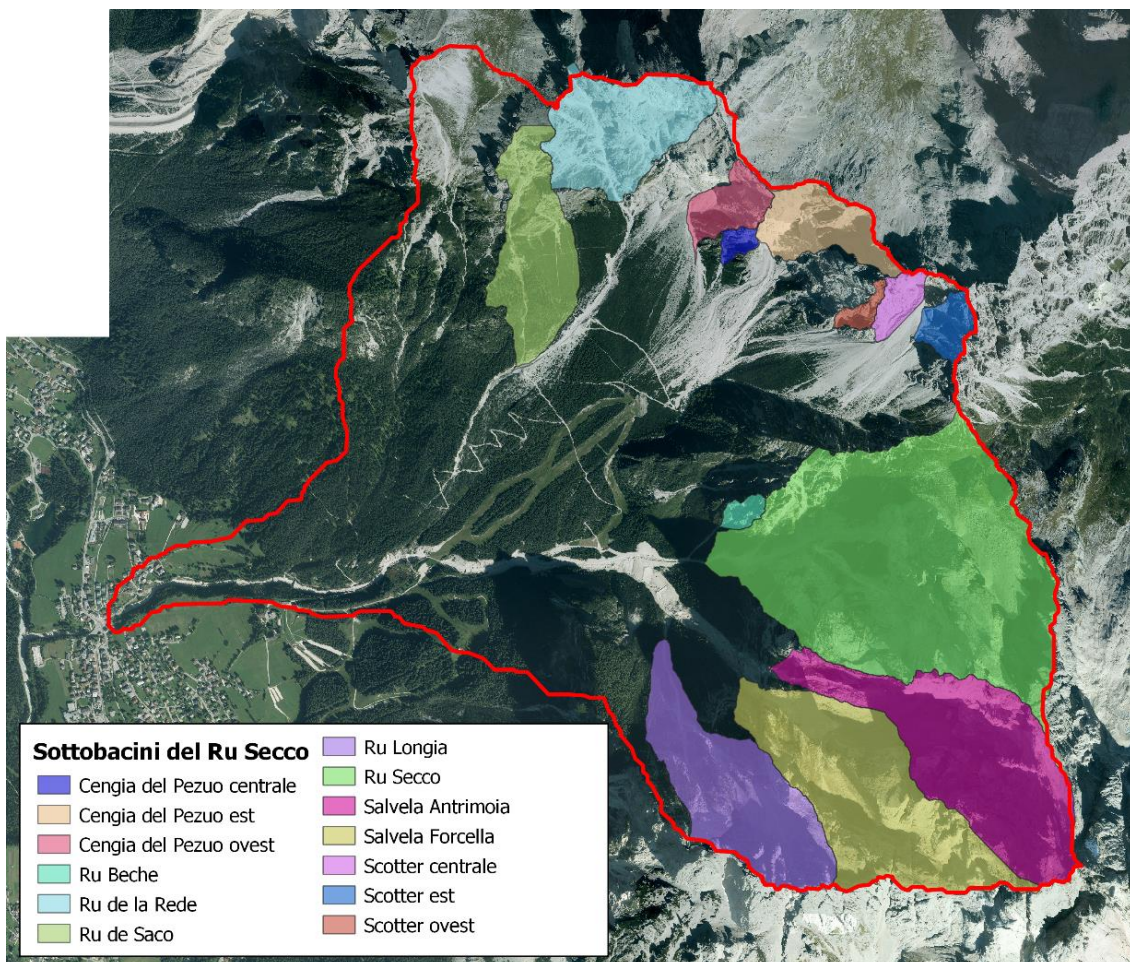
Il deflusso solido-liquido delle 3 porzioni viene scaricato in un ampio ghiaione scavato nelle zone di deflusso laddove le velocità della corrente sono maggiori.

- Scotter: situato nella porzione nord-est del bacino complessivo del Ru Secco, presenta la sua quota massima su Cima Scotter, con i suoi 2716 m.s.l.m.

Anche tale sottobacino è suddiviso in 3 porzioni:

- Scotter ovest, con una superficie di 2,16 ha
- Scotter centrale, con una superficie di 4,40 ha
- Scotter est, con una superficie di 5,35 ha

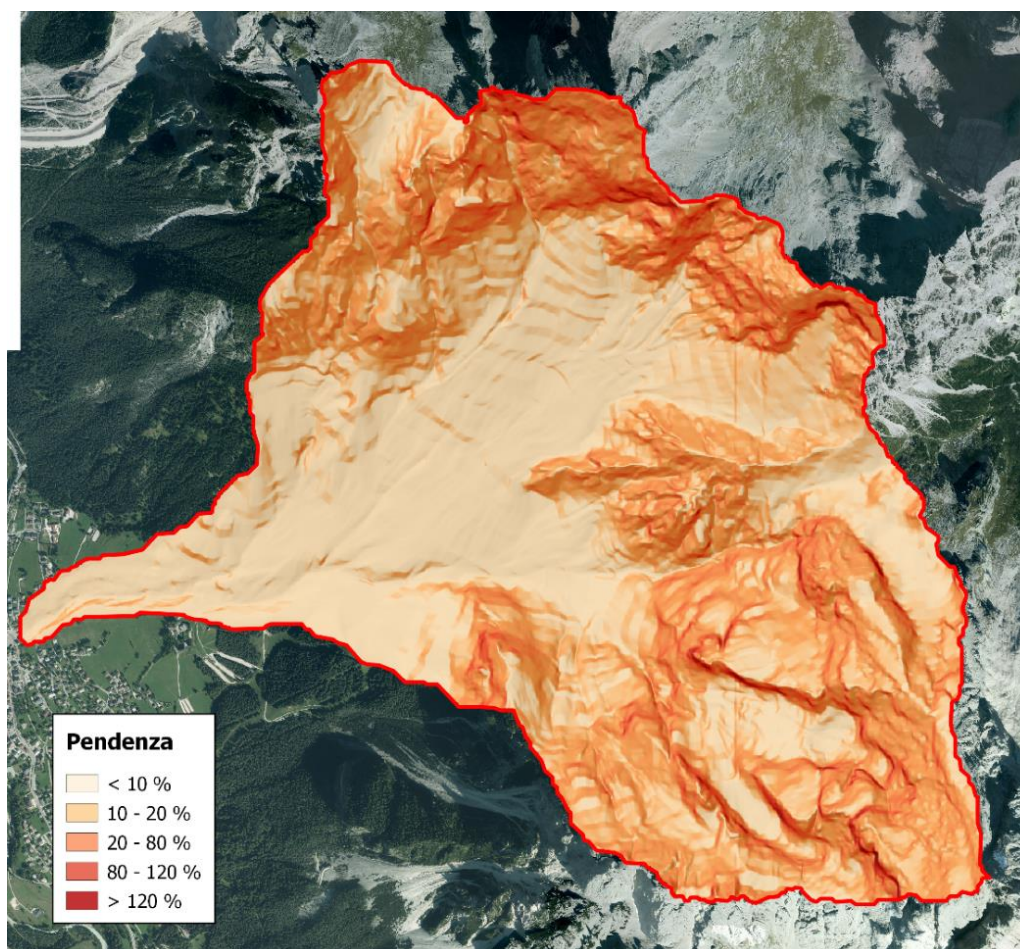
Il deflusso solido-liquido scarica su una ampio ghiaione più o meno scavato in funzione della quantità di materiale che si deposita e il tempo che intercorre eventi di trasporto solido successivi.



| Figura 8. Sottobacini che compongono il Ru Secco

Il torrente Ru Secco nasce a valle della Forcella Piccola e seguendo un percorso quasi rettilineo raggiunge il fondo della Valle del Boite, dove attraversa l'abitato di San Vito di Cadore e sfocia nel fiume Boite. Scorre inizialmente tra due pareti rocciose e dopo un salto di quota scorre sul fondovalle compreso tra le pendici rocciose settentrionali del monte Antelao, dove ha origine il torrente Ru Salveta, e le piste che iniziano ai piedi del massiccio roccioso tra le cime Bel Prà e Scotter lungo la direzione nordovest-sudest. Lungo il suo percorso, a valle della gola, le insenature Ru Beche e Ru Salveta si uniscono ad esso rispettivamente sul lato destro e sinistro. Circa 800 m a valle della confluenza Ru Secco – Ru Salveta, il torrente Ru Secco è intubato così da consentire continuità fra la pista da sci, che scende in destra idrografica, e la seggiovia, posta sul lato sinistro del torrente. Raggiungibile da una località di circa 300 m a monte del canale sotterraneo dell'abitato di San Vito di Cadore, il letto del torrente Ru Secco è protetto da una serie di briglie di controllo. (Gregoretti et al., 2019).

Nella seguente figura viene riportata la carta delle pendenze del bacino del Ru Secco, particolarmente utile per comprendere l'acclività del bacino lungo i versanti rocciosi.



| Figura 9. Pendenze caratterizzanti il bacino del Ru Secco

Dal punto di vista geologico il bacino del Ru Secco è caratterizzato da 3 gruppi litologici principali, come mostrato in figura 10, corrispondenti anche alle 3 macro aree del bacino, ossia la zona di distacco della colata, la zona di scorrimento e la zona di deposito; vengono descritte separatamente:

- Zona di distacco: è la porzione posta alle quote più elevate, ricoprendo quindi tutta la zona est del bacino del Ru Secco. Secondo la figura sotto riportata il gruppo litologico caratterizzante tale area è quello dei “calcari e calcari dolomitici”; più nello specifico i massicci rocciosi sono costituiti dalla formazione calcarea “Dolomia Principale” con sovrapposti calcari della formazione “Calcari grigi”. Si tratta di formazioni piuttosto erodibili dai fenomeni atmosferici e dalle condizioni ambientali caratterizzanti tale area, che conferiscono quindi al bacino una grande disponibilità a produrre materiale sciolto che potrà essere coinvolto durante i fenomeni di colata detritica.
È la porzione di bacino che presenta le quote e le pendenze più elevate, non consentendo lo sviluppo della vegetazione arborea ed erbacea per la maggior parte della superficie, rendendo anche semplice lo scorrimento superficiale del materiale eroso.
- Zona di scorrimento: è la porzione mediana del bacino, colorata con tinta rosea in figura 10 e caratterizzata dalla presenza prevalente di “ghiaie”; tali ghiaie derivano dall’erosione delle zone di distacco e deposito del materiale eroso nella zona mediana del bacino, sia a causa del passaggio di colate detritiche che hanno depositato lungo il percorso il materiale ghiaioso, sia a causa dei processi di erosione e rotolamento dei massi che nei millenni hanno formato il bacino del Ru Secco così come lo si vede ora.
Si tratta di una porzione di bacino a pendenza piuttosto costante, dove le pendenze massime sono riferibili all’inclinazione di equilibrio per l’innescò di frane superficiali o colate detritiche. Fintanto che l’inclinazione rimane al di sotto di una certa soglia di innescò non si hanno fenomeni gravitativi, se invece l’inclinazione si fa più alta della soglia a causa di ulteriore deposito di materiale basta un minimo movimento per generare una frana o colata detritica nel caso in cui sia causata dall’acqua.
- Zona di deposito: è la zona più prossima all’abitato di San Vito di Cadore e che, secondo la figura 10, è composta da “depositi alluvionali misti”; tale litologia deriva dai fenomeni gravitativi che nel tempo hanno consegnato a valle il materiale eroso dalla zona di distacco e trasportato lungo la zona di scorrimento, trovando nella zona di deposito delle pendenze meno accentuate tali da consentire la sedimentazione del materiale.

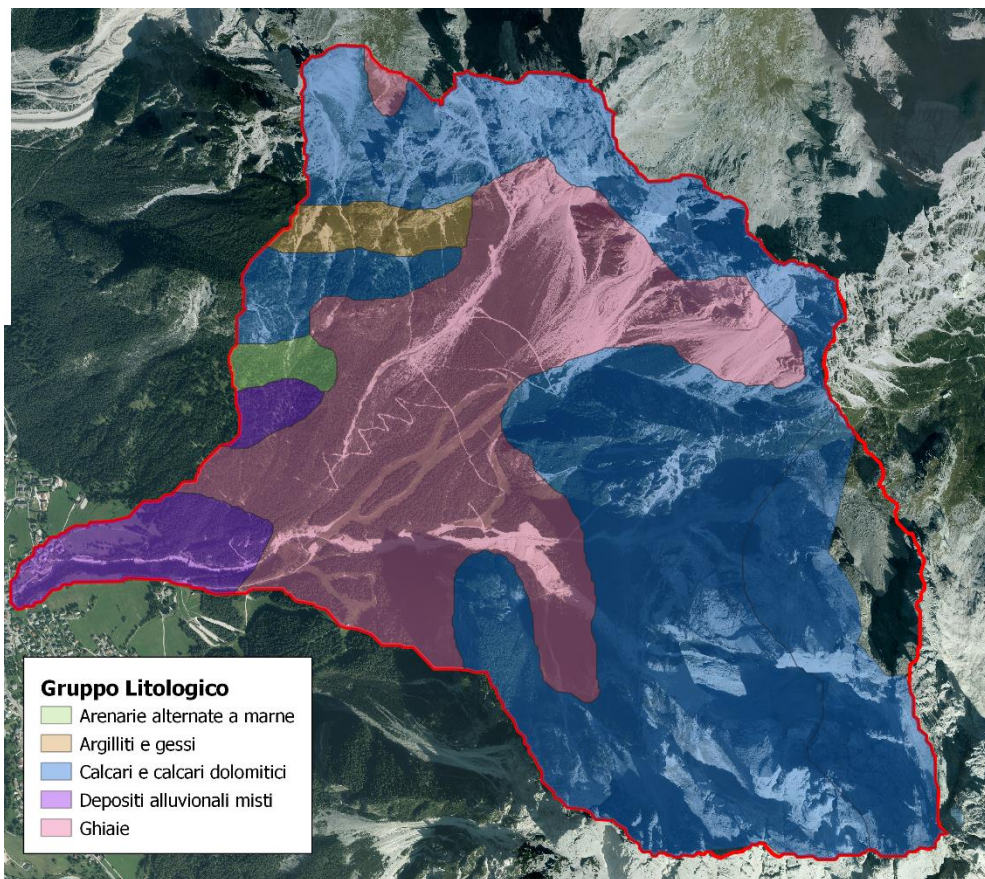


Figura 10. Gruppi litologici caratterizzanti il bacino del Ru Secco

Analizzando invece le categorie forestali che interessano il bacino del Ru Secco, se ne distinguono 4 categorie principali (fig. 11):

- **Mughete:** sono la formazione forestale più presente in termini di superficie, con una superficie complessiva di 2,06 km²; si trovano a quote comprese fra i 1350 e i 2100 m.s.l.m., risultando la specie prevalente delle quote più elevate. Le mughete hanno una importante azione contro l'erosione e i movimenti superficiali di materiale sciolto, fungendo da trattenitore e impendendone il movimento fino ad una certa soglia di spinta. Esse non si trovano però nei canali di scarico in quanto l'insediamento e le condizioni stazionali risultano troppo difficili a causa del continuo scarico di materiale, oltre all'assenza di un suolo favorevole.
- **Pinete di pino silvestre:** sono la seconda formazione in termini di superficie, pari a 1,56 km², e si trovano nella porzione centrale del bacino e nel versante sinistro, dove l'esposizione prevalente è quella sud, ovvero quella che il pino silvestre richiede per il suo sviluppo.
- **Peccete:** sono la terza formazione forestale in termini di superficie, pari a 1,23 km², e sono disposte prevalentemente in posizione nord, ovvero il versante sinistro del bacino de Ru Secco, mentre un'altra piccola porzione la si trova nel versante destro tra le piste da sci.

Si trovano a quote comprese tra i 1150 e i 1800 m.s.l.m. e in esse è prevista una selvicoltura prevista dal piano dei tagli. Tale area ha sia una funzione produttiva sia protettiva, per cui dovrà essere effettuata con particolare attenzione alla protezione del versante e del sottostante abitato di San Vito di Cadore.

- Lariceti e larici-cembreti: sono la formazione forestale più sporadica presente nel bacino del Ru Secco, ricoprono solo una superficie pari a 0,07 km².

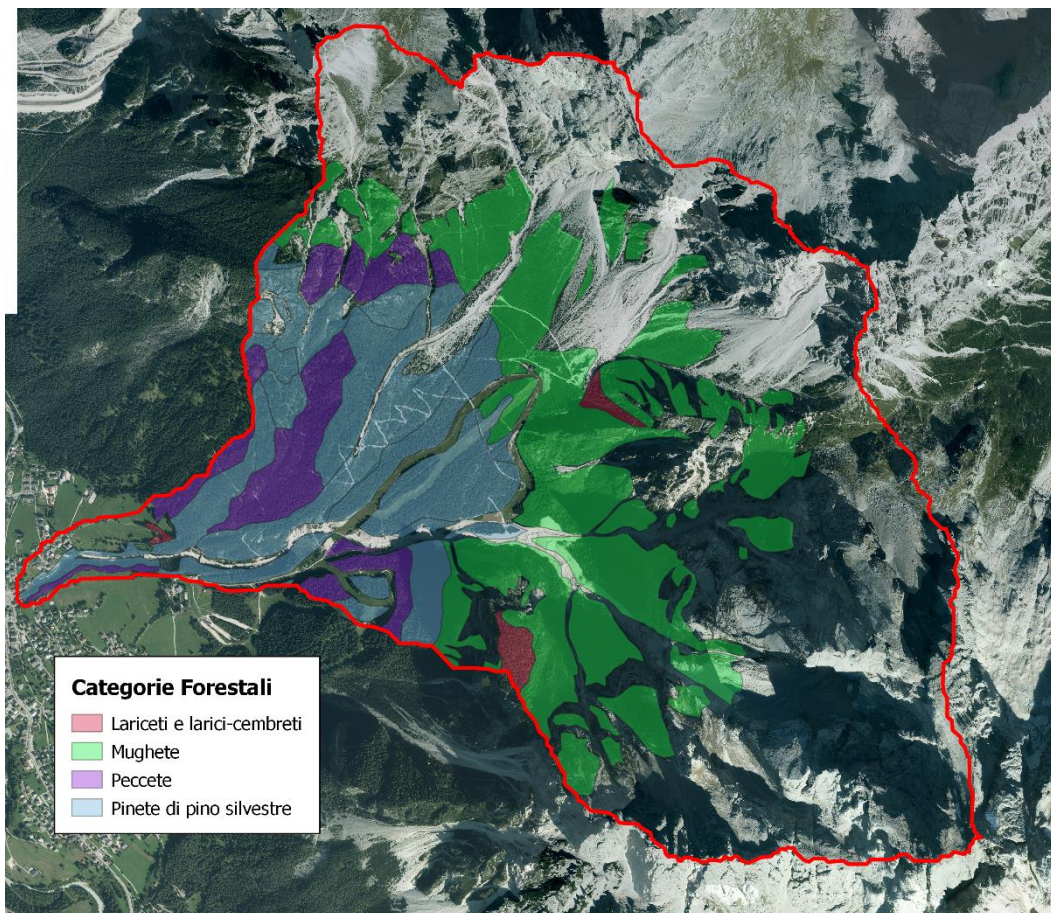
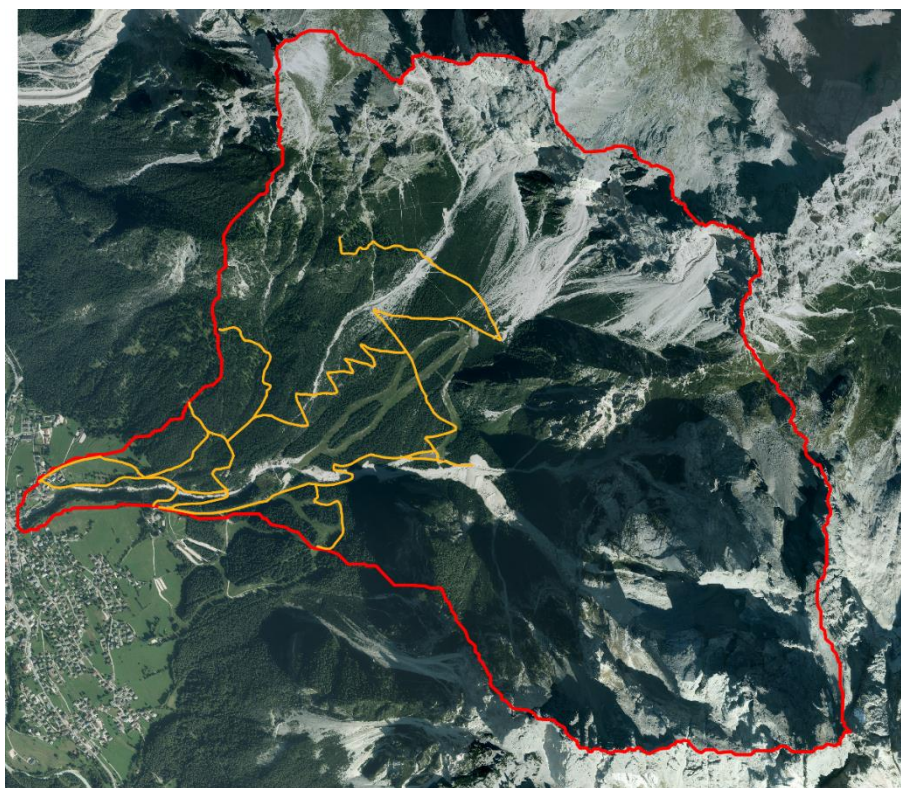


Figura 11. Categorie forestali caratterizzanti il bacino del Ru Secco

Tutte le particelle forestali, ad eccezione delle mughete in quanto non sono di interesse per la selvicoltura, sono collegate da una medio/buona rete di viabilità silvo-pastorale, che consente quindi il loro raggiungimento con i mezzi forestali; molto evidente poi è la strada composta da molti tornanti che risale il versante nella parte mediana del bacino del Ru Secco. Essa è stata realizzata nei primi anni 2000 sia per servire le particelle forestali dell'area intorno alla strada stessa sia a bypassare l'altra strada forestale presente e che porta alle quote più elevate del bacino, dove vi è la presenza di qualche rifugio alpino, e che era soggetta a continue interruzioni: essa infatti attraversa l'alveo del Ru Secco,

costantemente modificato dalle azioni erosive, per cui la manutenzione di tale strada doveva essere fatta troppo frequentemente.



| *Figura 12. Strade forestali all'interno del bacino del Ru Secco*

2.3 Analisi dell'evento di colata del 4 agosto 2015 sul Ru Secco

Il bacino del torrente Ru Secco è da sempre stato caratterizzato dal verificarsi di colate detritiche più o meno intense che raggiungevano l'abitato di San Vito di Cadore (supplementary material, Gregoretti et al., 2018). La colata detritica più intensa avvenuta recentemente è stata quella della sera del 4 agosto 2015: essa ha movimentato un volume di circa 175.000 m³ di materiale che in parte ha raggiunto l'abitato di San Vito di Cadore, causando anche 3 vittime, e modificato la conformazione geomorfologica dell'alveo del Ru Secco.

Al fine di compiere delle analisi del volume della colata e simulare numericamente l'evoluzione della colata stessa si è stimata la precipitazione che ha causato la colata di inizio agosto 2015 nel bacino del Ru Secco.

2.3.1 Condizioni pre-evento

Prima dell'evento del 4 agosto 2015, il bacino del torrente Ru Secco non aveva subito particolari rimodellamenti per opera delle colate detritiche; quel giorno però lasciò una traccia indelebile, che si nota soprattutto lungo l'asta principale del Ru Secco.

Per mostrare le condizioni pre-evento viene riportato un confronto ortofotografico tra un'ortofoto scattata nel 2014 e una scattata nel 2020.



Figura 13. Confronto ortofotografico tra un'immagine del 2014 (sopra) e una del 2020 (sotto)

Si può notare, anche solo ad occhio nudo, una forte differenza tra le due immagini; infatti la colata del 4 agosto 2015 ha fortemente scavato e allargato l'alveo del Ru Secco, in particolar modo la porzione iniziale nei pressi delle confluenza del Ru Salvela con il Ru Secco.

Dove le erosioni spondali nel 2014 erano già presenti, la colata detritica del 2015 le ha accentuate maggiormente; inoltre nella discesa verso l'abitato di San Vito di Cadore il Ru Secco ante-colata compiva una serie di curve anseiformi, mentre al giorno d'oggi è pressoché rettilineo, dimostrando ancora una volta la forza impattante della colata sulla morfologia fluviale del Ru Secco; ne viene riportato un dettaglio di confronto in figura 14.



| *Figura 14. Confronto di un dettaglio tra un'immagine del 2014 (sopra) e una del 2020 (sotto)*

Infine, c'è da precisare che a seguito della colata detritica del 2015 alcune modifiche sono state effettuate dall'azione dell'uomo, mediante la realizzazione di alcune opere, tra cui: piazze di deposito, cunettoni, opere stradali e corazzamenti.

2.3.2 La precipitazione

All'interno del bacino del Ru Secco non vi sono stazioni meteorologiche o pluviometri, per cui si è provveduto a ottenere i dati del pluviometro installato nel vicino bacino "Rovina di Cancia", che dista circa 0,8 km dal baricentro dei bacini dove si è verificata la colata detritica, e tali dati sono stati confrontati e corretti in funzione dei dati del radar meteorologico situato sul Monte Macaion (Bolzano) gestito dalle Province di Trento e Bolzano, che ne coordinano il modo congiunto l'attività.

Il pluviometro registra i dati ad intervalli di 5 minuti e, come si può anche notare nel grafico 1, i maggiori quantitativi di precipitazione si sono verificati in 20 minuti e hanno prodotto una quantità di pioggia variabile tra i 31,5 e i 36,5 mm per tutti e cinque i bacini che hanno avuto movimento detritico; l'intensità media di precipitazione è variata in un intervallo tra i 94,5 e i 108,6 mm/h, anche se per un intervallo di 5 minuti l'intensità media è stata compresa fra i 118,8 e i 159,6 mm/h (Gregoretti et al., 2018).

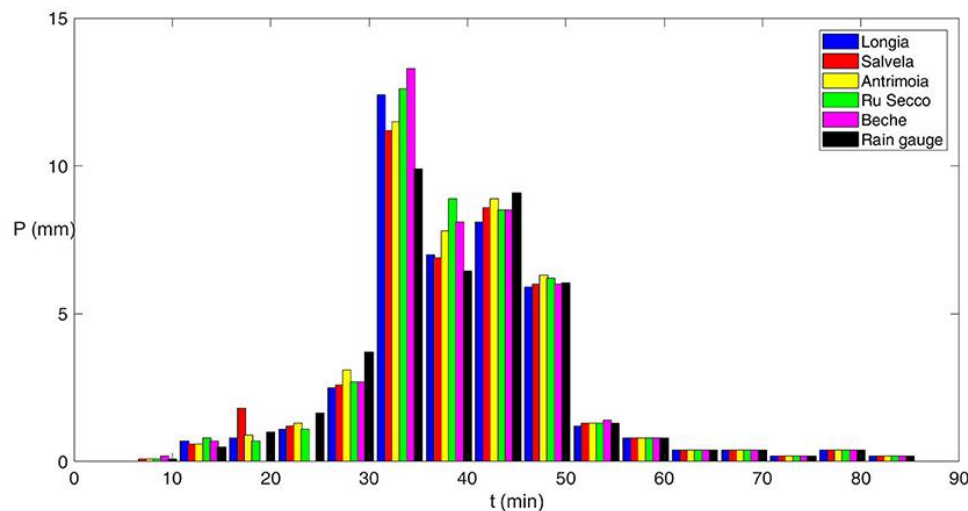


Grafico 1. Ietogramma dei quantitativi di precipitazione misurata con il radar per ogni sottobacino interessato da movimento detritico, confrontato con la precipitazione misurata dal pluviometro (Gregoretti et al., 2018)

Proprio questa tipologia di precipitazioni è quella caratterizzante lo sviluppo di colate detritiche, che generalmente per la zona delle dolomiti bellunesi avvengono durante il periodo estivo e tardo-estivo.

2.3.3 Dinamica della colata

Al fine di comprendere la dinamica della colata il primo step è consistito nella raccolta di informazioni riguardanti gli apporti solido-liquidi e questo è stato possibile grazie una stima delle profondità di erosione e deposito di materiale ottenuta andando a fare la differenza tra il DEM (Digital Elevation Model, modello digitale del terreno) pre-evento (volo LiDAR del 2011) e post-evento (volo LiDAR del 2015).

Questo studio ha riportato quindi il volume di sedimento erosi e depositati dalla colata, corrispondenti rispettivamente a 57.165 m³ e 108.700 m³ (Gregoretto et al., 2018).

L'evento di colata detritica ha avuto inizio a monte del sottobacino del Ru Salveta, dove forti quantitativi di precipitazione liquida sono discesi dalle ripide pareti dell'Antelao, colpendo i depositi detritici che erano depositati sul ghiaione situato nella parte bassa del Vallon d'Antrimoia e del Ru Salveta, a seguito di alcuni crolli avvenuti nell'autunno del 2015, generando così l'innescò della colata detritica. La colata detritica è così scesa dalle pareti rocciose che collegano il Vallon d'Antrimoia con la testa del Ru Salveta, propagandosi poi su depositi detritici del Ru Salveta stesso, dove vi erano accumulati circa 175.000 m³ di materiale.

La colata detritica discendente verso valle ha poi ricevuto il contributo liquido del Ru Longia, aumentandone il potere erosivo e la velocità della massa detritica; in aggiunta si è avuto l'apporto della corrente discendente dal Ru Secco e l'apporto solido-liquido derivante dalla colata detritica che nel frattempo si era innescata lungo il Ru Beche.

Dalla confluenza dei diversi canali in poi si sono avuti forti fenomeni di erosione, tanto che in corrispondenza della stazione della seggiovia "San Marco", dove la pista da sci discendente passa sul Ru Secco incanalato in un tombotto, la colata detritica ha scavato un vero e proprio canale, come si può vedere in figura 15 nell'inserto in alto a destra. Sempre nella figura 15, nell'inserto in basso al centro si può apprezzare il fondo del Ru Salveta a seguito della colata detritica, mentre in alto a sinistra è rappresentata l'erosione spondale che ha colpito il tratto terminale del Ru Secco.

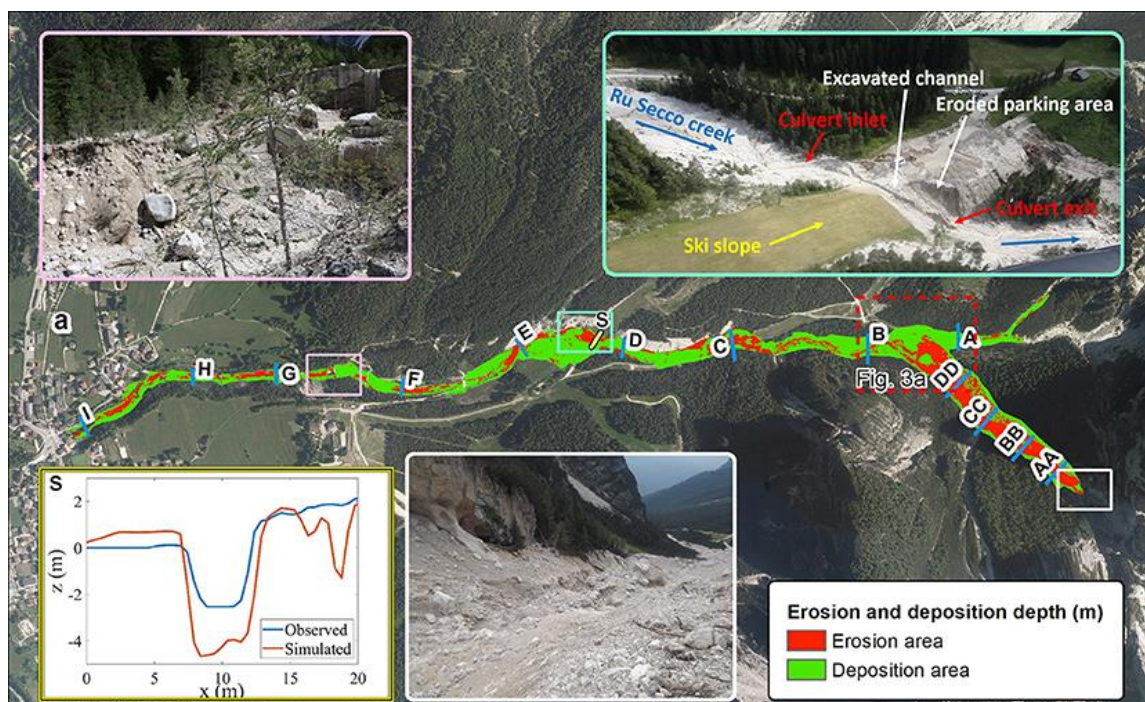


Figura 15. Veduta dell'area soggetta a deposizione o erosione (Gregoretto et al., 2018)

Nel tratto mediano del Ru Secco, circa 380 metri a monte del tombotto al di sotto della pista da sci, la colata detritica ha iniziato a depositarsi sia per la presenza di briglie che diminuiscono la pendenza del fondo, sia per la diminuzione naturale della pendenza del tratto.

La colata detritica si è comunque depositata a monte dell'ingresso del tombotto sotterraneo in quanto grossi massi hanno ostruito l'ingresso del condotto stesso (fig. 16). Di conseguenza, tutto il materiale disceso a seguito del fronte si è arrestato alle sue spalle depositandosi per tutta la profondità e per tutta la larghezza del canale, fino a circa 380 metri a monte dell'ingresso del condotto sotterraneo, permettendo solo alla frazione liquida di continuare il percorso verso valle.

L'innalzamento del livello del canale, causato dall'ostruzione del tombotto ad opera di massi ciclopici, ha però causato un sovralluvionamento del torrente, tanto che il materiale detritico ha iniziato ad occupare il parcheggio sovrastante il condotto interrato, continuando poi il suo percorso verso valle e reimmettendosi nel Ru Secco a valle del condotto; questo sovra-passaggio però ha causato l'erosione dell'area, portando alla formazione di un canale di scavo.



Figura 16. Stato post-evento nella zona del tombotto al di sotto della pista da sci (Gregoretti et al., 2018)

Infine, analizzando i volumi erosi/depositati con la tecnologia DoD (Dem of Differences), è stato possibile calcolare i volumi di scavo e di accumulo, riportati in figura 17.

La maggior parte delle erosione si è avuta sul deposito detritico del Ru Salvella (35.400 m³), mentre la maggior parte delle deposizioni è avvenuta lungo il Ru Secco tra la confluenza con il Ru Salvella e l'imbocco del canale sotterraneo della pista da sci (62.700 m³), mentre i volumi depositati ed erosi a valle del tombotto sono rispettivamente di 29.581 m³ e di 12.721 m³, dove la colata detritica viene considerata come un flusso iperconcentrato sia a causa della forte selezione del materiale a monte del tombotto sia a causa della pendenza del letto, che nel tratto in analisi decresce da 11° a 2° (Gregoretto et al., 2018).

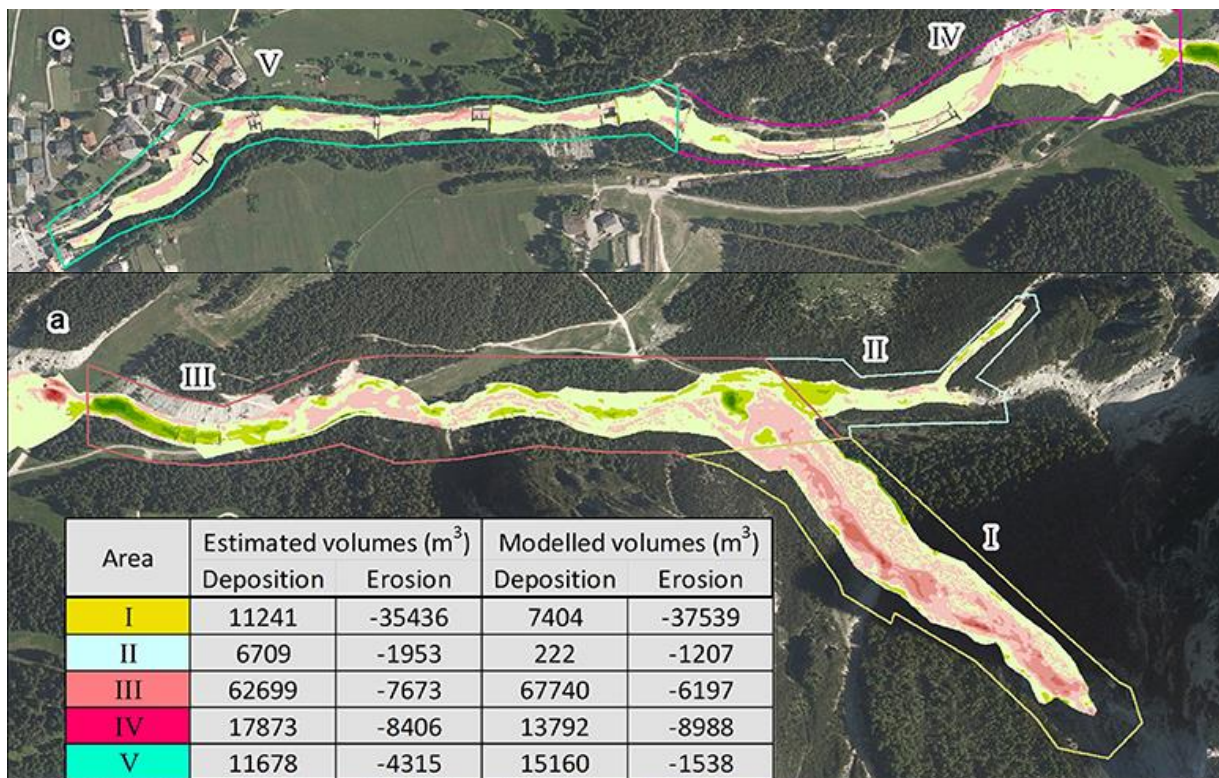


Figura 17. Profondità di erosione e deposito per diversi tratti analizzati (Gregoretto et al., 2018)

2.4 Opere idrauliche presenti nel bacino e in fase di realizzazione

Nell'asta principale del Ru Secco, dall'intersezione tra il Ru Salvela e il Ru Secco fino al punto di innesto del Ru Secco con il Bòite, sono presenti le seguenti opere:

- 22 briglie tradizionali, distribuite in modo omogeneo su tutta l'asta
- 2 tombotti (1 sotto la pista da sci e 1 sotto la SS51 nei pressi dell'abitato di San Vito di Cadore)
- 2 briglie filtranti progettate a seguito della colata detritica del 2015 (1 ultimata da poco e 1 in fase di realizzazione)

In riferimento alle briglie tradizionali, durante le fasi di sopralluogo nel bacino del Ru Secco si è verificato che esse sono state danneggiate in modo più o meno importante durante l'evento del 2015; infatti molte briglie al giorno d'oggi presentano importanti crepe lungo tutta la loro lunghezza, parte del calcestruzzo è stato danneggiato e le armature si trovano esposte; spesso si assiste anche un parziale scalzamento della briglia, con esposizione delle fondazioni.

Nelle seguenti immagini vengono rappresentati i danni.



Figura 18. Briglia tradizionale dove il calcestruzzo è stato eroso dalla colata detritica e le armature risultano esposte e fortemente danneggiate (foto scattata dall'Autore)



Figura 19. Briglia tradizionale fortemente degradata, dove le fondazioni risultano esposte (foto scattata dall'Autore)



Figura 20. Briglia tradizionale degradata la piede, con delle importanti crepe per tutta la sua altezza (foto scattata dall'autore)

In riferimento alle sponde, durante l'evento di colata sono state fortemente erose e nei tratti dove erano presenti delle murazioni spondali, esse sono state quasi tutte danneggiate, tanto da essere fortemente inclinate e scalzate al piede, assolvendo quindi solo in una minima parte alla loro funzione. Lo scalzamento al piede è avvenuto in quanto la colata detritica ha scavato il fondo dell'alveo fino ad arrivare ad una quota inferiore alle fondazioni dei muri spondali, i quali non hanno potuto resistere all'azione ribaltante da parte del materiale che trattenevano.



Figura 21. Muro spondale divelto dalla colata detritica, con erosione di tutto il materiale che tratteneva (foto scattata dall'Autore)



Figura 22. Muro spondale con fondazioni scoperte (1,20 m) e ad una quota di circa 1 metro inferiore rispetto alla posizione pre-colata (foto scattata dall'Autore)

In una porzione dell'asta principale le opere di protezione spondale sono state demolite e sostituite con massicciate in entrambi i lati dell'alveo, utilizzando massi aventi un ordine di grandezza di circa 0,7-0,8 m³ ciascuno, in modo da resistere a forti sollecitazioni da parte delle colate e delle onde di piena che in un futuro potrebbero avvenire nel bacino.

Ad intervalli regolari sono anche state posizionate sul livello del fondo del Ru Secco dei blocchi interrati aventi un volume di 2-3 m³, che costituiscono delle soglie di fondo ed evitano che il passaggio delle colate detritiche provochi erosione del fondo, o almeno lo limiti.

In figura 23 viene mostrato come sono stati realizzate le opere di protezione spondale e del fondo.



Figura 23. Massicciate aventi funzione di protezione spondale, con la presenza di blocchi incassati nel fondo aventi funzione di soglia di fondo (foto scattata dall'Autore)

Nei tratti in cui le opere spondali sono state ripristinate, si è provveduto anche a ripristinare le briglie che sono state danneggiate, mediante la loro ricostruzione con cls e nuove armature.

Dei punti particolarmente critici durante il passaggio della colata detritica sono stati i 2 tombotti, che rappresentano dei punti di restringimento dell'alveo; per entrambi la colata detritica del 4 agosto 2015 è stata critica e ha causato il loro intasamento, anche se i maggiori danni si sono avvenuti per il tombotto più a monte, ovvero quello al di sotto della pista da sci "San Marco", dato che si è facilmente intasato e la colata è transitata sulla pista da sci, causando forte erosione del fondo, come descritto nel precedente paragrafo, e scavando un vero e proprio canale, come mostrato in figura 24.

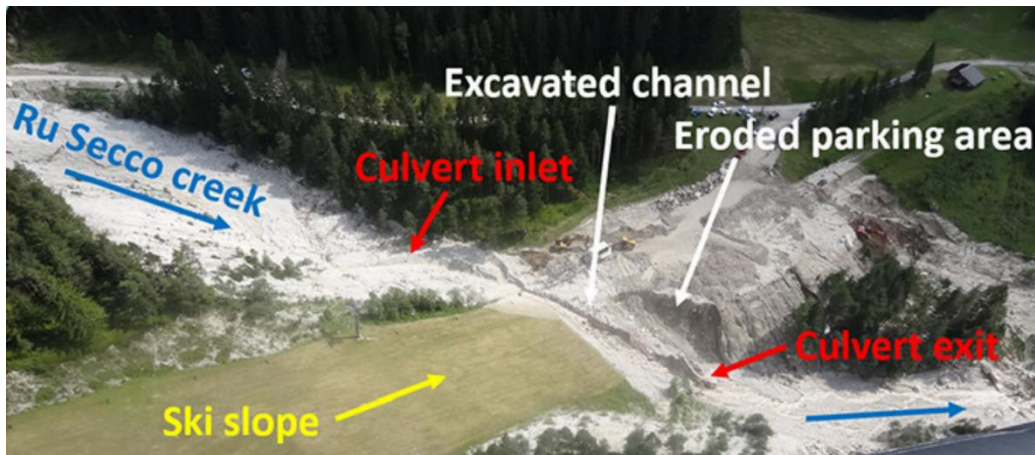


Figura 24. Canale scavato dalla colata detritica dove vi era il tombotto che sotto-attraversava la pista da sci (immagine di Gregoretti et al., 2018)

Il canale scavato è stato recentemente sistemato andando a posizionare un tombotto di dimensioni maggiori al di sotto della pista da sci (4,00 x 3,50 m) e la creazione di un canalino al di sopra del tombotto, che funga da convogliatore del deflusso liquido nel caso in cui il tombotto venga ostruito dal deflusso solido (figure 25 e 26).

Nonostante ciò, si ritiene che il sistema canalino e tombotto non sia in grado di convogliare a valle tutta la portata solido-liquida nel caso di eventi intensità pari a quello del 2015.



Figura 25. Sezione di entrata (sinistra) e di uscita (destra) del tombotto al di sopra della pista da sci (foto scattate dall'Autore)



Figura 26. Canalino a sezione trapezia al di sopra del tombotto, con funzione di smaltimento dei deflussi liquidi in caso di ostruzione del tombotto (foto scattata dall'Autore)

Il secondo tombotto invece, è quello al di sotto della SS 51, dove vi è anche l'abitato di San Vito di Cadore; è stato costruito agli inizi del '900 per ampliare la sovrastante piazza dato che prima l'attuale strada provinciale prevedeva un ponte nei pressi dell'attraversamento con il Ru Secco.

Tale tombotto però, durante l'evento del 4 agosto 2015, si è intasato a causa dell'arrivo di un notevole volume solido-liquido, provocando la parziale distruzione della sovrastante struttura, che si trovava ad una quota inferiore rispetto all'altezza massima che il tombotto pochi metri sotto raggiunge (figura 27); in questo punto di restringimento infatti la sezione è rettangolare e ha le seguenti dimensioni: 5,60 x 2,90 m.

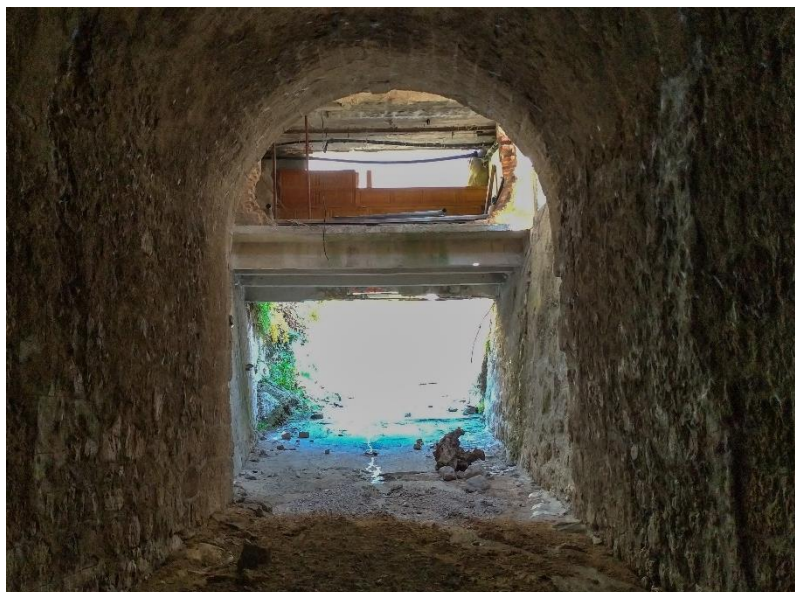


Figura 27. Tombotto visto da dentro, si nota il fabbricato danneggiato dove il tirante idraulico è ben inferiore rispetto a quello interno al tombotto (foto scattata dall'Autore)

Il tombotto ha una lunghezza di circa 120 metri e il dislivello tra la sezione di entrata e quella di uscita è di 17 m; al suo interno, prima dell'evento del 2015 era presente una soglia con altezza di circa 3 metri, progettata e costruita nel momento di costruzione del tombotto. Tale salto è stato recentemente trasformato in uno scivolo (figura 28), in modo che un'eventuale futura colata detritica non si depositi all'interno del tombotto, ma prenda velocità e prosegua verso valle, fino alla confluenza con il fiume Bòite.



Figura 28. Ex soglia, recentemente trasformata in uno scivolo rivestito con pietrame (foto scattata dall'Autore)

L'intasamento del tombotto durante l'evento del 2015 ha portato alla fuoriuscita di materiale detritico, anche se non in quantitativi enormi, nella sovrastante piazza-parcheggio.

A monte, laddove i bacini di innesco confluiscono, sono state realizzate 2 piazze di deposito: una sul Ru Salveta prima dell'imbocco con il Ru Secco e una nel punto di confluenza Ru Salveta - Ru Secco, con apposite arginature di contenimento, aventi rispettivamente una superficie di 3550 m² e 3800 m² e con una capacità di trattenuta del sedimento pari a 15.000 m³ e 45.000 m³.

Risultano quindi particolarmente efficaci in quanto nell'insieme trattengono i primi 60.000 m³ della colata in transito verso valle; nelle figure 29 e 30 viene mostrato il sistema delle piazze di deposito.



Figura 29. Piazza di deposito sul tratto terminale del Ru Salveta (foto scattata dall'Autore)



Figura 30. Porzione di piazza di deposito sulla confluenza Ru Salveta-Ru Secco (foto scattata dall'Autore)

Entrambe le piazze di deposito sono delimitate da arginature in senso longitudinale che, oltre ad aumentare il volume dei sedimenti invasabile, indirizzano il deflusso verso la sottostante briglia frangicolata-filtrante.

Infine, si riporta una descrizione delle nuove briglie frangicolata-filtranti che il progetto di mitigazione del rischio idrogeologico finanziato dalla Regione Veneto prevede.

Le briglie frangicolata-filtranti hanno il compito di fermare il fronte della colata costituito dagli elementi lapidei di dimensioni più grossolane e di laminare il deflusso solido-liquido, invasando a monte parte del volume di sedimenti trasportato dalla colata.

La prima briglia (figura 31) è già stata ultimata ed è situata a monte del tratto rivestito del Ru Secco, a monte di essa è stata realizzata una piazza piana della superficie di 950 m^2 preceduta da un'area di invaso delimitata dalle arginature laterali; ha una capacità di invaso di 20.000 m^3 e nella piazza di monte sono stati realizzati 4 speroni aventi un'altezza di 3 metri, larghezza di 2 m e distanti 15 metri dalla briglia, aventi l'importante funzione frangicolata; questi infatti sono disposti in asse al centro delle aperture della briglia e consentono il blocco del fronte della colata, impedendo così l'immediata ostruzione della briglia, consentendo di modulare il deflusso solido-liquido.



Figura 31. Briglia frangicolata-filtrante di monte (foto scattata dall'Autore)

Gli elementi longitudinali della briglia hanno una larghezza di 1,5 m e un'altezza di 7 m, per uno spessore longitudinale alla base di 7 m; i muri trasversali, con ammorsamento nel versante in sinistra idraulica e nel deposito di ghiaia in destra (figura 32) hanno un'altezza complessiva di 8,5 m.

Per quanto riguarda le aperture invece, quelle centrale si estendono per 4,20 m, mentre le due aperture laterali per 3,50 m.

Gli spigoli vivi sono stati rivestiti con acciaio corten dello spessore di 1 cm, in modo da darne maggiore resistenza e minore probabilità di rottura; inoltre la vista di valle dei muri trasversali è stata rivestita con pietrame faccia a vista, in modo da limitare l'impatto paesaggistico dell'opera.



Figura 32. Ammorsamento della briglia in destra idraulica (destra) e sinistra idraulica (sinistra) (foto scattate dall'Autore)

La seconda briglia frangicolata-filtrante (figure 33 e 34), ovvero quella posta più a valle, è in fase di ultimazione (ottobre 2022) ed è stata progettata per consentire una trattenuta di 40.000 m³ di materiale detritico, su un'area di invaso di 3900 m²; si trova in una posizione strategica in quanto vi è un allargamento naturale dell'alveo e vi è una strada di accesso, utile sia durante le fasi di realizzazione sia durante le fasi di rimozione del materiale a seguito di una colata detritica.

La briglia avrà una larghezza complessiva di 20 metri, a cui si aggiungono 15 metri per parte che costituiranno l'ammorsamento nel versante. La briglia presenta 2 speroni centrali aventi una larghezza di 1,5 m per un'altezza di 7 metri; le aperture saranno quindi 3: quella centrale larga 4 m e le due laterali larghe 3 m. L'altezza complessiva dei muri trasversali è di 9,5 m.



Figura 33. Briglia filtrante di valle durante la fase di realizzazione (foto scattata dall'Autore)



*Figura 34. Briglia filtrante di valle ultimata (novembre 2022)
(foto scattata da Martino Bernard)*

Le aperture così disposte sono in grado di fermare elementi di circa 1,30 m per quella centrale, mentre di 1,0 m per quella laterali; la scelta di aperture così larghe rispetto alle sistemazioni idraulico-forestali normalmente realizzate ha lo scopo di evitare l'ostruzione iniziale delle briglie e permettere quindi una laminazione di parte del deflusso solido-liquido, consentendo alla porzione a granulometria inferiore di proseguire verso valle, dato che lo scopo principale di queste opere è quello di trattenere solo il materiale di colate detritiche di medio-elevata magnitudo.

Anche per questa briglia frangicolata-filtrante sono previsti 4 speroni, anche se devono essere ancora realizzati; avranno un'altezza di 3 m per uno spessore di 1,5 m.

Concludendo questo sotto-capitolo, si riporta un riassunto delle opere realizzate e in fase di realizzazione:

- Piazza di deposito piana con relative arginature di contenimento su Ru Salveta con spostamento del canale di imbocco alla piazza superiore verso la destra idrografica in modo da deviare la direzione di deflusso della colata verso il centro della piazza
- Piazza di deposito piana in corrispondenza della confluenza Ru Salveta-Ru Secco e delle relative arginature di contenimento
- Briglia frangicolata-filtrante (briglia 1) a monte del tratto rivestito del Ru Secco
- Due canali rivestiti sul Ru Salveta e sul Ru Secco con inizio rispettivamente a monte della piazza di deposito il primo e della confluenza il secondo allo scopo di intercettare e convogliare il deposito liquido in modo da evitare erosione sulle piazze

- Ripristino simil-naturale dell'alveo del Ru Secco in corrispondenza del piazzale della seggiovia collegando la pista da sci al piazzale della seggiovia mediante un impalcato il legno amovibile
- Briglia frangicolata-filtrante (briglia 2) a valle del piazzale della seggiovia all'altezza della presa dell'acquedotto e ripristino dei muri di sponda scalzati durante l'evento dell'agosto 2015
- Abbattimento del solaio a monte della tombinatura sotto la SS51
- Miglioramento dell'attraversamento della SS51

Con la realizzazione di tali opere il volume totale di sedimenti invasabile risulta essere pari a 120.000 m³, superiore a quello mobilizzato durante l'evento del 4 agosto 2015.

3. Il modello DFRM di Gregoretti et al. (2019)

Il modello DFRM sviluppato da Gregoretti et al. (2019) è un modello a celle sviluppato per la simulazione della propagazione idraulica di una colata detritica in ipotesi di miscuglio omogeneo, tenendo conto dei fenomeni di deposito ed erosione.

Il modello a celle è un tipo di modello in cui il campo di moto viene suddiviso in aree omogenee, le cosiddette celle, connesse idraulicamente tra di loro mediante equazioni che descrivono il tipo di moto che avviene tra di esse (Gregoretti et al., 2019).

L'origine dei modelli a celle risale al 1970, quando Zanobetti et al. proposero un modello per simulare le inondazioni in aree rurali, a cui seguirono implementazioni e adattamenti nel periodo successivo grazie alla tecnologia GIS, permettendo il lavoro su una griglia di un raster; da cui il modello a celle è stato denominato "modello a base raster".

L'unità elementare di partenza per la simulazione della propagazione idraulica è il Digital Elevation Model (DEM). Inizialmente Gregoretti et al. (2016) hanno sviluppato il modello in versione monofase, ma successivamente è stato implementato con la versione bifase (Gregoretti et al., 2019), la quale consente una migliore simulazione del deflusso solido-liquido e porta ad una migliore descrizione dei processi erosivi e di deposito.

Tale modello è al giorno d'oggi messo a disposizione sul portale digitale dell'Autorità di bacino distrettuale delle Alpi Orientali a supporto delle Amministrazioni pubbliche e a tecnici per lo sviluppo delle tematiche connesse alla Direttiva Alluvioni 2007/60/CE.

L'interfaccia del modello è stata sviluppata in linguaggio Python ed è disponibile in ambiente QGIS per le versioni 2.x.x.

I paragrafi di seguito riportati sono una forma riassuntiva di quanto riportato nel manuale di riferimento del modello, per approfondimento si rimanda al manuale stesso.

3.1 Equazioni di sviluppo del modello

Per la descrizione delle equazioni di sviluppo del modello si deve partire da alcune assunzioni ed ipotesi (Gregoretto et al., 2019):

- La superficie libera in una cella è assunta orizzontale
- Il volume solido-liquido in una cella risulta funzione della profondità della corrente, ovvero l'altezza del deflusso della cella
- Le direzioni di deflusso possibili sono 8, corrispondenti alle 8 celle adiacenti la cella di origine del deflusso
- Il deflusso avviene sempre per dislivello topografico della superficie libera, ovvero da una cella con quota della superficie più alta ad una cella con quota della superficie libera più bassa
- Le connessioni idrauliche sono il deflusso per gravità a moto uniforme per pendenze positive del fondo ed a stramazzo nel caso di contropendenza
- Gli scambi di flusso e quantità di moto tra le celle avvengono in contemporanea

Il modello di Gregoretto et al. (2019) è fondato su 2 tipologie principali di equazioni che governano il moto:

- Equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto della corrente solido-liquida, adottando l'ipotesi semplificativa che le velocità per le fasi liquida e solida siano medesime (Rosatti e Begnudelli, 2013).

La conservazione della massa viene espressa uguagliando la variazione di massa/volume in una cella alla differenza tra la massa/volume entrante e quella/quello uscente, tale per cui la direzione del deflusso sia unidirezionale.

Le equazioni di conservazione della massa sono quelle del miscuglio e della fase solida alla scala di cella:

$$A \frac{d(z + h)}{dt} = Q_E - Q_U \quad (1)$$

$$A \frac{d(c * z + ch)}{dt} = cQ_E - cQ_U \quad (2)$$

dove A è l'area della cella (Δx^2), z la quota del fondo, h la profondità della corrente o l'altezza del deflusso in una cella, c la concentrazione volumetrica della fase solida, t il tempo, mentre Q_E e Q_U sono rispettivamente la portata entrante e quella uscente.

Invece, le equazioni di conservazione della quantità di moto, che regolano le connessioni idrauliche tra le diverse celle, sono rispettivamente quella di moto uniforme nel caso in cui il deflusso avvenga a gravità e quella di stramazzo in parete grossa nel caso in cui il deflusso avvenga in contropendenza:

$$Q = \Delta x * C * h * w * \sqrt{g * h * \sin \theta} \quad (3)$$

$$Q = \Delta x * 0.385 * s * \sqrt{2g} * (h - p)^{1.5} \quad (4)$$

Q rappresenta la portata solido-liquida uscente dalla cella, C il coefficiente di conduttanza, θ l'angolo di inclinazione del fondo (pendenza), w e s sono funzioni peso usate per ripartire il flusso in più di una sola direzione (considerando così un moto bidimensionale) e g rappresenta la forza di gravità (9.81 m/s^2).

- Equazioni per i processi di deposito ed erosione, facenti riferimento all'equazione di Exner che regola l'andamento del fondo in funzione della quantità di sedimento scambiata tra il fondo e la corrente.

L'equazione di Exner esprime la variazione di quota del fondo in funzione della differenza tra la sua velocità di innalzamento (o deposito D) e di abbassamento (od erosione E):

$$\frac{dz}{dt} = D - E \quad (5)$$

Quest'ultima equazione è stata poi adattata con una relazione empirica di Egashira et al. (2001), dove la differenza ($D - E$) diventa:

$$E - D = K [(\sin \alpha_{max} - \sin \alpha_{LIM}) * U_{max}] \quad (6)$$

dove K è una costante empirica, α_{max} l'angolo di inclinazione della massima pendenza in riferimento alle 8 direzioni, U_{max} la velocità di deflusso corrispondente ed α_{LIM} valore limite di α_{max} sotto e sopra il quale avvengono rispettivamente il deposito e l'erosione.

Con quest'equazione, i depositi e l'erosione vengono calcolati in una sola delle 8 direzioni, così da evitare depositi/erosioni irrealistiche nella direzione trasversale a quella di massima pendenza, dove la velocità e l'inclinazione potrebbero essere molto bassi/alti.

Infine, si riporta che le equazioni della quantità di moto utilizzate, al fine di descrivere in modo accurato la propagazione idraulica delle colate detritiche, si basano sull'approccio dell'onda cinematica (Arattano and Savage, 1994; Di Cristo et al. 2014, 2019).

3.2 Condizioni interne e al contorno delle celle

Considerando come unità base la cella di un raster, si ha che le condizioni al contorno sono diverse per la portata entrante e quella uscente.

Le celle infatti possono essere distinte in 3 tipologie:

- Celle d'entrata in cui viene trasmesso l'idrogramma solido-liquido di ingresso
- Celle di propagazione
- Celle di uscita

Tutte le celle d'entrata vengono riempite per ogni step temporale con l'idrogramma liquido di progetto, che viene inserito come unità base nei dati di input del modello detritico, di cui i dettagli verranno descritti nel successivo capitolo; l'idrogramma riportato nel grafico 2 rappresenta uno degli idrogramma di input per la modellazione detritica effettuata per questo elaborato, e in esso viene evidenziata una colonna, rappresentante una porzione di volume solido-liquido in ingresso, che viene suddiviso tra tutte le celle d'entrata facenti parte la sezione di ingresso.

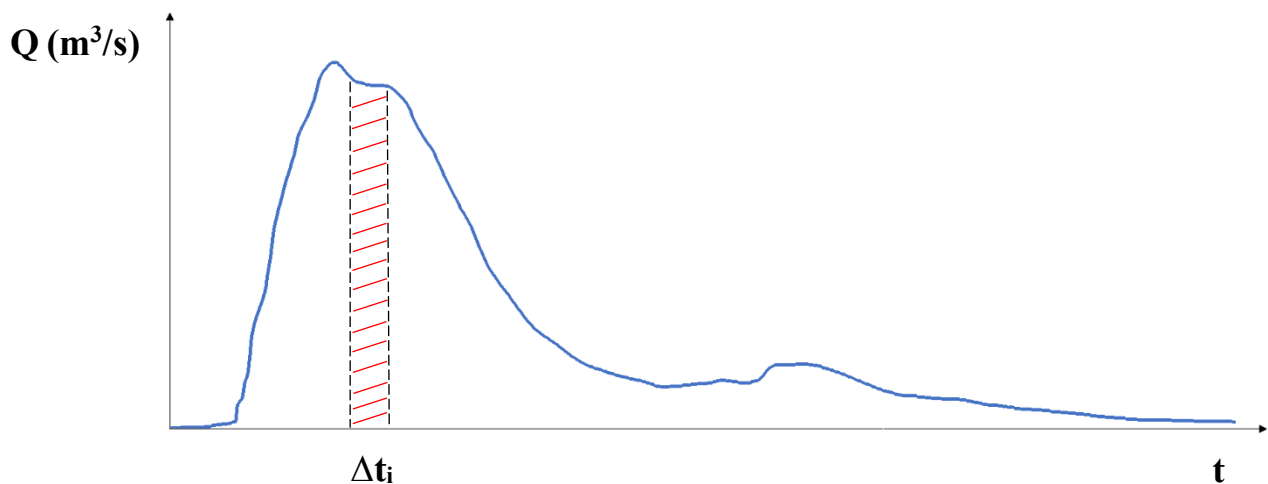


Grafico 2. Volume dell'idrogramma solido-liquido che riempie le celle d'entrata al passo temporale Δt_i

La propagazione del deflusso viene descritta avvalendosi della tabella 1, e avviene con il seguente schema: al primo passo temporale fissato a priori in 0,5 secondi, le celle di entrata vengono riempite secondo il valore assunto dal corrispondente idrogramma in quel time-step, dopodiché al secondo

passo temporale, mentre la celle continua ad essere riempita ad ogni passo temporale, la cella di entrata inizia la propagazione verso le celle circostanti ($i+1$). Al terzo passo temporale le celle d'entrata continuano ad essere riempite e vi è la propagazione tra le celle d'entrata verso le celle di propagazione soggette a deflusso al passo temporale precedente e propagazione tra queste e le celle di propagazione a loro contigue non ancora interessate dal deflusso ($i+2$) (Gregoretti et al., 2019).

| | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| $i+2$ | $i+1$ | i | $i+1$ | $i+2$ |
| $i+2$ | $i+1$ | $i+1$ | $i+1$ | $i+2$ |
| $i+2$ | $i+2$ | $i+2$ | $i+2$ | $i+2$ |

Tabella 1. Schema della propagazione del deflusso con cella d'entrata (blu) e le celle di propagazione (arancione) per i diversi passi temporali

Il deflusso delle celle in uscita invece avviene secondo il moto uniforme oppure a stramazzo lungo un'unica direzione, che corrisponde a quella di massima pendenza tra le celle contigue alla cella contorno. Le celle di entrata e di uscita non sono soggette a fenomeni di deposito ed erosione (Gregoretti et al, 2019).

3.3 Implementazione alla modalità multiprocessore del modello

Il modello DFRM originariamente, nella versione proposta da Gregoretti et al. (2019), era un modello monoprocessore; è stato successivamente reso più efficiente attraverso l'introduzione di uno schema di calcolo multi-processore.

Infatti, la versione originaria gestiva le fasi di calcolo creando una sequenza di operazioni che venivano poi computate secondo un ordine preciso da un unico processore, mentre la versione più recente prevede che le operazioni all'interno del ciclo principale siano suddivise tra diversi processi logici, in funzione delle caratteristiche del computer di calcolo utilizzato e del numero di processori dello stesso che si vogliono usare per la modellazione.

3.4 Modello idrologico e di innesco della colata detritica

3.4.1 Modellazione idrologica

Per la realizzazione degli idrogrammi di piena da inserire come dato di input nel modello DFRM di Gregoretti et al. (2019) è necessario partire da una modellazione idrologica, usando il modello idrologico ad evento di Gregoretti et al. (2016) e Bernard (2018).

Il primo passo per la realizzazione degli idrogrammi è la quantificazione del deflusso superficiale, calcolabile mediante la precipitazione efficace ottenuto dal metodo dell'SCS-CN (Botter e Rinaldo, 2003; Borga et al., 2007; Grimaldi et al., 2012) e di GreenAmpt (Grimaldi et al., 2013; Rengers et al., 2016). Tale metodo però, secondo alcune verifiche condotto da Gregoretti e Dalla Fontana (2008), sottostimano il picco del 50-75%, dando una forma non impulsiva all'idrogramma solido-liquido, come invece contrariamente è quello delle colate detritiche.

Successivamente quindi Gregoretti et al. (2016) e Bernard (2018) hanno accoppiato il metodo americano SCS-CN con l'equazione di Horton semplificata al solo termine asintotico di infiltrazione, considerando in questo modo sia la quota di deflusso superficiale, sia di quello sottosuperficiale. L'equazione della precipitazione efficace ad ogni intervallo temporale Δt è quindi:

$$P_e(t) = \begin{cases} 0 & t \leq t_{Ia} \\ \frac{P(t) - I_a}{P(t) - I_a + S} & t > t_{Ia}, I < f_c \\ P_e(t - \Delta t) + P(t) - P(t - \Delta t) - f_c \Delta t & t > t_{Ia}, I > f_c, P_e < P_{eSCS} \end{cases} \quad (7)$$

dove:

- $P(t)$: precipitazione cumulata al tempo t
- $P_e(t)$: precipitazione efficace cumulata tempo t
- I : intensità di precipitazione media durante l'intervallo temporale Δt
- P_{eSCS} : precipitazione totale efficace calcolata con metodo SCS-CN
- f_c : capacità di infiltrazione nel terreno
- S : volume specifico di saturazione del terreno
- I_a : perdite iniziali
- t_{Ia} : intervallo di tempo in cui si hanno le perdite iniziali

Dato che nei terreni rocciosi di natura dolomitica il deflusso superficiale avviene quando l'intensità di precipitazione supera la capacità di infiltrazione (Beven, 2002; Li et al., 2010), si ha che il metodo vale quando $i > f_c$.

Avendo quindi determinato la precipitazione efficace, il passaggio successivo è quello di analizzare il processo di trasferimento del deflusso superficiale dalla singola cella raster del bacino alla sezione di chiusura, oppure al punto di inizio del deflusso come considerato nel caso del suddetto elaborato.

Il trasferimento avviene in modo differente a seconda del luogo di propagazione; infatti, per la propagazione sul versante la velocità di scorrimento è costante, con valori differenti per ogni tipo di suolo attraversato, mentre la propagazione sul reticolo va calcolata mediante la schematizzazione dell'onda cinematica diffusa, secondo il metodo Muskingum-Cunge.

Per la propagazione del deflusso lungo il versante, si parte dal DEM (Modello Digitale del Terreno) opportunamente depittato (tolte le depressioni locali) e si determinano i percorsi del deflusso secondo la direzione associata alla massima pendenza, in modo che ogni cella presenza solo una direzione in uscita. Ad ogni cella si associa poi la precipitazione efficace precedentemente calcolata e che viene quindi propagata lungo il percorso di deflusso ad una velocità costante, calcolata considerando sia la scabrezza del suolo sia la pendenza; deriva quindi che su ogni cella generica del reticolo arriva una portata Q_v pari a:

$$Q_v(t) = \int_{A_v} P_e(\vec{x}, \tau) dA \quad (8)$$

dove: \vec{x} è la posizione delle cella generica, A_v l'area del versante che insiste direttamente sulla cella del reticolo, dA l'area della cella e $\tau = t - t_T(\vec{x})$.

Il tempo di propagazione della precipitazione efficace dalla cella di versante nella posizione \vec{x} alla cella del reticolo, espresso con il simbolo $t_T(\vec{x})$, è calcolato con l'equazione:

$$t_T(\vec{x}) = \sum_{i=1}^N \frac{L_{Si}(\vec{x})}{U_{Si}} \quad (9)$$

Dove $L_{Si}(\vec{x})$ è la lunghezza del tratto di terreno di tipologia i facente parte del percorso di deflusso dalla cella nella posizione generica \vec{x} alla cella del reticolo sul versante, mentre U_{Si} è la velocità di scorrimento sul terreno della tipologia i .

La propagazione del deflusso sul reticolo invece avviene secondo il modello cinematico diffusivo proposto da Orlandini e Rosso (1996) ed è basato sull'equazione:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c_k \frac{\partial Q}{\partial s} = D_h \frac{\partial^2 Q}{\partial s^2} + c_k Q_v / \Delta x \quad (10)$$

Dove Q è la portata, c_k la velocità dell'onda cinematica, D_h la diffusività idraulica e Δx il lato della cella.

L'equazione differenziale soprastante viene quindi risolta tramite il metodo Muskingam-Cunge, così da farla diventare un'equazione lineare:

$$Q_{i+1}^{j+1} = C_1 Q_i^{j+1} + C_2 Q_i^j + C_3 Q_{i+1}^j + C_4 q_{l,i+1}^{j+1} \quad (11)$$

Dove Q_{i+1}^{j+1} è la portata al nodo $i+1$ al tempo $(j+1) \Delta t$, mentre $q_{l,i+1}^{j+1}$ è la portata laterale allo stesso nodo ed intervalli di tempo; i coefficienti $C_1 - C_4$ invece sono funzioni di c_k e D_h ($q = Q_v/\Delta x$):

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{c_k(\Delta t/\Delta x) - 2X}{2(1-X) + c_k(\Delta t/\Delta x)} \\ C_2 &= \frac{c_k(\Delta t/\Delta x) + 2X}{2(1-X) + c_k(\Delta t/\Delta x)} \\ C_3 &= \frac{2(1-X) - c_k(\Delta t/\Delta x)}{2(1-X) + c_k(\Delta t/\Delta x)} \\ C_4 &= \frac{2C_k \Delta t}{2(1-X) + c_k(\Delta t/\Delta x)} \end{aligned} \quad (12)$$

dove x è il fattore di peso introdotto per imporre l'uguaglianza tra la diffusività idraulica e quella numerica:

$$X = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2D_h}{c_k \Delta x} \right) \quad (13)$$

Orlandini e Russo (1996) prevedono poi l'utilizzo delle relazioni geomorfologiche di Leopold e Maddock (1953), per cui la diffusività idraulica e la celerità dell'onda cinematica possono essere espressa in funzione della larghezza del fondo della sezioni di chiusura (B_0) e della scabrezza idraulica (k_s), calcolata con la relazione di Gauckler-Strickler:

$$D_h = \frac{3 \omega^{1-b_1}}{2(3 + 2b_1) B \tan \beta} \quad (14)$$

$$c_k = \frac{d\omega}{d\Omega} = \frac{5/(3 + 2b_1)\omega}{\Omega} = \frac{5}{(3 + 2b_1)B} B^{2/5} K_S^{3/5} S_0^{3/10} \omega^{2/(5(1-b_1))} \quad (15)$$

Dove: $B (= B_0(A/A_0)^{b_2})$ è un parametro di ampiezza associato ad A , contribuente alla cella del reticolo in esame; A_0 invece è l'area del bacino contribuente alla sezione di chiusura, B_0 la larghezza del corso d'acqua in corrispondenza della sezione di chiusura, b_1 e b_2 sono esponenti geomorfologici caratteristici della rete idrografica (Leopold e Maddock, 1953) e infine S_0 è la pendenza del letto del canale.

Concludendo quindi, il parametro ω è stimato con l'equazione:

$$\omega = B^{-2/(3+2b_1)} K_S^{3/(3+2b_1)} S_f^{1.5/(3+2b_1)} \Omega^{5/(3+2b_1)} \quad (16)$$

dove S_f è la pendenza della linea dell'energia posta uguale a S_0 e Ω l'area bagnata; di conseguenza se si assume che b_l sia pari a 0,26 (Leopold and Maddick, 1953; Orlandini e Rosso, 1996), l'unico parametro per la propagazione nel reticolo è K_s .

3.4.2 Modellazione dell'innescò delle colate detritiche

Il modello di innescò delle colate detritiche invece si basa su formule empiriche e matematiche; infatti l'innescò delle colate detritiche avviene quando la capacità di una corrente liquida mobilita una quantità di sedimenti necessaria a generare la colata detritica. Tale fenomeno avviene confrontando la portata della corrente (Q_R) con un valore critico della portata per l'innescò di una colata (Q_{CRIT}) (Gregoretti et al., 2019).

Quest'ultimo viene calcolato con formule empiriche derivanti da uno studio di Gregoretti e Dalla Fontana (2008) svolto su eventi di colata detritica avvenuti nella valle del Boite.

Il valore di Q_{CRIT} dipende dal diametro medio dei sedimenti costituenti il fondo (d_M) e dall'inclinazione del fondo (θ) ed ha la seguente equazione, espressa rispettivamente in forma dimensionale e adimensionale (Gregoretti e Dalla Fontana, 2008):

$$q_{crit} = 0.78 \frac{d_M^{1.5}}{\tan\theta^{1.27}} \quad (17)$$

$$q^* = \frac{0.195}{\tan\theta^{1.27}} \quad (18)$$

dove $q^* = q_{CRIT}/[(\rho_s/\rho-1)^{0.5} g^{0.5} d_M^{0.5}]$, mentre q_{CRIT} è il valore Q_{CRIT} per unità di larghezza.

Le colate detritiche si generano se il deflusso superficiale supera il valore soglia Q_{CRIT} e il volume liquido contribuente alla colata è quello per cui $Q > Q_{CRIT}$. Durante la propagazione, il materiale di maggior dimensioni raggiunge la testa della colata, ovvero il fronte della colata che risulta, quindi, costituito dal materiale più grossolano ed è caratterizzato dalle profondità più elevate. La colata si presenta, quindi, con un fronte carico di sedimenti ed un corpo caratterizzato da profondità e concentrazione di sedimenti decrescenti. Di conseguenza l'idrogramma delle profondità di una colata, ovvero l'andamento in funzione del tempo delle profondità di una colata in un punto definito del canale su cui si propaga, ha un andamento triangolare con un lato ascendente molto ripido ed uno discendente più dolce (Gregoretti et al., 2019).

Generalmente, in fase di realizzazione degli idrogrammi solido-liquidi di progetto per una colata detritica si prevede che vi siano 2 idrogrammi: uno che massimizza il valore di picco della portata (corrispondente alla precipitazione di massima intensità che investe tutto il bacino) e uno che massimizza il volume di deflusso solido-liquido (corrispondente ad una precipitazione di durata più lunga per cui risulta massimo il valore di deflusso).

Per quanto riguarda l'idrogramma che massimizza il picco di portata, essendo che le colate detritiche presentano un fronte pronunciato con profondità e concentrazione volumetrica della fase solida decrescenti verso monte, Gregoretto et al. (2019) hanno proposto un idrogramma solido-liquido di forma triangolare con valori fissati per il picco ed il volume solido-liquido.

Il valore di picco della portata solido-liquida (Q_P) viene stimato con la relazione di Lanzoni et al. (2017):

$$Q_P = \frac{c_*}{c_* - c_F} Q_{PL} \quad (19)$$

Dove Q_{PL} è il valore di picco dell'idrogramma liquido, c_* la concentrazione volumetrica dei sedimenti a riposo e c_F la concentrazione volumetrica dei sedimenti in corrispondenza del fronte, che viene calcolata con la relazione di Takahashi (2007) aggiornata da Lanzoni et al. (2017):

$$c_F = \frac{\rho \tan\vartheta}{(\rho_S - \rho)(\tan\varphi_{qs} - \tan\vartheta)} \quad (20)$$

dove θ è l'angolo di inclinazione del fondo e φ_{qs} è l'angolo di attrito quasi statico.

Il volume solido liquido della colata (V_{SL}) è dato dalla somma del volume di deflusso superficiale contribuente alla colata (V_L), del volume solido dei sedimenti inglobati nella corrente (V_S) e quello liquido di saturazione ($V_S/c_* - V_S$; dove il primo fattore è il volume di sedimenti, solido e liquido di saturazione):

$$V_{SL} = V_L + V_S/c_* \quad (22)$$

La durata dell'idrogramma invece è calcolata con la seguente equazione:

$$t_I = 2Q_P/V_{SL} \quad (22)$$

La concentrazione volumetrica di sedimento (c) viene assunta costante e pari al valore massimo (c_F) fino al picco $t \leq t_p$ (t_p = tempo al picco) e poi decresce linearmente. Il valore medio della concentrazione a valle del picco ($t_p \leq t \leq t_I$) risulta essere pari a:

$$c_m = \frac{V_S - 0.5 c_F Q_P t_p}{V_{SL} - 0.5 Q_P t_p} \quad (23)$$

Di conseguenza, la concentrazione per $t = t_I$, secondo l'assunzione lineare è:

$$c_I = c_m - (c_F - c_m) = 2c_m - c_F \quad (24)$$

Nel caso in cui c_I risultasse negativo, significa che il volume di sedimento è insufficiente per assicurare la decrescita lineare delle concentrazione, per tutta la durata dell'idrogramma, che si annulla per t_C :

$$t_C = 2 \frac{V_S - 0.5 c_F Q_P t_p}{c_F [V_{SL} - 0.5 Q_P t_p]} \quad (25)$$

Per quanto riguarda invece la realizzazione dell'idrogramma solido-liquido che massimizza il volume trasportato si usa un'idrogramma con la stessa forma di quello di deflusso superficiale contribuente alla colata e con concentrazione volumetrica di sedimento costante. A questo volume (V_L) viene associato un volume di sedimento e/o la concentrazione volumetrica dei sedimenti e tramite l'applicazione della conservazione della massa si ottiene l'idrogramma solido-liquido (Gregoretto et al., 2019).

La costanza della concentrazione volumetrica permette di esprimere la portata solido-liquida in funzione della portata di deflusso superficiale contribuente alla colata (Q_L) tramite il rapporto tra volume solido-liquido della colata e volume di deflusso superficiale contribuente alla colata:

$$Q = \frac{V_{SL}}{V_L} Q_L \quad (26)$$

La precedente equazione quindi assume le seguenti espressioni:

$$Q = \frac{V_L + V_S/c_*}{V_L} Q_L = \left(1 + \frac{V_S}{c_* V_L}\right) Q_L \quad (27)$$

$$Q = \frac{V_S/c}{V_L} Q_L = \frac{V_S/c}{V_S/c - V_S/c_*} Q_L = \frac{c_*}{c_* - c} Q_L \quad (28)$$

4. APPLICAZIONE DEL MODELLO AL CASO STUDIO: caratteristiche dei dati in input, preparazione e procedura di esecuzione

Il modello a celle di Gregoretti et al. (2019) è stato sviluppato in linguaggio Python ed è disponibile per QGIS solo nella sua versione 2.x.x; presenta la seguente interfaccia grafica:

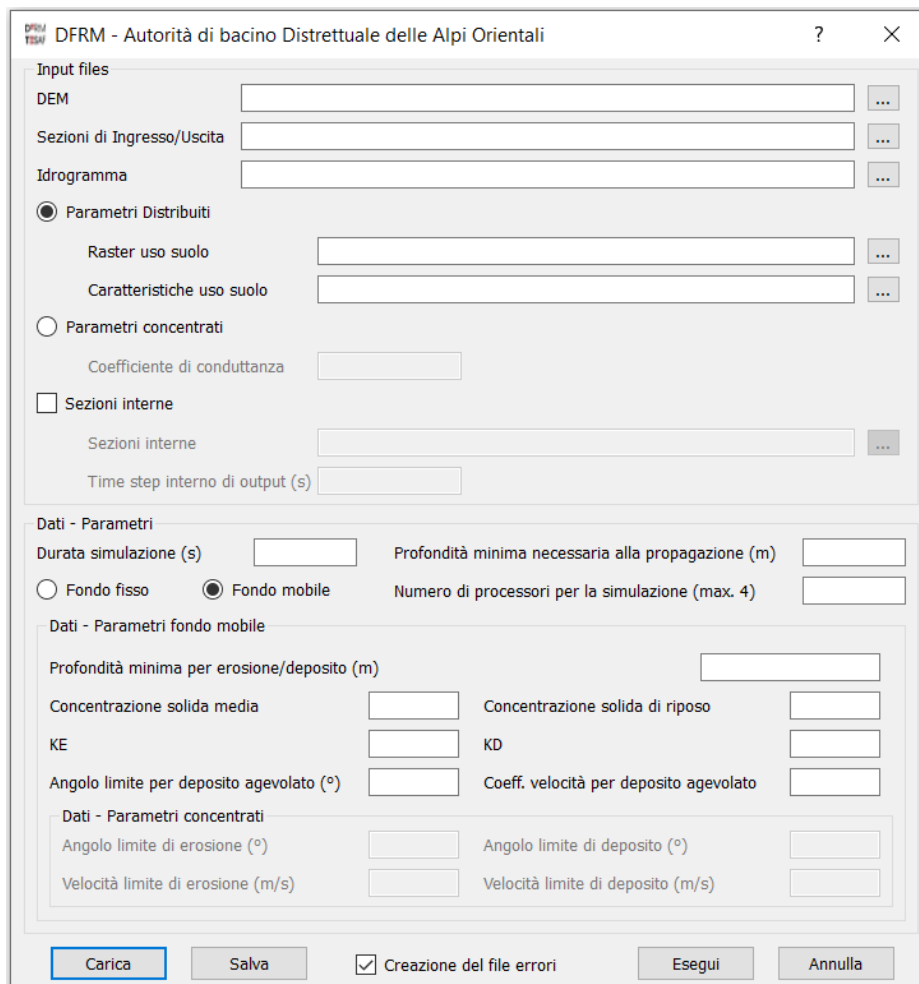


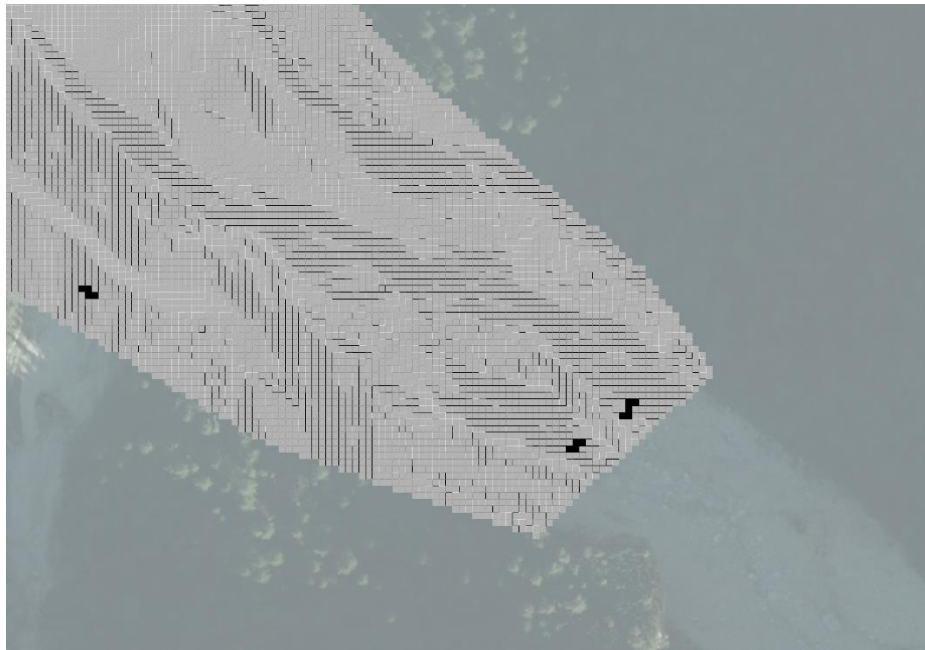
Figura 35. Interfaccia grafica del modello di Gregoretti et al. (2019)

4.1 Dati in input

Come mostrato in figura 35, i dati di input sono numerosi, vengono quindi descritti singolarmente:

- **DEM** (Digital Elevation Model): si tratta di un file raster, inserito o come file .tiff o come file .flt, dato che deve essere georeferenziato e del corrispettivo file .prj che identifica il sistema di riferimento; nel caso di questo elaborato la proiezione cartografica utilizzata è quella di Gauss-Boaga fusto ovest (EPSG 3003) e la risoluzione delle celle è di 2x2 m.

- Sezioni di ingresso/uscita: rappresentano la linea di sezione dove il flusso entra all'interno del bacino in analisi nel caso di sezioni di ingresso, oppure esce nel caso di sezioni di uscita; è un file di tipo .tif e per ogni sezione di entrata verrà assegnato un idrogramma di deflusso. Le sezioni devono essere costituite da celle contigue fra loro e svilupparsi solo lungo le direzioni cardinali, non oblique; in figura 36 viene riportato un esempio di sezioni di entrata, marcate in nero.



| Figura 36. Alcune delle sezioni di ingresso utilizzate

- Idrogramma: descrive le caratteristiche del deflusso in entrata per ogni sezione di entrata riportata nel file sezioni di ingresso; è costituito da un file .txt con 3 colonne: tempo (secondi), portata totale (m³/s) e concentrazione volumetrica della fase solida (valore da 0 a 1). Viene riportato in figura un esempio di porzione di idrogramma utilizzato:

| Sezione Secco | | |
|---------------|-----------|------------|
| 60 | 0 | 0 |
| 120 | 0.00008 | 0 |
| 180 | 0.00371 | 0 |
| 240 | 0.00683 | 0 |
| 300 | 0.01732 | 0 |
| 360 | 0.04252 | 0 |
| 420 | 0.08184 | 0 |
| 480 | 0.26177 | 0 |
| 540 | 0.38525 | 0 |
| 600 | 0.47319 | 0 |
| 660 | 1.01372 | 0 |
| 720 | 2.55469 | 0 |
| 780 | 7.4771517 | 0.11096628 |
| 840 | 14.999128 | 0.12361439 |
| 900 | 23.83863 | 0.13586813 |
| 960 | 27.652256 | 0.14049473 |

| Figura 37. Esempio di una porzione di idrogramma per una sezione di ingresso utilizzata

- Raster uso suolo: identifica la tipologia di uso del suolo attribuendone un codice, si tratta di un file .tif o .flt
- Caratteristiche uso suolo: contiene i parametri caratteristici per ogni tipo di suolo ed è un file .txt; i parametri da definire per ogni uso del suolo sono:
 - Codice identificativo del suolo
 - Coefficiente di conduttanza: è un parametro che controlla la resistenza al moto, tale per cui maggiore è il coefficiente di conduttanza, minore è la resistenza al moto
 - Identificativo per il fondo fisso o fondo mobile
 - Angolo inferiore limite per l'erosione: angolo (in gradi) sopra il quale può avvenire il fenomeno dell'erosione
 - Velocità limite per l'erosione: velocità (espressa in m/s) minima necessaria per avere erosione
 - Angolo superiore limite per il deposito: angolo (in gradi) sotto il quale può avvenire il fenomeno di deposito
 - Velocità limite per il deposito: velocità massima ammissibile per avere deposito
 - Valore della concentrazione solida del fondo
 - Identificativo per stabilire l'erodibilità del suolo, va da 0 per suoli erodibili a 1 per suoli inerodibili
- Sezioni interne: sono delle sezioni di controllo all'interno del canale della colata, anch'esse sono un file raster in formato .tif o .flt composto da celle contigue lungo le direzioni cardinali. Hanno lo scopo di poter verificare nei file di output che durante la simulazione non si siano verificati errori sull'andamento della colata detritica, ma anche di analizzare le caratteristiche della colata detritica durante il passaggio lungo la sezione.
- Parametri per il fondo mobile: sono una serie di fattori usati per determinare la mobilità del fondo del canale; per tutte le simulazioni sono stati usati i seguenti valori:

| | | | |
|---|----------------------------------|--|----------------------------------|
| Profondità minima per erosione/deposito (m) | <input type="text" value="0.1"/> | | |
| Concentrazione solida media | <input type="text" value="0.0"/> | Concentrazione solida di riposo | <input type="text" value="0.0"/> |
| KE | <input type="text" value="0.5"/> | KD | <input type="text" value="1.0"/> |
| Angolo limite per deposito agevolato (°) | <input type="text" value="5.0"/> | Coeff. velocità per deposito agevolato | <input type="text" value="5.0"/> |

| Figura 38. Parametri utilizzati per le modellazioni

Viene anche fornita una descrizione dei parametri:

- *Profondità minima per erosione/deposito*: è la profondità minima sulla cella affinché avvengano deposito o erosione; tale valore deve essere superiore al valore di profondità minima necessaria alla propagazione

- *Concentrazione solida media*: è il valore della concentrazione solida del flusso in entrata
- Concentrazione solida di riposo: è il valore della concentrazione solida del fondo
- KE: è il coefficiente di Egashira per l'erosione
- KD: è il coefficiente di Egashira per il deposito
- Angolo limite per deposito agevolato: è l'angolo limite al di sotto del quale la velocità di deposito viene accelerata
- Coefficiente velocità per deposito agevolato: è un coefficiente moltiplicativo di accelerazione della velocità di deposito.

4.2 Preparazione dei dati di input

La preparazione dei dati di input è un passo fondamentale per ottenere dei buoni risultati dalle simulazioni; viene quindi riportato un sunto sulla preparazione dei diversi file, da inserire poi all'interno del modello, così come riportato anche nel manuale d'uso del modello di Gregoretto et al. (2019). Per quanto riguarda le sezioni di ingresso, ne è stata posizionata una per ogni sottobacino che compone il complessivo bacino del Ru Secco, aventi una lunghezza variabile in funzione delle caratteristiche di ogni canale; in riferimento alla sezione di uscita invece, ne è stata posizionata una unica nei pressi dell'abitato di San Vito di Cadore disposta in maniera semicircolare, in modo da captare tutto il deflusso in uscita, senza incorrere in possibili perdite.

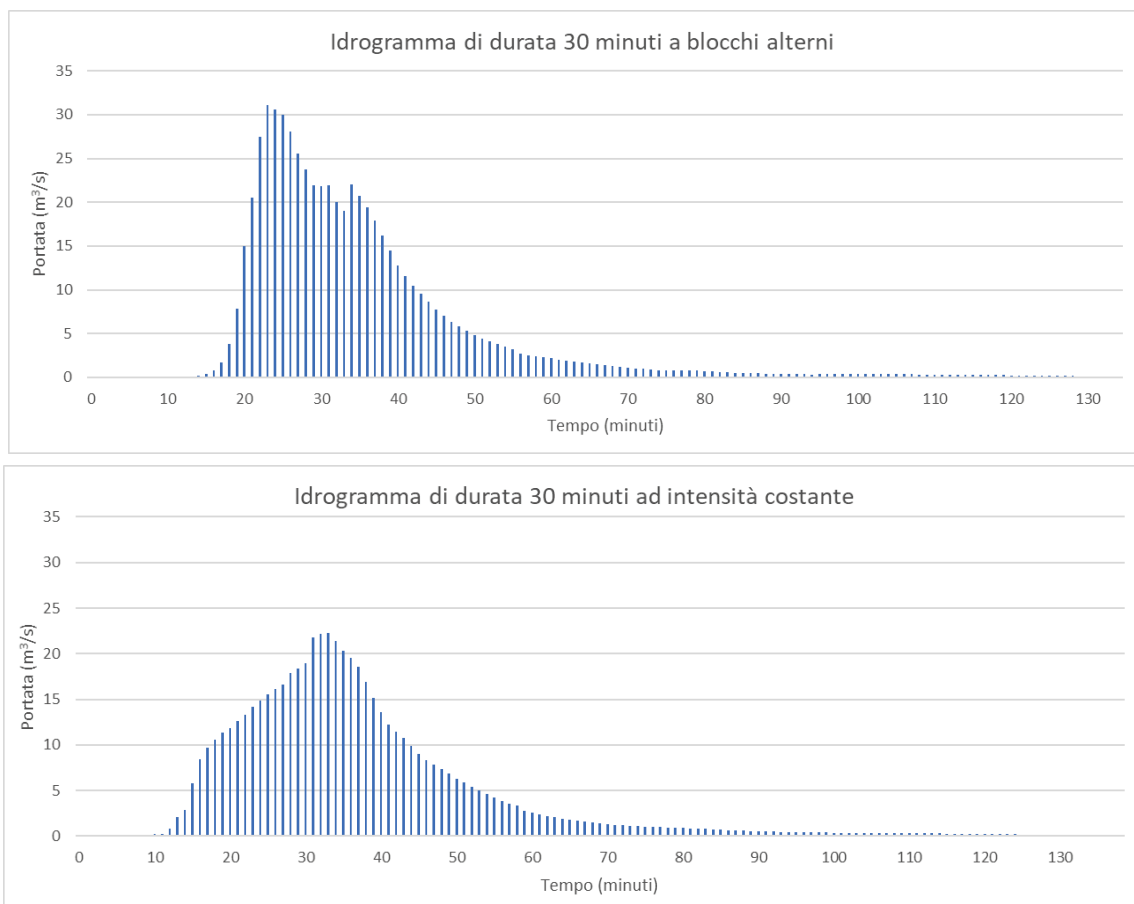
Tali sezioni, come precedentemente descritto, devono essere costruite in modo che le direzioni delle celle siano lungo le direzioni cardinali, in modo da captare tutta la portata transitante per la sezione, diversamente da quanto accade invece se la sezione fosse obliqua. Al fine di rispettare i criteri di progettazione del modello, le sezioni in ingresso sono state numerate progressivamente a partire dal numero 5000, le sezioni di uscita a partire dal numero 9000, invece le sezioni interne di controllo vengono numerate a partire dal valore 1000. È stato fondamentale rispettare tale numerazione progressiva per non incorrere in errori.

4.2.1 Costruzione degli idrogrammi in input

In seguito, sono stati realizzati gli idrogrammi di progetto, a partire da una simulazione di precipitazione per un TR di 300 anni; la simulazione della precipitazione prevede di partire da un deflusso superficiale, che si trasforma in portata liquida secondo il modello idrologico spiegato nel paragrafo 3.4.1. Il deflusso superficiale però, è a sua volta generato da una precipitazione totale, la cui distribuzione ai fini della simulazione è stata determinata avvalendosi di due forme di distribuzione della letteratura scientifica (Chow, Maidment, Mays; 1988):

- Blocchi alterni: si tratta di uno ietogramma costruito mediante dei blocchi alternati attorno all'intervallo di picco. Con questo metodo si calcolano direttamente le altezze di pioggia incrementali corrispondenti ad n intervalli di tempo sub-orari Δt successivi in cui è stata suddivisa la durata totale della pioggia. Dalla curva di possibilità pluviometrica si ricavano le altezze di pioggia per ciascuna durata Δt , $2\Delta t$, $3\Delta t$... $n\Delta t$ (altezze cumulate); facendo la differenza tra le altezze di pioggia corrispondenti a due durate successive si ottiene la pioggia incrementale relativa a ciascun intervallo considerato (blocchi). I blocchi così ottenuti vengono poi riordinati in una sequenza temporale con la massima intensità in corrispondenza dell'intervallo di picco. I blocchi rimanenti vengono disposti alternativamente a cavallo dell'intervallo di picco (Bernard et al., 2019).
- Intensità costante: si tratta di uno ietogramma con precipitazione ad intensità costante nel tempo, generando di conseguenza un idrogramma che massimizza il volume liquido contribuente alla colata (Gregoretti e Bernard, 2019).

Vengono mostrati 2 grafici riportanti le differenze di idrogramma generato dallo ietogramma a blocchi alterni e quello ad intensità costante per la durata di precipitazione di 30 minuti e usato come input per il modello DFRM:



▮ *Grafici 3 e 4. Idrogramma 30 minuti a blocchi alterni (sopra) e ad intensità costante (sotto)*

Si può osservare come varia la differenza fra gli idrogrammi generati da uno ietogramma a blocchi alterni e uno ad intensità costante; infatti, l'idrogramma ad intensità costante tende ad avere valori al picco molto minori rispetto a quello a blocchi alterni.

Per la realizzazione degli idrogrammi solido-liquidi quindi, si parte dagli ietogrammi per poter fare la modellazione idrologica, dopodiché, dall'idrogramma liquido si ricava l'idrogramma solido-liquido. Gli ietogrammi usati nel bacino del Ru Secco, sono di 2 principali tipologie:

- Ietogrammi a blocchi alterni aventi durate di precipitazione di 15, 30, 45, 60 e 75 minuti
- Ietogramma a blocchi alterni aventi durata di precipitazione pari a quella del tempo critico del bacino; nel caso del Ru Secco tale arco temporale è stato stimato in 15 minuti

Lo ietogramma ad intensità costante invece è costituito da una linea retta nel tempo per le specifiche durate di 30, 45, 60 e 75 minuti.

I vari ietogrammi quindi vengono usati come input per il modello, il quale genera gli idrogrammi, secondo lo schema di calcolo approfondito nel paragrafo 3.4.1; in seguito, da questo idrogramma è possibile ricavare l'idrogramma solido, secondo le equazioni riportate nel capitolo 3.4.2. Per la determinazione del volume solido si sono poste diverse assunzioni, a seconda dei diversi bacini che contribuiscono ad alimentare il Ru Secco:

- Ru Salvella e Ru Antrimoja: da essi deriva la maggior parte dell'apporto solido che in seguito confluisce nel Ru Secco e per la determinazione del volume solido ottenuti dagli ietogrammi a blocchi alterni e ad intensità costante per le durate di precipitazione di 15, 30, 45, 60 e 75 minuti, si è ipotizzato di variare la concentrazione c della colata detritica (concentrazione della componente solida) da $c = c_{\max} = 0,9c^*$ negli istanti iniziali (dove c^* è la concentrazione solido volumetrica di riposo al fondo, assunta pari a 0,59 da sopralluoghi e rilievi in campo, da cui deriva che $c = 0,531$) a $c = 0$ per il resto dell'onda solido-liquida, andando così ad ipotizzare una colata detritica avente un fronte carico di sedimento e una coda prettamente liquida.

Invece, per gli idrogrammi solido-liquidi generati con lo schema di calcolo proposto dall'Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali nel Piano di Gestione dal Rischio Alluvioni (P.G.R.A.), la determinazione del volume solido dell'idrogramma che massimizza il picco è stato calcolato a partire dall'equazione di Marchi et al. (2019):

$$V_{SED} = 52000 * A^{0.94} \quad (29)$$

dove A è l'area del bacino contribuente alla sezione di chiusura; tale equazione è valida per bacini contribuenti con area inferiore a 1 km^2 .

Una volta calcolato il volume di sedimento da attribuire all'idrogramma liquido per $T_r = 100$ anni, si determina una concentrazione media della colata detritica di $T_r=100$ anni e la si applica all'idrogramma liquido di $T_r=300$ anni, ottenendo così il volume di sedimento trasportato per la colata detritica avente un tempo di ritorno trecentennale. Infine, per determinare l'idrogramma solido-liquido si ipotizza di avere la concentrazione solida massima al fronte della colata, che diminuisce man mano per il corpo centrale e la coda, così da mantenere una concentrazione media pari a quella calcolata in precedenza.

Per quanto riguarda invece il volume solido dell'idrogramma di 30 minuti costruito a partire dalle direttive del PGRA, si è ipotizzato di raddoppiare il tempo di durata della precipitazione e applicare una concentrazione di sedimento costante e pari 0,4 per l'intera colata detritica.

- Ru de Rede: anch'esso è in grado di generare una colata detritica in quanto vi è presenza di sedimento solido e per esso si è ipotizzato di assumere una concentrazione media c_m pari a 0,2 da applicare a tutti gli idrogrammi solido-liquidi per tutta la loro durata, in quanto il volume di sedimento nell'area di innesco, rispetto al Ru Salvella e Antrimoia, è presente in minori quantitativi, anche se importanti da considerare.; nonostante tutto durante la propagazione verso valle la colata assume in carico notevoli quantitativi di sedimento.
- Ru Secco: a causa della sua morfologia non eccessivamente pendente e con limitata alimentazione solida, tale bacino non è in grado di movimentare quantitativi di detrito sufficienti per lo sviluppo di una colata detritica, si suppone quindi di attribuire all'idrogramma solido-liquido una concentrazione media pari a 0,1 per le portate superiori alla portata critica calcolata, di cui l'equazione è riportata nel paragrafo 3.4.2.

Per tutti gli altri bacini idrografici si suppone che alla loro sezione di chiusura non vi sia deflusso solido, tale per cui la concentrazione viene posta pari a zero e tutto il materiale che in seguito viene preso in carico verrà determinato dal modello durante la fase di propagazione del fenomeno.

Grazie agli idrogrammi liquidi e solido-liquidi è quindi possibile realizzare un file per ogni bacino di alimentazione; si tratta di un file .txt, di cui ne viene portato un esempio nella seguente foto in riferimento ad una sezione di ingresso utilizzata per le seguenti modellazioni.

```

3Tempo ritorno,0,Parametro a,62.80,Parametro n,0.43
yr, m, d, h, m, s, Qtot, Qdir, Qbas, Ptot, Pexc, Stor
2021,10,18,00,00,00,0.00000,0.00000,0.00000,0.00000,0.00000,0.00000
2021,10,18,00,00,05,0.00000,0.00000,0.00000,0.12485,0.00000,0.12485
2021,10,18,00,00,10,0.00030,0.00000,0.00030,0.12485,0.00000,0.24970
2021,10,18,00,00,15,0.00060,0.00000,0.00060,0.12485,0.00000,0.37455
2021,10,18,00,00,20,0.00090,0.00000,0.00090,0.12485,0.00000,0.49939
2021,10,18,00,00,25,0.00120,0.00000,0.00120,0.12485,0.00000,0.62423
2021,10,18,00,00,30,0.00150,0.00000,0.00150,0.12485,0.00000,0.74907
2021,10,18,00,00,35,0.00180,0.00000,0.00180,0.12485,0.00000,0.87390
2021,10,18,00,00,40,0.00210,0.00000,0.00210,0.12485,0.00000,0.99873
2021,10,18,00,00,45,0.00240,0.00000,0.00240,0.12485,0.03024,1.09331
2021,10,18,00,00,50,0.00262,0.00000,0.00262,0.12485,0.04234,1.17579
2021,10,18,00,00,55,0.00282,0.00000,0.00282,0.12485,0.04234,1.25826
2021,10,18,00,01,00,0.00302,0.00000,0.00302,0.12485,0.04234,1.34074
2021,10,18,00,01,05,0.00322,0.00000,0.00322,0.12485,0.04234,1.42321
2021,10,18,00,01,10,0.00342,0.00000,0.00342,0.12485,0.04235,1.50567
2021,10,18,00,01,15,0.00361,0.00000,0.00361,0.12485,0.04235,1.58814
2021,10,18,00,01,20,0.00381,0.00000,0.00381,0.12485,0.04235,1.67059
2021,10,18,00,01,25,0.00401,0.00000,0.00401,0.12485,0.04235,1.75305
2021,10,18,00,01,30,0.00421,0.00000,0.00421,0.12485,0.04235,1.83551
2021,10,18,00,01,35,0.00441,0.00000,0.00441,0.12485,0.04235,1.91796

```

Figura 39. File di esempio dei risultati della modellazione idrologica per un bacino in analisi.

Il file riporta diversi dati e risultati: l'istante temporale considerato, la portata totale (Q_{tot}), la portata superficiale defluita (Q_{dir}), la portata sottosuperficiale di base (Q_{base}), la precipitazione totale (P_{tot}), la precipitazione in eccesso che produce deflusso superficiale (P_{exc}) e precipitazione accumulata all'interno del bacino (S_{tor}).

Il successivo file idrogramma di input solido-liquido per il modello dovrà quindi essere costituito da sole 3 colonne, come prima descritto, riportanti l'istante temporale, la portata solido-liquida e la relativa concentrazione solido-liquida; a questo punto i file idrogrammi opportunamente elaborati sono pronti per essere inseriti all'interno del modello di simulazione.

Nei seguenti grafici vengono riportati gli idrogrammi solido-liquidi di Ru Salvella, Ru Antrimoia, Ru de Rede e Ru Secco per la precipitazioni a blocchi alterni aventi una durata di 15, 30, 45, 60 e 75 minuti e ad intensità costante aventi una durata pari a 30, 45, 60 e 75 minuti.

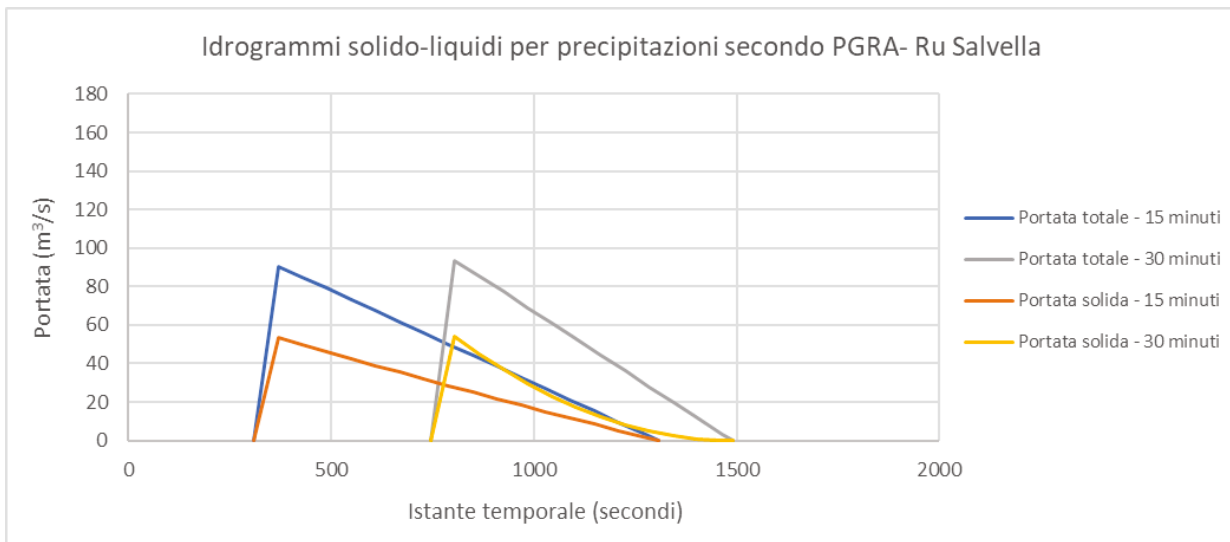
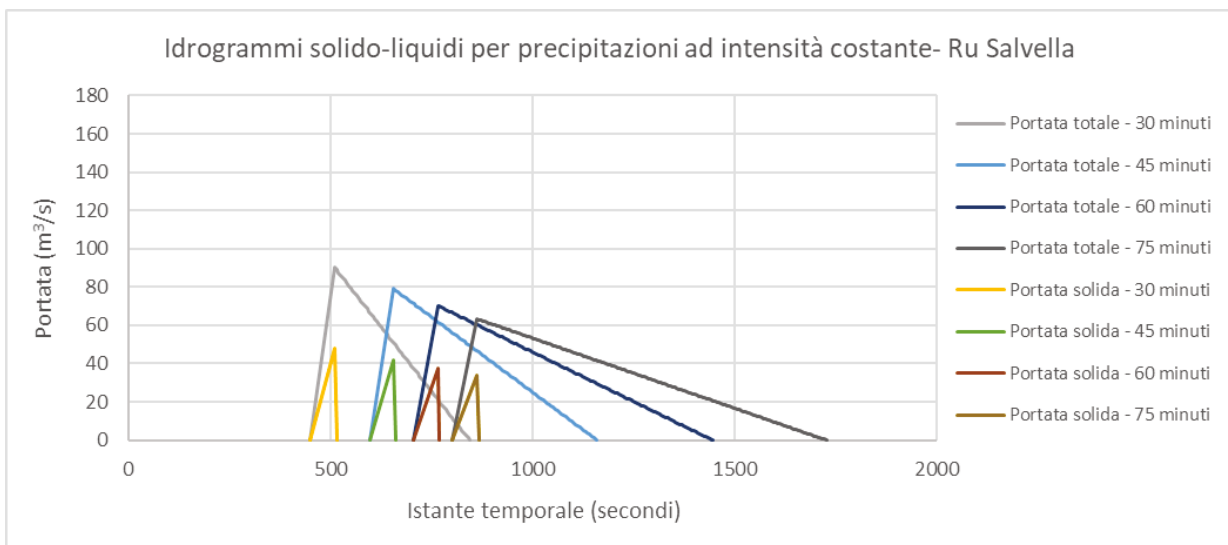
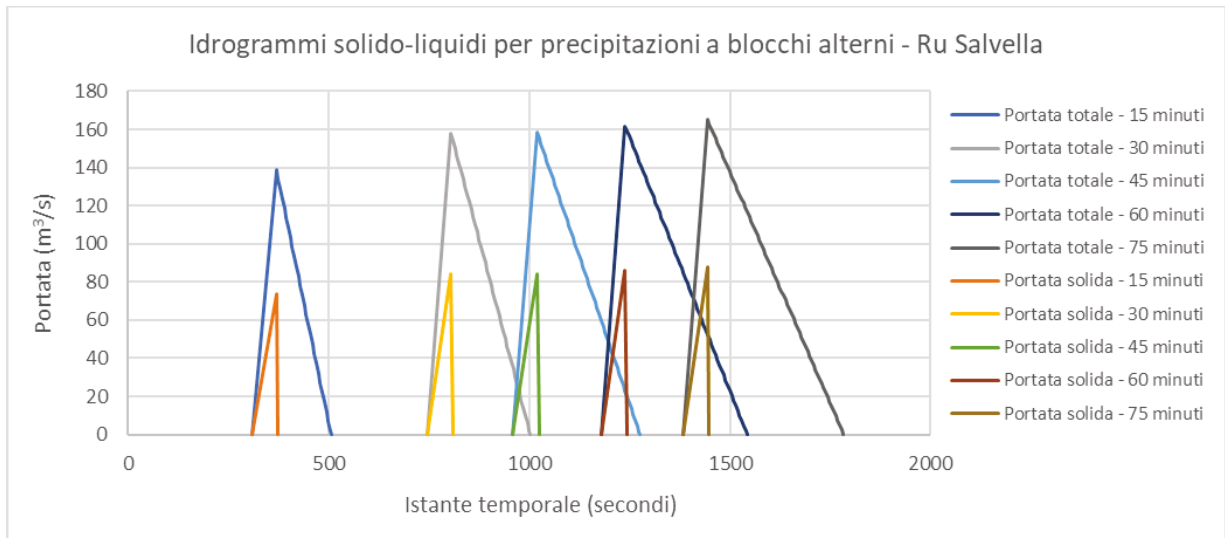


Grafico 5. Idrogrammi di piena per diverse precipitazioni in riferimento al bacino del Ru Salvella

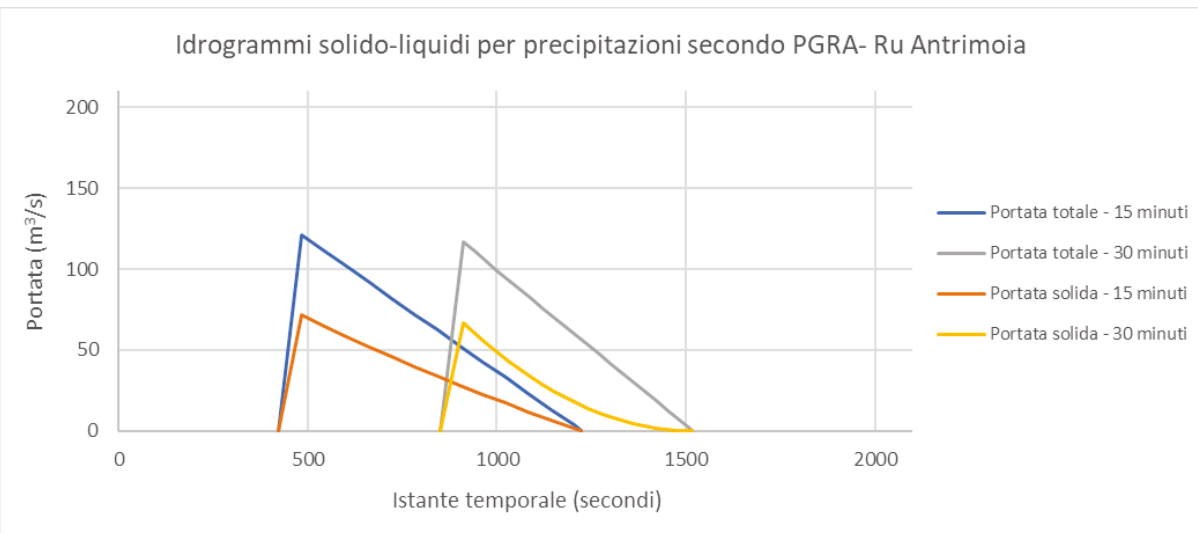
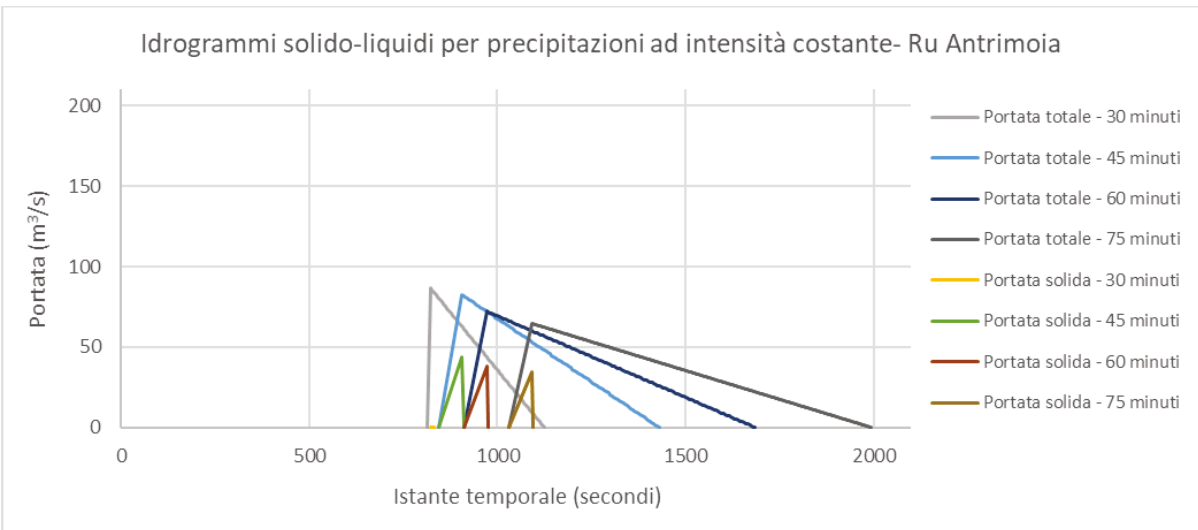
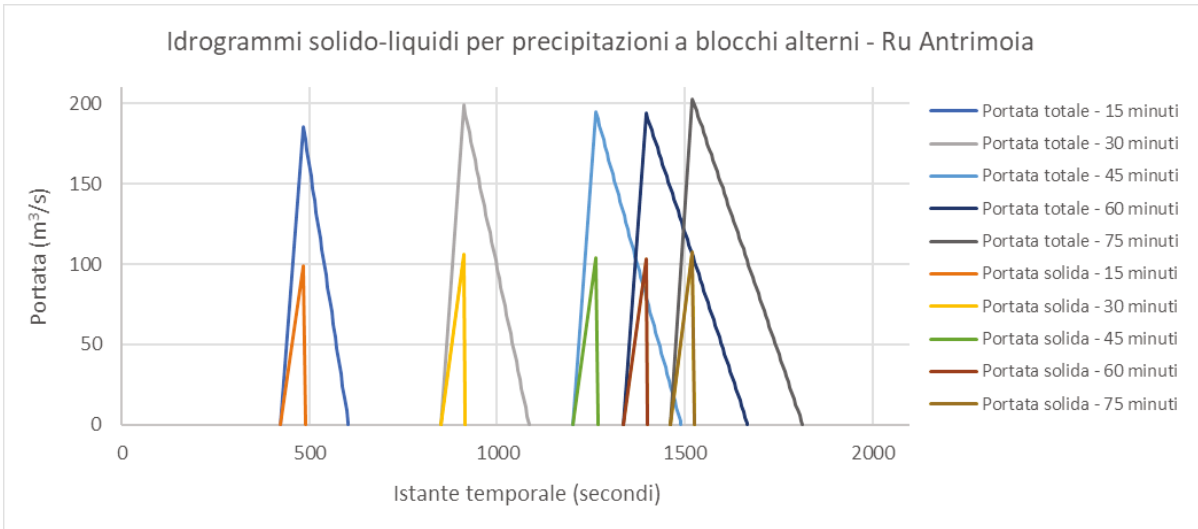


Grafico 6. Idrogrammi di piena per diverse precipitazioni in riferimento al bacino del Ru Antrimoia

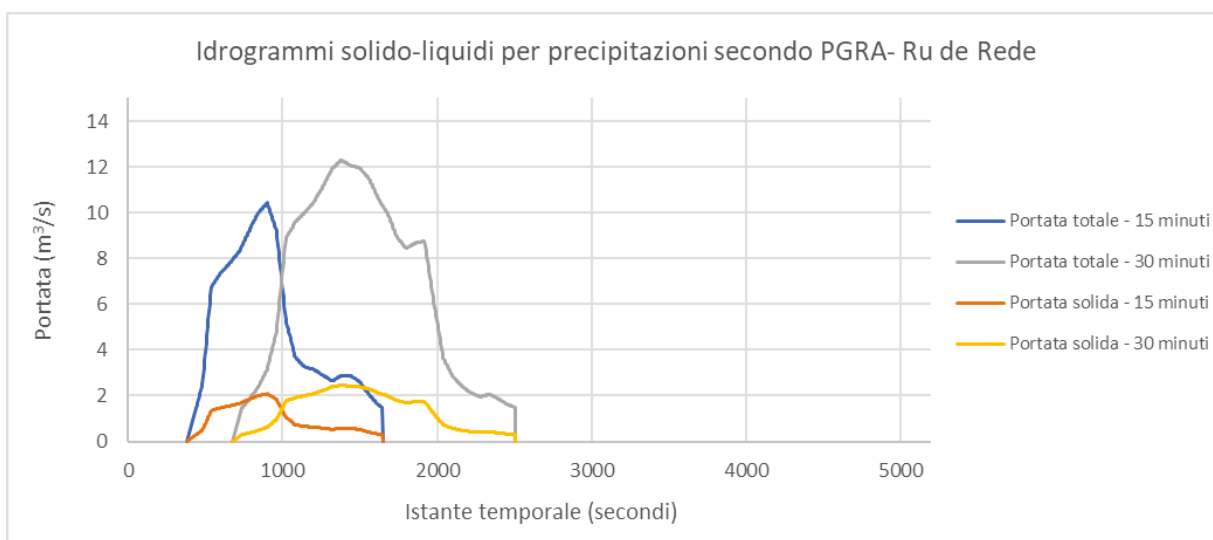
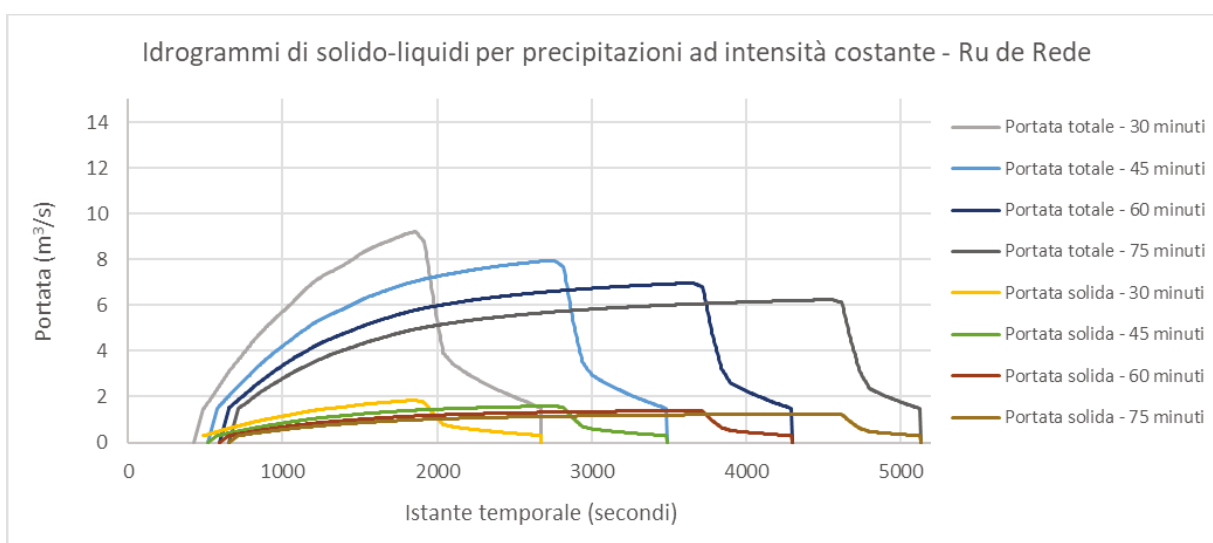
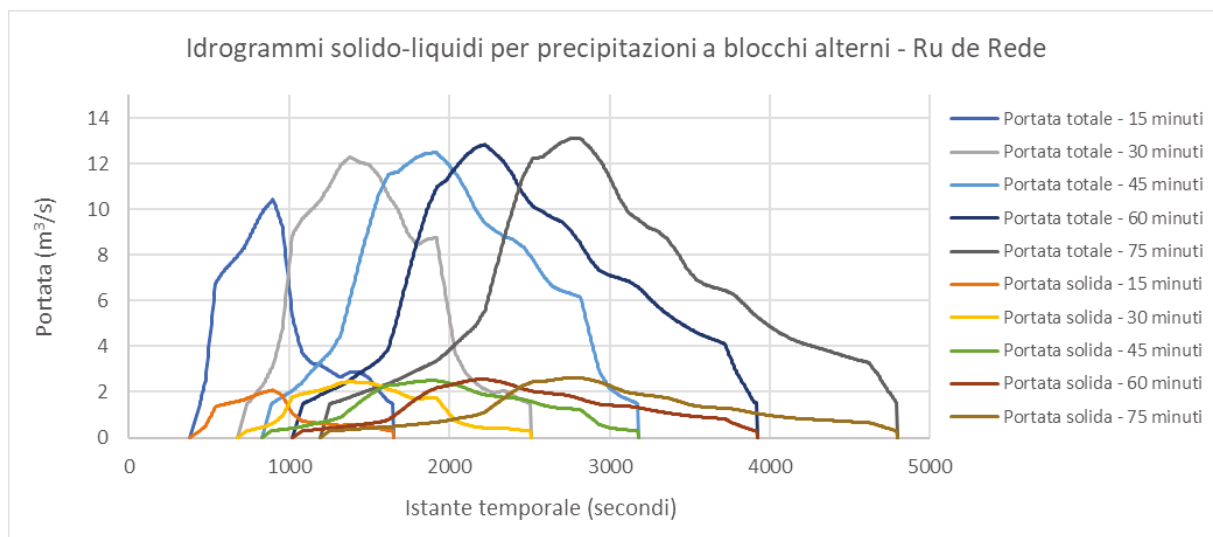
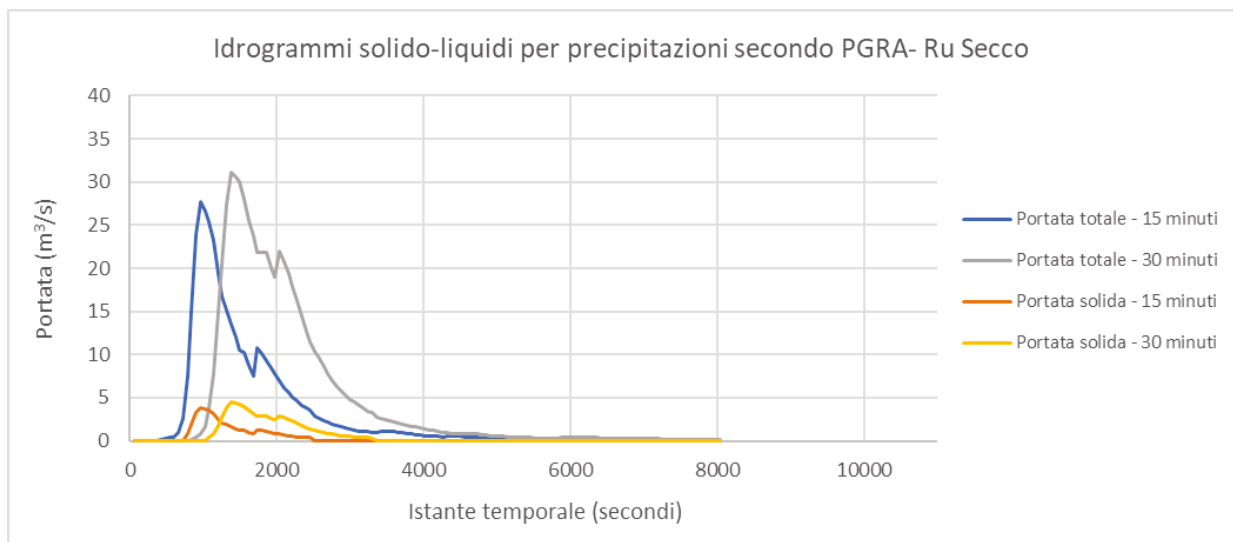
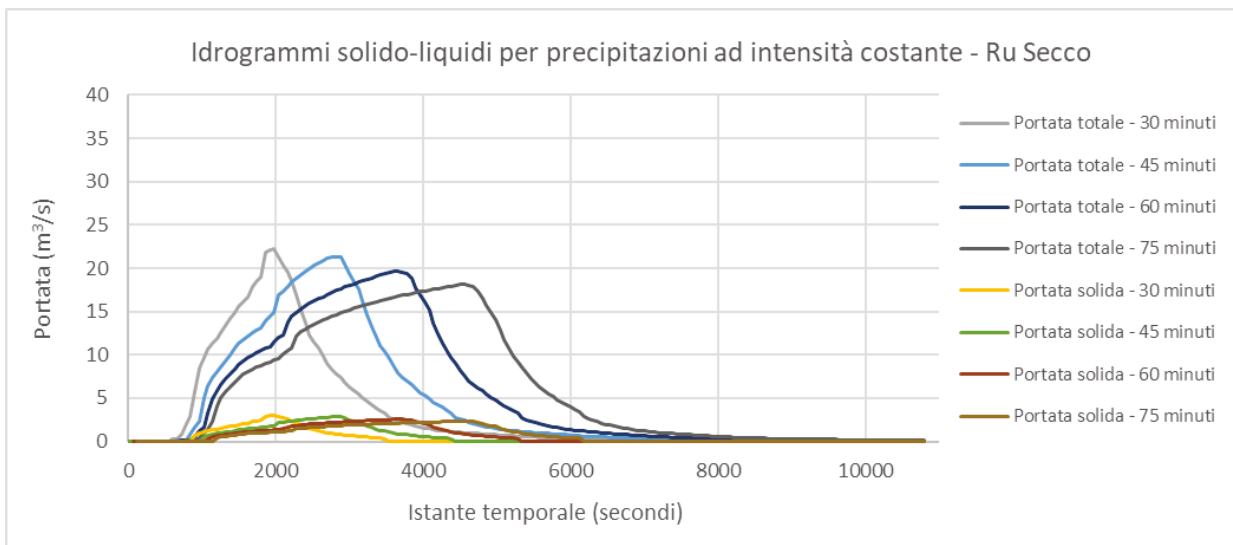
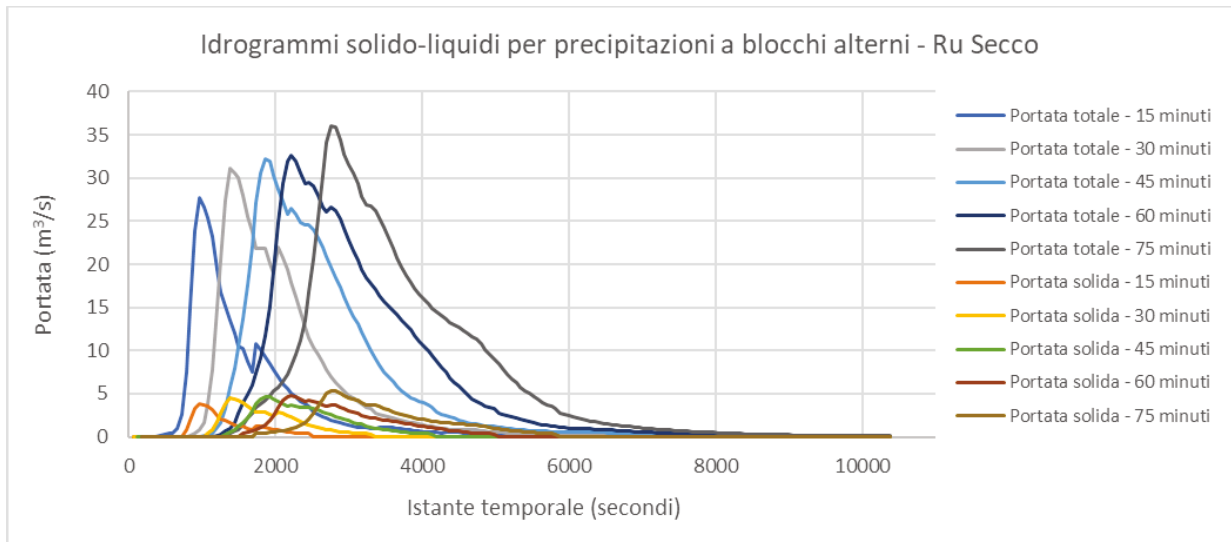


Grafico 7. Idrogrammi di piena per diverse precipitazioni in riferimento al bacino del Ru de Rede



Grafici 8. Idrogrammi di piena per diverse precipitazioni in riferimento al bacino del Ru Secco

A supporto dei grafici sopra riportati, viene inserita una tabella che analizza per ogni idrogramma solido-liquido riferito ad ogni bacino contribuente i valori di Q_{picco} liquida, il volume liquido contribuente alla colata, la Q_{picco} solido-liquida, il volume solido-liquido e il volume solido.

| | Precipitazione | Q_{picco} liquida (m ³ /s) | Volume liquido (m ³) | Q_{picco} solido-liquida (m ³ /s) | Volume solido-liquido (m ³) | Volume solido (m ³) |
|----------------|----------------|---|----------------------------------|--|---|---------------------------------|
| Ru Salvella | 15 minuti | 133.9 | 11'868 | 139.0 | 17'498 | 5'629 |
| | 30 minuti b.a. | 154.1 | 18'314 | 158.1 | 24'715 | 6'401 |
| | 30 minuti i.c. | 87.5 | 16'590 | 90.2 | 20'245 | 3'655 |
| | 45 minuti b.a. | 155.4 | 23'082 | 158.5 | 29'500 | 6'418 |
| | 45 minuti i.c. | 78.2 | 21'204 | 79.0 | 24'402 | 3'198 |
| | 60 minuti b.a. | 159.1 | 27'305 | 161.8 | 33'858 | 6'552 |
| | 60 minuti i.c. | 69.8 | 25'127 | 70.3 | 27'976 | 2'849 |
| | 75 minuti b.a. | 162.6 | 30'867 | 165.0 | 37'550 | 6'683 |
| | 75 minuti i.c. | 63.0 | 28'472 | 63.3 | 31'037 | 2'565 |
| | 15 minuti PGRA | 63.4 | 19'242 | 90.6 | 45'290 | 26'047 |
| 30 minuti PGRA | 65.6 | 20'944 | 93.7 | 34'925 | 13'981 | |
| Ru Antrimoia | 15 minuti | 178.0 | 14'353 | 185.8 | 21'876 | 7'523 |
| | 30 minuti b.a. | 193.5 | 20'783 | 199.2 | 28'853 | 8'070 |
| | 30 minuti i.c. | 96.7 | 18'470 | 98.1 | 22'443 | 3'973 |
| | 45 minuti b.a. | 190.8 | 25'481 | 195.1 | 33'382 | 7'901 |
| | 45 minuti i.c. | 81.8 | 23'078 | 82.6 | 26'422 | 3'345 |
| | 60 minuti b.a. | 190.5 | 29'556 | 194.1 | 37'416 | 7'860 |
| | 60 minuti i.c. | 71.7 | 27'002 | 72.3 | 29'929 | 2'926 |
| | 75 minuti b.a. | 199.2 | 33'149 | 202.6 | 41'356 | 8'207 |
| | 75 minuti i.c. | 64.2 | 30'286 | 64.6 | 32'903 | 2'616 |
| | 15 minuti PGRA | 77.9 | 21'383 | 111.3 | 48'507 | 27'124 |
| | 30 minuti PGRA | 81.6 | 24'048 | 116.5 | 40'598 | 16'549 |
| Ru de Rede | 15 minuti | 8.3 | 5'082 | 10.4 | 6'352 | 1'270 |
| | 30 minuti b.a. | 9.8 | 9'788 | 12.3 | 12'235 | 2'447 |
| | 30 minuti i.c. | 7.4 | 9'280 | 9.2 | 11'601 | 2'320 |
| | 45 minuti b.a. | 10.0 | 13'075 | 12.5 | 16'343 | 3'269 |
| | 45 minuti i.c. | 6.1 | 12'453 | 7.7 | 15'566 | 3'113 |
| | 60 minuti b.a. | 10.3 | 15'652 | 12.8 | 19'565 | 3'913 |
| | 60 minuti i.c. | 5.1 | 15'031 | 6.4 | 18'789 | 3'758 |
| | 75 minuti b.a. | 10.5 | 17'847 | 13.1 | 22'308 | 4'462 |
| | 75 minuti i.c. | 5.0 | 17'183 | 6.2 | 21'479 | 4'296 |
| | 15 minuti PGRA | 7.3 | 5'082 | 10.4 | 6'352 | 1'270 |
| | 30 minuti PGRA | 8.6 | 9'788 | 12.3 | 12'235 | 2'447 |
| Ru Secco | 15 minuti | 23.8 | 21'620 | 27.7 | 24'233 | 2'613 |
| | 30 minuti b.a. | 26.6 | 33'001 | 31.1 | 37'434 | 4'434 |
| | 30 minuti i.c. | 19.3 | 31'709 | 22.2 | 35'644 | 3'935 |
| | 45 minuti b.a. | 27.5 | 42'830 | 32.2 | 48'799 | 5'969 |
| | 45 minuti i.c. | 18.5 | 41'475 | 21.3 | 46'812 | 5'337 |
| | 60 minuti b.a. | 27.8 | 51'137 | 32.6 | 58'318 | 7'181 |
| | 60 minuti i.c. | 17.1 | 49'723 | 19.7 | 56'203 | 6'481 |
| | 75 minuti b.a. | 30.6 | 58'263 | 36.0 | 66'491 | 8'228 |
| | 75 minuti i.c. | 18.8 | 56'941 | 18.1 | 64'348 | 7'407 |
| | 15 minuti PGRA | 23.8 | 21'620 | 27.7 | 24'233 | 2'613 |
| | 30 minuti PGRA | 26.6 | 33'001 | 31.1 | 37'434 | 4'434 |

Tabella 3. Sommario riportante diversi parametri del deflusso-solido liquido per ogni idrogramma di piena e bacino contribuente

4.3 Procedura di esecuzione e output

Una volta inseriti correttamente tutti i file di input, può essere avviata la simulazione, la quale ha una durata variabile in funzione della dimensione del bacino, della risoluzione dei raster inseriti e del numero di processori che si vogliono impiegare per il modello.

Nel caso del seguente elaborato le simulazioni hanno avuto una durata variabile tra le 4 e le 6 ore, a causa della complessità del bacino e della sua importante estensione.

I file di output sono numerosi e possono essere distinti in 3 categorie, riportate nei seguenti sottoparagrafi.

4.3.1. Registro simulazione

È un file con estensione .log che riporta la registrazione sequenziale delle operazioni effettuate durante la simulazione di colata detritica; in particolare esso riporta inizialmente un riassunto dei dati di input e le eventuali segnalazioni di errore che si sono generate durante il processo e che verranno anche riportate in un file apposito degli errori (.err).

Infine, nella parte terminale del file vengono riportati i risultati volumetrici mobilitati durante il processo di simulazione; viene riportato nella seguente immagine un esempio di risultati generati da una simulazione effettuata.

```
Volume in ingresso                               73243.0

volume solido in ingresso (m^3)                  9479.8
controllo finale conservazione massa del volume in ingresso:
differenza relative (%)                          0.04268
differenza relativa massima durante la simulazione: 0.00050
al tempo (secondi): 7006.26758

Volume totale sul campo di moto (m^3)            24702.1289

Volume di deflusso (m^3)                         2023.0851
volume solido di deflusso (m^3)                  7299.68604

Volume fuoriuscito (m^3)                        48650.86

Volume solido fuoriuscito (m^3)                  2262.85

senza il deposito delle profondita minori del valore minimo per la propagazione
Volume di sedimento totale eroso (-)/depositato (+) (m^3)
-135.662

Volume solido totale eroso (-)/depositato (+) (m^3)
-83.948

dopo il deposito delle proofondita minori di quella minima per la propagazione

Volume di sedimento totale eroso (-)/depositato (+) (m^3)
22536.654

Volume solido totale eroso (-)/depositato (+) (m^3)
7131.448

durata della simulazione (secondi)               37520.50
FINE SIMULAZIONE
```

| *Figura 40. Esempio di registro dei risultati della simulazione*

4.3.2. Floating raster

I raster di output floating raster (estensione .flt) sono quelli che riportano i veri e propri risultati della simulazione; essi sono:

- DEM finale: è il modello digitale dell'elevazione che riporta le condizioni del bacino una volta eseguita la simulazione, per cui le sue caratteristiche sono frutto dei fenomeni di erosione e deposito della colata detritica simulata
- Mappa delle profondità di erosione e deposito: è il file più importante ai fini del suddetto elaborato e va a mostrare i fenomeni di deposito ed erosione per ogni cella del raster di input, espressi in metri. Ne viene riportato un esempio nella seguente foto:

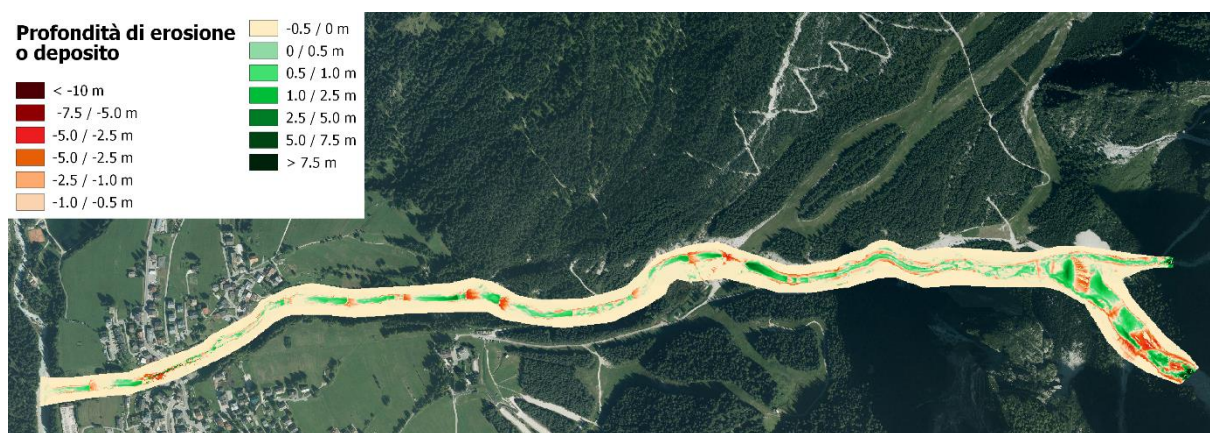


Figura 41. Esempio di mappa della profondità di erosione e deposito

- Mappa delle aree finale interessate dal fenomeno: è un file raster riportante le celle in erosione (codificate con il codice 1) e le celle in deposito (codificate con il codice 2), mentre le celle non inondate hanno valore 0.
- Mappa delle profondità massime raggiunte e finali
- Quota della superficie libera massima raggiunta
- Mappa dello spessore massimo raggiunto
- Mappa della profondità massima raggiunta
- Mappa della concentrazione solido-liquida massima raggiunta e finale
- Mappa della velocità massima raggiunta dal flusso
- Tempi di allagamento
- Magnitudo della colata: file raster con celle aventi un valore da 0 a 9, a seconda della “forza” della colata detritica; è un parametro usato per la mappatura del rischio.

4.3.3. Sezioni interne

Nel caso in cui tra le sezioni di input e quelle di output siano presenti delle sezioni di controllo interne, come nel caso del suddetto elaborato, vengono prodotti dei file di testo .txt, i quali all'interno riportano diversi dati e risultati:

- Tempo, inteso come istante di output
- Quota della superficie libera, ovvero la quota del pelo libero del flusso
- Quota terreno, ovvero la quota del terreno in quel time step, ottenuta come somma della quota iniziale del terreno e del deposito/erosione
- Quota terreno iniziale, corrispondente al DEM di input
- Profondità, ovvero l'altezza del flusso
- Spessore, espresso come somma di altezza del flusso e deposito
- Concentrazione solida, ovvero la concentrazione solido-liquida del flusso
- Portata totale transitante lungo la sezione
- Portata solida transitante lungo la sezione

Tali sezioni si rendono utili nell'analisi dell'andamento spazio-temporale delle grandezze sopraccitate nel campo di moto, descrivendo in particolare la portata totale e solida transitante nelle sezioni durante l'arco temporale della colata detritica.

5. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Al fine di valutare i fenomeni di erosione e deposito lungo l'asta del Ru Secco per diverse durate di precipitazione, si è scelto di analizzare l'intera asta fluviale che va dal punto in cui il vallone del Ru Salveta si rende meno incassato al punto di confluenza del Ru Secco con il Bòite.

Nella descrizione e rappresentazione dei risultati non verranno analizzati in modo specifico i depositi e le erosioni del versante su cui discendono i bacini in destra idrografica (Ru de Rede, Ru de Saco, Cengia Pezuo e Scotter), ma verrà solo riportata un'analisi quantitativa dei volumi totali di erosione e deposito lungo il singolo bacino idrografico, fino al punto di immissione con il Ru Secco.

Una maggiore rilevanza invece è data dai deflussi solido-liquidi che raggiungono il Ru Secco e per questo motivo sono state poste delle sezioni interne in prossimità dello sbocco dei diversi torrenti in destra idrografica, così da quantificarne gli input.

Al fine descrivere in miglior modo i risultati dei processi di erosione e deposito delle colate detritiche simulate, la descrizione visiva viene accompagnata da una descrizione grafico-quantitativa mediante l'utilizzo di un codice di calcolo sviluppato dal gruppo di lavoro del prof. Gregoretti (2022), avvalendosi del software Matlab (versione R2022b).

Si tratta di un software per il calcolo numerico e l'analisi statistica scritto in C, che consente di calcolare matrici, visualizzare funzioni e dati, implementare algoritmi, creare interfacce utente e interfacciarsi con altri programmi (fonte Wikipedia).

Nell'allegato 1, si riporta il codice Matlab utilizzato per l'analisi dei fenomeni di erosione e deposito in riferimento a 2 simulazioni effettuate.

L'utilizzo di questo codice di calcolo prevede l'inserimento di alcuni file di input:

- Linea del talweg dell'intera asta fluviale che si intende analizzare (file .shp)
- Le mappe delle erosioni e dei depositi che si intendono confrontare (2 o più, a seconda dell'analisi che si intende effettuare)(file .tif)

Il codice di calcolo, una volta fatto partire, produce 2 principali output grafici utili nella descrizione delle erosioni e dei depositi delle colate detritiche:

- Variazione netta delle erosioni e dei depositi lungo l'asta analizzata (linea del talweg) per uno o più output del modello inseriti
- Andamento del volume di flusso lungo l'asta analizzata (linea del talweg) per uno o più output del modello inseriti

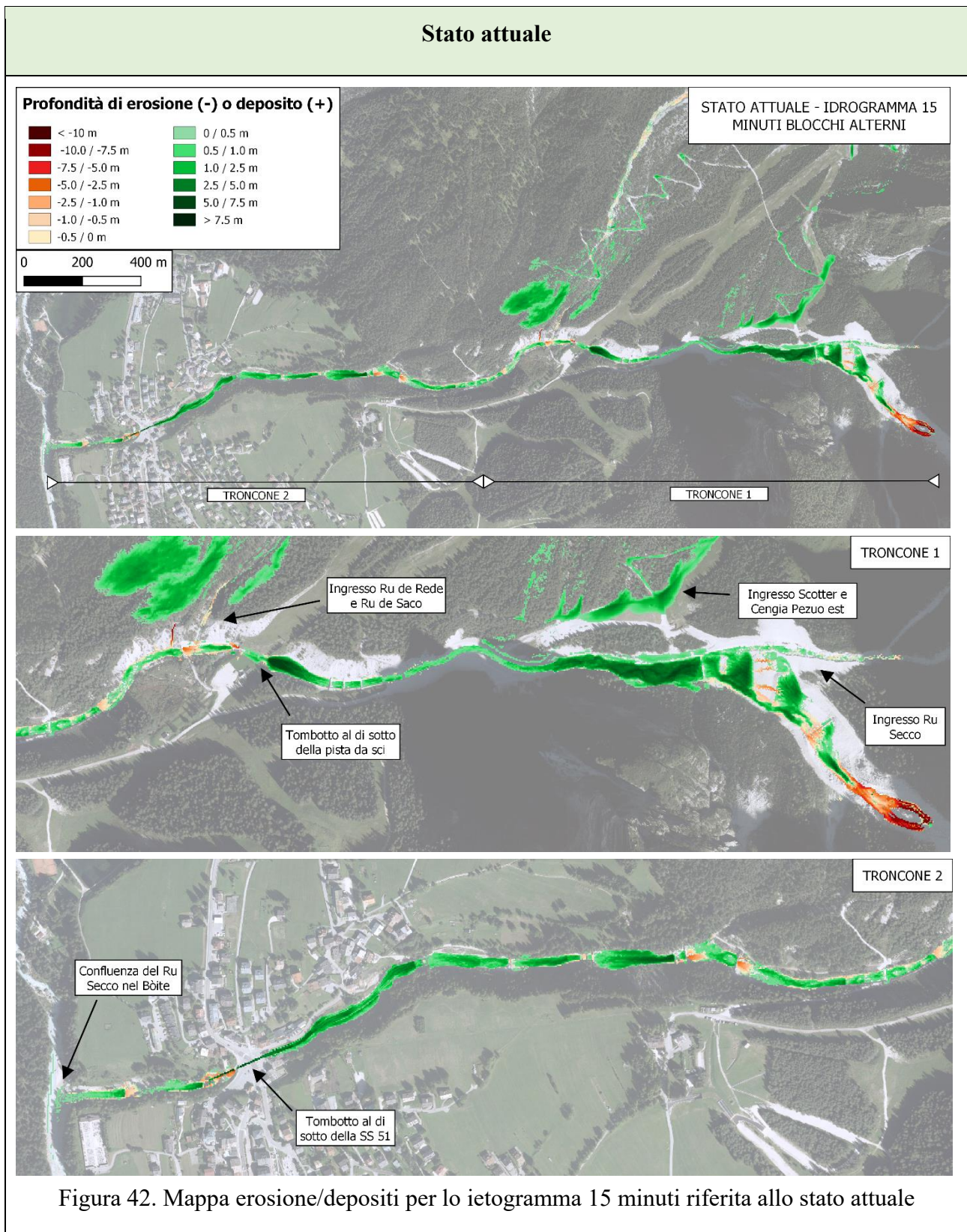
I risultati delle simulazioni verranno valutati per ogni singolo idrogramma di progetto, sia in riferimento allo stato attuale dell'alveo del Ru Secco sia allo stato di progetto con la presenza delle opere progettate; inoltre, al fine di valutare l'efficacia delle opere viene fatto un confronto tra lo stato attuale e lo stato di progetto, analizzando le differenze di erosione e deposito lungo l'asta fluviale del Ru Secco.

Al fine di uniformare la rappresentazione dei risultati e poter quindi effettuare gli opportuni confronti, viene riportata la loro modalità di descrizione:

1. Rappresentazione grafica delle erosioni e dei depositi lungo tutta l'asta analizzata, con 2 ingrandimenti per la prima metà e la seconda metà, in modo da riportare un maggiore dettaglio grafico. Questo viene effettuato sia per lo stato attuale sia per lo stato di progetto, con una descrizione dei fenomeni osservati
2. Confronto grafico/quantitativo delle erosioni e dei depositi per lo stato attuale e lo stato di progetto, con una descrizione che integra e giustifica quanto osservato
3. Confronto dei volumi di flusso lungo l'asta analizzata per entrambe le situazioni in analisi
4. Analisi tabellare quantitativa delle erosioni e dei depositi per diversi tratti caratteristici sia per lo stato attuale sia per lo stato di progetto
5. Analisi grafica dell'andamento delle portate solide nel tempo lungo tutte le sezioni interne sia per lo stato attuale sia per lo stato di progetto

Per i primi 4 idrogrammi di progetto che vengono di seguito riportati viene riportata un'analisi approfondita dei fenomeni di deposito ed erosione, mentre per i restanti idrogrammi di progetto vengono solo riportati i risultati delle analisi effettuate, in modo da non rendere il lavoro eccessivamente ripetitivo.

5.1 Ietogramma 15 minuti



| | |
|----------|--|
| Erosioni | <p>Interessano principalmente la parte iniziale del primo troncone, che corrisponde al tratto terminale del Ru Salveta, e sono piuttosto elevate, tanto da raggiungere valori fino a 17 metri.</p> <p>Si può notare che nel tratto in erosione la colata proveniente da monte si separa in 2 porzioni e poi si ricongiunge, questo a causa della presenza di una ammasso roccioso di notevoli dimensioni, che si comporta da spartitore.</p> <p>Il Ru Salveta è il maggiore responsabile dell’apporto solido che poi confluisce nel Ru Secco, causando di conseguenza forti erosioni; la parte iniziale del tratto di Ru Secco analizzato invece, non presenta fenomeni di erosione.</p> <p>Erosioni minori si possono poi notare nel punto in cui il Ru Salveta si unisce al Ru Secco, con erosioni lineare e localizzate, causate da piccoli canalicoli già presenti che con il passaggio della colata detritica si approfondiscono e allargano.</p> <p>Minori erosioni si osservano poi nel tratto a valle del tombotto al di sotto della pista da sci, in particolare nel punto in cui Ru de Rede e Ru de Saco si uniscono al Ru Secco, con valori di scavo fino a 9 m.</p> <p>Infine, erosioni minori si evidenziano nei 10-15 m a monte di alcune briglie di consolidamento, con valori di scavo fino a 4 m.</p> |
| Depositi | <p>Sono numerosi e quantitativamente elevati, possono essere distinti in 3 gruppi:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Deposito a valle della confluenza Ru Salveta – Ru Secco: ha una lunghezza complessiva di circa 350 m e uno spessore che va da un minimo di poche decine di centimetri fino ad un massimo di 5 m. Il deposito avviene a causa della riduzione di pendenza del tratto rispetto a quella più a monte. – Deposito a monte del tombotto della pista da sci: avviene a causa dell’ostruzione del tombotto e ha una lunghezza di circa 100 m e raggiunge spessori massimi di 7,5 m, pari al dislivello tra il fondo del canale e la quota della pista da sci; di conseguenza tutto il deflusso solido liquido eccedente continua il suo percorso verso valle – Deposito dall’unione del Ru de Saco e Ru de Rede fino a monte del tombotto al di sotto dell’abitato di San Vito di Cadore avente una lunghezza complessiva di 1300 m; il deposito interessa tutta la larghezza dell’alveo del Ru secco, con spessori di deposito fino a 4 m, ma che non fuoriescono dall’alveo in prossimità dell’abitato. Gli spessori massimi di deposito di registrano nel tratto di circa 50 m a valle di ogni briglia di consolidamento. <p>Il secondo tombotto risulta avere spessori di deposito che vanno da 2,5 a 4 m, non risultando completamente intasato a seguito del passaggio della colata detritica.</p> |

Stato di progetto

Profondità di erosione (-) o deposito (+)

| | |
|---|---|
| ■ < -10 m | ■ 0 / 0,5 m |
| ■ -10,0 / -7,5 m | ■ 0,5 / 1,0 m |
| ■ -7,5 / -5,0 m | ■ 1,0 / 2,5 m |
| ■ -5,0 / -2,5 m | ■ 2,5 / 5,0 m |
| ■ -2,5 / -1,0 m | ■ 5,0 / 7,5 m |
| ■ -1,0 / -0,5 m | ■ > 7,5 m |
| ■ -0,5 / 0 m | |

0 200 400 m

STATO DI PROGETTO - IDROGRAMMA
15 MINUTI BLOCCHI ALTERNI

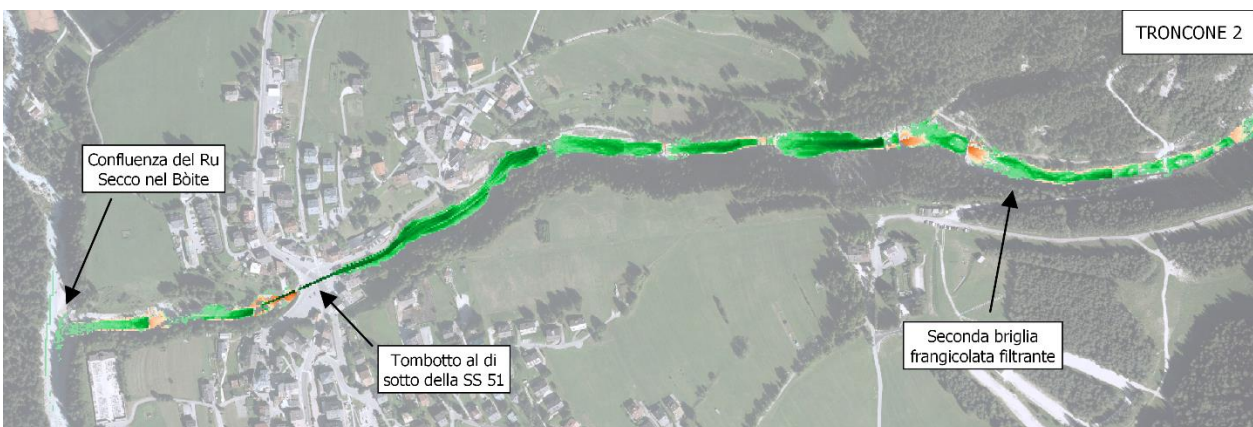
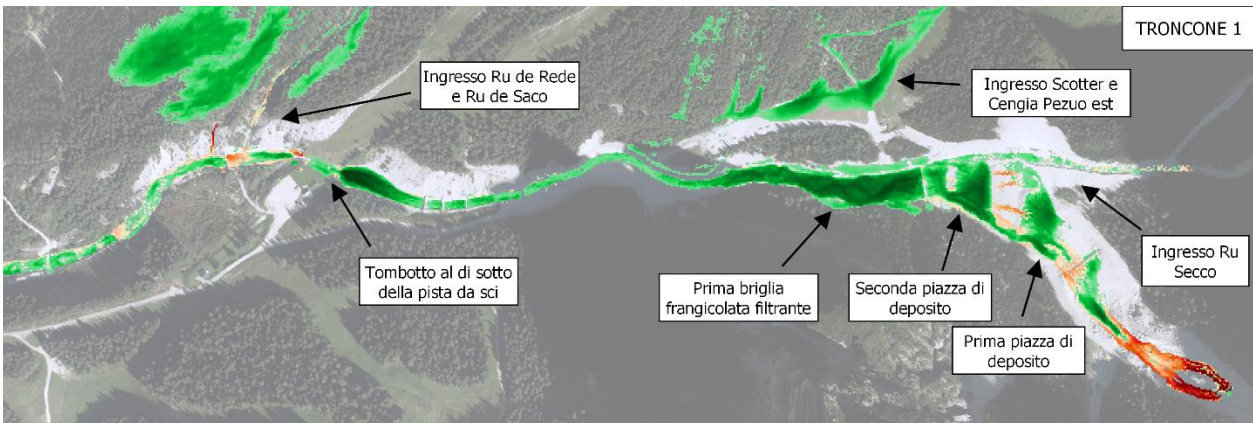
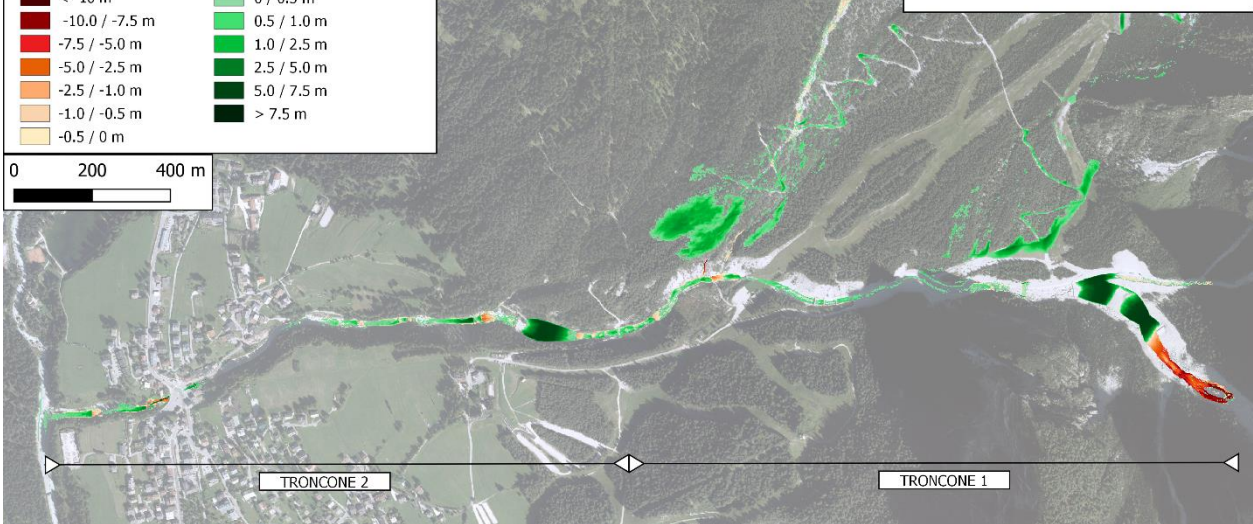


Figura 43. Mappa erosione/depositi per lo ietogramma 15 minuti riferita allo stato di progetto

| | |
|----------|--|
| Erosioni | <p>Sono molto accentuate nel tratto iniziale analizzato e raggiungono una lunghezza di circa 270 m, con valori di scavo massimi di 19 m.</p> <p>L'estensione dell'area in scavo rispetto alla simulazione dello stato attuale è dovuta allo spianamento del tratto a monte delle prima piazza di deposito, così che il deflusso solido-liquido possa raggiungere meglio i 2 piazzale di deposito, dove le operazioni di rimozione del sedimento sono maggiormente meccanizzabili. In aggiunta a ciò, è preferibile la sedimentazione nelle piazze di deposito rispetto al vallone del Ru Salveta in quanto in quella porzione di alveo le pendenze sono molto elevate e una quantità elevata di sedimento può innescare ulteriori colate detritiche, anche con precipitazioni di minore intensità rispetto a quella trecentennale.</p> <p>Proseguendo verso valle, non vi è erosione tra la seconda piazza di deposito e il tombotto al di sotto della pista da sci; piccole aree in erosione invece si evidenziano nel punto di confluenza nel Ru Secco del Ru de Saco e Ru de Rede, anche se con valori di scavo ridotti.</p> <p>Infine, aree di scavo ridotte si osservano a monte di alcune briglie di consolidamento.</p> |
| Depositi | <p>Risultano notevolmente minori in termini di superficie complessiva rispetto allo stato attuale e concentrati in 4 principali opere di trattenuta:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Prima piazza di deposito: secondo un'analisi statistica in QGIS il deposito ha un volume complessivo di 31.300 m³ e uno spessore massima di 13 m. – Seconda piazza di deposito: il volume depositato è pari a 25.000 m³, con uno spessore massimo di 8,2 m. – Prima briglia filtrante: non vi è alcun deposito, in quanto la maggior parte del deflusso solido è stato immagazzinato nelle piazze di deposito – Seconda briglia filtrante: raccoglie il deflusso solido derivante da Ru de Saco e Ru de Rede e il deposito che si viene a formare a monte di essa ha un volume di 22.500 m³, raggiungendo uno spessore massimo di 8.5 m <p>Nelle restanti parti dell'alveo del Ru Secco i depositi sono piuttosto ridotti e sempre inferiori ad 1 m, fino ad arrivare al tratto a monte del tombotto al di sotto della SS 51 dove non vi è alcun deposito.</p> |

Viene mostrata nei seguenti grafici l'analisi di confronto dei fenomeni di erosione e deposito analizzata con il codice MATLAB.

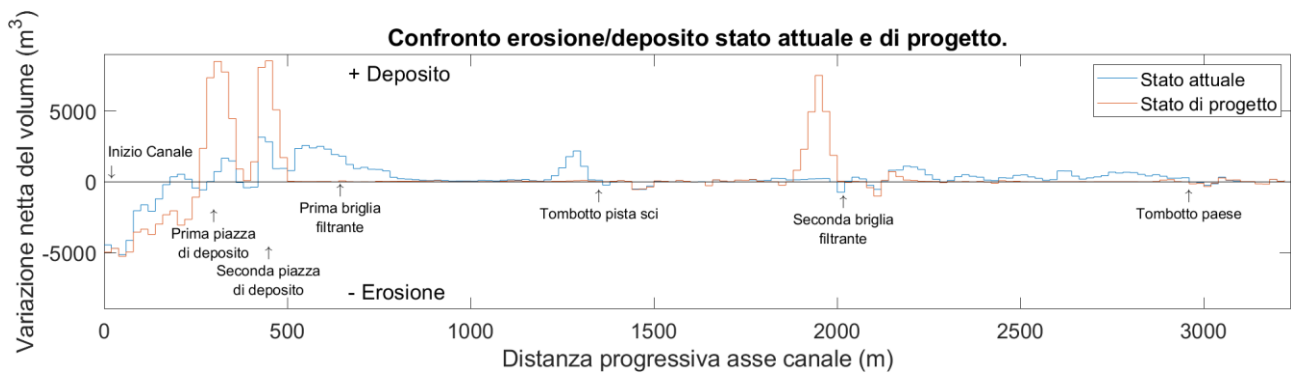


Grafico 9. Confronto tra lo stato attuale e lo stato di progetto dell'andamento dell'erosione e del deposito lungo l'asta del Ru Secco

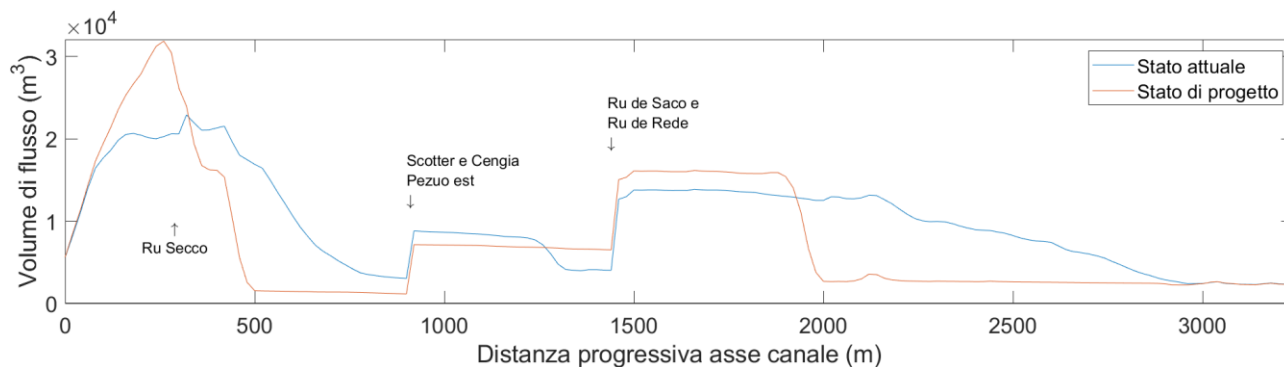
Come descritto nelle precedenti tabelle, si può notare che nei primi 250 m circa di canale analizzato le erosioni dello stato di progetto siano maggiori rispetto a quelle dello stato attuale, questo a causa dello spianamento del tratto a monte delle prima piazza di deposito e di conseguenza la pendenza del canale nello stato di progetto risulta superiore. Le prime sostanziali differenze però si hanno nell'area dove sono in progetto le due piazze di deposito, infatti i depositi dello stato di progetto hanno 2 picchi, con un volume di deposito calcolato di 31.700 m^3 per la prima piazza di deposito e di 25.400 m^3 per la seconda piazza di deposito.

Di conseguenza, nello stato di progetto nel tratto subito a valle delle due piazze di deposito non si hanno più i fenomeni di deposito che si hanno invece nello stato attuale; allo stesso modo nello stato di progetto non si ha alcun deposito a monte del tombotto al di sotto della pista da sci, fenomeno che invece è presente nello stato attuale a causa dell'ostruzione dello stesso, con un deposito di 6800 m^3 di sedimento. Ne deriva che per la colata detritica allo stato di progetto tutta la deposizione del materiale avverrà circa 300 m più a monte rispetto a quella riferita allo stato attuale.

Si può osservare poi che in corrispondenza della seconda briglia frangicolata filtrante per lo stato di progetto si ha un picco di deposito, derivante dal deflusso solido-liquido dei bacini Ru de Rede e Ru de Saco, per un volume di 22.500 m^3 . Nello stato attuale invece, non essendoci l'opera filtrante, i sedimenti della colata si depositano con una forma a scalino nei successivi 1000 m, fino a monte del tombotto al di sotto della SS 51; tale sedimentazione è spiegata dalla presenza di briglie di consolidamento che rallentano la velocità della colata detritica e di conseguenza la sua parte terminale, dove le velocità sono inferiori, si deposita lungo l'alveo, con i valori di picco posizionati a valle delle briglie di consolidamento.

Nel tratto a valle del tombotto invece i depositi sono minimi e in egual valore tra lo stato attuale e quello di progetto.

Viene quindi riportato un altro grafico mostrante il volume di flusso transitante lungo l'asta analizzata, la quale è molto utile per capire l'evoluzione della colata detritica e mostra gli input laterali derivanti dai sottobacini in destra idrografica che si immettono lungo l'alveo analizzato. Tale grafico è utile anche come supporto alla comprensione dei risultati forniti dal precedente grafico.



▮ *Grafico 10. Volume di flusso della colata detritica lungo l'asta analizzata*

Gli input principali, come mostrato nel grafico, sono costituiti da Ru Secco, Scotter e Cengia Pezuo est, Ru de Saco e Ru de Rede. Analizzandoli singolarmente si nota che il Ru Secco, a cui si immette poi il Ru Salveta, non apporta una notevole quantità di sedimento sia per lo stato attuale che quello di progetto; Ru Scotter e Cengia Pezuo est invece contribuiscono in modo significativo all'aumento del volume di flusso, così come Ru de Saco e Ru de Rede, anche se in maniera ancora maggiore.

Il primo picco che si ha nel grafico termina più a monte allo stato di progetto in quanto vi sono le due piazze di deposito e la prima briglia frangicolata filtrante che trattengono la maggior parte del volume solido; il secondo "scalino" invece è costituito dall'ingresso di Scotter e Cengia Pezuo est, proseguendo in modo costante per lo stato di progetto a causa del transito della colata verso valle, mentre per lo stato attuale si ha un abbassamento della curva prima dell'ingresso di Ru de Saco e Ru de Rede, causato dall'ostruzione del tombotto al di sotto della pista da sci, con conseguente diminuzione del volume di flusso del tratto immediatamente più a valle.

Questo maggiore volume di flusso dello stato di progetto si protrae verso valle e viene ulteriormente alimentato dal volume solido di Ru de Saco e Ru de Rede, tale per cui è maggiore rispetto allo stato attuale. Infine, nel terzo "scalino" il volume di flusso allo stato di progetto alla progressiva 1900 m circa subisce una forte riduzione, a causa della presenza della seconda briglia frangicolata filtrante.

Si nota infine che l'area sottesa al di sotto della curva dello stato di progetto è inferiore a quella sottesa dalla curva dello stato attuale, traducendosi in un minore volume della colata lungo l'asta analizzata del Ru Secco, dimostrando quindi che le opere a progetto sono altamente efficaci nella captazione del sedimento.

A supporto dei grafici 9 e 10, nella seguente tabella vengono riportate le statistiche di deposito ed erosione in riferimento a diversi tratti caratteristici sia per lo stato attuale sia per lo stato di progetto.

| ANALISI DEI VOLUMI DI DEPOSITO ED EROSIONE PER DIVERSI TRATTI - IDROGRAMMA 15 MINUTI A BLOCCHI ALTERNI | | | | |
|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Tratti in analisi | STATO ATTUALE | | STATO DI PROGETTO | |
| | Erosione (m³) | Deposito (m³) | Erosione (m³) | Deposito (m³) |
| Tratto a monte delle prima piazza di deposito | 27'100 | 2'200 | 44'800 | 280 |
| Tratto dalla prima piazza di deposito alla prima briglia filtrante | 3'500 | 30'900 | 720 | 56'800 |
| Tratto a valle delle opere | 270 | 14'500 | 307 | 1'470 |
| Tratto tra l'uscita del tombotto e l'unione del Ru de Saco e Ru de Rede | 650 | 950 | 100 | 420 |
| Tratto dall'unione di Ru de Saco e Ru de Rede alla seconda briglia filtrante | 3'250 | 9'500 | 2'360 | 24'300 |
| Tratto che va dalle seconda briglia filtrante all'entrata del tombotto | 1'300 | 18'800 | 2'340 | 3'000 |
| Tratto del tombotto | 0 | 840 | 0 | 175 |
| Tratto che va dalla fine del tombotto all'unione del Ru Secco con il Bòite | 1'980 | 60 | 2'055 | 2'020 |
| TOT | 38'050 | 77'750 | 52'682 | 88'465 |
| EROSIONE E DEPOSITO DEI SOTTOBACINI IN DESTRA IDROGRAFICA - STATO ATTUALE E DI PROGETTO | | | | |
| Sottobacini analizzati | Erosione (m³) | | Deposito (m³) | |
| Ru de Saco e Ru de Rede | 38'400 | | 27'650 | |
| Cengia Pezuo ovest e Cengia Pezuo centrale | 0 | | 0 | |
| Cengia Pezuo est e Scotter | 25'300 | | 19'000 | |
| TOT | 63'700 | | 46'650 | |

Tabella 4. Analisi del volume di erosione e deposito per tratti caratteristici – Idrogramma 15 minuti a blocchi alterni

Dalla tabella 4 si evince che, nonostante le erosioni dello stato di progetto siano maggiori rispetto a quelle dello stato attuale a causa della maggiore erosione nel tratto iniziale, il deposito a seguito della realizzazione delle opere è di circa 11.000 m³ maggiore rispetto allo stato senza opere; a supporto di questo maggiore deposito, assume maggiore importanza la disposizione dei depositi, dato che per lo stato attuale sono distribuiti lungo tutta l'asta del Ru Secco, mentre allo stato di progetto sono concentrati nelle piazze di deposito e nei piazzali delle briglie frangicolata filtranti.

Invece, dall'analisi delle differenze fra erosione e deposito lungo il versante per il bacini in destra idrografica ne deriva che circa 17.000 m³ di materiale solido entrano nel Ru Secco.

Viene infine riportata un'analisi delle portate solide transitanti per le principali sezioni interne del tratto di canale analizzato, in modo da poter osservare la progressione della colata nello spazio e nel tempo sia per lo stato attuale sia per lo stato di progetto.

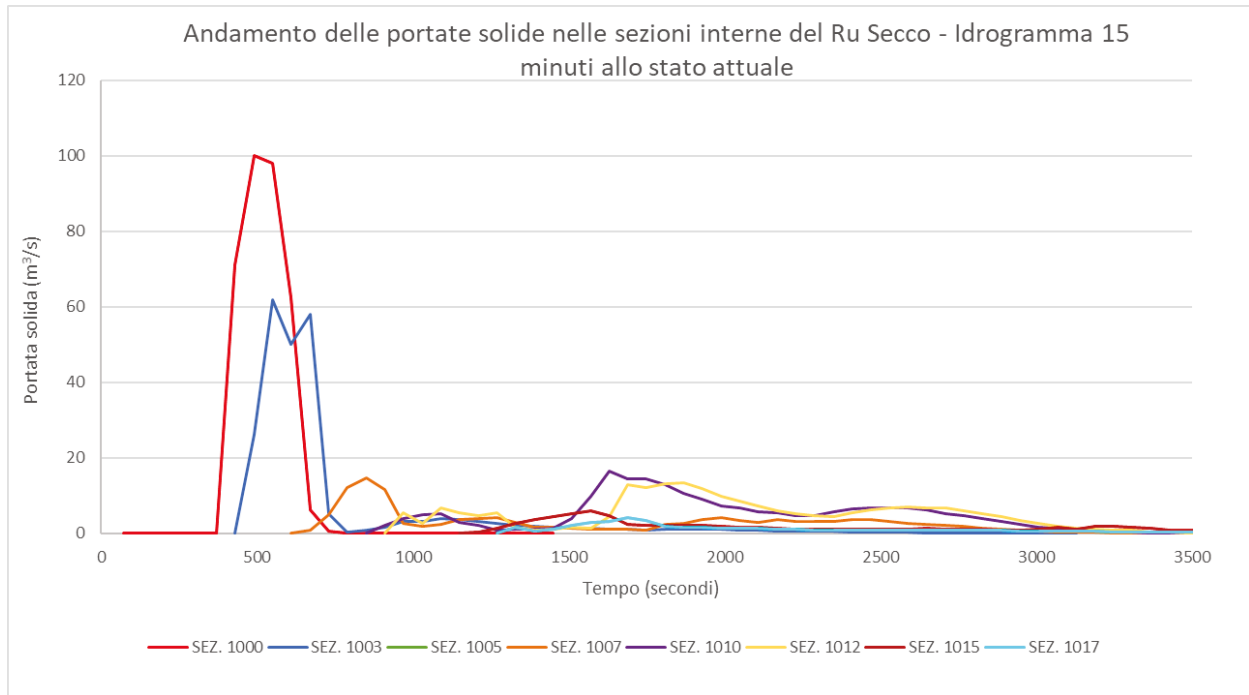


Grafico 11. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 15 minuti allo stato attuale

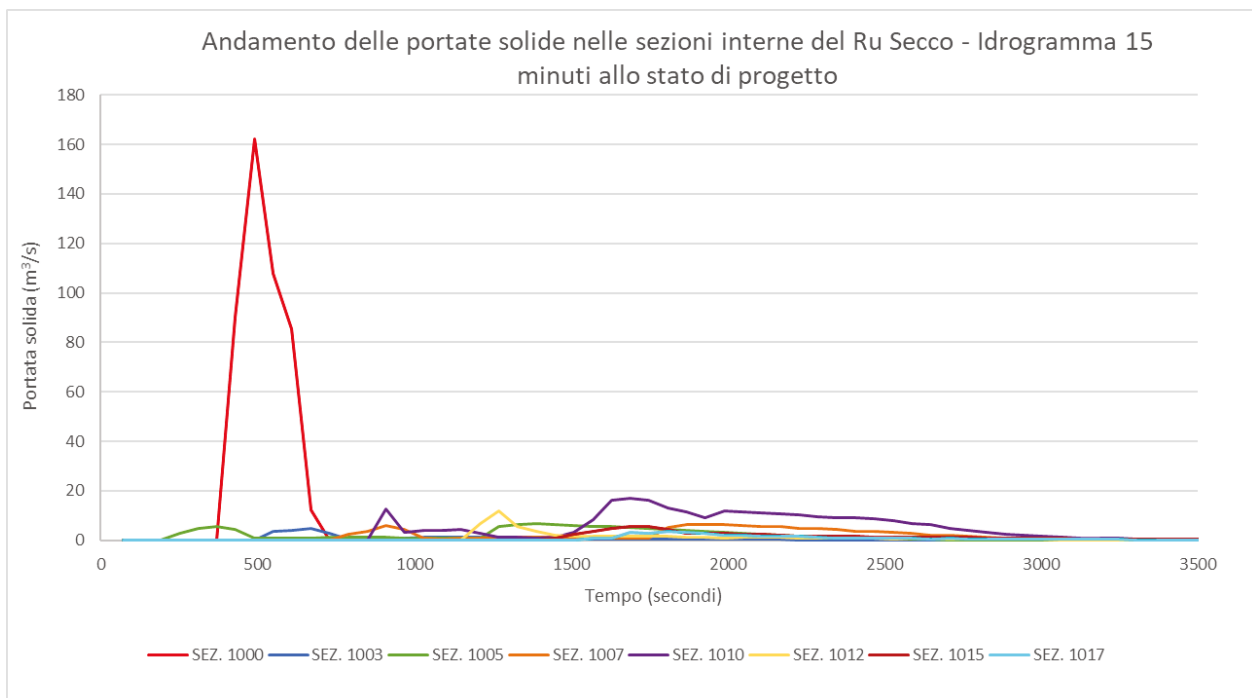


Grafico 12. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 15 minuti allo stato di progetto

| | |
|-----------------|---|
| <p>Erosioni</p> | <p>Intense nel tratto terminale del Ru Salvella, con valori di scavo massimi di 18 m, e distribuite per una lunghezza di circa 200 m, dove i valori di scavo maggiori si hanno nel tratto iniziale e diminuiscono via via verso valle, dove il deflusso solido-liquido inizia a depositarsi dato che le pendenze dell'alveo si riducono.</p> <p>Erosioni ridotte si hanno nel punto di confluenza Ru Salvella-Ru Secco, ma con valori di scavo sempre inferiori a 4 metri massimo, anche se per la maggior parte delle celle lo scavo è di 1-1,5 m.</p> <p>Rispetto alla simulazione riferita allo stato attuale con l'idrogramma di 15 minuti si hanno leggere erosioni spondali nel tratto che va dalla confluenza Ru Salvella-Ru Secco al tombotto al di sotto della pista da sci, con valori di scavo ridotti e mai superiori a 1,8-2,0 m; infatti complessivamente il volume eroso in tale tratto è pari a 1200 m³.</p> <p>Nel tratto a valle del tombotto al di sotto della pista da sci invece le erosioni sono limitate ai canali terminali del Ru de Rede e Ru de Saco, dove si immettono nel Ru Secco; inoltre altre limitate erosioni si evidenziano a monte di alcune briglie di consolidamento.</p> |
| <p>Depositi</p> | <p>Sono piuttosto evidenti lungo tutta l'asta fluviale analizzata, anche se si evidenziano particolarmente nel tratto a valle della confluenza Ru Salvella – Ru Secco, con un deposito complessivo di 38465 m³ e uno spessore massimo di 8,4 m.</p> <p>Inoltre, come nel precedente idrogramma, altri depositi si evidenziano nel tratto a monte del tombotto al di sotto della pista da sci, con un volume di m³, e nel tratto a valle dell'immissione di Ru de Saco e Ru de Rede dove il canale presenta una pendenza minore rispetto a monte a causa della presenza di diverse briglie di consolidamento e vi è il tombotto al di sotto della SS 51, per un volume di 10.750 m³.</p> <p>Con questo idrogramma di progetto, si assiste anche ad un deposito nel piazzale di arrivo della seggiovia "San Marco", con uno spessore massimo di deposito di 2,3 m e un volume complessivo di 705 m³.</p> |

Stato di progetto

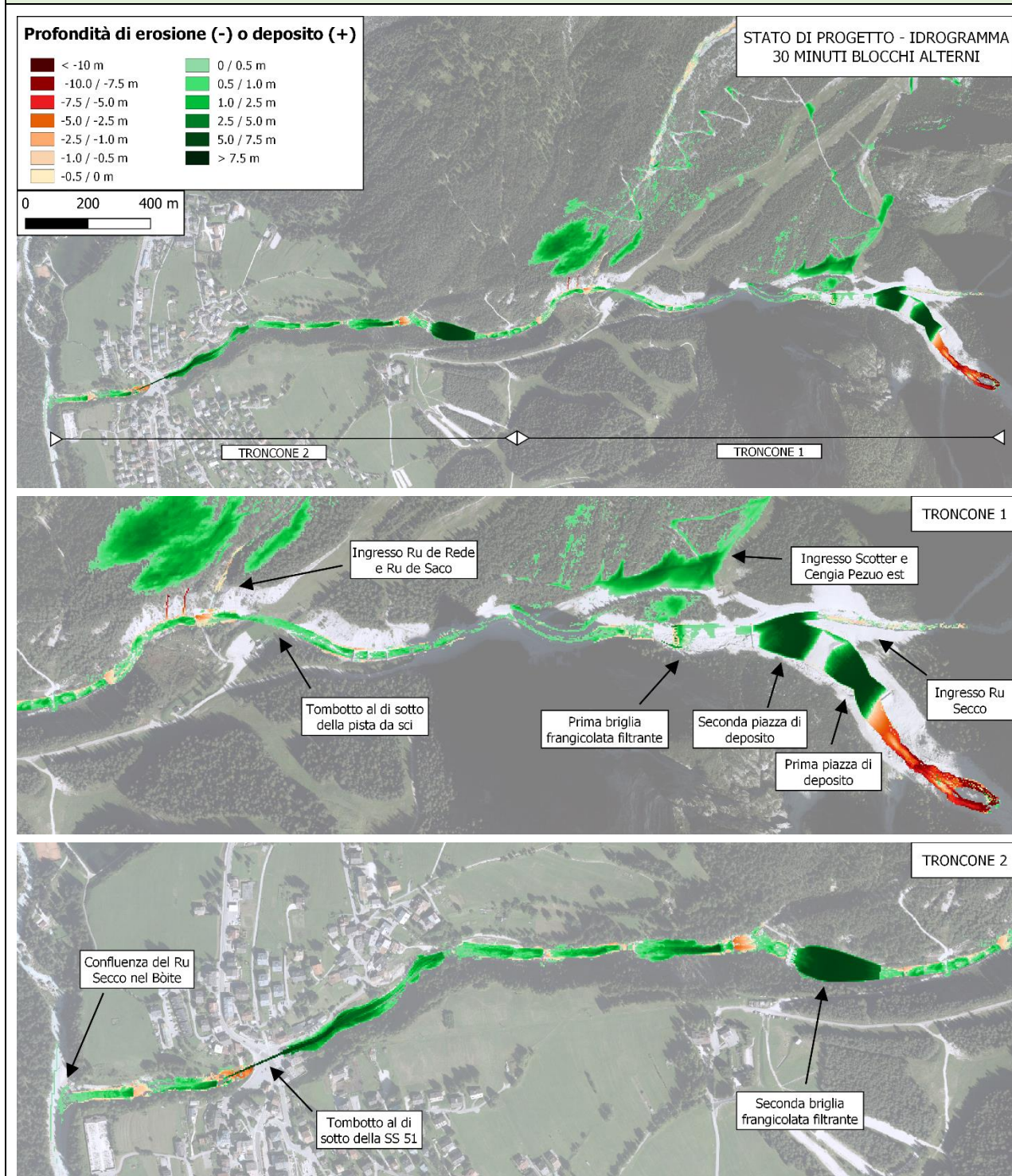


Figura 45. Mappa erosione/depositi per lo ietogramma 30 minuti a blocchi alterni riferito allo stato di progetto

| | |
|-----------------|--|
| <p>Erosioni</p> | <p>Sono piuttosto estese e profonde per il tratto iniziale analizzato del Ru Salvela; hanno una lunghezza complessiva di 270 metri, con valori di scavo fino a 18,8 m; complessivamente il volume di scavo è quantificato in 45.000 m³.</p> <p>Nella porzione terminale del Ru Secco, a monte della confluenza con il Ru Salvela, le erosioni rispetto alla simulazione con l'idrogramma di progetto di 15 minuti sono più evidenti, anche se con valori di scavo sempre inferiori a 1,4 m e che non interessano tutta la larghezza dell'alveo.</p> <p>A valle della prima briglia di consolidamento si evidenziano fenomeni di erosione limitati lungo le sponde, causati dall'erosione al piede del versante, con conseguente asportazione del materiale; i valori di scavo però sono limitati a qualche metro e con valori di erosione sempre inferiori a 1,5 m.</p> <p>Come nella simulazione allo stato di fatto con idrogramma di 30 minuti a blocchi alterni, si evidenziano erosioni puntuali nel punto di inserimento del Ru de Rede e Ru de Saco nel Ru Secco.</p> <p>Infine, come nelle precedenti analisi, si osservano limitate erosioni a monte delle briglie di consolidamento presenti a valle della seconda briglia filtrante in progetto.</p> |
| <p>Depositi</p> | <p>I principali depositi, come per tutte le simulazioni riferite allo stato di progetto sono riferiti alle seguenti opere e così quantificati:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Prima piazza di deposito: 31.600 m³ distribuiti su un'area di 6.000 m² con uno spessore massimo di 11,8 m. – Seconda piazza di deposito: 26.500 m³ distribuiti su un'area di m², con uno spessore massimo di 8,4 m. – Prima briglia filtrante frangicolata: vi è un deposito minimale quantificabile in qualche decina di m³, dimostrando quindi che tutto il deflusso solido-liquido proveniente dai bacini in sinistra idrografica rispetto al tratto del Ru Secco viene bloccato dalle piazze di deposito che sono state progettate – Seconda briglia filtrante: 40.500 m³ distribuiti su un'area di 6.500 m², con uno spessore massimo di 11,3 m. <p>Nonostante le opere in progetto siano state in grado di fermare una notevole quantità di sedimento, una parte di deflusso si va comunque a depositare a monte del tombotto al di sotto della SS 51, raggiungendo uno spessore massimo di 6,1 m; tale deposito avviene a causa del riempimento fino al limite della seconda briglia filtrante e di conseguenza tutto il deflusso in eccesso prosegue il percorso verso valle.</p> |

Viene mostrata nei seguenti grafici l'analisi di confronto dei fenomeni di erosione e deposito analizzata con il codice MATLAB.

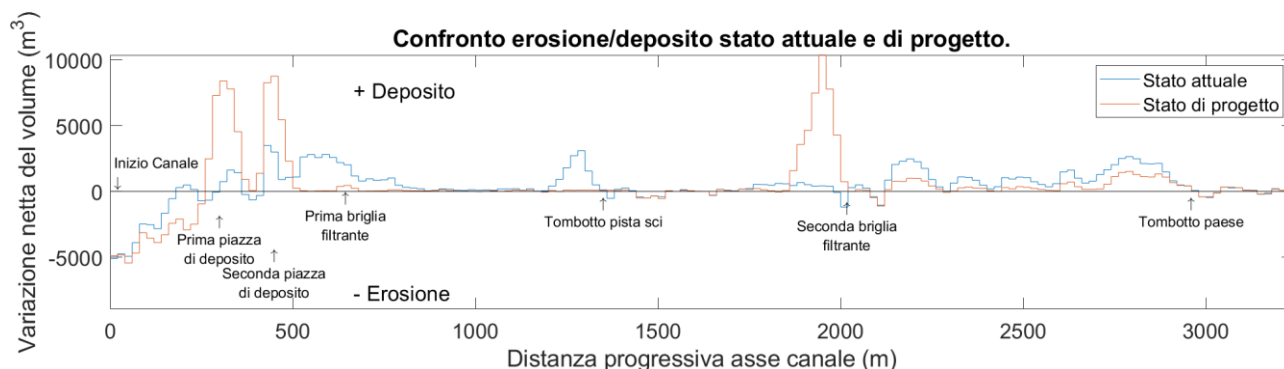


Grafico 13. Confronto tra lo stato attuale e lo stato di progetto dell'andamento dell'erosione e del deposito lungo l'asta del Ru Secco con l'idrogramma con durata di pioggia di 30 minuti a blocchi alterni

Come per i risultati del precedente sottocapitolo, nei primi 250 metri di canale analizzato le erosioni che si assistono nell'alveo allo stato di progetto sono maggiori di quelle dello stato attuale, ma in seguito, per la presenza delle 2 piazze di deposito, l'erosione viene più che compensata con il deposito, infatti un elevato quantitativo di materiale viene intercettato dalle due opere, a differenza dello stato attuale dove il materiale si deposita nei successivi 350 m di canale.

Per questo idrogramma poi, si può notare che la briglia frangicolata filtrante trattiene una piccola quantità di sedimento, anche se valutabile in qualche decina di m³ di sedimento; la così modesta quantità trattenuta dalla briglia è giustificata dalla presenza delle due piazze di deposito più a monte, che trattengono quasi tutto il volume solido prodotto dalla colata detritica.

Una notevole divergenza fra le due curve può poi essere osservata in corrispondenza della seconda briglia filtrante, che si dimostra efficace nella trattenuta del deflusso solido-liquido discendente da Ru de Saco e Ru de Rede; la mancanza di tale opera allo stato attuale, si traduce nella deposizione dei sedimenti nel tratto a valle della progressiva 2000 m.

In questo caso, anche per lo stato di progetto si osserva una deposizione di sedimenti a valle della seconda briglia frangicolata filtrante, tale per cui si può arrivare alla conclusione che la briglia è stata completamente riempita dalla colata detritica e tutto il volume in eccesso è sceso verso valle; il deposito a valle della briglia però è sempre inferiore rispetto a quello osservabile nello stato attuale. Infine, nel tratto che va dal tombotto al di sotto della SS 51 fino all'innesto con il Bòite, le curve di erosione e deposito si equivalgono, con valori di deposito non rilevanti ai fini dell'analisi.

Viene quindi riportato un altro grafico mostrante il volume di flusso transitante lungo l'asta analizzata, la quale è molto utile per capire l'evoluzione della colata detritica e mostra gli input laterali derivanti dai sottobacini in destra idrografica che si immettono lungo l'alveo analizzato. Tale grafico è utile anche come supporto alla comprensione dei risultati forniti dal precedente grafico.

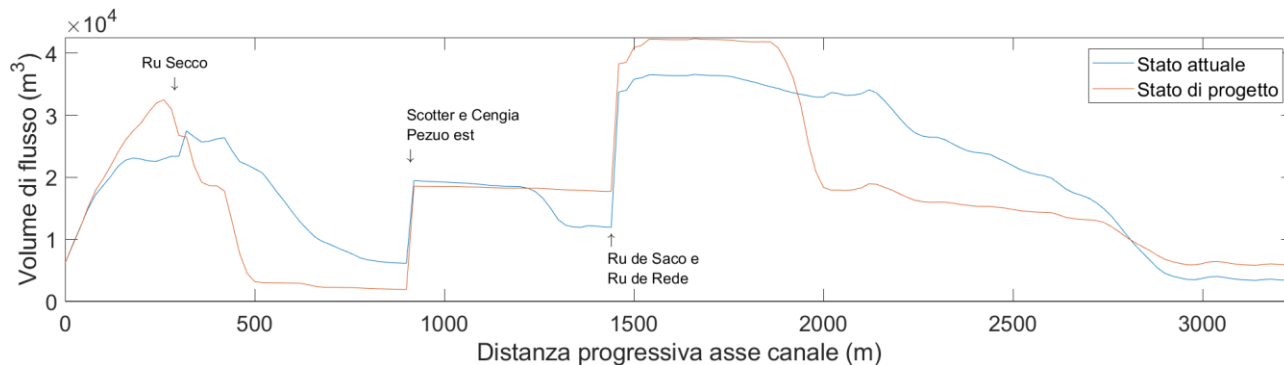


Grafico 14. Volume di flusso della colata detritica lungo l'asta analizzata – Idrogramma 15 minuti ad intensità costante

Come per il precedente capitolo, gli input principali sono costituiti da Ru Secco, Scotter e Cengia Pezuo est, Ru de Saco e Ru de Rede. Analizzandoli singolarmente si nota che il Ru Secco, a cui si immette poi il Ru Salvela, non apporta una notevole quantità di sedimento sia per lo stato attuale che quello di progetto; Ru Scotter e Cengia Pezuo est invece contribuiscono in modo significativo all'aumento del volume di flusso, così come Ru de Saco e Ru de Rede, anche se in maniera ancora maggiore.

Anche in questo caso si nota poi che l'area sottesa al di sotto della curva dello stato di progetto è inferiore a quella sottesa dalla curva dello stato attuale, traducendosi in un minore volume della colata lungo l'asta analizzata del Ru Secco, dimostrando quindi che le opere a progetto sono altamente efficaci nella captazione del sedimento.

A supporto dei grafici 13 e 14, nella seguente tabella vengono riportate le statistiche di deposito ed erosione in riferimento a diversi tratti caratteristici sia per lo stato attuale sia per lo stato di progetto.

| ANALISI DEI VOLUMI DI DEPOSITO ED EROSIONE PER DIVERSI TRATTI - IDROGRAMMA 30 MINUTI A BLOCCHI ALTERNI | | | | |
|---|---------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|
| Tratti in analisi | STATO ATTUALE | | STATO DI PROGETTO | |
| | Erosione (m³) | Deposito (m³) | Erosione (m³) | Deposito (m³) |
| Tratto a monte della prima piazza di deposito | 30'750 | 2'250 | 45'000 | 330 |
| Tratto dalla prima piazza di deposito alla prima briglia filtrante | 4'300 | 33'750 | 930 | 59'060 |
| Tratto a valle delle opere | 1'160 | 19'930 | 1'100 | 2'640 |
| Tratto tra l'uscita del tombotto e l'unione del Ru de Saco e Ru de Rede | 1'090 | 1'862 | 132 | 638 |
| Tratto dall'unione di Ru de Saco e Ru de Rede alla seconda briglia filtrante | 4'100 | 7'980 | 2'400 | 42'870 |
| Tratto che va dalle seconda briglia filtrante all'entrata del tombotto | 1'890 | 51'880 | 2'830 | 22'160 |
| Tratto del tombotto | 0 | 1'730 | 0 | 1'560 |
| Tratto che va dalla fine del tombotto all'unione del Ru Secco con il Bòite | 3'000 | 3'200 | 3'230 | 3'110 |
| TOT | 46'290 | 122'582 | 55'622 | 132'368 |
| EROSIONE E DEPOSITO DEI SOTTOBACINI IN DESTRA IDROGRAFICA - STATO ATTUALE E DI PROGETTO | | | | |
| Sottobacini analizzati | Erosione (m³) | | Deposito pre-immissione (m³) | |
| Ru de Saco e Ru de Rede | 71'140 | | 41'260 | |
| Cengia Pezuo ovest e Cengia Pezuo centrale | 8'430 | | 3'820 | |
| Cengia Pezuo est e Scotter | 48'100 | | 27'110 | |
| TOT | 127'670 | | 72'190 | |

Tabella 5. Analisi del volume di erosione e deposito per tratti caratteristici – Idrogramma 30 minuti B.A.

Dalla tabella 5 si evince che, nonostante le erosioni dello stato di progetto siano maggiori rispetto a quelle dello stato attuale a causa della maggiore erosione nel tratto iniziale, il deposito a seguito della realizzazione delle opere è di circa 10.000 m³ maggiore rispetto allo stato senza opere; a supporto di questo maggiore deposito, assume maggiore importanza la disposizione dei depositi, dato che per lo stato attuale sono distribuiti lungo tutta l'asta del Ru Secco, mentre allo stato di progetto sono concentrati nelle piazze di deposito e nei piazzali delle briglie frangicolata filtranti.

Invece, dall'analisi delle differenze fra erosione e deposito lungo il versante per il bacini in destra idrografica ne deriva che circa 55.000 m³ di materiale solido entrano nel Ru Secco.

Viene infine riportata un'analisi delle portate solide transitanti per le principali sezioni interne del tratto di canale analizzato, in modo da poter osservare la progressione della colata nello spazio e nel tempo sia per lo stato attuale sia per lo stato di progetto.

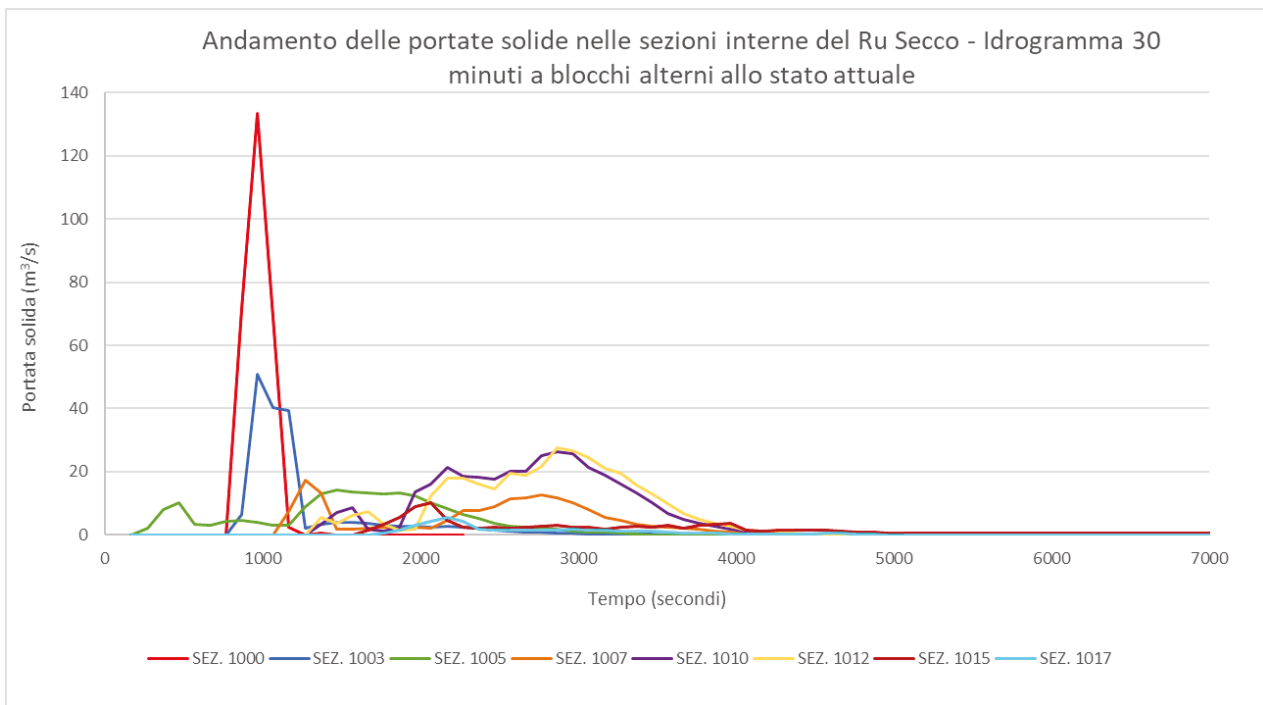


Grafico 15. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 30 minuti a blocchi alterni allo stato attuale

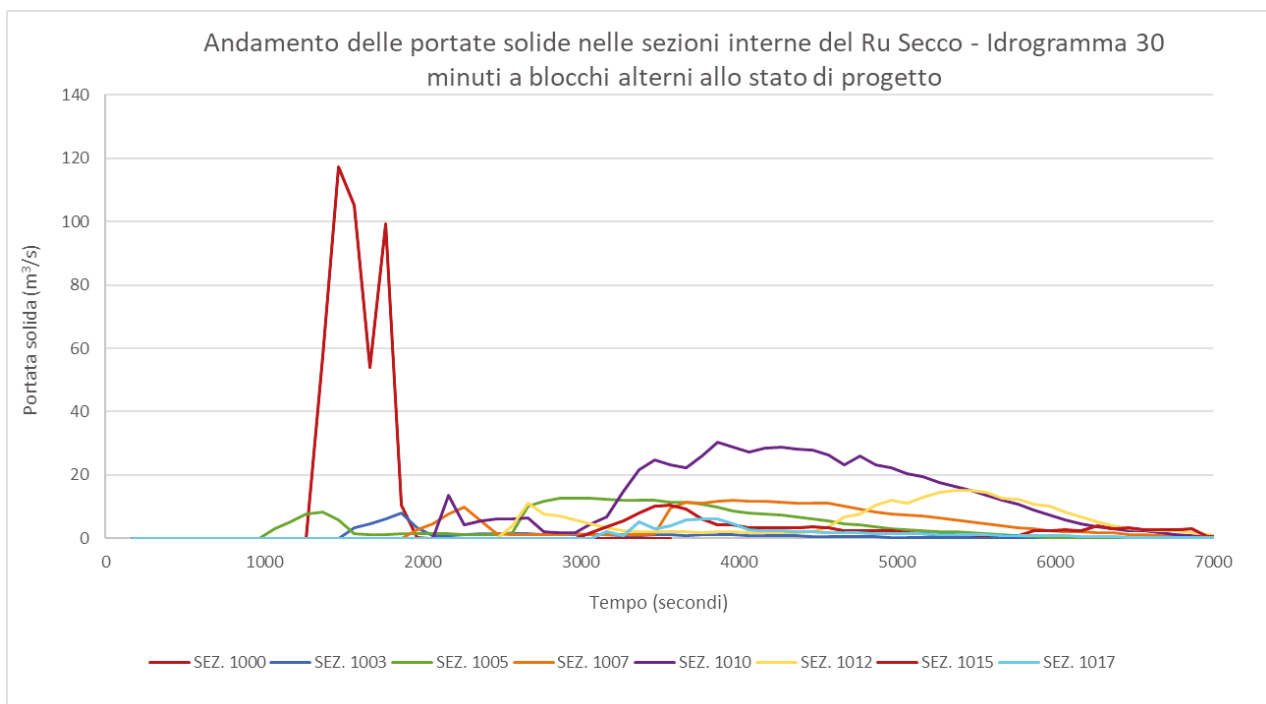


Grafico 16. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 30 minuti a blocchi alterni allo stato di progetto

5.3 Ietogramma 30 minuti ad intensità costante

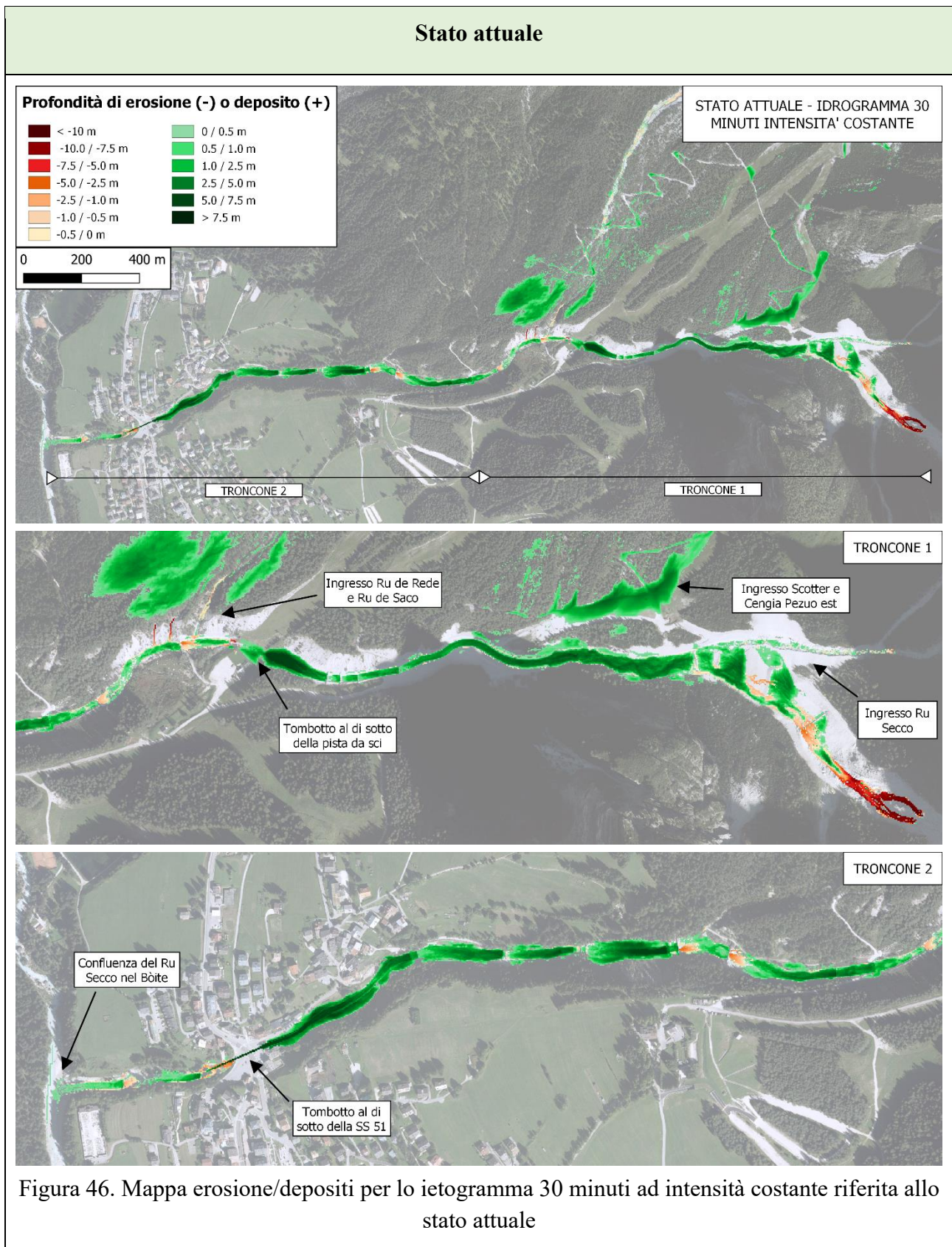


Figura 46. Mappa erosione/depositi per lo ietogramma 30 minuti ad intensità costante riferita allo stato attuale

| | |
|----------|---|
| Erosioni | <p>Intense nel tratto terminale del Ru Salvela, con volumi di scavo di 41.300 m³ e una profondità massima di 24,7 m; questo dimostra che l'idrogramma con durata di pioggia di 30 minuti ad intensità costante produce, a parità di area, delle erosioni maggiori nel tratto terminale del Ru Salvela rispetto all'idrogramma con durata di pioggia di 30 minuti a blocchi alterni.</p> <p>Le restanti erosioni che si osservano lungo l'asta fluviale del Ru Secco rimangono pressoché invariate rispetto all'analisi riferita allo stato attuale, con idrogramma di 30 minuti a blocchi alterni.</p> |
| Depositi | <p>Non si evidenziano sostanziali variazioni di deposito rispetto alla simulazione riferita allo stato attuale con idrogramma avente una durata di pioggia di 30 minuti a blocchi alterni.</p> <p>È da evidenziare però il deposito che si accumula nel piazzale della seggiovia "San Marco", con uno spessore massimo di 2,5 m e un volume quantificabile in 950 m³.</p> |

Stato di progetto

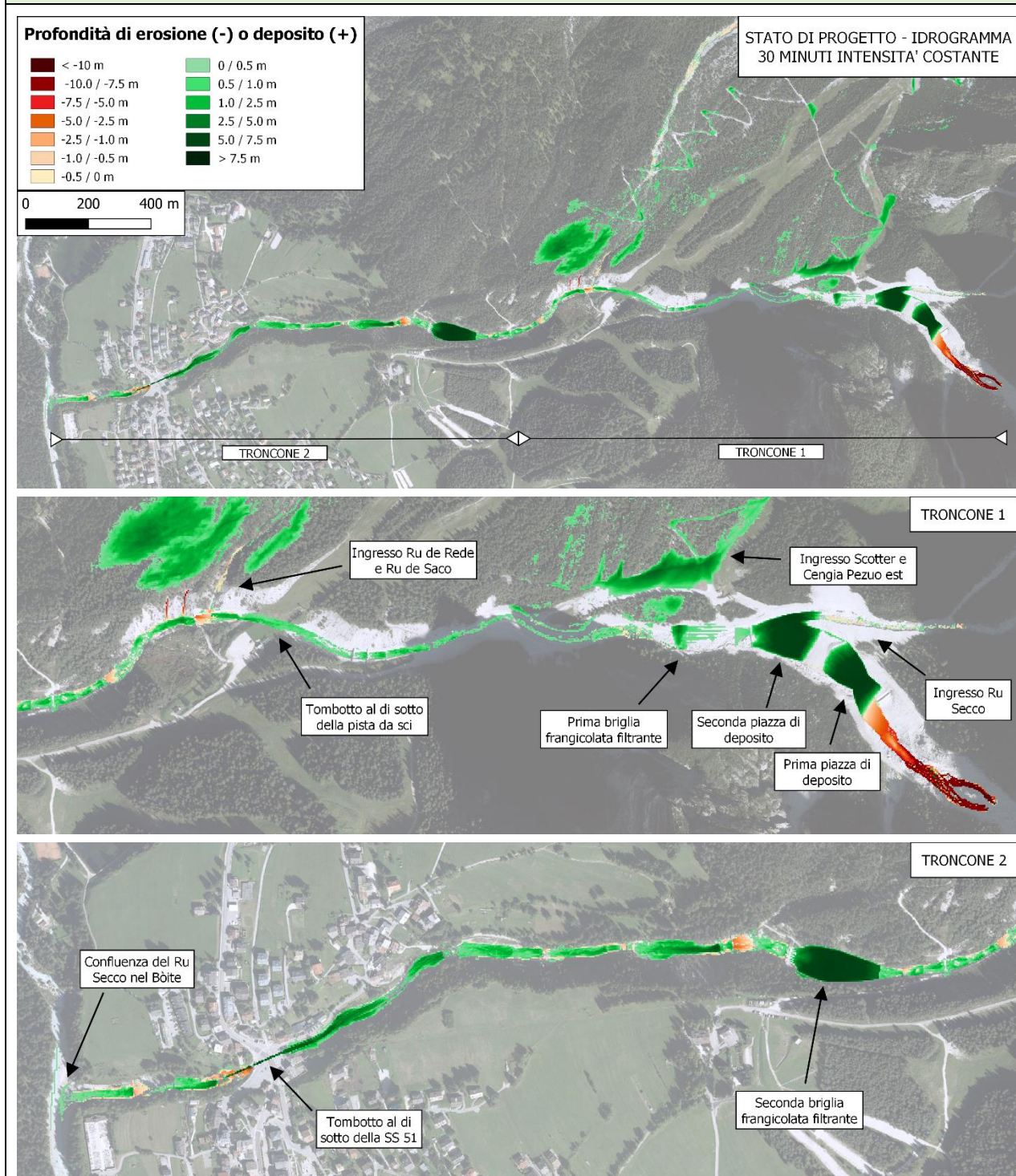


Figura 47. Mappa erosione/depositi per lo ietogramma 30 minuti ad intensità costante riferito allo stato di progetto

| | |
|----------|---|
| Erosioni | <p>Erosioni profonde nella parte terminale del Ru Salveta, con valori di scavo fino a 27,7 m e un volume complessivo eroso pari a 56.500 m³.</p> <p>Nella restante porzione del canale non si verificano erosioni importanti e questo è dovuto alle due piazze di deposito e alle due briglie frangicolata filtranti, che trattengono la maggior parte del deflusso solido-liquido proveniente da monte, che costituisce la maggior causa delle erosioni spondali e del letto torrentizio ; infatti il volume di materiale eroso nell'alveo del Ru Secco a valle delle due piazze di deposito ammonta a 6.900 m³.</p> |
| Depositi | <p>Nel due piazze di deposito presenti nella confluenza Ru Secco – Ru Salveta risultano parzialmente riempite di sedimento, ospitando 28.500 m³ per la prima e 32.000 m³ per la seconda.</p> <p>In questo caso non tutto il deflusso solido viene trattenuto dalle due piazze di deposito, infatti si può notare che la prima briglia frangicolata filtrante ha trattenuto una quantità di sedimento pari a 1250 m³, per uno spessore massimo di 3,1 m.</p> <p>Come si evidenzia anche più a valle, le prime 3 opere progettate sono altamente efficaci nella trattenuta del sedimento; infatti nei successivi 600 metri di alveo del Ru Secco i fenomeni di deposito sono molto limitati e interessano essenzialmente i lati esterni dell'alveo, mentre più a valle di questo tratto si assiste ad una deposizione leggermente superiore a causa della presenza delle briglie di consolidamento che riducono la pendenza del canale.</p> <p>Per questo idrogramma di progetto il tombotto al di sotto della pista da sci non soffre di criticità idrauliche, riuscendo a convogliare a valle di esso tutta la portata solido-liquida, non consentendo quindi una fuoriuscita della colata in direzione del piazzale della seggiovia “San Marco”, come invece avverrebbe per la simulazione effettuata con lo stesso idrogramma di progetto e riferita allo stato attuale.</p> <p>Anche la seconda briglia filtrante si rileva altamente efficace nella trattenuta dei sedimenti, riuscendo a trattenere un volume pari a 42.200 m³, con uno spessore massimo di 11,7 m. nonostante l'elevato volume trattenuto, una buona quantità di sedimento scorre verso valle, depositandosi lungo l'asta del Ru Secco e all'interno del tombotto al di sotto della SS 51, per un volume complessivo pari a 18.500 m³.</p> <p>Nei pressi dell'abitato di San Vito di Cadore la colata detritica non esonda e viene convogliato a valle attraverso il tombotto.</p> |

Viene mostrata nei seguenti grafici l'analisi di confronto dei fenomeni di erosione e deposito analizzata con il codice MATLAB.

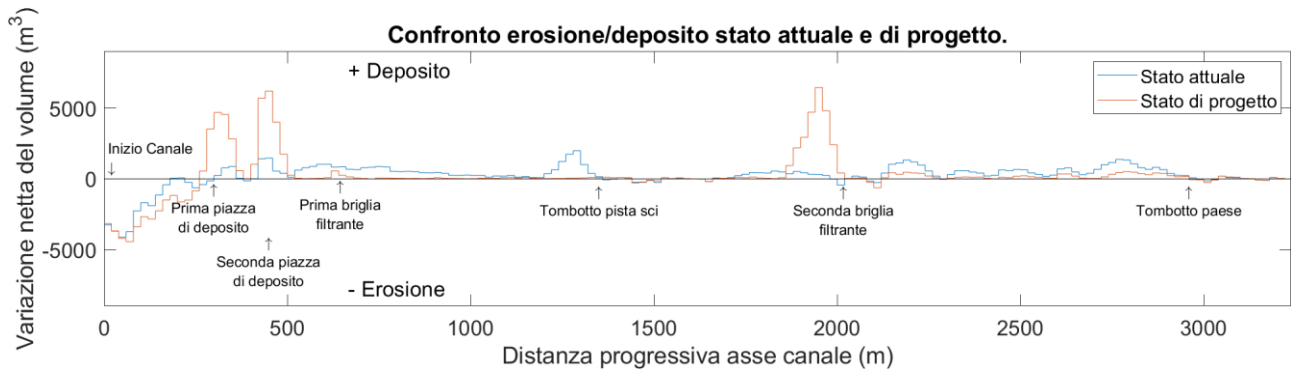


Grafico 17. Confronto tra lo stato attuale e lo stato di progetto dell'andamento dell'erosione e del deposito lungo l'asta del Ru Secco con l'idrogramma con durata di pioggia di 30 minuti ad intensità costante

Come per la precedente simulazione le maggiori differenze di erosione e deposito, tra pre e post opere, si hanno in prossimità delle opere stesse, con fenomeni di deposito piuttosto elevati, ad eccezione della prima briglia frangicolata filtrante che trattiene una modesta quantità di sedimento dato che è stato trattenuto quasi tutto dalle due piazze di deposito a monte.

A seguito del primo gruppo di opere per lo stato di progetto non si assiste a fenomeni di erosione e deposito, mentre per lo stato attuale i depositi, anche se limitati, sono presenti lungo tutta l'asta del Ru Secco.

A seguito della seconda briglia frangicolata filtrante invece, i depositi dello stato di progetto sono minori rispetto a quelli dello stato di progetto, dimostrando ancora una volta l'efficacia delle opere.

Viene quindi riportato il grafico mostrante il volume di flusso transitante lungo l'asta analizzata:

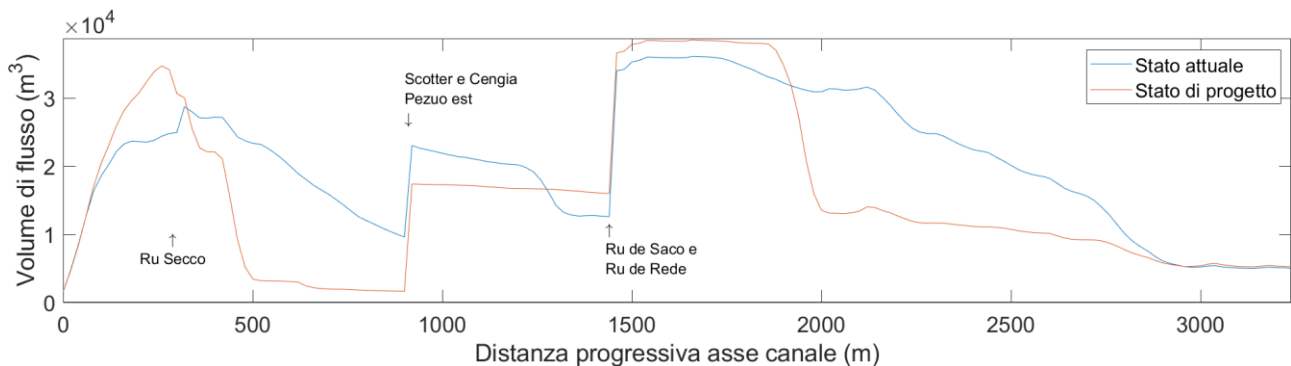


Grafico 18. Volume di flusso della colata detritica lungo l'asta analizzata – Idrogramma 30 minuti ad intensità costante

A supporto dei grafici 17 e 18, nella seguente tabella vengono riportate le statistiche di deposito ed erosione in riferimento a diversi tratti caratteristici sia per lo stato attuale sia per lo stato di progetto.

| ANALISI DEI VOLUMI DI DEPOSITO ED EROSIONE PER DIVERSI TRATTI - IDROGRAMMA 30 MINUTI AD INTENSITA' COSTANTE | | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|
| Tratti in analisi | STATO ATTUALE | | STATO DI PROGETTO | |
| | Erosione (m³) | Deposito (m³) | Erosione (m³) | Deposito (m³) |
| Tratto a monte della prima piazza di deposito | 39'870 | 1'130 | 56'430 | 220 |
| Tratto dalla prima piazza di deposito alla prima briglia filtrante | 3'180 | 22'570 | 610 | 62'170 |
| Tratto a valle delle opere | 200 | 29'830 | 207 | 2'320 |
| Tratto tra l'uscita del tombotto e l'unione del Ru de Saco e Ru de Rede | 400 | 1'590 | 60 | 920 |
| Tratto dall'unione di Ru de Saco e Ru de Rede alla seconda briglia filtrante | 2'730 | 10'270 | 1'930 | 44'760 |
| Tratto che va dalle seconda briglia filtrante all'entrata del tombotto | 980 | 44'380 | 2'430 | 15'200 |
| Tratto del tombotto | 0 | 1'440 | 0 | 940 |
| Tratto che va dalla fine del tombotto all'unione del Ru Secco con il Bòite | 1'920 | 2'170 | 2'490 | 2'400 |
| TOT | 49'280 | 113'380 | 64'157 | 128'930 |
| EROSIONE E DEPOSITO DEI SOTTOBACINI IN DESTRA IDROGRAFICA - STATO ATTUALE E DI PROGETTO | | | | |
| Sottobacini analizzati | Erosione (m³) | | Deposito pre-immissione (m³) | |
| Ru de Saco e Ru de Rede | 45'900 | | 26'090 | |
| Cengia Pezuo ovest e Cengia Pezuo centrale | 5'370 | | 3'400 | |
| Cengia Pezuo est e Scotter | 67'100 | | 37'930 | |
| TOT | 118'370 | | 67'420 | |

| *Tabella 6. Analisi del volume di erosione e deposito per tratti caratteristici*

Dalla tabella 6 si evince che, nonostante le erosioni dello stato di progetto siano maggiori rispetto a quelle dello stato attuale a causa della maggiore erosione nel tratto iniziale, il deposito a seguito della realizzazione delle opere è di circa 15.000 m³ maggiore rispetto allo stato senza opere; a supporto di questo maggiore deposito, assume maggiore importanza la disposizione dei depositi, dato che per lo stato attuale sono distribuiti lungo tutta l'asta del Ru Secco, mentre allo stato di progetto sono concentrati nelle piazze di deposito e nei piazzali delle briglie frangicolata filtranti.

Invece, dall'analisi delle differenze fra erosione e deposito lungo il versante per il bacini in destra idrografica ne deriva che circa 51.000 m³ di materiale solido entrano nel Ru Secco.

Viene infine riportata un'analisi delle portate solide transitanti per le principali sezioni interne del tratto di canale analizzato, in modo da poter osservare la progressione della colata nello spazio e nel tempo sia per lo stato attuale sia per lo stato di progetto.

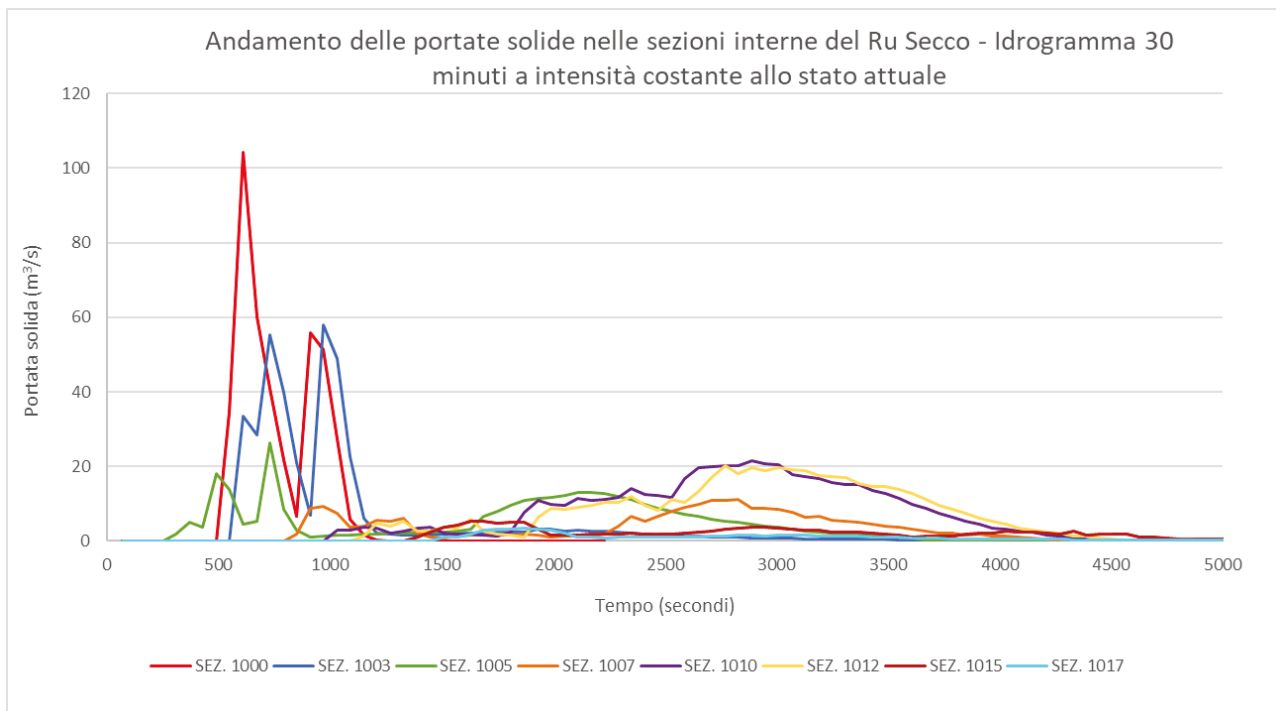


Grafico 19. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 30 minuti ad intensità costante allo stato attuale

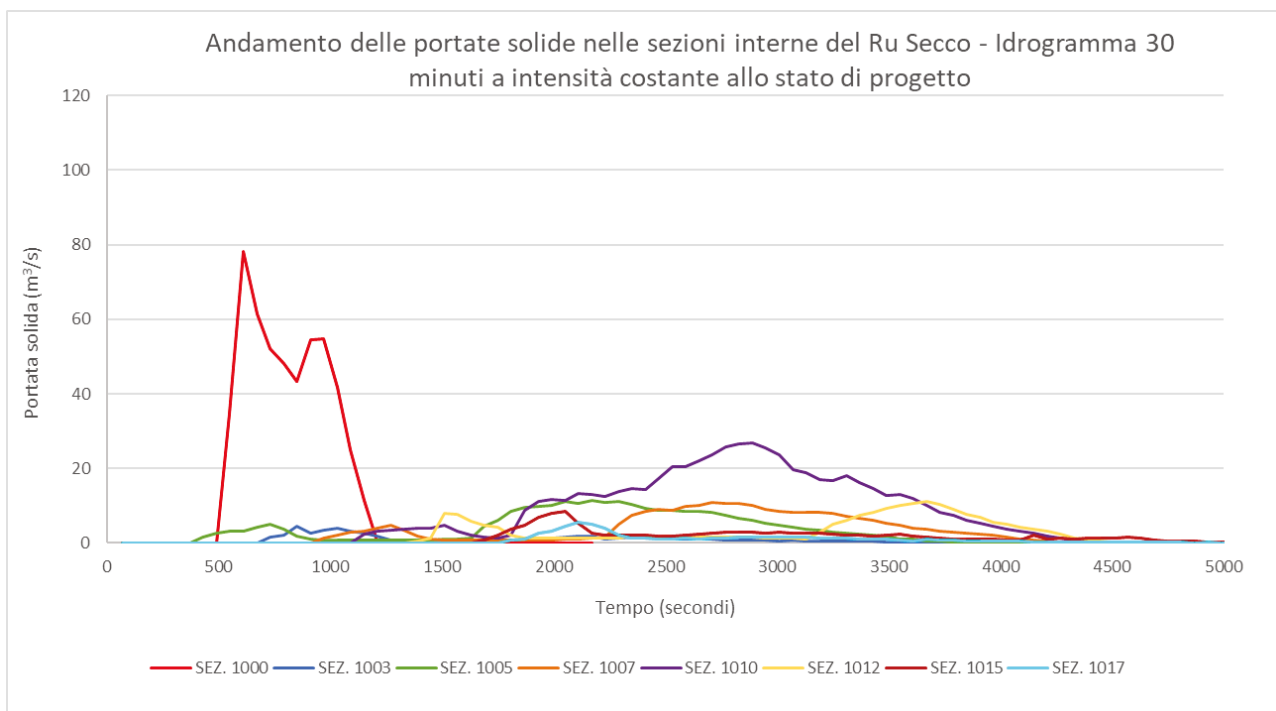
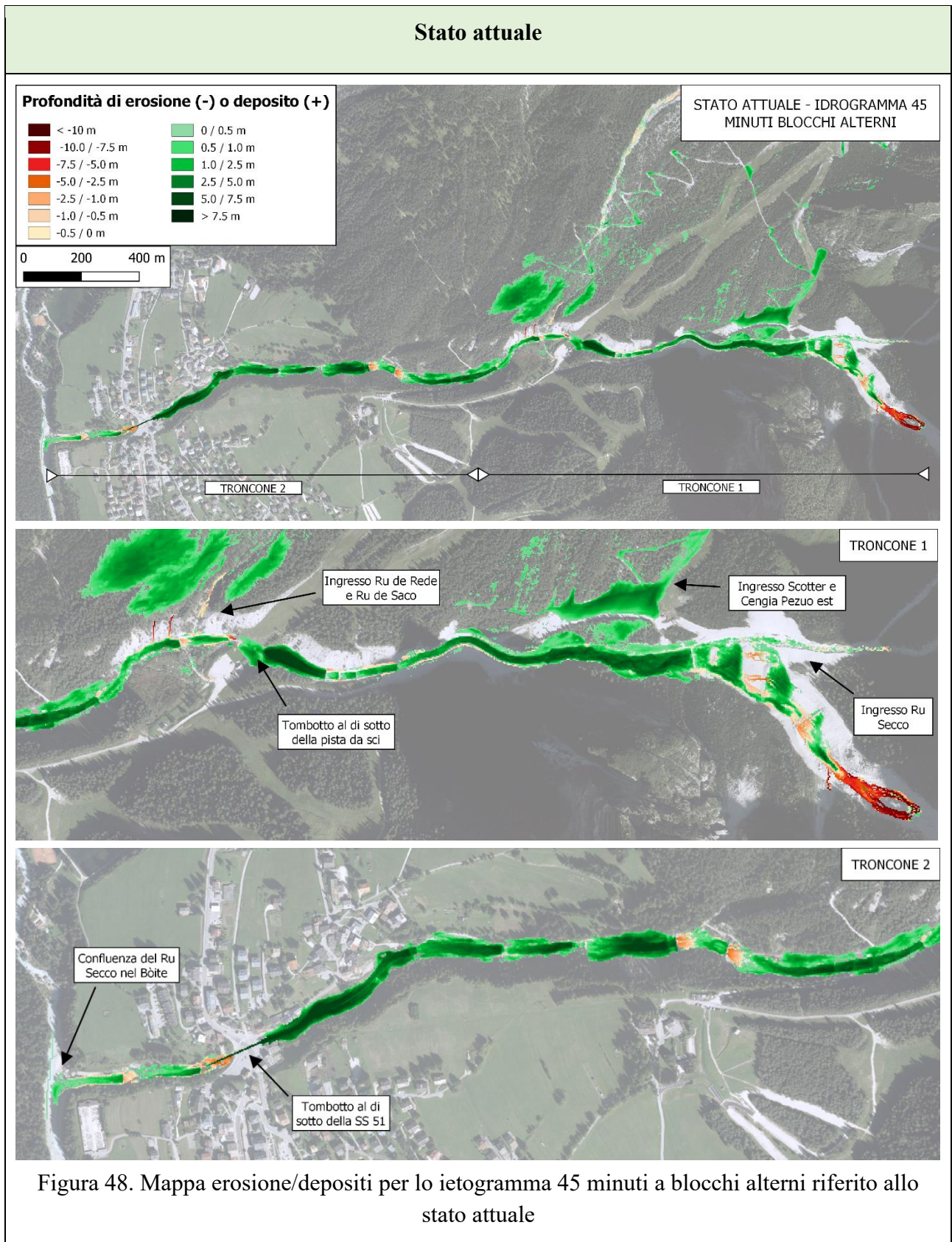


Grafico 20. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 30 minuti ad intensità costante allo stato di progetto

5.4 Ietogramma 45 minuti a blocchi alterni



| | |
|----------|--|
| Erosioni | <p>Come per le precedenti analisi, il tratto finale del Ru Salveta è interessato da forti erosioni, che per questo idrogramma di progetto ammontano complessivamente a 39.200 m³, su una profondità di scavo massima di 22 m.</p> <p>A differenza delle precedenti analisi però, in questo caso si può notare che la colata detritica proviene anche dal Ru Longia, determinando quindi uno scavo in prossimità dell'innesto con il Ru Salveta che, anche se con estensione minima, raggiunge profondità rispetto al piano originale di 10 m.</p> <p>La porzione terminale del Ru Secco, a monte della confluenza con il Ru Salveta presenta erosioni piuttosto limitate, con valori di scavo sempre inferiori a 1 m.</p> <p>Sporadici e limitati fenomeni di erosione si presentano poi più a valle lungo le sponde e a monte di alcune briglie di consolidamento.</p> <p>Considerevoli infine sono i fenomeni di erosione dei sottobacini in destra idrografica, che contribuiscono all'apporto di volume solido una volta che esso raggiunge il Ru Secco; i volumi di scavo sono così quantificati:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Ru de Saco e Ru de Rede: 94.000 m³ – Cengia Pezuo ovest e centrale: 8.000 m³ – Cengia Pezuo est e Scotter: 66.000 m³ <p>Il deflusso solido-liquido discendente da questi ultimi sottobacini causa una forte erosione nel punto appena a monte dell'immissione con il Ru Secco, contribuendo ancor di più con l'apporto solido.</p> |
| Depositi | <p>Sono quantitativamente maggiori rispetto alla simulazione con l'idrogramma di durata inferiore e possono essere così suddivisi:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Tratto che va dalla confluenza Ru Secco – Ru Salveta fino al deposito a monte del tombotto al di sotto della pista da sci escluso: ha un volume complessivo di 45.500 m³ con uno spessore massimo di 5,5 m; come si può osservare il deposito della colata detritica non interessa solo l'alveo del Ru Secco, infatti esonda anche oltre le sue sponde, interessando quindi la porzione di bosco rivolta a sud fino al punto in cui l'alveo non si fa più incassato e canalizzato. – Deposito a monte del tombotto della pista da sci: ammonta a 15.700 m³ e non tutto il deflusso solido-liquido proveniente da monte viene trattenuto dall'ostruzione del tombotto; di conseguenza una porzione di deflusso prosegue verso valle, inondando superficialmente la pista da sci e causando un deposito, che viene quantificato in 1700 m³, con uno spessore massimo di 2,7 m. – Deposito compreso fra i 2 tombotti: è quantitativamente elevato a causa della riduzione della pendenza del canale rispetto al tratto più a monte e quantificabile in circa 95.000 m³; le maggiori deposizioni si verificano nei 50 metri circa a valle di ogni briglia di consolidamento. Il deposito fuoriesce dal canale sia in sinistra che in destra idrografica a monte del tombotto di valle, occupando la strada che scorre parallela al Ru Secco in destra e una porzione del bosco in sinistra, non interessando però la piazza principale. |

Stato di progetto

Profondità di erosione (-) o deposito (+)

| | |
|----------------|-------------|
| < -10 m | 0 / 0,5 m |
| -10,0 / -7,5 m | 0,5 / 1,0 m |
| -7,5 / -5,0 m | 1,0 / 2,5 m |
| -5,0 / -2,5 m | 2,5 / 5,0 m |
| -2,5 / -1,0 m | 5,0 / 7,5 m |
| -1,0 / -0,5 m | > 7,5 m |
| -0,5 / 0 m | |

0 200 400 m

STATO DI PROGETTO - IDROGRAMMA
45 MINUTI BLOCCHI ALTERNI

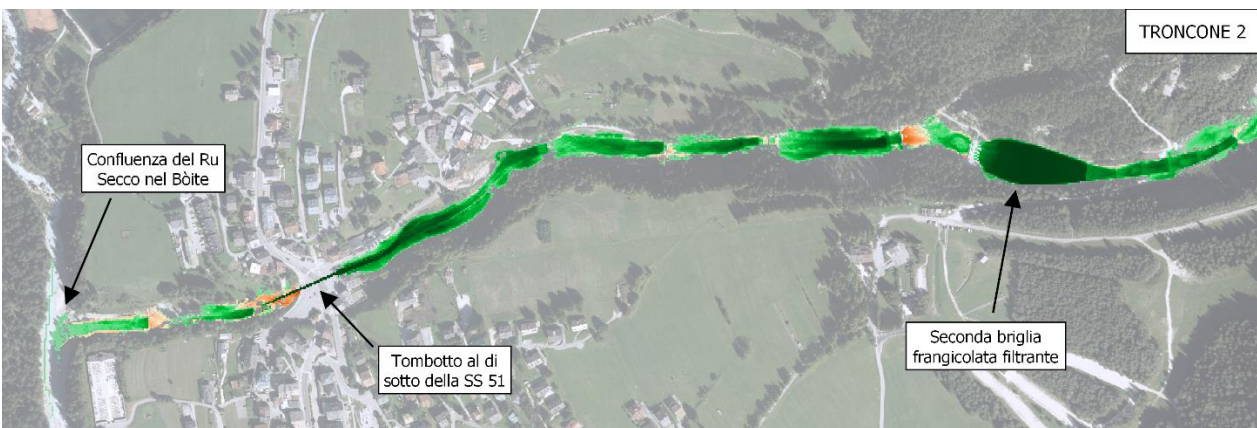
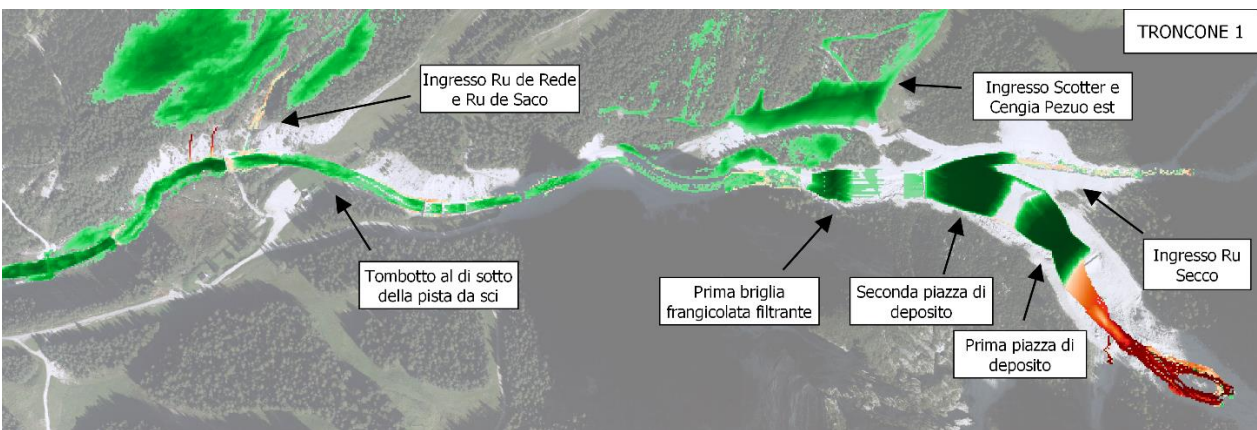
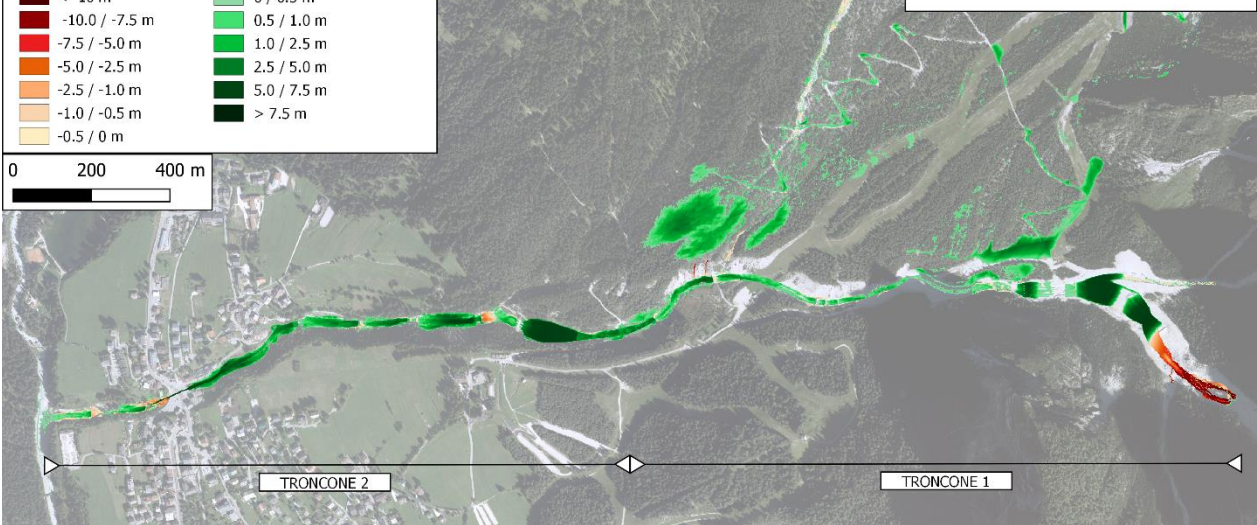


Figura 49. Mappa erosione/depositi per lo ietogramma 45 minuti a blocchi alterni riferito allo stato di progetto

| | |
|----------|--|
| Erosioni | <p>Complessivamente elevate nel tratto terminale del Ru Salvella, tanto da raggiungere la parte più apicale della piazza di deposito, non lasciando spazio a depositi sporadici prima di essa. I valori di scavo raggiungono i 26 m, per un volume complessivo di circa 40.500 m³ di materiale eroso.</p> <p>Anche nella simulazione con l'idrogramma con durata di 45 minuti a blocchi alterni la porzione terminale del Ru Longia, corrispondente al punto in cui si immette nel Ru Salvella, presenta erosioni profonde ma spazialmente limitate, con valori di scavo fino a 15 m.</p> <p>Le erosioni che si verificano più a valle rimangono essenzialmente invariate rispetto a quelle dello stato attuale, essendo già piuttosto limitate.</p> |
| Depositi | <p>Si verificano su entrambe le piazze di deposito, ma interessano anche la prima briglia frangicolata filtrante per un volume di 5.200 m³, circa 4.000 m³ in più rispetto alla precedente simulazione con durata di precipitazione di 30 minuti a blocchi alterni.</p> <p>La presenza di queste prime 3 opere riduce significativamente i fenomeni di deposito a valle di essi, dove gli spessori depositati sono sempre inferiori a 1,5 m. Il deposito riprende ad essere più consistente dal punto in cui defluiscono nel Ru Secco si inseriscono il Ru de Rede e Ru de Saco, infatti, si arriva ad avere la seconda briglia frangicolata filtrante completamente piena, ospitando 44.500 m³ di sedimento.</p> <p>L'eccesso di sedimento non trattenuto prosegue verso valle, dove le pendenze sono più ridotte e di conseguenza si hanno lunghi e larghi depositi all'interno dell'alveo fino al tombotto di valle, ma senza fuoriuscire dall'asta del Ru Secco, nonostante a monte del tombotto si crei un ampio deposito causato dalla riduzione della velocità della colata per il restringimento costituito dall'entrata del tombotto stesso.</p> |

Viene mostrata nei seguenti grafici l'analisi di confronto dei fenomeni di erosione e deposito analizzata con il codice MATLAB.

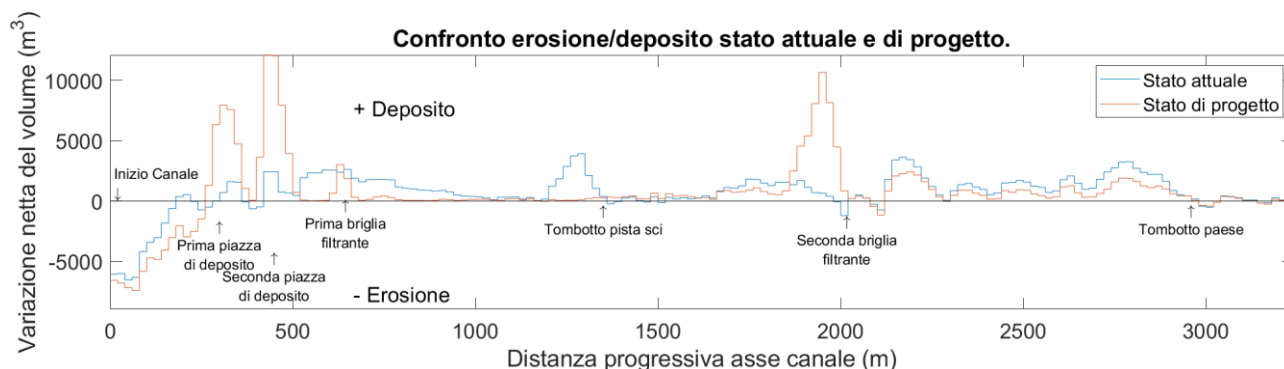


Grafico 21. Confronto tra lo stato attuale e lo stato di progetto dell'andamento dell'erosione e del deposito lungo l'asta del Ru Secco – Idrogramma 45 minuti a blocchi alterni

Come mostrato nel grafico le erosioni e i depositi diventano sempre maggiori all'aumentare della durata di pioggia assegnata alla simulazione e di conseguenza aumentano anche i fenomeni di erosione e deposito.

Per lo stato di progetto le erosioni iniziali sono sempre maggiori rispetto a quelle che si verificano allo stato attuale, anche se tutto il materiale eroso e trasportato a valle viene intercettato in modo molto efficace dalle due piazze di deposito e dalla prima briglia filtrante.

Infatti, come si nota nel grafico, le due piazze di deposito allo stato di progetto si rivelano altamente efficaci nello stoccaggio del deflusso solido proveniente da Ru Salveta e Ru Secco, in particolare per la seconda piazza di deposito; inoltre, si nota che anche la prima briglia frangicolata filtrante inizia ad assolvere alla propria funzione, captando un volume di circa 5.200 m³ di sedimento per uno spessore massimo di 5,2 m.

A monte del tombotto al di sotto della pista da sci, una volta realizzate le opere di intercettazione del deflusso solido a monte, non si avrà alcun tipo di deposito come invece si ha allo stato attuale, risolvendo in questo modo il sovralluvionamento del Ru Secco e il deposito di materiale nel piazzale di partenza della seggiovia "San Marco".

Infine, come per le precedenti analisi con idrogrammi a durata inferiore, la seconda briglia filtrante allo stato di progetto si rivela altamente efficace nella captazione del sedimento del Ru de Rede e Ru de Saco, anche se viene completamente colmata e tutto il materiale in eccesso prosegue verso valle, depositandosi lungo l'asta del Ru Secco fino al tombotto al di sotto della SS 51.

Nel tratto a valle del tombotto invece i depositi sono minimi e in egual valore tra lo stato attuale e quello di progetto.

Viene quindi riportato il grafico mostrante il volume di flusso transitante lungo l'asta analizzata:

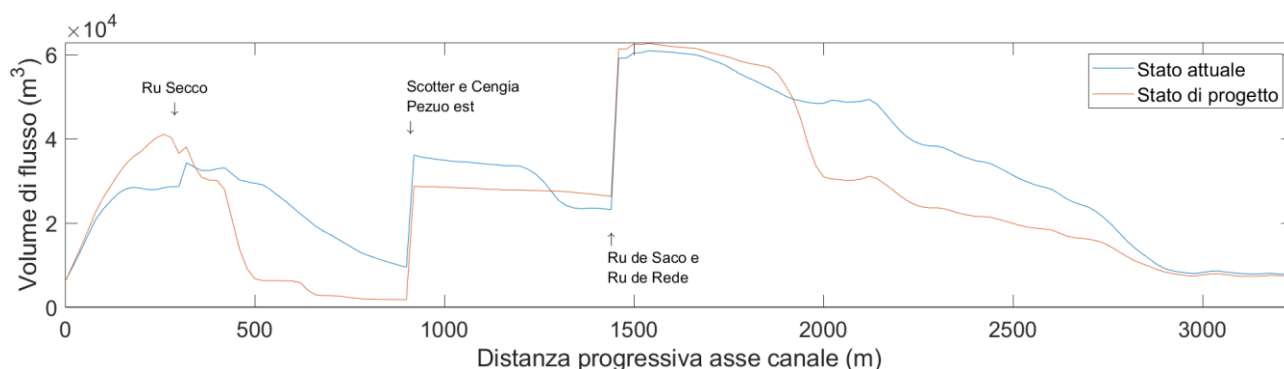


Grafico 22. Volume di flusso della colata detritica lungo l'asta analizzata – Idrogramma 45 minuti a blocchi alterni

Nel grafico 22 si nota che, a differenza delle precedenti analisi con durata di precipitazione inferiore, i volumi di flusso degli input laterali (Scotter, Cengia Pezuo est, Ru de Saco e Ru de Rede) si fa sempre più elevato, andando ad alimentare la colata sul Ru Secco, anche se i volumi di flusso dello stato di progetto sono generalmente inferiori a quelli dello stato attuale, dimostrando così l'efficacia delle opere di trattenuta a progetto.

Per l'idrogramma di 45 minuti a blocchi alterni la colata si stabilizza in prossimità della progressiva 2850 circa, che corrisponde all'entrata del tombotto al di sotto della SS 51.

A supporto dei grafico 21 e 22, nella seguente tabella vengono riportate le statistiche di deposito ed erosione in riferimento a diversi tratti caratteristici sia per lo stato attuale sia per lo stato di progetto.

| ANALISI DEI VOLUMI DI DEPOSITO ED EROSIONE PER DIVERSI TRATTI - IDROGRAMMA 45 MINUTI A BLOCCHI ALTERNI | | | | |
|---|---------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|
| Tratti in analisi | STATO ATTUALE | | STATO DI PROGETTO | |
| | Erosione (m³) | Deposito (m³) | Erosione (m³) | Deposito (m³) |
| Tratto a monte delle prima piazza di deposito | 40'530 | 2'090 | 60'610 | 210 |
| Tratto dalla prima piazza di deposito alla prima briglia filtrante | 3'960 | 29'600 | 800 | 75'240 |
| Tratto a valle delle opere | 1'020 | 37'420 | 900 | 4'680 |
| Tratto tra l'uscita del tombotto e l'unione del Ru de Saco e Ru de Rede | 680 | 2'520 | 70 | 1'860 |
| Tratto dall'unione di Ru de Saco e Ru de Rede alla seconda briglia filtrante | 2'350 | 23'910 | 580 | 58'400 |
| Tratto che va dalle seconda briglia filtrante all'entrata del tombotto | 1'390 | 69'767 | 2'290 | 40'240 |
| Tratto del tombotto | 0 | 1'830 | 0 | 1'560 |
| Tratto che va dalla fine del tombotto all'unione del Ru Secco con il Bòite | 2'910 | 3'430 | 3'250 | 3'120 |
| TOT | 52'840 | 170'567 | 68'500 | 185'310 |
| EROSIONE E DEPOSITO DEI SOTTOBACINI IN DESTRA IDROGRAFICA - STATO ATTUALE E DI PROGETTO | | | | |
| Sottobacini analizzati | Erosione (m³) | | Deposito pre-immissione (m³) | |
| Ru de Saco e Ru de Rede | 94'000 | | 42'650 | |
| Cengia Pezuo ovest e Cengia Pezuo centrale | 7'960 | | 3'700 | |
| Cengia Pezuo est e Scotter | 66'370 | | 29'680 | |
| TOT | 168'330 | | 76'030 | |

Tabella 7. Analisi del volume di erosione e deposito per tratti caratteristici

Dalla tabella 7 si evince che, nonostante le erosioni dello stato di progetto siano maggiori rispetto a quelle dello stato attuale a causa della maggiore erosione nel tratto iniziale, il deposito a seguito della realizzazione delle opere è di circa 15.000 m³ maggiore rispetto allo stato senza opere; a supporto di questo maggiore deposito, assume maggiore importanza la disposizione dei depositi, dato che per lo stato attuale sono distribuiti lungo tutta l'asta del Ru Secco, mentre allo stato di progetto sono concentrati nelle piazze di deposito e nei piazzali delle briglie frangicolata filtranti.

Invece, dall'analisi delle differenze fra erosione e deposito lungo il versante per il bacini in destra idrografica ne deriva che circa 92.000 m³ di materiale solido entrano nel Ru Secco.

Viene infine riportata un'analisi delle portate solide transitanti per ogni sezione i per le principali sezioni interne del tratto di canale analizzato.

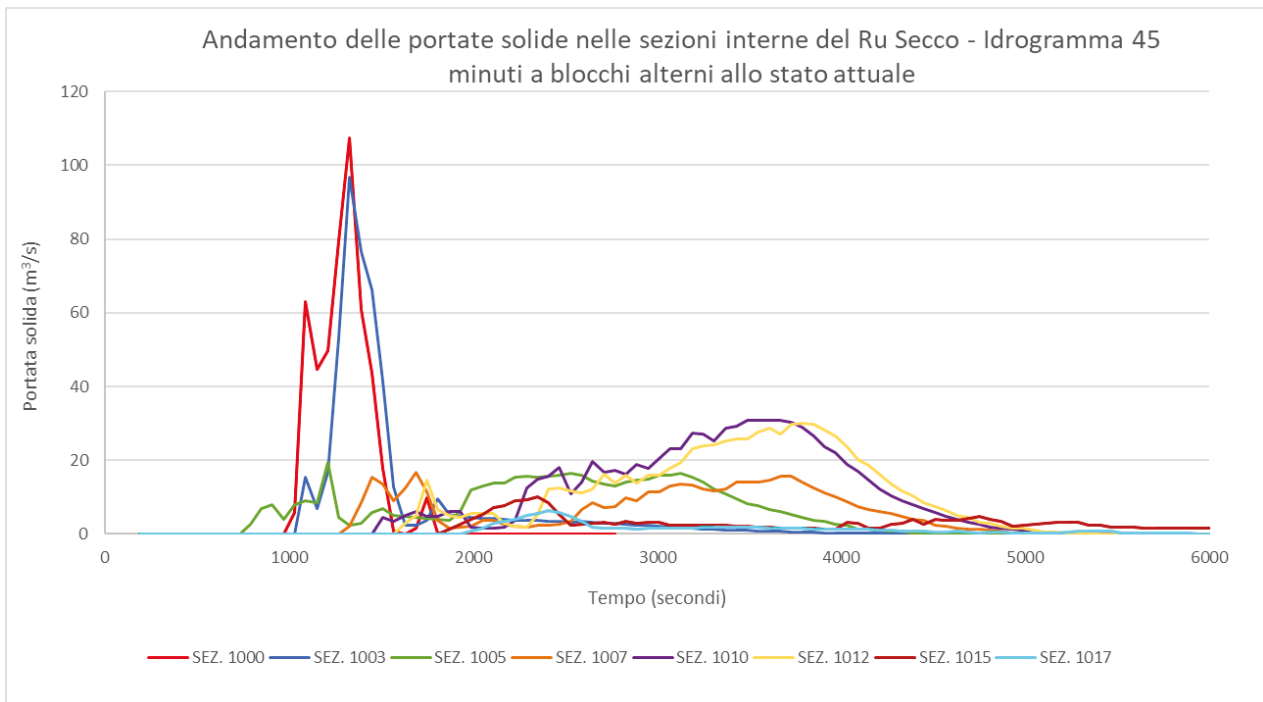


Grafico 23. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 45 minuti a blocchi alterni allo stato attuale

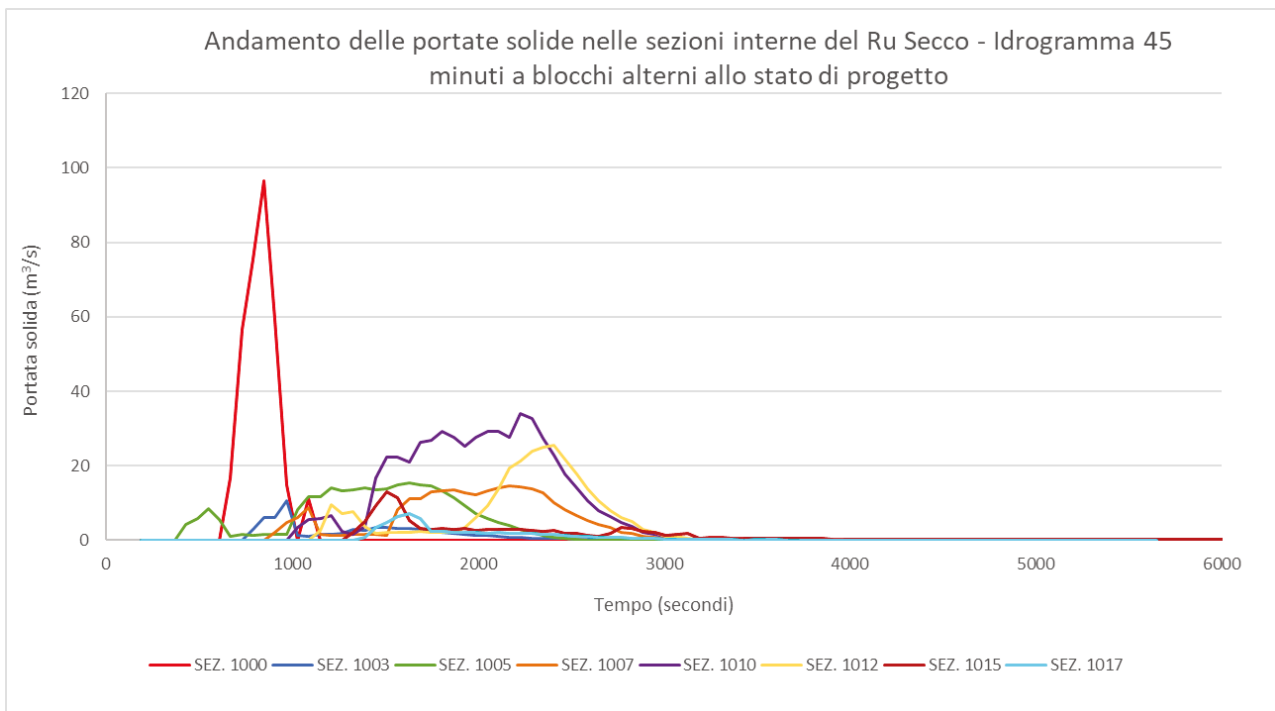
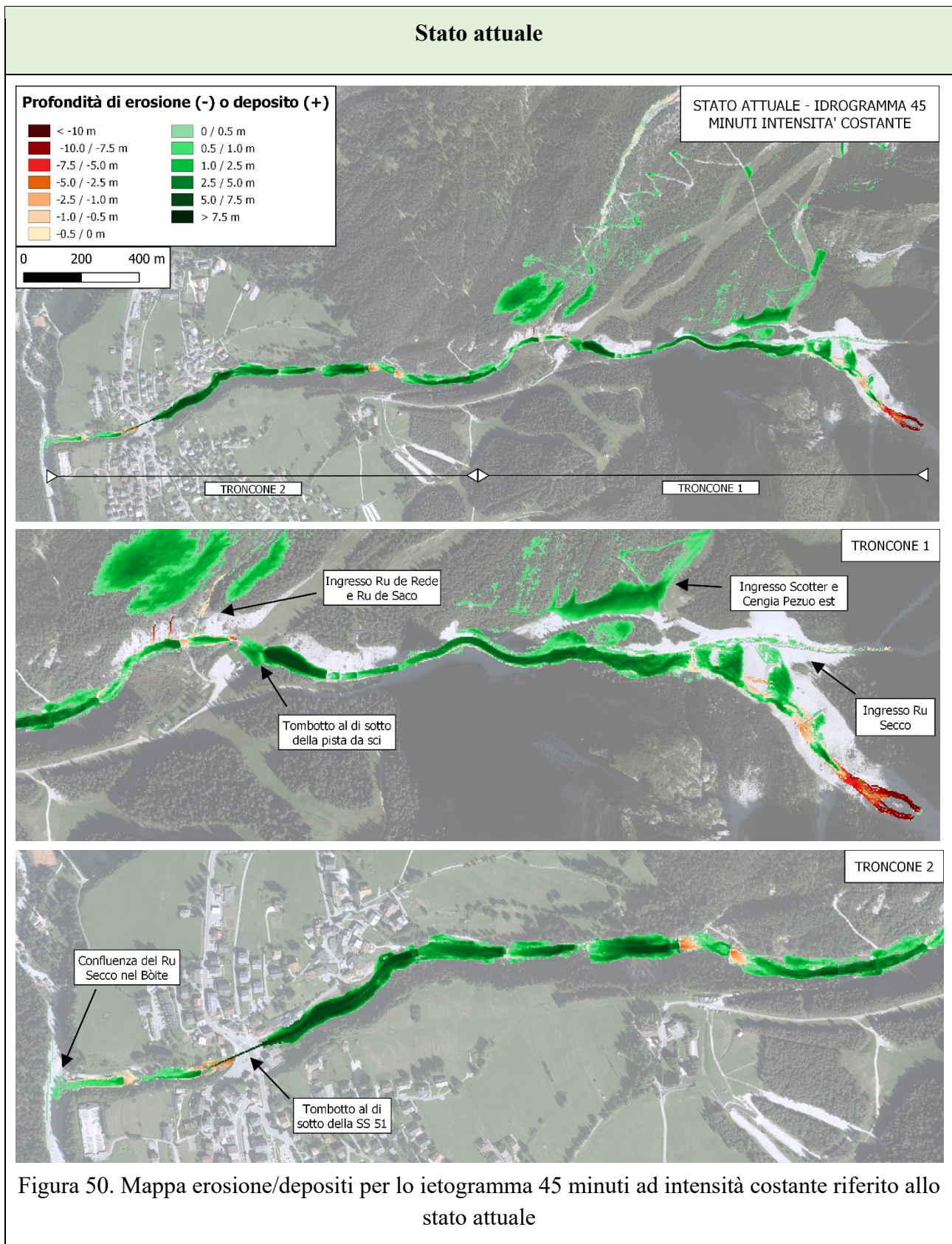


Grafico 24. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 45 minuti a blocchi alterni allo stato di progetto

5.5 Ietogramma 45 minuti ad intensità costante



Stato di progetto

Profondità di erosione (-) o deposito (+)

| | |
|--|--|
| ■ < -10 m | ■ 0 / 0,5 m |
| ■ -10,0 / -7,5 m | ■ 0,5 / 1,0 m |
| ■ -7,5 / -5,0 m | ■ 1,0 / 2,5 m |
| ■ -5,0 / -2,5 m | ■ 2,5 / 5,0 m |
| ■ -2,5 / -1,0 m | ■ 5,0 / 7,5 m |
| ■ -1,0 / -0,5 m | ■ > 7,5 m |
| ■ -0,5 / 0 m | |

0 200 400 m

STATO DI PROGETTO - IDROGRAMMA
45 MINUTI INTENSITA' COSTANTE

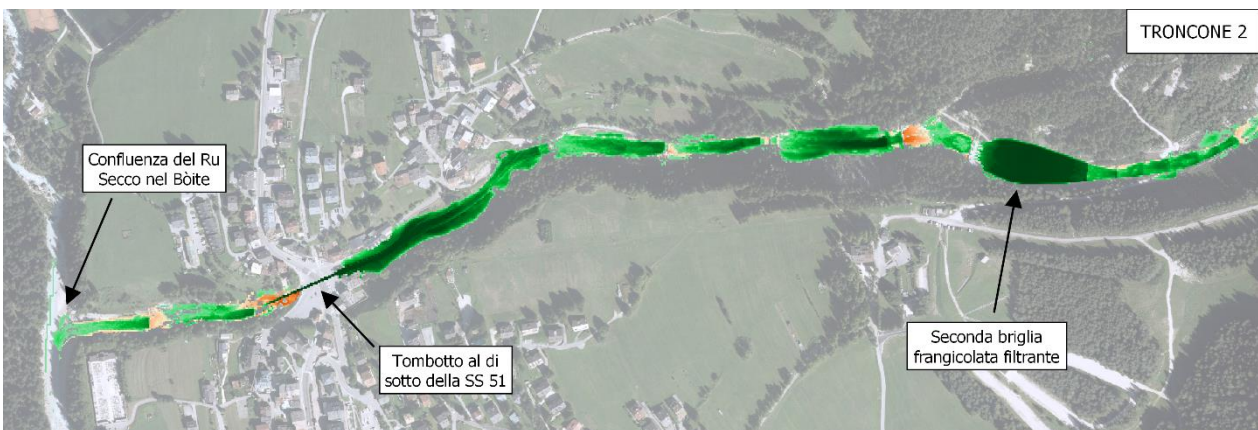
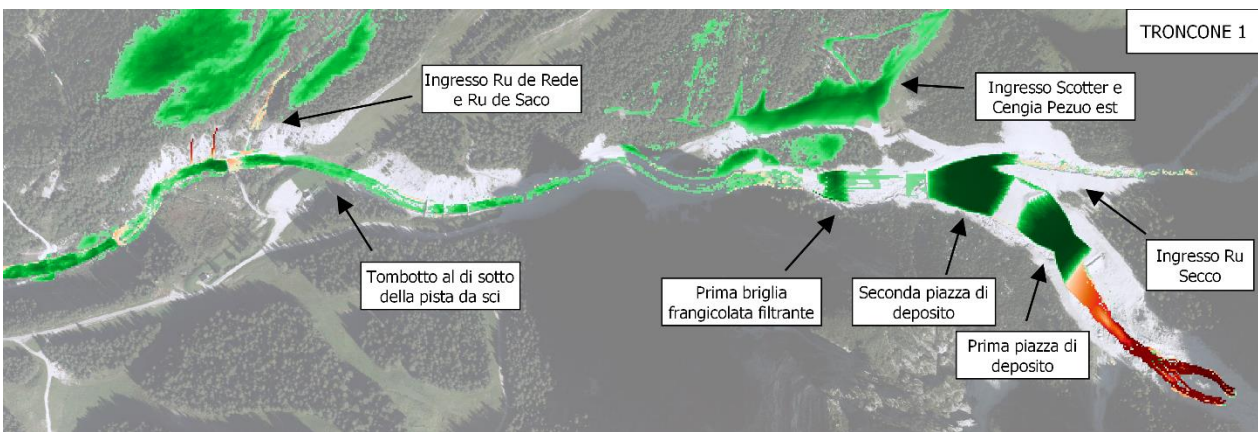
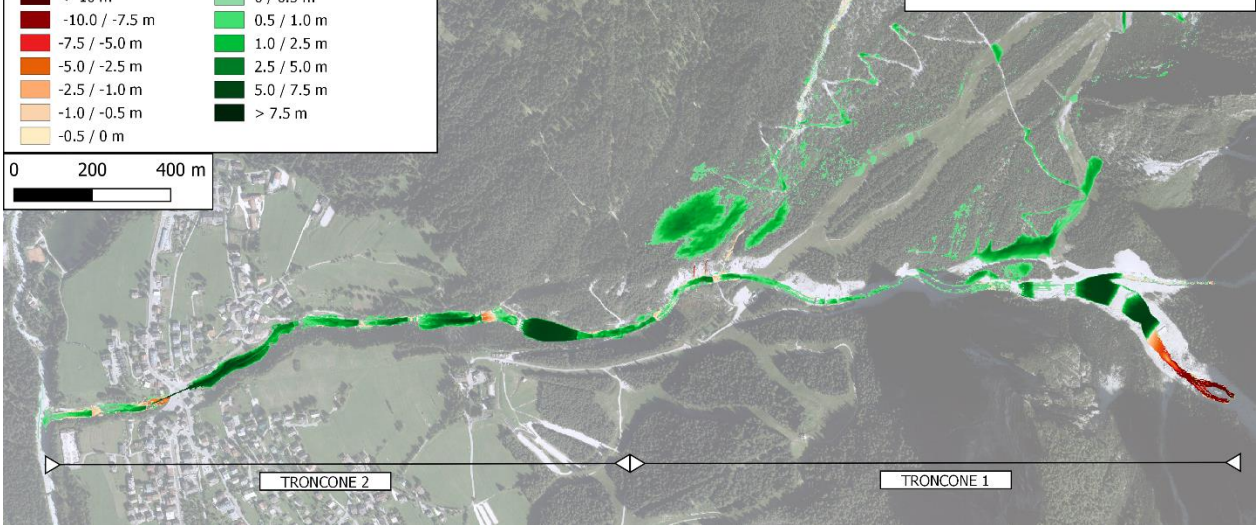


Figura 51. Mappa erosione/depositi per lo ietogramma 45 minuti ad intensità costante riferito allo stato di progetto

Viene mostrata nei seguenti grafici l'analisi di confronto dei fenomeni di erosione e deposito analizzata con il codice MATLAB.

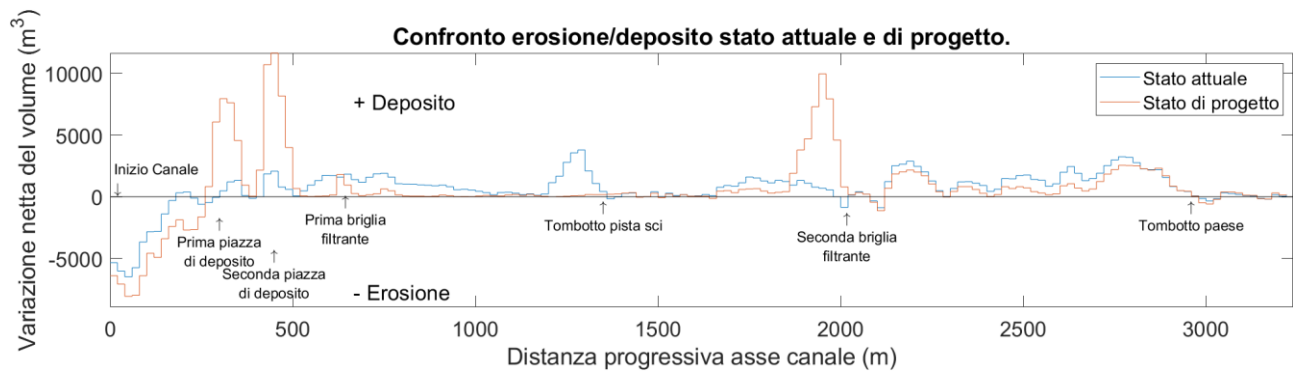


Grafico 25. Confronto tra lo stato attuale e lo stato di progetto dell'andamento dell'erosione e del deposito lungo l'asta del Ru Secco – Idrogramma 45 minuti ad intensità costante

Viene quindi riportato il grafico mostrante il volume di flusso transitante lungo l'asta analizzata:

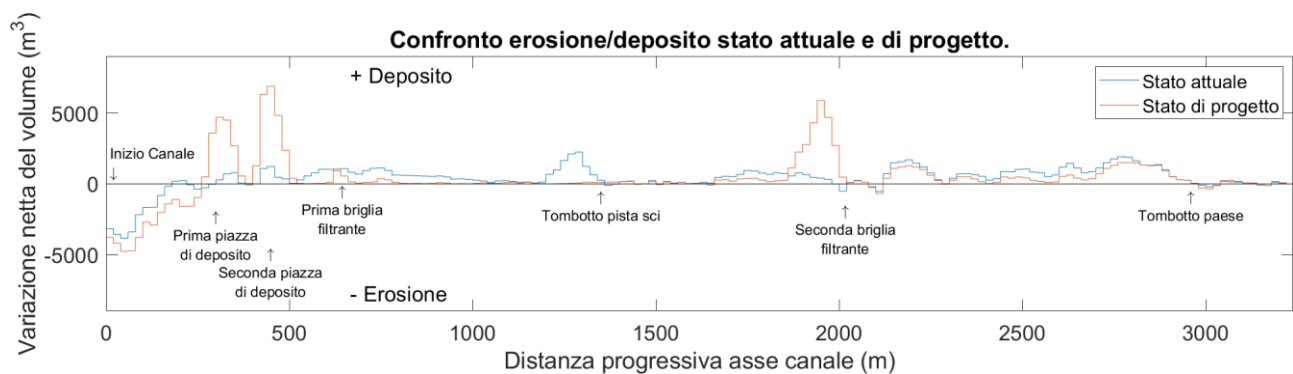


Grafico 26. Volume di flusso della colata detritica lungo l'asta analizzata – Idrogramma 45 minuti ad intensità costante

A supporto dei grafici 25 e 26, nella seguente tabella vengono riportate le statistiche di deposito ed erosione in riferimento a diversi tratti caratteristici sia per lo stato attuale sia per lo stato di progetto.

| ANALISI DEI VOLUMI DI DEPOSITO ED EROSIONE PER DIVERSI TRATTI - IDROGRAMMA 45 MINUTI AD INTENSITA' COSTANTE | | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|
| Tratti in analisi | STATO ATTUALE | | STATO DI PROGETTO | |
| | Erosione (m³) | Deposito (m³) | Erosione (m³) | Deposito (m³) |
| Tratto a monte della prima piazza di deposito | 36'220 | 1'620 | 60'270 | 190 |
| Tratto dalla prima piazza di deposito alla prima briglia filtrante | 2'490 | 20'040 | 650 | 68'574 |
| Tratto a valle delle opere | 360 | 36'010 | 450 | 4'080 |
| Tratto tra l'uscita del tombotto e l'unione del Ru de Saco e Ru de Rede | 540 | 2'540 | 80 | 1'390 |
| Tratto dall'unione di Ru de Saco e Ru de Rede alla seconda briglia filtrante | 2'000 | 20'530 | 1'180 | 48'560 |
| Tratto che va dalle seconda briglia filtrante all'entrata del tombotto | 1'520 | 68'160 | 2'240 | 45'760 |
| Tratto del tombotto | 0 | 1'800 | 0 | 1'890 |
| Tratto che va dalla fine del tombotto all'unione del Ru Secco con il Bòite | 2'470 | 2'770 | 3'440 | 3'630 |
| TOT | 45'600 | 153'470 | 68'310 | 174'074 |
| EROSIONE E DEPOSITO DEI SOTTOBACINI IN DESTRA IDROGRAFICA - STATO ATTUALE E DI PROGETTO | | | | |
| Sottobacini analizzati | Erosione (m³) | | Deposito pre-immissione (m³) | |
| Ru de Saco e Ru de Rede | 89'300 | | 39'120 | |
| Cengia Pezuo ovest e Cengia Pezuo centrale | 6'000 | | 3'400 | |
| Cengia Pezuo est e Scotter | 64'640 | | 29'800 | |
| TOT | 159'940 | | 72'320 | |

Tabella 8. Analisi del volume di erosione e deposito per tratti caratteristici - Idrogramma 45 minuti ad intensità costante

Dalla tabella 8 si evince che, nonostante le erosioni dello stato di progetto siano maggiori rispetto a quelle dello stato attuale a causa della maggiore erosione nel tratto iniziale, il deposito a seguito della realizzazione delle opere è di circa 21.000 m³ maggiore rispetto allo stato senza opere; a supporto di questo maggiore deposito, assume maggiore importanza la disposizione dei depositi, dato che per lo stato attuale sono distribuiti lungo tutta l'asta del Ru Secco, mentre allo stato di progetto sono concentrati nelle piazze di deposito e nei piazzali delle briglie frangicolata filtranti.

Invece, dall'analisi delle differenze fra erosione e deposito lungo il versante per il bacini in destra idrografica ne deriva che circa 87.000 m³ di materiale solido entrano nel Ru Secco.

Viene infine riportata un'analisi delle portate solide transitanti per le principali sezioni interne del tratto di canale analizzato:

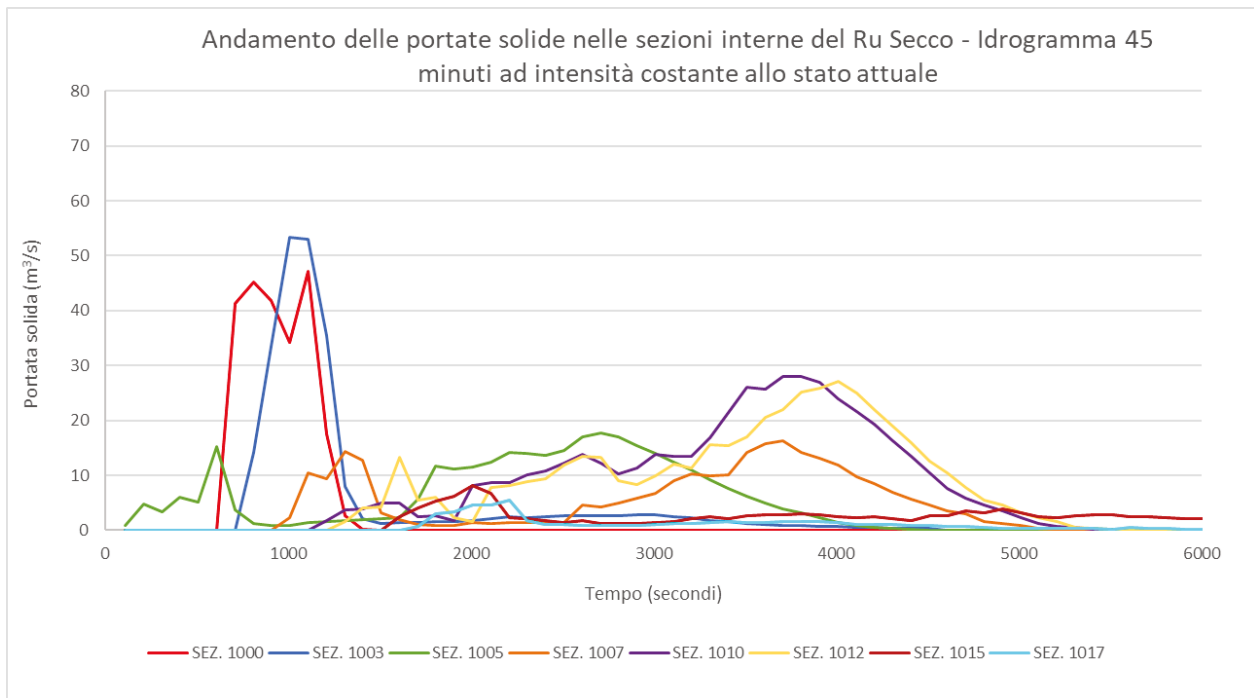


Grafico 27. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 45 minuti ad intensità costante allo stato attuale

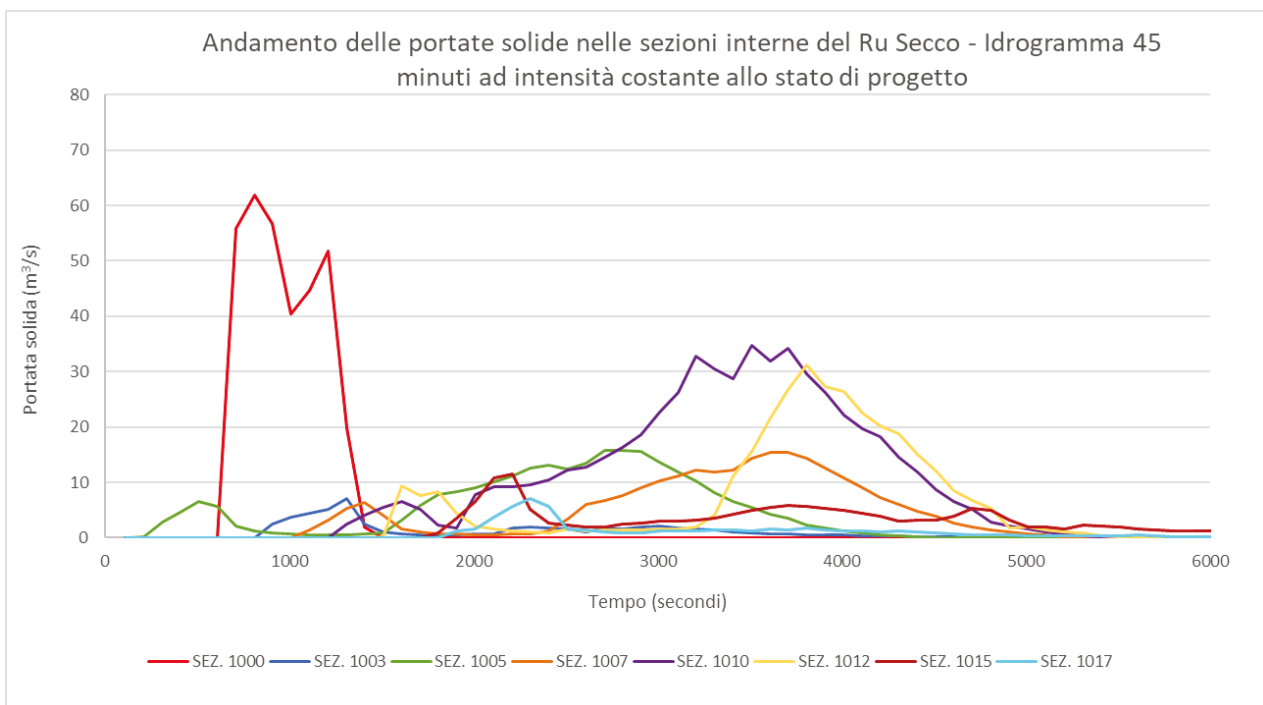
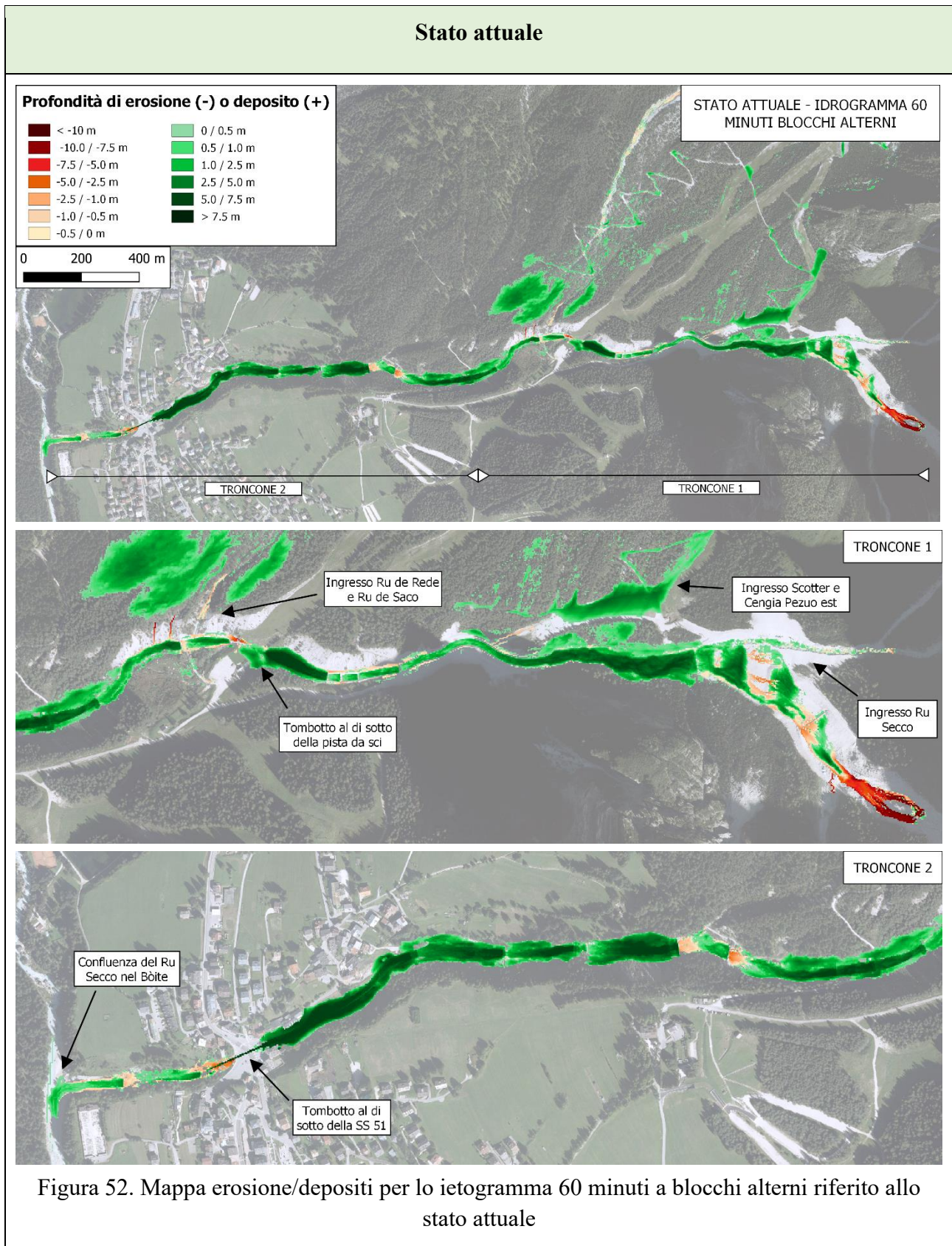


Grafico 28. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 45 minuti ad intensità costante allo stato di progetto

5.6 Ietogramma 60 minuti a blocchi alterni



Stato di progetto

Profondità di erosione (-) o deposito (+)

| | |
|--|--|
| ■ < -10 m | ■ 0 / 0,5 m |
| ■ -10,0 / -7,5 m | ■ 0,5 / 1,0 m |
| ■ -7,5 / -5,0 m | ■ 1,0 / 2,5 m |
| ■ -5,0 / -2,5 m | ■ 2,5 / 5,0 m |
| ■ -2,5 / -1,0 m | ■ 5,0 / 7,5 m |
| ■ -1,0 / -0,5 m | ■ > 7,5 m |
| ■ -0,5 / 0 m | |

0 200 400 m

STATO DI PROGETTO - IDROGRAMMA
60 MINUTI BLOCCHI ALTERNI

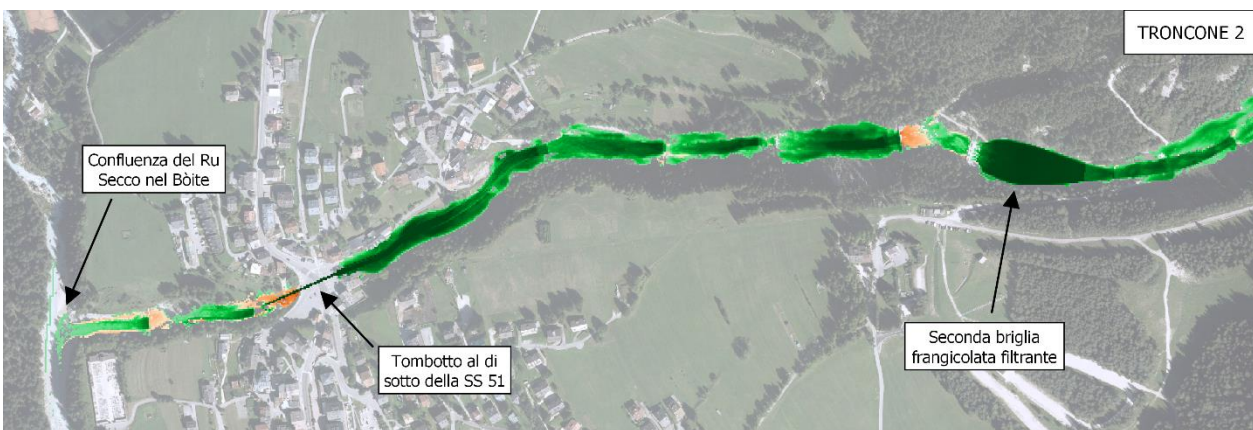
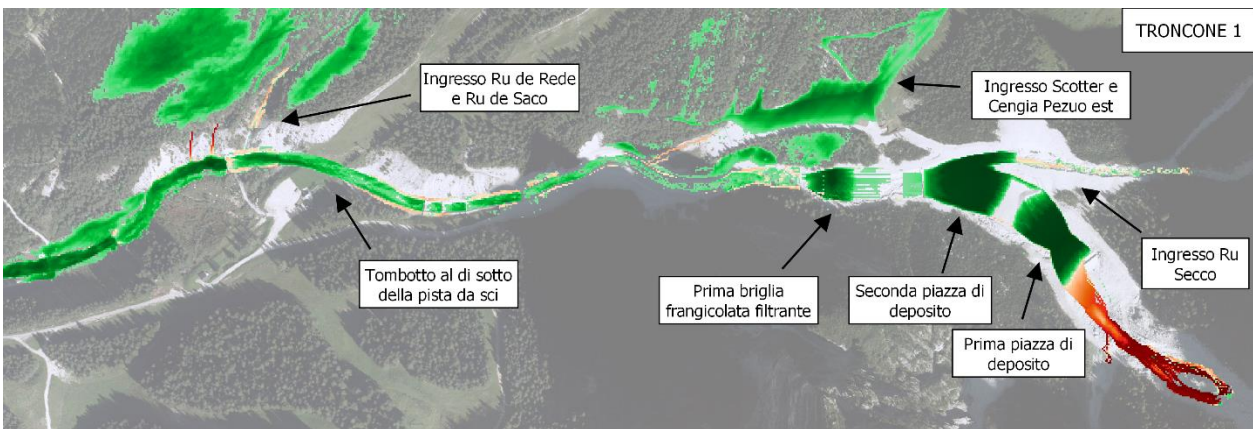
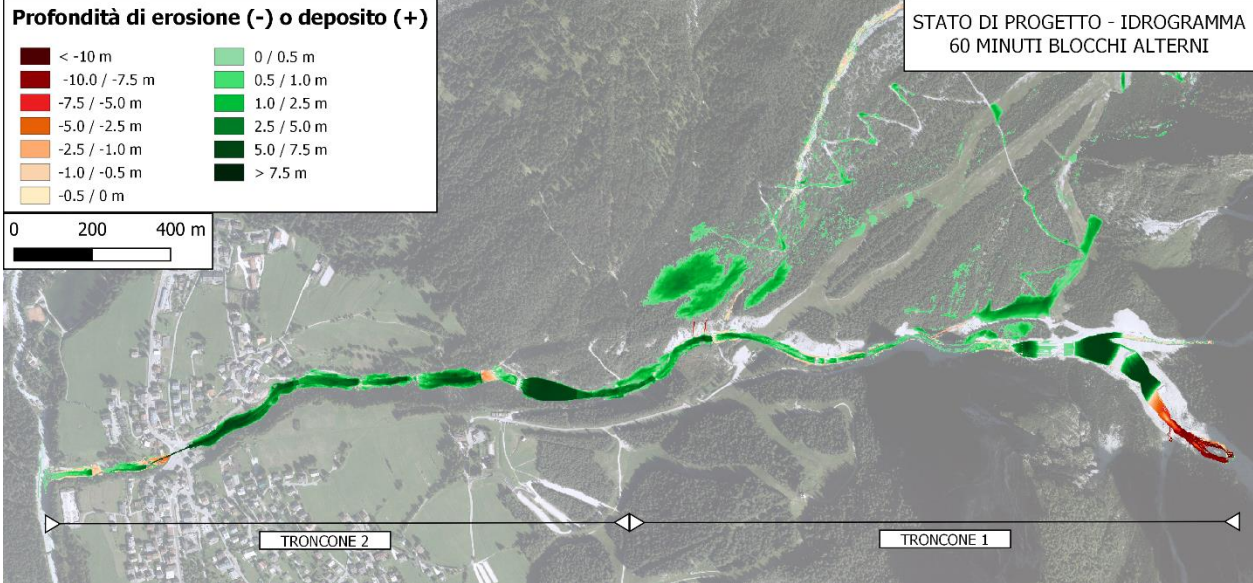


Figura 53. Mappa erosione/depositi per lo ietogramma 60 minuti a blocchi alterni riferito allo stato di progetto

Viene mostrata nei seguenti grafici l'analisi di confronto dei fenomeni di erosione e deposito analizzata con il codice MATLAB.

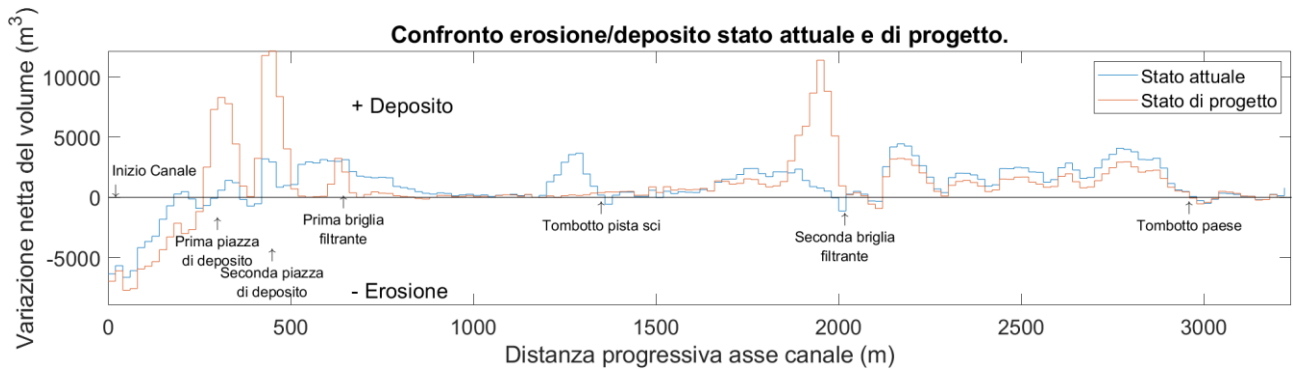


Grafico 29. Confronto tra lo stato attuale e lo stato di progetto dell'andamento dell'erosione e del deposito lungo l'asta del Ru Secco – Idrogramma 60 minuti a blocchi alterni

Viene quindi riportato il grafico mostrante il volume di flusso transitante lungo l'asta analizzata:

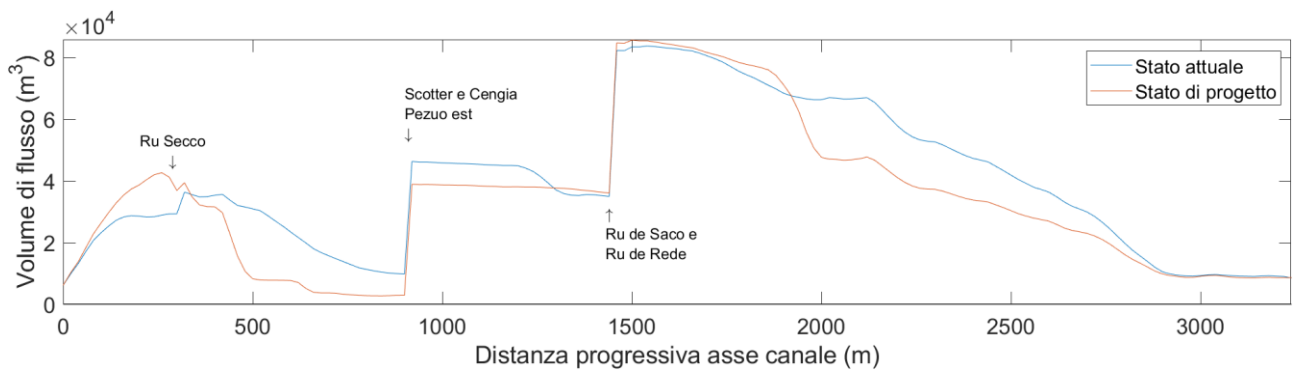


Grafico 30. Volume di flusso della colata detritica lungo l'asta analizzata – Idrogramma 60 minuti a blocchi alterni

A supporto dei grafici 29 e 30, nella seguente tabella vengono riportate le statistiche di deposito ed erosione in riferimento a diversi tratti caratteristici sia per lo stato attuale sia per lo stato di progetto.

| ANALISI DEI VOLUMI DI DEPOSITO ED EROSIONE PER DIVERSI TRATTI - IDROGRAMMA 60 MINUTI A BLOCCHI ALTERNI | | | | |
|---|---------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|
| Tratti in analisi | STATO ATTUALE | | STATO DI PROGETTO | |
| | Erosione (m³) | Deposito (m³) | Erosione (m³) | Deposito (m³) |
| Tratto a monte della prima piazza di deposito | 41'250 | 2'030 | 63'300 | 251 |
| Tratto dalla prima piazza di deposito alla prima briglia filtrante | 4'750 | 35'840 | 800 | 78'410 |
| Tratto a valle delle opere | 1'326 | 32'280 | 2'180 | 5'980 |
| Tratto tra l'uscita del tombotto e l'unione del Ru de Saco e Ru de Rede | 1'160 | 2'760 | 110 | 2'550 |
| Tratto dall'unione di Ru de Saco e Ru de Rede alla seconda briglia filtrante | 2'220 | 32'870 | 600 | 69'510 |
| Tratto che va dalle seconde briglie filtranti all'entrata del tombotto | 1'120 | 97'080 | 2'010 | 65'590 |
| Tratto del tombotto | 0 | 2'781 | 0 | 1'910 |
| Tratto che va dalla fine del tombotto all'unione del Ru Secco con il Bòite | 3'210 | 4'000 | 3'710 | 3'720 |
| TOT | 55'036 | 209'641 | 72'710 | 227'921 |
| EROSIONE E DEPOSITO DEI SOTTOBACINI IN DESTRA IDROGRAFICA - STATO ATTUALE E DI PROGETTO | | | | |
| Sottobacini analizzati | Erosione (m³) | | Deposito pre-immissione (m³) | |
| Ru de Saco e Ru de Rede | 112'760 | | 40'244 | |
| Cengia Pezuo ovest e Cengia Pezuo centrale | 8'290 | | 3'800 | |
| Cengia Pezuo est e Scotter | 81'440 | | 30'000 | |
| TOT | 202'490 | | 74'044 | |

Tabella 9. Analisi del volume di erosione e deposito per tratti caratteristici

Dalla tabella 9 si evince che, nonostante le erosioni dello stato di progetto siano maggiori rispetto a quelle dello stato attuale a causa della maggiore erosione nel tratto iniziale, il deposito a seguito della realizzazione delle opere è di circa 18.000 m³ maggiore rispetto allo stato senza opere; a supporto di questo maggiore deposito, assume maggiore importanza la disposizione dei depositi, dato che per lo stato attuale sono distribuiti lungo tutta l'asta del Ru Secco, mentre allo stato di progetto sono concentrati nelle piazze di deposito e nei piazzali delle briglie frangicolata filtranti.

Invece, dall'analisi delle differenze fra erosione e deposito lungo il versante per il bacini in destra idrografica ne deriva che circa 128.000 m³ di materiale solido entrano nel Ru Secco.

Viene infine riportata un'analisi delle portate solide transitanti per le principali sezioni interne del tratto di canale analizzato:

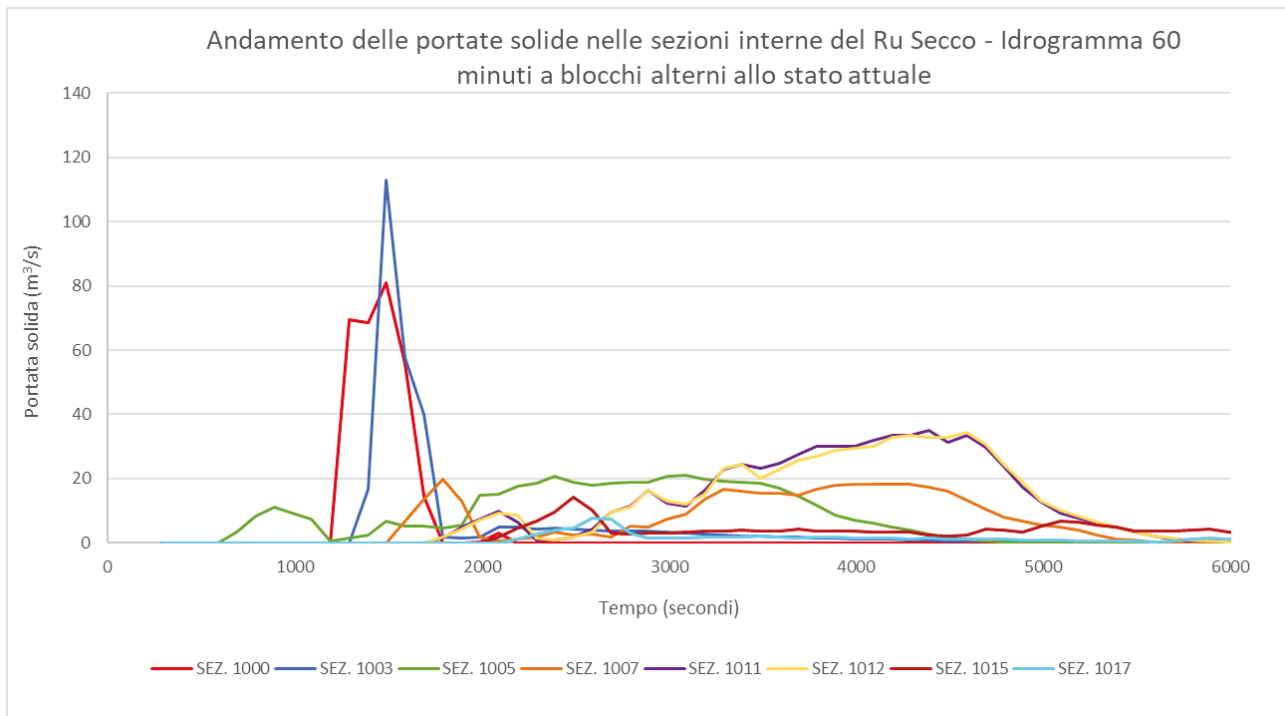


Grafico 31. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 60 minuti a blocchi alterni allo stato attuale

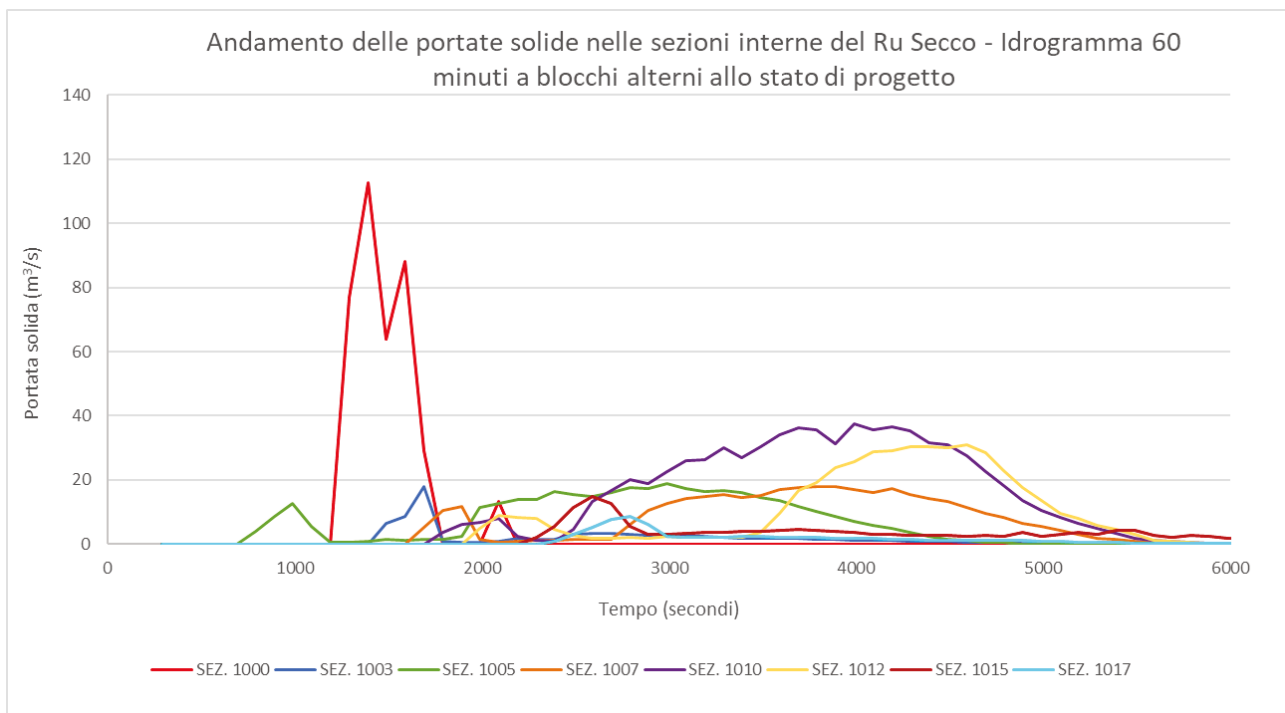
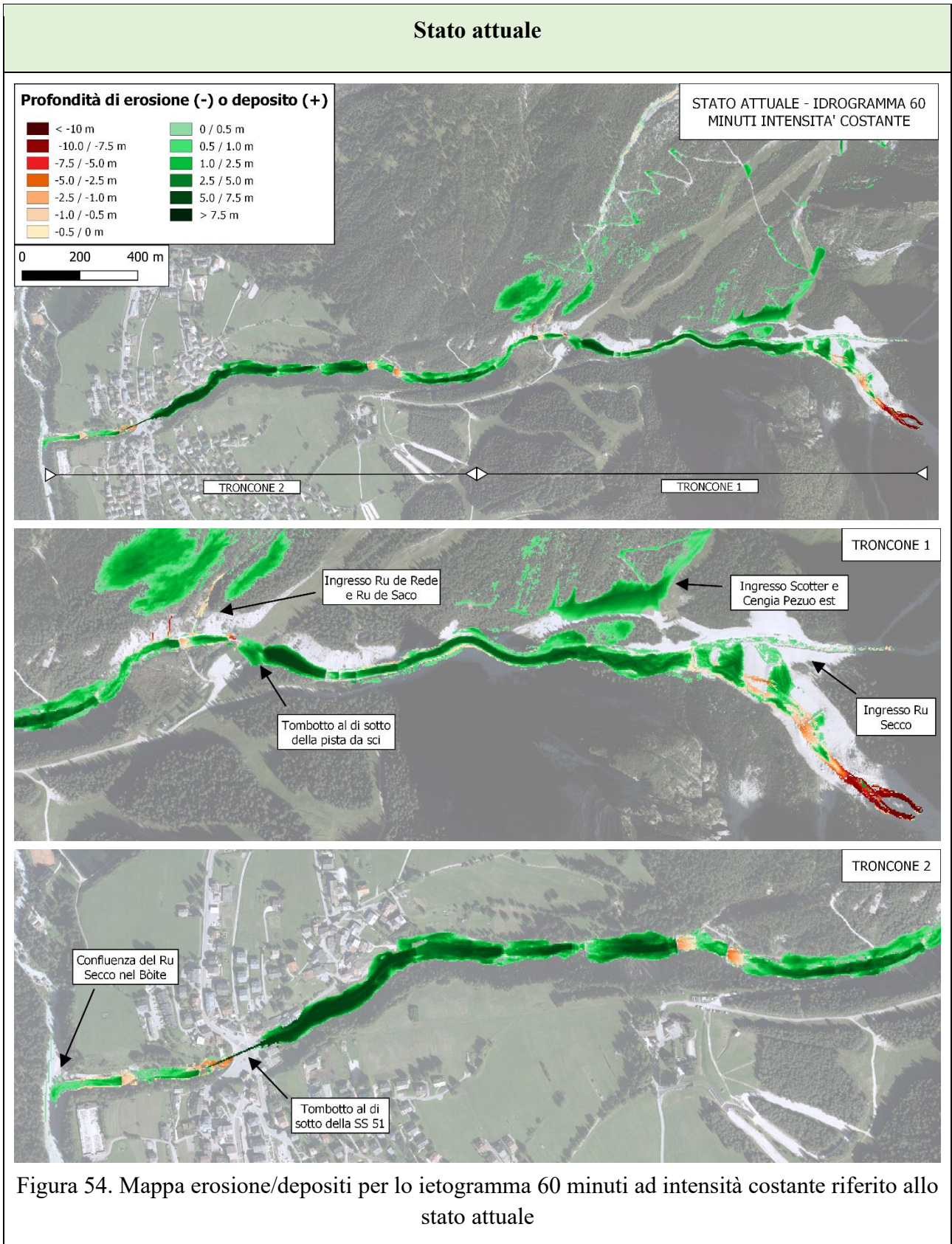


Grafico 32. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 60 minuti a blocchi alterni allo stato di progetto

5.7 Ietogramma 60 minuti ad intensità costante



Stato di progetto

Profondità di erosione (-) o deposito (+)

| | |
|---|---|
| ■ < -10 m | ■ 0 / 0,5 m |
| ■ -10,0 / -7,5 m | ■ 0,5 / 1,0 m |
| ■ -7,5 / -5,0 m | ■ 1,0 / 2,5 m |
| ■ -5,0 / -2,5 m | ■ 2,5 / 5,0 m |
| ■ -2,5 / -1,0 m | ■ 5,0 / 7,5 m |
| ■ -1,0 / -0,5 m | ■ > 7,5 m |
| ■ -0,5 / 0 m | |

0 200 400 m

STATO DI PROGETTO - IDROGRAMMA
60 MINUTI INTENSITA' COSTANTE

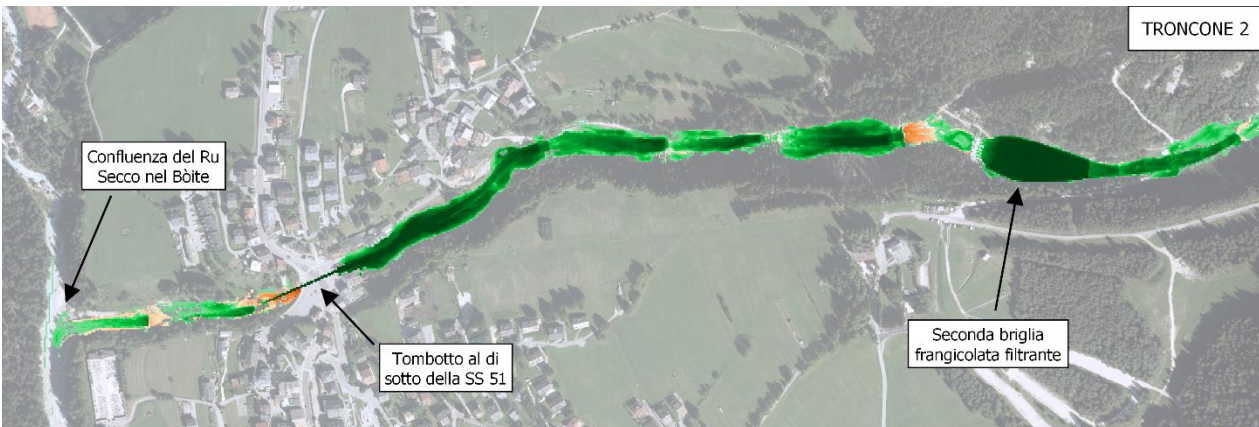
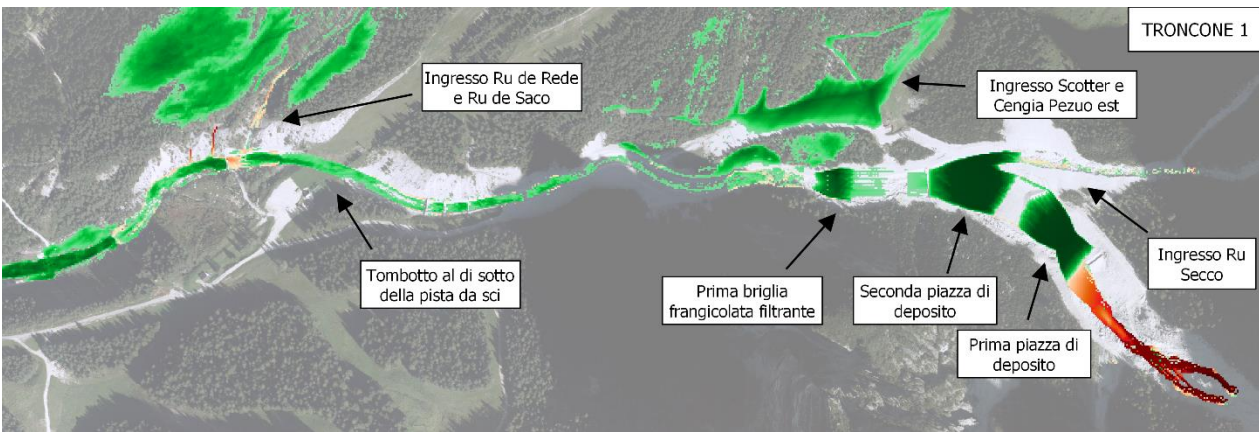
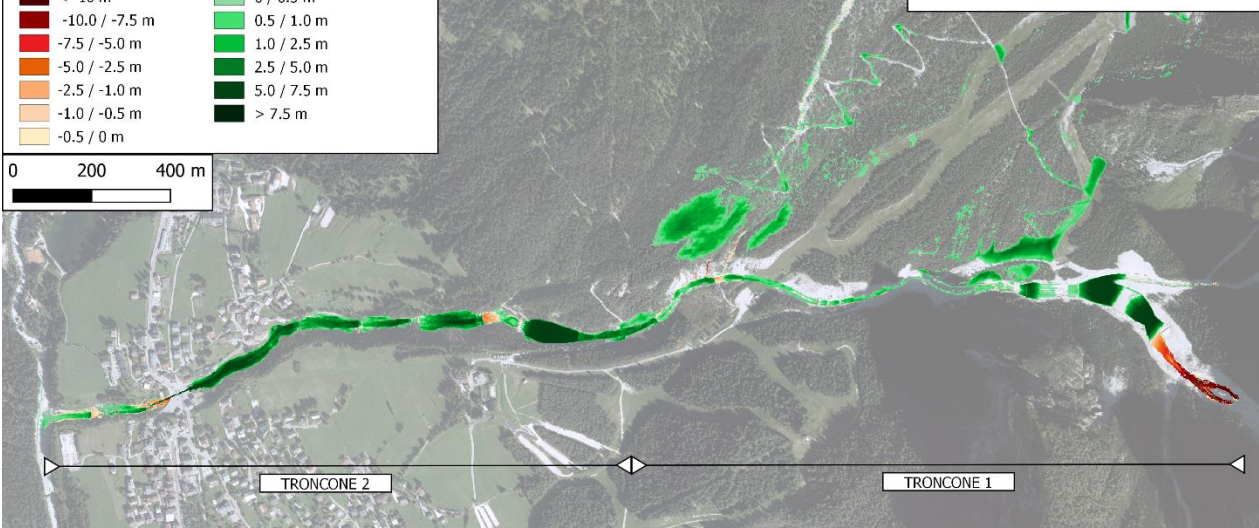


Figura 55. Mappa erosione/depositi per lo ietogramma 60 minuti ad intensità costante riferito allo stato di progetto

Viene mostrata nei seguenti grafici l'analisi di confronto dei fenomeni di erosione e deposito analizzata con il codice MATLAB.

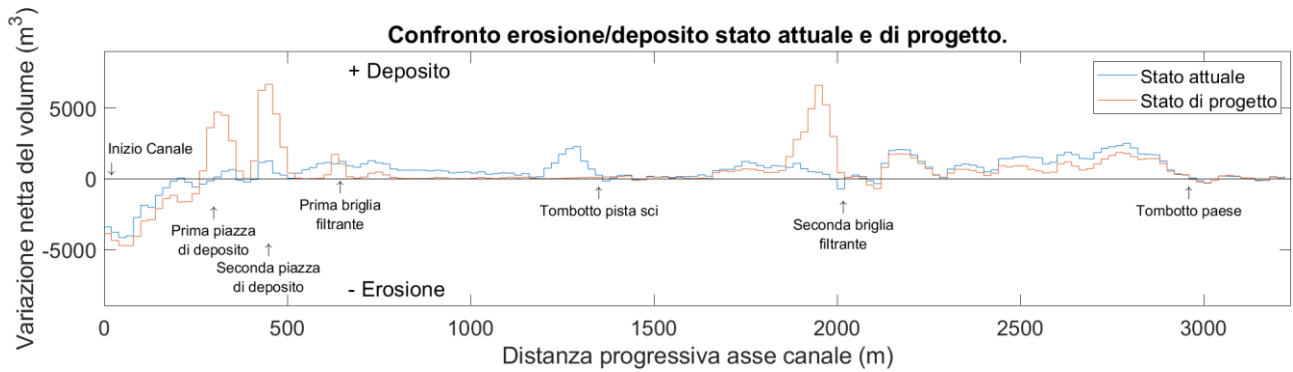


Grafico 33. Confronto tra lo stato attuale e lo stato di progetto dell'andamento dell'erosione e del deposito lungo l'asta del Ru Secco – Idrogramma 60 minuti ad intensità costante

Viene quindi riportato il grafico mostrante il volume di flusso transitante lungo l'asta analizzata

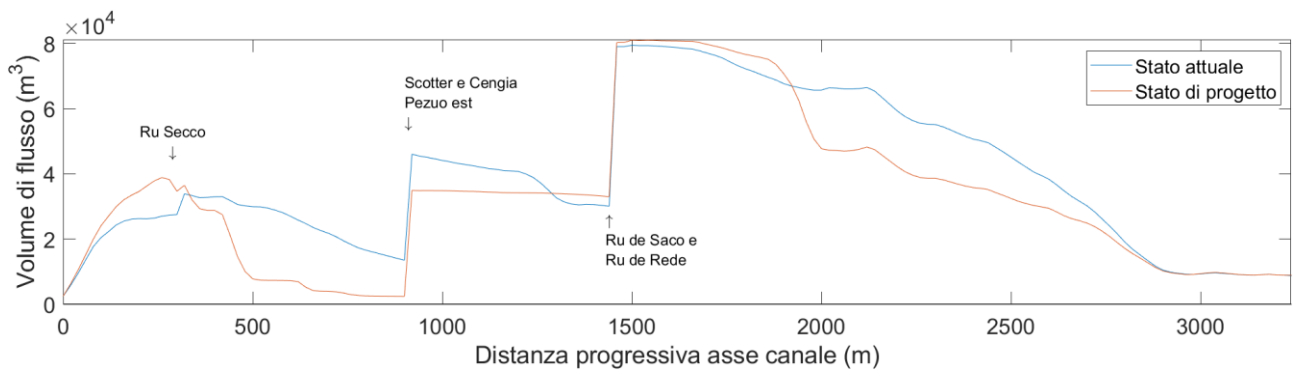


Grafico 34. Volume di flusso della colata detritica lungo l'asta analizzata – Idrogramma 60 minuti ad intensità costante

A supporto dei grafici 33 e 34, nella seguente tabella vengono riportate le statistiche di deposito ed erosione in riferimento a diversi tratti caratteristici sia per lo stato attuale sia per lo stato di progetto.

| ANALISI DEI VOLUMI DI DEPOSITO ED EROSIONE PER DIVERSI TRATTI - IDROGRAMMA 60 MINUTI AD INTENSITA' COSTANTE | | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|
| Tratti in analisi | STATO ATTUALE | | STATO DI PROGETTO | |
| | Erosione (m³) | Deposito (m³) | Erosione (m³) | Deposito (m³) |
| Tratto a monte della prima piazza di deposito | 42'480 | 890 | 61'910 | 210 |
| Tratto dalla prima piazza di deposito alla prima briglia filtrante | 3'520 | 20'540 | 580 | 69'850 |
| Tratto a valle delle opere | 780 | 42'450 | 560 | 4'930 |
| Tratto tra l'uscita del tombotto e l'unione del Ru de Saco e Ru de Rede | 560 | 2'940 | 90 | 1'470 |
| Tratto dall'unione di Ru de Saco e Ru de Rede alla seconda briglia filtrante | 2'950 | 25'560 | 1'130 | 59'390 |
| Tratto che va dalle seconda briglia filtrante all'entrata del tombotto | 1'130 | 96'200 | 2'410 | 65'440 |
| Tratto del tombotto | 0 | 2'420 | 0 | 2'030 |
| Tratto che va dalla fine del tombotto all'unione del Ru Secco con il Bòite | 2'910 | 3'530 | 3'460 | 3'670 |
| TOT | 54'330 | 194'530 | 70'140 | 206'990 |
| EROSIONE E DEPOSITO DEI SOTTOBACINI IN DESTRA IDROGRAFICA - STATO ATTUALE E DI PROGETTO | | | | |
| Sottobacini analizzati | Erosione (m³) | | Deposito pre-immissione (m³) | |
| Ru de Saco e Ru de Rede | 106'920 | | 36'850 | |
| Cengia Pezuo ovest e Cengia Pezuo centrale | 5'680 | | 3'280 | |
| Cengia Pezuo est e Scotter | 75'100 | | 30'450 | |
| TOT | 187'700 | | 70'580 | |

Tabella 10. Analisi del volume di erosione e deposito per tratti caratteristici - Idrogramma 60 minuti ad intensità costante

Dalla tabella 10 si evince che, nonostante le erosioni dello stato di progetto siano maggiori rispetto a quelle dello stato attuale a causa della maggiore erosione nel tratto iniziale, il deposito a seguito della realizzazione delle opere è di circa 12.000 m³ maggiore rispetto allo stato senza opere; a supporto di questo maggiore deposito, assume maggiore importanza la disposizione dei depositi, dato che per lo stato attuale sono distribuiti lungo tutta l'asta del Ru Secco, mentre allo stato di progetto sono concentrati nelle piazze di deposito e nei piazzali delle briglie frangicolata filtranti.

Invece, dall'analisi delle differenze fra erosione e deposito lungo il versante per il bacini in destra idrografica ne deriva che circa 117.000 m³ di materiale solido entrano nel Ru Secco.

Viene infine riportata un'analisi delle portate solide transitanti per le principali sezioni interne del tratto di canale analizzato:

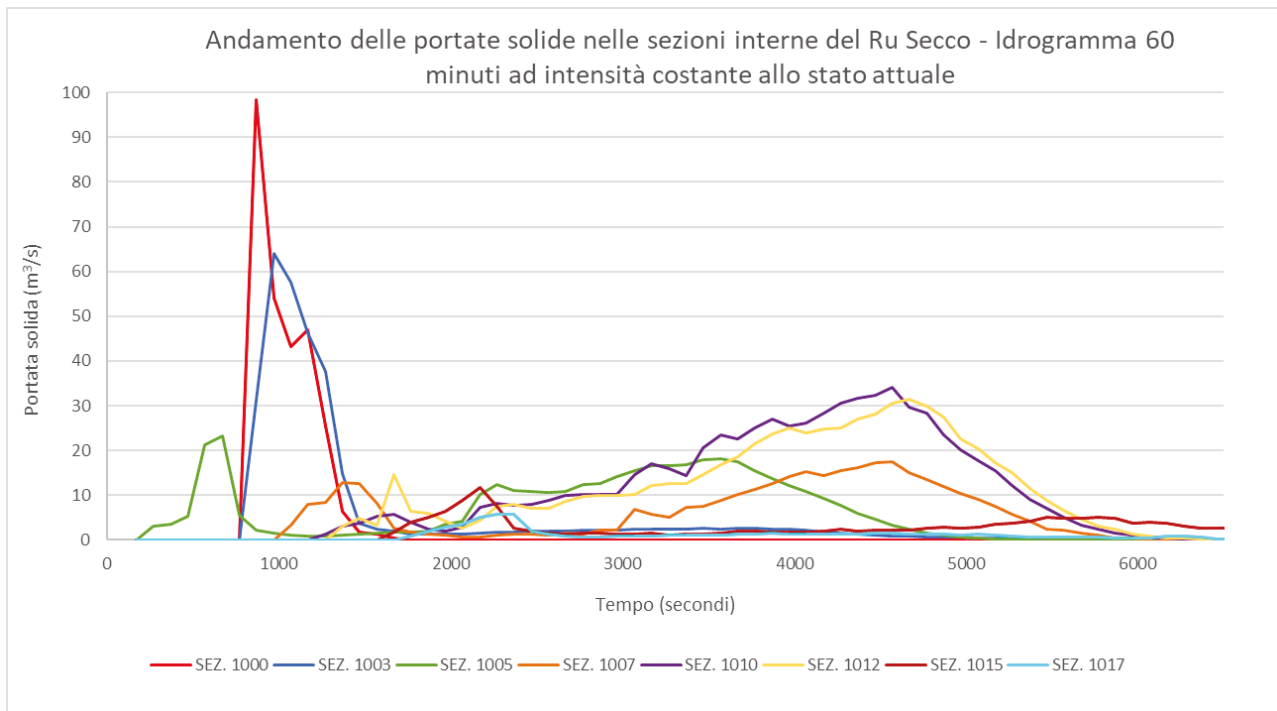


Grafico 35. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 60 minuti ad intensità costante allo stato attuale

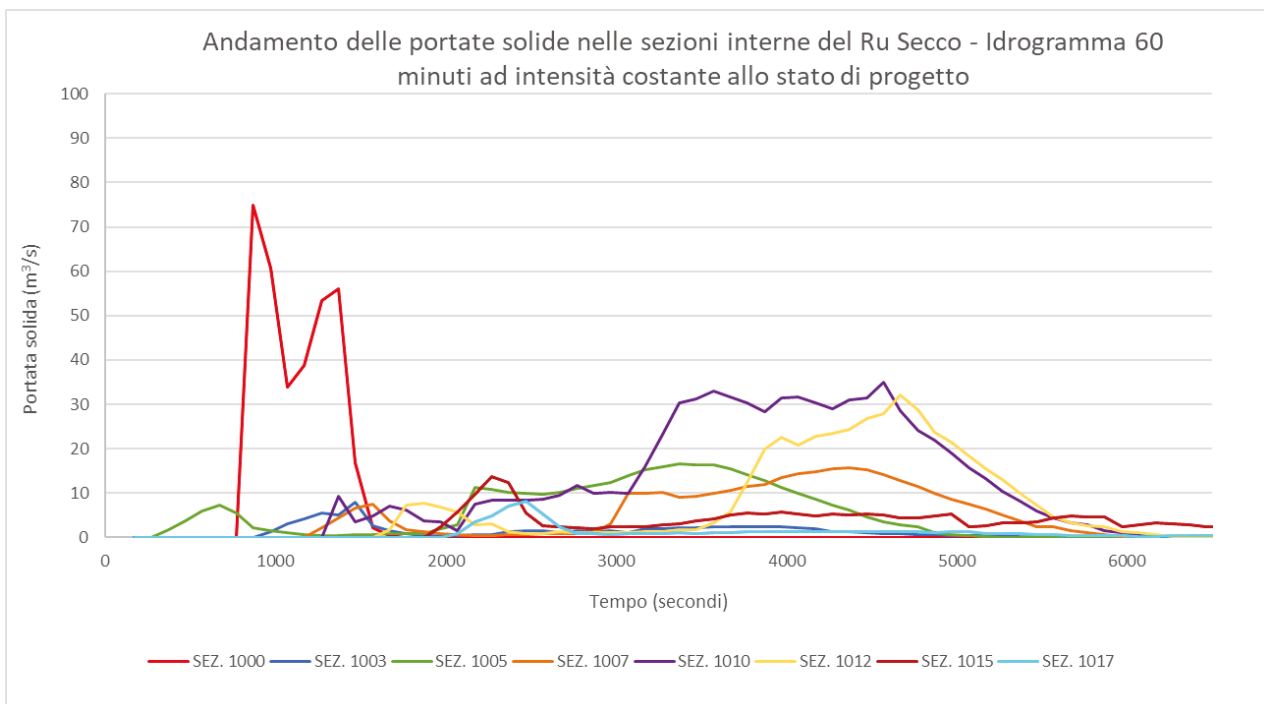
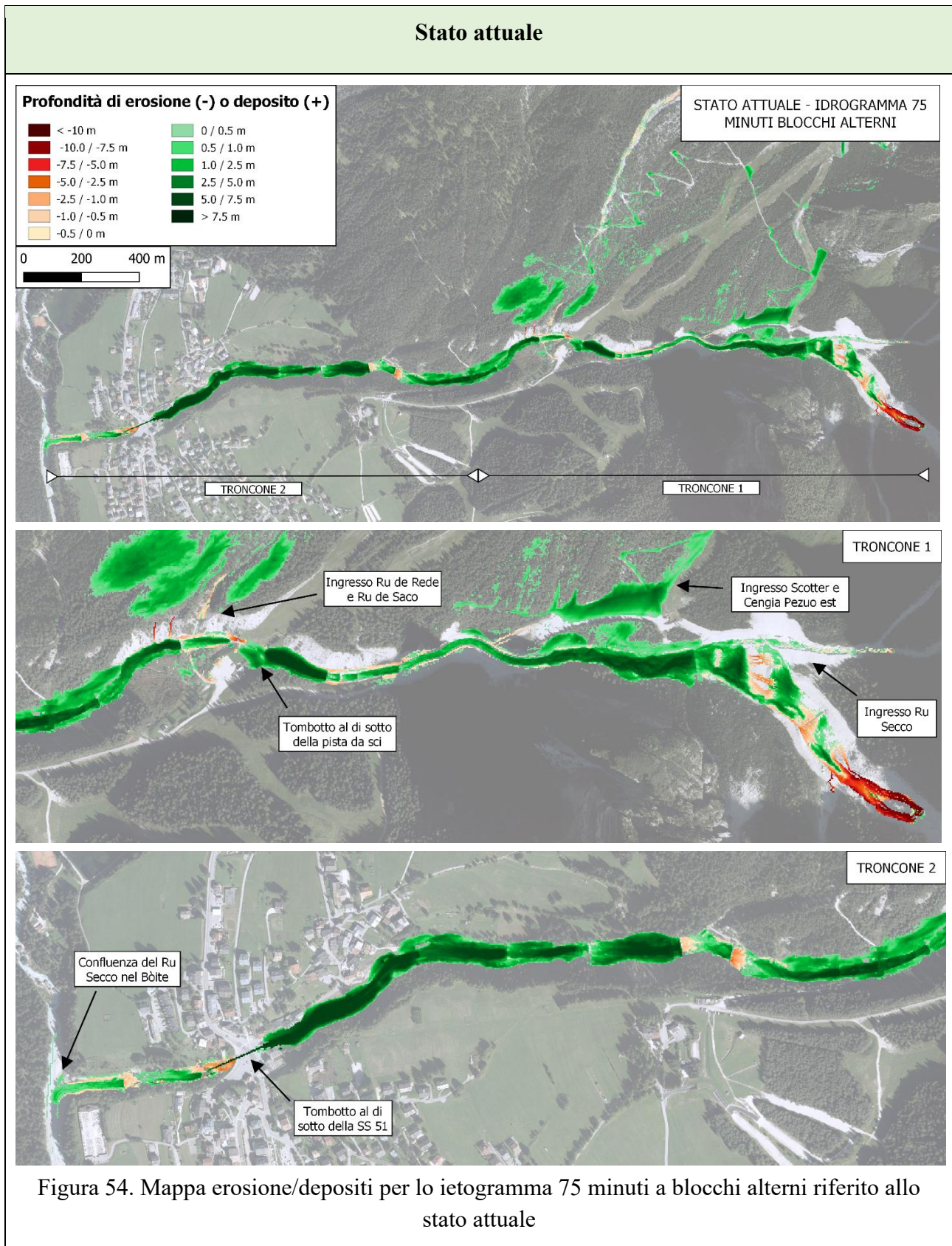


Grafico 36. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 60 minuti ad intensità costante allo stato di progetto

5.8 Ietogramma 75 minuti a blocchi alterni



Stato di progetto

Profondità di erosione (-) o deposito (+)

| | |
|--|--|
| ■ < -10 m | ■ 0 / 0,5 m |
| ■ -10,0 / -7,5 m | ■ 0,5 / 1,0 m |
| ■ -7,5 / -5,0 m | ■ 1,0 / 2,5 m |
| ■ -5,0 / -2,5 m | ■ 2,5 / 5,0 m |
| ■ -2,5 / -1,0 m | ■ 5,0 / 7,5 m |
| ■ -1,0 / -0,5 m | ■ > 7,5 m |
| ■ -0,5 / 0 m | |

0 200 400 m

STATO DI PROGETTO - IDROGRAMMA
75 MINUTI BLOCCHI ALTERNI

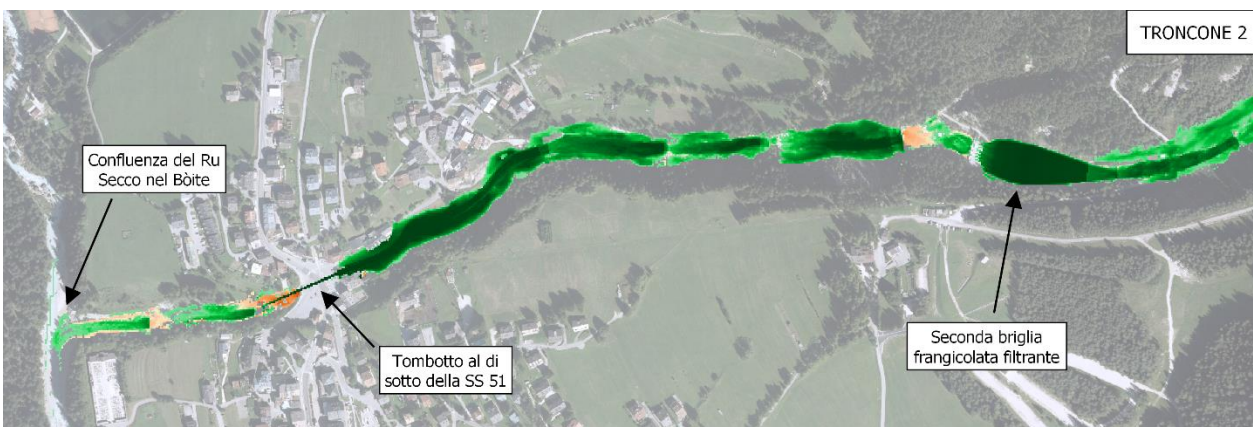
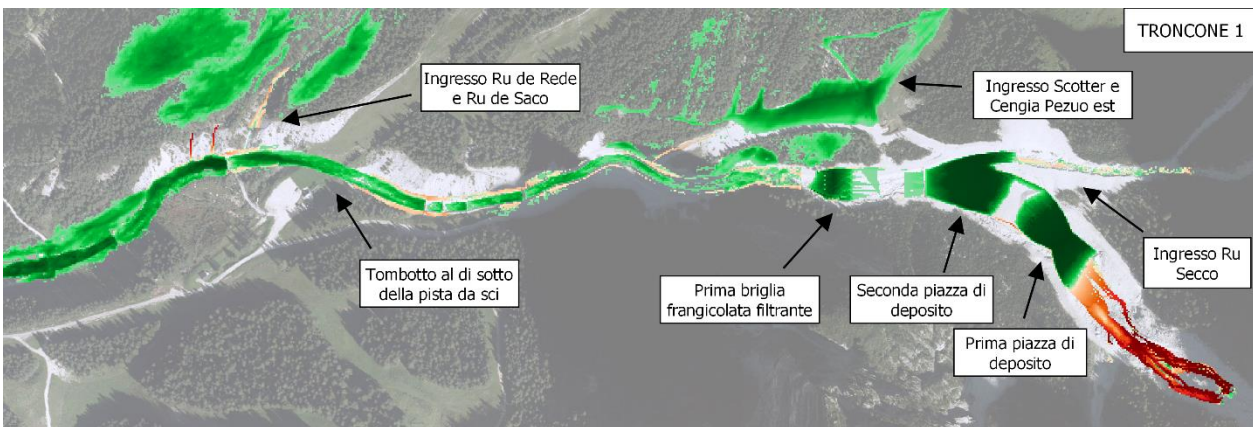
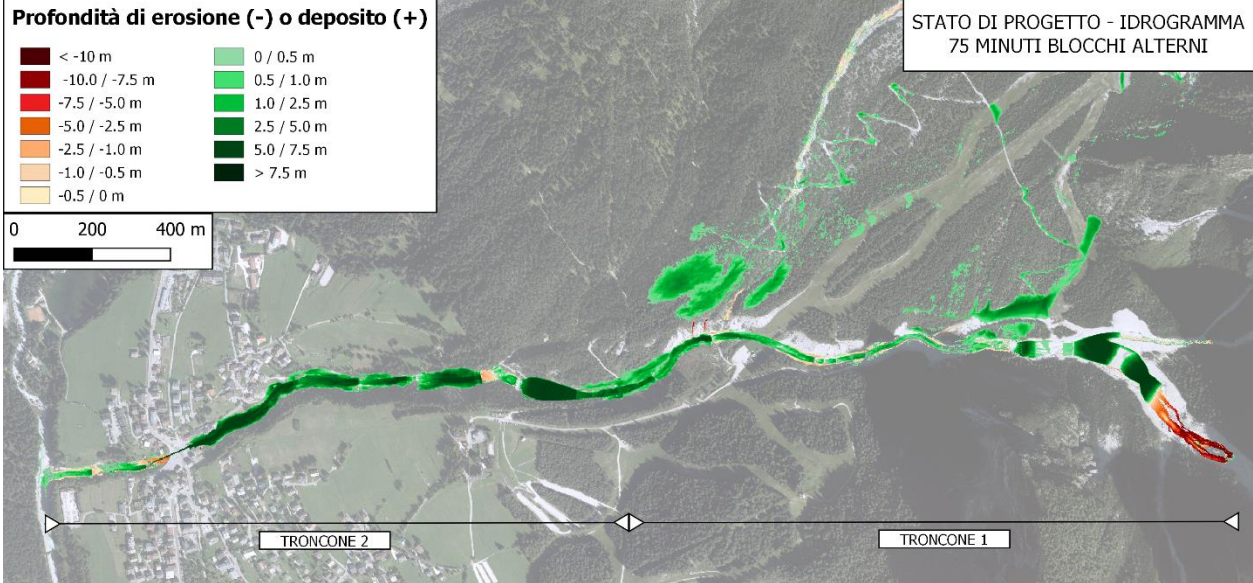


Figura 55. Mappa erosione/depositi per lo ietogramma 75 minuti a blocchi alterni riferito allo stato di progetto

Viene mostrata nei seguenti grafici l'analisi di confronto dei fenomeni di erosione e deposito analizzata con il codice MATLAB.

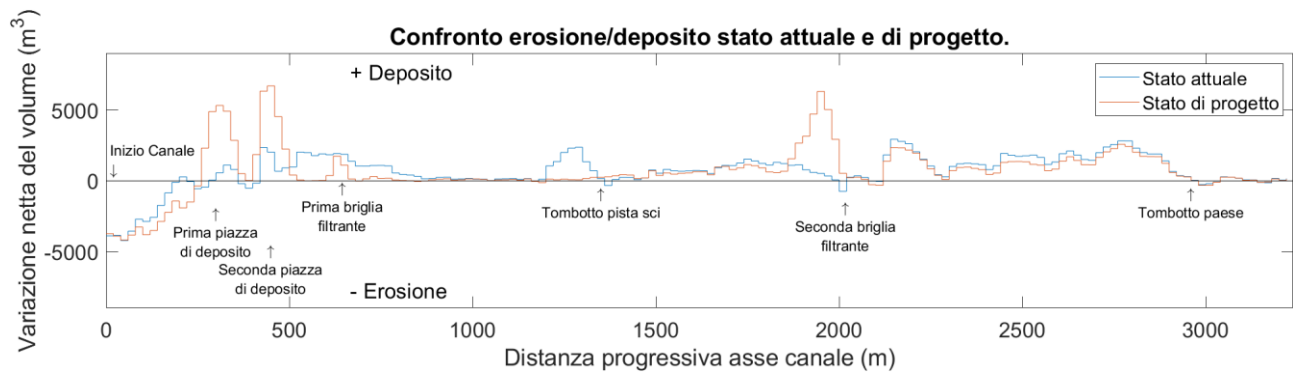


Grafico 37. Confronto tra lo stato attuale e lo stato di progetto dell'andamento dell'erosione e del deposito lungo l'asta del Ru Secco – Idrogramma 75 minuti a blocchi alterni

Viene quindi riportato il grafico mostrante il volume di flusso transitante lungo l'asta analizzata:

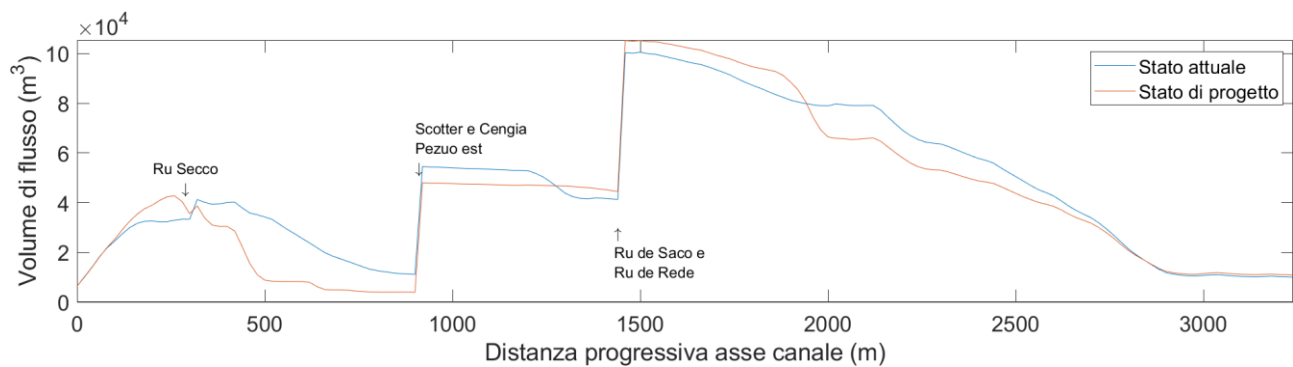


Grafico 38. Volume di flusso della colata detritica lungo l'asta analizzata – Idrogramma 75 minuti a blocchi alterni

A supporto dei grafici 37 e 38, nella seguente tabella vengono riportate le statistiche di deposito ed erosione in riferimento a diversi tratti caratteristici sia per lo stato attuale sia per lo stato di progetto.

| ANALISI DEI VOLUMI DI DEPOSITO ED EROSIONE PER DIVERSI TRATTI - IDROGRAMMA 75 MINUTI A BLOCCHI ALTERNI | | | | |
|---|---------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|
| Tratti in analisi | STATO ATTUALE | | STATO DI PROGETTO | |
| | Erosione (m³) | Deposito (m³) | Erosione (m³) | Deposito (m³) |
| Tratto a monte della prima piazza di deposito | 47'630 | 1'950 | 62'130 | 550 |
| Tratto dalla prima piazza di deposito alla prima briglia filtrante | 5'080 | 41'610 | 1'040 | 78'480 |
| Tratto a valle delle opere | 2'040 | 36'770 | 3'300 | 7'600 |
| Tratto tra l'uscita del tombotto e l'unione del Ru de Saco e Ru de Rede | 1'400 | 3'320 | 60 | 3'240 |
| Tratto dall'unione di Ru de Saco e Ru de Rede alla seconda briglia filtrante | 2'300 | 40'920 | 640 | 71'200 |
| Tratto che va dalle seconda briglia filtrante all'entrata del tombotto | 700 | 116'000 | 1'580 | 92'500 |
| Tratto del tombotto | 0 | 2'710 | 0 | 2'320 |
| Tratto che va dalla fine del tombotto all'unione del Ru Secco con il Bòite | 3'690 | 4'420 | 3'750 | 4'000 |
| TOT | 62'840 | 247'700 | 72'500 | 259'890 |
| EROSIONE E DEPOSITO DEI SOTTOBACINI IN DESTRA IDROGRAFICA - STATO ATTUALE E DI PROGETTO | | | | |
| Sottobacini analizzati | Erosione (m³) | | Deposito pre-immissione (m³) | |
| Ru de Saco e Ru de Rede | 127'690 | | 36'580 | |
| Cengia Pezuo ovest e Cengia Pezuo centrale | 7'910 | | 3'857 | |
| Cengia Pezuo est e Scotter | 94'530 | | 30'580 | |
| TOT | 230'130 | | 71'017 | |

Tabella 11. Analisi del volume di erosione e deposito per tratti caratteristici – Idrogrammi 75 minuti a blocchi alterni

Dalla tabella 11 si evince che, nonostante le erosioni dello stato di progetto siano maggiori rispetto a quelle dello stato attuale a causa della maggiore erosione nel tratto iniziale, il deposito a seguito della realizzazione delle opere è di circa 12.000 m³ maggiore rispetto allo stato senza opere; a supporto di questo maggiore deposito, assume maggiore importanza la disposizione dei depositi, dato che per lo stato attuale sono distribuiti lungo tutta l'asta del Ru Secco, mentre allo stato di progetto sono concentrati nelle piazze di deposito e nei piazzali delle briglie frangicolata filtranti.

Invece, dall'analisi delle differenze fra erosione e deposito lungo il versante per il bacini in destra idrografica ne deriva che circa 159.000 m³ di materiale solido entrano nel Ru Secco.

Viene infine riportata un'analisi delle portate solide transitanti per le principali sezioni interne del tratto di canale analizzato:

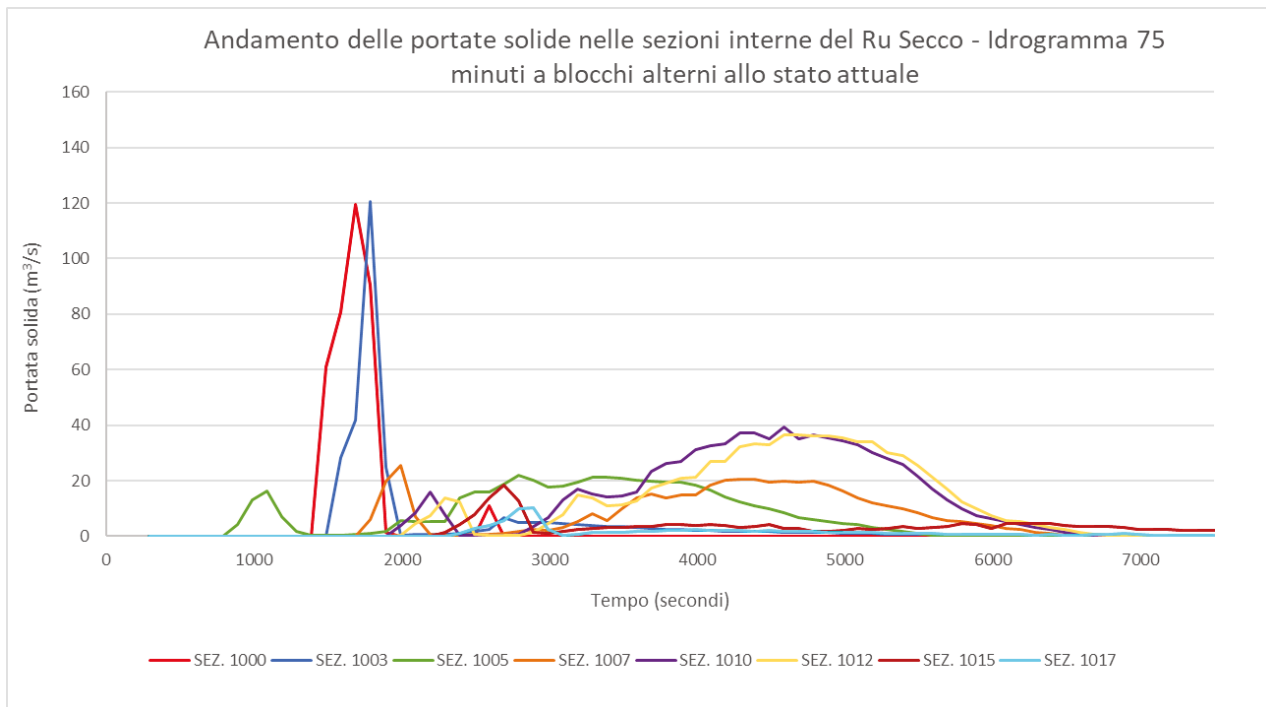


Grafico 39. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 75 minuti a blocchi alterni allo stato attuale

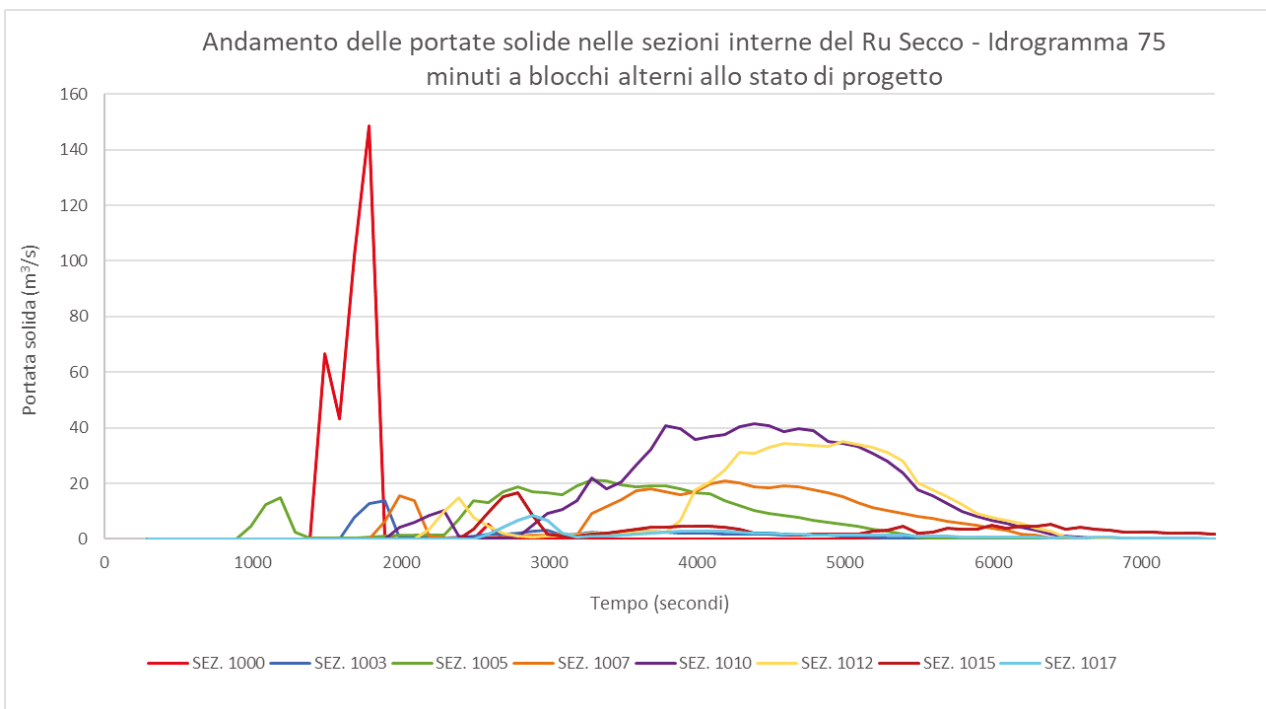


Grafico 40. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 75 minuti a blocchi alterni allo stato di progetto

Stato di progetto

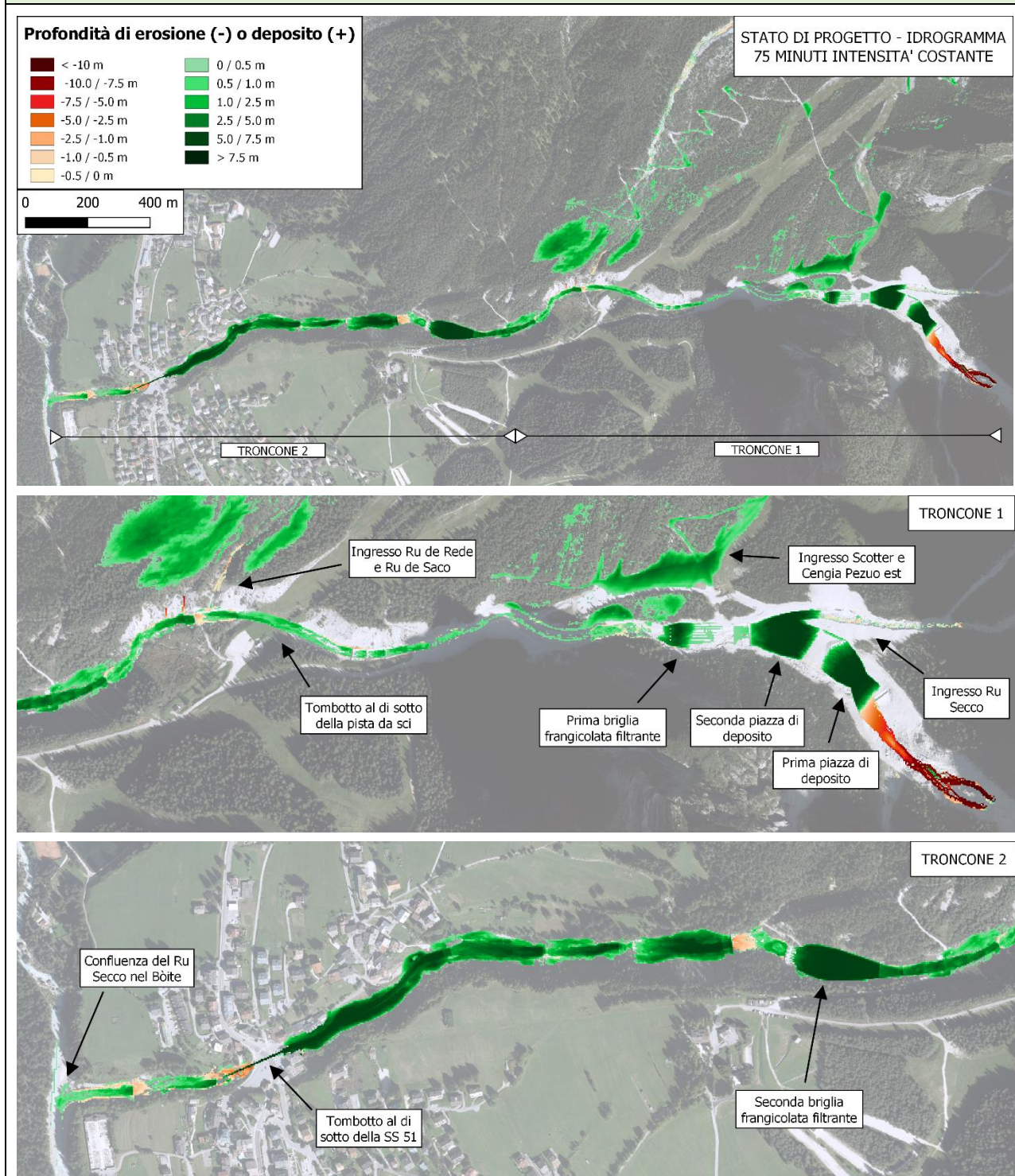


Figura 55. Mappa erosione/depositi per lo ietogramma 75 minuti ad intensità costante riferito allo stato di progetto

Viene mostrata nei seguenti grafici l'analisi di confronto dei fenomeni di erosione e deposito analizzata con il codice MATLAB.

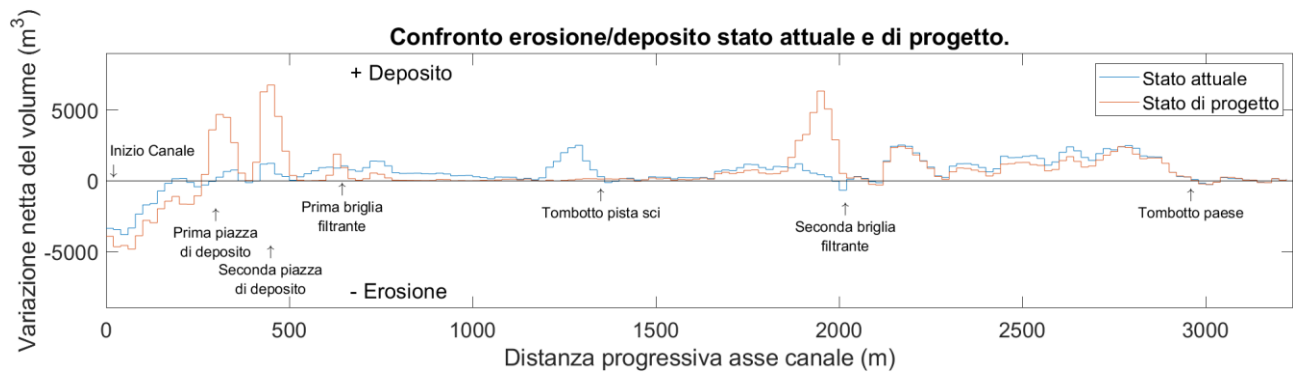


Grafico 41. Confronto tra lo stato attuale e lo stato di progetto dell'andamento dell'erosione e del deposito lungo l'asta del Ru Secco – Idrogramma 75 minuti ad intensità costante

Viene quindi riportato il grafico mostrante il volume di flusso transitante lungo l'asta analizzata:

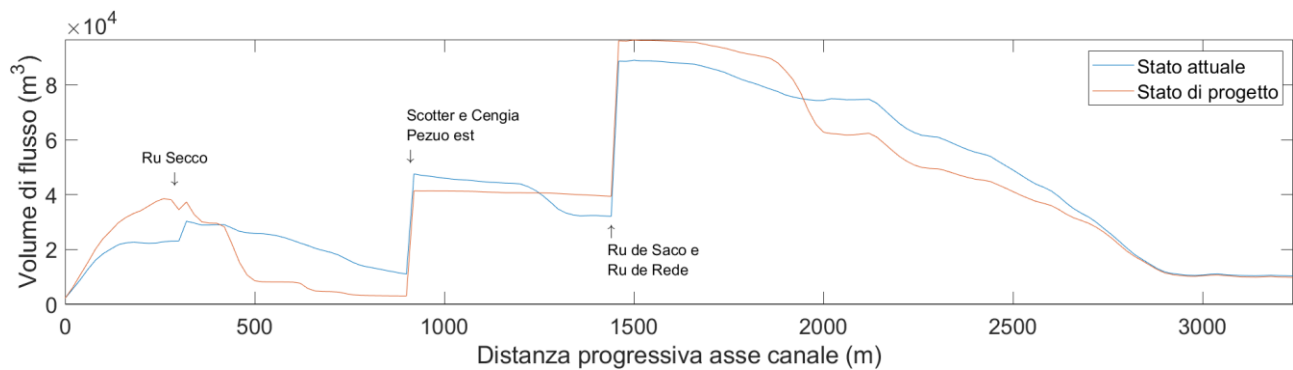


Grafico 42. Volume di flusso della colata detritica lungo l'asta analizzata – Idrogramma 75 minuti a ad intensità costante

A supporto dei grafici 41 e 42, nella seguente tabella vengono riportate le statistiche di deposito ed erosione in riferimento a diversi tratti caratteristici sia per lo stato attuale sia per lo stato di progetto.

| ANALISI DEI VOLUMI DI DEPOSITO ED EROSIONE PER DIVERSI TRATTI - IDROGRAMMA 75 MINUTI AD INTENSITA' COSTANTE | | | | |
|--|----------------------------|----------------------------|---|----------------------------|
| Tratti in analisi | STATO ATTUALE | | STATO DI PROGETTO | |
| | Erosione (m ³) | Deposito (m ³) | Erosione (m ³) | Deposito (m ³) |
| Tratto a monte delle prima piazza di deposito | 36'270 | 1'400 | 61'840 | 270 |
| Tratto dalla prima piazza di deposito alla prima briglia filtrante | 2'560 | 19'190 | 580 | 69'840 |
| Tratto a valle delle opere | 410 | 40'410 | 630 | 5'270 |
| Tratto tra l'uscita del tombotto e l'unione del Ru de Saco e Ru de Rede | 610 | 2'890 | 80 | 1'510 |
| Tratto dall'unione di Ru de Saco e Ru de Rede alla seconda briglia filtrante | 1'980 | 27'480 | 830 | 59'920 |
| Tratto che va dalle seconda briglia filtrante all'entrata del tombotto | 720 | 108'144 | 1'400 | 87'639 |
| Tratto del tombotto | 0 | 2'260 | 0 | 2'340 |
| Tratto che va dalla fine del tombotto all'unione del Ru Secco con il Bòite | 2'790 | 3'240 | 3'420 | 3'920 |
| TOT | 45'340 | 205'014 | 68'780 | 230'709 |
| EROSIONE E DEPOSITO DEI SOTTOBACINI IN DESTRA IDROGRAFICA - STATO ATTUALE E DI PROGETTO | | | | |
| Sottobacini analizzati | Erosione (m ³) | | Deposito pre-immissione (m ³) | |
| Ru de Saco e Ru de Rede | 85'520 | | 31'360 | |
| Cengia Pezuo ovest e Cengia Pezuo centrale | 4'350 | | 3'140 | |
| Cengia Pezuo est e Scotter | 122'290 | | 36'680 | |
| TOT | 212'160 | | 71'180 | |

Tabella 12. Analisi del volume di erosione e deposito per tratti caratteristici - Idrogramma 75 minuti ad intensità costante

Dalla tabella 12 si evince che, nonostante le erosioni dello stato di progetto siano maggiori rispetto a quelle dello stato attuale a causa della maggiore erosione nel tratto iniziale, il deposito a seguito della realizzazione delle opere è di circa 25.000 m³ maggiore rispetto allo stato senza opere; a supporto di questo maggiore deposito, assume maggiore importanza la disposizione dei depositi, dato che per lo stato attuale sono distribuiti lungo tutta l'asta del Ru Secco, mentre allo stato di progetto sono concentrati nelle piazze di deposito e nei piazzali delle briglie frangicolata filtranti.

Invece, dall'analisi delle differenze fra erosione e deposito lungo il versante per il bacini in destra idrografica ne deriva che circa 141.000 m³ di materiale solido entrano nel Ru Secco.

Viene infine riportata un'analisi delle portate solide transitanti per ogni sezione per le principali sezioni interne del tratto di canale analizzato:

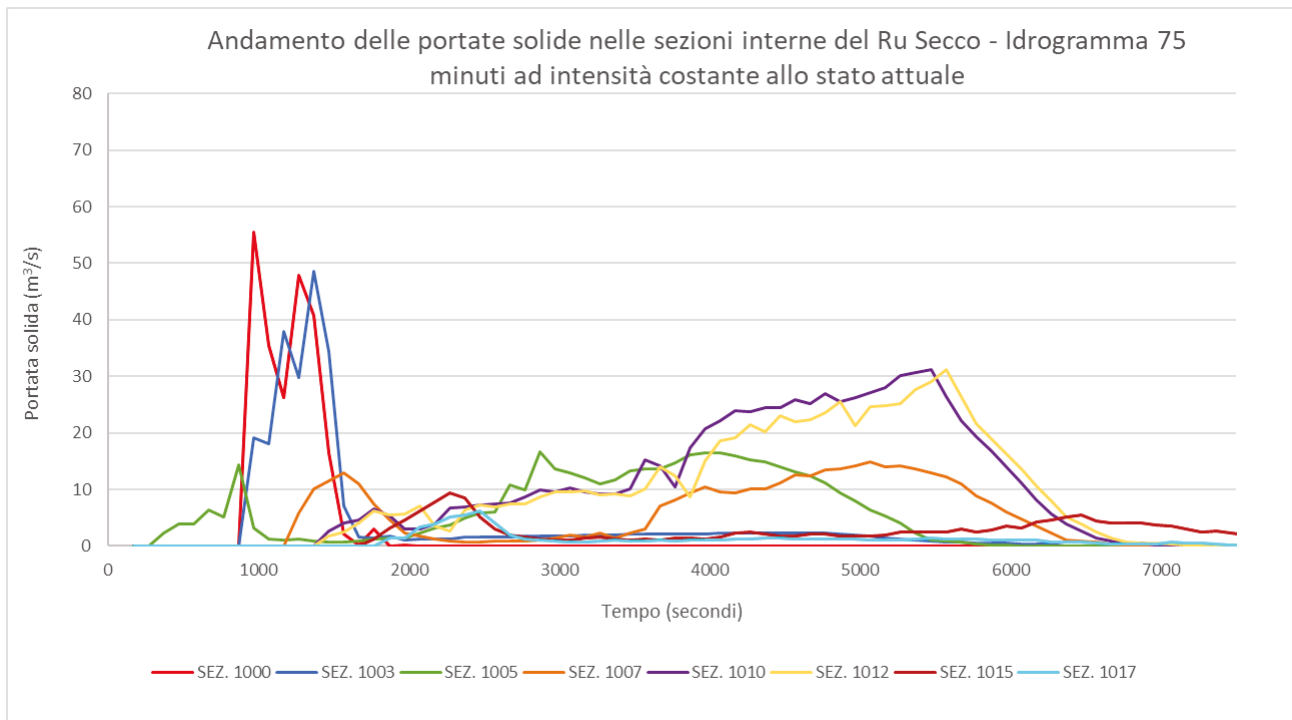


Grafico 43. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 75 minuti a intensità costante allo stato attuale

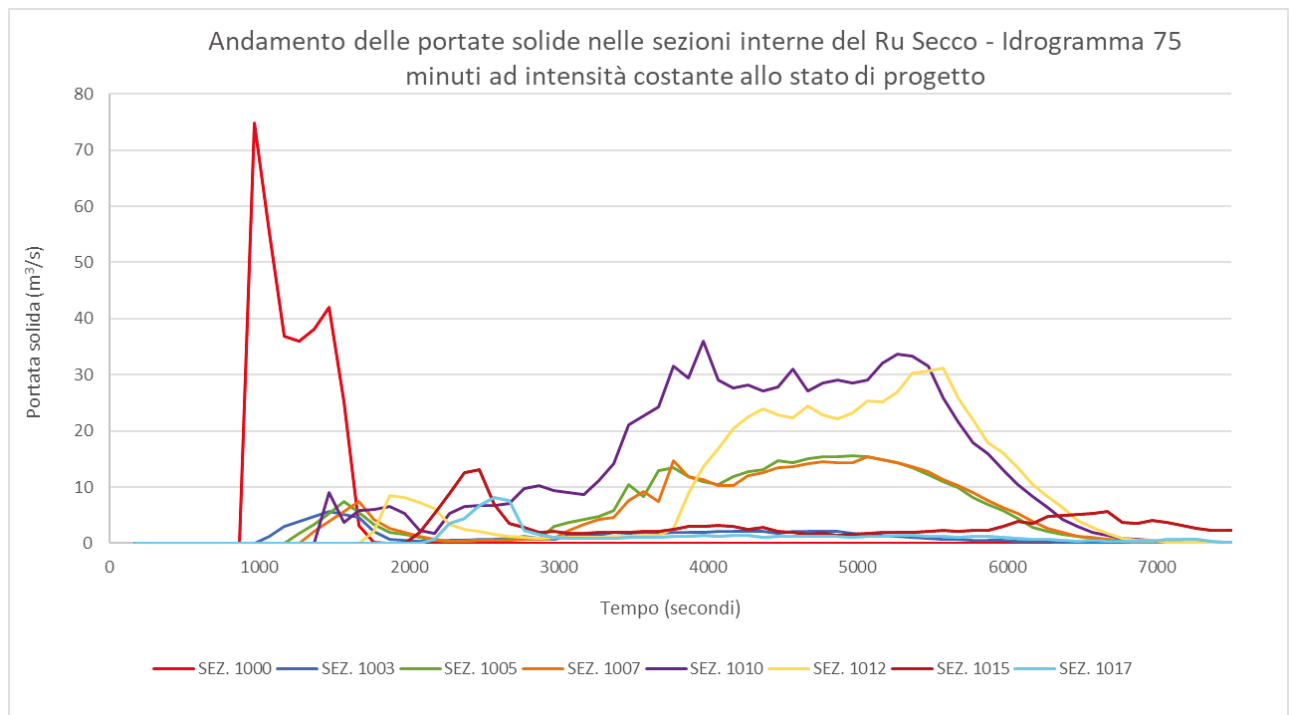
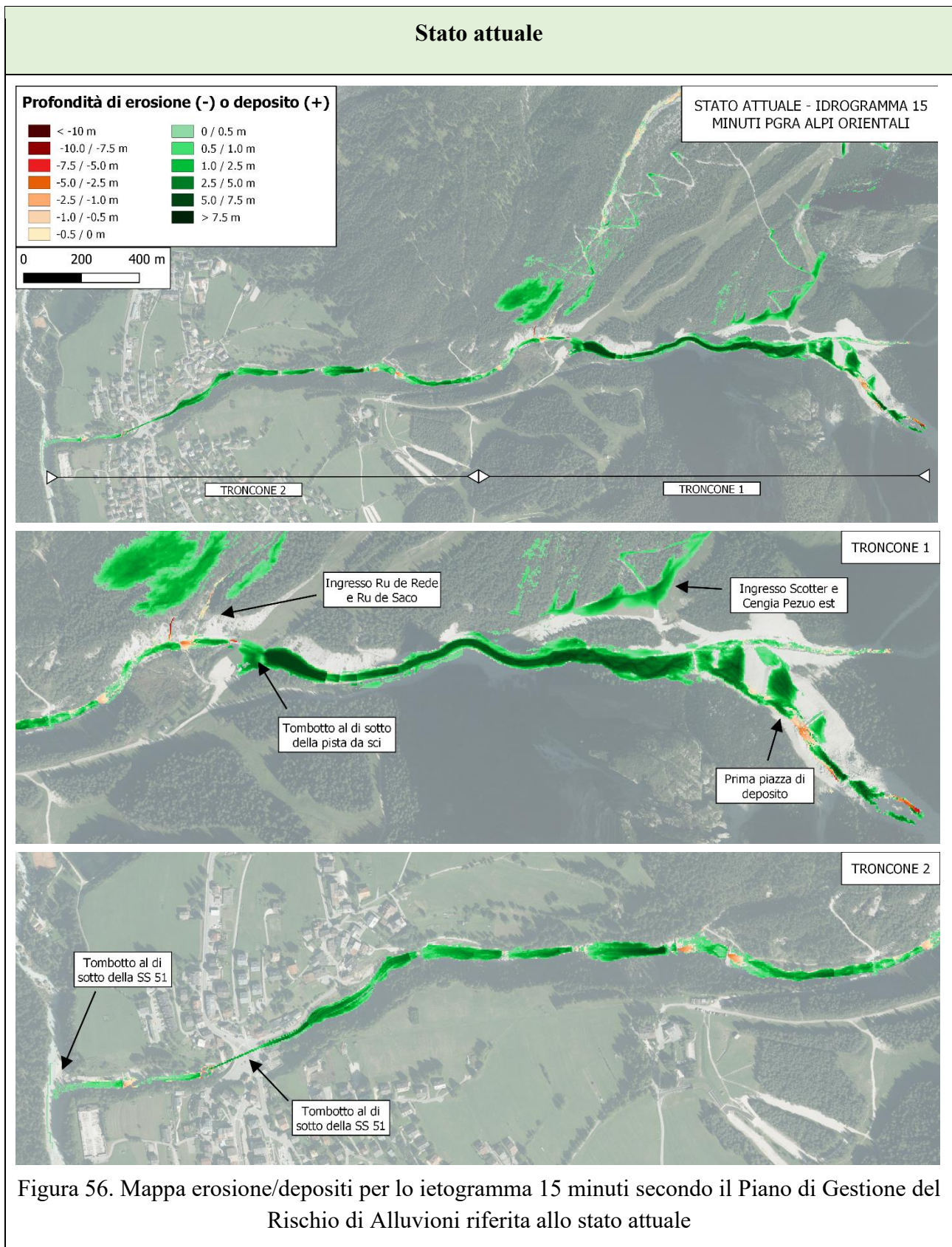


Grafico 44. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 75 minuti ad intensità costante allo stato di progetto

5.10 Ietogramma 15 minuti Adb



| | |
|----------|---|
| Erosioni | <p>Sono piuttosto limitate lungo tutta la parte terminale del Ru Salveta e l'asta del Ru Secco a causa dell'abbondante apporto solido proveniente dalle testate di Ru Salveta e Ru Antrimoia che va a limitare le erosioni del fondo; infatti le maggiori erosioni che si sono verificate sul Ru Salveta nelle precedenti simulazioni sono dovute all'azione erosiva dell'acqua, che in proporzione era sempre prevalente sulla componente solida. Per questo motivo in questa simulazioni le erosioni sul Ru Salveta hanno una profondità massima di 8 m, anche se in zone molto localizzate e su un'area molto limitata.</p> <p>Una limitata erosione si presenta poi nella sponda sinistra del Ru Salveta poco prima della confluenza con il Ru Secco, ma con valori di scavo sempre inferiori a 3 m.</p> <p>Scendendo a valle si nota qualche erosione localizzata in corrispondenza del punto in cui il Ru de Rede e Ru de Saco si immettono nel Ru Secco e nel tratto a monte di qualche briglia di consolidamento nel tratto a valle della confluenza stessa.</p> <p>Le erosioni che si verificano sui bacini in destra idrografica del Ru Secco non sono variate rispetto alla simulazione con l'idrogramma di durata di 15 minuti, i cui risultati sono stati riportati in un precedente sottocapitolo.</p> |
| Depositi | <p>Nel tratto a monte del tombotto al di sotto della pista da sci sono piuttosto elevati, causati dall'elevato apporto solido fornito in input dall'idrogramma di piena; si nota che la maggior parte del materiale infatti si va a depositare tra la confluenza Ru Salveta – Ru Secco e il tombotto della pista da sci, con un volume depositato complessivo per tale tratto che ammonta a 76.800 m³. Gli spessori di deposito sono considerevoli, arrivando ad avere un valore massimo di 9 m a monte del tombotto, causato dalla sua ostruzione, con conseguente deposito su buona parte del piazzale della seggiovia "San Marco".</p> <p>Ulteriori depositi si possono poi osservare in tutto l'alveo del Ru Secco a valle del tratto precedentemente descritto, osservando come la distribuzione del deposito segua la morfologia data dalle briglie di consolidamento, con il maggiore deposito appena a valle delle briglie stesse.</p> <p>Nonostante il deposito sia elevato, non si assiste alla fuoriuscita della colata detritica dall'alveo del Ru Secco.</p> <p>I depositi che si verificano sui bacini in destra idrografica del Ru Secco non sono variati rispetto alla simulazione con l'idrogramma di durata di 15 minuti, i cui risultati sono stati riportati in un precedente sottocapitolo.</p> |

Stato di progetto

Profondità di erosione (-) o deposito (+)

| | |
|---|---|
| ■ < -10 m | ■ 0 / 0,5 m |
| ■ -10,0 / -7,5 m | ■ 0,5 / 1,0 m |
| ■ -7,5 / -5,0 m | ■ 1,0 / 2,5 m |
| ■ -5,0 / -2,5 m | ■ 2,5 / 5,0 m |
| ■ -2,5 / -1,0 m | ■ 5,0 / 7,5 m |
| ■ -1,0 / -0,5 m | ■ > 7,5 m |
| ■ -0,5 / 0 m | |

0 200 400 m

STATO DI PROGETTO - IDROGRAMMA
15 MINUTI PGRA ALPI ORIENTALI

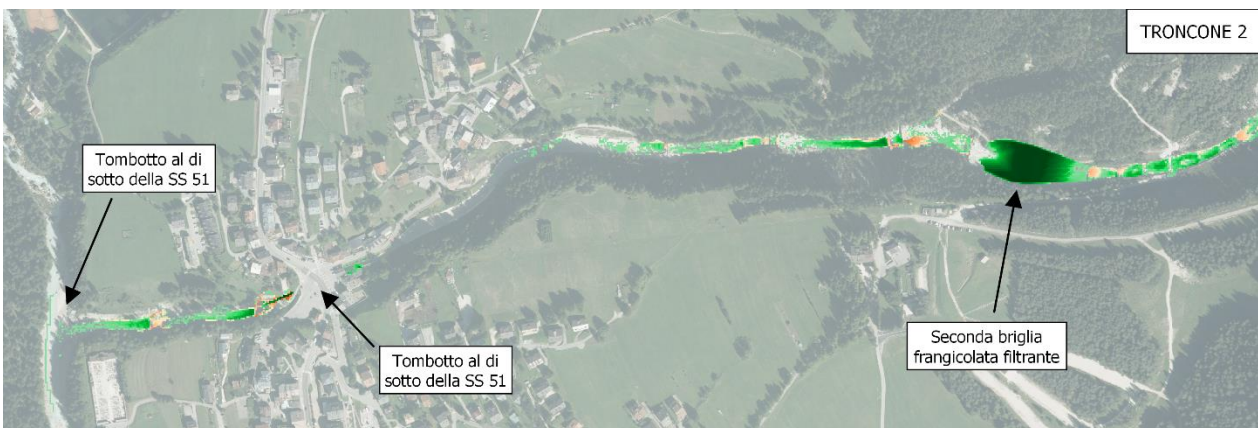
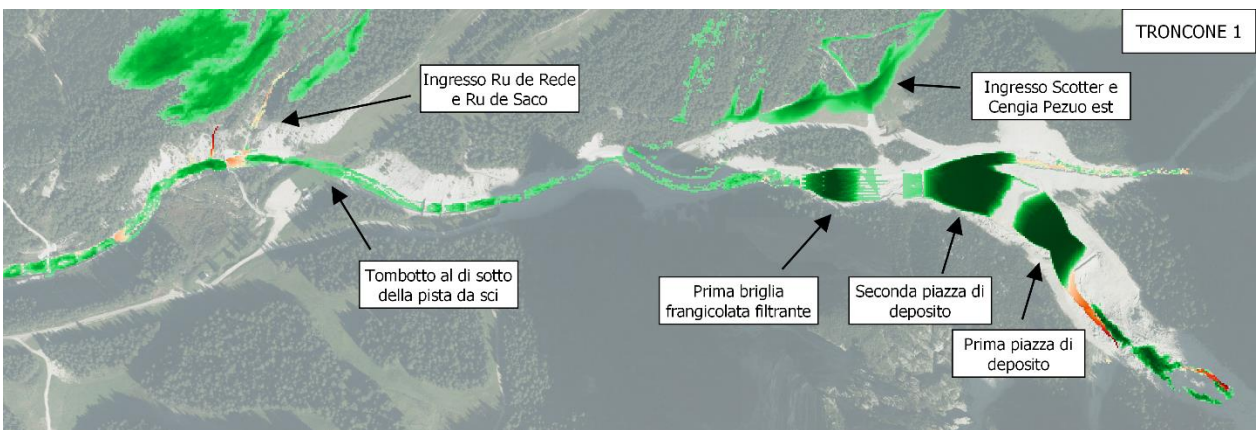
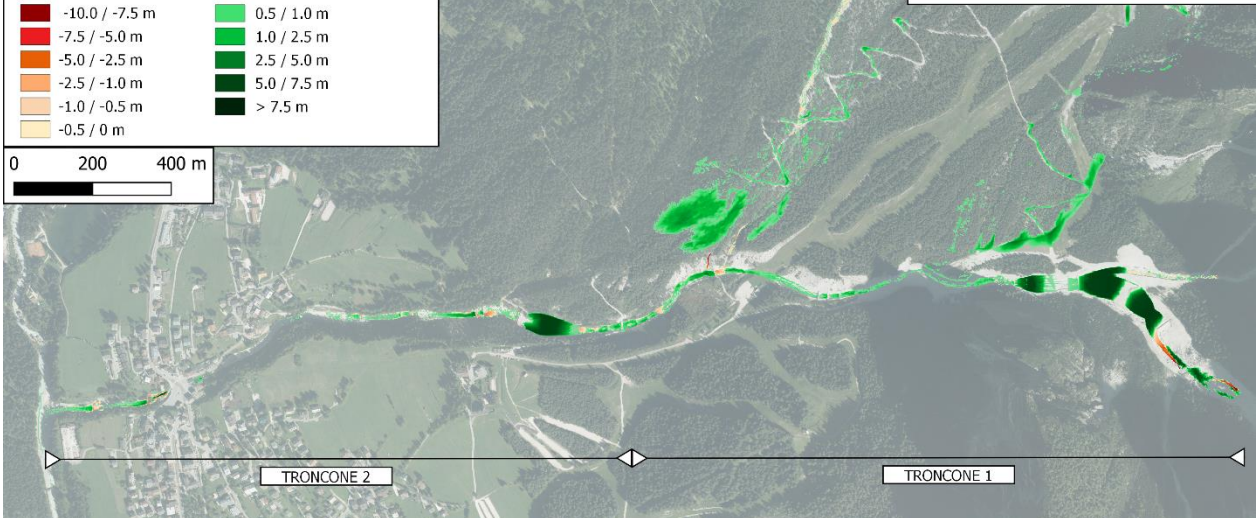


Figura 57. Mappa erosione/depositi per lo ietogramma 15 minuti secondo il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni riferita allo stato di progetto

| | |
|-----------------|---|
| <p>Erosioni</p> | <p>Sono moderate e corrispondono verosimilmente a quelle dello stato attuale, tranne per la sponda in sinistra idraulica del Ru Salveta a valle dell'immissione del Ru Longia sul Ru Salveta; in questo tratto infatti si può osservare un'erosione elevata nel punto di immissione, che diminuisce poi avvicinandosi alla prima piazza di deposito. Questa maggiore erosione, come per le precedenti simulazioni allo stato di progetto, è causata dalla maggiore pendenza del canale a causa della realizzazione delle piazze di deposito più a valle.</p> <p>I valori massimi di erosione non superano mai i 10 m.</p> <p>Le erosioni che si verificano sui bacini in destra idrografica del Ru Secco non sono variate rispetto alla simulazione con l'idrogramma di durata di 15 minuti, i cui risultati sono stati riportati in un precedente sottocapitolo.</p> |
| <p>Depositi</p> | <p>I depositi invece subiscono una sostanziale variazione in termini di localizzazione; come si può osservare per questa simulazione le opere a progetto assolvono a pieno alla loro funzione, trattenendo la quasi totalità del sedimento solido proveniente da monte, tanto che le restanti porzioni del Ru Secco dove vi sono opere di trattenuta risultano completamente libere da depositi, o con depositi molto limitati, con spessori sempre inferiori a 0,5 m.</p> <p>Viene riportato il volume solido trattenuto da ciascuna opera:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Prima piazza di deposito: 33.900 m³ – Seconda piazza di deposito: 45.510 m³ – Prima briglia frangicolata filtrante: 8.700 m³ – Seconda briglia frangicolata filtrante: 22.800 m³ <p>I depositi che si verificano sui bacini in destra idrografica del Ru Secco non sono variati rispetto alla simulazione con l'idrogramma di durata di 15 minuti, i cui risultati sono stati riportati in un precedente sottocapitolo.</p> |

Viene mostrata nei seguenti grafici l'analisi di confronto dei fenomeni di erosione e deposito analizzata con il codice MATLAB.

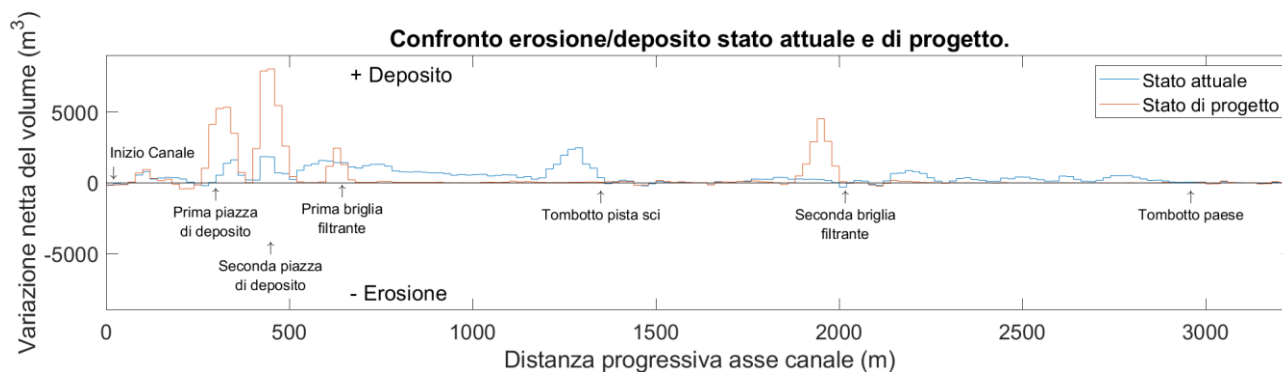


Grafico 45. Confronto tra lo stato attuale e lo stato di progetto dell'andamento dell'erosione e del deposito lungo l'asta del Ru Secco – Idrogramma 15 minuti secondo PGRA

Dal grafico 45 si può osservare la notevole differenza tra i fenomeni di deposito pre e post opere, mentre per quanto riguarda le erosioni, come precedentemente detto, sono molto ridotte e localizzate, con volumi di scavo minimi.

Le prime sostanziali differenze di deposito si hanno in corrispondenza delle due piazze di deposito, che, allo stato di progetto, risultano essenziali nella captazione del volume solido proveniente da Ru Salveta e Ru Secco, oltre alla prima briglia frangicolata filtrante che trattiene anch'essa un modesto volume solido. Allo stato attuale invece, l'assenza della prima briglia frangicolata filtrante porta la colata a sedimentarsi lungo l'alveo del Ru Secco, terminando con un picco nel punto a monte del tombotto al di sotto della pista da sci.

A valle del primo tombotto invece, si ha un tratto con assenza di erosione e depositi sia per lo stato attuale che per lo stato di progetto, mentre in corrispondenza della seconda briglia frangicolata filtrante si assiste ad un picco di deposito allo stato di progetto, causato dal materiale proveniente e trasportato dal Ru de Rede e Ru de Saco; allo stato attuale invece l'assenza dell'opera, come nel tratto a valle della prima briglia, causa la deposizione del materiale lungo l'asta fluviale del Ru Secco fino al tombotto al di sotto della SS 51.

Viene quindi riportato il grafico mostrante il volume di flusso transitante lungo l'asta analizzata, il quale è molto utile per capire l'evoluzione della colata detritica e mostra gli input laterali derivanti dai sottobacini in destra idrografica che si immettono lungo l'alveo analizzato. Tale grafico è utile anche come supporto alla comprensione dei risultati forniti dal precedente grafico.

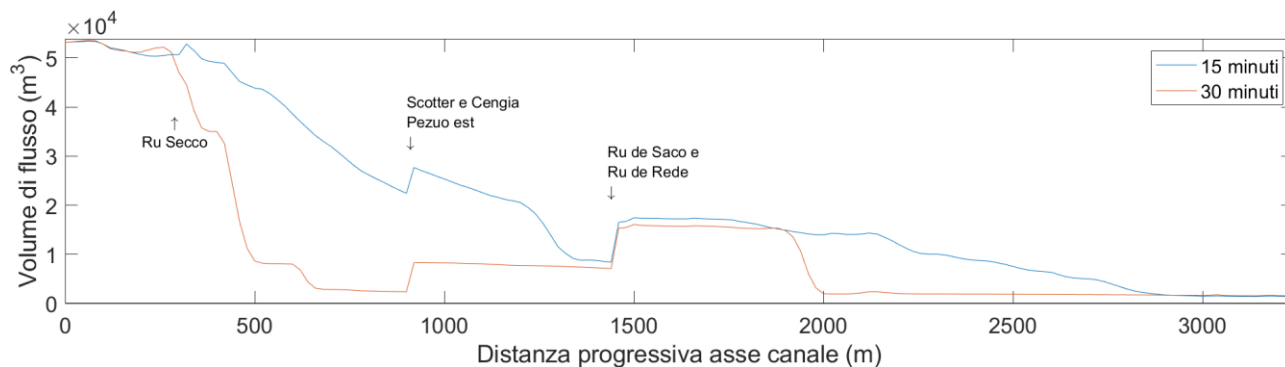


Grafico 46. Volume di flusso della colata detritica lungo l'asta analizzata – Idrogramma 15 minuti a blocchi alterni

Analizzando il grafico 46 si possono notare notevoli differenze fra lo stato attuale e lo stato di progetto; infatti la presenza delle opere nello stato di progetto si rivela altamente efficace nella captazione del deflusso solido, facendo rimanere a livello bassi la portata solida in entrata all'inizio del canale analizzato e derivante dai sottobacini della destra idrografica rispetto al Ru Secco che si immettono in seguito.

A supporto dei grafici 45 e 46, nella seguente tabella vengono riportate le statistiche di deposito ed erosione in riferimento a diversi tratti caratteristici sia per lo stato attuale sia per lo stato di progetto.

| ANALISI DEI VOLUMI DI DEPOSITO ED EROSIONE PER DIVERSI TRATTI - IDROGRAMMA 15 MINUTI PGRA | | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|
| Tratti in analisi | STATO ATTUALE | | STATO DI PROGETTO | |
| | Erosione (m³) | Deposito (m³) | Erosione (m³) | Deposito (m³) |
| Tratto a monte delle prima piazza di deposito | 3'120 | 7'620 | 4'980 | 6'620 |
| Tratto dalla prima piazza di deposito alla prima briglia filtrante | 1'200 | 34'220 | 560 | 88'440 |
| Tratto a valle delle opere | 230 | 50'030 | 50 | 2'300 |
| Tratto tra l'uscita del tombotto e l'unione del Ru de Saco e Ru de Rede | 230 | 3'300 | 20 | 700 |
| Tratto dall'unione di Ru de Saco e Ru de Rede alla seconda briglia filtrante | 2'040 | 7'210 | 1'500 | 25'610 |
| Tratto che va dalle seconda briglia filtrante all'entrata del tombotto | 710 | 22'250 | 1'300 | 1'860 |
| Tratto del tombotto | 0 | 240 | 0 | 20 |
| Tratto che va dalla fine del tombotto all'unione del Ru Secco con il Bòite | 570 | 940 | 1'100 | 1'300 |
| TOT | 8'100 | 125'810 | 9'510 | 126'850 |
| EROSIONE E DEPOSITO DEI SOTTOBACINI IN DESTRA IDROGRAFICA - STATO ATTUALE E DI PROGETTO | | | | |
| Sottobacini analizzati | Erosione (m³) | | Deposito pre-immissione (m³) | |
| Ru de Saco e Ru de Rede | 38'270 | | 27'620 | |
| Cengia Pezuo ovest e Cengia Pezuo centrale | 0 | | 0 | |
| Cengia Pezuo est e Scotter | 25'900 | | 19'250 | |
| TOT | 64'170 | | 46'870 | |

Tabella 13. Analisi del volume di erosione e deposito per tratti caratteristici - Idrogramma 15 minuti secondo PGRA

Dalla tabella 13 si evince che, nonostante le erosioni dello stato di progetto siano maggiori rispetto a quelle dello stato attuale a causa della maggiore erosione nel tratto iniziale, il deposito a seguito della realizzazione delle opere è di circa 1.000 m³ maggiore rispetto allo stato senza opere; a supporto di questo maggiore deposito, assume maggiore importanza la disposizione dei depositi, dato che per lo stato attuale sono distribuiti lungo tutta l'asta del Ru Secco, mentre allo stato di progetto sono concentrati nelle piazze di deposito e nei piazzali delle briglie frangicolata filtranti.

Invece, dall'analisi delle differenze fra erosione e deposito lungo il versante per il bacini in destra idrografica ne deriva che circa 18.000 m³ di materiale solido entrano nel Ru Secco.

Viene infine riportata un'analisi delle portate solide transitanti per le principali sezioni interne del tratto di canale analizzato:

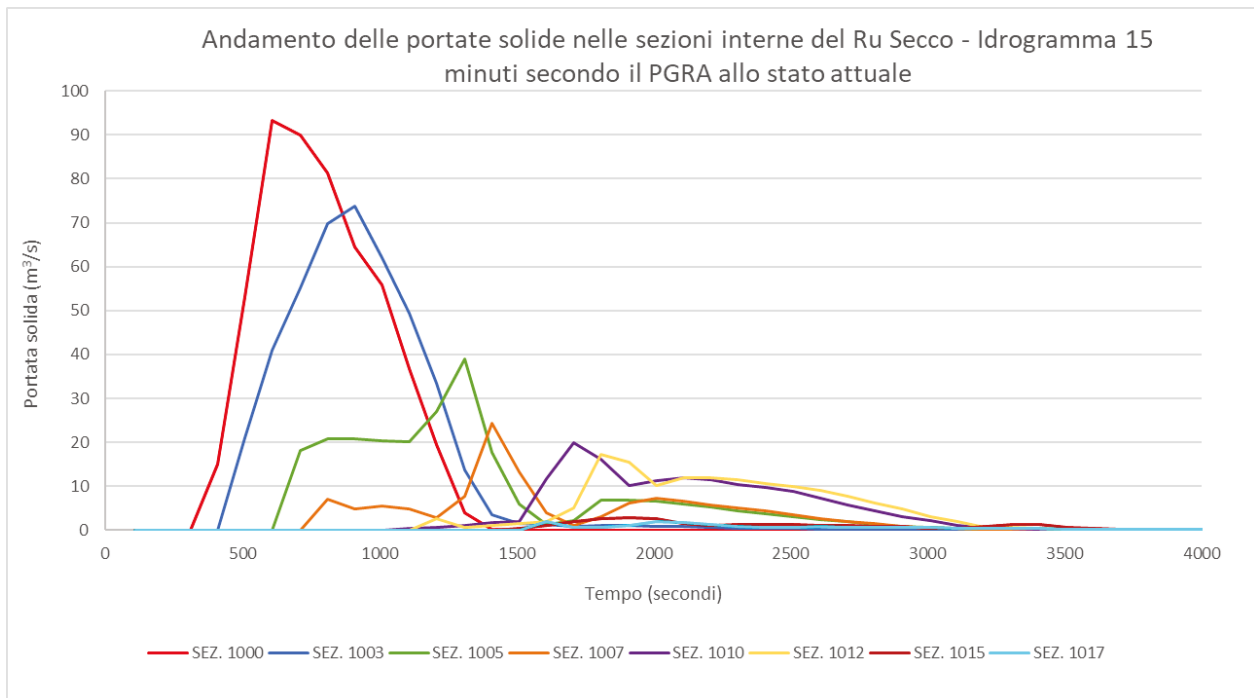


Grafico 47. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 15 minuti del PGRA allo stato attuale

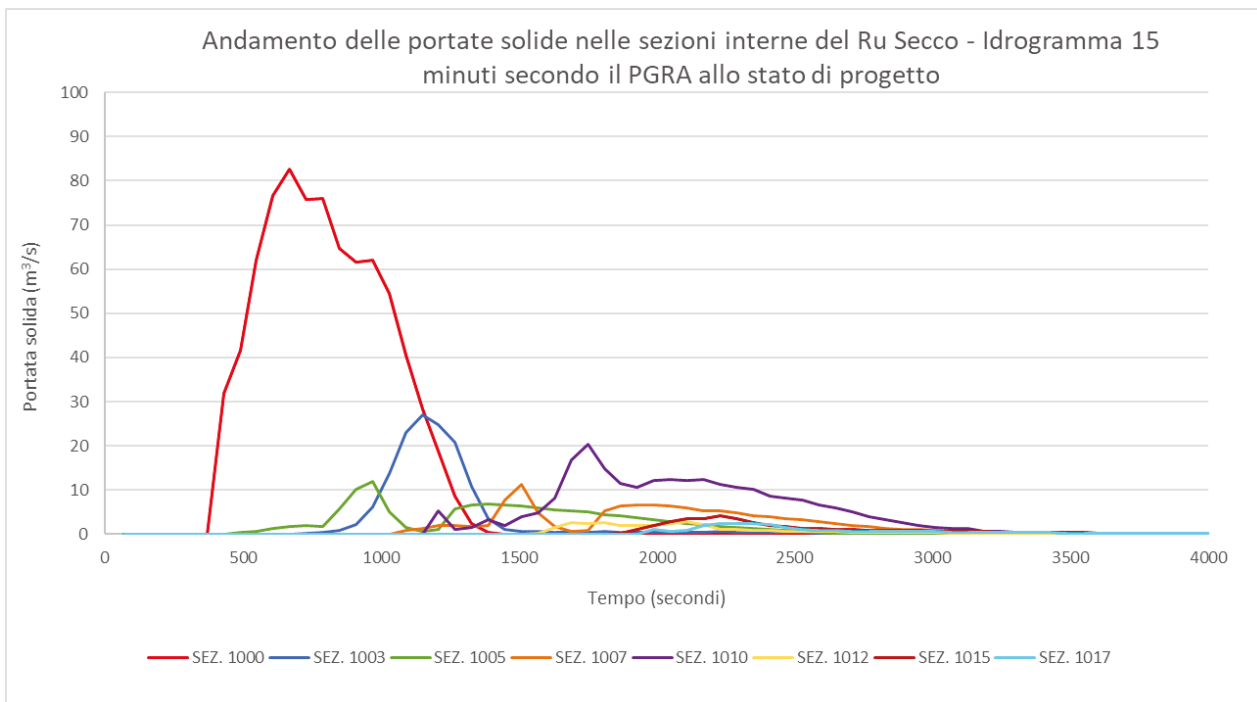


Grafico 48. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 15 minuti del PGRA allo stato di progetto

| | |
|----------|---|
| Erosioni | <p>Nel tratto terminale del Ru Salveta, che corrisponde all'inizio del tratto analizzato, le erosioni sono profonde, con valori di scavo che arrivano a 24 m, per un volume complessivo eroso di 39.200 m³.</p> <p>In corrispondenza dell'unione tra Ru Salveta e Ru Secco le erosioni sono canalizzate tra 2 aree di deposito e mediamente profonde, con valori di scavo massimi di 4,5 m.</p> <p>Erosioni minimali e poco profonde si osservano lungo le sponde tra il punto di confluenza Ru Salveta – Ru Secco e il tombotto al di sotto della pista da sci; inoltre, altri fenomeni erosivi si hanno nel punto in cui Ru de Rede e Ru de Saco si inseriscono nel Ru Secco.</p> <p>Infine, si assiste ad erosioni di 2-3 m di profondità a monte di alcune briglie di consolidamento nel tratto compreso fra i 2 tombotti.</p> |
| Depositi | <p>Come per il precedente idrogramma di 15 minuti definito dal Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), i depositi lungo l'asta del Ru Secco sono notevoli in quanto il deflusso solido-liquido è piuttosto ricco di sedimento</p> <p>I fenomeni di deposito maggiori si possono osservare a valle del punto di unione Ru Secco – Ru Salveta fino a monte del tombotto al di sotto della pista da sci, tanto da interessare tutta la larghezza dell'alveo, con spessori che arrivano a 10 m e che fuoriescono dall'alveo, depositando materiale nelle zone boscate adiacenti al canale.</p> <p>Nel piazzale della seggiovia "San Marco" la colata detritica fuoriesce, causando un deposito sul piazzale stesso, anche se rimanendo piuttosto adiacente al canale.</p> <p>Concludendo, a monte del tombotto in prossimità dell'abitato i depositi si presentano elevati, con spessori fino a 7 m e che fuoriescono dall'alveo, invadendo una parte della strada che scorre parallelamente al canale.</p> <p>All'interno del tombotto i depositi assumono uno spessore di 6 m lungo tutta la sua lunghezza, causando la sua ostruzione e il conseguente deposito di materiale a monte di esso.</p> |

Stato di progetto

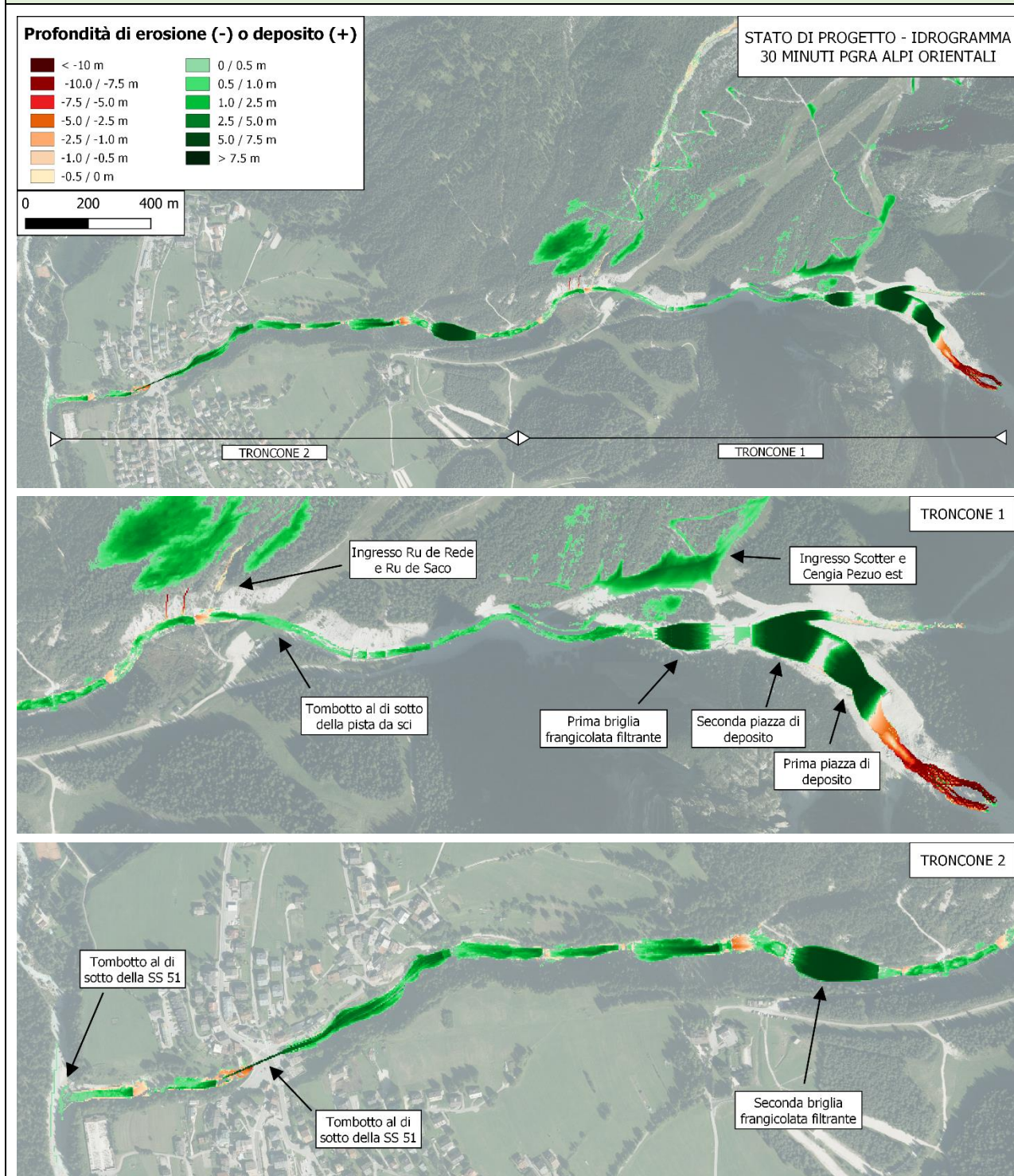


Figura 59. Mappa erosione/depositi per lo ietogramma 30 minuti secondo il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni riferita allo stato di progetto

| | |
|-----------------|--|
| <p>Erosioni</p> | <p>Come per lo stato attuale le erosioni si presentano piuttosto profonde nel tratto iniziale analizzato, corrispondente al tratto a monte delle piazze di deposito, tanto che il materiale eroso è quantificato in 59.200 m³ per una profondità massima di scavo che raggiunge i 29,5 m.</p> <p>In questo tratto le erosioni più profonde si riscontrano nel punto iniziale e si fanno minori via via che si scende a valle, trasformandosi poi in deposito all'inizio della prima piazza di deposito.</p> <p>Altri fenomeni di erosione lungo l'asta del Ru Secco sono limitati, se non in corrispondenza dell'immissione di Ru de Rede e Ru de Saco e a monte di alcune briglie di consolidamento del tratto più vallivo.</p> |
| <p>Depositi</p> | <p>Anche in questo caso le opere di trattenuta svolgono un'essenziale funzione di deposito controllato del sedimento, anche se si può osservare che si ha un limitato deposito anche a valle dello opere di trattenuta a monte, denotando che tutto il deflusso solido-liquido non è stato trattenuto; questo si traduce nel totale riempimento dei bacini di deposito.</p> <p>Anche per il tratto a valle della seconda briglia frangicolata filtrante si assiste al deposito, anche se limitato all'interno dell'alveo del Ru Secco a differenza dello stato attuale; ne deriva che le opere dello stato di progetto sono state essenziali alla trattenuta di sedimento, evitando la fuoriuscita della colata dall'alveo del Ru Secco.</p> |

Viene mostrata nei seguenti grafici l'analisi di confronto dei fenomeni di erosione e deposito analizzata con il codice MATLAB.

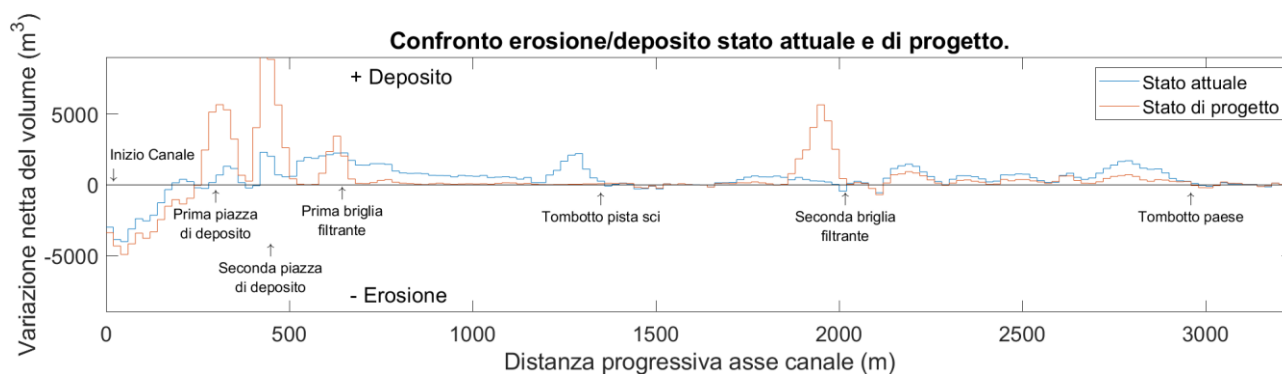


Grafico 49. Confronto tra lo stato attuale e lo stato di progetto dell'andamento dell'erosione e del deposito lungo l'asta del Ru Secco – Idrogramma 30 minuti secondo PGRA

Nel grafico 49 si può osservare che nella prima parte del canale analizzato le erosioni allo stato di progetto sono leggermente superiori rispetto a quelle dello stato attuale, fino ad arrivare ad un punto in cui si eguagliano. A valle di questo punto però si hanno le differenze maggiori, date dalle due piazze di deposito e dalla prima briglia frangicolata filtrante, che consentono una trattenuta quasi totale del sedimento solido proveniente da monte, tanto che la linea dello stato di progetto prosegue vicina a quella dello zero fino alla seconda briglia. Allo stato attuale invece si osserva che, a causa dell'assenza delle opere, la deposizione avviene in modo costante e continuo lungo l'asta del Ru Secco fino al tombotto al di sotto della pista da sci, dove si assiste ad un picco di deposito a monte di esso.

Proseguendo verso valle si osserva un picco di deposito allo stato di progetto in prossimità della seconda briglia frangicolata filtrante, andando a trattenere un gran quantitativo di sedimento e traducendosi in un minore deposito a valle dell'opera, a differenza della linea dello stato attuale che rimane sempre al di sopra di quella dello stato di progetto.

Tutti i depositi e le erosioni raggiungono lo zero a valle del tombotto al di sotto della SS 51.

Viene quindi riportato il grafico mostrante il volume di flusso transitante lungo l'asta analizzata:

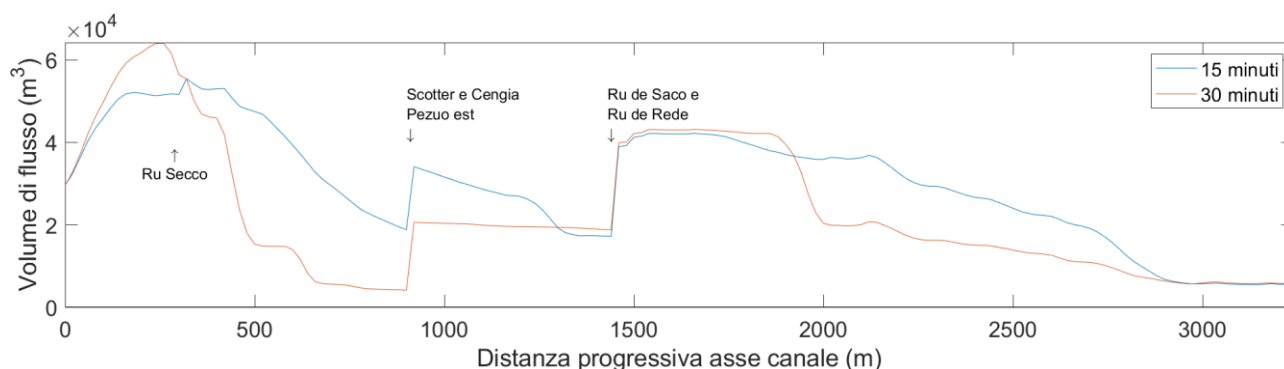


Grafico 50. Volume di flusso della colata detritica lungo l'asta analizzata – Idrogramma 30 minuti secondo il PGRA

Analizzando il grafico 50 si possono notare le differenze fra lo stato attuale e lo stato di progetto; le differenze sono dovute per la presenza delle opere, che consentono di ridurre notevolmente il volume di flusso solido transitante nel canale rispetto allo stato di progetto.

Infatti, a seguito dell'immissione del Ru Secco sulla porzione di canale analizzata si nota che per lo stato attuale il volume di flusso decresce lentamente a causa del progressivo deposito all'interno dell'alveo del Ru Secco stesso, mentre per lo stato di progetto si assiste ad una rapida riduzione del volume di flusso grazie alla presenza delle opere a progetto.

Lo stesso fenomeno accade a seguito dell'immissione di Scotter e Cengia Pezuo est, così come a seguito di Ru de Saco e Ru de Rede.

A supporto dei grafici 49 e 50, nella seguente tabella vengono riportate le statistiche di deposito ed erosione in riferimento a diversi tratti caratteristici sia per lo stato attuale sia per lo stato di progetto.

| ANALISI DEI VOLUMI DI DEPOSITO ED EROSIONE PER DIVERSI TRATTI - IDROGRAMMA 30 MINUTI PGRA | | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|
| Tratti in analisi | STATO ATTUALE | | STATO DI PROGETTO | |
| | Erosione (m³) | Deposito (m³) | Erosione (m³) | Deposito (m³) |
| Tratto a monte della prima piazza di deposito | 40'180 | 2'910 | 59'210 | 840 |
| Tratto dalla prima piazza di deposito alla prima briglia filtrante | 3'390 | 43'070 | 590 | 106'490 |
| Tratto a valle delle opere | 860 | 50'980 | 160 | 5'110 |
| Tratto tra l'uscita del tombotto e l'unione del Ru de Saco e Ru de Rede | 360 | 2'040 | 80 | 980 |
| Tratto dall'unione di Ru de Saco e Ru de Rede alla seconda briglia filtrante | 2'730 | 12'140 | 1'660 | 41'210 |
| Tratto che va dalle seconda briglia filtrante all'entrata del tombotto | 1'650 | 52'350 | 2'380 | 25'740 |
| Tratto del tombotto | 0 | 1'670 | 0 | 1'180 |
| Tratto che va dalla fine del tombotto all'unione del Ru Secco con il Bòite | 1'900 | 2'230 | 2'770 | 2'610 |
| TOT | 51'070 | 167'390 | 66'850 | 184'160 |
| EROSIONE E DEPOSITO DEI SOTTOBACINI IN DESTRA IDROGRAFICA - STATO ATTUALE E DI PROGETTO | | | | |
| Sottobacini analizzati | Erosione (m³) | | Deposito pre-immissione (m³) | |
| Ru de Saco e Ru de Rede | 70'990 | | 40'640 | |
| Cengia Pezuo ovest e Cengia Pezuo centrale | 8'090 | | 3'760 | |
| Cengia Pezuo est e Scotter | 48'150 | | 27'270 | |
| TOT | 127'230 | | 71'670 | |

Tabella 14. Analisi del volume di erosione e deposito per tratti caratteristici

Dalla tabella 14 si evince che, nonostante le erosioni dello stato di progetto siano maggiori rispetto a quelle dello stato attuale a causa della maggiore erosione nel tratto iniziale, il deposito a seguito della realizzazione delle opere è di circa 17.000 m³ maggiore rispetto allo stato senza opere; a supporto di questo maggiore deposito, assume maggiore importanza la disposizione dei depositi, dato che per lo stato attuale sono distribuiti lungo tutta l'asta del Ru Secco, mentre allo stato di progetto sono concentrati nelle piazze di deposito e nei piazzali delle briglie frangicolata filtranti.

Invece, dall'analisi delle differenze fra erosione e deposito lungo il versante per il bacini in destra idrografica ne deriva che circa 56.000 m³ di materiale solido entrano nel Ru Secco.

Viene infine riportata un'analisi delle portate solide transitanti per le principali sezioni interne del tratto di canale analizzato:

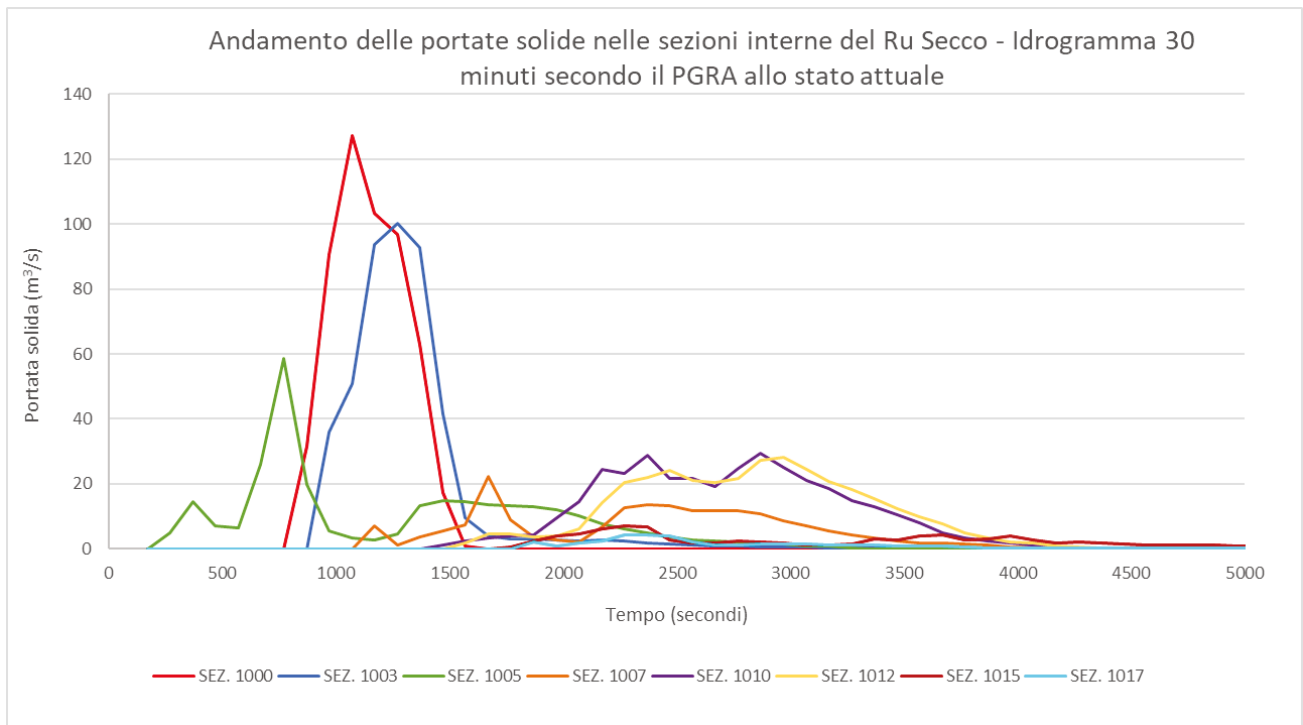


Grafico 51. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 30 minuti del PGRA allo stato attuale

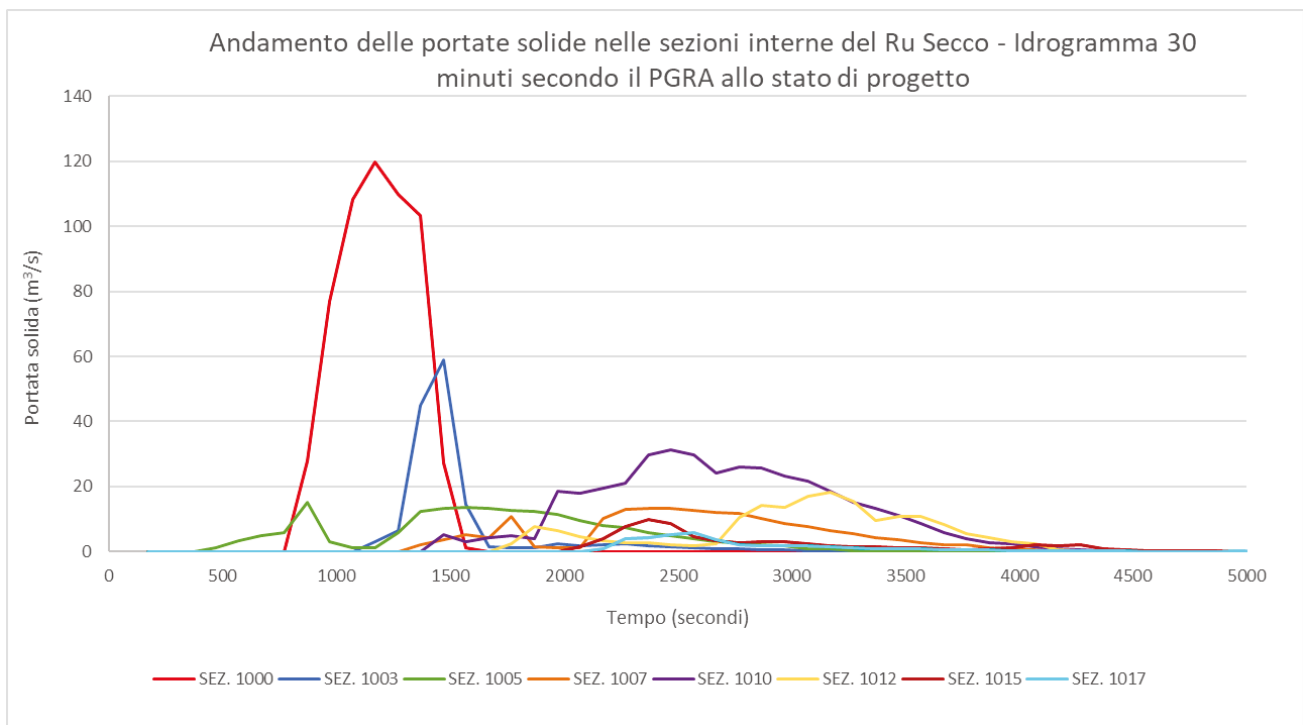


Grafico 52. Andamento delle portate solide lungo le sezioni interne del Ru Secco con l'idrogramma di durata 30 minuti del PGRA allo stato di progetto

5.12 Confronto dei risultati delle precedenti analisi

Nei risultati finora prodotti si è svolto un confronto diretto tra lo stato attuale e lo stato di progetto per ogni idrogramma di progetto e questo si è rivelato molto utile per individuare le differenze e le eventuali criticità lungo tutta l'asta di Ru Salvela e Ru Secco analizzata.

A conclusione e completamento dei risultati, vengono ora fatti dei confronti per valutare le erosioni, i depositi e i volumi di flusso per diverse combinazioni di risultati, sia allo stato attuale che allo stato di progetto:

- Confronto dei risultati aventi come input gli idrogrammi a blocchi alterni per le durate di precipitazione di 30, 45, 60 e 75 minuti
- Confronto dei risultati aventi come input gli idrogrammi ad intensità costante per le durate di precipitazione di 30, 45, 60 e 75 minuti
- Confronto dei risultati dei 2 precedenti punti per ogni singola durata di precipitazione
- Confronto dei risultati aventi come input gli idrogrammi redatti dall'autorità di bacino ai fini della redazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) per le durate di precipitazione di 15 e 30 minuti
- Confronto dei risultati aventi come input gli idrogrammi del PGRA per le precipitazioni di 15 e 30 minuti e gli idrogrammi per le precipitazioni a blocchi alterni di 15 e 30 minuti

5.12.1 Confronto risultati per idrogrammi di input a blocchi alterni

Vengono prima analizzati i risultati allo stato attuale e seguentemente allo stato di progetto; nel seguente grafico vengono riportati i risultati a confronto delle erosioni e dei depositi per le durate di precipitazione di 30, 45, 60 e 75 minuti:

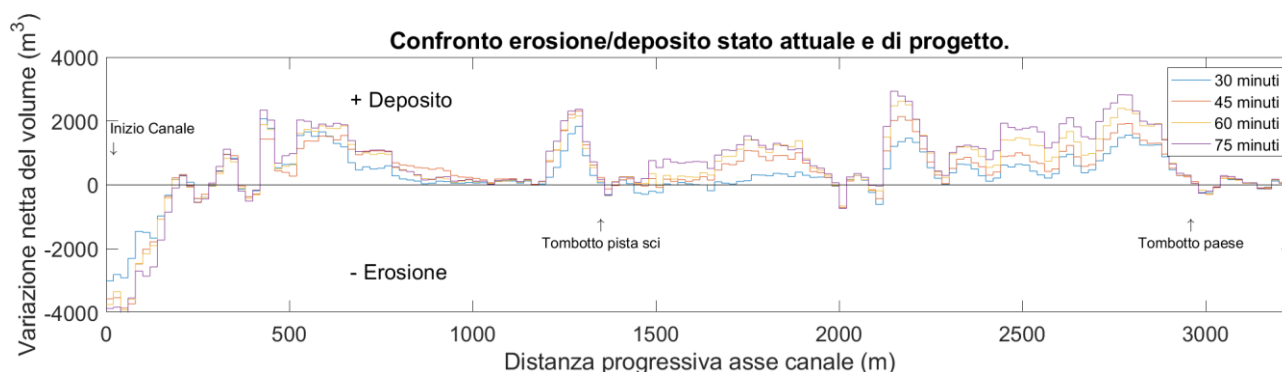


Grafico 53. Confronto erosione/deposito per le durate di precipitazione di 30, 45, 60 e 75 minuti a blocchi alterni allo stato attuale

Da questo primo grafico è possibile cogliere a pieno le differenze di erosione e deposito per ogni idrogramma di input; infatti osservando le curve riportate si nota che le erosioni e i depositi sono tanto maggiori quanto maggiore è la durata di precipitazione, fenomeno che si può notare maggiormente per i valori più elevati.

Per valori di erosione e deposito meno elevati invece, le diverse curve tendono a sovrapporsi e a riportare quindi gli stessi valori, cosa che si può notare maggiormente nella parte finale del grafico a seguito del passaggio della colata nel tombotto del paese.

Viene poi riportato di seguito il grafico per i medesimi risultati, ma rappresentante il volume di flusso lungo il canale analizzato:

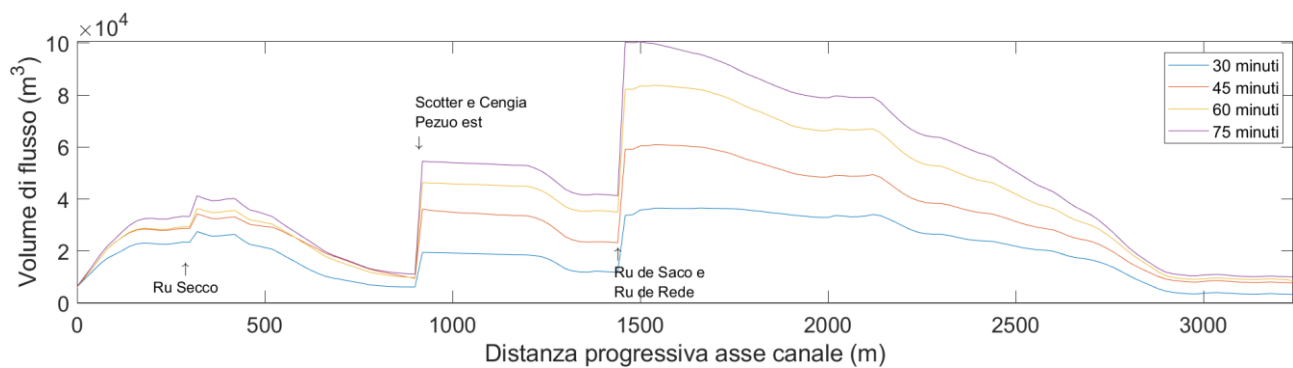


Grafico 54. Confronto del volume di flusso per le durate di precipitazione di 30, 45, 60 e 75 minuti a blocchi alterni allo stato attuale

Dal grafico si può osservare che per la prima porzione di canale, fino alla prima immissione dello Scotter e Cengia Pezuo est, il volume di flusso varia in modo non troppo elevato per le diverse durate di precipitazione. Le notevoli differenze si possono osservare nei punti di immissione dello Scotter e Cengia Pezuo est e ancor di più con il Ru de Saco e Ru de Rede, tanto che il divario fra 2 curve contigue inizialmente è di circa 2.000 m^3 , per poi ridursi sempre più fino alla progressiva 2850 m circa, dove vi è il tombotto del paese al di sotto della SS 51. La riduzione del divario fra le diverse curve è data dalla deposizione del materiale all'interno del Ru Secco o nelle zone limitrofe.

Viene quindi riportato il grafico dei risultati generati dalle stesse durate di precipitazione e riferiti allo stato di progetto:

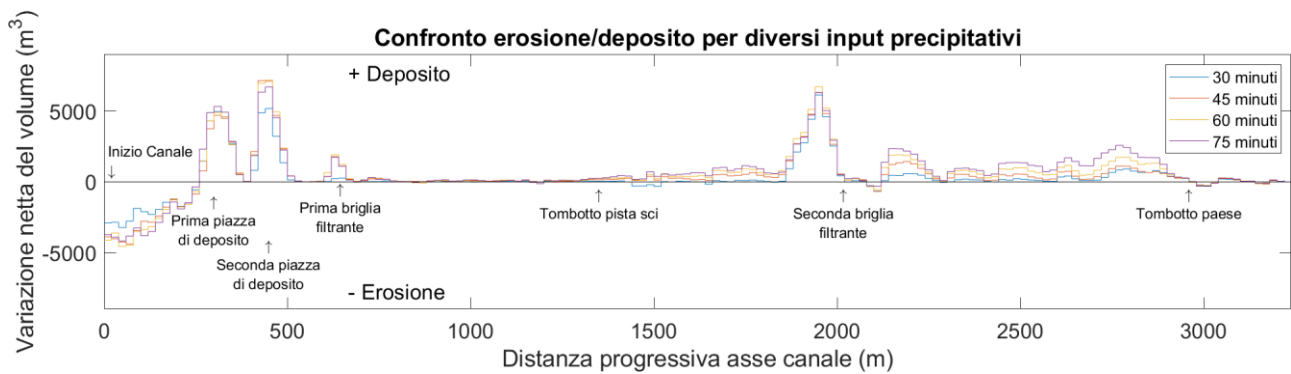


Grafico 55. Confronto erosione/deposito per le durate di precipitazione di 30, 45, 60 e 75 minuti a blocchi alterni allo stato di progetto

Dal grafico si può osservare come la variabilità delle curve sia molto minore dello stato di progetto, infatti, in corrispondenza delle piazze di deposito e delle due briglie frangicolata filtranti il volume captato è verosimilmente simile. Le differenze però si possono notare a valle delle seconda briglia frangicolata filtrante, dove tutto il surplus che l'opera non è stata in gradi di trattenere si deposita lungo l'asta del Ru Secco, con volumi tanto maggiori quanto più lunga è la durata di precipitazione, disposti secondo un andamento comune per tutte e 4 le durate di precipitazione.

Anche in questo caso i depositi e le erosioni tendono ad annullarsi in prossimità del tombotto del paese, traducendosi in un deflusso quasi del tutto liquido nella parte terminale del Ru Secco, che si immette poi nel Bòite.

Il prossimo grafico invece mostra l'andamento del volume di flusso per le stesse durate di precipitazioni, ma allo stato di progetto:

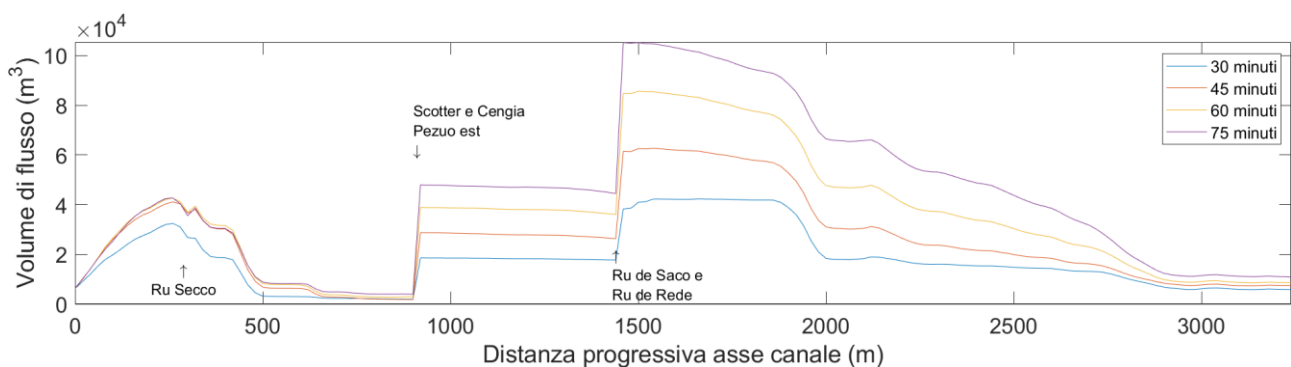


Grafico 56. Confronto del volume di flusso per le durate di precipitazione di 30, 45, 60 e 75 minuti a blocchi alterni allo stato di progetto

I risultati di questo ultimo grafico mostrano a pieno l'influenza delle opere a progetto, infatti in corrispondenza delle progressive 500 e 2000 si nota una brusca riduzione del volume di flusso solido,

causato dalla captazione del materiale da parte delle briglie frangicolata filtranti e dalle piazze di deposito.

Invece, gli input laterali di Ru de Rede, Ru de Saco, Scotter e Cengia Pezuo est sono verosimilmente paragonabili a quelli dello stato attuale, non essendovi opere a monte della loro immissione sul Ru Secco.

Viene riportata una tabella riportante il volume totale e eroso e depositato totale per le precipitazioni ad a blocchi alterni:

| Durata di precipitazione (blocchi alterni) | Erosione | | | | | Deposito | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 15 minuti | 30 minuti | 45 minuti | 60 minuti | 75 minuti | 15 minuti | 30 minuti | 45 minuti | 60 minuti | 75 minuti |
| Volume allo stato attuale | 102'044 | 174'231 | 222'316 | 257'647 | 293'219 | 121'858 | 198'566 | 249'203 | 287'083 | 324'350 |
| Volume allo stato di progetto | 117'315 | 183'576 | 237'266 | 27'578 | 303'087 | 136'749 | 207'371 | 263'559 | 304'206 | 333'330 |

Tabella 15. Confronto del volume di erosione e deposito allo stato attuale e allo stato di progetto per diversi input precipitativi a blocchi alterni

5.12.2 Confronto risultati per idrogrammi di input ad intensità costante

Vengono prima analizzati i risultati allo stato attuale e seguentemente allo stato di progetto; nel seguente grafico vengono riportati i risultati a confronto delle erosioni e dei depositi per le durate di precipitazione di 30, 45, 60 e 75 minuti. Visti i risultati simili a quelli del precedente paragrafo, non si riporta una loro descrizione.

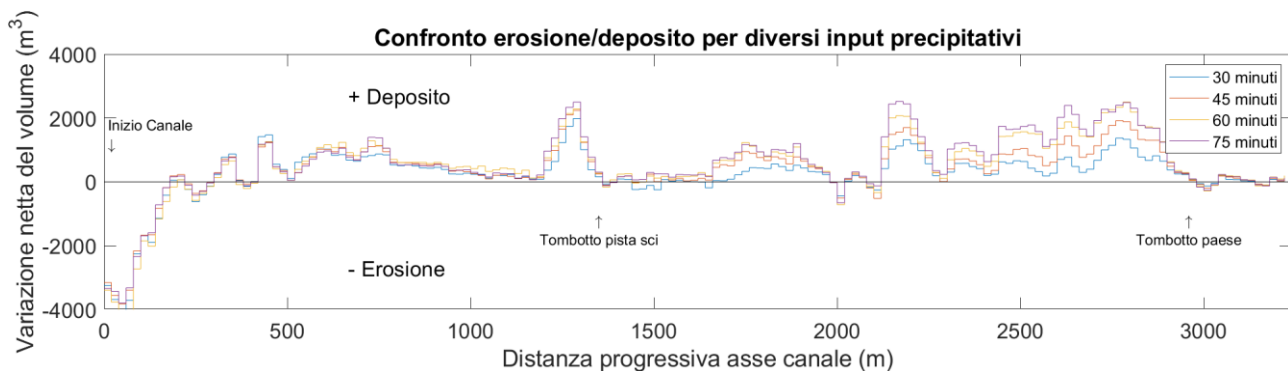


Grafico 57. Confronto erosione/deposito per le durate di precipitazione di 30, 45, 60 e 75 minuti ad intensità costante allo stato attuale

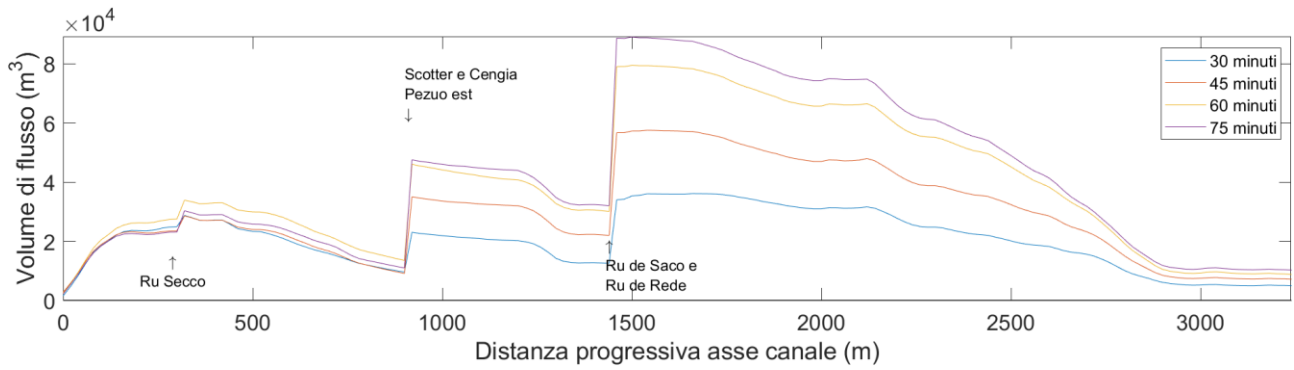


Grafico 58. Confronto del volume di flusso per le durate di precipitazione di 30, 45, 60 e 75 minuti ad intensità costante allo stato attuale

Vengono infine riportati i grafici riferiti allo stato di progetto:

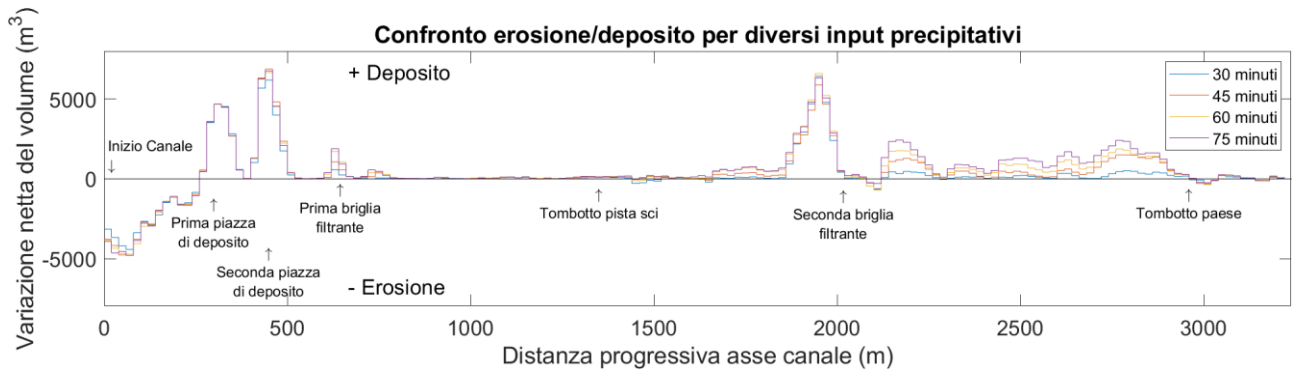


Grafico 59. Confronto erosione/deposito per le durate di precipitazione di 30, 45, 60 e 75 minuti ad intensità costante allo stato di progetto

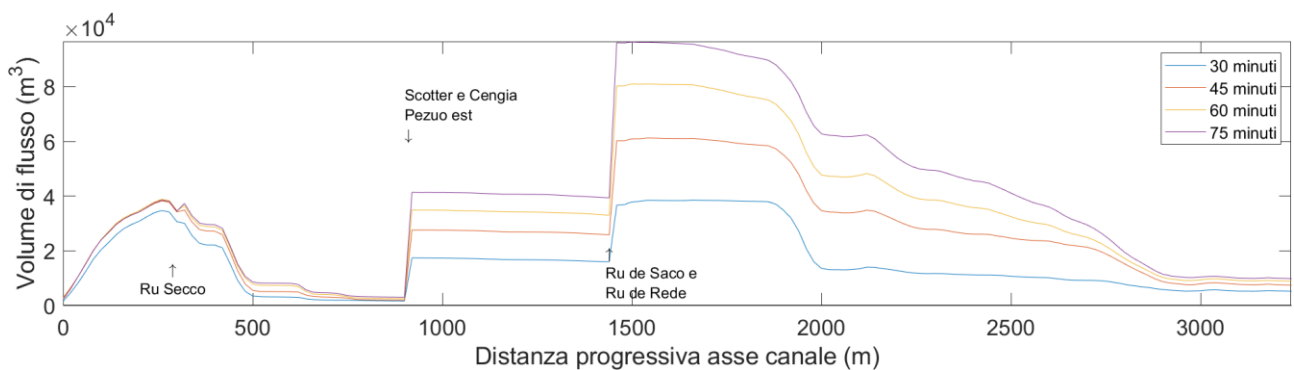


Grafico 60. Confronto del volume di flusso per le durate di precipitazione di 30, 45, 60 e 75 minuti ad intensità costante allo stato di progetto

Analizzando le differenze risultanti nei grafici 57, 58, 59, 60, facenti riferimento alle simulazioni aventi una precipitazione ad intensità costante allo stato attuale e allo stato di progetto, risultano 2 diverse situazioni per i fenomeni erosivi/deposizionali e il volume di flusso:

- Erosioni/depositi: per lo stato attuale i fenomeni erosivi/deposizionali per i diversi input precipitativi sono maggiormente variabili rispetto allo stato di progetto, fenomeno che può essere particolarmente osservato dalla progressiva 2200 m circa fino alla confluenza con il Bòite; questo si traduce in un'elevata efficacia delle opere di captazione del sedimento, dato che all'aumentare della durata della precipitazione non si assiste ad un corrispondente e proporzionale aumento della deposizione lungo l'asta di Ru Secco analizzata.

Viene riportata una tabella riportante il volume totale e eroso e depositato totale per le precipitazioni ad intensità costante:

| Durata di precipitazione (intensità costante) | Erosione | | | | Deposito | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 30 minuti | 45 minuti | 60 minuti | 75 minuti | 30 minuti | 45 minuti | 60 minuti | 75 minuti |
| Volume allo stato attuale | 168'206 | 205'656 | 241'857 | 255'615 | 184'033 | 225'779 | 263'281 | 277'912 |
| Volume allo stato di progetto | 182'848 | 228'557 | 258'064 | 281'151 | 198'409 | 248'113 | 278'835 | 302'968 |

Tabella 16. Confronto del volume di erosione e deposito allo stato attuale e allo stato di progetto per diversi input precipitativi ad intensità costante

- Volume di flusso: le sostanziali differenze di cambiamento di volume si notano in corrispondenza delle 2 piazze di deposito e delle briglie frangicolata filtranti, dove le curve di volume di flusso subiscono un forte e improvviso decremento; questo decremento di volume per effetto di captazione è tanto più efficace quanto minore è la durata di precipitazione e quindi il volume solido movimentato dalla colata.

5.12.3 Confronto risultati per idrogrammi a blocchi alterni e ad intensità costante

In questo paragrafo viene fatto un confronto dei risultati derivanti dai 2 precedenti paragrafi; in particolare si vogliono analizzare i risultati riferiti ad ogni durata di precipitazione che viene assegnata agli idrogrammi di input sia per la condizione a blocchi alterni sia per quella ad intensità costante; inoltre questo viene fatto per lo stato attuale e per lo stato di progetto.

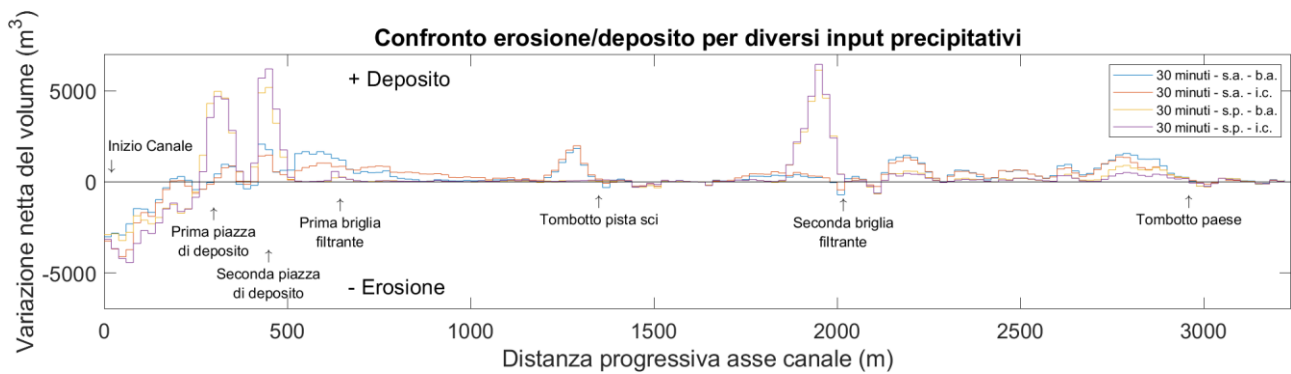


Grafico 61. Confronto erosione/deposito per gli idrogrammi generati da una precipitazione di 30 minuti a blocchi alterni (b.a.) e a intensità costante (i.c.); riferito sia allo stato attuale (s.a.) sia allo stato di progetto (s.p.)

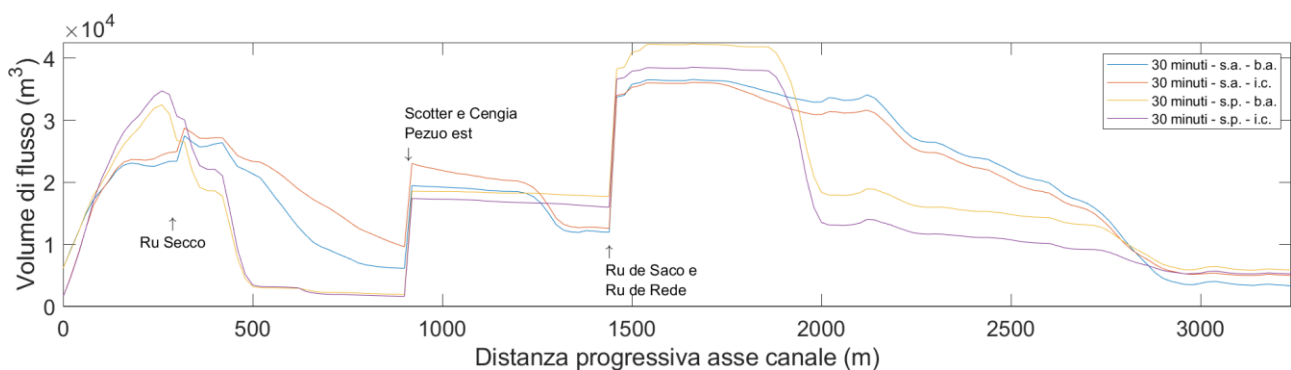


Grafico 62. Confronto volume di flusso per gli idrogrammi generati da una precipitazione di 30 minuti a blocchi alterni (b.a.) e a intensità costante (i.c.); riferito sia allo stato attuale (s.a.) sia allo stato di progetto (s.p.)

I 2 grafici soprastanti, riferiti ai risultati di una precipitazione di 30 minuti a blocchi alterni e ad intensità costante, mostrano a pieno le differenze che vi sono fra le 2 tipologie di idrogramma; infatti per lo:

- Stato attuale: osservando le 2 curve delle erosioni e dei depositi si ha che per il primo tratto, in erosione, le curve coincidono, mentre per il tratto appena più a valle la curva generata dall'idrogramma con precipitazione ad intensità costante rimane al di sopra di quella a blocchi alterni, anche se con valori che non si discostano di molto; tale fenomeno avviene fino all'immissione di Ru de Rede e Ru de Saco, dove le condizioni si invertono fino al punto di inizio del tombotto al di sotto della SS 51, alla progressiva 2850 m circa.

La stessa considerazione vale anche per il volume di flusso.

- Stato di progetto: osservando le 2 curve riferite allo stato post-opere del primo grafico, si nota che per il primo metà tratto, fino alla progressiva 1500 m circa, non vi sono considerevoli differenze; nella seconda metà del canale analizzato invece, le differenze sono ben maggiori, dove la curva

generata dall'idrogramma con precipitazione a blocchi alterni è leggermente superiore rispetto a quella ad intensità costante.

Lo stesso fenomeno è valido anche per il secondo grafico mostrandone il volume di deflusso.

Per non incorrere in ripetitività, i restanti risultati verranno riportati solo graficamente e ne verrà fatta una considerazione finale.

Viene per primo riportata l'analisi facente riferimento agli idrogrammi in input con precipitazione di 45 minuti.

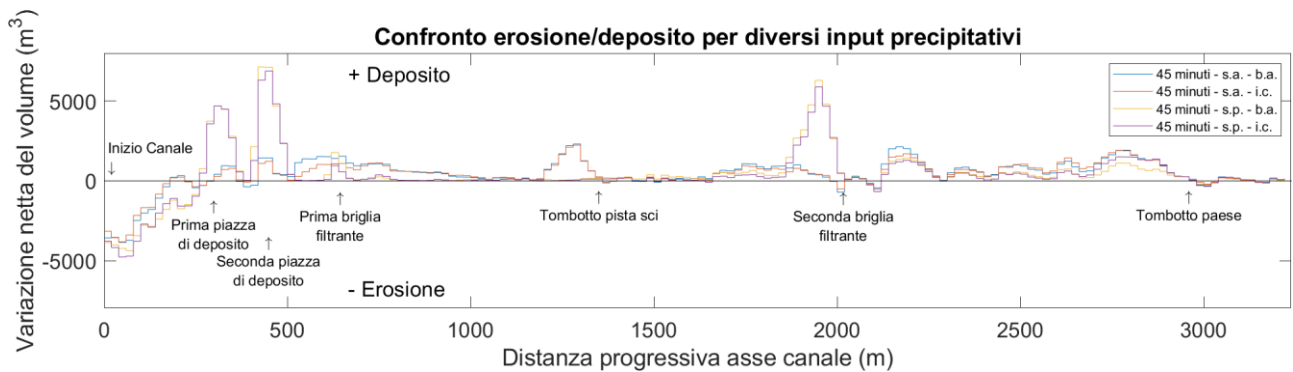


Grafico 63. Confronto erosione/deposito per gli idrogrammi generati da una precipitazione di 45 minuti a blocchi alterni (b.a.) e a intensità costante (i.c.); riferito sia allo stato attuale (s.a.) sia allo stato di progetto (s.p.)

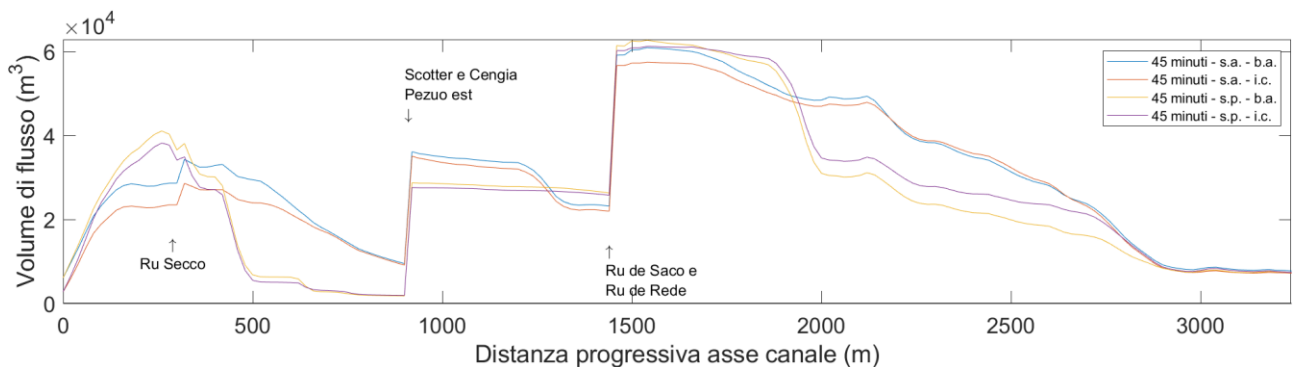


Grafico 64. Confronto volume di flusso per gli idrogrammi generati da una precipitazione di 45 minuti a blocchi alterni (b.a.) e a intensità costante (i.c.); riferito sia allo stato attuale (s.a.) sia allo stato di progetto (s.p.)

Viene di seguito riportata l'analisi facente riferimento agli idrogrammi in input con precipitazione di 60 minuti.

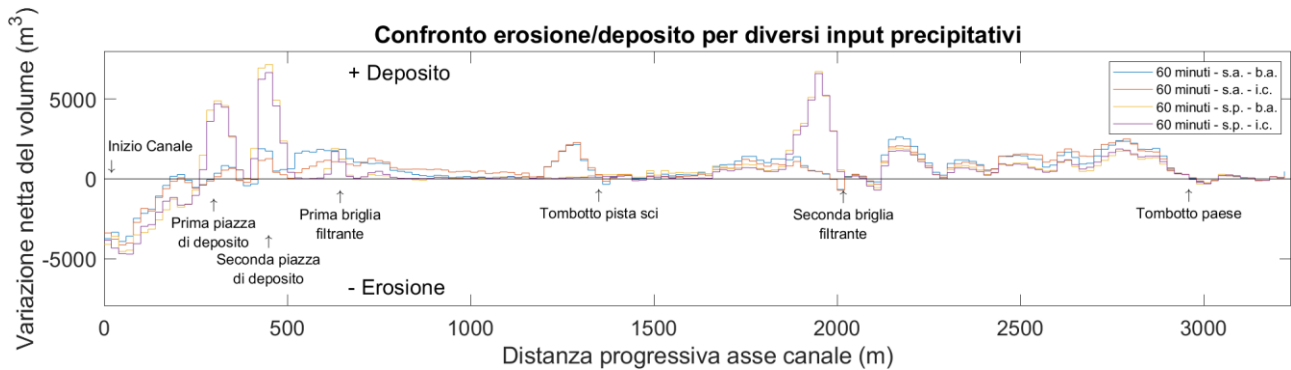


Grafico 65. Confronto erosione/deposito per gli idrogrammi generati da una precipitazione di 60 minuti a blocchi alterni (b.a.) e a intensità costante (i.c.); riferito sia allo stato attuale (s.a.) sia allo stato di progetto (s.p.)

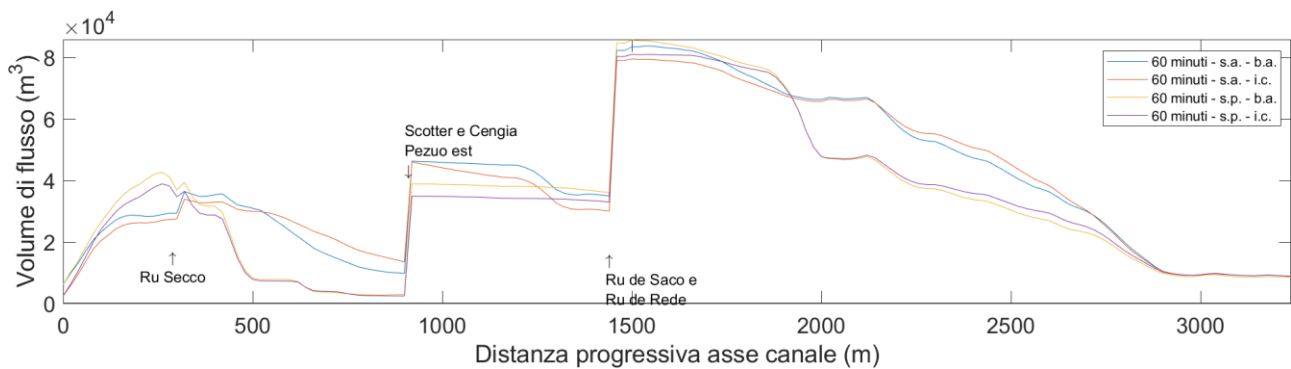


Grafico 66. Confronto volume di flusso per gli idrogrammi generati da una precipitazione di 60 minuti a blocchi alterni (b.a.) e a intensità costante (i.c.); riferito sia allo stato attuale (s.a.) sia allo stato di progetto (s.p.)

Infine, si riporta l'analisi facente riferimento agli idrogrammi in input con precipitazione di 75 minuti.

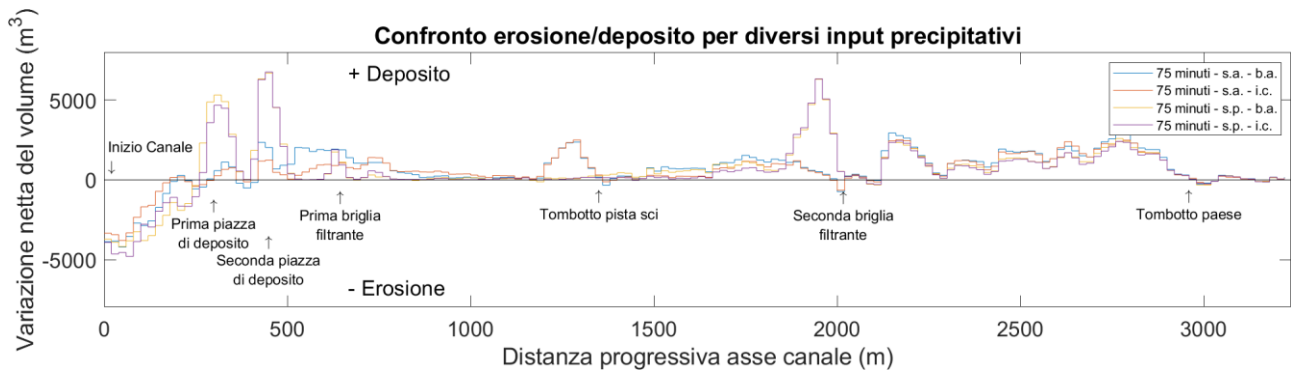


Grafico 67. Confronto erosione/deposito per gli idrogrammi generati da una precipitazione di 60 minuti a blocchi alterni (b.a.) e a intensità costante (i.c.); riferito sia allo stato attuale (s.a.) sia allo stato di progetto (s.p.)

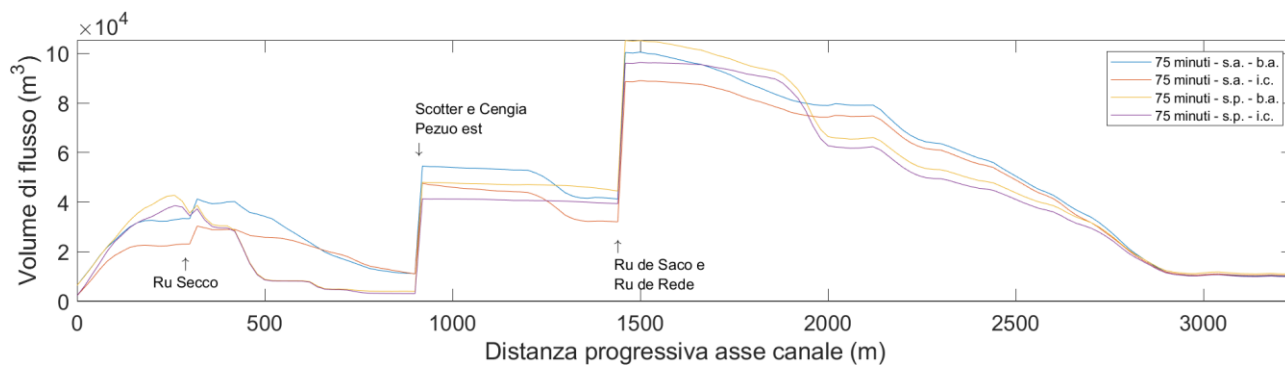


Grafico 68. Confronto volume di flusso per gli idrogrammi generati da una precipitazione di 60 minuti a blocchi alterni (b.a.) e a intensità costante (i.c.); riferito sia allo stato attuale (s.a.) sia allo stato di progetto (s.p.)

Analizzando complessivamente i grafici riportati in questo paragrafo, la principale conclusione che si può trarre è che le erosioni e i depositi lungo l'asta di Ru Secco analizzata per i 2 tipi di idrogramma analizzati (precipitazioni a blocchi alterni e ad intensità costante) sono variabili in funzione del troncone che si intende analizzare e allo stesso modo anche il volume di flusso.

Nonostante ciò, si può notare la tendenza ad una riduzione delle differenze tra le curve generate dalle 2 tipologie di idrogrammi man mano che aumenta la durata della precipitazione in input; infatti, proporzionalmente per le curve generate dagli idrogrammi di 30 minuti in riferimento alle 2 tipologie di idrogramma risultano più lontane fra di loro, mentre per l'idrogramma di 75 minuti riferito alle 2 tipologie di idrogramma le curve sono ben più vicine.

Tale per cui si arriva alla conclusione che non vi è una legge che descrive perfettamente l'andamento delle erosioni, dei depositi e del volume di flusso sia per gli idrogrammi a blocchi alterni sia per quelli ad intensità costante, dato che essi variano a seconda di numerose variabili.

5.12.4 Confronto risultati per idrogrammi di input secondo PGRA

Vengono prima analizzati i risultati allo stato attuale e seguentemente allo stato di progetto; nel seguente grafico vengono riportati i risultati a confronto delle erosioni e dei depositi per le durate di precipitazione di 15 e 30 minuti secondo gli idrogrammi solido-liquidi costruiti a partire dall'Aggiornamento e revisione del Piano di Gestione delle Alluvioni definito dall'Autorità di Bacino distrettuale delle Alpi Orientali.

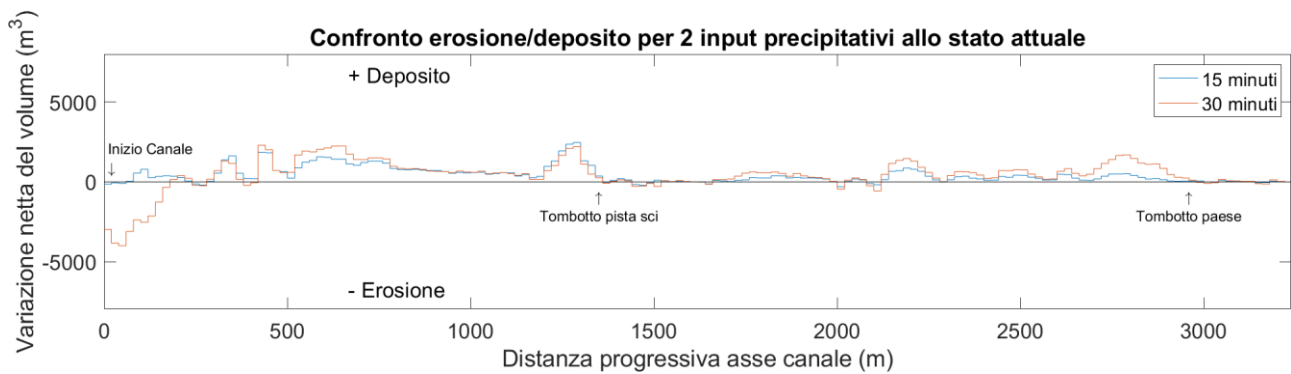


Grafico 69. Confronto erosione/deposito per le durate di precipitazione di 15 e 30 minuti secondo le direttive del PGRA allo stato attuale

Da questo primo grafico è possibile cogliere alcune differenze nella distribuzione delle erosioni e dei depositi lungo l'asta di canale analizzata, nonostante per la maggior parte del tratto non vi siano sostanziali differenze.

La prima differenza che risalta dal grafico è situata nel tratto iniziale, a monte della confluenza Ru Secco – Ru Salveta, dove per la simulazione con idrogramma di 15 minuti si hanno minimi fenomeni di deposito, mentre per la simulazione con idrogramma di 30 minuti si hanno forti erosioni, che si annullano poi alla progressiva 250 m circa.

Dalla progressiva 300 m a quella di 2200 m circa non si hanno sostanziali differenze tra le erosioni e i depositi per le due simulazioni; nell'ultima porzione di tratto invece le curve delle erosioni per la simulazione con idrogramma di 30 minuti è leggermente superiore rispetto a quella con idrogramma di durata 15 minuti.

Infine, dal tombotto del paese fino alla confluenza del Ru Secco con il Bòite le erosioni e i depositi sono pressoché nulli.

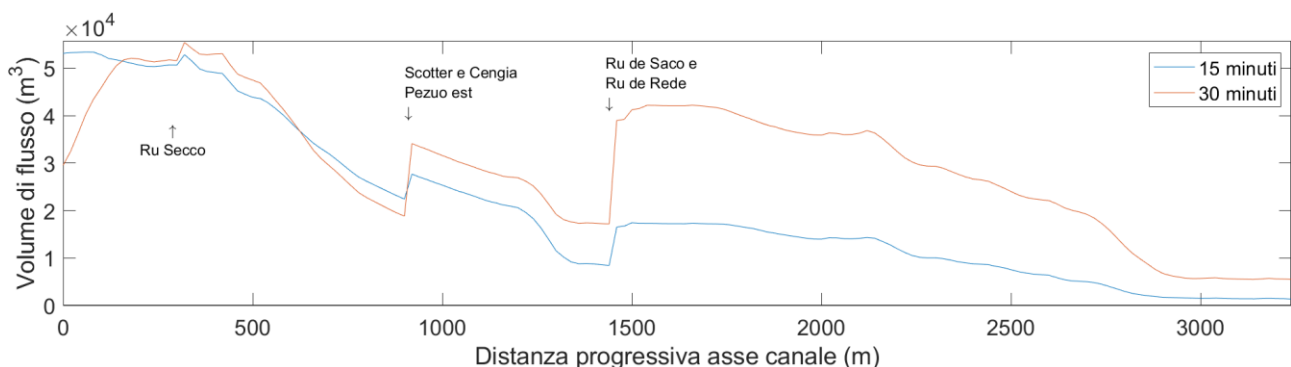


Grafico 70. Confronto del volume di flusso per le durate di precipitazione di 15 e 30 minuti secondo le direttive del PGRA allo stato attuale

Il grafico del volume di flusso invece, mostrandone l'andamento delle portate solide, risalta maggiormente le differenze risultanti dalle simulazioni degli idrogrammi con durata di 15 e 30 minuti. La prima differenza, in ordine di progressiva, si può osservare nel volume di flusso entrante nel campo di analisi, tale per cui con l'idrogramma di durata pari a 15 minuti risulta essere di circa 53.000 m³, mentre con quella di durata di 30 minuti risulta essere di circa 30.000 m³; nonostante in questo secondo idrogramma il volume sia minore, la differenza fra i due volumi viene presto colmata alla progressiva 200 m circa. Entrambe le curve poi decrescono fino alla progressiva 850 m circa, tale fenomeno è dovuto alla deposizione del materiale solido della colata detritica all'interno dell'alveo. Susseguono poi 2 picchi in cui il volume di flusso aumenta, dovuto all'immissione delle portate solido-liquide dei bacini Scotter, Cengia Pezuo est, Ru de Saco e Ru de Rede; come si può osservare i due picchi sono maggiori per la simulazione con precipitazione aventi durata di 30 minuti. Nella seconda metà del grafico infine si può osservare come le differenze fra le due curve siano elevate, anche in diminuzione fino alla progressiva 2850 m circa, dove vi è la presenza del tombotto al di sotto della SS 51, che determina una forte riduzione della portata solida transitante in esso. Si può quindi affermare che la simulazione della colata detritica con durata di precipitazione di 30 minuti allo stato attuale è quella maggiormente critica fra le 2 analizzate, con conseguente maggiore rischio per l'abitato di San Vito di Cadore in caso di concretizzazione della colata.

Nei successivi grafici viene invece riportato l'andamento delle erosioni, dei depositi e dell'andamento del volume di flusso per le simulazioni con la stessa durata, ma riferite allo stato di progetto:

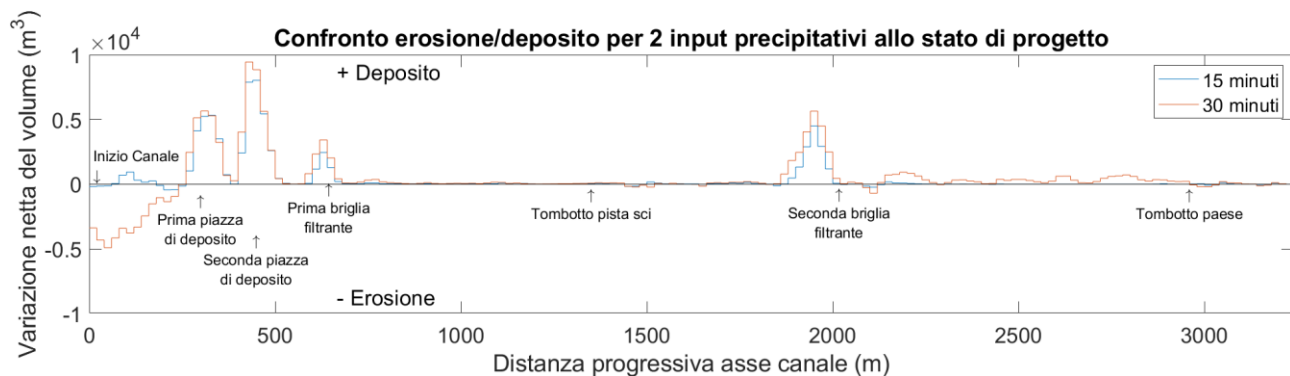


Grafico 71. Confronto erosione/deposito per le durate di precipitazione di 15 e 30 minuti secondo le direttive del PGRA allo stato di progetto

Osservando il grafico 71, si può notare che tra le curve di erosione/deposito riferite alle 2 durate di precipitazione allo stato di progetto vi sono delle differenze; la prima sostanziale differenza è localizzata nei primi 250 m di canale analizzato dove, come nel per lo stato attuale, nella curva della simulazione con durata di 15 minuti si hanno dei depositi minimali, mentre in quella della simulazione

con durata 30 minuti si assiste a forti erosioni del letto e delle sponde del tratto, corrispondente al Ru Salvela.

Alla progressiva di inizio della prima piazza di deposito le due curve coincidono e seguono dei picchi di deposito dovute alla presenza delle due piazze di deposito e alla briglia filtrante, dove per la curva della simulazione con durata della pioggia di 30 minuti le opere risultano captare un maggior quantitativo di materiale solido. In ogni caso, per entrambe le situazioni le opere riescono a trattenerne quasi la totalità di sedimento proveniente da monte, dato che nel tratto a valle fino al tombotto al di sotto della pista da sci non si hanno ne erosioni ne depositi.

Successivamente, un ulteriore picco di deposito lo si può osservare in corrispondenza della seconda briglia frangicolata filtrante, causato dal materiale detritico proveniente da Ru de Rede e Ru de Saco; tale picco risulta essere maggiore per la simulazione con durata di precipitazione di 30 minuti e per tale simulazione, a valle dell'opera, si assiste ad ulteriori fenomeni di deposito, causati dal riempimento totale della briglia e conseguente straripamento del materiale verso valle. Quest'ultimo fenomeno non avviene invece per la durata di precipitazione di 15 minuti, dove la curva delle erosioni/depositi rimane sulla linea dello zero.

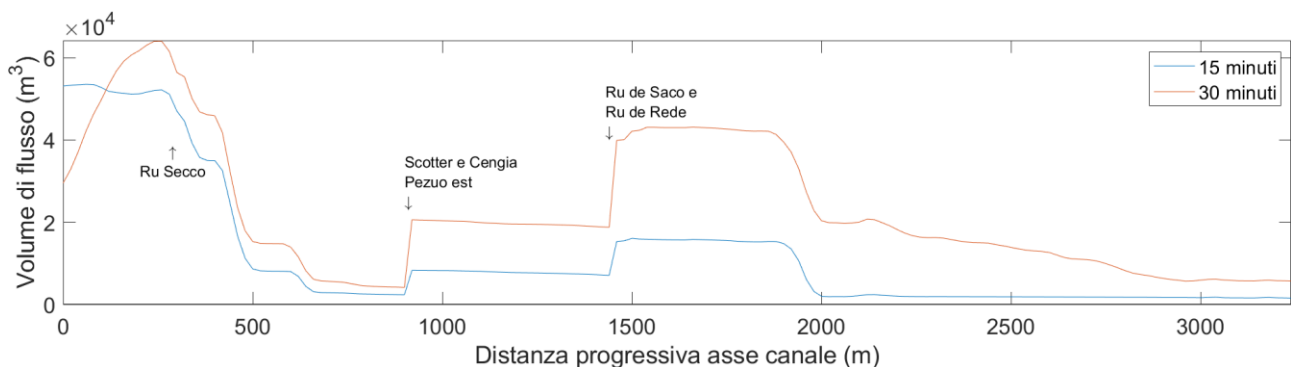


Grafico 72. Confronto del volume di flusso per le durate di precipitazione di 15 e 30 minuti secondo le direttive del PGRA allo stato di progetto

Il grafico 72 infine, è simile al grafico 70 riportante il volume di flusso allo stato attuale, anche se si differenzia da esso per l'andamento del volume in corrispondenza delle opere. Infatti, dalla progressiva 300 m fino alla 700 m si assiste a 3 forti picchi negativi di volume di flusso, dati dalla captazione del materiale solido da parte delle opere a progetto.

Lo stesso è evidenziato alla progressiva 1850 m circa, dove si ha un altro picco negativo del volume di flusso per entrambe le simulazioni effettuate. A seguito della seconda briglia frangicolata filtrante il volume di flusso per la simulazione con durata di precipitazione di 15 minuti risulta essere costante fino alla fine del canale analizzato e quantificato in 1900 m^3 ; invece per la simulazione con durata di

precipitazione di 30 minuti il volume di flusso a valle dell'opera è maggiore, anche se in diminuzione fino alla progressiva 2850 m circa, in corrispondenza dell'inizio del tombotto al di sotto della SS 51. Questo mostra come le opere siano altamente efficaci nella diminuzione del volume di flusso della colata detritica, annullandolo quasi completamente per la simulazione per piogge di 15 minuti e diminuendone quantitativamente il volume nella simulazione per piogge di 30 minuti.

Anche in questo caso viene analizzato nella seguente tabella il volume totale eroso e depositato per le precipitazioni secondo il PGRA:

| Durata di precipitazione (secondo PGRA) | Erosione | | Deposito | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 15 minuti | 30 minuti | 15 minuti | 30 minuti |
| Volume allo stato attuale | 72'684 | 178'855 | 174'056 | 243'689 |
| Volume allo stato di progetto | 73'826 | 194'430 | 174'819 | 258'540 |

Tabella 17. Confronto del volume di erosione e deposito allo stato attuale e allo stato di progetto per diversi input precipitativi secondo il PGRA

5.12.5 Confronto dei risultati per idrogrammi di input a blocchi alterni e PGRA

Viene fatto un confronto dei risultati aventi come input gli idrogrammi con durata di precipitazione di 15 e 30 minuti a blocchi alterni e quelli con durata di 15 e 30 minuti secondo il PGRA; il confronto viene fatto prima per lo stato attuale e seguentemente allo stato di progetto.

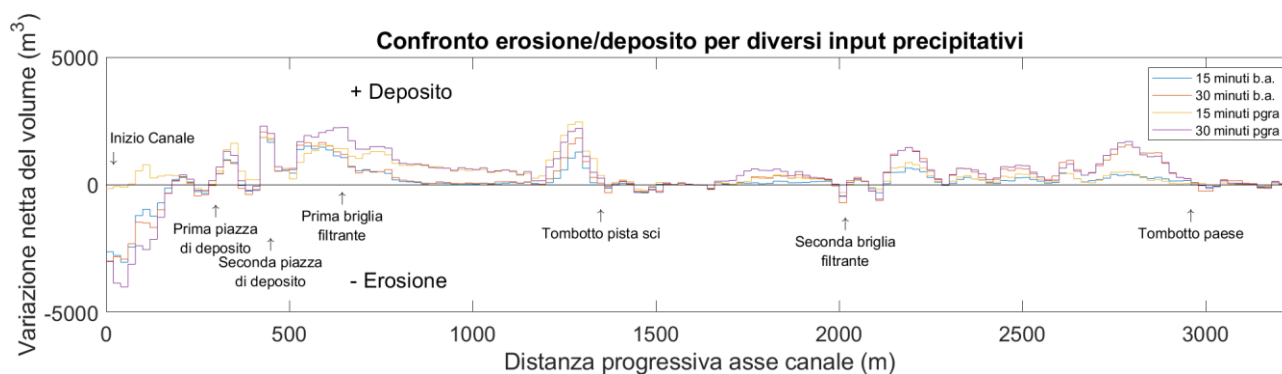


Grafico 73. Confronto erosione/deposito per le durate di precipitazione di 15 e 30 minuti a blocchi alterni e secondo PGRA allo stato attuale

Da questo primo grafico si può notare che per gli idrogrammi della simulazioni generati da precipitazioni di 15 e 30 minuti secondo il PGRA, aventi lo stesso input precipitativo degli altri 2 idrogrammi riportati, le erosioni e i depositi sono generalmente sempre più elevati in quanto cambia

il volume solido in input; infatti questo maggior apporto solido in input alle sezioni di chiusura dei sottobacini è stato calcolato secondo le direttive del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni a partire dal volume derivante dall'equazione di Marchi et al. (2019).

Anche per il volume di flusso, riportato nel seguente grafico, le curve generate da idrogrammi di 15 e 30 minuti secondo il PGRA sono nettamente più elevate rispetto a quelle di 15 e 30 minuti a blocchi alterni, calcolate con lo schema di calcolo riportato nel paragrafo 3.4.1.

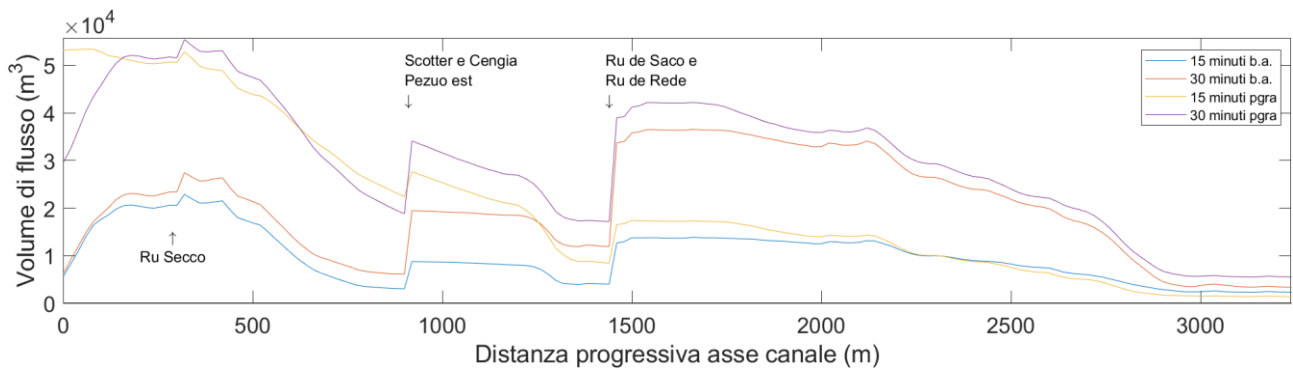


Grafico 74. Confronto volume di flusso per le durate di precipitazione di 15 e 30 minuti a blocchi alterni e secondo PGRA allo stato attuale

Vengono quindi di seguito analizzate le erosioni, i depositi e il volume di flusso riferito allo stato di progetto.

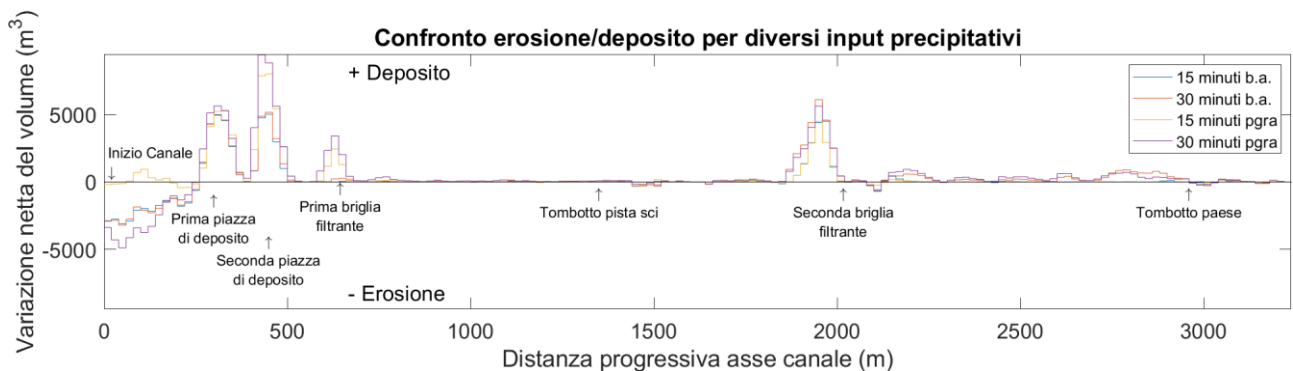


Grafico 75. Confronto erosione/deposito per le durate di precipitazione di 15 e 30 minuti a blocchi alterni e secondo PGRA allo stato di progetto

Anche in questo caso si può osservare che, anche se in modo più ridotto, le erosioni e i depositi lungo l'asta analizzata sono maggiori nel caso di un idrogramma costruito dall'idrogramma di 15 e 30 minuti secondo il PGRA. Da questo primo grafico però le differenze non sono chiaramente visibili, per cui viene riportato il sottostante grafico che analizza il volume di flusso, dove si distinguono in maniera chiara le differenze.

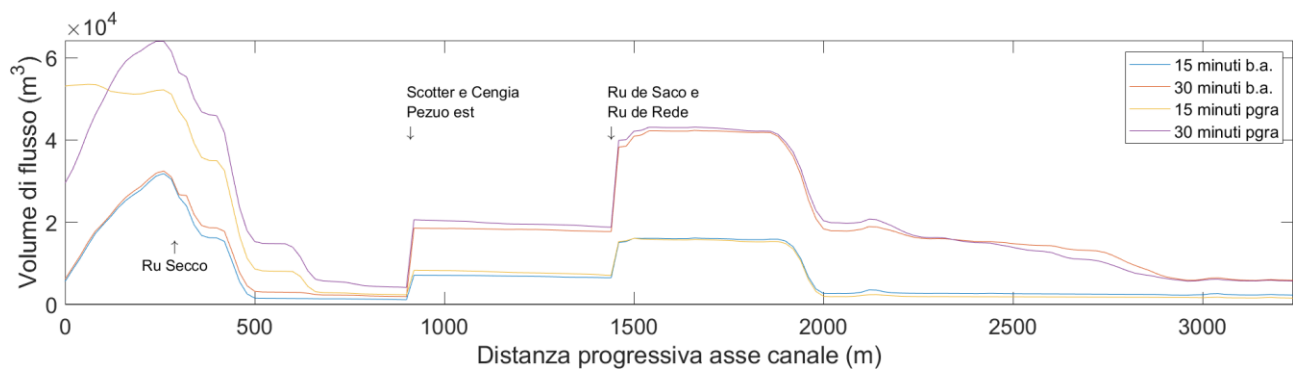


Grafico 76. Confronto volume di flusso per le durate di precipitazione di 15 e 30 minuti a blocchi alterni e secondo PGRA allo stato di progetto

Il volume di flusso derivante dagli idrogrammi di input del PGRA, anche per lo stato di progetto, è nettamente distinguibile e più elevato rispetto a quello derivanti da idrogrammi a blocchi alterni per la stessa durata di precipitazione. Come per lo stato attuale si nota che in corrispondenza delle opere a progetto si assiste ad una brusca riduzione della curva, che per gli idrogrammi con precipitazione a blocchi alterni consente in entrambi i casi di portata il volume di flusso ad un livello pari allo zero, mentre per gli idrogrammi del PGRA il volume di flusso rimane più elevate, anche se diminuisce man mano che la progressiva aumenta, traducendosi in un deposito lungo l'asta del Ru Secco.

Considerato ciò, si può arrivare alla conclusione che un idrogramma in input prettamente solido come quello costruito a partire dalle direttive del PGRA, sia allo stato attuale che allo stato di progetto, porta ad avere sia maggiori erosioni e depositi lungo l'asta del Ru Secco, sia un volume di flusso più elevato, aumentando di conseguenza la pericolosità della colata detritica, in particolare nel tratto più vallivo, dalla progressiva 2000 m circa, dove vi è la presenza di insediamenti e infrastrutture antropiche.

6. CONCLUSIONI

L'evento del 4 agosto 2015 che ha interessato anche il bacino del Ru Secco è stato senz'altro un evento con un tempo di ritorno elevato e con probabilità di accadimento molto ridotta, ma è bene considerare l'aumento dei fenomeni di precipitazione sempre più intensi che possono generare delle colate detritiche come un incentivo per studiare sempre più quelle che possono essere le dinamiche post evento, quindi la localizzazione e la quantificazione delle erosioni e dei depositi.

Lo scopo di questo elaborato infatti è stato quello di valutare per diversi scenari di durata e distribuzione della precipitazione le criticità che attualmente si riscontrano nel bacino del Ru Secco, con le conseguenti erosioni e depositi a seguito delle colate detritiche e come queste criticità subiscono una parziale o totale risoluzione a seguito della realizzazione di tutte le opere a progetto per il Ru Secco. La valutazione dello stato pre e post opere si ritiene sia fondamentale ai fini dello studio della dinamica che può avere la colata detritica per diversi input precipitativi, potendo quindi intervenire in modo localizzato in tutte le aree dove le conseguenze e i segni lasciati dalla colata detritica sono maggiori.

L'elevato numero di idrogrammi di input (11 in totale) con cui si è proceduto ad effettuare le simulazioni della colata detritica che si viene a generare consente di avere un ampio spettro di risultati per ogni distribuzione di precipitazione che si potrebbe generare in futuro nel bacino del Ru Secco; infatti lo studio vuole essere anche una sorta di "database" per vedere quali potrebbero essere, con una probabilità piuttosto elevata, gli effetti derivanti da una colata detritica per una data precipitazione prevedibile con qualche giorno/ora, in modo da poter allertare la popolazione e poter mettere in parziale sicurezza le infrastrutture che sorgono in prossimità dell'alveo del Ru Secco.

I risultati ottenuti dalle simulazioni e descritti nell'elaborato si ritengono soddisfacenti in quanto i dati di input sono stati ricavati da dati misurati su campi e/o ricavati mediante un'analisi specifica, come ad esempio la quantificazione e la distribuzione nel tempo della precipitazione durante l'evento del 2015, ottenuta mediante analisi radar; oltre all'affidabilità dei dati di input, vi è l'accurata e precisa affidabilità del modello DFRM nel simulare il processo di propagazione della colata detritica e la quantificazione del deflusso sia liquido sia solido.

Per il bacino del Ru Secco, ma anche in generale per le analisi delle colate detritiche, una precisione ancora più raffinata, che potrebbe costituire il successivo step di questo studio, può essere ottenuta con diversi accorgimenti:

- Monitoraggio continuo dei depositi detritici presenti sia all'interno dell'alveo da colata detritica sia lungo le pareti e i versanti rocciosi derivanti dalla degradazione della roccia ad opere delle condizioni atmosferiche

- Miglioramento della risoluzione delle celle raster dei file in input, come ad esempio la disponibilità di un DTM estremamente puntuale (celle < 0,5 m), così da analizzare in modo più raffinato le modalità di propagazione della colata detritica e i fenomeni di erosione e deposito, in particolare per le porzioni di canale di dimensioni piuttosto limitate, che di conseguenza possono essere soggette ad errori o imprecisioni nella determinazione della loro morfologia
- Collegato al precedente punto, il miglioramento della risoluzione dei dati di input richiede dei computer di calcolo maggiormente performanti per poter analizzare in modo rapido ed efficiente la mole di dati
- Installazione di pluviometri molto sensibili nei bacini interessati da colate detritiche, in modo da potere effettuare una caratterizzazione delle precipitazioni specifica per il bacino stesso.

I risultati mostrandoci le differenze che vi possono essere per diversi input precipitativi e diverse concentrazioni solido-liquide in input, riportati nel capitolo 5.12, vogliono essere un elemento utile a spiegare e giustificare le possibili notevoli variazioni di erosione, deposito e volume di flusso ad un solo cambio di uno dei fattori in input. In particolare, sono 2 le grandi differenze a cui si è potuto assistere:

- Differenze tra i risultati corrispondenti agli idrogrammi a blocchi alterni e quelli ad intensità costante: la risposta idrologica dei risultati aventi come input gli idrogrammi a blocchi alterni è più rapida rispetto a quelli ad intensità costante; invece, le erosioni, i depositi e il volume di flusso per entrambi gli idrogrammi di input a parità di durata di precipitazione è variabile a seconda delle modalità di propagazione della colata, anche se generalmente si è assistito a dei volumi di erosione e deposito minori per i risultati aventi come input gli idrogrammi ad intensità costante.
- Differenze tra i blocchi alterni e quelli secondo il PGRA: per ogni durata di precipitazione, essendo identici gli idrogrammi di input liquido, la notevole differenza per le erosioni, i depositi e il volume di flusso si è avuta a causa del maggior input solido negli idrogrammi costruiti a partire dalle direttive del PGRA; questo scenario quindi ha permesso di estremizzare le condizioni di input di una colata detritica nel bacino del Ru Secco, potendo quindi osservare le variazioni nei risultati rispetto ad una condizione meno gravosa.

Riassumendo quindi i risultati dell'elaborato, si è osservato che per il bacino del Ru Secco i fenomeni di erosione e deposito non sono strettamente proporzionali alla durata di precipitazione, dato che per ogni input precipitativo la loro distribuzione e quantificazione è caratteristica dell'idrogramma assegnato, anche se grossolanamente si può affermare che all'aumentare della durata di precipitazione

aumentano le erosioni e i depositi rispetto alle condizioni originarie del bacino, così come, per un input solido maggiore, aumentano la magnitudo, le erosioni e i depositi della colata detritica.

È da specificare infine, che tutti i valori di input utilizzati (ad eccezione di quelli costruiti per lo stato di progetto) sono riferiti alle condizioni del bacino a seguito della colata detritica del 4 agosto 2015, tale per cui se a seguito di questo elaborato cambieranno le condizioni dell'alveo del Ru Secco a causa del passaggio di un'altra colata detritica, tutti i dati di input dovranno essere rivisti in quanto i risultati potrebbero non essere più validi o accurati come lo sono ora.

In conclusione a questo lavoro di tesi, si vuole ringraziare tutte le persone che hanno dato un loro contributo diretto o indiretto alla sua realizzazione.

7. BIBLIOGRAFIA

Testi:

Arattano, M., Savage, W.Z. 1994. Modelling debris flows as kinematic waves. Bulletin of the International Association of

Autorità di bacino distrettuale delle Alpi Orientali. Aggiornamento e revisione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.

Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. Applied Hydrology, McGraw-Hill International Editions. 1988

D'Agostino; 2021. Appunti di lezione del corso di Fluviomorfologia e protezione dal rischio idrogeologico

Gregoretto et al., 2018; The debris flow occurred at Ru Secco Creek, Venetian Dolomites, on 4 August 2015: Analysis of the Phenomenon, its characteristics and Reproduction by models

Gregoretto C., Barbini M., Bernard M., Boreggio M., 2021. Modello a celle bifase per la propagazione idraulica di colate di detrito – Manuale di Riferimento

Gregoretto C., Barbini M., Bernard M., Boreggio M., 2021. Modello a celle bifase per la propagazione idraulica di colate di detrito – Manuale di Tutorial

Gregoretto C., Barbini M., Bernard M., Boreggio M., 2021. Modello a celle bifase per la propagazione idraulica di colate di detrito – Manuale utente

Rosatti, G., Begnudelli L. 2013. Two dimensional simulations of debris flows over mobile beds: Enhancing the TRENT2D model by using a well-balanced generalized Roe-type solver. Computers and Fluids. 71, 179-185, doi10.1016/j.compfluid2012.10.006

Siti internet:

Autorità di Bacino distrettuale delle Alpi Orientali: <http://www.alpiorientali.it/>

Wikipedia: www.wikipedia.org

Strade ANAS S.p.a.: <https://www.stradeanas.it/it>

Geoportale della Regione Veneto: <https://idt2.regione.veneto.it/idt/downloader/download>

ALLEGATO 1.

```
%% READ a SHP file
Ldiv = 20 %m1
NDoD = 2
Talweg = shaperead(['linea_1.shp']);

point(:,1) = (Talweg.X);
point(:,2) = (Talweg.Y);

%Calcolo Lunghezza talweg
nnode = length(point(:,1))-1
Ltalweg = 0
m = zeros(nnode,3)

%Lettura tabella per immissioni laterali
lateral_input = readtable("input_laterali.txt")

for i=2:nnode
    m(i,1) = (point(i,2)-point(i-1,2))/(point(i,1)-point(i-1,1))
    m(i,2) = sqrt((point(i-1,1)-point(i,1))^2+(point(i-1,2)-point(i,2))^2)
    Ltalweg = Ltalweg + m(i-1,2)
    m(i,3) = Ltalweg
end

Nsez = ceil(Ltalweg/Ldiv)

%% Sezioni punti trasversali
Larghesez = 100 %m

Psez(1,1)=point(1,1)
Psez(1,2)=point(1,2)
j = 2
i = 2
jjj = 0
Lres = 0
Lsum = 0
while i < nnode

    Ltratri = m(i,2) - Lres
    jj = 1

    while (Ltratri > Ldiv)
        Psez(j,2) = point(i-1,2) + (Lres + Ldiv * jj) / m(i,2) *(point(i,2)-point(i-1,2))
        Psez(j,1) = point(i-1,1) + (Lres + Ldiv * jj) / m(i,2) *(point(i,1)-point(i-1,1))
        Ltratri = Ltratri - Ldiv
        j = j + 1
        jj = jj + 1
    end
    i=i+1
    Lsum = Ltratri + m(i,2)

    while Lsum < Ldiv
        i=i+1
        Lsum = Lsum + m(i,2)
    end
    Lres = (Ldiv - (Lsum - m(i,2)))
    Psez(j,2) = point(i-1,2) + Lres / m(i,2) *(point(i,2)-point(i-1,2))
    Psez(j,1) = point(i-1,1) + Lres / m(i,2) *(point(i,1)-point(i-1,1))
    j = j + 1

end
Psez(j,1)=point(nnode,1)
Psez(j,2)=point(nnode,2)
plot(Psez(:,1),Psez(:,2),point(:,1),point(:,2))
Nsez = j
% Calcolation pendenze poli sezioni
m1 = zeros(Nsez,3)
Ltotsez =0
for i=2:Nsez
    m1(i,1) = (Psez(i,2)-Psez(i-1,2))/(Psez(i,1)-Psez(i-1,1))
    m1(i,2) = sqrt((Psez(i-1,1)-Psez(i,1))^2+(Psez(i-1,2)-Psez(i,2))^2)
    Ltotsez = Ltotsez + m1(i,2)
    m1(i,3) = Ltotsez
end

%% Calculaton nodes poligon DX and SX
noddx = zeros(Nsez,2)
nodsx = zeros(Nsez,2)
i = 1
ii = -1
if (Psez(i+1,1)-Psez(i,1))<=0
    ii = 1
```

```

end

nodsx(i,1) = ii * cos(pi/2-atan((m1(i+1,1))))*Larghesez/2 + Psez(i,1)
nodsx(i,2) = - ii * sin(pi/2-atan((m1(i+1,1))))*Larghesez/2 + Psez(i,2)

noddx(i,1) = - ii * cos(pi/2-atan((m1(i+1,1))))*Larghesez/2 + Psez(i,1)
noddx(i,2) = ii * sin(pi/2-atan((m1(i+1,1))))*Larghesez/2 + Psez(i,2)

for i=2:Nsez-1
    ii = -1
    if (Psez(i+1,1)-Psez(i,1))<=0
        ii = 1

        end
    nodsx(i,1) = ii * cos(pi/2-atan((m1(i,1)+m1(i+1))/2))*Larghesez/2 + Psez(i,1)
    nodsx(i,2) = - ii * sin(pi/2-atan((m1(i,1)+m1(i+1))/2))*Larghesez/2 + Psez(i,2)

    noddx(i,1) = - ii * cos(pi/2-atan((m1(i,1)+m1(i+1))/2))*Larghesez/2 + Psez(i,1)
    noddx(i,2) = ii * sin(pi/2-atan((m1(i,1)+m1(i+1))/2))*Larghesez/2 + Psez(i,2)
end
i = Nsez
ii = 1
if (m1(i,1)) < 0
    ii = - 1
end
nodsx(i,1) = ii * cos(pi/2-atan((m1(i,1))))*Larghesez/2 + Psez(i,1)
nodsx(i,2) = - ii * sin(pi/2-atan((m1(i,1))))*Larghesez/2 + Psez(i,2)
noddx(i,1) = - ii * cos(pi/2-atan((m1(i,1))))*Larghesez/2 + Psez(i,1)
noddx(i,2) = ii * sin(pi/2-atan((m1(i,1))))*Larghesez/2 + Psez(i,2)

plot(Psez(:,1),Psez(:,2),noddx(:,1),noddx(:,2),nodsx(:,1),nodsx(:,2))

%% creat shp poligon from the section

% POLGeomrty = 'Poligon'
% boundPoligon = (Poligon.X)
% shapewrite
Npolnod = 4
for i=1:Nsez-1

    XPoligon(i,1) = noddx(i,1);
    XPoligon(i,2) = noddx(i+1,1);
    XPoligon(i,3) = nodsx(i+1,1);
    XPoligon(i,4) = nodsx(i,1);
    XPoligon(i,5) = noddx(i,1);

    YPoligon(i,1) = noddx(i,2);
    YPoligon(i,2) = noddx(i+1,2);
    YPoligon(i,3) = nodsx(i+1,2);
    YPoligon(i,4) = nodsx(i,2);
    YPoligon(i,5) = noddx(i,2);

end

for i=1:Nsez-1
PolBoundary(i,1)= min(XPoligon(i,:))
PolBoundary(i,2)= min(YPoligon(i,:))
PolBoundary(i,3)= max(XPoligon(i,:))
PolBoundary(i,4)= max(YPoligon(i,:))

end

% Open DoD file
% volumi in ingresso da monte
Vin(1:NDoD) = 0
for k=1:NDoD
    if k == 1
        [DoD,DoD1]= geotiffread('15_sa_adb.tif'); %sim1

        col_vol(k) = 21
    elseif k == 2
        [DoD,DoD1]= geotiffread('15_sp_adb.tif'); %sim2

        col_vol(k) = 23

    %elseif k == 3
    % [DoD,DoD1]= geotiffread('60_ic_sp.tif');

    % col_vol(k) = 18

% elseif k == 4
    % [DoD,DoD1]= geotiffread('75_ic_sp.tif');

    % col_vol(k) = 20

```

```

end
DoDdata(k, :, :) = DoD;
end
info = geotiffinfo('15_sa_adb.tif');
LimitDOD(1,1)=DoD1.XWorldLimits(1);
LimitDOD(1,2)=DoD1.YWorldLimits(1);
LimitDOD(2,1)=DoD1.XWorldLimits(2);
LimitDOD(2,2)=DoD1.YWorldLimits(2);
LCell= DoD1.CellExtentInWorldX;
%boundary box of the poligons

DownBouPol(1,1)= min(PolBoundary(:,1));
DownBouPol(1,2)= min(PolBoundary(:,2));
DownBouPol(2,1)= max(PolBoundary(:,3));
DownBouPol(2,2)= max(PolBoundary(:,4));

% Identify the cell in the poligon

[Nrow, Ncol] = size(DoD);

ij = 1;
ijj = 0;
VolDoD(1,1) = 0;
AreaMAT= zeros(NDoD,Nrow,Ncol);
Nodata = DoD(1,1,1)
for ii=1:Nsez-1
    for k=1:NDoD

        VolDoD(ii,1+k) = 0
    end
    VolDoD(ii,1) = (ii-1) * Ldiv
    jj = 0;
    for i=1:2

        for j = 1:2
            jj=jj+1;
            ncelldown(i,j) = floor((PolBoundary(ii,jj)-LimitDOD(i,j))/LCell);

        end

    end

    Lpolygon = 4;
    Nrowpol = (Nrow-ncelldown(1,2));
    Ncolpol = (Ncol+ncelldown(2,1));
    if (Nrowpol > Nrow)
        Nrowpol = Nrow -1
    end
    if (Ncolpol > Ncol)
        Ncolpol = Ncol -1
    end

    for k=1:NDoD
        i0 = - ncelldown(2,2);
        j0 = ncelldown(1,1);
        if i0 < 0
            i0 = 1;
        end
        if j0 < 0
            j0 = 1;
        end
    end

    for i =i0:Nrowpol
        for j = j0:Ncolpol
            if (AreaMAT(k,i,j) < 1 & DoDdata(k,i,j) > Nodata)

                xcell= LimitDOD(1,1) + j * LCell;
                ycell= LimitDOD(1,2) + (Nrow - i) * LCell;
                maggiore0 = 0;

                for iii = 1: Lpolygon
                    areatria(iii) = 0.5*(XPoligon(ii,iii)*(YPoligon(ii,iii+1)-ycell)+XPoligon(ii,iii+1)*(ycell-
YPoligon(ii,iii))+xcell*(YPoligon(ii,iii)-YPoligon(ii,iii+1)));
                    if areatria(iii) < 0
                        maggiore0 = 1;
                    end
                end
                if maggiore0 ~= 1
                    AreaMAT(k,i,j) = ii;

                    VolDoD(ii,1+k) = VolDoD(ii,1+k) + DoDdata(k,i,j)*LCell^2*0.2;

                end
            end
        end
    end
end

```

```

end
end

for k=1:NDoD
    VolDoDtot(1,1+k) = 0;
end
ij = 1
iij = 0
VolDoDtot(1,1) = 0.00;
if (table2array(lateral_input(ij,2)) == 0)
    for k=1:NDoD
        VolDoDtot(1,k+1) = table2array(lateral_input(ij,col_vol(k)));
    end
    ij = 2
end

for ii=1:Nsez-1
    for k=1:NDoD
        VolDoDtot(ii+1,1+k) = - VolDoD(ii,1+k) + VolDoDtot(ii,1+k);
    end
    VolDoDtot(ii+1,1) = ii * Ldiv;

    if (table2array(lateral_input(ij,2)) < VolDoDtot(ii+1,1) & iij == 0)

        for k=1:NDoD
            VolDoDtot(ii+1,1+k) = + table2array(lateral_input(ij,col_vol(k))) + VolDoDtot(ii+1,1+k);
        end
        ij = ij + 1;
        if( ij > height(lateral_input))
            iij = 1
            ij = 1
        elseif (table2array(lateral_input(ij,2)) < VolDoDtot(ii+1,1)+Ldiv & ij < height(lateral_input))
            x_nex = table2array(lateral_input(ij,2))
            while (x_nex < VolDoDtot(ii+1,1)+Ldiv)
                for k=1:NDoD
                    VolDoDtot(ii+1,1+k) = + table2array(lateral_input(ij,col_vol(k))) + VolDoDtot(ii+1,1+k);
                end
                ij = ij + 1;
                x_nex = table2array(lateral_input(ij,2))
            end
        end
    end
end

for i=1: Nrow
    for j =1: Ncol
        Area(i,j) = AreaMAT(1,i,j);
    end
end
geotiffwrite('area_volume.tif',Area,DoD1,'GeoKeyDirectoryTag',info.GeoTIFFTags.GeoKeyDirectoryTag)
tt = [-1 -1];
figure(2)
% Modify the volometri in input to the model

%1 tlied
Vmaxtot = max(VolDoDtot,[],'all');
Vmintot = min(VolDoDtot,[],'all');
YMax = 8000
subplot(2,1,1)

for k = 1:NDoD
    stairs(VolDoD(:,1),VolDoD(:,1+k)), hold on;
end
%title('Volume Vs Different clip DoD 2-3');
title('Confronto erosione/deposito per diversi input precipitativi');

xlabel('Distanza progressiva asse canale (m)','FontSize',18,'FontName','Arial','rotation',0);
ylabel('Variazione netta del volume (m^3)','FontSize',18,'FontName','Arial','rotation',90);

axis([0 3240 -YMax YMax]);

txt = {'Inizio Canale','\downarrow'};
text(10,1500,txt,'FontSize',11);
txt = {'\uparrow','Prima piazza','di deposito'};
text(300,-2700,txt,'FontSize',11,'HorizontalAlignment','center');
txt = {'\uparrow','Seconda piazza','di deposito'};
text(450,-5800,txt,'FontSize',11,'HorizontalAlignment','center');
txt = {'\uparrow','Prima briglia','filtrante'};
text(644,-1800,txt,'FontSize',11,'HorizontalAlignment','center');
txt = {'\uparrow','Tombotto pista sci'};
text(1350,-1500,txt,'FontSize',11,'HorizontalAlignment','center');
txt = {'\uparrow','Seconda briglia','filtrante'};
text(2018,-2200,txt,'FontSize',11,'HorizontalAlignment','center');
txt = {'\uparrow','Tombotto paese'};
text(2960,-1500,txt,'FontSize',11,'HorizontalAlignment','center');
set(gca,'FontSize',16);

```

```

txt = {' - Erosione'};
text(650,+1300-YMax,txt,'FontSize',16,'HorizontalAlignment', 'left','Color','k');
txt = {' + Deposito'};
text(650,YMax-1300,txt,'FontSize',16,'HorizontalAlignment', 'left','Color','k');

hline = reffline(0, 0);
hline.Color = 'k';
legend({'Stato attuale','Stato di progetto'},'FontSize',14,'Location','northeast');
hold off;

% 1 tlied
subplot(2,1,2);
for k=1:NDoD
    plot(VolDoDtot(:,1),VolDoDtot(:,1+k)), hold on;
end
ylabel({'Volume di flusso (m^3)'},'FontSize',18,'FontName','Arial','rotation',90);
xlabel({'Distanza progressiva asse canale (m)'},'FontSize',18,'FontName','Arial','rotation',0)
%legend({'DoD 80CI','DoD 95CI','DoD 80SDC','DoD 95SDC'},'FontSize',14);

set(gca,'FontSize',16);
axis([0 3240 0 Vmaxtot+200]);

txt = {'\uparrow','Ru Secco'};
text(290,10000,txt,'FontSize',11,'HorizontalAlignment', 'center');
txt = {'\downarrow','Scotter e Cengia','Pezuo est'};
text(900,7000,txt,'FontSize',11);
txt = {'\uparrow','Ru de Saco e','Ru de Rede'};
text(1430,12000,txt,'FontSize',11);

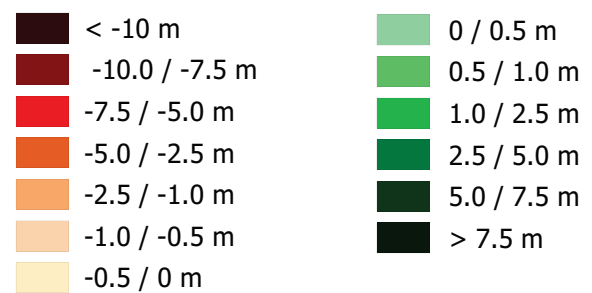
hline = reffline(0, 0);
hline.Color = 'k';
legend({'Stato attuale','Stato di progetto'},'FontSize',14,'Location','northeast');
hold off;

```

ALLEGATI CARTOGRAFICI

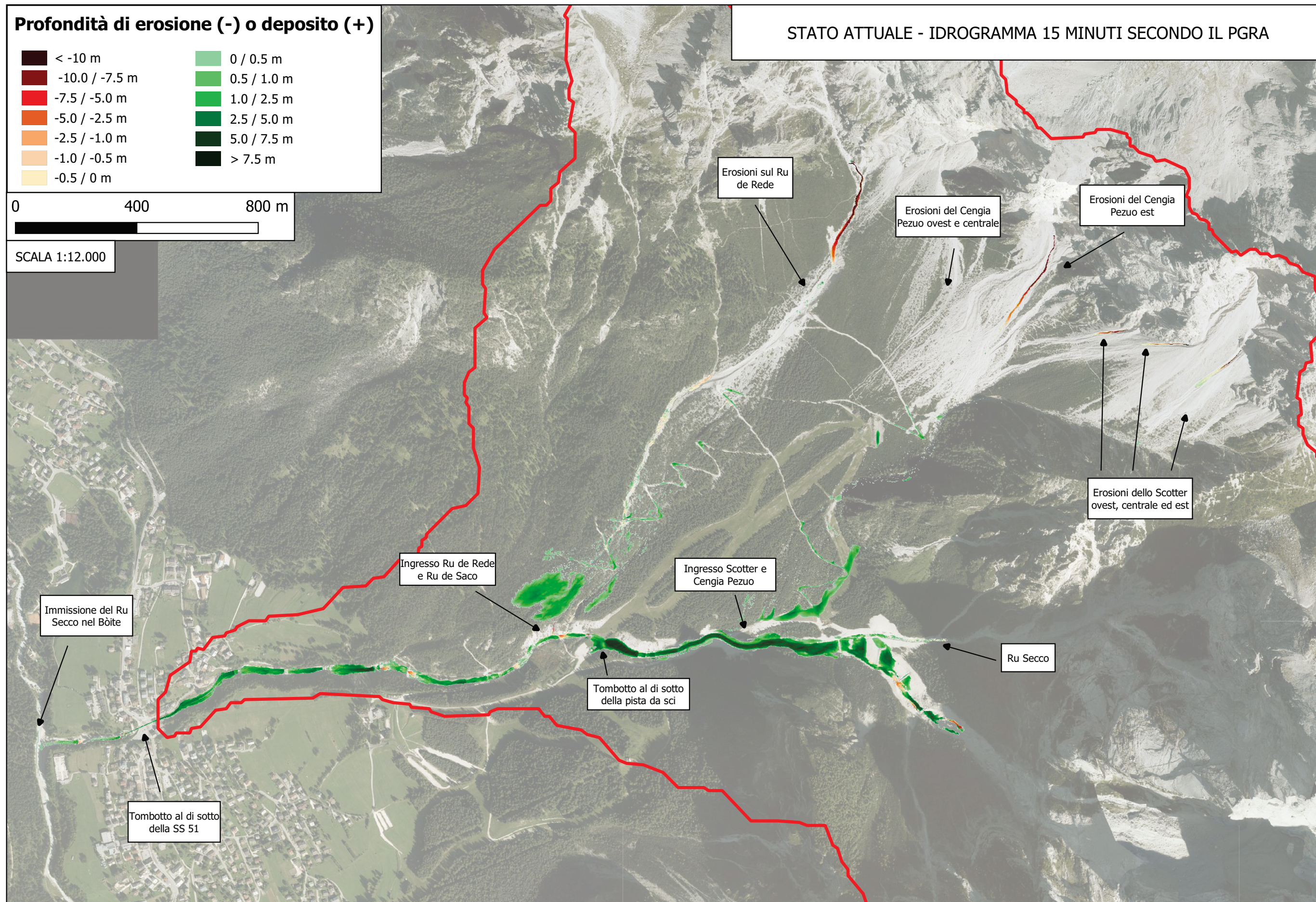
Per integrare il materiale ritagliato nel capitolo “Risultati delle Simulazioni” (cap. 5), vengono allegate le cartografie complete riferite alla mappatura delle erosioni e dei depositi per ogni idrogramma di progetto analizzato.

Profondità di erosione (-) o deposito (+)



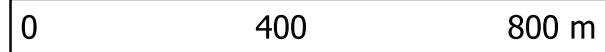
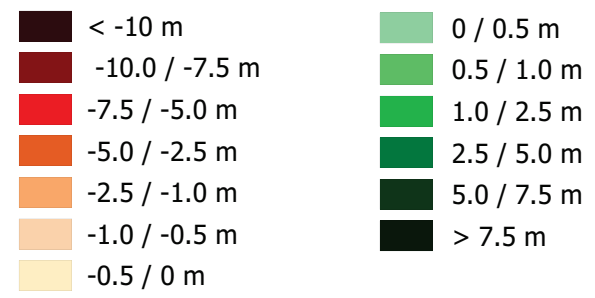
SCALA 1:12.000

STATO ATTUALE - IDROGRAMMA 15 MINUTI SECONDO IL PGRA

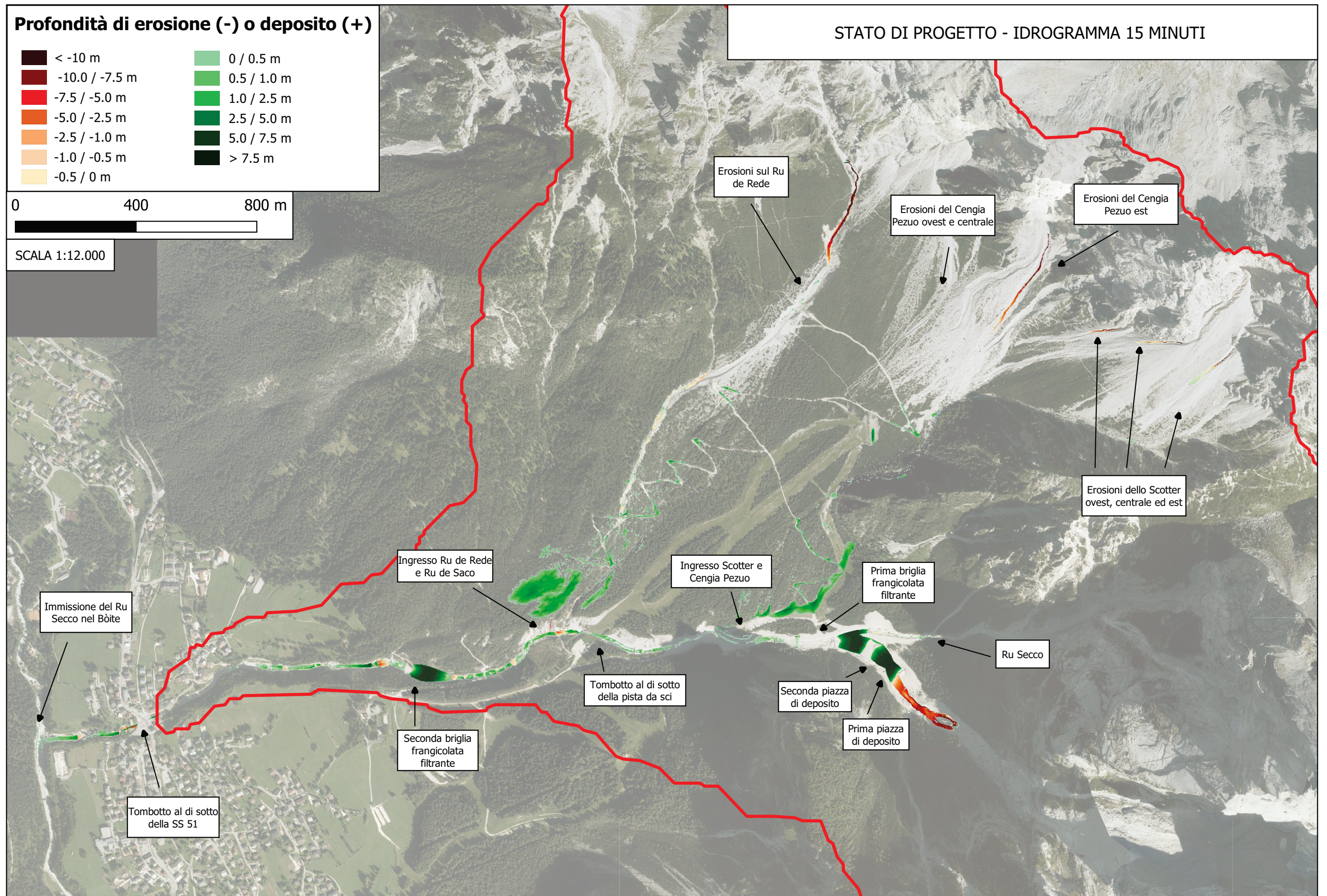


STATO DI PROGETTO - IDROGRAMMA 15 MINUTI

Profondità di erosione (-) o deposito (+)



SCALA 1:12.000



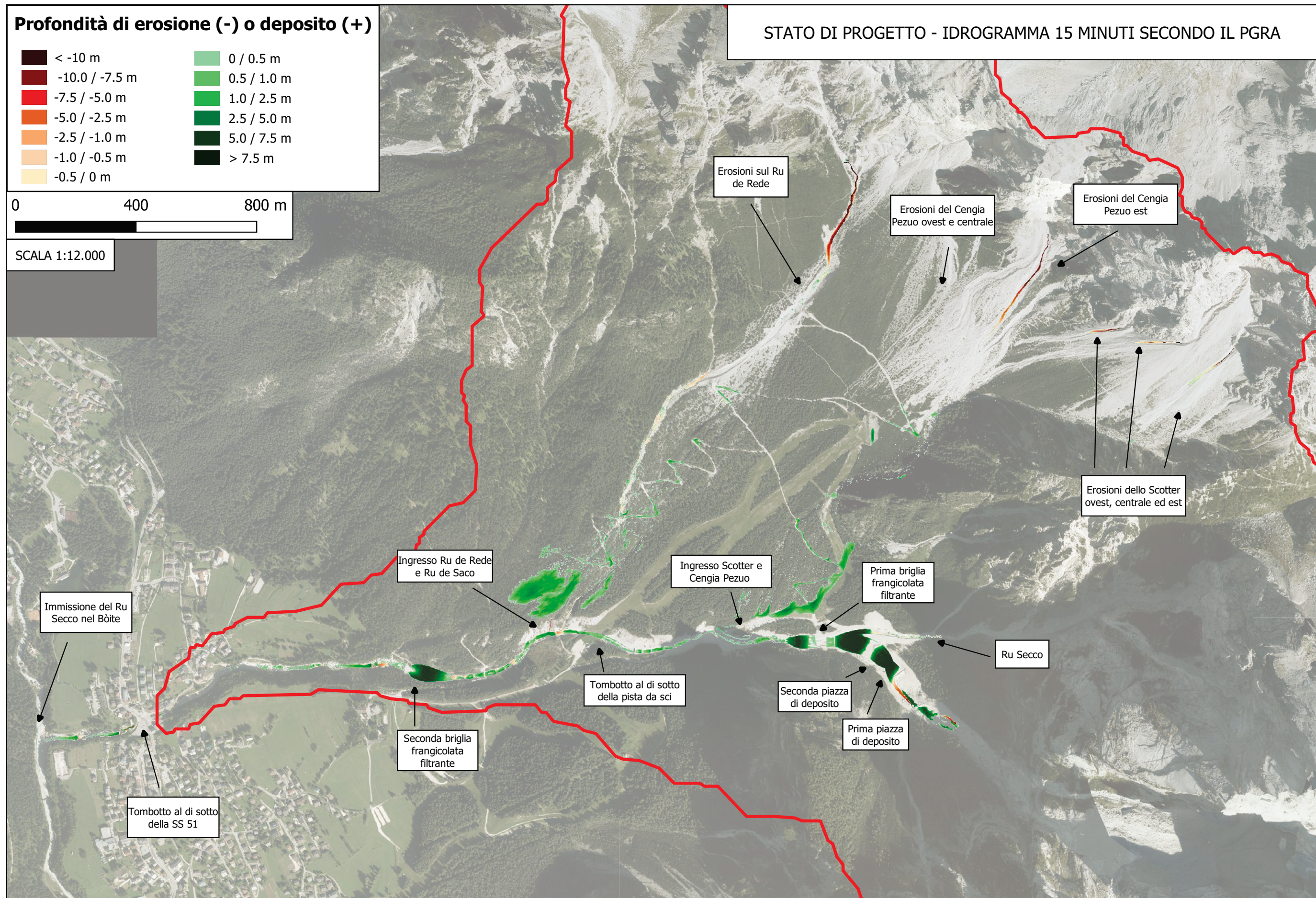
Profondità di erosione (-) o deposito (+)

| | |
|----------------|-------------|
| < -10 m | 0 / 0.5 m |
| -10.0 / -7.5 m | 0.5 / 1.0 m |
| -7.5 / -5.0 m | 1.0 / 2.5 m |
| -5.0 / -2.5 m | 2.5 / 5.0 m |
| -2.5 / -1.0 m | 5.0 / 7.5 m |
| -1.0 / -0.5 m | > 7.5 m |
| -0.5 / 0 m | |

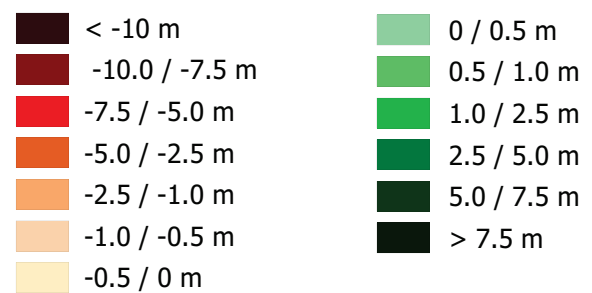


SCALA 1:12.000

STATO DI PROGETTO - IDROGRAMMA 15 MINUTI SECONDO IL PGRA

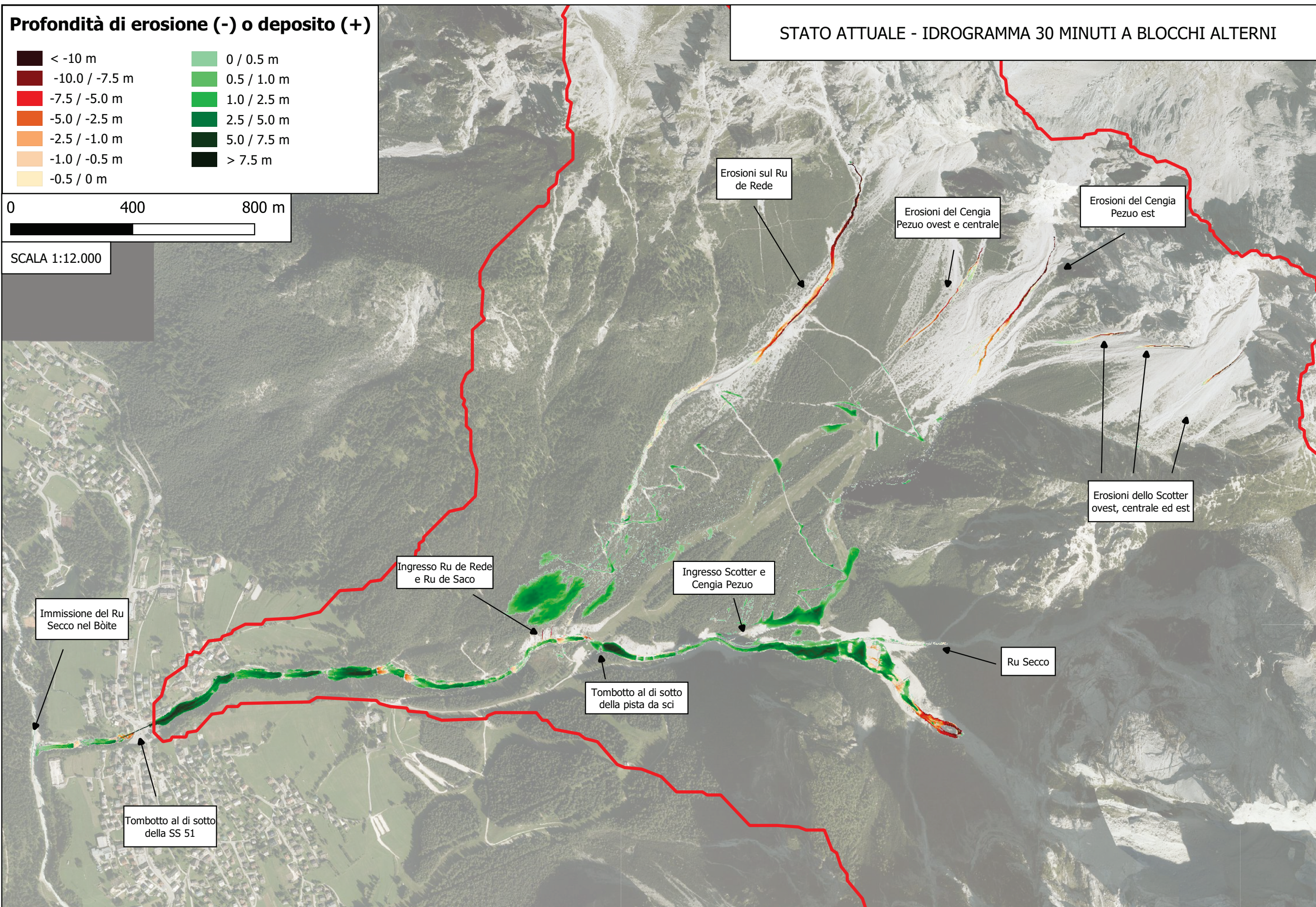


Profondità di erosione (-) o deposito (+)

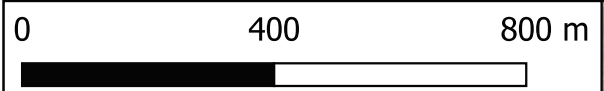
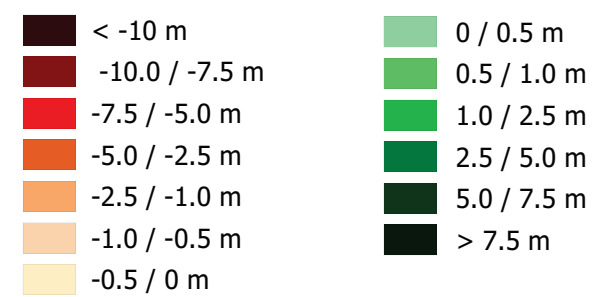


SCALA 1:12.000

STATO ATTUALE - IDROGRAMMA 30 MINUTI A BLOCCHI ALTERNI

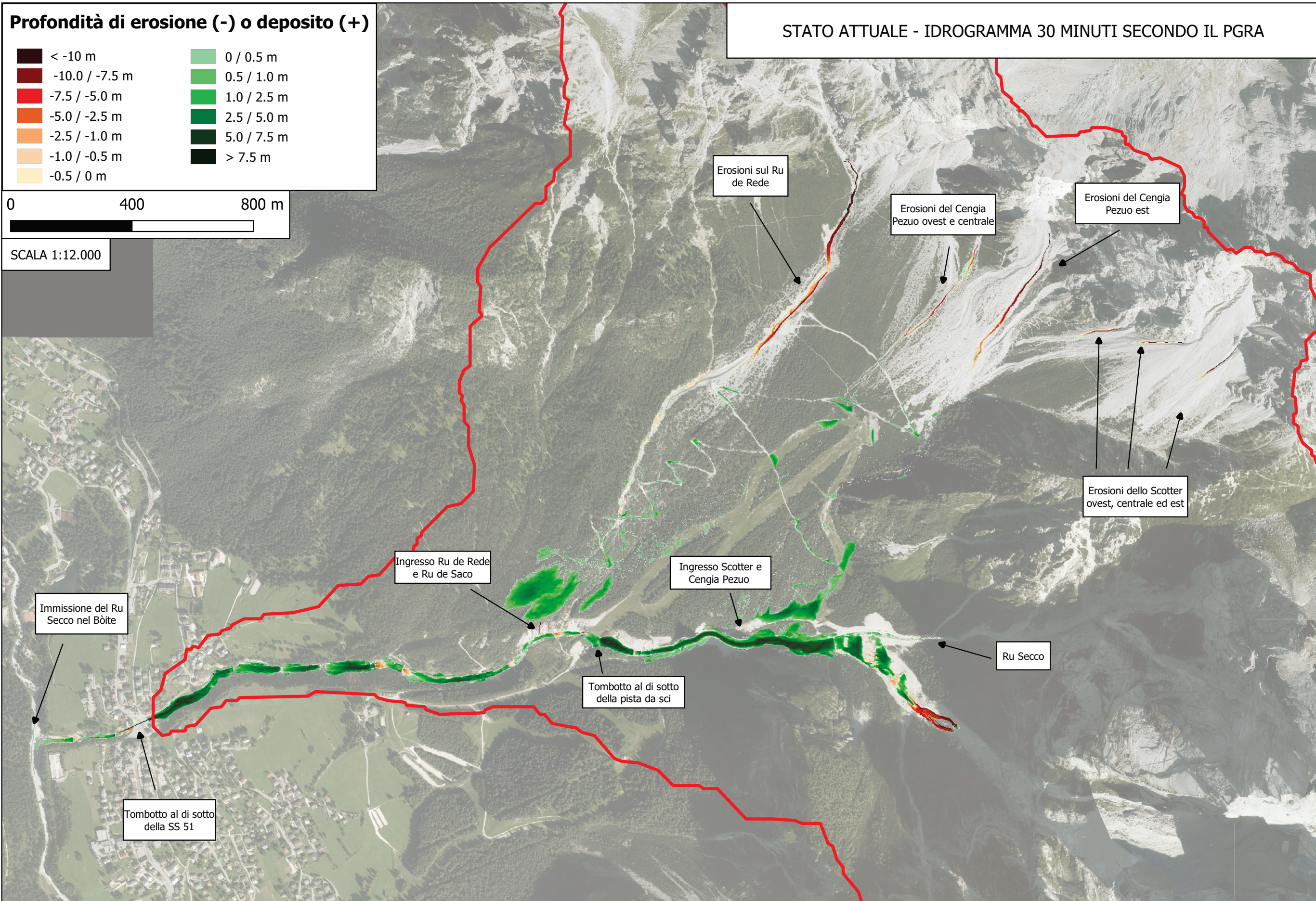


Profondità di erosione (-) o deposito (+)

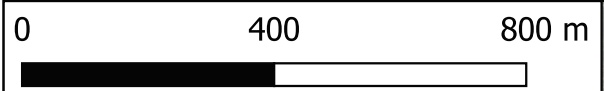
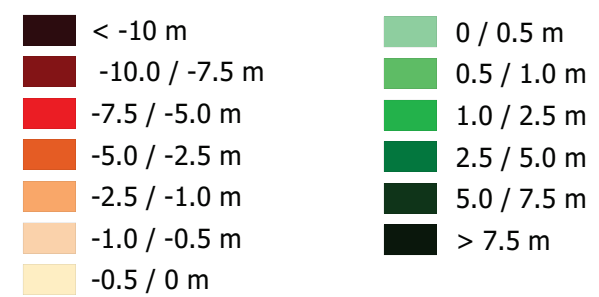


SCALA 1:12.000

STATO ATTUALE - IDROGRAMMA 30 MINUTI SECONDO IL PGRA

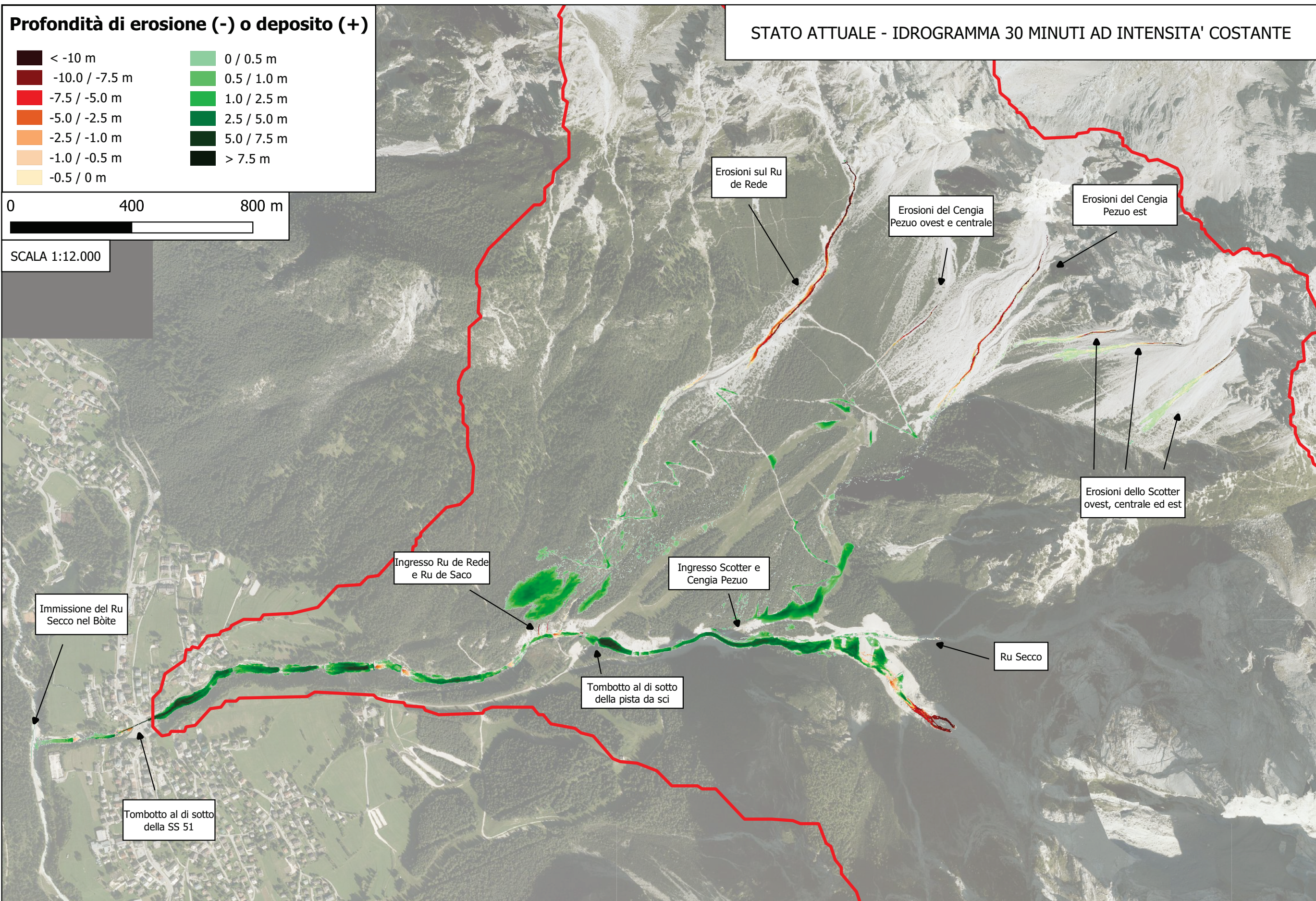


Profondità di erosione (-) o deposito (+)
















SCALA 1:12.000

STATO ATTUALE - IDROGRAMMA 30 MINUTI AD INTENSITA' COSTANTE



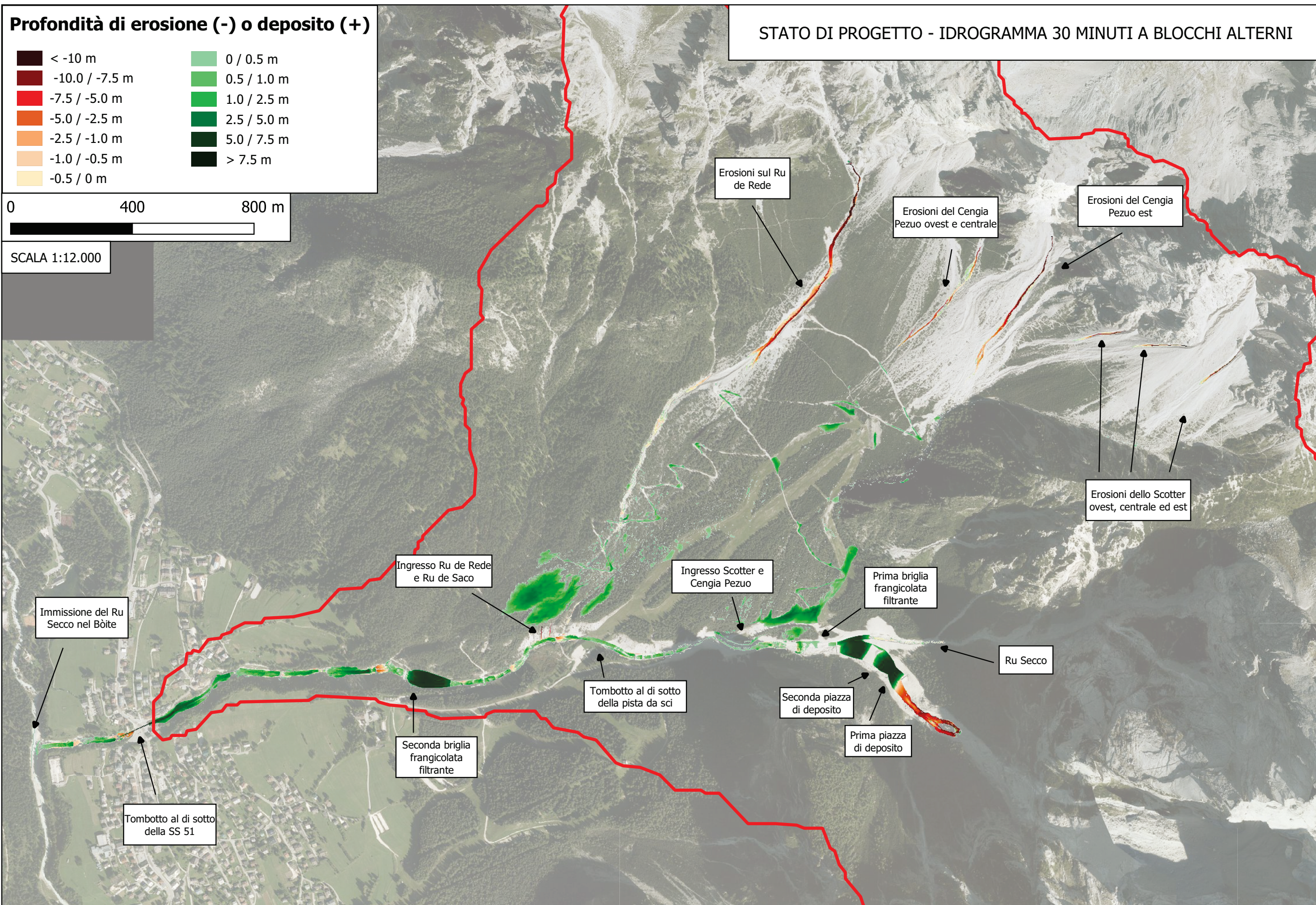
Profondità di erosione (-) o deposito (+)

| | | | |
|---|----------------|---|-------------|
|  | < -10 m |  | 0 / 0.5 m |
|  | -10.0 / -7.5 m |  | 0.5 / 1.0 m |
|  | -7.5 / -5.0 m |  | 1.0 / 2.5 m |
|  | -5.0 / -2.5 m |  | 2.5 / 5.0 m |
|  | -2.5 / -1.0 m |  | 5.0 / 7.5 m |
|  | -1.0 / -0.5 m |  | > 7.5 m |
|  | -0.5 / 0 m | | |



SCALA 1:12.000

STATO DI PROGETTO - IDROGRAMMA 30 MINUTI A BLOCCHI ALTERNI



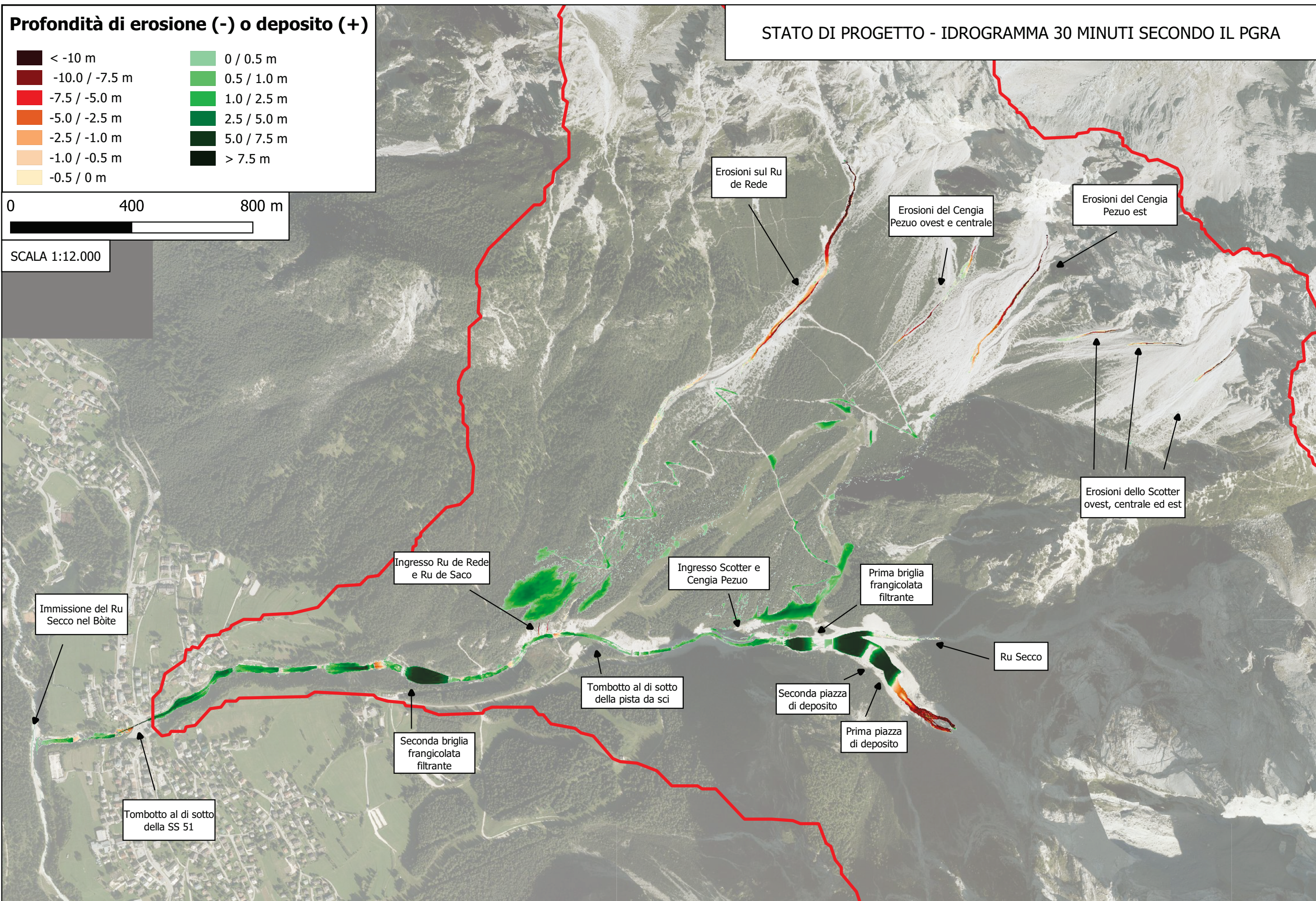
Profondità di erosione (-) o deposito (+)

| | |
|----------------|-------------|
| < -10 m | 0 / 0.5 m |
| -10.0 / -7.5 m | 0.5 / 1.0 m |
| -7.5 / -5.0 m | 1.0 / 2.5 m |
| -5.0 / -2.5 m | 2.5 / 5.0 m |
| -2.5 / -1.0 m | 5.0 / 7.5 m |
| -1.0 / -0.5 m | > 7.5 m |
| -0.5 / 0 m | |

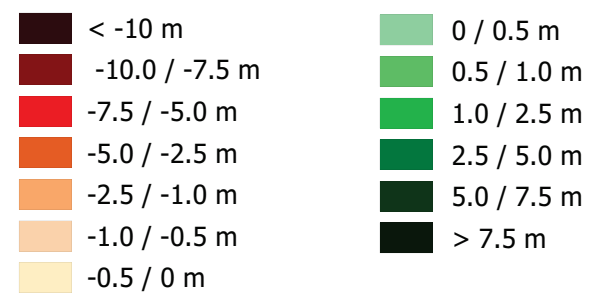


SCALA 1:12.000

STATO DI PROGETTO - IDROGRAMMA 30 MINUTI SECONDO IL PGRA

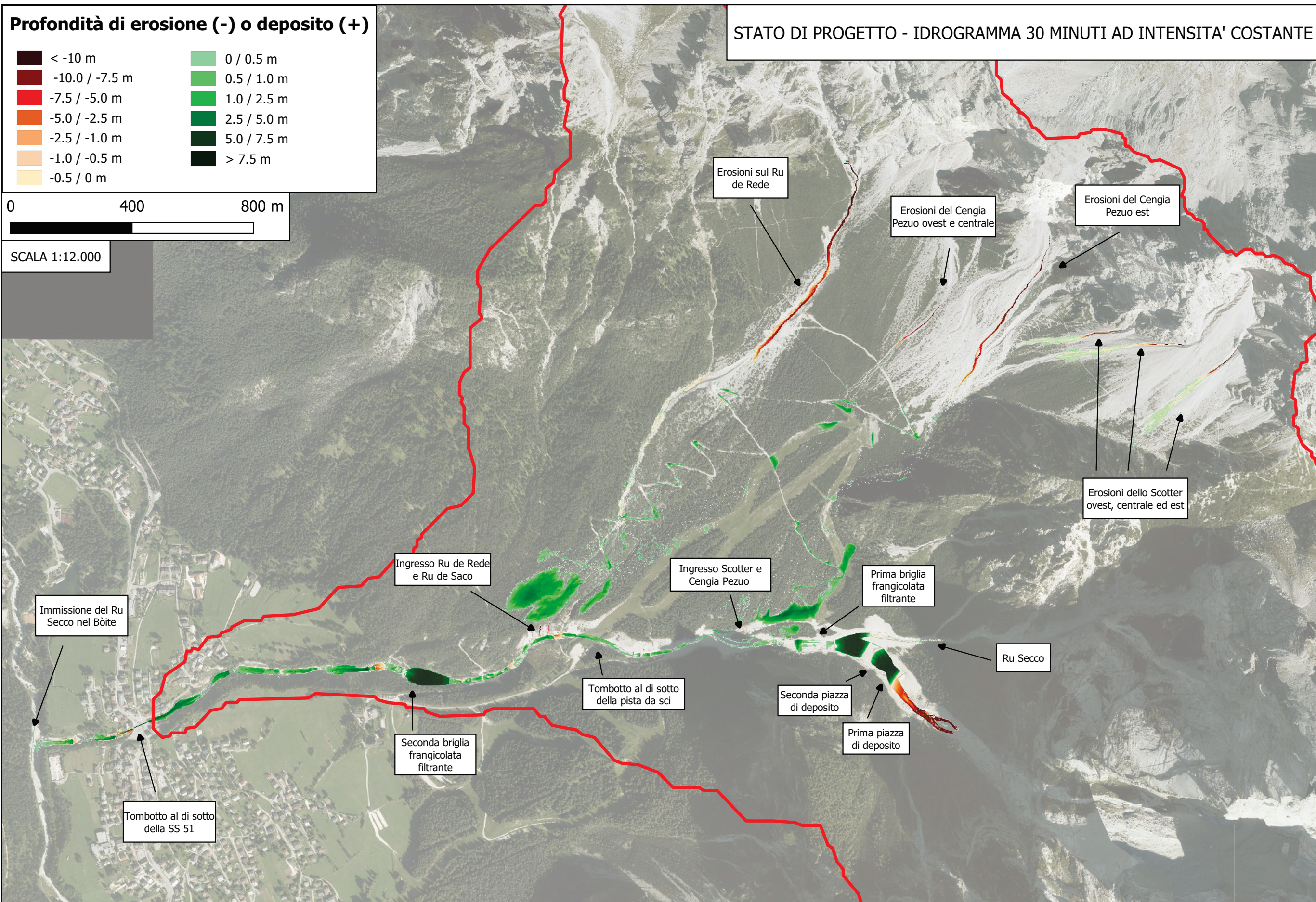


Profondità di erosione (-) o deposito (+)

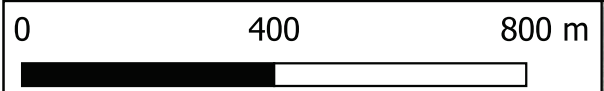
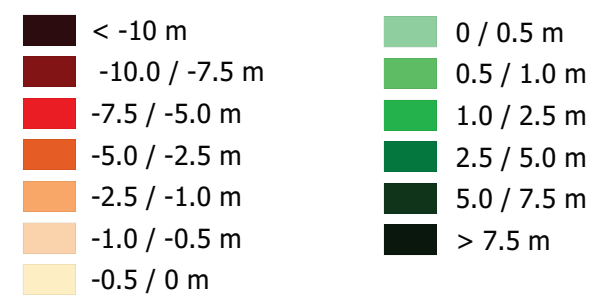


SCALA 1:12.000

STATO DI PROGETTO - IDROGRAMMA 30 MINUTI AD INTENSITA' COSTANTE

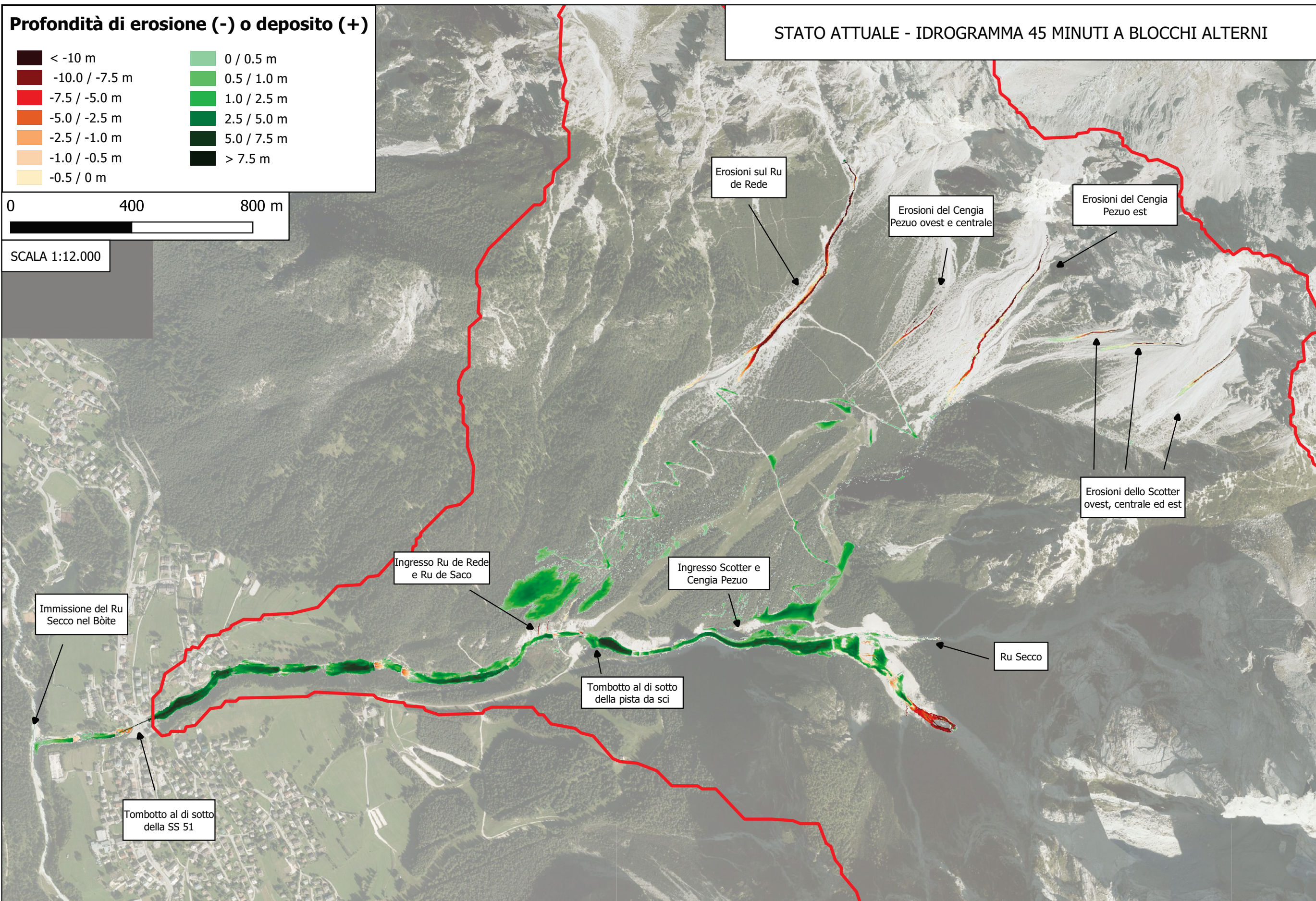


Profondità di erosione (-) o deposito (+)

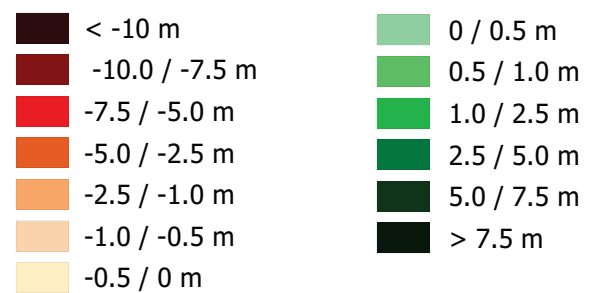


SCALA 1:12.000

STATO ATTUALE - IDROGRAMMA 45 MINUTI A BLOCCHI ALTERNI



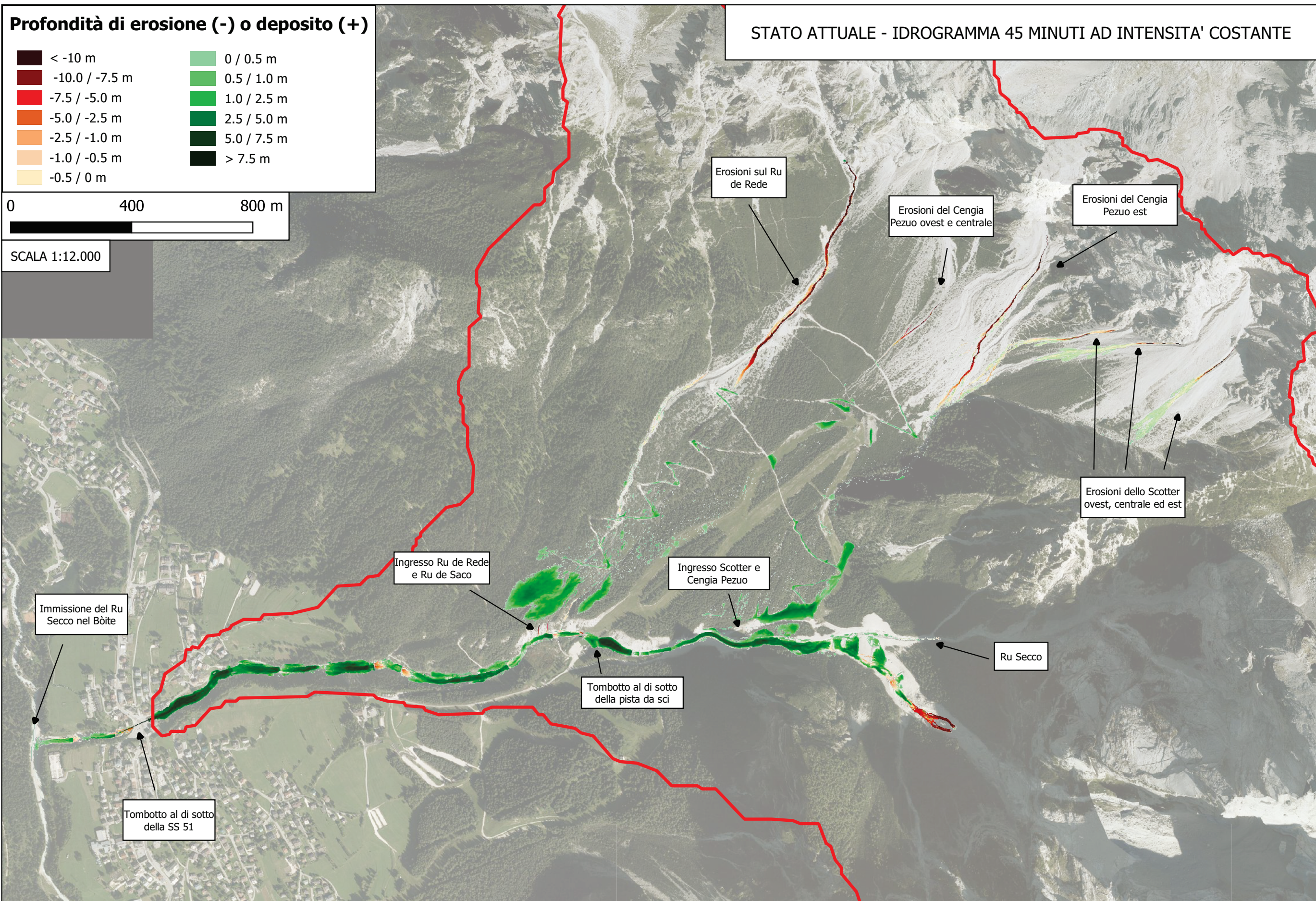
Profondità di erosione (-) o deposito (+)



0 400 800 m

SCALA 1:12.000

STATO ATTUALE - IDROGRAMMA 45 MINUTI AD INTENSITA' COSTANTE



Erosioni sul Ru de Rede

Erosioni del Cengia Pezuo ovest e centrale

Erosioni del Cengia Pezuo est

Erosioni dello Scotter ovest, centrale ed est

Ingresso Ru de Rede e Ru de Saco

Ingresso Scotter e Cengia Pezuo













Ru Secco

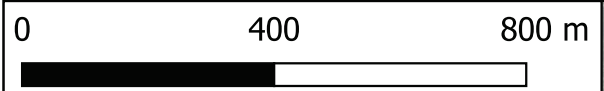
Tombotto al di sotto della pista da sci

Immissione del Ru Secco nel Bôte

Tombotto al di sotto della SS 51

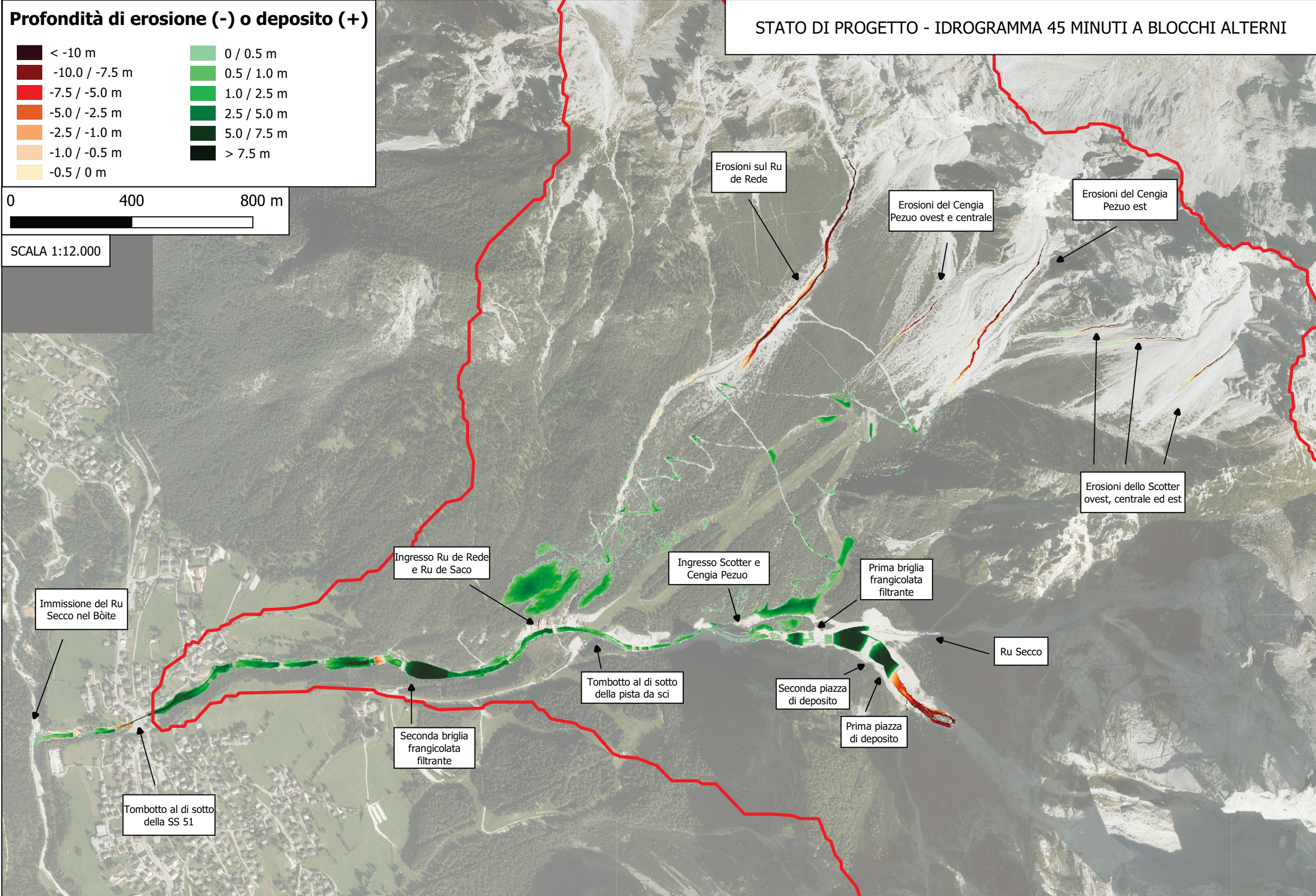
Profondità di erosione (-) o deposito (+)

| | | | |
|---|----------------|---|-------------|
|  | < -10 m |  | 0 / 0.5 m |
|  | -10.0 / -7.5 m |  | 0.5 / 1.0 m |
|  | -7.5 / -5.0 m |  | 1.0 / 2.5 m |
|  | -5.0 / -2.5 m |  | 2.5 / 5.0 m |
|  | -2.5 / -1.0 m |  | 5.0 / 7.5 m |
|  | -1.0 / -0.5 m | | > 7.5 m |
|  | -0.5 / 0 m | | |
















SCALA 1:12.000

STATO DI PROGETTO - IDROGRAMMA 45 MINUTI A BLOCCHI ALTERNI



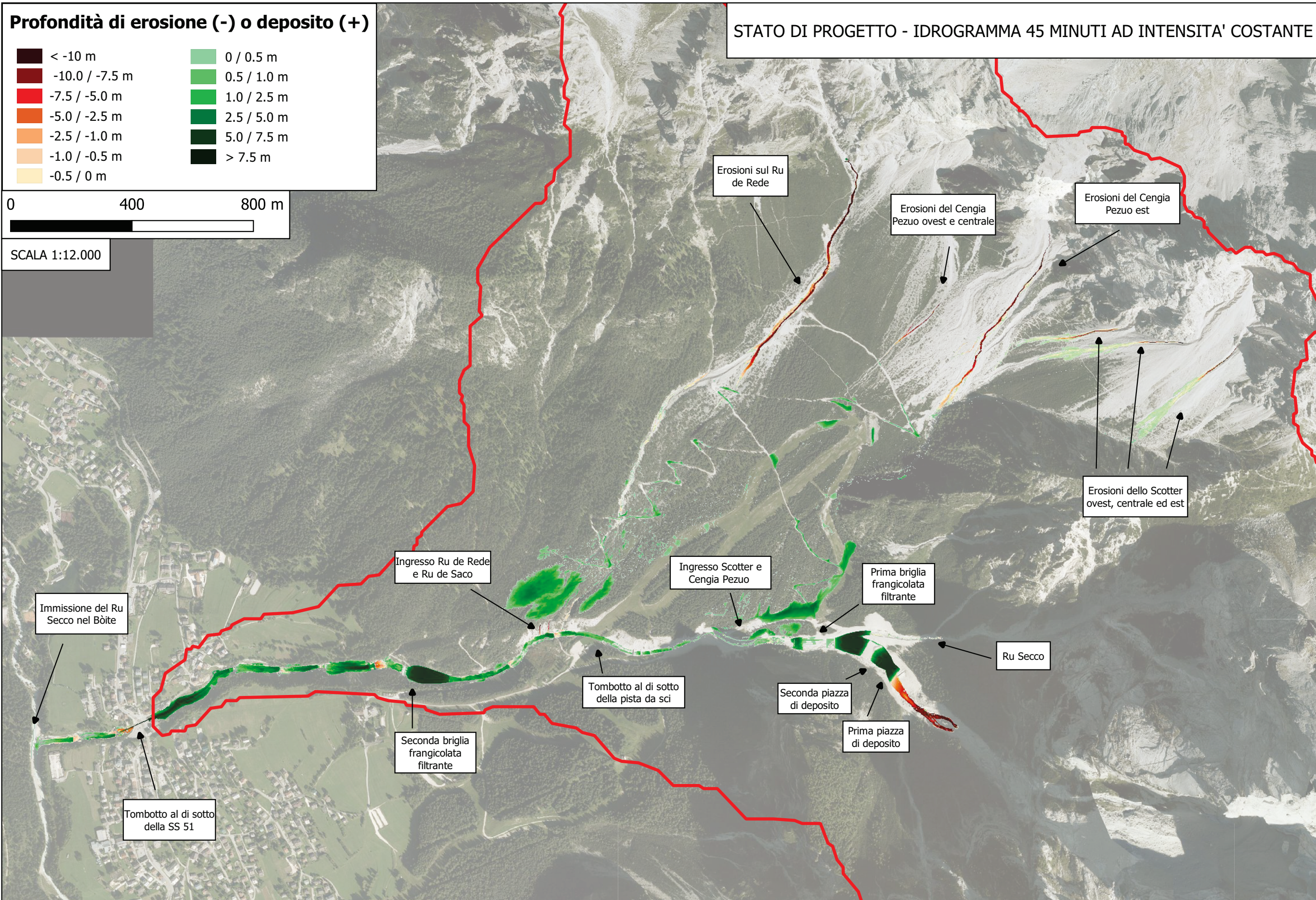
Profondità di erosione (-) o deposito (+)

| | | | |
|---|----------------|---|-------------|
|  | < -10 m |  | 0 / 0.5 m |
|  | -10.0 / -7.5 m |  | 0.5 / 1.0 m |
|  | -7.5 / -5.0 m |  | 1.0 / 2.5 m |
|  | -5.0 / -2.5 m |  | 2.5 / 5.0 m |
|  | -2.5 / -1.0 m |  | 5.0 / 7.5 m |
|  | -1.0 / -0.5 m |  | > 7.5 m |
|  | -0.5 / 0 m | | |

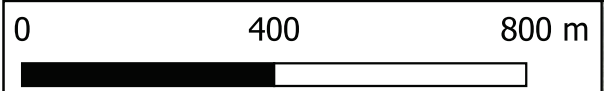
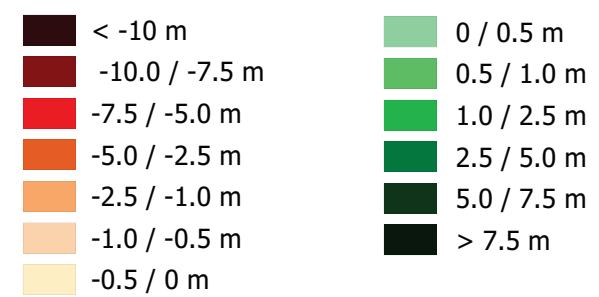


SCALA 1:12.000

STATO DI PROGETTO - IDROGRAMMA 45 MINUTI AD INTENSITA' COSTANTE

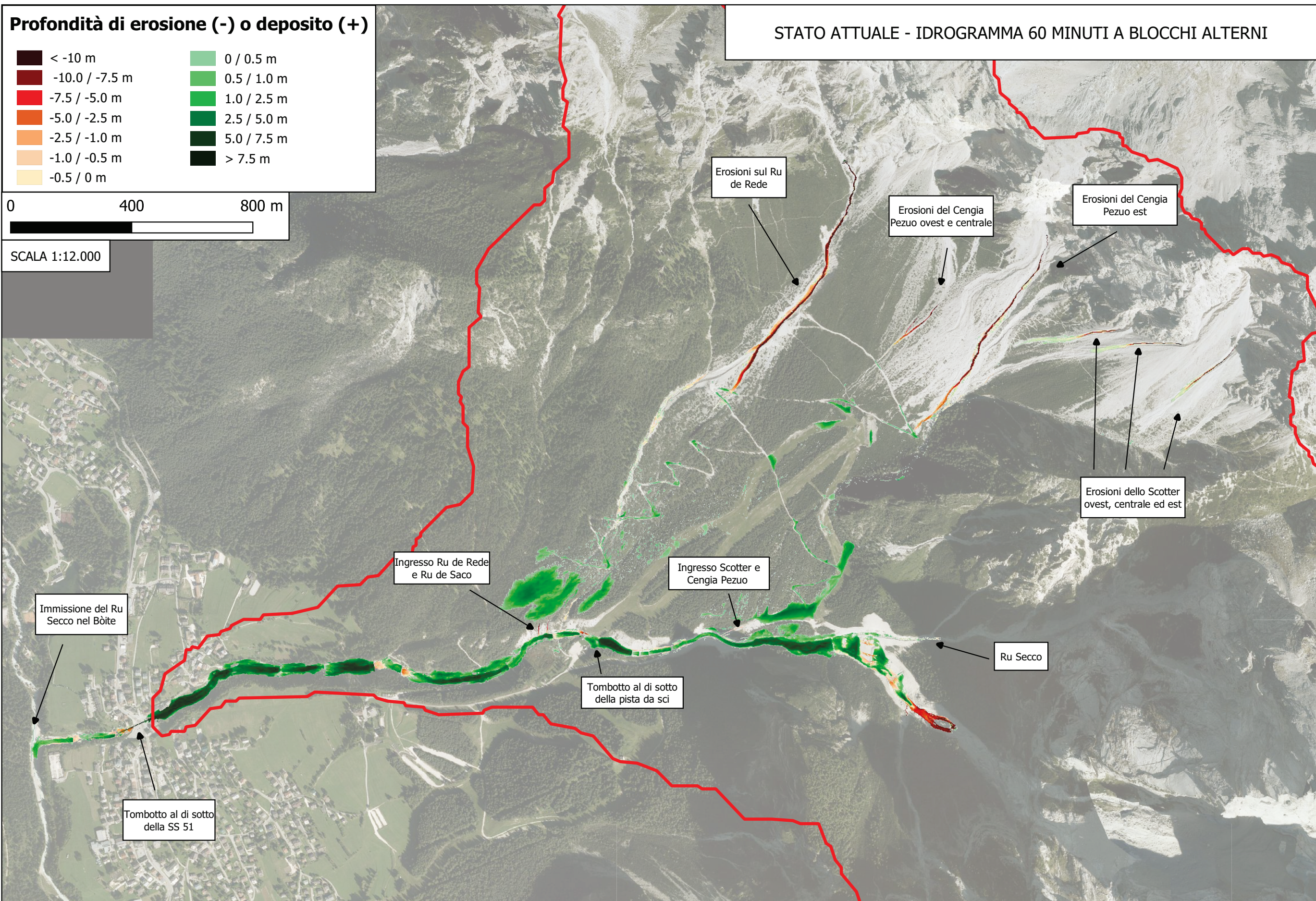


Profondità di erosione (-) o deposito (+)

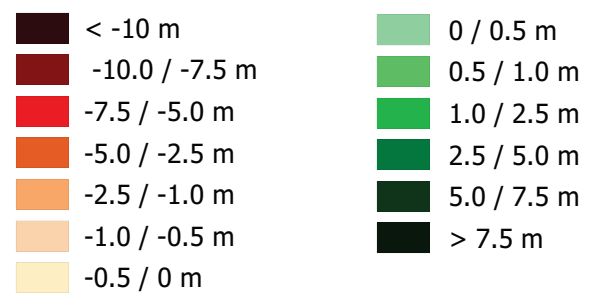


SCALA 1:12.000

STATO ATTUALE - IDROGRAMMA 60 MINUTI A BLOCCHI ALTERNI



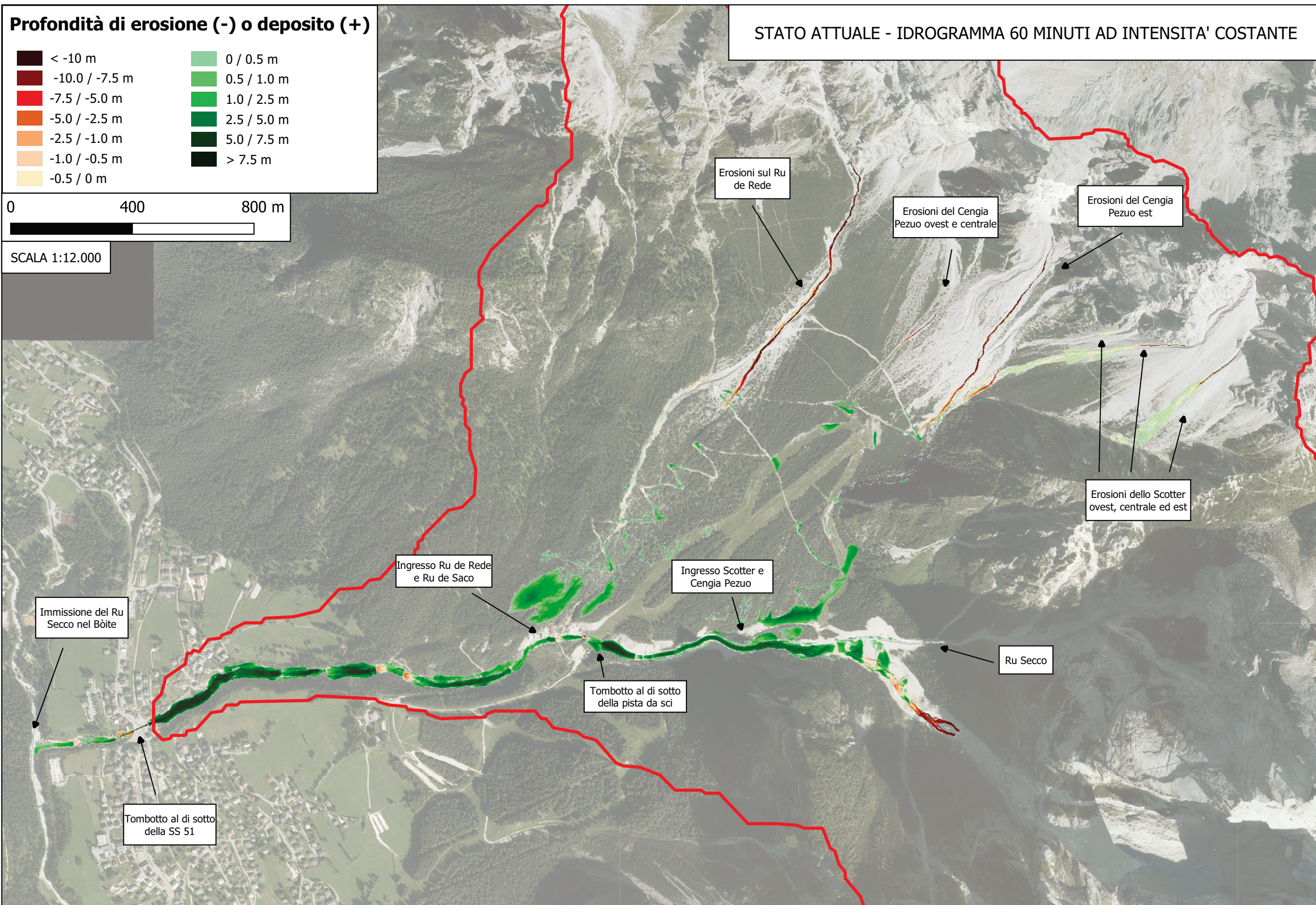
Profondità di erosione (-) o deposito (+)



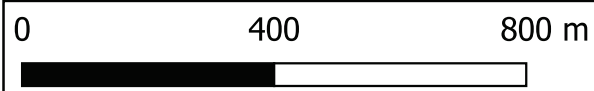
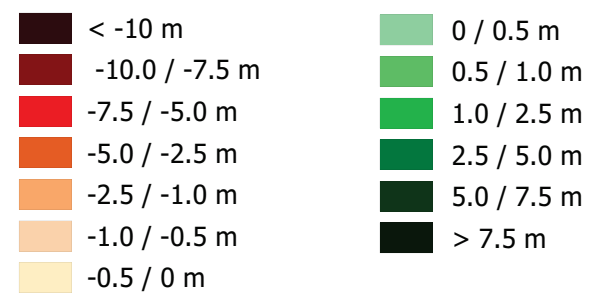
0 400 800 m

SCALA 1:12.000

STATO ATTUALE - IDROGRAMMA 60 MINUTI AD INTENSITA' COSTANTE

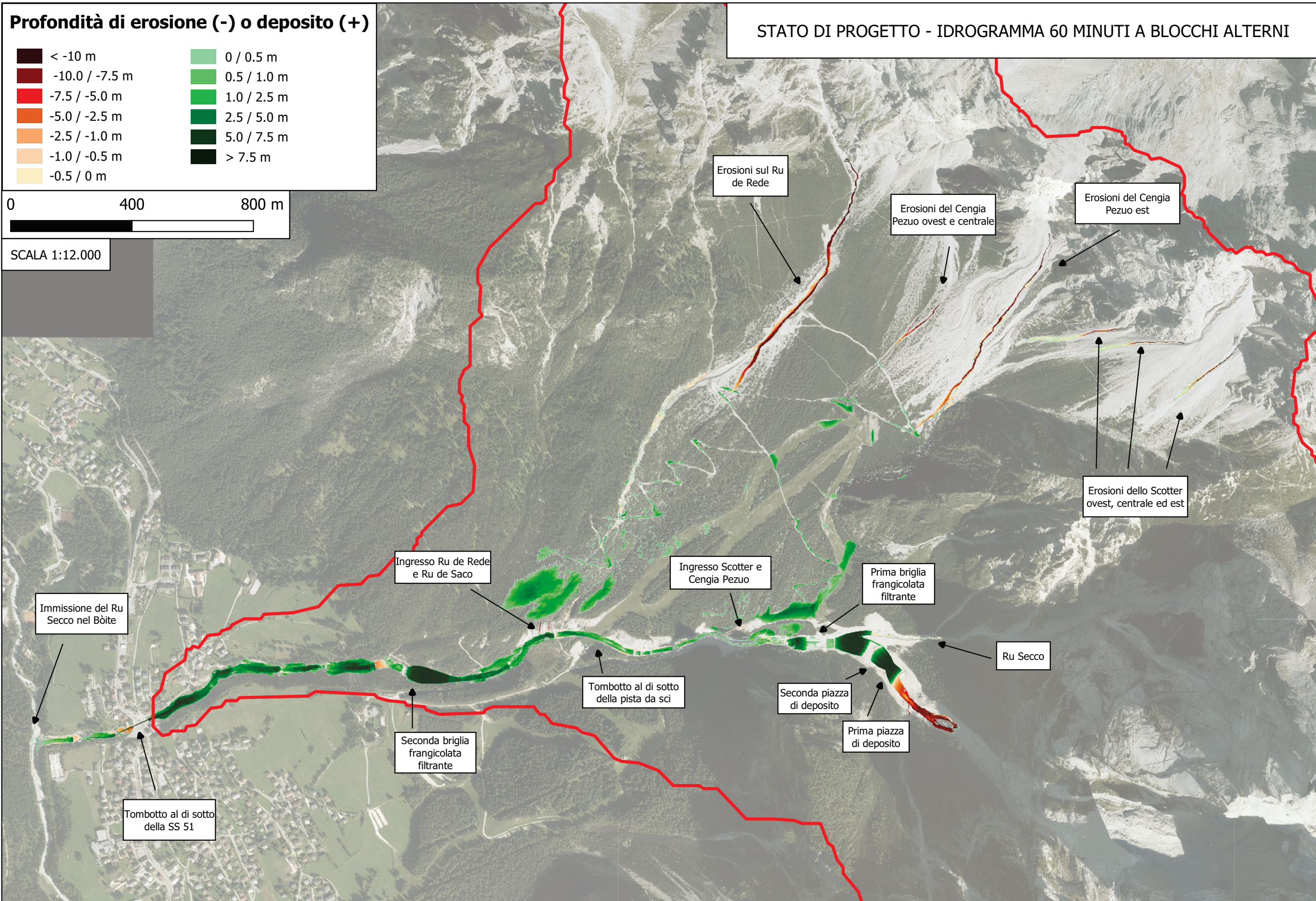


Profondità di erosione (-) o deposito (+)
















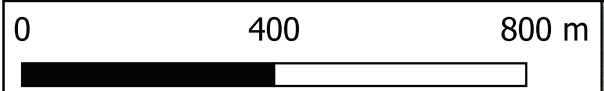
SCALA 1:12.000

STATO DI PROGETTO - IDROGRAMMA 60 MINUTI A BLOCCHI ALTERNI



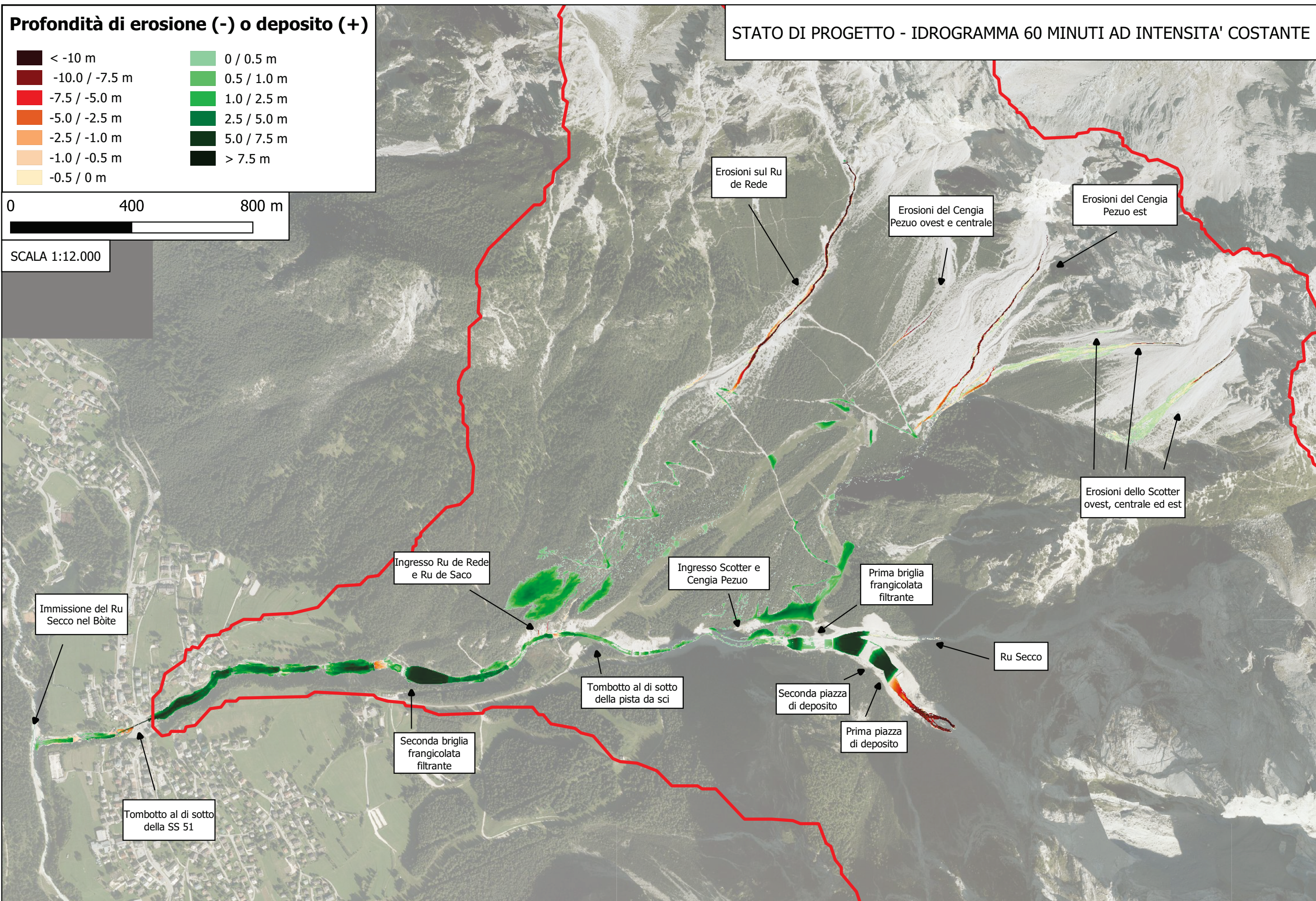
Profondità di erosione (-) o deposito (+)

| | | | |
|---|----------------|---|-------------|
|  | < -10 m |  | 0 / 0.5 m |
|  | -10.0 / -7.5 m |  | 0.5 / 1.0 m |
|  | -7.5 / -5.0 m |  | 1.0 / 2.5 m |
|  | -5.0 / -2.5 m |  | 2.5 / 5.0 m |
|  | -2.5 / -1.0 m |  | 5.0 / 7.5 m |
|  | -1.0 / -0.5 m |  | > 7.5 m |
|  | -0.5 / 0 m | | |

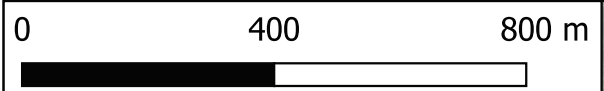
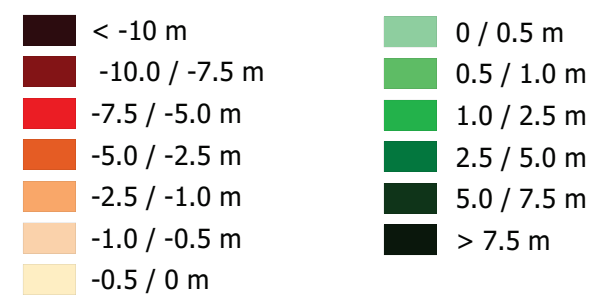


SCALA 1:12.000

STATO DI PROGETTO - IDROGRAMMA 60 MINUTI AD INTENSITA' COSTANTE

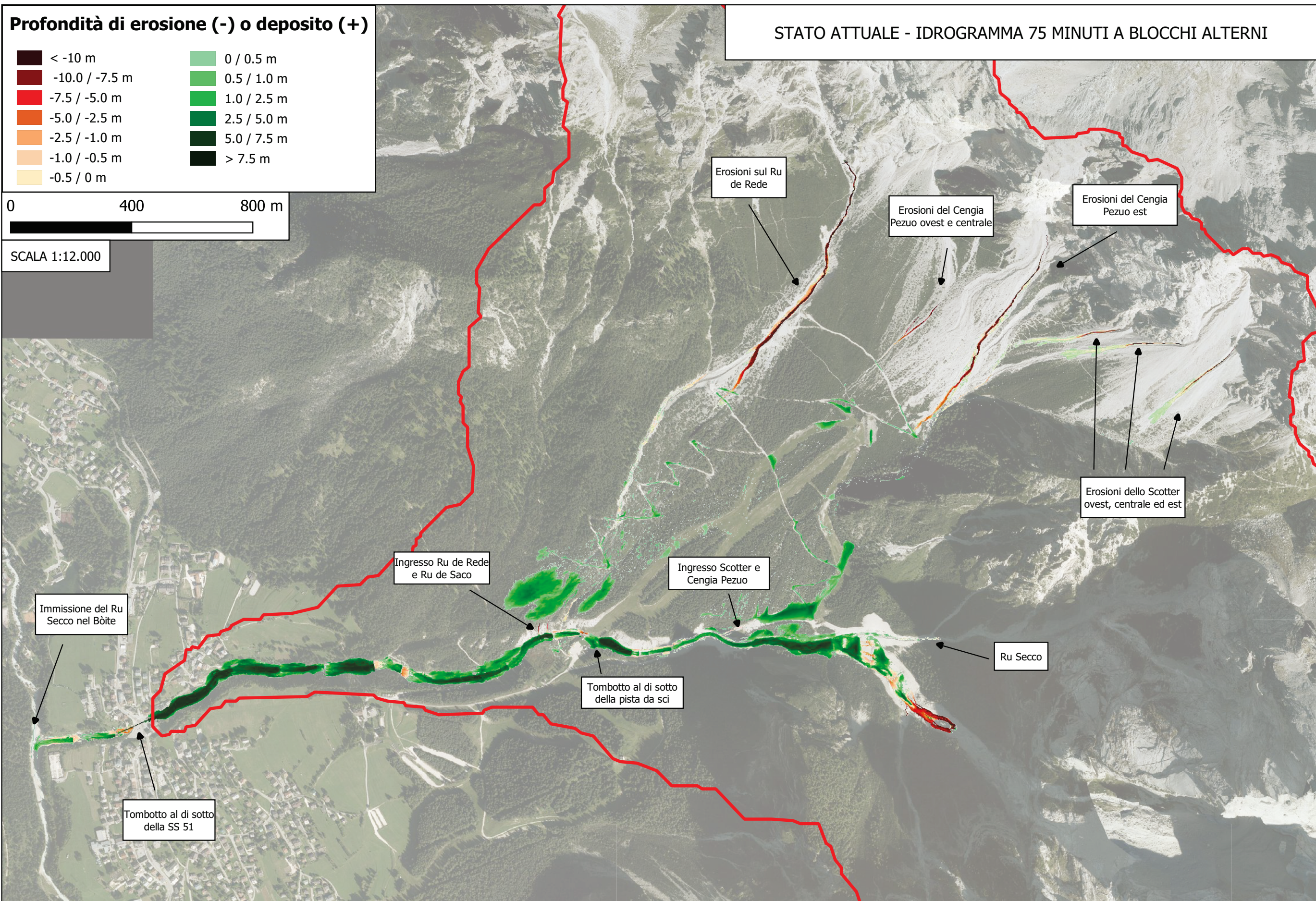


Profondità di erosione (-) o deposito (+)

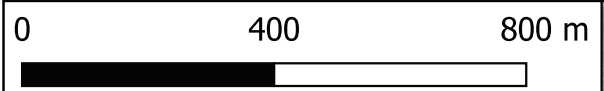
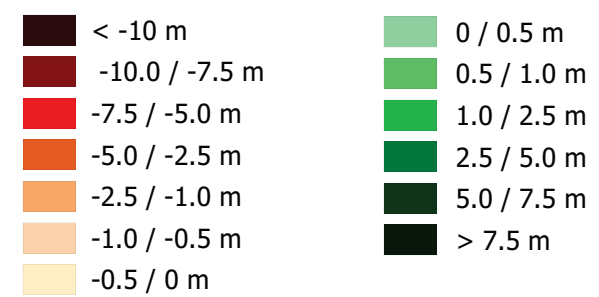


SCALA 1:12.000

STATO ATTUALE - IDROGRAMMA 75 MINUTI A BLOCCHI ALTERNI

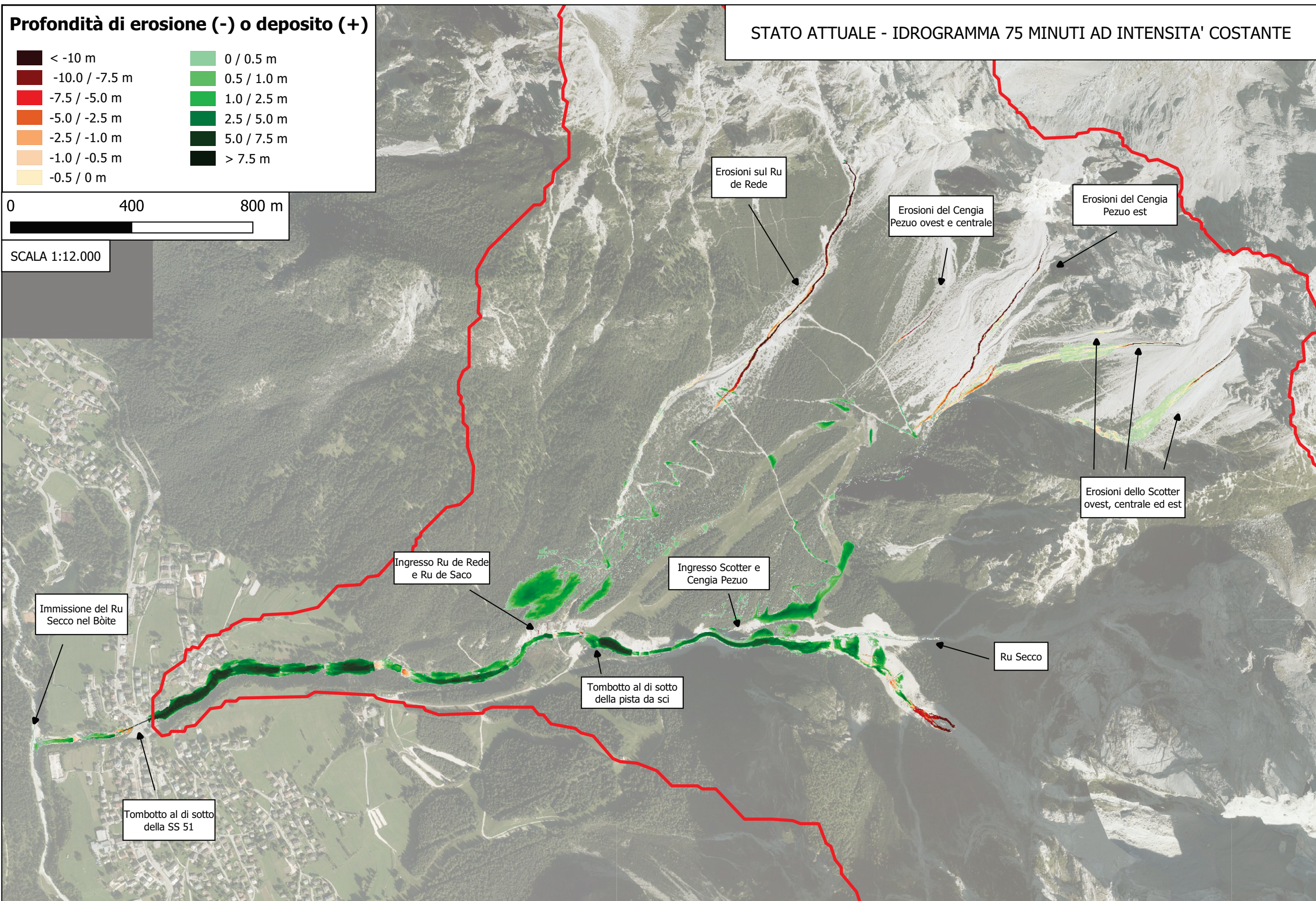


Profondità di erosione (-) o deposito (+)

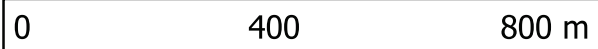
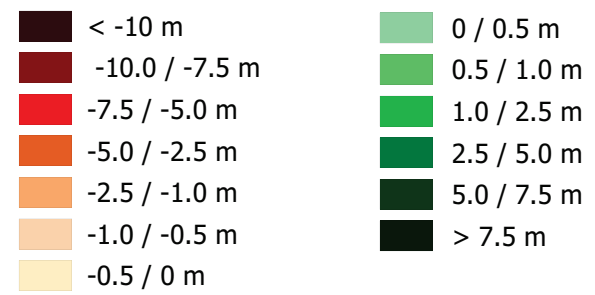


SCALA 1:12.000

STATO ATTUALE - IDROGRAMMA 75 MINUTI AD INTENSITA' COSTANTE

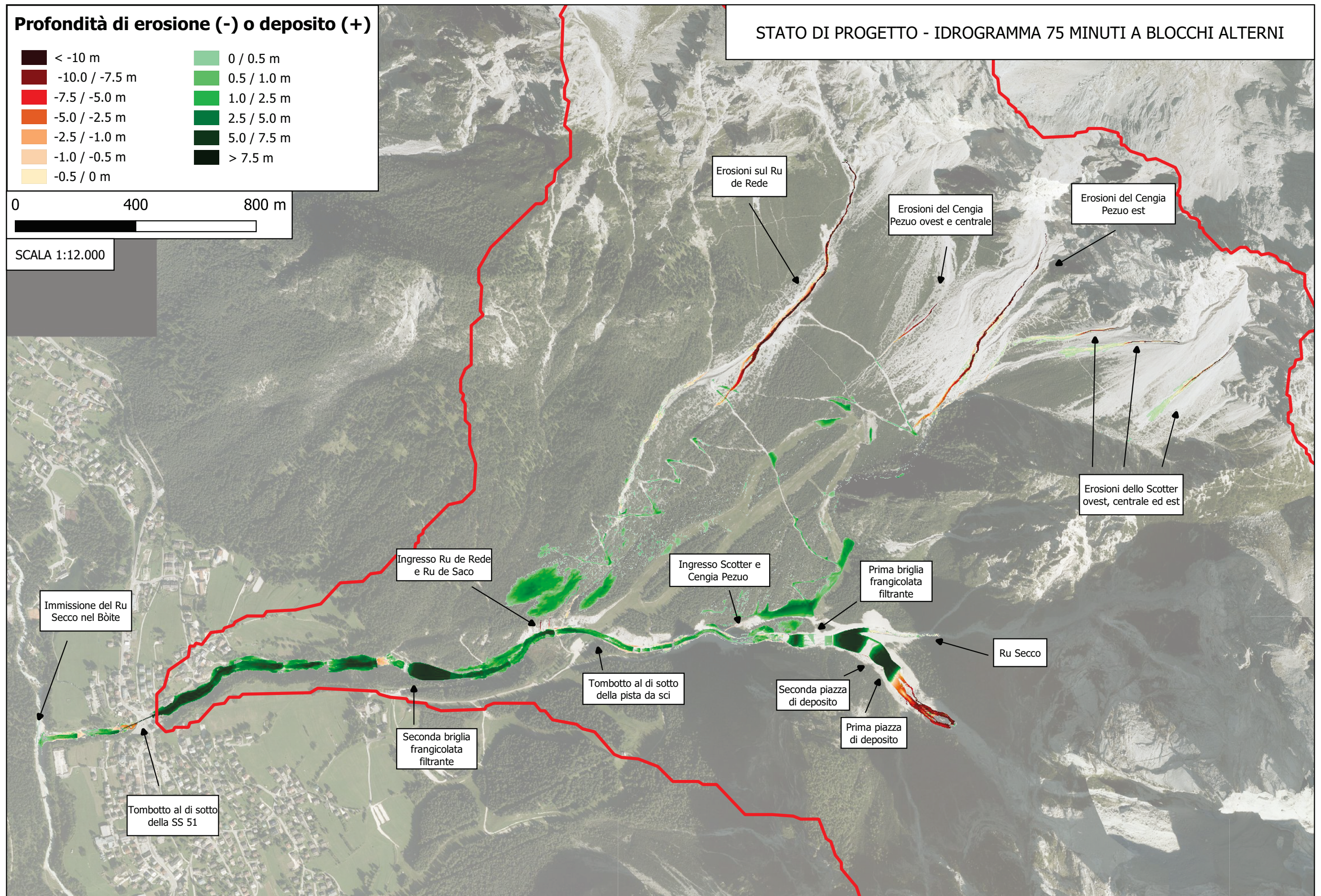


Profondità di erosione (-) o deposito (+)















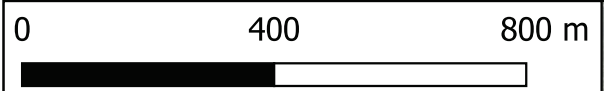
SCALA 1:12.000

STATO DI PROGETTO - IDROGRAMMA 75 MINUTI A BLOCCHI ALTERNI



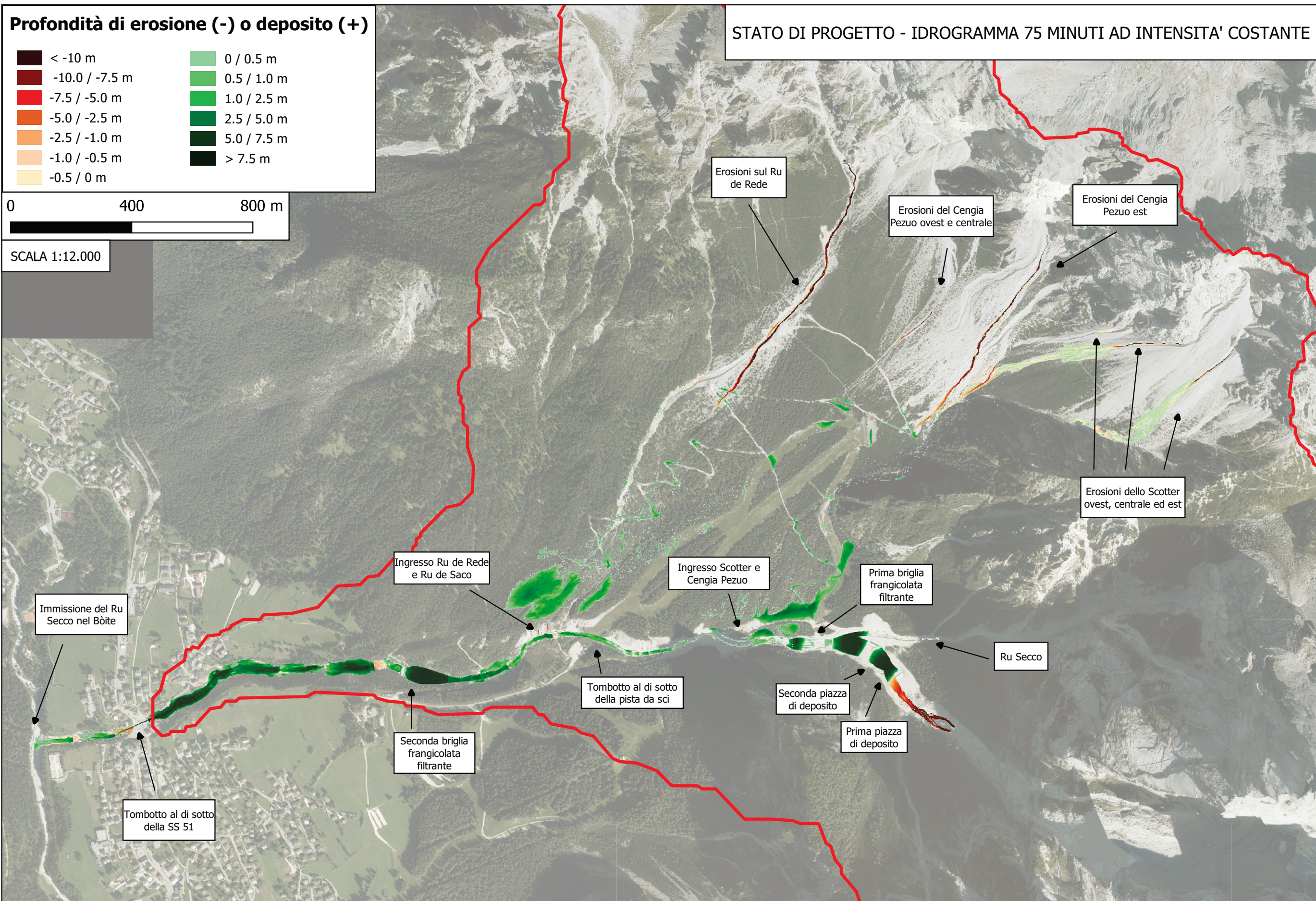
Profondità di erosione (-) o deposito (+)

| | | | |
|---|----------------|---|-------------|
|  | < -10 m |  | 0 / 0.5 m |
|  | -10.0 / -7.5 m |  | 0.5 / 1.0 m |
|  | -7.5 / -5.0 m |  | 1.0 / 2.5 m |
|  | -5.0 / -2.5 m |  | 2.5 / 5.0 m |
|  | -2.5 / -1.0 m |  | 5.0 / 7.5 m |
|  | -1.0 / -0.5 m | | > 7.5 m |
|  | -0.5 / 0 m | | |



SCALA 1:12.000

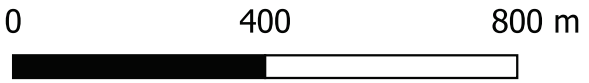
STATO DI PROGETTO - IDROGRAMMA 75 MINUTI AD INTENSITA' COSTANTE



STATO ATTUALE - IDROGRAMMA 15 MINUTI

Profondità di erosione (-) o deposito (+)

| | |
|----------------|-------------|
| < -10 m | 0 / 0.5 m |
| -10.0 / -7.5 m | 0.5 / 1.0 m |
| -7.5 / -5.0 m | 1.0 / 2.5 m |
| -5.0 / -2.5 m | 2.5 / 5.0 m |
| -2.5 / -1.0 m | 5.0 / 7.5 m |
| -1.0 / -0.5 m | > 7.5 m |
| -0.5 / 0 m | |



SCALA 1:12.000

