Comune di Bussoleno

Città Metropolitana di Torino

Regione Piemonte

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

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

OGGETTO

RELAZIONE DESCRITTIVA

TIMBRI E FIRME

SRIA s.r.l.
STUDIO ROSSO INGEGNERI ASSOCIATI
VIA ROSOLINO PILO 11 - 10143 TORINO
TEL. +39 011 43 77 242 - FAX +39 011 48 31 038
info@sria.it
www.sria.it

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

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

CONTROLLO QUALITA'

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

REDATTO
ing. Santo LA FERLITA

CONTROLLATO
ing. Fabio AMBROGIO

APPROVATO
ing. Santo LA FERLITA

ELABORATO

1.1

Diritti riservati ex art. 2578 C.C. - Riproduzione e consegna a terzi solo su specifica autorizzazione.

INDICE

1. PREMESSA 2

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E PIANIFICATORIO 3

3. DESCRIZIONE DELL'EVENTO DI COLATA DETRITICA DEL 07/06/2018 8

4. CONTENUTI DELL'ORDINANZA SINDACALE N.80 DEL 14/06/2018 19

5. SINTESI DEGLI ASPETTI CONOSCITIVI SPECIALISTICI 23

5.1 ANALISI GEOLOGICA 23
5.2 ANALISI IDROLOGICO-IDRAULICA 27
5.3 CALCOLI DELLE STRUTTURE 37

6. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI IN SOMMA URGENZA PER IL CONTENIMENTO DEL TRASPORTO SOLIDO IN APICE DI CONOIDE 39

6.1 BARRIERA FLESSIBILE IN ACCIAIO PER LA PROTEZIONE DALLE COLATE DETRITICHE IN ALVEO 39
6.2 BACINI DI ACCUMULO DEL TRASPORTO SOLIDO IN APICE DI CONOIDE 42

7. QUADRO ECONOMICO DEGLI INTERVENTI DI SOMMA URGENZA 45

8. INDICAZIONI PER GLI INTERVENTI DI COMPLETAMENTO/POTENZIAMENTO DA REALIZZARSI CON FINANZIAMENTI SUCCESSIVI 46

ALLEGATI

- ALLEGATO 1 – Documentazione fotografica realizzata nell'immediato post-evento –
- ALLEGATO 2 – Ordinanza sindacale n.80 del 14 giugno 2018 –
- ALLEGATO 3 – PRGC Bussoleno, scheda geologica sul bacino del rio Reforno/Baccias –
- ALLEGATO 4 – ARPA Piemonte, Rapporto Evento del 07/06/2018 –

1. PREMESSA

Nel primo pomeriggio di giovedì 7 giugno 2018 una colata detritica ha investito l'area nord-orientale del centro abitato di Bussoleno (TO). Il fenomeno si è originato dal bacino noto come "Comba delle Foglie" e si è sviluppato lungo l'alveo del rio Baccias/Reforno sino ad investire la località San Lorenzo sita sull'apparato di conoide.

Alcuni degli edifici presenti sulla porzione apicale del conoide sono stati direttamente investiti dal mud-debris flow e gravemente danneggiati sino a renderli inagibili. Altre costruzioni sono state anch'esse interessate dal deposito di materiale solido, prevalentemente di granulometria fine, senza tuttavia registrare danni di carattere strutturale.

Il materiale costituente la colata si è distribuito "a ventaglio", sedimentandosi, a partire dall'apice del conoide sino a raggiungere il sottopasso ferroviario di via San Lorenzo.

Nel corso del mese precedente altri eventi di esondazione di minore entità, dovuti alle diffuse precipitazioni temporalesche che hanno caratterizzato il periodo trascorso, hanno colpito il conoide del rio Reforno, determinando ampi allagamenti, seppur con fenomeni di trasporto solido decisamente meno evidenti rispetto all'evento del 7 giugno.

Per tale ragione l'Amministrazione comunale, d'intesa con la Regione Piemonte – Settore Infrastrutture e Pronto Intervento, aveva già conferito agli Scriventi l'incarico per la predisposizione del "*Progetto di fattibilità tecnico-economica degli interventi di sistemazione idraulica del bacino del rio Reforno-Baccias*". Detto incarico era stato affidato in data 1° giugno 2018 ma, come è evidente, il precipitare degli eventi non ha consentito che lo stesso potesse essere portato regolarmente a termine.

In seguito all'evento in oggetto, l'Amministrazione comunale di Bussoleno ha immediatamente avviato le procedure per la dichiarazione dello Stato di Emergenza e ha emesso l'Ordinanza Contingibile e Urgente numero 80 del 14 giugno 2018 con la quale, tra le altre cose, ha ordinato (cfr. ALLEGATO 2):

1. Allo studio Rosso Ingegneri Associati srl di Torino, nella persona dell'ing. Santo La Ferlita, di procedere alla predisposizione della progettazione definitiva/esecutiva, alla direzione dei lavori ed a svolgere le funzioni di coordinatore della sicurezza in fase di progettazione ed esecuzione, relativamente al progetto di somma urgenza dei lavori di somma urgenza per il contenimento del trasporto solido a monte del conoide, relativamente alla colata detritica del 07/06/2018 sul conoide del rio Reforno-Baccias, comba delle Foglie;

2. All'ing. Santo La Ferlita di svolgere per tutta la durata dei lavori le seguenti prestazioni professionali:
    1. Predisposizione della notifica preliminare;
    2. Direzione lavori;
    3. Misura dei lavori eseguiti;
    4. Contabilizzazione dei lavori eseguiti;
    5. Certificato di regolare esecuzione;
    6. Coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione;
    7. oltre alla vigilanza sula corretta esecuzione dei lavori ed al rispetto delle procedure di legge;

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E PIANIFICATORIO

L'area d'interesse è parte della Città Metropolitana di Torino, Comune di Bussoleno ed è collocata al piede del versante settentrionale della Valle di Susa (cfr. Figura 1).

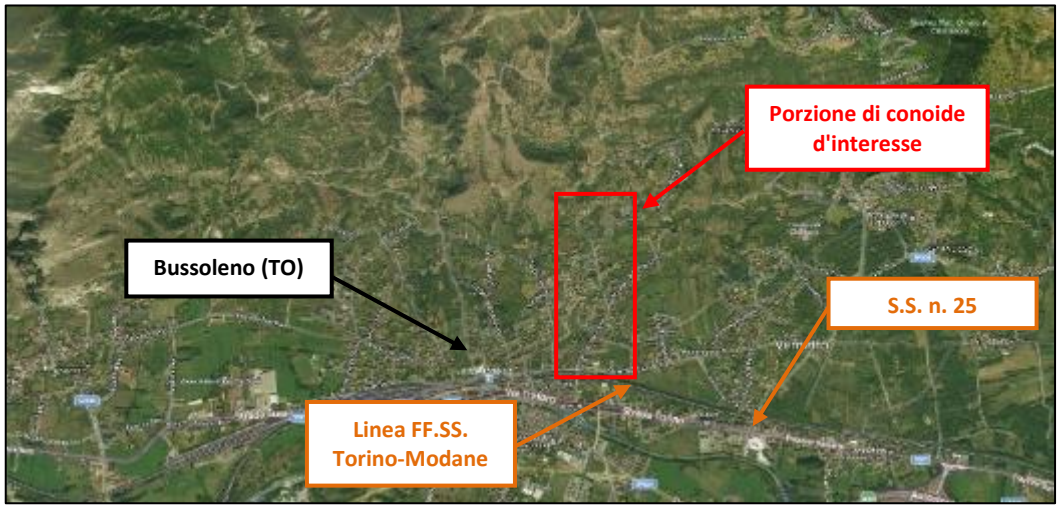


Figura 1 – Inquadramento geografico dell'area d'interesse (fonte: Bing Maps).

Di seguito si riporta la perimetrazione del bacino idrografico del rio Reforno/Baccias, chiuso all'apice di conoide. Rinviando alle relazioni specialistiche per ogni ulteriore dettaglio, qui si reputa utile evidenziarne la ridottissima estensione (circa 1,3 km^2).

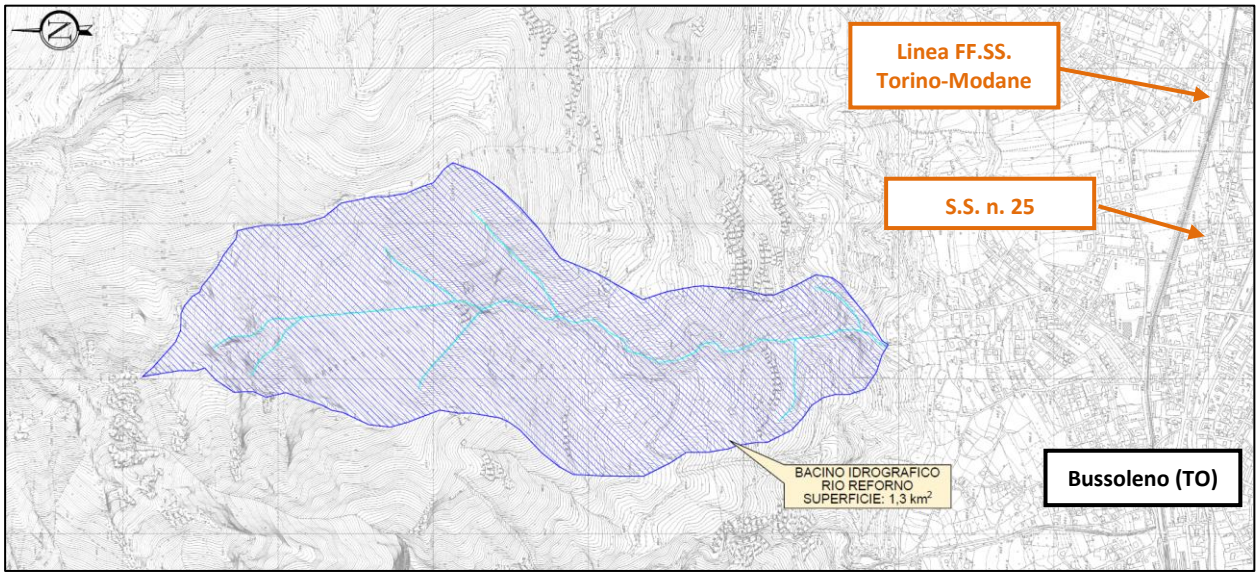


Figura 2 – Bacino idrografico del rio Reforno/Baccias

Il Comune di Bussoleno è dotato di Piano Regolatore Generale, approvato ai sensi dell'art.15 della Legge Regionale urbanistica n. 56/77 e s.m.i. con Delibera della Giunta Regionale n. 21-11637 in data 22/06/2009.

Le Norme Tecniche di Attuazione sono aggiornate alla Variante Parziale n.7 il cui Progetto Definitivo è stato approvato con Delibera del Consiglio Comunale n.18 del 30/04/2014.

Nel sesto capitolo della Relazione Geologica del PRGC (dicembre 2008) il dott. geol. D. Fontan, incaricato della predisposizione dello Studio Geologico, ha descritto le caratteristiche geomorfologiche e la dinamica torrentizia dei corsi d'acqua laterali affluenti della Dora Riparia, con speciale riguardo i processi che si sviluppano sui relativi conoidi.

Per ogni corso d'acqua sono descritte:

- le caratteristiche dell'asta e del bacino di alimentazione;
- le caratteristiche geomorfologiche del conoide di deiezione;
- gli effetti relativi ai principali eventi alluvionali.

In particolare, per quanto concerne la Comba delle Foglie, il professionista scrive quanto segue (cfr. §6.4 della relazione e ALLEGATO 3):

Questo corso d'acqua scorre ad ovest di Argiassera, con alveotipo monocursale ad andamento sinuoso, incidendo prevalentemente detrito di versante e localmente, nella parte bassa il substrato roccioso.

Nella Tabella 13 sono elencate le principali caratteristiche fisiografiche del bacino del Rio Comba delle Foglie.

Quota massima (m)	1790
Quota minima (m)	498
Area bacino (km^2) 1.3	
Indice di Melton	1.13
Pendenza media del versante (°)	32
Pendenza media dell'asta principale (°)	28.9
Percentuale di affioramento del basamento roccioso* (%)	16
Percentuale di area in frana* (%)	0.05
Percentuale di depositi glaciali indifferenziati** (%)	24

*: rispetto all'area del bacino; **: rispetto all'area dei depositi quaternari.

Il conoide del rio Comba delle Foglie si estende da quota 498 m a quota 435 m, con una pendenza media di 8.8°. A monte e a valle dell'apice la pendenza dell'alveo risulta pari a 8°. Si tratta di un conoide poco evidente, mascherato dall'elevato grado di urbanizzazione ed antropizzazione. Il corso d'acqua, a carattere stagionale si presenta poco inciso, è visibile solo nella zona d'apice in posizione mediana rispetto al conoide, per una lunghezza di 150 m.

In caso di forti piogge, dato che il canale di scarico non ha recapito diretto nella Dora Riparia, il tirante idrico viene smaltito dalla fitta rete di canali irrigui. Nel corso dell'evento 2000 non sono stati segnalati danni.

Non sono presenti opere idrauliche.

In questo paragrafo sono determinate alcuni metodi empirici che consentono di valutare la pericolosità dell'asta e del bacino di alimentazione rispetto a fenomeni di trasporto solido intenso, anche denominati colate detritiche o *debris-flow*. Il metodo empirico di Autlizky (1980), che consente di organizzare razionalmente osservazioni fatte sul conoide senza prendere in esame il bacino di alimentazione, valuta la pericolosità di questo conoide come alta. Il numero di Melton rapportato alla pendenza del conoide in gradi indica che il processo prevalente è di tipo *debris-flow* (Marchi et al., 1993). È stata inoltre calcolata, utilizzando vari metodi della letteratura, la magnitudo, cioè la volumetria di materiale detritico potenzialmente trasportata durante eventi di piena eccezionali. I valori della magnitudo calcolati sono riportati in Tabella 14.

Metodo	**Valore della magnitudo (m^3)**
Bottino et al. (1996)	22.860
Hampel (1977)	65.002
Marchi e Tecca (1996)	13.000
Rickenmann e Zimmerman (1997)	28.928
Takei (1984)	15.960
Van Dine (1996)	13.000
Tropeano e Turconi (2000)	Non calcolato

Nel PAI questo conoide non è segnalato.

È stata individuata un'area a pericolosità elevata (classi IIIa e IIIb), che comprende la parte apicale del conoide, e un'area a pericolosità moderata (classe II) che comprende la restante parte.

In effetti, lo Scrivente ha potuto accertare con i propri occhi, prima che si verificasse l'evento del 7 giugno, quanto affermato dal geol. Fontan, ossia che il corso d'acqua era ormai visibile soltanto nella parte apicale del conoide, per circa 150 m, e che lo stesso non aveva (e non ha) recapito diretto nella Dora Riparia. Le acque convogliate, che sino a questa primavera si manifestavano con portate molto modeste, erano smaltite attraverso la rete irrigua.

Soltanto il verificarsi dell'evento ha determinato la nuova incisione del conoide e la creazione nel tratto apicale di un nuovo alveo del rio, il quale però al momento si interrompe all'incirca in corrispondenza di una traversa di via San Lorenzo.

Nel successivo confronto fotografico aereo si coglie chiaramente la differenza testé descritta tra la situazione ex-ante ed ex-post.

Figura 3 – Ripresa satellitare della parte apicale del conoide realizzata prima dell'evento (fonte: Bing Maps)

Figura 4 – Ripresa da drone della parte apicale del conoide realizzata dopo l'evento (fonte: VV.F.).
Il colore dei cerchietti segnala il medesimo edificio nelle due riprese fotografiche, agevolando il confronto.
Si noti l'evidente incisione prodotta dall'evento sul conoide.

Stante quanto sopra, già in sede di predisposizione del PRGC era stata accertata la pericolosità delle aree e pertanto le stesse erano state inserite, ancorché parzialmente, in classe IIIb4, ossia:

Classe IIIb4
Aree in cui, anche a seguito della realizzazione di opere di riassetto, indispensabili per la difesa dell'esistente, non sarà possibile realizzare nuovi edifici, ampliamenti o completamenti.

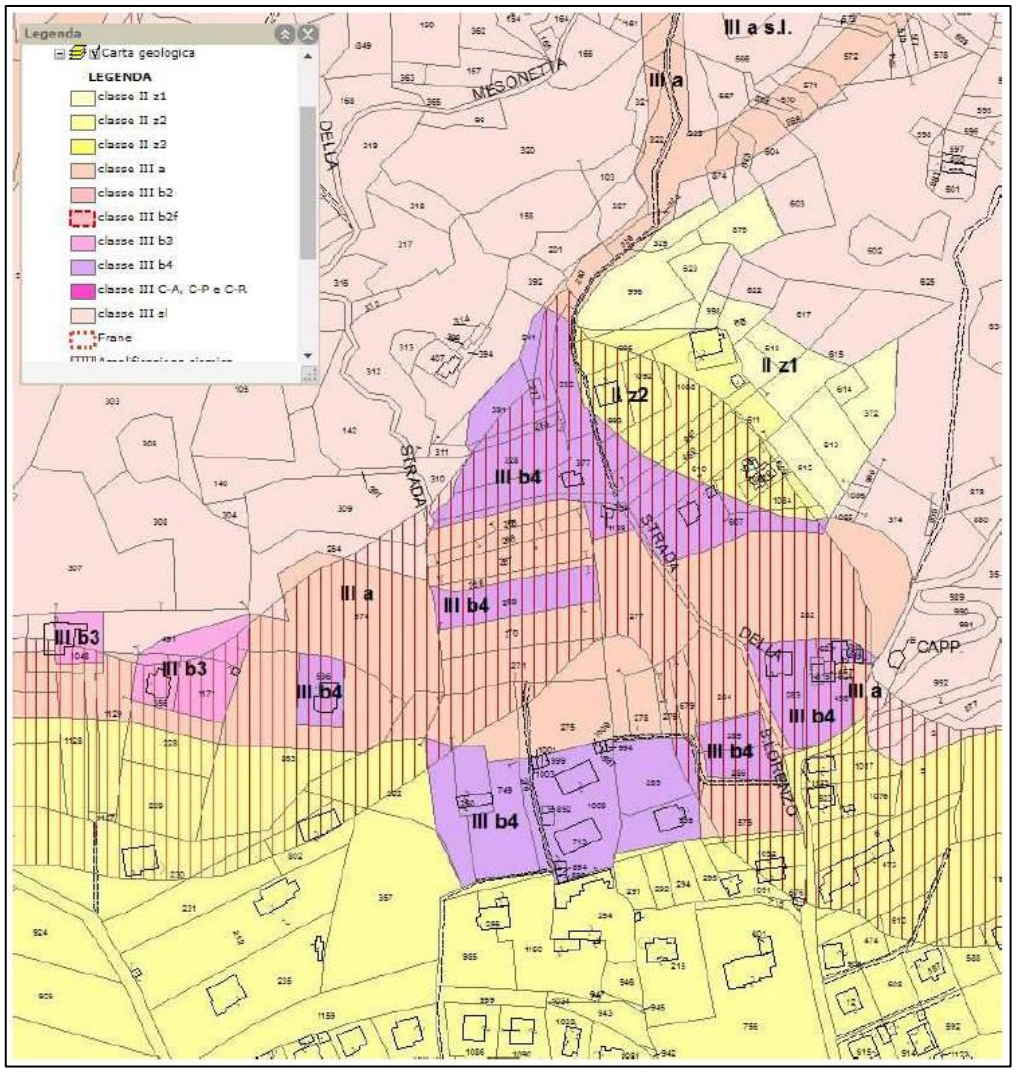


Figura 5 – Estratto della carta di sintesi del PRGC

3. DESCRIZIONE DELL'EVENTO DI COLATA DETRITICA DEL 07/06/2018

L'evento occorso in Comune di Bussoleno è stato correttamente descritto, ancorché preliminarmente, nel rapporto d'evento che l'ARPA Piemonte ha predisposto con solerzia e reso disponibile agli Scriventi.

I contenuti dello stesso, integralmente riportato in ALLEGATO **4**, sono assolutamente condivisibili e coincidono sostanzialmente sia con le impressioni che gli Scriventi hanno immediatamente sviluppato nel corso dei numerosi sopralluoghi condotti sulle aree colpite dall'evento, anche poche ore dopo l'accaduto e partecipando a voli di ricognizione organizzati dai VV.F. (cfr. Figura 6), sia con le valutazioni più approfondite condotte nell'ambito della predisposizione del presente progetto (cfr. capitoli successivi e relazioni specialistiche allegate).

Figura 6 – Ripresa fotografica dell'apice di conoide eseguita dagli Scriventi dall'elicottero dei VV.F. durante il volo di ricognizione eseguito meno di 2 ore dopo il verificarsi dell'evento di debris.

In ogni caso, per fornire una sintesi descrittiva dell'evento, si reputa utile riportare di seguito i passaggi ritenuti più significativi del rapporto d'evento stilato da ARPA Piemonte:

Il giorno 7 giugno 2017 le piogge brevi ed intense che hanno interessato il bacino del Rio delle Foglie hanno determinato l'attivazione di un fenomeno di trasporto in massa di materiale fangoso-detritico estremamente rapido. Intorno alle 12:30 UTC (14:30 ora locale) la colata di fango e detriti ha raggiunto la zona di conoide. Il fenomeno ha interessato parte dell'abitato che sorge sull'apparato di conoide tra loc. S. Lorenzo raggiungendo il sottopasso della ferrovia (cfr. Figura 17). Alcune delle abitazioni più prossime alla zona di apice sono state gravemente danneggiate, mentre diverse altre abitazioni hanno subito diffusi fenomeni di alluvionamento.

Si tratta di un fenomeno di mud-debris flow, ovvero una miscela con prevalenza di particelle fini (matrice sabbiosa-limosa con ghiaia più cenere come residuo combusto) con all'interno e in parte anche subordinati ciottoli e massi fino al metro cubo, nonché una rilevante quantità di materiale vegetale flottante, compresi rami e tronchi di rilevanti dimensioni.

Nel corso del mese precedente altri fenomeni di esondazione e alluvionamento in conoide di minore entità, legati alle diffuse precipitazioni temporalesche di questo periodo (Figura 9), hanno interessato il bacino. Gli eventi più significativi sono stati registrati nei giorni 29 aprile, 2 maggio, 9 maggio e 13 maggio, quando, in seguito a precipitazioni a carattere temporalesco, sono state interessate varie strade del paese, tra cui via Camposciutto e via San Lorenzo. In tutti i casi, ad esclusione dell'evento del 9 maggio, sono avvenuti allagamenti e alluvionamenti con trasporto di materiale fine, grossolano e materiale vegetale flottante. Solo nel caso del 9 maggio sono stati registrati prevalentemente fenomeni di allagamento, con modesto trasporto di materiale solido.

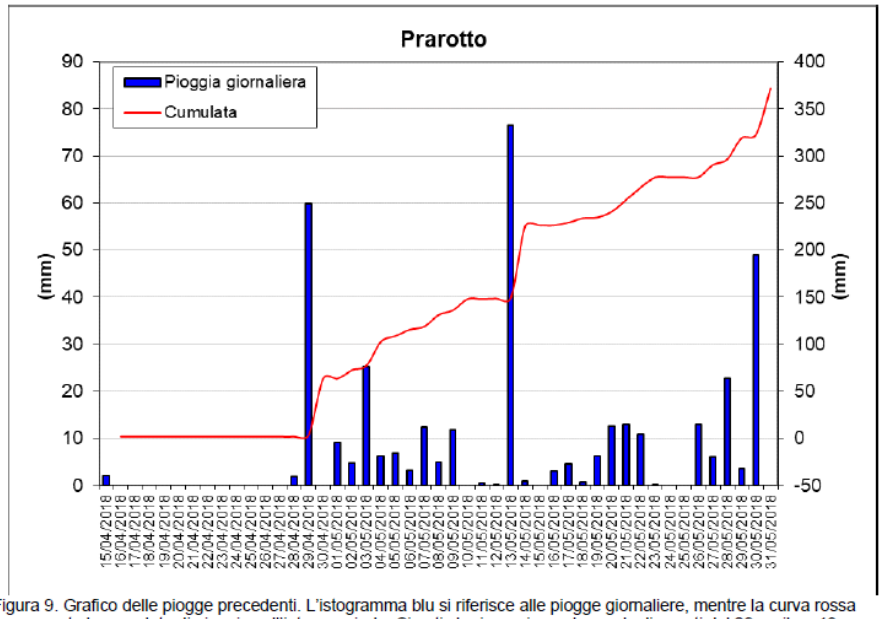


Figura 9. Grafico delle piogge precedenti. L'istogramma blu si riferisce alle piogge giornaliere, mentre la curva rossa rappresenta la cumulata di pioggia sull'intero periodo. Si noti che in corrispondenza degli eventi del 29 aprile e 13 maggio il pluviometro di Prarotto ha registrato valori di cumulata giornaliera pari o superiori a 60mm.

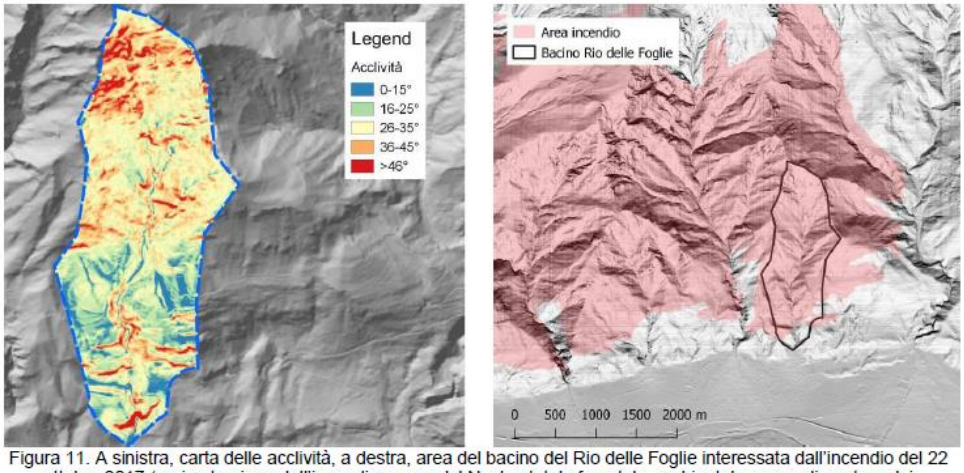


Figura 11. A sinistra, carta delle acclività, a destra, area del bacino del Rio delle Foglie interessata dall'incendio del 22 ottobre 2017 (perimetrazione dell'incendio a cura del Nucleo tutela forestale, ambientale e agroalimentare dei Carabinieri).

La parte superiore del bacino del Rio delle Foglie è caratterizzata da una forte pendenza, superiore mediamente ai 35°, da una modesta percentuale di affioramenti rocciosi e dalla presenza di bosco rado o prateria con ampie zone interessate dall'incendio dell'autunno scorso.

Allo stato attuale, nel bacino è ancora presente materiale residuo della combustione a granulometria medio-fine e materiale vegetale parzialmente carbonizzato, potenzialmente rimobilizzabile. La presenza di calcescisti (coperture mesozoiche Dora-Maira) contribuisce alla formazione di una coltre detritica diffusa a granulometria fine. Questo materiale, unitamente alla ridotta azione protettiva della vegetazione, ha reso i versanti particolarmente soggetti a fenomeni di dilavamento della porzione più superficiale di suolo da parte delle precipitazioni intense o prolungate; i recenti fenomeni di colata (maggio 2018) attivatisi sul bacino e giunti fino al fondovalle sono evidentemente stati alimentati da questa componente solida confluita dal settore superiore del bacino sul canale principale del Rio delle Foglie.

Si ipotizza che i recenti avvenimenti stagionali (incendi, precipitazioni e colate detritiche) abbiano modificato l'assetto geomorfologico e idrologico del bacino, contribuendo ad un significativo aumento delle portate liquide e solide del Rio delle Foglie rispetto al recente passato (Figura 11 e Figura 12). Tale ipotesi sarà verificata mediante successivi approfondimenti che verranno programmati nei prossimi mesi.

Figura 11.Tratto superiore Rio delle Foglie (foto Regione Piemonte), si può notare le'elevata acclività e la disponibilità di materiale rimobilizzabile legata agli incendi dell'autunno scorso, a sinistra; particolare area incendiata; a destra.

Figura 12. Fenomeni di erosione concentrata sul reticolo idrografico minore nella parte superiore del bacino.

Il tratto intermedio del bacino è caratterizzato da un profilo longitudinale irregolare con frequenti cambi di pendenza e ripidi balzi rocciosi. Le tracce di passaggio della colata evidenziano una rilevante sezione di deflusso a testimonianza di una portata complessiva della miscela solido-liquido a carattere eccezionale, la quale si è accresciuta significativamente grazie all'azione erosiva del materiale detritico in alveo e sulle sponde. Dai recenti sopralluoghi effettuati si evidenzia come l'alveo del canale principale sia spesso ben ripulito dai detriti con il substrato sottostante affiorante. Nei punti con riduzione di pendenza si ha deposito di materiale sui bordi (effetto soglia naturale con deposizione di materiale), mentre in corrispondenza dei tratti a forte pendenza si è riscontrata la notevole azione erosiva della colata con escavazione laterale e presa in carico di materiale grossolano. Tuttavia, buona parte dei volumi di materiale rimobilizzato a granulometria medio-fine è stato trasportato a valle giungendo nell'area di conoide antropizzata. (Figura 13 e Figura 14).

Figura 13. A sinistra, substrato in alveo riesumato a testimonianza dell'azione erosiva e di trasporto a valle del materiale detritico in corrispondenza primo attraversamento stradale. A destra, erosione di materiale detritico grossolano nel tratto intermedio del bacino, avvenuta nei tratti ad elevata pendenza e in corrispondenza della sponda esterna.

Figura 14. Erosione di materiale grossolano e successiva deposizione di materiale nei tratti intermedi del bacino a riduzione della pendenza.

Il materiale preso in carico nel bacino si è depositato nella zona di conoide interessando un'area di circa 35'000 m^2, compresa tra la frazione di S. Lorenzo e la parte distale del conoide fino al sottopasso della ferrovia. La porzione di colata a maggiore energia, caratterizzata da depositi più grossolani (ciottoli e blocchi immersi in matrice fine), si è arrestata in corrispondenza dei civici n. 55-57 di via S. Lorenzo. Gli spessori deposti risentono fortemente della presenza degli elementi antropici, e variano da valori superiori a 1-1,5 m immediatamente a ridosso degli ostacoli (edifici e strutture di delimitazione delle pertinenze) e in corrispondenza degli accessi agli interrati delle abitazioni (Figura 15), fino a 30-60 cm nelle zone dove il deflusso non è stato ostacolato. A causa dell'elevata energia e della presenza di materiale a grossi blocchi e di tronchi di grandi dimensioni in questo settore si sono verificati i danni maggiori alle abitazioni e della viabilità.

Ai margini della colata principale e generalmente al di sotto dell'incrocio tra Via S. Lorenzo e strada Camposciutto, la colata ha perso energia depositando materiale progressivamente più fine (sabbie e limi con ghiaia e subordinati ciottoli), con spessori compresi tra 5-10cm fino a 50-60cm in corrispondenza di ostacoli e zone depresse (Figura 16).

In via preliminare, sulla base dei primi rilievi speditivi, si può stimare un volume di materiale depositato in conoide di circa 15-20 mila metri cubi.

Figura 15. Deposizione di materiale nei tratti intermedi del bacino a riduzione della pendenza.

Figura 16. Deposito di materiale fine in corrispondenza della parte distale del conoide.

Per quanto riguarda le cause d'innesco, ARPA Piemonte riporta quanto segue:

Secondo la classificazione CWI la natura delle rocce predominanti costituenti il bacino influenza la reologia, i processi sedimentari, gli stili deposizionali e l'architettura dei conoidi alluvionali, la frequenza di occorrenza e la stagionalità d'innesco delle colate detritiche che hanno origine nei bacini stessi. In base alla capacità di una litofacies di produrre argilla, silt argilloso o minerali argillosimili, che andranno a costituire la frazione fine del detrito disponibile alla mobilizzazione, si avranno processi di trasporto in massa contraddistinti da reologie molto differenti che ne condizioneranno innesco, propagazione e deposizione. I bacini GCM sono in grado di produrre discrete quantità di silt argilloso, da cui deriva un comportamento moderatamente viscoplastico dei flussi detritici. La natura del materiale prodotto dai bacini condiziona anche la frequenza di occorrenza dei fenomeni torrentizi e la stagionalità in cui questi si manifestano più abbondantemente. Tale aspetto è legato alle caratteristiche delle precipitazioni piovose in grado di mobilizzare il materiale sciolto prodotto da tali bacini. L'intensità di pioggia minima in grado di innescare un fenomeno torrentizio di trasporto in massa in bacini di tipo GCM è pari a 30mm/h. Il Rio delle Foglie ricade all'interno del bacino della Dora Riparia, caratterizzata da tempi di ritorno di 20 anni per piogge di tali intensità.
Tuttavia, il bacino in esame è caratterizzato da una bassa densità di affioramento in favore di un'estesa copertura vegetativa che ricopre oltre il 90% del bacino (Figura 18). In accordo con Tiranti et al. (2016), i bacini caratterizzati da un'elevata copertura vegetativa non favoriscono l'innesco di fenomeni torrentizi ad alta concentrazione di sedimento, poiché la scarsità di affioramenti implica una bassa produzione di materiale sciolto che si renda disponibile alla mobilizzazione. L'assenza di eventi torrentizi storici documentati per il Rio delle Foglie potrebbe essere legato a quest'ultimo aspetto.

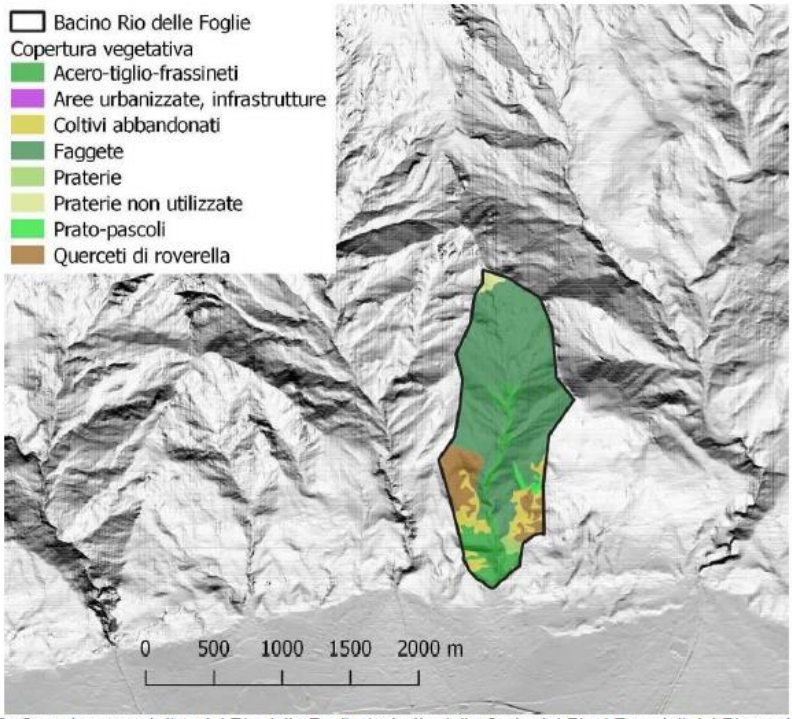


Figura 18. Copertura vegetativa del Rio delle Foglie (estratto della Carta dei Piani Forestali del Piemonte a scala 1:10000).

Nonostante ciò, il vasto incendio dell'ottobre 2017, che ha interessato quasi completamente l'area del bacino, ha modificato le condizioni preesistenti aumentando da una parte il materiale disponibile alla mobilizzazione (incluso il detrito ligneo combusto) (Figura 19a) e, dall'altra, modificando le caratteristiche idrologiche dei versanti (Figura 19b).

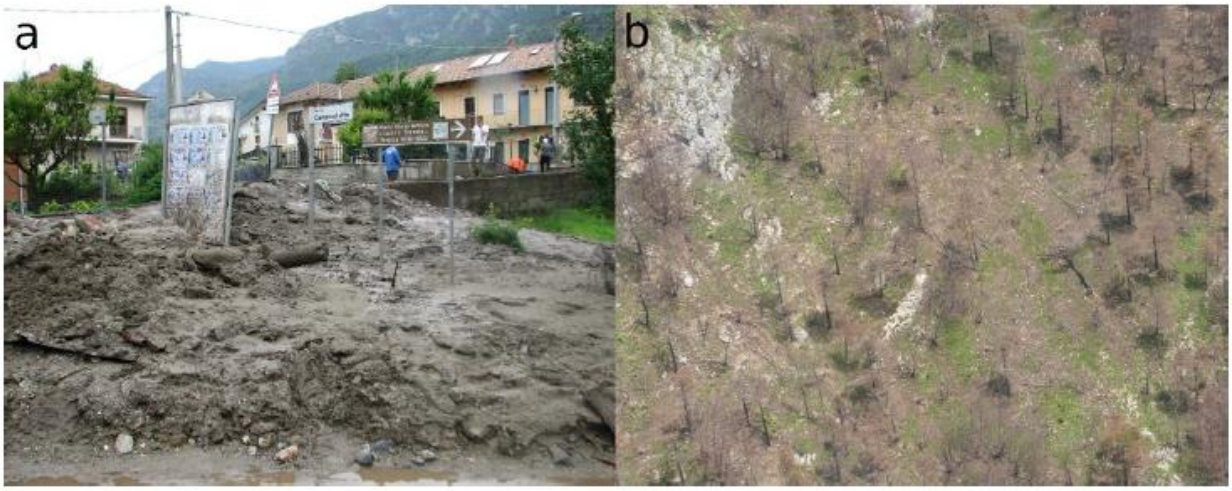


Figura 19. a) Materiale ligneo combusto rinvenuto nel deposito del mud-debris flow. La matrice mostra un'alta percentuale di sedimento fine di colorazione marrone scuro attribuibile alle particelle di materiale combusto. b) Versanti denudati dall'incendio in cui sono visibili arbusti e alti fusti carbonizzati, nell'area di testata del bacino.

I versanti percorsi da incendi subiscono una rielaborazione termica degli strati superficiali del suolo che genera l'aumento delle quantità di materiale fine (livello del suolo combusto) e la formazione di una superficie impermeabile anche discontinua che si sviluppa al di sotto del livello di suolo rielaborato dell'incendio, dovuta alla vetrificazione della frazione argillosa contenuta nel suolo ad opera delle alte temperature (hydrophobic soil surface) (Debano and Ktammes, 1966; Bashir, 1969; Brandt, 1969).
In tali circostanze, il bacino risulta più suscettibile all'innesco di fenomeni torrentizi ad alto contenuto di sedimento trasportato, in virtù della maggiore quantità di materiale fine non consolidato resosi disponibile alla mobilizzazione e della maggiore azione erosiva delle piogge per diminuita capacità di suzione del suolo (DeBano, 1969) e per diminuita copertura vegetativa. In tali circostanze, scrosci anche di moderata intensità risultano maggiormente efficaci nel mobilizzare il materiale detritico disponibile, rispetto a quanto accadeva prima che il bacino fosse interessato dall'incendio (Ziernolz et al., 1995; Cannon, 2001). Un caso analogo è già stato documentato in Piemonte nel comune di Pallanzeno (VB) il 18 luglio 2005 (Arpa Piemonte, 2005; Tiranti et al., 2006).

Come illustrato in precedenza, l'innesco del mud-debris flow del 7 luglio si è verificato, per l'appunto, in presenza di precipitazioni di moderata intensità, soprattutto se paragonate alle piogge antecedenti che, il 29 aprile, il 2, 9 e 14 maggio 2018 hanno causato eventi torrentizi di magnitudo inferiore caratterizzati dal trasporto di prevalente materiale fine (sabbie e silt di colore marrone scuro) e detriti lignei combusti (Figura 20) in concentrazioni modeste.

Figura 20. Natura del sedimento deposto dal mud flow che ha interessato Bussoleno il 29 aprile 2018 (fonte: quotidiano ValsusaOggi del 29/04/2018 - http://www.valsusaoggi.it/foto-valsusa-la-pioggia-manda-in-tilt-bussoleno-sottopasso-e-strade-allagate-frana-ed-allevatori-evacuati/ - consultato il 14/06/2018).

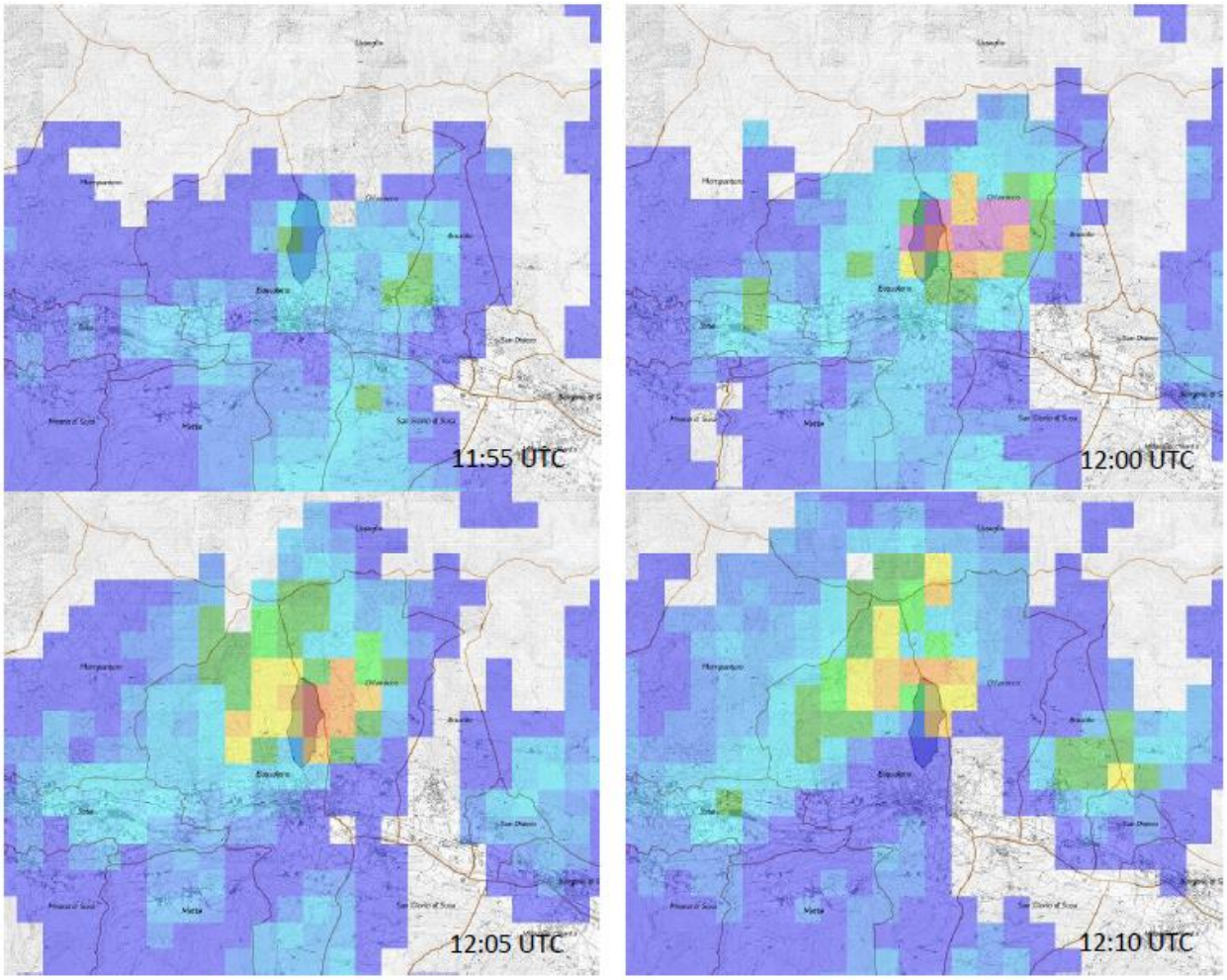
Per quanto riguarda le cause di innesco, alle considerazioni sopra esposte relative alle condizioni predisponenti, occorre aggiungere anche l'ipotesi di una portata di innesco "maggiorata" a causa della formazione di uno sbarramento temporaneo (in genere in formazione in corrispondenza di restringimenti naturali della sezione del canale e/o in corrispondenza di brusche riduzioni della pendenza) e successivo rilascio improvviso per rottura dello stesso. Tale ipotesi, da verificare, giustificherebbe a maggior ragione una portata eccezionale non riscontrata negli eventi storici precedenti.

Sulla base dei rilievi speditivi seguiti agli eventi oggetto di studio, il canale principale si presenta mediamente ripulito dai depositi e detriti superficiali presenti in alveo, tuttavia permangono forti disponibilità di materiale rimobilizzabile sulle sponde del tratto intermedio e lungo tutte le incisioni minori del tratto superiore del bacino afferenti al canale principale.

La mancanza di un canale di deflusso in conoide ha sicuramente avuto un ruolo fondamentale sull'amplificazione degli effetti sulle strutture antropiche e sulla dinamica del fenomeno.

Infine, ARPA ha condotto un'analisi pluviometrica dell'evento meteorico che ha innescato la colata, giungendo alle seguenti conclusioni:

Analizzando in dettaglio le piogge stimate da radar (Figura 22), è stata identificata una cella temporalesca, formatasi intorno alle 11:45UTC sul comune di Chianocco e zone limitrofe e transitata sul bacino in oggetto tra le 11:55 e le 12:25UTC. In Fig. 24 sono riportate le mappe con l'evoluzione della cella temporalesca nella zona di Bussoleno. L'intensità di precipitazione stimata da radar sul bacino considerato presenta dei picchi molto intensi compresi tra 60 e 100mm/h alle 12:00UTC. Alcuni valori di poco superiori a 100 mm/h possono indicare la probabile presenza di graupel (grandine molle) alla quota delle osservazioni. L'intensità di precipitazione si è mantenuta oltre i 30-50mm/h fino alle 12:10 UTC. Successivamente la cella temporalesca si è spostata verso Nord-Ovest, con una conseguente riduzione dell'intensità sul bacino del Rio delle Foglie. Quindi tra le ore 14:00 e le ore 14:10 (ora locale) sono caduti circa 10 mm con un'intensità di 60mm/h



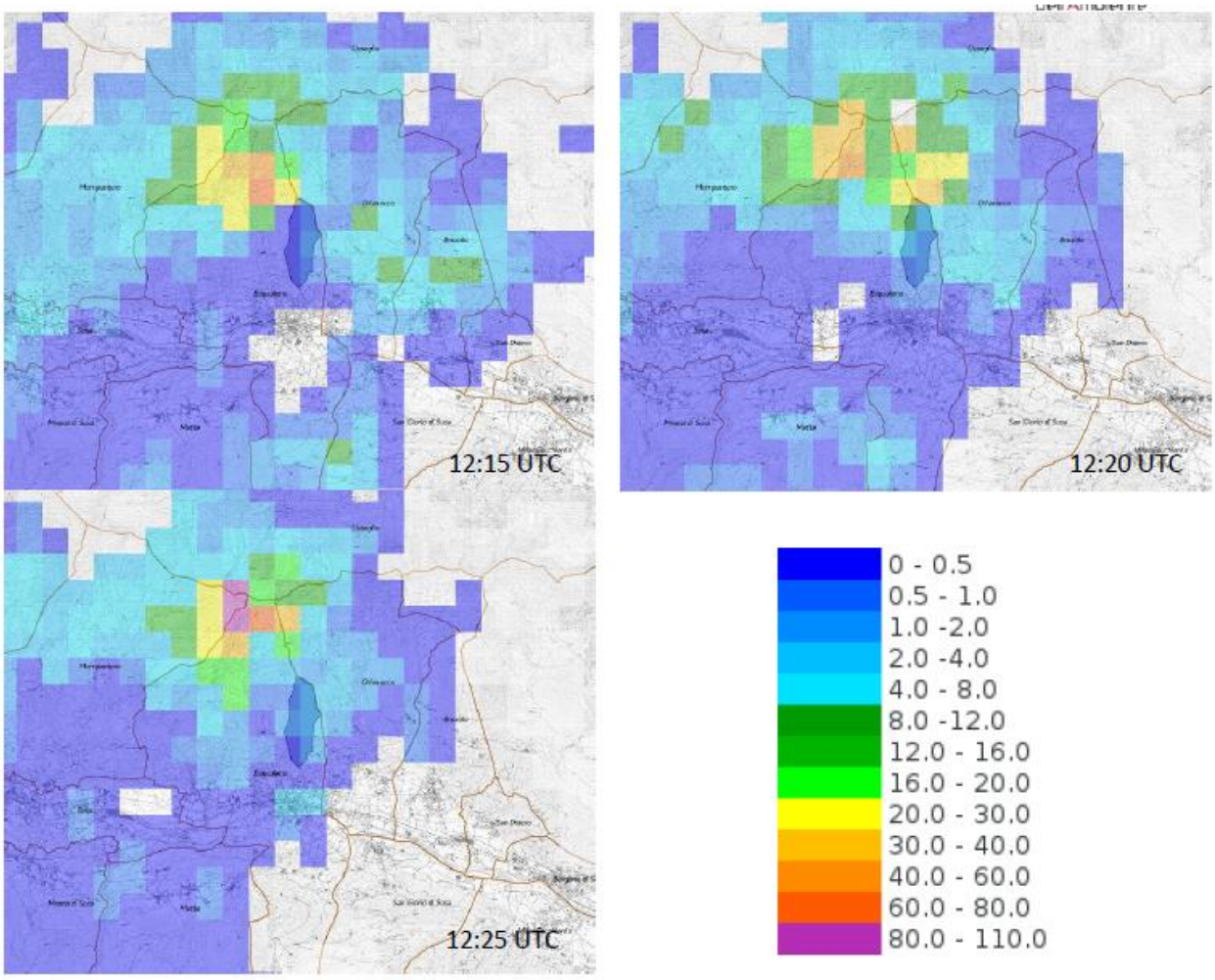


Figura 22. Intensità oraria di precipitazione stimata dal radar di Bric della Croce tra le 11:55 e le 12:25 UTC. Le osservazioni utilizzate provengono dall'elevazione di 2.0deg e corrispondono ad una quota di circa 250 m s.l.m. nell'area considerata. L'area del bacino del Rio delle Foglie è evidenziata al centro dell'immagine.

La mappa in Figura 23 riporta la stima della cumulata di pioggia al suolo relativa all'intervallo 11:55 – 12:25UTC. Si nota un massimo di circa 15mm (verde chiaro) sul bacino interessato dal mud-debris flow (Rio delle Foglie), corrispondente ad una intensità di precipitazione media di circa 30 mm/h durante 30 minuti.

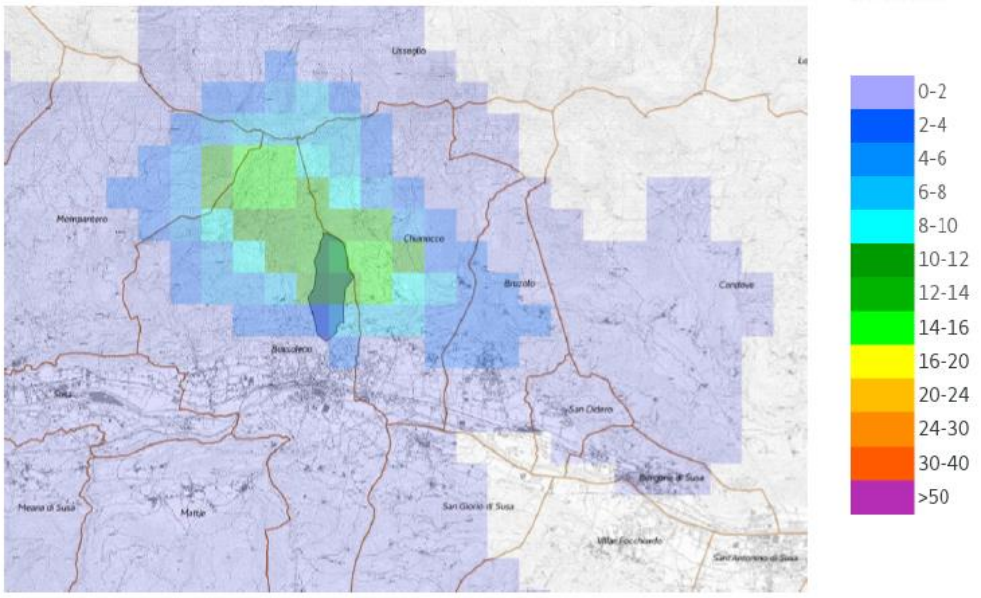


Figura 23. Cumulata al suolo stimata da radar relativa all'intervallo di tempo 11:55 – 12:25 UTC del 07/06/2018, derivata dall'analisi delle osservazioni a 2.0deg. L'area del bacino del Rio delle Foglie è evidenziata al centro dell'immagine.

L'analisi statistica delle precipitazioni dell'evento ha evidenziato che le durate più critiche sono state quelle dei 10 minuti e della mezz'ora; infatti sui dieci minuti sono stati registrati circa 10mm e in mezz'ora circa 15mm. Tali quantitativi sono corrispondenti ad un tempo di ritorno di 5 anni, come si può notare dal grafico seguente, che riporta le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per assegnato tempo di ritorno e diverse durate calcolate nel centro di scroscio che ha interessato il bacino del Rio delle Foglie (Figura 24).

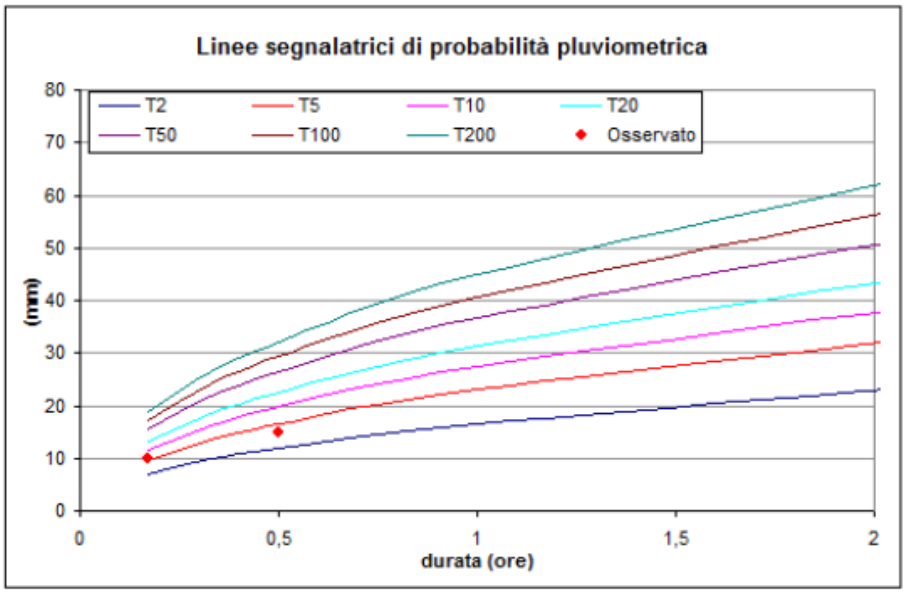


Figura 24. Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per assegnato tempo di ritorno per diverse durate calcolate nel centro di scroscio che ha interessato il bacino. I pallini rossi corrispondono ai valori di pioggia sui 10 e 30 minuti che intersecano la linea segnalatrice T5 (tempo di ritorno 5 anni).

4. CONTENUTI DELL'ORDINANZA SINDACALE N.80 DEL 14/06/2018

Di seguito si riportano i principali elementi contenuti nell'ordinanza sindacale con la quale il Sindaco di Bussoleno ha ordinato:

- agli Scriventi di eseguire le attività di Progettazione, Direzione Lavori e Coordinamento della Sicurezza in fase di Progettazione ed Esecuzione dei lavori di somma urgenza per il contenimento del trasporto solido a monte del conoide;
- alla ditta Autotrasporti ed Escavazioni Favro snc con sede in Mompantero (TO) di provvedere all'esecuzione dei suddetti lavori;
- al Responsabile dell'Area tecnica di adottare tutti gli atti successivi e conseguenti derivanti dall'ordinanza e dei necessari impegni di spesa.

In particolare, rinviando all'ALLEGATO 2 per la consultazione del documento completo, l'ordinanza recita tra le altre cose quanto segue:

Premesso che:

- nei mesi primaverili il territorio di Bussoleno è stato interessato da intense precipitazioni e da condizioni meteorologiche suscettibili da pregiudicare la stessa sicurezza della pubblica incolumità;
- che a seguito delle continue precipitazioni nel mese di maggio in particolare della pioggia impulsiva registrata il 07/06/2018, il territorio di questo Comune è stato interessato da dissesti idrogeologici che hanno provocato il trascinamento a valle di fango, materiale ligneo, pietroso e acqua, interessando pesantemente la Regione San Lorenzo, via San Lorenzo, via Camposciutto e via Nebiolera causando il cedimento di una parte delle sedi viarie, la caduta di massi, detriti e rami d'albero lungo le strade, nonché smottamenti e allagamenti nei beni pubblici e nelle proprietà private; tutto ciò ha causato situazioni di pericolo per la pubblica incolumità, e quindi la necessità e l'urgenza di rimuovere lo stato di pregiudizio;

Considerato che nell'emergenza le priorità di intervento di protezione civile conseguono direttamente dalle esigenze elementari, e insieme fondamentali, di tutelare l'incolumità delle persone nel loro ambiente di residenza e di lavoro, l'accessibilità in condizioni di sicurezza dei luoghi di residenza e di lavoro, l'integrità delle infrastrutture che garantiscono i servizi essenziali e che tali esigenze vanno inoltre graduate a seconda del livello di compromissione che i dissesti e la vulnerabilità del territorio arrecano alle essenziali condizioni di vita economica e sociale delle popolazioni colpite;

Dato atto che in attuazione all'ordinanza sindacale contingibile ed urgente n.66 del 07/06/2018, l'ufficio tecnico manutentivo comunale, con l'ausilio delle associazioni di volontariato e di ditte esterne specializzate, ha dato corso all'avvio dei lavori per i quali risulta necessario un intervento immediato:

1. Strade interrotte da frane, caduta massi, da erosioni di corsi d'acqua, per effetto di crolli o dissesti di guadi, con isolamento o incombente rischio di isolamento di centri abitati;
2. Interventi a difesa di infrastrutture essenziali di tipo acquedottistico, fognario, di impianti di depurazione e di opere di approvvigionamento energetico gravemente danneggiate;
3. Interventi di ripristino della viabilità compromessa da movimenti franosi, cadute massi, erosioni spondali, crollo o dissesto;
4. Interventi di difesa idraulica localizzati, per il ripristino della sicurezza del territorio urbanizzato;
5. Interventi di ripristino di sedi stradali, di pulizia di condotte fognarie, di pulizie e ricalibratura di fossati;

Richiamata la propria precedente ordinanza contingibile ed urgente n.65 del 07/06/2018 con la quale si è provveduto all'immediata evacuazione delle persone abitanti lungo la via San Lorenzo, regione San Lorenzo, via Nebiolera e strada Campoasciutto a tutela della pubblica incolumità ed alla chiusura delle sedi stradali interamente ricoperte dalla colata detritica;

Visto il verbale di somma urgenza redatto, nei termini temporali assegnati, da parte del Responsabile dell'Area Tecnico Manutentiva Comunale del 14/06/2018, che riporta oltre gli interventi già svolti anche gli interventi da eseguire, che riguardano:

- Lavori di somma urgenza per il contenimento del trasporto solido a monte del conoide;
- Lavori di somma urgenza per il convogliamento delle portate liquide del rio al recapito finale.

Dato atto che nel pomeriggio del 12/06/2018 è stato effettuato un incontro tra il comune di Bussoleno ed il Settore Tecnico della Regione Piemonte, dal quale è emersa la necessità di provvedere all'esecuzione dei lavori riportati al precedente capoverso, con provvedimenti di somma urgenza al fine di ridurre i pericoli alla pubblica incolumità;

Dato atto che, stante la necessità di operare con urgenza a salvaguardia della pubblica e privata incolumità, l'Amministrazione comunale può affidare l'intervento mediante ordinanza sindacale con le deroghe e le procedure abbreviate previste dalla normativa vigente in considerazione dell'assoluta necessità di terminare non solo la progettazione ma anche l'esecuzione dei suindicati lavori, ai sensi di quanto disposto all'art.163 del D.lgs. 50/2016 e smi;

Rilevato che:

- l'adozione della presente ordinanza è giustificata e legittimata dal verificarsi di una situazione sopravvenuta che presente il carattere dell'eccezionalità per cui si impone di provvedere con l'urgenza, incompatibile con i tempi connaturati alla rigorosa osservanza della normativa in materia (consiglio di stato 23/01/1991 n.63; consiglio di stato 11/04/1990 n.369; consiglio di stato 21/12/1984 n.960);
- il presente provvedimento con carattere d'urgenza, dovendo garantire l'immediata esecuzione di lavori, è possibile derogare all'applicazione delle disposizioni contenute nel decreto legislativo 50/16 e decreto legislativo 42/2006 e s.m.i. (determinazione dell'autorità di vigilanza dei lavori pubblici numero 1 del 14 gennaio 2004);

Dato atto che in considerazione della assoluta necessità di procedere immediatamente a salvaguardia dell'incolumità pubblica e privata all'esecuzione dei sopracitati lavori, si può procedere ad affidare l'intervento mediante ordinanza sindacale con le deroghe e le procedure abbreviate previste dalla normativa vigente, sia per quanto attiene alla progettazione, che per la realizzazione delle opere;

Sentito l'ing. Santo La Ferlita dello Studio Rosso Ingegneri Associati con studio in Torino via Rosolino Pilo n.11, che ha manifestato la propria disponibile a realizzare immediatamente i progetti, con seguente direzione lavori ed alle funzioni di coordinatore della sicurezza in fase di progettazione ed esecuzione dei lavori, per entrambi i progetti tra di loro collegati e da predisporre entro il termine condiviso durante la riunione del 19/06/2018;

Sentita in data 14/06/2018 la ditta Autotrasporti ed Escavazioni Favro snc, con sede a Mompantero (TO) via Pampalù n.8, codice fiscale 06379100016, che con nota di pari data, acclarata al protocollo del comune di Bussoleno dichiara:

- di aver preso visione dei luoghi;
- di manifestare la propria disponibilità a dare corso alla realizzazione dei lavori, appena depositato il progetto presso gli uffici comunali, previsti dal sopra citato verbale di somma urgenza ed in base al progetto in fase di predisposizione ed a terminarli nel più breve tempo possibile, salvo avverse condizioni meteorologiche che impediscano oggettivamente il completamento dei lavori;
- che non ricorrono, per sé e la ditta individuale omonima, le cause di esclusione per la partecipazione alle procedure di appalto di cui all'art. 80 del D.lgs. 50/2016;
- di possedere attestazione di qualificazione all'esecuzione dei lavori pubblici in conformità all'art. 84 del D.lgs. 50/2016 per la tipologia richiesta;
- di accettare, per il compenso dei lavori da eseguire, le condizioni economiche di cui all'art.163 comma 3 del D.lgs. 50/2016 e smi, con applicazione delle singole voci del preziario della Regione Piemonte edizione 2018 e conseguente abbattimento del 20%;

Considerato che:

- il corrispettivo complessivo dei lavori da affidare è inferiore ad euro 200.000;
- considerato che la verifica dei requisiti di partecipazione avverrà, ai sensi dell'art.163 comma 7 del D.lgs. 50/2016 e smi;
- la ditta sopra individuata fornirà le indicazioni riguardanti il conto dedicato anche in via non esclusiva alle commesse pubbliche e che il DURC, disponibile agli atti ed in corso di validità, risulta regolare;
- al progetto è stato attribuito il codice CUP B75B18000540002;

Considerato, pertanto, di provvedere alla relativa copertura finanziaria, legittimante la formalizzazione degli incarichi, ai sensi dell'art.163 del D.lgs. 50/2016 e smi, con riferimento al comma 4 che per gli Enti locali dispone che: la copertura della spesa sia assicurata on le modalità previste dall'art.191, comma 3, e 194, comma 1, lettera e), del decreto 267/2000, che testualmente recita: *"per i lavori pubblici di somma urgenza, cagionati dal verificarsi di un evento eccezionale o imprevedibile, la Giunta, qualora i fondi specificamente previsti in bilancio si dimostrino insufficienti, entro venti giorni dall'ordinazione fatta a terzi, su proposta del Responsabile del Procedimento, sottopone al Consiglio il provvedimento di riconoscimento della spesa con le modalità previste dall'art.194, comma 1, lettera e), prevedendo la relativa copertura finanziaria nei limiti delle accertate necessità per la rimozione dello stato di pregiudizio alla pubblica incolumità. Il provvedimento è adottato entro 30 giorni dalla data di deliberazione della proposta da parte della Giunta, e comunque entro il 31 dicembre dell'anno in corso, se a tale data non sia scaduto il predetto termine. La comunicazione al terzo interessato è data contestualmente all'adozione della deliberazione consigliare"*;

Richiamato l'art. 54, comma 4, del D.lgs. 267/2000 che stabilisce che il Sindaco, quale ufficiale del Governo, adotta con atto motivato provvedimenti, anche contingibili e urgenti nel rispetto dei principi generali dell'ordinamento, al fine di prevenire e di eliminare gravi pericoli che minacciano l'incolumità pubblica e la sicurezza urbana e che tali provvedimenti e la sicurezza urbana e che tali provvedimenti devono essere preventivamente comunicati al prefetto anche ai fini della predisposizione degli strumenti ritenuti necessari alla loro attuazione e demanda ad un apposito decreto ministeriale le definizioni relativi e alla incolumità pubblica e alla sicurezza urbana;

Visto il decreto Ministro dell'interno 05/08/2008 che definisce l'incolumità pubblica "l'integrità fisica della popolazione" e sicurezza urbana "un bene pubblico da tutelare attraverso attività poste a difesa, nell'ambito delle comunità locali, del rispetto delle norme che regolano la vita civile, per migliorare le condizioni di vivibilità nei centri urbani, la convivenza civile e la coesione sociale";

Dato atto che la Corte Costituzionale, con sentenza n.115 del 07/04/2011 ha dichiarato la illegittimità costituzionale dell'art. 54 del D.lgs. 18/08/2000, n.267, limitatamente al comma 4, poiché comprende la locuzione "anche" prima delle parole "contingibili e urgenti;

Premesso quanto sopra, il Sindaco ha ordinato l'esecuzione delle attività citate in apertura di capitolo, disponendo al contempo:

- Che le misure stabilite nel presente provvedimento abbiano efficacia dal momento della adozione, fatto salvo il potere dell'organo adottante di predisporre altri interventi integrativi o modificativi del presente, nonché fatta salva l'insorgenza di situazioni che determinino differente valutazione degli interessi pubblici e conseguente revisione dei provvedimenti in essere;

- L'occupazione delle aree private, necessarie per la realizzazione dei lavori e le aree di avvicinamento come previsto nel progetto dei lavori di somma urgenza;

5. SINTESI DEGLI ASPETTI CONOSCITIVI SPECIALISTICI

5.1 ANALISI GEOLOGICA

Gli aspetti geologici sono stati trattati dal geol. Michelangelo Di Gioia. In premessa allo studio egli afferma che:

"Il lavoro si è sviluppato raccogliendo tutta la documentazione tecnica disponibile, fra cui foto e video da elicottero messi a disposizione dello scrivente, ed effettuando un rilievo geomorfologico finalizzato in particolare all'osservazione delle condizioni del bacino e del reticolo idrografico entro cui si è originata la colata detritica.

Fra i documenti consultati dallo scrivente si citano in particolare gli elaborati cartografici allegati al PRGC per l'adeguamento al PAI redatti dal Dott. Geol. Dario Fontan e la recentissima pubblicazione a cura del Dipartimento Sistemi Previsionali - Dipartimento Tematico Geologia e Dissesto di ARPA Piemonte "Rapporto evento del 07/06/2018 - Colata detritica nel Comune di Bussoleno"

Il limitato tempo a disposizione non ha consentito di redigere uno studio di dettaglio, ma si è cercato per quanto possibile di stimare il volume potenzialmente mobilizzabile con metodo geomorfologico, facendo anche il confronto con i dati pregressi (stime di magnitudo effettuate nell'ambito del PRGC) e con le stime di volumetria effettuate sul materiale sedimentato in conoide. Occorre sottolineare che la colata detritica di cui si tratta ha avuto come elemento predisponente la notevole alterazione dello stato naturale dei versanti determinata dagli incendi che si sono verificati lo scorso autunno: nel bacino del Rio Comba delle Foglie l'incendio ha distrutto completamente vaste superfici di bosco."

L'attività prosegue poi mostrando un confronto tra le foto satellitari del bacino pre (2015) e post incendi (2017), così come riportato di seguito.

Figura 7 – Confronto tra riprese satellitari del bacino pre e post incendi (2015 e 2017. Fonte: Google)

Rinviando allo specifico elaborato per eventuali dettagli, qui se ne richiamano sinteticamente i principali contenuti, oltre a quelli già citati e riportati in premessa. L'esperto prosegue infatti inquadrando la zona dal punto di vista geografico, geomorfologico e geologico.

Da quest'ultimo punto di vista è possibile fare riferimento al Foglio 154 *"Susa"* della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 e alla *Carta Geologico-Strutturale e litotecnica* del PRGC.

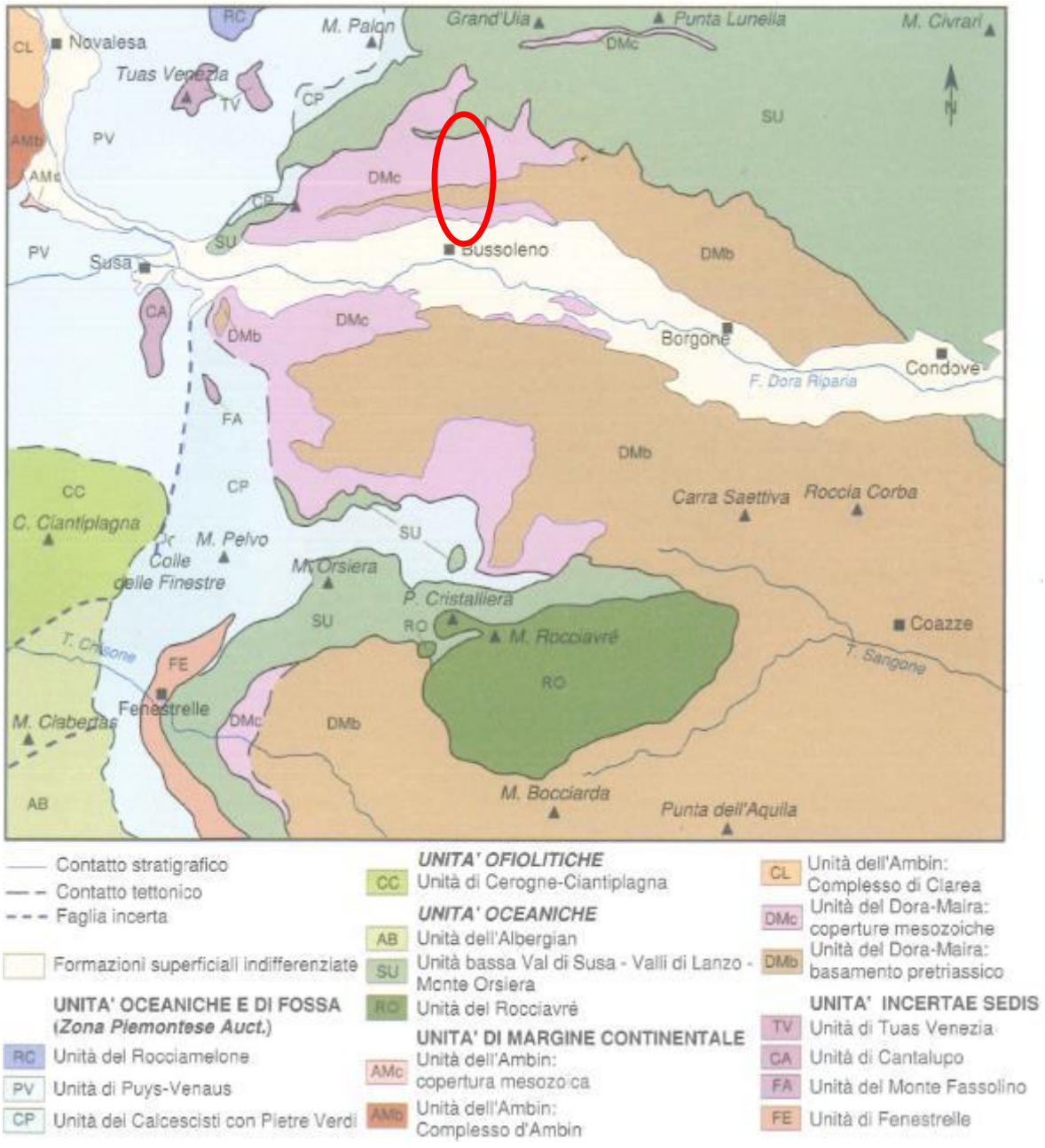


Figura 8 – Schema tettonico tratto dal Foglio 154 "Susa" della CGI

Lo schema tettonico soprastante mostra che il bacino in esame è caratterizzato da diverse unità geologiche: il settore più elevato del bacino comprende i litotipi dell'*Unità bassa Val di Susa – Valli di Lanzo – Monte Orsiera* (colore verde) mentre nel restante settore a Sud affiorano litotipi appartenenti *all'Unità del Dora-Maira* (coperture mesozoiche e basamento pretriassico).

La carta geologica indica che i litotipi affioranti in testata (*Unità bassa Val di Susa – Valli di Lanzo – Monte Orsiera*) sono rappresentati in prevalenza da serpentiniti e serpentinoscisti (OSS). A quota inferiore affiorano calcescisti con subordinate intercalazioni di calcescisti marmorei (PCS), mentre nella zona centrale del bacino sono presenti marmi più o meno dolomitici con aspetto saccaroide e colore ocra (PMC).

Figura 9 – Carta geologica, tratta dal Foglio 154 Susa della CGI.
La perimetrazione indicativa del bacino è delimitata da una linea rossa.

Scendendo di quota compare una fascia di calcescisti marmorei con subordinate intercalazioni di calcescisti filladici (MCF) e poi di metadolomie listate o massicce di colore bianco passanti a marmi dolomitici (MMD).

La parte bassa del bacino è caratterizzata da litotipi del basamento pretriassico, in particolare micascisti (DMS) e gneiss (DLG).

Nel settore a monte dell'apice del conoide affiorano nuovamente le metadolomie e i marmi di colore bianco, molto ben visibili lungo la parete della soglia rocciosa che forma l'ultima cascata verso valle.

Anche il dott. Di Gioia concorda con la descrizione fornita da ARPA sulle cause d'innesco del fenomeno, tuttavia conduce un'ulteriore analisi sul potenziale detritico ancora presente nel bacino.

A questo proposito egli precisa che "*considerata l'urgenza degli interventi in progetto, si è proceduto con una stima speditiva basata essenzialmente sui metodi geomorfologici dei contributi unitari (Hungr, 1984) e delle aree sorgente*".

Per quanto riguarda l'applicazione del metodo di Hungr "*il reticolo idrografico è stato suddiviso in tratti omogenei (pendenza, tipologia d'alveo, ecc.); per ognuno dei tratti omogenei si è poi proceduto alla stima del volume mobilizzabile basata sia sui valori indicativi minimi e massimi delle classi di Hungr, sia su un valore medio "ragionato" in funzione delle osservazioni di terreno. Il risultato ha condotto ad un volume variabile da 14.000 a 52.000 m^3 (min e max delle classi di Hungr), e un valore medio ragionato pari a circa 21.000 m^3".*

Egli inoltre annota che "*nel bacino non sono presenti aree sorgente che normalmente corrispondono a fenomeni gravitativi o a scarpate di erosione di dimensioni significative. In questa sede si è tentato di considerare come aree sorgente alcuni settori denudati per effetto degli incendi boschivi e che risultano connessi al reticolo idrografico, pertanto potenzialmente in grado di convogliare cenere e depositi fini sull'asta principale. Tali settori sono stati perimetrati speditivamente utilizzando il DTM della Regione Piemonte e le immagini di Google del 3/11/2017.*

La somma dei contributi di queste aree fornisce un range di volumi disponibili analogo a quello determinato con il metodo di Hungr, per spessori medi compresi tra 5 e 20 cm (vedi tabella sottostante); tale ipotesi comunque dovrà essere affinata e verificata sulla base di studi più approfonditi e confronto con bacini interessati da fenomeni analoghi".

Infine, egli conclude affermando che: "*sulla base di quanto stimabile con metodo geomorfologico, si ritiene che il volume di sedimenti disponibile e potenzialmente mobilizzabile sia superiore a quello effettivamente depositato sul conoide durante l'evento del 07/06/2018. I volumi minimi e massimi stimati col metodo geomorfologico hanno una buona corrispondenza con quanto riportato nel PRGC, e che in tal senso l'evento del 2018 si colloca nella parte inferiore dell'intervallo di variazione. La media "ragionata" del volume disponibile (metodo di Hungr) sembra corrispondere alla magnitudo dell'evento del 2018. L'assenza di altri eventi documentati di fatto non consente una miglior calibrazione del modello*".

In sintesi, si può assumere cautelativamente che il volume di materiale ancora disponibile sul bacino sia pari o superiore a quello trasportato a valle durante l'ultimo evento.

Sulla base degli elementi attualmente a disposizione è infine possibile formulare due scenari ipotetici in relazione alla possibilità che si verifichino, negli anni a venire, eventi simili a quello recentemente accaduto:

- il primo scenario, più favorevole, ipotizza un dilavamento progressivo del terreno detritico dai versanti e il conseguentemente accumulo nelle varie aste e soprattutto nell'alveo principale. Si tratterebbe in sostanza di un lento processo di "ricarica" del bacino, al quale andrebbe a sommarsi l'effetto di stabilizzazione operato dalla ricrescita della vegetazione sulla superficie denudata dei versanti, in grado di ridurre l'azione erosiva delle acque ruscellanti. Tale processo potrebbe riportare il bacino nelle condizioni in cui si trovava prima dell'incendio, verosimilmente con abbondanti depositi in alveo in grado di drenare e rallentare i deflussi idrici;
- un secondo scenario, decisamente meno favorevole, potrebbe ovviamente verificarsi a seguito di un evento pluviometrico molto intenso, con tempo di ritorno pluridecennale, in grado di generare importanti fenomeni di dissesto nel bacino (areali e/o puntuali) e la conseguente produzione di ingenti quantità di materiale detritico mobilizzabile, dando così origine ad una colata detritica di elevata magnitudo.

Si tratta di scenari differenti, che evidenziano la notevole complessità circa le valutazioni geomorfologiche e idrauliche di un bacino come quello in esame. Indicazioni più precise richiedono tempi di studi idonei e potranno essere svolte nelle successive fasi di progettazione, soprattutto tramite l'esecuzione di specifici rilievi di dettaglio.

5.2 ANALISI IDROLOGICO-IDRAULICA

Al di là delle valutazioni condotte da ARPA Piemonte, di cui si è dato ampio conto in precedenza, gli Scriventi hanno sviluppato delle specifiche analisi di carattere idrologico e idrauliche volte sia a definire le dinamiche che hanno portato alla formazione della colata di detrito in oggetto, sia di calcolare sulla base dei dati disponibili lo ietogramma e l'entità delle portate di piena della colata detritica (debris-gramma) che ha interessato il bacino del rio Reforno durante l'evento meteorico del 07/06/2018.

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

Rinviando allo specifico elaborato per ogni dettaglio, di seguito si riportano sinteticamente gli elementi ritenuti più importanti.

L'attività è stata sviluppata innanzitutto caratterizzando il bacino idrografico dal punto di vista morfologico, il che ha consentito di calcolarne il tempo di corrivazione associato mediante l'applicazione delle formule empiriche più attendibili disponibili in letteratura. Il dato ottenuto è pari a 12 minuti.

Si è dunque proceduto al calcolo del Curve Number, ossia dell'indice di ritenzione potenziale del suolo che dipende dalla pedologia, dal tipo e grado di copertura del suolo e dal grado di umidità iniziale del terreno.

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

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

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

Sulla scorta delle informazioni pluviometriche fornite da ARPA Piemonte e dei dati calcolati dagli Scriventi è stato possibile ricostruire lo ietogramma dell'evento pluviometrico, così come riportato di seguito.

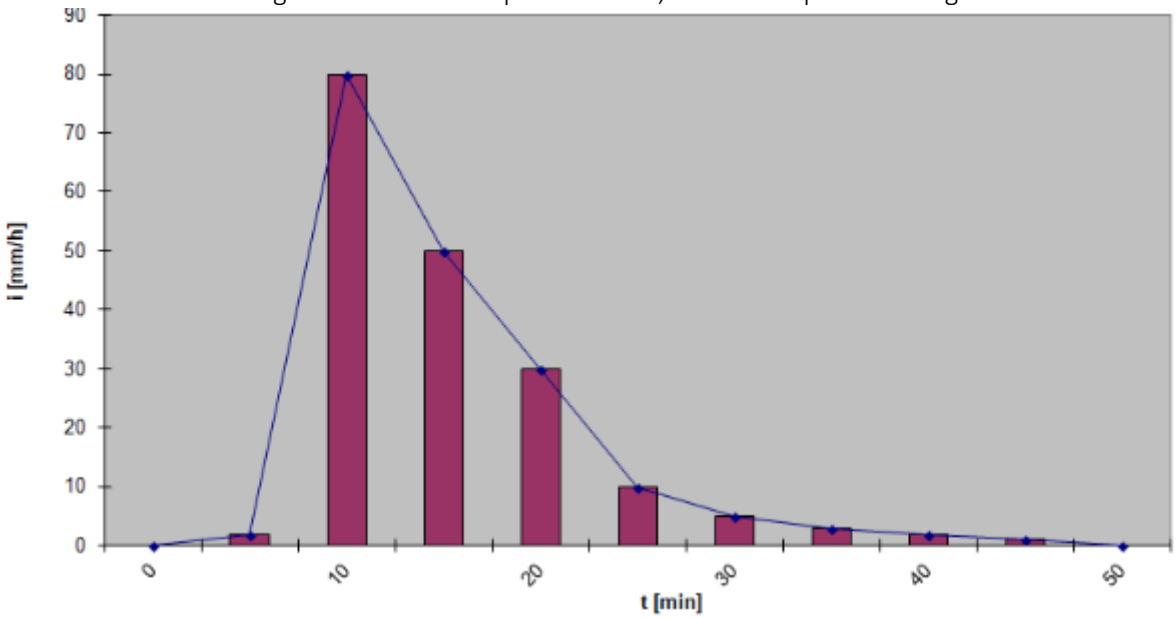


Figura 10 – Ietogramma preliminare dell'evento pluviometrico del 07/06/2018 ricostruito sulla base delle indicazioni fornite da Arpa Piemonte nel rapporto di evento

Inoltre, l'analisi delle serie storiche dei massimi di pioggia per 10', 20', 30', 1h, 3h, 6h, 12h e 24h ha consentito di calcolare le altezze di pioggia attese per differenti durate e tempi di ritorno.

Tabella 1 – Altezze di pioggia per differenti tempi di ritorno (media di dati GEV Arpa Piemonte su 4 celle caratteristiche del bacino idrografico del rio Reforno)

Durata	Tempo di ritorno in anni						
	2	5	10	20	50	100	200

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

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

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

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

Nel presente studio si è fatto ricorso ad uno ietogramma triangolare, denominato ietogramma Chicago. A titolo di esempio nella figura seguente è riportato quello calcolato per un evento pluviometrico di Tr 100 anni.

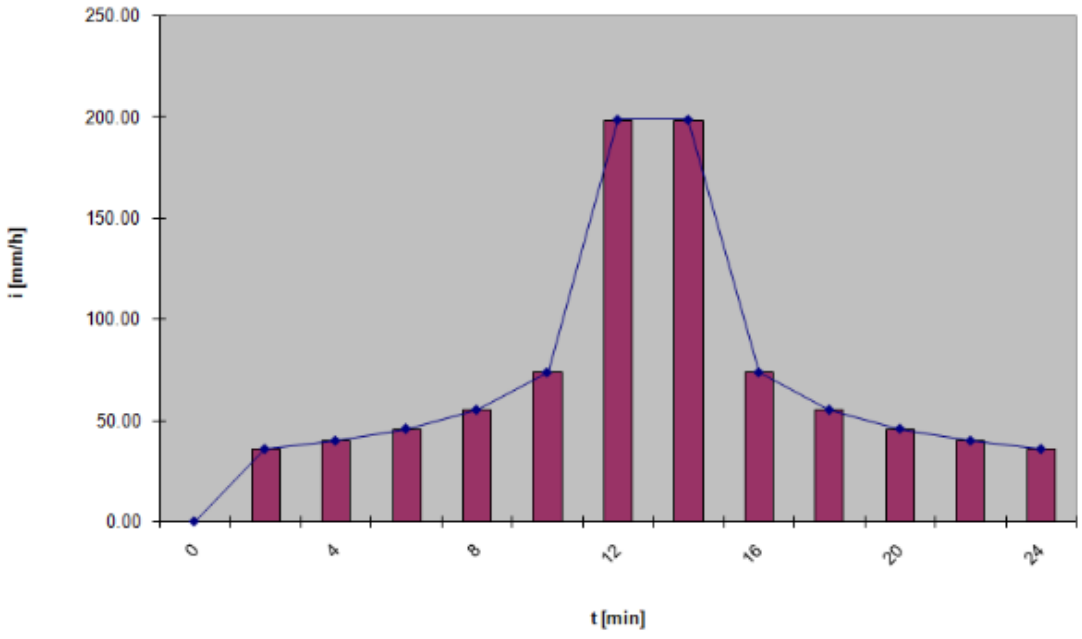


Figura 11 – Ietogramma Chicago calcolato per Tr 100 anni con tempo di pioggia (24 min) pari a 2 volte il tempo di corrivazione

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

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

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

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

Nella seguente tabella si riportano i risultati ottenuti mediante applicazione del metodo razionale.

Tabella 2 – Portate liquide al colmo calcolate con metodo razionale

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

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

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

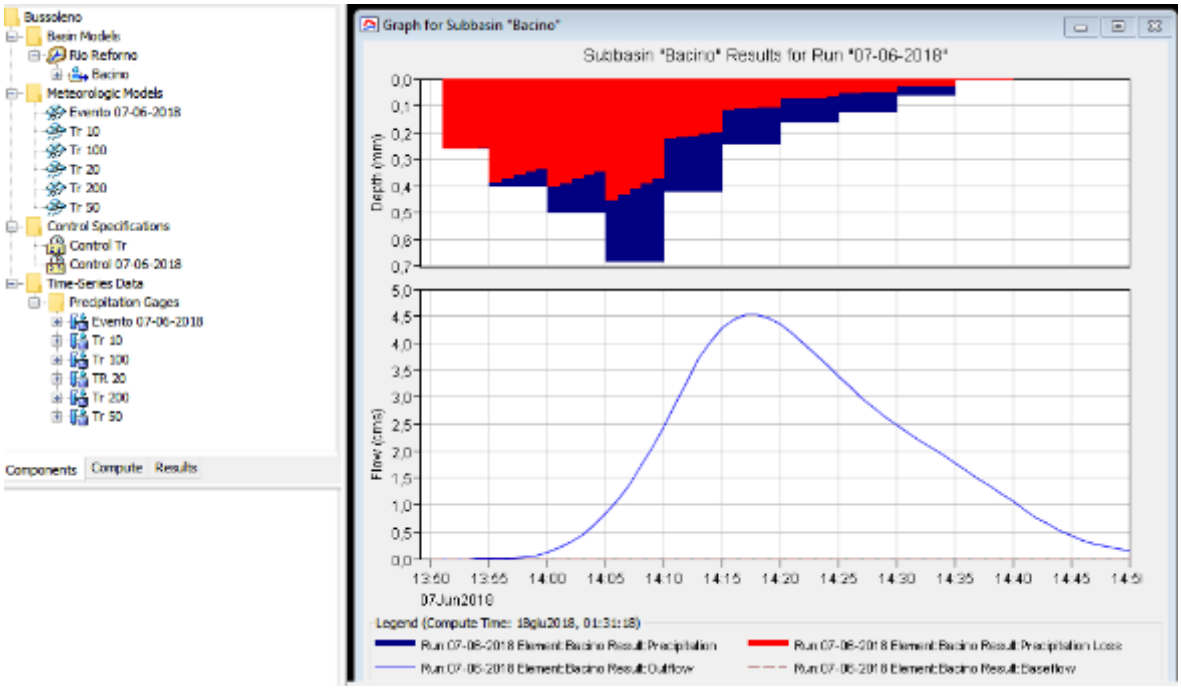


Figura 12 – Allestimento del modello di simulazione afflussi-deflussi con software HEC-HMS per il calcolo dell'idrogramma di piena per l'evento del 07/06/2018 e per eventi pluviometrici attesi per vari tempi di ritorno

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

Tabella 3 – Portate liquide al colmo calcolate con il software HEC-HMS

Evento pluviometrico	Q_{MAX} [m³/s]
Evento del 07/06/2018	4,5
TR 10 anni	1,8
TR 20 anni	3,1
TR 50 anni	5,3
TR 100 anni	7,5
TR 200 anni	10,0

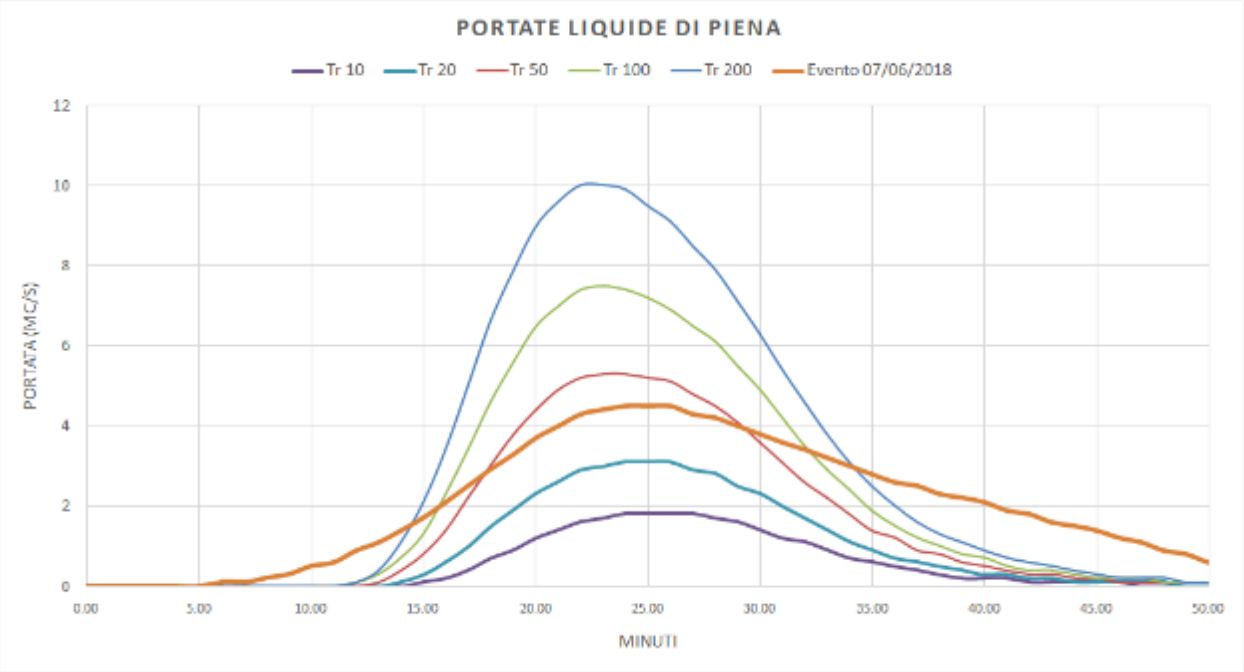


Figura 13 – Idrogrammi di piena calcolati con il modello HEC-HMS per eventi pluviometrici attesi per differenti tempi di ritorno e per l'evento del 07/06/2018

Alla luce di quanto descritto nella specifica relazione si ritengono maggiormente rappresentativi i risultati di queste ultime simulazioni condotte con il modello afflussi-deflussi, adottate per il calcolo delle portate di trasporto solido iperconcentrato.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

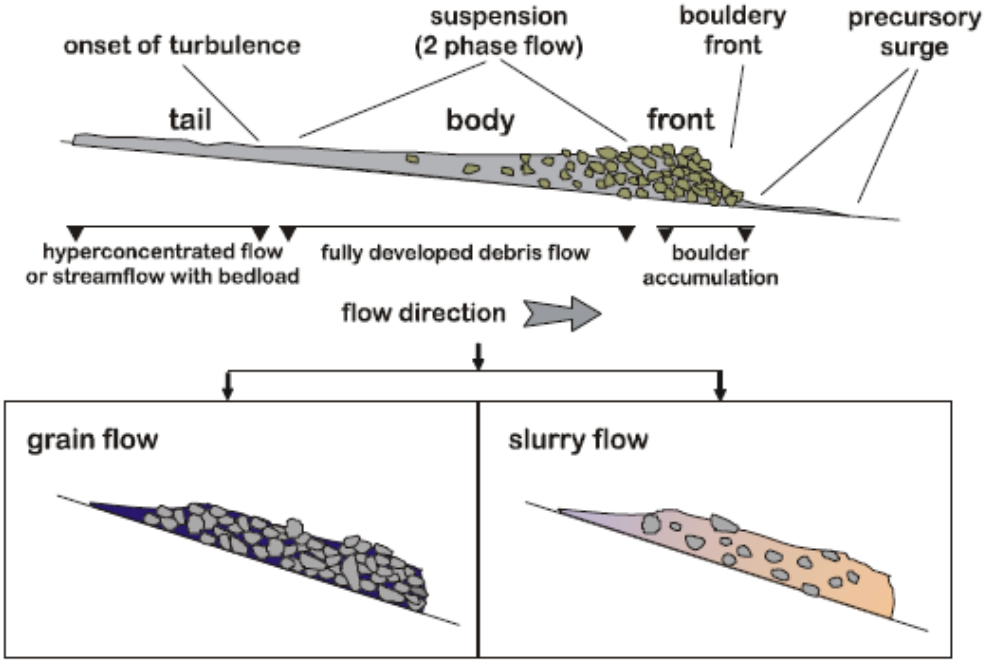


Figura 14 – Schema grafico di un'onda di debris flow

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

Figura 15 – Sezione poco a monte della cascata ubicata a ridosso del conoide. La colata presenta una sezione di ampiezza pari a circa 20-30 m²

Alla luce delle considerazioni esposte in ragione della sezione della colata rilevata in alcune sezioni dell'alveo e della velocità di deflusso che presumibilmente aveva la stessa durante l'evento (dell'ordine di alcuni metri al secondo, in funzione della sezione di deflusso e della pendenza locale dell'alveo), si ritiene attendibile una stima del colmo di piena per l'evento di mud/debis-flow del 07/06/2018 in circa 60-100 m^3/s.

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

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

Tabella 4 – Portate di picco della colata di mud-flow relativa all'evento del 07/06/2018 calcolate in funzione della portata liquida dell'idrogramma di piena individuata con modello afflussi deflussi e della concentrazione di equilibrio della colata.

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

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

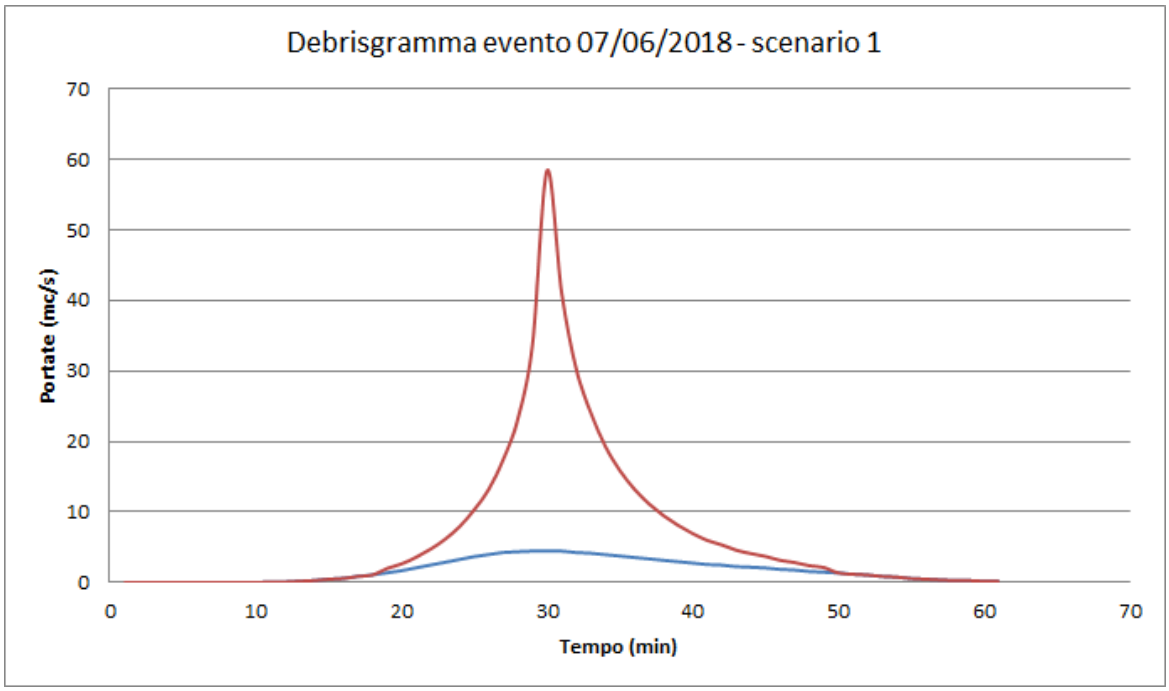


Figura 16 – Debrisgramma dell'evento del 07/06/2018 – Scenario 1

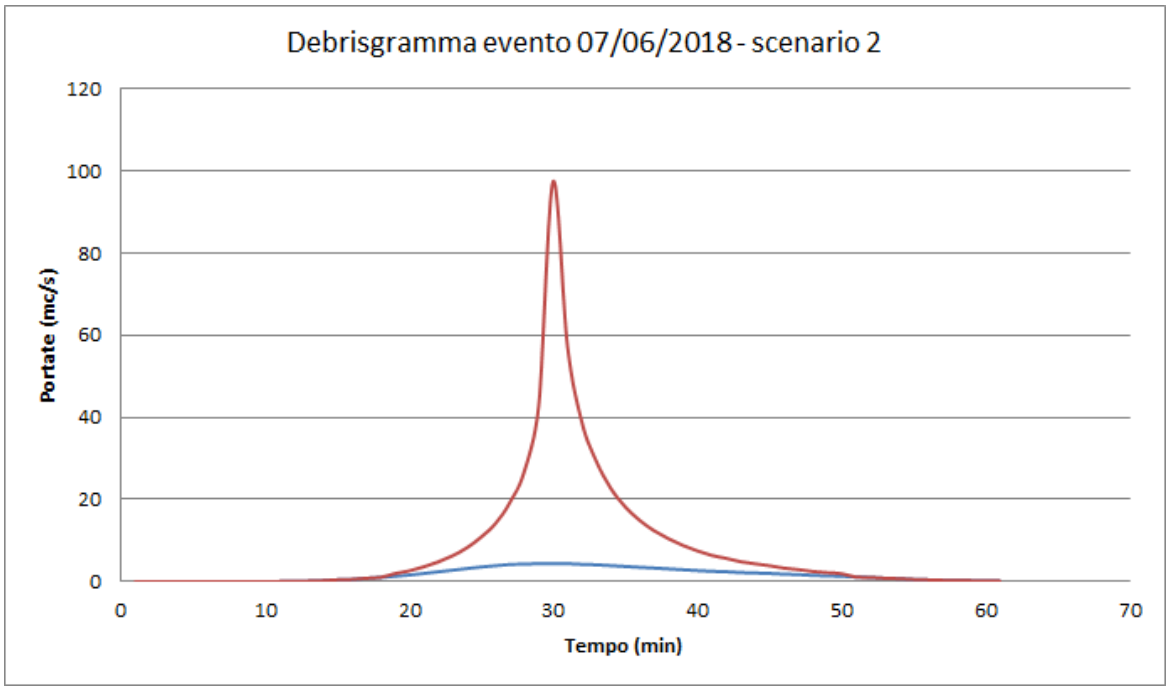


Figura 17 - Debrisgramma dell'evento del 07/06/2018 – Scenario 2

Dai grafici di Figura 16 e Figura 17 è possibile ricavare il volume della colata che verosimilmente ha interessato il conoide del rio Reforno nel corso dell'evento di colata del 07/06/2018 per i due scenari di simulazione (cfr. Tabella 5).

Tabella 5 – Volume della colata relativa all'evento di mud-flow che ha interessato il bacino del rio Reforno in data 07/06/2018 e calcolato per i due scenari di simulazione illustrati

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

I volumi calcolati per la colata di mud/debris-flow del 07/06/2018 sono pertanto compresi all'incirca tra 18'000 e 24'000 m^3 di materiale solido, valori coerenti con quelli indicati da Arpa nel "*Rapporto evento del 07/06/2018 - Colata detritica nel comune di Bussoleno*".
Il volume è anche analogo a quanto è stato possibile ricostruire a posteriori mediante perimetrazione del deposito sul conoide e misura degli spessori.

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

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

Tabella 6 – Portate e volumi caratteristici per eventi di debris flow attesi per differenti tempi di ritorno

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

Il calcolo per i differenti tempi di ritorno dei volumi di materiale solido potenzialmente mobilitabili nel corso di eventi di colata di detrito sono del tutto compatibili con il calcolo dei volumi effettivamente disponibili individuati nella relazione geologica di Elab. 02 (volume massimo 52.000 m^3).

5.3 CALCOLI DELLE STRUTTURE

Nella specifica relazione, cui si rinvia per ogni dettaglio, sono descritte le verifiche strutturali condotte per assicurare l'opportuna resistenza delle nuove opere alle diverse azioni attese.

In particolare, sono state svolte le seguenti verifiche:

- Analisi sismica;
- Calcolo della spinta attiva sui rilevati dei bacini d'accumulo;
- Calcolo della spinta in presenza d'acqua a tergo della struttura;
- Calcolo della forza d'impatto della colata.

Le opere in progetto sono opere funzionali alla trattenuta del materiale solido e dell'impatto prodotto da una colata di detrito impattante sulla struttura.

Nelle analisi di dimensionamento delle opere sono state considerate le analisi secondo due configurazioni di progetto:

1. impatto dinamico della colata sull'opera;
2. deposizione della colata e influenza della spinta di deposito sull'opera di sostegno

Data la ridottissima probabilità che un evento di colata di detrito possa manifestarsi contemporaneamente ad un evento di sisma secondo i coefficienti sismici appositamente definiti, l'azione sismica è stata considerata esclusivamente nella seconda delle due analisi di stabilità.

Si è inoltre provveduto a definire con esattezza il materiale che dovrà costituire i rilevati, che saranno realizzati in terreno opportunamente selezionato e protetto a monte da una scogliera in massi ciclopici. Particolare cura dovrà essere posta nella realizzazione del rilevato, soprattutto per quanto riguarda il costipamento del materiale.

Considerando che gli scavi in corso per la pulizia delle aree in cui si è deposto il materiale detritico e quelli per l'allargamento dell'invaso lungo i settori laterali forniranno un'ingente quantità di terreno, si specifica che tale materiale potrà essere utilizzato per la realizzazione del rilevato previa opportuna miscelazione nella misura del 50% con materiale più grossolano appartenente alla categoria A1-a della classificazione CNR-UNI 10006, derivante da impianti estrattivi o di riciclo (ghiaia sabbiosa naturale o pietrisco da frantumazione o materiale riciclato di idonee caratteristiche granulometriche).

Classificazione generale	Terre ghiaio - argillose Frazione passante allo staccio 0.075 UNI 2332 ≤ 35%							Terre limo - argillose Frazione passante allo staccio 0.075 UNI 2332 > 35%					Torbe e terre organiche palustri
Gruppo	A 1		A 3	A 2				A 4	A 5	A 6	A 7		A 8
Sottogruppo	A 1-a	A 1-b		A 2-4	A 2-5	A 2-6	A 2-7				A 7-5	A 7-6	
Analisi granolumetrica Frazione passante allo staccio 2 UNI 2332 % 0,4 UNI 2332 % 0,075 UNI 2332 %	 ≤ 50 ≤ 30 ≤ 15	 – ≤ 50 ≤ 25	 – > 50 ≤ 10	 – – ≤ 35	 – – ≤ 35	 – – ≤ 35	 – – ≤ 35	 – – > 35	 – – > 35	 – – > 35	 – – > 35	 – – > 35	
Caratteristiche della frazione passante allo staccio 0,4 UNI 2332 Limite liquido Indice di plasticità	 – ≤ 6		 – N.P.	 ≤ 40 ≤ 10	 > 40 ≤ 10	 ≤ 40 > 10	 > 40 > 10	 ≤ 40 ≤ 10	 > 40 ≤ 10	 ≤ 40 > 10	 > 40 > 10 IP≤LL. 30	 > 40 > 10 IP>LL. 30	
Indice di gruppo	0		0	0		≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 16	≤ 20		
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	Ghiaia o breccia, ghiaia o breccia sabbiosa, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane		Sabbia fina	Ghiaia e sabbia limosa o argillosa				Limi poco compressibili	Limi fortemente compressibili	Argille poco compressibili	Argille fortemente compressibili mediamente plastiche	Argille fortemente compressibili fortemente plastiche	Torbe di recente o remota formazione, detriti organici di origine palustre
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo	Da eccellente a buono					Da mediocre a scadente							Da scartare come sottofondo
Azione del gelo sulle qualità portanti del terreno di sottofondo	Nessuna e lieve			Media				Molto elevata		Media	Elevata	Media	
Ritiro o rigonfiamento	Nullo			Nullo o lieve				Lieve o medio		Elevato	Elevato	Molto elev.	
Permeabilità	Elevata			Media o scarsa						Scarsa o nulla			
Identificazione dei terreni in sito	Facilmente individuabili a vista		Aspri al tatto. Incoerenti allo stato asciutto	La maggior parte dei granuli sono individuabili ad occhio nudo. Aspri al tatto. Una tenacità media o elevata allo stato asciutto indica la presenza di argilla.				Reagiscono alla prova di scuotimento*. Polverulenti o poco tenaci allo stato asciutto. Non facilmente modellabili allo stato umido.		Non reagiscono alla prova di scuotimento*. Tenaci allo stato asciutto. Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido.			Fibrosi di color bruno o nero. Facilmente individuabili a vista.

* Prova di cantiere che può servire a distinguere i limi dalle argille. Si esegue scuotendo nel palmo della mano un campione di terra bagnata e comprimendolo successivamente fra le dita. La terra reagisce alla prova se, dopo lo scuotimento, apparirà sulla superficie un velo lucido di acqua libera, che scomparirà comprimendo il campione fra le dita.

Figura 18 – Classificazione delle terre CNR-UNI 10006

Nella realizzazione dei rilevati sarà fondamentale la posa a strati successivi, dello spessore massimo non superiore a 30 cm, ciascuno compattato con rullo vibrante (almeno 5 + 5 passaggi in un senso e nell'altro), possibilmente con umidità prossima al valore ottimale Proctor modificato.

Particolare cura dovrà anche essere destinata alla realizzazione della barriera flessibile in acciaio (rete debris flow) prevista lungo l'alveo del rio Reforno.

La struttura di intercettazione sarà costituita da materiali appositamente selezionati e avrà caratteristiche prestazionali e costruttive ben definite, così come prescritto nel Capitolato d'Appalto e negli specifici elaborati grafici.

La rete sarà opportunamente ancorata sulle sponde dell'alveo mediante tiranti di lunghezza non inferiore a 7,0 m.

6. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI IN SOMMA URGENZA PER IL CONTENIMENTO DEL TRASPORTO SOLIDO IN APICE DI CONOIDE

Sulla scorta delle analisi e dei numerosi sopralluoghi condotti e sinteticamente descritti in precedenza, gli Scriventi hanno individuato una serie di opere da realizzare in somma urgenza nel rispetto di quanto ordinato dal Sindaco di Bussoleno.

La tipologia delle opere è stata attentamente definita in modo da coniugare le esigenze di:

- conseguimento dell'obiettivo di mitigazione del rischio, ancorché parziale;
- rapidità e facilità di reperimento dei materiali da costruzione;
- rapidità e facilità di esecuzione delle lavorazioni;
- copertura finanziaria disponibile;
- possibilità di essere integrate in futuro con ulteriori interventi di potenziamento/rinforzo per giungere ad una sistemazione definitiva delle aree a rischio.

In particolare, le opere previste in somma urgenza sono di tipologia prevalentemente passiva:

- Barriera flessibile in acciaio per la protezione dalle colate detritiche in alveo;
- Bacino di accumulo del trasporto solido in apice di conoide;
- Bacino di accumulo del trasporto solido supplementare.

6.1 BARRIERA FLESSIBILE IN ACCIAIO PER LA PROTEZIONE DALLE COLATE DETRITICHE IN ALVEO

La scelta della barriera in acciaio è stata attentamente valutata sia in termini di localizzazione, sia di specifica tipologia costruttiva per ottimizzare le prestazioni attese nonostante il breve tempo disponibile per la progettazione.

In particolare, la localizzazione è stata definita in maniera tale da coniugare i seguenti principali aspetti:

- Massimizzazione del volume di accumulo a tergo dell'opera;
- Facilità di accesso per le operazioni di realizzazione e futura manutenzione;
- Idoneità della sezione d'alveo in termini di larghezza non eccessiva e presenza di versanti in grado di consentire il corretto ancoraggio dell'opera.

La tipologia di rete in acciaio (cfr. Capitolato speciale d'appalto) è stata definita con precisione in maniera tale da adattarsi alle specifiche caratteristiche granulometriche del particolare evento di colata verificatosi nel bacino del rio Reforno (materiale estremamente fine).

In particolare, la rete di tipologia classica sarà opportunamente modificata applicando a monte una rete a maglia più fine per garantire la tenuta al materiale costituente il debris di progetto.

Figura 19 – Test in campo e in laboratorio eseguiti su reti analoghe a quelle previste in progetto

Rinviando agli specifici elaborati grafici per ogni dettaglio, di seguito si riporta la localizzazione prevista per il nuovo sbarramento flessibile.

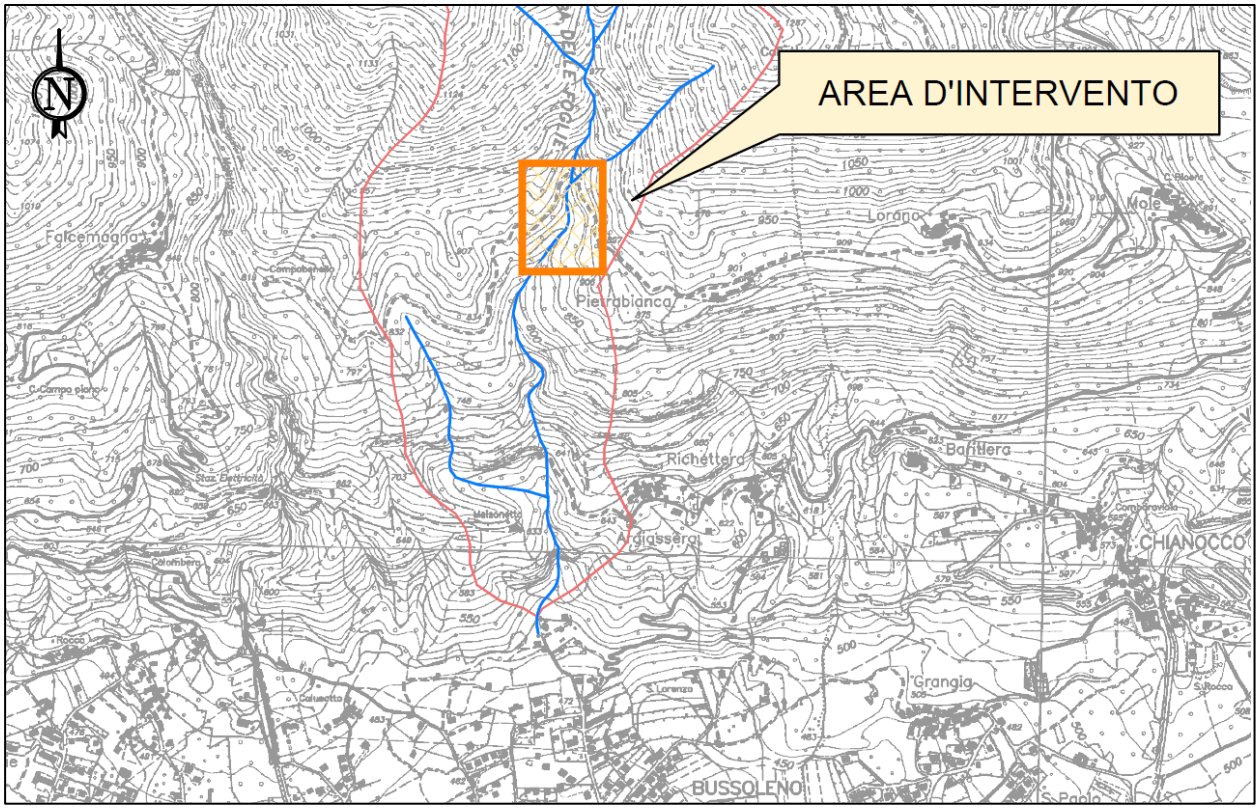


Figura 20 – Localizzazione dell'intervento di realizzazione della barriera flessibile

Di seguito si riporta inoltre uno stralcio della planimetria di progetto dal quale emerge la modalità di installazione della barriera, che dovrà essere eseguita da personale tecnico specializzato.

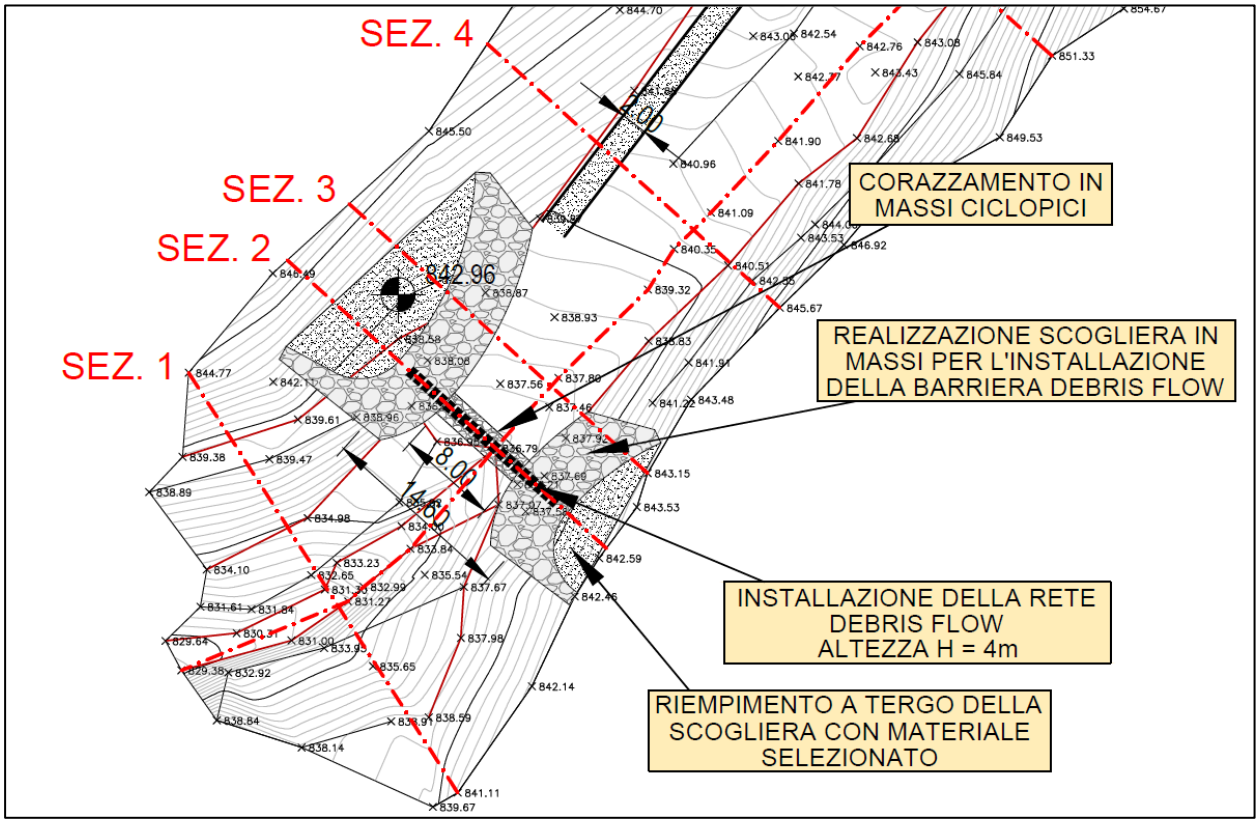


Figura 21 – Stralcio della planimetria di progetto della barriera flessibile in acciaio

La nuova barriera consentirà di accumulare a tergo circa 4'000 m^3 di materiale nel caso in cui si verificasse una nuova colata detritica, come si può osservare nel seguente profilo di progetto.

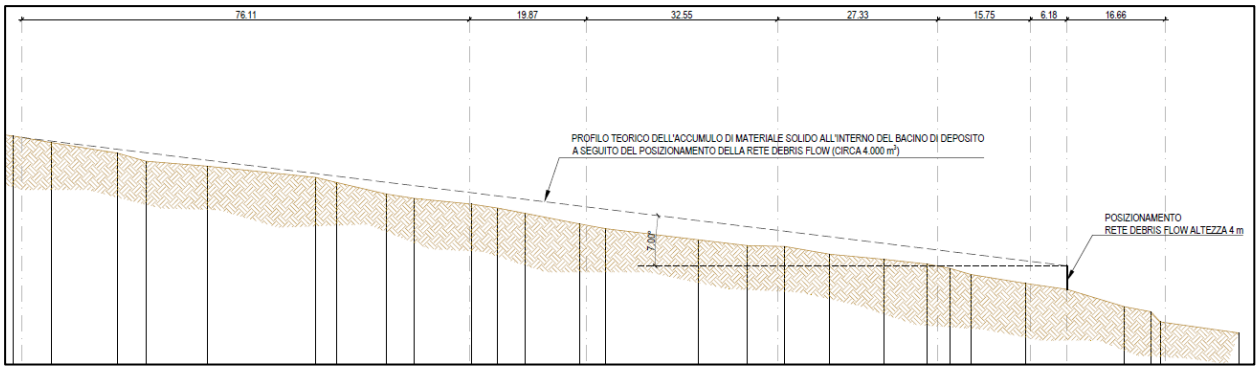


Figura 22 – Stralcio del profilo di progetto della barriera flessibile in acciaio

6.2 BACINI DI ACCUMULO DEL TRASPORTO SOLIDO IN APICE DI CONOIDE

Al fine di mitigare ulteriormente il rischio che una nuova colata detritica investa il concentrico di Bussoleno, gli Scriventi ritengono indispensabile realizzare ulteriori due sbarramenti finalizzati alla creazione di altrettanti bacini di accumulo del trasporto solido in apice di conoide.

Gli stessi saranno realizzati mediante la costruzione di rilevati trasversali all'alveo e collocati come rappresentato nella successiva figura e negli specifici elaborati grafici.

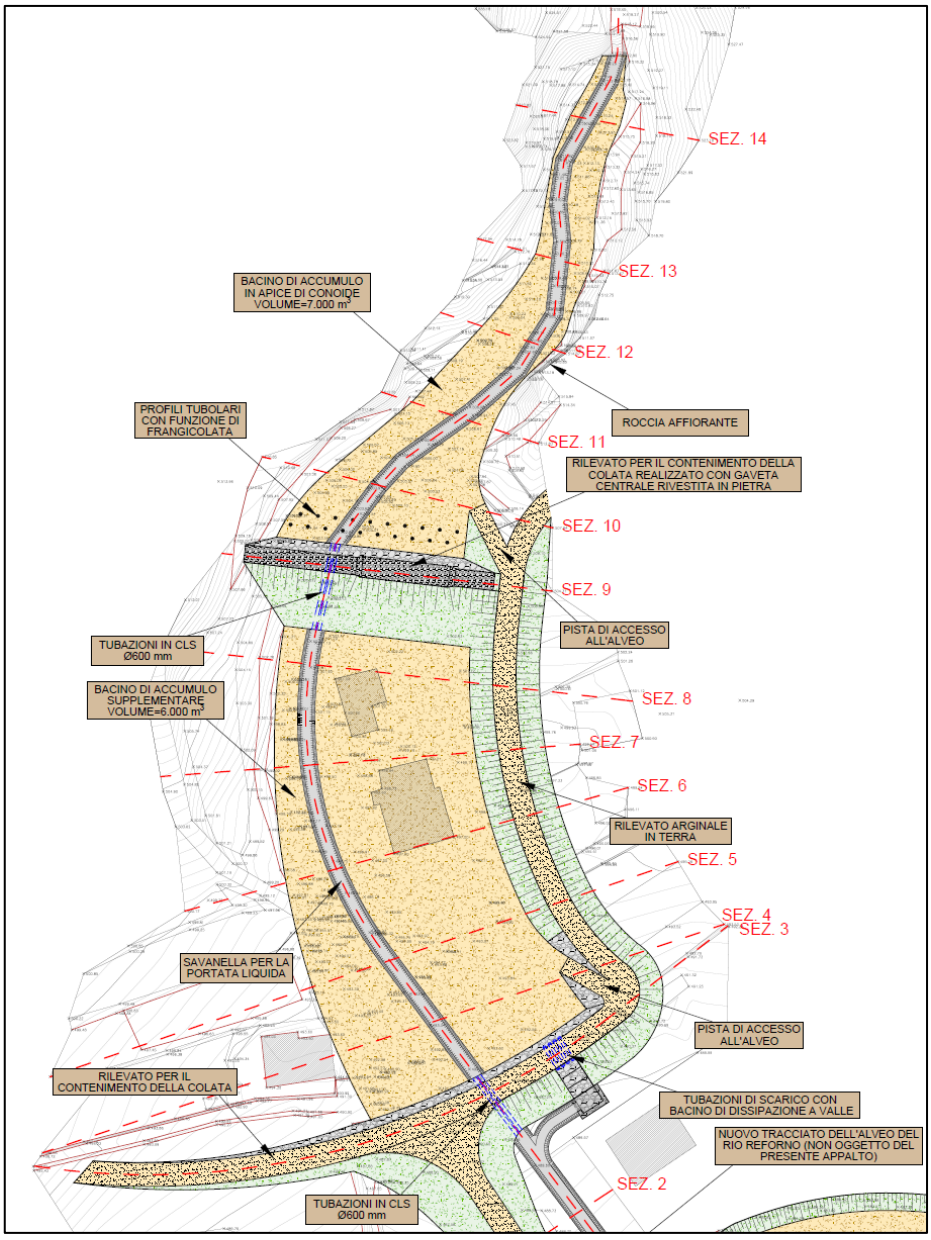


Figura 23 – Stralcio della planimetria di progetto dei bacini di accumulo previsti in apice di conoide

I rilevati saranno realizzati in materiale terroso, steso e compattato per strati, e saranno opportunamente protetti a monte con massi ciclopici e sul paramento di valle da un geosintetico tridimensionale con funzione antierosiva.

Le opere saranno equipaggiate con tubazioni passanti, poste a quote diverse per consentire il drenaggio delle portate liquide. Per evitare che quelle inserite nel rilevato di monte si intasino di materiale solido, pregiudicandone il funzionamento, si prevede l'infissione di micropali direttamente nel substrato roccioso a monte dello sbarramento, disposti in pianta a quinconce, affinché svolgano il ruolo di frangi-colata e favoriscano il deposito del materiale più grossolano (tronchi, rami, etc.).

Sulla sommità dei rilevati sarà realizzata una gàveta per consentire il regolare sfioro delle portate nel caso in cui i bacini dovessero colmarsi.

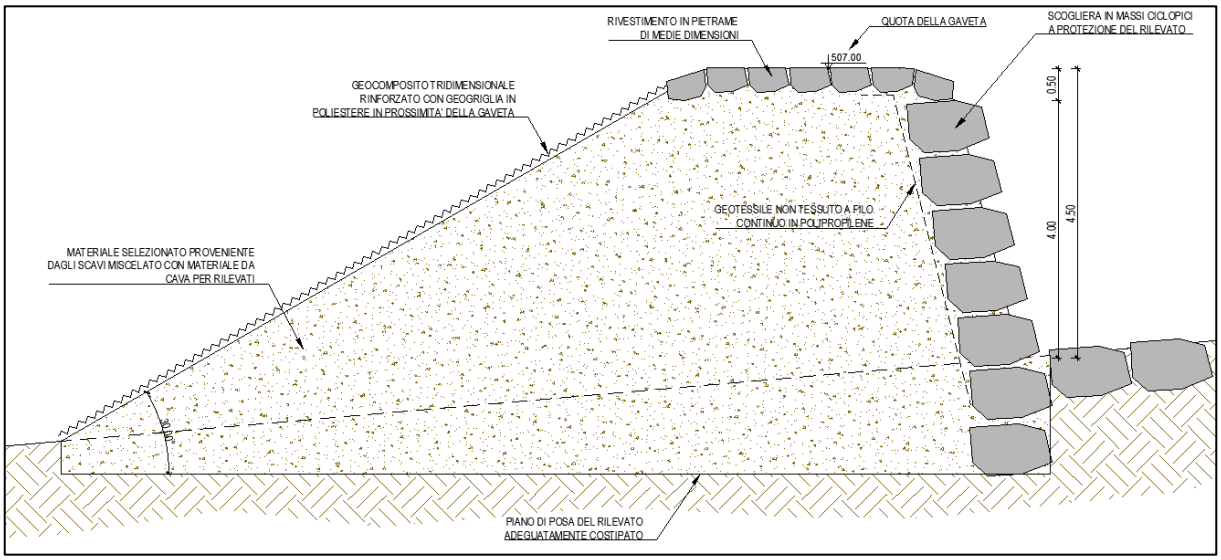


Figura 24 – Sezione tipo dello sbarramento del bacino d'accumulo di monte

I due bacini di accumulo consentiranno il deposito rispettivamente di 7'000 e 6'000 m^3 di materiale solido, per un volume complessivo di deposito stimato per le nuove tre opere di 17'000 m^3, pari a circa l'85% di quello depositatosi in apice di conoide durante l'evento appena occorso.

Con riferimento agli eventi di progetto definiti per assegnato tempo di ritorno, nel caso in cui si verificasse un evento di colata di detrito di TR 20 anni, le opere in progetto sarebbero in grado di contenere il totale volume della colata, rilasciando a valle esclusivamente la componente liquida.

La scelta di realizzare due diversi sbarramenti posti in serie consente l'ottenimento dei seguenti vantaggi:

- Ridondanza della funzionalità, grazie alla presenza della seconda barriera in caso di malfunzionamento/sormonto di quella di monte;
- Ottimizzazione delle operazioni di manutenzione;
- Migliore idoneità alla realizzazione di futuri interventi di potenziamento/rinforzo;

- Migliore capacità di selezione della granulometria, grazie alla presenza delle putrelle frangi-colata a monte del primo sbarramento in apice di conoide.

Tra i due sbarramenti sarà realizzato il primo tratto del collettore delle portate liquide al recapito finale. Il prolungamento del collettore a valle dello sbarramento supplementare sarà realizzato nell'ambito dello specifico progetto di somma urgenza sviluppato dagli Scriventi parallelamente al presente.

7. QUADRO ECONOMICO DEGLI INTERVENTI DI SOMMA URGENZA

Di seguito si riporta il quadro economico degli interventi, rammentando che i prezzi unitari applicati nel computo metrico sono da intendersi già ribassati ai sensi dell'art.163 comma 3 del D.lgs. 50/16 che disciplina l'esecuzione dei lavori di somma urgenza.

QUADRO ECONOMICO		
SOMMA URGENZA - CONTENIMENTO TRASPORTO SOLIDO		
A) LAVORI		
Lavori a corpo		
01) Rete in acciaio per debris-flow	€	63'351.41
02) Bacino di accumulo in apice di conoide	€	61'648.41
03) Bacino di accumulo supplementare	€	92'500.77
TOTALE	€	*217'500.59*
Ribasso dei prezzi del 20% ai sensi dell'art.163 c. 3 del D.lgs. 50/2016	€	(43'500.12)
Arrotondamento	€	(0.47)
TOTALE INTERVENTI	**€**	***174'000.00***
S1) oneri per la sicurezza specifici	€	2'000.00
TOTALE LAVORI A (01+S1)	**€**	**176'000.00**
S2) oneri per la sicurezza diretti	€	4'500.00
TOTALE ONERI PER LA SICUREZZA S (S1+S2)	€	6'500.00
B) SOMME A DISPOSIZIONE		
B1) Spese tecniche progettazione definitiva, esecutiva, CSP, DL e CSE	€	18'517.75
B2) Contributo INARCASSA (4% di B1)	€	740.71
B3) IVA su spese tecniche e oneri previdenziali	€	4'236.86
B4) Quota responsabile del procedimento (2% importo lavori)	€	3'520.00
B5) IVA su importo lavori	€	38'720.00
B6) Espropri, indennizzi, ecc.	€	5'000.00
B7) Imprevisti e arrotondamenti	€	3'264.68
TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE B)	**€**	**74'000.00**
TOTALE FINANZIAMENTO (A + B)	**€**	**250'000.00**

8. INDICAZIONI PER GLI INTERVENTI DI COMPLETAMENTO/POTENZIAMENTO DA REALIZZARSI CON FINANZIAMENTI SUCCESSIVI

La descrizione delle attività condotte, riportata nella presente relazione, consente di comprendere sia la procedura adottata dagli Scriventi per la definizione degli interventi di somma urgenza, sia di comprendere come gli stessi non siano ovviamente in grado di raggiungere un livello accettabile di mitigazione del rischio letto in chiave di sistemazione definitiva.

Come visto infatti le opere in progetto saranno in grado di accumulare l'intero volume di un evento caratterizzato da un tempo di ritorno ventennale, ma soltanto una frazione di quanto stimato per tempi di ritorno più lunghi.

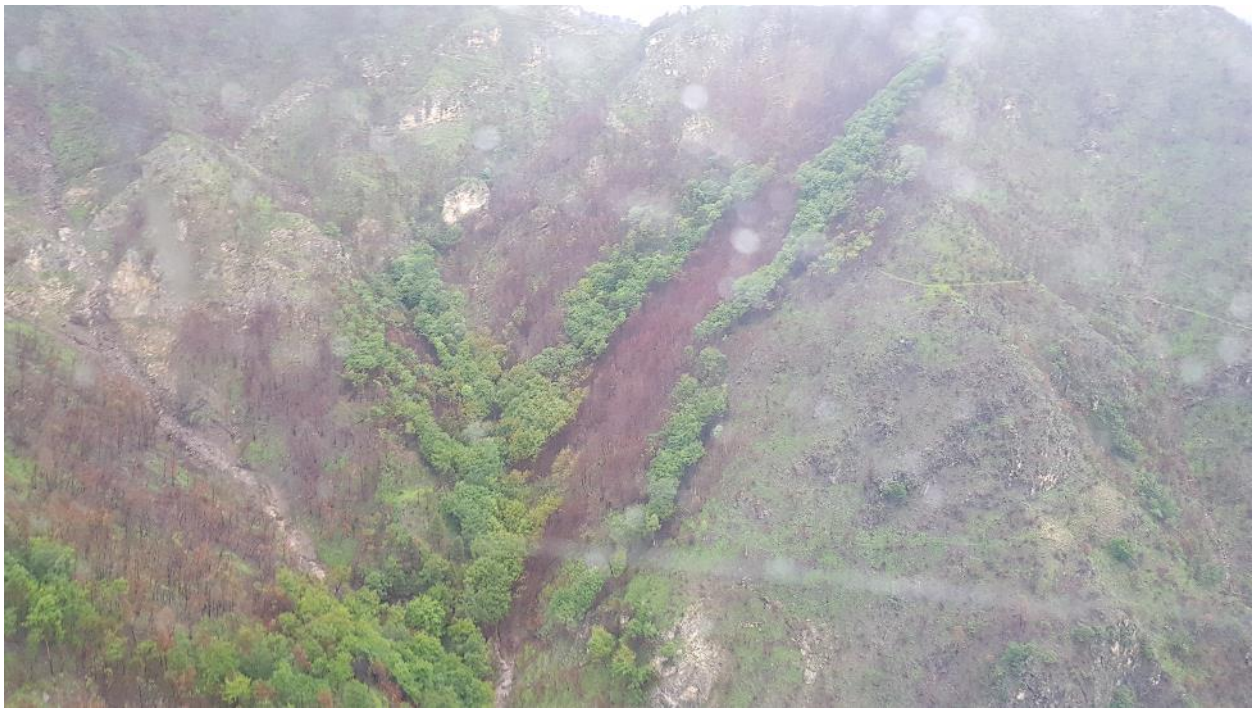
Sarà dunque necessario quanto prima realizzare delle opere di completamento/potenziamento in grado di far fronte sia in termini di dimensionamento, sia di adeguatezza strutturale ad un evento di progetto per lo meno caratterizzato da una frequenza di accadimento secolare.

Si rinvia pertanto alle successive fasi progettuali per il conseguimento di tale obiettivo.

ALLEGATI

ALLEGATO 1

– Documentazione fotografica realizzata nell'immediato post-evento –



ALLEGATO 2

– Ordinanza sindacale n.80 del 14 giugno 2018 –

Prot. 6620

COMUNE di BUSSOLENO

CITTA' METROPOLITANA DI TORINO
C.A.P. 10053 – Piazza Cavour n. 1 - Tel. 0122/49002 - Fax 0122/640414
www.comune.bussoleno.to.it

AREA TECNICO MANUTENTIVA

ORDINANZA CONTINGIBILE ED URGENTE Numero 80 del 14.06.2018

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

IL SINDACO

Premesso che:

- nei mesi primaverili il territorio di Bussoleno è stato interessato da intense precipitazioni e da condizioni meteorologiche suscettibili da pregiudicare la stessa sicurezza della pubblica incolumità;
- che a seguito delle continue precipitazioni nel mese di maggio in particolare della pioggia impulsiva registrata il 07/06/2018, il territorio di questo Comune è stato interessato da dissesti idrogeologici che hanno provocato il trascinamento a valle di fango, materiale ligneo, pietroso e acqua, interessando pesantemente la Regione San Lorenzo, via San Lorenzo, via Camposciutto e via Nebiolera causando il cedimento di una parte delle sedi viarie, la caduta di massi, detriti e rami d'albero lungo le strade, nonché smottamenti e allagamenti nei beni pubblici e nelle proprietà private; tutto ciò ha causato situazioni di pericolo per la pubblica incolumità, e quindi la necessità e l'urgenza di rimuovere lo stato di pregiudizio;

Considerato che nell'emergenza le priorità di intervento di protezione civile conseguono direttamente dalle esigenze elementari, e insieme fondamentali, di tutelare l'incolumità delle persone nel loro ambiente di residenza e di lavoro, l'accessibilità in condizioni di sicurezza dei luoghi di residenza e di lavoro, l'integrità delle infrastrutture che garantiscono i servizi essenziali e che tali esigenze vanno inoltre graduate a seconda del livello di compromissione che i dissesti e la vulnerabilità del territorio arrecano alle essenziali condizioni di vita economica e sociale delle popolazioni colpite;

Dato atto che in attuazione all'ordinanza sindacale contingibile ed urgente n.66 del 07/06/2018, l'ufficio tecnico manutentivo comunale, con l'ausilio delle associazioni di volontariato e di ditte esterne specializzate, ha dato corso all'avvio dei lavori per i quali risulta necessario un intervento immediato:

1. Strade interrotte da frane, caduta massi, da erosioni di corsi d'acqua, per effetto di crolli o dissesti di guadi, con isolamento o incombente rischio di isolamento di centri abitati;
2. Interventi a difesa di infrastrutture essenziali di tipo acquedottistico, fognario, di impianti di depurazione e di opere di approvvigionamento energetico gravemente danneggiate;
3. Interventi di ripristino della viabilità compromessa da movimenti franosi, cadute massi, erosioni spondali, crollo o dissesto;
4. Interventi di difesa idraulica localizzati, per il ripristino della sicurezza del territorio urbanizzato;
5. Interventi di ripristino di sedi stradali, di pulizia di condotte fognarie, di pulizie e ricalibratura di fossati;

Richiamata la propria precedente ordinanza contingibile ed urgente n.65 del 07/06/2018 con la

quale si è provveduto all'immediata evacuazione delle persone abitanti lungo la via San Lorenzo, regione San Lorenzo, via Nebiolera e strada Campoasciutto a tutela della pubblica incolumità ed alla chiusura delle sedi stradali interamente ricoperte dalla colata detritica;

Visto il verbale di somma urgenza redatto, nei termini temporali assegnati, da parte del Responsabile dell'Area Tecnico Manutentiva Comunale del 14/06/2018, che riporta oltre gli interventi già svolti anche gli interventi da eseguire, che riguardano:

- Lavori di somma urgenza per il contenimento del trasporto solido a monte del conoide;
- Lavori di somma urgenza per il convogliamento delle portate liquide del rio al recapito finale.

Dato atto che nel pomeriggio del 12/06/2018 è stato effettuato un incontro tra il comune di Bussoleno ed il Settore Tecnico della Regione Piemonte, dal quale è emersa la necessità di provvedere all'esecuzione dei lavori riportati al precedente capoverso, con provvedimenti di somma urgenza al fine di ridurre i pericoli alla pubblica incolumità;

Dato atto che, stante la necessità di operare con urgenza a salvaguardia della pubblica e privata incolumità, l'Amministrazione comunale può affidare l'intervento mediante ordinanza sindacale con le deroghe e le procedure abbreviate previste dalla normativa vigente in considerazione dell'assoluta necessità di terminare non solo la progettazione ma anche l'esecuzione dei suindicati lavori, ai sensi di quanto disposto all'art.163 del D.lgs. 50/2016 e smi;

Rilevato che:

- l'adozione della presente ordinanza è giustificata e legittimata dal verificarsi di una situazione sopravvenuta che presente il carattere dell'eccezionalità per cui si impone di provvedere con l'urgenza, incompatibile con i tempi connaturati alla rigorosa osservanza della normativa in materia (consiglio di stato 23/01/1991 n.63; consiglio di stato 11/04/1990 n.369; consiglio di stato 21/12/1984 n.960);
- il presente provvedimento con carattere d'urgenza, dovendo garantire l'immediata esecuzione di lavori, è possibile derogare all'applicazione delle disposizioni contenute nel decreto legislativo 50/16 e decreto legislativo 42/2006 e s.m.i. (determinazione dell'autorità di vigilanza dei lavori pubblici numero 1 del 14 gennaio 2004);

Dato atto che in considerazione della assoluta necessità di procedere immediatamente a salvaguardia dell'incolumità pubblica e privata all'esecuzione dei sopracitati lavori, si può procedere ad affidare l'intervento mediante ordinanza sindacale con le deroghe e le procedure abbreviate previste dalla normativa vigente, sia per quanto attiene alla progettazione, che per la realizzazione delle opere;

Sentito l'ing. Santo La Ferlita dello Studio Rosso Ingegneri Associati con studio in Torino via Rosolino Pilo n.11, che ha manifestato la propria disponibile a realizzare immediatamente i progetti, con seguente direzione lavori ed alle funzioni di coordinatore della sicurezza in fase di progettazione ed esecuzione dei lavori, per entrambi i progetti tra di loro collegati e da predisporre entro il termine condiviso durante la riunione del 19/06/2018;

Sentita in data 14/06/2018 la ditta Autotrasporti ed Escavazioni Favro snc, con sede a Mompantero (TO) via Pampalù n.8, codice fiscale 06379100016, che con nota di pari data, acclarata al protocollo del comune di Bussoleno dichiara:

- di aver preso visione dei luoghi;
- di manifestare la propria disponibilità a dare corso alla realizzazione dei lavori, appena depositato il progetto presso gli uffici comunali, previsti dal sopra citato verbale di somma urgenza ed in base al progetto in fase di predisposizione ed a terminarli nel più breve tempo possibile, salvo avverse condizioni meteorologiche che impediscano oggettivamente il completamento dei lavori;
- che non ricorrono, per sé e la ditta individuale omonima, le cause di esclusione per la partecipazione alle procedure di appalto di cui all'art. 80 del D.lgs. 50/2016;

- di possedere attestazione di qualificazione all'esecuzione dei lavori pubblici in conformità all'art. 84 del D.lgs. 50/2016 per la tipologia richiesta;
- di accettare, per il compenso dei lavori da eseguire, le condizioni economiche di cui all'art.163 comma 3 del D.lgs. 50/2016 e smi, con applicazione delle singole voci del preziario della Regione Piemonte edizione 2018 e conseguente abbattimento del 20%;

Considerato che:
- il corrispettivo complessivo dei lavori da affidare è inferiore ad euro 200.000;
- considerato che la verifica dei requisiti di partecipazione avverrà, ai sensi dell'art.163 comma 7 del D.lgs. 50/2016 e smi;
- la ditta sopra individuata fornirà le indicazioni riguardanti il conto dedicato anche in via non esclusiva alle commesse pubbliche e che il DURC, disponibile agli atti ed in corso di validità, risulta regolare;
- al progetto è stato attribuito il codice CUP B75B18000540002;

Considerato, pertanto, di provvedere alla relativa copertura finanziaria, legittimante la formalizzazione degli incarichi, ai sensi dell'art.163 del D.lgs. 50/2016 e smi, con riferimento al comma 4 che per gli Enti locali dispone che: la copertura della spesa sia assicurata on le modalità previste dall'art.191, comma 3, e 194, comma 1, lettera e), del decreto 267/2000, che testualmente recita: *"per i lavori pubblici di somma urgenza, cagionati dal verificarsi di un evento eccezionale o imprevedibile, la Giunta, qualora i fondi specificamente previsti in bilancio si dimostrino insufficienti, entro venti giorni dall'ordinazione fatta a terzi, su proposta del Responsabile del Procedimento, sottopone al Consiglio il provvedimento di riconoscimento della spesa con le modalità previste dall'art.194, comma 1, lettera e), prevedendo la relativa copertura finanziaria nei limiti delle accertate necessità per la rimozione dello stato di pregiudizio alla pubblica incolumità. Il provvedimento è adottato entro 30 giorni dalla data di deliberazione della proposta da parte della Giunta, e comunque entro il 31 dicembre dell'anno in corso, se a tale data non sia scaduto il predetto termine. La comunicazione al terzo interessato è data contestualmente all'adozione della deliberazione consigliare"*;

Richiamato l'art. 54, comma 4, del D.lgs. 267/2000 che stabilisce che il Sindaco, quale ufficiale del Governo, adotta con atto motivato provvedimenti, anche contingibili e urgenti nel rispetto dei principi generali dell'ordinamento, al fine di prevenire e di eliminare gravi pericoli che minacciano l'incolumità pubblica e la sicurezza urbana e che tali provvedimenti e la sicurezza urbana e che tali provvedimenti devono essere preventivamente comunicati al prefetto anche ai fini della predisposizione degli strumenti ritenuti necessari alla loro attuazione e demanda ad un apposito decreto ministeriale le definizioni relativi e alla incolumità pubblica e alla sicurezza urbana;

Visto il decreto Ministro dell'interno 05/08/2008 che definisce l'incolumità pubblica "l'integrità fisica della popolazione" e sicurezza urbana "un bene pubblico da tutelare attraverso attività poste a difesa, nell'ambito delle comunità locali, del rispetto delle norme che regolano la vita civile, per migliorare le condizioni di vivibilità nei centri urbani, la convivenza civile e la coesione sociale";

Dato atto che la Corte Costituzionale, con sentenza n.115 del 07/04/2011 ha dichiarato la illegittimità costituzionale dell'art. 54 del D.lgs. 18/08/2000, n.267, limitatamente al comma 4, poiché comprende la locuzione "anche" prima delle parole "contingibili e urgenti;

ORDINA

1. Allo studio Rosso Ingegneri Associati srl di Torino, nella persona dell'ing. Santo La Ferlita, di procedere alla predisposizione della progettazione definitiva/esecutiva, alla direzione dei lavori ed a svolgere le funzioni di coordinatore della sicurezza in fase di progettazione ed esecuzione, relativamente al progetto di somma urgenza dei lavori di somma urgenza per il contenimento del trasporto solido a monte del conoide, relativamente alla colata detritica del 07/06/2018 sul conoide del rio Reforno-Baccias, comba delle Foglie;

2. All'ing. Santo La Ferlita di svolgere per tutta la durata dei lavori le seguenti prestazioni professionali:
    1. Predisposizione della notifica preliminare;
    2. Direzione lavori;
    3. Misura dei lavori eseguiti;
    4. Contabilizzazione dei lavori eseguiti;
    5. Certificato di regolare esecuzione;
    6. Coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione;
    7. oltre alla vigilanza sula corretta esecuzione dei lavori ed al rispetto delle procedure di legge;

3. Alla Ditta Autotrasporti ed Escavazioni Favro snc con sede in Mompantero (TO) via Pampalù n.8 codice fiscale 06379100016, di provvedere alla realizzazione dei lavori di somma urgenza alle condizioni inserite all'interno del progetto riguardante il contenimento del trasporto solido a monte del conoide;

4. Al Responsabile dell'Area tecnica l'adozione di tutti gli atti successivi e conseguenti derivanti dal presente provvedimento e dei necessari impegni di spesa;

DISPONE

- Che le misure stabilite nel presente provvedimento abbiano efficacia dal momento della adozione, fatto salvo il potere dell'organo adottante di predisporre altri interventi integrativi o modificativi del presente, nonché fatta salva l'insorgenza di situazioni che determinino differente valutazione degli interessi pubblici e conseguente revisione dei provvedimenti in essere;

- L'occupazione delle aree private, necessarie per la realizzazione dei lavori e le aree di avvicinamento come previsto nel progetto dei lavori di somma urgenza;

DEMANDA

- Agli agenti di polizia municipale ed all'area tecnico manutentiva comunale di vigilare in ordine alla corretta esecuzione del presente provvedimento;

AVVERTE

- Che l'inosservanza alla presente ordinanza comporterà la denuncia dei trasgressori alla competente autorità giudiziaria ai sensi dell'art.650 del codice penale;

- Che, ai sensi della legge 07/08/1990 n.241 e smi, il responsabile del procedimento è il Responsabile dell'Area Tecnico Manutentiva comunale geom. Luca Vottero;

- Ai sensi dell'articolo 3, 4° comma della legge 241/1990 contenente "nuove norme in materia di procedimento amministrativo e di diritto di accesso ai documenti amministrativi e smi, il presente provvedimento è impugnabile con ricorso gerarchico avanti al Prefetto di Torino entro il termine di trenta giorni decorrenti dalla notifica con ricorso giurisdizionale avanti il Tribunale Amministrativo Regionale di Torino entro il termine di sessanta giorni decorrenti dalla notifica o comunque dalla piena conoscenza del presente atto da parte dei destinatari (legge 06/12/1971 n.1034) ovvero, con ricorso straordinario al Presidente della Repubblica entro centoventi giorni dal medesimo termine (D.P.R: 24/11/1971 n.1199).

STABILISCE

Che la presente ordinanza venga trasmessa a:

- ufficio territoriale del Governo Prefettura di Torino - protocollo.prefto@pec.interno.it

- all'A.N.A.C. – protocollo@pec.anticorruzione.it
- alla Regione Piemonte – settore tecnico regionale – tecnico.regionale.to@cert.regione.piemonte.it
- alla Regione Piemonte – settore infrastrutture e pronto intervento prontointervento@cert.regione.piemonte.it
- alla Regione Piemonte – settore protezione civile – protezione.civile@cert.regione.piemonte.it
- alla ditta Autotrasporti ed Escavazioni Favro snc - favrosnc@cgn.legalmail.it ;
- allo studio Rosso Ingegneri Associati srl di Torino - santo.laferlita@ingpec.eu ;
- al Comando di polizia Municipale – sede;

COMUNE DI BUSSOLENO (TO)

Il Sindaco
Anna Maria Allasio
Anna Maria Allasio

==========

RELAZIONE DI NOTIFICA

L'anno .....il giorno ..... del mese di .....io sottoscritto Messo Comunale ho notificato copia della presente ordinanza al Signor ..... mediante consegna a mani di .....

IL RICEVENTE

_____

IL NOTIFICATORE

_____

ALLEGATO 3

– PRGC Bussoleno, scheda geologica sul bacino del rio Reforno/Baccias –

lido intenso, anche denominati colate detritiche o *debris-flow*. Il metodo empirico di Autlizky (1980), che consente di organizzare razionalmente osservazioni fatte sul conoide senza prendere in esame il bacino di alimentazione, valuta la pericolosità di questo conoide come media. Il numero di Melton rapportato alla pendenza del conoide in gradi indica che il processo prevalente è di tipo debris-flow (Marchi et al., 1993). È stata inoltre calcolata, utilizzando vari metodi della letteratura, la magnitudo, cioè la volumetria di materiale detritico potenzialmente trasportata durante eventi di piena eccezionali. I valori della magnitudo calcolati sono riportati in Tabella 12.

Metodo	**Valore della magnitudo (m^3)**
Bottino et al. (1996)	35.875
Hampel (1977)	80.126
Marchi e Tecca (1996)	65.000
Rickenmann e Zimmerman (1997)	88.749
Takei (1984)	42.601
Van Dine (1996)	65.000
Tropeano e Turconi (2000)	Non calcolato

Tabella 12 - magnitudo calcolate del Rio Moletta

Nel PAI questo conoide è classificato come "conoide attivo non protetto", a pericolosità elevata.

La parte mediana del conoide ricade in classe IIIA. Gli edificati posti presso l'apice sono stati inseriti in classe IIIB4, gli altri, posti in posizione più distale, ricadono in classe IIIB2. Solo le parti laterali ricadono in classe III.

6.4 Comba delle Foglie

6.4.1 Lineamenti geomorfologici del bacino di alimentazione

Questo corso d'acqua scorre ad ovest di Argiassera, con alveotipo monocursale ad andamento sinuoso, incidendo prevalentemente detrito di versante e localmente, nella parte bassa il substrato roccioso.

Nella Tabella 13 sono elencate le principali caratteristiche fisiografiche del bacino del Rio Comba delle Foglie.

Quota massima (m)	1790
Quota minima (m)	498
Area bacino (km^2) 1.3	
Indice di Melton	1.13
Pendenza media del versante (°)	32
Pendenza media dell'asta principale (°)	28.9
Percentuale di affioramento del basamento roccioso* (%)	16
Percentuale di area in frana* (%)	0.05
Percentuale di depositi glaciali indifferenziati** (%)	24

*: rispetto all'area del bacino; **: rispetto all'area dei depositi quaternari.

Tabella 13 - caratteri fisiografici e geologici del bacino del rio Comba delle Foglie.

6.4.2 Geomorfologia del conoide di deiezione

Il conoide del rio Comba delle Foglie si estende da quota 498 m a quota 435 m, con una pendenza media di 8.8°. A monte e a valle dell'apice la pendenza dell'alveo risulta pari a 8°. Si tratta di un conoide poco evidente, mascherato dall'elevato grado di urbanizzazione ed antropizzazione. Il corso d'acqua, a carattere stagionale si presenta poco inciso, è visibile solo nella zona d'apice in posizione mediana rispetto al conoide, per una lunghezza di 150 m.

6.4.3 Effetti alluvionali

In caso di forti piogge, dato che il canale di scarico non ha recapito diretto nella Dora Riparia, il tirante idrico viene smaltito dalla fitta rete di canali irrigui. Nel corso dell'evento 2000 non sono stati segnalati danni.

6.4.4 Opere idrauliche

Non sono presenti opere idrauliche.

6.4.5 Pericolosità e magnitudo

In questo paragrafo sono determinate alcuni metodi empirici che consentono di valutare la pericolosità dell'asta e del bacino di alimentazione rispetto a fenomeni di trasporto solido intenso, anche denominati colate detritiche o *debris-flow*. Il metodo empirico di Autlizky (1980), che consente di organizzare razionalmente osservazioni fatte sul conoide senza prendere in esame il bacino di alimentazione, valuta la pericolosità di questo conoide come alta. Il numero di Melton rapportato alla pendenza del conoide in gradi indica che il processo prevalente è di tipo *debris-flow* (Marchi et al., 1993). È stata inoltre calcolata, utilizzando vari metodi della letteratura, la magnitudo, cioè la volumetria di materia-

le detritico potenzialmente trasportata durante eventi di piena eccezionali. I valori della magnitudo calcolati sono riportati in Tabella 14.

Metodo	**Valore della magnitudo (m^3)**
Bottino et al. (1996)	22.860
Hampel (1977)	65.002
Marchi e Tecca (1996)	13.000
Rickenmann e Zimmerman (1997)	28.928
Takei (1984)	15.960
Van Dine (1996)	13.000
Tropeano e Turconi (2000)	Non calcolato

Tabella 14 - magnitudo calcolata del rio Comba delle Foglie

Nel PAI questo conoide non è segnalato.

È stata individuata un'area a pericolosità elevata (classi IIIa e IIIb), che comprende la parte apicale del conoide, e un'area a pericolosità moderata (classe II) che comprende la restante parte.

6.5 Rio Gerardo

6.5.1 Lineamenti geomorfologici del bacino di alimentazione

Il Rio Gerardo è situato sul versante destro della Dora Riparia, ed è caratterizzato da un bacino allungato in senso N-S, di forma sub-rettangolare leggermente compressa nel settore centrale, in corrispondenza con gli spartiacque dei bacini Pissaglio e Corrente.

L'asta principale è caratterizzata da alveotipo monocursale ed andamento marcatamente sinuoso. Esso scorre per la quasi totalità del suo percorso in depositi quaternari, principalmente rappresentati da detrito di versante e da depositi glaciali (Pian Cervetto); solo nella parte medio-bassa l'incisione raggiunge i litotipi del basamento del Dora-Maira. Gli estesi e potenti depositi detritici e glaciali di età quaternaria fornisco ingenti quantità di materiali detritici che il torrente erode; i fenomeni erosivi sono particolarmente evidenti da quota 1380 m circa e sono favoriti da estese frane che coinvolgono i depositi glaciali.

Mentre nella parte alta del bacino il Rio Gerardo è alimentato da numerosi affluenti di primo ordine, scendendo di quota si osservano solo due rii con andamento sub-parallelo che si congiungono a valle della rottura di pendenza di Pian Cervetto. A valle di questa confluenza il Rio Gerardo percorre quasi senza altre immissioni il tratto fino a quota 700 m., dove, in corrispondenza dell'abitato di Giordani, ha generato un piccolo conoide coalescente con quelle del Rio Corrente. Il conoide attuale del rio Gerardo si sviluppa più a valle e costituisce l'apparato conoidale più esteso presente nel territorio comunale di Bussoleno

ALLEGATO 4

– ARPA Piemonte, Rapporto Evento del 07/06/2018 –

RAPPORTO EVENTO DEL 07/06/2018
Colata detritica nel Comune di Bussoleno

A cura del
Dipartimento Sistemi Previsionali
Dipartimento Tematico Geologia e Dissesto

Torino, giugno 2018

Il sistema di gestione qualità è certificato ISO 9001:2015 da CSQ

SOMMARIO

INTRODUZIONE **1**

ANALISI METEOROLOGICA **1**

DESCRIZIONE DEL FENOMENO 7

INQUADRAMENTO DEL BACINO 8

ANALISI GEOMORFOLOGICA DA RILIEVI SPEDITIVI 11

ANALISI DELLE CAUSE DI INNESCO 15

ANALISI PLUVIOMETRICA **18**

REFERENZE **21**

In copertina: Conoide di Loc. S. Lorenzo, deposito di materiale immediatamente a ridosso di un'abitazione.

INTRODUZIONE

A seguito delle precipitazioni a carattere temporalesco del 7 giugno 2017 si è verificato un fenomeno di mud-debris flow in corrispondenza del bacino del Rio delle Foglie, sito nel comune di Bussoleno (TO) nella bassa Valle di Susa, che ha raggiunto il centro abitato intorno alle 12:30 UTC (14:30 ora locale). La colata di fango e detriti ha interessato parte dell'abitato che sorge sull'apparato di conoide tra loc. S. Lorenzo e ha raggiunto il sottopasso della ferrovia. Alcune delle abitazioni più prossime alla zona di apice sono state gravemente danneggiate, mentre buona parte della frazione ha subito diffusi fenomeni di alluvionamento. Nel corso del mese precedente altri eventi di esondazione in conoide di minore entità legati alle diffuse precipitazioni temporalesche di questo periodo, hanno interessato il bacino.

ANALISI METEOROLOGICA

Nei giorni precedenti all'evento meteorologico del 7 giugno 2017, il Piemonte è stato interessato da un prolungato periodo umido che ha portato registrare precipitazioni ben al di sopra della norma climatica. Il mese di maggio 2018, infatti, è stato il 7° maggio più piovoso degli ultimi 60 anni con un surplus pluviometrico di oltre il 60% rispetto al periodo di riferimento 1971-2000.

In particolare, nella media Val di Susa, da inizio anno si è osservato un cumulo di precipitazioni superiore del 68% rispetto alla norma climatica 1971-2000 (Figura 1) e, alla data del 7 giugno 2018, delle ultime 40 giornate, se ne erano osservate in zona 30 con pioggia a partire dal 29 aprile.

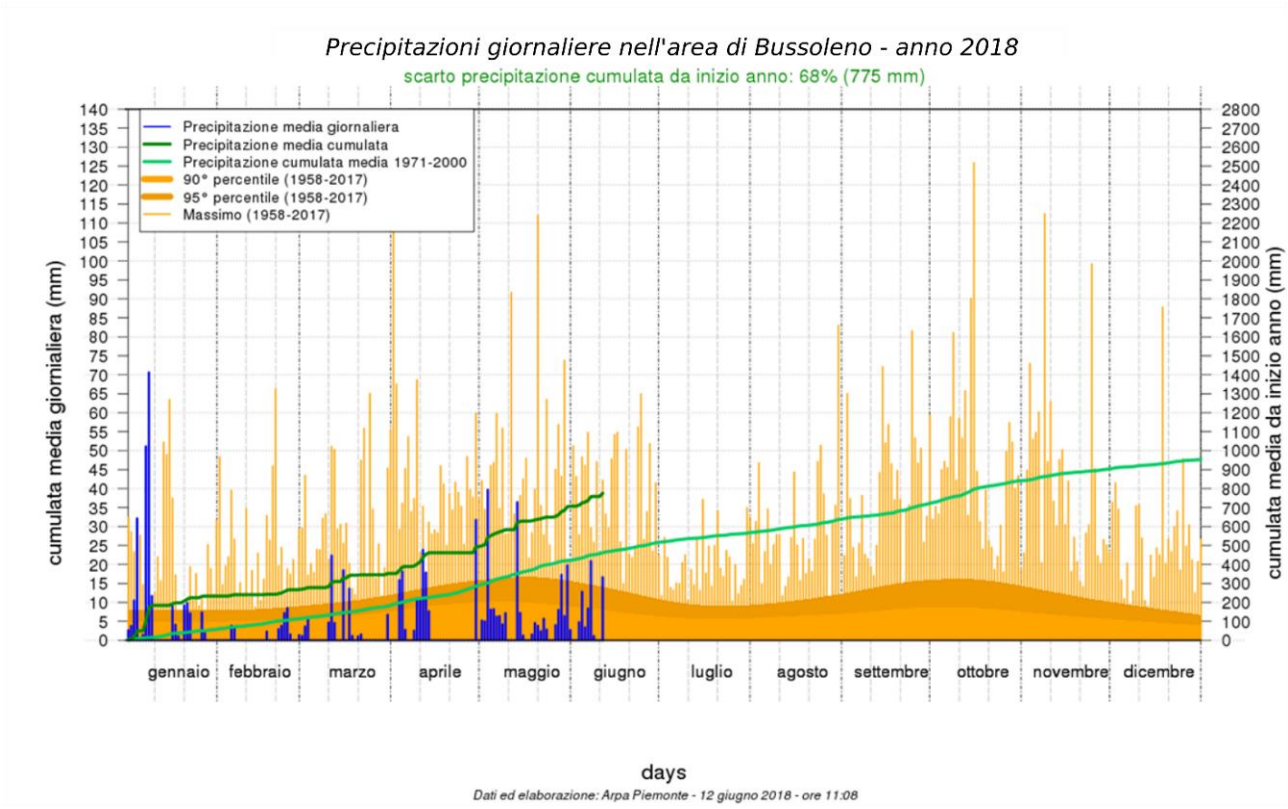


Figura 1. Andamento giornaliero delle precipitazioni in media Valle di Susa nel 2018 rispetto alla norma climatica 1971-2000. Dati ed elaborazione Arpa Piemonte.

In questo contesto pregresso di abbondanza d'acqua disponibile e caduta sia sulla regione nel suo complesso sia nella Valle di Susa in particolare, il 6 giugno, giorno precedente all'evento meteorologico, il Piemonte è stato interessato da un debole e temporaneo promontorio di alta pressione il quale, a partire dalla notte tra il 6 e il 7 giugno, è stato scalzato dall'ingresso nell'alto Tirreno di una modesta saccatura di origine atlantica (Figura 2) che ha innescato una serie di rovesci temporaleschi sparsi sulla zone montane e pedemontane alpine, con locale sconfinamento nelle pianure adiacenti, in particolare nel torinese e nel cuneese.

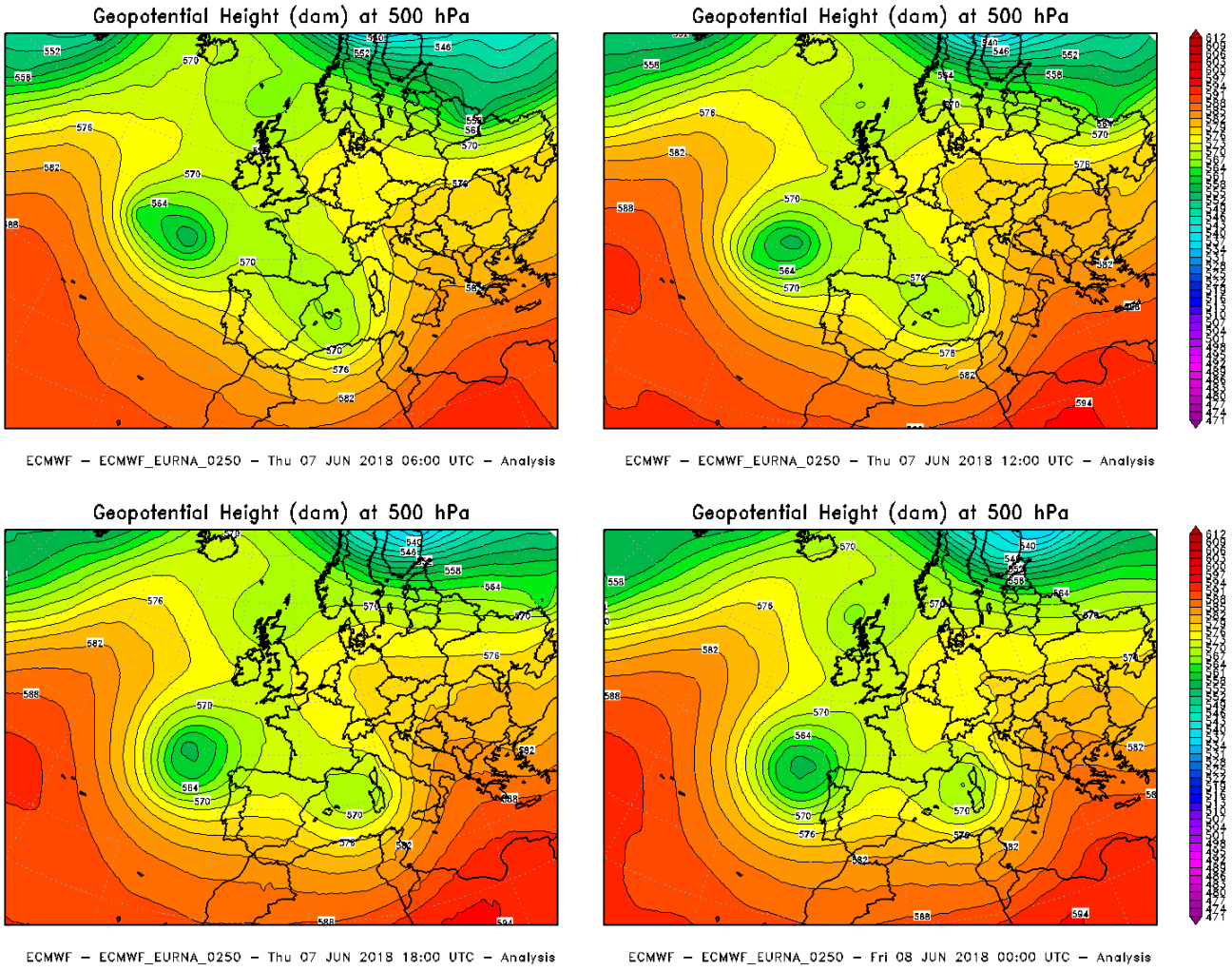


Figura 2. Altezza di geopotenziale a 500 hPa dalle ore 06 UTC del 7 giugno 2017 fino alle ore 00 del 7 giugno 2018. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

L'aria più fresca associata alla bassa pressione della saccatura, è riuscita a penetrare parzialmente negli alti strati atmosferici (Figura 3), interagendo con le condizioni di umidità presenti in regione e riuscendo, almeno localmente, a sviluppare cumuli che hanno dato luogo a temporali con picchi anche forti associati a grandine e raffiche di vento intense.

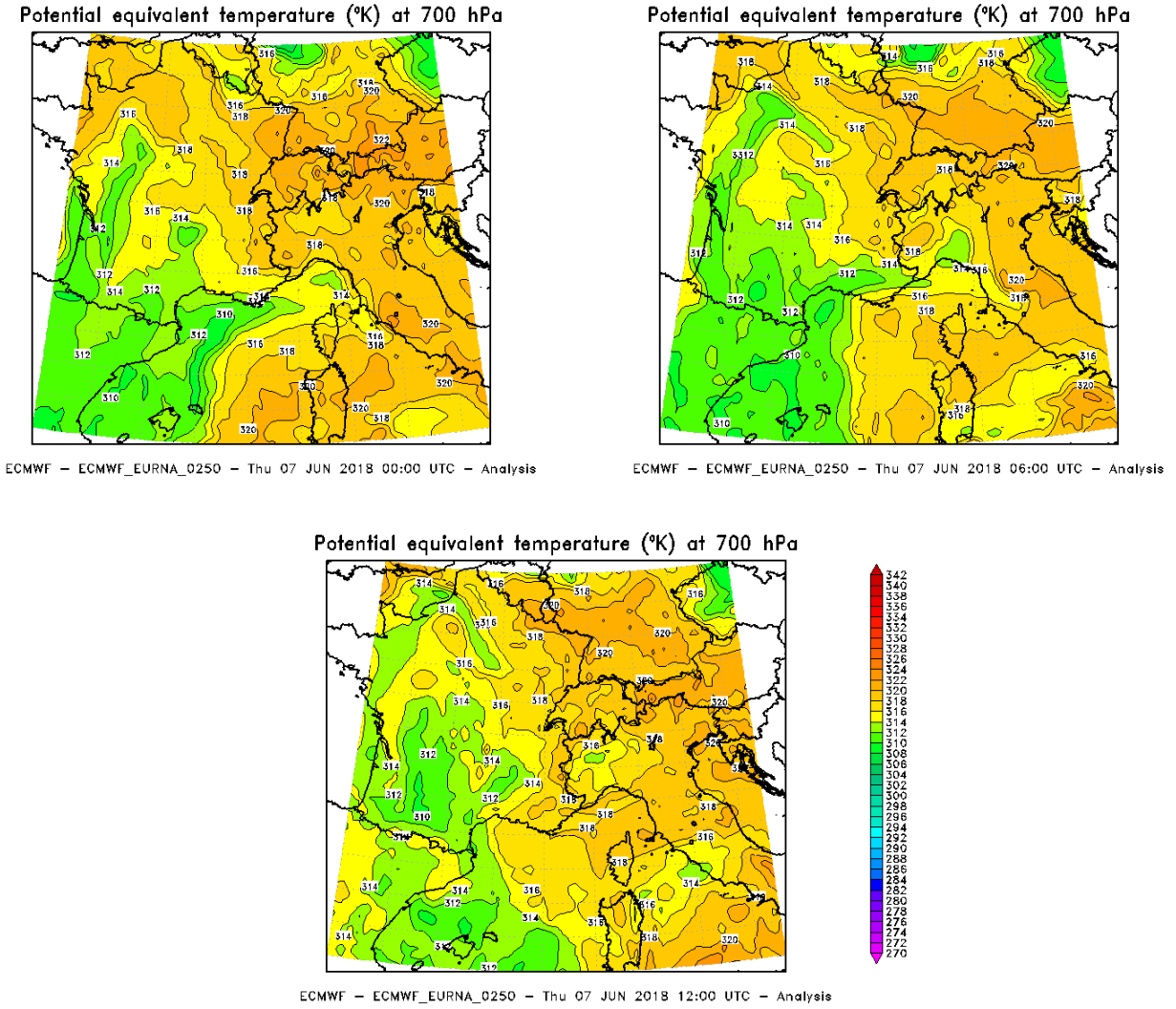


Figura 3. Temperatura potenziale equivalente a 700 hPa tra le ore 00 UTC del 7 e 12 UTC del 7 giugno 2018, intervallate ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Dalla Figura 4, che mostra le piogge registrate nelle 24 ore del pomeriggio di giovedì, si evince come i fenomeni convettivi siano stati di intensità mediamente moderata. Tuttavia, le mappe di fulminazione (Figura 5) e la mappa dell'indice termodinamico WHITING (Figura 6), che valuta il grado di instabilità della massa d'aria, mostrano come localmente si siano verificati anche temporali molto forti. La stazione meteorologica di Torino via della Consolata (TO) ha registrato 39 mm di pioggia tra le 16:20 UTC e le 17:20 UTC di mercoledì 7 giugno e la stazione di Verbania-Unchio Trobaso (VB) 35 mm tra le 19:10 UTC e le 20:10 UTC e quella di Dronero (CN) 30.6 mm tra le 13:40 e le 14:40 UTC.

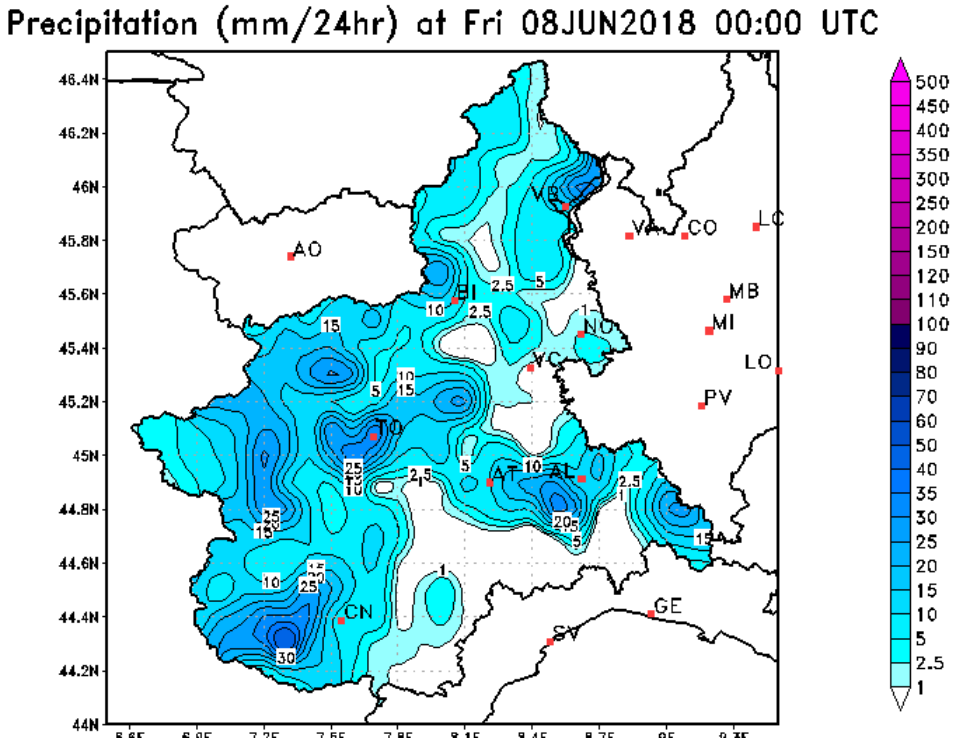


Figura 4. Precipitazioni cumulate sul Piemonte osservate dalla rete in telemisura di Arpa nella giornata del 7 giugno 2018 (sopra). A destra dettaglio sopra Bussoleno. Elaborazione e dati Arpa Piemonte.

Le mappe di fulminazione (Figura 5) mostrano chiaramente come nelle prime ore della giornata di mercoledì 7 giugno si siano sviluppati una serie di temporali sparsi pre-frontali (Figura 7), tra i quali anche il temporale che ha interessato i rilievi al di sopra di Bussoleno (Figura 8), mentre nelle ore centrali il fronte sia transitato sulla regione spazzando il Piemonte da sudovest verso nordest. Le piogge, quindi, si sono attenuate fino ad esaurirsi nella notte, salvo nel Verbano e nella media Val di Susa dove, deboli rovesci hanno persistito fino alla mattina della notte tra il 7 e l'8 giugno.

Dalle ore 06 UTCalle ore 12 UTC | Dalle ore 12 UTCalle ore 18 UTC | Dalle ore 18 UTCalle ore 00 UTC

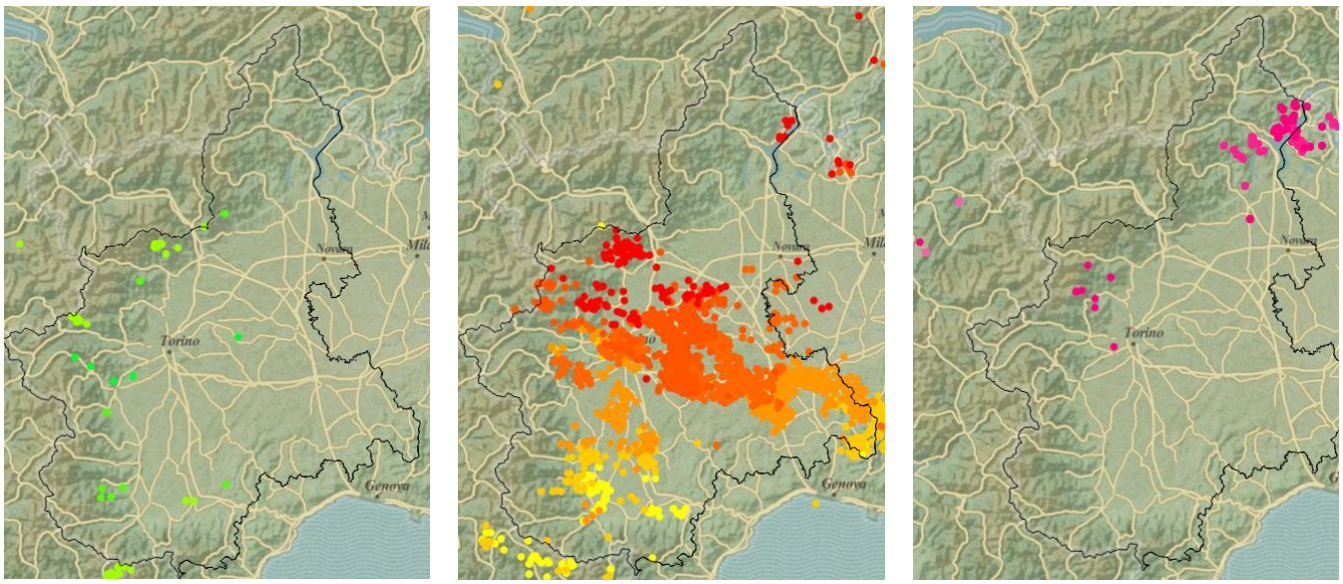


Figura 5. Fulminazioni registrate in Piemonte tra le ore 06 UTC del 7 giugno 2018 alle ore 00 UTC dell'8 giugno 2018, graficate per finestre esa-orarie. Elaborazione Arpa Piemonte su dati dell'Aeronautica Militare.

La Figura 6 mostra l'indice termodinamico WHITING che indica le aree favorevoli allo sviluppo di celle temporalesche il 7 giugno alle ore 12 UTC.

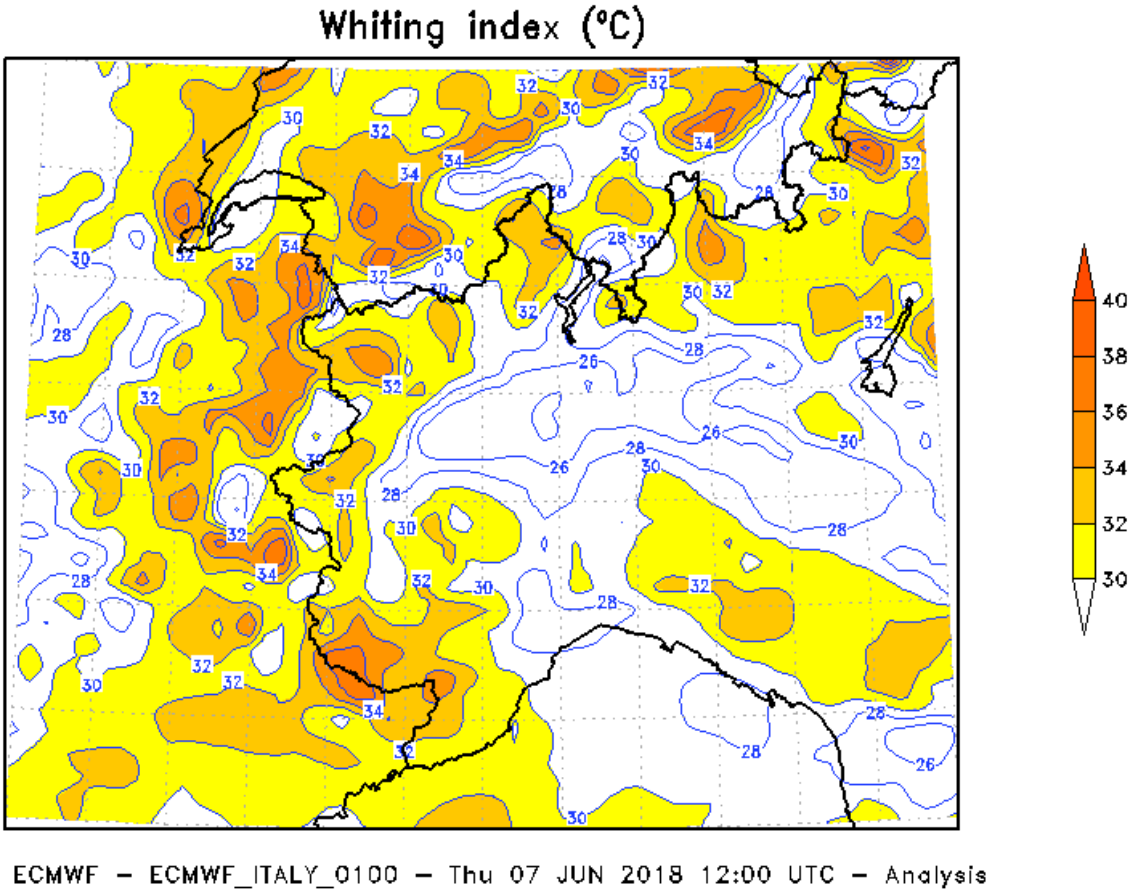


Figura 6. Mappa dell'indice termodinamico WHITING relativa alle ore 12 UTC del 7 giugno 2018. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

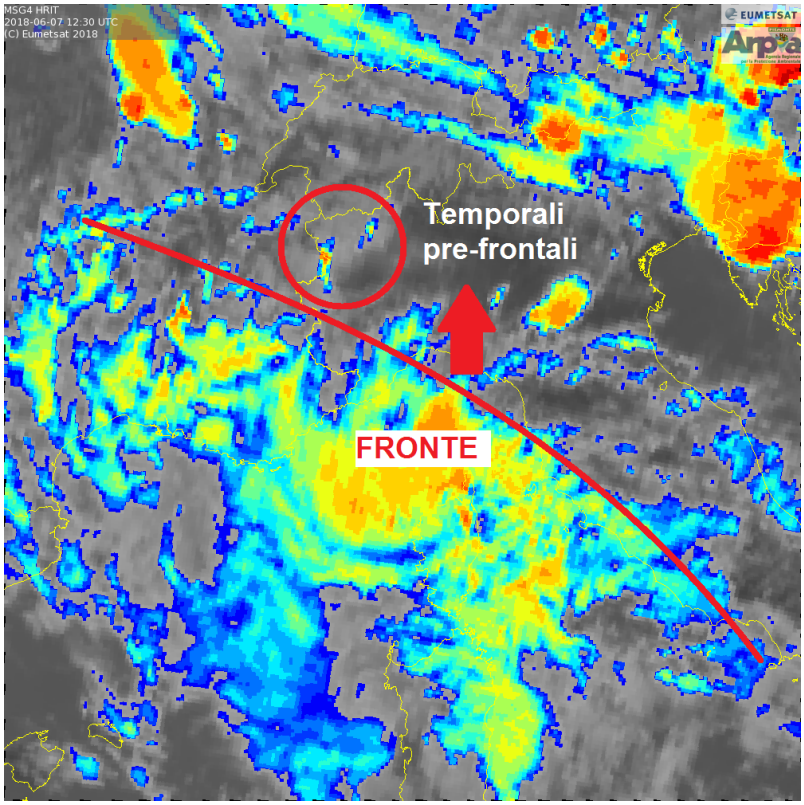


Figura 7. Immagine Enhanced–IR del satellite Meteosat sull'Europa alle ore 12:30 UTC del 7 giugno 2018; il colore rosso corrisponde a nubi più fredde. Elaborazione Arpa Piemonte su dati EUMETSAT. Nel cerchio rosso il temporale che ha interessato Bussoleno.

La Figura 8 mostra un dettaglio delle fulminazioni registrate attorno al centro di scroscio.

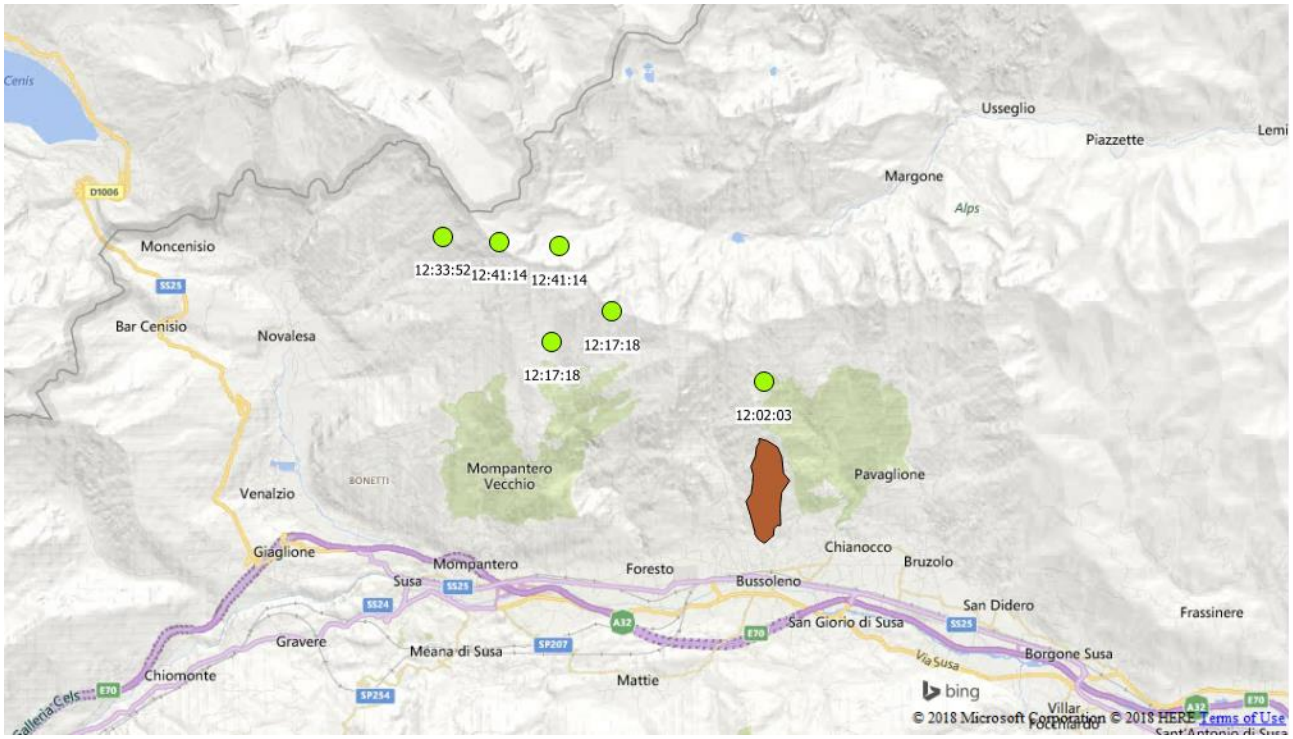


Figura 8. Fulminazioni con ora di accadimento in UTC nell'area interessata dal temporale. Il poligono marrone rappresenta il bacino del Rio delle Foglie.

DESCRIZIONE DEL FENOMENO

Il giorno 7 giugno 2017 le piogge brevi ed intense che hanno interessato il bacino del Rio delle Foglie hanno determinato l'attivazione di un fenomeno di trasporto in massa di materiale fangoso-detritico estremamente rapido. Intorno alle 12:30 UTC (14:30 ora locale) la colata di fango e detriti ha raggiunto la zona di conoide. Il fenomeno ha interessato parte dell'abitato che sorge sull'apparato di conoide tra loc. S. Lorenzo raggiungendo il sottopasso della ferrovia (cfr. Figura 17). Alcune delle abitazioni più prossime alla zona di apice sono state gravemente danneggiate, mentre diverse altre abitazioni hanno subito diffusi fenomeni di alluvionamento.

Si tratta di un fenomeno di mud-debris flow, ovvero una miscela con prevalenza di particelle fini (matrice sabbiosa-limosa con ghiaia più cenere come residuo combusto) con all'interno e in parte anche subordinati ciottoli e massi fino al metro cubo, nonché una rilevante quantità di materiale vegetale flottante, compresi rami e tronchi di rilevanti dimensioni.

Nel corso del mese precedente altri fenomeni di esondazione e alluvionamento in conoide di minore entità, legati alle diffuse precipitazioni temporalesche di questo periodo (Figura 9), hanno interessato il bacino. Gli eventi più significativi sono stati registrati nei giorni 29 aprile, 2 maggio, 9 maggio e 13 maggio, quando, in seguito a precipitazioni a carattere temporalesco, sono state interessate varie strade del paese, tra cui via Camposciutto e via San Lorenzo. In tutti i casi, ad esclusione dell'evento del 9 maggio, sono avvenuti allagamenti e alluvionamenti con trasporto di materiale fine, grossolano e materiale vegetale flottante. Solo nel caso del 9 maggio sono stati registrati prevalentemente fenomeni di allagamento, con modesto trasporto di materiale solido.

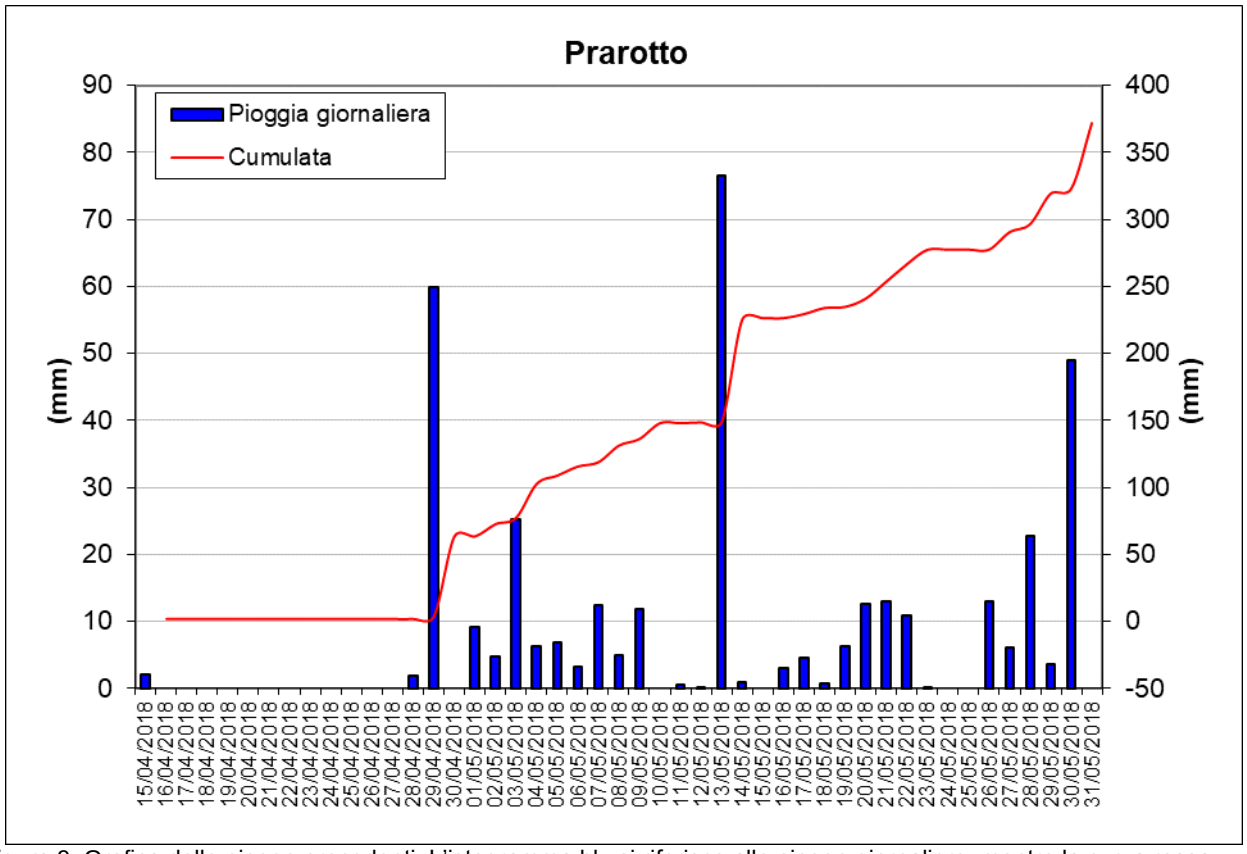


Figura 9. Grafico delle piogge precedenti. L'istogramma blu si riferisce alle piogge giornaliere, mentre la curva rossa rappresenta la cumulata di pioggia sull'intero periodo. Si noti che in corrispondenza degli eventi del 29 aprile e 13 maggio il pluviometro di Prarotto ha registrato valori di cumulata giornaliera pari o superiori a 60mm.

Dall'analisi della banca dati eventi di Arpa Piemonte non risultano segnalazioni di ulteriori fenomeni significativi passati, come anche confermato dai tecnici dell'amministrazione comunale. Antecedentemente agli incendi dell'autunno scorso, si erano esclusivamente registrati casi di allagamento della strada, ma senza significativo trasporto di materiale solido.

INQUADRAMENTO DEL BACINO

Il bacino del Rio delle Foglie ha un'estensione di 1.37 Km^2 ed è modellato su un basamento roccioso appartenente alle unità del Dora-Maira, in particolare sulle unità della copertura metasedimentaria carbonatica costituita da marmi e subordinati calcescisti carbonatici. In base alla litologia prevalente che lo costituisce (rocce carbonatiche), il bacino è classificato come Good Clay Maker (GCM) in accordo con la classificazione adottata in Piemonte basata sul Clay Weathering Index (CWI), proposto da Tiranti et al. (2014) (Figura 10).

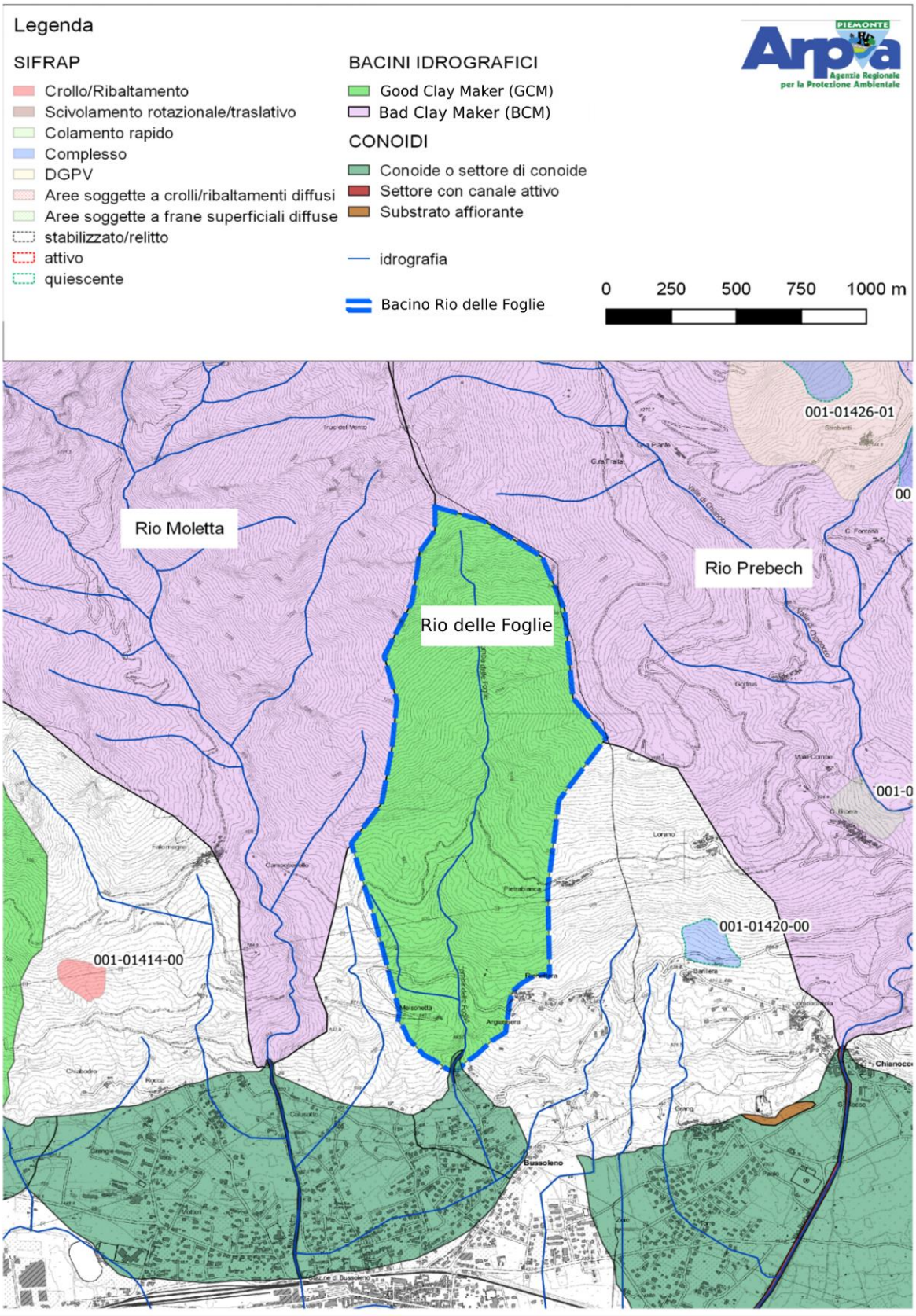


Figura 10. Quadro generale dei dissesti e classificazione del bacino (Fonte: Banca dati SICON e SIFRAP, Arpa Piemonte).

Il bacino è caratterizzato da pendenze elevate, generalmente superiori ai 30° (Figura 11, a sinistra).

L'intero bacino è stato diffusamente interessato da incendi dell'autunno scorso; dalla "Carta della severità di combustione" realizzata dal Nucleo tutela forestale, ambientale e agroalimentare dei Carabinieri (Figura 11, a destra), la severità dell'incendio è stata classificata come medio-alta nella porzione superiore del bacino e bassa in quella mediano inferiore.

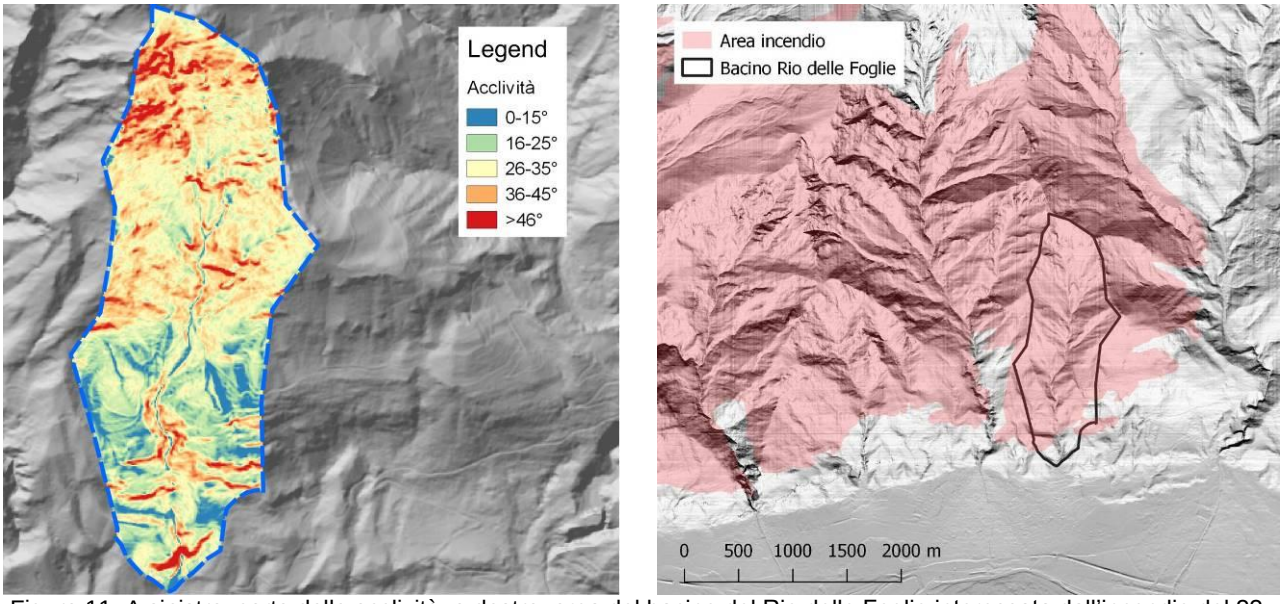


Figura 11. A sinistra, carta delle acclività, a destra, area del bacino del Rio delle Foglie interessata dall'incendio del 22 ottobre 2017 (perimetrazione dell'incendio a cura del Nucleo tutela forestale, ambientale e agroalimentare dei Carabinieri).

Il profilo dell'incisione principale si presenta più regolare nella parte alta ed è caratterizzata dalla presenza di evidenti cambi di pendenza nella parte mediana, compresa tra gli 800m e l'apice di conoide (Figura 10).

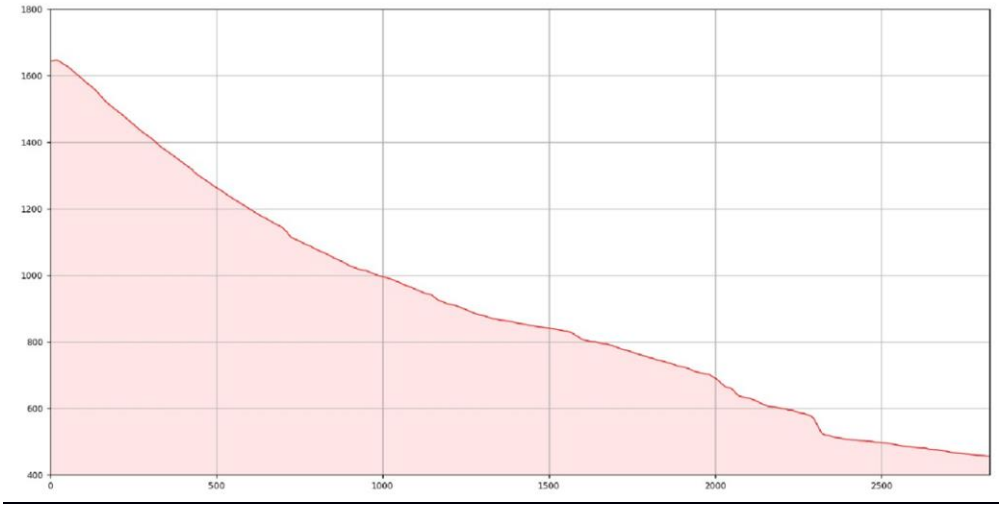


Figura 10.Profilo altimetrico dell'incisione principale del bacino.

ANALISI GEOMORFOLOGICA DA RILIEVI SPEDITIVI

La parte superiore del bacino del Rio delle Foglie è caratterizzata da una forte pendenza, superiore mediamente ai 35°, da una modesta percentuale di affioramenti rocciosi e dalla presenza di bosco rado o prateria con ampie zone interessate dall'incendio dell'autunno scorso.

Allo stato attuale, nel bacino è ancora presente materiale residuo della combustione a granulometria medio-fine e materiale vegetale parzialmente carbonizzato, potenzialmente rimobilizzabile. La presenza di calcescisti (coperture mesozoiche Dora-Maira) contribuisce alla formazione di una coltre detritica diffusa a granulometria fine. Questo materiale, unitamente alla ridotta azione protettiva della vegetazione, ha reso i versanti particolarmente soggetti a fenomeni di dilavamento della porzione più superficiale di suolo da parte delle precipitazioni intense o prolungate; i recenti fenomeni di colata (maggio 2018) attivatisi sul bacino e giunti fino al fondovalle sono evidentemente stati alimentati da questa componente solida confluita dal settore superiore del bacino sul canale principale del Rio delle Foglie.

Si ipotizza che i recenti avvenimenti stagionali (incendi, precipitazioni e colate detritiche) abbiano modificato l'assetto geomorfologico e idrologico del bacino, contribuendo ad un significativo aumento delle portate liquide e solide del Rio delle Foglie rispetto al recente passato (Figura 11 e Figura 12). Tale ipotesi sarà verificata mediante successivi approfondimenti che verranno programmati nei prossimi mesi.

Figura 11.Tratto superiore Rio delle Foglie (foto Regione Piemonte), si può notare le'elevata acclività e la disponibilità di materiale rimobilizzabile legata agli incendi dell'autunno scorso, a sinistra; particolare area incendiata; a destra.

Figura 12. Fenomeni di erosione concentrata sul reticolo idrografico minore nella parte superiore del bacino.

Il tratto intermedio del bacino è caratterizzato da un profilo longitudinale irregolare con frequenti cambi di pendenza e ripidi balzi rocciosi. Le tracce di passaggio della colata evidenziano una rilevante sezione di deflusso a testimonianza di una portata complessiva della miscela solido-liquido a carattere eccezionale, la quale si è accresciuta significativamente grazie all'azione erosiva del materiale detritico in alveo e sulle sponde. Dai recenti sopralluoghi effettuati si evidenzia come l'alveo del canale principale sia spesso ben ripulito dai detriti con il substrato sottostante affiorante. Nei punti con riduzione di pendenza si ha deposito di materiale sui bordi (effetto soglia naturale con deposizione di materiale), mentre in corrispondenza dei tratti a forte pendenza si è riscontrata la notevole azione erosiva della colata con escavazione laterale e presa in carico di materiale grossolano. Tuttavia, buona parte dei volumi di materiale rimobilizzato a granulometria medio-fine è stato trasportato a valle giungendo nell'area di conoide antropizzata. (Figura 13 e Figura 14).

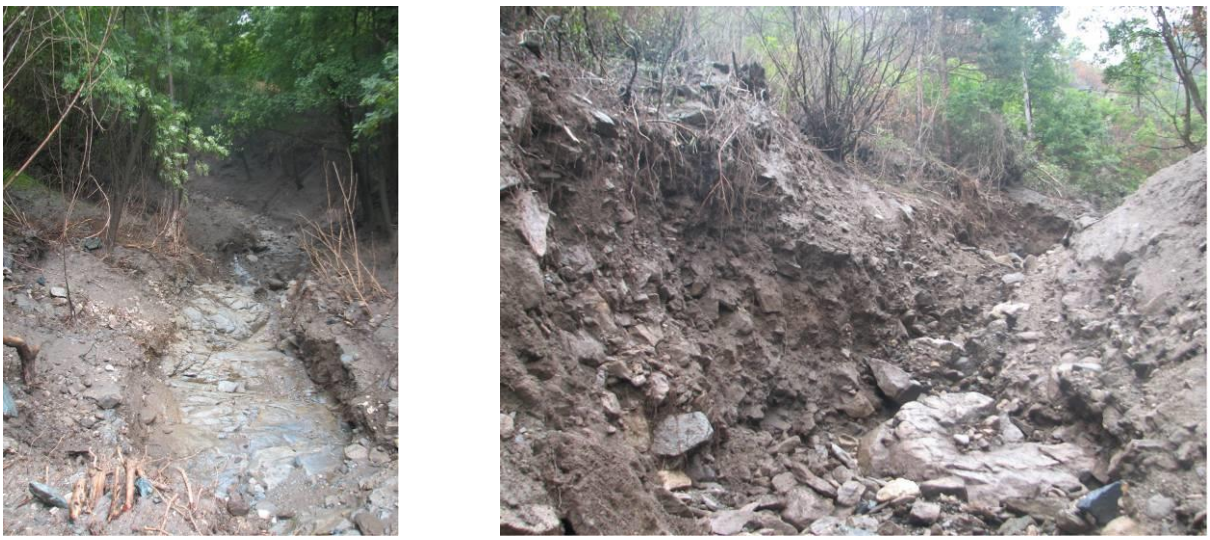


Figura 13. A sinistra, substrato in alveo riesumato a testimonianza dell'azione erosiva e di trasporto a valle del materiale detritico in corrispondenza primo attraversamento stradale. A destra, erosione di materiale detritico grossolano nel tratto intermedio del bacino, avvenuta nei tratti ad elevata pendenza e in corrispondenza della sponda esterna.

Figura 14. Erosione di materiale grossolano e successiva deposizione di materiale nei tratti intermedi del bacino a riduzione della pendenza.

Il materiale preso in carico nel bacino si è depositato nella zona di conoide interessando un'area di circa 35'000 m^2, compresa tra la frazione di S. Lorenzo e la parte distale del conoide fino al sottopasso della ferrovia. La porzione di colata a maggiore energia, caratterizzata da depositi più

grossolani (ciottoli e blocchi immersi in matrice fine), si è arrestata in corrispondenza dei civici n. 55-57 di via S. Lorenzo. Gli spessori deposti risentono fortemente della presenza degli elementi antropici, e variano da valori superiori a 1-1,5 m immediatamente a ridosso degli ostacoli (edifici e strutture di delimitazione delle pertinenze) e in corrispondenza degli accessi agli interrati delle abitazioni (Figura 15), fino a 30-60 cm nelle zone dove il deflusso non è stato ostacolato. A causa dell'elevata energia e della presenza di materiale a grossi blocchi e di tronchi di grandi dimensioni in questo settore si sono verificati i danni maggiori alle abitazioni e della viabilità.

Ai margini della colata principale e generalmente al di sotto dell'incrocio tra Via S. Lorenzo e strada Camposciutto, la colata ha perso energia depositando materiale progressivamente più fine (sabbie e limi con ghiaia e subordinati ciottoli), con spessori compresi tra 5-10cm fino a 50-60cm in corrispondenza di ostacoli e zone depresse (Figura 16).

In via preliminare, sulla base dei primi rilievi speditivi, si può stimare un volume di materiale depositato in conoide di circa 15-20 mila metri cubi.

Figura 15. Deposizione di materiale nei tratti intermedi del bacino a riduzione della pendenza.

Figura 16. Deposito di materiale fine in corrispondenza della parte distale del conoide.

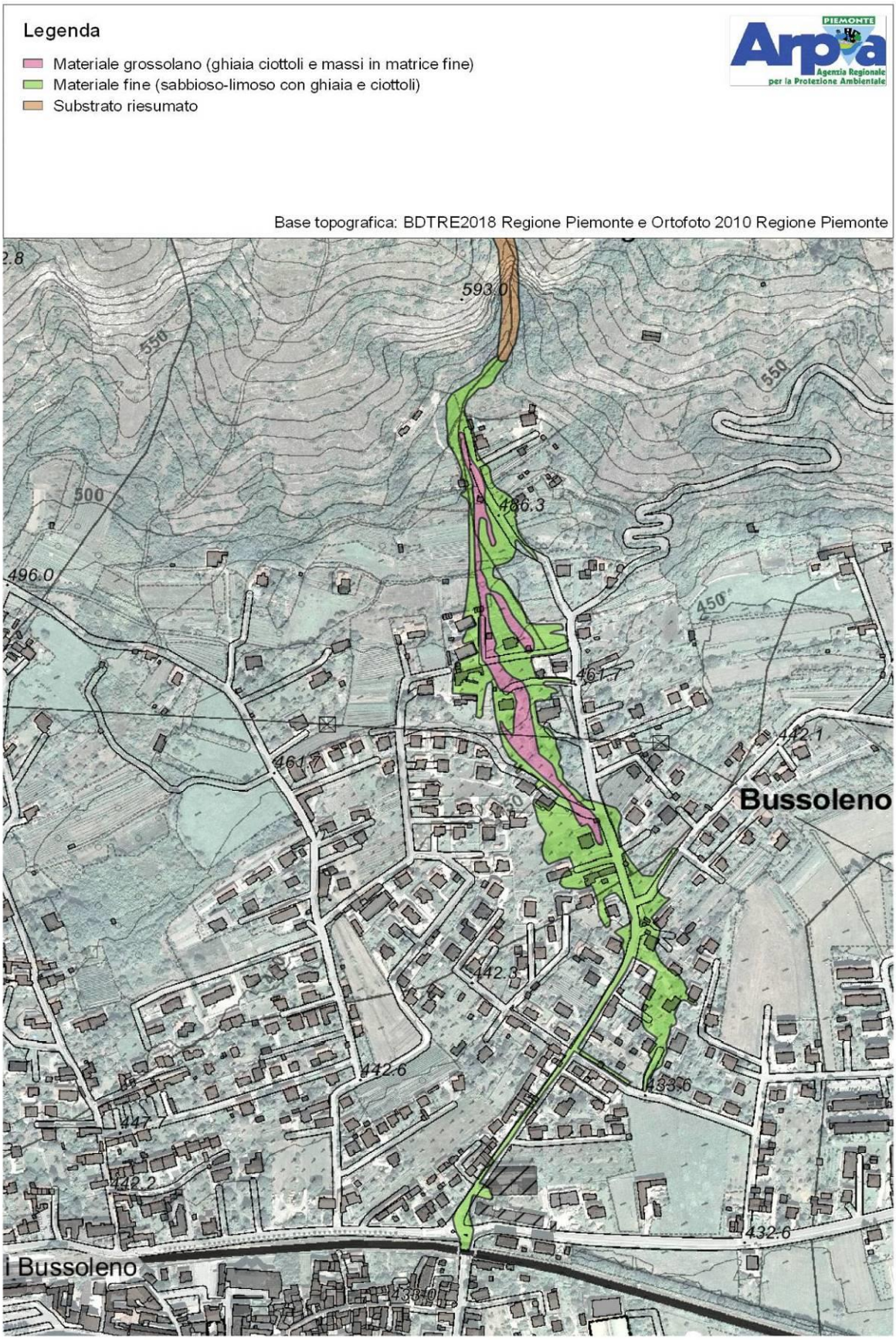


Figura 17. Perimetrazione del mud-debris flow del 7 giugno 2018 effettuata sulle foto aeree Regione Piemonte 2010, area in conoide.

ANALISI DELLE CAUSE DI INNESCO

Secondo la classificazione CWI la natura delle rocce predominanti costituenti il bacino influenza la reologia, i processi sedimentari, gli stili deposizionali e l'architettura dei conoidi alluvionali, la frequenza di occorrenza e la stagionalità d'innesco delle colate detritiche che hanno origine nei bacini stessi. In base alla capacità di una litofacies di produrre argilla, silt argilloso o minerali argillosimili, che andranno a costituire la frazione fine del detrito disponibile alla mobilizzazione, si avranno processi di trasporto in massa contraddistinti da reologie molto differenti che ne condizioneranno innesco, propagazione e deposizione. I bacini GCM sono in grado di produrre discrete quantità di silt argilloso, da cui deriva un comportamento moderatamente viscoplastico dei flussi detritici. La natura del materiale prodotto dai bacini condiziona anche la frequenza di occorrenza dei fenomeni torrentizi e la stagionalità in cui questi si manifestano più abbondantemente. Tale aspetto è legato alle caratteristiche delle precipitazioni piovose in grado di mobilizzare il materiale sciolto prodotto da tali bacini. L'intensità di pioggia minima in grado di innescare un fenomeno torrentizio di trasporto in massa in bacini di tipo GCM è pari a 30mm/h. Il Rio delle Foglie ricade all'interno del bacino della Dora Riparia, caratterizzata da tempi di ritorno di 20 anni per piogge di tali intensità.
Tuttavia, il bacino in esame è caratterizzato da una bassa densità di affioramento in favore di un'estesa copertura vegetativa che ricopre oltre il 90% del bacino (Figura 18). In accordo con Tiranti et al. (2016), i bacini caratterizzati da un'elevata copertura vegetativa non favoriscono l'innesco di fenomeni torrentizi ad alta concentrazione di sedimento, poiché la scarsità di affioramenti implica una bassa produzione di materiale sciolto che si renda disponibile alla mobilizzazione. L'assenza di eventi torrentizi storici documentati per il Rio delle Foglie potrebbe essere legato a quest'ultimo aspetto.

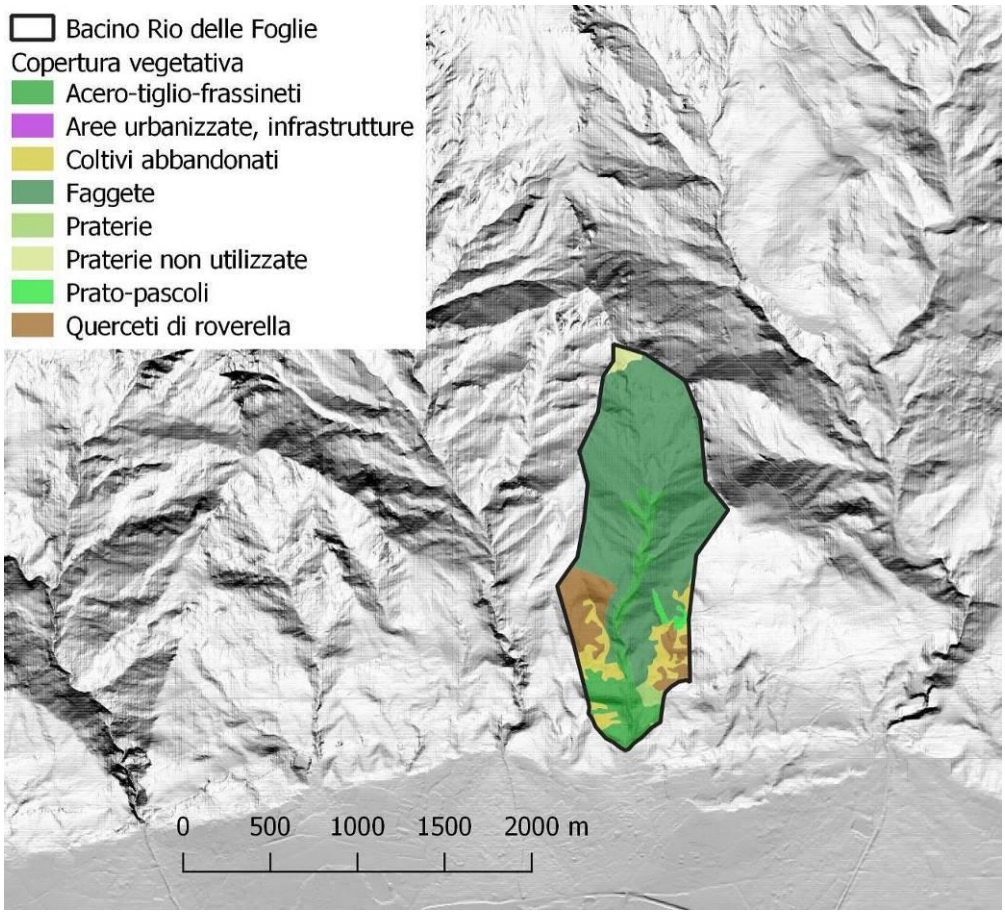


Figura 18. Copertura vegetativa del Rio delle Foglie (estratto della Carta dei Piani Forestali del Piemonte a scala 1:10000).

Nonostante ciò, il vasto incendio dell'ottobre 2017, che ha interessato quasi completamente l'area del bacino, ha modificato le condizioni preesistenti aumentando da una parte il materiale disponibile alla mobilizzazione (incluso il detrito ligneo combusto) (Figura 19a) e, dall'altra, modificando le caratteristiche idrologiche dei versanti (Figura 19b).

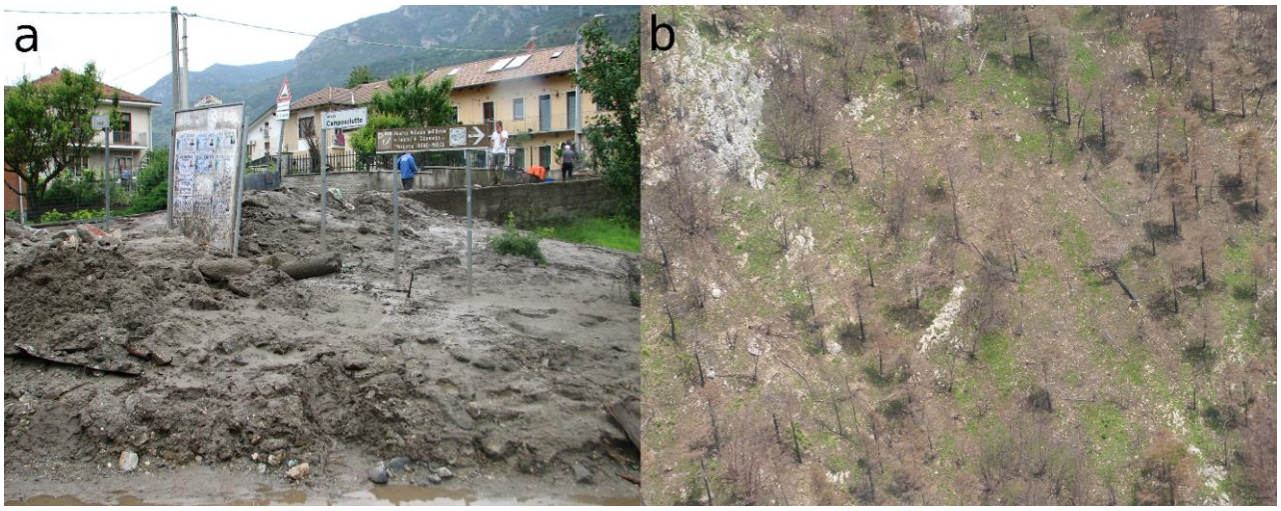


Figura 19. a) Materiale ligneo combusto rinvenuto nel deposito del mud-debris flow. La matrice mostra un'alta percentuale di sedimento fine di colorazione marrone scuro attribuibile alle particelle di materiale combusto. b) Versanti denudati dall'incendio in cui sono visibili arbusti e alti fusti carbonizzati, nell'area di testata del bacino.

I versanti percorsi da incendi subiscono una rielaborazione termica degli strati superficiali del suolo che genera l'aumento delle quantità di materiale fine (livello del suolo combusto) e la formazione di una superficie impermeabile anche discontinua che si sviluppa al di sotto del livello di suolo rielaborato dell'incendio, dovuta alla vetrificazione della frazione argillosa contenuta nel suolo ad opera delle alte temperature (hydrophobic soil surface) (Debano and Ktammes, 1966; Bashir, 1969; Brandt, 1969).

In tali circostanze, il bacino risulta più suscettibile all'innesco di fenomeni torrentizi ad alto contenuto di sedimento trasportato, in virtù della maggiore quantità di materiale fine non consolidato resosi disponibile alla mobilizzazione e della maggiore azione erosiva delle piogge per diminuita capacità di suzione del suolo (DeBano, 1969) e per diminuita copertura vegetativa. In tali circostanze, scrosci anche di moderata intensità risultano maggiormente efficaci nel mobilizzare il materiale detritico disponibile, rispetto a quanto accadeva prima che il bacino fosse interessato dall'incendio (Ziernolz et al., 1995; Cannon, 2001). Un caso analogo è già stato documentato in Piemonte nel comune di Pallanzeno (VB) il 18 luglio 2005 (Arpa Piemonte, 2005; Tiranti et al., 2006).

Come illustrato in precedenza, l'innesco del mud-debris flow del 7 luglio si è verificato, per l'appunto, in presenza di precipitazioni di moderata intensità, soprattutto se paragonate alle piogge antecedenti che, il 29 aprile, il 2, 9 e 14 maggio 2018 hanno causato eventi torrentizi di magnitudo inferiore caratterizzati dal trasporto di prevalente materiale fine (sabbie e silt di colore marrone scuro) e detriti lignei combusti (Figura 20) in concentrazioni modeste.

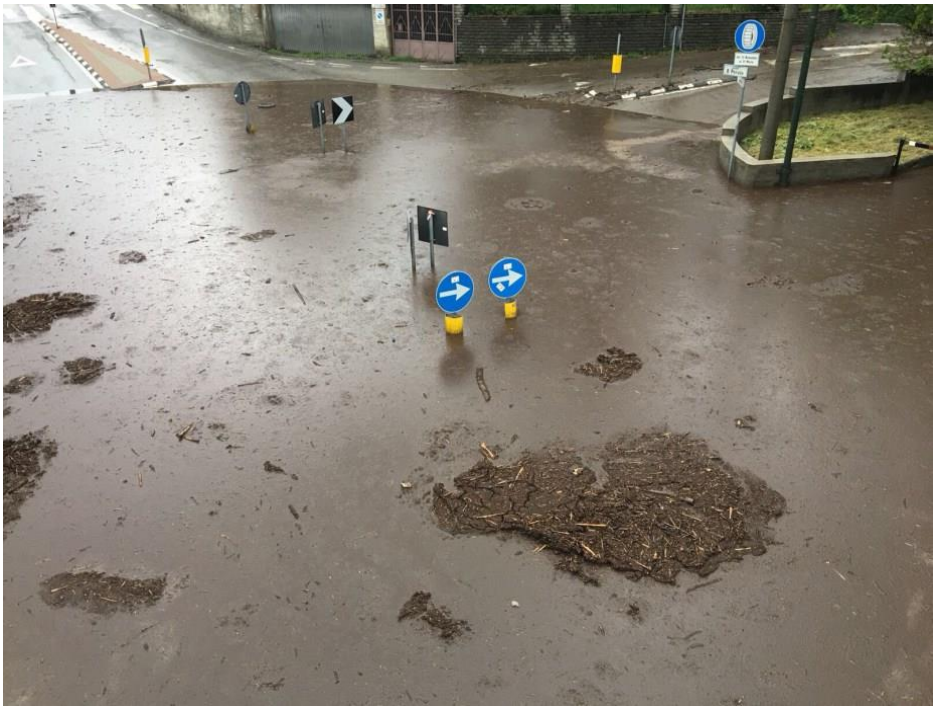


Figura 20. Natura del sedimento deposto dal mud flow che ha interessato Bussoleno il 29 aprile 2018 (fonte: quotidiano ValsusaOggi del 29/04/2018 - http://www.valsusaoggi.it/foto-valsusa-la-pioggia-manda-in-tilt-bussoleno-sottopasso-e-strade-allagate-frana-ed-allevatori-evacuati/ - consultato il 14/06/2018).

Per quanto riguarda le cause di innesco, alle considerazioni sopra esposte relative alle condizioni predisponenti, occorre aggiungere anche l'ipotesi di una portata di innesco "maggiorata" a causa della formazione di uno sbarramento temporaneo (in genere in formazione in corrispondenza di restringimenti naturali della sezione del canale e/o in corrispondenza di brusche riduzioni della pendenza) e successivo rilascio improvviso per rottura dello stesso. Tale ipotesi, da verificare, giustificherebbe a maggior ragione una portata eccezionale non riscontrata negli eventi storici precedenti.

Sulla base dei rilievi speditivi seguiti agli eventi oggetto di studio, il canale principale si presenta mediamente ripulito dai depositi e detriti superficiali presenti in alveo, tuttavia permangono forti disponibilità di materiale rimobilizzabile sulle sponde del tratto intermedio e lungo tutte le incisioni minori del tratto superiore del bacino afferenti al canale principale.

La mancanza di un canale di deflusso in conoide ha sicuramente avuto un ruolo fondamentale sull'amplificazione degli effetti sulle strutture antropiche e sulla dinamica del fenomeno.

ANALISI PLUVIOMETRICA

Come già accennato, Il fenomeno è spiegabile poiché le precipitazioni che interessano un bacino dopo un incendio rimuovono per dilavamento il materiale prodotto dalla combustione sui versanti convogliandolo in alveo. Il dilavamento può avvenire gradatamente e in fasi successive in concomitanza di eventi piovosi separati e distinti (eventi pluviometrici di aprile e maggio). Quando il materiale è stato in gran parte dilavato dai versanti, viene lasciato esposto un suolo impoverito e localmente caratterizzato dalla presenza di più o meno estese superfici idrofobiche. Ne consegue una sensibile e generale diminuzione della permeabilità dei suoli, con un conseguente significativo aumento del run-off sui versanti, per cui l'effetto delle acque di ruscellamento diffuso (sui versanti) e concentrato (negli impluvi) risulta amplificato e in grado di mobilizzare anche il materiale grossolano presente in alveo.
Le precipitazioni osservate dai pluviometri più prossimi al bacino del Rio delle Foglie evidenziano valori non significativi o nulli nell'intorno dell'ora di occorrenza del fenomeno torrentizio (11:30-12:30UTC). I pluviometri di Prarotto (quota 1440m s.l.m., Condove, TO), Pietrastretta (quota 520m s.l.m., Susa, To) e Borgone (quota 400m s.l.m., Borgone Susa, To), situati a una distanza di 6,968 km, 7,856km e 8,690km dal bacino, hanno registrato rispettivamente 0,4mm, 3,2mm e 0mm. Valori di pioggia più consistenti sono stati registrati dagli stessi tra le 15:00 e le 18:30 UTC, rispettivamente di 15,6mm, 10,8mm e 11,6mm. Tuttavia, data la distanza e la differenza di quota dei pluviometri rispetto al bacino, nonché alla luce della natura temporalesca delle precipitazioni, i dati di pioggia provenienti da tali misurazioni non possono essere considerati significativi per identificare i valori di pioggia responsabili dell'innesco del processo torrentizio. I dati pluviometrici si sono però rivelati utili al fine di attenuare l'incertezza delle stime radar. Questi sono stati confrontati con le stime radar ottenendo un fattore di correzione che, in questo caso specifico, ha permesso di identificare ed attenuare la sottostima dei valori di precipitazione stimati dalle osservazioni radar. La visibilità radar sull'area di interesse è parzialmente limitata a causa dell'orografia complessa. La Figura 21 mostra l'elevazione radar utile, ovvero libera da blocco orografico, per il radar di Bric della Croce, che si trova a circa 50 km da Bussoleno. Come si può osservare, mentre nel fondo valle il fascio radar si propaga liberamente anche ad elevazioni inferiori a circa 1 grado, per la stima della precipitazione in corrispondenza dei versanti bisogna fare affidamento su misure raccolte a elevazioni più alte e quindi corrispondenti a quote elevate.

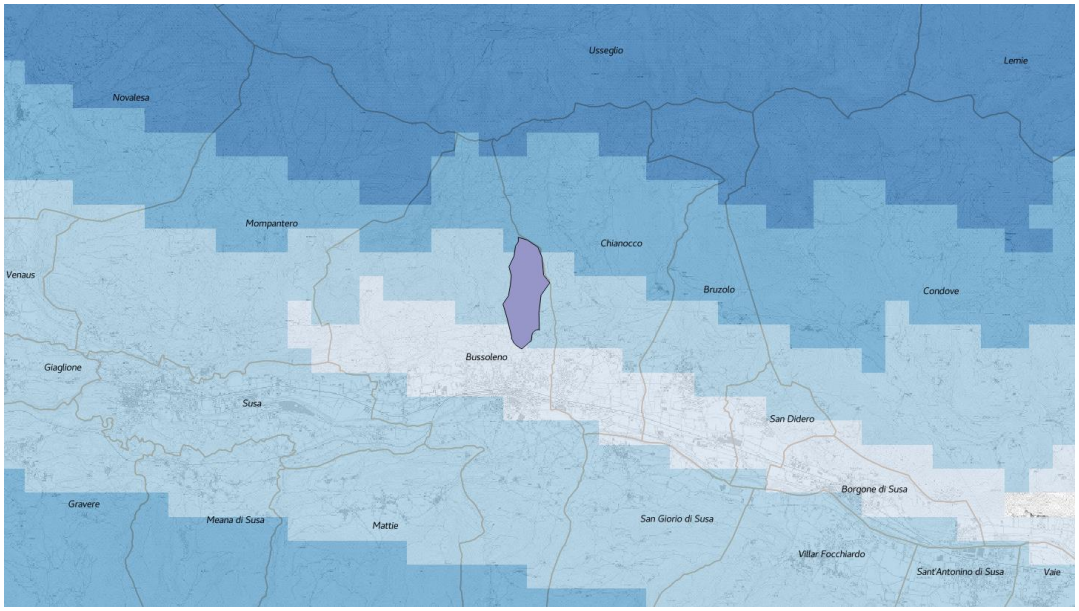
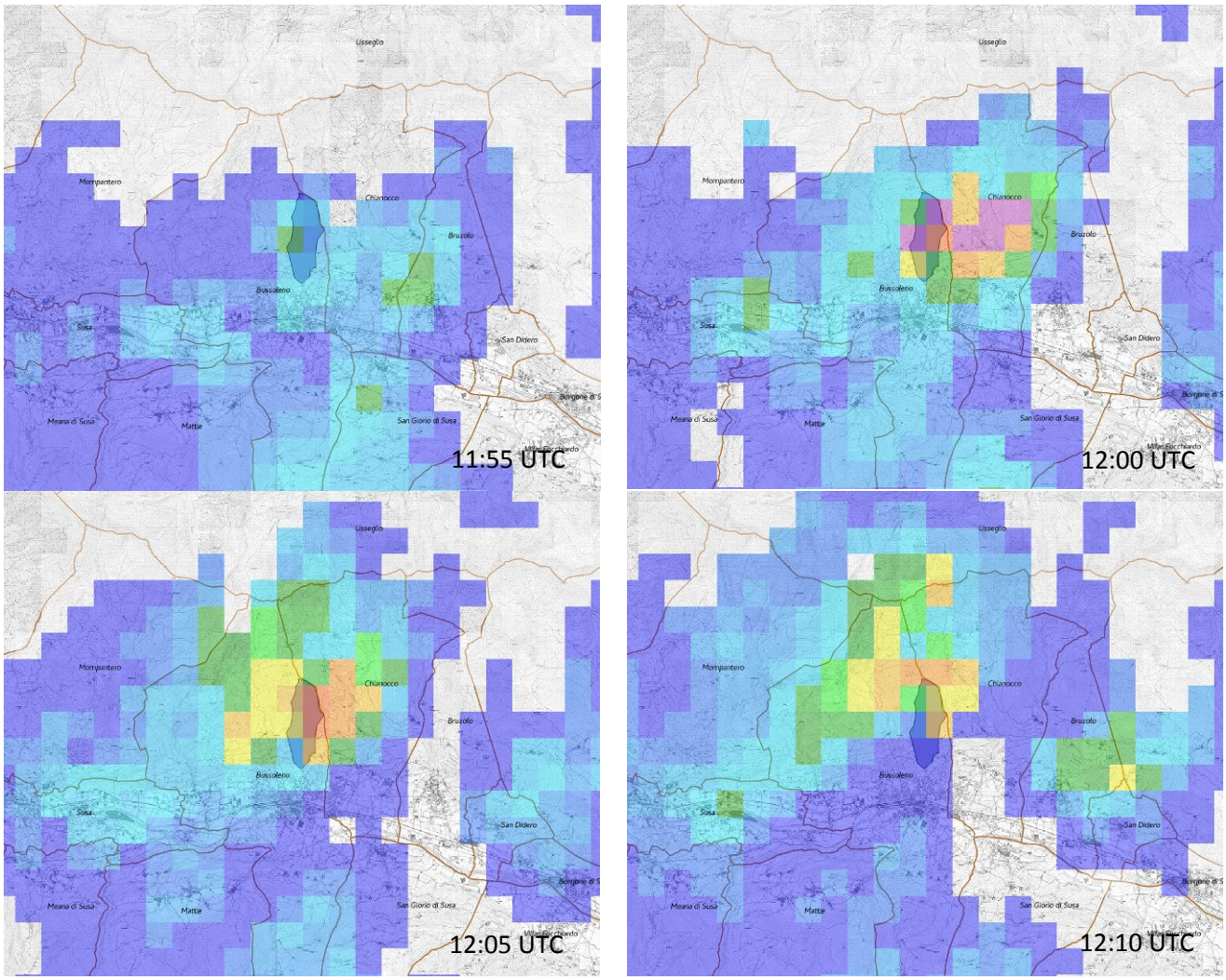


Figura 21. Mappa di visibilità dal radar di Bric della Croce sulla Val di Susa. Le tonalità di blu corrispondono a elevazioni da 0.5deg (blu chiaro), fino a 3.0deg (blu scuro, sopra Usseglio). L'area del bacino del Rio delle Foglie è evidenziata in colore viola al centro dell'immagine.

Considerando l'elevazione di 2.0deg, la quota delle osservazioni del radar di Bric della Croce sopra Bussoleno è di circa 2500 m s.l.m., mentre l'elevazione successiva (3.0deg) corrisponde ad una quota di circa 3500m s.l.m.
Analizzando in dettaglio le piogge stimate da radar (Figura 22), è stata identificata una cella temporalesca, formatasi intorno alle 11:45UTC sul comune di Chianocco e zone limitrofe e transitata sul bacino in oggetto tra le 11:55 e le 12:25UTC. In Fig. 24 sono riportate le mappe con l'evoluzione della cella temporalesca nella zona di Bussoleno. L'intensità di precipitazione stimata da radar sul bacino considerato presenta dei picchi molto intensi compresi tra 60 e 100mm/h alle 12:00UTC. Alcuni valori di poco superiori a 100 mm/h possono indicare la probabile presenza di graupel (grandine molle) alla quota delle osservazioni. L'intensità di precipitazione si è mantenuta oltre i 30-50mm/h fino alle 12:10 UTC. Successivamente la cella temporalesca si è spostata verso Nord-Ovest, con una conseguente riduzione dell'intensità sul bacino del Rio delle Foglie. Quindi tra le ore 14:00 e le ore 14:10 (ora locale) sono caduti circa 10 mm con un'intensità di 60mm/h



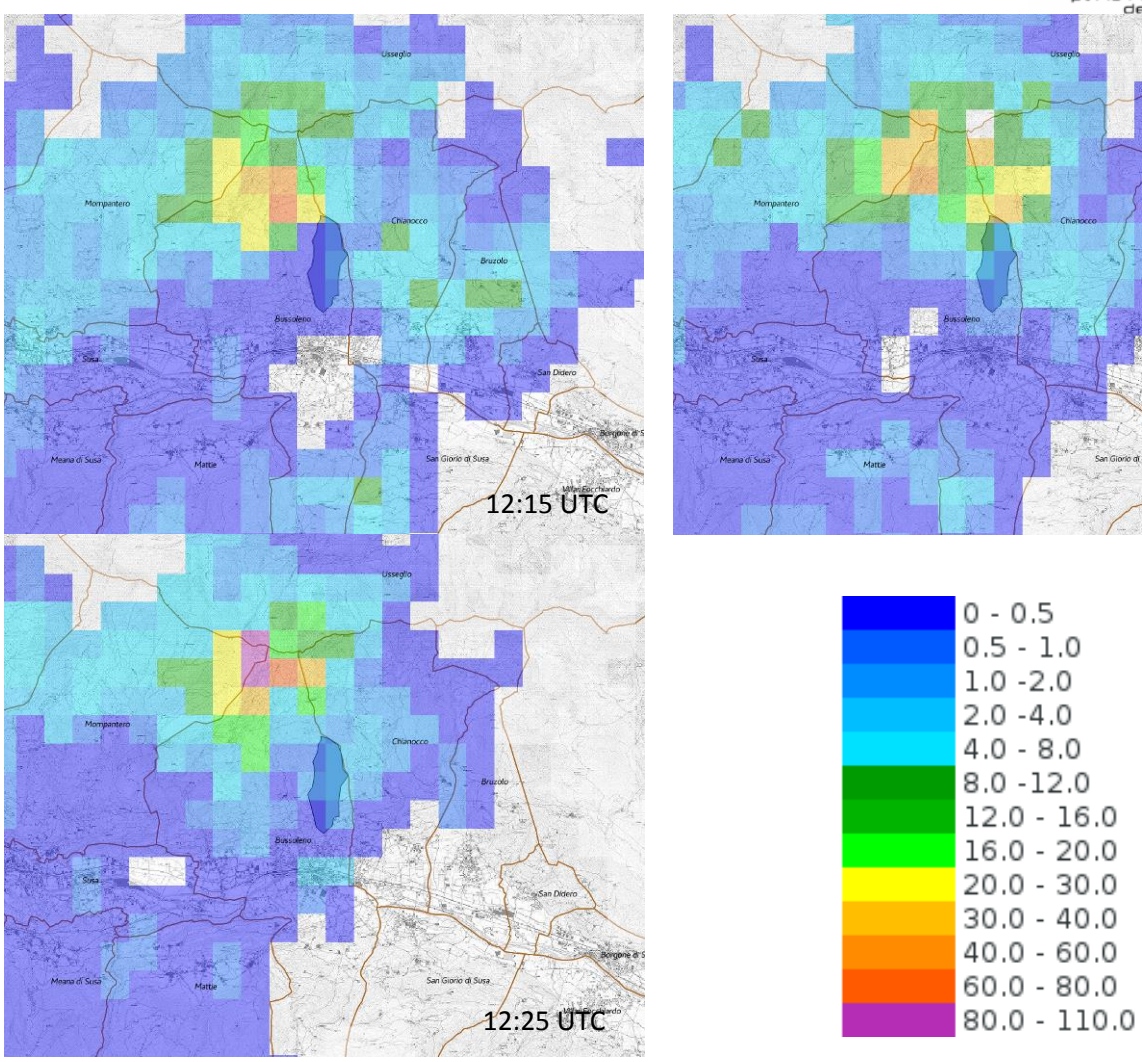


Figura 22. Intensità oraria di precipitazione stimata dal radar di Bric della Croce tra le 11:55 e le 12:25 UTC. Le osservazioni utilizzate provengono dall'elevazione di 2.0deg e corrispondono ad una quota di circa 250 m s.l.m. nell'area considerata. L'area del bacino del Rio delle Foglie è evidenziata al centro dell'immagine.

La mappa in Figura 23 riporta la stima della cumulata di pioggia al suolo relativa all'intervallo 11:55 – 12:25UTC. Si nota un massimo di circa 15mm (verde chiaro) sul bacino interessato dal mud-debris flow (Rio delle Foglie), corrispondente ad una intensità di precipitazione media di circa 30 mm/h durante 30 minuti.

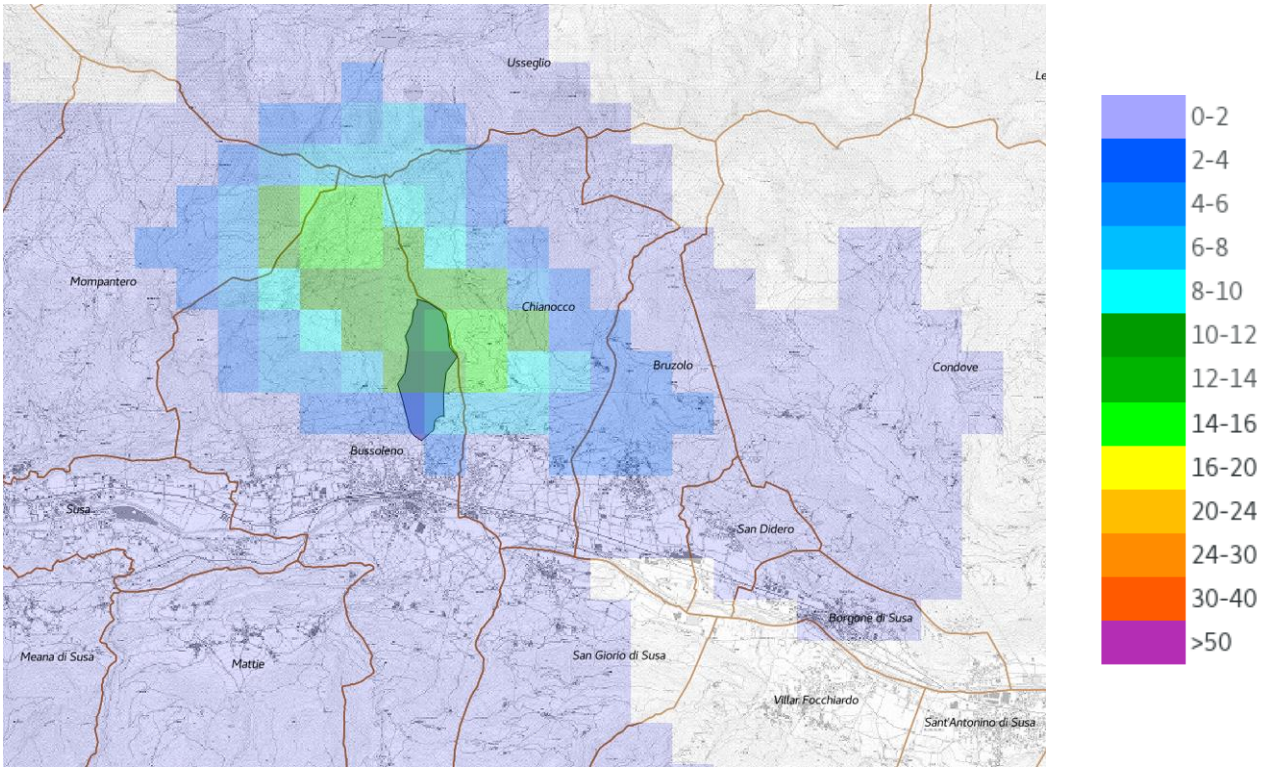


Figura 23. Cumulata al suolo stimata da radar relativa all'intervallo di tempo 11:55 – 12:25 UTC del 07/06/2018, derivata dall'analisi delle osservazioni a 2.0deg. L'area del bacino del Rio delle Foglie è evidenziata al centro dell'immagine.

L'analisi statistica delle precipitazioni dell'evento ha evidenziato che le durate più critiche sono state quelle dei 10 minuti e della mezz'ora; infatti sui dieci minuti sono stati registrati circa 10mm e in mezz'ora circa 15mm. Tali quantitativi sono corrispondenti ad un tempo di ritorno di 5 anni, come si può notare dal grafico seguente, che riporta le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per assegnato tempo di ritorno e diverse durate calcolate nel centro di scroscio che ha interessato il bacino del Rio delle Foglie (Figura 24).

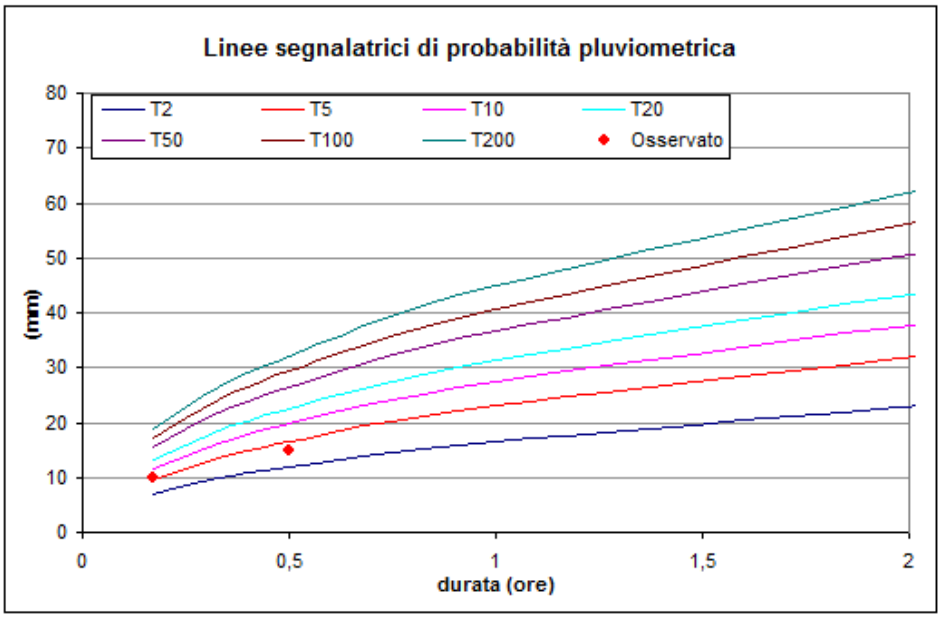


Figura 24. Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per assegnato tempo di ritorno per diverse durate calcolate nel centro di scroscio che ha interessato il bacino. I pallini rossi corrispondono ai valori di pioggia sui 10 e 30 minuti che intersecano la linea segnalatrice T5 (tempo di ritorno 5 anni).

REFERENZE

Arpa Piemonte, 2005, Il “trasporto in massa” a Pallanzeno (VB) del 18 luglio 2005. Pp. 24.
Bashir, S.M., 1969, Hydrophobic soils on the east side of the Sierra Nevada: Reno, University of Nevada, M.S. thesis, 97 p.

Brandt, G.H., 1969, Water movement in hydrophobic soils, in DeBano, L.F., and Letey, John, eds., Water-repellent soils: University of California, Riverside, May 6-10, 1968, Proceedings, p. 91-114.
Cannon, S.H., 2001. Debris flow generation from recently burned watersheds. Environmental and Engineering Geoscience 7 (4), 321–341.

DeBano, L.F., 1969c., The relationship between heat treatment and water repellency in soils: in DeBano, L.F., and Letey, John, eds., Water-repellent soils: University of California, Riverside, May 6-10, 1968, Proceedings, p. 265-279.

DeBano, L.F., and Krammes, J.S., 1966, Water-repellent soils and their relation to wildfire temperatures: Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology, v. 11, no. 2, p. 14-19.

Tiranti, D., Moscariello, A., Giudici, I., Rabuffetti, D., Cremonini, R., Campana, V., Bosco, F., Giardino, M., 2006, Post-fire rainfall events influence on debris-flows trigger mechanisms, evolution and sedimentary processes: the Rio Casella case study in the North-western Italian Alps. In: EGU General Assembly 2006 Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 03479, 2006 SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A-03479

Tiranti, D., Cremonini, R., Marco F., Gaeta, A.R., Barbero, S., 2014, The DEFENSE (DEbris Flows triggEred by storms - Nowcasting SystEm): an early warning system for torrential processes by radar storm tracking using a Geographic Information System (GIS). Computers & Geosciences 70: 96-109. DOI: 10.1016/j.cageo.2014.05.004

Tiranti, D., Cremonini, R., Asprea, I., Marco, F., 2016, Driving Factors for Torrential Mass-Movements Occurrence in the Western Alps. Front. Earth Sci. 4:16. DOI: 10.3389/feart.2016.00016

Ziernolz, Christoph, Hairsine, Peter, and Booker, Fred, 1995, Runoff and soil erosion in brushland following the Sydney brushfires: Australian Journal of Soil and Water Conservation, v.8, no. 4, p. 28-37.