



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 GEOLOGICA E GEOTECNICA

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. GEOL. MICHELANGELO DI GIOIA
VIA PIETRINO BELLÌ 65 - 10143 TORINO
TEL. +39 011 74 95 917 - CELL. +39 335 5898360
michelangelodigioia@gmail.com

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

dott. geol. Michelangelo DI GIOIA
Ordine dei Geologi della Regione Piemonte
Posizione n.145
Cod. Fisc. DGI MHL 60M22 L219U

CONTROLLO QUALITA'

DESCRIZIONE	EMISSIONE
DATA	GIU/2018
COD. LAVORO	336/SR
TIPOL. LAVORO	E
SETTORE	G
N. ATTIVITA'	01
TIPOL. ELAB.	RS
TIPOL. DOC.	E
ID ELABORATO	03
VERSIONE	0

REDATTO

geol. Michelangelo DI GIOIA

CONTROLLATO

geol. Michelangelo DI GIOIA

APPROVATO

ing. Santo LA FERLITA

ELABORATO

1.3

REGIONE PIEMONTE
CITTA' METROPOLITANA DI TORINO
COMUNE DI BUSSOLENO

**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**

Relazione geologica

Elaborato	Codice	Rev.	Data
G1		0	20/06/2018
		1	

Il geologo incaricato:
Dott. Geol. Michelangelo DI GIOIA



Dott. Geol. Michelangelo DI GIOIA
Via Pietrino Belli, 65 – Torino tel. 011/7495917 cell. 335 5898360
e-mail : michelangelodigioia@gmail.com

1. PREMESSA

La presente relazione illustra gli aspetti di carattere geologico e geomorfologico relativi al progetto dei lavori di somma urgenza per il contenimento del trasporto solido in apice del conoide alluvionale del Rio Comba delle Foglie.

La messa in sicurezza d'urgenza si è resa necessaria a seguito dell'evento del 7 giugno scorso, nel corso del quale una colata detritica di significativa entità ha determinato importanti danni ad alcune abitazioni localizzate lungo il conoide.

Gli aspetti di carattere geologico e geomorfologico sono finalizzati in particolare alla definizione delle attuali condizioni del bacino e alla valutazione della volumetria di copertura detritica mobilizzabile.

Ulteriori valutazioni hanno poi riguardato tipologia e posizionamento delle opere in progetto. Per l'esame di dettaglio delle stesse si rimanda alla visione degli elaborati progettuali.

Gli aspetti di carattere idrologico ed idraulico costituiscono l'oggetto di uno specifico elaborato.

Il lavoro si è pertanto 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.

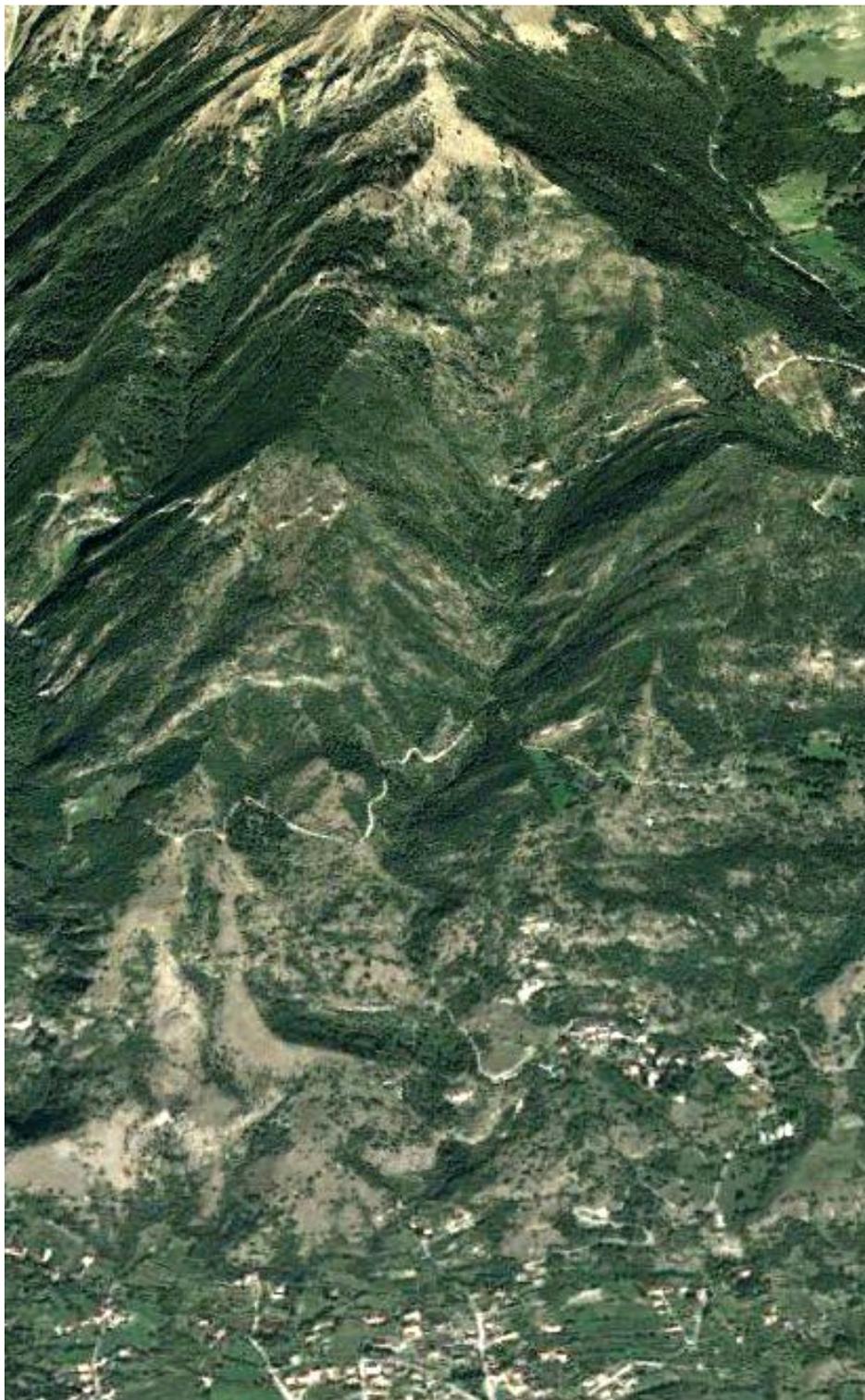


Fig. 1.1 – Foto aerea 3D del bacino (Google Earth 2015)

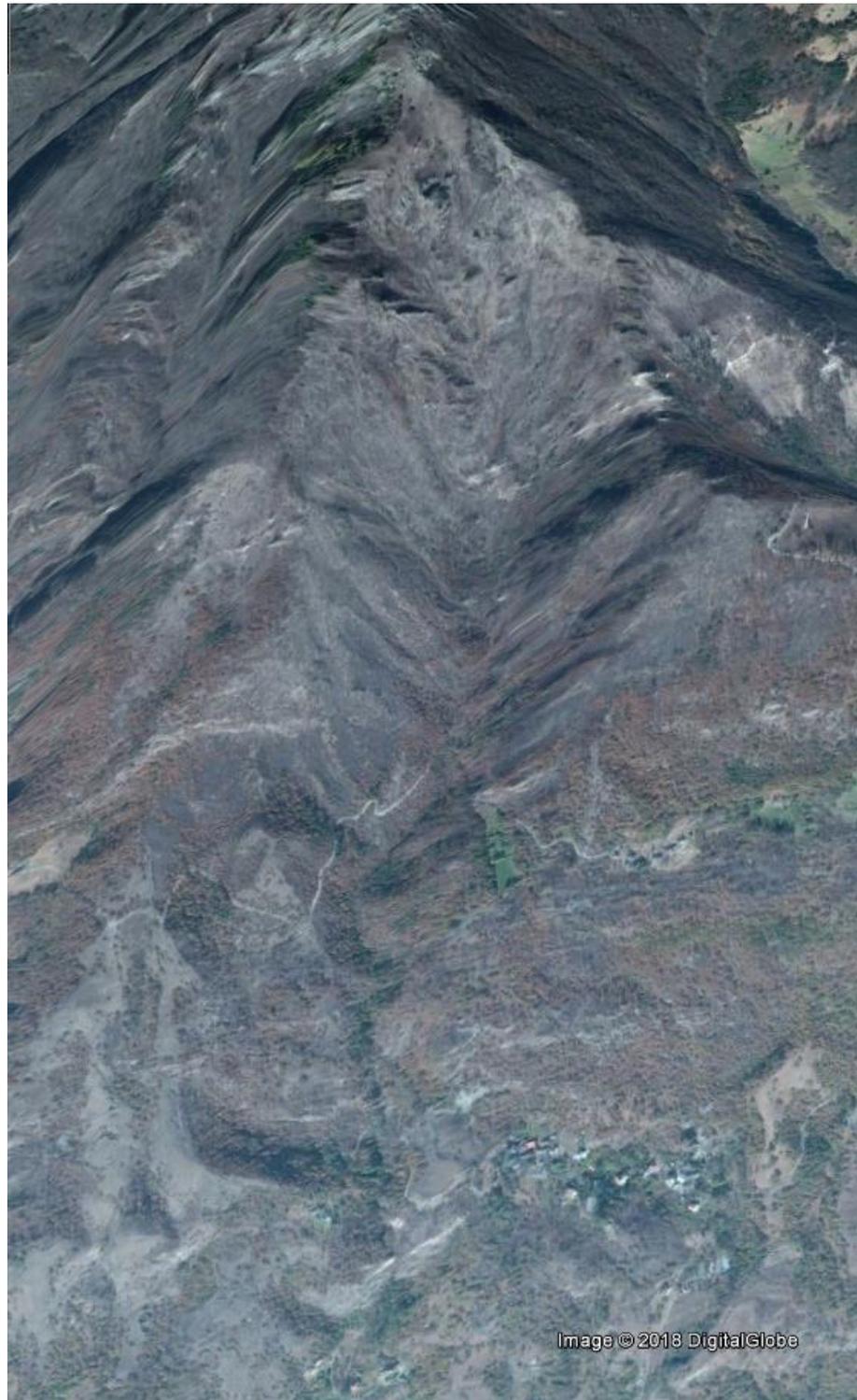


Fig. 1.2 – Foto aerea 3D post-incendio (Google Earth 3/11/2017)

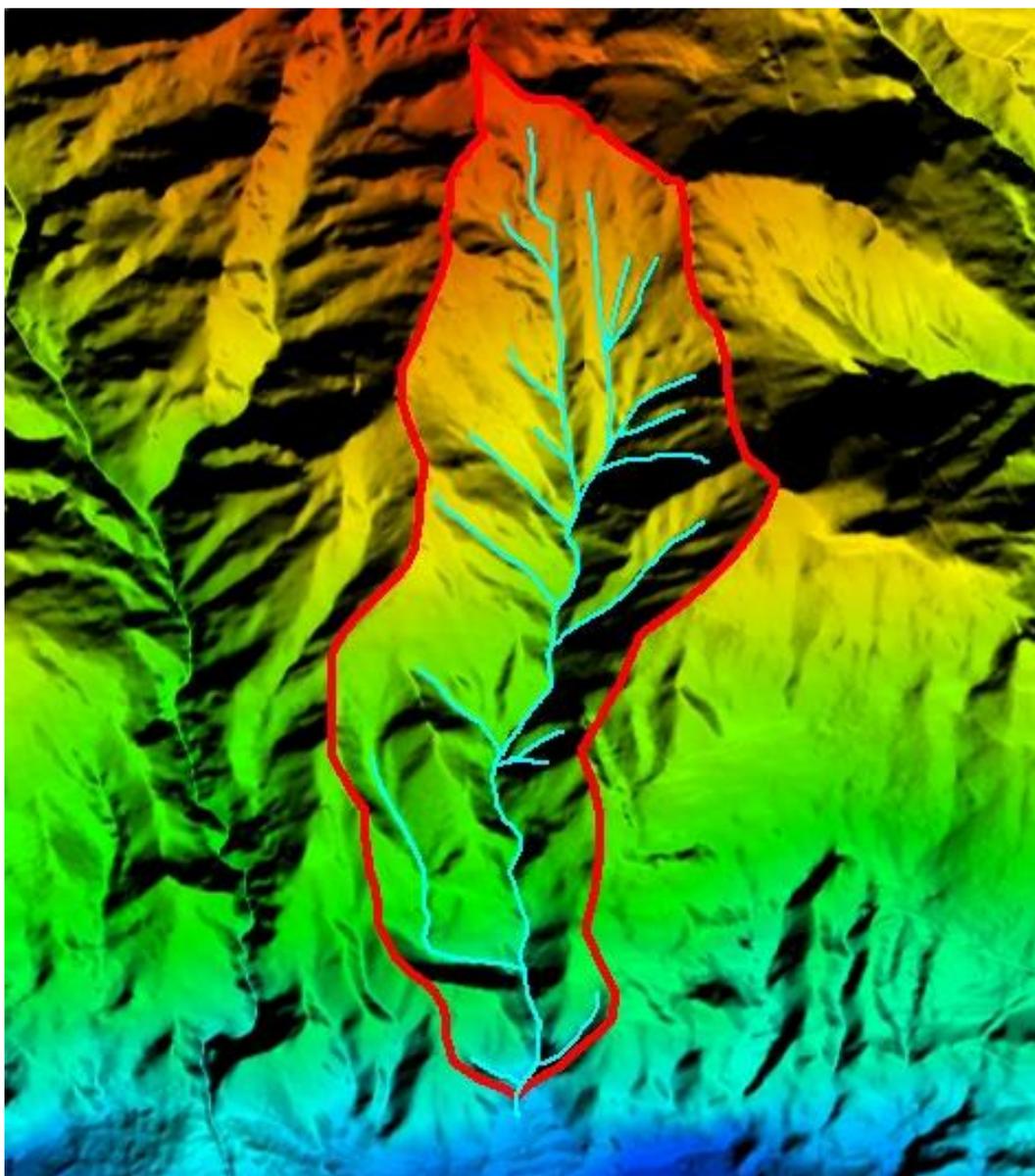


Fig. 1.3 – Elaborazione DTM Regione Piemonte con reticolo idrografico

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI

Il bacino del Rio Comba delle Foglie, collocato in sinistra idrografica del F. Dora Riparia ad Ovest di Argiassera, si estende in direzione S-N dal sottostante conoide (apice intorno quota 498 m s.l.m.), sino alla testata la cui quota massima corrisponde a 1790 m s.l.m.. Si tratta di un bacino di piccole dimensioni con estensione pari a circa 1.3 km².

Il corso d'acqua si presenta con alveotipo monocursale ad andamento prevalentemente rettilineo, incidendo detrito di versante e localmente, nella parte bassa il substrato roccioso.

Nella parte alta il reticolo è abbastanza sviluppato con varie aste minori che incidono depositi detritici; nella parte medio-bassa il reticolo risulta invece meno sviluppato e con andamento condizionato dall'assetto geologico-strutturale e dall'attraversamento di salti rocciosi.

Nella tabella sottostante sono riportate le principali caratteristiche fisiografiche del bacino del Rio Comba delle Foglie, tratte dalla relazione geologica allegata al PRGC:

Quota massima (m) 1790

Quota minima (m) 498

Area bacino (km²) 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.

Per quanto riguarda invece il conoide di deiezione del rio Comba delle Foglie esso si estende da quota 498 m a quota 435 m, con una pendenza media fra 6° e 8°. Si tratta di un conoide abbastanza simmetrico, di modeste dimensioni, privo di canale attivo, a causa di interventi antropici. Nella cartografia tra metà '800 e gli anni 60 il corso d'acqua era ancora identificato, per buona parte dell'estensione del conoide (**Figg. 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4**)

Nella relazione geologica del PRGC è riportato quanto segue: *"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)."*

Pur non essendo mai stati segnalati danni nei decenni precedenti in occasione dei principali eventi alluvionali, risulta comunque evidente che l'assenza di un vero e proprio canale di scarico ha sempre determinato condizioni di elevata pericolosità soprattutto per i fabbricati e le aree collocate nel settore sommitale del conoide. La carta di sintesi del PRGC inserisce la maggior parte di questi fabbricati in classe IIIb4 (**Fig. 2.5**).

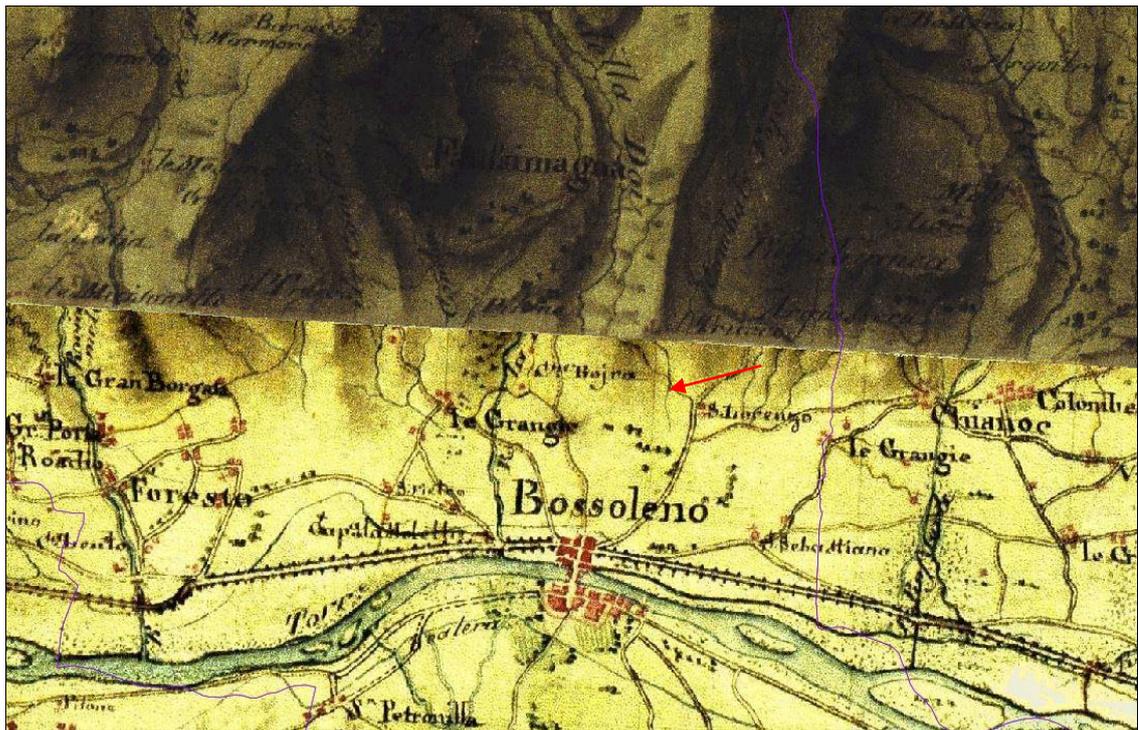


Fig. 2.1 - Gran Carta del Regno degli Stati Sardi in terraferma (1852)

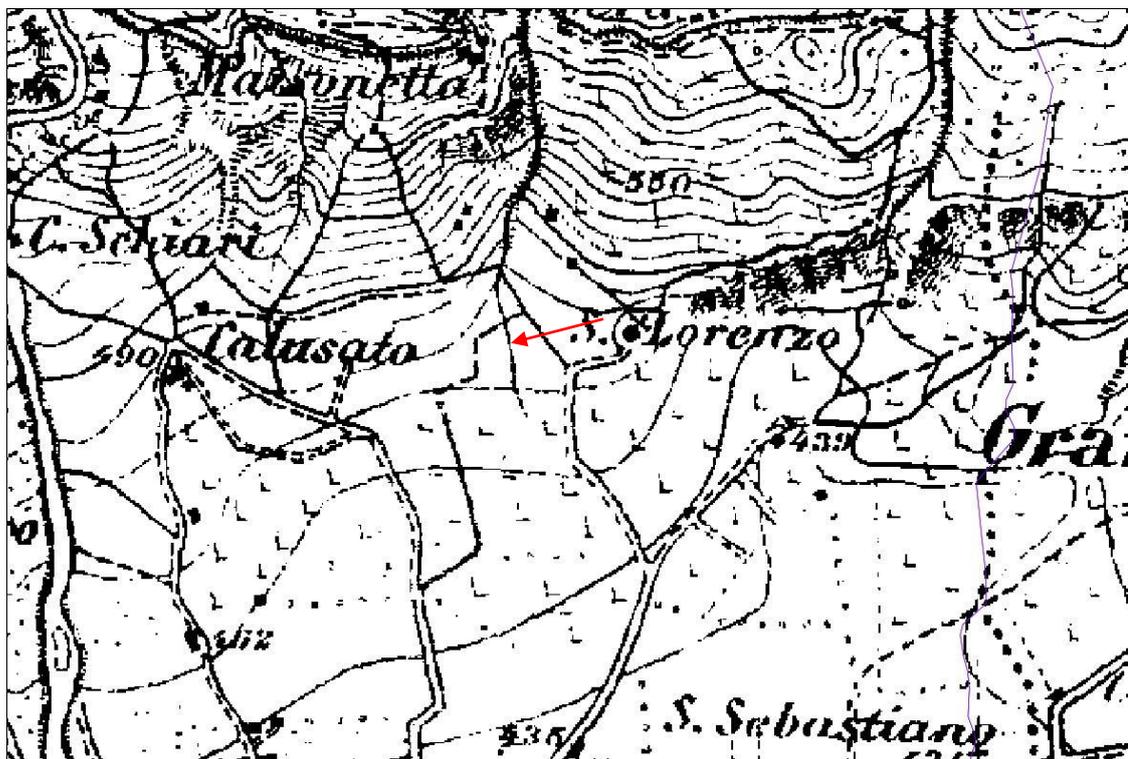


Fig. 2.2 - Carta IGM (1880-1882)

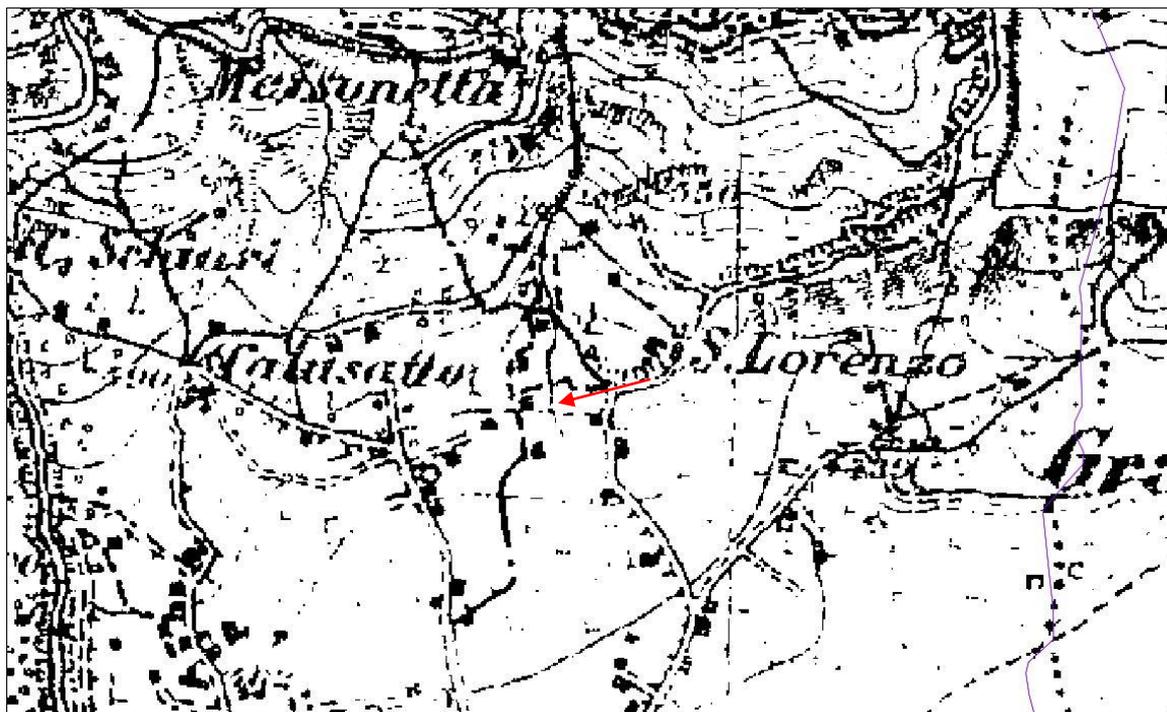


Fig. 2.3 - Carta IGM (1922-1934)



Fig. 2.4 - Carta IGM (1955-1969)

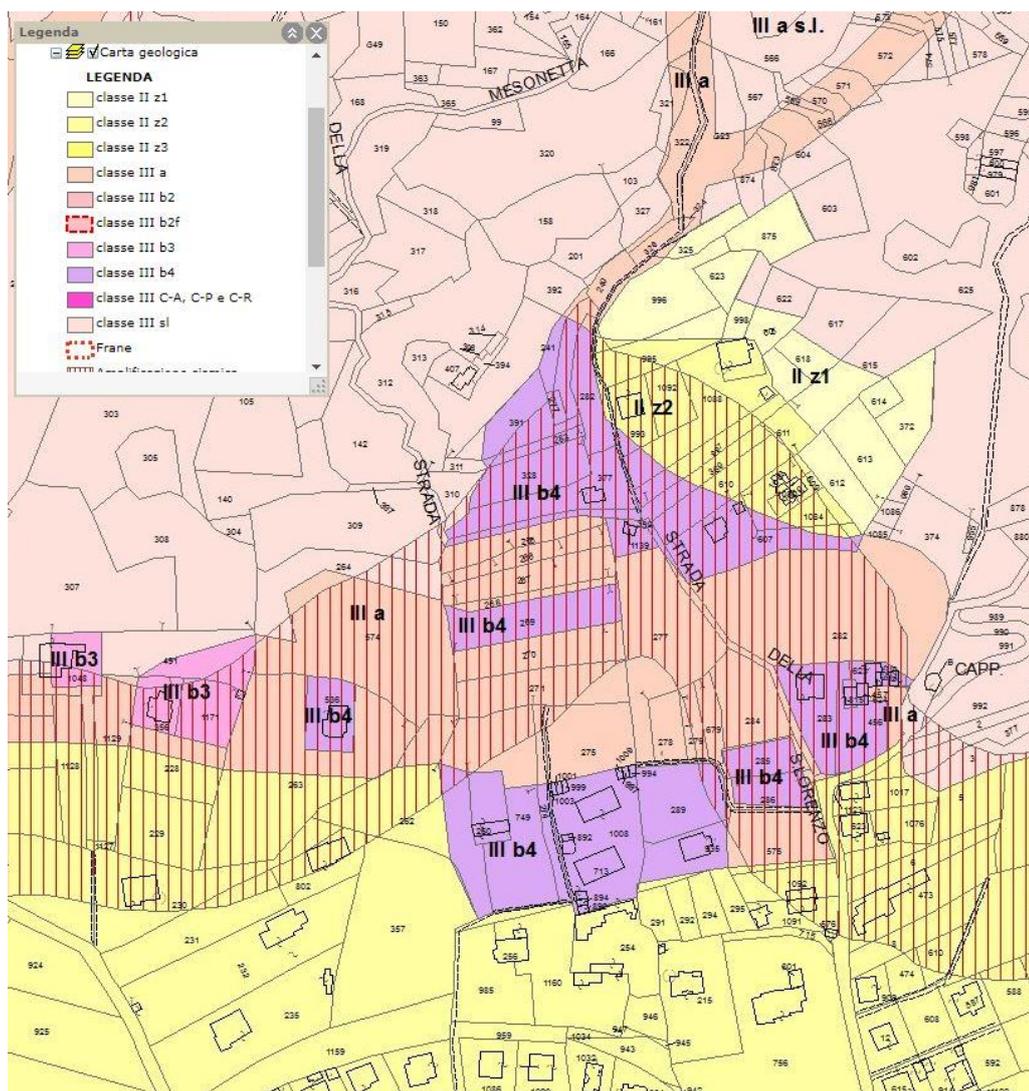


Fig. 2.5 – Estratto dalla carta di sintesi del PRGC

In **TAV. 1 (Allegato 2)** è riportata la carta dell'acclività elaborata sulla base del DTM regionale.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

Dal punto di vista geologico-strutturale 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.

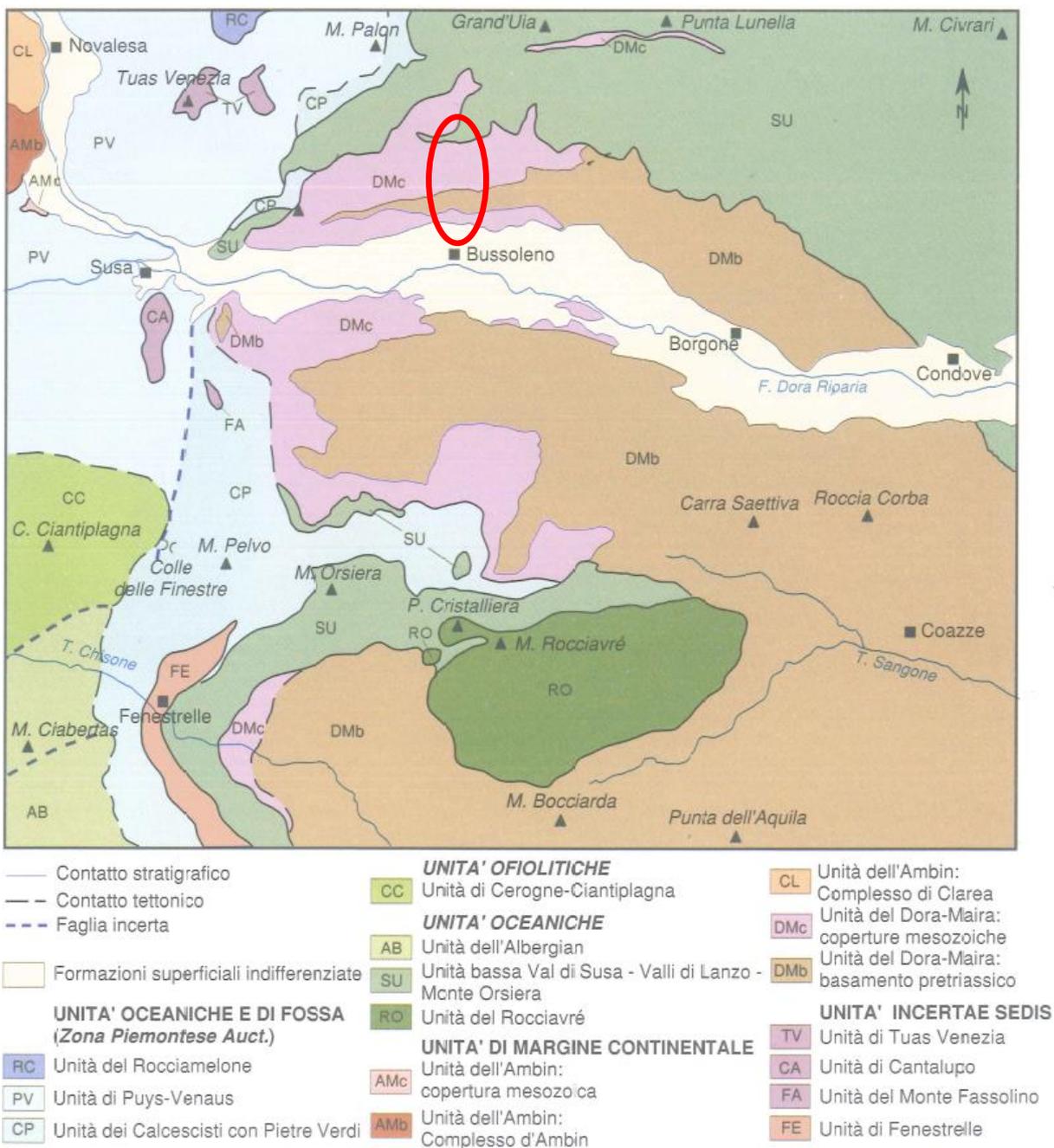


Fig. 3.1 – Schema tettonico tratto dal Foglio 154 Susa della CGI

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 di **Fig. 3.2a** e relativa legenda (Figg. **3.2b** e **3.2c**) indicano 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).

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).

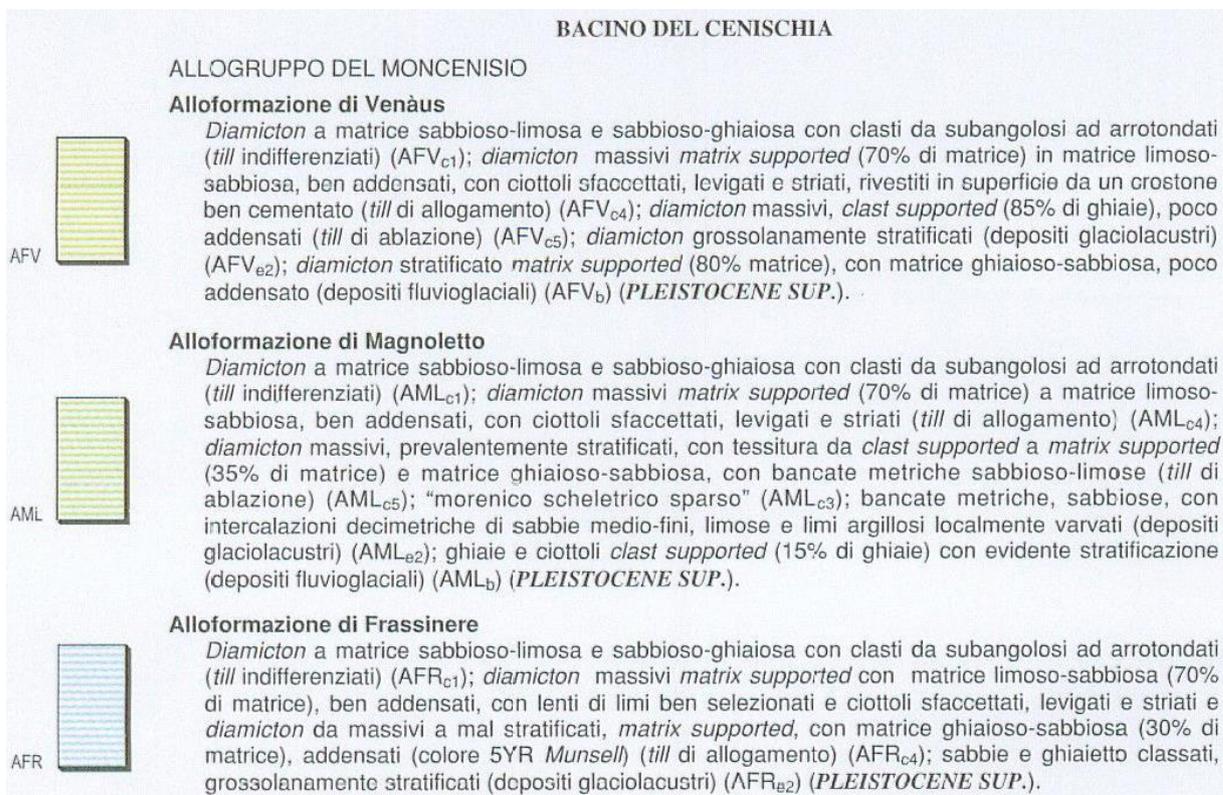
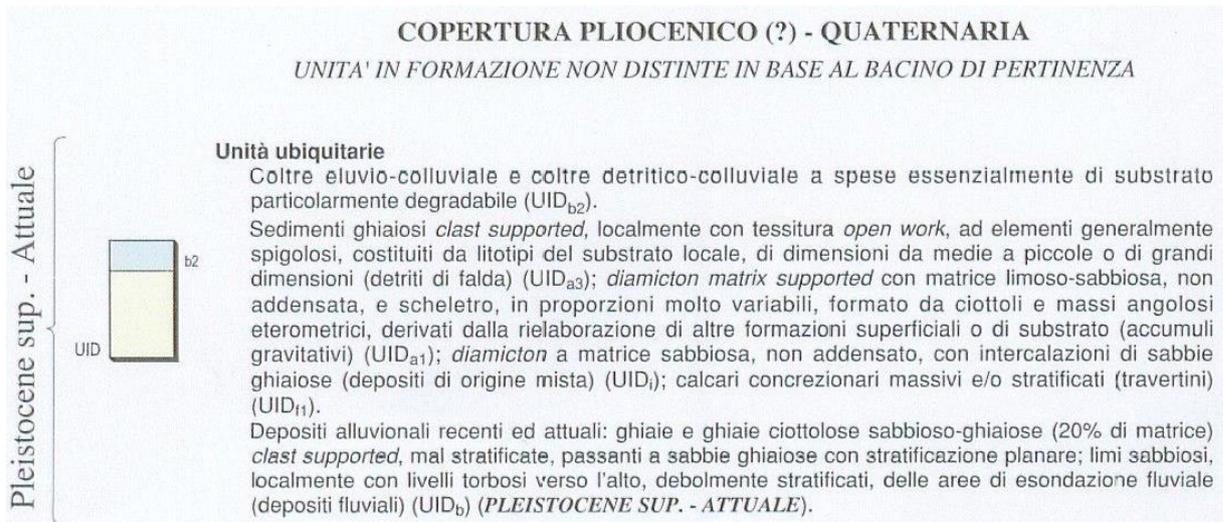
La parte bassa del bacino è caratterizzata da litotipi del basamento pretriassico, in particolare micascisti (DMS) e gneiss (DLG).

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.

La **TAV. 2 (allegato 2)** riporta inoltre le percentuali delle varie litologie presenti: il 67.5% del bacino ricade in ambiente geologico in grado di originare coltri con abbondante matrice fine (calcescisti, marmi e dolomie).

I terreni quaternari sede di appoggio delle opere di contenimento sono classificati come UID in Fig. 3.2; si tratta di sedimenti ghiaiosi *clast supported*, localmente con tessitura *open work* (cioè a tessitura aperta, con clasti in contatto fra loro e assenza di matrice), ad elementi generalmente spigolosi, costituiti da litotipi del substrato locale, di dimensioni da medie a piccole.

Localmente affiorano lungo il canale di erosione generato dalla colata detritica: rispetto alla descrizione della carta geologica risultano caratterizzati localmente da una certa percentuale di matrice sabbioso-limosa e mostrano un addensamento medio-elevato.



sovrassimboli della copertura quaternaria

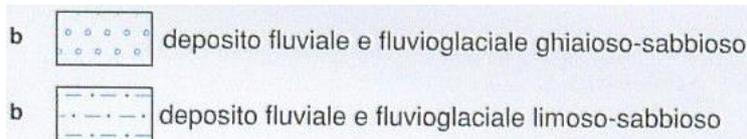


Fig. 3.2a – Carta geologica, tratta dal Foglio 154 Susa della CGI LEGENDA (copertura quaternaria)

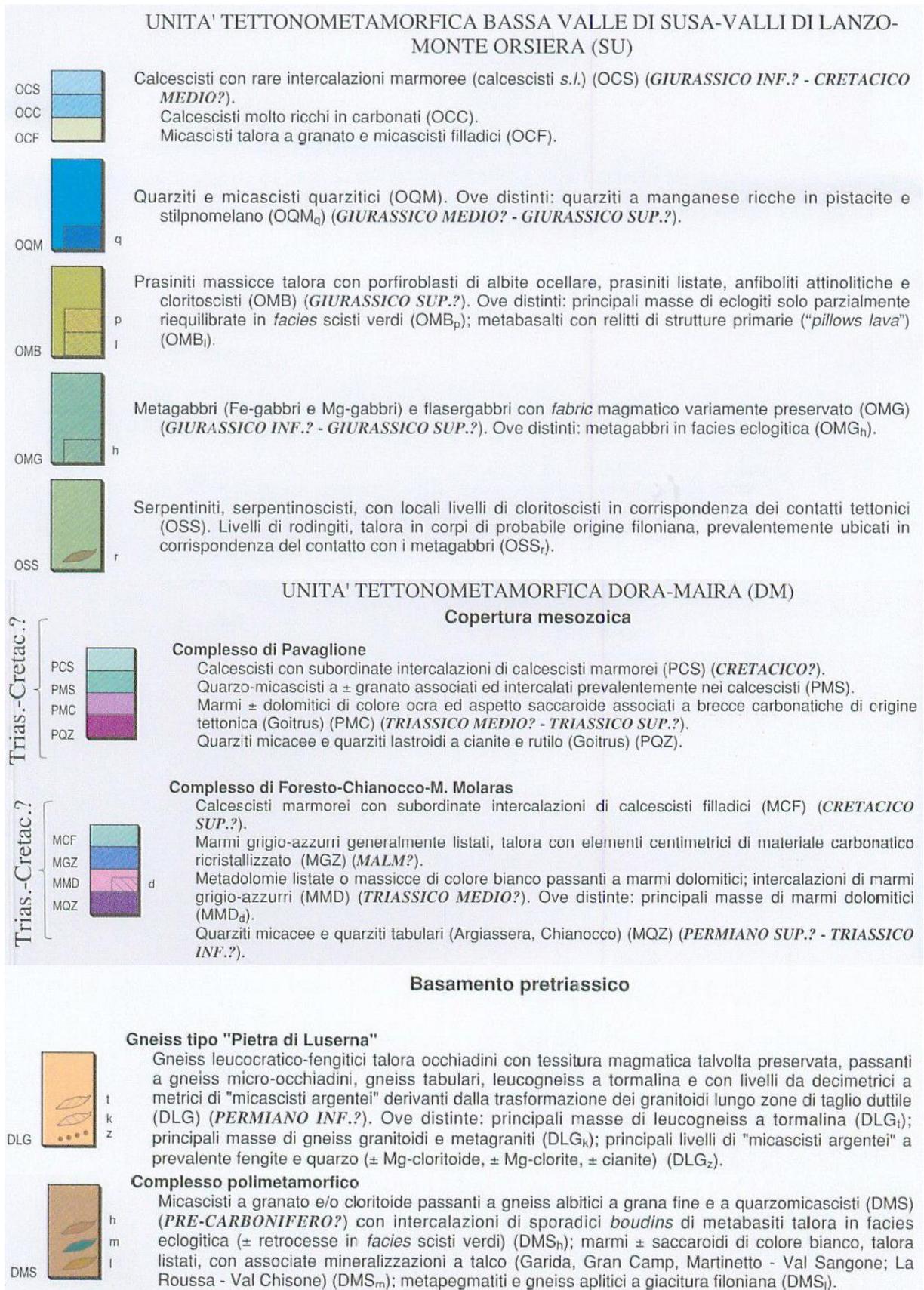


Fig. 3.2b – Carta geologica, tratta dal Foglio 154 Susa della CGI LEGENDA (substrato roccioso)

4. CARTE GEOMORFOLOGICHE DI RIFERIMENTO

La Tav. 2a del PRGC, aggiornata all'evento alluvionale del 2008 (**Fig. 4.3**), segna unicamente due frane di crollo attive (FA1) e una frana per colamento veloce attiva (FA6) nella parte bassa del bacino, quasi allo sbocco sul fondovalle.

La carta SIFRAP non segnala alcun tipo di dissesto gravitativo (**Fig. 4.4**).

Durante il rilevamento effettuato non sono state osservate frane di neoformazione all'interno del bacino in concomitanza del fenomeno di colata detritica.

Sono stati osservati invece numerosi solchi di erosione originati dal deflusso lineare delle acque lungo il versante (vedi ad esempio la foto di **Fig. 4.1**) e qualche locale piccolo distacco di porzioni di coltre detritica nel settore di testata, dove i versanti hanno una pendenza molto elevata (foto di **Fig. 4.2**)



Fig. 4.1 (in alto) e Fig. 4.2 (in basso)

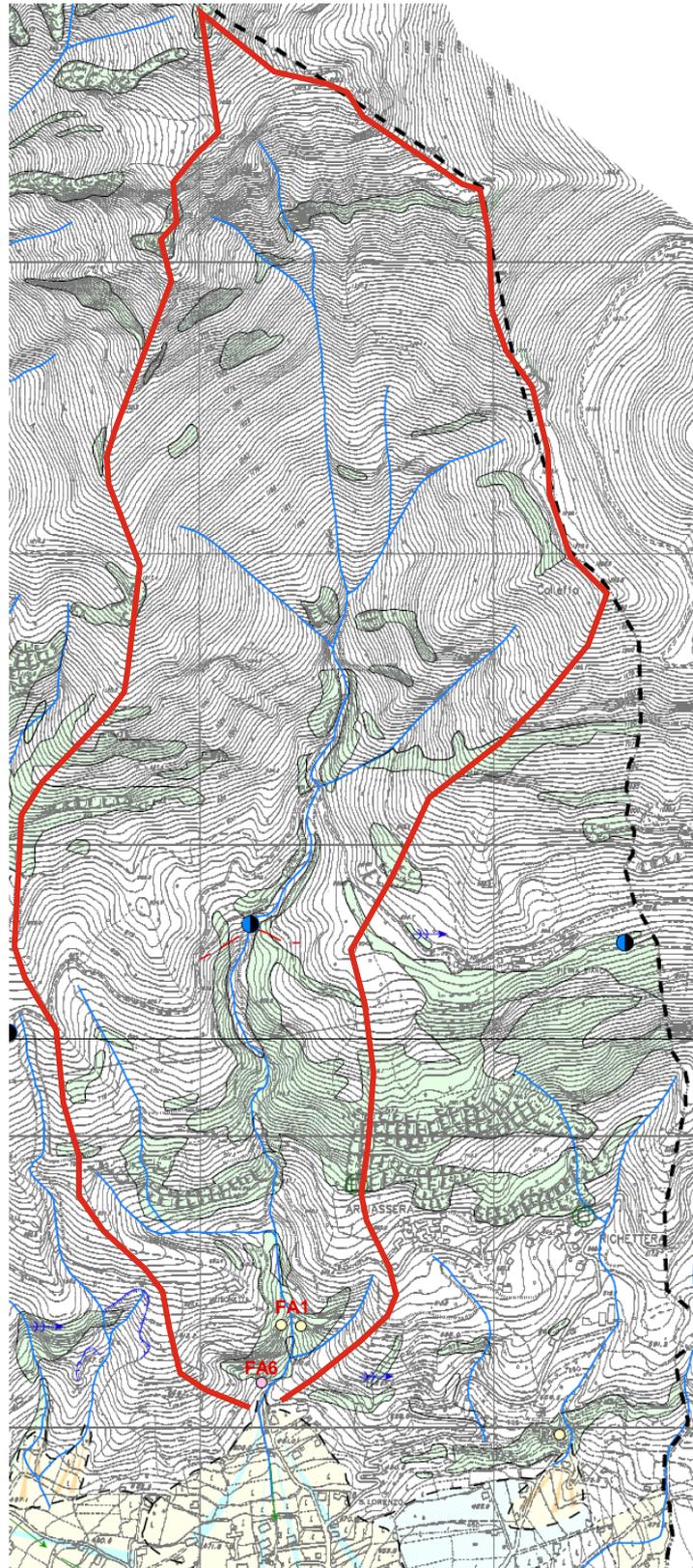


Fig. 4.3 – Estratto dalla carta geomorfologica e dei dissesti aggiornata dopo l'alluvione del 2008: sono segnate unicamente due frane di crollo attive (FA1) e una frana per colamento veloce attiva (FA6) nella parte bassa del bacino, quasi allo sbocco sul fondovalle. In verde chiaro sono indicati gli affioramenti di substrato roccioso indifferenziato; in rosso la delimitazione del bacino.

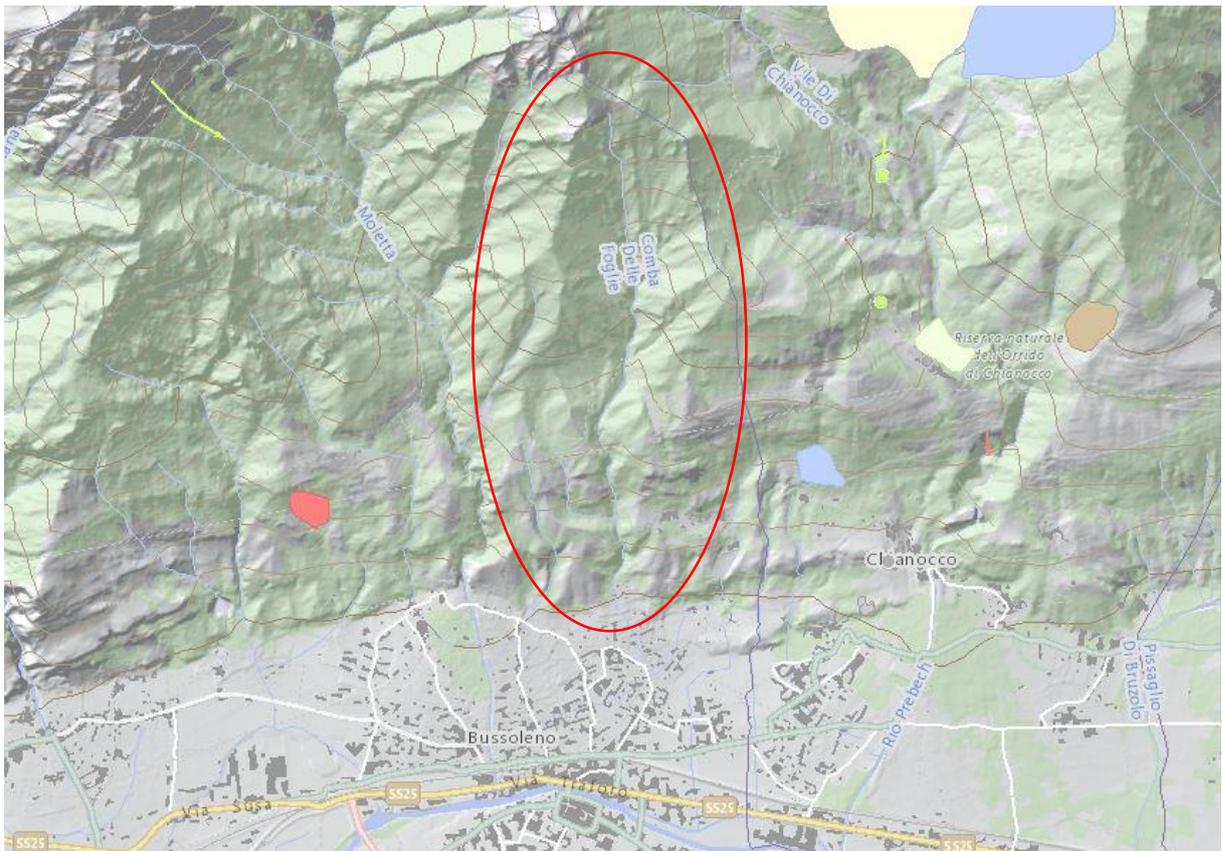


Fig. 4.4 – Estratto dalla carta SIFRAP (Sistema Informativo Frane in Piemonte)

La carta delle valanghe del PRGC non segna la presenza di valanghe all'interno del bacino in oggetto.

Si riporta per completezza anche un estratto della carta della permeabilità allegata al PRGC (**Fig. 4.5**), che individua la metà superiore del bacino come caratterizzata da una diffusa copertura di depositi detritici s.l..

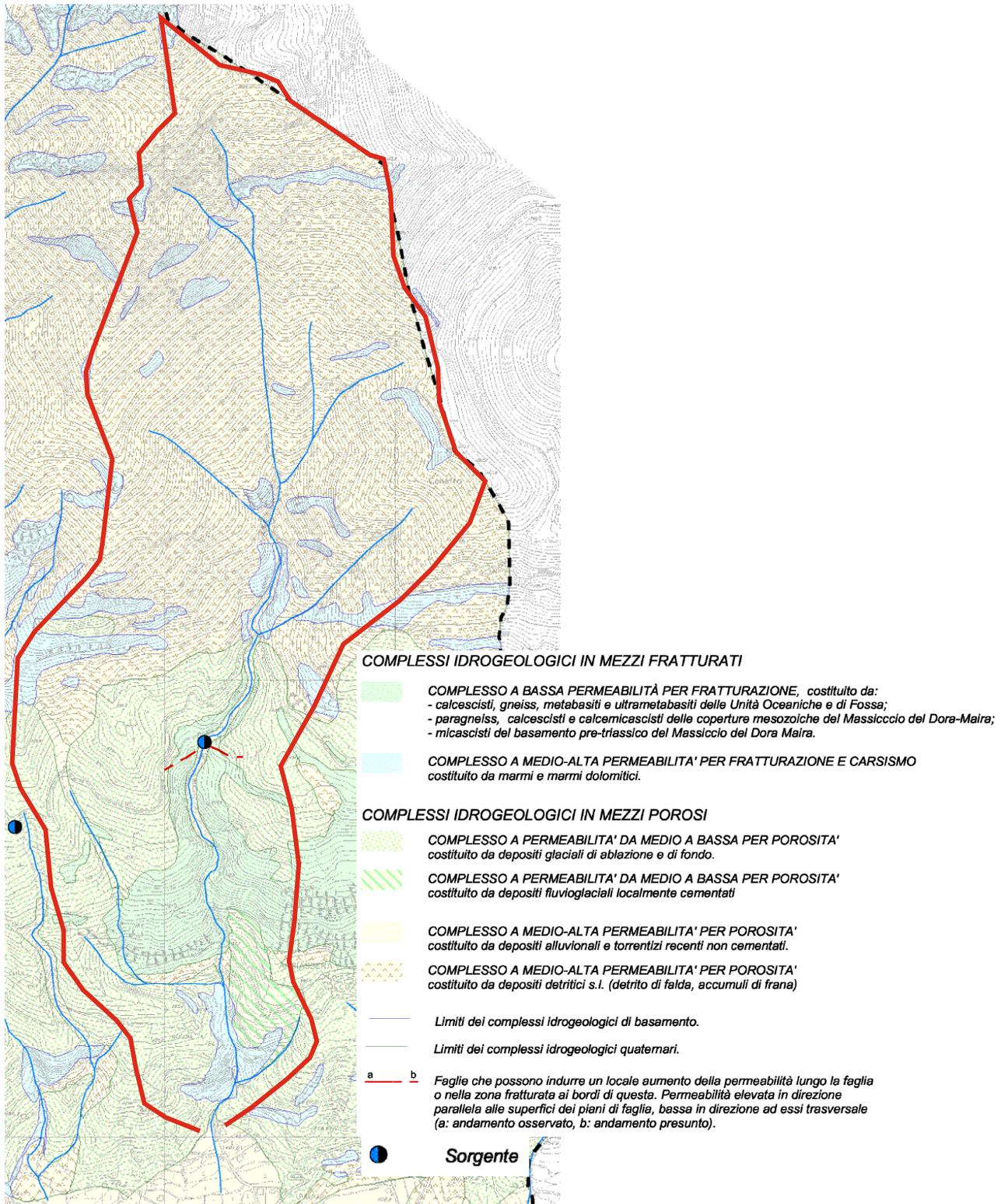


Fig. 4.5 – Carta della permeabilità dei depositi quaternari e del substrato roccioso

5. ANALISI GEOMORFOLOGICA E ANALISI DELLE CAUSE DI INNESCO

Si concorda con quanto descritto nella pubblicazione ARPA citata in precedenza, della quale si riporta il testo integrale:

"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. Tale ipotesi sarà verificata mediante successivi approfondimenti che verranno programmati nei prossimi mesi.

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.

Il materiale preso in carico nel bacino si è depositato nella zona di conoide interessando un'area di circa 35'000 m², 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 depositi 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, 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 5-10 cm fino a 50-60 cm in corrispondenza di ostacoli e zone depresse.

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.

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'innescò 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 innescò, 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. In accordo con Tiranti et al. (2016), i bacini caratterizzati da un'elevata copertura vegetativa non favoriscono l'innescò 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.

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) e, dall'altra, modificando le caratteristiche idrologiche dei versanti.

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'innescò di fenomeni torrentizi ad alto contenuto di sedimento trasportato, in virtù della maggiore quantità di materiale fine non consolidato reso 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 (Ziarnolz 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'innescò del mud-debris flow del 7 giugno 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 in concentrazioni modeste.

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 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."

6. POTENZIALE DETRITICO

Per quanto attiene alla valutazione del potenziale detritico, considerata l'urgenza degli interventi in progetto, si è proceduto con una stima speditiva basata essenzialmente sui metodi geomorfologici dei contributi unitari (Hungri, 1984) e delle aree sorgente.

6.1. Metodo di Hungri

Il reticolo idrografico è stato suddiviso in tratti omogenei (pendenza, tipologia d'alveo, ecc.), la cui numerazione è visibile in **Fig. 6.1** e in **TAV. 3**; 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 Hungri, 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 mc (min e max delle classi di Hungri), e un valore medio ragionato pari a circa 21.000 mc (vedi tabella sottostante).

Tipo	COD	Lungh_m	Pendenza°	Classe Hungri	contr. min	contr. max	V min	V max	Contr.	V	
Rio delle Foglie	1	389	20-35	B	5	10	1945	3890	7.50	2918	
Rio delle Foglie	2	636	10-20	C	10	15	6360	9540	11.00	6996	
Rio delle Foglie	3	283	10-20	B	5	10	1415	2830	7.50	2123	
Rio delle Foglie	4	96	20-35	A	0	5	0	480	0.25	24	
Rio delle Foglie	5	61	20-35	C	10	15	610	915	11.00	671	
Rio delle Foglie	6	153	10-20	B	5	10	765	1530	7.50	1148	
Rio delle Foglie	7	39	>35	A	0	5	0	195	0.00	0	
Rio delle Foglie	8	149	<10	B	5	10	745	1490	5.00	745	
Asta minore	11	129	20-35	A	0	5	0	645	0.25	32	
Asta minore	12	702	10-20	A	0	5	0	3510	3.00	2106	
Asta minore	13	280	20-35	A	0	5	0	1400	0.50	140	
Asta minore	14	385	>35	A	0	5	0	1925	1.00	385	
Asta minore	15	314	20-35	A	0	5	0	1570	1.00	314	
Asta minore	16	114	20-35	A	0	5	0	570	0.25	29	
Asta minore	17	179	20-35	A	0	5	0	895	0.25	45	
Asta minore	18	215	>35	A	0	5	0	1075	0.50	108	
Asta minore	19	571	>35	A	0	5	0	2855	0.50	286	
Asta minore	20	728	20-35	A	0	5	0	3640	0.50	364	
Asta minore	21	229	20-35	A	0	5	0	1145	0.50	115	
Asta minore	22	242	20-35	A	0	5	0	1210	0.50	121	
Asta minore	23	265	20-35	A	0	5	0	1325	0.25	66	
Asta minore	24	166	20-35	A	0	5	0	830	0.25	42	
Asta minore	25	263	20-35	A	0	5	0	1315	0.25	66	
Asta minore	26	449	20-35	B	5	10	2245	4490	5.00	2245	
Asta minore	27	176	20-35	A	0	5	0	880	0.25	44	
Asta minore	28	104	20-35	A	0	5	0	520	0.25	26	
Asta minore	29	229	20-35	A	0	5	0	1145	0.50	115	
		1806					tot mc =	14085	51815		21269.5

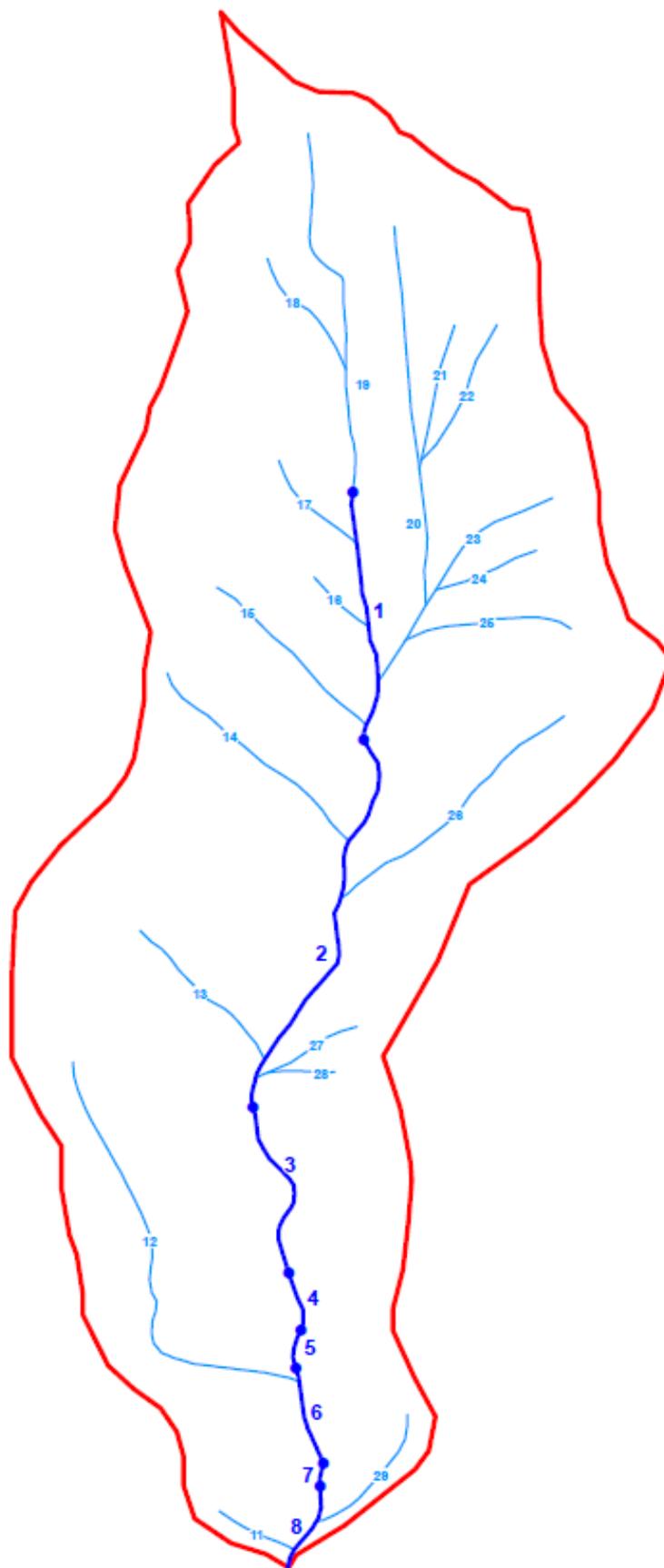


Fig. 6.1 – Reticolo idrografico suddiviso in tratti omogenei

6.2. Aree sorgente

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 (**TAV. 4**).

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.

COD	AREA_MQ	h min m	h max m	V min	V max
A	8182	0.05	0.2	409	1 636
B	38427	0.05	0.2	1 921	7 685
C	9428	0.05	0.2	471	1 886
D	37430	0.05	0.2	1 872	7 486
E	43943	0.05	0.2	2 197	8 789
F	8949	0.05	0.2	447	1 790
G	4065	0.05	0.2	203	813
H	14276	0.05	0.2	714	2 855
I	3722	0.05	0.2	186	744
L	39997	0.05	0.2	2 000	7 999
M	14985	0.05	0.2	749	2 997
N	32289	0.05	0.2	1 614	6 458
tot. mc =				12 785	51 139

6.3. PRGC – Stima della magnitudo

Si riporta la tabella tratta dalla relazione geologica allegata al PRGC, redatta dal collega Fontan, con i risultati derivanti da alcuni metodi empirici della letteratura scientifica.

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

6.4. Magnitudo evento giugno 2017

Nel "*Rapporto d'evento 07/06/2018 - Colata detritica nel Comune di Bussoleno*" (ARPA Piemonte) è indicata una magnitudo stimata in via preliminare, sulla base dei primi rilievi speditivi, dell'ordine di circa 15-20 mila metri cubi (volume di materiale depositato in conoide).

6.5. Considerazioni conclusive

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.

Sulla base degli elementi attualmente a disposizione è 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.

7. OPERE DI MESSA IN SICUREZZA ALL'INTERNO DEL BACINO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

Le varie opere progettate all'interno del bacino sono di tipo passivo e la loro tipologia e collocazione deriva in particolare dalla necessità di realizzarle in tempi brevi e con il massimo volume di contenimento di materiale solido trasportato dal corso d'acqua.

L'opera più importante è collocata allo sbocco del rio, praticamente in corrispondenza dell'apice del conoide.

La realizzazione comporta scavi significativi, necessari per il rimodellamento dei settori laterali su cui si innestano i rilevati di contenimento in terra e blocchi ciclopici.

Non sussistono problemi di carattere geologico-geotecnico circa l'inserimento delle opere di contenimento e la realizzazione dei vari sbancamenti. Si raccomanda unicamente di realizzare la base dei rilevati ad almeno 1 m di profondità dal p.c. attuale e di effettuare gli scavi in modo da mantenere sempre pendenze di sicurezza.

Particolare cura dovrà essere posta nella realizzazione dei rilevati in terra, 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 una 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 (ghiaia sabbiosa naturale o pietrisco da frantumazione o materiale riciclato di idonee caratteristiche granulometriche).

Nella realizzazione del rilevato 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.

In corso d'opera la D.L. si riserva di far effettuare prove di controllo sui materiali utilizzati (granulometrie, classificazioni, contenuto d'acqua, costipamento Proctor, densità in sito e prove di carico su piastra).

Per quanto riguarda la barriera a rete per il contenimento delle colate detritiche essa risulta posizionata nel tratto caratterizzato dalle migliori condizioni: bassa pendenza e buona capacità di invaso.

Nel punto di inserimento l'alveo è occupato da abbondante materiale detritico; il substrato roccioso si trova comunque a breve profondità, sulla base dei vari affioramenti visibili lungo l'alveo.

Diversa è la situazione lungo le sponde, dove la presenza localmente metrica di depositi incoerenti, non consente di individuare con precisione la profondità alla quale compare il substrato. Occorrerà quindi privilegiare l'ancoraggio delle reti all'interno del substrato roccioso possibilmente con perforazioni verticali a partire dal fondo alveo.

Nel caso fosse necessario ancorare la rete lateralmente sulle sponde, si forniscono nel seguito i parametri geotecnici relativi a tali terreni, sulla base delle osservazioni effettuate sul terreno, per il corretto dimensionamento degli ancoraggi.

La caratterizzazione geotecnica è effettuata pertanto per i terreni sede di appoggio dei rilevati di contenimento e per i terreni presenti lateralmente all'alveo in corrispondenza della prevista barriera a rete.

Per essi, sulla base delle caratteristiche granulometriche note e delle usuali correlazioni di letteratura, sono assegnabili i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

Terreni di appoggio dei rilevati di contenimento

- ghiaie più o meno sabbioso-limose
- addensamento medio
- peso di volume = 19 kN/m^3
- angolo di resistenza al taglio in condizioni drenate = 35°
- coesione efficace = 0 kPa
- modulo di deformazione = 25000 kPa

Terreni presenti sulle sponde in corrispondenza della barriera a rete
(la foto sottostante indica un affioramento nel medesimo ambito)



- ghiaie ciottolose con elementi spigolosi in matrice sabbiosa debolmente limosa non molto abbondante
- addensamento: medio-elevato
- peso di volume = 19 kN/m^3
- angolo di resistenza al taglio in condizioni drenate = 36°
- coesione efficace = 0 kPa
- modulo di deformazione = 30000 kPa

Per completezza si fornisce anche la caratterizzazione sismica del sottosuolo in corrispondenza dei rilevati che delimitano i bacini di accumulo e della barriera a rete.

Il punto in cui è prevista la collocazione della barriera a rete è ubicato su depositi detritico-alluvionali (in alveo e sulle sponde) di spessore stimato inferiore a 3 m, poggianti sul substrato roccioso. Facendo riferimento alla tabella delle categorie di sottosuolo tratta dalle NTC 2018 la categoria di sottosuolo assegnata è la categoria A, con velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s.

In corrispondenza del settore sommitale del conoide non è noto lo spessore dei depositi quaternari detritico-alluvionali al di sopra del substrato roccioso, per il quale si presuppone comunque una profondità inferiore a 30 m; per tale motivo si assegna cautelativamente una categoria E di sottosuolo.

tabella delle categorie di sottosuolo tratta dalle NTC 2018

A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Per quanto riguarda l'amplificazione topografica si assegna una categoria T1 nel caso del sito su cui verranno realizzati i rilevati di contenimento e una categoria T2 per il sito di collocazione della barriera a rete.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

ALLEGATO 1
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA
(FOTO DEL 14/06/2018)



Il bacino del Rio Comba delle Foglie visto dal versante opposto. La testata ha i versanti con pendenza molto elevata e vegetazione rada. Il settore medio-basso si presenta maggiormente boscato e caratterizzato da un substrato roccioso meno scistoso ed erodibile.



La testata del bacino da località Colletto



Solchi di erosione superficiale sulla coltre detritica



Tracce di erosione superficiale - La copertura erbosa sta crescendo rapidamente



Piccoli distacchi di porzioni di coltre detritica, ove questa presenta un maggior spessore



Si osserva la granulometria della coltre detritica.
Abbondante la frazione fine sabbioso-limosa



Un altro affioramento di coltre detritica con gli effetti del dilavamento



La vegetazione distrutta dall'incendio e la diffusa erosione areale



Erosione superficiale lungo una linea preferenziale di deflusso



Diffusa erosione della coltre. Si osservano gli abbondanti tronchi carbonizzati e la rapida colonizzazione di alcuni settori di versante da parte delle felci



Piccola frana superficiale nella coltre detritica



L'erosione della coltre ha localmente portato a giorno il substrato roccioso



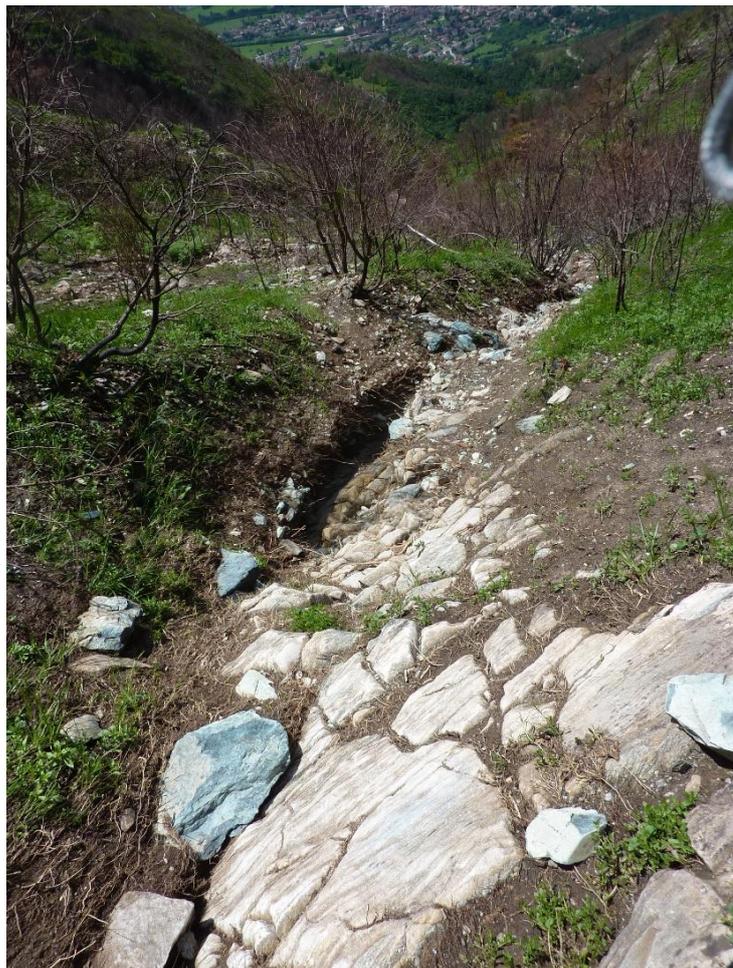
Impluvi minori nella zona di testata con fenomeni di erosione / trasporto solido



Vista verso valle dalla zona medio-alta del bacino. Area denudata con fenomeni di erosione areale e colonizzazione in corso da parte della vegetazione. La vegetazione ad alto fusto (di piccolo diametro), non è sopravvissuta all'incendio



Dettaglio della coltre detritica



L'erosione nell'alveo principale ha localmente portato a giorno il substrato (quota 1250 m s.l.m.)



L'erosione superficiale ha interessato in prevalenza il detrito a granulometria più fine. Un accumulo detritico a grossi blocchi di serpentinite non sembra essere stato rimobilizzato



Aste minori alla testata del bacino (confluenza aste 18-19)



Materiale sciolto in alveo



Fenomeni di erosione lungo le aste minori



Tratto 1 dell'asta principale



Procedendo verso valle sempre nell'alveo principale (tratto 1).
Il substrato è localmente messo a giorno



Confluenza a quota 1010 m s.l.m.



A valle della confluenza affiora il substrato roccioso



Le tracce sugli alberi indicano la considerevole altezza di flusso durante l'evento



Proseguendo a valle della confluenza prima fotografata l'alveo è occupato da abbondante detrito in prevalenza grossolano (presenti molti blocchi)



L'attraversamento stradale a quota 880 m s.l.m.



A valle dell'attraversamento sulle sponde affiorano depositi quaternari ad addensamento medio-alto. L'alveo è invaso da materiale in prevalenza grossolano (tratto 2)



Parte medio-bassa del tratto 2, a pendenza non elevata, si osservano importanti depositi di materiale grossolano. La barriera a rete in progetto sarà posizionata il più a valle possibile



Gli effetti del passaggio del flusso lungo le sponde



Deposito *open work* di alcuni blocchi con asse maggiore parallelo alla direzione di flusso



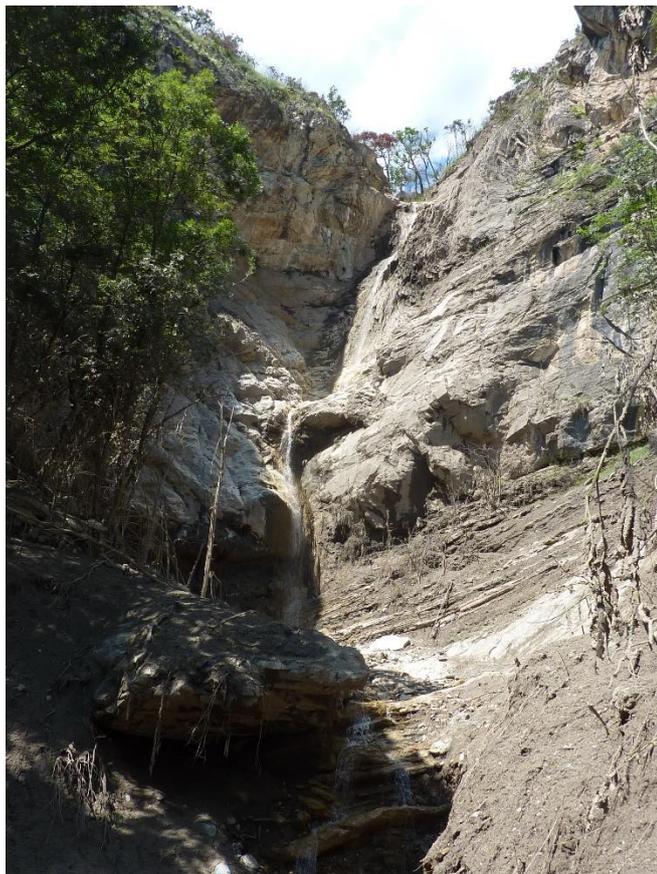
Il salto in roccia presente immediatamente a monte dell'attraversamento stradale a quota 640 m s.l.m. (tratto 4). La strada è stata completamente asportata



Vista a valle dell'attraversamento (tratto 5)



Il tratto terminale del bacino.
E' presente un salto in roccia impostato entro marmi dolomitici prevalenti (tratto 7).



L'ultimo salto roccioso visto dal basso



Il tratto 8 dell'asta alla chiusura del bacino (ripresa verso monte). Si osserva il contatto tra l'affioramento più basso e i depositi quaternari del fondovalle.

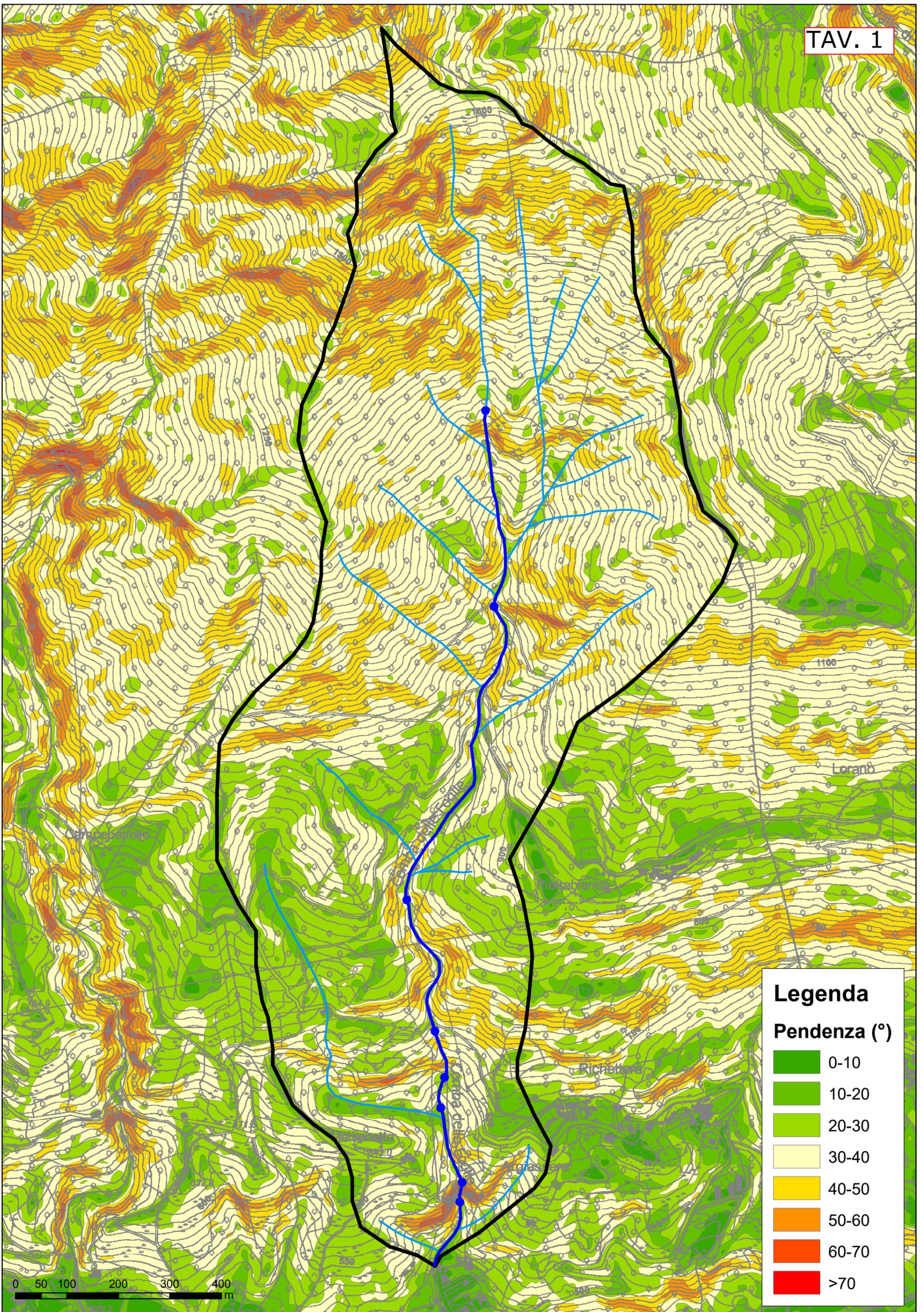


I depositi della colata nel tratto apicale del conoide



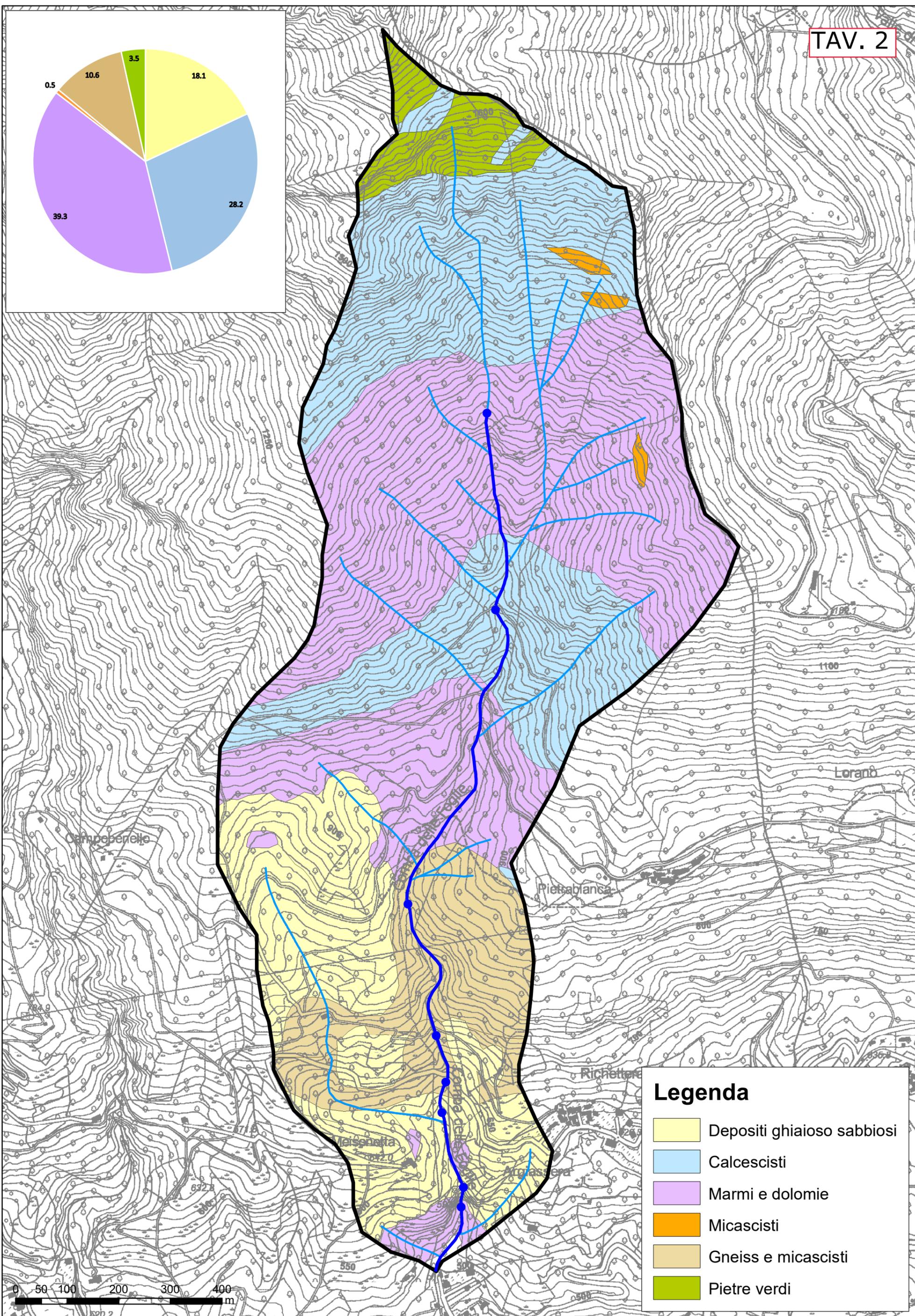
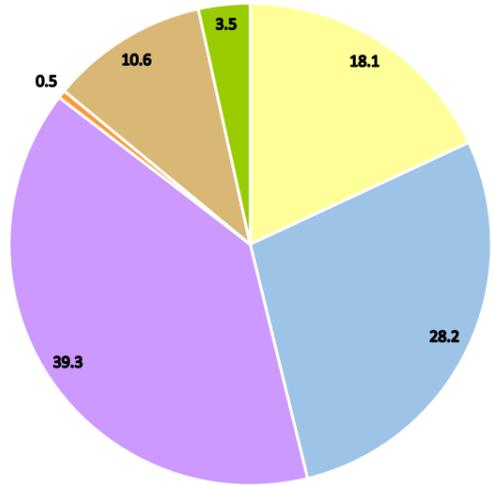
Altre foto dei depositi della colata detritica. La granulometria varia da prevalentemente limoso-sabbiosa con ghiaietto (in alto) a limoso-sabbioso-ghiaiosa con ciottoli e blocchi (sembra poco rappresentata la frazione ghiaiosa grossolana) (in basso)

ALLEGATO 2
TAVOLE FUORI TESTO



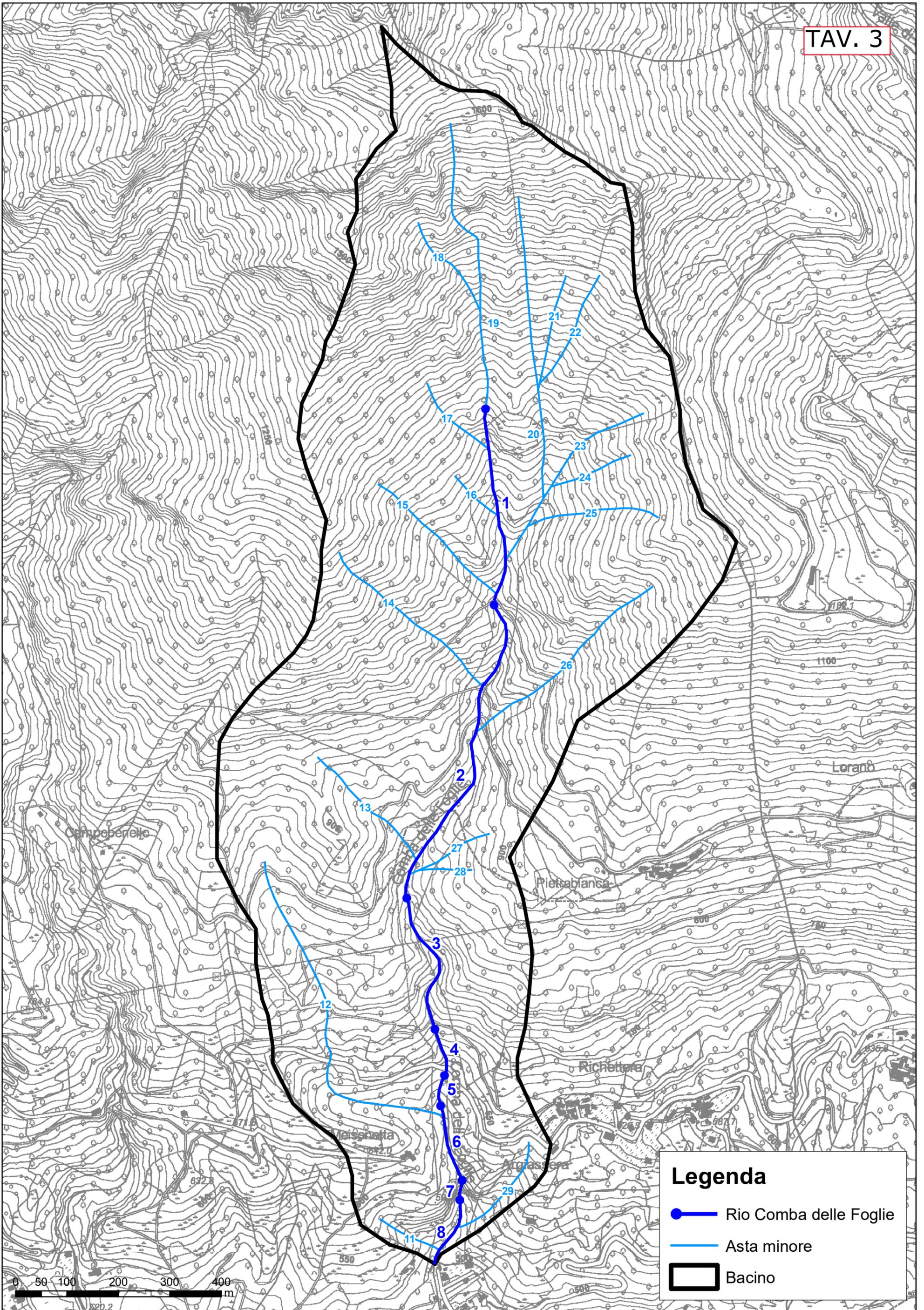
Legenda	
Pendenza (°)	
	0-10
	10-20
	20-30
	30-40
	40-50
	50-60
	60-70
	>70

0 50 100 200 300 400 m



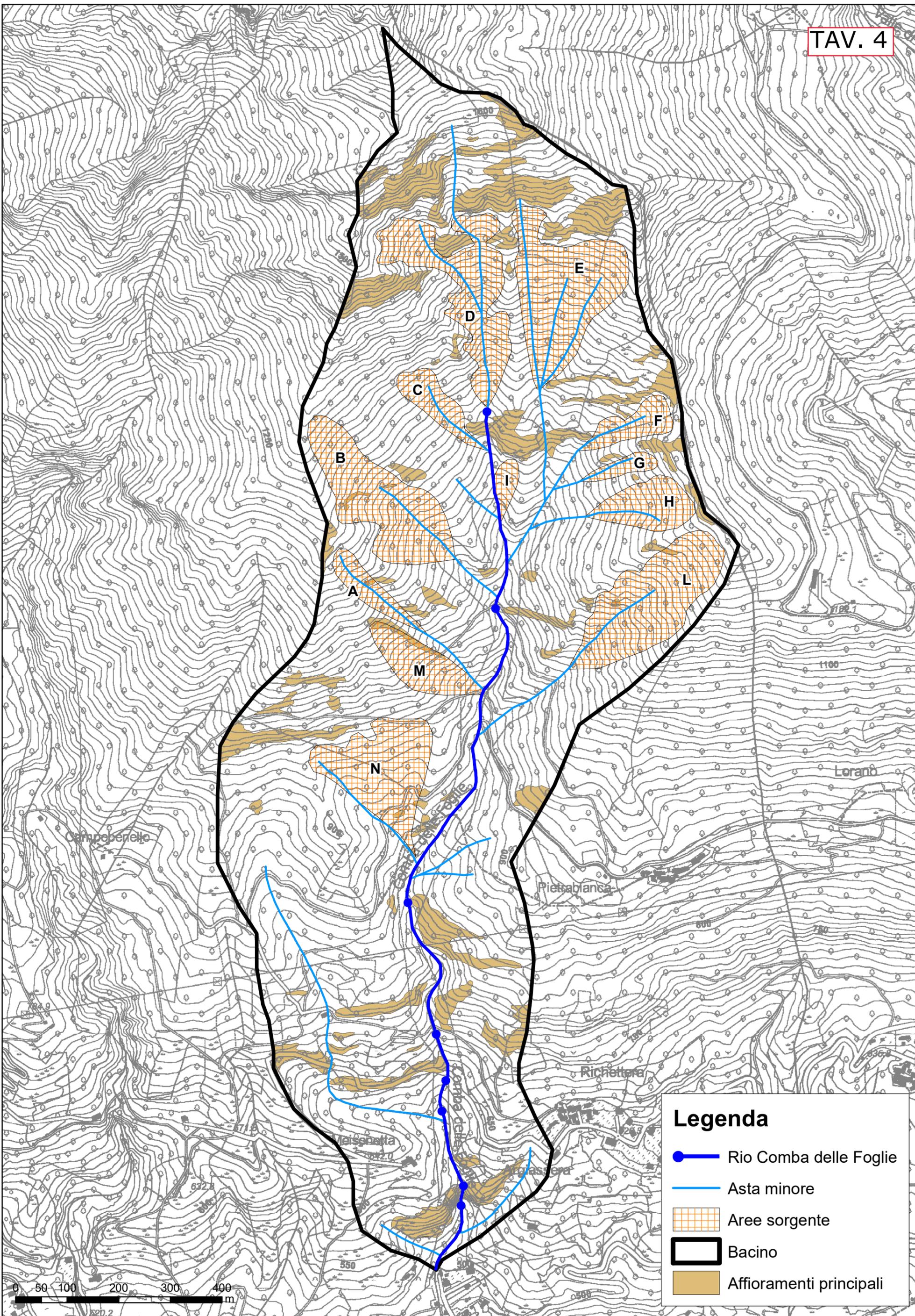
Legenda

- Depositi ghiaioso sabbiosi
- Calcescisti
- Marmi e dolomie
- Miscascisti
- Gneiss e micascisti
- Pietre verdi



Legenda

-  Rio Comba delle Foglie
-  Asta minore
-  Bacino



Legenda

-  Rio Comba delle Foglie
-  Asta minore
-  Aree sorgente
-  Bacino
-  Affioramenti principali