

REGIONE
LOMBARDIA



COMUNE DI
INCUDINE



COMUNE DI
EDOLO



COMUNE DI
MONNO

PROGETTO ESECUTIVO

OPERE DI REGIMAZIONE IDRAULICA NEL TRATTO DI CONFLUENZA DEL TORRENTE VAL FINALE NEL FIUME OGLIO E REALIZZAZIONE DI AREE DI ACCUMULO/LAMINAZIONE SUL TORRENTE VAL FINALE, NEI COMUNI DI MONNO, INCUDINE E EDOLO. - CUP: G92B22000990002 -



RELAZIONE GEOLOGICA

Aggiornamento	DATA	OGGETTO	Elaborato n. T4
	Febbraio 2024	Prima stesura	

Il Progettista; D.L., C.S.P. e C.S.E.:
Ing. Girolamo Landrini



Il Responsabile del Procedimento:
Geom. Fabio Albertoni

Elaborazione dati e stesura progetto: STUDIO LANDRINI
Via Carlo Tassara n.4, 25043 Breno (BS) Tel. 0364 21076
e-mail: landrini@LANDRINIGEROLAMO.191.it

Mario Sterli – Geologo

Via G. Treboldi n° 17 Edolo (BS) Tel. 3358036219 Fax 0364/770232 e-mail: mariosterli.geo@gmail.com

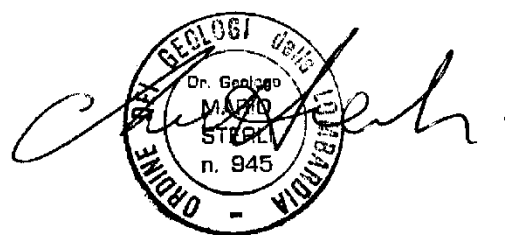
**OPERE DI REGIMAZIONE IDRAULICA NEL TRATTO DI CONFLUENZA
DEL TORRENTE VAL FINALE NEL FIUME OGLIO E REALIZZAZIONE DI
AREE DI ACCUMULO/LAMINAZIONE SUL TORRENTE VAL FINALE, NEI
COMUNI DI MONNO, INCUDINE E EDOLO. - CUP: G92B22000990002**

RELAZIONE GEOLOGICA



EDOLO, SETTEMBRE 2023

PROFESSIONISTA INCARICATO
GEOL. MARIO STERLI



INDICE

1	INTRODUZIONE	2
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	3
2.1	Riferimenti Normativi	3
2.2	Bibliografia	3
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	4
3.1	Inquadramento geologico-strutturale	4
3.2	Inquadramento stratigrafico e geolitologico	10
3.2.1	<i>Substrato roccioso</i>	10
3.2.1.1	Basamento metamorfico Alpi Meridionali	10
3.2.1.2	Copertura Alpi Meridionali:Lembi Permo-Triassici lungo la Linea del Tonale	11
3.2.1.3	Filoni magmatici di età incerta	12
3.2.1.4	Magmatismo tardo alpino – Batolite dell'Adamello	12
3.2.2	<i>Successione Neogenico-Quaternaria</i>	13
3.2.2.1	Unità distinte in base al bacino di appartenenza	13
3.2.2.2	Unità non distinte in base al bacino di appartenenza	14
3.3	Inquadramento geomorfologico	16
3.4	Inquadramento idrogeologico	19
4	TORRENTE VAL FINALE	23
4.1	Bacino idrografico	23
4.2	Conoide alluvionale	33
5	Eventi pregressi recenti	38
5.1	Colata detritica del 5 agosto 2014	38
5.1.1	<i>Effetti</i>	38
5.2	Colata detritica del 16 agosto 2021	39
5.2.1	<i>Effetti</i>	40
6	pericolosità delle aree di conoide	43
6.1	Carta della pericolosità	46
7	propensione ai fenomeni attesi	47
7.1	Valutazione della tipologia di trasporto solido	47
8	analisi dei fenomeni di colata e scenari d'evento	48
8.1	Volume dei sedimenti mobilizzabili	48
8.2	Modalità di propagazione della colata	51
8.2.1	<i>Portata dell'onda di detrito</i>	51
8.2.2	<i>Velocità dell'onda di detrito</i>	51
9	Stima pericolosità residua e Proposte d'intervento	52
9.1	Interventi di progetto	52
9.2	Proposta di perimetrazione della pericolosità residua	52

1 INTRODUZIONE

La presente indagine geologica riguarda il progetto: “OPERE DI REGIMAZIONE IDRAULICA NEL TRATTO DI CONFLUENZA DEL TORRENTE VAL FINALE NEL FIUME OGLIO E REALIZZAZIONE DI AREE DI ACCUMULO/LAMINAZIONE SUL TORRENTE VAL FINALE, NEI COMUNI DI MONNO, INCUDINE E EDOLO.” (CUP: G92B22000990002).” L’indagine è stata predisposta al fine di rispondere alla seguente richiesta di Regione Lombardia: “*il progetto definitivo contenga un elaborato che valuti l’efficacia dell’intervento in termini di riduzione della pericolosità e conseguentemente del rischio sugli elementi direttamente esposti, facendo riferimento alle mappe del PAI e/o del Piano di Gestione delle Alluvioni di cui alla Direttiva 2007/60/CE (Direttiva Alluvioni), ovvero ad eventi alluvionali o di dissesto recenti, opportunamente documentati tramite atti e documenti ufficiali riferiti ai danni occorsi. Tali effetti devono essere adeguatamente illustrati e rappresentati, anche graficamente, tramite mappe di pericolosità prima e dopo l’intervento. In particolare, deve essere valutata la pericolosità secondo le procedure previste nelle norme regionali vigenti attuative della l.r. 12/2005 (d.g.r. n. 2616/2011)...*”.

. L’indagine ha previsto le seguenti fasi:

1. analisi storico-bibliografica degli studi e delle indagini geologiche disponibili;
2. rilievo geologico di dettaglio dell’area oggetto d’indagine e di un significativo intorno;
3. sintesi dei dati raccolti e predisposizione relazione geologica.

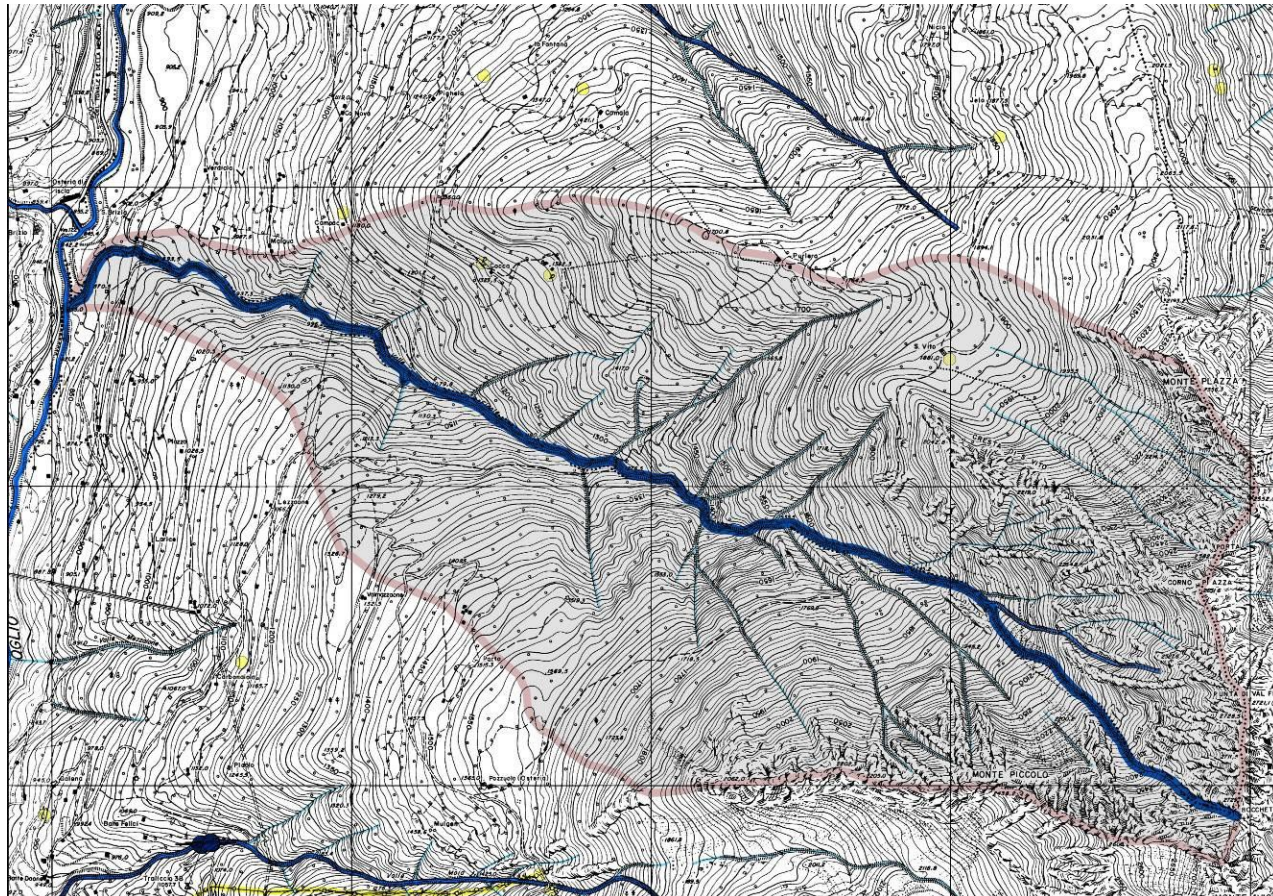


Figura 1: Corografia bacino Val Finale (Stralcio CTR sez. D3d1 – Scala 1:25.000)

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Riferimenti Normativi

- [1]. D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011 (“Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio”) in attuazione dell’art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374.
- [2]. AdBPo. Piano per la valutazione e la gestione del rischio alluvioni (art. 7 della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs. n. 49 del 23.02.2010 – Profili di piena dei corsi d’acqua del reticolo principale (03.2016)
- [3]. L. R. 15.03.2016, n. 4 – Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d’acqua.
- [4]. D.G.R. 19 giugno 2017 - n. X/6738 Disposizioni regionali concernenti l’attuazione del piano di gestione dei rischi di alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell’emergenza, ai sensi dell’art. 58 delle norme di attuazione del piano stralcio per l’assetto idrogeologico (PAI) del bacino del Fiume Po così come integrate dalla variante adottata in data 7 dicembre 2016 con deliberazione n. 5 dal comitato istituzionale dell’autorità di bacino del Fiume Po
- [5]. ISPRA Manuali e linee guida 82/2012 - Proposta metodologica per l'aggiornamento delle mappe di pericolosità e di rischio/ della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi da alluvioni (Decreto Legislativo n. 49/2010).
- [6]. Piano di Gestione dei Rischi di Alluvioni – PGRA (2015).

2.2 Bibliografia

- [7]. Cartografia geologica di Regione Lombardia - da Geoportale di Regione Lombardia: [Ricerca - Geoportale della Lombardia \(regione.lombardia.it\)](http://www.regione.lombardia.it/geoportale):
- Progetto CARG: Tavole e Note illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000:
 - Foglio 041 PONTE DI LEGNO
 - Foglio 058 MONTE ADAMELLO
 - Basi informative della cartografia Geoambientale:
 - Carta del dissesto idrogeologico e della permeabilità
 - Carta Geomorfologica;
 - Carta Idrologia con indicazioni della permeabilità;
 - Carta Litologica
 - Progetto IFFI - Inventario dei Fenomeni Franosi in Lombardia
 - PAI Vigente
- [8]. Cartografia geologica di Regione Lombardia - da Portale di accesso agli applicativi di Pianificazione Territoriale: [HomePage - Multiplan \(servizirl.it\)](http://www.servizi.regione.lombardia.it/pt):
- Componente Geologica del Piano di Governo del Territorio comunale di Incudine
 - Componente Geologica del Piano di Governo del Territorio comunale di Edolo

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Le informazioni geologiche riportate nel presente capitolo sono tratte dalle “Note Illustrative della Carta Geologica D’Italia” alla scala 1:50.000 (foglio 041 PONTE DI LEGNO e foglio 058 MONTE ADAMELLO - Progetto CARG [7]).

3.1 Inquadramento geologico-strutturale

La porzione di territorio oggetto di indagine rientra nel settore centrale del versante meridionale della catena alpina, come è noto suddiviso in due porzioni (Dominio Austroalpino a N e Dominio Sudalpino o Alpi Meridionali a Sud) da un importante discontinuità crostale con decorso W-E denominata collettivamente Linea Insubrica o Linea Periadriatica (e nei suoi tratti costituenti chiamata anche Linea Insubrica s.s., Linea del Tonale, Linea della Giudicarie Nord, Linea della Pusteria). Come mostra lo schizzo tettonico di Figura 2, il settore d’indagine presentano una posizione geologica particolare, collocandosi nel Dominio Sudalpino, a ridosso della Linea del Tonale e a cavallo tra il Foglio 041 - Ponte di Legno e il Foglio 058 Monte Adamello.

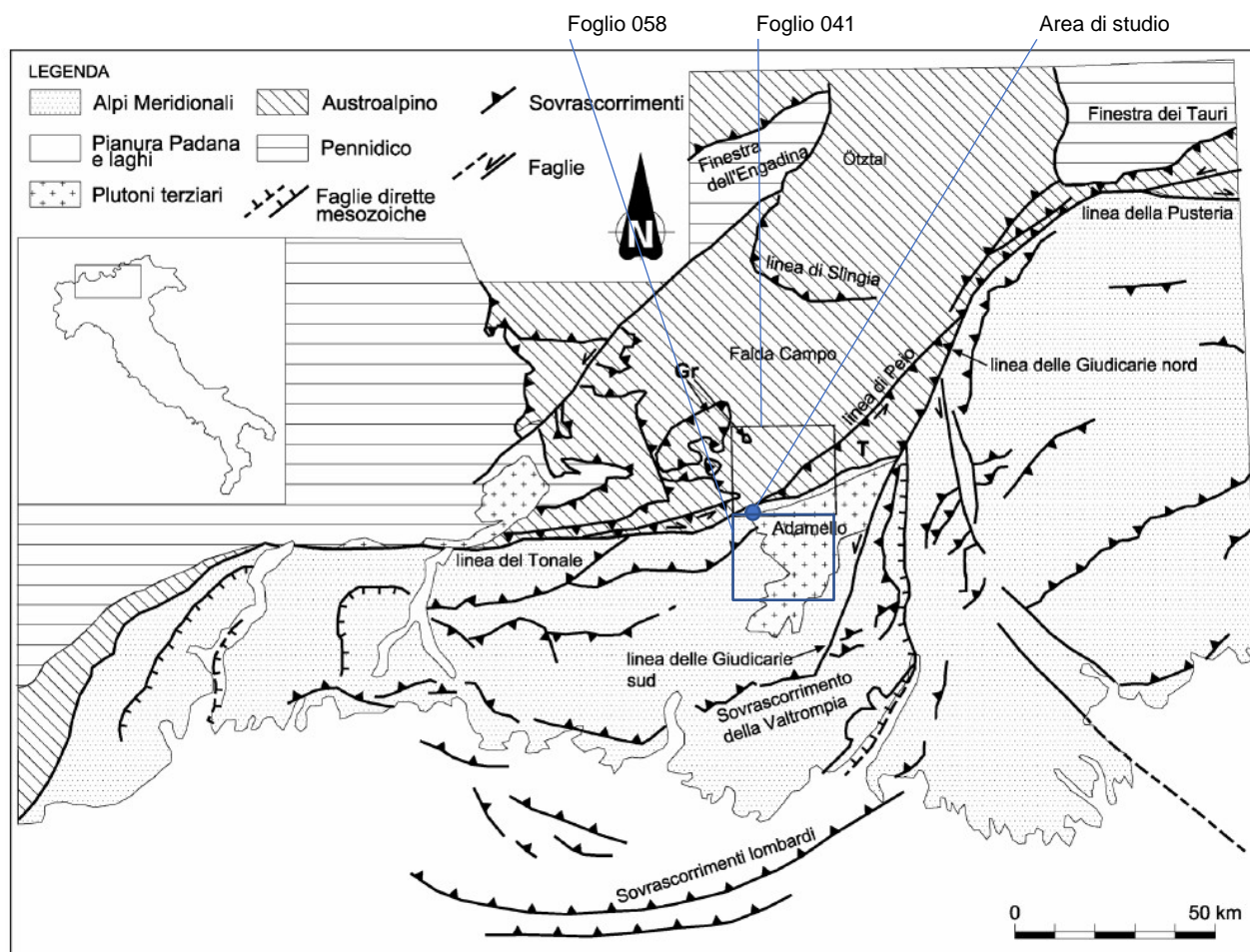


Figura 2: Schema tettonico (stralcio Foglio 041 – Ponte di Legno).

Nelle rivisitazioni moderne di questo schema, Austroalpino e Sudalpino rappresenterebbero porzioni di crosta continentale riconducibili al margine passivo della microplacca adriatica

(“promontorio africano”). Durante l’orogenesi alpina, conseguentemente alla chiusura della Tetide, questo margine avrebbe colliso con il margine europeo, rappresentato da una parte dei terreni Pennidici. L’attuale struttura alpina sarebbe quindi effetto di una subduzione cretacea, con elementi in gioco una placca africana (o adriatica), una placca europea (Pennidico p.p.) e un oceano, la Tetide (Pennidico delle Pietre Verdi e dei Calcescisti).

In loco, la Linea del Tonale è marcata da una fascia subverticale di miloniti con scarse cataclasiti, potente circa 1 km, ove le rocce hanno subito trasformazioni mineralogico-composizionali a causa dei movimenti relativi indotti dai processi tettonici. In seguito all’elevata intensità degli sforzi sviluppatasi, gli ammassi rocciosi hanno subito anche intensa fratturazione e strizzamento, e talora fenomeni di milonizzazione. Conseguentemente, ai lineamenti è spesso associata la presenza di fenditure di trazione, trincee, avvallamenti, contropendenze e allineamenti morfologici in genere, con direzione concordante con quella dei lineamenti stessi. Altrettanto concordanti sono, di regola, le giaciture della scistosità principale degli ammassi rocciosi e delle numerose intercalazioni filoniane presenti. Altre fasce deformate, subparallele alla Linea del Tonale, si osservano anche a discrete distanze dalla stessa: presentano lunghezza e spessore notevolmente variabili, e spesso sono caratterizzate, oltre che da tessitura cataclastica, dalla presenza di livelli (talora molto sottili) di miloniti grafitiche di colore nero, a grana molto fine ed untuose al tatto. È grandiosamente rappresentata dalla direzione all’incirca E-O dell’asse dell’Alta Valle Camonica.

Tra la Linea del Tonale a Nord e il plutone dell’Adamello a Sud affiorano le rocce delle Alpi Meridionali (Sudalpino Auct.), con litotipi appartenenti quasi esclusivamente al Basamento (le rocce di copertura sono rappresentate da piccoli lembi strizzati lungo la Linea). La strutturazione metamorfica principale del Basamento viene fatta risalire all’orogenesi ercinica. Dopo questo evento, il Basamento ha subito dapprima una peneplanizzazione e successivamente, durante il Permiano e il Mesozoico, una estensione che culminerà nel suo momentaneo allontanamento dalla parte centro-europea della catena varisca, determinato dalla apertura della Tetide, sino a costituire il margine meridionale (Adriatico) dell’oceano. In parallelo veniva depositata la sua copertura sedimentaria. La progressiva convergenza connessa con l’orogenesi alpina, oltre alla chiusura della Tetide e alla messa in posto delle falde Austroalpine, ha portato al successivo ispessimento, attraverso un rovesciamento verso S, dei piegamenti sudalpini, e al loro fagliamento lungo i fianchi intermedi, accompagnato da scagliamenti e sovrascorrimenti orientati WSW-ENE e con piani immergenti verso settentrione. La formazione di tale sistema di sovrascorrimenti Sud-vergenti è proseguita nel tempo ed è tutt’ora attiva.

Il Basamento Metamorfico affiorante in loco è costituito dai cosiddetti “Scisti di Edolo” (Salomon, 1901), un’unità metamorfica di basso grado (Facies degli Scisti Verdi), a metamorfismo ercinico; in età alpina, ha subito fenomeni di retrocessione in vicinanza della Linea del Tonale, nonché fenomeni di contatto in prossimità del plutone dell’Adamello (Boriani et alii, 1974). Si tratta di una successione monotona di filladi quarzifere passanti a micascisti, con intercalazioni di quarziti più o meno micacee, e di rare anfiboliti e di marmi e marmi impuri.

Una delle caratteristiche principali del basamento affiorante nel settore è data dalla presenza di un'estesa aureola metamorfica di contatto indotta dal plutone dell'Adamello. Secondo Mottana & Schiavinato (1973) lungo il bordo settentrionale della massa l'aureola si estende fino ad un massimo di 1 km dal contatto.

Settore inferiore bacino Val Finale

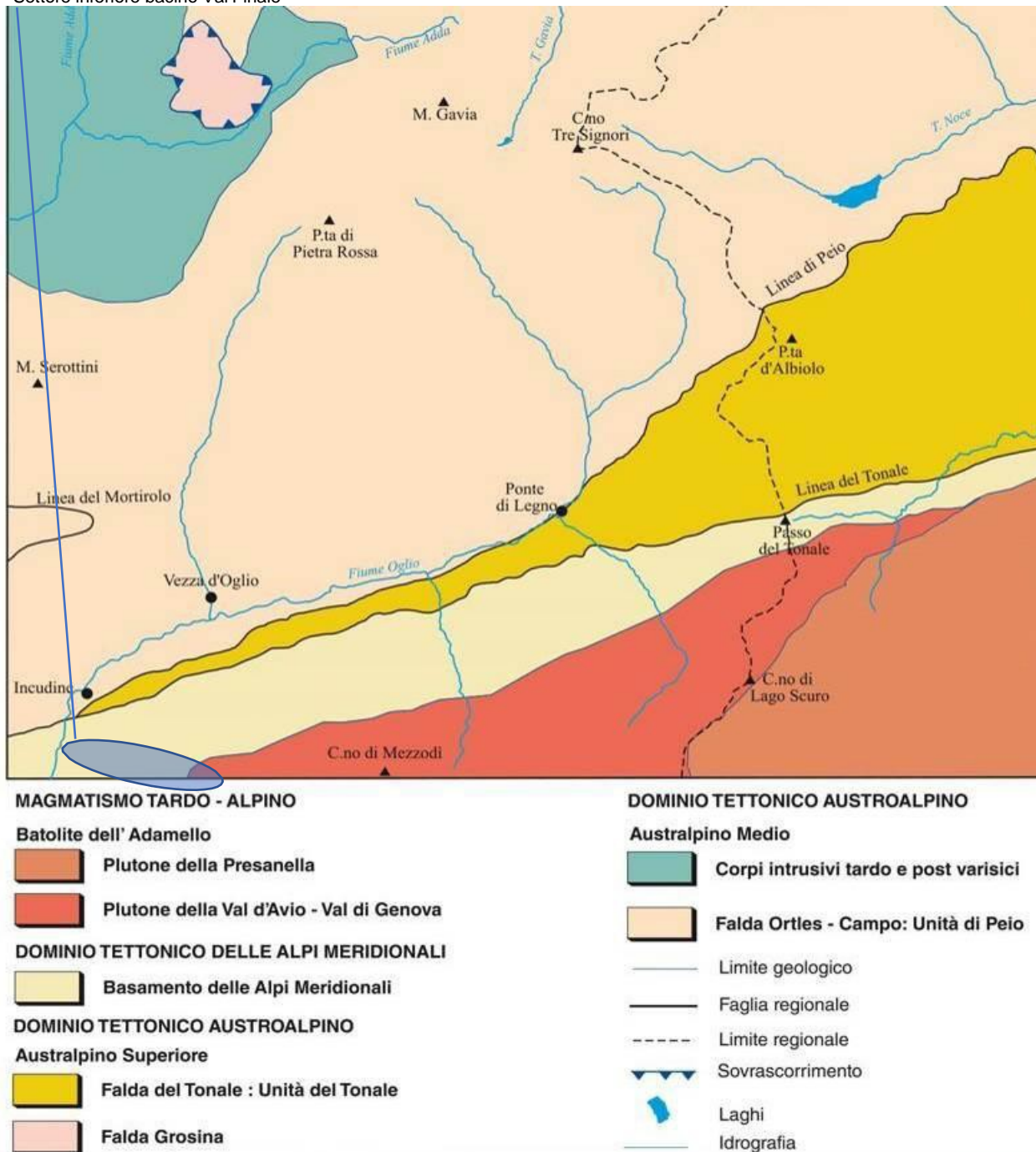


Figura 3: Schema strutturale (stralcio Foglio 041 – Ponte di Legno)

Nella pausa-oligocenica dell'orogenesi il territorio delle Alpi Meridionali è stato interessato dall'intrusione multistadiale del cosiddetto plutone dell'Adamello, il quale costituisce uno dei pochi eventi magmatici caratterizzanti l'evoluzione di età alpina della catena. Sono presenti anche filoni basici riferibili a fasi tardo-erciniche, interessati da un metamorfismo alpino poco ricostruttivo che li

Settore inferiore bacino idrografico Val Finale

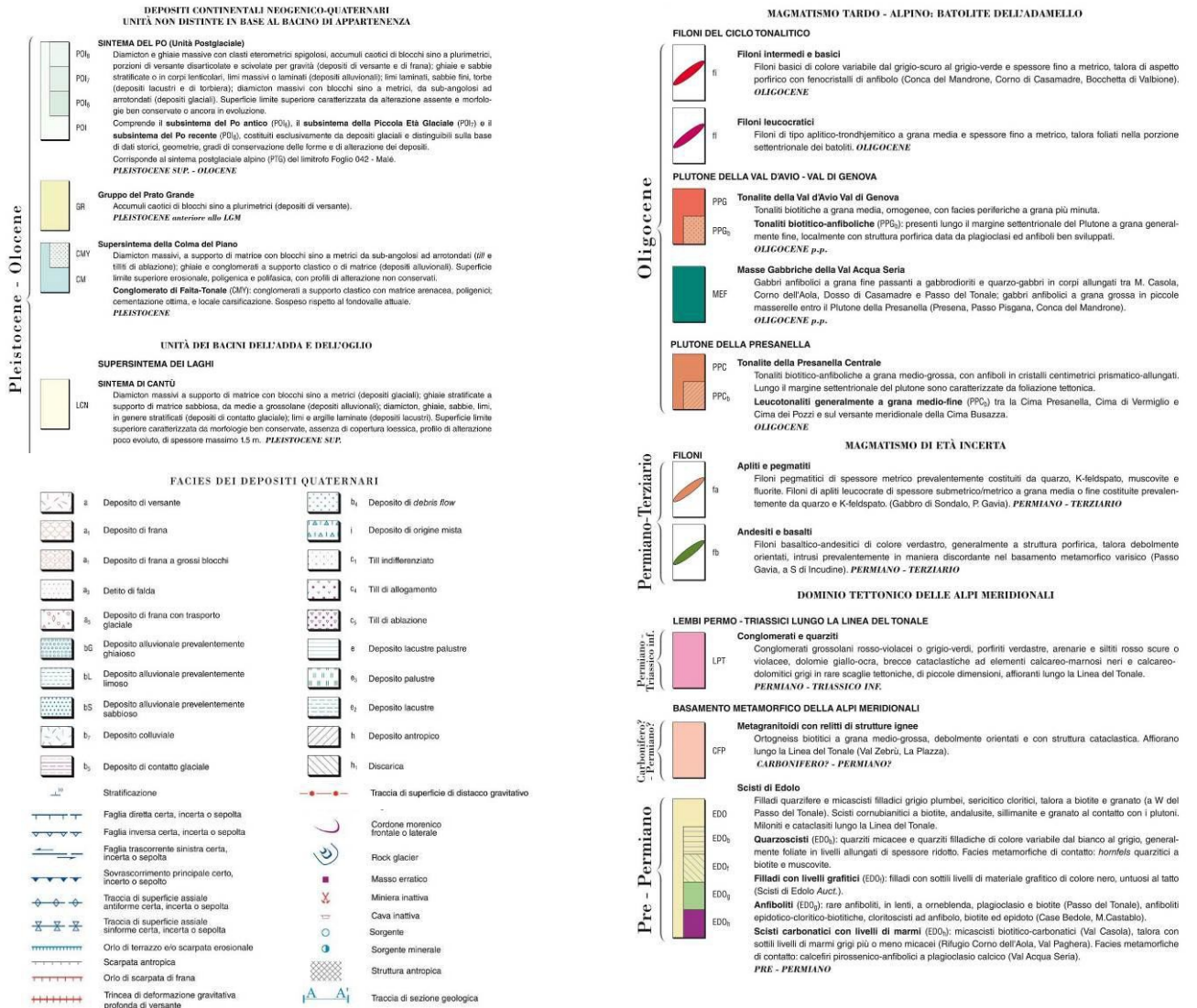
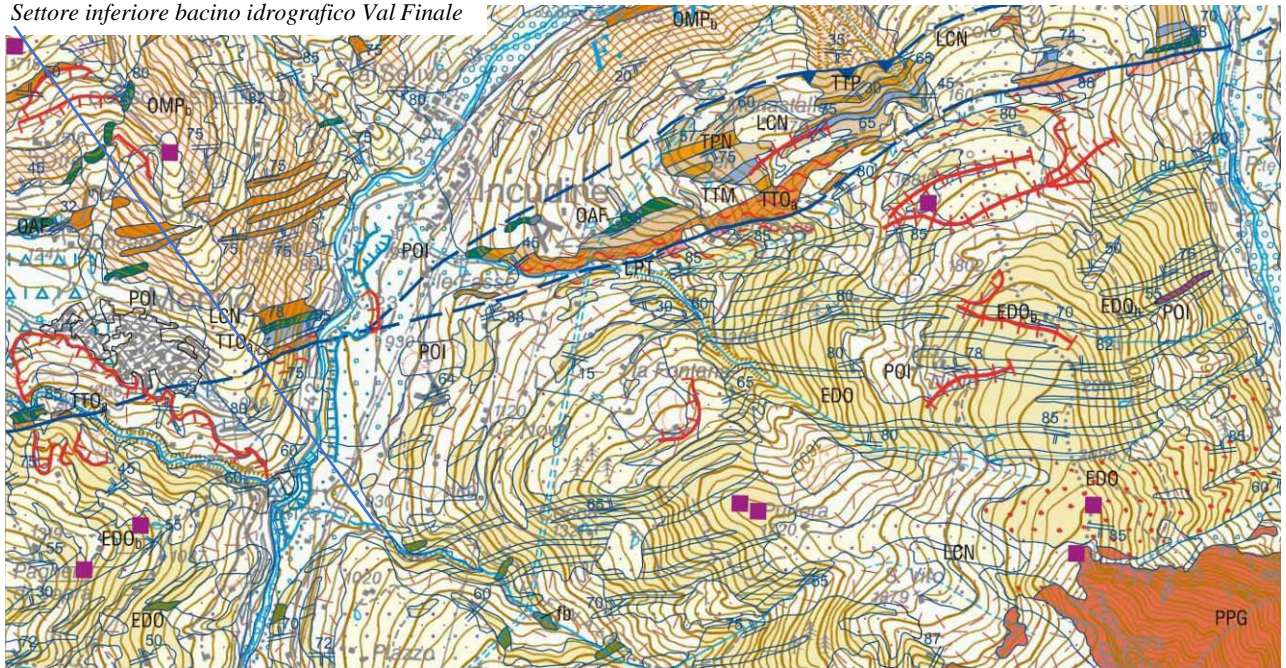


Figura 5: Inquadramento geologico (Stralcio Carta Geologica Foglio 041-Ponte di Legno – Scala originale 1:50.000)

Settore superiore bacino idrografico Val Finale

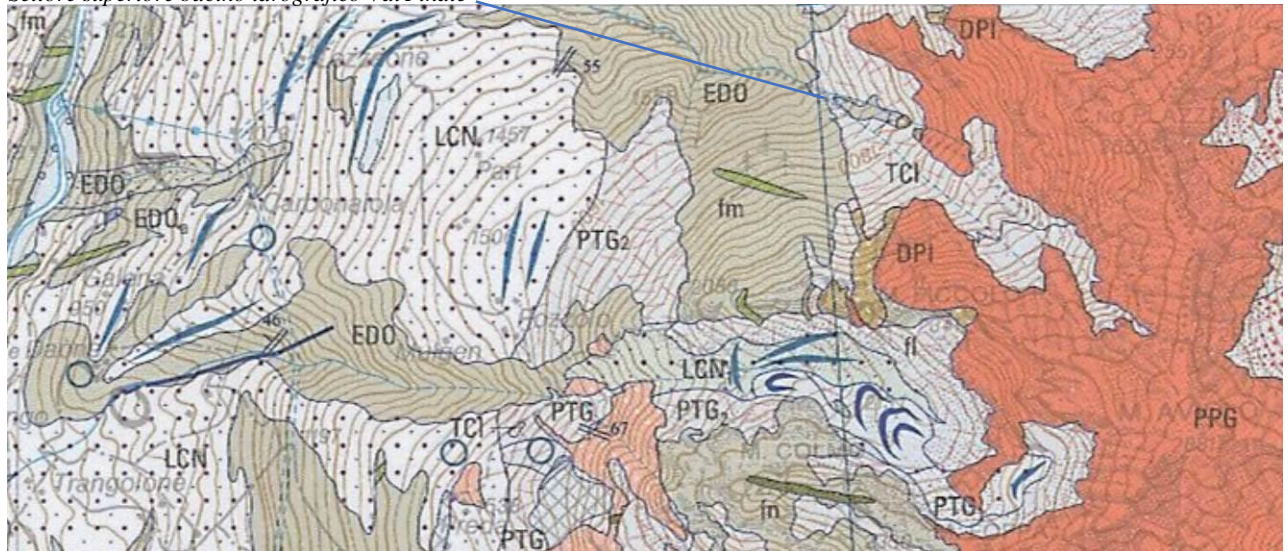


Figura 6: Inquadramento geologico (Stralcio Carta Geologica Foglio 058-Adamello – Scala originale 1:50.000)

3.2 Inquadramento stratigrafico e geolitologico

3.2.1 *Substrato roccioso*

Nell'area in esame, le rocce del substrato possono essere raggruppate nei seguenti complessi litostratigrafici:

1) Dominio tettonico delle Alpi Meridionali

Basamento Metamorfico

Copertura delle Alpi Meridionali: Lembi Permo-Triassici lungo la Linea del Tonale

2) Filoni magmatici di età incerta

Andesiti e basalti

Apliti e pegmatiti

3) Magmatismo tardo alpino.

Batolite dell'Adamello

Il basamento cristallino affiora nel settore inferiore del bacino idrografico; le rocce magmatiche nel settore superiore. Nelle descrizioni stratigrafiche che seguono si è preferito utilizzare la nomenclatura classica, senza ricorrere al nuovo concetto di unità tettonometamorfica (UTM).

3.2.1.1 Basamento metamorfico Alpi Meridionali

Scisti di Edolo (età pre - Permiano)

Affiorano lungo l'intero margine meridionale della Linea del Tonale, e a Sud sono delimitati dal batolite dell'Adamello al contatto con il quale si osservano, su spessori talora consistenti, gli effetti del metamorfismo di contatto. Con la denominazione di *micascisti filladici*, sono stati raggruppati diversi litotipi che, oltre a presentarsi ripetutamente alternati, mostrano caratteri di transizione l'uno nell'altro. A Ovest del Passo del Tonale si nota un graduale aumento delle facies micascistose a scapito di quelle più filladiche. I costituenti essenziali, in ordine decrescente ma con variabilità di contenuti, sono dati da quarzo, mica bianca, clorite e biotite, con subordinati granati e plagioclasio albitico. I minerali accessori sono rappresentati da tormalina, vari opachi, epidoto, apatite, zircone, rutilo e carbonati ferriferi. Localmente la roccia assume un aspetto gneissico per aumento del contenuto in plagioclasio (filladi albitiche). La scistosità principale è definita dalla tipica alternanza di letti granoblastici prevalentemente quarzosi e letti lepidoblastici a prevalente mica bianca, con minori percentuali di clorite e biotite.

All'interno degli Scisti di Edolo sono stati distinti quarzoscisti, filladi con livelli grafitici, anfiboliti, scisti carbonatici con livelli di marmi.

Quarzoscisti: i litotipi quarzitici sono abbastanza comuni ma risultano particolarmente diffusi a S di Incudine, ove formano intercalazioni di spessore decametrico distinte come "*Membro delle quarziti della Ganda*" o "*Membro delle quarziti del Dosso Pasò*". Sono rappresentati sia da termini puri, sia da facies di transizione (quarziti micacee e quarziti filladiche). Macroscopicamente si distinguono per il colore più chiaro (dal bianco al grigio chiaro o rosato-verdognolo), per la bancatura e per la scistosità meno marcata. Spesso mostrano tessitura cataclastica a grana eteroblastica ("mortar").

Oltre al quarzo, presente in quantità superiori all'80%, compaiono di regola le miche bianche, in percentuali molto variabili, mentre risultano nettamente subordinati la clorite, la biotite ed il plagioclasio albitico.

Filladi con livelli grafitici: negli Scisti di Edolo compaiono sottili e discontinui livelli filladici grafitici di colore nero, untuosi al tatto. Corrispondono alle "filladi grafitoidi o carboniose" Auct. La maggior parte di essi risulta tettonicamente deformata e, quindi, si ripropone il vecchio problema sull'origine dei livelli grafitosi, se primaria o se legata ad azioni di differenziazione e riduzione metamorfiche nelle fasce di deformazione.

Anfiboliti: anfiboliti epidotocloritico- biotitiche e cloritoscisti anfibolico-biotitico-epidotici di colore verde, sia chiaro che scuro, compaiono localmente in bande concordanti, di spessore di poco superiore al decimetro nelle comuni filladi.

Scisti carbonatici con livelli di marmi: si tratta di litofacies carbonatiche poco frequenti nel basamento Sudalpino. Tra la Valli Acqua Seria e dei Buoi affiorano livelli di aspetto micascistoso ma ricchi in carbonati con sottili livelli di marmi grigio-scuri. La composizione è data prevalentemente da calcite, mica chiara, clorite e quarzo. Sono anche presenti sottili orizzonti di calcefiri caratterizzati da un'alternanza di bande massive di colore variabile dal grigio chiaro al grigio-verde, con livelli micacei debolmente scistososi e di colore brunorossiccio, e di fels pirossenico-anfibolici a plagioclasio calcico.

Metagranitoidi con relitti di strutture ignee (età Carbonifero?-Permiano?)

Si tratta di rocce granitoidi a grana medio-grossolana, debolmente orientate e cataclastiche, con vene cloritiche e carbonatiche. Sono costituite essenzialmente da feldspati, biotite e quarzo e, come accessorio, contengono granato. I feldspati (plagioclasio a geminazione polisintetica, K-feldspato peritico) compaiono in porfiroclasti sericitizzati, con abbondanti inclusioni quarzose e sparsi granati scheletrici, frequentemente corrosi da plaghe carbonatiche, e con fratture riempite da sericite o clorite. La biotite è in grosse lamelle, deformate, decolorate e sostituite da clorite. Sono inoltre presenti sparse lamelle di mica bianca, per lo più incluse nei feldspati. Affiorano esclusivamente a ridosso della Linea del Tonale, dalla Val Zebrù fino a La Piazza (E di Incudine).

3.2.1.2 Copertura Alpi Meridionali:Lembi Permo-Triassici lungo la Linea del Tonale

Lungo la Linea del Tonale sono presenti scaglie tettoniche costituite sia da rocce della successione terrigena e vulcanoclastica permiana, sia da rocce carbonatiche della copertura mesozoica ("Permo-Trias Insubrico" Auct.). Nel settore, una fascia sottile e discontinua di rocce permo-triassiche fortemente inclinate segue il margine occidentale del plutone della Val d'Avio. Le rocce permiane sono riferibili alle vulcaniti basali, talora scistose, e al Verrucano Lombardo, ma la pessima qualità degli affioramenti e, talvolta, l'intenso grado di tettonizzazione, non ne consentono una più dettagliata suddivisione. Tali lembi si collocano non solo immediatamente a ridosso delle unità Austroalpine, ma anche entro la fascia di miloniti e cataclasiti del basamento delle Alpi Meridionali. Per gran parte si tratta di conglomerati grossolani di colore rosso-violaceo, più raramente grigioverde con sfumature rosate, con elementi prevalentemente quarzosi e, in

misura minore, vulcanici. Localmente a tali rocce sono associati sottili livelli di „porfiriti” verdastre, arenarie e siltiti con colorazione rossa molto cupa o violacea. Le rocce carbonatiche mesozoiche, invece, risultano difficilmente attribuibili ad una formazione specifica a causa delle intense deformazioni subite e della discontinuità degli affioramenti. Compiono, a seconda delle zone, dolomie color giallo-ocra; breccie cataclastiche ad elementi neri calcareo-marnosi e grigi calcareo-dolomitici; calcari e calcari marnosi di colore variabile dal grigionocciola al grigio scuro. È possibile che questi diversi livelli, corrispondano a formazioni diverse della serie mesozoica. Lembi carbonatici mesozoici affiorano anche alla Fornace a monte di Incudine.

3.2.1.3 Filoni magmatici di età incerta

Andesiti e basalti (età Permiano - Terziario)

Nel basamento delle Alpi Meridionali compaiono corpi filoniani di colore verdastro (“diabasi” Auct.) la cui età non è nota, ma sicuramente collocabile tra il Permiano ed il Terziario in base ad evidenze geologiche. L’area a S di Incudine è quella a maggior concentrazione di questi corpi. Si caratterizzano per la struttura porfirica, con microfenocristalli di plagioclasio e anfibolo \pm pirosseno compresi in una massa di fondo a grana fine. In alcune facies compaiono diffuse vene e plaghe carbonatiche di dimensioni millimetriche. I filoni raramente presentano un’orientazione preferenziale. Hanno spessore variabile da pochi decimetri ad alcuni metri e, spesso, sono discordanti con la foliazione principale dei micascisti incassanti.

Apliti e pegmatiti (età Permiano - Terziario)

Filoni molto chiari, di spessore submetrico/metrico, sono formati da apliti leucocrate a grana media o fine, costituite prevalentemente da quarzo e K-feldspato. Altri filoni sono costituiti da pegmatiti di spessore metrico, formate prevalentemente da quarzo, K-feldspato, muscovite \pm fluorite.

3.2.1.4 Magmatismo tardo alpino – Batolite dell’Adamello

Plutone della Val d’Avio – Val di Genova (età 32-34 Ma, Oligocene p.p.)

Nel settore affiora a nord della Linea della Gallinera. È costituito da tipi tonalitici a grana media, abbastanza uniformi, definiti in precedenza quarzodioriti biotitiche (Bianchi et alii, 1970). Contengono frequenti nuclei femici a grana minuta e piccoli corpi periferici di gabbri anfibolici e quarzo- gabbri. La struttura delle tonaliti è massiccia nel settore interno del plutone, ma diventa foliata procedendo verso le parti marginali, intruse nel basamento sudalpino e prossime alla Linea del Tonale. La foliazione ha carattere milonitico-cataclastico e si sviluppa in discordanza attraverso il limite intrusivo tra il plutone della Presanella e quello della Val d’Avio.

Tonalite della Val d’Avio Val di Genova: Roccia generalmente biotitica, a grana minuta o medio-fine, di composizione omogenea e con tessitura comunemente massiccia, passante a varietà a grana minore nelle zone marginali, ricche di nuclei femici e di inclusi enallogeni. L’unità è intrusa negli Scisti di Edolo e, verso sud, è in contatto con il plutone dell’Adamello. Corrispondono alle “Quarzodioriti biotitiche tipo Val d’Avio” di Bianchi et alii (1970); alla “Tonalite della Val d’Avio” di Callegari et alii (1998) e di Callegari & Brack (2002). Queste tonaliti presentano grana media

(medio-minuta alla periferia) e sono costituite da plagioclasio, quarzo, feldspato potassico. La caratteristica mineralogica peculiare è data dall'assenza di anfibolo, per cui i mafici sono rappresentati unicamente da biotite. I minerali accessori, in quantità variabile, sono: orneblenda, zircone, apatite, epidoto e minerali radioattivi (xenotimo e monazite, allanite), mentre sono molto rari i minerali opachi e la titanite. Hanno un indice di colore variabile dal 18 al 22%; le facies periferiche, a grana più minuta, sono spesso più leucocratiche e ricche in quarzo rispetto a quelle della parte più interna dell'intrusione. Il plagioclasio è presente in cristalli idiomorfi o subidiomorfi, di colore bianco. All'esame microscopico, i cristalli appaiono generalmente geminati e zonati. La biotite, macroscopicamente mostra colore nerastro, comparando nel tipico abito lamellare pseudoesagonale, anche in pacchetti di lamelle grandi fino ad 1 cm. Nelle varietà foliate la struttura della roccia assume caratteristiche cataclastiche; gli effetti della deformazione sono maggiormente evidenti nel quarzo e nella biotite. Anche in tali litotipi sono molto comuni gli inclusi mafici, di forma variabile da subsferica ad allungata, e dimensioni generalmente comprese tra 1 e 30 cm (in alcune zone raggiungono dimensioni di poco superiori a 2 m). Hanno grana fine e sono costituiti prevalentemente da biotite, feldspati e quarzo. Nelle varietà foliate gli inclusi mafici sono appiattiti parallelamente ai piani di foliazione. Nel settore sono presenti anche inclusi costituiti dalle rocce incassanti del basamento delle Alpi Merionali, nelle quali, a volte, è ancora riconoscibile la tessitura scistosa.

3.2.2 Successione Neogenico-Quaternaria

3.2.2.1 Unità distinte in base al bacino di appartenenza

Si tratta di corpi sedimentari la cui formazione è strettamente correlata ai processi sedimentari avvenuti in un dato bacino idrografico e/o glaciale e alla sua evoluzione. Per alcune di queste unità, tuttavia, è stato possibile stabilire una continuità fisica e/o una sostanziale concordanza di significato e definizioni con altre presenti in bacini diversi. In particolare, relativamente al contesto alpino e prealpino lombardo, è stata operata, tra le altre, la distinzione/accorpamento in Depositi LGM (Last Glacial Maximum), corrispondenti all'ultima grande espansione glaciale. All'interno di ogni bacino principale glacializzato è stato istituito un sintema o un supersintema racchiudente tutti i depositi legati allo LGM, suddiviso poi in unità di rango inferiore. Relativamente al ghiacciaio dell'Oglio, i rilevamenti in alta Val Camonica relativi ai Fogli Malonno e Ponte di Legno hanno messo in evidenza il contatto tra i ghiacciai dell'Adda e dell'Oglio nella zona Mortirolo - Aprica. I dati raccolti indicano che vi è stata alternanza di flusso nelle diverse fasi dello LGM, ossia alcune volte era il ghiacciaio dell'Adda che trasfluiva in Val Camonica, altre volte era il ghiacciaio dell'Oglio che trasfluiva in Valtellina (situazione quest'ultima più probabile durante la fase di massimo glaciale). Sulla base di queste osservazioni, è stata istituita un'unica unità comune al bacino camuno ed a quello abduano: il *supersintema dei Laghi*.

Supersintema dei Laghi - Sintema di Cantù (età Pleistocene superiore; corrisponde in parte al "Würm" degli Autori precedenti) - LCN

Nel settore d'indagine il sintema di Cantù è costituito quasi esclusivamente da depositi glaciali,

alluvionali e di contatto glaciale:

Till di ablazione: diamicton massivi a supporto di matrice limosa o limosossabbiosa, con clasti e blocchi sino a metrici, da arrotondati a subangolosi.

Till di alloggiamento: diamicton massivi a supporto di matrice limosa molto abbondante, generalmente sovraconsolidata, con sparsi clasti di dimensioni al massimo decimetriche, arrotondati e spesso striati e sagomati a ferro da stiro.

Depositi di fusione sottoglaciale: ghiaie da medie a grossolane, talvolta grossolanamente stratificate (fluted moraine), supporto di clasti, scarsa matrice limoso sabbiosa, clasti arrotondati.

Depositi di contatto glaciale: diamicton massivi a supporto di matrice con clasti mal selezionati ed arrotondati, in corpi lenticolari; ghiaie a supporto clastico o di matrice sabbiosa, con clasti arrotondati, a selezione variabile; intercalazioni di sabbie in strati decimetrici o in lenti, e di limi massivi o più comunemente stratificati.

Depositi alluvionali: ghiaie a supporto di matrice sabbiosa, con clasti a selezione variabile, di dimensioni da medie a grossolane, con intercalate sabbie stratificate o in lenti.

Il limite superiore, erosivo, coincide in buona parte con la superficie topografica; localmente è ricoperto da facies di versante del sistema del Po. È caratterizzato da assenza di copertura loessica; il profilo di alterazione è poco evoluto, di spessore massimo 1 m, con evidente ossidazione dei clasti e della matrice dei depositi ad elevato contenuto in Fe e parziale arenizzazione dei clasti scistosi. Il profilo di alterazione risulta spesso troncato e/o sepolto dai depositi del sistema del Po. Il limite inferiore è rappresentato dalla superficie di contatto con il substrato, spesso interessato da esarazione (dossi montonati). La litologia dei clasti rispecchia le formazioni del bacino di alimentazione, con grande variabilità locale, in funzione dell'alimentazione ricevuta dagli apparati confluenti dalle valli laterali, rispecchiando la distribuzione dei litotipi affioranti sui versanti prospicienti i depositi, con significative differenze non solo da un versante all'altro, ma anche a breve distanza lungo lo stesso versante: ciò suggerisce un trasporto relativamente breve, senza rimescolamento e contaminazione dei materiali. Il sistema di Cantù comprende i sedimenti depositi nel corso dell'ultima grande avanzata glaciale. Affiora estesamente su entrambi i versanti della valle principale sino a circa 2000 m s.l.m, mentre raggiunge quote più alte nelle zone di circo e di creste sommitali delle valli laterali.

3.2.2.2 Unità non distinte in base al bacino di appartenenza

Sotto questa dicitura sono stati raggruppati tutti i depositi legati prevalentemente alla dinamica di versante (es. falde detritiche, coltri colluviali, frane ecc.), la cui sedimentazione è avvenuta in tempi differenti e in modo indifferenziato su tutto il territorio. Nel settore tale raggruppamento comprende tutti i depositi formati posteriormente all'ultimo evento glaciale pleistocenico, per i quali è stato istituito il *Sistema del Po*. Il Sistema del Po è diacrono su tutta la sua estensione, abbraccia un arco temporale che va dalla parte terminale del Pleistocene superiore sino a tutto l'Olocene e, come appena ricordato, comprendente tutti i depositi (indipendentemente dall'agente deposizionale) formati posteriormente all'ultimo evento glaciale pleistocenico.

Sintema del Po (età Pleistocene superiore-Olocene) - POI

Cartografata anche come unità Postglaciale, precedentemente i depositi corrispondenti a questa unità sono stati individuati come “Alluvioni attuali, recenti, antiche e tardive” o come unità morfologiche (conoidi, coni e falde detritiche, morene recenti). Il sintema del Po inizia a depositarsi al ritiro dei ghiacciai pleistocenici al termine della fase di massima avanzata (LGM), ed è quindi di deposizione diacrona sia a scala regionale che nell’ambito di settori diversi dei singoli bacini idrografici, in funzione dell’inizio del ritiro locale degli apparati glaciali. Il limite superiore coincide con la superficie topografica ed è caratterizzato da suoli poco evoluti, alterazione dei clasti da assente a poco sviluppata (sino a una profondità massima di 30-40 cm), morfologie ben conservate o ancora in evoluzione. Il limite inferiore è costituito dalla superficie di contatto con il substrato, su cui poggia in discordanza, o da superfici erosionali o di non deposizione al contatto con il sottostante sintema di Cantù.

L’unità comprende tutti i depositi continentali formati dopo le fasi di ritiro dell’ultima avanzata glaciale. Essa appare diffusa in corpi di varia estensione, con genesi, caratteristiche litologiche e morfologiche nonché ubicazione strettamente omogenee entro ogni singola facies, oltretutto strettamente correlate fra loro:

Depositi messi in posto per gravità: detriti di versante: diamicton e ghiaie massive o clinostratificate, eterometriche, a supporto clastico o di matrice, con clasti spigolosi alimentati dal versante soprastante sono presenti nelle aree a quote più elevate e a scarsa copertura vegetale, localizzati ai piedi di pareti in rocce competenti fratturate, ove formano falde detritiche spesso costituite da coni coalescenti.

Depositi di frana: diamicton massivi a blocchi o accumuli caotici di blocchi da metrici a plurimetrici, messi in posto durante singoli eventi catastrofici (frane s.l.) sono diffusi su tutta l’area, con volumi ed estensioni areali varie. Si distinguono corpi con superficie a dossi e depressioni, spesso in relazione con nicchie di distacco ben individuabili, legati a franamenti per scivolamento rotazionale in roccia; talora i fenomeni interessano intere porzioni di versante, con debole dislocazione rotazionale alla base, passante verso l’alto a fratturazione pervasiva della compagine rocciosa, con disarticolazione crescente, sino ad accumulo caotico di blocchi della medesima litologia non derivati da pareti soprastanti, bensì dalla diretta messa in posto del corpo dislocato. Nel dettaglio si osservano spesso situazioni complesse, con eventi successivi di ordine minore parassiti sul corpo di frana principale. diffusi fenomeni franosi presenti lungo gli assi vallivi principali sono in connessione con estese deformazioni gravitative profonde; spesso inoltre DGPV (Sackungen) del substrato lapideo sembrano innescare scivolamenti e colamenti dei depositi quaternari che le ammantano, con denudamento della sottostanti magmatiti e metamorfiti.

Depositi da trasporto in massa: diamicton massivi a supporto di matrice limoso-argillosa, con clasti da arrotondati a subangolosi provenienti dal rimaneggiamento di precedenti depositi glaciali, sono diffusi in tutta l’area, assumendo spessori degni di nota in alcune vallecole a fondo piatto o in depressioni in corrispondenza di contropendenze. Essi appaiono generati da trasporto in massa (debrisflow, mudflow), con genesi di corpi lobati lungo i versanti o allo sbocco di canali, oppure

da movimento dell'intera copertura lungo il versante stesso (colluvium).

Depositi alluvionali. Sono costituiti in genere da ghiaie massive o grossolanamente stratificate, a supporto clastico, matrice sabbiosa da assente ad abbondante, clasti da subangolosi ad arrotondati, a selezione variabile da scarsa a buona, spesso embricati; ghiaie a supporto clastico e matrice sabbiosa in lenti clinostratificate, con ciottoli arrotondati e ben selezionati; intercalazioni sabbiose stratoidi o lenticolari, con laminazioni oblique a basso angolo o laminazioni incrociate. Limitate placche di depositi alluvionali sono presenti discontinuamente entro l'alveo di gran parte dei corsi d'acqua a carattere torrentizio; localmente i materiali appaiono organizzati in più fasi di deposito e successiva erosione, sottolineate da orli di scarpata erosionale spesso netti e terrazzamento delle superfici. Ad essi si intercalano in rapporto di eteropia gli apporti dei canali confluenti, dominati da trasporto in massa e spesso modellati a forma di cono con elevata pendenza della superficie.

Depositi lacustri e di torbiera: alternanze di limi e sabbie fini laminati in sequenze decimetriche, con intercalati livelli di torba, sono presenti in alta quota in bacini di limitata estensione areale ed esigua profondità, sviluppati in depressioni intermoreniche o a ridosso di dossi montonati. Quando non in corso di formazione, essi si distinguono comunque, dando origine a superfici pianeggianti suborizzontali, interdigitate entro i dossi che le contengono, e scarsamente drenate, con tendenza all'impaludamento.

Depositi glaciali: diamicton massivi a supporto di matrice limosa o limoso-sabbiosa, con blocchi sino a plurimetrici, subarrotondati o arrotondati, talora striati, nonché accumuli caotici di blocchi eterometrici privi o quasi di matrice, sono presenti alla testata delle valli minori, soprattutto sui versanti esposti verso i quadranti settentrionali.

3.3 Inquadramento geomorfologico

La morfologia dell'area è il risultato dell'azione di più agenti del modellamento, raggruppabili principalmente in processi fluviali, processi glacigenici, processi legati alla gravità. I primi riguardano sia i fenomeni erosivi che hanno portato alla formazione e all'approfondimento delle valli, sia quelli di sedimentazione con formazione di riempimenti alluvionali; i secondi sono connessi alle ripetute glaciazioni quaternarie, con diversi episodi di avanzata e ritiro sia dei grandi ghiacciai vallivi che occupavano le valli principali, sia degli apparati glaciali minori affluenti; gli ultimi sviluppati lungo i versanti, con la messa in posto di estese falde detritiche, di frane per crollo in roccia – con fenomeni più significativi nelle aree dove il substrato è più intensamente fratturato - colata o scivolamento.

Il paesaggio risulta innanzitutto condizionato dall'azione dei ghiacciai, tutt'oggi presenti nella fascia altimetricamente più elevata del territorio. Durante il Pleistocene il settore è stato più volte quasi totalmente coperto dai grandi apparati del sistema glaciale Adda-Oglio (vi sono evidenze di contatto tra i ghiacciai del bacino dell'Adda e dell'Oglio oltre che dell'Adige). In Alta Valle Camonica, i depositi riferibili all'ultima espansione della lingua valliva principale raggiungono i 2000 – 2100 m circa di quota; sia i depositi che le morfologie legati a glaciazioni più antiche sono

stati quasi completamente oblitterati dall'ultimo passaggio del ghiacciaio. Le vecchie carte geologiche mostrano versanti coperti quasi uniformemente da una spessa coltre di sedimenti glaciali "wurmiani"; in realtà gli spessori parrebbero più esigui, sino al caso estremo di "morene" costituite da un dosso strutturale in roccia ammantato da una sottile strato di till che ne ricalca la forma. In ampie aree inoltre i depositi glaciali sono stati mobilizzati ad opera della gravità in epoca successiva, pertanto la messa in posto finale dei sedimenti è legata direttamente a fenomeni di frana, di scivolamento o di colluvio: Viceversa, in alcune valli laterali si riconoscono fasi locali di avanzata e ritiro posteriori all'Ultimo Massimo Glaciale, rese possibili dall'assenza del ghiacciaio principale a sostenere ed ostacolare le lingue affluenti. Processi glaciali e periglaciali sono ancora attivi alle quote più elevate, dove sono tuttora presenti apparati glaciali di una certa importanza. Da lembi di ghiaccio morto si sono probabilmente originati i numerosi rock glacier osservabili in molte valli laterali dell'Alta Valle Camonica; altri, invece, potrebbero essere il risultato di formazione di ghiaccio in campi di detriti di versante in ambiente periglaciale.

Anche i processi di esarazione glaciale, oltre che dalla presenza di un apparato glaciale di grande spessore, appaiono sensibilmente favoriti anche da fattori litologici e strutturali. Il modellamento del substrato con dossi montonati, ripiani e gradini a scala da metrica a ettometrica, è infatti legato primariamente a motivi strutturali sui quali l'azione del ghiacciaio si è limitata a produrre successive forme di esarazione. Spesso sono stati attivi, già in epoca preglaciale, processi di deformazione gravitativa profonda dei versanti, che hanno originato una serie di terrazzi (interpretati in passato come terrazzi di origine glaciale) caratterizzati da dossi e contropendenze delimitati da profonde trincee da rilascio, poi modellati dall'esarazione glaciale e da processi di deposizione di materiale glaciale, sotto forma di till di alloggiamento, till di fondo, till di ablazione e depositi di contatto glaciale.

Le valli laterali minori quali quella oggetto d'indagine sono nettamente dominate da processi torrentizi e gravitativi recenti ed attuali, i quali contribuiscono ampiamente ad elidere e oblitterare le morfologie glaciali più antiche. Le parti basse di queste valli sono talvolta caratterizzate da ampie porzioni in forte dissesto, legato allo stato di alterazione e fratturazione della roccia, che le rende particolarmente instabili e soggette a rapida evoluzione: nicchie di distacco, scarpate di frana, trincee da rilascio e accumuli di frana compositi di varia origine e tipologia sono i tratti morfologici più evidenti. Soltanto nelle parti alte dei principali bacini secondari si conservano forme e depositi di origine glaciale, anche se spesso fortemente rimaneggiati dalla dinamica dei versanti. Le valli laterali più sviluppate, invece, presentano tratti a modesta inclinazione occupati sul fondovalle da abbondanti depositi alluvionali

I processi gravitativi annoverano produzione di detrito di versante alle quote più elevate, frane per crollo in roccia frane per colata e scivolamento colate di debris- o mud-flow e fenomeni colluviali. I processi di soliflusso, colate di debris- o mud flow e fenomeni di colluvio interessano, rimaneggiandoli, tutti i depositi quaternari e in particolare i sedimenti glaciali presenti lungo i versanti. Spesso, in una stessa area agiscono contemporaneamente più processi gravitativi, tanto da non poter essere facilmente identificati.

Sono tuttora attivi, come ad esempio nel settore inferiore dx idrografico del bacino in esame, in fenomeni di deformazione gravitativa profonda dei versanti (DGPV), ai quali è probabilmente da ascrivere l'intensità dei processi gravitativi superficiali. Le DGPV producono nicchie di distacco e di scivolamento semicircolari, ben individuabili anche a grande scala, con substrato portato in affioramento, grandi trincee che interessano i versanti a partire dalle porzioni sommitali, fenomeni di sdoppiamento di cresta, ribassamenti di porzioni dei versanti, sviluppo di gradini e terrazzi strutturali con contropendenze e trincee da rilascio, apertura di grandi sistemi di fratture beanti su versanti subverticali e innesco di fenomeni franosi secondari, in particolare nella copertura quaternaria. Queste zone sono successivamente sede di intensi fenomeni di crollo in roccia, con accumuli di frane a grossi blocchi, tipicamente privi di matrice, alla base delle pareti. A questo tipo di deformazioni si affiancano poi, a seguito dei movimenti del substrato, movimenti per colata dei depositi glaciali, che producono sia vasti corpi di frana con tipiche morfologie a dossi e depressioni, sia colate e conoidi da debris-flow: in questo caso, il rimaneggiamento dei depositi glaciali è testimoniato dalla scomparsa dei profili di alterazione.

Processi gravitativi di particolare entità e significato si sviluppano allo sbocco delle valli laterali minori, con messa in posto di imponenti ed estesi corpi di frana, che spesso assumono forma lobata simile a conoidi, ma con pendenze di gran lunga maggiori e apici inseriti profondamente entro i canali di alimentazione. Tali forme, giustapposte alla normale sedimentazione alluvionale, vengono successivamente rimodellate da processi di smantellamento ad opera di fenomeni di debris-flow, di colata o anche prettamente alluvionali, generando morfologie articolate e complesse.

Nelle aree di fondovalle, caratteristica comune delle valli principali è quella di incidere profondamente il substrato, con versanti in roccia ad elevata inclinazione, in corrispondenza della confluenza con le valli laterali invasi da grandi conoidi poligenici. In superficie, mostrano fondo completamente occupato da sedimenti alluvionali attuali, a topografia pianeggiante, parzialmente coperti o interdigitati con depositi di frana e di debris-flow.

Al raccordo versanti - fondovalle sono presenti un po' ovunque modesti depositi di materiale colluviato dai versanti, piccoli corpi di frana, sia dovuti a frane di crollo del substrato roccioso, sia per colamento di depositi glaciali, che talora assumono le caratteristiche di conoidi da debris-flow: questi depositi coprono in parte le alluvioni attuali (e probabilmente in profondità vi si interdigitano).

Nelle aree sommitali di cresta e lungo le dorsali che separano i solchi vallivi, a quote superiori ai 2300 m, i processi geologici prevalentemente attivi attualmente e in passato riguardano la produzione e la messa in posto di detriti di versante in ambiente periglaciale e da disfacimento meteorico. Alcune aree di cresta sono ancora interessate dalla presenza di ghiacciai di circo o di calotta, altre aree simili non sono attualmente interessate dalla presenza di piccoli ghiacciai, ma lo sono state in epoca storica molto vicina (Piccola Età Glaciale).

In corrispondenza delle aree di cresta, di circo e nelle valli sospese, vi sono evidenze di processi d'esarazione glaciale: le forme di erosione, le strie di abrasione, i dossi in roccia montonati sono

visibili e sono controllati da fattori litologici (diversa resistenza all'abrasione, per le diverse litologie) e strutturali. Ciò implica che, nelle fasi massima espansione (MEG), i ghiacciai delle valli laterali (che confluivano con il ghiacciaio principale), nelle zone di alimentazione occupavano estesamente il territorio fino a quote molto elevate: in queste fasi i ghiacciai dell'Oglio, dell'Adda, e dell'Adige erano coalescenti tra di loro e solo le cime più elevate dovevano emergere, come nunatak, elevandosi di poche centinaia di metri al di sopra della superficie dei ghiacciai. In effetti queste cime, che non sembrano mai state interessate dal glacialismo, mostrano morfologie aspre e dirupate, con evidente modellamento crioclastico; queste aree sono circondate da estesi campi di detriti, non mostrano segni di esarazione e sono caratterizzate dall'assenza di depositi glaciali. La sedimentazione di depositi lacustri e piccole torbiere d'alta quota è confinata in depressioni del substrato modellato a dossi montonati, dove piccole torbiere e laghi di alta quota sono sostenuti anche da archi morenici.

3.4 Inquadramento idrogeologico

Il sistema idrografico superficiale del territorio in esame è costituito da un collettore principale, il fiume Oglio, e da una serie di corsi d'acqua che drenano le valli secondarie quali quella d'indagine, ubicate sui versanti laterali. La configurazione planimetrica del reticolo idrografico, piuttosto semplice e regolare con corso d'acqua principali ad andamento all'incirca E-O e torrenti secondari grosso modo ortogonali a questi ultimi, è legata alla presenza di grosse strutture tettoniche con direzione all'incirca meridiana.

Il fondo dell'Alta Valle Camonica presenta tratti a differente assetto morfologico, a seguito principalmente della presenza di tratti stretti e incassati, o di conoidi alluvionali più o meno estese, poste allo sbocco delle valli laterali. A tali diversi assetti è legata anche la dinamica del corso d'acqua di fondovalle, con la formazione di alternanze di anse e tratti rettilinei, di settori di fondovalle ampi e pianeggianti e di settori più ristretti e più acclivi.

L'alimentazione della circolazione idrica sotterranea lungo i versanti ha luogo generalmente tramite le acque di precipitazione nei terrazzi morenici e detritici permeabili della copertura; ciò avviene in notevole misura nei settori sommitali, per la presenza diffusa di depositi e accumuli detritici grossolani e per la mancanza di incisioni torrentizie principali. Successivamente tali acque percolano in parte anche nelle fratture della roccia sottostante che si presenta, nella maggior parte dei casi, piuttosto alterata nei primi metri di spessore.

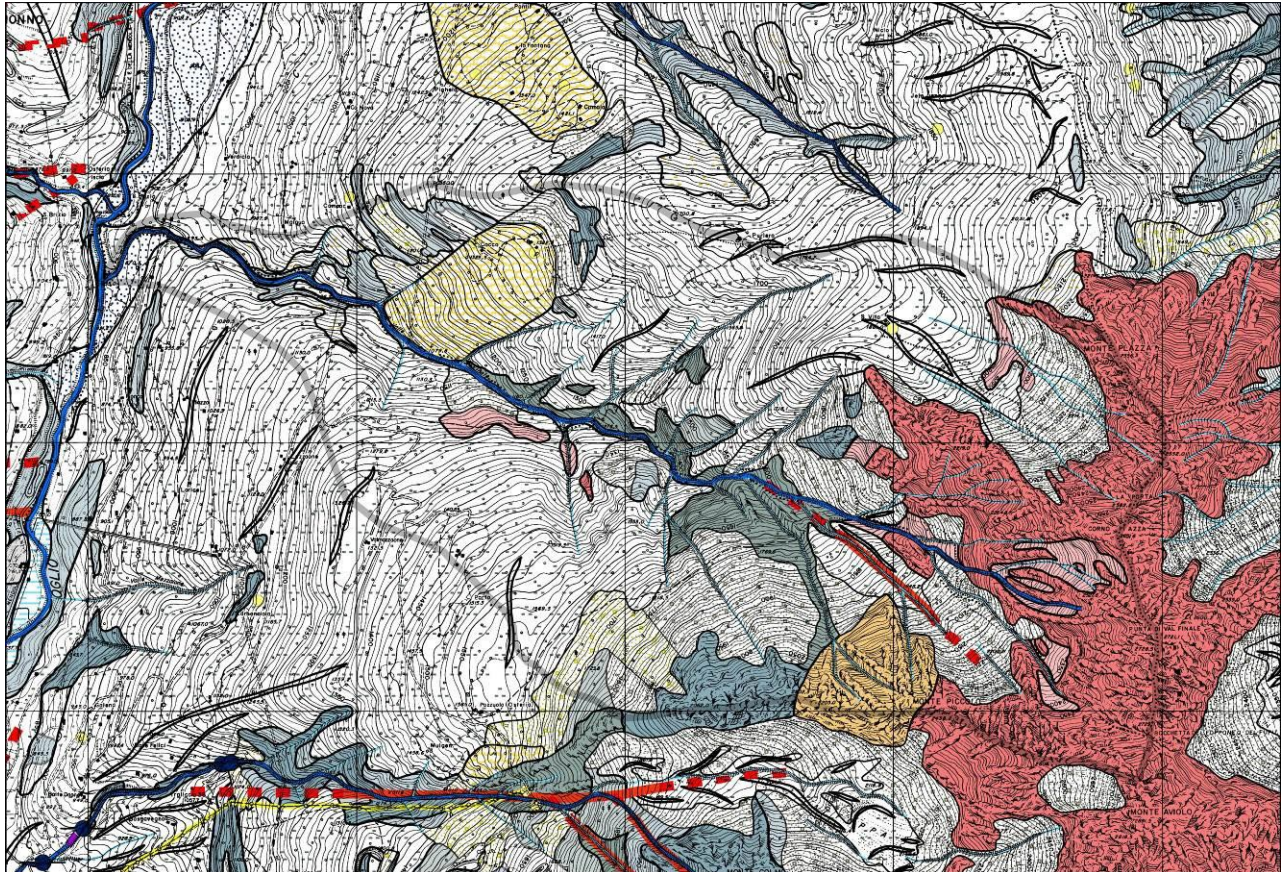
Nella coltre di depositi superficiali si possono identificare locali acquiferi, legati alla rete molto fitta di vuoti interconnessi ai materiali costituenti le coltri. Nelle rocce del substrato, viceversa, la permeabilità è dovuta alla fratturazione della roccia stessa. Poiché la porzione più intensamente fratturata è per lo più limitata alla fascia corticale del substrato lapideo, le acque di infiltrazione tendono a risalire piuttosto rapidamente in corrispondenza di particolari conformazioni morfologiche (terrazzi) o strutturali (faglie, fessure).

Nel fondovalle, gli acquiferi alluvionali sono caratterizzati dalla giustapposizione disordinata di termini litologici di varia granulometria, aggregati in lenti allungate nel senso della corrente che le

ha generate. Ciò si traduce in una circolazione idrica per falde sovrapposte, con deflusso preferenziale dell'acqua nei litotipi a più alto grado di permeabilità relativa. In genere, le diverse falde possono quasi sempre essere ricondotte ad un unico sistema di circolazione idrica sotterranea, poiché il particolare tipo di deposizione lenticolare lascia moltissime soluzioni di continuità fra depositi permeabili e depositi relativamente meno permeabili, quest'ultimi peraltro presenti in quantità molto scarsa. Nel complesso, la sequenza deposizionale in esame costituisce un sistema acquifero poroso, generalmente disomogeneo ed anisotropo, che può essere considerato continuo in quanto caratterizzato da una rete molto fitta di vuoti interconnessi e, di conseguenza, esaminato come un sistema idrogeologico a se stante. Per quanto riguarda le condizioni di alimentazione, la maggior parte delle acque perviene alle falde acquifere presenti nei depositi di fondovalle, dalle infiltrazioni laterali e di fondo del corso d'acqua principale e dei tributari laterali; apporti secondari sono dovuti alle precipitazioni e, localmente, alle infiltrazioni dai corsi d'acqua minori.

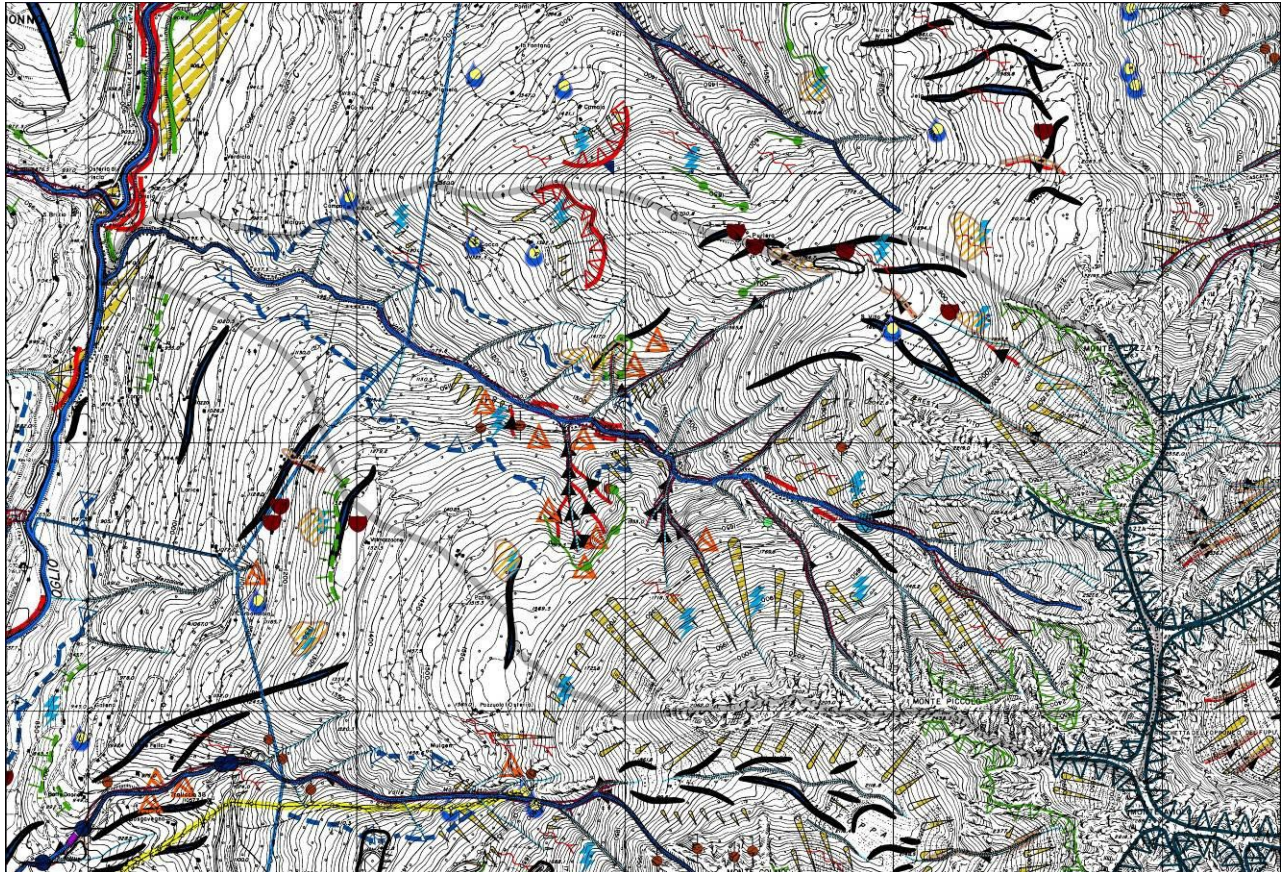
Dal punto di vista meteorologico, l'area considerata mostra un clima di tipo endoalpino, il cui uno dei fattori più caratteristici è la relativa scarsità delle precipitazioni, tipico delle porzioni più interne delle Alpi. La catena alpina rappresenta infatti un'efficace barriera climatica tra il versante Nordalpino, più sensibile al trasporto di masse d'aria umida dall'Oceano Atlantico e agli scambi meridiani, e quello Sudalpino, spesso sotto l'influsso del tempo mediterraneo, responsabile, per esempio, di inverni meno freddi. Nel settore, le precipitazioni sono perlopiù legate a grossi sistemi perturbati frontali, mentre dalla tarda primavera e durante l'estate sono di prevalente origine temporalesca.

Figura 7: Carta di inquadramento geologico (Stralcio Cartografia R.L.– Scala 1:20.000)



ELEMENTI LINEARI	SUBSTRATO LAPIDEO
faglia sicura	Arenarie e conglomerati
faglia presunta	Rocce argillose
frattura principale	Calcari e dolomie
sovrascorrimento sicuro	Marne
sovrascorrimento presunto	Depositi gessosi e anidritici
ACCUMULI DI FRANA	Micascisti e filladi
Accumulo di frana di crollo	Gneiss
Accumulo di frana di scivolamento	Quarziti
Paleofrana	Rocce metamorfiche carbonatiche
DEPOSITI QUATERNARI	Serpentiniti e altre rocce metamorfiche
Depositi colluviali	Rocce effusive
Depositi eluviali	Rocce filoniane
depositi eluvio/colluviali	Rocce intrusive
Depositi fluvioglaciali	SUBSTRATO LAPIDEO SUBAFFIORANTE
Depositi lacustri	Arenarie e conglomerati
morena stadiale	Rocce argillose
Depositi morenici	Calcario-Dolomia
Depositi torbosi	Marne
Falde e coni detritici	Deposito gessoso e anidritico
Attivo	Micascisti e filladi
Inattivo	Gneiss
Conoidi di deiezione	Quarziti
Attivo	Rocce metamorfiche carbonatiche
Inattivo	Serpentiniti e altre rocce metamorfiche
depositi alluvionali	Rocce effusive
SUBSTRATO LAPIDEO	Rocce filoniane
Arenarie e conglomerati	Rocce intrusive

Figura 8: Carta di inquadramento geomorfologico (Stralcio Cartografia R.L.– Scala 1:20.000)



ELEMENTI LINEARI

- contropendenza
- crolli
- frana non fedelmente cartografabile
- tracce di ruscellamento diffuso
- soliflusso e creep

ELEMENTI ANTROPICI

- Impianti di depurazione
- Pozzo
- Serbatoio di accumulo per acquedotti
- Sorgente
- Vasca di troppo pieno

Nicchia di frana

- Attiva
- Inattiva

ORLI MORFOLOGICI

- Orlo di scarpata di cava o miniera a cielo aperto
- Orlo di scarpata di degradazione o frana
- Orlo di scarpata di erosione fluviale attivo
- Orlo di scarpata di erosione fluviale inattivo
- Orlo di scarpata di erosione glaciale
- Orlo di scarpata di origine antropica
- Orlo di scarpata di origine strutturale attivo
- Orlo di scarpata di origine strutturale inattivo
- Orlo di scarpata morfologica inattiva
- Orlo di scarpata morfologica attiva
- Forra
- Circo glaciale
- Gradino di valle sospesa
- Gradonatura artificiale

CORSI D'ACQUA

- fondo a U
- fondo a V
- fondo piatto
- Erosione incanalata

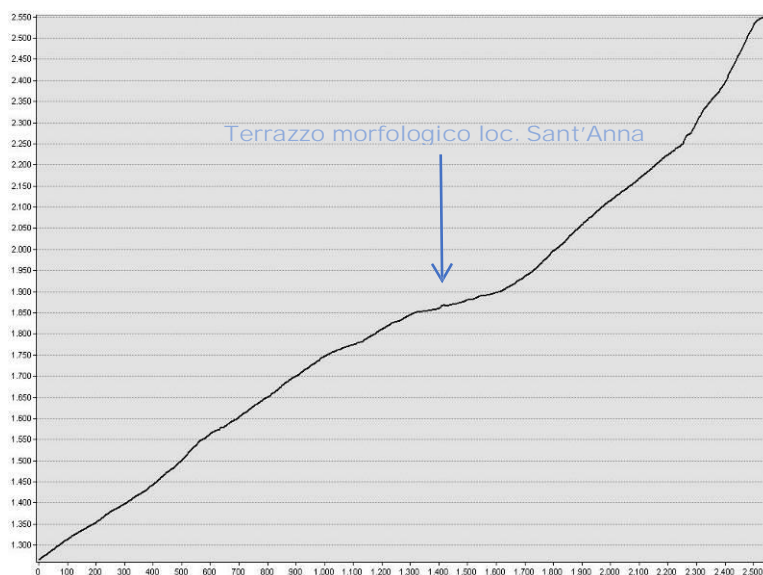
ELEMENTI AREALI

- cordone morenico
- Ghiacciai e nevai
- superficie fluvio-lacustre
- Erosione diffusa ad opera di acque incanalate
- Erosioni superficiali e dilavamento diffusi
- Area estrattiva o di discarica
- Andamento depositi orientati
- Falda e/o cono detritico
- Conoide di deiezione

4 TORRENTE VAL FINALE

4.1 Bacino idrografico

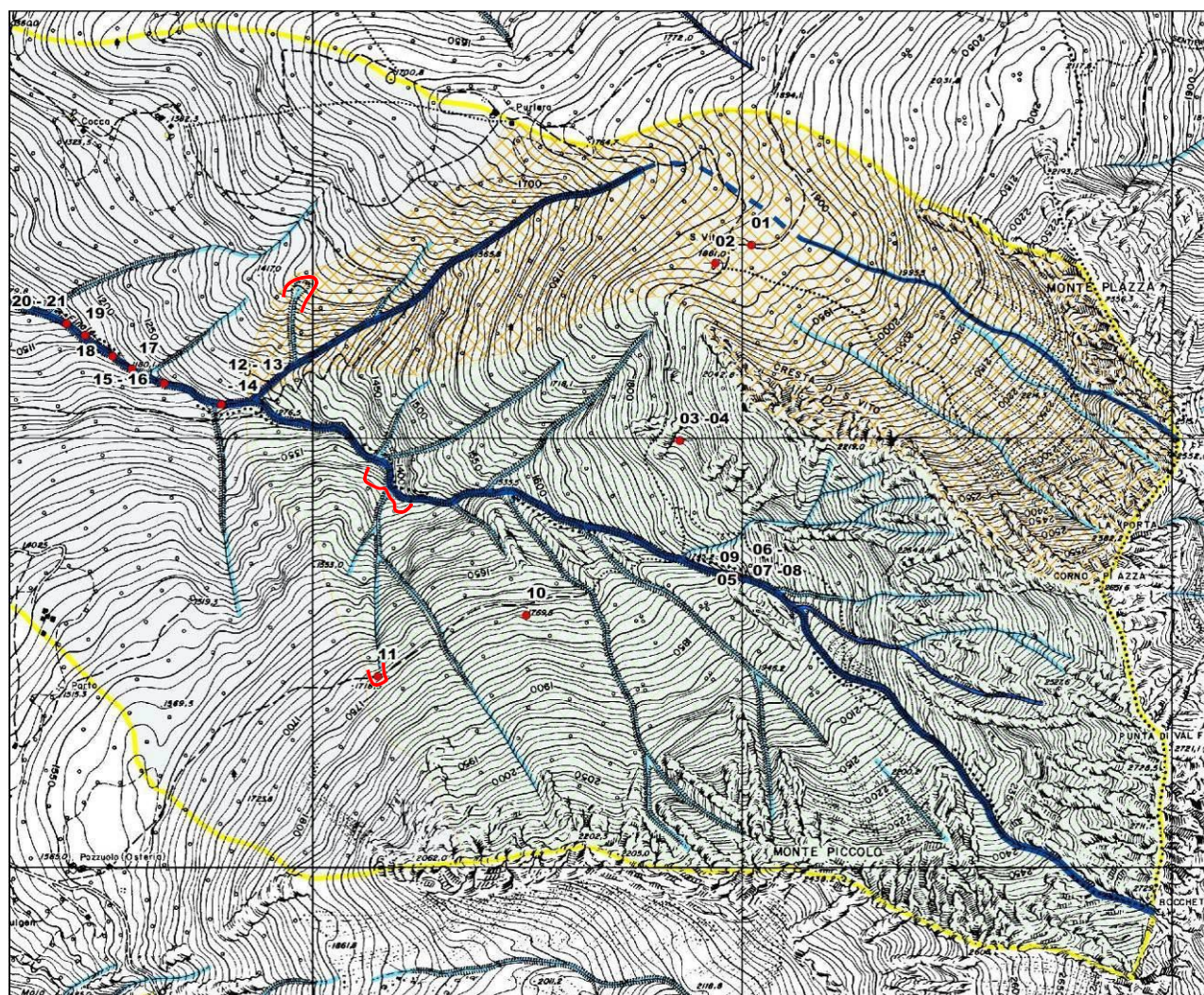
Il torrente Valle Finale sottende un bacino relativamente esteso (circa 5,3 Km²), compreso tra le quote 2850 m circa del punto sommitale (cresta N di Cima Aviolo) e 835 m della confluenza con il fiume Oglio. L'apice del proprio conoide è posti a circa 890 m slm. A partire dalla linea di cresta (Bocchetta del Fupù), Il torrente ha una lunghezza di 4,8 km; il tratto sul conoide è di circa 600 m. Il settore superiore del bacino idrografico del torrente Valle Finale può essere suddiviso in due distinti sottobacini, separati dall'imponente dorsale rocciosa che si stacca a ONO del Corno Piazza (Cresta di San Vito), e confluenti tra di loro intorno a 1300 m slm di quota. Il sottobacino settentrionale è quello con dimensioni più ridotte (superficie circa 1 Km²), con lunghezza del rio principale di circa 2,5 km. Tuttavia, a seguito della presenza di ampi campi detritici, spesso poco o per nulla colonizzati dalla vegetazione nell'area sottostante le pareti sommitali, sia il rio principale che gli impluvi secondari del sottobacino presentano morfologie poco marcate e regime idraulico intermittente o effimero. Ciò è bene evidente in corrispondenza del terrazzo morfologico che ospita la località Sant'Anna (foto 1), attraversato da due impluvi poco accennati e a fondo erboso. Vi si nota tuttavia la presenza di tracce di trascinarsi di materiale detritico e vegetale legate a forti temporali. L'area che si estende da Sant'Anna sino ai piedi delle pareti sommitali non presenta nemmeno fenomeni di dissesto particolari, anche se i fenomeni piovosi più intensi sono comunque in grado di generare fenomeni di trasporto di massa, come dimostrano i lobi di colata detritica colonizzati dalla vegetazione presenti nei prati della località stessa (foto 2), e le erosioni incanalate di grosse dimensioni poste ai piedi della cresta di San Vito (foto panoramica 42). Superato il terrazzo morfologico di Sant'Anna, le pendenze del versante, ora ampiamente boscato, aumentano nettamente (cfr. profilo longitudinale sottostante), e il rio si snoda in un impluvio bene inciso. Le pendici di questo tratto sono caratterizzate da fenomeni di soliflusso del primo sottosuolo e uncinatura delle conifere, con diversi schianti; sul fianco destro del settore inferiore vi è anche la presenza di un'area caratterizzata da evidenti erosioni calanchive.











Il sottobacino meridionale (superficie circa 2 km²) ospita il corso d'acqua principale (torrente Valle Finale), qui caratterizzato da pendenze di fondo particolarmente elevate (media oltre 60%), da regime idrico costante e da alveo prevalentemente roccioso. Vi è la presenza di numerosi salti di fondo, spesso di elevate dimensioni (foto 6 ÷ 9), ma non di terrazzi o ripiani morfologici significativi; il corso d'acqua può quindi

raggiungere energie molto elevate. In questo impluvio si è sviluppata la colata detritica dell'agosto 2021; le immagini riprese a distanza subito dopo l'evento (foto 43) evidenziano come nell'area di testata siano ancora presenti consistenti quantitativi detritici potenzialmente rimobilizzabili, ai quali contribuisce anche il progressivo scioglimento del ghiaccio interstiziale. Ad esclusione dell'impluvio principale, e di qualche smottamento superficiale (foto 5), il rilievo a distanza della parte superiore del sottobacino non ha mostrato fenomeni di dissesto di grosse dimensioni (foto 3, 4, 10), nemmeno nelle porzioni degli impluvi secondari osservate percorrendo il sentiero che li attraversa a circa 1800 m di quota. Continuando lungo il sentiero che perde progressivamente quota in direzione SO, si attraversa la nicchia di distacco di un fenomeno franoso (anno 2014, foto 11), riversatosi in un piccolo ma ripido impluvio che raggiunge il fondo del torrente Valle Finale a circa 1400 m slm di quota. In questo tratto il torrente compie un'ampia curva destrorsa, incidendo la sponda idrografica sx, anche per questo soggetta ad ampi fenomeni erosivi (foto 44).

Figura 9: Corografia sottobacini e viste fotografiche



- | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
|  | Torrente principale |  | Sottobacino idrografico N |
|  | Torrente effimero |  | Sottobacino idrografico S |
|  | Torrente secondario |  | Nicchia di erosione o di frana |
|  | Limite bacino idrografico |  | Vista fotografica |

Il settore inferiore dell'alveo del torrente Valle Finale, a valle della confluenza tra i due sottobacini, è caratterizzato da acclività sensibilmente inferiori alle precedenti: 25% di media (14°) sino alle opere di presa della società Edison, 18% (10°) dalle opere di presa sino all'apide del conoide.

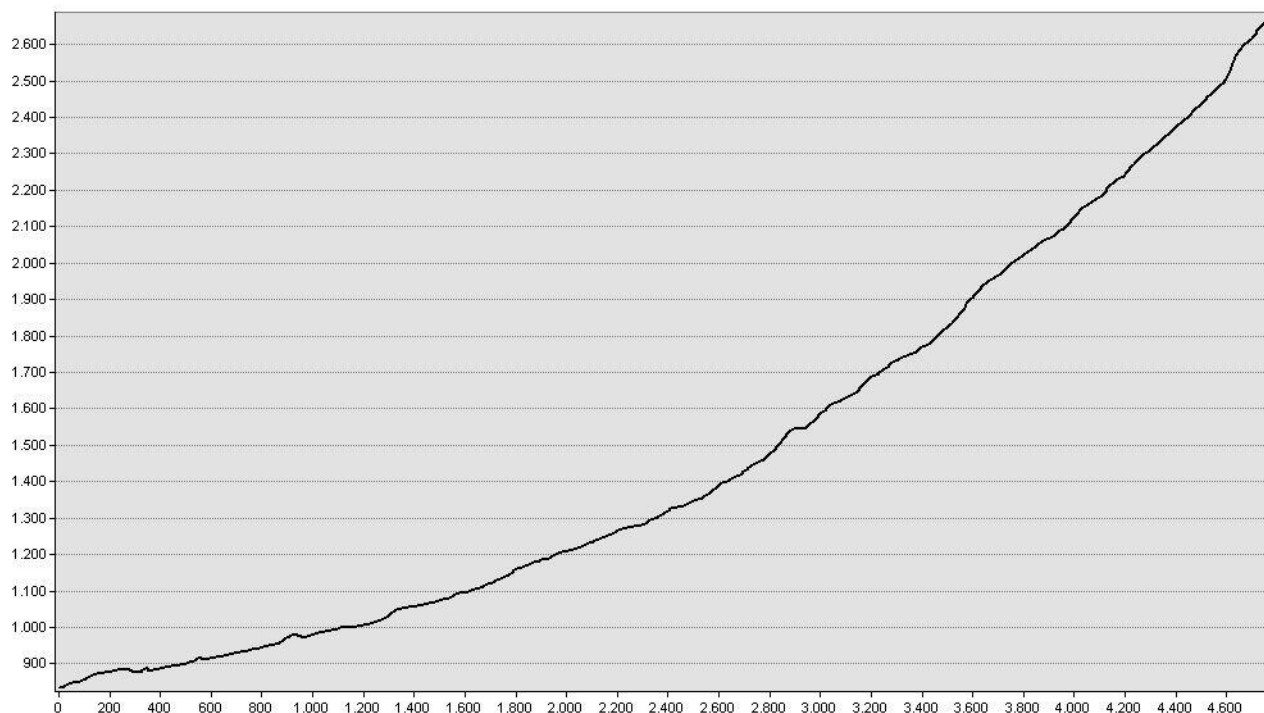


Figura 10: profilo longitudinale torrente Valle Finale

In tale settore il torrente mostra una palese tendenza all'approfondimento del proprio alveo, con substrato roccioso ampiamente affiorante o mascherato da depositi legati a trasporto di massa. Sono inoltre evidenti gli effetti del recente evento, con estesi fenomeni erosivi sui fianchi, specie ove non affiorante il substrato roccioso, e con accumuli detritici plurimetrici in alveo, sia concentrati, sia diffusi. A circa 1080 m slm, il torrente interseca le opere di captazione Edison; immediatamente a valle, la sponda sinistra idrografica è consolidata da opere di ingegneria naturalistica con scogliera alla base. Sia le opere di presa, sia quelle di consolidamento furono fortemente danneggiate dalla colata dell'agosto 2021 e successivamente ripristinate (foto 22 - 24). A valle delle opere l'alveo è diffusamente interessato da una coltre anche plurimetrica di materiali sciolti di deposizione recente, interessati dall'erosione attiva del torrente (foto 25 ÷ 41). A conferma dell'approfondimento del torrente in epoca post-glaciale, sino a raggiungere l'intersezione con via Valeriana il corso del torrente "serpeggia" per lo più incassato nel substrato roccioso.

Figura 11: Corografia settore inferiore asta Val Finale con viste fotografiche

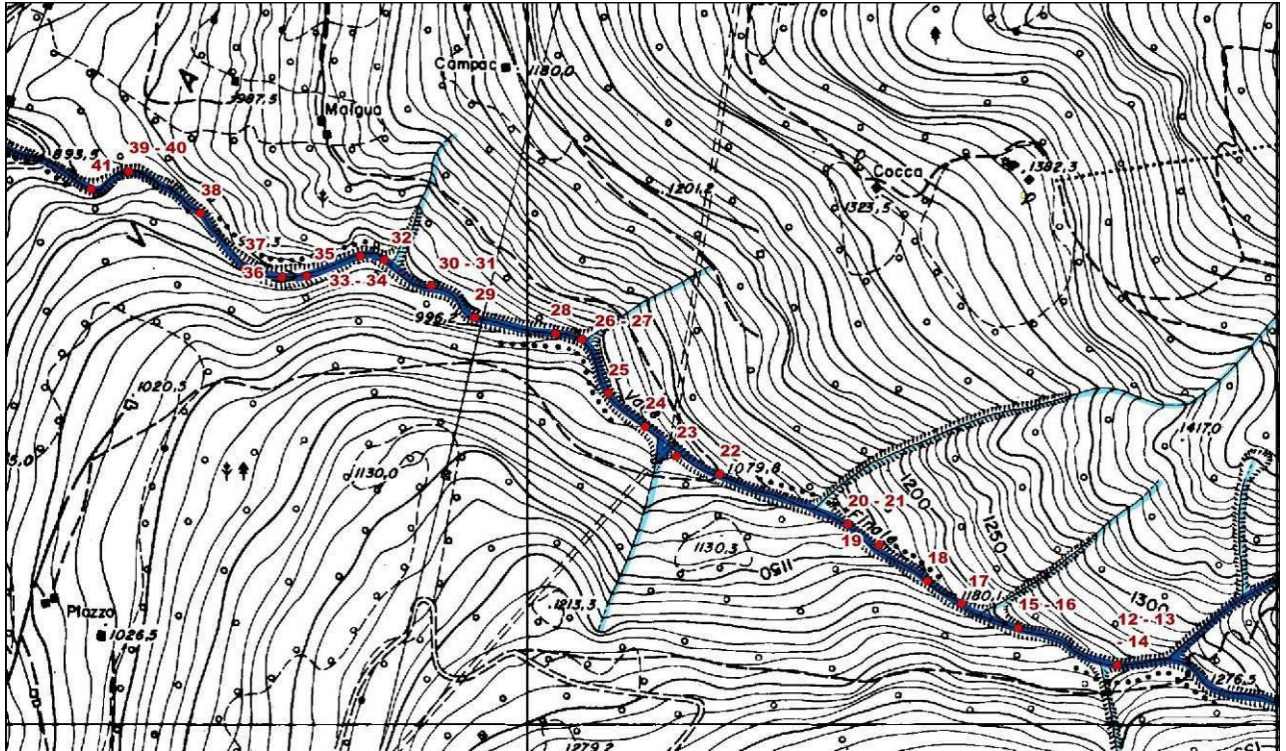


Foto 1



Foto 2



Foto 3



Foto 4



Foto 5



Foto 6



Foto 8



Foto 9



Foto 7



Foto 10



Foto 11



Foto 12



Foto 13



Foto 16



Foto 14



Foto 15



Foto 17



Foto 18



Foto 19



Foto 20



Foto 21



Foto 22



Foto 23



Foto 24



Foto 26



Foto 27



Foto 25



Foto 28



Foto 29



Foto 30



Foto 31



Foto 32



Foto 33



Foto 35



Foto 34



Foto 38



Foto 36



Foto 37



Foto 39

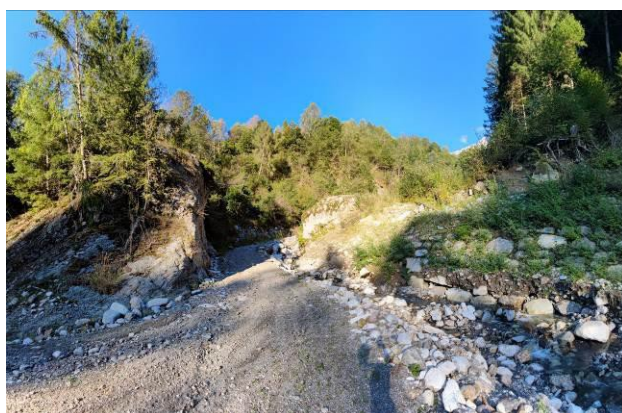


Foto 40



Foto 41

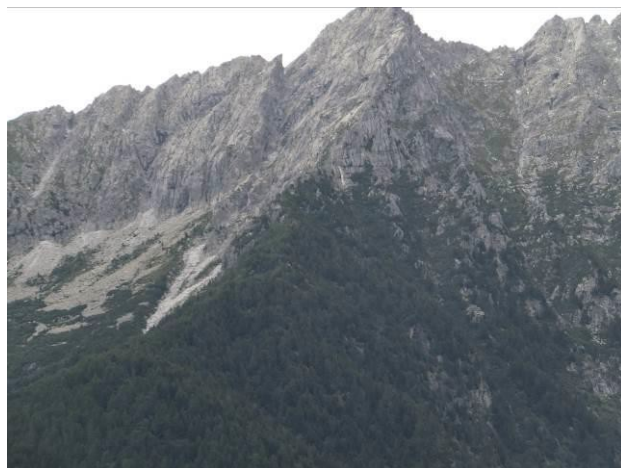


Foto 42

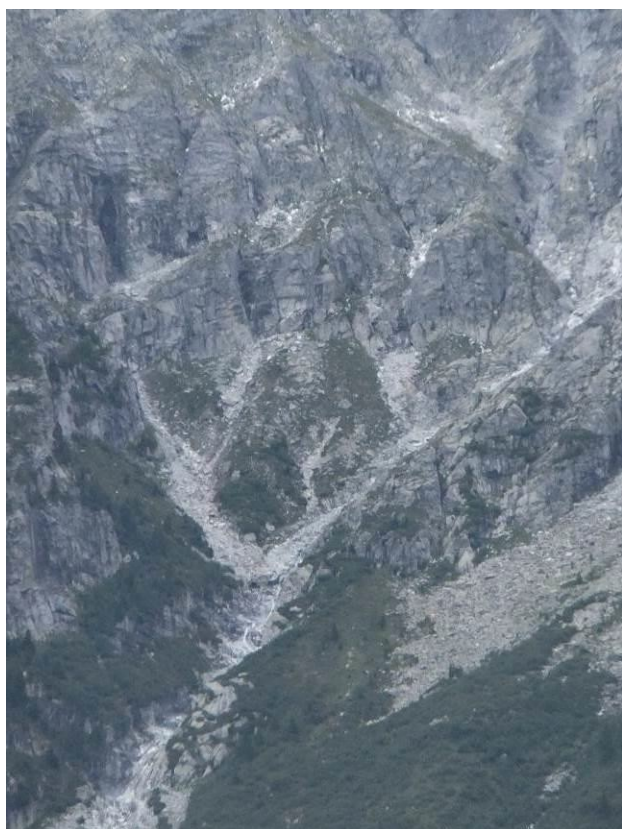


Foto 43

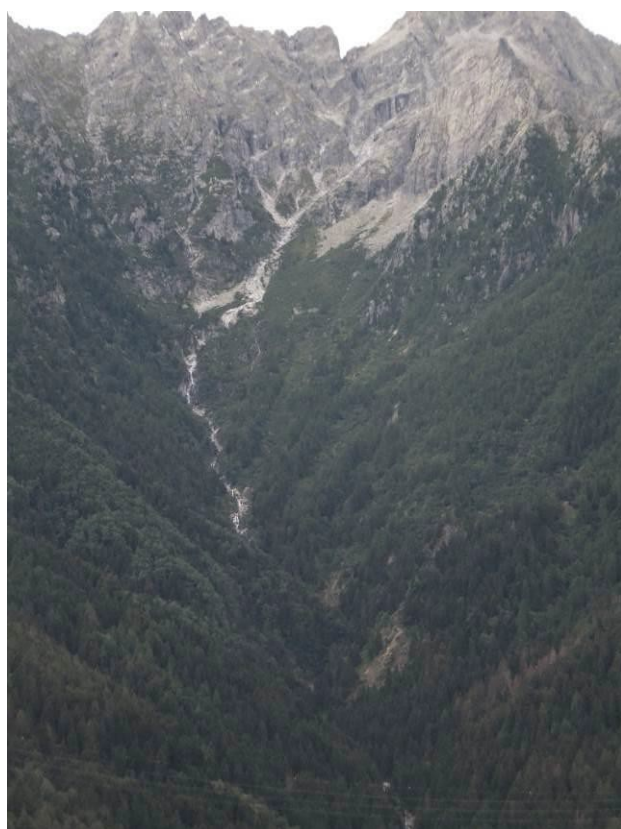


Foto 44

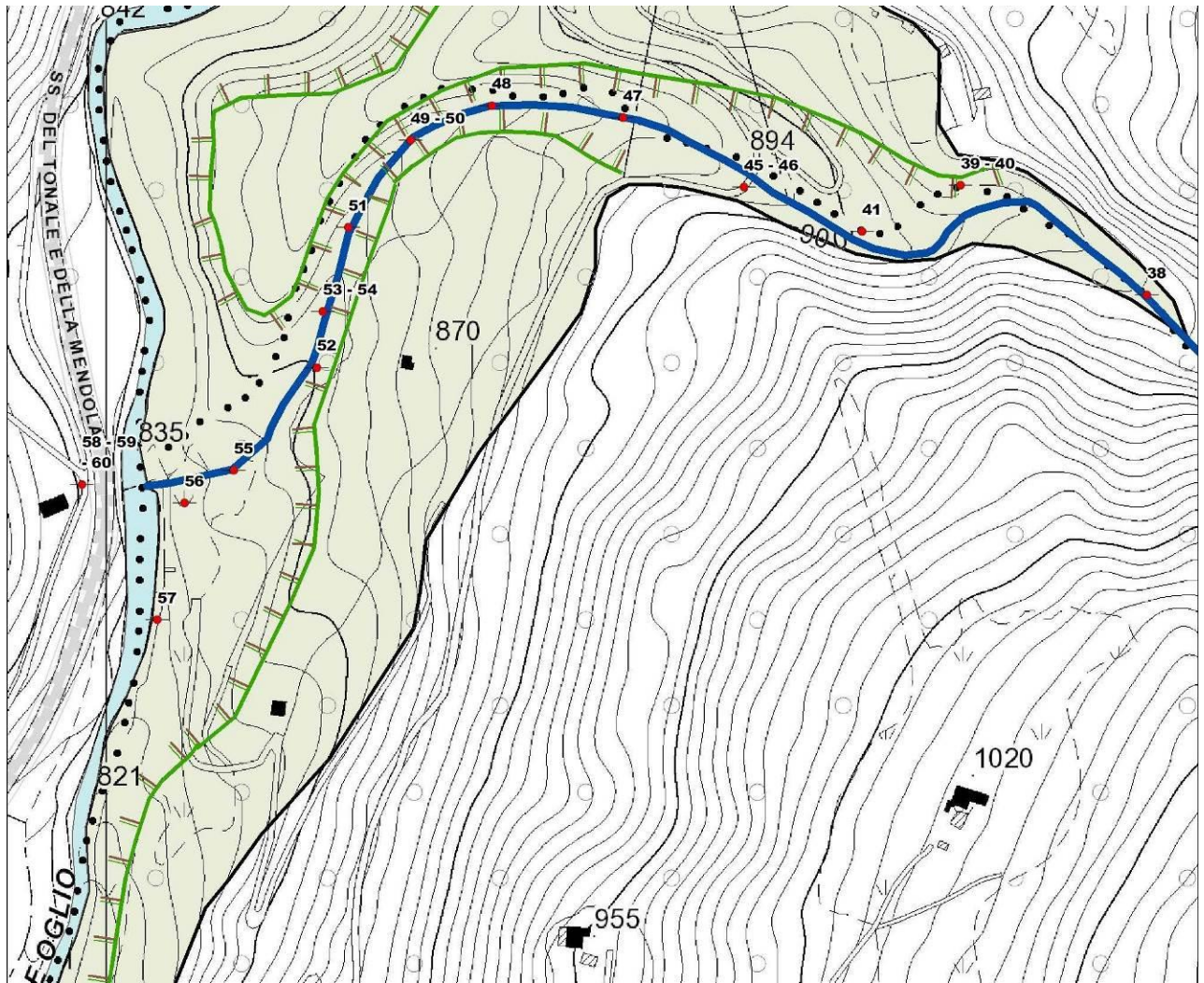
4.2 Conoide alluvionale

Allo sbocco del torrente Valle Finale nel fondovalle principale vi è la presenza di un esteso conoide alluvionale, coalescente con quello generato dalla vicina Valle Moriana e ampiamente inciso dal fiume Oglio, che può essere definito antico. Il torrente risulta infatti fortemente incassato entro i relativi depositi, con basse (sx idrografica) o nulle (dx idrografica) possibilità di fuoriuscire dalle scarpate di erosione torrentizia del conoide antico stesso. Il settore apicale di tale conoide può essere individuato a circa 930 m slm di quota; la lunghezza del torrente lungo il conoide è di circa 600 m; la pendenza media è 14%.

Il guado di via Valeriana è costituito da un cunettone in pietrame e malta con sottostante tombotto a sezione circolare (foto 45). Immediatamente a monte del guado, la pendice sinistra del torrente è interessata da fenomeni erosivi recentemente tamponati dalla messa in opera di una scogliera in massi ciclopici al piede e già oggetto di nuove erosioni (foto 39 ÷ 41). A valle, il torrente compie un'ampia curva sinistrorsa incidendo profondamente la propria sponda destra; la scarpata di erosione, costituita da depositi alluvionali grossolani talvolta affioranti, raggiunge altezze di circa 20 m (foto 49 – 50). In sinistra la scarpata corrispondente possiede invece da altezze più contenute (4 – 5 m). Nelle foto 51 e 52 è possibile osservare in secondo piano tale scarpata. I primo piano sono bene evidenti le grosse quantità di materiali depositi nell'evento del 2021; tutto il tratto compreso tra il guado e la confluenza è comunque caratterizzato dalla presenza di elevate quantità di depositi (foto 47 – 48, relative al primo tratto), oltre ché di resti di manufatti antropici, asportati e depositi dalla recente colata detritica (foto 53 ÷ 55). Una parte consistente dei materiali di colata si è deposta nel tratto terminale dell'asta torrentizia (e nel fiume Oglio), poi parzialmente asportati dai mezzi meccanici, grazie ai quali è stato ricostituito l'alveo del torrente (foto 58 – 59). Il torrente Val Finale confluisce nel fiume Oglio con direzione quasi ortogonale a quest'ultimo (foto 60); la presenza dei manufatti dell'opera di presa impedisce la realizzazione di geometrie più razionali. Può tuttavia essere valutata la realizzazione di una via di fuga che permetta di convogliare parte di un potenziale flusso di piena eccezionale e/o di una colata detritica nel settore a tergo delle opere stesse.

Il materiale detritico che ha raggiunto e sbarrato/deviato l'Oglio nell'evento del 2021 è stato stimato in circa 10 mila m³, in un settore ove lo spazio fluviale è stato ridotto a seguito della realizzazione della SS42 (la il vecchio tracciato decorreva più in alto, a fianco di un edificio rurale (foto 55 ÷ 57),

Figura 12: Corografia area di conoide torrente Val Finale con viste fotografiche



- | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Torrente Val Finale |  Conoide alluvionale |
|  Scarpata di erosione torrentizia |  Alveo fiume Oglio |
|  Vista fotografica |  SS42 del Tonale |



Foto 45

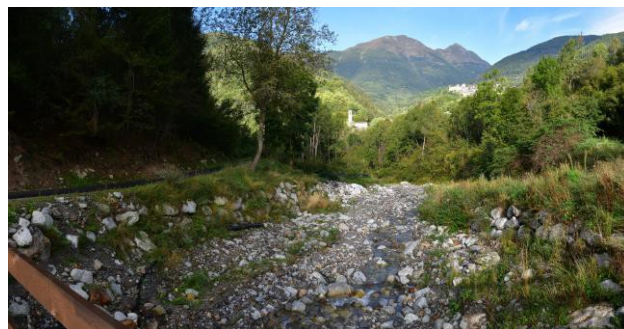


Foto 46



Foto 47



Foto 48



Foto 49



Foto 50



Foto 51

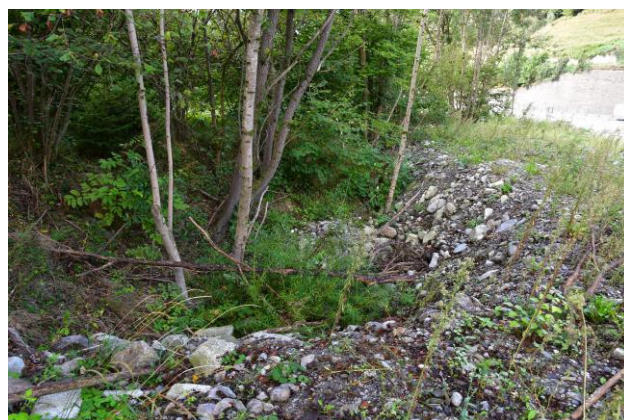


Foto 52



Foto 53



Foto 54



Foto 55



Foto 56



Foto 57



Foto 58



Foto 59



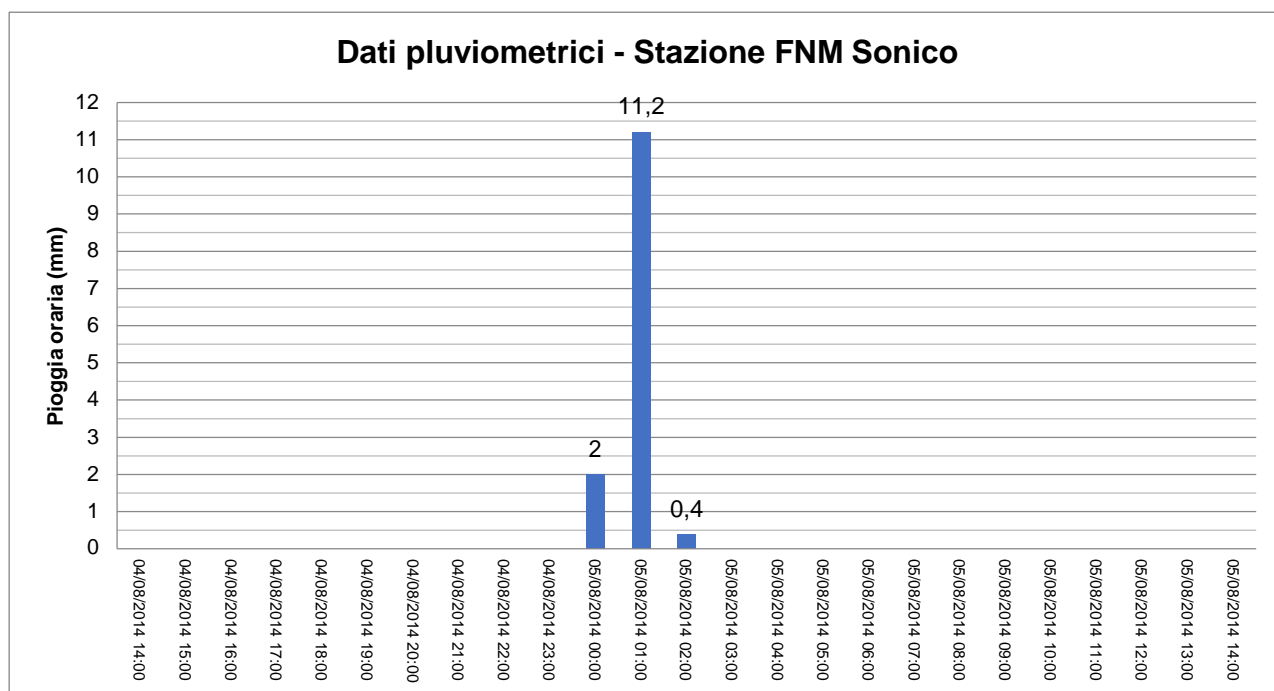
Foto 60

5 EVENTI PREGRESSI RECENTI

5.1 Colata detritica del 5 agosto 2014

Nella notte fra il 4 ed il 5 agosto 2014, il settore di Alta Valle Camonica compreso fra gli abitati di Edolo, Sonico e Incudine è stato interessato da cella temporalesca anomala (cfr dati registrati alla stazione Pluviometrica FNM di Sonico, in base ai quali è stato possibile stimare un'intensità massima di 30 mm/h). A seguito dell'evento temporalesco, lungo il bacino della Val Finale si sono registrati fenomeni di dissesto che hanno portato alla mobilitazione di materiale detritico lungo i versanti e lungo l'asta torrentizia. In particolare, tali fenomeni si sono concentrati sulle pendici in sx idrografica del rio nel tratto compreso tra le quote 1450 e 1300 m circa, che può essere considerato quale settore di alimentazione iniziale - area d'innescò: i fenomeni di versante qui verificatisi si sono propagati poi lungo l'alveo con erosioni di fondo e spondali.

Lungo la Val Finale si è sviluppata una colata che ha mobilitato circa 25.000-30.000 m³ di materiale detritico, parte del quale ha raggiunto le aree di conoide ed il Fiume Oglio. La colata, che in generale si è propagata all'interno dell'alveo inciso, ha interrotto la transitabilità di Via Valeriana ed ha raggiunto il Fiume Oglio causandone la parziale ostruzione dell'alveo.



5.1.1 Effetti

Lungo il collettore (Q. 1310 – 930 m slm)

Lungo l'alveo si è deposto gran parte del materiale detritico mobilitato durante i processi di colata, dando origine ad una coltre pressoché continua costituita in prevalenza da grossi blocchi immersi in una matrice ghiaiosa sabbiosa.

A monte della derivazione Edison (Q. 1075 m s.l.m.) si sono depositi consistenti volumi detritici

costituiti in prevalenza da blocchi e ciottoli inglobanti vegetazione d'alto e medio fusto. Il manufatto di derivazione è stato interessato da processi erosivi che anno completamente scalzato lo scivolo di fondo.

A valle della captazione si sono registrati consistenti fenomeni erosivi alla base del versante sinistro idrografico, in un tratto di sponda interessato da recenti interventi di sistemazione idrogeologica. Ancora più valle, l'alveo è stato colmato dal materiale detritico a media pezzatura (e da piante e arbusti di taglia variabile trasportati dalla corrente di piena o caduti dai versanti sovrastanti), con il deposito di spessori consistenti di detriti, successivamente in parte eroso e ripreso in carico dalla corrente.

Tra le quote 1020 e 1030 m s.l.m., al piede del versante destro idrografico si è sviluppato un esteso fenomeno erosivo.

Tra quota 1020 e lo sbocco dell'incisione si è registrata la maggior fase deposizionale del materiale detritico, localmente associata a fenomeni erosivi laterali, favorita dall'ampliamento dell'alveo e dalla riduzione delle pendenze del fondo.

Lungo il conoide alluvionale (Q. 930 – 835 m s.l.m.)

All'intersezione con Via Valeriana, il solettone con blocchi ammorsati nel calcestruzzo che fungeva da attraversamento è stato completamente asportato. Più a valle, le basse pendenze hanno favorito i fenomeni deposizionali che hanno completamente ostruito l'alveo. In prossimità della confluenza, dove la pendenza del fondo tende ulteriormente a ridursi, la colata è divagata all'esterno dell'alveo andando a depositare materiale per una larghezza di circa 20 metri (spessore stimato pari a 1 metro). La porzione più avanzata della colata si è arrestata nell'alveo del Fiume Oglio, dove è avvenuta la deposizione di circa 500 m³ di materiale detritico successivamente asportato dal corso d'acqua di fondovalle; l'accumulo ha provocato una parziale ostruzione del flusso del corso d'acqua principale.

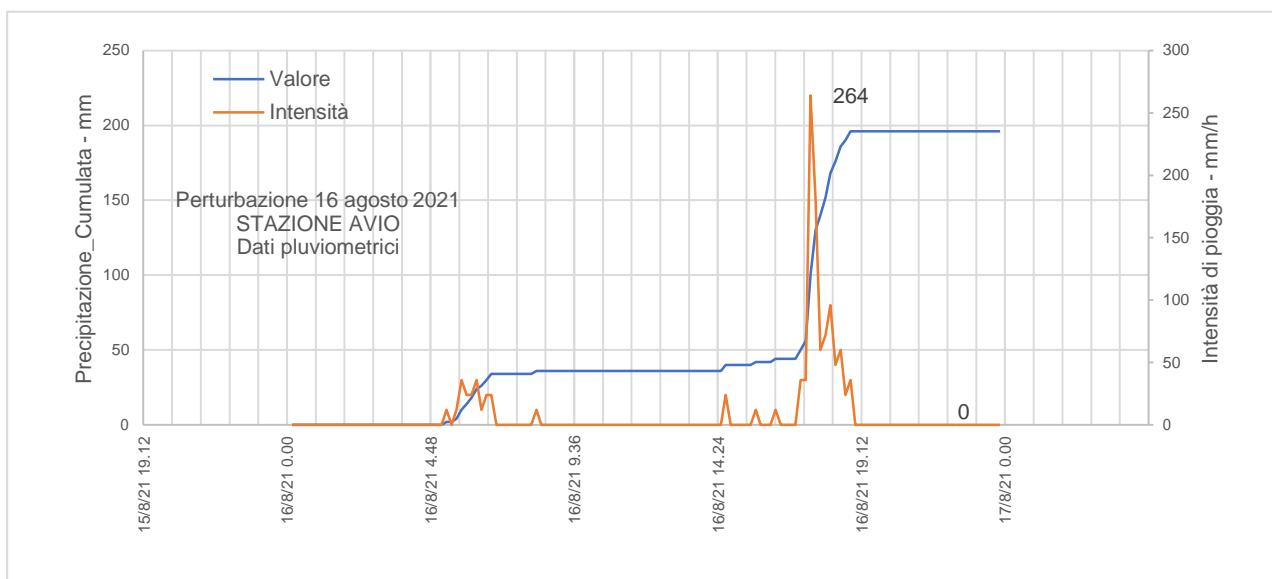
5.2 Colata detritica del 16 agosto 2021

Nel pomeriggio del 16 agosto 2021, il settore d'indagine è stato interessato dagli scrosci di pioggia legati ad una cella temporalesca anomala: come registrato alla stazione Pluviometrica ARPA – AVIO fra le 17:30 e le 18:50 sul territorio sono caduti 140 mm di pioggia. Gli scrosci, che hanno raggiunto un'intensità di 264 mm/ora, hanno determinato un'onda di piena che a partire dalle aree di testata del bacino è scesa nell'impluvio principale provocando fenomeni erosivi generalizzati e asportando buona parte del materiale detritico presente in alveo. A partire da 1300 m circa di quota, dopo aver superato numerosi salti morfologici, la colata ha poi proseguito nel settore inferiore dell'asta torrentizia, meno acclive. L'elevato apporto idrico ha favorito la fluidificazione dei materiali detritici presenti in alveo dando origine ad un debris flow che è rimasto incanalato nel collettore, percorrendo un tratto di lunghezza di oltre 2 km. Successivamente, la massa detritica è stata rimaneggiata e progressivamente erosa dalle acque di scorrimento superficiale, nonché dai rilasci di improvvise rotture di sbarramenti effimeri.

Lungo l'asta torrentizia si sono registrati processi deposizionali prevalenti, favoriti dalla presenza

di restringimenti dell'alveo ed a sbarramenti da parte della vegetazione coinvolta, mentre lungo le sponde si sono registrati locali fenomeni di erosione al piede con l'innescarsi di fenomeni di versante che hanno alimentato il trasporto solido.

Il materiale detritico coinvolto, costituito in prevalenza sabbie e ghiaie, inglobanti sia ciottoli e blocchi di diametro massimo dell'ordine di 1.0 m, sia vegetazione di alto fusto, è stato stimato dell'ordine di 50.000 – 75.000 m³.



5.2.1 Effetti

Lungo il collettore (Q. 1310 – 930 m slm)

Lungo l'alveo si è depositato gran parte del materiale detritico mobilizzato durante i processi di colata, dando origine ad una coltre pressoché continua dello spessore da metrico a plurimetrico, costituita in prevalenza da grossi blocchi immersi in una matrice ghiaiosa sabbiosa.

Sono stati nuovamente interessati dai processi erosivi sia il manufatto di derivazione Edison (Q. 1075 m s.l.m.), con completo scalzamento dello scivolo di fondo, sia della sottostante pendice

sinistra idrografica, oggetto di recenti interventi di sistemazione idrogeologica.



Tutto il tratto a valle della derivazione è stato colmato da materiale detritico di media pezzatura, con il deposito di spessori consistenti di detriti, successivamente in parte eroso e ripreso in carico dalla corrente.

Lungo il conoide alluvionale (Q. 930 – 835 m slm)

La colata ha divagato depositando materiale con spessori di circa 1.0 metro andando a colmare localmente la sezione d'alveo; le porzioni fini della colata sono state successivamente asportate. Allo sbocco del tratto inciso, a quota 893.5 m s.l.m., la Val Finale interseca la strada comunale sterrata Via Valeriana: l'attraversamento, costituito da un solettone con blocchi ammorsati nel calcestruzzo, è stato completamente asportato mentre a valle, in sinistra idrografica, si sono registrati fenomeni erosivi che hanno scalzato la scogliera di sostegno del tratto di strada comunale. Superato l'attraversamento della strada, parte della colata si è incanalata lungo la strada per qualche decina di metri.



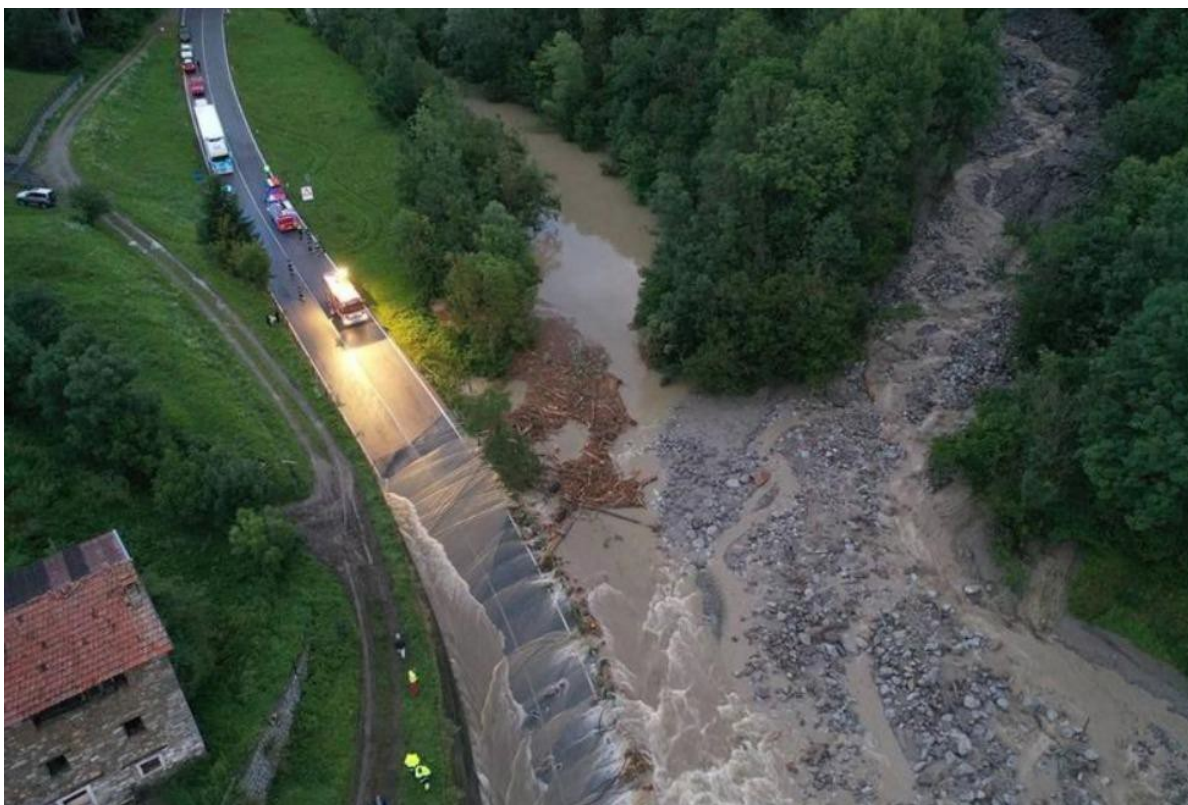
Nel tratto a valle, le basse pendenze hanno favorito i fenomeni deposizionali che hanno completamente ostruito l'alveo; i depositi sono costituiti da materiale grossolano prevalente con blocchi e ciottoli immersi in una matrice sabbiosa ghiaiosa, con locali lenti di sabbie fini con spessore centimetrico e

con inglobati arbusti e diversi tronchi. Nei tratti prossimi alla confluenza, dove la pendenza del



fondo tende ulteriormente a ridursi, la colata è divagata all'esterno dell'alveo andando a depositare materiale su una larghezza di circa 20 metri, con spessore stimato pari a 1 metro.

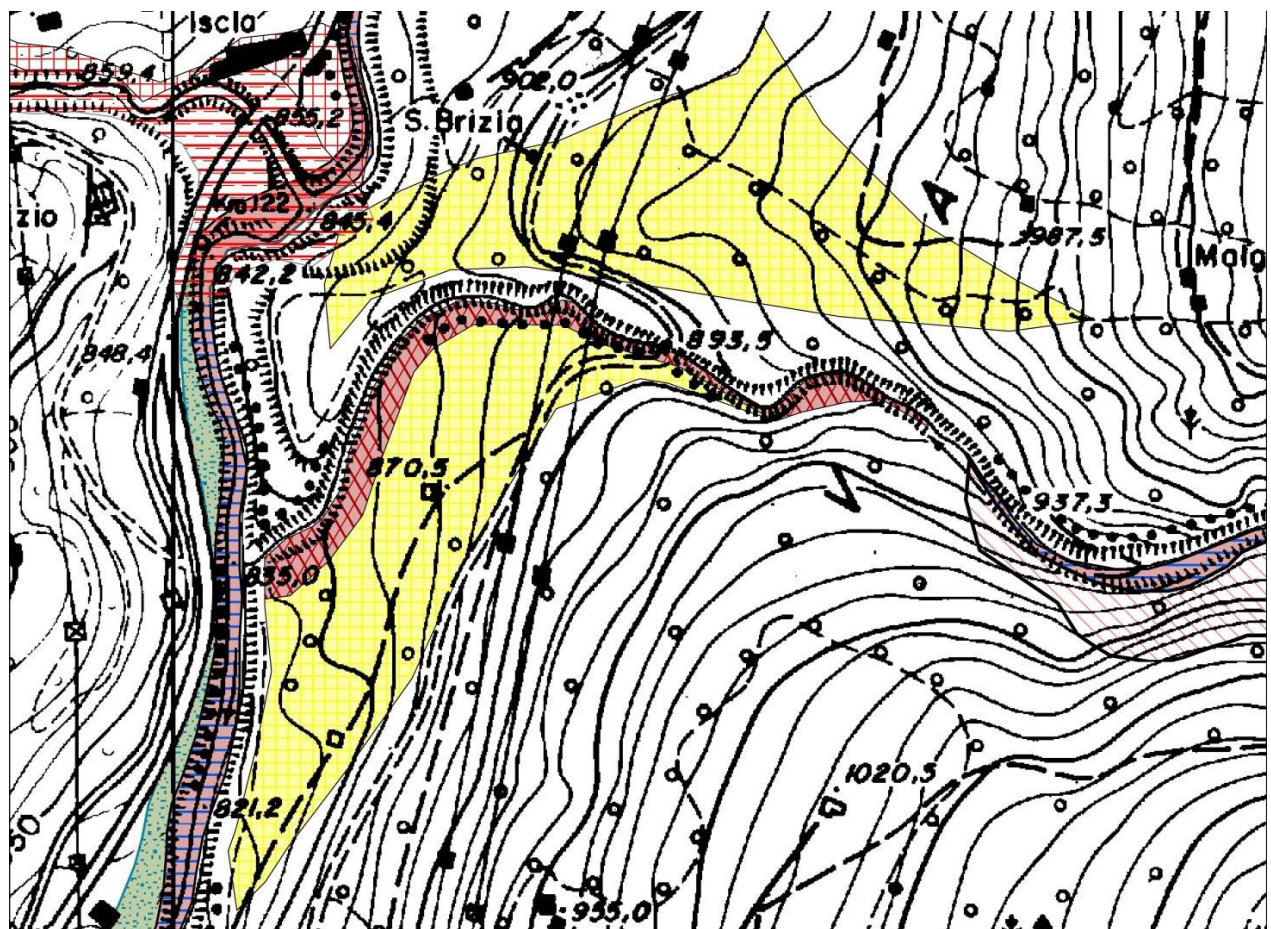
La porzione più avanzata della colata si è arrestata nell'alveo del Fiume Oglio, dove è avvenuta la deposizione di circa 15.000 – 20.000 m³: l'accumulo ha provocato l'ostruzione dell'alveo del Fiume Oglio e la divagazione del flusso del corso d'acqua principale in destra idrografica, lungo la Strada Statale n° 42.



6 PERICOLOSITÀ DELLE AREE DI CONOIDE

La pericolosità delle aree di conoide del Torrente Finale è stata valutata nel dettaglio nel 2003 nell'ambito della Proposta di modifica della perimetrazione dell'area a rischio idrogeologico molto elevato individuata dal progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) condotta ai sensi del punto 6 della D.G.R. n. 7/7365 del 20 Dicembre 2001; i risultati dello studio sono stati recepiti nello studio geologico di supporto alla pianificazione urbanistica comunale. Di seguito sono sinteticamente illustrate le cartografie e le perimetrazioni vigenti.

Figura 13: Carta PAI/PGRA conoide Val Finale (Scala 1:5.000 - ridisegnata)



Aree RME Titolo IV

- CONOIDI: Zona 1
- CONOIDI: Zona 2
- ESONDAZIONI: Zona 1
- ESONDAZIONI: Zona 2
- ESONDAZIONI: Zona B-Pr
- ESONDAZIONI: Zona I
- FRANE: Zona 1
- FRANE: Zona 2

Dissesti puntiformi Art 9 Titolo IV

- Area di frana attiva non perimetrata (Fa)/Modifiche e integrazioni
- Area di frana quiescente non perimetrata (Fq)/Modifiche e integrazioni
- Area di frana stabilizzata non perimetrata (Fs)/Modifiche e integrazioni

Dissesti lineari Art 9 Titolo IV

- Area a pericolosità media o moderata non perimetrata (Vm)/Modifiche e integrazioni
- Area a pericolosità elevata non perimetrata (Eb)/Modifiche e integrazioni
- Area a pericolosità media o moderata non perimetrata (Em)/Modifiche e integrazioni
- Area a pericolosità molto elevata non perimetrata (Ee)/Modifiche e integrazioni
- Area a pericolosità molto elevata o elevata non perimetrata (Va)/Modifiche e integrazioni

Dissesti poligonali Art 9 Titolo IV

- Area a pericolosità molto elevata o elevata (Ve)
- Area a pericolosità media o moderata (Vm)
- Area a pericolosità elevata (Eb)
- Area a pericolosità molto elevata (Ee)
- Area a pericolosità media o moderata (Em)
- Area di frana attiva (Fa)
- Area di frana quiescente (Fq)
- Area di frana stabilizzata (Fs)
- Area di conoide attivo non protetta (Ca)
- Area di conoide attivo parzialmente protetta (Cp)
- Area di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta (Cm)

P.G.R.A. Ambito territoriale Reticolo Secondario Collinare e Montano (RSCM)

- P3/H**
 - Aree interessate da alluvioni frequenti
- P2/M**
 - Aree interessate da alluvioni poco frequenti
- P1/L**
 - Aree interessate da alluvioni rare

Figura 14: Stralcio Carta della fattibilità geologica del comune di Incudine – Area di conoide Val Finale

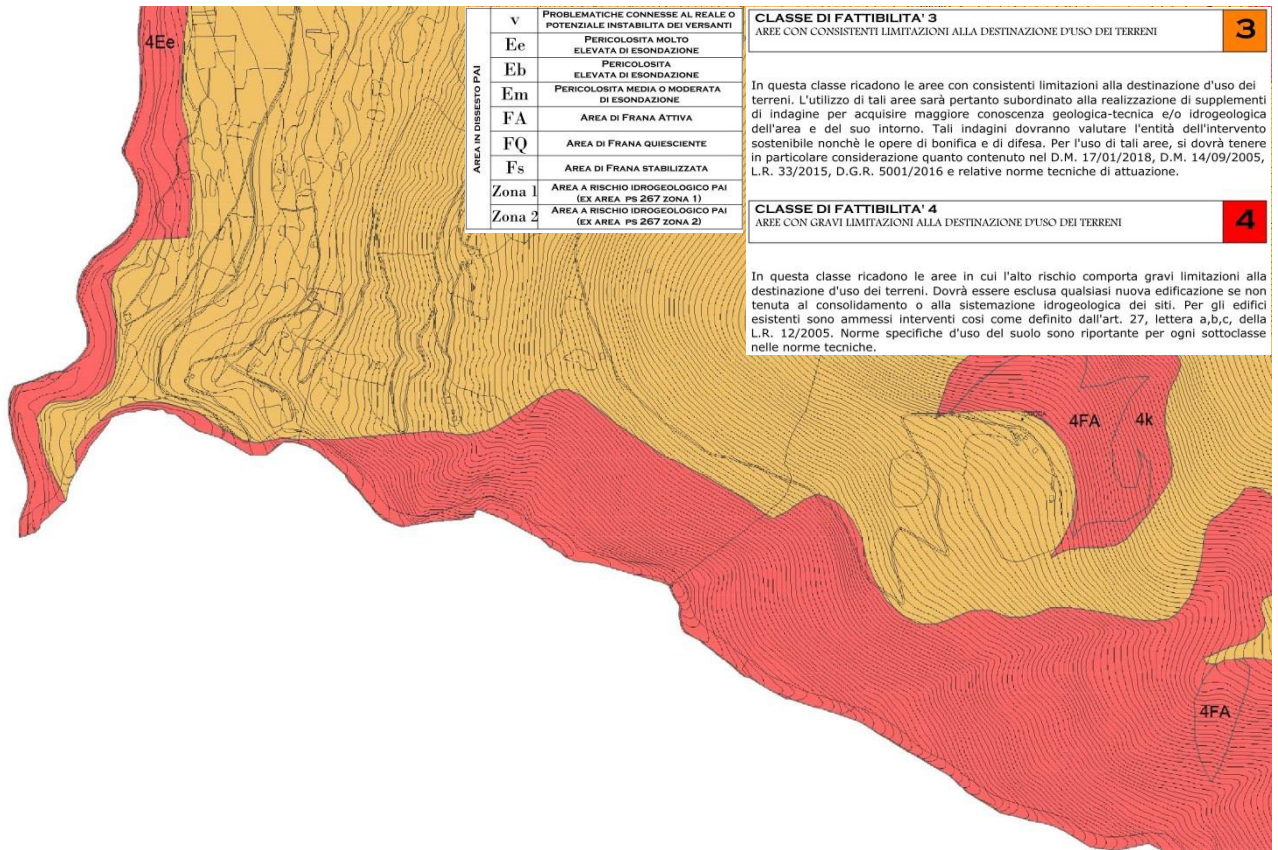


Figura 15: Stralcio Carta della fattibilità geologica del comune di Edolo – Area di conoide Val Finale

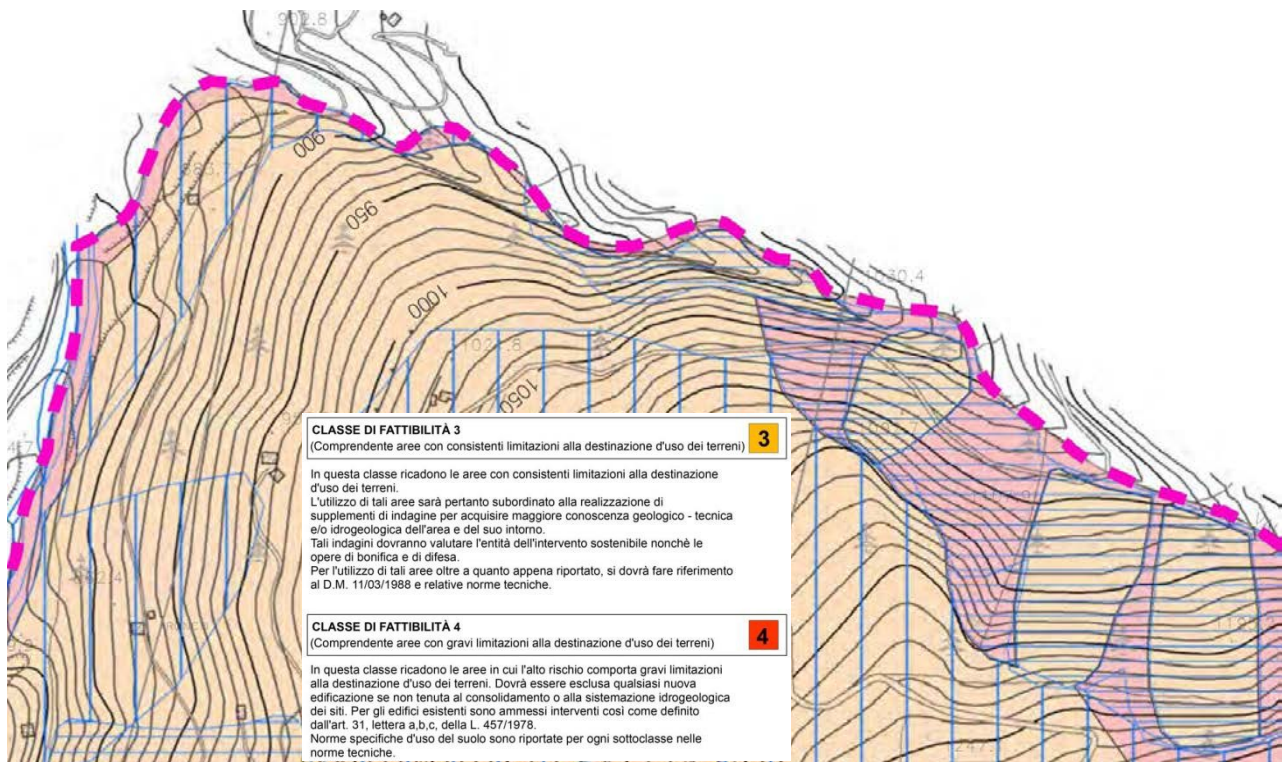


Figura 16: Carta del censimento dei fenomeni franosi R.L. (Scala 1:25.000)

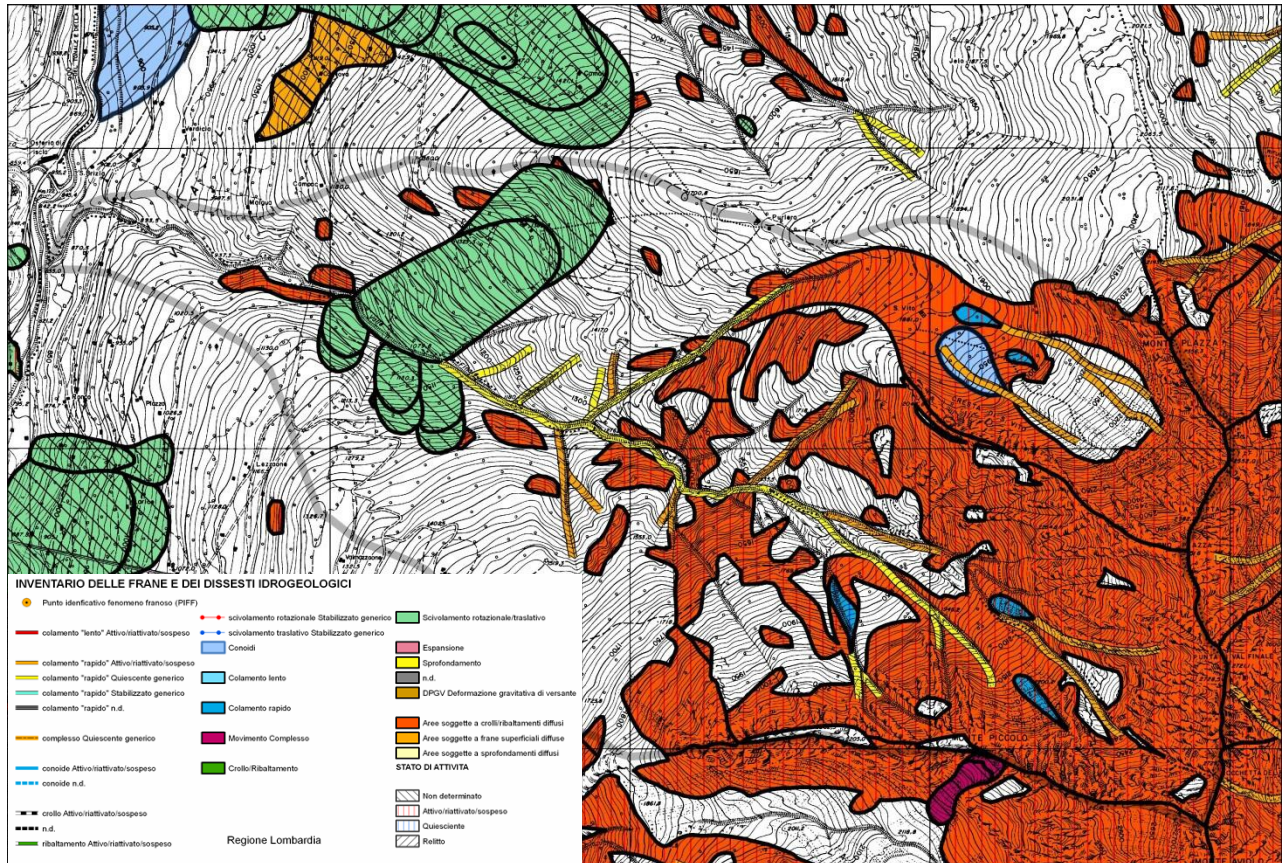
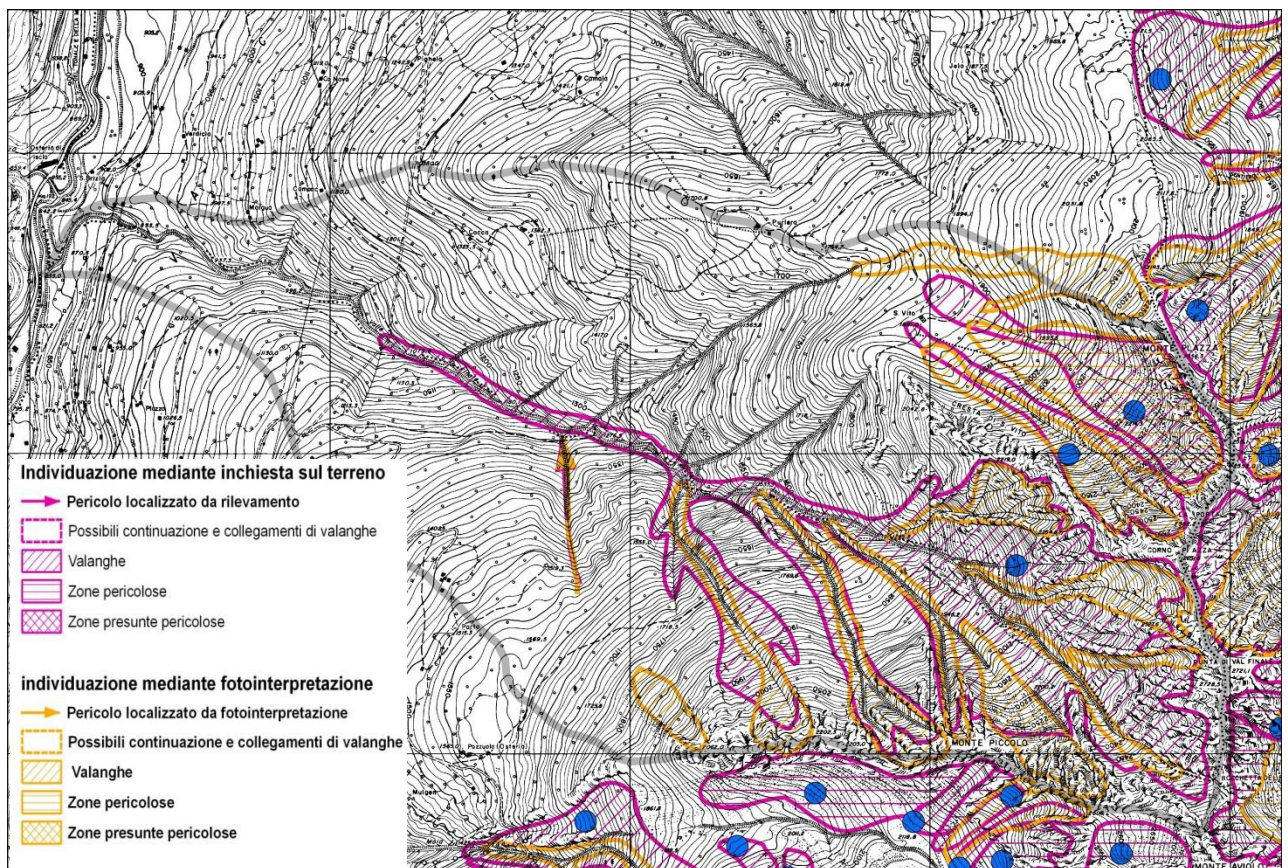


Figura 17: Stralcio Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe R.L. (Scala 1:25.000)



6.1 Carta della pericolosità

Il paragrafo 2.2.4 dell'allegato 2 della DGR 30 novembre 2011 – n. IX/2616 indica i seguenti criteri per la definizione delle classi di pericolosità in contesti quali quello in esame:

Sigla	Pericolosità	Descrizione
H1	MOLTO BASSA	Area che per caratteristiche morfologiche ha basse o nulle probabilità di essere interessata dai fenomeni di dissesto
H2	BASSA	Area mai interessata nel passato da fenomeni alluvionali documentati su base storica o area protetta da opere di difesa idraulica ritenute idonee anche in caso di eventi estremi con basse probabilità di essere interessata da fenomeni di dissesto.
H3	MEDIA	Area interessata nel passato da eventi alluvionali e da erosioni di sponda documentati su basi storiche; area con moderata probabilità di essere esposta a fenomeni alluvionali (esondazione) ed a erosioni di sponda. In particolare, si possono avere deflussi con altezze idriche ridotte (massimo 20-30 cm) e trasporto di materiali sabbioso-ghiaiosi.
H4	ALTA	Area con alta probabilità di essere interessata da fenomeni di erosioni di sponda e di trasporto in massa e/o di trasporto solido con deposizione di ingenti quantità di materiale solido, con danneggiamento di opere e manufatti.
H5	MOLTO ALTA	Comprende l'alveo attuale con le sue pertinenze ed eventuali paleoalvei riattivabili in caso di piena ed eccezionalmente porzioni di conoide

In una valutazione preliminare della pericolosità o per conoidi piccole (< 0,1 km²) possono essere utilizzate tre classi così accorpate: pericolosità bassa (H1 + H2 - verde), pericolosità media (H3 - giallo), pericolosità alta (H4 + H5 - rosso). La tabella 2 del par 3.2 della DGR 30 novembre 2011 – n. IX/2616 indica la correlazione tra classi di Pericolosità, classi di Fattibilità geologica per le azioni di piano e voci della legenda PAI.

PERICOLOSITA'/RISCHIO	CLASSI DI FATTIBILITA'	VOCI DI LEGENDA PAI
H1 su conoide	Classe 1/2 senza/con modeste limitazioni	Cn conoide protetta
H2 su conoide	Classe 2/3 con modeste/con consistenti limitazioni	Cn- conoide protetta
H3 su conoide	Classe 3 con consistenti limitazioni	Cp conoide parz. Protetta ¹ Cn conoide protetta ¹
H4/H5 su conoide	Classe 4 con gravi limitazioni	Cn conoide attiva non protetta

¹: per le aree ricadenti in classe H3 – classe 3 di fattibilità, l'inserimento in Cp o Cn è lasciato alla valutazione del professionista. Qualora l'area venga inserita in Cp, la norma dell'art. 9, comma 8 delle N.d.A. del PAI prevale, in quanto più restrittiva, su quella di classe 3.

In seguito ai fenomeni di dissesto dell'agosto 2021, sulla base sia dei rilievi effettuati, sia mediante l'analisi della documentazione fotografica dell'evento, è stata redatta la **carta della pericolosità** delle aree di conoide di fig. , distinguendo 4 classi di pericolosità come sopra definite.

7 PROPENSIONE AI FENOMENI ATTESI

Nei seguenti paragrafi vengono descritti ed applicati i metodi per la valutazione dei processi morfologici attesi lungo il conoide del torrente Val Finale, allo scopo di definire la propensione al verificarsi dei processi stessie le condizioni critiche per lo sviluppo dei fenomeni di colata detritica.

7.1 Valutazione della tipologia di trasporto solido

Per determinare la tipologia di trasporto solido attesa lungo il corso d'acqua è possibile applicare il **metodo morfometrico** (Bertrand, Lièbault e Piègav, 2013) che si basa sulla relazione empirica tra parametri morfometrici del bacino (Indice di Melton) e la pendenza della conoide alluvionale.

L'indice di Melton è espresso dalla seguente formula:

$$R = \frac{H_b}{A_b^{0,5}}$$

dove: $H_b = E_b - E_a$ in cui E_a = Quota apice della conoide
 E_b = Quota massima del bacino
 A_b = superficie del bacino.

La pendenza della conoide è espressa come:

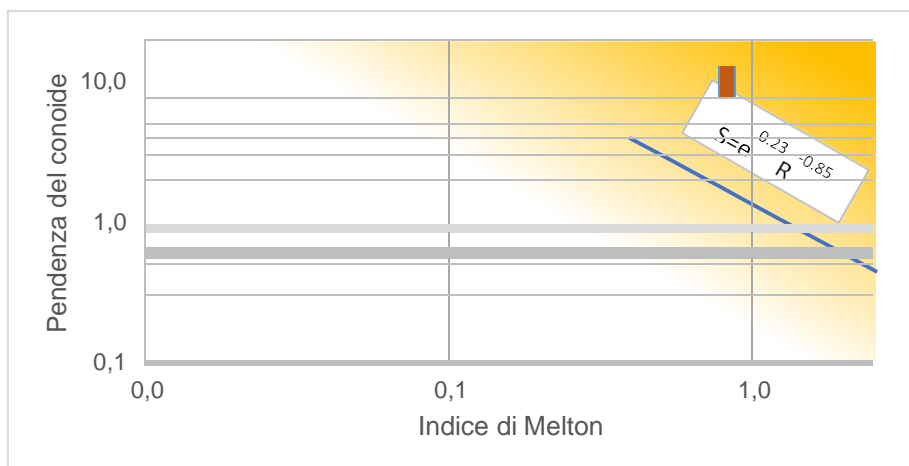
$$S = \frac{E_a - E_c}{L_b}$$

dove:

E_a = Quota apice della conoide
 E_c = Quota minima della conoide
 L_b = lunghezza dell'asta torrentizia lungo la conoide alluvionale.

L'applicazione del metodo alla conoide del torrente Valle Finale è rappresentata nel diagramma **Indice di Melton – Pendenza conoide**, nel quale la curva di delimitazione dei campi in cui il corso d'acqua è propenso allo sviluppo di colate detritiche piuttosto che alluvioni torrentizia è definita dalla seguente relazione: $S_{cr} = e^{0,23} * Mel^{-0,86}$ (Bertrand, Lièbault e Piègav, 2013)

Il punto rappresentativo della Valle Finale ricade nel campo indicativo di propensione allo sviluppo di colate detritiche.



8 ANALISI DEI FENOMENI DI COLATA E SCENARI D'EVENTO

Gli aspetti morfologici, le caratteristiche e le valutazioni morfometriche del bacino idrografico e del conoide, sono indicativi di come quest'ultimo sia il risultato di apporti in massa lunga l'asta torrentizia, alimentati dal materiale detritico mobilizzato nel bacino e lungo l'asta del torrente Val Finale. I processi avvenuti in passato sono indicativi della attuale dinamica morfologica del corso d'acqua.

Nei seguenti paragrafi sono descritti i metodi per la valutazione della **magnitudo** e delle caratteristiche dinamiche (**velocita', altezza, energia**) dei processi attesi lungo il conoide.

8.1 Volume dei sedimenti mobilizzabili

L'entità dei volumi della colata massima attesa (volume dei sedimenti mobilizzabili) sul conoide è stata valutata considerando il quadro morfologico e geologico dei luoghi, sulla base delle correlazioni empiriche disponibili in letteratura confrontati con le osservazioni di terreno.

1 **Metodo di Marchi et al. (2019)**

E' applicabile con bacini di $A \leq 10 \text{ km}^2$

$$V_{\text{sed, min}} = 52000 \cdot A^{0.94} = \mathbf{248031} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{sed, max}} = V_{\text{sed, min}} \cdot 1.25 = \mathbf{310038} \text{ m}^3$$

$$A = \mathbf{5.27} \text{ km}^2 \quad (\text{area del bacino})$$

2 **Metodo di Rickermann & Zimmerman (1997)**

$$M = (110 - 2.5S) \cdot L = \mathbf{63638} \text{ m}^3$$

$$S = \mathbf{0.11} \quad (\text{pendenza conoide})$$

$$L = \mathbf{580.0} \text{ m} \quad (\text{lunghezza dell'alveo sulla conoide})$$

3 **Metodo di Hampel (1977)**

$$M = 150 \cdot A \cdot (Sf - 3)^{2.3} = \mathbf{100118} \text{ m}^3$$

$$A = \mathbf{5.27} \text{ km}^2 \quad (\text{area del bacino})$$

$$Sf = \mathbf{11.21} \% \quad (\text{pendenza conoide})$$

4 **Metodo di Crosta, Ceriani, Frattini & Quattrini (2000)**

$$M = K \cdot A \cdot M_b^{0.8} \cdot S \cdot (IF)^{-2} = \mathbf{41400} \text{ m}^3$$

$$K = \mathbf{5.4} \quad \begin{array}{l} K = 3.0 \text{ per fenomeni di bed load (trasporto di fondo)} \\ K = 5.4 \text{ per fenomeni di debris flow} \end{array}$$

$$A = \mathbf{5.27} \text{ km}^2 \quad (\text{area del bacino})$$

$$M_b = (H_{\text{max}} - H_{\text{min}}) \cdot A^{-(1/2)} = \mathbf{0.44} \quad \text{pendenza media del bacino}$$

$$S = \mathbf{11.21} \% \quad (\text{pendenza collettore sulla conoide})$$

$$IF = \mathbf{2} \quad (\text{indice di frana così determinato:})$$

1	grandi frane, frane al piede
---	------------------------------

2	frane sui versanti
---	--------------------

3	frane piccole o assenti
---	-------------------------

5 **Metodo di Bottino, Crivellari & Mandrone (1996)**

Dall'interpolazione di sei valori di volumi di colata misurati in occasione di eventi verificatisi nella zona di Ivrea nel 1993

$$M = 21241 \cdot A^{0.28} = 33828 \text{ m}^3$$

$$A_b = 5.27 \text{ km}^2 \quad (\text{area del bacino})$$

6 **Metodo di D'Agostino et al. (1996)**

$$M1 = 39 \cdot A \cdot S^{1.5} \cdot (I.G.) \cdot (I.T.)^{-0.3} = 60144 \text{ m}^3$$

$$M2 = 36 \cdot A \cdot S^{1.5} \cdot (I.G.) \cdot (1 + C.S.)^{-1} = 55517 \text{ m}^3$$

A =	5.27	km ²	(area del bacino)
S =	44.08		(pendenza asta principale)
I.G. =	1	(dipend	dai litotipi costituenti il bacino)
	5		copertura morenica, alluvionale e di falda
	4		rocce metamorfiche
	3		rocce terrigene
	2		rocce laviche degradate, tufi basaltici, brecce
	1		rocce calcaree
	0		rocce porfiriche, granitiche, dioritiche
I.T. =	1	(indice di	trasporto basato sulla classificazione di Aulitzky)
	1		per i debris flow
	2		per i debris flood
	3		per il trasporto di fondo
C.S. =	0		(coefficiente di sistemazione dle bacino)

7 **Metodo di Takei (1984)**

Sulla base di 552 dati raccolti in Giappone

$$M = 13600 \cdot A^{0.61} = 37484 \text{ m}^3$$

$$A = 5.27 \text{ km}^2 \quad (\text{area del bacino})$$

8 **Metodo di Tropeano & Turconi (1999)**

Tale relazione applicata nella zona della Valle di Thuras (calcescisti) è risultata attendibile per bacini con area compresa fra 0.1 e 15 kmq provvisti di ampi conoidi alluvionali

$$M = (0.542 \cdot A_e + 0.0151) \cdot 0.019 \cdot h \cdot \text{tg}Q = 71762 \text{ m}^3$$

$$A_e = 527000 \text{ m}^2 \quad (\text{area effettiva del bacino, per aree } < 15 \text{ km}^2)$$

$$h = 0 \text{ m} \quad (\text{spessore medio del materiale mobilizzabile})$$

$$\text{tg}Q = 0.44$$

(pendenza media del bacino)

$$P = (e \cdot SI) / S$$

e = equidistanza fra le isoipse

S = superficie planimetrica in kmq

SI = sommatoria delle lunghezze delle isoipse con equidistanza e

9 **Metodo da "Japanes guidelines" (1984)**

$$M = 1100 \cdot F_0 \cdot R_{24} \cdot A = 105400 \text{ m}^3$$

$$A = 5.27 \text{ km}^2 \quad (\text{area del bacino})$$

$$F_0 = 100 \quad (\text{coefficiente di runoff - in funzione dell'area del bacino})$$

$$R_{24} = 200 \text{ mm} \quad (\text{quantità di pioggia accumulata nelle 24 ore precedenti l'evento})$$

1
0 **Metodo di Kronfellner-Kraus (1984-1985)**

$$M = (K_i \cdot e^{-KA}) \cdot A \cdot i = \begin{matrix} \text{max} & \text{min} \\ 248130 & 120256 \end{matrix} \text{ m}^3$$

$$A = 5.27 \text{ km}^2 \quad (\text{area del bacino})$$

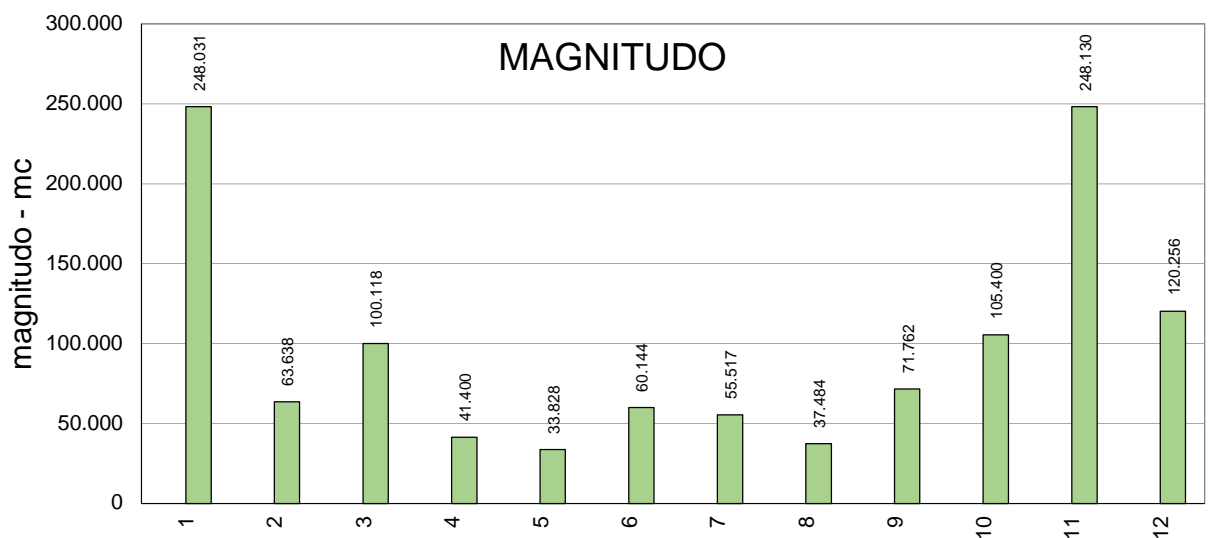
$$K_i \cdot e^{-KA} = \begin{matrix} 1068 & 518 \\ \text{max} & \text{min} \end{matrix} \quad (\text{fattore di torrenzialità})$$

$$K_i = \begin{matrix} 1150 & 540 \end{matrix}$$

$$K = \begin{matrix} 0.014 & 0.008 \\ \text{max} & \text{min} \end{matrix}$$

$$i = 44.08 \quad (\text{pendenza media dell'asta torrentizia})$$

		Volumi - m ³
1.	Marchi e Tecca (1996)+D37	
2.	Rickermann & Zimmerman (1997)	248031
3.	Hampel (1977)	63638
4.	Crosta, Ceriani, Frattini & Quattrini (2000)	100118
5.	Bottino, Crivellari & Mandrone (1996)	41400
6.	D'Agostino et al. (1996)	33828
7.	D'Agostino et al. (1996)	60144
8.	Takei (1984)	55517
9.	Tropeano & Turconi (1999)	37484
10.	"Japanes guidelines" (1984)	71762
11.	Kronfellner-Kraus (1984-1985)	105400
12.	Kronfellner-Kraus (1984-1985)	248130
		120256



Come evidente dal grafico precedente, i risultati ottenuti dall'applicazione delle correlazioni empiriche disponibili in letteratura evidenziano un'ampia variabilità delle **magnitudo**.

La valutazione critica dei risultati ottenuti e i confronti con analisi condotte su bacini idrografici aventi caratteristiche simili a quelle del bacino in esame, nonché delle caratteristiche proprie del bacino idrografico, è ritenuto attendibile considerare la mobilitazione di volumi di sedimento variabili tra 60.000 e 120.000 m³.

8.2 Modalità di propagazione della colata

In base alle analisi illustrate nel paragrafo precedente, lungo l'asta della Valle Finale sono attendibili fenomeni di colate detritica con la mobilitazione di volumi di sedimento che possono raggiungere in massa l'area di conoide dell'ordine di 600.000 – 120.000 m³.

8.2.1 Portata dell'onda di detrito

Per stimare gli scenari di evento attesi è stata valutata la portata dell'onda di detrito mediante la formula proposta da Rickenmann (1998):

$$Q_{max} = 0.135 \times M^{0.78}$$

SCENARIO	MAGNITUDO	PORTATA
1	60.000 m ³	720 m ³ /s
2	120.000 m ³	1236 m ³ /s

8.2.2 Velocità dell'onda di detrito

Per la valutazione della velocità di deflusso dell'onda di detrito nel settore apicale e lungo la conoide, è stata applicata la formula proposta da Rickenmann (1998). Il metodo valuta la portata di deflusso in funzione della portata massima attesa e della pendenza dell'alveo:

$$V = 2.1 \times Q_{max}^{0.33} \times J^{0.33}$$

SETTORE	Pendenza J	SCENARIO	PORTATA	VELOCITA'
Settore Apicale	43.0%	1	720 m ³ /s	13,94 m/s
		2	1236 m ³ /s	16,66 m/s
Conoide alluvionale	14.0%	1	127.6 m ³ /s	9,62 m/s
		2	151.9 m ³ /s	11,50 m/s

9 STIMA PERICOLOSITÀ RESIDUA E PROPOSTE D'INTERVENTO

9.1 Interventi di progetto

Il progetto in esame prevede:

la formazione di una struttura selettiva a monte del guado di via Valeriana, sfruttando un restringimento presente delimitato da roccia in destra idraulica e da un grosso masso in sinistra;

la protezione della sponda sinistra degradata del torrente, con una scogliera a secco, nel tratto compreso tra il guado di via Valeriana e la sezione selettiva sopra descritta;

lo sbancamento del materiale depositato durante l'evento, a monte della sezione selettiva, al fine di ricavare un'area di deposito di materiale legato a nuovi trasporti di massa.

La struttura selettiva è prevista a circa 100 m a monte del guado, ove l'alveo del torrente si restringe a 11,00 metri ed è delimitato in destra idrografica da una parete di roccia compatta alta circa 10,00 m e in sinistra da un grosso masso di circa 100 m³ e del peso di oltre 250 ton. In questa sezione il torrente compie anche una brusca curva sinistrorsa, quasi ad angolo retto, alla quale ne segue poi un'altra simile destrorsa. Questa gola ha favorito la deposizione di parte delle masse detritiche di colata, con riempimento delle "sacche" naturali dell'alveo presenti più a monte: in base alle analisi di progetto, parte dei materiali detritici presenti (stimati globalmente in circa 90.000,00 m³) si sono depositi durante l'evento del 16 agosto 2021. Considerato anche quelli consistenti arrestatisi lungo l'alveo a valle del guado, il materiale detritico confluito nel fiume Oglio (circa 10.000 m³) rappresenta solamente una piccola parte del totale del materiale movimentato dalla colata detritica. La sezione selettiva permette dunque il deposito di quantità significative di materiale detritico in caso di nuovi eventi, riducendo le problematiche delle aree poste a valle. Tale materiale deve tuttavia essere rimosso, sia per evitare che possa essere preso in carico da un ulteriore evento straordinario, sia per mantenere la capacità di deposito dell'area. Per la salvaguardia della SS42, la documentazione progettuale individua come prioritaria "la restituzione delle funzioni di piazza di deposito all'area appena a monte della sezione selettiva", in quanto "interventi eseguiti più a valle potrebbero essere annullate a seguito della rimozione dei grossi volumi di materiale presenti all'inizio del conoide". Diminuendo le dimensioni del trasporto di massa, si riducono inoltre le problematiche per il guado di via Valeriana e per il tratto di alveo sottostante.

9.2 Proposta di perimetrazione della pericolosità residua

La analisi effettuate hanno evidenziato che, nel bacino del torrente Val Finale, possono svilupparsi colate detritiche con magnitudo molto elevate (valori stimati 60.000 ÷ 120.000 m³), superiori ai volumi di materiale detritico potenzialmente arrestabili sia a tergo della struttura filtrante in progetto, sia nell'area di accumulo proposta da R.L. spostando più a valle via Valeriana. Gli interventi non variano quindi significativamente la pericolosità delle aree di conoide durante gli eventi più intensi ma, con la realizzazione del muro di protezione, contribuiscono a proteggere la

sede viaria della SS42. Al fine di salvaguardare quest'ultima, e impedire l'ostruzione del fiume Oglio, si ritengono altrettanto importanti futuri interventi di svasso dell'alveo dal materiale detritico presente, in particolare nel tratto terminante dell'alveo, e di modellamento della confluenza del torrente nel fiume Oglio, con allargamento della confluenza stessa e convogliamento dei flussi di piena/di colata a tergo delle opere di presa.

Edolo, SETTEMBRE 2023

Dott. Geol Mario Sterli



Figura 18: Carta della pericolosità ante opere sul conoide del torrente Val Finale (Scala 1:5.000)

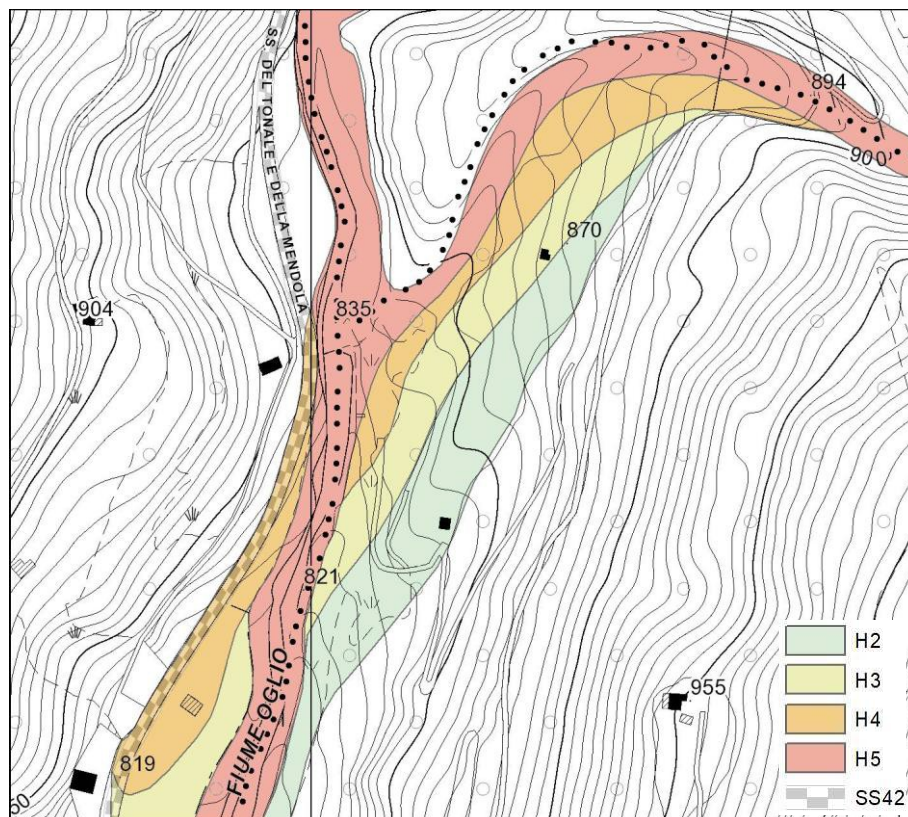


Figura 19: Carta della pericolosità post opere sul conoide del torrente Val Finale (Scala 1:5.000)

