

COMMITTENTE:

Comune di Sarezzo
Piazza Cesare Battisti, 4
25068 - Sarezzo (BS)



REGIONE LOMBARDIA
Provincia di BRESCIA
Comune di SAREZZO

STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

Intervento di mitigazione del rischio idraulico del torrente Zuccone che interessa l'ambito e l'area industriale / artigianale di Sarezzo, a seguito dell'evento di colata detritica del 9 e 10 giugno 2024

CUP: C98H24000330002 – CIG: B4FA202281

PROGETTISTA:

Ing. Davide Grablovitz

**CONSULENZA GEOLOGICA:**

Geol. Luca M. Albertelli

Marzo 2025

Geol. Iuri D. Tagliaferri

02 – RELAZIONE GEOLOGICA

 **LAND & COGEO**

UFFICI SEDE OPER.: Via Montegrappa, 41 - 24060
Rogno (BG)

SEDE LEGALE: Via Manifattura 29/G
25047 DARFO B.T.(BS)

Tel. 0354340011 fax. 0354340011

P.IVA 03480990989

ufficio@cogeo.info - www.cogeo.info

INDICE

PREMESSA	3
INQUADRAMENTO E DESCRIZIONE DELL'EVENTO	5
INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
DESCRIZIONE DELL'EVENTO DEL GIUGNO 2024	6
Analisi dell'evento pluviometrico del giugno 2024	13
INDAGINI PREGRESSE ED ESEGUITE	15
Indagini pregresse	15
Indagini eseguite	16
DESCRIZIONE DELLO STATO DEI LUOGHI	17
FASE DI INDAGINE	23
INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO IDROGEOLOGICO	23
QUADRO VINCOLISTICO VIGENTE	26
PAI e PGRA	26
Fattibilità geologica	26
IFFI – Inventario dei Fenomeni Franosì d'Italia	27
Pericolosità Sismica Locale	28
FASE DI ELABORAZIONE E INTERPRETAZIONE DEI DATI	30
ANALISI MORFOMETRICA DEL BACINO	30
Pendenza ed esposizione bacino	31
CALCOLO DELLE PORTATE LIQUIDE	32
Metodo razionale	32
Metodo razionale modificato	33
CARATTERI SISMICI DEL SITO	34
CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI	35
SINTESI E CONCLUSIONI	37
DINAMICA DEL TORRENTE	37
INDICAZIONI TECNICHE	38

PREMESSA

La presente relazione GEOLOGICA rappresenta un documento tecnico a supporto del progetto di mitigazione del rischio da colata detritica lungo l'asta del Rio Zuccone in Comune di Sarezzo, codice RIM 03017174_0047.

In questo caso la mitigazione lungo lo Zuccone si riflette positivamente anche sul Torrente Gombiera, di cui lo Zuccone è un affluente sinistro nella zona immediatamente precedente il tombinamento del Gombiera.

La necessità di intervenire lungo questo corso d'acqua è insorta in seguito al significativo evento di dissesto del giugno 2024, in particolare a seguito delle precipitazioni eccezionali avvenute nella sera-notte del 9 giugno: durante questo evento, lungo lo Zuccone si propagò una colata di materiale ghiaioso e fangoso che ostruì completamente il corso del Gombiera, causandone lo straripamento in sponda sinistra, con conseguente inondazione delle aree fabbricate limitrofe. L'evento ebbe ingenti conseguenze economiche, ma fortunatamente non vi furono persone direttamente coinvolte.

Testimonianze raccolte in loco indicano che, a memoria, non si erano mai verificati significativi dissesti lungo questo torrente, che in condizioni ordinarie ha regime tipicamente effimero e intermittente, con il greto che si presenta secco se non in coincidenza di eventi di precipitazione.

A seguito dell'evento del 2024 il torrente ha trasportato molto deposito nella zona terminale, poco prima della confluenza, e eroso significativamente il proprio alveo e le proprie sponde fino a quota di circa 460 m s.l.m. In fase di somma urgenza si è operato rimodellando l'ingente materiale depositato in modo da ricostruire un canale di deflusso per il torrente e installando una barriera di protezione per colate detritiche nella parte iniziale del conoide e strutture trasversali in legno e pietrame nella parte sottostante. Nonostante queste opere, lungo l'alveo ricostruito sono presenti solchi e tracce di erosione a opera delle acque ruscellanti, a indicare che è necessario intervenire integrando le opere di somma urgenza, che per loro natura sono limitate in termini di disponibilità economica e di progettazione.

A monte di questo tratto l'alveo si presenta in evidente stato di dissesto, con anche numerose piante schiantate in prossimità del torrente o a cavallo dello stesso: risulta quindi necessario intervenire per tamponare questa situazione, che potrebbe altrimenti evolvere con ulteriori dissesti.

Le opere previste dal progetto tendono alla stabilizzazione dell'alveo nel tratto di maggior capacità erosiva e alla realizzazione di ulteriori aree di accumulo del materiale trasportato nel tratto terminale; viene anche proposta l'installazione di un sistema di monitoraggio delle precipitazioni e di allerta al transito della colata per acquisire importanti dati di gestione futura dell'allerta e dell'emergenza.

In questa fase non sono state eseguite indagini geognostiche in sito, dato che è stato possibile reperire informazioni preesistenti contenute nello *"Studio geologico a supporto del progetto di un nuovo tratto stradale della S.P. BS ex S.S. 345, variante di Ponte Zanano in Comune di Sarezzo"* (Cogeo snc, 2010); sarà comunque necessario prevedere una fase di indagine dedicata per la progettazione esecutiva, volta a colmare le incertezze ora presenti, come meglio descritto in seguito.

La presente relazione geologica ha quindi lo scopo, compatibilmente con i dati di indagine disponibili, di definire i caratteri geologici, geomorfologici ed idrogeologici delle aree interessate dagli interventi, secondo quanto contenuto nella normativa vigente, con particolare riferimento a:

- O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".
- O.P.C.M. 28.04.2006 N°3519 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"
- D.M. 18 gennaio 2018 Norme Tecniche per le costruzioni.
- Circolare n. 7/2019, Gazzetta Ufficiale n. 35 del 11 febbraio 2019 – Suppl. Ordinario n. 5: "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle NTC di cui al D.M. 17 gennaio 2018".
- D.G.R. 11 luglio 2014 n.2129 "aggiornamento delle zone sismiche di Regione Lombardia"

In riferimento alla normativa sopra richiamata, il presente documento analizza gli aspetti finalizzati all'individuazione delle caratteristiche geologiche e tecniche di sito, in accordo alle NTC 2018 § 6.2.1 e § 6.2.1 della Circolare esplicativa, non prendendo in considerazione gli aspetti geotecnici delle opere, che sono disciplinati dalla normativa di settore (D.M. 2018 § 6.2.2 e § 6.2.2 della Circolare) e trattati nella fase di progettazione geotecnica/strutturale. Le incertezze del modello sono esplicitate nel relativo paragrafo.

INQUADRAMENTO E DESCRIZIONE DELL'EVENTO

Inquadramento territoriale

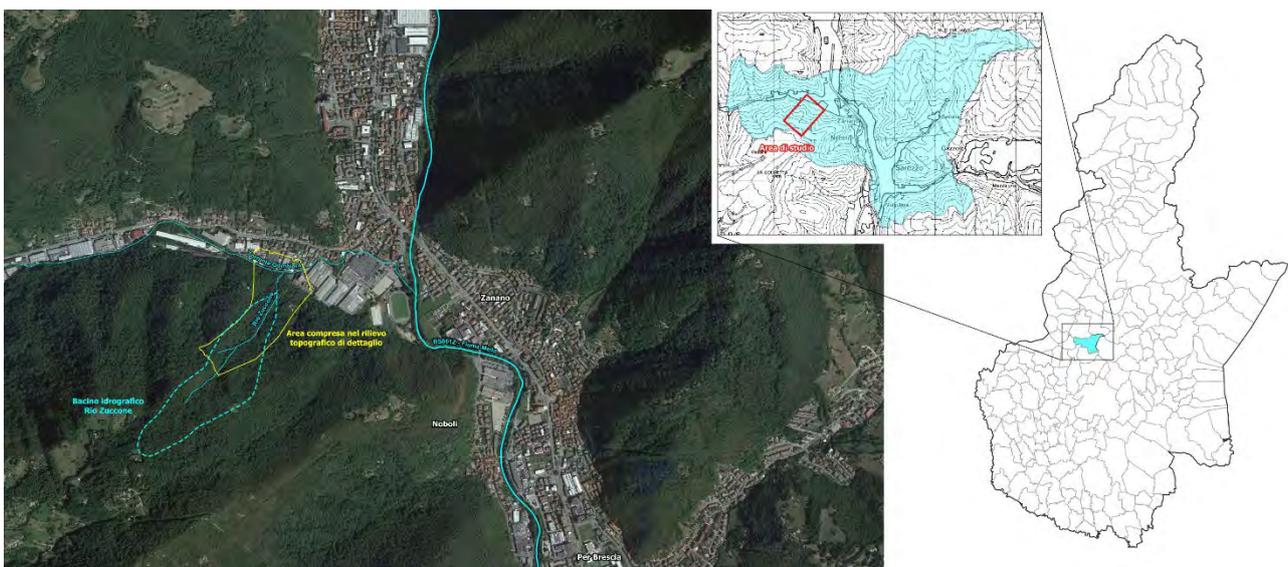
Il corso d'acqua oggetto di studio e progetto è il Rio Zuccone, codice RIM 03017174_0047, che si sviluppa nel territorio comunale di Sarezzo con confluenza nel Torrente Gombiera (dal lato destro idrografico) nella zona di raccordo tra la Val Trompia e la Valle Rodolfo (di Polaveno), in corrispondenza della zona industriale di Ponte Zanano. Il corso d'acqua scorre in modo pressoché rettilineo in direzione nord-est a partire dal Dosso del Sole, da quota 750 mslm circa, fino alla confluenza a quota 300 m slm circa. Il tracciato del Rio Zuccone può essere individuato tra quelli del Rio Riva Rotta, a nord-ovest, e del Rio Grima Rotta, a sud-est.

Il bacino idrografico del Rio Zuccone ha una forma molto allungata, in accordo con l'assenza di significativa diramazione del torrente nelle zone di testata del bacino: di fatto il torrente in esame è costituito da una singola asta con pochissimi affluenti, tutti di modesta entità. Lo stesso Zuccone è un torrente con regime intermittente, che si presenta frequentemente secco e si riattiva in coincidenza delle precipitazioni.

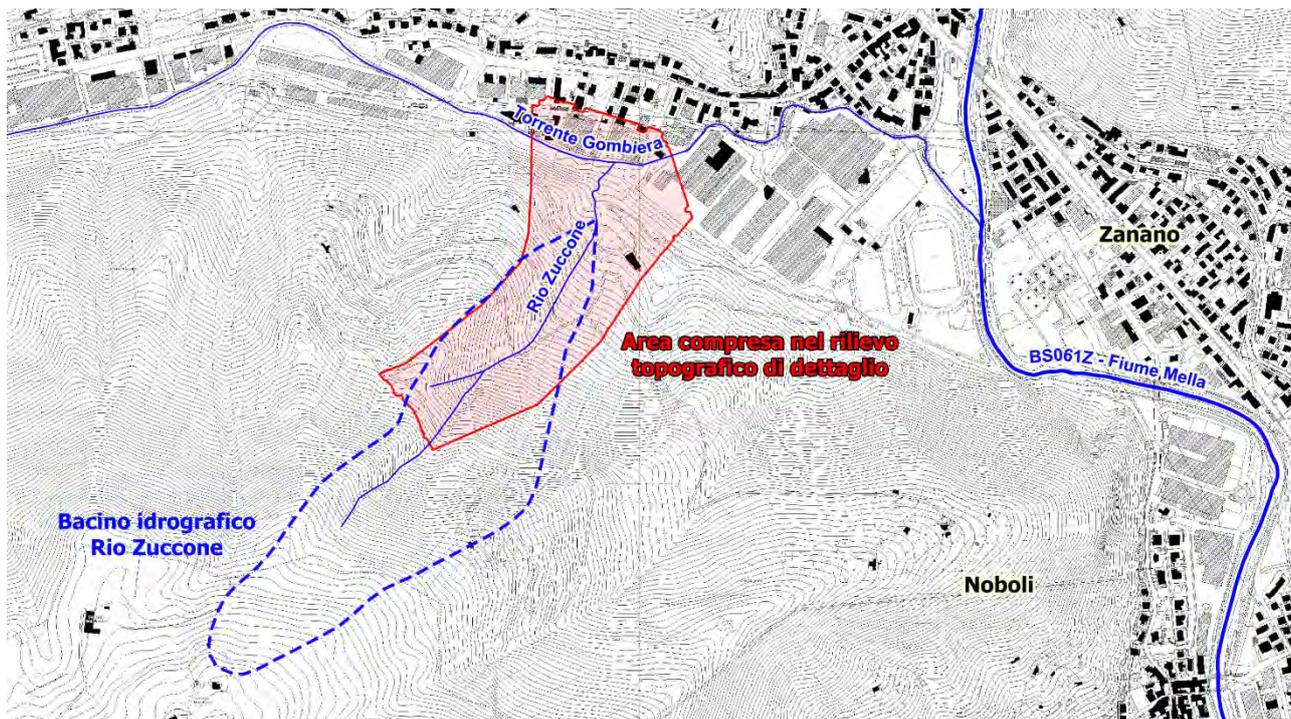
Planimetricamente il bacino ha un'estensione di circa 0.2 kmq e un dislivello di circa 550 m, a partire dall'apice di quota 850 m slm circa fino alla confluenza a quota 300m slm circa. La lunghezza planimetrica dell'asta dello Zuccone è di circa 850 m. Il corso d'acqua interseca una strada sterrata e alcuni tracciati di vecchie piste che attraversavano il versante, ben evidenti nella cartografia storica ma di cui oggi si conservano solo le tracce.

I versanti sono caratterizzati da un'intensa copertura di latifoglie che crescono sul sottile livello di depositi che copre il substrato roccioso calcareo-marnoso, qui presente in genere a profondità ridotte.

Il progetto prevede interventi diffusi, che interessano più della metà del torrente, con le opere di maggior interesse ubicate nel tratto finale, poco prima della confluenza.



Inquadramento del bacino idrografico del Rio Zuccone su immagine satellitare.



Inquadramento del bacino idrografico del Rio Zuccone su database topografico regionale.

Descrizione dell'evento del giugno 2024

Nella notte tra il 9 e il 10 giugno si è verificato lo straripamento del Torrente Gombiera, per sormonto dell'argine sinistro in conseguenza dell'ostruzione del deflusso provocata da una colata detritica proveniente dal Rio Zuccone (affluente in destra del Gombiera).

L'evento di colata ha trasportato verso valle, e quindi nel T. Gombiera, una gran quantità di materiale (impossibile da stimare perché successivamente eroso dalle acque del Gombiera), grossi tronchi e massi. Il Torrente Gombiera, circa 80 m più a valle del punto in cui confluisce lo Zuccone e quindi dove si è verificato lo straripamento, risulta intubato. Il muro d'argine in sinistra orografica ha funzione di proteggere le aree artigianali ed industriali, che a seguito del sormonto dell'argine stesso sono state colpite da acqua e fango che ha invaso piazzali e seminterrati. Si sono registrati ingenti danni a cose e beni immobili ma nessun danno alle persone.

Stando alle testimonianze raccolte in sito, non si ricorda che il torrente sia mai stato soggetto ad importanti deflussi idrici e trasporto solido.

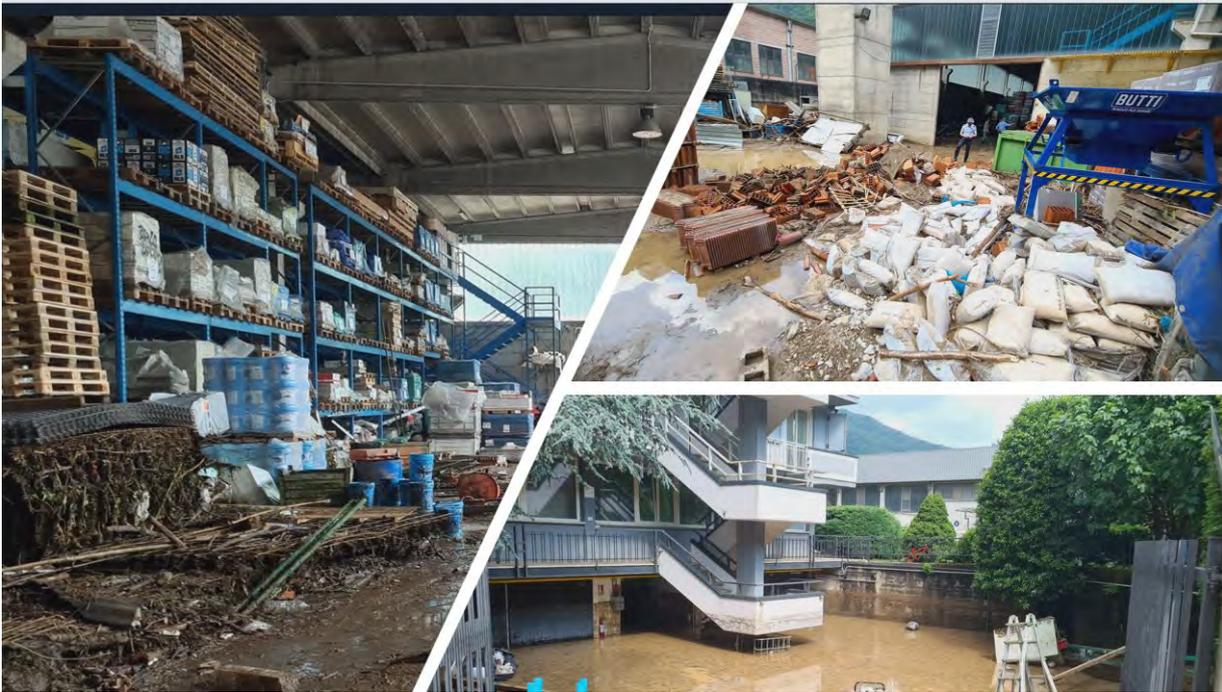
L'evento di precipitazione intensa che ha colpito la zona nella notte tra il 9 ed il 10 giugno 2024 ha concentrato una gran quantità di acqua lungo l'impluvio del Torrente Zuccone con conseguente incisione del fondo e delle sponde, sino a modificare le dimensioni e l'assetto dell'asta che risulta oggi fortemente incisa lungo il suo percorso. Il materiale raccolto dal deflusso e trasportato fino al Gombiera proveniva da erosione del fondo e in parte dal franamento delle sponde. Il Gombiera è stato quindi completamente ostruito ed è esondato in sponda sinistra, sormontando il muro d'argine e invadendo l'area urbana.

I giorni precedenti l'evento di dissesto sono stati caratterizzati da continue precipitazioni che hanno appesantito fortemente i terreni e generato diffuse frane superficiali che si sono poi concentrate negli impluvi ed in questo caso lungo l'asta dello Zuccone. Il materiale di colata, oltre ad ostruire il torrente Gombiera, si è in parte arrestato lungo gli ultimi metri del Rio Zuccone, creando una barriera di detriti e grosse piante circa 50 m a monte, in un punto in cui l'asta compie un leggera curvatura e di fatto si registra un netto cambio di pendenza dell'asta. Dal sopralluogo eseguito in fase di post evento sono state rilevate numerose zone ancora instabili sia lungo l'alveo (dove sono presenti ostruzioni di materiale e piante) sia in sponda destra e sinistra orografica, dove sono evidenti cedimenti e fessure lungo il pendio. L'evento di colata ha costituito una modifica importante dell'assetto dell'asta del torrente ed è stato quindi osservata la necessità di intervenire per limitare il progredire del fenomeno di erosione del fondo e soprattutto delle sponde. Erosioni ulteriori delle sponde e del piede dei versanti laterali all'asta torrentizia possono infatti indurre nuove frane e dissesti, in un processo di progressiva e continua instabilità.

Seguono immagini fotografiche dello stato dei luoghi nell'immediato post-evento.



Alcune immagini dell'area colpita



Danni interni agli edifici e stabili civili



La confluenza dello Zuccone nel Gombiera.



La zona poco a monte della confluenza dove la colata si è in parte espansa



Incisione dell'asta poco a monte della confluenza



Area di primo arresto e spaglio del materiale dove è presente un netto cambio di pendenza nell'asta.



Viste dalla zona di spaglio del materiale. Nell'ultima fotografia si vede il torrente che sale inciso lungo il pendio

INQUADRAMENTO E DESCRIZIONE DELL' EVENTO

RELAZIONE GEOLOGICA

Intervento di mitigazione del rischio idraulico del torrente Zuccone che interessa l'ambito e l'area industriale / artigianale di Sarezzo, a seguito dell'evento di colata detritica del 9 e 10 giugno 2024 - CUP: C98H24000330002 - CIG: B4FA202281



INQUADRAMENTO E DESCRIZIONE DELL' EVENTO

RELAZIONE GEOLOGICA

Intervento di mitigazione del rischio idraulico del torrente Zuccone che interessa l'ambito e l'area industriale / artigianale di Sarezzo, a seguito dell'evento di colata detritica del 9 e 10 giugno 2024 - CUP: C98H24000330002 - CIG: B4FA202281



Forte erosione della sponda destra e sinistra orografica con possibili franamenti in alveo di altro materiale.
Incisione del fondo di oltre 2 m



A seguito dell'evento si è intervenuto con opere di somma urgenza per creare una zona di possibile spaglio e rallentamento del materiale di trasporto solido nell'area che si colloca circa 50 m a monte della confluenza, cercando di arrestare il più possibile il materiale, prima che arrivi al T. Gombiera, rimodellando la morfologia con scavi e riporti ed eliminando la vegetazione di alto fusto trasportata dalle acque che avrebbe potuto comportare un elemento di forte interferenza se fosse stata trasportata da successivi eventi fino al Gombiera. Si sono inoltre realizzate opere atte al ripristino del fondo e delle sponde (realizzazione di opere trasversali quali soglie in legname) e opere di trattenuta e deposito del materiale (barriera di protezione dalle colate detritiche, a monte, e briglia in legna e pietrame, a valle).

Analisi dell'evento pluviometrico del giugno 2024

Nei pressi del Rio Zuccone, precisamente in Via Fonte, è presente una centralina meteo gestita da Arpa Lombardia, i cui dati sono accessibili e scaricabili con diverse cadenze temporali.

Per un'analisi dell'evento si sono scaricate le precipitazioni registrate dalla centralina nel corso del 2024, con aggregazione oraria, in modo da ricavare, oltre alla pioggia strettamente connessa all'evento, anche un quadro di riferimento in cui essa si è inserita.

Osservando in prima analisi le precipitazioni mensili, balzano all'occhio quattro mesi particolarmente piovosi: maggio, giugno, settembre e ottobre.

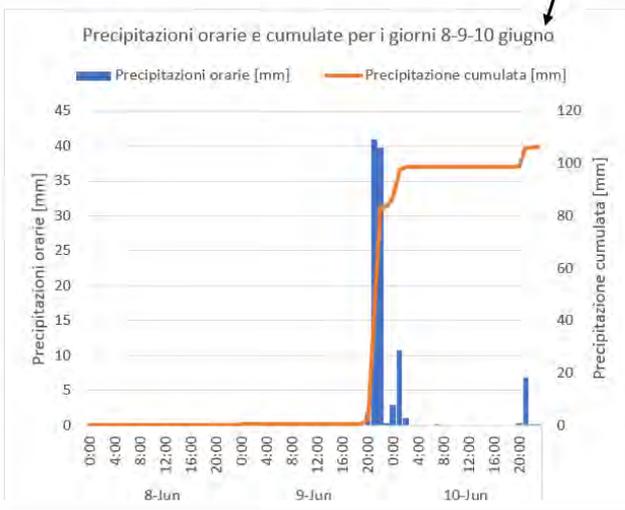
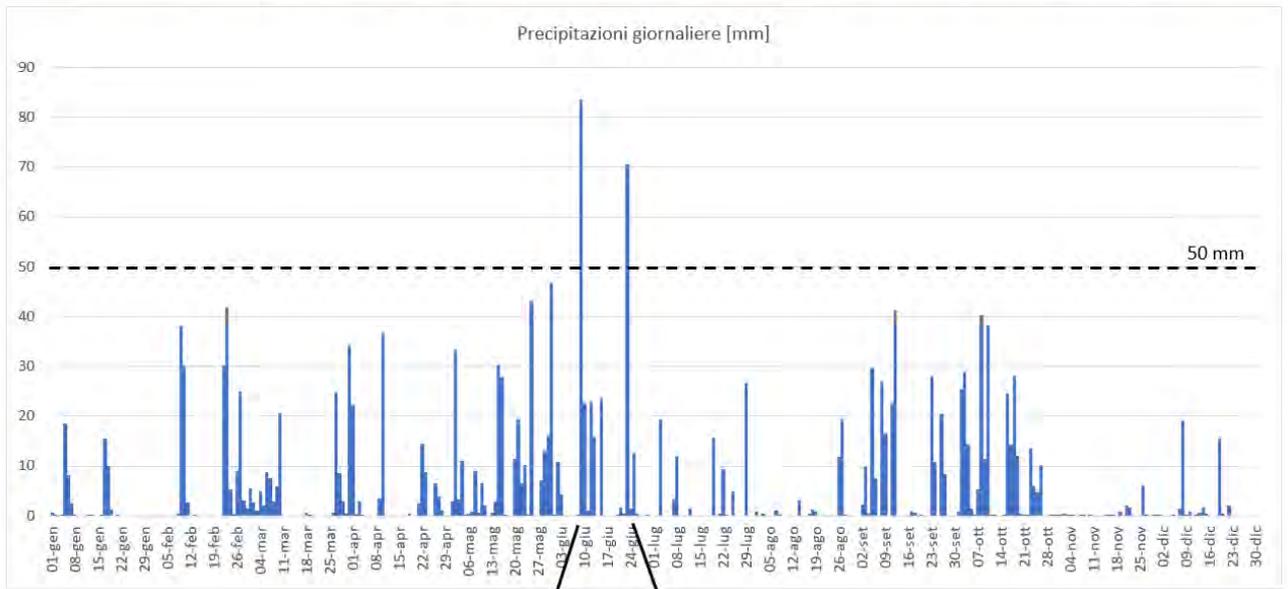
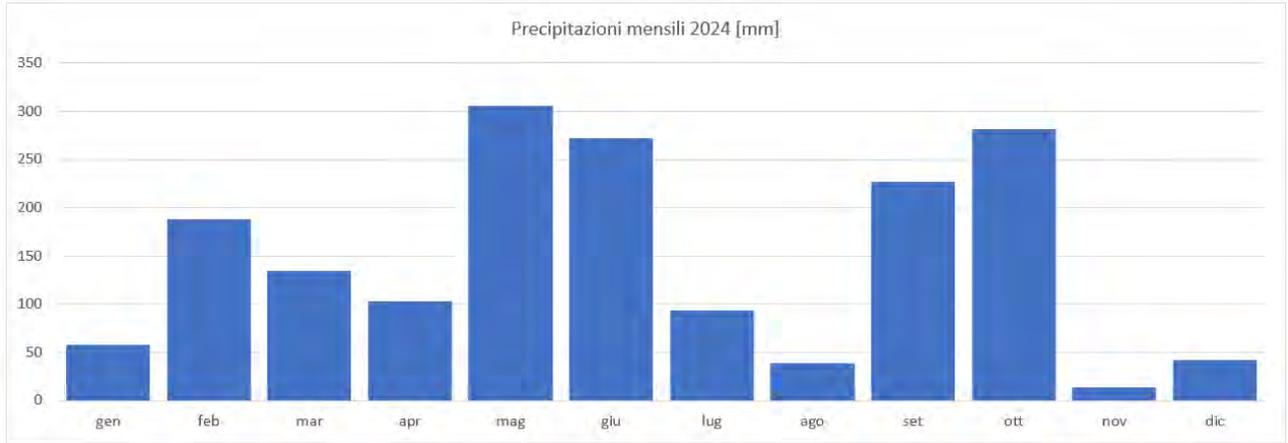
Un primo dato, quindi, è che l'evento si è collocato in un periodo di frequenti precipitazioni per almeno un mese, il che ha indubbiamente favorito l'indebolimento dei depositi sui versanti, l'innescò di frane superficiali, che avrebbero apportato materiale in alveo, e la propensione all'ulteriore instabilità delle sponde all'atto dell'erosione per il transito dell'onda di piena. Le precipitazioni antecedenti sarebbero quindi state un elemento predisponente al formarsi della colata detritica invece della semplice onda di piena liquida.

L'analisi delle precipitazioni giornaliere durante l'anno evidenzia ulteriormente le frequenti piogge nel mese di maggio, così come mette in evidenza persistenti precipitazioni a settembre e ottobre; si mette inoltre in risalto un elemento molto importante: le precipitazioni di giugno tendono a essere meno continue e più concentrate in eventi violenti, tanto che proprio a giugno sono registrati gli unici due episodi con precipitazioni maggiori di 50 mm nell'intero 2024: uno nella notte del 9 giugno (notte dell'evento) e uno durante il 23 giugno.

È quindi interessante notare la differenza di questi due episodi: le piogge del 9 giugno sono state concentrate in larga parte in uno scroscio di due ore, con intensità media oraria di circa 40 mm/ora, cui ha fatto seguito una coda che ha portato a una cumulata totale di circa 100 mm; le piogge del 23 giugno sono state invece più graduali, con intensità massime di 16-17 mm/ora, durata di parecchie ore e cumulate totali di 70 mm circa.

Appare quindi evidente che l'evento piovoso del 9 giugno è stato caratterizzato da intensità eccezionali se confrontato con il regime dell'intero anno 2024 e con l'andamento del secondo giorno più piovoso.

È quindi lecito ipotizzare che il principale meccanismo innescante eventi di dissesto lungo lo Zuccone è il verificarsi di piogge con elevata intensità oraria; la presenza di precedenti precipitazioni è indubbiamente un elemento predisponente ma che non pare di per sé sufficiente a generare colate lungo il Rio.



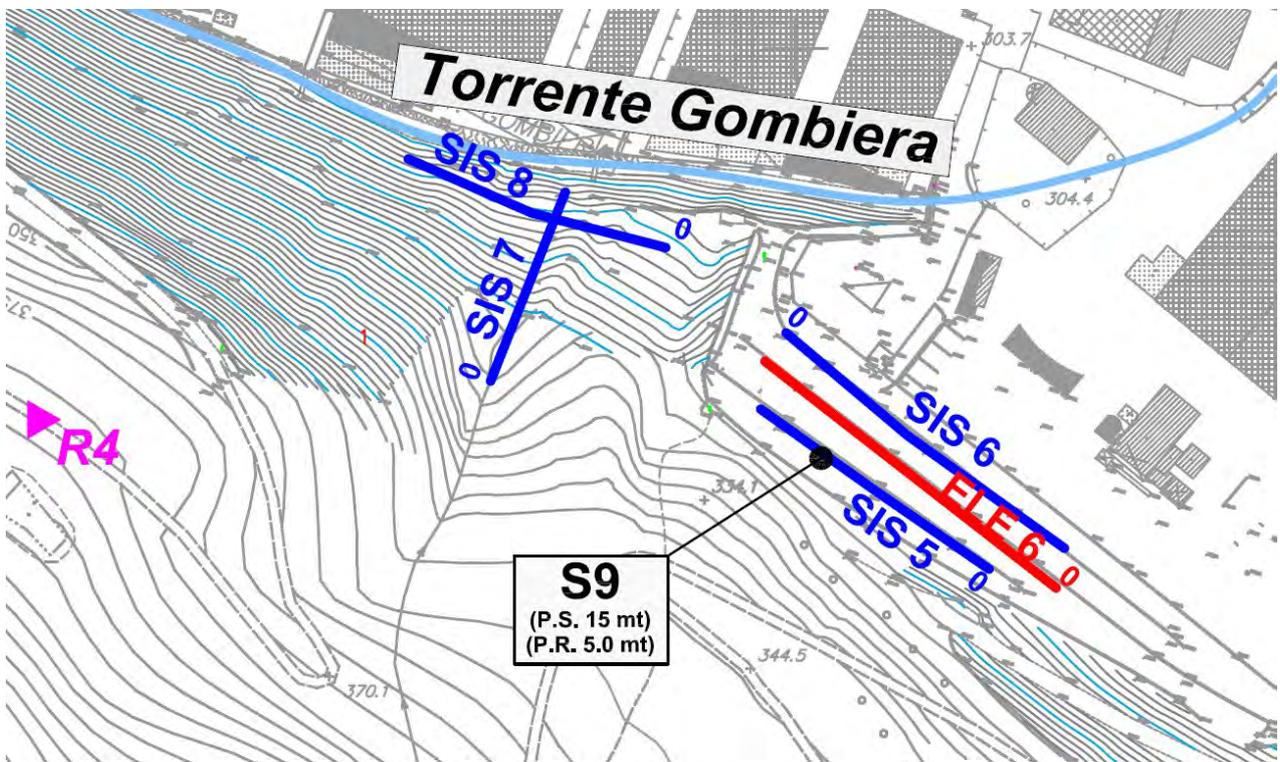
Indagini pregresse ed eseguite

Indagini pregresse

Nell'anno 2010, nell'ambito dello studio geologico prodotto dalla società COGEO snc a supporto del progetto di variante della SP BS 345 presso Ponte Zanano, fu condotta una campagna di indagine che interessò numerosi punti di interesse, tra cui anche alcune aree nei pressi della confluenza Zuccone-Gombiera.

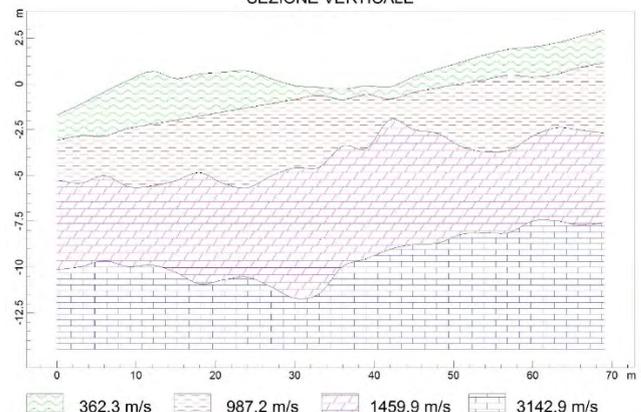
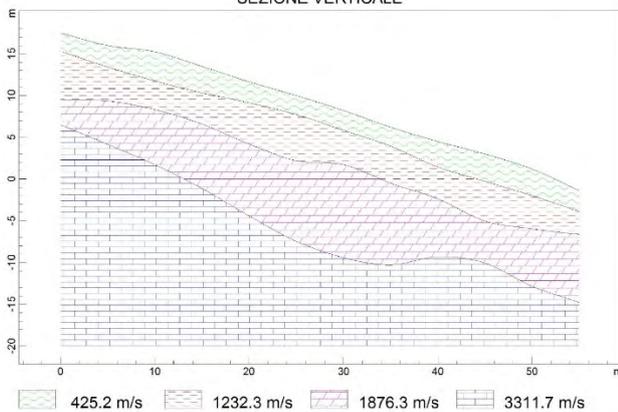
In particolare, si eseguì un sondaggio a carotaggio continuo poco a est della confluenza (S9), che intercettò il substrato roccioso a profondità di circa 5m, dopo aver attraversato un consistente livello di riporto e uno strato di sabbie e limi argillosi. Furono inoltre eseguite indagini di rifrazione sismica, di cui gli stendimenti 7 e 8 interessarono direttamente la zona di confluenza. Anche questi intercettarono un livello di depositi sciolti di 5-8 m di spessore seguiti da depositi compatti (passaggio deposito-substrato) e dal substrato vero e proprio valutato a profondità di 10-15 m.

Seguono stralci della planimetria e dei risultati delle indagini appena descritte.



SEZIONE VERTICALE

SEZIONE VERTICALE



Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Spessore (m)	SPT (n° colpi)	Pocket Penetrometer		Campioni analizzati	RQD (%)				Metodo perfor.	Falda (m)	Prove perm.	Strum. installata
					Ø (mm)	q (Kg/cmq)		20	40	60	80				
0.1		Terreno vegetale	0.1												
1.0		Materiale Inerte di riporto	3.3												
3.0				Spt 1 (3.0 m)											
3.40				30											
3.40				Rit 10											
4.0		Sabbia e argilla, limosa ghiaiosa, colore bruno-giallastro con elementi carboniosi di natura organica, mediamente consistente	0.8				S9-C1 (3.5-4.0)								
4.20		Limo argilloso, ghiaioso, con Inclusioni litoidi molto alterati facenti parte del substrato roccioso sottostante, colore nocciola, poco consistente (cappellaccio di alterazione del substrato roccioso)	0.8												
5.0		Substrato roccioso calcareo poco fratturato	1.0												
6.0															
7.0		Substrato roccioso calcareo molto fratturato con matrice limosa che riempie le fratture	3.0												
8.0															
9.0															
10.0		Substrato roccioso calcareo moderatamente fratturato	3.0												
11.0															
12.0		Substrato roccioso calcareo molto fratturato	1.0												
13.0															
14.0		Substrato roccioso calcareo poco fratturato	2.0												
15.0															

Indagini eseguite

Per questa fase preliminare non sono state condotte particolari indagini al di fuori dei sopralluoghi in sito, finalizzati a prendere diretta visione dello stato dei luoghi e delle problematiche presenti, e del rilievo topografico di dettaglio tramite LiDAR da piattaforma aerea, eseguito dalla società Tecno Proget srl.

È già stata concordata con i progettisti la necessità di eseguire indagini integrative nella porzione bassa del torrente, dove si concentreranno le maggiori opere, che richiederanno l'esecuzione di indagini dedicate calibrate in base alla posizione e tipologia di opere effettivamente messe a progetto.

INQUADRAMENTO E DESCRIZIONE DELL' EVENTO

Descrizione dello stato dei luoghi

Il corso d'acqua può essere suddiviso in tre tratti, tra loro omogenei per caratteristiche geologiche e morfologiche.

Partendo dalla confluenza con il Gombiera, a quota di circa 300 m slm, il **primo tratto** si estende a monte fino all'inizio del tratto inciso a quota di circa 335-340 m slm e comprende la zona di raccordo tra il versante e il Gombiera, caratterizzata da pendenze medie del collettore di circa 16°. È questa la zona di accumulo e deposito dell'evento del 2024, successivamente rimodellato con opere di somma urgenza, e oggi si presenta come un tratto di versante a pendenza omogenea, in terreno riportato, in cui è stato ricavato un canale artificiale ampio circa 3 – 3.5m al fondo e profondo 2 – 2.5m per ripristinare l'alveo del torrente, completamente obliterato nel corso del dissesto di giugno. In questa zona sono presenti le opere realizzate in somma urgenza, che consistono in:

- Barriera per colate detritiche, larga 15m e alta 3m, ubicata a quota 332-333 m slm, con associata piccola vasca di accumulo a tergo;
- Alcune soglie in legname lungo il tratto centrale del canale;
- Una briglia in legno e pietrame a monte dell'attraversamento della pista di cantiere, a quota di circa 314 m slm.

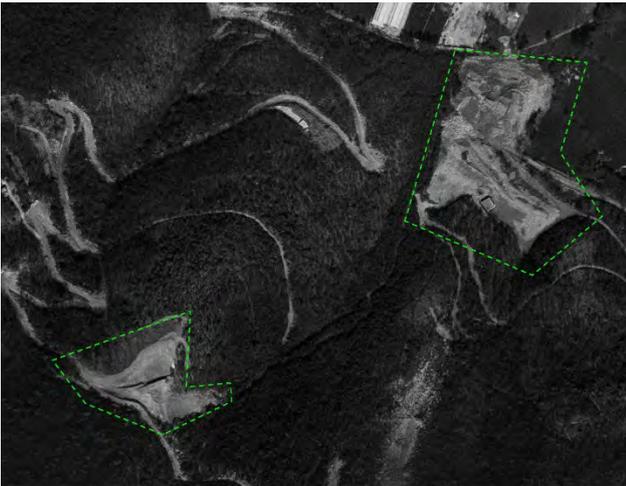


Immagini della parte terminale del Rio Zuccone

In questo tratto sono presenti alcuni impluvi che affluiscono nello Zuccone dalla sponda sinistra, che sono stati localmente deviati o occlusi dal deposito di giugno 2024 e che andrebbero quindi ripristinati in modo da evitare punti di saturazione del deposito, che potrebbero essere sede di innesco di instabilità superficiale.

In destra idrografica sono invece presenti forme di riporto evidentemente antropico, ben visibili dalle ortofoto storiche messe a disposizione da Regione Lombardia, in particolare quella dell'anno 1975 e che risultano chiaramente in via di rinaturalizzazione nell'immagine del 1998.

Altre forme antropiche, in questo caso di scavo, sono presenti più a monte e in sponda sinistra, a ridosso del tratto 3, come descritto meglio nel seguito.



A sinistra: ortofoto del 1975; a destra: ortofoto del 1998

È un tratto in cui è favorito il deposito del materiale, indotto dal ridursi delle pendenze, e quindi è più probabile avere meccanismi di disalveamento e esondazione per occlusione della sezione di deflusso. Sono comunque state osservate evidenze di erosione lungo il canale modellato in fase di somma urgenza, a suggerire che il materiale non è totalmente stabile alle pendenze attuali.

Il secondo tratto comprende la parte centrale del torrente, caratterizzata da pendenze medie elevate, tra 20° e 24°. Il torrente scorre attualmente in uno stretto alveo inciso in sponde impostate in depositi torrentizi antichi in sinistra o in depositi eluvio-colluviali inframezzati a depositi di colata in destra. L'intero tratto può essere suddiviso in due settori con caratteristiche leggermente differenti: il primo può essere chiuso a quota di circa 400 m slm, in coincidenza di un impluvio in sinistra idrografica. A valle di questa quota, il deposito in sinistra ospita impluvi e solchi di ruscellamento discontinui e chiaramente disconnessi dal corso dello Zuccone, che tendono a serpeggiare fino alla zona terminale; le pendenze medie si attestano attorno a 20°. L'evento del 2024 ha comportato in questo tratto importanti incisioni dell'alveo, con approfondimenti nell'ordine di 1.5 – 2m e importanti richiami di instabilità lungo entrambe le sponde. Sono occasionalmente presenti piante abbattute poste trasversalmente e a cavallo del torrente. Nella parte alta di questo settore è visibile la traccia di una vecchia pista che una volta attraversava il torrente.

Il secondo settore si sviluppa a monte della confluenza di quota 400 m slm, fino poco oltre il ponticello presente a quota 465 m slm circa. Questo secondo settore è caratterizzato da pendenze che aumentano da 20° a 24° oltre quota 420 m slm, che hanno favorito importanti incisioni in alveo, nell'ordine di 2 – 2.5m, con locali instabilità delle sponde, in particolare quella sinistra. La sponda destra è caratterizzata dalla presenza di depositi di colata connessi a impluvi

disorganizzati insistenti sul versante. La sponda sinistra è invece impostata in depositi torrentizi antichi, che ospitano un impluvio che ha origine in coincidenza del ponticello e confluisce nello Zuccone al termine del settore.



Viste dell'assetto del torrente nel settore 2 – tratto fino alla confluenza.

Si tratta di un impluvio effimero la cui testata è molto prossima al corso dello Zuccone: a causa di questo assetto tale impluvio potrebbe costituire una direttrice di cattura del deflusso di piena in caso di ostruzione del corso dello Zuccone o di erosione della sponda sinistra in coincidenza del ponticello. In tal caso, si potrebbe aprire una nuova direttrice di erosione e, quindi, successivi importanti eventi di trasporto solido.

Questa possibilità è resa più concreta dal fatto che la testata del torrente secondario mostra evidenti segni di instabilità e venute d'acqua diffuse a seguito delle precipitazioni, il che concorre a indicare che il setto di deposito che separa lo Zuccone dal rio secondario potrebbe essere nel tempo indebolito a tal punto da consentire una deviazione dello Zuccone in occasione di eventi di erosione intensa.



Viste dell'assetto del torrente, del confluente e del versante settore 2 – tratto tra la confluenza e il ponticello.



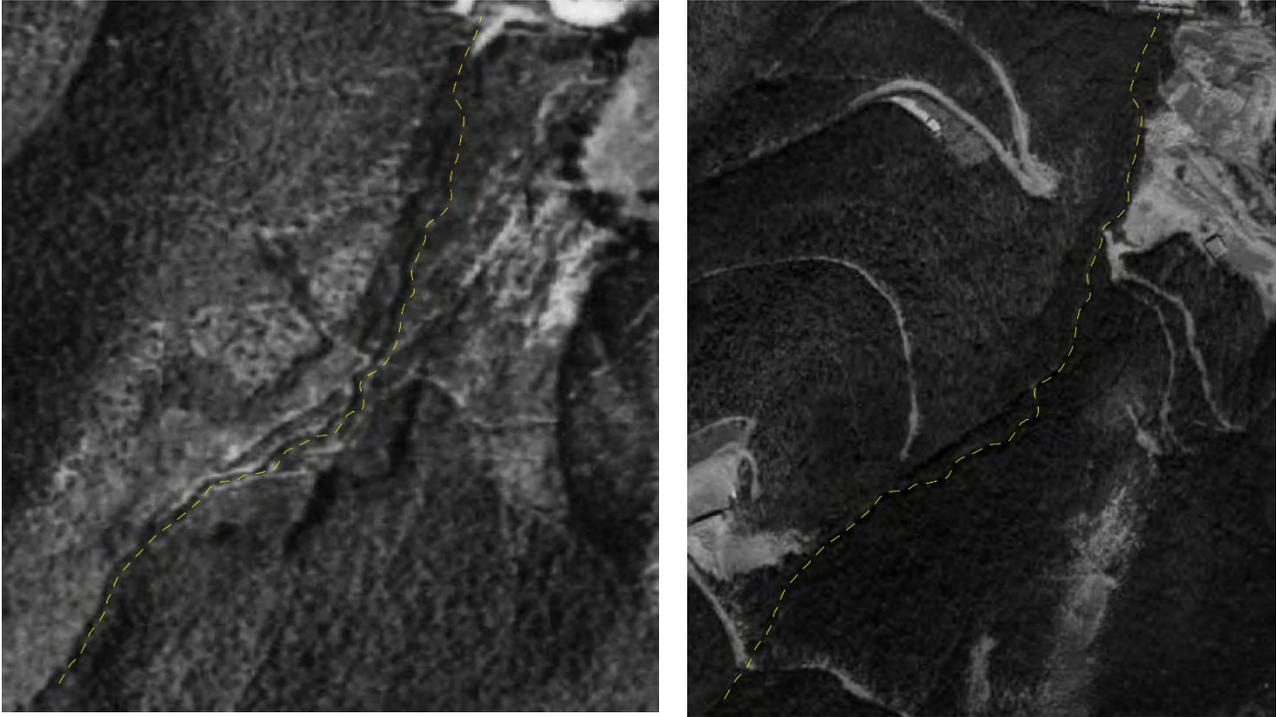
Viste del Rio Zuccone e del torrente parallelo sinistro catturata dal ponticello. Si nota la possibilità di incanalamento dello Zuccone lungo l'impluvio sulla sinistra (immagine di sinistra) e il chiaro stato di dissesto della testata dell'impluvio (immagine di destra).

Per meglio indagare la capacità di divagazione dello Zuccone in questo tratto, si sono osservate le ortofoto storiche messe a disposizione da Regione Lombardia, in particolare quelle del 1954 e del 1975.

Il tracciato attuale dello Zuccone è stato ricavato dal rilievo topografico di dettaglio appositamente realizzato, ed è stato poi sovrapposto alle immagini aeree georiferite tramite software GIS.

Si nota come il tracciato del torrente è restato sostanzialmente stabile in epoca storica, il che concorda con le testimonianze di assenza di importanti eventi di dissesto a memoria.

La presenza di impluvi e paleoalvei in prossimità del torrente è quindi da ascrivere a processi antichi o alla presenza di morfologie in grado di incanalare localmente il deflusso superficiale delle acque di ruscellamento.



Sovrapposizione del tracciato attuale del Rio zuccone con le ortofoto storiche (1954 a sinistra e 1975 a destra)

Il terzo tratto comprende le aree più elevate della zona sottoposta a rilievo topografico di dettaglio, tra il termine del tratto 2 e la strada che corre a quota 565 m slm circa.

È il settore con le maggiori pendenze dell'alveo, che si attestano su una media di 31° circa. Il torrente è ospitato in una stretta incisione nel versante, dove il substrato tende a subaffiorare frequentemente in alveo e in modo alternato su entrambe le sponde. La diffusa presenza di substrato contribuisce a limitare la possibilità di incisione e erosione, che infatti è limitata a punti localizzati e in genere interessa solo una sponda per volta. L'unico punto di evidente erosione è stato osservato a valle della strada, dove sono presenti due chiari punti di sovraescavazione in alveo.

La sponda sinistra, è localmente mantellata da depositi antropici derivanti dalle operazioni di scavo, ora relitte, poste al culmine del versante sinistro. Si tratta di accumuli di blocchi rocciosi spigolosi disposti in falde e lingue a valle dell'area di scavo. La sponda destra è mantellata da depositi eluvio-colluviali in cui localmente si osservano lenti ghiaiose probabilmente derivate da antichi processi di colata o, più in generale, trasporto solido ad opera di flussi idrici concentrati che, come testimoniato in altri punti del versante, possono verificarsi anche lungo il pendio esternamente al corso dello Zuccone. In questo tratto la possibilità di disalveamento è sostanzialmente nulla se non in coincidenza della strada.

I versanti locali sono caratterizzati dalla presenza di depositi dalle scarse caratteristiche tecniche, spesso costituiti da una importante frazione limo-argillosa inglobante frammenti e clasti calcarei o lenti più ghiaiose. Spesso i depositi sono sottili, il che ne favorisce la rapida saturazione e predispone all'innesco di frane superficiali che apportano materiale in

alveo. Questo a sua volta favorisce la possibilità di innesco di colate detritiche, in quanto può essere preso in carico e smosso durante gli eventi di piena.

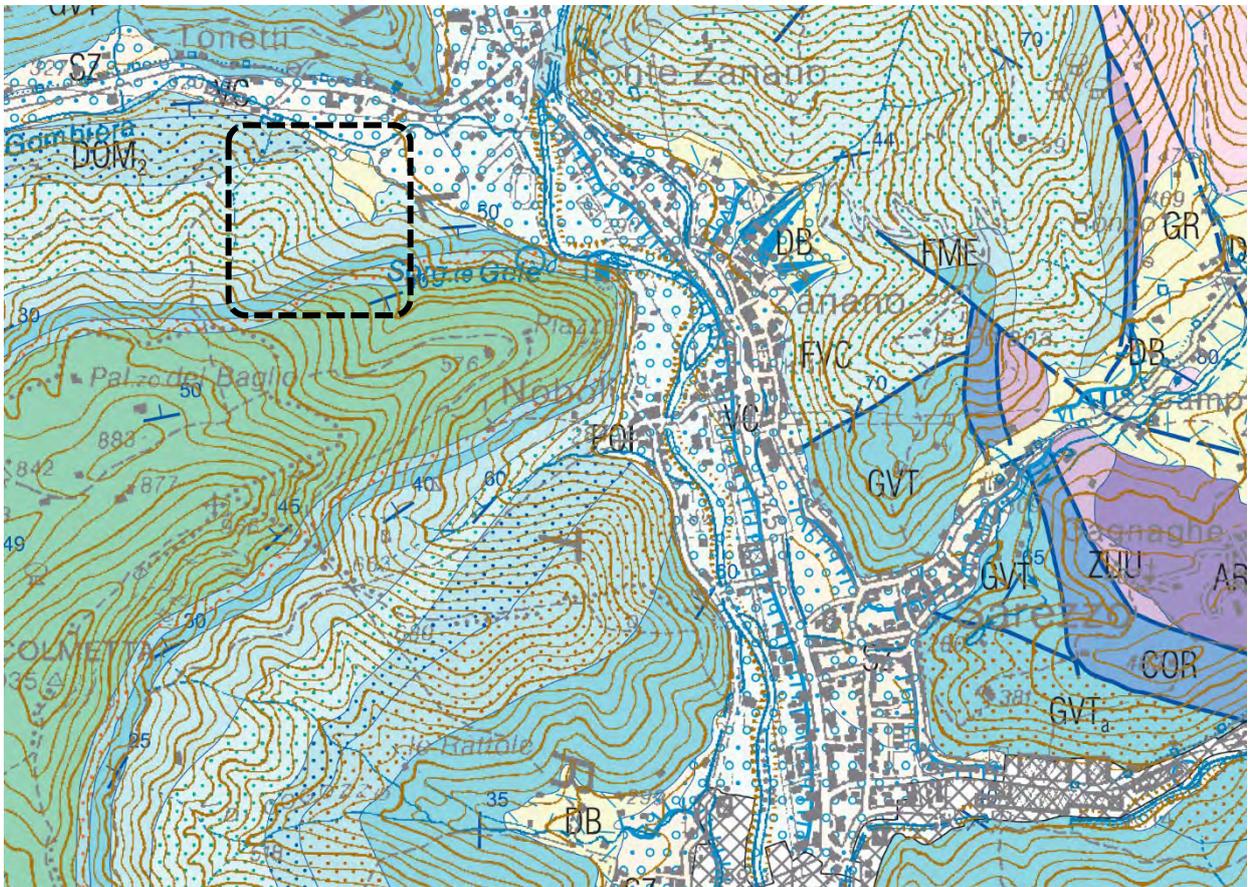
Si evidenzia quindi una certa connessione tra processi di versante e processi torrentizi.



Viste dell'assetto del torrente nel tratto 3

FASE DI INDAGINE

Inquadramento geologico geomorfologico idrogeologico



- MAIOLICA**

 Calcarei pelagici (calcilutiti) biancastri e grigio-chiaro, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, a frattura concorde, con stittiliti. Noduli e lische di selce bionda alla base e grigio-nera verso l'alto. Nella porzione superiore sono presenti interstrati di argillite nero, livelli intratrazionati micrometrici e stupping. Verso la base sono presenti calcari marnosi rossi e verdognoli in strati da centimetrici a decimetrici ('calcarei variegati'), che segnano la transizione al Rosso ad Aptici. Il contenuto fossilifero è costituito da calciporelle, aptici, foraminiferi, radiolari, e frequenti associazioni a nannofossili calcarei. Spessore: 200-250 m. **TITONIANO SUPERIORE - APTIANO INFERIORE**
- GRUPPO DEL "SELCIFERO LOMBARDO" SM**
ROSSO AD APTICI

 Calcari marnosi, marne calcaree e marne, spesso silicee, di colore prevalentemente rosso, in banchi e strati, con selce rossastra o talora verdognola per lo più disposta in listarelle. Il passaggio con la sovrastante Maiolica è di norma caratterizzato dalla presenza di 'calcarei variegati', rossi e verdognoli, e localmente da facies brecciate (friabili) presso Polviano al Valanginiano inferiore). Sono presenti aptici, belemniti e, nella microlite, anche radiolari, rare spicole di spugna, ostracodi e lamelibranchi pelagici. Calcioriditi a Saccocoma sono presenti nei livelli di età Kimmeridgiana superiore. Spessore: 35-65 m. **KIMMERIDGIANO SUPERIORE - TITONIANO INFERIORE**
- RADIOLARITI DEL SELCIFERO LOMBARDO**

 Selci edicrome in strati centimetrici, di colore prevalentemente verdastro nella parte inferiore e rosso nella parte superiore. Localmente si osservano intercalazioni di marne e argille. Spessore: 35-65 m. **BATHONIANO INFERIORE (?) - KIMMERIDGIANO INFERIORE**
- GRUPPO DI CONCESIO CC**
FORMAZIONE DEI CALCARI MEDOLOIDI

 (corrispondente al membro dei 'Calcarei medoloidi' della formazione di Concesio Auct.) Calcari (calcilutiti) e calcari marnosi grigi, bioturbati con listarelle centimetriche di selce, in banchi e strati separati da marne. Si alternano anche strati calcarenitici gradati e corpi rudolici. Alla sommità si riconosce una litozona caratterizzata da strati sottili rossastri di calcare marnoso siliceo, roccia di lamelibranchi pelagici orientati. Sono presenti ammoniti riferibili alla Z. Opalinum dell'Aaleniano (*Trochoceras* sp., *Leioceras* sp.) e associazioni a nannofossili calcarei. Spessore: 70-130 m. **AALENIANO - BATHONIANO INFERIORE (?)**
- FORMAZIONE DI VILLA GARCINA**

 (corrispondente al membro dei 'Calcarei nocciolari' della formazione di Concesio Auct.) Calcilutiti fini e calcareniti di colore bruno-nocciola, ricamente selciose, in banchi e strati gradati e laminati di natura torbiditica, contenenti frammenti litici e biogeni (abbondanti resti di crocioidi, echinoidi e brachiopodi), intercalate a peliti e calcari marnosi. La base della formazione è caratterizzata da una litozona marnosa basale cui fa seguito un potente corpo rudolico (stupping del Clariatore), esteso tra il Lago d'Isèo e la Val Trompia. Si rinviengono ammoniti e nannofossili calcarei. Spessore: 230-270 m. **TOARCIANO INFERIORE - AALENIANO p.p.?**

- GRUPPO DEL "MEDOLO" MD**
CALCARE DI DOMARO

 (a Ovest del Lago d'Isèo) Calcilutiti grigio-chiare, fino a rosse, localmente selciose, in strati sottili molto regolari, intercalate a marne argillose di colore rosso o verdognolo. Nella porzione superiore della formazione prevalgono alternanze di calcilutiti e marne grigie, gradate e laminare, con liste di selce grigia, in strati piano paralleli. Sono presenti nannofossili calcarei, foraminiferi radiolari, spicole di spugna, sporadici bivalvi, gasteropodi, brachiopodi resti di echinodermi, frequenti ammoniti e più rari nautiloidi e belemniti. Spessore: oltre 500 m. **CARSIANO SOMMITALE - TOARCIANO BASALE**
- Membro superiore**

 (a Est del Lago d'Isèo) Calcari (calcilutiti) e calcari marnosi di colore nocciola, biancastri all'alterazione, con noduli ferruginosi e con rare liste di selce bionda, in banchi metrici generati dal riscaldamento di più strati, alternati ad orizzonti marnosi di spessore decimetrico. Si rinviengono numerose ammoniti, tra cui *Palaipylus* sp., *Fontanelliceras fontanelense*, *Dacyloceras* sp., *Palaipylus* cf. *jeanvirei*, *Licostrophia* cf. *gracia*, *Canavaria* cf. *navensis*, *Emucaloceras* gr. *archimedes*, *Aneiceras* gr. *algotvarum*, *Aneiceras* gr. *bertrandi*. Spessore: 150-180 m. **DOMERIANO INFERIORE p.p. - TOARCIANO BASALE**
- Membro inferiore**

 (a Est del Lago d'Isèo) Banchi di calcare marnoso grigio-azzurro, più chiaro e talora giallognolo all'alterazione, intensamente bioturbato, con noduli ferruginosi e listarelle discontinue di selce, in alternanza con marne scure, frequentemente fossilifere. Le ammoniti presenti sono rappresentate da *Rhynoceras ragazzoni*, *Ariceras* aff. *apertum* sensu MEISTER, *Protogrammoceras* aff. *mariani*, *Fuciceras levinarum*. Spessore: 100-150 m. **CARSIANO SOMMITALE - DOMERIANO INFERIORE p.p.**
- CALCARE DI GARDOONE VAL TROMPIA**

 Calcari (calcilutiti) grigio-nocciola in strati decimetrici, talora bioturbati, alternati a calcareniti fini e calcilutiti spongolite laminare, torbiditiche, ricche di liste e noduli di selce da marronina a grigio-bluastro. Si riconoscono tra le ammoniti: *Rhynoceras* aff. *simulans subplanulata*, *Protogrammoceras* gr. *melahense-precucini*, *Metaderoceras* cf. *gemmatarii*, *Uptonia* cf. *jamiesoni*, *Amioceras* sp. Alla base dell'unità breccia e megabreccia per lo più di 'Corna', localmente idromolizzate ('Breccia Basali' GVT). Spessore: fino ad oltre 400 m. **HETTANGIANO p.p. (?) - CARSIANO SUPERIORE**

Stralcio della carta geologica dell'area di interesse (foglio CARG 099 - Iseo) - non in scala.

Dal punto di vista geologico, il territorio in esame si inquadra nel Bacino Triumplino-Sebino, ovvero la parte orientale del Bacino Lombardo. A partire dall'Hettangiano, si depositano nel Bacino le facies pelagiche ed emipelagiche del Gruppo

del Medolo (Calcarea di Gardone Val Trompia e Calcarea di Domaro), e della Formazione di Concesio (Calcarea di Villa Carcina e Calcari Medoloidi). Nel corso del Calloviano l'interruzione dell'attività tettonica, che aveva provocato già a partire dall'Hettangiano lo smantellamento delle piattaforme carbonatiche (Albenza, Corna e Calcarea di Sedrina), porta alla deposizione delle Radiolariti del Selcifero Lombardo. Le condizioni bacinali che seguono nel Giurassico superiore e nel Cretacico inferiore determinano la deposizione del Rosso ad Aptici e della Maiolica.

Le formazioni sopra citate costituiscono il substrato roccioso del versante, dove si ritrovano in modo ordinato con le unità più profonde (Domaro) alla base e le unità più superficiali (Maiolica) in sommità.

I membri del Gruppo del Medolo comprendono: il Calcarea di Gardone Val Trompia e il Calcarea di Domaro. Il primo è costituito da calcari quasi puri, da chiari a nerastri, selciosi, ben stratificati, con interstrati marnoso-argillosi, mentre il Calcarea di Domaro, consiste in calcari più o meno marnosi, da grigi a bruni o biancastri, talora selciosi e con intercalazioni di marne e argilliti. Il limite superiore è con le formazioni del Gruppo di Concesio. Di quest'ultimo affiorano nell'area di interesse la Formazione di Villa Carcina e i Calcari Medoloidi. La prima è caratterizzata da calcari marnosi, talvolta arenacei, da nocciola chiaro a grigi, ben stratificati, con selci talora policrome in letti e lenti e con intercalazioni marnose grigio-verdine. I calcari Medoloidi invece sono costituiti da calcari, spesso molto marnosi, di colore grigiastro, con selci, ben stratificati, separati da giunti marnoso argillosi fogliettati. Il limite inferiore è dato dal Medolo e quello superiore dal Selcifero Lombardo con cui risulta concordante. Quest'ultimo affiora nella zona sommitale del bacino dello Zuccone dell'area in esame ed è costituito da due sotto unità: Radiolariti, con selci policrome (rossastre in prevalenza) e Rosso ad Aptici, con marne e calcari marnosi o calcari selciosi, ben stratificati, frequentemente accompagnate da interstrati marnosi o argillosi. Il limite superiore con la Maiolica è netto e concordante così come il passaggio alla base con la Formazione di Concesio. Procedendo sempre verso monte, il substrato diviene Maiolica, consistente in calcari biancastri, compatti, a frattura concoide, ben stratificati, con suture stilolitiche, con presenza di selci bionde o azzurre; tale facies passa verso l'alto a calcari marnosi, grigiastri, con selci scure, che si alternano con marne fogliettate verdi e grigio scure. Nell'area in esame, queste unità sono coinvolte in una struttura a piega sinclinale che determina la ripetizione delle dette unità lungo i due fianchi di Costa Gelé e ne conferisce un aspetto più fratturato man mano che ci si avvicina verso l'asse di piega.

I versanti sono mantellati da coperture di carattere colluviale costituite da coltri di materiale detritico, generalmente fine (sabbie e limi) prodotto da alterazione "in situ" o selezionato dall'azione mista delle acque di ruscellamento e della gravità (subordinata), con a luoghi clasti a spigoli vivi o leggermente arrotondati.

Specialmente sul versante destro idrografico è possibile distinguere corpi ghiaiosi riconducibili a depositi di colata o frana superficiale, che si inframezzano ai sedimenti eluvio-colluviali.

Il versante destro presente invece un maggiore affiorare e subaffiorare del substrato calcareo e i depositi superficiali assumono un carattere maggiormente argilloso.

In prossimità del torrente sono visibili antichi depositi torrentizi, costituiti da ghiaie spigolose immerse in matrice limo-sabbiosa in quantità variabile, localmente cementate.

Lungo il versante destro, in prossimità della confluenza con il Gombiera, sono presenti riporti di natura antropica.

Il deposito presente nella zona di confluenza, corrispondente al detrito trasportato dall'evento del 2024, è costituito da un mix di ghiaie spigolosi a supporto di matrice limo-argillosa. Stando a dati di indagini pregresse, in questa zona il substrato si colloca a profondità ridotte, nell'ordine di 7-10 m.

A livello geomorfologico si registra una certa instabilità superficiale dei versanti, favorita dalla plasticità e dal ridotto spessore dei depositi eluvio-colluviali, caratteristiche che ne favoriscono la saturazione, l'elevato degrado con la presenza di acqua e la tendenza a fluidificare una volta mobilitati; a testimonianza si osservano processi di colata non incanalata e frana superficiale tuttora attivi, specialmente sul versante idrografico destro.

La presenza di circuiti idrici superficiali poco organizzati (impluvi, solchi di ruscellamento concentrato) favorisce il trasporto del materiale fino allo Zuccone, da cui può essere ripreso e trasportato a valle in fase di piena.

Si evidenzia quindi una certa connessione tra processi di versante e processi torrentizi.

La circolazione idrica avviene prevalentemente con processi di ruscellamento superficiale variamente concentrato in impluvi effimeri o intermittenti, che spesso non confluiscono nello Zuccone ma terminano spagliando su deposito, dove in fase di precipitazione si generano quindi punti di saturazione e preferenziale innesco di franamenti superficiali.

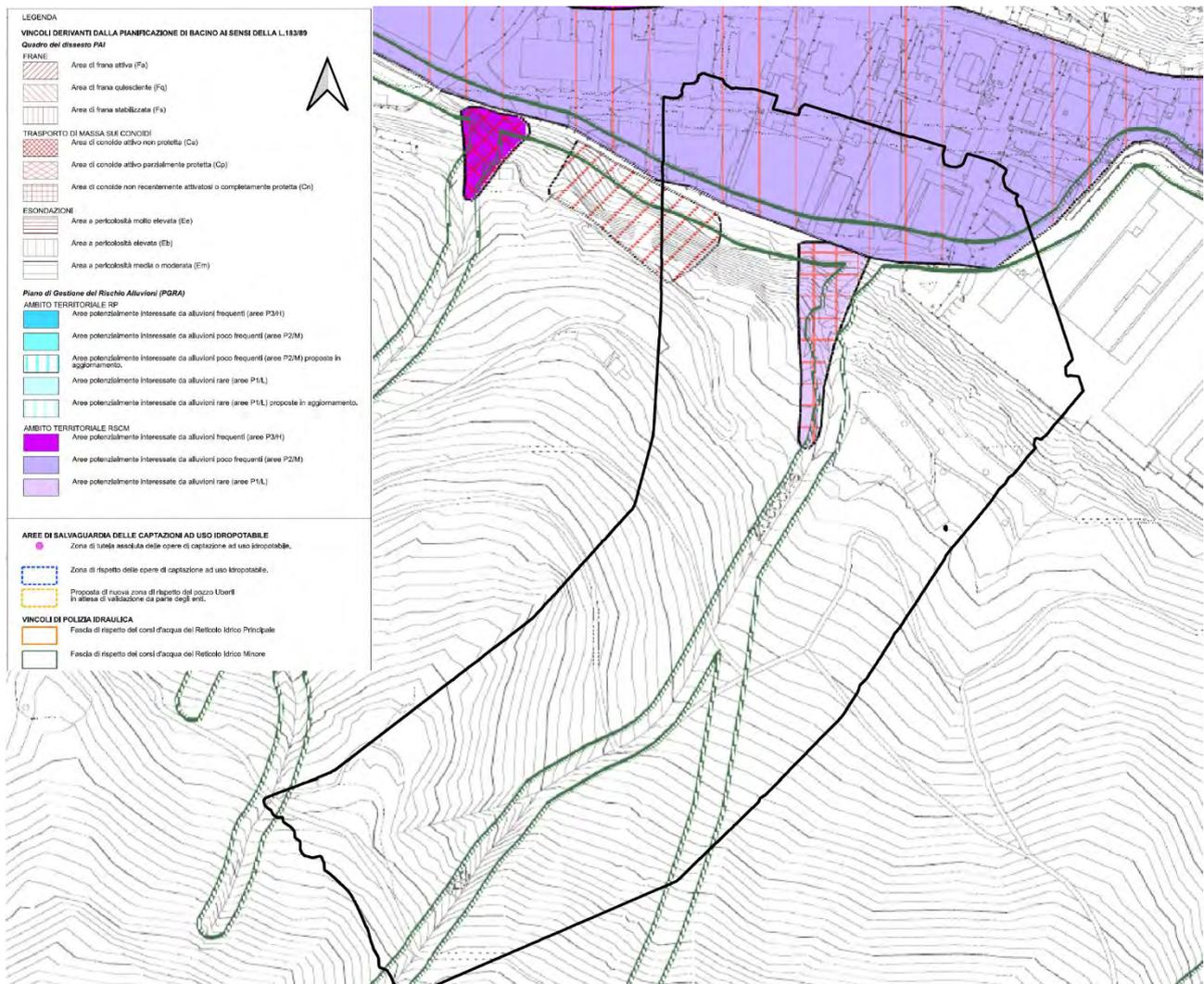
L'Inventario dei Fenomeni Franosi d'Italia indica la possibile presenza di strutture connessi a movimenti franosi a grande scala, attualmente non attivi, che interessano buona parte del bacino dello Zuccone. Tali elementi sono stati dedotti da fotointerpretazione: non si sono osservati particolari indici in questo senso durante i sopralluoghi eseguiti.

Quadro vincolistico vigente

I dati qui riportati sono desunti da quelli resi disponibili presso il Geoportale della Regione Lombardia e tramite il PGT comunale di Sarezzo (BS).

PAI e PGRA

L'area in esame risulta in parte compresa in perimetrazioni di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetto (Cn) corrispondenti allo scenario L (evento raro) dell'ambito RSCM del PGRA.

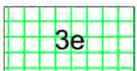
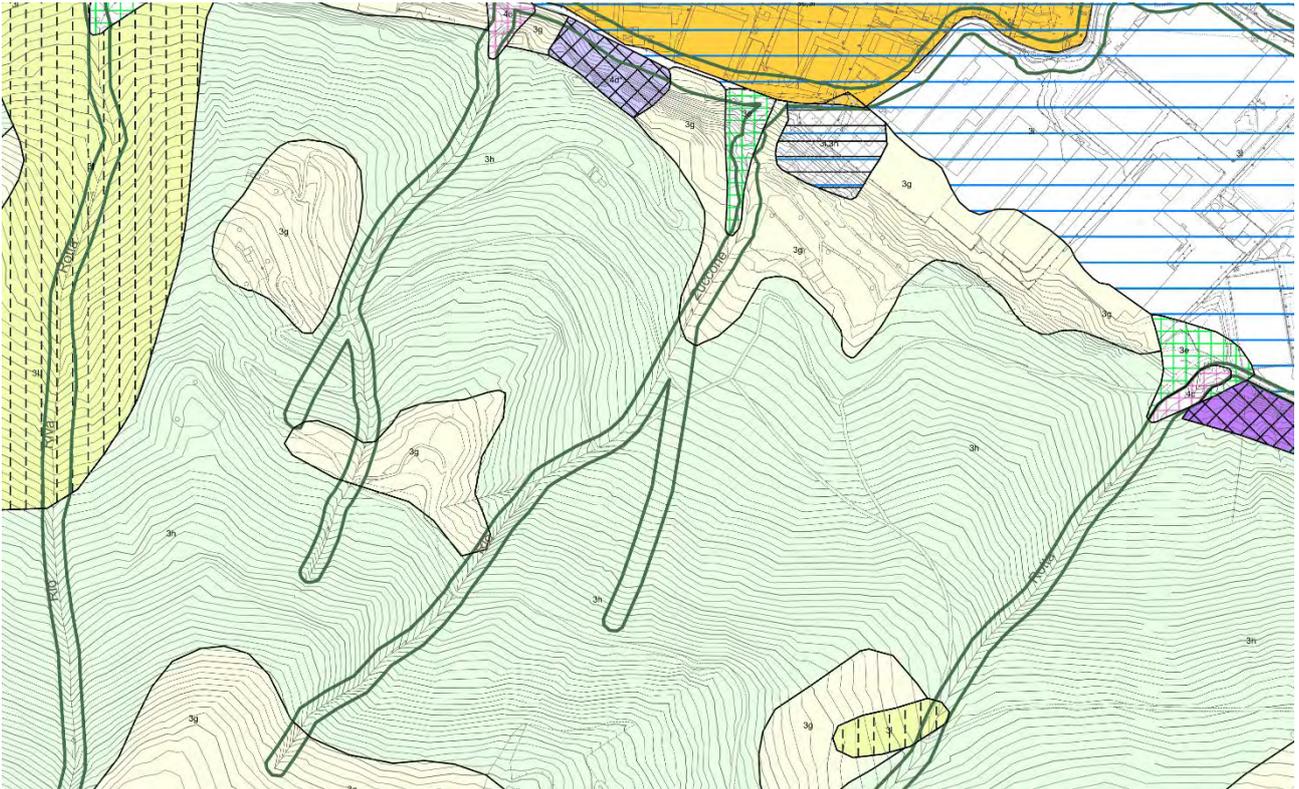


Stralcio della cartografia PAI e PGRA, in azzurro il settore in esame – non in scala.

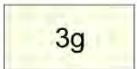
Per queste perimetrazioni le norme PAI-PGRA rimandano alla pianificazione di piano, per cui i vincoli applicati sono esposti nel seguente paragrafo "Fattibilità geologica".

Fattibilità geologica

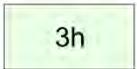
Secondo quanto riportato dalla mosaicatura della fattibilità, le aree in studio ricadono in Classe di fattibilità 3 (consistenti limitazioni alla destinazione d'uso dei terreni), per via delle acclività locali da medie ad elevate e per la possibilità di fenomeni di trasporto in massa su conoide a pericolosità media o moderata (aree Cn PAI).



3e - Aree potenzialmente interessate da trasporto di massa e flusso di detrito su aree di conoide a pericolosità idraulica H3 (area Cn del PAI)



3g - Aree con versanti mediamente acclivi e di pregio paesaggistico (aree boscate e di pascolo) impostati su coperture detritico-colluviali e depositi eluviali



3h - Aree con versanti da mediamente acclivi ad acclivi, prevalentemente rocciosi

Cartografia della Fattibilità estratta dal PGT comunale – non in scala.

Per queste perimetrazioni le norme geologiche di piano non pongono particolari vincoli per la realizzazione di opere di mitigazione del dissesto come quelle in progetto, all'infuori dell'attenzione a non peggiorare il deflusso delle acque superficiali e sotterranee e a non eseguire scavi e sbancamenti senza adeguati sostegni al versante.

IFFI – Inventario dei Fenomeni Franosi d'Italia

A titolo informativo si riporta anche la cartografia relativa all'Inventario dei Fenomeni Franosi d'Italia (IFFI), benché non abbia valore vincolistico e quindi non aggiunga informazioni al quadro sin ora descritto al di là del suo valore informativo. Come descritto nei capitoli introduttivi di questo elaborato, la cartografia IFFI riporta la presenza di un ampio corpo di frana di scivolamento rotazionale-traslato con stato di attività valutato quiescente. La perimetrazione è stata ottenuta per fotointerpretazione.

FASE DI INDAGINE



Stralcio della cartografia IFFI e relativa legenda, in azzurro il settore in esame – non in scala.

FASE DI INDAGINE

Pericolosità Sismica Locale

La carta di Pericolosità Sismica Locale (PSL) allegata al PGT comunale colloca il settore terminale dello Zuccone in classe Z4 (area con possibili amplificazioni litologiche – stratigrafiche); l'analisi sismica di secondo livello condotta nell'ambito del PGT comunale indica che i depositi di conoide possono essere descritti da un suolo di tipo C con Fa minore della soglia comunale, mentre i depositi di versante sono categorizzati come suolo E con Fa minore della soglia comunale.



AMPLIFICAZIONE DOVUTA ALLA LITOLOGIA

- Depositi Alluvionali : ghiaia e sabbia , $Fa (0,1 - 0,5) = 1.27$ e $Fa (0,5 - 1,5) = 1.08$.
< soglia comunale
- Depositi di versante : suolo tipo E, $Fa < \text{soglia comunale}$
- Depositi di Conoide : suolo tipo C, $Fa < \text{soglia comunale}$

Carta della PSL allegata al PGT comunale – non in scala.

FASE DI ELABORAZIONE E INTERPRETAZIONE DEI DATI

Analisi morfometrica del bacino

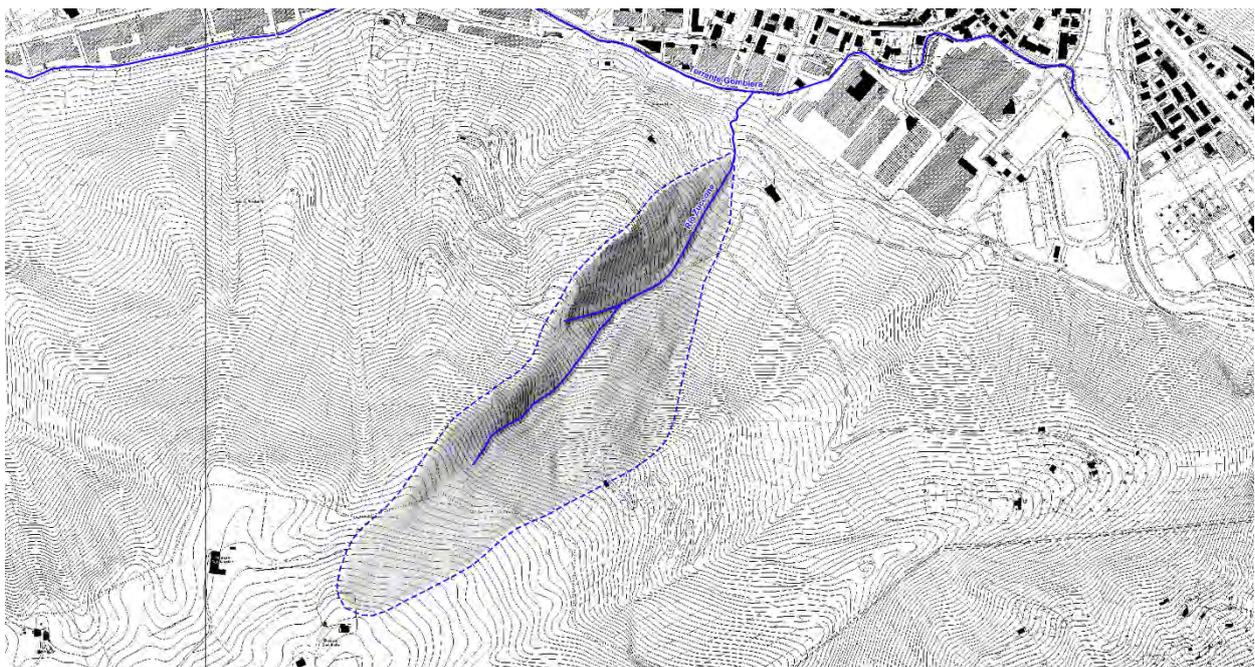
L'analisi morfometrica e delle caratteristiche intrinseche del bacino sono state effettuate sulla base del DTM con passo 5 m della Regione Lombardia.

Per bacino idrografico si intende l'entità geografica costituita dalla proiezione su un piano orizzontale della superficie scolante sottesa alla sezione di chiusura.

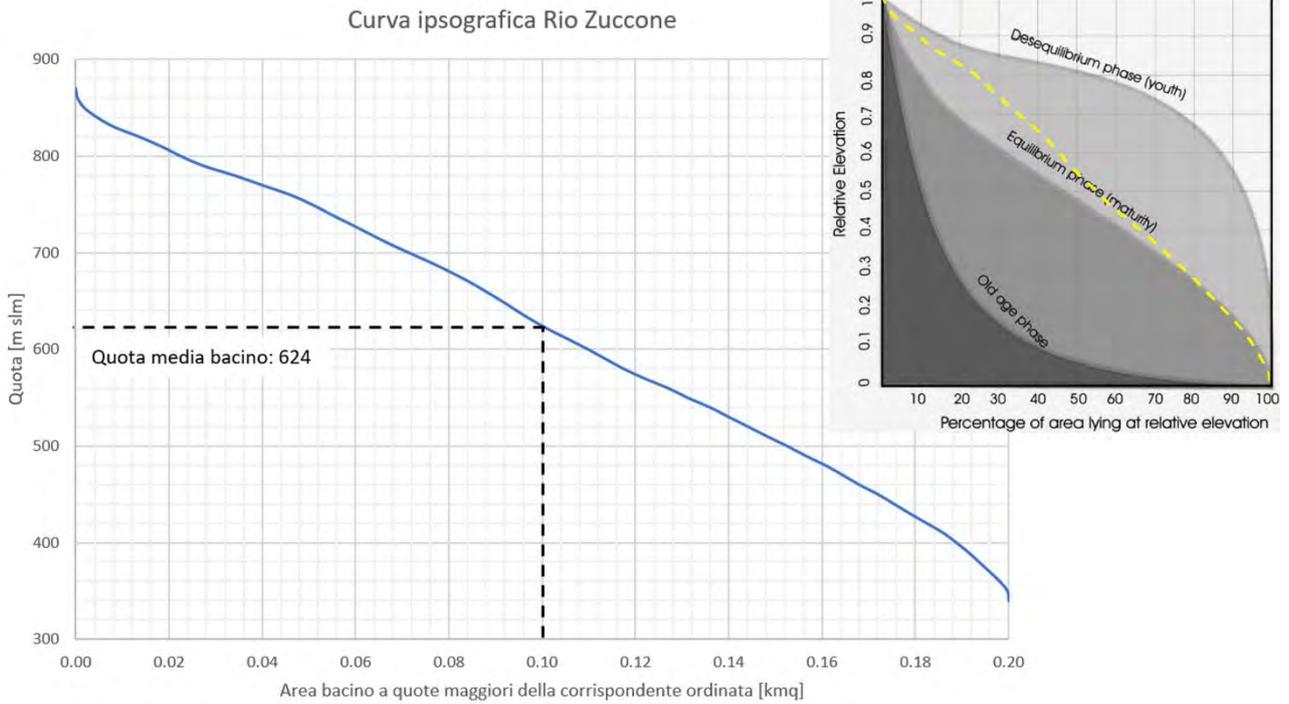
A seguire riportiamo parametri morfometrici determinati per il bacino idrografico del Rio Zuccone.

Attraverso il DTM di Regione Lombardia sono stati ricavati i dati per il tracciamento della curva ipsografica del bacino, che si sviluppa tra le quote 863 e 347 m slm circa (il bacino è stato chiuso in coincidenza dell'inizio dell'area di deposito), con una quota media di 624 m slm; l'area totale planimetrica è di 0.2 kmq, con una lunghezza dell'asta principale pari a 850 m.

La curva ipsografica segue un andamento che descrive un bacino che può essere considerato in evoluzione verso uno stadio maturo: si osserva in particolare una certa sovrabbondanza di area a quota più elevata dell'andamento ideale per un bacino maturo (linea gialla nell'immagine nella pagina successiva). Questa caratteristica è verosimilmente dovuta principalmente all'affiorare diffuso di substrato nelle zone centrali e alte del bacino, che ostacolano l'erosione e quindi l'abbassamento della quota media; va però tenuto conto che si tratta di un bacino molto piccolo, in cui la testata di fatto non è percorsa da corsi d'acqua stabili e, quindi, non è soggetta agli stessi processi di erosione caratteristici del tratto di sviluppo dello Zuccone: questo è vero per tutti i bacini, ma per quelli di maggiore estensione il peso di queste aree è molto ridotto rispetto allo sviluppo complessivo, mentre per bacini piccoli esse possono essere una percentuale significativa, come accade proprio per lo Zuccone. È quindi necessario tenere conto di questi aspetti nel formulare qualsiasi considerazione sullo sviluppo del torrente basate sull'andamento della ipsografica.



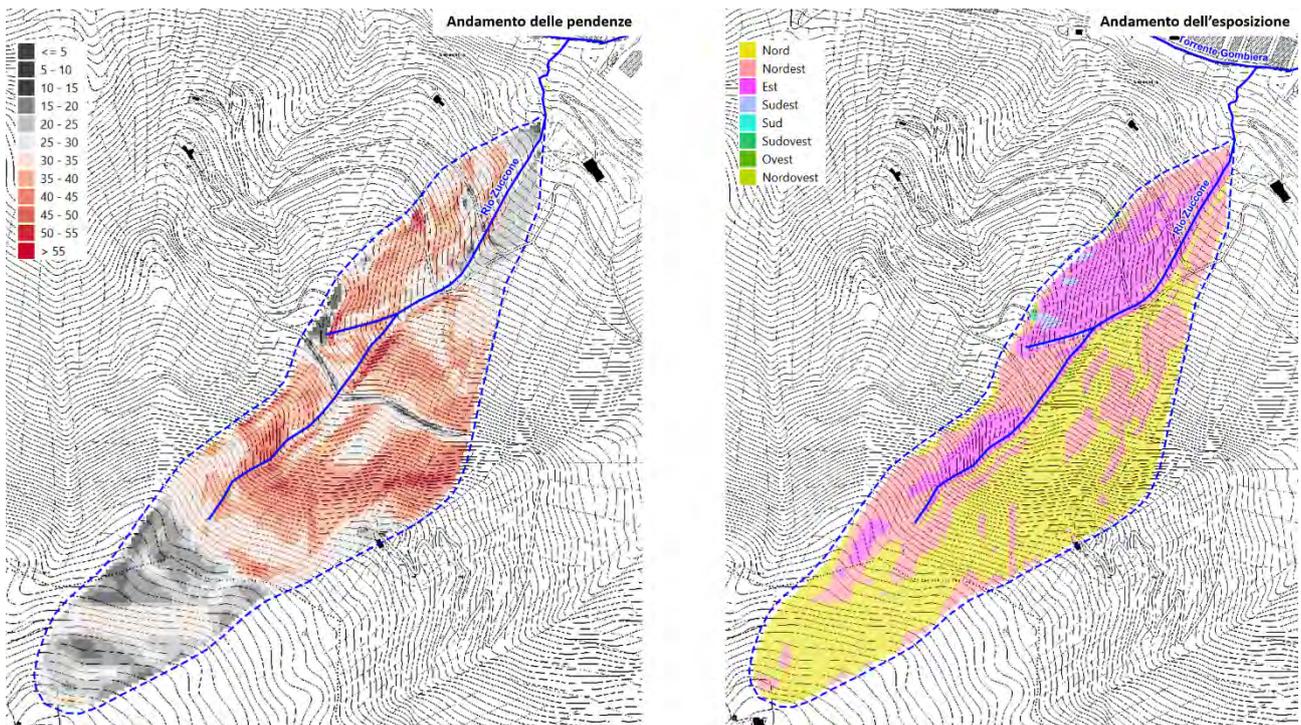
Stralcio del bacino del Rio Zuccone



Curva ipsografica del Rio Zuccone in valori assoluti (grafico con linea azzurra) e curva ipsografica in valori relativi (linea gialla) sovrapposta alle curve tipo per bacini a diverso grado di evoluzione.

Pendenza ed esposizione bacino

Sempre sfruttando il DTM a 5 m di Regione Lombardia è stato possibile ricavare in ambiente GIS le carte della pendenza e dell'esposizione del bacino. Si nota in particolare la presenza di ampie zone ad elevata pendenza nella fascia centrale del bacino, caratterizzata da più diffuso affiorare del substrato e dalla posizione a mezza costa.



Stralci della carta della pendenza e dell'esposizione del bacino del Rio Zuccone - non in scala.

Calcolo delle portate liquide

Nello studio idraulico di un corso d'acqua la variabile fondamentale è la portata di massima piena. Tale variabile deve essere associata ad un tempo di ritorno T_r che indica il numero di anni in cui la portata è raggiunta o superata in media una sola volta. Il T_r va scelto in base alle normative vigenti, al rischio ed al tipo di sistemazione del bacino. In questo studio si tengono in considerazione tempi di ritorno di 20, 100 e 200 anni. I metodi adottati per la stima della portata al colmo sono i seguenti:

- Metodo razionale;
- Metodo razionale modificato.

Si tratta di metodologie standard che tuttavia non danno un pieno riscontro con la situazione di forte cambiamento climatico e soprattutto di modifica del regime delle precipitazioni. Purtroppo, le serie storiche disponibili, anche se non adeguate alla situazione, sono le uniche che in questo momento è possibile considerare. I valori così ricavati vanno pertanto presi con cautela e considerati come riferimento per una stima di massima. Di fatto valgono per un dimensionamento di massima della sezione di deflusso sapendo che in caso di trasporto solido ed eventi estremi localizzati tali valori possono essere anche superati. Da qui si ribadisce la necessità di mantenere le opere idrauliche realizzate con un'attività costante e programmata.

Metodo razionale

Il metodo indiretto di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi, come indicato dalle direttive PAI dell'Autorità di Bacino del Po (Legge 18 maggio 1989 n. 183) è condotto utilizzando la seguente formula di calcolo della portata critica Q_c (assumendo nota la precipitazione temibile di assegnato tempo di ritorno):

$$Q_c = \phi \cdot S \cdot i(d_c, T_r, r) \cdot \varepsilon$$

Φ indica il coefficiente di deflusso, S l'area del bacino in kmq, i è l'intensità di precipitazione in funzione della durata critica d_c , del tempo di ritorno T_r e del coefficiente di ragguglio r , infine ε è il coefficiente di laminazione.

Il tempo di corrivazione T_c viene determinato con la formula proposta da Giandotti:

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{h_m - h_0}}$$

S indica la superficie del bacino in kmq, L la lunghezza dell'asta principale, h_m l'altezza media del bacino in m slm e h_0 la quota della sezione di chiusura in m slm.

Le altezze di pioggia vengono calcolate in funzione della linea segnalatrice di possibilità climatica ($h_d = adn$) relativa alla cella della griglia di discretizzazione delle piogge intense (cfr. All. 3 della Direttiva n. 2 PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Po).

cella	Tr = 20 anni		Tr = 100 anni		Tr = 200 anni	
	a	n	a	n	a	n
EQ71	43.94	0.327	55.79	0.325	60.88	0.324

La portata di massima piena viene quindi definita secondo:

$$Q_c = 0,278 \frac{\phi \cdot h_d \cdot S}{T_c}$$

Di seguito sono riassunti i risultati ottenuti:

METODO RAZIONALE	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [m ³ /s]
20	2.9
100	3.8
200	4.1

Metodo razionale modificato

L'analisi viene condotta con riferimento alle indicazioni dello studio di Ranzi, Mariani, Rossini, Armanelli e Bacchi sull'Analisi e sintesi delle piogge intense nel territorio bresciano (1999). L'altezza di pioggia viene qui ipotizzata appartenente ad una popolazione la cui funzione di probabilità è la distribuzione asintotica del massimo valore, nota come distribuzione di Gumbel. Di seguito si riportano le formule che hanno portato alla stima della portata.

Per il calcolo dell'altezza di pioggia si utilizza la seguente relazione:

$$h = a_T T_c^{m_1}$$

Posto:

$$a_T = m_1 \left\{ 1 - \frac{CV\sqrt{6}}{\pi} \left[\varepsilon + \text{Ln} \left(\text{Ln} \left(\frac{T}{T-1} \right) \right) \right] \right\}$$

(T è il tempo di ritorno e ε il numero di Eulero)

$$T_c = \frac{3,3\sqrt{S + 3,2L}}{0,8\sqrt{h_m - h_0}}$$

(S è l'area del bacino L è la lunghezza dell'asta principale)

Per il calcolo della portata al colmo si utilizza quindi la seguente formula:

$$Q_c = \frac{1}{3,6} \phi \cdot r \cdot S \cdot a_T \cdot T_c^{m_1-1}$$

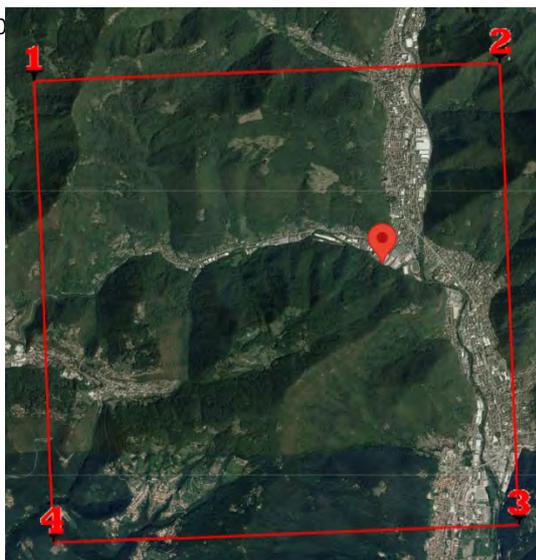
Dove φ indica il coefficiente di afflusso locale, e r è un coefficiente che dipende dall'area del bacino e dal tempo di corrivazione.

Le elaborazioni svolte sono riportate in allegato. Di seguito sono riassunti i risultati ottenuti:

METODO RAZIONALE MODIFICATO	
TEMPO DI RITORNO [anni]	PORTATA DI MASSIMA PIENA [m ³ /s]
20	2.2
100	4.3
200	5.2

Caratteri sismici del sito

Regione Lombardia, con D.g.r. 11 luglio 2014 – n.° X/2129 pubblicata sul BURL n° 29 Serie Ordinaria del 16 luglio 2014, ha aggiornato la classificazione sismica dei comuni lombardi: tale classificazione è in vigore, dopo alcune proroghe, dall'aprile 2016 e prevede ora, per il comune di Sarezzo (BS), la zona sismica 3. Mediante un'estensione del Software GeoStru (*GeoStru PS*) è possibile avere i parametri sismici generali di una qualsiasi zona, con riferimento ad un substrato rigido orizzontale (classe di sottosuolo A). Il software si basa sulla posizione geografica dell'area per la definizione dell'accelerazione sismica prevista; questa a sua volta è definita in determinati punti che formano una maglia di valori di accelerazione estesa a tutto il territorio nazionale. Per la zona di interesse, i dati di accelerazione che si ottengono sono riportati nella figura seguente. Alla situazione semplificata così ottenuta, bisogna aggiungere le caratteristiche del sito, in particolare l'amplificazione stratigrafica causata dai depositi (dove presenti) e quella topografica. Per valutare questi due aspetti si sono utilizzati i dati forniti dal PGT che indicano l'utilizzo di un suolo di categoria C per le aree comprese nel tratto 1 e un suolo di categoria E per le aree comprese nei tratti 2 e 3 non direttamente impostate in substrato. Tali categorie potranno essere confermate con successive indagini se ritenuto necessario. A livello topografico, si ritiene adeguato l'utilizzo di una categoria topografica T2 per tutte le aree di progetto. Si sottolinea che questi dati sono forniti in via indicativa; la loro esatta definizione è impossibile in assenza di apposite prove sismiche sito-specifiche, prove che p



stato es:

Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale 50

Interpolazione Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	F _o	Tc' [s]
Operatività (SLO)	30	0.039	2.469	0.210
Danno (SLD)	50	0.052	2.414	0.231
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.140	2.424	0.278
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.180	2.451	0.287

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50

Sopra: ubicazione dell'area di studio rispetto alle maglie di calcolo; a destra: l'output del software GeoStru PS per un suolo di categoria A e classe topografica T1

 Cat. Sottosuolo	C			
 Cat. Topografica	T2			
	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,44
CC Coeff. funz categoria	1,76	1,70	1,60	1,58
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20
<input type="checkbox"/> Acc.ne massima attesa al sito [m/s ²]	↔ 0,6			
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.014	0.019	0.061	0.075
kv	0.007	0.009	0.030	0.037
Amax [m/s ²]	0.688	0.922	2.475	3.052
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

 Cat. Sottosuolo	E			
 Cat. Topografica	T2			
	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,60	1,60	1,60	1,51
CC Coeff. funz categoria	2,15	2,07	1,92	1,89
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20
<input type="checkbox"/> Acc.ne massima attesa al sito [m/s ²]	↔ 0,6			
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.015	0.020	0.065	0.078
kv	0.007	0.010	0.032	0.039
Amax [m/s ²]	0.734	0.984	2.640	3.200
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

Parametri di calcolo per la verifica di stabilità di pendii e fondazioni per un suolo A (sinistra) e B (destra), per la categoria topografica T1.

Considerazioni in merito alla liquefazione dei terreni

Le Norme Tecniche per le costruzioni richiedono una verifica alla suscettibilità di liquefazione dei terreni su cui insiste il progetto: *"Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione"* (art. 7.11.3.4.1 DM 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni").

Al capitolo 7.11.3.4.2 dello stesso decreto (*Esclusione alla verifica di liquefazione*) è riportato che:

"La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$."

Nel caso in esame, i sedimenti presenti non interessati dalla presenza di una falda idrica continua e permanente. Si tratta inoltre di depositi misti, non costituiti da sabbie fini pulire. Questi fattori portano a ritenere che la liquefazione dei terreni presenti si associ a una **condizione di rischio bassa o nulla.**

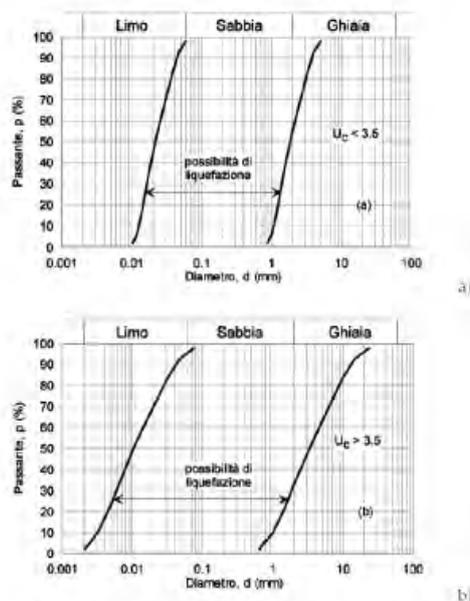


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

SINTESI E CONCLUSIONI

Dinamica del torrente

Come ampiamente descritto nei capitoli precedenti, la dinamica del torrente pare essere strettamente legata alla connessione tra processi di versante e processi fluviali-torrentizi.

È infatti stata osservata la presenza di processi che dal versante portano deposito entro l'alveo dello Zuccone: franamenti superficiali e colate su versante sono i meccanismi più osservati in questo senso. Tali fenomeni di franamento e trasporto possono assumere un carattere graduale e ordinario, con il continuo verificarsi di franamenti e colate di modesta dimensione che progressivamente spostano il sedimento verso il basso, oppure un carattere maggiormente impulsivo, verosimilmente determinato da eventi di intensa o prolungata piovosità, che può vedere l'evoluzione di colate e frane più diffuse e in grado di apportare maggiori quantità di sedimento in alveo in breve tempo.

La presenza della vegetazione d'alto fusto genera spesso sbarramenti del torrente per la presenza di piante sradicate e abbattute: tali sbarramenti concorrono a creare accumuli di deposito la cui stabilità dipende strettamente dalla resistenza dello sbarramento.

Lungo il torrente la dinamica ordinaria è costituita dal deflusso liquido con carattere intermittente ed effimero, strettamente collegato alle precipitazioni. La variazione della portata in questi casi è tipicamente repentina sia in aumento sia in riduzione. In tal senso, l'assenza di importanti depositi in grado di favorire l'infiltrazione e il successivo lento rilascio delle acque (una sorta di serbatoio di laminazione naturale), favorisce ulteriormente la rapida evoluzione delle onde di piena.

In caso di portate particolarmente elevate si possono innescare fenomeni di erosione di fondo e laterali, predisponendo alla formazione di colate detritiche: in tal caso la presenza di materiale mobilitabile in alveo è un elemento critico. In caso sia presente un accumulo in alveo, determinato da apporti di materiale dai versanti o dallo sbarramento per la presenza di alberi abbattuti, il materiale può essere mobilitato in massa e propagarsi verso il basso con forme di colata incanalata, la cui energia può essere sufficiente a erodere sponde e versanti e abbattere eventuali sbarramenti sottostanti, acquistando ulteriore materiale e aumentando così di volume.

È chiaro che queste situazioni sono innescate da eventi di precipitazione impulsiva ad elevata intensità, come successo nel 2024, che generano importanti portate liquide in relazione all'estensione del bacino; è però altrettanto evidente che, se si evita l'accumulo o la facile rimobilitazione del materiale in alveo e sulle sponde, si possono significativamente mitigare la possibilità di innesco e la magnitudo dei fenomeni di colata.

La problematica legata al verificarsi di episodi analoghi a quello del 2024 è connessa al fatto che il materiale trasportato può completamente sbarrare il Gombiera, causandone lo straripamento e quindi inondazione delle aree circostanti.

Obiettivo del progetto sarà quindi la stabilizzazione del torrente per ridurre il carico solido, ma anche la cattura del materiale trasportato prima che raggiunga il Gombiera.

In questo senso si evidenziano alcune criticità insite sia nella dinamica del torrente sia nel mantenimento della prestazione delle opere di consolidamento dell'alveo nel tempo:

- il tratto centrale del torrente (tratto 2) appare come il più critico per la possibilità di erodere materiale e generare colate detritiche, per la combinazione di pendenze elevate e disponibilità di depositi sia in posto (vecchi depositi

torrentizi) sia trasportati (colamenti e frane dai versanti). Il tratto 3, pur essendo caratterizzato da maggiori pendenze, appare meno critico per l'assenza di importanti depositi mobilitabili. Può tuttavia essere un tratto in cui il deflusso acquista velocità per poi incidere sul tratto a valle.

- entro il tratto 2 sono presenti due punti particolarmente critici: in corrispondenza del ponticello si è osservata, in sinistra idrografica, la testata di un corso d'acqua secondario che poi confluisce nello Zuccone. La testata è divisa dal corso dello Zuccone da un modesto setto in terra, in un punto in cui lo zuccone compie una chiara curva verso destra e quindi tende a incidere sulla sinistra. In caso lo Zuccone si incanalasse lungo questo alveo secondario, avrebbe a disposizione ingenti quantità di depositi da mobilitare, il che ne aumenterebbe significativamente la pericolosità. Un secondo punto di criticità è presente proprio alla confluenza tra questo impluvio e lo Zuccone, dove quest'ultimo compie due strette curve, prima a sinistra e poi a destra, indotte dalla presenza di un accumulo di deposito di probabile frana antica sulla destra. Questa geometria induce una forte erosione in sinistra idrografica proprio a valle della confluenza, il che minaccia la stabilità della sponda stessa, che può evolvere con meccanismi di frana e occludere il corso dello Zuccone.
- in questo tratto si ritiene quindi indispensabile agire introducendo opere trasversali per stabilizzare l'alveo e le sponde in modo da ostacolare l'acquisizione di materiale in fase di piena e favorire invece la deposizione. Va comunque tenuto presente che opere di questo tipo non annullano il trasporto solido e possono non essere sufficienti per arrestare il transito di una colata originatasi a monte; va inoltre considerato che tali strutture possono perdere nel tempo efficacia e prestazioni e quindi la probabilità che si inneschino colate va aumentando in futuro, specialmente in caso di mancata manutenzione delle opere. Queste due considerazioni implicano che sarà necessario prevedere ulteriori spazi di accumulo del deposito nella parte terminale del torrente, in modo da avere più sbarramenti al trasporto del detrito prima che questo possa raggiungere il Gombiera.

Indicazioni tecniche

Quanto finora descritto aiuta a delineare due approcci progettuali concomitanti, finalizzati, da una parte, a ridurre la quantità di materiale che può essere preso in carico dalla corrente di piena e, dall'altra, catturare e trattenere il materiale solido che può essere comunque trasportato.

Il primo aspetto può essere affrontato con la realizzazione di opere di consolidamento dell'alveo (soglie trasversali) e di protezione delle sponde nei punti critici. L'obiettivo è quello di introdurre nel tratto centrale dello Zuccone una serie di salti che consentano di ridurre la pendenza in alveo tra un'opera e l'altra, assetto che favorisce la deposizione e il trasporto graduale del materiale in alveo e limitare la possibilità di franamenti delle sponde o divagazione dell'alveo nei punti critici individuati e descritti.

Queste opere non possono chiaramente impedire che fenomeni di franamento o colata su versante apportino materiale in alveo o che eventuali piante abbattute vadano a generare sbarramento e accumulo di detrito in alveo: permane quindi una certa possibilità che si possano innescare comunque colate detritiche in grado di raggiungere la parte terminale del torrente.

In tal caso, in ragione dell'elevata criticità dello scenario di invasione del Gombiera, si ritiene necessario integrare le opere già realizzate in fase di somma urgenza introducendo un'ulteriore area di accumulo a valle dell'esistente, realizzando uno sbarramento con rete per colate detritiche circa all'altezza dell'attuale guado della pista di cantiere di somma urgenza.

Si ritiene inoltre necessario introdurre opere di stabilizzazione del materiale di colata del 2024, rimodellato nell'assetto attuale. In particolare si dovrà impedire l'erosione del canale e delle sponde, introducendo anche in questo tratto soglie trasversali, difese di sponda e selciato di fondo.

Sarà inoltre opportuno procedere alla stabilizzazione del riporto stesso, sia introducendo opere di captazione e gestione delle acque ruscellanti superficiali e sub-superficiali (canalette, trincee drenanti) sia coprendo il deposito con biostuoie in grado di difenderlo dall'erosione e favorirne la stabilizzazione a lungo termine tramite attecchimento della vegetazione.

Si ritiene infine necessario e utile installare un sistema di monitoraggio delle precipitazioni e del transito di eventuali fenomeni, al fine di gestire in modo più puntuale le allerte meteo di protezione civile e avere un riscontro sull'effettivo sviluppo di fenomeni di colata e sulla loro distanza di propagazione. Si tratta di dati fondamentali sia per la pianificazione delle attività di pulizia del torrente e delle aree di accumulo, sia per la gestione dell'emergenza in caso di dissesto.

Sarà quindi importante prevedere una stazione pluviometrica entro il bacino del Rio, almeno due stazioni a strappo lungo il torrente per l'allerta in caso di transito della colata e un sistema di allertamento sulla barriera per debris-flow in progetto.

A livello di caratteri tecnici dei depositi interessati dalle opere, si consideri che le opere superficiali interagiranno principalmente con depositi di mediocri proprietà, di tipo eluvio-colluviale, torrentizio antico o recente, spesso ricchi di componente fine coesiva e, per il tratto terminale del torrente, recentemente smossi e poco compatti. Si tratta di depositi con spiccata tendenza al degrado con l'aumento della saturazione.

Si consiglia quindi di prevedere, quando possibile, strutture con fondazioni su pali e ancoraggi, almeno per le opere che saranno sottoposte alle maggiori sollecitazioni, come le soglie e le opere di consolidazione del versante.

Particolarmente flessibili in questo caso sono i sistemi di consolidamento e soglia modulari (ombrelli e farfalle) che sono dotate di ancoraggi profondi.

La profondità del substrato non è stata direttamente valutata in questa fase progettuale: dati preesistenti concorrono a indicare che la roccia dovrebbe essere posta a profondità non elevate, nell'ordine di 5-10m per la zona terminale del torrente, ma la variazione in questo senso è sufficientemente significativa da avere delle implicazioni progettuali.

Sarà quindi necessario procedere con una fase di indagine durante la progettazione esecutiva per ridurre questi aspetti di incertezza e per ottenere dei parametri descrittivi basati su prove sito-specifiche.

Salendo di quota il substrato tende ad avvicinarsi alla topografia e lungo l'incisione del torrente è verosimilmente collocato a pochi metri dal piano campagna.

Per questa fase si possono quindi fornire solamente dati indicativi, da confermare con le successive indagini:

- angolo d'attrito: 26-28°;

- coesione efficace: 0 kPa;
- peso unità di volume: 18-19 kN/mc

Dal punto di vista sismico, in assenza di indagini specifiche, si può fare riferimento all'analisi di secondo livello riportata nel PGT comunale che indica come adeguato l'utilizzo di un suolo di categoria C per le aree di conoide (tratto 1 Rio Zuccone) e categoria di suolo E per le opere impostate su versante (tratti 2 e 3). La categoria topografica di riferimento è T2. Si ritiene che il rischio di fenomeni di liquefazione sia basso o nullo.