



**TORRENTE LOC. TERZANA PISOgne BRESCIA INTERVENTO 3.  
MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL TORRENTE TROBIOLO PER L'AREA  
AD ELEVATO RISCHIO IDROGEOLOGICO DI PISOgne CHE INTERESSA  
L'ABITATO, LE INFRASTRUTTURE STRATEGICHE E STORICHE**

**CUP: D58H25000210002, CIG: BA01331ADE**

**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

**RELAZIONE IDRAULICA**



***IL Progettista***

Dott. ing, Fabio A. Fanetti

2



## INDICE

- 1 Premessa;
- 2 Caratteristiche sintetiche e finalità del progetto;
- 3 Inquadramento e ubicazione area di intervento;
- 4 Stato dei luoghi ed elementi di criticità;
- 5 Proposta tecnica di intervento;



## 1 Premessa;

Il presente documento è redatto a supporto del progetto dei lavori di **MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO DEL TORRENTE TROBIOLO PER L'AREA AD ELEVATO RISCHIO IDROGEOLOGICO DI PISOGNE CHE INTERESSA L'ABITATO, LE INFRASTRUTTURE STRATEGICHE E STORICHE CUP: D58H25000210002, CIG: BA01331ADE**, in Comune di Pisogne (Bs). Le opere sono finanziate con Ordinanza del Consiglio dei Ministri n° 1113 del 27 novembre 2024. Nella presente relazione definite le esigenze da soddisfare, le caratteristiche tecniche e funzionali delle opere e la fattibilità degli interventi. Nell'ambito dello studio idraulico dei corsi d'acqua a carattere torrentizio, un criterio di classificazione ampiamente condiviso in letteratura si basa sul regime dominante di trasporto solido. In tale prospettiva, i torrenti possono essere distinti in tre categorie principali: torrenti in erosione, torrenti in trasporto e torrenti in deposito, in funzione del rapporto tra l'energia della corrente e quella necessaria alla mobilitazione e al trasporto del materiale solido. I torrenti in erosione sono caratterizzati da una disponibilità energetica della corrente superiore a quella richiesta per il trasporto del carico solido proveniente da monte. Questa condizione si riscontra tipicamente in alvei a forte pendenza, ove la pendenza di fondo supera quella critica. L'eccesso di energia determina fenomeni di incisione dell'alveo, sia sul fondo sia sulle sponde, con modalità influenzate dalla geometria dell'alveo e dalle caratteristiche geologiche dei versanti. L'erosione risulta generalmente più intensa nei tratti di monte, dove la corrente è meno carica di sedimenti, e comporta nel tempo una tendenza alla riduzione della pendenza dell'alveo stesso. I torrenti in trasporto rappresentano una condizione intermedia, nella quale si realizza un equilibrio dinamico tra l'energia della corrente e quella necessaria al trasporto solido. In tali contesti, i fenomeni di erosione e deposizione risultano complessivamente trascurabili, configurando una situazione di sostanziale stabilità morfologica. Infine, i torrenti in deposito si distinguono per una disponibilità energetica insufficiente a sostenere il trasporto del carico solido. Ne consegue la deposizione progressiva dei materiali e il conseguente innalzamento del fondo alveo. Tali condizioni si riscontrano tipicamente in tratti a debole pendenza, come nelle aree di conoide, dove la diminuzione della velocità della corrente favorisce i processi di sedimentazione. La presente classificazione costituisce un utile riferimento interpretativo per l'analisi dei processi morfodinamici e per la pianificazione degli interventi di gestione e mitigazione del rischio idraulico. Il caso in studio è di un torrente che ha una forte pendenza, dove si è manifestata il fenomeno di una forte erosione a monte e, un deposito a valle. Torrente per la maggior parte secco.

## 2 Caratteristiche sintetiche e finalità del progetto;

Gli interventi previsti, in funzione del contributo assegnato, sono finalizzati alla mitigazione del rischio idraulico del torrente Trobiolo nell'area ad elevato rischio idrogeologico di Pisogne, che interessa l'abitato, le infrastrutture strategiche e storiche. Le opere progettate comprendono: il risezionamento dell'alveo nei tratti interessati da consistenti depositi dovuti all'erosione a monte; la realizzazione di opere trasversali (briglie) fondate su pali lungo la parte alta dell'asta torrentizia, a partire dall'area in corrispondenza del ponticello in legno; il consolidamento della sponda sinistra in corrispondenza della nicchia di frana mediante elementi a "farfalla" (ombrelli); nonché il ripristino, ove possibile, delle briglie esistenti a valle. Attualmente l'asta torrentizia si presenta in condizioni di secca, come evidenziato anche dalla documentazione fotografica. Tuttavia, ai fini del dimensionamento e della verifica delle opere trasversali, si è fatto riferimento al valore di portata indicato nella relazione del dott. geologo Albertelli Luca, pari a 7,50 mc/s per un tempo di ritorno di 200 anni. Le opere in progetto hanno lo scopo di stabilizzare il fondo dell'alveo secondo il profilo attualmente naturalizzato, al fine di prevenire l'erosione delle sponde e contribuire alla stabilizzazione del versante in sinistra idraulica, oggi caratterizzato da condizioni di criticità.



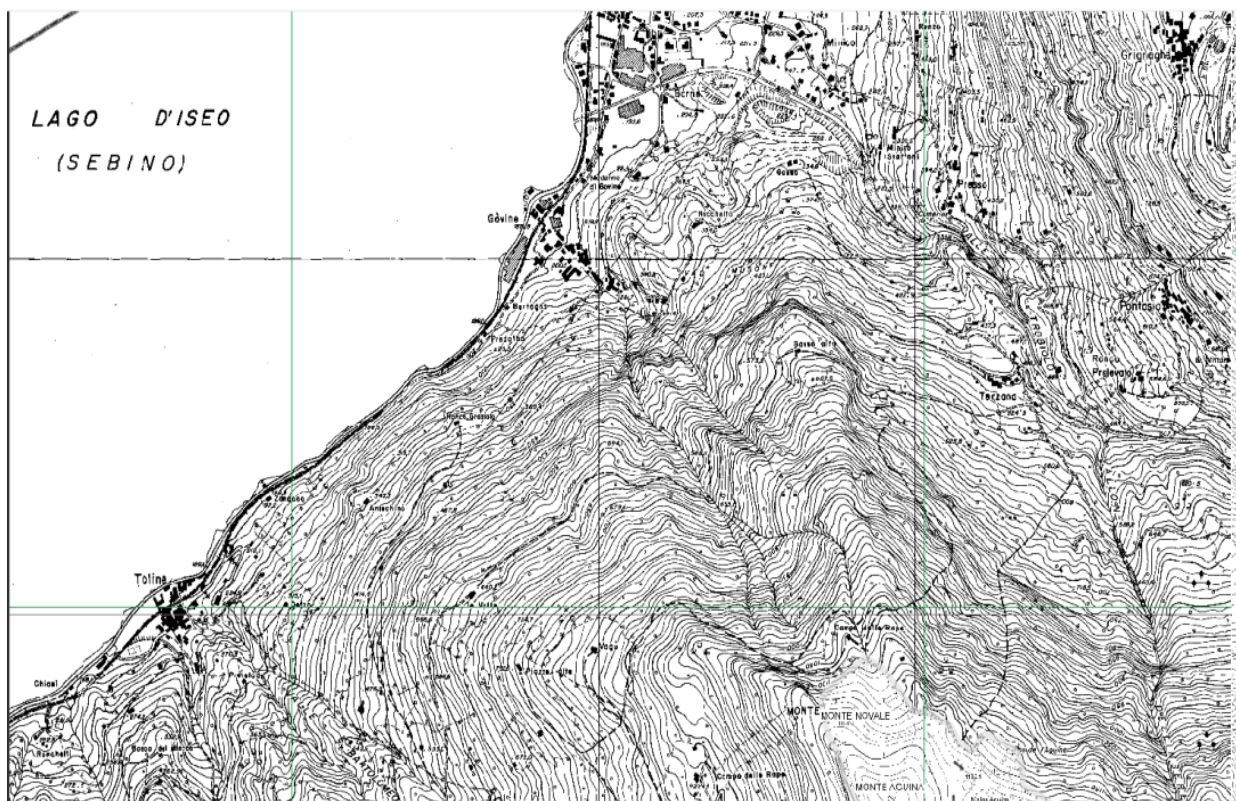
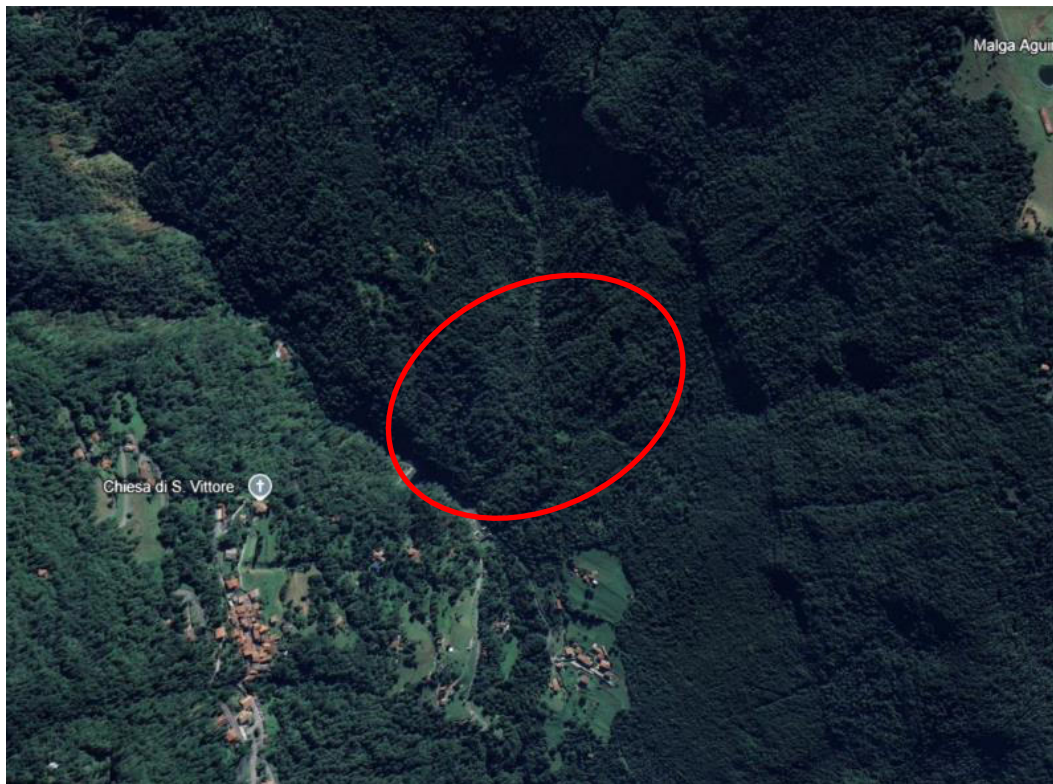


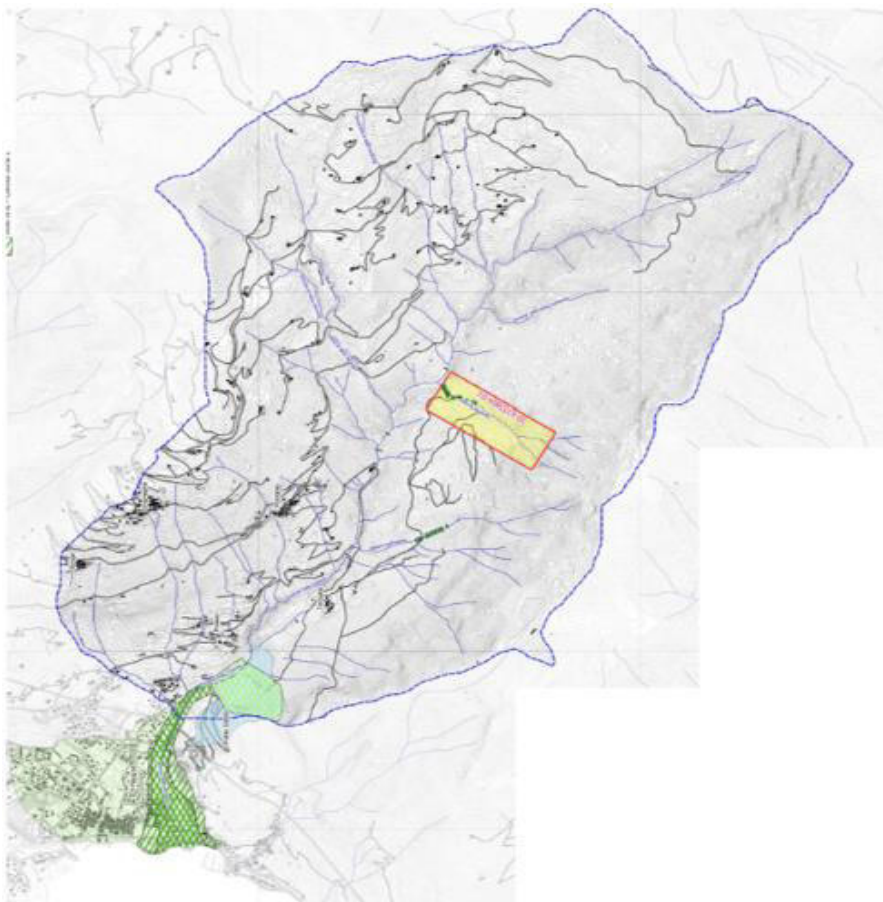
### 3 Inquadramento e ubicazione area di intervento;

Il territorio del Comune di Pisogne in Provincia di Brescia, fa parte della Comunità Montana del Serbino. Il Comune è situato sulla sponda nord-orientale del Lago d'Iseo, nel punto in cui la valle inizia ad aprirsi verso l'interno. Per questo viene spesso considerato la "porta" della Val Camonica: da lì si passa dalla zona del lago al territorio più montano e vallivo che caratterizza la valle stessa.

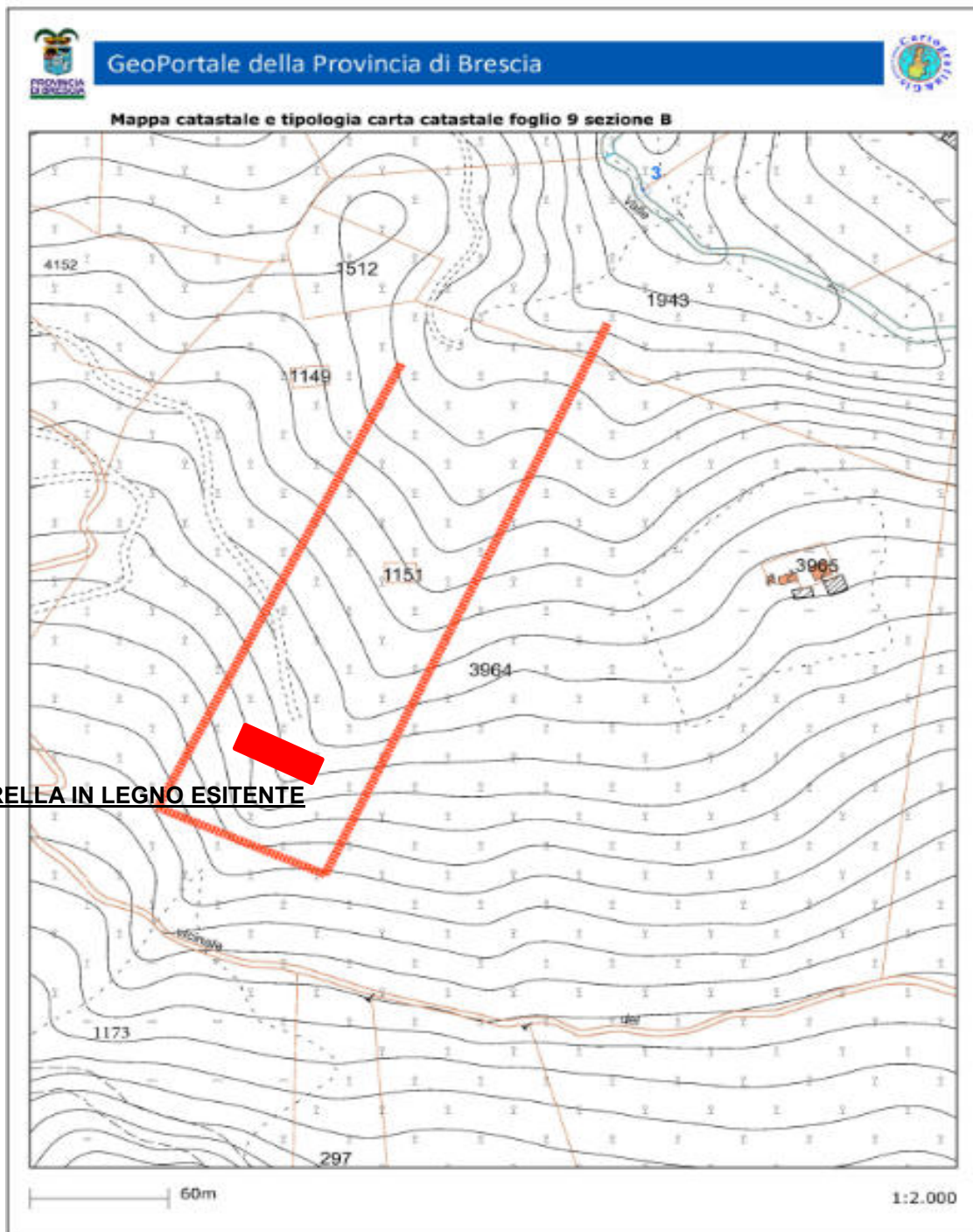
In pratica:

- a sud hai il Lago d'Iseo
- a nord si sviluppa tutta la Val Camonica







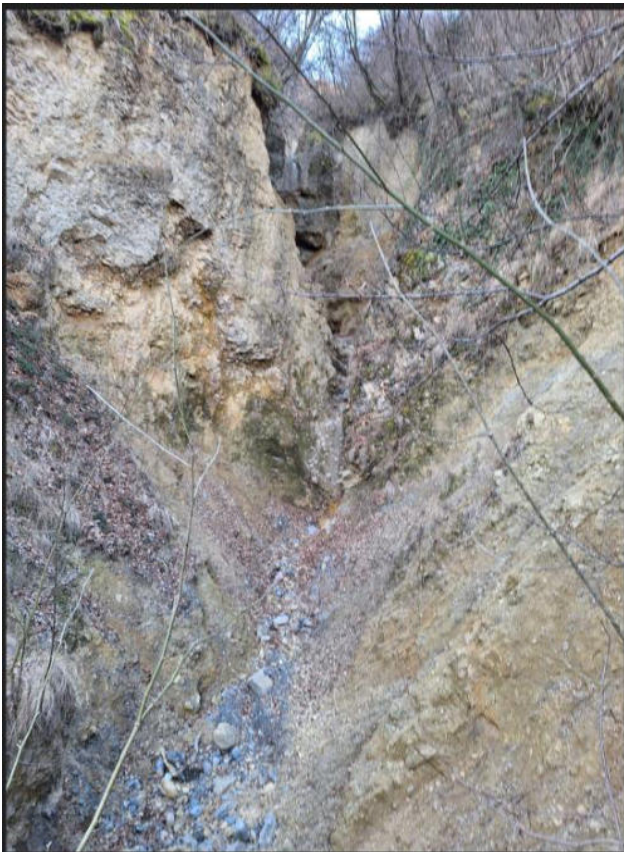




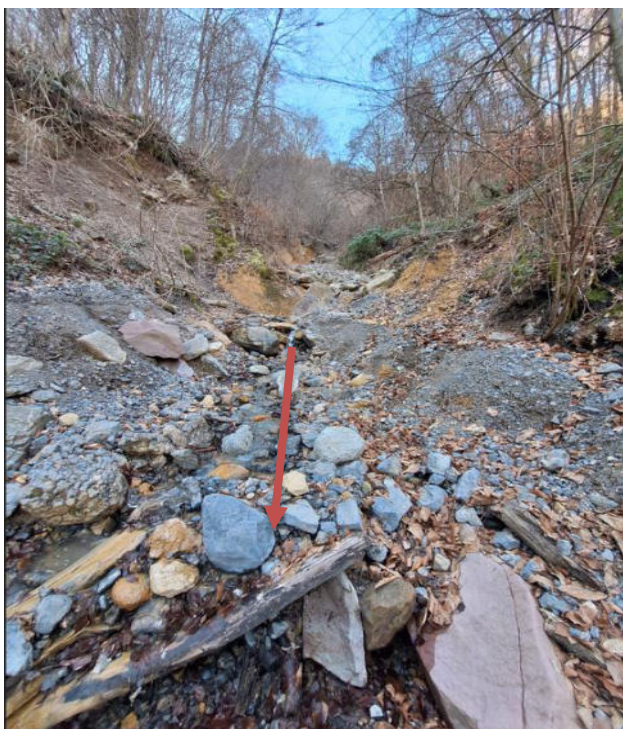
#### 4 Stato dei luoghi ed elementi di criticità;

La conformità dell'area interessata all'intervento è costituita principalmente dai seguenti elementi:

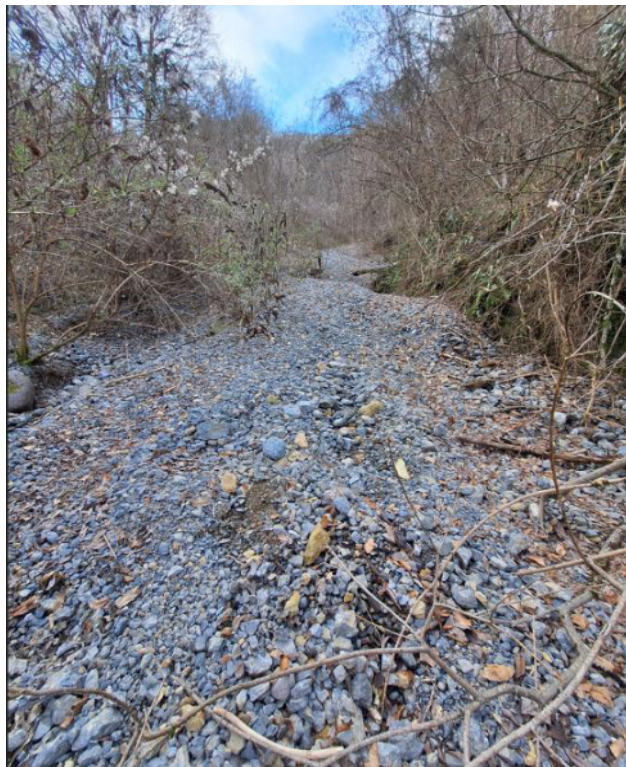
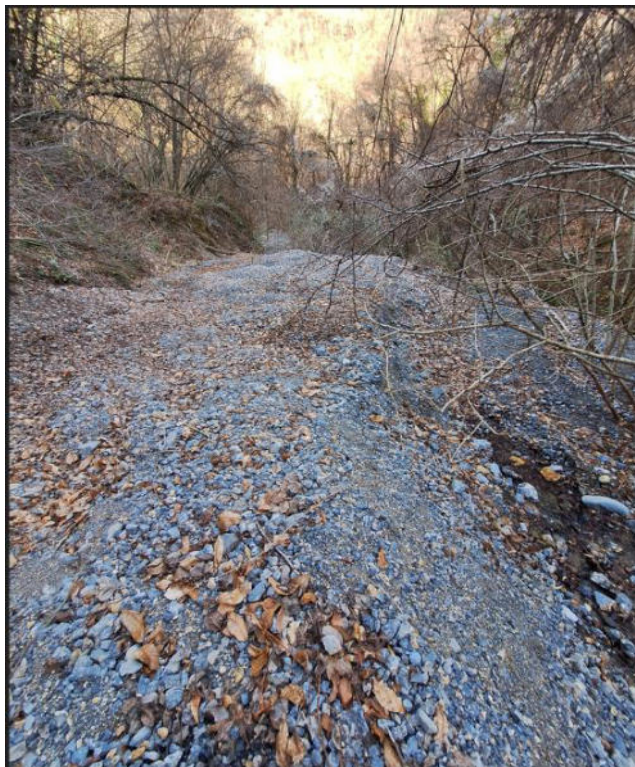
asta torrentizia erosa nelle prossimità del ponticello con evidenti solcature e deposito di materiale nella parte bassa. Il sedime dell'alveo ha trovato la sua conformazione naturale. Presenza di vegetazione arbustiva spontanea incolta in destra e sinistra. Nicchia di frana in sinistra in corrispondenza circa della zona di deposito.



















In base ai sopralluoghi effettuati, è emerso che la principale criticità dell'asta nel tratto in esame è, rappresentata dall'erosione che inizia appena sopra il ponticello in legno. Tale criticità è dovuta all'assenza di opere trasversali quali briglie (oggi il tratto interessato ha trovato un suo profilo di equilibrio) e, quelle in passato realizzate sono state divelte. La presenza di fenomeni di erosione o deposito all'interno dell'alveo fluviale costituisce una condizione di criticità idraulica, in quanto può determinare l'innescio di movimenti franosi nei tratti di versante a monte e, al contempo, generare rischi idraulici a valle dovuti all'innalzamento del fondo alveo. In tale contesto si rende necessario il ripristino delle condizioni di equilibrio morfodinamico del corso d'acqua, attraverso interventi di sistemazione d'alveo e, più in generale, di sistemazione dei versanti. Le sistemazioni d'alveo si configurano come opere puntuali, finalizzate principalmente al controllo della velocità della corrente e all'incremento della resistenza all'erosione del fondo e delle sponde. La riduzione della velocità della corrente rappresenta uno degli obiettivi principali degli interventi in alveo ed è conseguita mediante la diminuzione della pendenza longitudinale del fondo. Tale situazione viene realizzata con sistemi a gradinata che replicano il profilo di equilibrio creatosi nel tempo, sistemi costituiti da briglie/soglie. Le briglie determinano un innalzamento del profilo di fondo a monte che contribuisce alla stabilizzazione delle sponde e, hanno (in questo caso) anche la funzione di fissare localmente la quota del fondo. Oltre alla realizzazione di nuove briglie fondate su pali vengono consolidate le briglie ancora esistenti con interventi manutentivi e, con un consolidamento con farfalle tirante (ombrelli).

## **5 Proposta tecnica di intervento;**

A seguito dei sopralluoghi effettuati, verificate le condizioni dell'asta torrentizia e delle sponde, in funzione delle risorse economiche del contributo concesso, sono stati individuati gli interventini principali necessari da effettuarsi (non completamente esaustivi, in futuro si dovranno reperire ulteriori risorse economiche per intervenire su tutta l'asta). Il progetto prevede il risezioanmento dell'alveo, opere di stabilizzazione del fondo con briglie, il ripristino di briglie esistenti e, il consolidamento della sponda in sinistra idraulica con sistemi monoancoarti ad ombrelli. Per maggiori specifiche si rimanda al computo metrico estimativo e agli elaborati grafici allegati al progetto.

### Opere: allestimento del cantiere e, ripristini

Ripristino della pista esistente di accesso al cantiere;

Taglio della vegetazione e delle piante interferenti con le opere di progetto;

### Risezioanmento dell'alveo:

Ripristino del sedime dell'alveo dove si è accumulato il materiale;

### Realizzazione delle opere trasversali:

Realizzazione di briglie tese a stabilizzare il fondo;

### Realizzazione di opere di consolidamento del versante.

Realizzazione di sistemi ad ombrello con mono ancoraggio per stabilizzare il versante;

La lunghezza complessiva dell'asta interessata al progetto è di 140 metri (dalla sez 1 alla sez 19)



### **Realizzazione di briglia a catenaria in sassi e calcestruzzo fondata su pali:**

Non si è simulato un flusso in quanto il torrente è prevalentemente in secca, si è considerata una portata di progetto presa dalla relazione geologica del dott. Geologo Albertelli di 7,50 mc/sec per un tempo di ritorno di 200 anni per intervenire ad eseguire delle opere di regolarizzazione briglie/soglie. Le briglie progettate hanno la gaveta a cordamolla (catenaria) (tav. 8)

#### **Normative di riferimento**

Norme tecniche per le costruzioni 2018;

È il riferimento principale per il calcolo strutturale.

#### **Aspetti rilevanti per briglie a gravità:**

- Verifiche agli stati limite (SLU e SLE)
- Stabilità globale:
  - ribaltamento
  - scorrimento
  - capacità portante del terreno
- Azioni:
  - peso proprio
  - spinta idrostatica
  - sovraccarichi (sedimenti, tronchi, ecc.)
- Combinazioni di carico

#### **Circolare 21 gennaio 2019 n° 7 c.s.LL.PP.**

- Fornisce chiarimenti applicativi delle NTC
- Utile per interpretazione delle verifiche geotecniche e idrauliche

#### **Normativa idraulica e difesa del suolo.**

- **Piani di Assetto Idrogeologico (PAI)** delle Autorità di Bacino
- Linee guida regionali (es. sistemazioni idraulico-forestali)
- Regi Decreti storici ancora richiamati:
  - Regio Decreto 523/1904

#### **Eurocodici:**

##### **4. Eurocodice 7 (EN 1997)**

- Verifiche di stabilità:
  - scorrimento
  - ribaltamento
  - capacità portante
- Interazione terreno-struttura
- Fondazioni della briglia



#### 5. Eurocodice 1 (EN 1991)

- Azioni idrauliche e carichi variabili

#### 6. Eurocodice 2 (EN 1992)

- Se la briglia è in calcestruzzo:
  - armature
  - durabilità
  - verifiche di resistenza

Le verifiche sono condotte secondo i principi della **geotecnica agli stati limite ultimi (SLU)** e della normativa vigente (NTC 2018). Vengono illustrati i criteri di dimensionamento e verifica di briglie in calcestruzzo armato fondate su micropali (criteri che verranno affinati nella relazione di calcolo), previste per gli interventi di stabilizzazione del fondo alveo utilizzati per un primo studio di fattibilità. L'opera viene modellata come struttura di sostegno soggetta all'azione combinata del peso proprio, delle spinte idrostatiche e idrodinamiche, delle pressioni interstiziali e delle reazioni del terreno e dei micropali di fondazione. Le verifiche sono state condotte in conformità ai principi degli stati limite ultimi secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti. La verifica di stabilità a scivolamento è espressa mediante il rapporto tra le resistenze e le azioni orizzontali agenti:

$$FS_{sciv} = R_d / R_s \geq 1.0$$

dove:

- $R_d$  = resistenze al taglio alla base
- $S_d$  = azioni orizzontali di progetto

dove la resistenza complessiva al taglio alla base è data dalla somma del contributo attritivo e coesivo del contatto terreno struttura, delle azioni verticali agenti e del contributo resistente dei micropali. In forma analitica si considera:

$$R_d = (N_d \cdot \tan \phi' + c' \cdot A_b) + R_{pali} + R_{attrito}$$

dove:

- $N_d$  = risultante delle azioni verticali (peso briglia + sovraccarichi)
- $\phi'$  = angolo di attrito terreno-struttura
- $c'$  = coesione efficace
- $A_b$  = area di base
- $R_{pali}$  = contributo dei micropali a taglio e attrito laterale
- $R_{attrito}$  = eventuale incremento per rugosità/interblocco

mentre le azioni orizzontali comprendono la spinta idrostatica, la pressione del terreno e gli effetti di filtrazione:

Le azioni orizzontali sono:

$$S_d = P_{idro} + P_{terreno} + P_{filtrazione}$$

La verifica a ribaltamento viene condotta confrontando i momenti stabilizzanti con quelli ribaltanti rispetto al piede di valle.

La sicurezza al ribaltamento si esprime come:

$$FS_{rib} = M_{st} / M_{rib} \geq 1.5$$





dove:

- Mst = momenti stabilizzanti
- Mrib = momenti ribaltanti rispetto al piede di valle

Momenti stabilizzanti:

$$Mst = \sum (W_i \cdot b_i) + M_{pali}$$

Momenti ribaltanti:

$$Mrib = P_{tot} \cdot h_{cp}$$

dove:

- $W_i$  = pesi delle componenti strutturali
- $B_i$  = bracci stabilizzanti rispetto al punto di rotazione
- $P_{tot}$  = risultante delle spinte orizzontali
- $h_{cp}$  = altezza del centro di pressione

I momenti stabilizzanti derivano dai pesi propri della struttura e dai contributi dei micropali, mentre i momenti ribaltanti sono generati dalla risultante delle pressioni orizzontali applicate ad un'altezza equivalente del centro di pressione. Si ha pertanto:

Il contributo dei micropali può essere modellato come coppia resistente:

$$M_{pali} = \sum (T_{pali} \cdot z_{pali})$$

dove:

- $T_{pali\_}$  = resistenza del singolo micropalo
- $z_{pali\_}$  = braccio rispetto al punto di rotazione

La verifica al sifonamento viene effettuata valutando il gradiente idraulico agente nel terreno di fondazione, definito come rapporto tra perdita di carico e lunghezza del percorso di filtrazione:

La verifica contro il sifonamento è condotta valutando il gradiente idraulico:

$$i = \Delta h / L$$

Condizione di sicurezza:

$$i \leq i_{criti}$$

dove il gradiente critico è:

$$i_{crit} = \gamma' / \gamma_{wi\_}$$

oppure, in forma semplificata:

$$i_{crit} \approx G_s - 1 / (1 + e_i)$$

dove:

- $\gamma'$  = peso unitario immerso del terreno
- $\gamma_w$  = peso unitario dell'acqua
- $G_s$  = densità relativa dei grani
- $e$  = indice dei vuoti

La verifica globale del sifonamento richiede inoltre:

$$F_{sif} = i_{crit} / i \geq 1.5 F_S$$

I micropali contribuiscono alla stabilità globale attraverso:

resistenza assiale:

$$R_{ax} = Q_s + Q_b$$



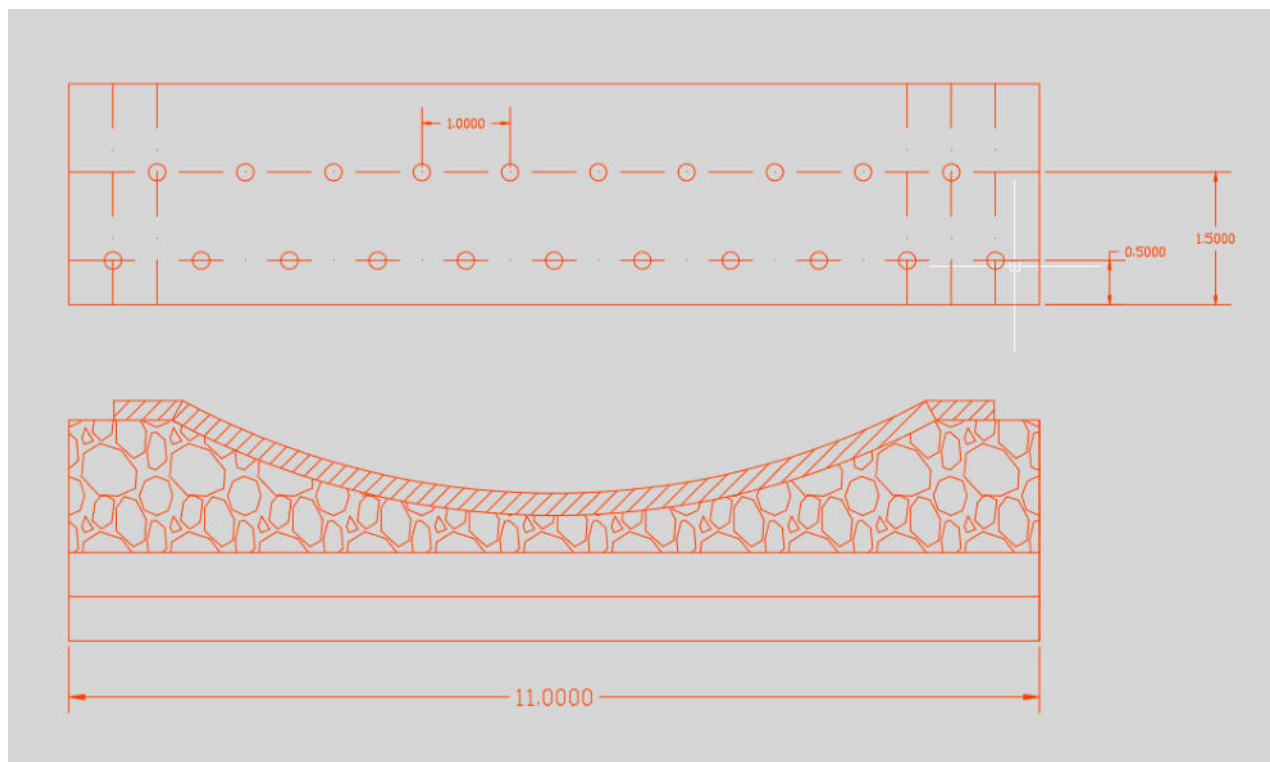
resistenza laterale (interazione terreno-palo):

$$R_{lat} = \int \tau(z) \cdot dA \text{ (integrale da 0 a L)}$$

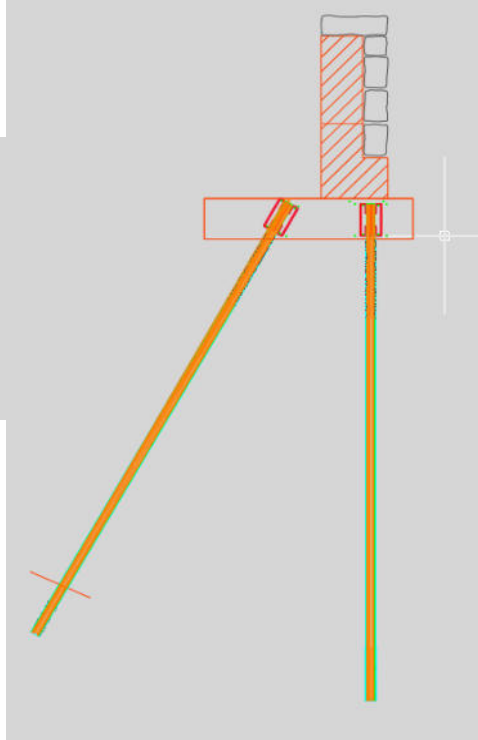
dove:

- $Q_s$  = attrito laterale
- $Q_b$  = resistenza di punta
- $\tau(z)$  = tensione tangenziale lungo il fusto

La presenza dei micropali incrementa significativamente la capacità resistente dell'opera, migliorando la stabilità nei confronti dei cinematismi di collasso e garantendo un adeguato margine di sicurezza anche in condizioni idrauliche critiche.



Micropalo trivellato  
bulbo IGU con miscela di cemento  
(boiacca)  $R_{ck}=30\text{MPa}$   
Inclinato di  $30^\circ$  rispetto al piano  
verticale  
Lunghezza foro  $l=5.50\text{m}$   
Foro  $\varnothing=125\text{mm}$  - interasse long.  $i=1.00\text{m}$   
Tubo d'armatura in acciaio S355  
diametro  $\varnothing=101.6\text{mm}$ ,  
spessore  $t=10\text{mm}$ , lunghezza tubo  
 $l_t=6.00\text{m}$



Micropalo trivellato  
bulbo IGU con miscela di cemento  
(boiacca)  $R_{ck}=30\text{MPa}$   
Lunghezza foro  $l=5.50\text{m}$   
Foro  $\varnothing=125\text{mm}$  - interasse long.  $i=1.00\text{m}$   
Tubo d'armatura in acciaio S355  
diametro  $\varnothing=101.6\text{mm}$ ,  
spessore  $t=10\text{mm}$ , lunghezza tubo  
 $l_t=6.00\text{m}$