Regione Lombardia

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO ED IDRAULICO DEL TORRENTE COSIA

VISTA la d.g.r. del 11 luglio 2016, n. 5399, di approvazione del "Programma per la progettazione degli interventi strutturali e prioritari nelle aree a rischio idrogeologico molto elevato nonchè conseguenti a calamità naturali", che prevede di finanziare la progettazione di interventi urgenti e prioritari;
VISTO il d.d.g. 20 settembre 2016, n. 9081 "Individuazione degli enti attuatori degli interventi previsti dalla d.g.r. 11 luglio 2016, n. X/5399 - programma per la progettazione degli interventi strutturali e prioritari nelle aree a rischio idrogeologico molto elevato nonché conseguenti a calamità"

Comune di Albavilla

Comune di Albese con Cassano

Comune di Como

Comune di Tavernerio

PROGETTO DI FATTIBILITA'

Committente	Oggetto
COMUNE DI TAVERNERIO TAVERNERIO - VIA PROVINCIALE, 45	Relazione geotecnica
Progettista P.I.E. PIFFERI Matteo COMO - VIA CANTONIGA, 2/A Collegio dei Periti Industriali di Como n. 2207	Data Luglio 2018
Professionista incaricato Dott. Ing. DE GENNARO Mauro	Scala / Elaborato D

I N D I C E

1. PREMESSA 2
   1.1 STRALCIO "ANALISI DI PREFATTIBILITA' AMBIENTALE" 2
   1.2 STRALCIO "ANALISI DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI" 3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE DEGLI INTERVENTI 4
   2.1 COMUNE DI ALBAVILLA – INTERVENTI AL 5
   2.2 COMUNE DI ALBESE CON CASSANO – INTERVENTI AC 6
   2.3 COMUNE DI TAVERNERIO – INTERVENTI TA 8
   2.4 COMUNE DI COMO – INTERVENTI CO 10
3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI TIPO 12
   3.1 INTERVENTI TIPO 1 – PULIZIA D'ALVEO 13
   3.2 INTERVENTI TIPO 2 – OPERE DI DIFESA IDRAULICA 14
      3.2.1 OPERE DI PROTEZIONE SPONDALE 14
      3.2.2 OPERE ANTIEROSIONE 17
      3.2.3 OPERE DI STABILIZZAZIONE 21
   3.3 INTERVENTI TIPO 3 – STABILIZZAZIONE CIGLI E SCARPATE STRADALI 23
   3.4 INTERVENTI TIPO 4 - MONITORAGGI 25
4. PRE-DIMENSIONAMENTO DEGLI INTERVENTI TIPO 31
   4.1 INQUADRAMENTO SISMICO 31
   4.2 INQUADRAMENTO GEOTECNICO PER LA CARATTERIZZAZIONE DI TERRE E ROCCE 32
   4.3 ORIENTAMENTI TEORICI PER IL PRE-DIMENSIONAMENTO DEI PRESIDI IDRAULICI 33
      4.3.1 Stima Condizioni di Equilibrio delle Sponde 33
      4.3.2 Calcolo minimo diametro stabile 34
      4.3.3 Dimensionamento Presidi Spondali 35
5. CONCLUSIONI 37

RELAZIONE GEOTECNICA

1. PREMESSA

La presente relazione, che costituisce parte integrante del "*Progetto di fattibilità Tecnico Economica per la mitigazione del rischio idrogeologico ed idraulico del Torrente Cosia"* illustra gli aspetti geotecnici inerenti alle ipotesi di intervento elaborate dal Progettista con gli Specialisti in funzione delle risultanze dei rilievi di campagna e dei contenuti delle Relazioni Geologica ed Idrogeologica (Elaborato B) nonché Idraulica (Elaborato C) a corredo del Progetto di Fattibilità citato.

Nel seguito, per introdurre alle problematiche affrontate, si riportano gli stralci dell'Elaborato A (Relazione Tecnico-Illustrativa), relativi alla "Analisi di Prefattibilità Ambientale" e "Analisi delle Alternative Progettuali", mentre nei capitoli successivi si illustrano:

- **Cap. 2: Inquadramento territoriale degli interventi;**
- **Cap. 3: Descrizione degli interventi tipo;**
- **Cap. 4: Predimensionamento degli interventi tipo;**
- **Cap. 5: Conclusioni.**

1.1 STRALCIO "ANALISI DI PREFATTIBILITA' AMBIENTALE"

..... L'esame delle varie componenti ambientali e paesaggistiche, nonché degli strumenti pianificatori ai vari livelli territoriali, ha permesso di evidenziare che le opere in progetto non presentano criticità dal punto di vista degli impatti sul territorio.

Tali impatti sono infatti ridotti al minimo anche in fase di cantiere, visto che potranno essere in larga parte impiegati materiali lapidei reperibili in posto e comunque di analoga natura se di nuovo apporto e che l'uso di calcestruzzo è ridotto al minimo indispensabile (visibile solo per cementazioni di corazzature e scogliere, nascosto - sotterraneo - per rincalzi, sottofondi e altre strutture).

A tal proposito si ritiene che:

- gli interventi oggetto del presente studio non alterano il territorio all'interno del quale si collocano, dal momento che si tratta principalmente dell'integrazione di opere esistenti;
- le opere rispettano il patrimonio idrico del territorio senza interferire con l'equilibrio idrologico globale delle acque;

- non alterano gli ambienti acquatici nelle loro componenti idrologico-morfologiche, vegetazionali e faunistiche;
- non alterano l'attuale livello di tutela della fauna ittica.

Gli interventi in progetto rispettano il principio di riparare, estendere e ottimizzare opere esistenti solo laddove strettamente necessario mantenendo così quanto più possibile attivi i manufatti esistenti, migliorandone la funzionalità.

1.2 STRALCIO "ANALISI DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI"

…Per quanto riguarda l'analisi delle possibili alternative alle opere proposte (protezione spondale e stabilizzazione, antierosione d'alveo) va osservato che:

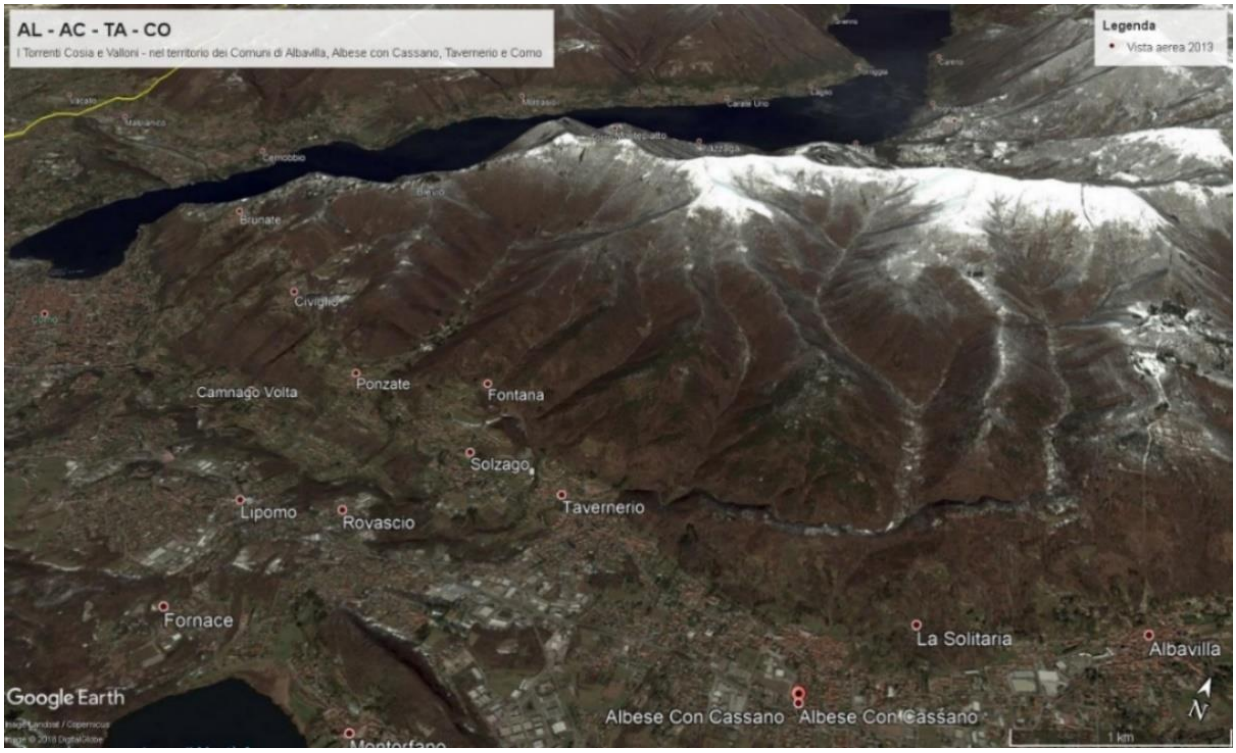
- con gli interventi previsti lungo i tratti del Torrente Cosia nei Comuni di Albavilla, Albese con Cassano (ove è previsto di procedere anche sull'affluente Torrente Valloni) e Tavernerio non si realizzeranno sostanzialmente nuove opere ma si integreranno e ottimizzeranno quelle già presenti;

- lungo il tratto a Valle del centro abitato del Comune di Tavernerio fino al Comune di Como risultano condivisibili e quindi si mantengono gli interventi previsti dal recente Studio AIPO (citato nell'Elaborato C: Relazione Idraulica).

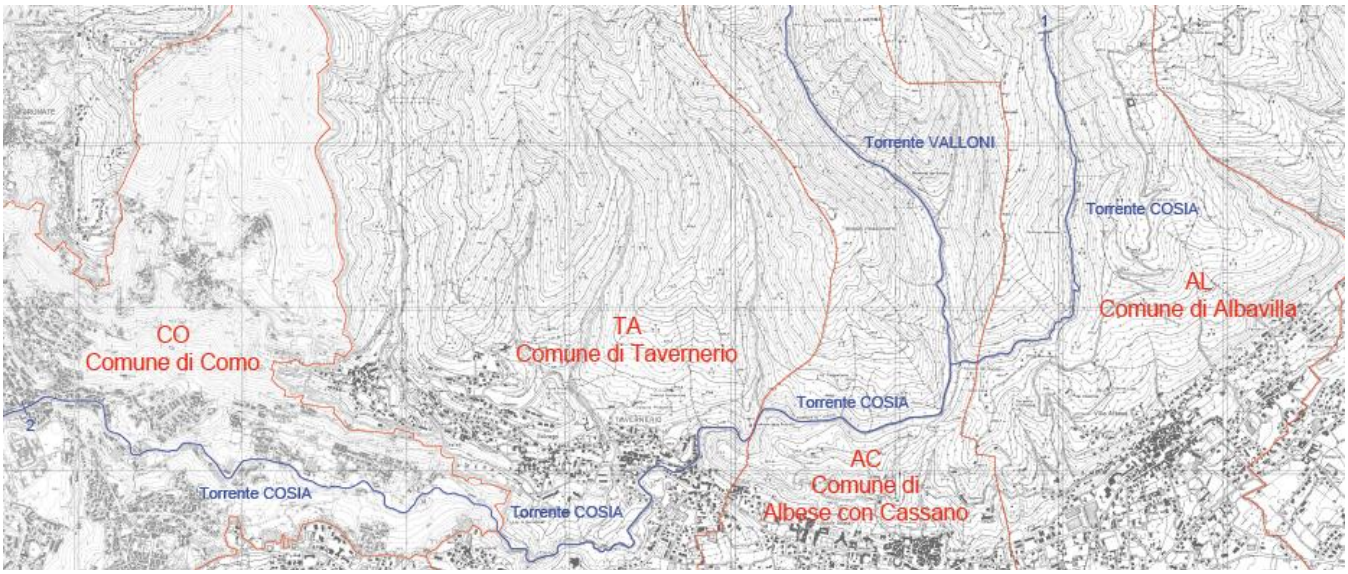
Per i suddetti motivi **l'Analisi delle possibili alternative** condotta per la scelta della tipologia d'opera risulta condizionata nel primo caso dal necessario adattamento alle tipologie preesistenti a cui è necessario nonché conveniente uniformarsi e mantenere sia per fattori tecnologici sia per fattori ambientali nonché paesaggistici mentre, nel secondo caso, dal fatto che le tipologie d'opera sono già identificate dall'autorevole studio AIPO citato.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE DEGLI INTERVENTI

Con riferimento alla Relazione Tecnico-Illustrativa (Elaborato A) di seguito si riporta quanto indicato dagli strumenti urbanistici in merito alla **Fattibilità** con l'elenco degli interventi individuati, suddivisi per Comune, ovvero partendo da monte in Comune di Albavilla, passando per i Comuni di Albese con Cassano e Tavernerio fino al termine di valle in Comune di Como.



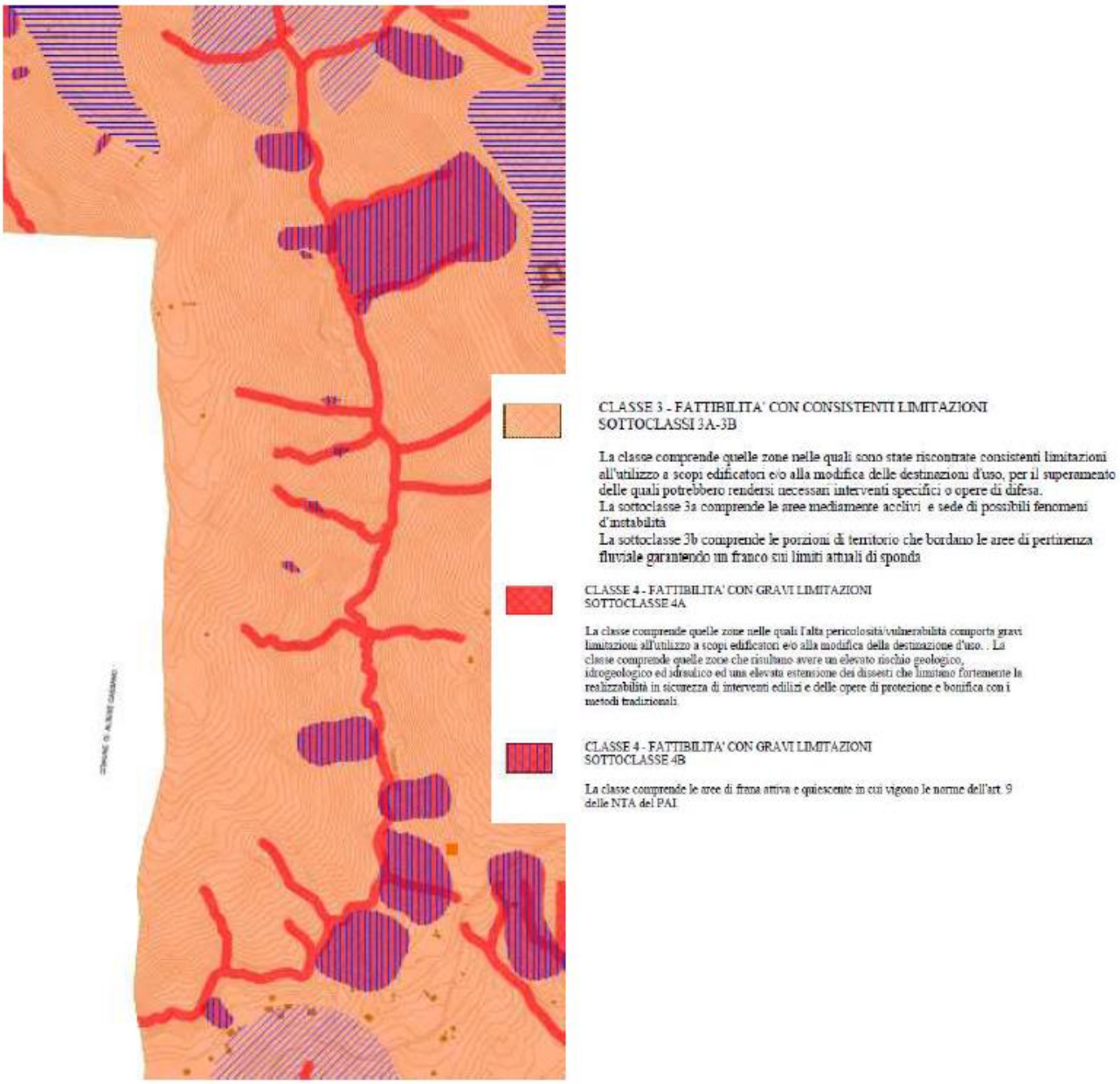
Ripresa aerea (Google Earth) del territorio



Stralcio Corografico estratto dalla TAV. 1

2.1 COMUNE DI ALBAVILLA – INTERVENTI AL

Per quanto riguarda gli interventi previsti si segnala che sono stati elaborati secondo quanto regolamentato dalla **Carta di Fattibilità** contenuta nello strumento urbanistico del Comune di Albavilla e di cui nel seguito si riporta lo stralcio di interesse:



Stralcio carta di fattibilità - Comune di Albavilla

Con riferimento all'Elaborato B (Relazione geologica-idrogeologica) si evidenzia:

"……l'asta del torrente Cosia è attribuita alla classe di fattibilità 4, con gravi limitazioni.

Ricadono inoltre in tale perimetrazioni le aree in frana riportate nella Tavola 3. I versanti prospicienti l'asta torrentizia ricadono in larga parte in classe di fattibilità 3, con consistenti limitazioni…."

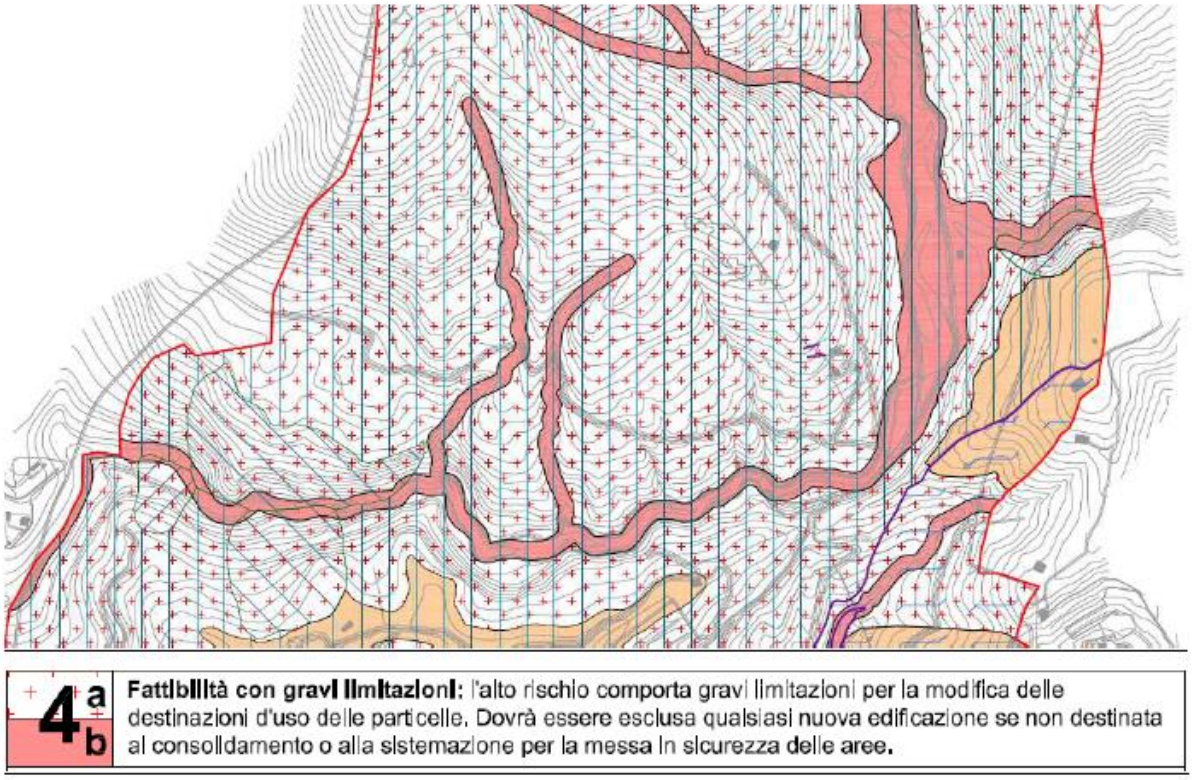
In sintesi dai rilievi collegiali condotti le problematiche e gli interventi consistono in

CODICE	ALBAVILLA	TIPOLOGIA
AL01	Albavilla	Verifica eventuali problematiche idrauliche dovute a restringimento sezione di flusso in corrispondenza diga Leana
AL01.1	Albavilla	PONTE, pulizia alveo e ripristino selciato
AL02	Albavilla	Consolidamento spondale in destra con scogliera
AL03	Albavilla	Consolidamento spondale in destra con scogliera
AL03.1	Albavilla	PONTE, rincalzo murazione ad ingresso ponte e sistemazione argine dx
AL04	Albavilla	Pulizia materiale vegetale in alveo
AL05	Albavilla	Pulizia materiale vegetale in alveo
AL06	Albavilla	Pulizia materiale vegetale in alveo e diffusi interventi di consolidamento spondale

Si rimanda alla TAVOLA 3.1 per l'individuazione generale degli interventi.

2.2 COMUNE DI ALBESE CON CASSANO – INTERVENTI AC

Per quanto riguarda gli interventi previsti si segnala che sono stati elaborati secondo quanto regolamentato dalla **Carta di Fattibilità** contenuta nello strumento urbanistico del Comune di Albese con Cassano e di cui nel seguito si riporta lo stralcio di interesse:



Stralcio carta di fattibilità - Comune di Albese con Cassano

Con riferimento all'Elaborato B (Relazione geologica-idrogeologica) si evidenzia:

"……l'asta del torrente Cosia e tutti i versanti prospicienti sono attribuiti alla classe di fattibilità 4, con gravi limitazioni……."

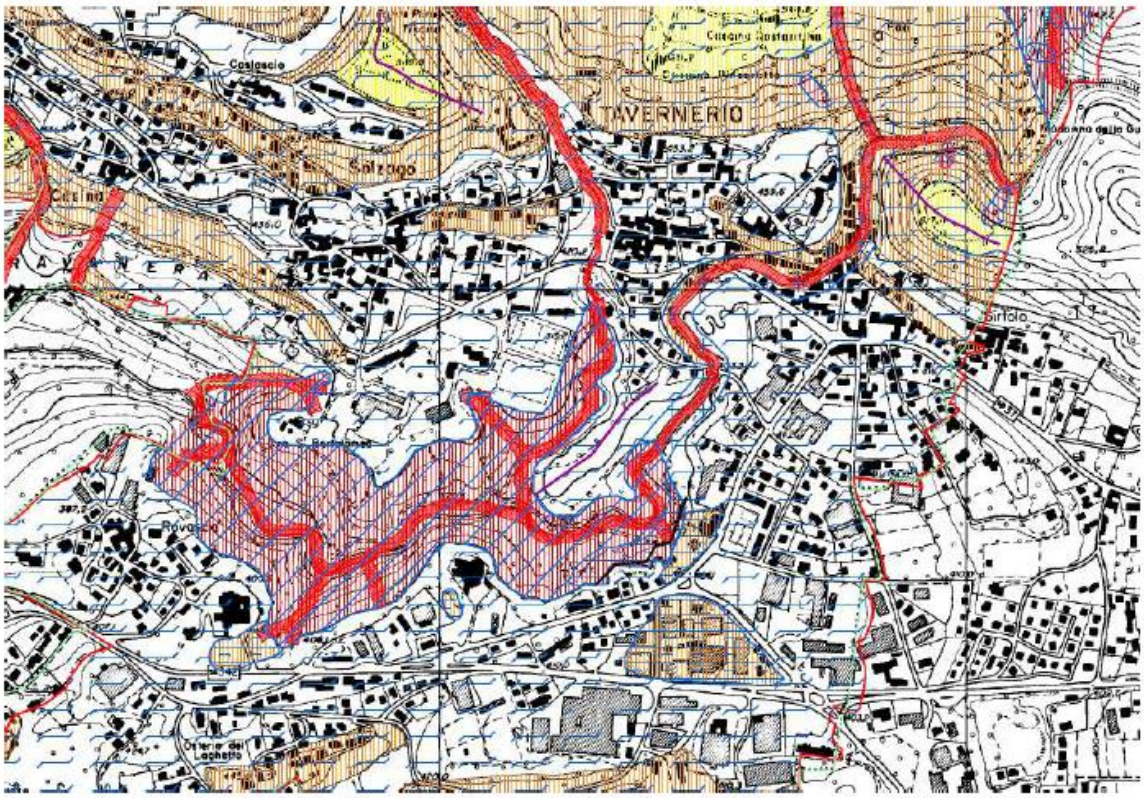
In sintesi dai rilievi collegiali condotti le problematiche e gli interventi consistono in

CODICE	ALBESE CON CASSANO	TIPOLOGIA
AC01	Albese con Cassano	Rettifica alveo con parziale demolizione arginatura esistente e costituzione scogliere
AC02	Albese con Cassano	Rettifica alveo con demolizione 14 ml arginatura esistente in sinistra e contestuale posa scogliera. Consolidamento spondale con scogliera in destra per 20 ml. Manutenzione soglia esistente e posa selciatone a valle
AC03	Albese con Cassano	Manutenzione e rettifica argine esistente e scalzato in sinistra tramite costituzione scogliera
AC04	Albese con Cassano	Manutenzione soglia esistente e posa selciatone a valle
AC05	Albese con Cassano	Costituzione area di laminazione naturale per minimizzare erosione spondale e consentire al corso d'acqua di spagliare. Estesa pulizia materiale vegetale in alveo
AC06	Albese con Cassano	Ripristino 4 briglie esistenti scalzate ed aggirate su lato destro. Consolidamento spondale in destra. Pulizia materiale vegetale in alveo
AC07	Albese con Cassano	Rettifica alveo per evitare erosione spondale in destra (affioramento di interesse geologico). Subito a valle consolidamento spondale in sinistra con scogliera fino a immissione in Cosia. Pulizia materiale vegetale in sinistra.
AC07.1	Albese con Cassano	INNESTO COSIA VALLONI, ripristino porzione di selciato
AC08	Albese con Cassano	Ripristino soglia esistente sottoescavata e consolidamento spondale in sinistra. Subito a valle ripristino muro esistente scalzato
AC09	Albese con Cassano	Manutenzione e rincalzo briglia presente
AC09.1	Albese con Cassano	PONTE, rincalzo lati dx e sx
AC09.2	Albese con Cassano	PONTE, rincalzo lato dx
AC10	Albese con Cassano	Pulizia materiale vegetale su argini

Si rimanda alla TAVOLA 3.2 per l'individuazione generale degli interventi.

2.3 COMUNE DI TAVERNERIO – INTERVENTI TA

Per quanto riguarda gli interventi previsti si segnala che sono stati elaborati secondo quanto regolamentato dalla **Carta di Fattibilità** contenuta nello strumento urbanistico del Comune di Tavernerio e di cui nel seguito si riporta lo stralcio di interesse:



Classe 1: Fattibilità senza particolari limitazioni

Classe 2: Fattibilità con modeste limitazioni

Classe 3: Fattibilità con consistenti limitazioni

Classe 4: Fattibilità con gravi limitazioni

Stralcio carta di fattibilità - Comune di Tavernerio

Con riferimento all'Elaborato B (Relazione geologica-idrogeologica) si evidenzia:

"….l'asta del torrente Cosia è attribuita alla classe di fattibilità 4, con gravi limitazioni. Nella medesima perimetrazione ricadono tutti i versanti afferenti all'incisione del torrente a valle dell'abitato. Nei rimanenti ambiti i versanti ricadono in classe di fattibilità 1 (senza particolari limitazioni) e 3, con consistenti limitazioni…".

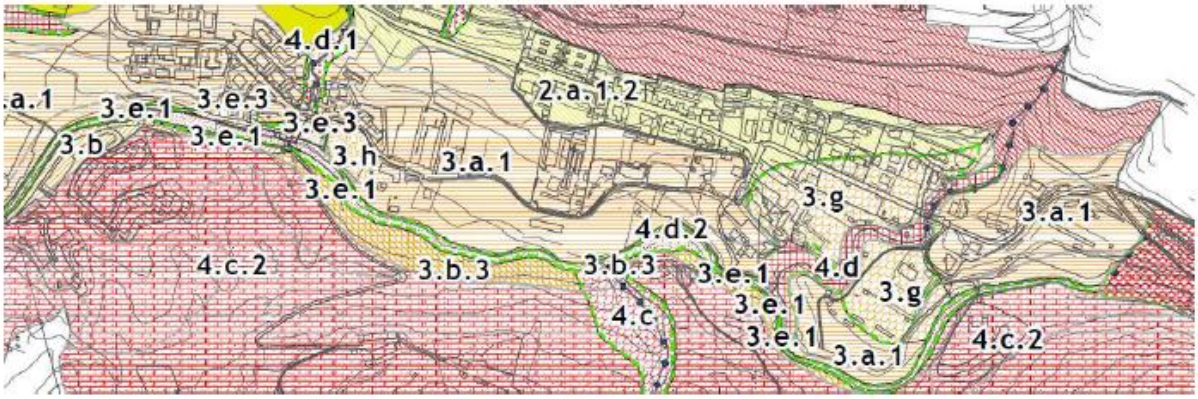
In sintesi dai rilievi collegiali condotti le problematiche e gli interventi consistono in

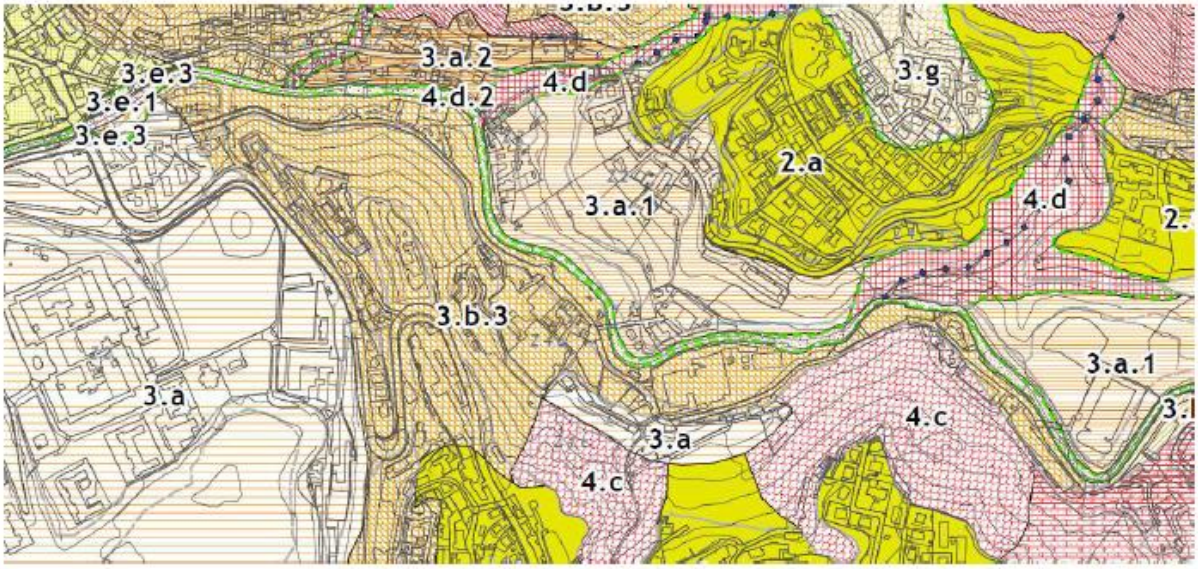
CODICE	TAVERNERIO	TIPOLOGIA
TA01	Tavernerio	Svuotamento detrito e ripristino funzionalità briglia filtrante (Briglia n.1). Completamento pista accesso all'alveo.
TA02	Tavernerio	Pulizia vegetazione in alveo e sponde. Locali consolidamenti spondali
TA03	Tavernerio	Manutenzione Briglie 2 e 3. Muro spondale in destra idrografica in corrispondenza accumulo frana 1951. Pulizia alveo materiale vegetale
TA04	Tavernerio	Briglie 4 e 5 scalzate: manutenzione copertina e posa selciatone a valle
TA05	Tavernerio	Eventuale ripristino argine e sezione di deflusso originaria
TA06	Tavernerio	Briglia 6 scalzata: posa selciatone a valle
TA07	Tavernerio	Briglia 9 scalzata: posa selciatone a valle
TA08	Tavernerio	Briglia 10: manutenzione copertina e posa selciatone a valle. Pulizia materiale vegetale
TA08.1	Tavernerio	BRIGLIA, pulizia alveo
TA09	Tavernerio	Erosione e leggero scalzamento argine in sinistra
TA10	Tavernerio	Eventuale ripristino argine e sezione di deflusso originaria
TA11	Tavernerio	Pulizia materiale vegetale in alveo
TA11.1	Tavernerio	PONTE, nessun intervento
TA11.2	Tavernerio	BRIGLIA-SOGLIA, nessun intervento
TA12	Tavernerio	Ripristino scogliera in sinistra
TA13	Tavernerio	Ripristino scogliera in destra
TA13.1	Tavernerio	PONTE, nessun intervento
TA14	Tavernerio	Pulizia materiale vegetale in alveo
TA15	Tavernerio	Consolidamento spondale in destra
TA16	Tavernerio	Rettifica e allargamento alveo, pulizia materiale vegetale. Possibile ubicazione vasca sedimentazione
TA17	Tavernerio	Consolidamento spondale in destra e manutenzione briglia
TA18	Tavernerio	Consolidamento spondale in sinistra
TA19	Tavernerio	Pulizia materiale vegetale in alveo e su sponde
TA20	Tavernerio	Pulizia materiale vegetale in alveo e su sponde
TA21	Tavernerio	Consolidamento lato di valle pista e pulizia materiale vegetale
TA22	Tavernerio	Consolidamento gabbionate di controripa pista di accesso
TA23	Tavernerio	Consolidamento lato di valle pista di accesso
TA24	Tavernerio	Manutenzione briglia esistente e interventi di regimazione flussi
TA25	Tavernerio	Manutenzione briglia (fianchi e controbriglia)
TA26	Tavernerio	Pulizia materiale vegetale in alveo e in sponda sinistra
TA27	Tavernerio	Briglia aggirata in destra da rifare. Sistemazione gabbionate in sinistra
TA28	Tavernerio	Consolidamento spondale in destra idrografica, tipo scogliera
TA29	Tavernerio	Necessarie opere di regimazione in alveo tributario in erosione. Possible realizzazione briglie e consolidamenti spondali. Consolidamento di n.2 briglie esistenti lungo alveo principale
TA30	Tavernerio	Dissesto su fianco destro coinvolgente pista, necessario consolidamento pista

Si rimanda alla TAVOLA 3.3 per l'individuazione generale degli interventi.

2.4 COMUNE DI COMO – INTERVENTI CO

Per quanto riguarda gli interventi previsti si segnala che sono stati elaborati secondo quanto regolamentato dalla **Carta di Fattibilità** contenuta nello strumento urbanistico del Comune di Como e di cui nel seguito si riporta lo stralcio di interesse:





4.d Aree di pertinenza della rete di drenaggio
Valli in versanti generalmente in roccia o in materiale detritico. Aree interessate da fenomeni di esondazione e sovralluvionamento per trasporto e deposito di materiali.
Aree classificate PAI perimetrate e non perimetrate, tra le quali impluvi con erosione di fondo, dissesti morfologici di carattere torrentizio.

4.d.1 Vallecole incise in sedimenti limosi o limoso-sabbiosi (4.d.1).

4.d.2 Aree a pericolosità idraulica molto elevata (4.d.2).

Stralcio carta di fattibilità - Comune di Como

Con riferimento all'Elaborato B (Relazione geologica-idrogeologica) si evidenzia:

"…l'asta del torrente Cosia è attribuita alla classe di fattibilità 4.d.2, ovvero di fattibilità con gravi limitazioni, mentre i settori contermini ricadono in classe di fattibilità 3, con consistenti limitazioni…".

In sintesi dai rilievi collegiali condotti e sulla scorta di quanto presente nel citato studio AIPO, gli interventi consistono in

CODICE	COMO	TIPOLOGIA
CO01	Como	Manutenzione briglie ed eventuale costituzione di una nuova
CO01.1	Como	BRIGLIA E MURO DX, posa selciato a monte
CO01.2	Como	BRIGLIA GRANDE, posa selciato a valle briglia
CO02	Como	Ripristino sperone sinistro briglia e pulizia materiale vegetale in alveo
CO02.1	Como	PONTE CON BRIGLIA, ripristino briglia e posa selciato
CO03	Como	Regimazione idraulica lungo tributario in sinistra
CO03.1	Como	PONTE, nessun intervento
CO04	Como	Consolidamento spondale su terrazzo antropico
CO04.1	Como	PONTE, , nessun intervento
CO05	Como	Manutenzione soglie, rimozione vegetazione spontanea e pulizia alveo
CO05.1	Como	PONTE, nessun intervento
CO05.2	Como	DOPPIA BRIGLIA, ripristino briglia, posa e ripristino selciato
CO05.3	Como	BRIGLIA-SOGLIA, nessun intervento
CO05.4	Como	PONTE, rimozione materiale accumulato e posa selciato
CO06	Como	Rimozione vegetazione spontanea in alveo e pulizia alveo
CO06.1	Como	BRIGLIA, rimozione materiale accumulato
CO06.2	Como	BRIGLIA, posa selciato
CO06.3	Como	DOPPIA BRIGLIA, nessun intervento
CO06.4	Como	PONTE, posa selciato
CO06.5	Como	BRIGLIA, nessun intervento
CO06.6	Como	BRIGLIA, posa selciato
CO06.7	Como	BRIGLIA, nessun intervento
CO06.8	Como	BRIGLIA-SOGLIA, nessun intervento
CO06.9	Como	PASSERELLA, nessun intervento
CO06.10	Como	BRIGLIA, posa selciato
CO06.11	Como	BRIGLIA, ripristino porzione di briglia e posa selciato
CO06.12	Como	BRIGLIA, nessun intervento
CO06.13	Como	BRIGLIA, nessun intervento
CO06.14	Como	BRIGLIA, nessun intervento
CO06.15	Como	BRIGLIA, nessun intervento
CO06.16	Como	PONTE S. MARTINO, nessun intervento
CO07	Como	Rimozione vegetazione spontanea in alveo e pulizia alveo

Si rimanda alla TAVOLA 3.4 per l'individuazione generale degli interventi.

3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI TIPO

Da una prima analisi del contesto torrentizio e territoriale, in seguito ai sopralluoghi collegiali condotti in sito, ai rilievi di campagna preliminari e sulla scorta di quanto riportato sugli elaborati B (Relazione Geologica e Idrogeologica) e C (Relazione Idraulica), gli **interventi tipo** ritenuti idonei alla mitigazione del rischio idrogeologico ed idraulico possono essere raggruppati come di seguito:

1.- pulizia d'alveo finalizzata al taglio delle alberature vegetate in alveo nonché alla rimozione di tronchi e rami che trascinati dalla corrente in piena si accumulano nelle zone di calma, creano sbarramenti temporanei incastrandosi tra le rive, tra gli elementi lapidei affioranti e le alberature in alveo prima citate. Tale fenomenologia, ostacolando il libero deflusso delle acque talvolta lo indirizzano verso le sponde innescando fenomeni erosivi più o meno localizzati che vanno a minarne la stabilità. Non da ultimo andrà rimosso, laddove presente, il materiale di sovralluvionamento che accumulandosi all'interno delle anse e curve riduce la luce d'alveo provocando al fronte opposto l'erosione al piede delle sponde e delle opere di protezione spondale ove presenti;

2.- Opere di difesa idraulica (riparazione, completamento, integrazione, sostituzione ed estensione delle opere di protezione spondale e antierosione d'alveo) finalizzate al ripristino, stabilizzazione e all'incremento dell'efficienza dei suddetti presidi (si rimanda all'Elaborato C: Relazione Idraulica).

3.- Opere di stabilizzazione dei cigli e delle scarpate presenti lungo lo sviluppo dei sentieri e delle strade, uniche vie di accesso al torrente, nonché deputate a rinforzare localmente la stabilità delle sponde più alte ove il Torrente scorre profondamente incassato.

4.- Organizzazione, installazione e/o predisposizione di **Sistemi di Monitoraggio** sugli alti versanti incombenti sul torrente (Comuni di Albavilla e Tavernerio) che in passato ed ancora oggi mostrano segnali di instabilità in evoluzione più o meno dinamica (si rimanda all'Elaborato B: Relazione Geologica ed Idrogeologica) e che per estensione e difficoltà di accesso potrebbero essere mitigati solo con impegno di notevoli risorse.

Per l'illustrazione dei singoli interventi si rimanda alle Tavole di progetto:
10-AL, 11.1/11.2-AC, 12.1/12.2/12.3/12.4-TA, 13.1/13.2/13.3/13.4/13.5-CO.

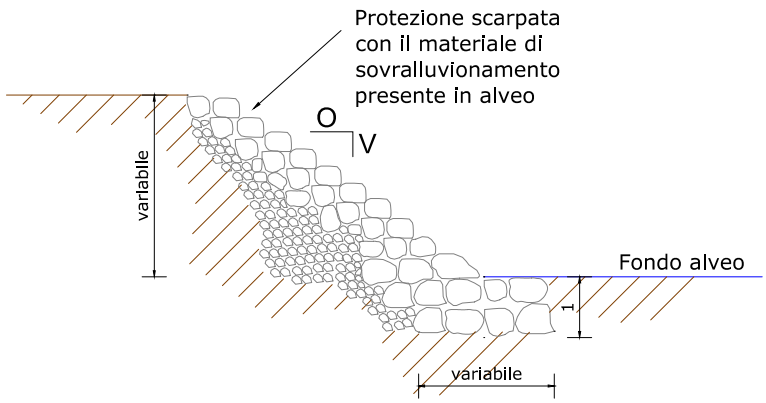
3.1 INTERVENTI TIPO 1 – PULIZIA D'ALVEO

Per quanto riguarda la **pulizia d'alveo**, dal punto di vista geotecnico va osservato che le operazioni di taglio/rimozione delle alberature vegetate in alveo dovranno essere condotte con la particolare attenzione di preservare la continuità e integrità sia delle difese di sponda, sia delle eventuali corazzature di fondo alveo allorquando le alberature da rimuovere siano prossime o insistano su tali presidi. Se ciò non dovesse essere possibile l'integrità e continuità dei presidi andrà ripristinata.

In ogni caso eventuali fosse che dovessero crearsi in alveo o su sponde in seguito all'asportazione di ceppaie e/o che siano presenti in prossimità di alberature già ribaltate, dovranno essere raccordate intasandole con materiale lapideo di dimensione non facilmente trasportabile dalla corrente (solitamente presente e recuperabile in sito presso le zone ove il sovralluvionamento è sensibile).

Infine, nel caso di asportazione del **materiale da sovralluvionamento** va osservato che questo dovrà essere asportato dall'alveo e ricollocato sulle sponde in posizione tale da non essere successivamente trasportato dalle piene e/o reimpiegato, allorquando ritenuto idoneo, per la sola realizzazione delle opere previste. Solo il materiale di pezzatura non trasportabile dalla corrente potrà essere sistemato sulle sponde a mo' di **scogliera alla rinfusa o Rip Rap** previo realizzazione di conveniente berma di fondazione al piede. Per tale presidio di seguito si riportano alcuni schemi grafici tipologici:

SEZIONE TIPO RIP RAP - SCOGLIERA ALLA RINFUSA



Va impiegato materiale selezionato con distribuzione dei massi aventi i seguenti diametri caratteristici:

D100 = 60cm (300kg)
D50 = 50cm (175kg)
D30 = 23cm (17kg)

e pendenza fino a massimo 2/3 (Verticale/Orizzontale)

Per materiali alla rinfusa le pendenze di deposizione dei materiali impiegati per il ripristino/protezione scarpate erose non lambite dalle acque saranno al massimo di 1/2 (Verticale/Orizzontale)

Infine non si esclude, qualora non vi sia la possibilità di accumulare il materiale in loco e/o risultasse più conveniente, che il materiale di sovralluvionamento possa essere allontanato dai siti nel rispetto delle Normative vigenti in materia.

3.2 INTERVENTI TIPO 2 – OPERE DI DIFESA IDRAULICA

Per quanto riguarda le Opere di difesa idraulica (protezione spondale e stabilizzazione, antierosione d'alveo) le tipologie di lavorazioni individuate possono così essere raggruppate:

Opere di protezione spondale

- Riparazione, integrazione ed estensione delle difese spondali a scogliera, muri in pietrame, gabbionate.

Opere antierosione e di stabilizzazione

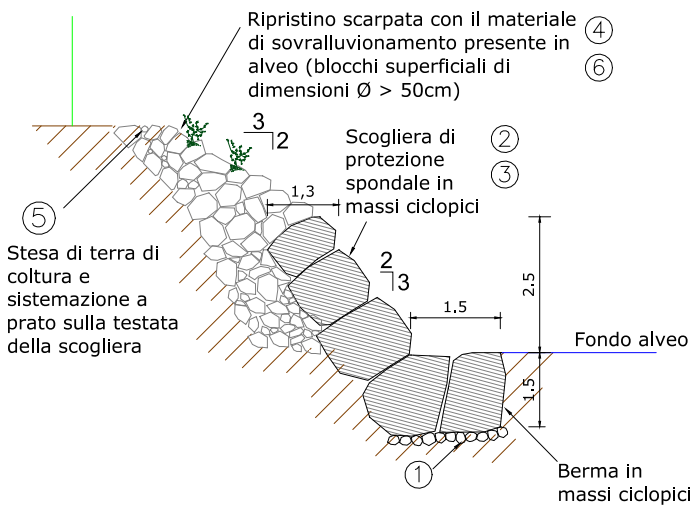
- Riparazione ed estensione delle corazzature di fondo.
- Sottomurazioni e rincalzi ove le difese spondali sono state sottoescavate (scogliere, muri in pietrame, gabbionate, spalle di ponticelli, briglie, soglie e traverse).
- Riparazione e rinforzo di briglie, soglie e traverse.

Di seguito si riportano alcuni schemi grafici delle tipologie delle opere di difesa idraulica individuate.

3.2.1 OPERE DI PROTEZIONE SPONDALE

Per opere di protezione spondale si intendono scogliere cementate e/o a secco ed eventualmente ancorate con barre d'acciaio laddove, per la presenza di substrato roccioso affiorante, non sia possibile procedere con scavi per la realizzazione della fondazione. Di seguito se ne riportano alcuni schemi tipologici:

SEZIONE TIPO SCOGLIERA



LEGENDA INTERVENTI

INTERVENTI DI PROLUNGAMENTO SCOGLIERE IN MASSI CICLOPICI

① Terreno di fondazione compattato con ciottoli di dimensioni adeguate presenti in alveo

② Scogliera di protezione spondale in massi (diam. equivalente Ø120 cm)
- peso volumico:> 26.5kN/mc (2650 kgf/mc)
- resistenza alla compressione:> 50 N/mmq (500 kgf/cmq)
- coefficiente di usura: < 1.5 mm.
- coefficiente di imbibizione: < 5%
- gellvità: Il materiale deve rlsultare non gellvo

③ Interstizi intasati con scaglie di pietra

INTERVENTI SULLE SCARPATE

④ Protezione/ripristino scarpata in erosione previo formazione di berma di fondazione impiegando il materiale di sovralluvionamento di pezzatura massima presente in alveo

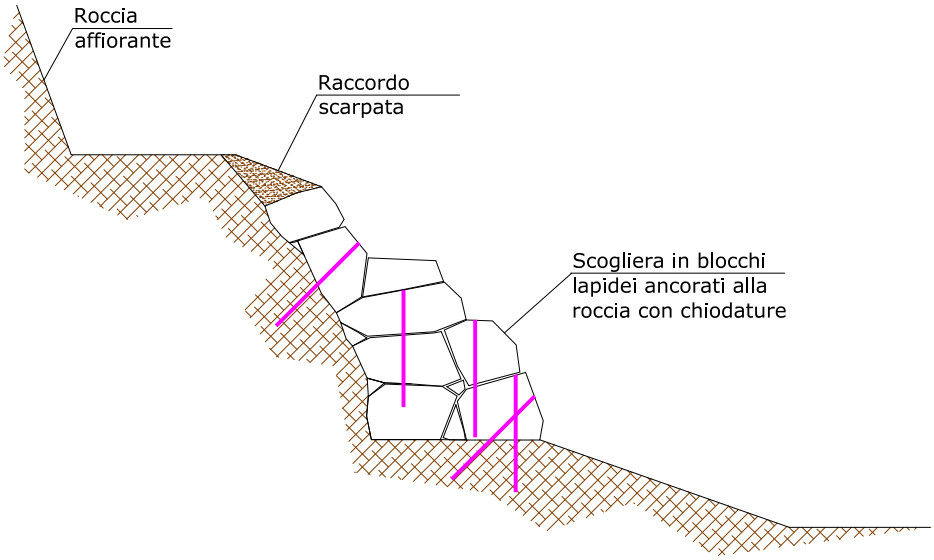
INTERVENTI DI RINATURALIZZAZIONE

⑤ Stesa di terra di coltura e sistemazione a prato sulla testata della scogliera

⑥ Innesto dl talee

Sezione tipo scogliera cementata e/o a secco

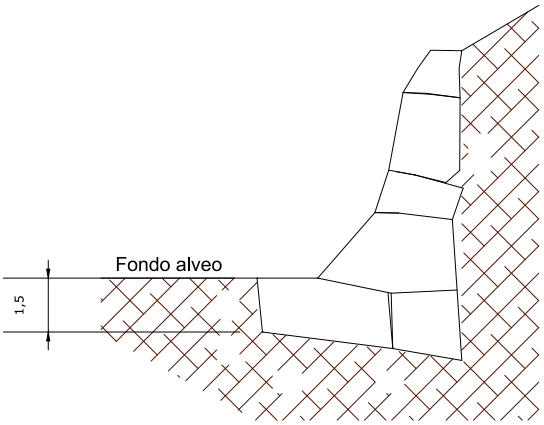
SEZIONE TIPO SCOGLIERA ANCORATA



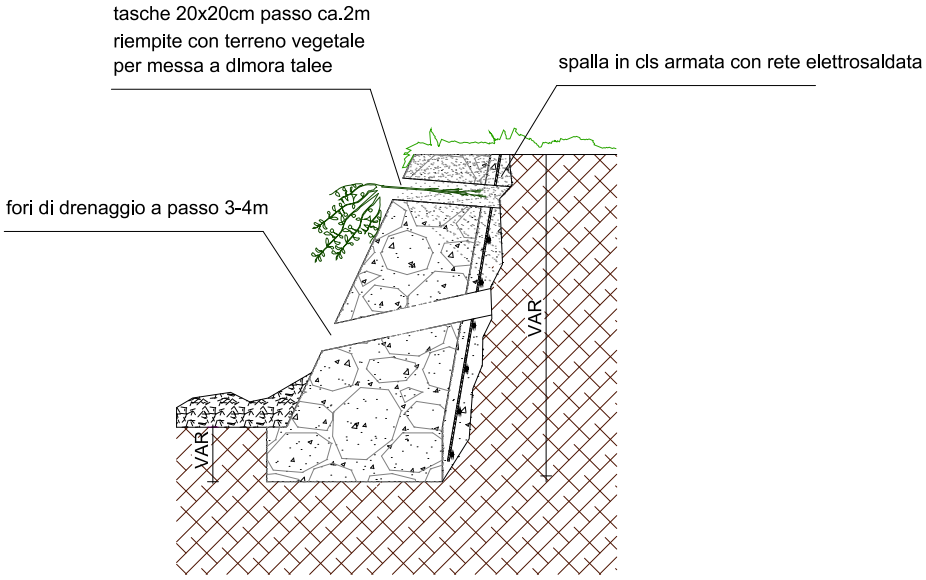
Per quanto riguarda le difese spondali si evidenzia che potrebbero essere da prevedere necessariamente a muro (estremizzazione del concetto "scogliera") nel caso in cui sia impossibile estendere convenientemente lo scavo a monte. Va evidenziato che per la loro costruzione dovranno essere impiegati conci lapidei di pezzatura proporzionata alla forza della corrente nonché all'altezza di fronte da sostenere. Diversamente si dovrà procedere cementando le fughe tra i conci lapidei ed eventualmente prevedendo il getto in cls della spalla che andrà convenientemente armata.

Di seguito si riportano i due schemi tipo che illustrano le sopra descritte soluzioni.

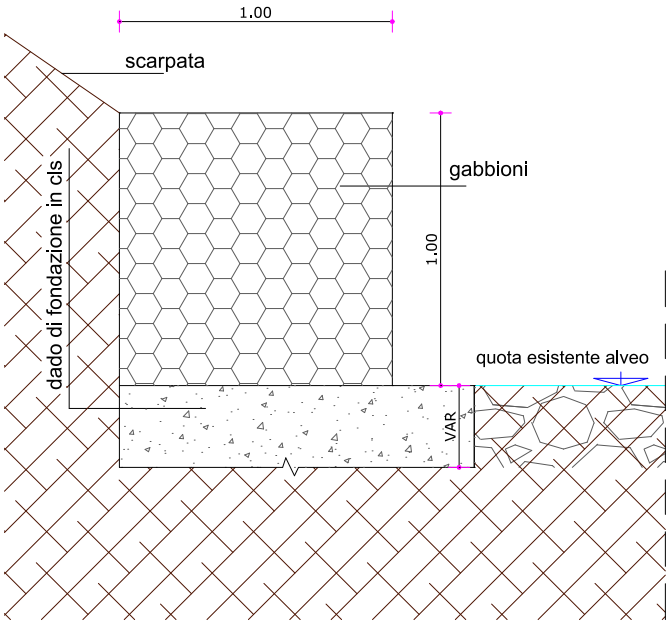
SEZIONE TIPO MURO IN BLOCCHI LAPIDEI



SEZIONE TIPO MURO IN BLOCCHI LAPIDEI CEMENTATI



Soluzione alternativa adottabile è rappresentata anche dal muro in gabbioni realizzato anche in più corsi, sovrapposti e sfalsati, a seconda dell'altezza di scarpa da sostenere:

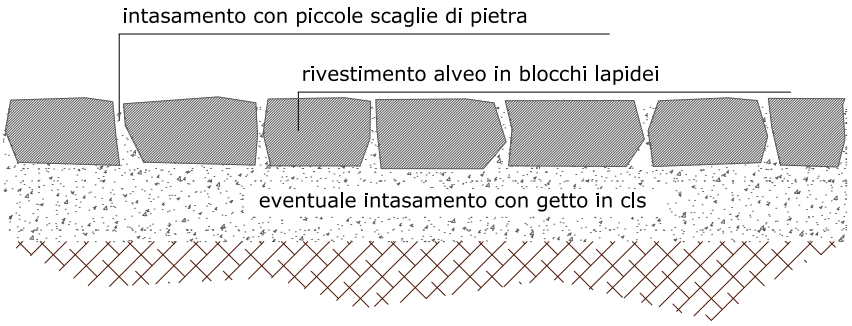


Essendo il materiale di riempimento recuperabile in sito dalle zone più sovralluvionate, tale tipo di intervento può rappresentare la soluzione più idonea in caso di difficoltà logistiche di accesso e trasporto.

3.2.2 OPERE ANTIEROSIONE

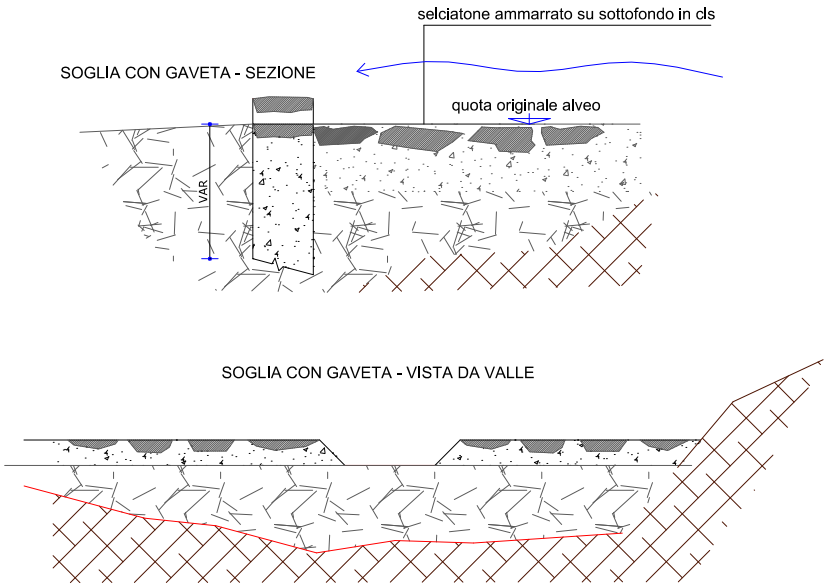
Per opere antierosione si intendono le corazzature di fondo alveo e i rincalzi che con le sottomurazioni vanno a ripristinare lo scalzamento delle fondazioni rilevato presso alcuni tratti delle difese spondali e delle fondazioni dei ponticelli nonché a proteggere l'alveo dall'erosione di fondo .

SEZIONE TIPO ESECUZIONE SELCIATONE - CORAZZATURA DI FONDO



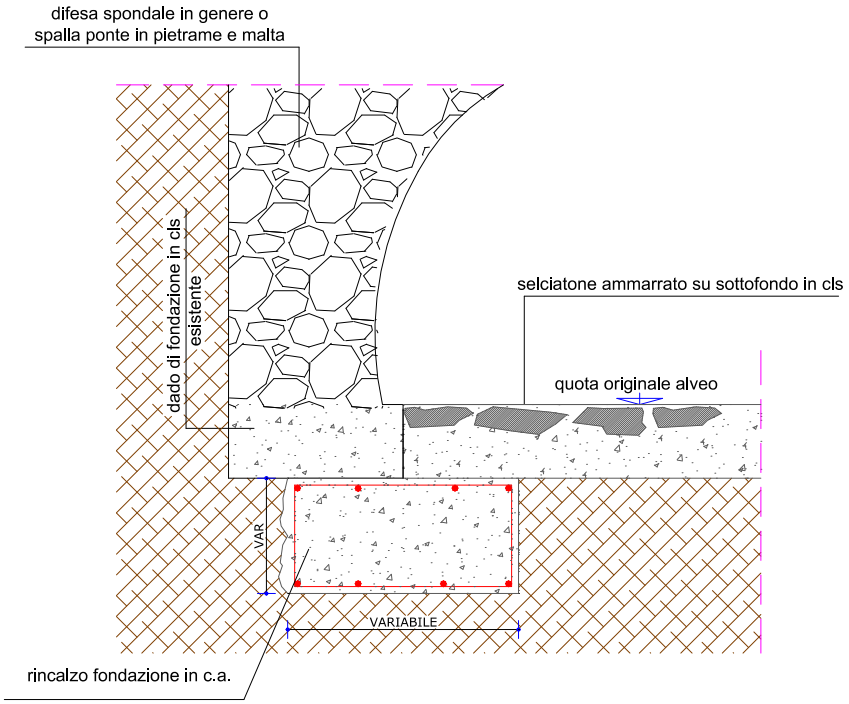
Per quanto riguarda la corazzatura del fondo alveo va segnalato che la dimensione dei blocchi lapidei dovrà essere proporzionata alla velocità della corrente. Nel caso in cui sussistano difficoltà di approvvigionamento del materiale di idonea pezzatura e/o difficoltà di trasporto e movimentazione dello stesso si potrà impiegare il materiale di sovralluvionamento presente in sito avente pezzatura più grossa e prediligere la soluzione intasata con CLS e posata su sottofondo anch'esso in CLS eventualmente armato in mancanza di materiale di pezzatura idonea.

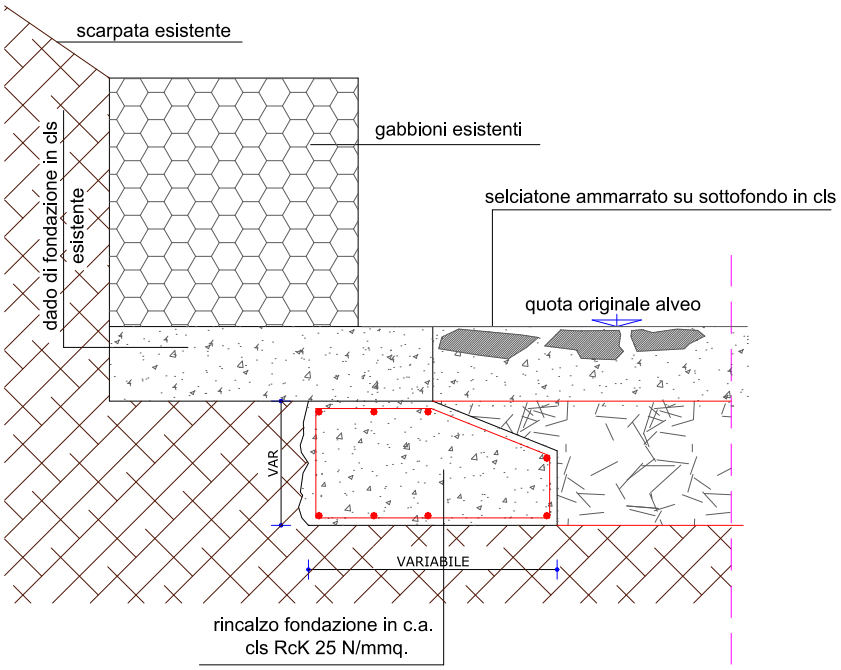
Si evidenzia che al raccordo tra selciatone e alveo andrà posizionata una soglia di confinamento come di seguito schematicamente rappresentata:

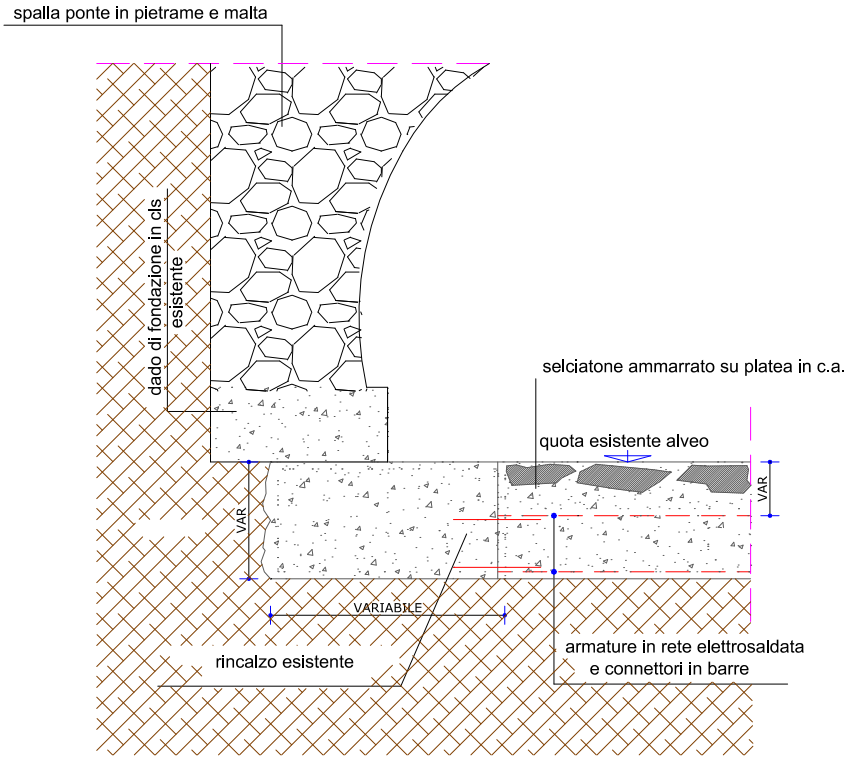


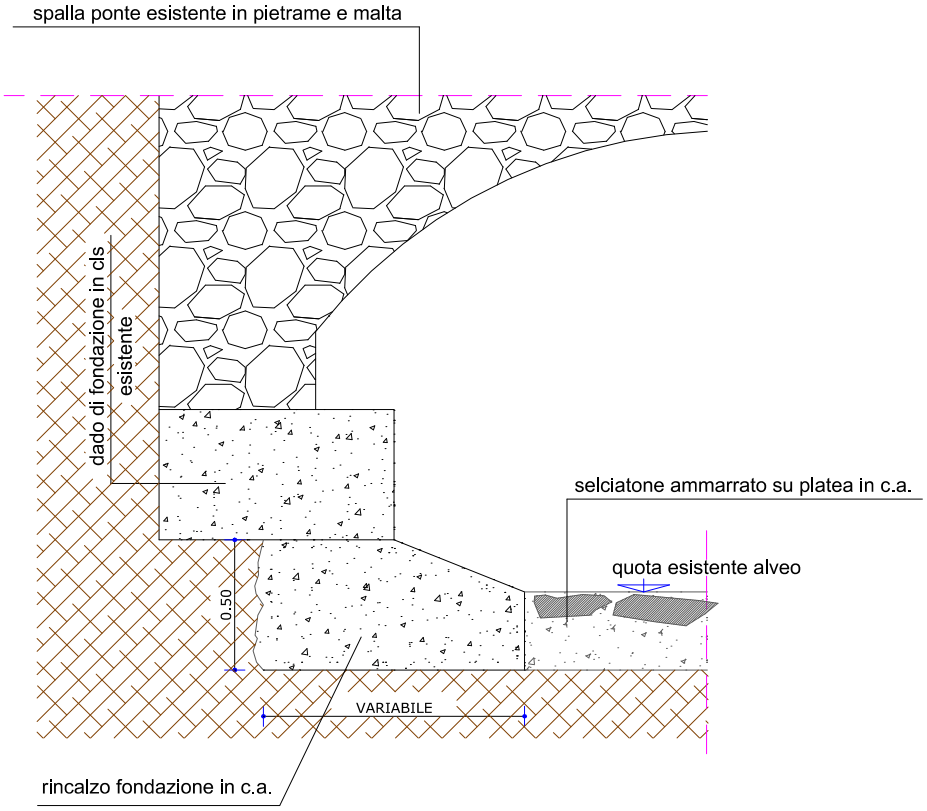
Sempre in tema di opere antierosione, di seguito si riporta la configurazione tipo di rincalzo da adottare in funzione di quanto rilevato in sito nei pressi dei ponticelli e protezioni spondali presenti lungo il Torrente Cosia ove le fondazioni esistenti sono risultate localmente scalzate e l'alveo in erosione.

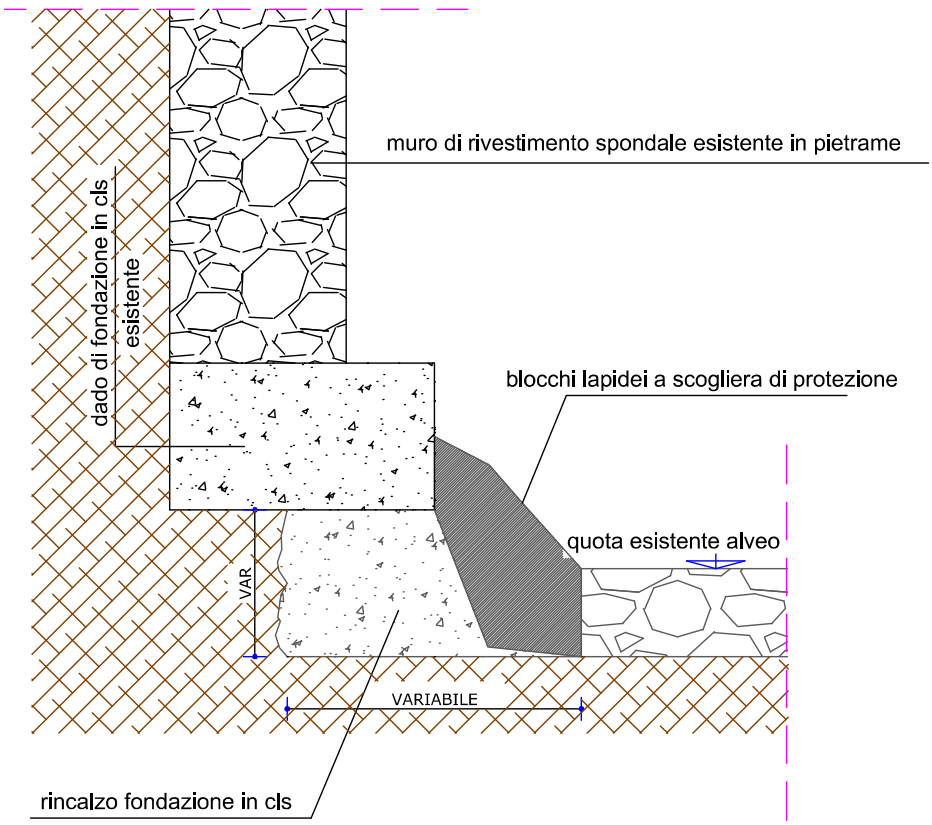
Di seguito si riportano alcuni schemi tipo di rincalzo armonizzati alle situazioni ricorrenti rilevate in sito:






spalla ponte in pietrame e malta
dado di fondazione in cls
esistente
selciatone ammarrato su platea in c.a.
quota esistente alveo
VAR
VAR
VARIABILE
rincalzo esistente
armature in rete elettrosaldata
e connettori in barre


spalla ponte esistente in pietrame e malta
dado di fondazione in cls
esistente
selciatone ammarrato su platea in c.a.
quota esistente alveo
0.50
VARIABILE
rincalzo fondazione in c.a.



Si evidenzia che le dimensioni dei rincalzi, soprattutto nei riguardi dell'approfondimento del piano di posa, vanno stabilite in funzione della forza erosiva della corrente di sito.

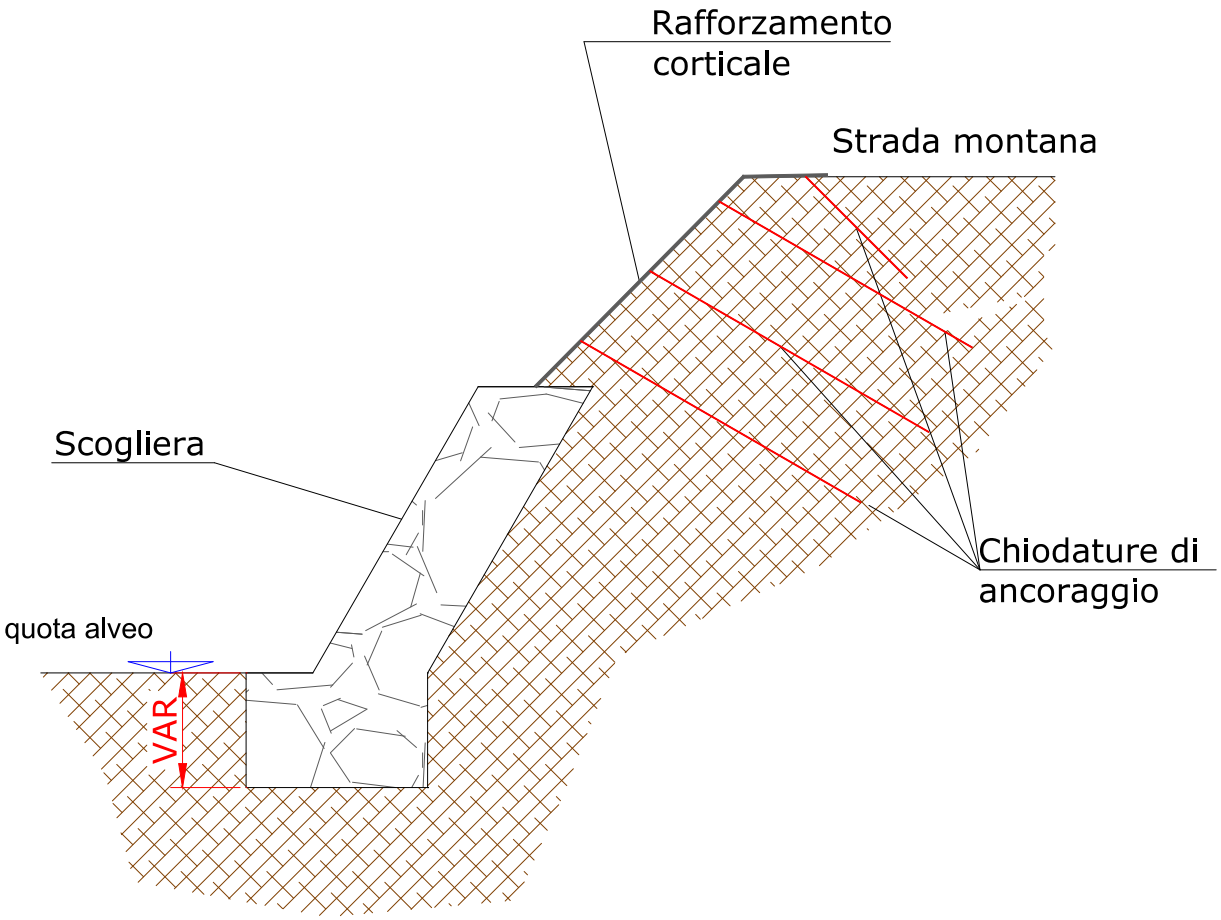
Infine va notato che lo schema, oltre al rincalzo fondale, riporta il raccordo con il piano alveo realizzato mediante posa di selciatone o corazzatura propriamente detta. Tale ulteriore accorgimento va applicato soprattutto laddove il tratto di torrente è risultato "in erosione" e quindi risulta necessario per mitigare il reiterarsi della fenomenologia. Operando al di sotto dei ponticelli con la posa del corazzamento di fondo, si dovrà prestare attenzione al mantenimento della luce libera minima di deflusso.

3.2.3 OPERE DI STABILIZZAZIONE

Per opere di stabilizzazione si intendono quelle opere che oltre alla funzione di presidio idraulico hanno anche quella di consolidare le alte scarpate incise dal torrente e i manufatti in dissesto (ad es. briglie) presenti all'interno dello stesso e che ne regolano il deflusso.

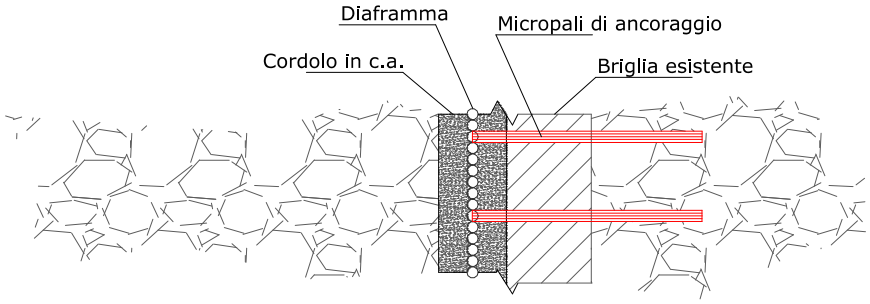
Nel seguito si riportano schemi tipo relativi alla stabilizzazione di scarpate e di briglie in dissesto.

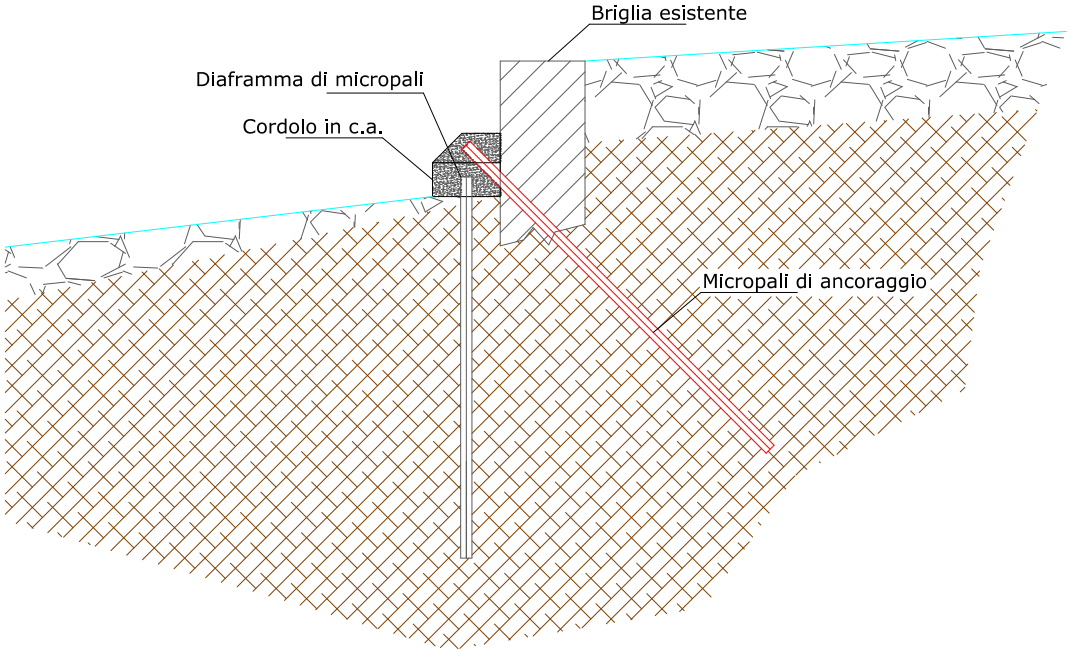
OPERE STABILIZZAZIONE SCARPATA SPONDALE



Il seguente intervento tipo può essere applicato laddove le briglie mostrano segnali di dissesto (rilevati in particolare sul torrente Valloni in Comune di Albese con Cassano) presumibilmente dovuto a fenomeni di sifonamento con conseguente cedimento alla base.

STABILIZZAZIONE BRIGLIA
CON DIAFRAMMA DI MICROPALI ACCOSTATI
E A ANCORAGGIO PASSIVO



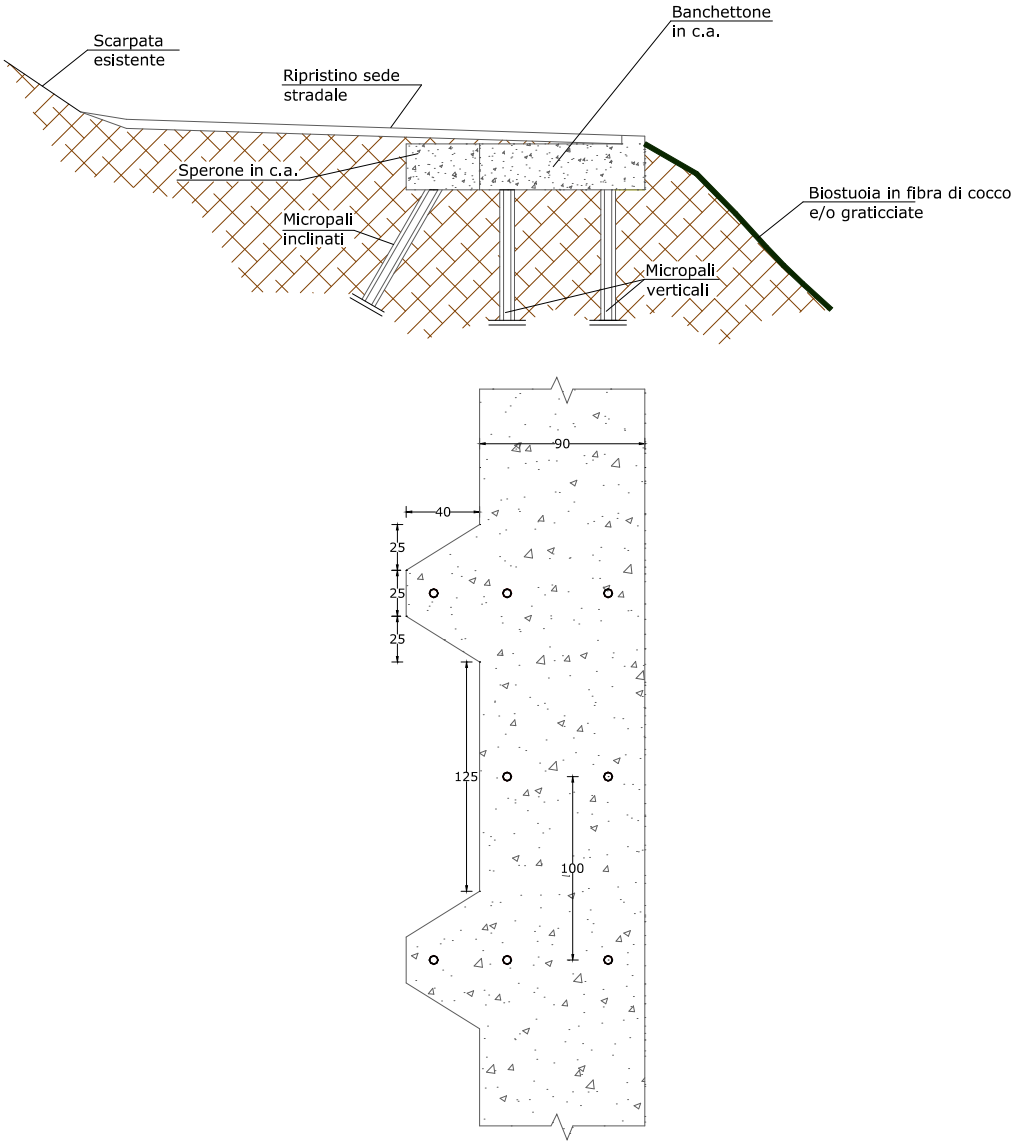


Infine, nel caso di briglie in dissesto per aggiramento della corrente con conseguente asportazione dell'incasso laterale, la soluzione applicabile risulta quella di prolungare la briglia e ripristinare la porzione di scarpata realizzando una scogliera in grossi blocchi lapidei. Nell'esecuzione di tali interventi le operazioni di scavo dovranno essere condotte con le dovute precauzioni ed eventuali opere provvisionali al fine di non instabilizzare le scarpate nelle quali verranno intestati i prolungamenti delle briglie.

3.3 INTERVENTI TIPO 3 – STABILIZZAZIONE CIGLI E SCARPATE STRADALI

Per quanto riguarda le **Opere di stabilizzazione dei cigli e delle scarpate** va precisato che sono state previste laddove sentieri e strade, uniche vie di accesso al Torrente, risultano localmente esposti o si sono già manifestate instabilità in progressione dinamica. Lungo tali tratti, al fine di ridurre al minimo il rischio di innescare ulteriori criticità con scavi troppo estesi e profondi, si può procedere con interventi di consolidamento dei cigli costituiti dalla realizzazione di banchettone in c.a. completamente interrato e fondato su micropali disposti a cavalletto.

OPERE STABILIZZAZIONE CIGLI STRADALI

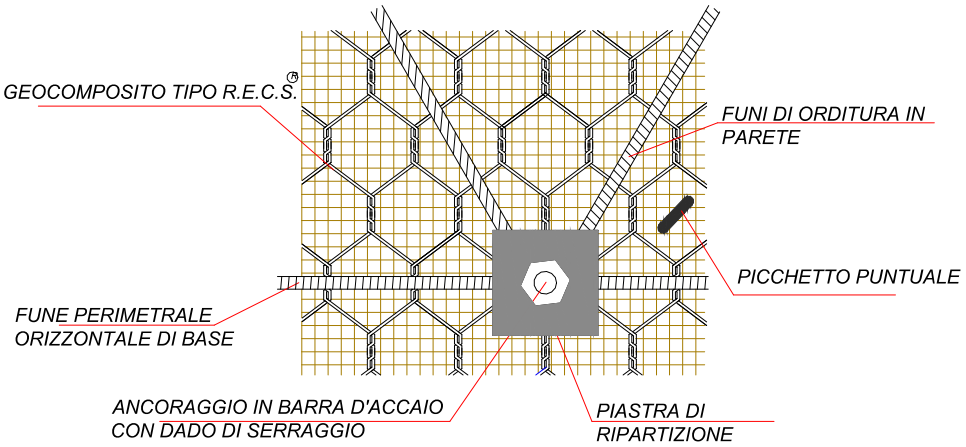


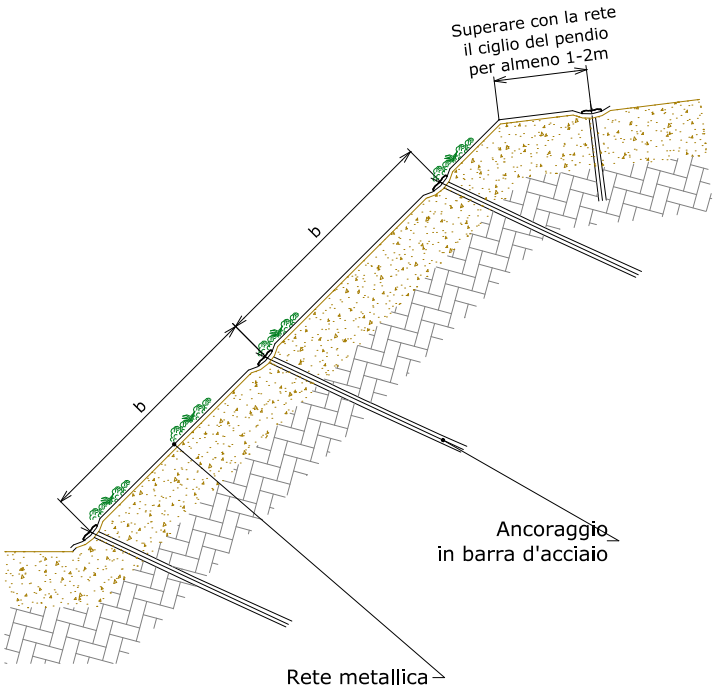
SEZIONE TIPO BANCHETTONE SU MICROPALI - BIOSTUOIA/GEOCOMPOSITI

La scarpata a valle andrà poi risagomata e rivestita con biostuoie preseminate. Laddove presso le porzioni di scarpate in detrito che presentano notevoli pendenze e/o sia presente

la roccia affiorante fessurata e degradata intervallata da porzioni di terreno detritico, possono essere adottati rafforzamenti corticali con reti metalliche in aderenza e chiodature disposte a maglia incrociata con passo variabile previo disgaggio delle porzioni di roccia in fase di distacco.

RAFFORZAMENTO CORTICALE CON GEOCOMPOSITO/BIOSTUOIA





SEZIONE TIPO RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETI IN ADERENZA E CHIODATURE

Si evidenzia che il rafforzamento corticale delle scarpate va eseguito impiegando sistemi a norma ETAG, ovvero sistemi che prevedono l'impiego di materiali (reti in acciaio speciale e geocompositi/biostuoie) e accessori (piastre) proporzionati sia a seconda del grado di rinforzo che si intende raggiungere per stabilizzare la porzione superficiale della scarpata, sia in funzione della disposizione delle barre di ancoraggio a passi prestabiliti. Le barre di ancoraggio poi avranno diametri e lunghezze tali da assicurare la forza

stabilizzante richiesta relativamente alle caratteristiche meccaniche dei terreni/rocce entro le quali vengono fondate (perforate e cementate).

3.4 INTERVENTI TIPO 4 - MONITORAGGI

Nonostante quanto di seguito illustrato non faccia parte del mandato conferito, si ritiene comunque utile e doveroso consigliare le Amministrazioni a promuovere l'elaborazione di un vero e proprio programma di **Monitoraggio** dei versanti che incombono sul Torrente Cosia per mantenere sotto controllo la fisiologica evoluzione sia delle morfologie torrentizie sia quelle di scarpate e versanti citati nell'Elaborato B (Relazione Geologica ed Idrogeologica).

Infatti come si evince dal sopraddetto Elaborato B (Relazione Geologica ed Idrogeologica) lungo alcuni tratti di versante in Comune di Albavilla (scarpate in roccia stratificata) e Comune di Tavernerio (scarpate in roccia e terreni detritici superficiali) il Torrente Cosia scorre in profondità entro scarpate spondali che ancora oggi, come in passato (si rammenta il disastroso evento del 1951 in Comune di Tavernerio) mostrano segni di instabilità in evoluzione più o meno dinamica. Vista l'estensione di tali areali e le difficoltà di accesso tali problematiche potrebbero essere mitigate solo con impegno di notevoli risorse.

Pertanto il suddetto programma di Monitoraggio dovrebbe contemplare la valutazione delle metodologie applicabili per il controllo delle porzioni che mostrano sintomi di instabilità più o meno incipiente e/o apparentemente quiescente.

Allo stato attuale si ritiene di proporre l'esame delle seguenti metodologie:

- ***Monitoraggio Visivo****, mediante sopralluoghi periodici di personale qualificato presso le aree critiche e redazione di report fotografici in punti prestabiliti per confrontare l'evoluzione o meno dei fenomeni (organizzazione a scala locale),*
- ***Monitoraggio Topografico*** *di campagna delle aree critiche, mediante apposizione di mire da posizionare, leggere periodicamente e confrontare (organizzazione a scala locale),*
- ***Monitoraggio Satellitare****, ovvero aumento del numero di punti di rilievo già presenti nel Sistema di rilievo Regionale GEOIFFI (organizzazione a scala Regionale),*
- ***Monitoraggio con impiego di fibre ottiche*** *(in fase sperimentale ma già impiegato dalla Provincia di Bolzano per il monitoraggio degli argini del fiume Adige).*

Per quanto riguarda i sistemi di monitoraggio tradizionali non si ritiene di affrontare l'argomento in quanto noti e sperimentati in gestione, limiti ed efficacia; si ritiene invece utile approfondire la tematica del **monitoraggio mediante fibre ottiche** in quanto rappresenta novità attuale che potrebbe avere sviluppi confacenti alle richieste di una società sempre più esigente e complessa.

Il principio di funzionamento comune ad ogni sensore in fibra ottica è il seguente: in essi, un segnale luminoso generato da un laser si propaga attraverso una fibra ottica e raggiunge una specifica "zona" laddove, interagendo con l'ambiente esterno, viene modificato; da lì, la luce si propaga attraverso la fibra ottica fino all'interrogatore.

Un aspetto caratterizzante ed inedito dei sensori in fibra ottica riguarda il meccanismo attraverso il quale la funzione di rilevamento è resa possibile: il rilevamento avviene direttamente nella fibra attraverso una modifica di una sua proprietà fisica in risposta al cambiamento dell'ambiente esterno. La luce che nella fibra si propaga risente di tale variazione e attraverso la misura degli effetti sulla luce è possibile misurare i parametri ambientali che l'hanno determinata.

Risulta quindi importante sottolineare che nei sensori in fibra ottica la fibra non si limita a instradare il segnale luminoso da e verso la zona dove si realizza la rilevazione ma costituisce essa stessa l'elemento che realizza la funzione di rilevazione.

Un sistema basato su sensori in fibra ottica consente di localizzare molti punti di misura in sito (da poche decine a migliaia), localizzati lungo una stessa fibra che, oltre a fornire il mezzo di rilevazione, trasporta il segnale alla stazione di monitoraggio disposta in zona ben servita e sufficientemente distante dal sito stesso (fino a decine di chilometri), dove il segnale viene elaborato e decodificato nel parametro di interesse. Inoltre, offrono alte prestazioni di misura (maggiore sensibilità e dinamica rispetto ai sistemi convenzionali). Si noti come la descrizione qui proposta, ben si allinei con le esigenze e tipicità del monitoraggio geotecnico e di dissesto idrogeologico.

Un particolare tipo di sensore in fibra ottica, particolarmente innovativo, è rappresentato dai cosiddetti sensori in fibra ottica distribuiti, con cui è possibile misurare in maniera continua lungo una fibra uno specifico parametro di interesse.

Ad oggi, questa tipologia, che costituisce l'unica tecnologia di sensori a contatto fisico, è in grado di misurare con continuità spaziale alcuni campi fisici (come la deformazione). In sostanza, nei sistemi distribuiti è tutta la fibra ad agire come un unico lungo sensore,

capace di misurare l'evoluzione del parametro fisico di interesse in maniera distribuita lungo tutta la sua lunghezza.

Una delle tecniche che rendono possibile tali sistemi si basa sulla cosiddetta diffusione di Brillouin. I sistemi di sensori in fibra ottica basati sulla diffusione Brillouin sono indicati per la misura distribuita di temperatura e/o deformazione (che vanno opportunamente discriminati, con idonee strategie di installazione della fibra): i sistemi disponibili in commercio dichiarano risoluzioni di misura inferiori ai 2 micrometri/metro per le deformazioni e inferiori ai 0,1 °C per la temperatura. La massima elongazione tollerabile dal cavo si aggira intorno ai 10 millimetri/metro. Le risoluzioni spaziali sono spesso molto elevate (fino a poche decine di centimetri) su lunghezze enormi (alcune decine di chilometri): questo significa che un sistema Brillouin consente di localizzare molte decine di migliaia di punti di misura su una stessa fibra. Sono tipicamente indicati per il monitoraggio di deformazioni in dighe, argine, pendii e frane, come nel caso qui analizzato.

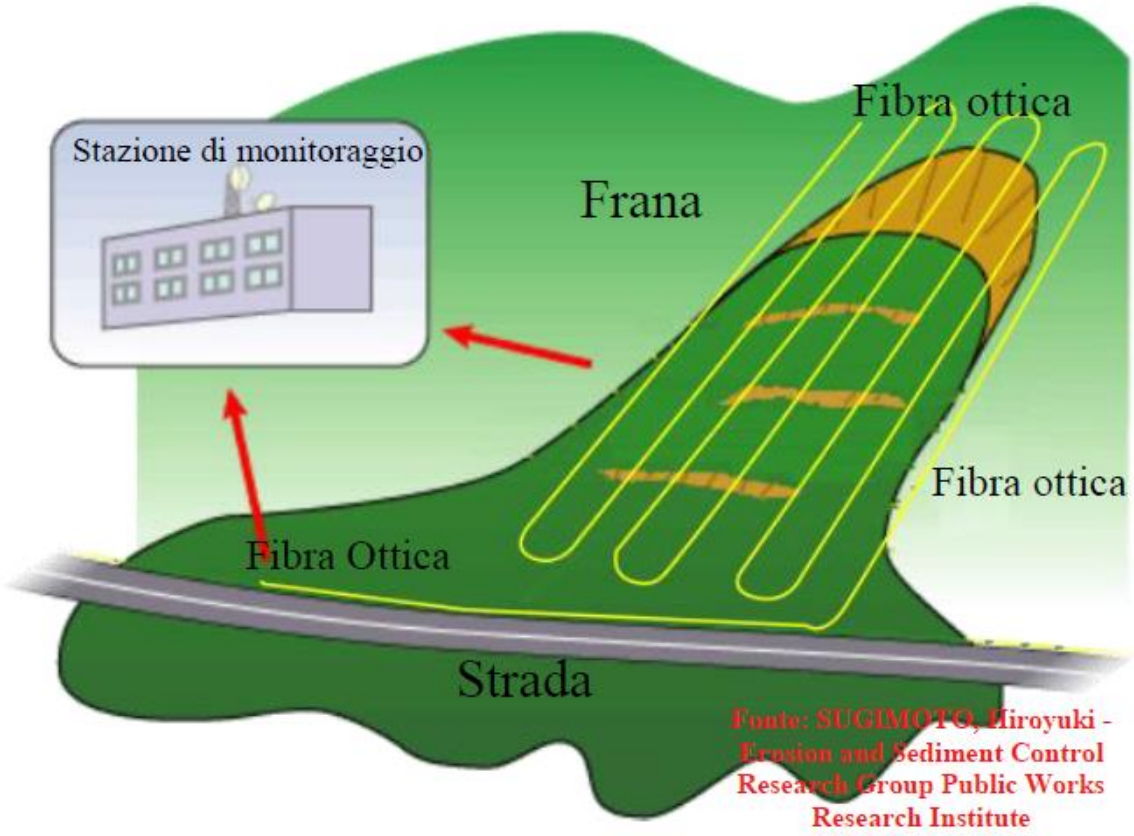
Va qui sicuramente osservato che la tecnologia dei sensori in fibra ottica applicati al monitoraggio geotecnico e di dissesto idrogeologico è ancora ad uno stadio di maturità tecnologica pre-industriale. Ad oggi, tra i punti più critici vi sono le problematiche relative all'installazione dei sensori, cioè della fibra ottica: ogni sito richiede infatti uno studio specifico ed è spesso richiesto personale tecnico preparato. Inoltre non esiste un protocollo standard di installazione e, in aggiunta, mentre il sensore in fibra ottica di per sé è poco costoso, i dispositivi di interrogazione possono essere molto costosi. Nonostante ciò un interrogatore per sensori in fibra ottica consente solitamente di misurare da poche decine fino a diverse migliaia di sensori per cui il costo totale per singolo punto di rilevamento risulta essere relativamente contenuto.

L'evoluzione del settore del monitoraggio sul panorama internazionale e del mercato ad esso sotteso, dimostra un certo incremento nella diffusione di questa tecnologia che viene impiegata in un numero sempre maggiore di siti e aree studio per verificarne l'applicabilità.

In particolare il sistema di monitoraggio a fibre ottiche potrebbe essere applicato in Comune di Tavernerio sul versante dal quale si innescò l'evento disastroso del 1951.
Su tale versante, costituito da terreni detritici poggianti su formazioni rocciose, ovvero una zona ove è alto il rischio di frane/smottamenti superficiali (= target di interesse), il sistema potrebbe essere congegnato come di seguito abbozzato a livello di larga massima.

Partendo dal presupposto che il sistema dovrebbe consentire di intercettare e segnalare i movimenti di versante più significativi si deve pensare di installare il cavo in fibra disposto a serpentina lungo la direzione di massima pendenza (stiamo parlando di circa 140 m di dislivello) con un passo trasversale di circa 10 metri.

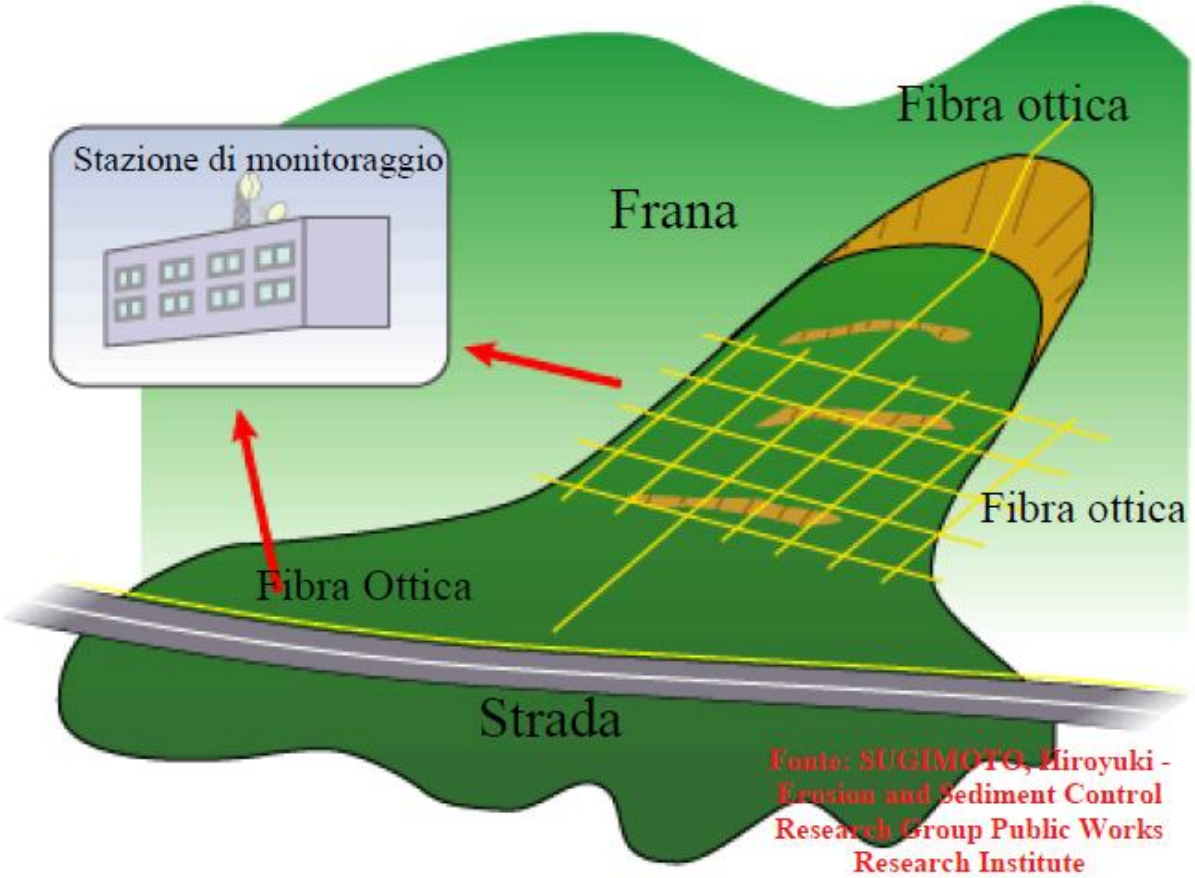
Uno schema di principio della deposizione dei cavi è rappresentato di seguito:



questo consente infatti di far operare il cavo in regime di allungamento (la contrazione risulta più difficilmente trasferibile e misurabile, specialmente in terreno detritico/sciolto). Ciò significa che per coprire 200m di sviluppo in pianta occorrerebbero più di 20 tornanti con una lunghezza di circa 4 km di fibra (in questo modo si copre il versante a nord del torrente Cosia).

In relazione all'aderenza tra cavo e terreno nonché in funzione dell'inclinazione di posa si valuterà l'utilizzo o meno di opportuni elementi di ancoraggio con i quali assicurare ulteriormente il cavo al terreno.

Un'opzione alternativa è rappresentata da una deposizione a griglia come quella schematizzata nella figura di seguito riportata. Ovviamente ciò richiede la posa di un quantitativo di cavo maggiore.



In ogni caso risulta necessario che parte del cavo sia posata ed ancorata in una zona non soggetta a movimento per poter stimare anche il movimento assoluto della frana ed individuarne i contorni. Infine accanto a questo cavo, sarebbe consigliabile installare anche un cavo per la misura di temperatura (in modo da compensare e integrare le misure di deformazione).

Già da questa premessa si evince la necessità di porre la massima attenzione alla "quantità" di materiale (cavi in fibra) da disporre. Tale dimensionamento potrebbe essere raffinato stimando a priori le aree e quindi le masse (spessore di terreno potenzialmente stabile) che potrebbero innescare, con il loro scivolamento a valle, eventi confrontabili con quello del 1951. Non si esclude quindi che, a fronte di studio dedicato, potrebbe risultare ragionevole pensare di diminuire la densità di installazione: ad esempio con spirale a tornanti ogni 20 metri e quindi una lunghezza totale di circa 2 km di cavo).

Dalle note sopra esposte risulta anche che il cavo dovrà essere interrato e ancorato al suolo e che quindi l'installazione richiederà l'intervento di maestranze e mezzi adeguati. Inoltre si dovrà pensare anche alla protezione da incendio boschivo eventualità che va presa anch'essa in esame.

Per tali problematiche si è pensato che il cavo in fibra ottica potrebbe essere disposto lungo al versante e interrata al di sotto di canalette di drenaggio rivestite in pietra. Come si può rilevare in sito tale presidio (canali di raccolta e drenaggio superficiale) è proprio quello che è stato adottato per la sistemazione superficiale post-evento del 1951.
Si nota quindi l'importanza di un dimensionamento preliminare delle aree e volumi potenzialmente soggetti a instabilità e della disposizione più efficace del presidio succitato.

A titolo indicativo nel seguito si evidenzia che il costo del cavo armato in fibra per il monitoraggio della deformazione si aggira attorno ai 10-12€ metro/lineare, mentre quello per il rilievo della temperatura risulta intorno ai 5-6 €/m (quotazioni di gennaio 2018). Questo significa una spesa per il solo cavo di deformazione all'incirca di 60 000,00 € a cui vanno aggiunti 15 000,00 € per il cavo della temperatura.

La posa potrebbe essere eseguita in concomitanza con la realizzazione di canali di drenaggio sfruttando la sinergia per le due operazioni (realizzazione dei drenaggi e posa dei cavi). Per informazione si specifica che il cavo per la deformazione pesa circa 10-12 kg/km mentre quello per la temperatura pesa 25 kg/km e che le bobine di trasporto hanno un diametro inferiore al metro e mezzo (a seconda del fornitore).

L'interrogatore, ovvero lo strumento che rileva i segnali, ha un costo che si aggira intorno ai 120 000,00€ euro, richiede alimentazione dell'ordine di 150 W e può essere localizzato in luogo remoto, raggiunto dal cavo, da entrambe le estremità. Ai costi suddetti vanno poi aggiunti quelli dei tecnici installatori che risulta difficile da valutare in quanto dipende dal progetto esecutivo di impianto. Lo strumento interrogatore può essere letto direttamente da un operatore istruito con un minimo di formazione tecnica, sia esso geometra, ingegnere o geologo, che risulta generalmente in grado di operare in autonomia. In alternativa è approntabile anche una procedura di interrogazione da remoto con collegamento tramite telefono cellulare.

In sintesi l'intervento relativo ai soli cavi e interrogatore (= la sola materia prima) si aggira oltre i 200 000,00 €.

4. PRE-DIMENSIONAMENTO DEGLI INTERVENTI TIPO

Nel seguito si riportano alcune note di inquadramento sia sulla classificazione sismica dei territori interessati, sia sulle caratteristiche geotecniche di massima dei terreni/rocce implementate nei pre-dimensionamenti, ovvero si illustrano le ipotesi adottate per il predimensionamento degli interventi proposti.

4.1 INQUADRAMENTO SISMICO

La Regione Lombardia, con d.g.r. 7 novembre 2003 n. 7/14964 ha stabilito la classificazione sismica dei singoli comuni proposta dalla OPCM 3274 ed ha stabilito i modi e i tempi di applicabilità della nuova normativa sismica sia per le costruzioni esistenti che per quelle future. La d.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)" ha provveduto all'aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni.

Secondo questa nuova classificazione ai ***comuni di Albavilla, Albese con Cassano, Tavernerio e Como,*** *nei territori dei quali sono previsti gli interventi di cui al presente elaborato,* ***è stata attribuita la zona sismica 4.***

Con il Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 sono state aggiornate le Norme Tecniche per le Costruzioni. La parte relativa alla determinazione delle azioni sismiche rappresenta una delle novità del testo normativo. Viene definitivamente abbandonato il concetto di "Zone Sismiche" e viene introdotto il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (di categoria A) con superficie topografica orizzontale.

La "pericolosità sismica di base" costituisce quindi l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alla progettazione strutturale dei manufatti.
Il modello di riferimento per la descrizione del moto sismico in un punto della superficie del suolo è costituito dallo spettro di risposta elastica costituito da uno spettro normalizzato considerato indipendente dal livello di sismicità, moltiplicato per il valore dell'accelerazione massima (ag x S) del terreno che caratterizza il sito di fondazione.
Gli spettri sono definiti in base a tre parametri fondamentali:

- *ag: accelerazione orizzontale massima del terreno;*
- *F0: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro;*

- *Tc*: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione.*

Questi parametri sono calcolati in funzione del "reticolo di riferimento". Sul territorio italiano è infatti stata individuata una maglia di circa 10 km di lato, associando a ciascun nodo la definizione di tali parametri. Partendo dai valori nei nodi, per ogni punto localizzato sul territorio mediante le sue coordinate geografiche (longitudine, latitudine) e attraverso interpolazione, è possibile stimare i parametri di pericolosità sismica per un periodo di ritorno (TR) assegnato.

II periodo di ritorno viene valutato in funzione della "Vita di Riferimento" (VR) ed in base alla corrispondente probabilità del suo superamento allo stato limite che si intende verificare. La "Vita di Riferimento" (VR) viene calcolata in funzione della "Vita Nominale" e del "Coefficiente d'uso" (CU).

A supporto delle successive fasi di progettazione dovranno essere valutati i parametri sito specifici necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto

4.2 INQUADRAMENTO GEOTECNICO PER LA CARATTERIZZAZIONE DI TERRE E ROCCE

II seguente inquadramento geotecnico è da considerare di larga massima in quanto deriva da precedenti esperienze svolte nei siti e dalla letteratura tecnica disponibile.

Per procedere con i dimensionamenti esecutivi andranno pertanto promosse, a tempo debito, opportune e specifiche campagne di indagine geognostica e geomeccanica.

In particolare i pre-dimensionamenti oggetto di tale elaborato sono stati condotti ipotizzando la presenza di terreni/rocce di caratteristiche meccaniche tipo pari alle seguenti.

CARATTERISTICHE MECCANICHE TERRENI TIPO

DESCRIZIONE SINTETICA	PESO DI VOLUME [kg/mc]	ANGOLO DI ATTRITO [°]	COESIONE [kg/cmq]
Coperture di versante	1 700 - 1 900	32 - 34	0.03-0.05
Depositi alluvionali	1 800 - 2 000	35 - 38	0
Roccia sana	2 400 - 2 600	32 - 35	2.00 – 3.00
Roccia fratturata	2 400 - 2 600	28 - 30	1.00 - 2.00

In sintesi:

- per la valutazione delle **spinte e la portata dei terreni a tergo e di appoggio delle scogliere e opere di presidio idraulico in genere** sono state impiegate caratteristiche meccaniche tipiche di materiali detritici frammisti a depositi alluvionali.
- Per le opere di **consolidamento dei cigli stradali** (banchettone su micropali) sono stati considerati terreni superficiali assimilabili a coperture di versante poggianti su substrato roccioso.
- Per le opere di **consolidamento scarpate** (rafforzamenti corticali) sono stati considerati versanti caratterizzati da debole copertura di detrito con inframezzate rocce affioranti fratturate.

Si evidenzia che le **corazzature di fondo** (o selciatoni), previste lungo i tratti ove il torrente è definito in erosione, andranno giocoforza poggiate su sottofondo in cls e cementate in quanto, vista la difficoltà di trasporto di materiale di nuovo apporto (sentieri montani stretti), potranno essere realizzate con il materiale lapideo recuperato in sito che però ha in generale pezzatura prossima a quella che la corrente potrebbe asportare.

Le suddette corazzature andranno estese per lo sviluppo dei tratti in erosione con spessori e pendenze tali da raccordarsi alla quota d'alveo naturale, più a valle, non soggetto ad erosione e termineranno con una soglia di stabilizzazione sagomata. Quest'ultima sarà costituita da un corpo in c.a. rivestito in testa, a monte e a valle con pietrame di opportuno spessore. Il corpo in c.a. andrà approfondito di almeno convenientemente al di sotto della quota d'alveo.

4.3 ORIENTAMENTI TEORICI PER IL PRE-DIMENSIONAMENTO DEI PRESIDI IDRAULICI

Di seguito si illustrano gli orientamenti teorici adottati per il pre-dimensionamento delle protezioni spondali siano queste Rip Rap, scogliere alla rinfusa e scogliere. In generale lo studio si può condurre applicando la teoria di Shields (*v. nel seguito*) calcolando dapprima lo sforzo di trascinamento al fondo che si sviluppa per la corrente in esame e poi la dimensione minima che dovrà avere il materiale di protezione per risultare stabile.

4.3.1 Stima Condizioni di Equilibrio delle Sponde

Dapprima vanno stabilite le sollecitazioni dinamiche indotte dalla corrente di piena sulle sponde con particolare riguardo alla stabilità delle sponde nei confronti dell'azione

erosiva della corrente. Il primo passo consiste nell'individuare il diametro d'equilibrio del materiale costituente le sponde e/o le protezioni. In letteratura sono disponibili varie formulazioni per tale dimensionamento con risultati che, come è ben noto, sono oltremodo variabili.
L'intensità dei fenomeni erosivi provocati dal deflusso delle correnti a pelo libero nei corsi d'acqua è dovuta sia alle azioni tangenziali agenti sulle superfici bagnate, normalmente valutabili per via teorica semplificata in funzione della velocità e della profondità della corrente (assunta monodimensionale), sia alle turbolenze locali, di difficile schematizzazione e normalmente valutabili solo per via sperimentale.

Molte delle formulazioni empiriche proposte negli ultimi decenni per il dimensionamento delle protezioni d'alveo con massi, tengono conto del grado di turbolenza della corrente o, comunque, considerano l'applicazione di un coefficiente di sicurezza che va aumentato o ridotto in funzione della maggiore o minore turbolenza delle acque.

4.3.2 Calcolo minimo diametro stabile

La valutazione dell'inizio del moto di particelle sull'alveo di un corso d'acqua (moto incipiente) può essere individuata attraverso l'imposizione dell'equilibrio tra le forze che tendono a spostare la particella e le forze che tendono ad opporsi al movimento.

L'impostazione classica di tale valutazione fu proposta originariamente da Shields [1936] ed è riferita all'ipotesi di particelle omogenee, non coesive, su fondo orizzontale.
Il criterio di Shields è rappresentato dalla seguente espressione:

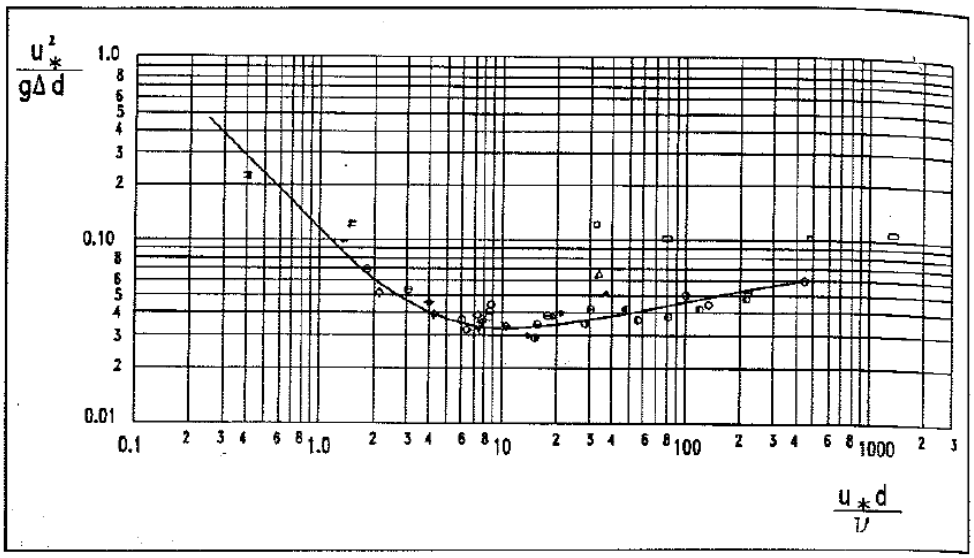
$$\phi = \frac{u_*^2}{g\Delta d} = f(\mathrm{Re}_*) \qquad (1)$$

dove:

d	è il diametro medio della particella;	
g	è l'accelerazione di gravità;	
$\Delta = (\rho_s - \rho)/\rho$	è la densità relativa della particella immersa;	
$\mathrm{Re}_* = \frac{u_* d}{\nu}$	numero di Reynolds della particella	(2)
$u_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$	velocità di attrito locale	(3)
τ	sforzo tangenziale massimo	
ρ_s	densità della particella	
ρ_s	densità dell'acqua	
ν	viscosità cinematica dell'acqua	

Sulla seguente **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** è riportata la **curva di Shields**, ricavata sperimentalmente, che separa la zona di mobilità delle particelle da

quella di immobilità. Per i punti che giacciono sotto la curva il moto dell'acqua non è in grado di provocare il moto delle particelle ($\phi \leq \phi_{cr}$)

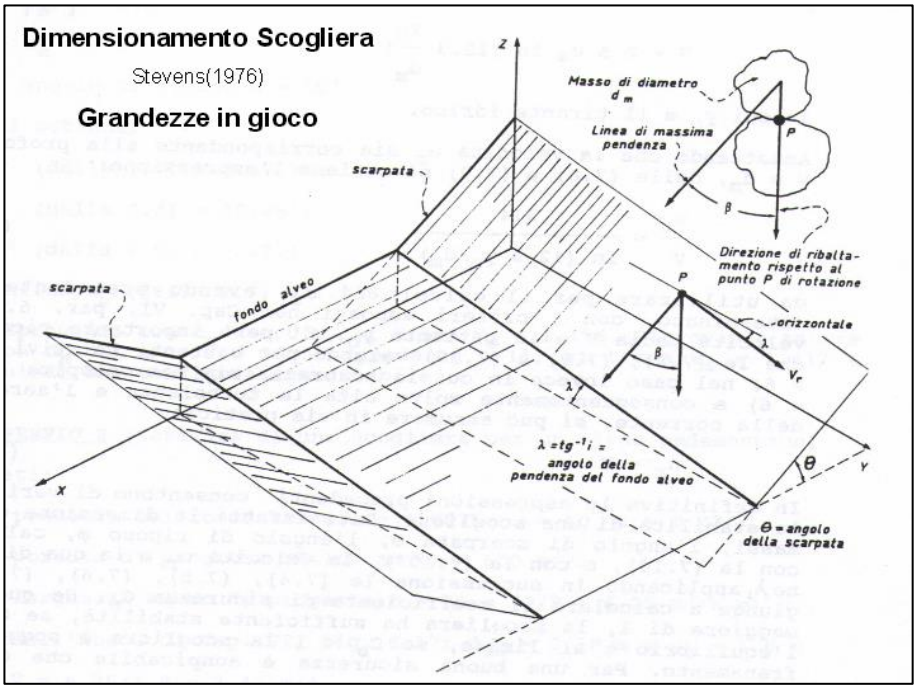


Nel campo del moto puramente turbolento ($\mathrm{Re}_* > 200$), il moto incipiente ($\phi = \phi_{cr}$) è rappresentato dalla seguente espressione:

$$\phi_{cr} = \phi = \frac{u_*^2}{g\Delta d} = 0.06 \qquad (4)$$

La teoria di Shields è valida solo per il caso di alta sommergenza ossia solo se il rapporto tra tirante *h* e diametro medio della particella *d* è maggiore di 6. Spesso, tuttavia, la dimensione delle particelle è dello stesso ordine di grandezza del tirante idrico h, per cui si dice che la sommergenza relativa è bassa ($h/d<6$).

4.3.3 Dimensionamento Presidi Spondali



Dimensionamento Scogliera

Stevens (1976)

$$\sigma = \frac{21 \cdot \tau}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right) \cdot \gamma_w \cdot d_m} = \frac{0.30 \cdot u_r^2}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right) \cdot g \cdot d_m}$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{\cos\lambda}{\frac{2 \cdot \sin\theta}{\sigma \cdot \tan\phi}} + \sin\lambda\right)$$

$$\frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{1 + \sin(\lambda + \beta)}{2}$$

$$Fs = \frac{\cos\theta \cdot \tan\phi}{\sigma' \cdot \tan\phi + \sin\theta \cdot \cos\beta}$$

PARAMETRI

t	l'azione di trascinamento esercitata dalla corrente sul masso, [Pa]
dm	il diametro medio del masso, [m]
Fs	il coefficiente di sicurezza al ribaltamento del masso rispetto al punto di rotazione. Tale coefficiente non è altro che il rapporto tra il momento risultante delle forze stabilizzanti ed il momento risultante delle forze ribaltanti.
J	l'angolo di inclinazione adottato per la scarpata, [°]
f	l'angolo d'attrito del materiale in acqua, [°]
b	l'angolo che la direzione di caduta del masso forma con la linea di massima pendenza della scarpata, [°]
l	l'angolo diedro esistente tra il piano orizzontale ed il piano inclinato costituente il fondo del corso d'acqua, [°]. La tangente di detto angolo non è altro che la pendenza del fondo dell'alveo.
s'-s	sono i numeri di stabilità del masso rispettivamente su sponda inclinata e fondo piatto.
ur	la velocità della corrente in corrispondenza del masso considerato, [m/s].

Una stima della velocità con cui la corrente impatta sul masso considerato può essere ottenuta dalla legge logaritmica di distribuzione di velocità lungo la verticale in condizioni di moto assolutamente turbolento:

$$u(y) = 2.5 \cdot u_* \cdot \ln\left(30.2 \frac{y}{d_m}\right)$$

dove u* non è altro che la velocità d'attrito, calcolabile con la formula

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho_w}}$$

in cui ρ_w è la densità dell'acqua, [Kg/m^3]
Integrando la formula che fornisce la velocità della corrente sulla verticale, si ottiene per la velocità media della corrente la seguente espressione:

$$V = 2.5 \cdot u_* \cdot \ln\left(12.3 \cdot \frac{y_0}{d_m}\right)$$

in cui y_0 è il tirante idrico.

Ammettendo che la velocità u_r sia corrispondente alla profondità $y=d_m$, dalle espressioni viste in precedenza si ottiene:

$$u_r = \frac{3.4}{\ln\left(12.3 \cdot \frac{y_0}{d_m}\right)} \cdot V$$

Alta Sommergenza

dalla quale si può ottenere la velocità u_r noti il tirante idraulico e la velocità media della corrente V.
Quest'ultima formula può essere utilizzata solo ed esclusivamente in condizioni di alta sommergenza, vale a dire quando è il tirante idraulico è almeno 6 volte maggiore del diametro dei sassi che costituiscono la scogliera ($y_0/d_m>6$). In condizioni di bassa sommergenza ($y_0/d_m<6$), quando la turbolenza e l'areazione della corrente sono molto elevate, in via pratica si può assumere:

$$u_r = V$$

Bassa Sommergenza

5. CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state illustrate le considerazioni geotecniche sviluppate sulla scorta degli Elaborati specialistici B (Relazione Geologica ed Idrogeologica) e C (relazione Idraulica) e finalizzate al pre-dimensionamento geotecnico tipo delle soluzioni progettuali, ritenute idonee alla mitigazione del rischio idrogeologico e idraulico del Torrente Cosia. Lo studio geotecnico è stato condotto sulle opere tipo di seguito descritte:

1.- pulizia d'alveo finalizzata al taglio delle alberature vegetate in alveo nonché alla rimozione di tronchi e rami che trascinati dalla corrente in piena si accumulano nelle zone di calma, creano sbarramenti temporanei incastrandosi tra le rive, tra gli elementi lapidei affioranti e le alberature in alveo prima citate. Tale fenomenologia, ostacolando il libero deflusso delle acque talvolta lo indirizzano verso le sponde innescando fenomeni erosivi più o meno localizzati che vanno a minarne la stabilità. Non da ultimo andrà rimosso, laddove presente, il materiale di sovralluvionamento che accumulandosi all'interno delle anse e curve riduce la luce d'alveo provocando al fronte opposto l'erosione al piede delle sponde e delle opere di protezione spondale ove presenti;

2.- Opere di difesa idraulica (riparazione, completamento, integrazione, sostituzione ed estensione delle opere di protezione spondale e antierosione d'alveo) finalizzate al ripristino, stabilizzazione e all'incremento dell'efficienza dei suddetti presidi (si rimanda all'Elaborato C – Relazione Idraulica).

3.- Opere di stabilizzazione dei cigli e delle scarpate destinate al consolidamento dei cigli e delle scarpate presenti lungo lo sviluppo dei sentieri e delle strade uniche vie di accesso al torrente nonché deputate a rinforzare puntualmente/localmente la stabilità delle sponde più alte ove il Torrente scorre profondamente incassato.

4.- Si sono invitate le Amministrazioni a promuovere l'attivazione della progettazione organizzazione, installazione e/o predisposizione di **Sistemi di Monitoraggio** sugli alti versanti incombenti sul torrente (Comuni di Albavilla e Tavernerio) che in passato ed ancora oggi mostrano segnali di instabilità in evoluzione più o meno dinamica (quelli segnalati sull'Elaborato B: Relazione Geologica ed Idrogeologica).

Concludendo si ritiene che le soluzioni tipologiche precedentemente illustrate, individuate in base ai rilievi condotti e alle morfologie presenti all'atto dei rilievi medesimi, possano ragionevolmente mitigare le problematiche idrogeologiche ed idrauliche rilevate lungo il

corso del Torrente Cosia. Tuttavia si segnala che per giungere al compiuto dimensionamento esecutivo sarà utile quanto necessario avviare opportune campagne di indagine geognostica e geomeccanica da proporzionare in funzione delle caratteristiche dei terreni/rocce presenti nei siti specifici e sulla base della specifica tipologia d'opera da realizzare.

Cantù, giugno 2018 *Dott. Ing. Mauro De Gennaro*