



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
FACOLTÀ DI SCIENZE AGRARIE E ALIMENTARI

Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali
Corso di Laurea in Agrotecnologie per l'Ambiente e il Territorio

**EFFICACIA DELLE PALIFICATE VIVE NELLA
STABILIZZAZIONE DEI VERSANTI: ALCUNI ESEMPI IN
VALSESIA**

Relatore: Professor Gian Battista BISCHETTI
Correlatore: Geometra Marco GODIO

Elaborato finale di: Roberta DENICOLA
matricola 811650

Anno Accademico 2014 – 2015

SOMMARIO

INTRODUZIONE	pag. 2
CAPITOLO 1 - IL DISSESTO IDROGEOLOGICO	pag. 3
1.1 erosione superficiale	pag. 3
1.2 movimenti di massa	pag. 5
1.3 nomenclatura	pag. 8
1.4 stato di attività	pag. 10
1.5 erosione d'alveo	pag. 11
CAPITOLO 2 - L'INGEGNERIA NATURALISTICA	pag. 13
2.1 storia	pag. 14
2.2 interventi di sistemazione dei versanti	pag. 16
2.3 palificate vive di sostegno a doppia parete	pag. 18
2.3.1. parametri tecnici	pag. 18
2.3.2. parametri costruttivi	pag. 20
2.3.3. stabilità dell'opera	pag. 21
2.3.4. limiti di applicabilità e durabilità dell'opera	pag. 23
2.3.5. scelta del legname in base alla sua resistenza alla degradazione	pag. 24
2.4 metodologia di valutazione degli interventi	pag. 26
2.4.1. aspetti considerati	pag. 26
2.4.2. metodologia di assegnazione dei pesi e dei punteggi	pag. 28
CAPITOLO 3 - LA VALSESIA	pag. 29
3.1 inquadramento geografico e climatologico	pag. 29
3.2 geologia	pag. 31
3.3 litologia	pag. 32
3.4 situazione generale del dissesto	pag. 33
3.5 il bacino idrografico del fiume Sesia	pag. 34
3.5.1. caratteristiche fisiografiche	pag. 34
3.5.2. aspetti idrologici e idraulici	pag. 35
CAPITOLO 4 - CASI DI STUDIO	pag. 36
4.1 localizzazione geografica	pag. 36
4.2 attribuzione dei pesi e punteggi da parte dei tecnici	pag. 37
4.3 interventi realizzati e loro valutazione	pag. 38
4.3.1. Borgosesia, frazione Agnona (VC)	pag. 38
4.3.2. Breia, località Agarla (VC)	pag. 41
4.3.3. Valduggia, località Soliva (VC)	pag. 43
4.3.4. Cravagliana, località Valbella superiore (VC)	pag. 45
4.3.5. Breia, centro paese (VC)	pag. 48
CAPITOLO 5 - DISCUSSIONE DEI RISULTATI E CONCLUSIONI	pag. 52
CAPITOLO 6 - BIBLIOGRAFIA	pag. 54
CAPITOLO 7 - SITOGRAFIA	pag. 56
APPENDICE	pag. 57

La montagna è sempre stata considerata come un territorio marginale. Clima ostile, morfologia del terreno impervia e altimetria hanno reso complicate la costruzione di abitati, strade e lo svolgimento delle attività agro-silvopastorali. Nonostante ciò, la popolazione ha adattato il proprio stile di vita a tali condizioni, rendendo possibile la vita d'alta quota.

E' negli anni '50 - '60 che, a causa dell'industrializzazione, dell'urbanizzazione e della meccanizzazione, la popolazione montana ha sentito il desiderio di cambiare vita. Cercando di migliorare le proprie condizioni economiche e sociali, è andata alla ricerca di quella ricchezza che si poteva realizzare solo in zone di più facile accesso quali sono le pianure.

Le conseguenze di questo fenomeno, che esiste tuttora, sono molteplici e hanno un riscontro negativo sulla componente economica, sociale, ma soprattutto ambientale. Riguardo quest'ultimo aspetto, è particolarmente compromesso l'assetto idrogeologico dei pendii che, senza un'adeguata regimazione delle acque e manutenzione delle opere esistenti, contribuisce ad aumentare l'erosione e l'insorgere dei fenomeni franosi connessi.

Tantissimi sono i comuni italiani a rischio, i quali, ogni anno, devono fare i conti con un bilancio economico pesantissimo. Va da sé che la prevenzione e la manutenzione del territorio sono uno strumento fondamentale per la riduzione del degrado ambientale e del rischio per le persone, le cose ed il patrimonio naturale, nonché per la riqualificazione delle zone svantaggiate, anche con positive ricadute in termini occupazionali.

Da un po' di tempo a questa parte, si sta riconoscendo la necessità di una politica di intervento che porti a un approccio più sistematico e moderno di gestione del territorio che tenga conto, oltre agli aspetti più propriamente tecnici, anche di quelli ambientali.

Proprio in questo contesto viene inserita l'Ingegneria Naturalistica, una disciplina che è andata sempre più affermandosi nella difesa dei territori montani ed in particolare nella tutela degli stessi dal dissesto idrogeologico.

Di seguito, saranno descritti i principali fenomeni erosivi che rendono necessaria l'applicazione di tale materia, successivamente verranno analizzate le tecniche nel loro insieme, sviluppando maggiormente quella più usata per la stabilizzazione dei versanti montani: la palificata viva di sostegno a doppia parete.

Con riferimento alla realtà piemontese, ed in particolare a quella valsesiana, sono stati monitorati cinque progetti realizzati in anni precedenti.

Lo studio ha richiesto un'articolazione in diverse fasi. In un primo momento, si sono ricercati i progetti esecutivi-definitivi delle opere realizzate. Ci si è focalizzati sul luogo e sul motivo dell'intervento, sulle caratteristiche geologiche e idrogeologiche del sito, sul prospetto dei lavori effettuati ed infine sul reperimento della cartografia (CTR ed estratti catastali) e dei disegni.

In seguito, è stato necessario effettuare diversi sopralluoghi, producendo inoltre una ricca documentazione fotografica. Si è andati a osservare se la struttura rispondeva ai requisiti per i quali era stata fatta realizzare, e alcuni parametri tra i quali la presenza marciumi, cedimenti e/o rotture e presenza di infiltrazioni d'acqua.

Ultima fase è stata quella di elaborare i dati, traendo conclusioni e formulando un giudizio sullo stato odierno dell'opera.

CAPITOLO 1. IL DISSESTO IDROGEOLOGICO

Il "dissesto idrogeologico è l'insieme di quei processi che vanno dalle erosioni contenute e lente, alle forme più consistenti della degradazione superficiale e sottosuperficiale dei versanti, fino alle forme imponenti e gravi delle frane" (Commissione De Marchi 1970-74).

Successivamente fu validata anche la definizione data dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI), istituito nel 1984 dal ministro per la Ricerca scientifica e tecnologica, che descrive il fenomeno come "qualsiasi disordine o situazione di squilibrio che l'acqua produce nel suolo e/o nel sottosuolo".

Fenomeni come il franamento di interi pendii, formazione di pianure alluvionali in seguito alle inondazioni, l'erosione del suolo ed il trasposto a valle dei detriti, sono comunque eventi sempre esistiti e facenti parte della dinamica terrestre. Va anche detto che in molti casi, l'uomo, ha accelerato o innescato tali processi naturali catastrofici, esponendo sempre più il territorio al rischio idrogeologico. Svariati sono gli interventi umani che hanno causato dissesti, come il sovraccarico delle pendici mediante manufatti, gli sbancamenti al piede dei versanti, il prelievo eccessivo di fluidi o di minerali dal sottosuolo, l'abbandono dei boschi e dei presidi montani.

Per rimediare a ciò, l'uomo stesso, ha il compito di porre rimedio a questi fenomeni intervenendo soprattutto sulla:

- previsione: andando a individuare e censire le aree potenzialmente a rischio;
- prevenzione: adottando misure legislative e tecniche per contenere il rischio;
- mitigazione: applicando specifiche tecniche protettive nel momento in cui si è verificato il fenomeno.

1.1 EROSIONE SUPERFICIALE

L'erosione superficiale viene considerata come un processo di distacco e di trasporto di particelle di suolo operato da agenti erosivi.

Successivamente, il sedimento così separato, si andrà a depositare in un luogo diverso da quello originario.

Si verifica su tutti i pendii, con una ridotta copertura vegetale, soprattutto se il terreno ha granulometria non troppo grossolana, agisce in maniera rapida modificando rapidamente la morfologia del versante e comporta la perdita di suolo fertile.

Molte sono le tipologie di erosione, ma possiamo ricordare in particolare:

- splash erosion (erosione da impatto): l'erosione dell'acqua dipende dall'energia cinetica della pioggia, a sua volta funzione dell'altezza e dell'intensità. In Figura 1.1 vediamo la dinamica di tale fenomeno. La goccia disperde la sua energia al momento dell'impatto con il terreno formando, di conseguenza, una corona d'acqua che, disperdendo altre finissime goccioline nel circondario, contribuiscono a distaccare altre particelle di suolo. Alla fine si crea una crosta superficiale sulla zona d'impatto.

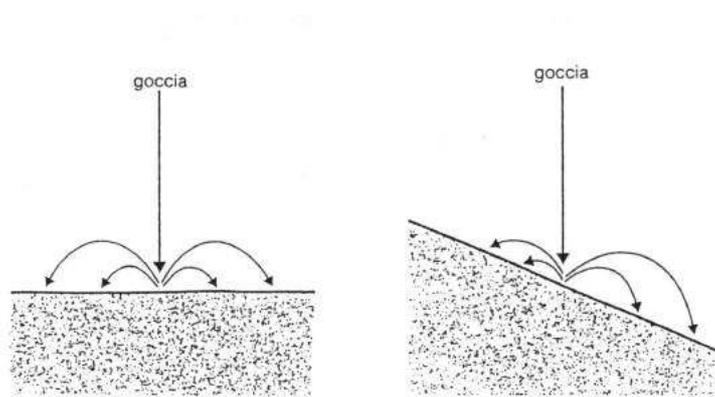


Figura 1.1: splash erosion (da Casati, 2014)

- sheet erosion: erosione di tipo laminare (Figura 1.2), quindi diffuso su tutta la superficie, ad opera del deflusso superficiale. I detriti si depositano a formare dei "coni" o "ventagli di deposizione".



Figura 1.2: sheet erosion (da Casati, 2014)

- rill erosion: erosione dovuta alle acque di ruscellamento, incanalate lungo le linee di massima pendenza del versante. Di norma, i solchi che si vengono a creare, sono cancellabili con le varie lavorazioni agronomiche (Figura 1.3).



Figura 1.3: rill erosion (da Casati, 2014)

➤ gully erosion (erosione per fossi): si tratta di un tipo di erosione dovuto al deflusso concentrato, che porta alla formazione di canali profondi più di 30 cm (Figura 1.4), dalle pareti sub-verticali con conseguente aumento di instabilità. Essendo di notevoli dimensioni, non è possibile intervenire con le normali lavorazioni agronomiche.



Figura 1.4: gully erosion (da Casati, 2014)

1.2 I MOVIMENTI DI MASSA

I movimenti di massa, più comunemente conosciuti come "frane", sono movimenti di materiale (roccia, detriti o terra) che avvengono lungo i versanti. Sono regolati principalmente dalla forza di gravità, ma l'acqua svolge un ruolo molto importante come causa scatenante. Questa, incanalandosi sotto la superficie e poi sgorgando alla base del pendio, provoca il crollo delle strutture sovrastanti portando, nei casi più gravi, al distacco dell'intero versante.

Altri possono essere i fattori che entrano in gioco e che spesso agiscono in modo combinato. Vengono divisi in:

- predisponenti: presenza di intercalazioni argillose;
elevata fratturazione;
incoerenza del materiale;
presenza di stratificazione;
fessurazione;
laminazione;
attività antropica;
- innescanti: scalzamento al piede di un versante ad opera di acque fluviali o litorali;
processi di disgregazione meteorica;
precipitazioni meteoriche particolari;
attività sismica;
attività antropica.

Questi fenomeni vengono classificati sulla base della classificazione di Varnes (1978), la quale si adatta molto alla realtà geomorfologica del territorio italiano. Distinguiamo (Figura 1.5):

- crolli (1): sono costituiti dal distacco, spesso improvviso, di una massa di materiale (generalmente roccioso) da una parete verticale o sub-verticale. Il distacco avviene lungo una superficie definita e la massa procede poi per caduta libera, rimbalzi e rotolamento. Il movimento è estremamente rapido: si va da pochi a qualche decina di secondi. Il deposito è costituito da un accumulo di materiale di varie dimensioni che si raccoglie al piede del versante, ma singoli

blocchi di dimensioni maggiori possono percorrere anche notevoli distanze.

Le cause di questo tipo di franamenti sono da ricercare nelle caratteristiche geo-meccaniche della roccia, nell'inclinazione del terreno e nei fattori che sovrintendono alla sua disgregazione.

La difesa da questo tipo di fenomeni è legata prevalentemente al monitoraggio, alla rimozione delle masse instabili (disgaggio) ed ai dispositivi di tipo passivo (reti metalliche con geosintetici, rilevati paramassi in terra rinforzata);

- ribaltamenti (2): si tratta di movimenti che avvengono per rotazione verso l'esterno del pendio. In genere di elementi rocciosi ruotano attorno ad un punto di rotazione situato al di sotto del baricentro della massa interessata, per azione della gravità, di fluidi (acqua nelle fratture) e/o di sollecitazioni sismiche. Si interviene con riprofilature in roccia, rivegetazione del solo accumulo di frana o costruendo muri di sostegno;
- scivolamenti
 - rotazionali (3): movimenti franosi che interessano formazioni a prevalente componente limoso-argilloso. Le sollecitazioni avvengono lungo superfici ben individuabili, di solito corrispondenti a discontinuità strutturali, come ad esempio piani di stratificazione, eventualmente con presenza di strati argillosi, che favoriscono lo scivolamento, oppure piani di contatto fra rocce di tipo diverso. Tutti questi fattori inducono uno spostamento di massa lungo una superficie curva assimilabile ad un arco di circonferenza con concavità rivolta verso l'alto. L'aspetto finale della zona interessata dallo smottamento, sarà uno svuotamento del versante verso monte e un suo rigonfiamento nella zona del piede. Questi movimenti, che spesso evolvono in forma di colata più o meno viscosa, interessano pendii di lunghezza notevole e dalle pendenze uniformi. In presenza di questo fenomeno si interviene rimodellando il versante per ridurre la pendenza, costruendo palificate vive di sostegno in legname, scogliere di contenimento, posando materiali antiersivi, ricostruendo il pendio con terra rinforzata, il tutto rivegetato con apposite essenze vegetali;
 - traslativi o planari (4): presentano superfici di scivolamento pressoché piane (8-10°), che si verificano in corrispondenza di una discontinuità nel substrato, come fessurazioni, rigonfiamenti del terreno ed emergenze idriche. Avviene in versanti dove vi sia una ricca componente rocciosa, interessando profondità di decine di metri, o più frequentemente, su versanti boscati con coperture colluviali di modesta profondità (pochi metri). Gli interventi che si eseguono sono di monitoraggio inclinometrico e piezometrico (per il livello della falda) e si costruiscono sistemi drenanti con tecniche naturalistiche;
- espandimenti laterali (5): sono movimenti che si verificano in senso orizzontale quando un'unità litologica rigida, occupa la posizione sommitale di un rilievo formato da una più plastica. È un fenomeno molto lento le cui cause possono essere molteplici, ma l'insorgere del movimento è sempre correlato alla sovrapposizione di litologie con caratteri meccanici molto differenti. Gli interventi riguardano di solito solo i fenomeni correlati, mentre l'evento principale, è di dimensioni troppo grandi per qualsiasi tipo di intervento;
- colate (6): frane che presentano una forma stretta ed allungata, che evolvono lungo impluvi per effetto della saturazione di materiali essenzialmente argillosi e/o marnosi da parte dell'acqua meteorica. Dalla morfologia sopra descritta, si può quindi dedurre che lo spostamento non avviene solo sulla superficie di separazione tra la massa in movimento e il materiale in posto, ma è distribuito in modo continuo anche nel corpo di frana. Al piede si origina un accumulo dalla

forma tipicamente lobata dovuta alle diverse velocità della massa in movimento: maggiore al centro e in superficie, minore ai bordi e in profondità. La rapidità dello spostamento, che può variare da molto lento a estremamente veloce, è in stretta dipendenza dalle dimensioni della massa che alimenta la frana, dalla pendenza del versante su cui avviene il movimento e dal grado di saturazione dei materiali coinvolti. Gli interventi sono rappresentati dalla costruzione di palificate semplici, viminate, graticciate, muri di contenimento e dall'inerbimento della superficie risistemata;

- frane complesse: sono il risultato della combinazione di due o più dei cinque tipi principali precedentemente descritti. È importante sottolineare che generalmente, un tipo di movimento predomina, parzialmente o temporalmente, sugli altri.

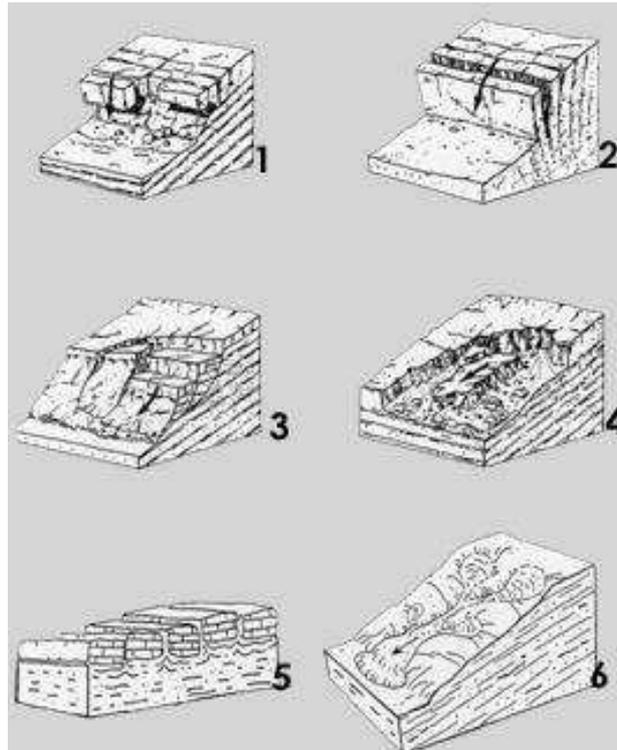


Figura 1.5: movimenti di massa. 1: crolli, 2: ribaltamenti, 3: scivolamenti rotazionali, 4: scivolamenti traslativi, 5: espandimenti laterali, 6: colate (da protezionecivile.empolese-valdelsa.it, 2014)

1.3 NOMENCLATURA

Per comprendere meglio un fenomeno franoso, è indispensabile conoscere gli elementi che lo caratterizzano (Figura 1.6). Possiamo individuare varie parti di seguito descritte:

- coronamento: materiale rimasto in posto nella porzione sommitale della scarpata principale;
- punto sommitale del coronamento: punto più alto del contatto tra la scarpata principale e il materiale spostato;
- scarpata principale: parte sommitale visibile della superficie di rottura;
- testata: porzione sommitale del contatto tra la scarpata principale e il materiale spostato;
- punto sommitale della testata: punto più alto del contatto tra la testata e la scarpata secondaria;
- scarpata secondaria: superficie presente nel materiale spostato, generata da movimenti differenziali all'interno di questo;
- superficie originaria del versante: superficie del versante esistente prima dell'evento franoso;
- massa spostata: volume di materiale spostato, giacente al di sotto della superficie originaria del versante;
- superficie di rottura: superficie fisica lungo la quale si è realizzato il movimento;
- unghia della superficie di rottura: intersezione, generalmente non visibile perché sepolta, fra la parte inferiore della superficie di rottura e la superficie originaria del versante;
- piede: porzione della frana che si è mossa oltre il limite inferiore (unghia) della superficie di rottura;
- punto inferiore: punto situato alla massima distanza dal punto sommitale nella direzione prevalente del movimento;
- unghia: margine inferiore del materiale spostato;
- zona di accumulo: parte di materiale spostato che giace al di sopra della superficie originaria del versante;
- fianco destro o sinistro: materiale non spostato adiacente ai margini laterali della superficie di rottura;
- zona di distacco: parte di materiale spostato che giace al di sotto della linea che descrive la superficie originaria del versante.

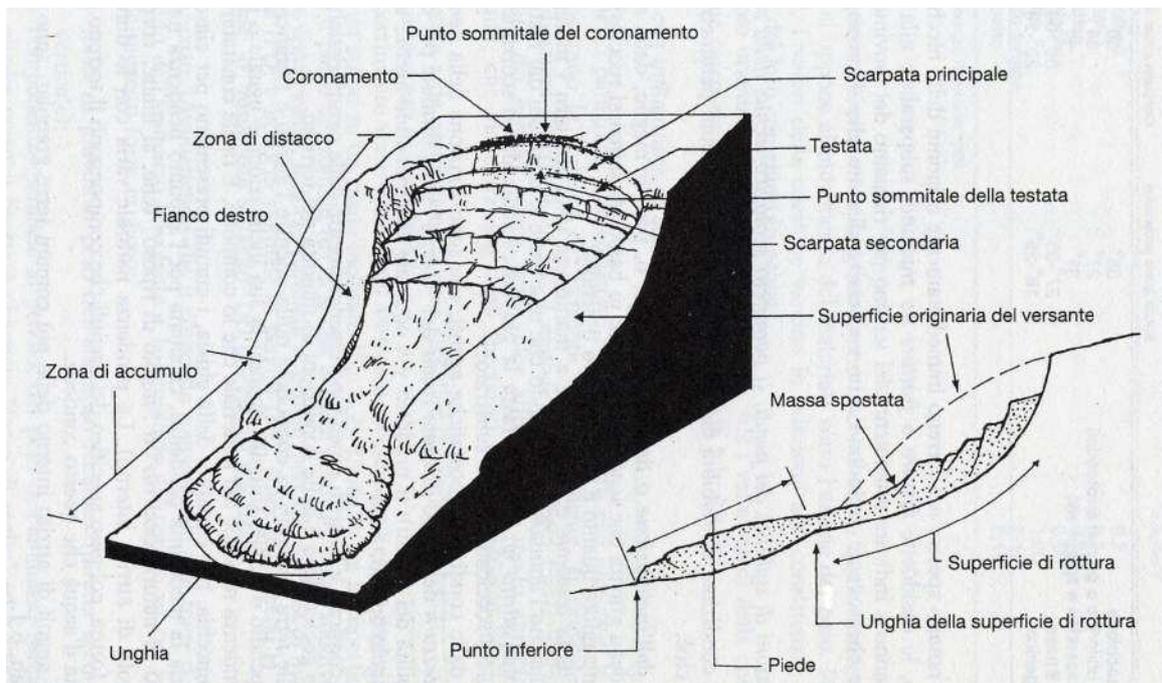


Figura 1.6: nomenclatura frana (da geolmarino.altervista.org, 2014)

Conoscere le varie parti sopra-descritte, è molto utile inoltre, per misurare, stimare e/o dedurre le dimensioni effettive dell'evento manifestatosi. I parametri dimensionali, individuabili grazie alla conoscenza dei termini tecnici (Figura 1.7), sono:

- larghezza della massa spostata (1): larghezza misurata perpendicolarmente alla direzione di movimento prevalente;
- larghezza della superficie di rottura (2): larghezza massima misurata fra i fianchi della frana, ortogonalmente alla direzione di scoscendimento;
- lunghezza totale (3): distanza fra coronamento e punto inferiore della frana;
- lunghezza della massa spostata (4): distanza minima tra punto sommitale e punti inferiore;
- lunghezza della superficie di rottura (5): distanza tra il coronamento e l'unghia della superficie di rottura;
- profondità della massa spostata (6): profondità massima della superficie di rottura rispetto alla zona di accumulo;
- profondità della superficie di rottura (7): profondità misurata rispetto alla superficie originaria del versante.

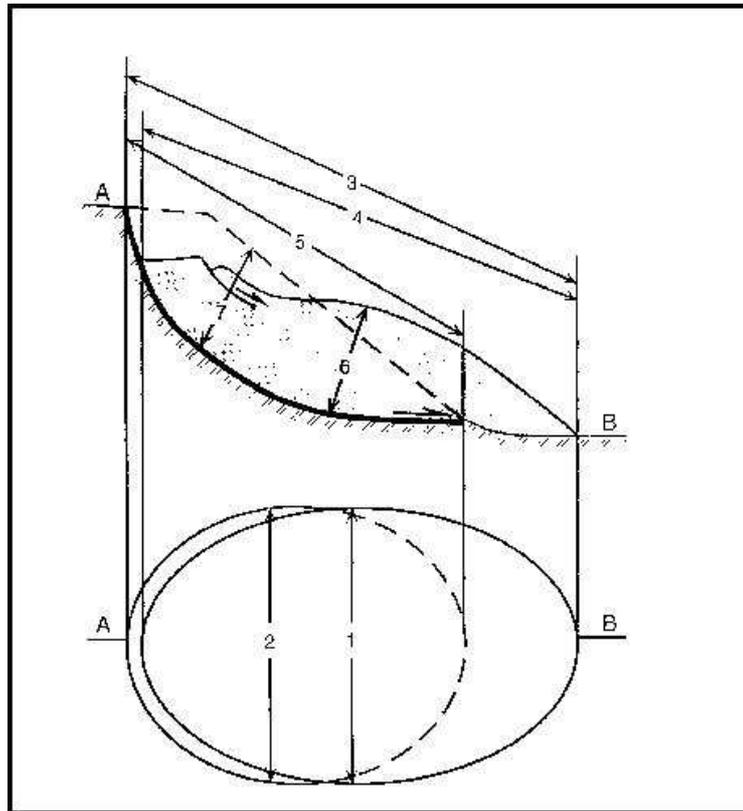


Figura 1.7: dimensione dei movimenti di massa (da geov.it, 2014)

1.4 STATO DI ATTIVITA'

Normalmente, può capitare di pensare che, dopo l'evento franoso, la massa di materiale spostata rimanga poi ferma e immobile. È necessario sottolineare che non è così; infatti, i recenti riferimenti bibliografici, hanno distinto i seguenti stati di attività delle frane (Figura 1.8):

- attive (1): al momento dell'osservazione sono in movimento;
- sospese (2): al momento dell'osservazione non è attiva, ma si sono registrati movimenti nell'ultimo ciclo stagionale;
- riattivate (3): riprende la sua attività dopo un periodo di sospensione;
- inattive: gli ultimi movimenti sono antecedenti all'ultimo ciclo stagionale. Si dividono ulteriormente in:
 - quiescente (5): può essere riattivata dalle sue cause originali;
 - naturalmente stabilizzata (6): non essendosi più verificate le cause dell'instabilità, la frana ha recuperato naturalmente le condizioni di equilibrio che erano state perturbate;
 - artificialmente stabilizzata (7): si è intervenuti con opere di stabilizzazione per preservare la frana dall'insorgere di altri fenomeni che ne hanno causato l'attivazione;
 - relitta (8): si è sviluppata in condizioni climatiche e geo-morfologiche diverse da quelle attuali; risulta inattiva.

La corretta interpretazione di questo parametro e della sua collocazione cronologica, risulta di importanza fondamentale per la formulazione di ipotesi sull'evoluzione futura di un territorio.

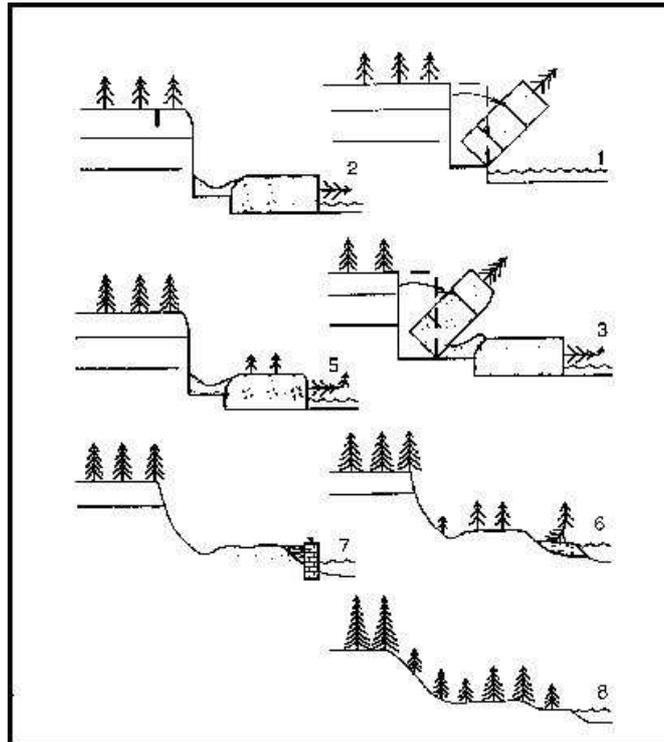


Figura 1.8: stati di attività delle frane (da geoenv.it, 2014)

1.5 EROSIONE D'ALVEO

I torrenti montani sono caratterizzati da una dinamica particolare, determinata da diversi fattori quali la pendenza elevata, la portata modesta, ma variabile nel tempo e la presenza di sedimento grossolano ed eterogeneo. Nel momento in cui questi fattori non sono più in equilibrio tra di loro, e l'acqua raggiunge una forza sufficiente, ecco che si manifestano fenomeni come l'erosione d'alveo.

Per capire tale fenomeno ci viene in aiuto la bilancia di Lane (Figure: 1.9, 1.10, 1.11):

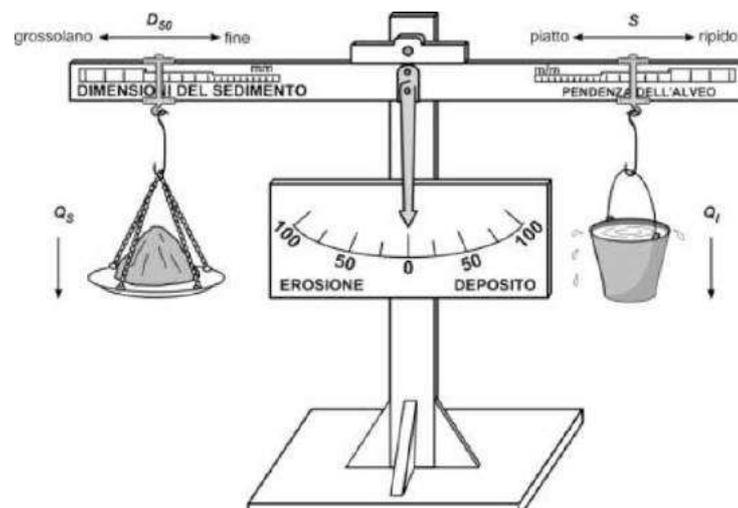


Figura 1.9: bilancia di Lane in condizioni di equilibrio (da Bischetti e D'Agostino, 2010)

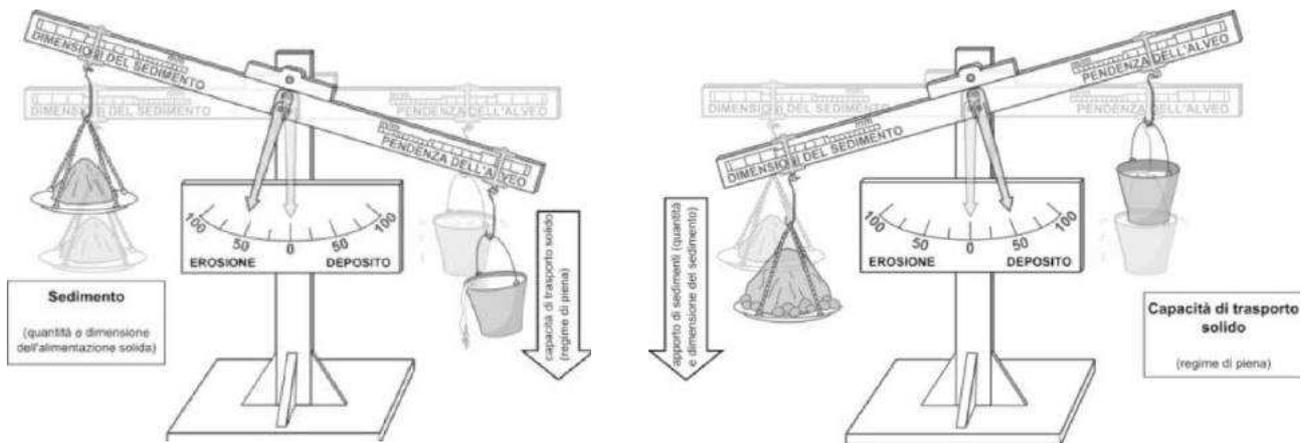


Figure 1.10, 1.11: bilancia di Lane rappresentante erosione e deposito (da Bischetti e D'Agostino, 2010)

Queste rappresentazioni schematizzano perfettamente ciò che può verificarsi in un alveo fluviale. In figura 1.9, è rappresentata una situazione di equilibrio nella quale, non si verifica né erosione, né deposito in quanto sedimento e pendenza sono di media entità. In figura 1.10 e 1.11 sono rappresentate le situazioni di squilibrio. Nel primo caso, siamo di fronte a fenomeni erosivi. In queste situazioni, il sedimento è fine e, siccome le pendenze sono elevate, l'acqua scorre con molta violenza incidendo negativamente su fondo, sponda e piede del versante. Più precisamente si ha:

- erosione del fondo: nel momento in cui il fiume, in occasione di una piena, va a incidere l'alveo che tende quindi ad approfondirsi.
- erosione di sponda: se il corso d'acqua asporta materiale detritico dalle sponde con conseguente smottamento delle stesse e allargamento del letto fluviale.
- erosione al piede dei versanti: se si verifica nei torrenti montani quando l'erosione di fondo e di sponda si riscontrano nello stesso istante. Il piede del versante, che fa da sostegno al pendio, viene scalzato provocando crolli.

Il secondo caso, indica una situazione inversa alla precedente. Il sedimento è grossolano e, insieme a pendenze limitate, si deposita sul fondo del corso d'acqua. Ciò determina l'innalzamento del fondo dell'alveo e dei livelli di piena.

Negli ultimi decenni, si è vista crescere notevolmente la sensibilità verso l'ambiente e la necessità di salvaguardare il territorio attraverso la rinaturalizzazione del paesaggio, talvolta compromesso da fattori antropici. Questo fenomeno ha portato a considerare il problema della difesa del suolo dal dissesto idrogeologico, con un approccio diverso da quello tradizionale. Ci si è indirizzati verso scelte che potessero dare ottimi risultati sia in termini di messa di sicurezza del territorio sia di rispetto e protezione dell'ambiente.

Un valido aiuto è stato dato dall'applicazione di tecniche di Ingegneria Naturalistica, le quali riescono a coniugare gli obiettivi sopra-citati.

Si è introdotto il tema della necessità di coniugare sicurezza e ambiente ed ora occorre introdurre il tema dei lavori pubblici, dato che tali sono le opere di difesa.

Leggi in materia, ce ne sono sempre state fin dalla nascita della nazione ed una di fondamentale importanza è stata la legge Merloni che ha dominato il campo fino a pochi anni fa e che ha introdotto l'Ingegneria Naturalistica come categoria di opere pubbliche. Con un successivo decreto, si definiscono inoltre, le capacità operative, organizzative, tecniche ed economico-finanziarie che l'impresa deve avere nella realizzazione delle opere di Ingegneria Naturalistica.

Ogni regione poi, ha emanato particolari disposizioni normative. Per quanto riguarda la regione Piemonte, è da sottolineare la L.R. n. 32 del 02.11.1982 "Norme per la conservazione del patrimonio naturale e dell'assetto ambientale". Vengono stabiliti gli ambiti di intervento, identificando nelle tecniche di Ingegneria Naturalistica, il mezzo per la realizzazione di consolidamenti statici nelle attività di ripristino ambientale. Con il successivo D.C.R. n. 377/4975 del 02.04.1997, tali criteri vengono aggiornati sulla base dei cambiamenti normativi e sull'evoluzione tecnica della materia. Si sottolinea maggiormente l'aspetto multidisciplinare che la disciplina necessita.

Molte sono le conoscenze richieste dall'ingegneria naturalistica, tra cui quelle biologiche, ecologiche, topografiche, geopedologiche, idrologiche, idrauliche e selvicolturali. Il suo scopo è quello di stabilizzare e proteggere dall'erosione versanti collinari, scarpate, sponde fluviali e argini. Si usano piante e porzioni di piante, come materiale vivo, in tale modo, durante la loro crescita, contribuiscono alla stabilizzazione a lungo termine. Nelle fasi iniziali, però, si rende necessario l'uso di materiali inerti come pietrame, massi, terra, ferro e acciaio per avere un immediato consolidamento.

Le funzioni positive che le vengono attribuite, possono essere così riassunte:

- ecologiche: ricostruiscono un ambiente naturale attraverso lo sviluppo di specie vegetali autoctone;
- idrogeologiche: consolidano il terreno, protegge dall'erosione, favorisce il corretto drenaggio dell'acqua;
- estetico-paesaggistiche: reinseriscono porzioni di territorio nel paesaggio circostante;
- socio-economiche: utilizzano risorse e manodopera presenti in loco e ottimizza la gestione delle disponibilità finanziarie.

È necessario ricordare, che esistono parametri che ne limitano la progettazione e l'applicabilità. Questi, sono legati a particolari situazioni idrogeologiche ed ambientali, come l'acclività, l'intensità delle precipitazioni, la capacità di trasporto solido dei corsi d'acqua e la natura geologica di alcune formazioni.

2.1 STORIA

"L'Ingegneria Naturalistica è una disciplina tecnico-scientifica che studia l'utilizzo come materiale da costruzione di piante viventi, di parti di piante o addirittura di intere biocenosi vegetali, spesso in unione con materiali non viventi come pietrame, terra, legname, acciaio" (H. M. SCHIECHTL, 1991).

Le tecniche di Ingegneria Naturalistica rappresentano una modalità d'intervento indicata sempre più spesso per gli interventi di difesa idrogeologica.

Molte delle tecniche classificate come "tecniche di Ingegneria Naturalistica", sono in realtà le classiche tecniche delle Sistemazioni Idraulico Forestali.

Nell'ambito di una moderna ridefinizione del ruolo di questa disciplina nella difesa del territorio, è necessario portare alcuni chiarimenti. In primo luogo, l'origine dell'Ingegneria Naturalistica ed i suoi rapporti con la disciplina da cui deriva.

L'impiego della vegetazione nelle opere per la sistemazione del territorio ed in particolare di quello montano, infatti, è stato lungamente guidato dalla necessità pratica di utilizzare materiale economico e disponibile sul posto, piuttosto che per motivazioni di carattere ambientale.

È quindi da ritenersi assolutamente scorretto, da una parte, attribuire la definizione di Ingegneria Naturalistica a tutte le opere costruite utilizzando vegetazione e materiale naturale, e dall'altra considerare quelle che, pur avendo una finalità naturalistica, non usano la vegetazione con obiettivi di stabilizzazione.

Questa disciplina, nasce nel mondo di lingua tedesca dall'incontro tra il bagaglio tecnico sviluppato nella difesa del territorio, ed un substrato culturale molto particolare. Le tecniche e le conoscenze sviluppate nelle sistemazioni montane, verso la fine dell'800, infatti, hanno trovato un terreno reso fertile da quei movimenti sociali e culturali che, sempre nello stesso periodo, manifestavano le prime preoccupazioni per la difesa dell'ambiente naturale dai danni provocati da uno sviluppo urbano e industriale disordinato.

Più tardi verrà introdotto il termine "*Ingenieurbiologie*" dal tedesco e forestale von Kruedener, dirigente dell'Istituto di Ricerca per l'Ingegneria Naturalistica istituito nel 1936 a Monaco di Baviera.

È sempre nei paesi tedeschi, che i contenuti ed i metodi di questa tecnica, conoscono una crescente affermazione in molte applicazioni, già prima della 2° guerra mondiale per riprendere durante la ricostruzione della rete autostradale tedesca. Proprio in questo periodo, von Kruedener, fu in grado di rispondere alle richieste degli ingegneri e allo stesso tempo proteggere il territorio. Tutto ciò, fu possibile unendo le tecniche di stabilizzazione delle SIF insieme a un'idea d'incontro della tecnologia con la natura.

Alla fine del 1950, von Kruedener, scrisse la sua esperienza sul tema dell'Ingegneria Naturalistica in modo che non venisse persa. Il libro, intitolato per l'appunto *Ingenieurbiologie*, è la prima testimonianza della comparsa dello stesso termine.

Un altro esponente che permise lo sviluppo e la conoscenza di questa nuova disciplina fu Hugo Meinhard Schiechtl che, nella realizzazione dei suoi progetti, a causa della scarsità di finanziamenti, vide un grande potenziale nell'utilizzo di materiali vegetali al posto di materiali più costosi.

Da qui in poi, moltissimi Paesi iniziarono a guardare con molto interesse a questa disciplina; nel 1980, in Germania viene fondata la "Società per l'Ingegneria Naturalistica"; nel 1989, in Svizzera viene fondato il "Club per l'Ingegneria Naturalistica"; nel 1994 anche la Spagna fondò una sua federazione; nel 1996, nella capitale austriaca fu fondata la "Federazione Europea per l'Ingegneria Naturalistica" (EFIB); due anni prima si era già istituito il primo Istituto di Ingegneria Naturalistica nell'università di Vienna, diretto da F. Florineth, con lo scopo di formare personale

qualificato in materia. Persino gli Stati Uniti, nel 1972, fondarono la "National Erosion Control Association", trasformata poi in "International" (IECA), associazione che comprende i principali produttori di materiali e tecniche per il controllo dell'erosione. Nel 1989 si istituisce a Trieste l' "Associazione Italiana per l'Ingegneria Naturalistica" (A.I.P.I.N.), tra il 1994 e il 1995 viene costituito il "Gruppo Interregionale di Lavoro sui Recupero Ambientali e l'Ingegneria Naturalistica" (RAIN) composto da funzionari delle regioni del nord e centro Italia. Da questo momento in poi, molti sono i manuali tecnici redatti, i convegni organizzati, i lavori eseguiti, nonché una ricca emanazione di leggi, appositi decreti e provvedimenti normativi, anche a livello regionale, che inseriscono gradualmente queste tecniche nella trattazione degli studi di impatto ambientale con lo scopo di risolvere le problematiche ad esso connesse.

2.2 INTERVENTI DI SISTEMAZIONE DEI VERSANTI

Premessa fondamentale, prima di procedere con qualsiasi intervento, è la messa in sicurezza del cantiere di lavoro. E' necessario che il versante venga preservato da ulteriori dissesti che potrebbero verificarsi durante le operazioni di consolidamento.

Sostanzialmente parliamo di interventi di:

- **rimodellamento**: mediante scavo e riporto di materiale franoso. In questo modo si ricrea quella condizione di equilibrio alterate dal fenomeno erosivo, ovvero la giusta pendenza in relazione alle caratteristiche geo-tecniche del terreno, e si facilitano i lavori successivi;
- **riprofilatura**: si effettua una compensazione di scavo e riporto: si asporta il materiale instabile del coronamento della frana e lo si deposita nella zona sottostante. Sconsigliato è l'apporto di materiale esterno per l'elevato costo.
- **disgaggio delle rocce**: se l'instabilità riguarda un versante roccioso. Può essere di tipo manuale o meccanico e ha l'obiettivo di eliminare i massi instabili, di cubatura limitata, che pregiudicano la sicurezza durante e a lavori ultimati. Se invece non è possibile effettuare questa operazione, per la grande dimensione delle rocce, si procede con la stesura di pannelli di rete metallica ancorata ad appositi sostegni.

Numerosissimi sono gli interventi di sistemazione che possono essere applicati nel consolidamento dei versanti. Per semplicità, vengono classificate in base alla funzione principale che svolgono (Tabella 1). Si ricorda che, questa distinzione, non è netta, ma varie tipologie possono essere combinate tra di loro per raggiungere l'obiettivo prefissato.

FUNZIONE	TIPOLOGIA DI OPERA	OPERA SPECIFICA
Difesa dall'erosione, aumento del drenaggio, rinaturalizzazione del versante	rivegetazione geosintetici e fibre naturali	inerbimento, messa a dimora di talee arbustive ed arboree. geo-tessili, geo-membrane
Regimazione delle acque e drenaggio	canalizzazioni sistemi drenanti	canalette metalliche, in legname e pietrame, in terra inerbita, in tavolame di legno trincee e fascinate drenanti, cunei filtranti
Sostegno, consolidamento, contenimento dei versanti	opere in legname opere in pietrame	palificate semplici, vive di sostegno (a parete semplice o doppia), a gradoni, stecconate, graticciate, grate vive a camera e doppia camera. muri, scogliere rivegetate, gabbioni.
Difesa spondale, stabilizzazione di alvei	opere idrauliche trasversali opere idrauliche longitudinali	briglie in legname e pietrame, selettive. scogliere rivegetate in massi di cava, in massi vincolati, coperture diffuse con astoni.

Ricostruzione dei versanti e difesa passiva dalla caduta massi	opere in terra rinforzata	terre rinforzate di consolidamento, di paramassi.
--	---------------------------	---

Tabella 1: interventi di sistemazione

Nel dettaglio:

- tecniche di inerbimento: consistono nella semina di una nuova cotica erbosa. Può essere effettuata a spaglio o mediante idrosemina. Quest'ultima tecnica prevede l'aspersione di una miscela composta da acqua, miscuglio di sementi erbacee e concime. A questo, spesso si aggiunge la messa a dimora di talee arbustive ed arboree per aumentare la copertura del suolo;
- scogliere in massi rivegetate (Figura 2.1): consistono nella posa di massi di grandi dimensioni. L'intasamento dei buchi che si vengono a creare, è costituito da terra. In tal modo può essere rivegetata;
- gabbioni (Figura 2.2): sono dei "contenitori" di rete zincata riempite con sassi. Permeabili all'acqua e alla vegetazione, consentono la rivegetazione;
- terre rinforzate: non sono altro che blocchi di terra racchiusi in due involucri. Uno costituito da fibra naturale che contiene la terra e l'altro in geogriglia con funzione strutturale;
- grate vive (Figura 2.3): usate per pendii con forte acclività, sono costituite da tondame di legno posto in senso verticale sulla scarpata, al quale sono fissati altri pali in senso orizzontale;
- palificate semplici: sono costituite da pali orizzontali ancorati al terreno mediante piloti di legno o acciaio.



Figura 2.1: scogliera in massi (Foto: Denicola Roberta)



Figura 2.2: gabbionate (Foto: Denicola Roberta)



Figura 2.3: grata viva (Foto: Denicola Roberta)

Molta attenzione va posta alle opere di consolidamento in legname, con particolare riferimento alle palificate vive di sostegno.

2.3 PALIFICATE VIVE DI SOSTEGNO A DOPPIA PARETE

Le palificate vive di sostegno, possono essere descritte come un insieme di pali di legno formanti una struttura cellulare, riempita con materiale inerte e vegetale.

I pali di legno devono essere: scortecciati, di diametro non inferiore ai 20-25 cm e durabili nel tempo, quindi difficilmente degradabili.

Sono disposti in senso orizzontale (correnti), nel senso della profondità (traversi) e talvolta anche in senso verticale (piloti); questi, trovano sistemazione anteriormente al paramento di monte e/o a quello di valle. Il tondame più utilizzato è quello di latifolia, come il castagno, o di conifera, come il larice.

La disposizione degli elementi legnosi, causa la formazione di spazi vuoti, i quali dovranno essere successivamente riempiti con materiale ghiaio-terroso derivante dagli scavi. Tale componente, può essere unita a ciottolame o ad altri materiali, per migliorare il drenaggio.

La parte vegetale viva, è costituita prevalentemente da talee che vengono infisse nella struttura.

Lo scopo di questa operazione, non è quello di rinaturalizzare la zona, ma ci si aspetta che la vegetazione, vada poi a svolgere attività di stabilizzazione e contenimento. Tale funzione, con l'andare del tempo, verrà meno al materiale ligneo inerte della struttura, in quanto destinato a un lento degrado.

2.3.1 PARAMETRI TECNICI

Prima di realizzare qualsiasi opera di Ingegneria Naturalistica, è necessario conoscere le caratteristiche dei materiali che si andranno a scegliere, perché da questi dipenderà la buona riuscita o meno della struttura.

TONDAME DI LEGNO

La scelta della tipologia di tondame da utilizzare nelle opere di costruzione, varia in base alle caratteristiche che il legno di determinate piante possiedono. Sappiamo che i tessuti sono costituiti da *lignina*, per il 30-33% nelle conifere e 20-25% nelle latifoglie, da *cellulosa*, per il 40-60%, da *acqua* e, in quantità variabile dall'1 al 8 %, da sostanze chiamate *estrattivi* localizzati nelle cellule del durame (cioè la parte interna dei fusti).

Le proprietà che vanno considerate sono:

- contenuto di umidità: viene definito come il contenuto di acqua presente all'interno del legno. Viene espresso in percentuale secondo la relazione:

$$\% \text{ umidità} = (Mu - Mo) : Mo \cdot 100$$

dove: Mu: massa del campione in condizioni naturali

Mo : massa dello stesso campione allo stato secco

Il livello di umidità ideale per le costruzioni va dal 12 al 18 %.

Questo parametro, influisce sulla *resistenza meccanica* del materiale ed in particolare, diminuisce con l'aumento del contenuto di acqua, sulla *resistenza ai patogeni* (funghi, parassiti e insetti), per i quali tanta umidità significa un habitat ideale e sui *fenomeni di ritiro e rigonfiamento*: nei momenti in cui il legno si "restringe", gli effetti visibili all'esterno sono: fessurazioni longitudinali radiali e crepacciature sulla superficie di estremità. Tutto ciò favorisce l'insediarsi di agenti biotici;

- resistenza a compressione: è fornita dalle molecole di lignina che irrigidiscono il

materiale. Esso, se sottoposto a tale forza, presenterà deformazioni che risulteranno crescenti in modo proporzionale all'aumentare del carico, fino a che non si arriverà al punto di rottura;

- resistenza a trazione: assume valori di gran lunga superiori a quelli di compressione. La presenza però, di difetti del legno quali nodi, pregiudicano tale parametro perché rappresentano elementi di discontinuità;
- resistenza a flessione: le sollecitazioni di flessione, sono date da forze che agiscono su piani perpendicolari all'asse longitudinale del tronco appoggiato alle sue estremità. Anche questo tipo di resistenza, dipende da parametri citati in precedenza: umidità e presenza di difetti del legno.

RIEMPIMENTO

Generalmente, tale materiale deriva dallo scavo di sbancamento effettuato in loco. Nel caso in cui non dovesse avere le caratteristiche adatte, può provenire dall'esterno del cantiere.

Se sono richieste migliorie dal punto di vista del drenaggio, viene aggiunto al terreno, materiale ghiaioso o ghiaio-sabbioso, talvolta avvolto in geotessile non tessuto per avere una funzione prettamente filtrante e in questo caso, il riempimento sarà costituito da pietrame di grossa dimensione.

Se invece, il problema è lo svuotamento della palificata a causa della presenza di terre troppo fini, sarà utile intervenire rivestendo l'interno del paramento di valle con georeti.

MATERIALE VEGETALE VIVO

La copertura vegetale è una componente fondamentale nella difesa del suolo. Essa infatti, svolge attività antierosive e di regimazione delle acque; funzioni che sono svolte in modo più che soddisfacente da piante arbustive ed erbacee.

Per una corretta scelta del materiale da usare, è bene prestare attenzione ad una serie di accorgimenti basilari. È necessario, in primo luogo, essere a conoscenza dell'associazione fitosociologica presente. In tal modo, si è in grado di ipotizzare le caratteristiche dei popolamenti che andranno a insediarsi secondo i criteri della successione ecologica. È bene quindi, preferire l'uso di ecotipi locali perché hanno una maggiore capacità di adattamento alle caratteristiche della zona, in quanto provenienti dallo stesso territorio.

Non tralasciamo però le caratteristiche intrinseche delle varie specie vegetali. Per massimizzare il risultato, devono essere considerate anche le proprietà biotecniche: ovvero quell'insieme di attitudini biologiche e tecniche attraverso le quali, la pianta, soddisfa le esigenze richieste dall'Ingegneria Naturalistica. Distinguiamo perciò:

- difesa dall'erosione: con protezione dalle azioni provocate dalle piogge;
- regolazione del bilancio idrologico del terreno;
- riduzione della velocità di scorrimento superficiale dell'acqua;
- capacità di riproduzione agamica: cioè per talea: salici (tranne *Salix caprea* per il ridotto attecchimento), pioppi, ecc.;
- capacità di emettere radici avventizie da fusti sotterranei: salici, pioppi, acero montano (*Acer pseudoplatanus*), nocciolo (*Corylus avellana*), etc.;
- resistenza alla sommersione: salici, pioppo bianco (*Populus alba*), frassini, ontano nero (*Alnus glutinosa*), ecc.;
- capacità di consolidare il terreno: dipende dalla forma e densità delle radici. Si considera se una specie vegetale appartiene alla famiglia delle leguminose o delle graminacee (gli apparati radicali delle prime, vanno più in profondità), se è in grado di oltrepassare la falda acquifera (il genere *Salix* e *Alnus spp.* la attraversano, mentre *Fraxinus* e *Populus spp.* no), se il piano su cui crescono è inclinato oppure no (vari studi, dimostrano che le piante cresciute sui pendii,

hanno radici molto più sviluppate e resistenti nella parte superiore della scarpata, aumentando così l'ancoraggio al suolo e di conseguenza il suo consolidamento). Da tutto ciò, si evince che il consolidamento più efficace di un terreno, si ottiene nel momento in cui la compenetrazione radicale nel suolo, avviene a diverse profondità. Questo si realizza usando specie vegetali diverse, con apparati radicali diversi.

2.3.2 PARAMETRI COSTRUTTIVI

Tali opere, sono strutture autoportanti, assimilabili a manufatti a gravità, in quanto formati da un cassone di pali di legno riempiti da materiale terroso e vegetale. Sono utilizzate per la ricostruzione di pendii danneggiati da eventi franosi, svolgendo una funzione di sostegno e contenimento al piede.

Generalmente, per quanto riguarda i parametri dimensionali, descritti più nel dettaglio nel successivo paragrafo, le palificate, devono essere: profonde almeno un metro; lunghe a seconda dell'entità del dissesto; alte non più del doppio della base. In particolare, però, le fasi di costruzione di queste opere possono essere così riassunte:

- scavo di sbancamento: per il piano di posa della struttura che deve avere una contropendenza verso monte di 5° - 20°;
- posa degli elementi longitudinali (correnti): la loro lunghezza può variare da 3 a 6 m, con diametro minimo di 20 - 25 cm. Gli elementi vengono collegati tramite incastro e chiodature con tondini, chiodi, graffe o bulloni in acciaio ad aderenza migliorata aventi diametro di 12 - 16 mm. Tali elementi, sono infissi mediante battitura dopo aver praticato un foro nel tondame con punta da trapano avente diametro di 10 - 14 mm;
- realizzazione di ancoraggi alla base della struttura da porre anteriormente al corrente interno e/o esterno;
- posa degli elementi trasversali (traversi) e loro fissaggio ai correnti: la disposizione può essere: allineata, in questo caso il riempimento effettuato con mezzi meccanici è più agevole; oppure alternata il riempimento risulta più difficoltoso, ma aumentano le caratteristiche di robustezza dell'intera struttura;
- riempimento: va effettuato a strati in modo da ottenere la massima compattazione;
- messa a dimora di talee o piante radicate: si tratta di essenze vegetali arbustive ed arboree ad elevata capacità vegetativa e in grado di emettere radici avventizie dal fusto. Per una buona riuscita della rivegetazione è bene rispettare determinati parametri:
 - la lunghezza delle talee deve essere pari alla profondità della struttura e, in ogni caso, non devono sporgere per più di 5 cm;
 - il diametro non deve essere inferiore ai 2 cm: maggiori diametri corrispondono ad un maggior contenuto di riserve nutritive che consentono di superare lo stress nutrizionale e idrico ai quali è sottoposta la talea che non ha ancora sviluppato le radici;
 - devono essere posizionate una a fianco dell'altra con inclinazione che caratterizza l'intera palificata (5° - 20°);
 - il periodo di posa preferibile è quello di riposo vegetativo che varia a seconda della quota sul livello del mare.
 - le piantine radicate vanno interrate fino al colletto e supportate da appositi tutori;
 - talee e piante radicate devono essere in buono stato fitosanitario; se così non fosse, verranno scartate;
- semina di specie erbacee: sottoforma di miscugli commerciali, anche formulati

dietro specifica richiesta del cliente, in quanto, le sementi locali, sono di difficile reperibilità. Cosa importantissima è che siano rispettati i requisiti di germinabilità, purezza, sanità stabiliti dalla legge. La procedura di spargimento può essere effettuata:

- a spaglio: su terreni poco inclinati con copertura il più uniforme possibile e interrimento del seme a 2 – 3 cm;
- mediante idrosemina: usata se siamo di fronte a terreni molto inclinati. La macchina utilizzata è una motopompa volumetrica azionata dalla pdp della trattrice e dotata di un agitatore meccanico che garantisce l'uniformità della miscela. Oltre al miscuglio di sementi, vanno a formare la miscela: collanti naturali che garantiscono l'adesione del seme con il terreno, fertilizzanti a lenta cessione e sostanza organica come paglia.

Dai parametri sopra descritti, possiamo dedurre gli aspetti positivi di tali tecniche le quali, risultano migliori rispetto quelle tradizionali perché:

- essendo più flessibili, sopportano piccoli assestamenti del terreno;
- non necessitano di grandi strutture di fondazione, con conseguente risparmio finanziario e di materiali;
- sono costruite anche su pendii di difficile accesso;
- sono più leggere e non gravano ulteriormente sul terreno;
- consentono numerosi varianti costruttive e, se unite alle tecniche tradizionali, soddisfano le richieste più disparate;
- si inseriscono in modo eccellente nell'ambiente.

Nonostante siano molti i vantaggi, come ogni cosa, è opportuno prendere in considerazione l'esistenza di alcuni aspetti negativi. Essi sono riscontrabili durante la costruzione o nel periodo immediatamente successivo. In particolare si individua:

- mancanza di ancoraggi;
- svuotamento prematuro della struttura;
- degradazione precoce del legname, specie se non scortecciato;
- mal posizionamento delle giunzioni tra i correnti non in corrispondenza dei traversi;
- mal posizionamento dei traversi, in particolare se troppo sporgenti dalla struttura;
- mancanza di materiale vegetale vivo o sua non corretta gestione nella posa e nella manutenzione.

2.3.3 STABILITA' DELL'OPERA

Tutte le opere di sostegno dei versanti, dovevano essere dimensionate in base a calcoli di verifica statica previste dal D.M. 11.03.88. Ora le norme da rispettare sono dettate dalle cosiddette "*Norme Tecniche per le Costruzioni*". Si deve assicurare che i valori di stabilità interna ed esterna delle strutture, siano superiori a precisi parametri esprimibili in un Fattore di Sicurezza.

STABILITA' ESTERNA

Su una palificata di sostegno a doppia parete, agiscono diverse forze che provocano azioni ribaltanti e stabilizzanti. Nel primo caso, ciò che interviene, è la spinta del terreno nei confronti dell'opera. Con riferimento alla Figura 2.4, tale valore si ricava applicando la seguente formula:

$$S_a = 0.5 \cdot \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_a$$

dove: S_a : spinta del terreno (N)

γ_t : peso specifico del terreno (N/m³)

H: altezza della struttura (m)
 Ka: coeff di spinta attiva del terreno. Si calcola con la formula:
 $\tan^2(45^\circ - \phi/2)$
 con ϕ : angolo di attrito interno del terreno

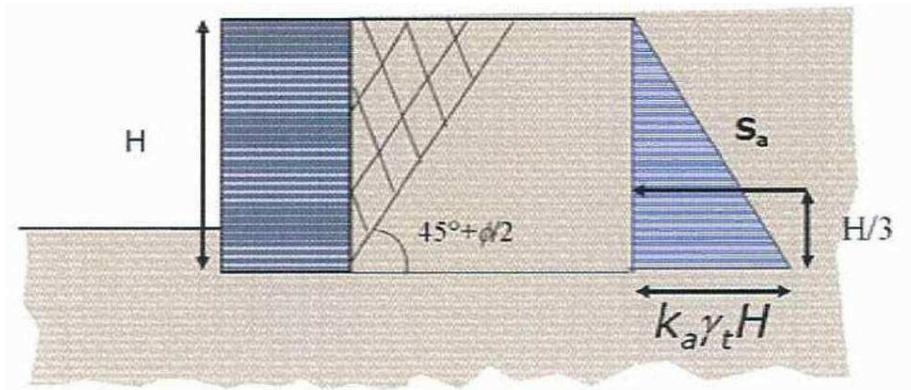


Figura 2.4: schema di forze ribaltanti (da regione.lazio.it, 2014)

Nel secondo caso, ciò a cui si fa riferimento è la forza peso (P) della struttura. Riferendoci alla Figura 2.5, P è calcolata nel seguente modo:

$$P = \gamma_p \cdot B \cdot H$$

dove: γ_p : peso specifico della struttura (N/m³)
 B: base della struttura (m)
 H: altezza della struttura (m)

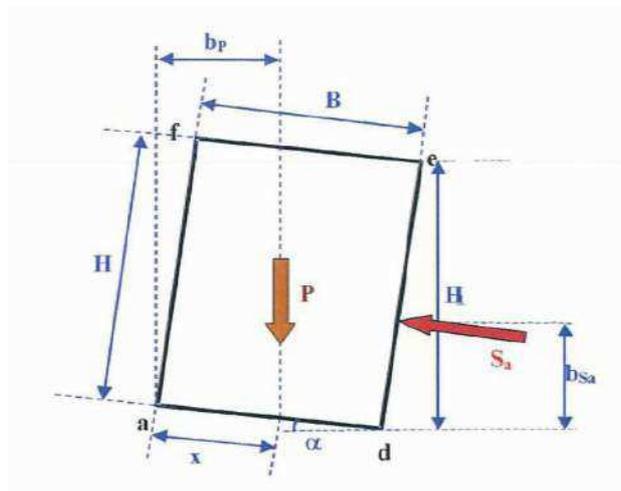


Figura 2.5: schema delle forze su una palificata di sostegno (da Bischetti, 2004)

Siccome, può verificarsi rotazione intorno al punto a, e si ha quindi lo sviluppo di un momento, devono essere individuati i bracci delle rispettive forze. Il braccio della forza stabilizzante b_p è dato da:

$$b_p = x \cdot \cos\alpha = 0.5 \cdot B + H \cdot \tan\alpha \cdot \cos\alpha$$

dove: x: distanza tra il punto e l'applicazione della forza peso;
 α : angolo di inclinazione del piano di fondazione

B: base dell'opera

H: altezza dell'opera

Il braccio della forza ribaltante b_{sa} , in assenza di carichi, è dato da:

$$b_{sa} = H/3 \cdot \cos\alpha$$

nel caso in cui siano presenti carichi, H dovrà essere divisa per 2.

Introdotti questi parametri, possiamo procedere con le verifiche da effettuare:

- verifica al ribaltamento: si ha l'equilibrio se, il Fattore di Sicurezza al ribaltamento (F_{sr}), ovvero il rapporto tra il momento stabilizzante (M_s) e quello ribaltante (M_r), risulta essere pari a 1. Per motivi precauzionali, si innalza tale parametro ad un valore minimo di 1.5;
- verifica allo scorrimento: è dato dal rapporto tra le forze che tendono a produrre una traslazione orizzontale in avanti della struttura (la spinta del terreno) e quelle che si oppongono a tale movimento (forza di attrito). Anche in questo caso si assume un $FS \geq 1.5$;
- verifica allo schiacciamento: è la capacità, del terreno di fondazione della struttura, di assorbire le sollecitazioni dovute al peso dell'opera senza che si verifichino deformazioni. La legge impone un valore superiore a 3 volte la sollecitazione massima determinata.

STABILITA' INTERNA

Viene effettuata prendendo in considerazione i materiali costituenti dell'opera. Nello specifico si rileverà la:

- sollecitazione a flessione: maggiore sui correnti che costituiscono il paramento di monte;
- sollecitazione al taglio: in direzione ortogonale alle fibre dei correnti e travesi.

STABILITA' GLOBALE

Questa viene effettuata basandosi, sull'analisi e relativo confronto, fra la situazione iniziale e la situazione finale rispetto alle condizioni di equilibrio limite, e serve per valutare l'efficacia dell'intervento di sistemazione del versante, nei confronti della stabilità globale del pendio.

L'analisi viene condotta su una rappresentazione bidimensionale di ciascuna configurazione e interpreta la stabilità in termini di incremento o decremento del fattore di sicurezza (rapporto tra forze stabilizzanti e destabilizzanti). Il valore minimo di riferimento è di 1,3.

2.3.4 LIMITI DI APPLICABILITA' E DURABILITA' DELL'OPERA

E' necessario precisare che, la funzione di consolidamento dei versanti, che tali strutture apportano, va diminuendo con il trascorrere del tempo. Questo accade perché vengono a innescarsi meccanismi che portano alla degradazione del legname. Nel medesimo istante, però, il materiale vegetale, messo a dimora e che ha sviluppato l'apparato radicale, riesce a sostituire efficacemente la struttura lignea.

I LIMITI DI APPLICABILITA' sono attribuibili a diverse problematiche. Solo per citarne alcune, si individuano: la funzione di contenimento e sostegno, nel momento in cui, il pendio determina spinte considerevoli e produce così eccessivi sovraccarichi in direzione sub-parallela al piano di fondazione della palificata. Il problema può essere risolto se si affiancano tecniche tradizionali quali: micropali, che consentono alla struttura di ancorarsi su coltri di terreno più resistenti, e tiranti (barre di acciaio ad aderenza migliorata posizionati ortogonalmente alla parete della palificata con un'inclinazione rispetto l'orizzontale che varia tra i 30 e i 45°). La funzione di difesa spondale se le correnti hanno una velocità incisiva, tali opere possono essere soggette

allo svuotamento e/o alla disarticolazione della struttura.

La pratica dimostra però, che se le tecniche sono usate in modo adeguato su un territorio predisposto a riceverle, i risultati sono più che soddisfacenti in tutti gli ambiti.

La DURABILITA' indica generalmente le caratteristiche di conservazione delle proprietà fisiche e meccaniche del legname. Questo, è un materiale vegetale, organico e di conseguenza si deteriora, ma in modo, tempi e condizioni diverse da specie a specie.

Le alterazioni così causate al legno possono avere due origini: abiotica e biotica.

Nell'analisi dei fattori abiotici, distinguiamo due categorie:

- degradazione da agenti atmosferici: causate dall'attività dell'aria, dell'umidità, della temperatura, del vento, della luce e delle radiazioni. Tali fattori inducono il cambiamento del colore, la perdita di levigatezza e di continuità della superficie del legname con conseguenti deformazioni. Ad esempio, l'esposizione prolungata alla luce solare, causa ingiallimento o imbrunimento per i legnami chiari (abete rosso e larice) e scolorimento per quelli più scuri. La colorazione cambia poi in bruno-pallido, per poi divenire grigiastria in modo uniforme;
- usura meccanica: la quale si manifesta con rottura degli elementi lignei ed erosione di frammenti dalla superficie.

Per quanto riguarda l'attacco biotico i danni sono notevoli dal punto di vista fisico, della sicurezza, stabilità dell'opera ed economico. Approfondendo l'argomento, possiamo evidenziare:

- attacchi di animali con lesioni meccaniche: di norma si tratta di insetti saprofiti, capaci di scavare e formare gallerie all'interno del legname. In tal modo determinano significative perdite di resistenza meccanica. L'intensità degli attacchi dipende dalle condizioni ambientali e dalla specializzazione dell'insetto, ovvero se predilige le conifere o le latifoglie;
- alterazioni e modifiche strutturali: ad opera di batteri, organismi procarioti, unicellulari, eterotrofi, di varia forma, che introducono cancri ed iperplasie. Essi agiscono sia da parassiti che da saprofiti con attività cellulolitica e talvolta ligninolitica. Il loro habitat migliore, si ritrova nel legno umido, specie se a contatto con il suolo; condizione ideale anche per lo sviluppo dei funghi. Essi possono causare le cosiddette carie, cioè un insieme di degradazioni della parete delle cellule lignificate. Il legname perde le sue caratteristiche fisico-meccaniche e si disgrega completamente quasi a diventare privo di consistenza. Spesso questi due organismi agiscono in concomitanza.

2.3.5 SCELTA DEL LEGNAME IN BASE ALLA SUA RESISTENZA ALLA DEGRADAZIONE

La resistenza che il legno oppone agli agenti che causano il suo biodegradamento è chiamata durabilità naturale. Tale caratteristica dipende dalla presenza di estrattivi, composti chimici di varia natura (terpeni, fenoli, tannini, ecc.), che si depositano nelle cellule della parte più interna del fusto, cioè nelle cellule del durame, conferendogli, a seconda della specie, una colorazione più scura rispetto quella dell'alburno (parte più esterna del fusto).

In generale, possiamo dire che l'alburno di tutte le specie legnose è sempre non durabile nei confronti degli organismi xilofagi, mentre il durame, quando è differenziato, ha una notevole resistenza contro gli insetti e un comportamento diverso da specie a specie nei riguardi degli attacchi fungini.

È bene precisare che la durabilità varia anche con la posizione considerata sul fusto: risulta essere massima nell'interfaccia tra durame ed alburno, per diminuire verso il midollo e con l'altezza del fusto. Ne consegue che la parte migliore da usare è la base del tronco.

Esiste anche la cosiddetta durabilità indotta ovvero la capacità delle piante di

resistere alla biodegradazione tramite l'uso di post preservanti. Tali trattamenti però, si rivelano anti-economici. Inoltre, non è ancora ben chiaro come, e se esiste, la possibilità che le sostanze chimiche utilizzate, possano trasferirsi alle fonti idriche, determinando in tal modo, una causa di inquinamento diffuso.

In genere vengono evidenziate 5 classi di durabilità naturale del legname, valutate mediante la misura oggettiva di perdita di peso secco e di provini con in corso un attacco fungino.

CLASSE DI DURABILITA'	VITA MEDIA (anni)
1_ molto durabile	> 25
2_ durabile	15 - 25
3_ mediamente durabile	10 - 15
4_ poco durabile	5 - 10
5_ non durabile	< 5

Tabella 2: classificazione durabilità dei legnami (da N. Anselmi, G. Govi, 1996)

TIPI DI LEGNO	DURABILITA'	COMPORAMENTO VERSO GLI INSETTI		
		Anobidi	Termiti	Terebranti Xilofagi
Abete rosso	Poco Durabile	Suscettibile	Suscettibile	Suscettibile
Abete bianco	Poco Durabile	Suscettibile	Suscettibile	Suscettibile
Larice	Mediamente Durabile	suscettibile	Suscettibile	Suscettibile
Castagno	Durabile	Resistente	Resistente	Resistente
Faggio	Non Durabile	Suscettibile	Suscettibile	Suscettibile
Pioppo	Non Durabile	Suscettibile	Suscettibile	Suscettibile
Robinia	Durabile Altamente Durabile	- Suscettibile	Durabile	Suscettibile

Tabella 3: durabilità naturale e comportamento verso gli insetti di vari tipi di legno (da N. Anselmi, G. Govi, 1996)

Per concludere, dalle considerazioni fatte, si evince che, i legnami più adatti a questo tipo di opere sono la robinia e il castagno. Sono inoltre, legni che soddisfano le richieste di resistenza meccanica e di reperibilità sul territorio, data la presenza di notevoli cedui invecchiati specialmente di castagno.

2.4 METODOLOGIA DI VALUTAZIONE DEGLI INTERVENTI

Di seguito, verrà descritta la "metodologia di analisi multi-criterio". Sarà l'approccio adottato per la valutazione delle opere di ingegneria naturalistica.

Prendendo in considerazione una serie di aspetti, si ricaveranno le informazioni necessarie per l'espressione di un giudizio. Alla fine, si ottiene un numero che esprime il grado di efficacia dell'intervento.

Brevemente, si devono definire una serie di *criteri di settore*, che dovranno essere successivamente scomposti in una serie di criteri di livello inferiore, detti *criteri-foglia* ad ognuno dei quali verrà assegnato un *indicatore* specifico e concreto, che esprime il singolo valore o funzionalità. Questa procedura viene definita *gerarchia di valutazione*. Passo successivo, effettuato da un gruppo multidisciplinare di esperti, è quello di classificare le alternative assegnando loro una valutazione numerica (un peso), che riflette la sua importanza rispetto agli altri, per ciascuno degli attributi considerati. Questi punteggi vengono poi aggregati tra loro mediante un'opportuna funzione, fino ad ottenere il valore complessivo di un indice che permette di ordinare le diverse alternative secondo il grado di preferenza.

2.4.1 ASPETTI CONSIDERATI

Gli aspetti principali presi in considerazione sono: lo stato dei materiali, i processi erosivi e la copertura vegetale.

Lo stato dei materiali (presenza di funghi, rotture, svuotamenti...), ricopre una notevole importanza. Una non corretta costruzione dell'opera ed un uso di materiali non idonei, possono portare ad un degeneramento precoce della struttura con conseguente instabilità del versante.

Per quanto riguarda la copertura vegetale nella palificata, essa riveste un ruolo fondamentale nella stabilità del versante. Oltre che a proteggere dall'erosione superficiale, sarà la componente che prenderà il posto del legname, il quale, dopo un certo numero di anni, andrà incontro inevitabilmente alla degradazione.

Infine, saranno valutati i processi in atto nell'intorno dell'opera (smottamenti, infiltrazioni di acqua, ...). La loro presenza è segnale del fatto che, durante la fase di progettazione e/o realizzazione, non sono state eliminate completamente le cause scatenanti di fenomeni franosi.

Questi tre criteri, sono poi stati suddivisi ulteriormente. Nello specifico, per quanto riguarda lo *stato dei materiali*, sono stati considerati:

- lo stato del legname: deve essere scortecciato, di legno idoneo e durabile. Posizionati correttamente, non devono presentare rotture, le quali comprometterebbero notevolmente le funzioni per la quale è stata costruita; in particolare, i punteggi assegnati riguardano:

- assenza di legname danneggiato
- presenza di rari elementi danneggiati
- presenza di molti elementi danneggiati
- quasi totalità degli elementi danneggiati

- il riempimento: proveniente dagli scavi, occuperà i vuoti lasciati dalla struttura in legname. Di materiale ghiaio-terroso, non deve risultare troppo grossolano, altrimenti la vegetazione non si sviluppa adeguatamente e gli spazi non sarebbero riempiti a dovere, ma neanche troppo fine in quanto la struttura sarebbe soggetta a svuotamento. In entrambi i casi potrebbero verificarsi fenomeni di instabilità dell'opera. Verranno quindi assegnati i punteggi ai seguenti indicatori:

per nulla svuotato
parzialmente svuotato
in gran parte svuotato
totalmente svuotato

Considerando la *copertura vegetale*, i criteri foglia individuati sono stati:

- il grado di copertura: espresso come percentuale della superficie coperta dalla vegetazione. È bene che tale parametro risulti molto alto in modo tale da preservare la palificata dall'erosione superficiale:

> 70 %
50% - 70%
30% - 50%
< 30%

- il tipo di vegetazione: è stata rilevata la presenza o meno, di piante sviluppatesi da talee, precedentemente poste a dimora, e si è deciso di confrontarla con la presenza di specie vegetali infestanti. La rivegetazione di un versante con piante selezionate per la loro capacità di emettere radici e per la loro adattabilità all'ambiente, è un aspetto molto importante per quanto riguarda sia la stabilizzazione meccanica sia il soddisfacimento della funzione ecologica ed estetico-paesaggistica propria delle opere di ingegneria naturalistica. Si considera:

maggioranza di piante sviluppatesi da talee
piante sviluppatesi da talee e rara vegetazione infestante
poche piante da talee e molta vegetazione infestante
predominanza di vegetazione infestante

Infine, rimangono da approfondire i *processi in atto*. Di questi si è deciso di rilevare la presenza di:

- processi erosivi da ricercare nella presenza di acqua. In particolare, eventuali infiltrazioni al piede della struttura possono, se non adeguatamente allontanate, pregiudicare la stabilità e far venir meno le funzionalità dell'opera. Si valuta:

assenza
infiltrazioni localizzate e poco rilevanti
infiltrazioni localizzate e rilevanti
infiltrazione estese e rilevanti

- movimenti di massa che si possono verificare nelle immediate vicinanze della palificata:

assenti
pochi e poco estesi
pochi e molto estesi
numerosi ed estesi

2.4.2 METODOLOGIA DI ASSEGNAZIONE DEI PESI E DEI PUNTEGGI

Tutte le informazioni raccolte, sono poi state riunite in una tabella (Tabella 4), la quale è stata fatta compilare da un gruppo di esperti, che ne hanno attribuito pesi e punteggi in base alla loro esperienza maturata nel corso dell'attività lavorativa. Si è dovuto affiancare allo schema proposto, una breve guida alla compilazione che, nello specifico, richiede l'osservazione delle indicazioni di seguito esposte.

Per quanto riguarda i criteri di settore, va attribuito, a ciascuno di essi, un peso che faccia emergere la maggior o minor incidenza che tale parametro ha sulle funzionalità della struttura. Nel nostro caso, un esempio di attribuzione allo stato dei materiali, copertura vegetale e ai processi erosivi potrebbe essere rispettivamente di 50%, 25%, 25% oppure 0,5; 0,25; 0,25.

Passando ai criteri foglia, va fatta la medesima operazione esprimendo l'importanza che ognuno ha nei confronti del criterio di settore dal quale deriva. Ad esempio per lo stato dei materiali, che comprende lo stato del legname ed il riempimento, ad essi potrebbero essere assegnati valori rispettivamente del 50% e 50% oppure 0,5;0,5.

Come si evince dagli esempi, si intuisce facilmente che la somma dei valori attribuiti, dovrà essere 100 se ci si esprime in termini percentuali, 1 se ci si esprime in termini decimali.

Infine, per gli indicatori, l'assegnazione è diversa: ci si deve basare su criteri matematici. Per lo studio dei nostri casi, è stata scelta una funzione di valore di tipo lineare con base 2. Questo significa che, avendo scelto quattro indicatori per criterio foglia, i punteggi attribuibili vanno da 1 (corrispondente a 2^0) a 8 (corrispondente a 2^3) che indicano rispettivamente la situazione peggiore e ideale. I valori intermedi riguarderanno, intuitivamente, condizioni intermedie, la cui entità si discosterà più o meno dai valori estremi a seconda della valutazione che l'esperto farà durante la compilazione della tabella.

CRITERIO DI SETTORE	peso	CRITERIO FOGLIA	peso	INDICATORE	PUNTEGGIO
stato dei materiali		stato del legname		assenza di legname danneggiato	
				presenza di rari elementi danneggiati	
				presenza di molti elementi danneggiati	
				quasi totalità degli elementi danneggiati	
		riempimento		per nulla svuotato	
				parzialmente svuotato	
in gran parte svuotato					
		totalmente svuotato			
copertura vegetale nella palificata		grado di copertura		> 70%	
				50-70%	
				30-50%	
				<30%	
		tipo di vegetazione		maggioranza di piante sviluppatesi da talee	
				molte piante sviluppatesi da talee e rara vegetazione infestante	
		poche piante da talea e molta vegetazione infestante			
		predominanza di vegetazione infestante			
processi in atto nell'intorno dell'opera		processi erosivi		assenza	
				infiltrazioni localizzate e poco rilevanti	
				infiltrazioni localizzate e rilevanti	
				infiltrazioni estese e rilevanti	
		movimenti di massa		assenti	
				pochi e poco estesi	
pochi ed estesi					
		numerosi ed estesi			

Tabella 4: schema con le informazioni raccolte

3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CLIMATOLOGICO

La Valsesia, è una valle alpina con estensione di 854,24 km², situata in provincia di Vercelli e comprendente 34 comuni: 4 sono definiti collinari (Gattinara, Lozzolo, Roasio, Serravalle Sesia) e 30 sono montani (Alagna Valsesia, Balmuccia, Boccioleto, Borgosesia, Breia, Campertogno, Carcoforo, Cellio, Cervatto, Civiasco, Cravagliana, Fobello, Guardabosone, Mollia, Pila, Piode, Postua, Quarona, Rassa, Rima San Giuseppe, Rimasco, Rimella, Riva Valdobbia, Rossa, Sabbia, Scopa, Scopello, Valduggia, Varallo, Vocca). Di questi, 28 fanno parte della Comunità Montana Valsesia, gli altri due (Guardabosone e Postua) hanno deciso di aderire alla Comunità Montana Valsessera.

Incastonata sulle Alpi Pennine, va dal massiccio del Monte Rosa a Romagnano Sesia, occupando la parte nord-ovest della regione e confinando con la valle del Lys, detta anche valle di Gressoney, la valle Anzasca, il cui centro principale è Macugnaga, il bacino del lago d'Orta e le montagne biellesi.

L'intera valle può essere ulteriormente divisa in:

- Alta Valsesia: comprendente: Alagna Valsesia, Riva Valdobbia, Mollie, Campertogno, Pila, Piode, Scopello, Scopa, Balmuccia, Rassa.
- Val Mastallone: Cervatto, Cravagliana, Fobello, Sabbia, Rimella.
- Val Sermenza: Boccioleto, Carcoforo, Rima San Giuseppe, Rimiasco, Rossa.
- Polo Vallivo di Fondo Sesia: Borgosesia, Breia, Cellio, Civiasco, Guardabosone, Postua, Quarona, Valduggia, Varallo, Vocca.
- Area Collinare Gattinarese: Gattinara, Lozzolo, Roasio, Serravalle Sesia.
- Vallate minori come, per esempio, l'Egua da Rimasco a Carcoforo.

Da non dimenticare anche la presenza di alcuni parchi:

- il Parco Naturale Alta Valsesia: istituito nel 1979, si estende fino ai 4.559 m s.l.m. ed è l'area protetta più alta d'Europa.
- il Parco Naturale del Monte Fenera: istituito nel 1987, è situato nella Bassa Valsesia. Proprio qui, recenti studi, hanno portato alla luce i resti di un vulcano fossile: il "supervulcano del Sesia". Si pensa che, circa 280 milioni di anni fa, dopo quasi dieci milioni di anni di eruzioni, il vulcano collassò formando una voragine di almeno 15 km di diametro, mentre una grande quantità di ceneri e materiale incandescente venne sparata in aria. In un unico botto furono emessi più di 500 km³ di materiale piroclastico, nubi ardenti e ceneri che oscurarono il cielo per anni. È visto come uno degli eventi geologici più violenti conosciuti fino ad ora.

Proprio per la sua posizione, questa vallata, presenta caratteristiche climatiche tipiche del clima temperato fresco continentale. Si caratterizza per la mancanza di un periodo di deficit idrico e per le precipitazioni medie annue che possono arrivare anche a 2000 mm/anno.

I valori più alti di temperatura, dipendenti dalla latitudine, si registrano in genere nei mesi di luglio ed agosto, ed i più bassi in quelli di dicembre e gennaio. L'escursione termica fra estate e inverno è alta: in alta valle, si può passare addirittura da massimi estivi intorno ai 12°C a minimi invernali con punte di -10°C.



Figura 3.1: Comuni della Valsesia (da caivarallo.it, 2009)

3.2 GEOLOGIA

La catena alpina occidentale è il risultato di un complesso processo geodinamico, attraverso il quale, il continente europeo e il continente africano sono giunti alla collisione. Tale fenomeno ebbe luogo quando l'oceano, interposto tra i due continenti, si è interamente consumato al di sotto del margine africano.

La Valsesia è costituita prevalentemente da rocce che si trovavano sul margine africano (Alpi Meridionali e dominio Austroalpino). Una parte di queste, che derivano dall'oceano, si incontrano ad Alagna (unità oceaniche); un'altra porzione, che si trovava sul margine europeo, costituisce il massiccio del Monte Rosa.

La Linea del Canavese e il fascio di rocce variamente tettonizzato ad essa associato attraversa la valle in direzione NNE-SSW. Segna, inoltre, il contatto tra la catena alpina in senso stretto, caratterizzata da sistemi di falde traslati verso nord-ovest (vergenza europea) e da metamorfismo alpino, e le Alpi meridionali, caratterizzate da elementi tettonici a vergenza meridionale (africana) e dall'assenza di metamorfismo alpino.

Le principali fasi di strutturazione della catena si concludono intorno ai 10 milioni di anni fa. Circa 4 milioni di anni fa lo sbocco della Valsesia, presso la confluenza con il torrente Sessera, era lambito dal mare. I corsi d'acqua formavano grandi delta di fronte ai quali si depositavano sul fondale marino spesse coltri di sedimenti.

L'ulteriore sollevamento tettonico di tutta l'area alpina determinò una regressione marina con migrazione progressiva della linea di costa verso sud-est.

L'area divenne dapprima un ambiente lagunare e poi una pianura alluvionale solcata da corsi d'acqua, i cui carichi sedimentari, costituiti per lo più da ghiaie grossolane, andavano a formare un grosso ventaglio a debole pendenza. (da "Itinerari geologici in Piemonte. La Valsesia", 2007)

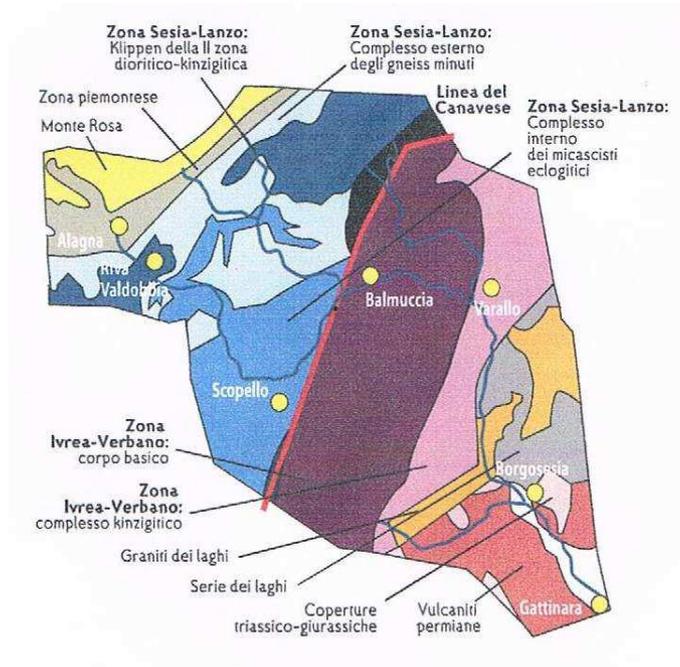


Figura 3.2: geologia della Valsesia (da arpa.piemonte.it, 2007)

3.3 LITOLOGIA

La Valsesia, è un territorio che presenta numerose formazioni litologiche.

Le rocce scistose, si rinvengono in alta valle, nei bacini del Sermenza e del Mastallone, tributari sinistri del Sesia, dello Strona e del Sessera, tributari destri del Sesia. Questi litotipi si localizzano quasi esclusivamente a ovest della Linea del Canavese.

Le rocce non scistose si rinvengono in maniera prevalente e continua nel settore est della Linea del Canavese.

I depositi alluvionali costituiscono i tratti terminali dei fondovalle dei principali corsi d'acqua e risultano costituiti da alluvioni fluvio-glaciali e fluviali, da ghiaiose a ciottolose.

Le vulcaniti occupano un settore molto ristretto nella parte centro-orientale, lungo la fascia pedemontana della regione.

Rocce carbonatiche si rinvengono nei pressi del Monte Fenera, l'unico grande complesso di rocce sedimentarie della Valsesia, posto in sinistra idrografica del Sesia, in corrispondenza del suo sbocco in pianura. Le rocce calcareo-dolomitiche che costituiscono la parte superficiale del rilievo sono interessate da numerose fratture e fessurazioni di origine tettonica dovute alla scarsa plasticità della roccia. In esse, l'azione dell'acqua è stata molto attiva, sia chimicamente che meccanicamente, instaurando una complicata circolazione idrica e portando alla formazione di grotte carsiche.

Laghi e ghiacciai si rinvengono a nord-ovest della valle, nel massiccio del Monte Rosa. (da webgis.arpa.piemonte.it)

3.4 SITUAZIONE GENERALE DI DISSESTO

Sono proprio le caratteristiche litologiche e geologico strutturali, che determinano un assetto geomorfologico particolarmente "attivo" della zona considerata. Tali caratteristiche, anche in relazione al regime climatico, determinano un'elevata predisposizione allo sviluppo di fenomeni franosi di diversa tipologia.

Nel territorio della Valsesia, i fenomeni gravitativi maggiormente diffusi, sono quelli da crollo e ribaltamento che avvengono per distacco da pareti o ammassi rocciosi, e sono caratterizzati da un movimento estremamente rapido. Seguono quelli franosi per colamento rapido e le frane per saturazione e successiva fluidificazione dei terreni della copertura superficiale. Sono eventi di modeste dimensioni caratterizzate da estrema rapidità che si innescano durante eventi di pioggia di forte intensità. Si riscontrano anche fenomeni meno evidenti, ma arealmente molto estesi, chiamati Deformazioni Gravitative Profonde di Versante (DGPV), caratterizzate da un movimento lento e continuo dell'ammasso roccioso, che interessano interi versanti per profondità di anche alcune centinaia di metri.

Una sommaria analisi della distribuzione mensile delle frane storiche, ha evidenziato che esse si innescano in tutti i mesi dell'anno, anche se con concentrazioni mensili differenti.

La maggior parte è avvenuta nel mese di novembre ed è proprio nel corso di questo periodo che si sono verificati gli eventi alluvionali più gravi del 1951, nel 1968 e nel 1994.

In generale i mesi autunnali e tardo-estivi sono quelli in cui si è concentra la maggior parte delle attivazioni. Ciò che cambia sono le modalità di innesco: se nel primo periodo, le attivazioni sono connesse principalmente a precipitazioni prolungate e di elevata intensità, nel secondo sono quelle intense, anche se di breve durata e localizzate, a produrre dissesti. In entrambi i casi, ingenti sono i danni che si vengono a creare (Figure 3.3-3.4).

Nei mesi tardo-primaverili, per effetto delle notevoli quote dei rilievi e del permanere del manto nevoso, le attivazioni dei processi di instabilità sono prodotte, oltre che dall'azione delle precipitazioni, in genere prolungate e di intensità modesta, dagli effetti indotti dalla fusione nivale. (da webgis.arpa.piemonte.it)



Figura 3.3, 3.4: danni alluvione novembre 2014 (Foto: Denicola Roberta)

3.5 IL BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME SESIA

3.5.1 CARATTERISTICHE FISIOGRAFICHE

Il bacino idrografico del fiume Sesia (Figura 3.6) ha una superficie complessiva di circa 3.038 km² (4% della superficie del bacino del Po), di cui il 45% ricadente in ambito montano.

La porzione di territorio sottesa a Romagnano, ha nel suo complesso la forma di un quadrilatero irregolare:

- il lato occidentale costituisce lo spartiacque con la Valle di Gressoney (bacino del Lys) tra la Punta Gnifetti (4.559 m s.l.m.) e la Punta dei Tre Vescovi (2.579 m s.l.m.), con quella del Cervo tra la Punta dei Tre Vescovi e la Cima Bò;
- il lato nord segue gli alti contrafforti tra il Sesia e la Valle Anzasca dalla Punta Gnifetti alla Cima del Capezzone (2.422 m s.l.m.);
- il lato orientale si stende fino a Romagnano Sesia tra il Capezzone e il Monte Avigno (1.136 m s.l.m.) e segna la dislivellatura con il contiguo bacino del Lago d'Orta;
- il lato meridionale divide la Valsesia dall'altipiano del biellese.



Figura 3.6: Valsesia (da spazioweb.inwind.it, 2014)

Il fiume, trae le sue sorgenti dai ghiacciai di Bors, delle Piode e delle Vigne, che si stendono sul versante Sud-Est del Monte Rosa, poi per circa 41 km, scorre nella Val Grande e sbocca in pianura a Romagnano dopo un percorso di altri circa 24 km.

Il suo corso è diretto Ovest-Est fino a Varallo, alla confluenza col torrente Mastallone; poi piega verso Sud fino al termine della valle.

Riceve in destra gli affluenti torrente Olen, Otro, Vogna, Artogna, Sorba, Sessera e in sinistra i torrenti Sermenza, Mastallone e Strona di Valduggia.

In pianura, poco a monte di Vercelli, confluisce il torrente Cervo, il quale con l'Elvo, raccoglie tutti i deflussi provenienti dalla zona pre-alpina del Biellese.

Nel Sesia confluiscono altresì buona parte degli scoli provenienti dal territorio di pianura appartenente alla provincia di Vercelli. I principali corsi d'acqua della zona sono rappresentati dal torrente Marcova e dalla Roggia Stura, a cui si affiancano una numerosa serie di canali irrigui.

3.5.2 ASPETTI IDROLOGICI E IDRAULICI

I bacini del Sesia e dei suoi affluenti, ricevono le massime precipitazioni annuali che si rilevano nella regione padana, come pure quelle di massima intensità. Tale comportamento idrologico, sommato a percentuali di permeabilità praticamente nulle per tutta la parte montana, è la ragione di un regime dei deflussi contraddistinto per la frequenza della manifestazione di stati di piena con elevati valori delle portate al colmo.

Nel bacino le aree di generazione delle piene si localizzano soprattutto nella parte mediana e pedemontana, mentre i contributi del settore di testata, circa a monte della confluenza del torrente Mastallone, sono solitamente minori.

In relazione al trasporto solido, il bacino si caratterizza per:

- la quantità di sedimento mediamente prodotta, in base alle caratteristiche geometriche, fisiografiche, litologiche e climatiche;
- capacità media di trasporto solido dell'asta principale, in base a larghezza dell'alveo attivo, pendenza del fondo, scabrezza e granulometria del materiale.

Il tratto dalla sorgente a Romagnano Sesia è caratterizzato da una pronunciata instabilità dell'alveo che determina, in più punti, condizioni di erosione spondale o di sovralluvionamento. Quest'ultimo evento avviene per lo più nel tratto compreso tra Quarona e Romagnano Sesia.

Numerose sono le opere di difesa spondale realizzate sia in destra che in sinistra concentrate soprattutto nel tratto tra Campertogno e Piode a difesa di abitazioni. In molti casi le infrastrutture limitano la sezione dell'alveo.

I principali affluenti, in destra idrografica, torrenti Otro, Vogna, Artogna e Sorba presentano poche opere di sistemazione nei tratti terminali di fondovalle. Nel successivo tratto, tra Piode e Varallo, l'alveo ha discrete possibilità di divagazione, evidenziate dalla notevole erosione spondale di alcuni tratti. Le sporadiche opere di regimazione sono limitate a qualche scogliera in corrispondenza dei nuclei abitati e per brevi tratti. Nel tratto da Varallo a Romagnano Sesia, l'alveo è molto largo e libero da arginature fino al restringimento naturale dell'alveo in corrispondenza del ponte Aranco.

4.1 LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA



Figura 4.1: localizzazione geografica degli interventi

In Figura 4.1, sono raggruppati tutti gli interventi analizzati. Per comodità, si è deciso di numerarli da uno a cinque. Nello specifico, l'intervento:

- 1: è situato nel comune di Borgosesia, frazione Agnona, località Augera alla quota approssimativa di 500 m s.l.m.
- 2: è situato nel comune di Breia, località Agarla alla quota approssimativa di 790 m s.l.m.
- 3: è situato nel comune di Valduggia, frazione di Soliva, località Cà Giordano alla quota approssimativa di 605 m s.l.m.
- 4: è situato nel comune di Cravagliana, località Valbella superiore, alla quota approssimativa di 850 m s.l.m.
- 5: è situato nel comune di Breia, nel centro del paese, alla quota approssimativa di 800 m s.l.m.

In appendice, sono state inserite mappe, disegni e una breve documentazione fotografica riguardante ogni intervento.

4.2 ATTRIBUZIONE DEI PESI E PUNTEGGI DA PARTE DEI TECNICI

Ogni tecnico, a cui è stata sottoposta la tabella 4, ha restituito anche una breve spiegazione sul motivo dell'assegnazione dei valori. Pareri che talvolta sono simili e che in altri casi sono totalmente diversi tra di loro.

Alcuni esperti attribuiscono allo stato dei materiali una maggior enfasi in quanto lo considerano un fattore determinante nella stabilità: se questa, grazie anche alle condizioni climatiche favorevoli, si realizza nel breve e medio periodo, allora proseguirà anche nel lungo periodo. Altri, invece, considerano questo criterio di settore, meno rilevante, perché soggetto a inevitabile degrado. Di conseguenza, anche i criteri-foglia relativi a tale parametro sono differenti. Alcuni danno uguale importanza allo stato del legname e al riempimento perché sono entrambi rilevanti nella stabilizzazione, altri ritengono che il secondo parametro sia maggiormente pregiudicante la struttura e più vulnerabile alle azioni destabilizzanti.

Per la copertura vegetale sulla palificata, tutti concordano sul fatto che sia un segno di stabilità e di avvio ai processi di consolidamento e che sin dall'inizio si debbano creare le condizioni adatte, affinché essa possa crescere ed affermarsi nel migliore dei modi. Per i parametri riguardanti tale criterio, nonostante i valori attribuiti siano differenti, in tutti i casi, viene data maggior importanza al grado di copertura vegetale. È considerato infatti il maggior responsabile della stabilizzazione del versante nel tempo. Anche il tipo di vegetazione è importante, ma non così del tutto fondamentale.

Infine, per i processi in atto nell'intorno dell'opera, si pensa che siano già stati presi in considerazione da parte del progettista, che la loro presenza/assenza sia segno di insuccesso/successo del lavoro svolto e che, in ogni caso, dovrebbero essere eliminati in fase di elaborazione del progetto. Distinguiamo processi erosivi e movimenti di massa. Alcuni tecnici ritengono che i primi, qualora presenti, possono essere sopportati bene dalla struttura, a differenza dei secondi che la possono far collassare in breve tempo. Attribuiscono quindi maggiore peso ai movimenti di massa. Altri danno più importanza ai processi erosivi in quanto rappresentano gli eventi che si manifestano con maggior frequenza. Altri invece, assegnano la medesima enfasi perché, a seconda dell'entità con cui si manifestano gli uni o gli altri, la compromissione della struttura può essere ugualmente segnata.

Una volta che tutti gli esperti hanno riconsegnato la tabella con i pesi assegnati, la loro elaborazione è consistita nel calcolo della media, che è servita per la costruzione di un unico schema (tabella 5), usato per la valutazione dei progetti, e dello scarto quadratico medio, utile per conoscere di quanto i pareri degli esperti si discostano dalla media precedentemente calcolata.

TABELLA CON VALORI MEDI USATI PER LA VALUTAZIONE					
CRITERIO DI SETTORE	peso	CRITERIO FOGLIA	peso	INDICATORE	PUNTEGGIO
stato dei materiali	0,4	stato del legname	0,45	assenza di legname danneggiato	8
				presenza di rari elementi danneggiati	4
				presenza di molti elementi danneggiati	2
				quasi totalità degli elementi danneggiati	1
	riempimento	0,55	per nulla svuotato	8	
			parzialmente svuotato	4	
			in gran parte svuotato	2	
			totalmente svuotato	1	
copertura vegetale nella palificata	0,31	grado di copertura	0,63	> 70%	8
				50-70%	4
				30-50%	2
				<30%	1
	tipo di vegetazione	0,37	maggioranza di piante sviluppatesi da talee	8	
			molte piante sviluppatesi da talee e rara vegetazione infestante	4	
			poche piante da talea e molta vegetazione infestante	2	
			predominanza di vegetazione infestante	1	
processi in atto nell'intorno dell'opera	0,29	processi erosivi	0,47	assenza	8
				infiltrazioni localizzate e poco rilevanti	4
				infiltrazioni localizzate e rilevanti	2
				infiltrazioni estese e rilevanti	1
	movimenti di massa	0,53	assenti	8	
			pochi e poco estesi	4	
			pochi ed estesi	2	
			numerosi ed estesi	1	

Tabella 5: tabella usata per la valutazione dei progetti

4.3 INTERVENTI REALIZZATI E LORO VALUTAZIONE

Una volta acquisite le informazioni sui progetti che si è deciso di studiare (si rimanda all'Appendice per i dettagli tecnici) e sulla metodologia da seguire durante la valutazione, grazie alla serie di sopralluoghi realizzati in sito durante il mese di agosto del 2014, si è relazionata lo stato della palificata e, in base alla tabella 5, si è potuto assegnare ad ogni opera un indice, rappresentante la sua efficacia nei confronti della stabilizzazione del versante.

4.3.1 Borgosesia, frazione Agnona (VC)

La causa del dissesto, è da riscontrarsi nella presenza di un rio, affluente destro del fiume Sesia. Le sue elevate capacità erosive vengono intensificate da eventi meteorologici eccezionali, con conseguente franamento di materiale lungo i versanti della valle. Proprio per il verificarsi di questa situazione, si è dovuti intervenire mediante:

- Risagomatura con ragno meccanico per ottenere un profilo regolare in situazioni dove siano presenti accumuli di materiale sciolto fino ad altezze di 2m, grossi massi, legname morto e ramaglia da disporre all'interno del cantiere secondo le indicazioni della D.L. o da trasportare in discariche autorizzate, eventuale completamento a mano, uso di attrezzature idrauliche, segnaletica ed eventuale pulizia stradale.
Superficie da trattare di circa 150 m², movimentazione presunta di 200 m³ di materiale.
- Realizzazione di una palificata a doppia parete composta da correnti e traversi scortecciati di legno idoneo e durabile di larice, castagno o quercia di diametro minimo di 20-25 cm fissati con chiodi, staffe e caviglie, ancorata al piano basale con piloti in acciaio ad aderenza migliorata (diametro minimo 35mm), inserimento progressivo durante la realizzazione dell'opera, di talee di specie

arbustive e/o arboree ad elevata capacità vegetativa e capaci di emettere radici avventizie dal fusto posate contigue in ogni strato. Riempimento a strati con materiale ghiaio-terroso provenienti da scavi e/o riportato previa miscelazione: compreso lo scavo di fondazione, la fornitura, il trasporto del legname a piè d'opera, il taglio, l'allestimento, la costruzione della struttura, la fornitura e la messa a dimora delle piantine (minimo 100 talee e 5 piantine radicate al m²). Lunghezza di 15m, altezza media di 2m con profondità di 2m; circa 60 m³ di volume. (Tabella 6)

OPERA N° 1		
ANNO DI REALIZZAZIONE	2010	
ESPOSIZIONE	est	
TIPOLOGIA DI PALIFICATA	doppia	
CARATTERISTICHE GENERALI	lunghezza	15 m
	altezza	2 m
	profondità	2 m
	numero strati	10
	contropendenza	10°
CARATTERISTICHE DEGLI ELEMENTI		
CORRENTI	materiale	larice
	lunghezza	4 m
	diametro	20-25 cm
	trattamento	scortecciato
TRAVERSI	materiale	larice
	lunghezza	2 m
	trattamento	scortecciato
MATERIALE DI RIEMPIMENTO	ghiaio-terroso	
CHIODI, STAFFE, CAVIGLIE	diametro	15 mm
NOTE	gli elementi non sono a incastro	

Tabella 6: caratteristiche palificata di Agnona

Dal sopralluogo effettuato, si può notare che la struttura, si presenta ricoperta totalmente da vegetazione infestante costituita per la maggior parte da rovi (*Rubus fruticosus L.*). Tale situazione, è causata dall'ambiente decisamente umido e dal clima della zona, che favorisce il crescere di questa tipologia di flora. Tutto ciò, insieme alla difficoltà di accesso del sito, in quanto il pendio risulta essere molto ripido, ha reso problematica la realizzazione di una documentazione fotografica e impedito la valutazione dello stato odierno dell'opera. Non si può quindi definire se siano garantite le condizioni di stabilità e contenimento del versante.

Questo caso, rappresenta appieno uno dei limiti di applicabilità riguardanti tali tipologie di opere. Probabilmente, nonostante fossero state messe a dimora il giusto quantitativo di talee, non si è tenuto conto della rapidità di crescita delle infestanti che, prendendo il sopravvento, hanno impedito lo sviluppo della vegetazione selezionata, che sarebbe andata a sostituire le proprietà stabilizzanti svolte, in un primo momento, dal legname.



Figura 4.2: opera nel 2010 (Foto: Comunità Montana Valsesia)



Figura 4.3: opera nel 2014 (Foto: Denicola Roberta)

4.3.2 Breia, località Agarla (VC)

La zona presenta scarse caratteristiche geomeccaniche costituite da coltri sciolte di copertura molto spesso ricche di acqua, provenienti dall'infiltrazione di questa dal pianoro presente a Nord del dissesto.

Si rende perciò necessario intervenire mediante:

- Risagomatura con ragno meccanico per ottenere un profilo regolare in situazioni dove sino presenti accumuli di materiale sciolto fino ad altezze di 2 m, grossi massi, legname morto e ramaglia da disporre all'interno del cantiere secondo le indicazioni della D.L. o da trasportare in discariche autorizzate, eventuale completamento a mano, uso di attrezzature idrauliche, segnaletica e l'eventuale pulizia stradale.

Superficie da trattare di circa 200 m², movimentazione presunta di 300 m³ di materiale.

- Realizzazione di una palificata a doppia parete composta da correnti e traversi scortecciati di legno idoneo e durabile di larice, castagno o quercia di diametro minimo di 20-25 cm fissati con chiodi, staffe e caviglie ancorata al piano basale con piloti in acciaio ad aderenza migliorata (diametro minimo 35 mm), inserimento progressivo durante la realizzazione dell'opera, di talee di specie arbustive e/o arboree ad elevata capacità vegetativa e capaci di emettere radici avventizie dal fusto posate contigue in ogni strato. Riempimento a strati con materiale ghiaio - terroso provenienti da scavi e/o riportato previa miscelazione: compreso lo scavo di fondazione, la fornitura, il trasporto del legname a piè d'opera, il taglio, l'allestimento, la costruzione della struttura, la fornitura e la messa a dimora delle piantine (minimo 100 talee e 5 piantine radicate al m²).

Lunghezza di 15m, altezza media di 3m con profondità di 2m; circa 75 m³ di volume. (Tabella 7).

OPERA N° 2		
ANNO DI REALIZZAZIONE	2010	
ESPOSIZIONE	sud	
TIPOLOGIA DI PALIFICATA	doppia	
CARATTERISTICHE GENERALI	<i>lunghezza</i>	15 m
	<i>altezza</i>	3 m
	<i>profondità</i>	2 m
	<i>numero strati</i>	5
	<i>contropendenza</i>	10°
CARATTERISTICHE DEGLI ELEMENTI		
CORRENTI	<i>materiale</i>	larice
	<i>lunghezza</i>	4 m
	<i>diametro</i>	20-25 cm
	<i>distanza</i>	150 cm
	<i>trattamento</i>	scortecciato
TRAVERSI	<i>materiale</i>	larice
	<i>lunghezza</i>	2 m
	<i>diametro</i>	20-25 cm
	<i>trattamento</i>	scortecciato
MATERIALE DI RIEMPIMENTO	ghiaio-terroso	
CHIODI, STAFFE, CAVIGLIE	<i>diametro</i>	15 mm
NOTE	gli elementi non sono ad incastro	

Tabella 7: caratteristiche palificata di Agarla

Dal sopralluogo effettuato, analizzando le caratteristiche della struttura, è scaturita una valutazione negativa sulla riuscita dell'opera.

A causa della zona di ubicazione decisamente umida, il legname si presenta parzialmente ricoperto da muschi e si riscontra la presenza di alcuni elementi danneggiati. Verrà assegnato un punteggio pari a 4.

Nonostante l'acqua venga deviata al di sotto della palificata, da una canaletta in pietrame e legname e da due tubi in pvc, inseriti nella struttura, il riempimento è parzialmente svuotato. Probabilmente tale situazione è dovuta al fatto che l'acqua proveniente dalla strada sovrastante, non è adeguatamente regimata. Verrà assegnato punteggio pari a 4.

Si può anche constatare che la vegetazione non si è affermata nel migliore dei modi. Analizzando il grado di copertura, vediamo che esso è scarso, sicuramente è inferiore al 30% ed è rappresentato per la maggior parte da vegetazione infestante. Verrà assegnato un punteggio rispettivamente di 1 e 2.

Incisivi sono i processi erosivi che si rilevano specialmente al piede della palificata. La canaletta in legname e pietrame e i tubi in pvc, convogliano l'acqua esattamente alla base della struttura. Questo a lungo andare causerà sicuramente instabilità. Verrà assegnato un punteggio pari a 2. Non si riscontrano invece movimenti di massa, motivo per cui il punteggio assegnato sarà di 8.

I punteggi, moltiplicati per i relativi pesi, restituiscono un indice finale di 3,5 (Tabella 8).

BREIA, LOCALITA' AGARLA (VC)					
CRITERIO DI SETTORE	peso	CRITERIO FOGLIA	peso	INDICATORE SCELTO	PUNTEGGIO
stato dei materiali	0,4	stato del legname	0,45	presenza di rari elementi danneggiati	4
		riempimento	0,55	parzialmente svuotato	4
copertura vegetale nella palificata	0,31	grado di copertura	0,63	<30%	1
		tipo di vegetazione	0,37	poche piante da talea e molta vegetazione infestante	2
processi in atto nell'intorno dell'opera	0,29	processi erosivi	0,47	infiltrazioni localizzate e rilevanti	2
		movimenti di massa	0,53	assenti	8
PUNTEGGIO TOTALE					3,5

Tabella 8: valutazione secondo intervento



Figura 4.4: opera nel 2010 (Foto: Comunità Montana Valsesia)



Figura 4.5: opera nel 2014 (Foto: Denicola Roberta)

4.3.3 Valduggia, frazione Soliva (VC)

I terreni interessati dal dissesto sono di tipo eluvio-colluviali, anche molto diversi tra loro perché la componente detritica, dalle sabbie ai ciottoli, è sempre legata da percentuali variabili di limo e argille. La qualità della roccia è scadente per il suo grado di fratturazione ed insieme all'incisione di un rio intersecante la strada presente, hanno innescato un fenomeno franoso che ha reso necessario un intervento di sistemazione mediante:

- Realizzazione di una palificata a gradoni composta da correnti e traversi scortecciati di legno idoneo e durabile di larice, castagno o quercia di diametro minimo di 20-25 cm fra di loro fissati con chiodi, staffe e caviglie, ancorata al piano di base con profilati in acciaio con sezione ad "L" (lato minimo 80 mm). Inserimento progressivo durante la realizzazione dell'opera, di talee di specie arbustive e/o arboree ad elevata capacità vegetativa e capaci di emettere radici avventizie dal fusto posate contigue in ogni strato. Riempimento a strati con materiale ghiaio-terroso provenienti da scavi e/o riportato previa miscelazione. L'opera dovrà essere protetta mediante la posa di una guaina impermeabile a salvaguardia delle infiltrazioni d'acqua dell'interfaccia tra l'opera ed il terreno sottostante. Compreso lo scavo di fondazione, la fornitura, il trasporto del legname a piè d'opera, il taglio, l'allestimento, la costruzione della struttura, la fornitura e la messa a dimora delle piantine (minimo 100 talee e 5 piantine radicate/m²).
- Inerbimento con miscuglio di sementi di specie erbacee, arboree ed arbustive selezionate e idonee al sito (30 g/m²) e distribuzione omogenea di una miscela composta da fieno o paglia e concime organico liquido (1 kg/m²), mediante l'uso di irroratrici, e fissata con rete in polietilene additivato-biodegradabile, vincolata al terreno con picchetti di legno durabile (1/m²).
- Realizzazione di un pozzetto rivestito in pietrame, di un attraversamento stradale costituito da un tubo in PVC del diametro 100 cm e di una nuova canaletta in legname e pietrame. (Tabella 9).

OPERA N° 3			
ANNO DI REALIZZAZIONE	2010		
ESPOSIZIONE	nord		
TIPOLOGIA DI PALIFICATA	doppia		
		PALIFICATA INF	PALIFICATA SUP
CARATTERISTICHE GENERALI	<i>lunghezza</i>	30 m	30 m
	<i>altezza</i>	2 m	1,80 m
	<i>profondità</i>	1,50 m	1,50 m
	<i>numero strati</i>	5	4
	<i>contropendenza</i>	10°	10°
CARATTERISTICHE DEGLI ELEMENTI			
CORRENTI	<i>materiale</i>	larice e castagno	
	<i>lunghezza</i>	3,5 m	
	<i>diametro</i>	20-25 cm	
	<i>distanza</i>	1,40 m	
	<i>trattamento</i>	scortecciato	
TRAVERSI	<i>materiale</i>	larice e castagno	
	<i>lunghezza</i>	1,50 m	
	<i>diametro</i>	20-25 cm	
	<i>trattamento</i>	scortecciato	
MATERIALE DI RIEMPIMENTO	ghiaio-terroso		
CHIODI, STAFFE, CAVIGLIE	<i>diametro</i>	15 mm	
NOTE	elementi non ad incastro, alcuni tronchi con corteccia		

Tabella 9: caratteristiche palificate di Soliva

Dal sopralluogo effettuato, si evince che l'opera nel suo insieme, presenta buone caratteristiche di stabilità e consolidamento.

Dall'osservazione dei correnti e dei traversi, non si riscontra alcun segno di danneggiamento e deterioramento. Verrà assegnato un punteggio pari a 8.

Anche il riempimento non manifesta segni di svuotamento. Verrà assegnato un punteggio pari a 8. Grazie a questa situazione, si sta sviluppando un buon grado di copertura costituito per la maggior parte da talee poste a dimora durante i lavori. Verrà assegnato un punteggio di 4 in entrambe le situazioni.

Per la presenza di una canaletta in legname e pietrame che convoglia le acque a valle, la presenza di fenomeni erosivi è annullata. Si rileva però la presenza di un movimento franoso a lato della struttura di piccola entità. A questi due parametri verranno assegnati rispettivamente punteggi pari a 8 e 4.

Elaborando i valori assegnati con i relativi pesi, si ottiene un indice finale di 6,1 (Tabella 10).

VALDUGGIA, LOCALITA' SOLIVA (VC)					
CRITERIO DI SETTORE	peso	CRITERIO FOGLIA	peso	INDICATORE SCELTO	PUNTEGGIO
stato dei materiali	0,4	stato del legname	0,45	assenza di legname danneggiato	8
		riempimento	0,55	per nulla svuotato	8
copertura vegetale nella palificata	0,31	grado di copertura	0,63	50-70%	4
		tipo di vegetazione	0,37	molte piante sviluppatasi da talea e rara vegetazione infestante	4
processi in atto nell'intorno dell'opera	0,29	processi erosivi	0,47	assenza	8
		movimenti di massa	0,53	pochi e poco estesi	4
				PUNTEGGIO TOTALE	6,1

Tabella 10: valutazione terzo intervento



Figura 4.6 opera nel 2010 (Foto: Comunità Montana Valsesia)



Figura 4.7 opera nel 2014 (Foto: Denicola Roberta)

4.3.4 Cravagliana, località Valbella superiore (VC)

Il tratto di valle interessato, è il risultato di numerosi fenomeni morfogenetici legati al rimodellamento effettuato dai ghiacciai che, a più riprese, si sono estesi e ritirati a partire dalle zone più elevate. Si è determinato così, un profilo a "U" del solco vallivo, che si è approfondito a causa dell'erosione fluviale e torrentizia.

Sono inoltre presenti forti accumuli di origine gravitativa e torrentizia. I primi localizzati al piede dei versanti, sono dovuti alla marcata acclività, i secondi si trovano allo sbocco dei corsi d'acqua, che possiedono elevata capacità erosiva anche se gli eventi meteorici sono di ridotta intensità.

L'intervento consiste nella sistemazione di una serie di dissesti che interessano i versanti a valle della frazione Valbella Superiore e a monte del sentiero per l'alta valle.

- Preparazione della pista d'accesso di circa 100 m di lunghezza e 3 m di larghezza, già esistente in parte, attraverso decespugliamento, taglio di piante

intralcianti il percorso e regolarizzazione del piano viabile attraverso la posa di materiale ghiaioso-terroso reperito in loco;

- Risagomatura delle superfici di frana consistente nel modellamento generale della superficie con ragno meccanico in situazioni dove siano presenti accumuli di materiale sciolto ad altezze di 2 m, grossi massi, legname morto e ramaglia, da disporre all'interno del cantiere secondo le indicazioni della D.L. o trasportare alla discarica autorizzata, incluso l'eventuale completamento a mano, l'impiego di attrezzature idrauliche, la segnaletica necessaria e l'eventuale pulizia delle sedi stradali.

Superficie da trattare di circa 1500 m².

- Posa in opera di rete in fibra naturale di cocco per il consolidamento di scarpate, con funzione anti-erosiva, di drenaggio o rinforzo, fissata al terreno con picchetti di legno o metallici.

Superficie complessiva da trattare di 400m².

- Fornitura e posa in opera di rivestimento di pendici rocciose con pannelli di rete metallica a doppia torsione a maglia esagonale 8 x 10. Alla sommità della pendice, la rete è sostenuta da una fune a trefoli di acciaio del diametro di 12mm fissata alla roccia tramite ancoraggi in barre d'acciaio ad aderenza migliorata del diametro di 24 mm e di profondità pari a 2-3 m con testa atta ad accogliere golfaro passacavo, posti ad interasse di 3m. Al piede della pendice, la rete è contenuta da una fune in trefoli di diametro di 12mm fissata alla roccia tramite ancoraggi in barre d'acciaio con in testa golfaro, posti ad interasse di 3m. Armatura del rivestimento tramite il tesaggio, sulla superficie coperta di funi in acciaio, diametro 12 mm, formanti maglie romboidali e vincolate (dimensioni 3 x 3 m) a monte ed a valle dei rispettivi ancoraggi regolari. Le barre di ancoraggio sono solidarizzate in foro tramite iniezioni di boiaccia di cemento additivato con prodotti anti-ritiro.

Superficie complessiva da trattare di 450m².

- Realizzazione di un inerbimento della superfici di frana con la tecnica dell'idrosemina consistente di una miscela formata da acqua, miscuglio di sementi di specie erbacee selezionate e idonee al sito, concime organico, collanti e sostanza miglioratrici del terreno; il tutto distribuito in un'unica soluzione con idrosemiatrici (speciali macchine irroratrici a forte pressione).

Superficie complessiva da trattare di 400m² più eventuale ripetizione dell'operazione.

- Realizzazione di una palificata a doppia parete composta da correnti e traversi scortecciati di legno idoneo e durabile di larice, castagno o quercia di diametro minimo di 20-25 cm fissati con chiodi, staffe e caviglie ancorata al piano basale con piloti in acciaio ad aderenza migliorata (diametro minimo 35 mm), inserimento progressivo durante la realizzazione dell'opera, di talee di specie arbustive e/o arboree ad elevata capacità vegetativa e capaci di emettere radici avventizie dal fusto posate contigue in ogni strato. Riempimento a strati con materiale ghiaio - terroso provenienti da scavi e/o riportato previa miscelazione: compreso lo scavo di fondazione, la fornitura, il trasporto del legname a piè d'opera, il taglio, l'allestimento, la costruzione della struttura, la fornitura e la messa a dimora delle piantine (minimo 100 talee e 5 piantine radicate al m²). Dimensioni: 1,70 m di spessore x 2 m di altezza x 30 m di lunghezza. (Tabella 11).

OPERA N° 4		
ANNO DI REALIZZAZIONE	2010	
ESPOSIZIONE	ovest	
TIPOLOGIA DI PALIFICATA	doppia	
CARATTERISTICHE GENERALI	<i>lunghezza</i>	30 m
	<i>altezza</i>	2 m
	<i>profondità</i>	1,70 m
	<i>numero strati</i>	5
	<i>contropendenza</i>	5°
CARATTERISTICHE DEGLI ELEMENTI		
CORRENTI	<i>materiale</i>	castagno
	<i>lunghezza</i>	4 m
	<i>diametro</i>	20-25 cm
	<i>distanza</i>	1,80-2,00 m
	<i>trattamento</i>	scortecciato
TRAVERSI	<i>materiale</i>	castagno
	<i>lunghezza</i>	1,70 m
	<i>diametro</i>	20-25 cm
	<i>trattamento</i>	scortecciato
MATERIALE DI RIEMPIMENTO	ghiaio-terroso	
CHIODI, STAFFE, CAVIGLIE	<i>diametro</i>	15 mm
NOTE	elementi ad incastro	

Tabella 11: caratteristiche palificata di Valbella superiore

I rilievi effettuati, dimostrano che la struttura gode di buona stabilità. Gli elementi, traversi e correnti, sono ancora sani senza segni di deterioramento. Condizioni che ci permettono di assegnare un punteggio di 8. Medesimo valore sarà attribuito al riempimento, per nulla svuotato. La sua natura prevalentemente ghiaiosa però, non consente lo sviluppo di un'adeguata copertura vegetale che avrà funzioni stabilizzanti nel lungo periodo, per di più, poche sono le talee che hanno attecchito a fronte di una più alta percentuale di vegetazione infestante. A causa di questo, il punteggio assegnato a entrambi i parametri sarà basso e pari a 2. E' da segnalare inoltre la presenza di un'infiltrazione di acqua al piede della struttura con conseguente inizio di marcescenza del palo corrente utilizzato e ristagno idrico nella zona di passaggio del sentiero. Tale situazione ci spinge ad assegnare un punteggio pari a 4. Massimo valore sarà attribuito invece all'assenza di movimenti di massa in quanto, nell'intorno della struttura non se ne sono riscontrati. L'indice finale risulta essere di 5,6 (Tabella 12).

CRAVAGLIANA, LOCALITA' VALBELLA SUPERIORE (VC)					
CRITERIO DI SETTORE	peso	CRITERIO FOGLIA	peso	INDICATORE SCELTO	PUNTEGGIO
stato dei materiali	0,4	stato del legname	0,45	assenza di legname danneggiato	8
		riempimento	0,55	per nulla svuotato	8
copertura vegetale nella palificata	0,31	grado di copertura	0,63	30-50%	2
		tipo di vegetazione	0,37	poche piante sviluppatasi da talea e molta vegetazione infestante	2
processi in atto nell'intorno dell'opera	0,29	processi erosivi	0,47	infiltrazioni localizzate e poco rilevanti	4
		movimenti di massa	0,53	assenti	8
				PUNTEGGIO TOTALE	5,6

Tabella 12: valutazione quarto intervento



Figura 4.8: opera nel 2010 (Foto: Comunità Montana Valsesia)



Figura 4.9: opera nel 2014 (Foto: Denicola Roberta)

4.3.5 Breia, centro paese (VC)

Le cause del dissesto originatosi, sono da ricercare nelle acque di ruscellamento provenienti dalla strada sovrastante e dalla tipologia di suolo incoerente. Si è quindi provveduto a intervenire sulla frana esistente mediante:

- Risagomatura delle superfici di frana consistente nel modellamento generale della superficie con ragno meccanico in situazioni dove siano presenti accumuli di materiale sciolto ad altezze di 2m, grossi massi, legname morto e ramaglia, da disporre all'interno del cantiere secondo le indicazioni della D.L. o trasportare alla discarica autorizzata, incluso l'eventuale completamento a mano.
Superficie completa da trattare di circa 352 m².
- Fornitura di talee, di lunghezza minima di 80 cm, con diametro superiore ai 3cm;

- Realizzazione di una palificata semplice consistente nella costruzione di un'opera di sostegno controterra, costituita da pali scortecciati di legname idoneo e durabile di latifolia o conifera (diametro minimo di 20 cm), disposti perpendicolarmente alla linea di massima pendenza e fermati a valle da piloti di acciaio ad aderenza migliorata (diametro minimo di 26 mm) o da piloti in legname scortecciato (diametro minimo di 8 cm), conficcati nel terreno per almeno 1 m. Il tutto viene consolidato da un inerbimento e dall'inserimento di talee di specie arbustive e/o arboree ad elevata capacità vegetativa e capaci di emettere radici avventizie dal fusto (diametro minimo 2 cm) disposte in numero di 20-30 al metro lineare. Successivamente si procede alla messa a dimora di piantine radicate a monte della struttura.
Lunghezza complessiva dell'intervento di circa 30 m.
- Stesura di georete per il consolidamento di scarpate e sponde fluviali costituita da intreccio di fibre naturali di cocco, non intrecciate e totalmente biodegradabili.
Superficie completa da trattare di circa 400 m².
- Realizzazione di una palificata a doppia parete composta da correnti e traversi scortecciati di legno idoneo e durabile di larice, castagno o quercia di diametro minimo di 20-25 cm fissati con chiodi, staffe e caviglie ancorata al piano basale con piloti in acciaio ad aderenza migliorata (diametro minimo 35 mm), inserimento progressivo durante la realizzazione dell'opera, di talee di specie arbustive e/o arboree ad elevata capacità vegetativa e capaci di emettere radici avventizie dal fusto posate contigue in ogni strato. Riempimento a strati con materiale ghiaio - terroso provenienti da scavi e/o riportato previa miscelazione: compreso lo scavo di fondazione, la fornitura, il trasporto del legname a piè d'opera, il taglio, l'allestimento, la costruzione della struttura, la fornitura e la messa a dimora delle piantine (minimo 100 talee e 5 piantine radicate al m²).
Superficie completa da trattare di circa 83 m².
- Posa in opera di rete in fibra naturale con funzione anti-erosiva, fissata al terreno con picchetti in legno o metallici, compreso ogni altro onere ed accessorio per eseguire il lavoro a regola d'arte.
Superficie completa da trattare di circa 400 m². (Tabella 13).

OPERA N° 5		
ANNO DI REALIZZAZIONE	2010	
ESPOSIZIONE	sud	
TIPOLOGIA DI PALIFICATA	doppia	
CARATTERISTICHE GENERALI	<i>lunghezza</i>	30 m
	<i>altezza</i>	2,20 m
	<i>profondità</i>	2,50 m
	<i>numero strati</i>	6
	<i>contropendenza</i>	10°
CARATTERISTICHE DEGLI ELEMENTI		
CORRENTI	<i>materiale</i>	castagno
	<i>lunghezza</i>	4,20 m
	<i>diámetro</i>	20-25 cm
	<i>distanza</i>	1,50 m
	<i>trattamento</i>	scortecciato
TRAVERSI	<i>materiale</i>	castagno
	<i>lunghezza</i>	2,50 m
	<i>diámetro</i>	20-25 cm
	<i>trattamento</i>	scortecciato
MATERIALE DI RIEMPIMENTO	ghiaio-terroso	
CHIODI, STAFFE, CAVIGLIE	<i>diámetro</i>	15 mm
NOTE	elementi non ad incastro	

Tabella 13: caratteristiche palificata di Breia

Il sopralluogo effettuato in sito, ha permesso di constatare l'ottima riuscita dell'opera in termini di stabilità e consolidamento.

Il legname usato, non riscontra segni di deterioramento e/o danneggiamento, il che rende possibile l'attribuzione del valore massimo.

Punteggio più alto verrà assegnato anche al riempimento della struttura, la quale non si presenta per nulla svuotata. Questo crea le condizioni adatte per lo sviluppo della copertura vegetale, formata per lo più da talee poste a dimora durante i lavori e poca vegetazione infestante. Con queste informazioni, si assegna a entrambi i parametri un valore di 4.

Anche in questa palificata, è presente un'infiltrazione di acqua, ma di entità poco rilevante e localizzata in una piccola area. Questo aspetto negativo, fa attribuire un valore di 4.

Infine, andando a ricercare la presenza di movimenti di massa, siccome non ne sono stati rilevati, si è potuto assegnare il punteggio massimo a tale parametro.

L'indice corrispondente a questa struttura è di 6,2 (Tabella 14).

BREIA, LOCALITA' CENTRO PAESE (VC)					
CRITERIO DI SETTORE	peso	CRITERIO FOGLIA	peso	INDICATORE SCELTO	PUNTEGGIO
stato dei materiali	0,4	stato del legname	0,45	assenza di legname danneggiato	8
		riempimento	0,55	per nulla svuotato	8
copertura vegetale nella palificata	0,31	grado di copertura	0,63	50-70%	4
		tipo di vegetazione	0,37	molte piante sviluppatasi da talea e rara vegetazione infestante	4
processi in atto nell'intorno dell'opera	0,29	processi erosivi	0,47	infiltrazioni localizzate e poco rilevanti	4
		movimenti di massa	0,53	assenti	8
				PUNTEGGIO TOTALE	6,2

Tabella 14: valutazione quinto intervento



Figura 4.10: opera nel 2010 (Foto: Comunità Montana Valsesia)



Figura 4.11: opera nel 2014 (Foto: Denicola Roberta)

CAPITOLO 5. DISCUSSIONE DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

Alla luce dei risultati ottenuti, possiamo concludere che: l'intervento realizzato a Borgosesia, località Agnona (VC), non è stato sottoposto a valutazione, causa impraticabilità del sito. Le condizioni ambientali presenti, hanno consentito il rigoglioso sviluppo di una vegetazione infestante costituita da rovi, che non ha reso possibile analizzare lo stato di fatto dell'opera. Questo aspetto è considerato un problema che si ripresenta molto spesso durante l'analisi delle opere di Ingegneria Naturalistica e ci porta inoltre a concludere che l'intensa vegetazione infestante è anche indice di scarsa riuscita dell'intervento.

La palificata sita nel comune di Breia, località Agarla (VC), viene considerata scarsamente riuscita. A causa del microclima particolarmente umido e poco soleggiato, si ha una degradazione precoce dei materiali e la mancanza di una vegetazione perfettamente insediata. In aggiunta a questo, la presenza di processi erosivi dovuti all'acqua, proveniente dalla strada sovrastante, influiscono negativamente sulla stabilità presente e futura della struttura.

Gli altri tre interventi situati nei comuni di Valduggia, località Soliva (VC), Cravagliana, località Valbella superiore (VC) e Breia, nel centro del paese (VC), si considerano sostanzialmente riusciti. Questo è dovuto al fatto che lo stato dei materiali è ancora in buone condizioni ed è quello che, al momento, svolge l'effettiva funzione di consolidamento. In concomitanza si stanno sviluppando, in modo soddisfacente, le talee poste a dimora durante i lavori e non si riscontrano significativi processi erosivi nell'intorno dell'opera.

In Tabella 15 vengono riuniti e ordinati in modo decrescente i progetti in base alla valutazione ottenuta.

SITO D'INTERVENTO				
COMUNE	LOCALITA'	PROVINCIA	PUNTEGGIO	CONSIDERAZIONI
Breia	Centro paese	VC	6,2	sostanzialmente riuscito
Valduggia	Soliva	VC	6,1	sostanzialmente riuscito
Cravagliana	Valbella sup.	VC	5,6	sostanzialmente riuscito
Breia	Agarla	VC	3,5	scarsamente riuscito
Borgosesia	Agnona	VC	–	sito impraticabile

Tabella 15: riassunto punteggi di tutte le opere

Nei casi studiati, emerge una buona scelta dei materiali, soprattutto se consideriamo che il legname usato è stato quello di castagno, nella maggior parte dei casi, e di larice. Entrambi sono essenze molto adatte e che soddisfano le richieste di durabilità nel tempo e verso gli agenti biotici, di buona resistenza meccanica e di reperibilità sul territorio.

In alcuni progetti, carente è la componente vegetale. O perché le viene data poca importanza o perché, a causa delle caratteristiche della zona, tutte le talee poste a dimora e l'eventuale inerbimento, sono stati soppiantati dalla vegetazione infestante che ha trovato le condizioni ideali per la sua crescita (altitudine, presenza di acqua e luce). È un parametro a cui bisogna porre molta attenzione. Si deve essere a conoscenza dell'associazione fitosociologica presente in sito, che permette di ipotizzare il futuro popolamento. In questo modo, il progettista, potrà scegliere le specie migliori, preferibilmente locali, caratterizzate da rapidità di attecchimento, capacità di difesa dall'erosione, di consolidamento meccanico del versante, di sottrazione di acqua per evapotraspirazione e dalla riduzione dell'impatto visivo. Così facendo, insieme ad una ben pianificata manutenzione post-impianto, si riuscirà a ottenere una copertura vegetale il più possibile diversificata, capace di resistere agli

eventuali attacchi esterni.

L'obiettivo dell'indagine svolta è stato quello di porre in risalto gli effetti positivi che le palificate vive di sostegno hanno nella stabilizzazione dei versanti, l'importanza del grado di copertura e del corretto sviluppo della vegetazione, la quale avrà funzioni consolidanti una volta che il legname si sarà degradato. Non bisogna però dimenticare l'esistenza di eventuali limiti di applicabilità dovuti alle peculiarità del sito d'intervento. L'applicazione della metodologia di valutazione usata in questo studio, ha permesso, non solo di fotografare una piccola porzione di realtà valesiana, ma avendo carattere generale, può essere applicata nel monitoraggio di tutte le opere di ingegneria naturalistica.

Oltre a permettere l'attribuzione di un giudizio sullo stato di fatto delle stesse in modo oggettivo, consente la pianificazione di eventuali interventi di manutenzione.

Si riuscirà a garantire in questo modo, la perfetta riuscita nel tempo delle opere, risolvendo situazioni di squilibrio che nel frattempo si sono venute a creare a causa di eventuali fenomeni di dissesto o a errate valutazioni in sede di progettazione.

- AA.VV., (2006). *Biotecnica delle specie vegetali*. Manuale di Ingegneria Naturalistica, sistemazione dei versanti. Emilmarc, Roma.
- AA.VV., (2010). *Tecniche naturalistiche per la realizzazione di opere di sostegno e consolidamento profondo*. Regione Piemonte, Torino.
- AA.VV., (2010). *Stabilità e durabilità delle opere realizzate con tecniche di ingegneria naturalistica*. Regione Piemonte. Torino.
- Anselmi N., Govi G., (1996), *Patologia del legno*. Edagricole.
- ARPA Piemonte, (2007), *Itinerari geologici in Piemonte*. La Valsesia. 2007
- Autorità di Bacino Fiume Po, (1999). *Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi*.
- Bischetti G.B., (2004). *Progettazione opere di sostegno*. Appunti di Sistemazioni Idraulico Forestali A.A. 2004/2004 – Opere di sostegno a gravità
- Bischetti G.B., (2010). *Appunti del corso di sistemazioni idraulico forestali*. Anno accademico 2010/2011.
- Bischetti G.B., Di Fi Dio M, Florineth F, (2012). *On the Origin of Soil Bioengineering*. Landscape Rerearch.
- Canuti P., Casagli N., (1994). *Considerazione sulla valutazione del rischio di frana*. Estratto da "fenomeni franosi e centri abitati", atti del convegno di Bologna del 27 maggio 1994, CNR-GNDCI – Regione Emilia-Romagna.
- Casati E.V. (2012). *Appunti del corso di geopedologia*. Anno accademico 2012/2013.
- Commissione De Marchi, (1970-74), *Commissione interministeriale per lo studio della sistemazione idraulica e della difesa del suolo*. Atti della commissione. (1970-74) ristampa anastatica digitale a cura del CeNSU – Centro Nazionale di Studi Urbanistici
- Comunità Montana Valsesia, (2010). *Interventi di manutenzione idraulico forestale nei comuni di Borgosesia, Breia e Cellio*. Per i progetti realizzati a Borgosesia, loc. Agnona (VC) e Breia, loc. Agarla (VC).
- Comunità Montana Valsesia, (2010). *Interventi idraulico forestali nei comuni di Cervatto, Cravagliana, Rimella*. Per il progetto realizzato a Cravagliana, loc. Valbella superiore (VC)
- Comunità Montana Valsesia, (2010). *Interventi di manutenzione e sistemazione idraulico forestali nei comuni di Cellio, Breia, Valduggia*. Per il progetto realizzato a Breia nel centro del paese (VC).
- Comunità Montana Valsesia, (2010). *Interventi di manutenzione e sistemazione idraulico forestali nei comuni di Borgosesia e Valduggia*. Per il progetto realizzato a Valduggia, loc. Soliva (VC).

De Antonis L., Molinari V.M., (2007). *Ingengeria Naturalistica: riferimenti normativi e applicazione sul territorio piemontese*. Geoingegneria Ambientale e Mineraria, anno XLIV, n. 3, dicembre 2007.

Gisotti G. (2010) *Paesaggio e dissesto idrogeologico: le risposte dell'uomo*. Corpo Forestale dello Stato. Silvae - anno VI n° 14 pag. 120.

Puglisi S. (2010). *Le sistemazioni idraulico forestali per la conservazione e l'incremento della biodiversità*. Corpo Forestale dello Stato. Silvae - anno VI n° 14.

Regione Lombardia (2010), *Sistemazioni Idraulico Forestali: indirizzi per gli interventi*. Quaderni della ricerca n. 116 – giugno 2010.

Regione Piemonte, Molinari V.M., De Antonis L. (2003), *Interventi di sistemazione del territorio con tecniche di ingegneria naturalistica*. Torino, 2003.

Regione Piemonte (2007), *Ingengeria Naturalistica: nozioni e tecniche di base*. Torino, 2007.

Schiechl H. M., Stern R.: *Bioingegneria forestale, basi, materiali da costruzione vivi, metodi*. Edizioni Castaldi. Feltre, 1991.

Sinigo S. (2014). *L'incredibile storia del supervulcano del Sesia*. Associazione geoturistica "Supervulcano Valsesia" Onlus.

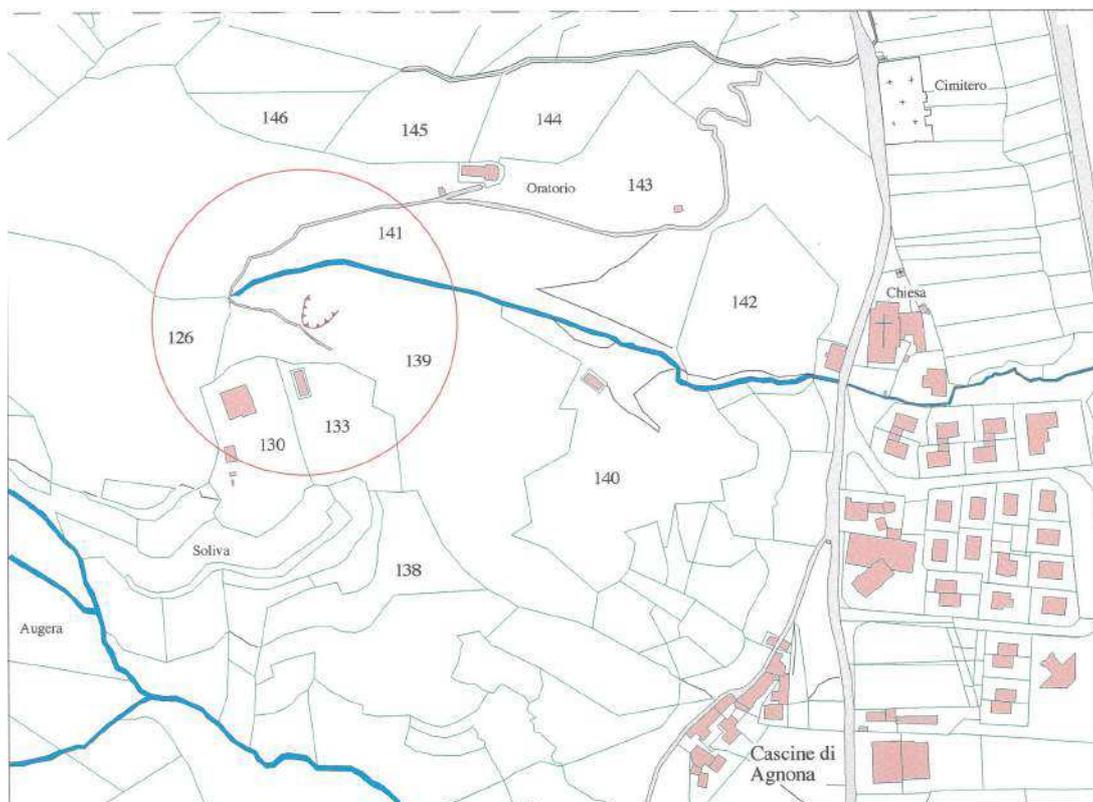
Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. In: *Special Report 176: Landslides: Analysis and Control* (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., 11-33.

Zimbone S.M. (2009). *Appunti del corso di erosione e difesa del suolo*. Anno accademico 2009/2010.

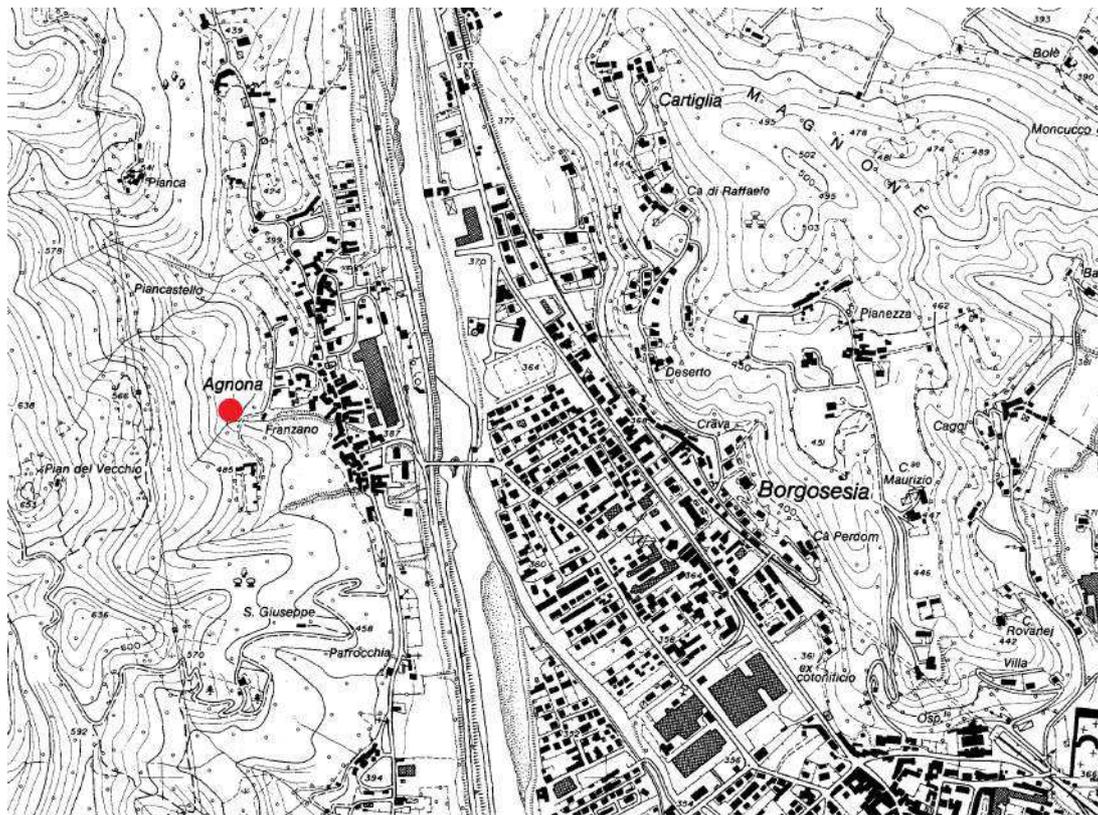
www.regione.piemonte.it
www.regione.molise.it
www.regione.veneto.it
www.unirc.it
www.corpoforestale.it
www.provincia.tn.it
www.provincia.bz.it
www.ilverdeeditoriale.com
www.aipin.it
www.aipin-pv.it/ingegneria-naturalistica.html
www.sistemapiemonte.it/serviziosidad/
www.arpa.piemonte.it
www.adbpo.it
www.comunitamontanavalsesia.it
www.legambiente.it
www.isprambiente.gov
www.politicheagricole.it
www.minambiente.it
www.monterosavalsesia.com
www.terredelsesia.it
www.italiasicura.governo.it
www.geolmarino.altervista.org
www.geoenv.it

INTERVENTO 1: MAPPE E DISEGNI

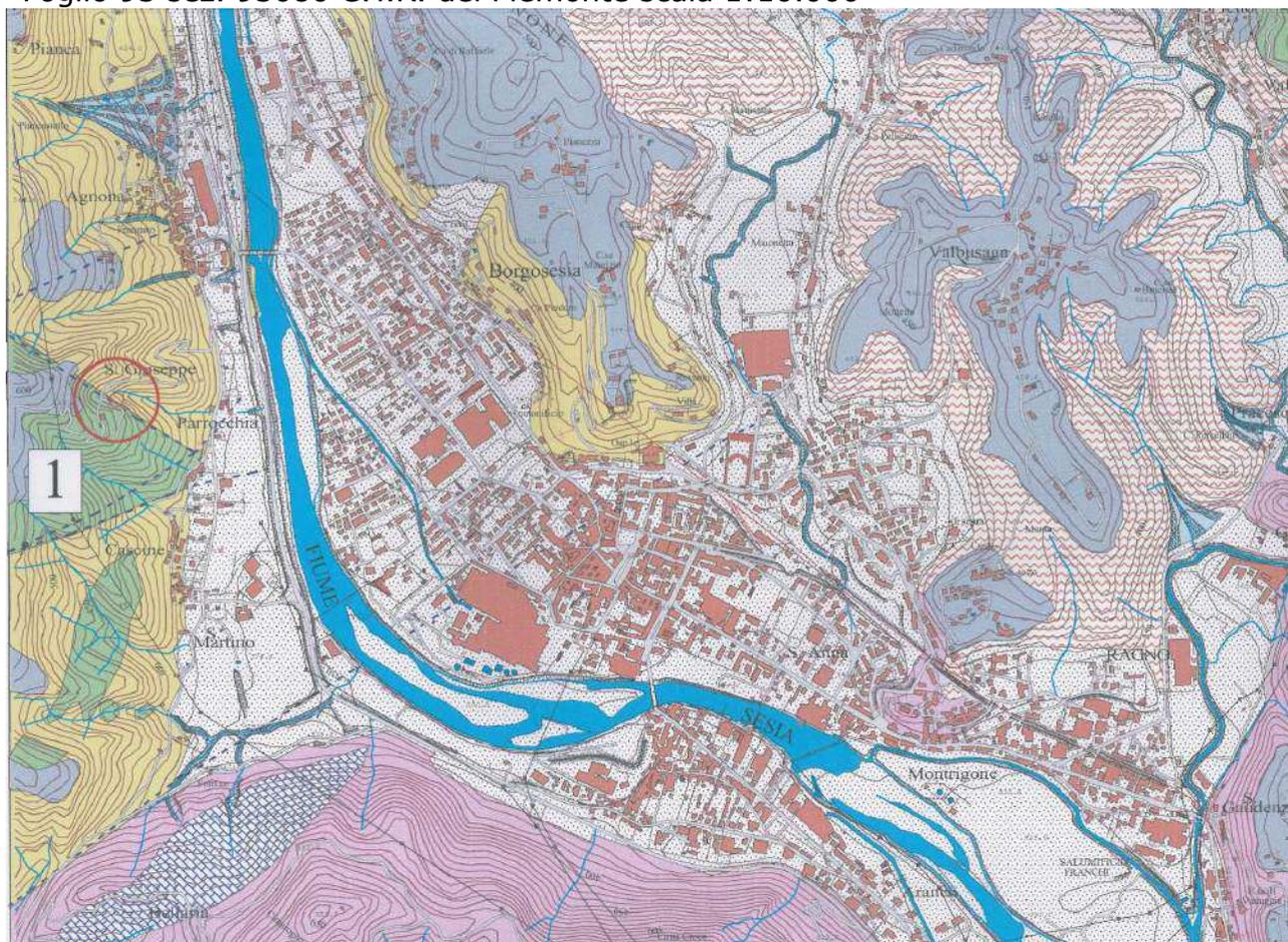
UBICAZIONE: comune di Borgosesia, Località Augera. Quota del sito 500m s.l.m.



Foglio 31, mappale 139

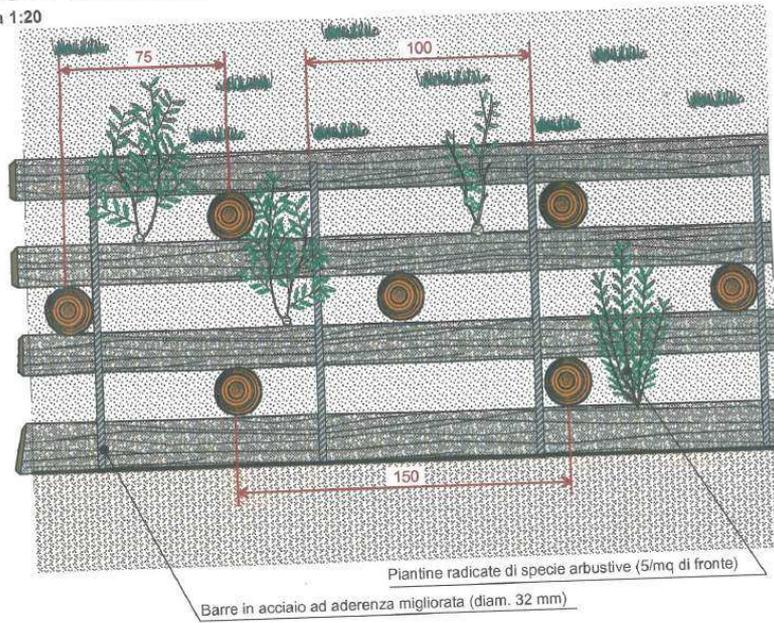


Foglio 93 sez. 93080 C.T.R. del Piemonte scala 1:10.000



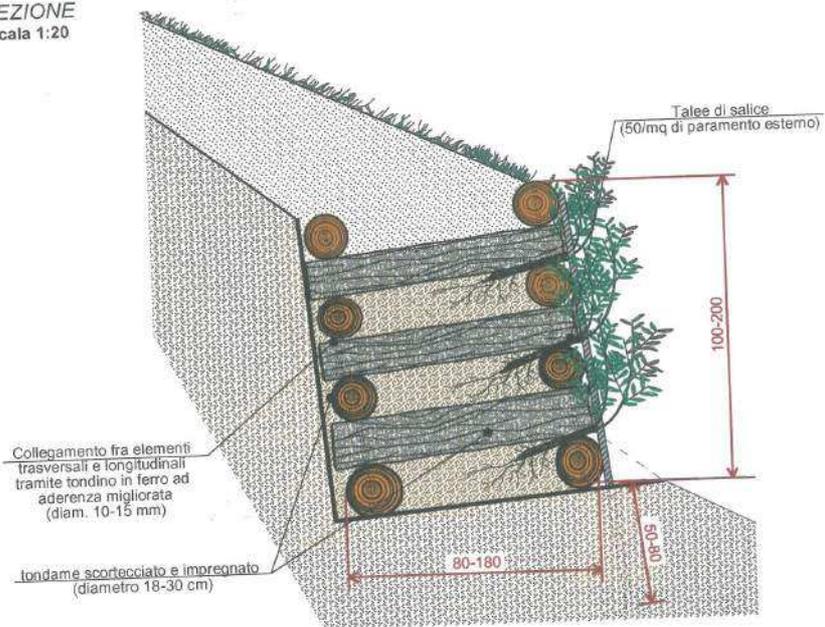
Carta geologica 1:10.000 con legenda

PROSPETTO FRONTALE
scala 1:20



PALIFICATA VIVA A DUE PARETI

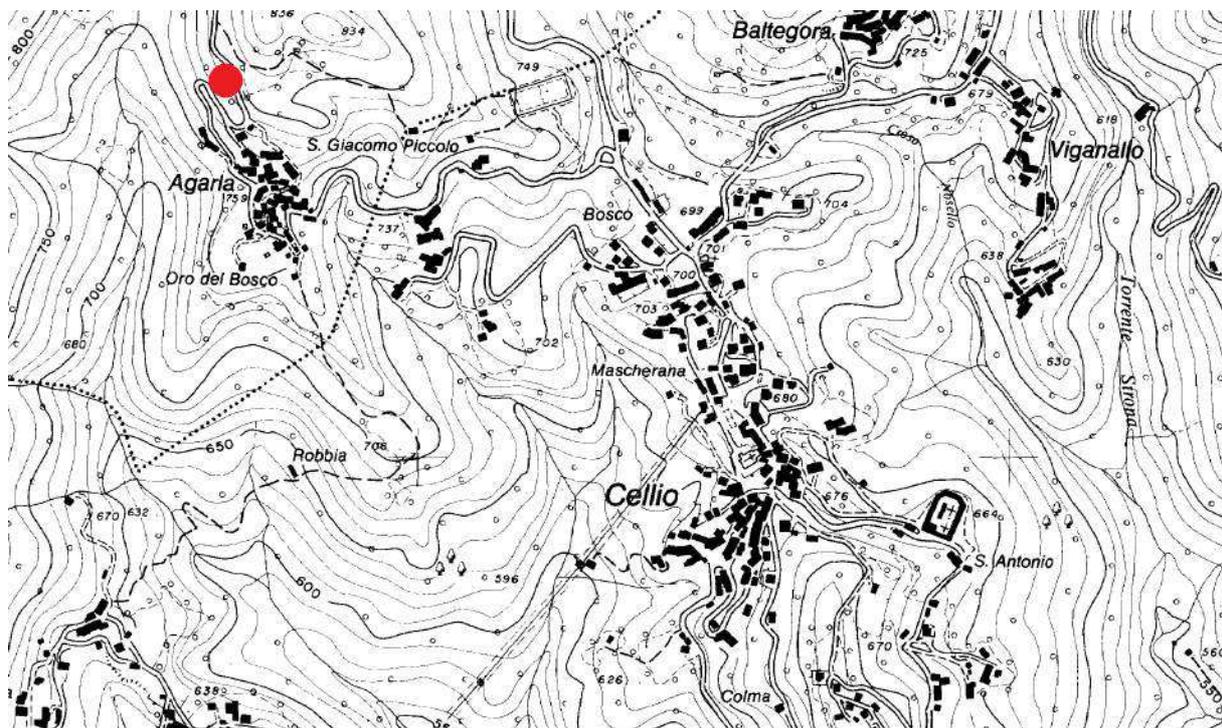
SEZIONE
scala 1:20



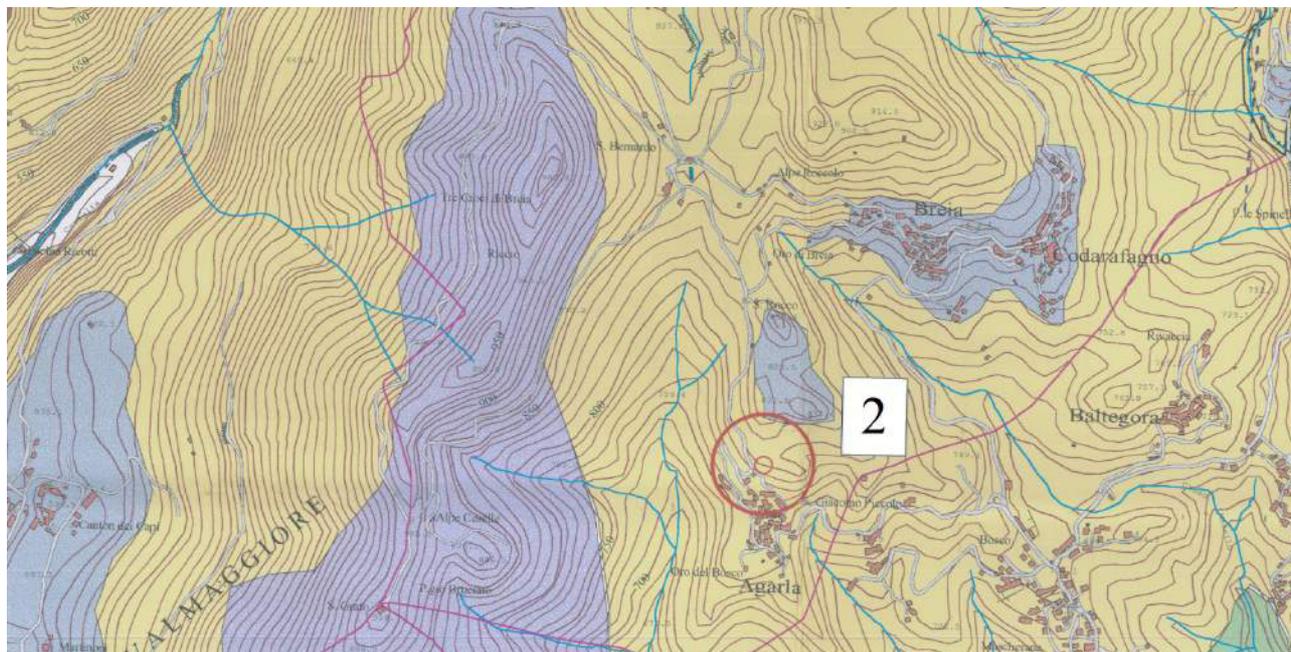
Progetto dell'opera, prospetto frontale e sezione

INTERVENTO 2: MAPPE E DISEGNI

UBICAZIONE: comune di Breia, località Agarla. Quota del sito 790m s.l.m.



Foglio 93 sez. 93040 della C.T.R. del Piemonte a scala 1:10.000

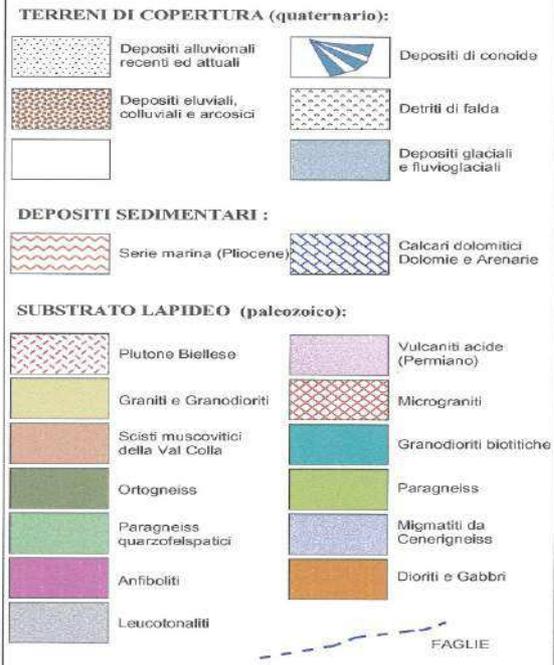


Carta geologica 1:10.000

GEOLOGIA delle ZONE di INTERVENTO

Scala 1:10.000

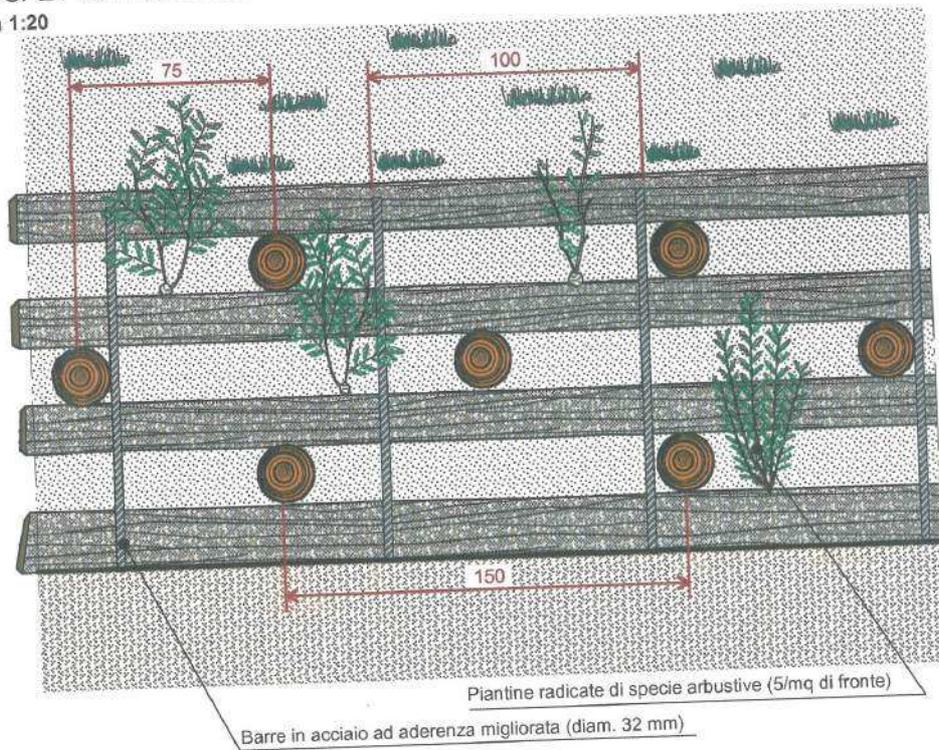
Legenda :



Legenda carta geologica

PROSPETTO FRONTALE

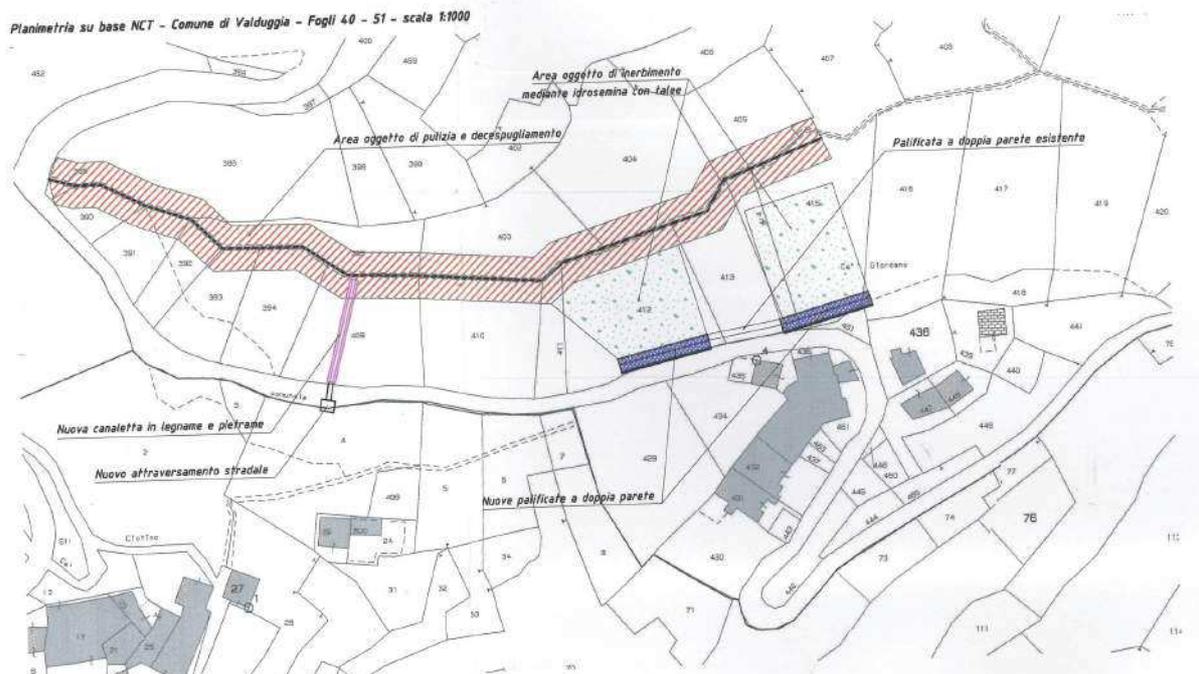
scala 1:20



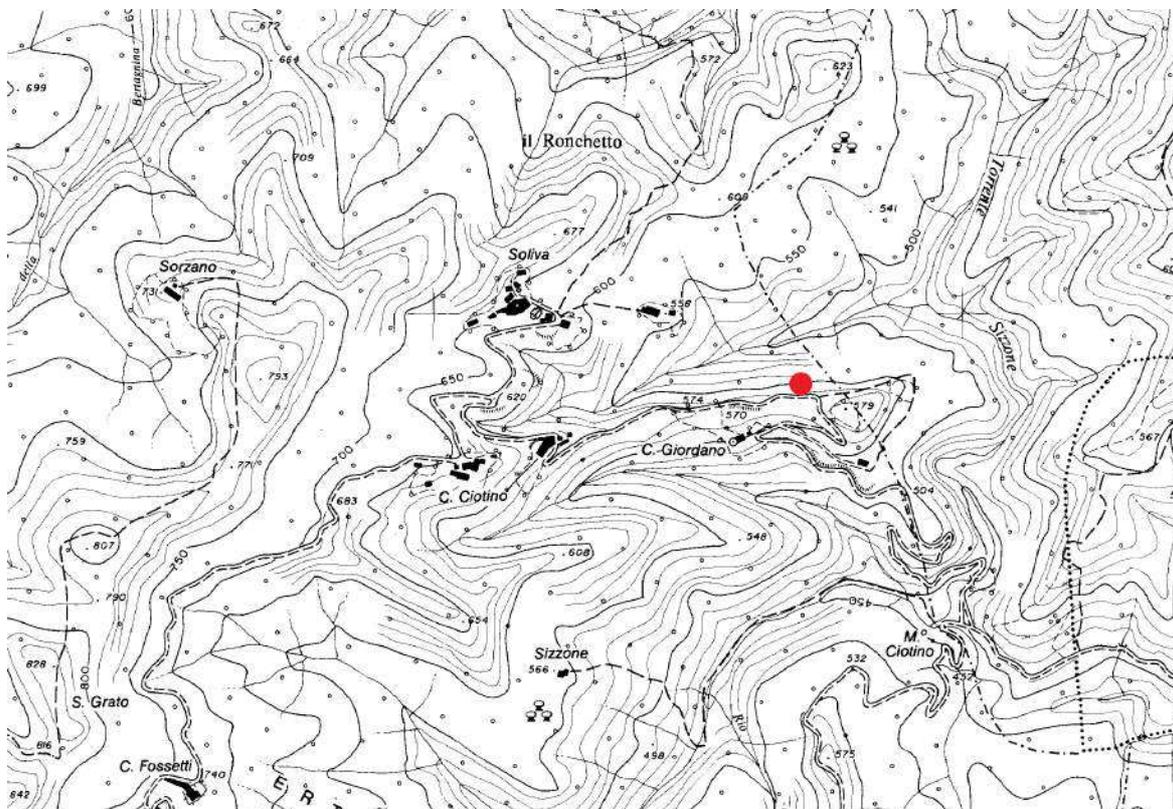
Progetto dell'opera, prospetto frontale

INTERVENTO 3: MAPPE E DISEGNI

UBICAZIONE: comune di Valduggia, località Cà Giordano. Quota del sito 605m s.l.m.

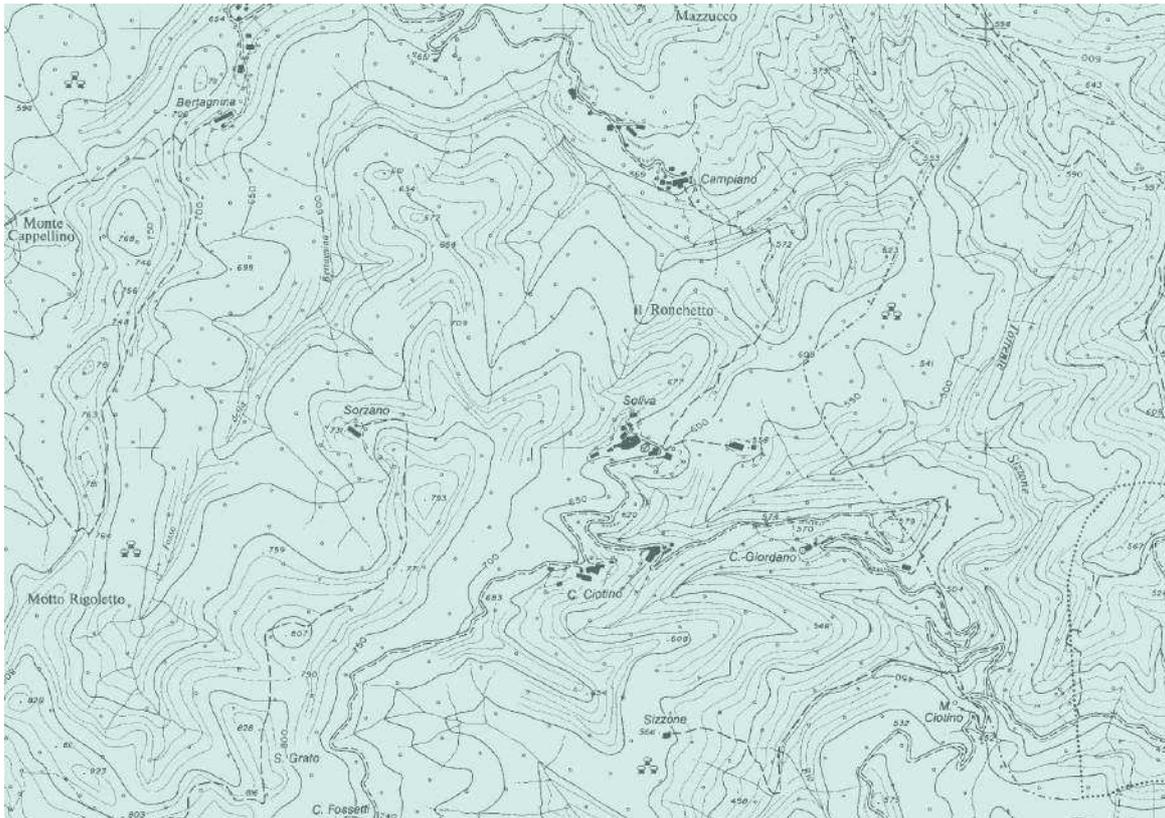


Foglio 40 mappali 412, 413, 414, 415



Foglio 94 sez. 94050 della C.T.R. del Piemonte scala 1:10.000

Carta litologica ottenuta con elaborazione GIS

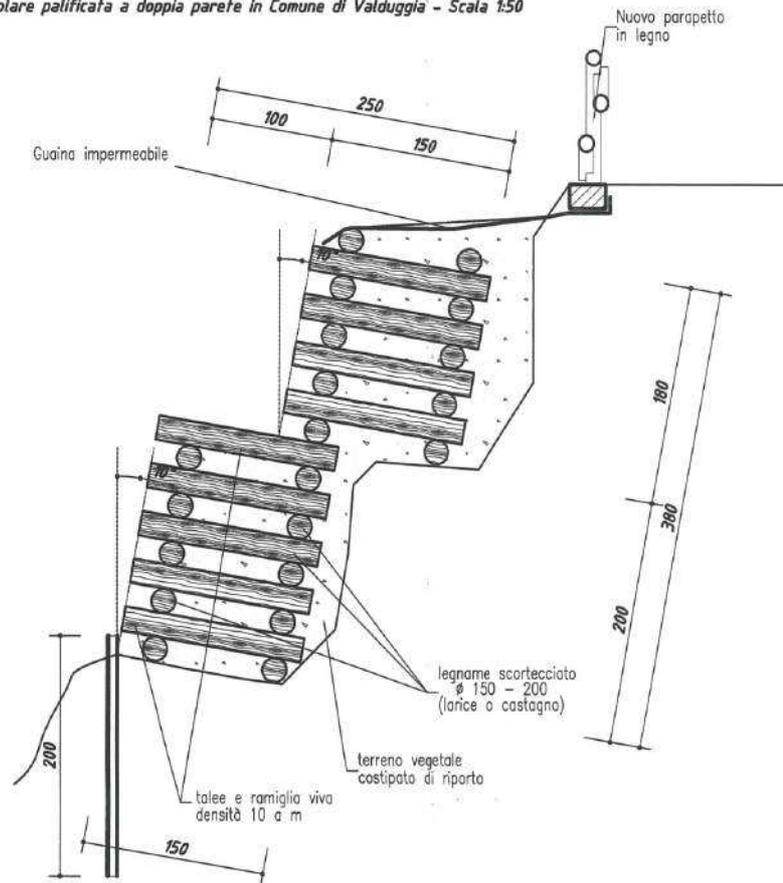


Legenda

Unità litologiche

- Alternanze di argille. (Cretaceo-Eocene)
- Arenarie. (Arenaria di Ranzano, Oligocene)
- Argille e marne argillose (Miocene sup.-Pliocene med.)
- Banchi e livelli argillosi (Villafranchiano)
- Calcescisti. (Zona Piemontese, Giurassico-Cretaceo)
- Depositi alluvionali nelle aree di pianura e fondovalle
- Depositi morenici. (Quaternario)
- Dolomie e calcari. (Unità Mesozoiche)
- Gneiss minuti. (Massicci del Dora-Maira, Sesia-Lanzo)
- Gneiss occhiadini. (Massicci Monte Rosa e Val d' Ossola)
- Graniti. (Magmatiti, ecriniche e tardo-alpine)
- Sabbie da fini a medie. (Sabbie di Asti)
- Serpentiniti (Zona Piemontese, Giurassico-Cretaceo)
- Siltiti marnose. (Oligocene sup.-Miocene)
- Strati di marne. (Miocene medio)

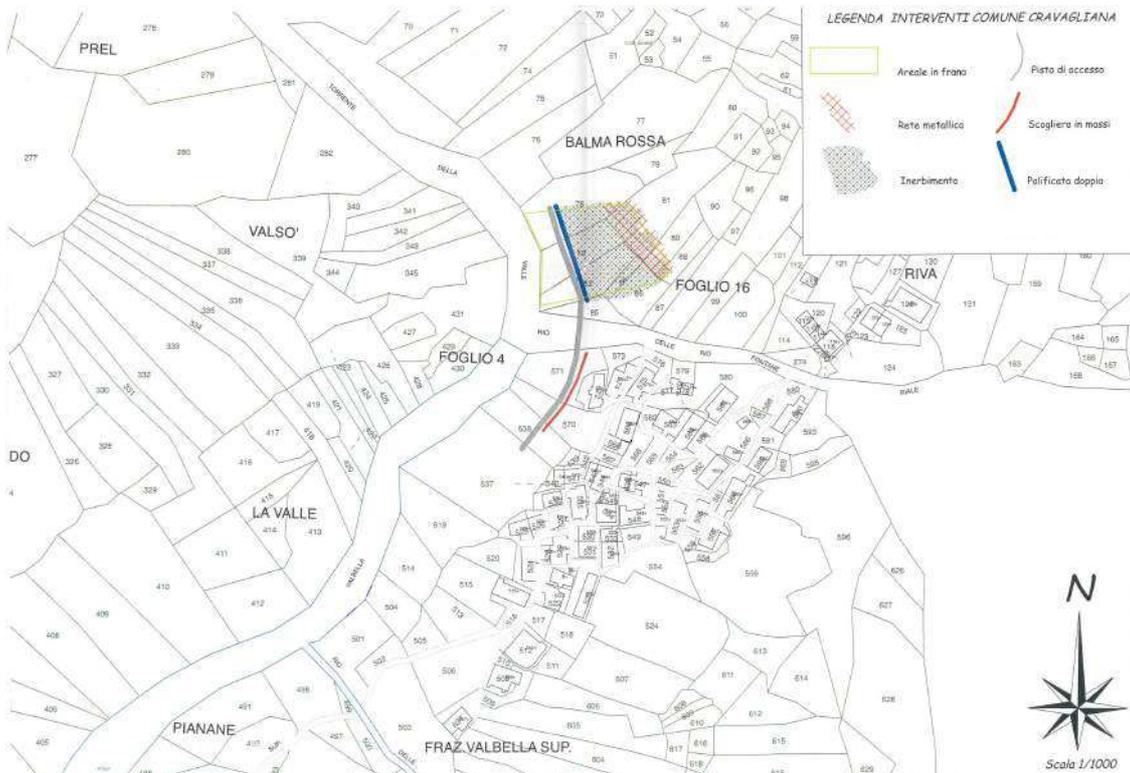
Particolare palificata a doppia parete in Comune di Valduggia - Scala 1:50



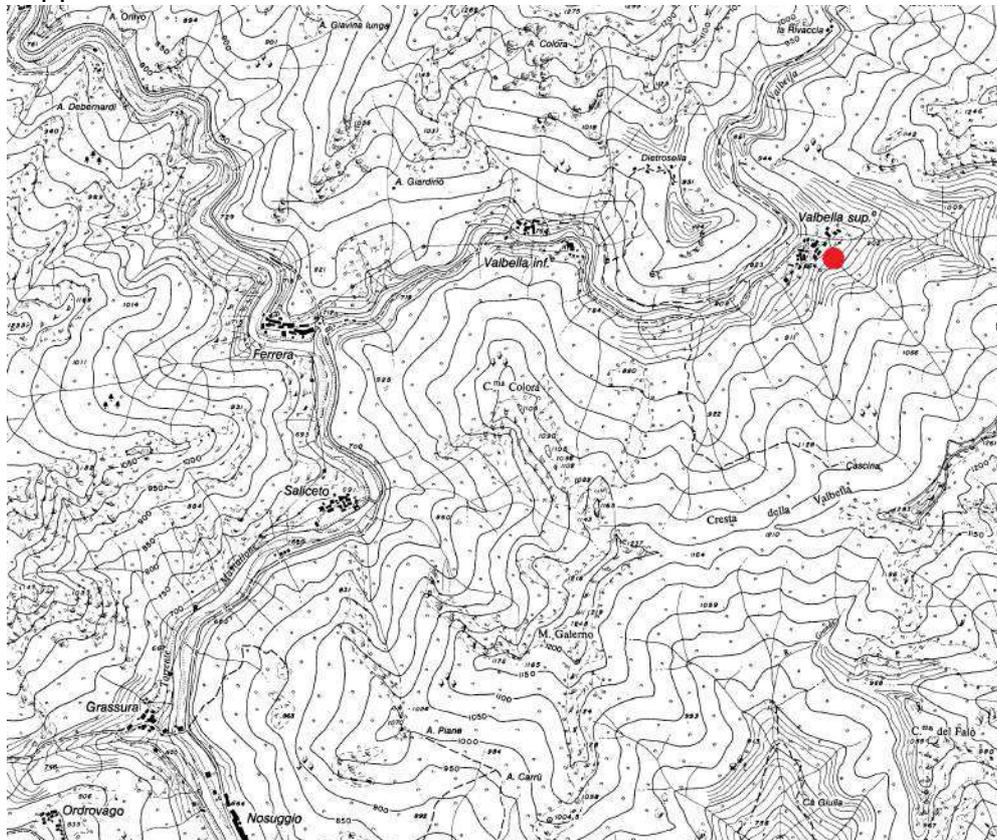
Progetto dell'opera vista di lato

INTERVENTO 4: MAPPE E DISEGNI

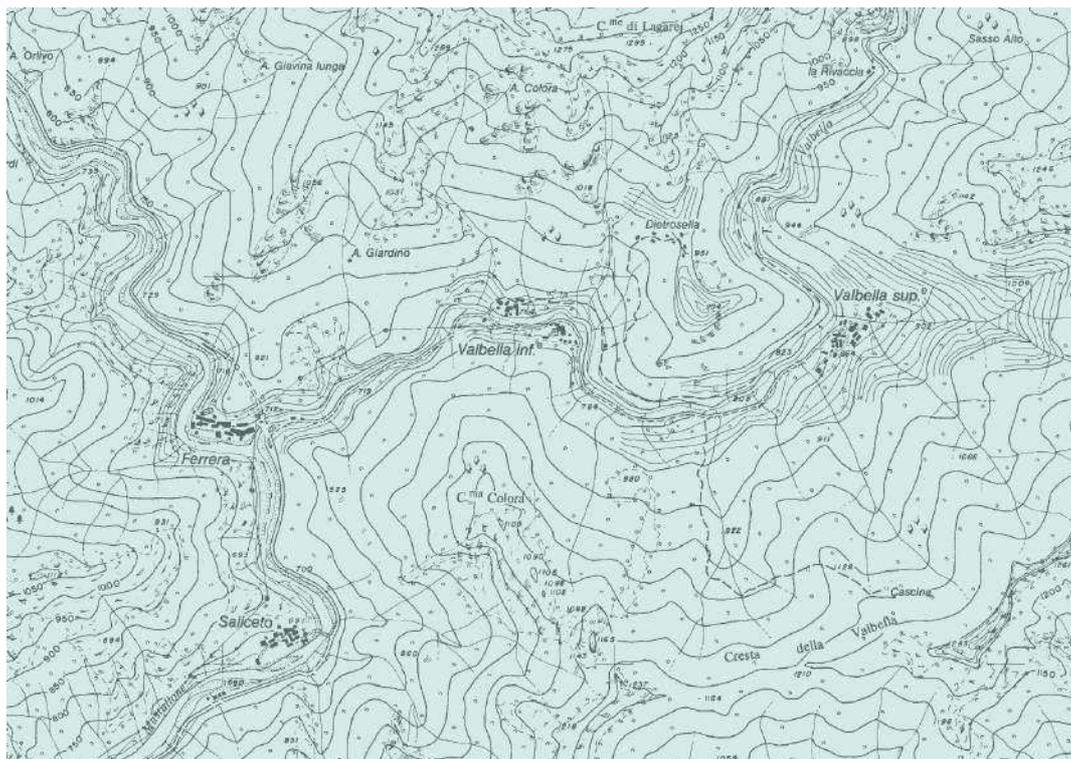
UBICAZIONE: Comune di Cravagliana, località Valbella Superiore. Quota del sito 850m s.l.m.



Foglio 16 mappali 78-81-82-83-84-85-86



Foglio 72 sez. 72110 della C.T.R. del Piemonte scala 1: 10.000



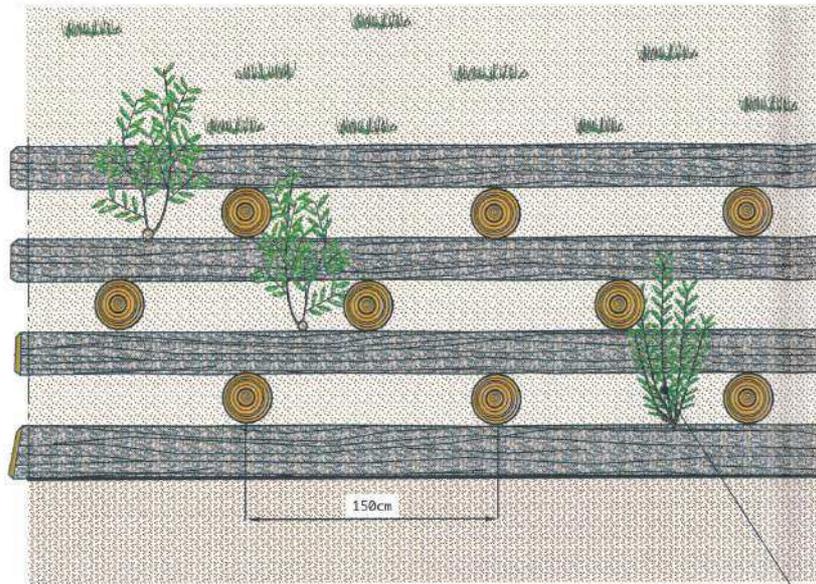
Carta litologica ottenuta con elaborazione GIS

Legenda

Unità litologiche

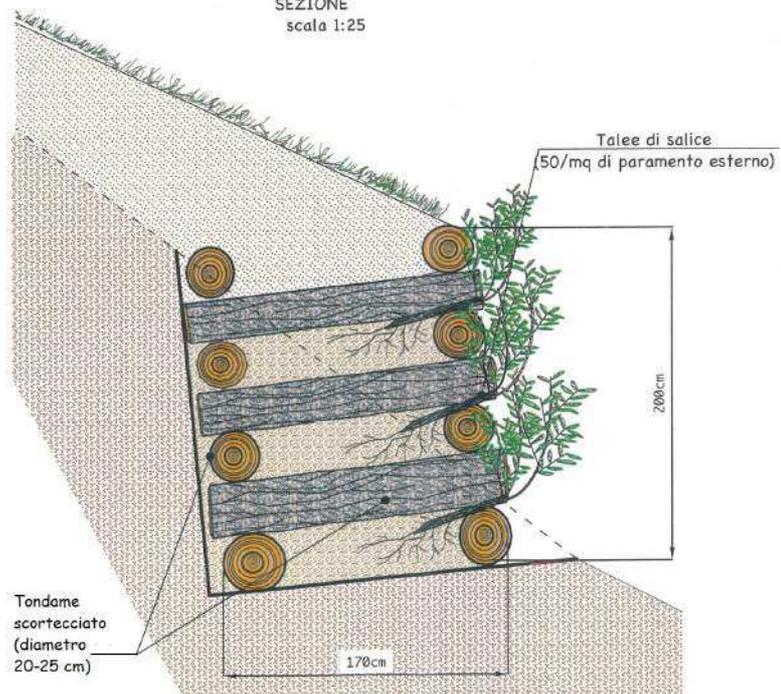
- Alternanze di argille. (Cretaceo-Eocene)
- Arenarie. (Arenaria di Ranzano, Oligocene)
- Argille e marne argillose (Miocene sup.-Pliocene med.)
- Banchi e livelli argillosi (Villafranchiano)
- Calcescisti. (Zona Piemontese, Giurassico-Cretaceo)
- Depositi alluvionali nelle aree di pianura e fondovalle
- Depositi morenici. (Quaternario)
- Dolomie e calcari. (Unità Mesozoiche)
- Gneiss minuti. (Massicci del Dora-Maira, Sesia-Lanzo)
- Gneiss occhiadini. (Massicci Monte Rosa e Val d'Ossola)
- Graniti. (Magmatiti, ecriniche e tardo-alpine)
- Sabbie da fini a medie. (Sabbie di Asti)
- Serpentiniti (Zona Piemontese, Giurassico-Cretaceo)
- Siltiti marnose. (Oligocene sup.-Miocene)
- Strati di marne. (Miocene medio)

PROSPETTO FRONTALE
scala 1:25



Plantine radicate di specie arbustive (5/mq di fronte)

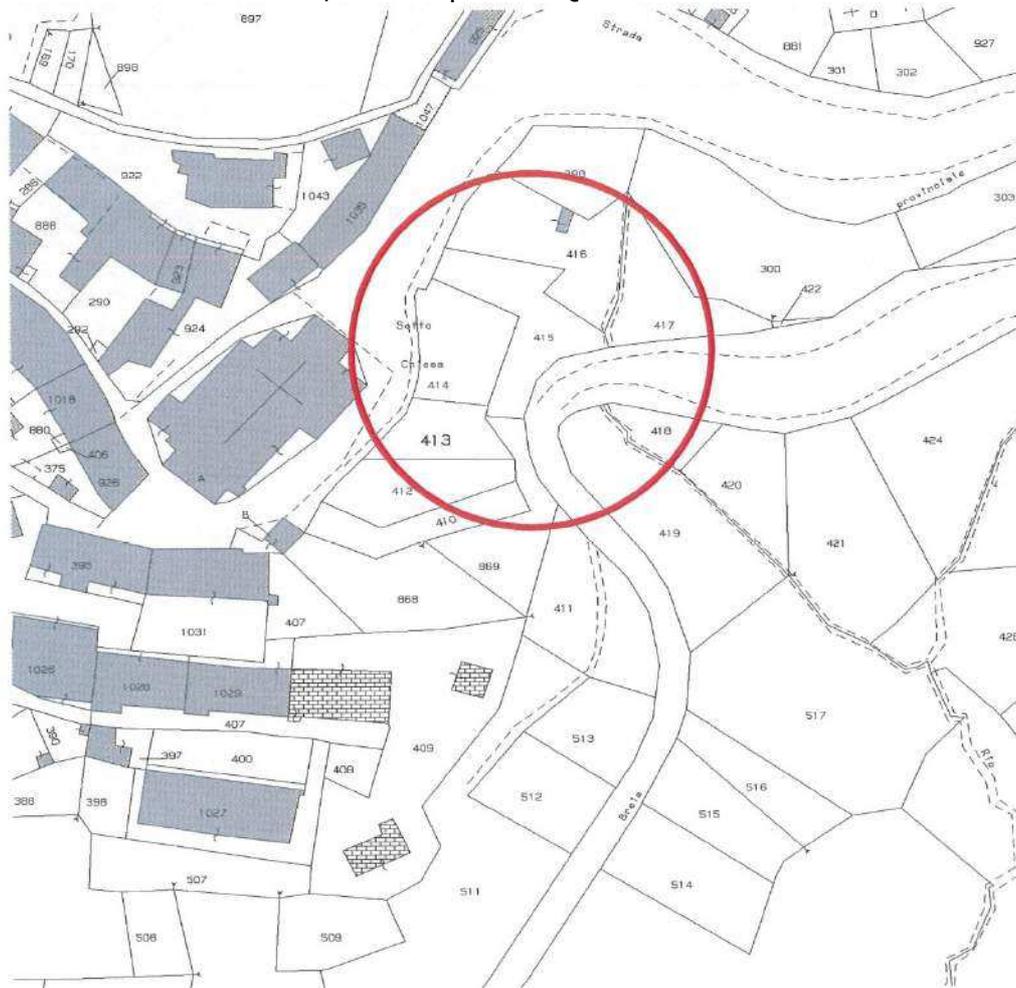
SEZIONE
scala 1:25



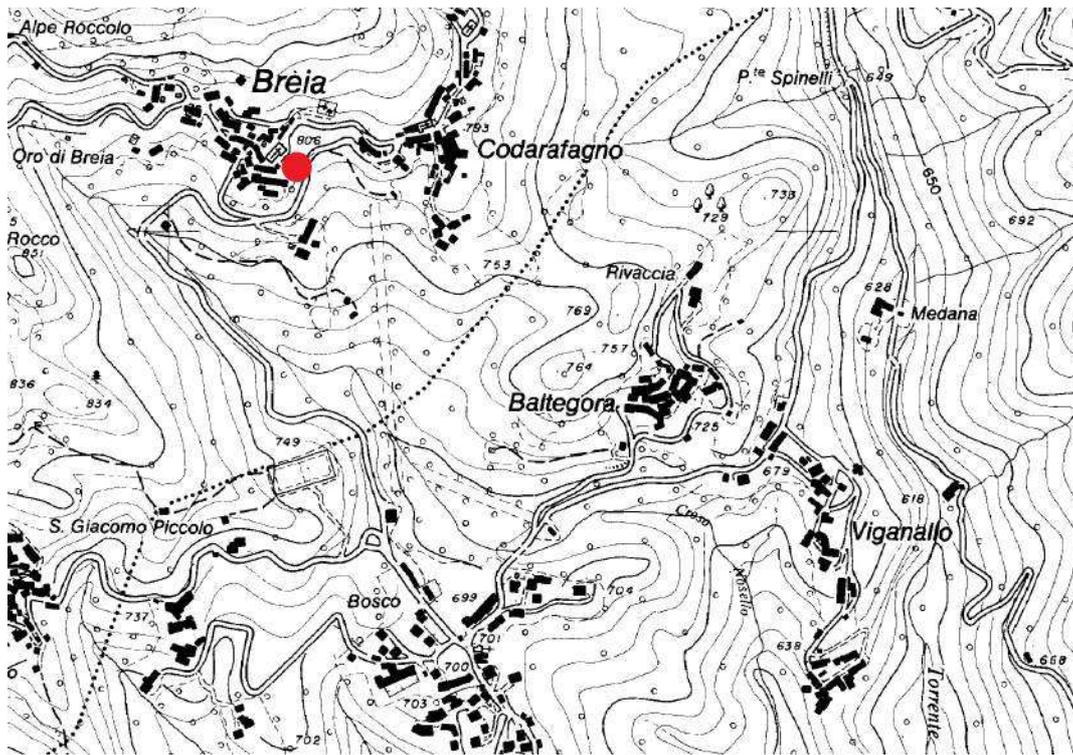
Progetto dell'opera, prospetto frontale e sezione

INTERVENTO 5: MAPPE E DISEGNI

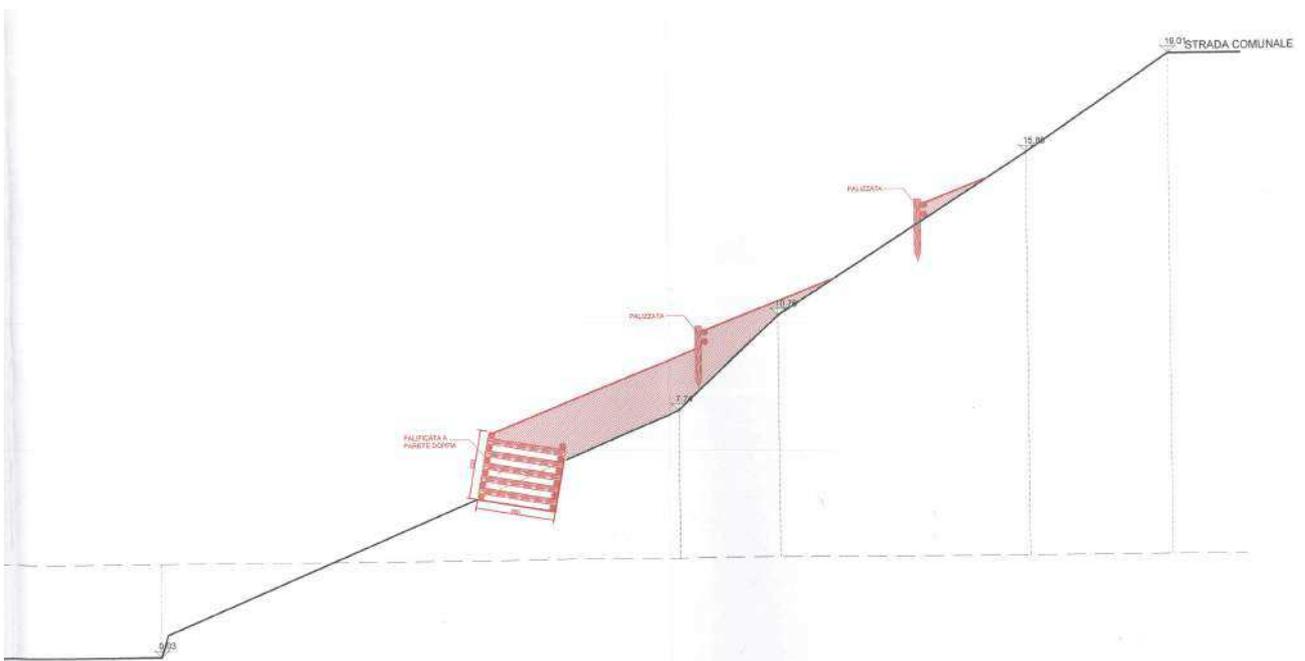
UBICAZIONE: comune di Breia, centro paese. Quota del sito 800 m s.l.m.



Foglio 10, mappali 413, 414, 415, 416, 417



Foglio 93 sez. 93040 della C.T.R. del Piemonte a scala 1:10.000



Progetto dell'opera

TABELLE COMPILATE DAGLI ESPERTI

ESPERTO: BISCHETTI					
CRITERIO DI SETTORE	peso	CRITERIO FOGLIA	peso	INDICATORE	PUNTEGGIO
stato dei materiali	0,2	stato del legname	0,3	assenza di legname danneggiato	8
				presenza di rari elementi danneggiati	4
				presenza di molti elementi danneggiati	2
				quasi totalità degli elementi danneggiati	1
	riempimento	0,7		per nulla svuotato	8
				parzialmente svuotato	4
				in gran parte svuotato	2
				totalmente svuotato	1
copertura vegetale nella palificata	0,4	grado di copertura	0,7	> 70%	8
				50-70%	4
				30-50%	2
				<30%	1
	tipo di vegetazione	0,3		maggioranza di piante sviluppatesi da talee	8
				molte piante sviluppatesi da talee e rara vegetazione infestante	4
				poche piante da talea e molta vegetazione infestante	2
				predominanza di vegetazione infestante	1
processi in atto nell'intorno dell'opera	0,4	processi erosivi	0,4	assenza	8
				infiltrazioni localizzate e poco rilevanti	4
				infiltrazioni localizzate e rilevanti	2
				infiltrazioni estese e rilevanti	1
	movimenti di massa	0,6		assenti	8
				pochi e poco estesi	4
				pochi ed estesi	2
				numerosi ed estesi	1

ESPERTO: D'AGOSTINO					
CRITERIO DI SETTORE	peso	CRITERIO FOGLIA	peso	INDICATORE	PUNTEGGIO
stato dei materiali	0,4	stato del legname	0,5	assenza di legname danneggiato	8
				presenza di rari elementi danneggiati	6
				presenza di molti elementi danneggiati	4
				quasi totalità degli elementi danneggiati	1
	riempimento	0,5		per nulla svuotato	8
				parzialmente svuotato	5
				in gran parte svuotato	2
				totalmente svuotato	1
copertura vegetale nella palificata	0,3	grado di copertura	0,6	> 70%	8
				50-70%	5
				30-50%	3
				<30%	1
	tipo di vegetazione	0,4		maggioranza di piante sviluppatesi da talee	8
				molte piante sviluppatesi da talee e rara vegetazione infestante	6
				poche piante da talea e molta vegetazione infestante	3
				predominanza di vegetazione infestante	1
processi in atto nell'intorno dell'opera	0,3	processi erosivi	0,3	assenza	8
				infiltrazioni localizzate e poco rilevanti	5
				infiltrazioni localizzate e rilevanti	3
				infiltrazioni estese e rilevanti	1
	movimenti di massa	0,7		assenti	8
				pochi e poco estesi	5
				pochi ed estesi	2
				numerosi ed estesi	1

ESPERTO: DENICOLA					
CRITERIO DI SETTORE	peso	CRITERIO FOGLIA	peso	INDICATORE	PUNTEGGIO
stato dei materiali	0,5	stato del legname	0,5	assenza di legname danneggiato	8
				presenza di rari elementi danneggiati	6
				presenza di molti elementi danneggiati	3
				quasi totalità degli elementi danneggiati	1
	riempimento	0,5		per nulla svuotato	8
				parzialmente svuotato	5
				in gran parte svuotato	2
				totalmente svuotato	1
copertura vegetale nella palificata	0,25	grado di copertura	0,6	> 70%	8
				50-70%	7
				30-50%	4
				<30%	1
	tipo di vegetazione	0,4		maggioranza di piante sviluppatesi da talee	8
				molte piante sviluppatesi da talee e rara vegetazione infestante	7
				poche piante da talea e molta vegetazione infestante	3
				predominanza di vegetazione infestante	1
processi in atto nell'intorno dell'opera	0,25	processi erosivi	0,5	assenza	8
				infiltrazioni localizzate e poco rilevanti	6
				infiltrazioni localizzate e rilevanti	4
				infiltrazioni estese e rilevanti	1
	movimenti di massa	0,5		assenti	8
				pochi e poco estesi	5
				pochi ed estesi	3
				numerosi ed estesi	1

ESPERTO: GODIO					
CRITERIO DI SETTORE	peso	CRITERIO FOGLIA	peso	INDICATORE	PUNTEGGIO
stato dei materiali	0,5	stato del legname	0,5	assenza di legname danneggiato	8
				presenza di rari elementi danneggiati	7
				presenza di molti elementi danneggiati	2
				quasi totalità degli elementi danneggiati	1
	riempimento	0,5		per nulla svuotato	8
				parzialmente svuotato	6
				in gran parte svuotato	3
				totalmente svuotato	1
copertura vegetale nella palificata	0,3	grado di copertura	0,6	> 70%	8
				50-70%	7
				30-50%	3
				<30%	1
	tipo di vegetazione	0,4		maggioranza di piante sviluppatesi da talee	8
				molte piante sviluppatesi da talee e rara vegetazione infestante	6
				poche piante da talea e molta vegetazione infestante	4
				predominanza di vegetazione infestante	1
processi in atto nell'intorno dell'opera	0,2	processi erosivi	0,7	assenza	8
				infiltrazioni localizzate e poco rilevanti	5
				infiltrazioni localizzate e rilevanti	3
				infiltrazioni estese e rilevanti	1
	movimenti di massa	0,3		assenti	8
				pochi e poco estesi	6
				pochi ed estesi	3
				numerosi ed estesi	1

TABELLA CON I VALORI DELLA DEVIAZIONE STANDARD					
CRITERIO DI SETTORE		CRITERIO FOGLIA	INDICATORE		
stato dei materiali	0,1	stato del legname	0,09	assenza di legname danneggiato	0
				presenza di rari elementi danneggiati	1,09
				presenza di molti elementi danneggiati	0,83
				quasi totalità degli elementi danneggiati	0
	riempimento	0,09	per nulla svuotato	0	
			parzialmente svuotato	0,71	
			in gran parte svuotato	0,43	
			totalmente svuotato	0	
copertura vegetale nella palificata	0,05	grado di copertura	0,04	> 70%	0
				50-70%	1,30
				30-50%	0,71
				<30%	0
	tipo di vegetazione	0,04	maggioranza di piante sviluppatesi da talee	0	
			molte piante sviluppatesi da talee e rara vegetazione infestante	0,71	
			poche piante da talea e molta vegetazione infestante	0,71	
			predominanza di vegetazione infestante	0	
processi in atto nell'intorno dell'opera	0,07	processi erosivi	0,15	assenza	0
				infiltrazioni localizzate e poco rilevanti	0,71
				infiltrazioni localizzate e rilevanti	0,50
				infiltrazioni estese e rilevanti	0
	movimenti di massa	0,15	assenti	0	
			pochi e poco estesi	0,71	
			pochi ed estesi	0,50	
			numerosi ed estesi	0	