Agenzia Regionale per la Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile

SERVIZIO COORDINAMENTO PROGRAMMI SPECIALI E PRESIDI DI COMPETENZA

OCDPC 590/2019 – secondo stralcio

Decreto del Presidente n. 127 del 20 agosto 2019

Codice intervento: 14903

Titolo intervento: "Ripristino dell'officiosità idraulica e sistemazione dei versanti nel bacino del torrente Dardagnola località Castelluccio – Lazzari".
Comune di Montese (MO)

Importo del finanziamento: € 750.000

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

R05) RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

GRUPPO DI PROGETTAZIONE:
Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (RTP)
Ing. C. Comastri, Thesis Engineering
Dott. Geol. Maria Angela Cazzoli
Geom. Daniele Arasi
Ing. Pietro Fiumana
Ing. Valentina Russo-Studio Errealcubo

Data, 15 giugno 2020

Visto di validazione

(art. 26 co. 8 D.Lgs 50/2016)

Il Responsabile Unico del Procedimento
(Dott.ssa Rita Nicolini)

INDICE

1. INTRODUZIONE 4
2. STABILITA' DEL SISTEMA IDROGEOLOGICO E STRUTTURALE DEL BACINO IMBRIFERO 4
2.1 Generalità 4
2.2 Opere estensive 5
2.3 Opere intensive 6
3. VERIFICHE DI STABILITA' dei corpi di frana 8
3.1 Generalità 8
3.2 Frana di Castelluccio 9
3.2.1 Caratteristiche generali 9
3.2.2 Analisi della stabilità del versante 9
3.3 Frane sul Dardagnola 11
3.3.1 Caratteristiche generali 11
3.3.2 Analisi della stabilità del versante 11
4. progetto e verifiche delle briglie 12
5. OPERA DI SOSTEGNO A GRAVITA' 14

DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

- Documenti di gara: Specifiche delle attività di progettazione
- Carta Geologica d'Italia
- Tosatti G. (2001) "La frana de "i Lazzari" di Maserno" Quaderni di Geologia Applicata –Patron Editore
- DGR 6 settembre 1994 n. 3939 - "Direttiva concernente criteri progettuali per l'attuazione degli interventi in materia di difesa del suolo nel territorio della regione Emilia-Romagna";
- DGR 18 maggio 2009 n. 667 - "Disciplinare tecnico per la manutenzione ordinaria dei corsi d'acqua naturali ed artificiali e delle opere di difesa della costa nei siti della rete Natura 2000 (SIC e ZPS)".
- DGR 26 ottobre 2015 n. 1587 - "Linee guida regionali per la riqualificazione integrata dei corsi d'acqua naturali dell'Emilia-Romagna", si rivolgono al solo reticolo di origine naturale, compresi i corsi d'acqua che hanno subito interventi di artificializzazione più o meno importanti.
- DGR 5 marzo 2012 n. 246 - "Linee guida per la riqualificazione ambientale dei canali di bonifica in Emilia-Romagna", si applicano al reticolo di origine artificiale in gestione ai Consorzi di bonifica,sono da intendersi non tanto come un manuale tecnico-progettuale ma piuttosto come uno strumento di indirizzo e di stimolo per gli operatori per l'utilizzo di tipologie progettuali e di gestione ambientale dei canali.
- La Presidenza del Consiglio dei Ministri nel settembre del 2013 ha emanato le "Linee guida per la certificazione di idoneità tecnica all'impiego e utilizzo di prodotti in rete metallica a doppia torsione" in sostituzione della Circolare del Consiglio Superiore dei lavori pubblici n. 2078 del 27/8/1962 e delle linee guida emanate nel maggio 2006.
- Il Ministero delle Infrastrutture con D.M. 14 gennaio 2008, aggiornato con Decreto 17 gennaio 2018, ha approvato le nuove norme tecniche per le costruzioni con la finalità di unificare sia le norme relative al comportamento e resistenza dei materiali e delle strutture, sia quelle relative alla definizione delle azioni e dei loro effetti sulle strutture stesse.

1. INTRODUZIONE

I calcoli di stabilità delle nuove briglie da realizzare lungo il torrente Dardagnola e le verifiche di stabilità dei versanti in frana, con introduzione degli interventi di stabilizzazione previsti, costituiscono l'oggetto della presente relazione in cui sono illustrati i criteri di analisi e verifiche adottati ed i risultati delle diverse elaborazioni eseguite. I calcoli sono stati condotti sulla base dei dati e della documentazione di riferimento oltre che sulle informazioni che sono state acquisite in campo a seguito delle diverse ricognizioni e dei rilievi topografici condotti sulle parti in frana si lati del torrente e lungo l'asta dello stesso torrente Dardagnola.
Le valutazioni ed i calcoli riportati nella presente tabella devono quindi essere considerati strettamente ed unicamente legati ai dati ed alla documentazione di riferimento acquisiti dalla Regione Emilia Romagna che ha affidato l'incarico al Raggruppamento RTP, ed acquisiti attraverso l'elaborazione dei rilievi delle indagini condotte direttamente in campo dal Raggruppamento incaricato.
Dapprima si riportano le verifiche delle condizioni di stabilità dei corpi in frana, quindi si valutano e si verificano le condizioni di stabilità di nuove briglie da realizzare lungo l'asta del torrente, in sostituzione di quelle divelte dalla corrente idraulica e ad integrazione di quelle esistenti.

2. STABILITA' DEL SISTEMA IDROGEOLOGICO E STRUTTURALE DEL BACINO IMBRIFERO

2.1 Generalità

Il territorio del bacino imbrifero del T. Dardagnola è interessato da diversi movimenti franosi. Nel recente passato sono stati eseguiti diversi interventi di stabilizzazione dei versanti finalizzati a contenere, mitigare e risolvere condizioni di dissesto idrogeologico e di rischio per l'integrità e funzionalità di nuclei abitativi e produttivi, e per la funzionalità di infrastrutture ed impianti presenti sul territorio. Interventi di stabilizzazione sono stati progettati e realizzati nella frana di "Castelluccio" e nella frana dei "Lazzari": quest'ultimo intervento è stato oggetto di una pubblicazione acquisita anche in questo progetto come documento di riferimento.

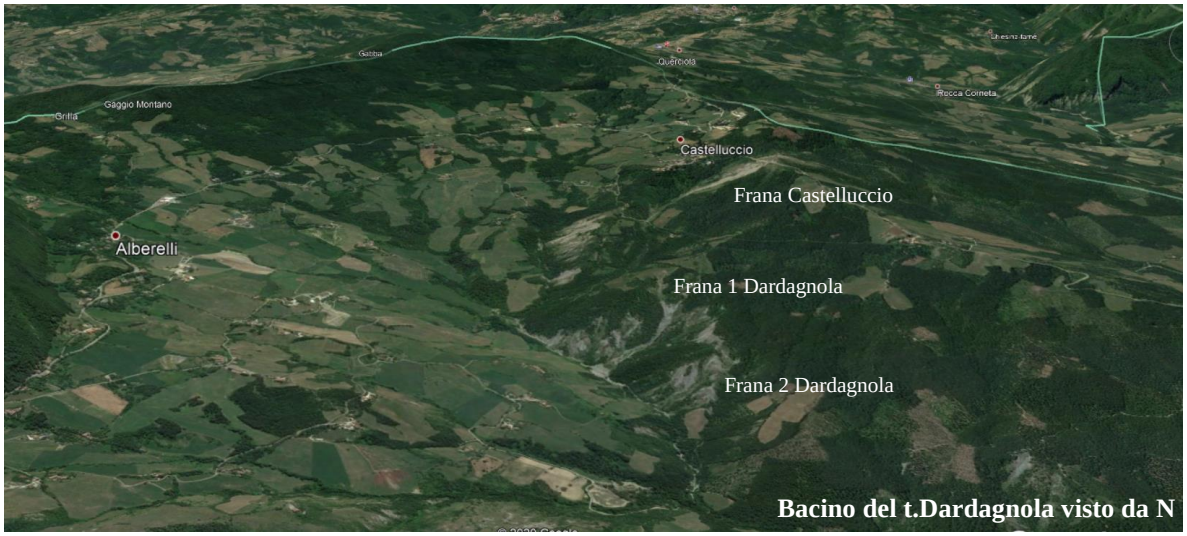


Figura 1: Vista del bacino idrografico del T. Dardagnola da Nord tratta da immagine satellitare

Gli interventi furono studiati e progettati in base alla popolazione di dati che furono raccolti dalle diverse

indagini geognostiche condotte nell'immediato sottosuolo delle aree di interesse: le indagini eseguite all'epoca sono state acquisite anche nella presente fase di studio, ad integrazione di quanto direttamente rilevato con le prospezioni condotte sulle aree di interesse.

Le verifiche di stabilità descritte nella presente relazione sono state condotte in due condizioni: "ante operam" e "post-operam". Con l'analisi "ante operam" si è studiata l'attuale condizioni di equilibrio dei corpi franosi assumendo come dati di riferimento iniziale la morfologia superficiale del corpo franoso, (presenza di nicchie e zone di distacco, zone di accumulo, tracce dei fianchi, venute idriche, tipologia e quantità e relativo stato della vegetazione superficiale, abbassamenti e lesioni nelle infrastrutture esistenti) e la struttura dell'immediato sottosuolo tratta dalla documentazione tecnica disponibile e dalle indagini dirette.

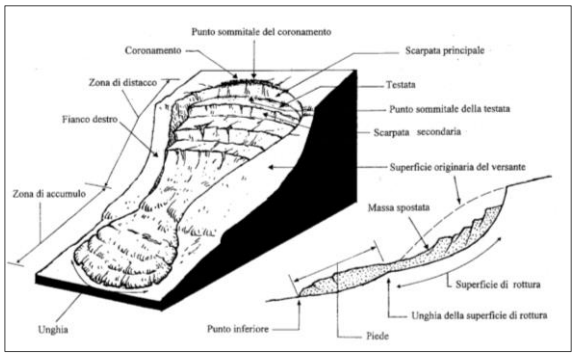


Figura 2: Schema e nomenclatura frana

In questa condizione sono state condotte delle back-analysis per stimare i valori operativi dei parametri geotecnici di resistenza agli stati limite lungo le possibili superfici di scorrimento comprese quelle evidenziate dalle reali caratteristiche geometriche dei movimenti stessi.
La fase successiva di verifiche è stata condotta considerando operativi tutti gli interventi di stabilizzazione previsti: opere estensive ed opere intensive.

2.2 Opere estensive

Le opere di carattere estensivo si realizzano sulle superfici dei versanti interessati dai movimenti franosi e sono realizzate con l'obiettivo di ricostituire la copertura vegetazionale e forestale con funzioni protettive e in subordine rigenerative. Esse consistono essenzialmente nella rivegetazione del terreno e nella regimazione del deflusso idrico a mezzo delle cosiddette opere minori come le canalette superficiali e con la piantumazione di talee vive lungo il versante (fascinate). La rivegetazione favorisce lo scambio di acqua tra suolo ed atmosfera regolando l'energia di impatto delle gocce di pioggia e migliora le caratteristiche meccaniche superficiali del suolo attraverso l'azione di cucitura dell'apparato radicale. Gli interventi estensivi di cui si tratta nel presente progetto hanno lo scopo di rivestire e ricucire la continuità vegetazionale della zona in frana con le parti stabili adiacenti e di contribuire alla stabilizzazione delle aree oggetto di intervento.
Per gli interventi di stabilizzazione dei versanti e dell'asta idraulica del T. Dardagnola, di cui si tratta, si prevedono, le seguenti opere estensive e di manutenzione:

- Interventi di rivestimento con biostuoie e semina di piante pioniere e specie erbacee;
- Fascinate vive;
- Canalette superficiali rivestite con pietrame o in terra naturale;
- Ristrutturazione e rifunzionalizzazione di canalette e fossi esistenti;
- Ricostituzione di difese spondali dei corsi d'acqua.

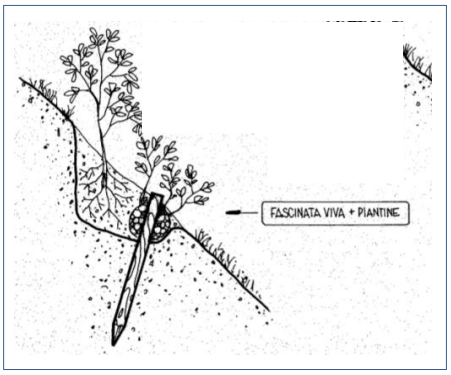


Figura 3: Schema fascinata viva

- Manutenzione delle opere estensive già realizzate nel territorio.
- Trincee drenanti

2.3 Opere intensive

2.3.1 Briglie

Le opere intensive previste per il progetto di cui si tratta sono di tipo strutturale, sia per il consolidamento dei corpi di frana sia per il controllo idraulico dell'asta del T. Dardagnola. Per la regimazione idraulica si prevede la realizzazione di briglie in cemento armato per correggere la pendenza del corso d'acqua e ricalibrarne la sezione trasversale proteggendo le sponde ed il fondo dell'alveo: per alcune tratti dell'asta il progetto prevede la ricostruzione della briglia divelta dalla azione idraulica del torrente. La tipologia delle briglie da costruire è segnata da quella delle briglie esistenti lungo l'asta (v.fig.4): la maggior parte di esse sono in calcestruzzo, massive, con gàveta centrale ed hanno altezza dall'alveo di valle variabile da 2,0m a 4,0m, con ali inserite nei fianchi delle scarpate laterali, prospicienti il corso d'acqua. Si tratta di biglie di consolidamento per la correzione altimetrica nel corso d'acqua. La loro funzione e quella di trattenere il deposito di materiale trasportato dalla corrente del torrente. A tergo del manufatto si accumula il materiale realizzando un innalzamento del fondo di scorrimento idraulico e, con questo, la riduzione della pendenza a monte e la formazione di un successivo salto idraulico.

Nel recente passato una briglia in cemento armato è stata sormontata dal materiale solido trasportato dal corso d'acqua e dal materiale di accumulo della frana proveniente dai versanti in sinistra ed in destra idraulica del corso d'acqua; una briglia che si trovava a monte di questa, è stata completamente divelta.
Ancora a monte di quest'ultima è presente il residuo di una briglia doppia, anch'essa parzialmente distrutta dalla corrente e del materiale trasportato, composto da grossi blocchi di roccia e da pezzature minori, insieme a materiale a grana grossolana e fine proveniente dagli accumuli delle frane laterali. La figura seguente mostra un tipo di briglia simile a quelle presenti lungo l'asta del Dardagnola.

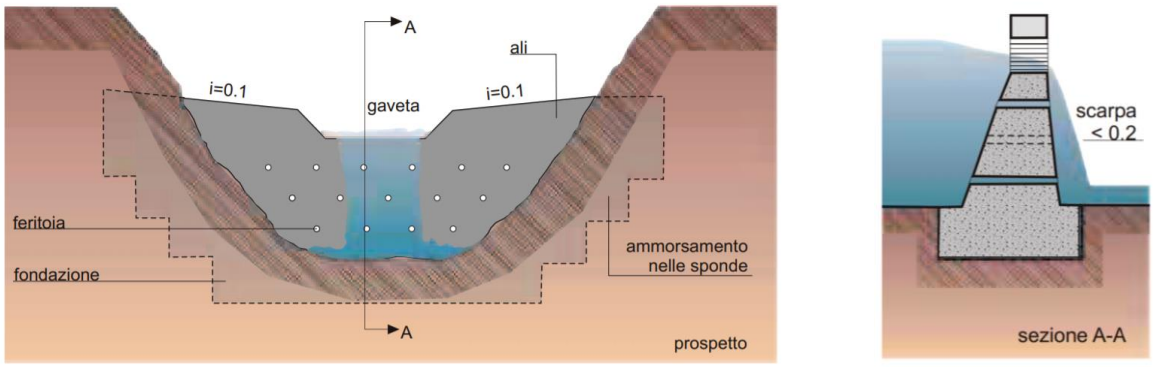


Figura 4: Tipologia di briglia di consolidamento

2.3.2 Difesa spondale con massi ciclopici

Per l'asta torrentizia l'ulteriore opera intensiva è costituita dalla difesa spondale con massi ciclopici solidarizzati e collegati tra loro con malta cementizia a formare vere e proprie opere di contenimento a gravità. Le opere di difesa spondale sono indispensabili per ridurre l'effetto di erosione meccanica determinata dalla corrente idraulica del torrente. La continua erosione sui fianchi laterali dell'alveo determina un forte richiamo alla mobilità dei corpi franosi dei pendii laterali. La riduzione di questo fenomeno erosivo associata alla riprofilatura dei pendii ed alla loro stabilizzazione con tecniche di carattere estensivo, consentono di controllare il corso d'acqua e pianificare la manutenzione dello stesso in relazione alla nuova condizione generale e locale determinate delle opere di consolidamento realizzate.

Figura 5: Tipo di rivestimento a valle delle briglie e di difesa spondale

2.3.3 Palizzata

Figura 6: Tipo di palizzata

La tecnica della palizzata e ampiamente sperimentata soprattutto in ambito di instabilità di Coltri superficiali in movimento. Questa tecnica consiste nella formazione di opere di contenimento ancorata nell'immediato sottosuolo con pali di legno infissi, e strutture costituiti da blocchi di pietra e travi di legno intrecciati in modo da costituire un opera resistente alla spinta del terreno di monte. E un'opera deformabile che può essere ristrutturata, ripresa , integrata , nel corso della sua funzione.

3. VERIFICHE DI STABILITA' DEI CORPI DI FRANA

3.1 Generalità

Nell'ambito dello studio preliminare condotto dal RTP su tutta l'area del bacino idrografico del Torrente Dardagnola, sono state individuate, anche in seguito alle indicazioni fornite dall' Agenzia Regionale per la Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile -Servizio Coordinamento Programmi Speciali Presidi di Competenza, delle zone di maggiore criticità e di relativa urgenza per la stabilizzazione e la regolarizzazione del sistema idrogeologico. Tutto il bacino idrografico è interessato da corpi franosi riconducibili alle tipologie di "colate superficiali" con spessori di coltre in movimento variabili da 1,0 a 3-4,0m, e "roto-traslazioni" con masse in movimento che possono avere spessori da 6-8m ed anche superiori ai 10m. In alcune zone sono già stati progettati e realizzati interventi di stabilizzazione: Castelluccio, Lazzari ed altri.

Le tecniche applicate negli interventi già realizzati sono le stesse che anche in questo caso specifico sono riprese e dimensionate per le zone instabili che attualmente rappresentano la maggiore criticità e richiedono interventi urgenti.

Nel presente capitolo si trattano nell'ordine:
Frana di Castelluccio
Frana n.1 sul Dardagnola
Frana n.2 sul Dardagnola

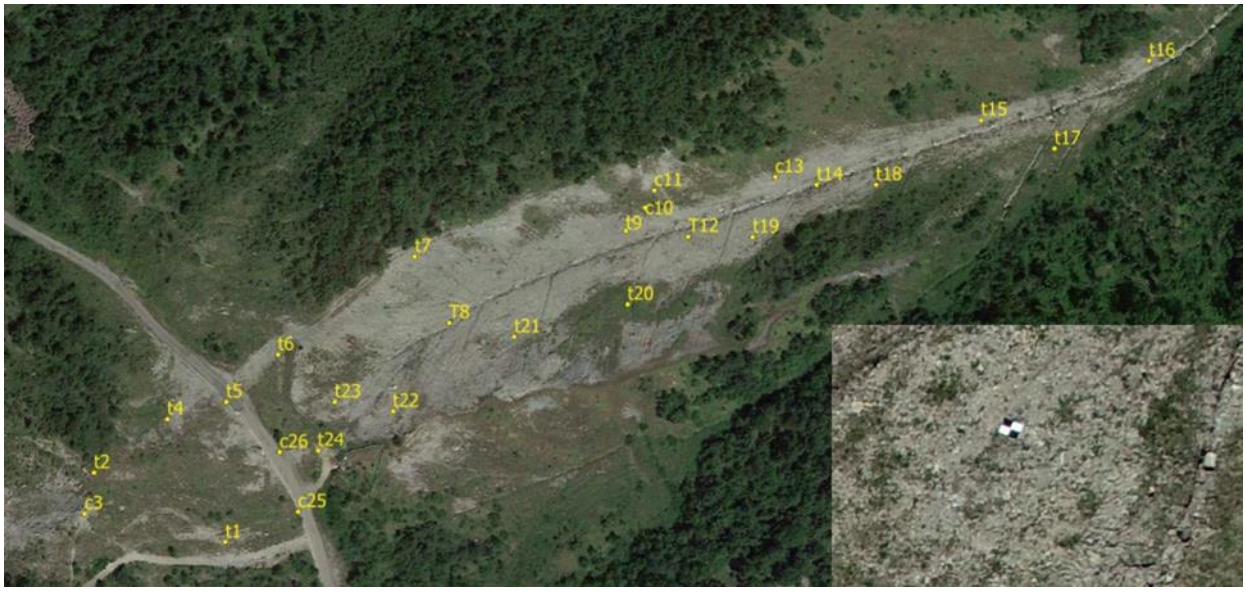


Figura 7: Frana Castelluccio: in evidenza i punti di rilievo, l'impluvio centrale, le canalette superficiali laterali, le briglie

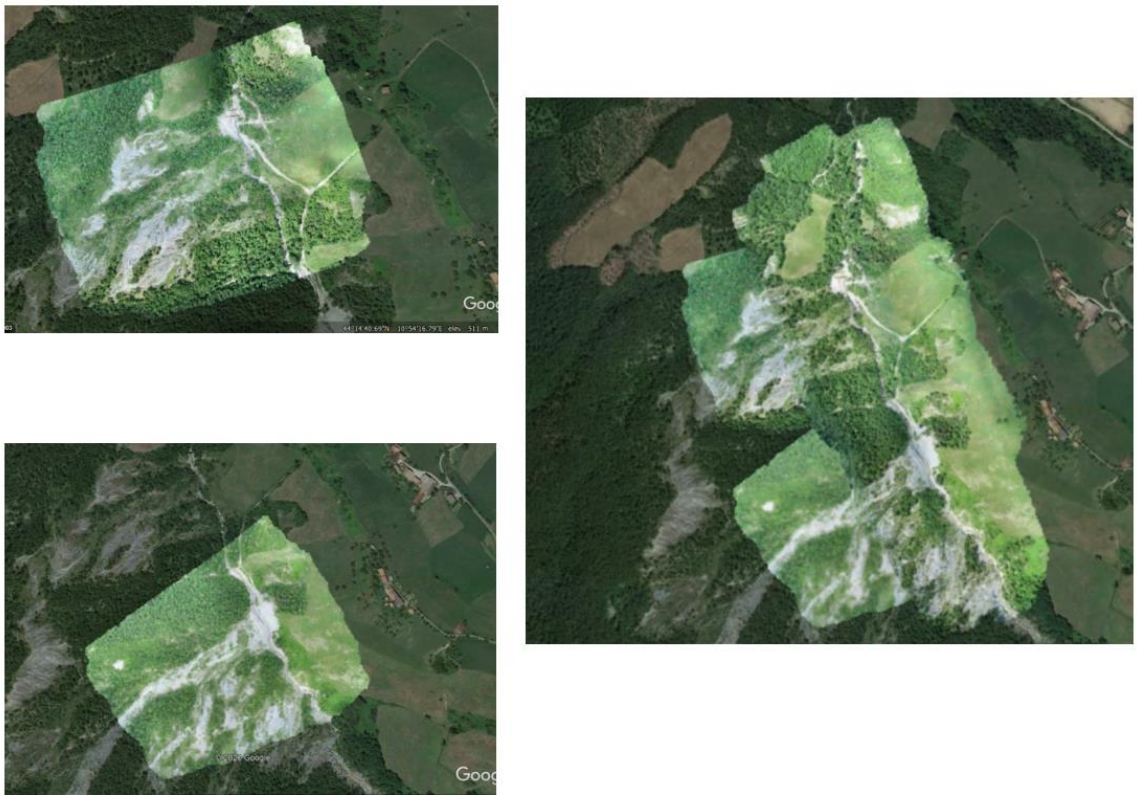


Figura 8: Inquadramento in Google Earth del modello 3D dei due movimenti franosi in sinistra Dardagnola (immagini a sinistra) e del tratto di alveo rilevato, comprendente anche le due frane (immagine a destra

3.2 Frana di Castelluccio

3.2.1 Caratteristiche generali

La zona è denudata superficialmente. Le indagini condotte con il "tromino" hanno posto in evidenza ciò che anche visivamente era stato valutato: la coltre superficiale è pressoché inesistente essendo praticamente in luce le due formazioni di "argille a palombini" e "argille varicolori". La pendenza longitudinale della zona denudata varia da 12° ai 13° con punta di 18° nel tratto alto in prossimità della strada. La frana è già stata oggetto di interventi di consolidamento con trincee drenanti, formazione di canalette superficiali e regimazione idraulica. Dal punto di vista della sicurezza del sistema, costituito anche dalle opere già realizzate, assumendo il pendio attuale e considerando diversi livelli della falda nell'immediato sottosuolo è possibile fare alcune considerazioni che portano a qualificare l'importanza del sistema di drenaggio già realizzato e la formazione di un sistema di protezione superficiale del pendio con la tecnica della copertura con biostuoie e semina e con fascinate vive.

3.2.2 Analisi della stabilità del versante

Assumendo una pendenza di 12° sull'orizzontale e facendo una back analysi nelle attuali condizioni con livelli di falda a quote diverse si ottengono i seguenti risultati:
Assumendo indicativamente le seguenti caratteristiche delle due unità stratigrafiche:

a) Unità superficiale
Peso di volume terreno coltre superficiale: γt=18.0 - 19,0kN/m3
Angolo di resistenza a taglio: ϕ'=12°-18°
Coesione: c = 0,00kPa
Modulo di resistenza: M = 5,0-50,0 MPa
b) Formazione
Peso di volume terreno coltre superficiale: γt=20.0 - 22,0kN/m3
Angolo di resistenza a taglio: ϕ'=28°-32°
Coesione: c = 0,00 –500,0kPa
Modulo di resistenza: M = 50,0-100,0 MPa

Condizione di assenza di falda:
La forza tangenziale necessaria all'equilibrio del sistema vale:
T = W.sin i = (N/cos i). sin i = N . tg i
E quella massima mobilitabile vale Tf = N . tg ϕ'
Il fattore di sicurezza è pari a : FS = tg ϕ'/ tg i
Essendo:
i : pendenza del declivio
W: peso del terreno
ϕ': angolo di resistenza a taglio
Come in un pendio indefinito la condizione di instabilità si raggiunge quando l'angolo di inclinazione del pendio è pari all'angolo di resistenza al taglio ϕ';
La superficie di scorrimento e parallelo al pendio;
La condizione espressa dalla formula di anzi riportata è indipendente dalla profondità.
L'unico parametro richiesto per valutare la sicurezza é l'angolo di resistenza taglio;
el caso specifico l'angolo di inclinazione i = 13°(misurato in sito)
L'angolo di resistenza a taglio della coltre nelle condizioni limite sarebbe intorno ai 13°, e questo lo si evince dalle condizioni rilevate per le altre frane dove la coltre è disposta con acclività di quest'ordine di valore.
La condizione della frana di Castelluccio è di totale denudazione dalla coltre superficiale e, quindi, le stabilità del sistema, in queste condizioni dipende dalle caratteristiche geotecniche delle formazioni che emergono in luce, come si evince anche dalle prospezioni sismiche realizzate.
FS = tg ϕ'/ tg i = 2,72

Condizione di falda a quota piano campagna:
Se il pendio è immerso completamente in acqua in quiete, per il fattore di sicurezza si ritrova lo stesso risultato già visto per il pendio in assenza di falda. Nel caso, invece, di un pendio interessato da un moto di filtrazione parallelo al pendio stesso il coefficiente di sicurezza si riduce del rapporto γ'/γ che nel caso in esame può essere assunto: γ'/γ = 0,54, quindi FS = 2,72 x 0,54 = 1,47

In conclusione, il pendio in esame è stabile se si considerano le attuali condizioni di acclività e se si considera assente la coltre superficiale alterata. Per mantenere tali condizioni occorre dotare l'area di un sistema di protezione che riduca sensibilmente l'azione erosiva superficiale delle piogge e del ghiaccio, incrementi la resistenza meccanica superficiale, regoli lo scorrimento idraulico superficiale. La coltre che si può formare con la alterazione delle formazioni sarebbe instabile se non strutturata, ancorata al substrato e protetta dalle azioni

climatiche e stagionali, compreso anche il periodo estivo siccitoso. Non occorrono, in queste attuali condizioni, interventi di tipo intensivo.

3.3 Frane sul Dardagnola

3.3.1 Caratteristiche generali

Si tratta di una frana importante, di rilevanti dimensioni, con una nicchia di distacco sommitale che dista planimetricamente circa xxm dall'esito in Dardagnola, per un dislivello di 150m circa con una pendenza media di xxxx. E' un movimento franoso attivo, con importante accumulo al piede, sul Dardagnola: recentemente l'accumulo al piede ha invaso l'alveo del torrente ed ha sepolto almeno una briglia.

3.3.2 Analisi della stabilità del versante

Stato di fatto – Back analysis

Le caratteristiche dell'ammasso sono tali da ritenere applicabile l'analisi dell'equilibrio limite di un pendio indefinito. Il pendio in esame è sufficientemente esteso. Il modello geotecnico è costituito da una coltre superficiale (Unità A) di spessore variabile da 6 a 8m soprastante la formazione (Unità B) con caratteristiche geotecniche decisamente più importanti.

I parametri geotecnici della unità "A" sono di seguito riportati:
Peso di volume terreno coltre superficiale: γt=17.5 - 19,0kN/m3
Angolo di resistenza a taglio: ϕ'=12°-15°
Coesione: c'= 0,00kPa
Modulo di resistenza: M = 5,0-50,0 MPa

La formazione è costituita da argille compatte. I valori caratteristici dei parametri geotecnici sono:
Peso di volume terreno coltre superficiale: γt=20.0 - 22,0kN/m3
Angolo di resistenza a taglio: ϕ'=28°-35°
Coesione: c = 0,00 –500,0kPa
Modulo di resistenza: M = 50,0-100,0 Mpa

Le condizioni di stabilità sono dominate dalla presenza ed oscillazione della falda all'interno della unità superficiale. L'appesantimento della coltre e lo scorrimento dell'acqua nella superficie di contatto tra le due unità determinano l'abbassamento della resistenza a taglio lungo la superficie stessa fino a raggiungere valori dell'angolo di resistenza a taglio residuo soprattutto nel caso delle frane attive. La resistenza a taglio residua può raggiungere valori di 6°÷10°. I corpi franosi attivi presenti nei pendii che affiancano l'asta del torrente Dardagnola hanno dimensioni importanti e i piani di scivolamento sono, per lo più, lineari e talora di forma concava.

I versanti analizzati hanno pendenze pressoché lineari e costanti con inclinazioni sull'orizzontale di 12°÷13° che corrisponde al valore caratteristico dell'angolo di resistenza a taglio critico dell'unità "A", quindi al valore che corrisponde alla condizione limite a rottura.

Stato di progetto

Il progetto di consolidamento dei corpi di frana prevede le seguenti opere:

- Trincee drenanti
- Riprofilatura del corpo di frana
- Costruzione di canalette superficiali

Le trincee drenanti hanno la funzione di controllare le oscillazioni della falda all'interno dell'unità "A" mantenendo un livello dell'ordine dei 5m, stabile. La riprofilatura del versante consente di equilibrare le masse e ridurre le azioni instabilizzanti: questo significa anche evitare di togliere piede dalle frane. Le canalette superficiali sono necessarie per regimare le acque superficiali e riducendone la permeazione all'interno della unità superficiale e riducendo il flusso idrico lungo le superfici di scivolamento.

Utilizzando sempre il criterio dell'analisi del pendio indefinito si rileva che la condizione del versante instabile è decisamente migliorato con la presenza delle trincee drenanti. E' noto infatti che l'effetto della falda in movimento all'interno dell'ammasso determina una riduzione almento del 50% della resistenza offerta dal terreno che in questo caso è quello dell'unità"A". Con l'abbattimento della falda di 5m (profondità efficace con trincee di 6,0m di profondità, il coefficiente di sicurezza in condizioni statiche raggiunge il valore di FS=1,6; in condizioni sismiche il coefficiente si riduce a FSs=1,1.

4. PROGETTO E VERIFICHE DELLE BRIGLIE

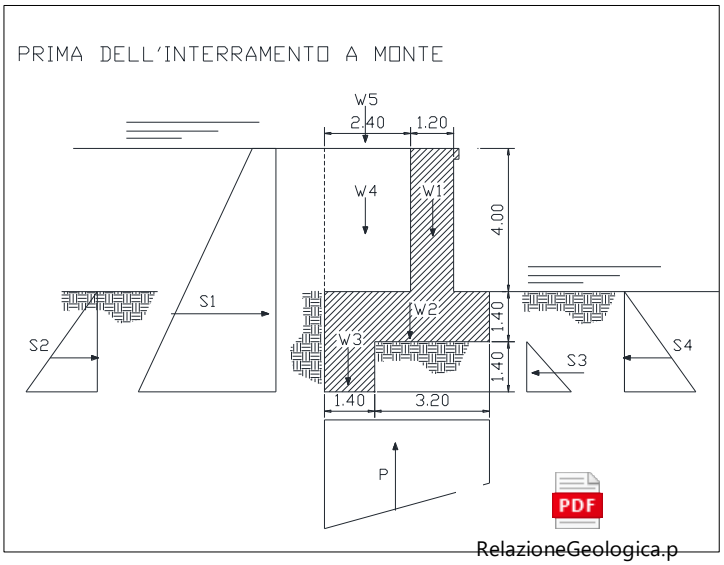
Il calcolo della briglia tipo è l'oggetto del presente capitolo.
Si calcola una briglia in cemento armato delle dimensioni simili a quelle delle briglie alte esistenti.

Geotecnica
Per i fondo dell'alveo si assumono le seguenti caratteristiche geotecniche:
Angolo di resistenza a taglio: ϕ'=32°-35°
Coesione: c = 0,00 kPa
Modulo di resistenza: M = 50,0-100,0 Mpa

Materiali
Calcestruzzo di classe : C2

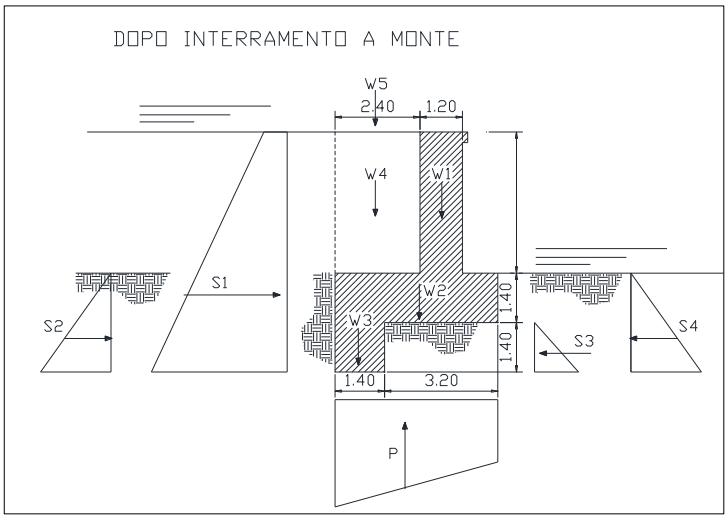
Acciaio per Cemento armato B450C

Analisi delle azioni sul manufatto prima dell'interramento a monte: azioni considerate per 1,0m di lunghezza.
La figura a lato mostra la sezione verticale della briglia di cemento armato, in corrispondenza della gaveta.



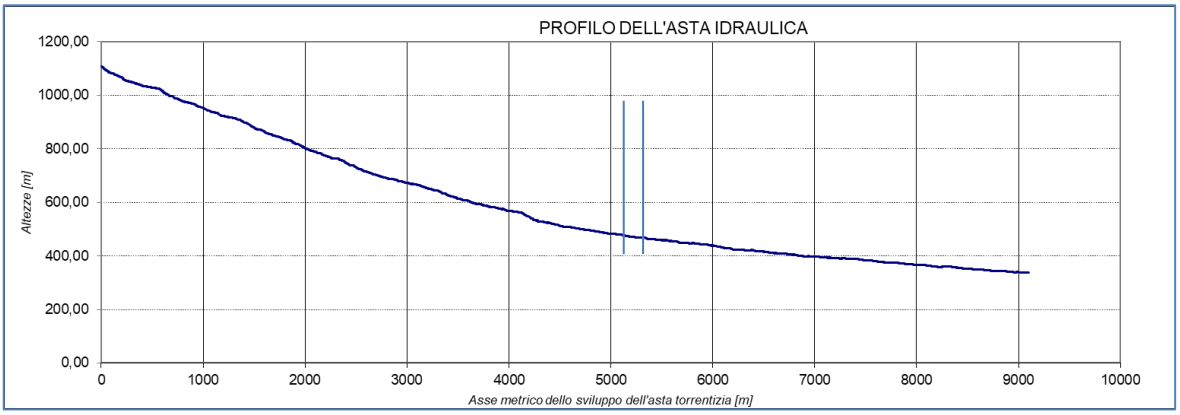
Le condizioni di stabilità della briglia nelle condizioni precedenti all'interramento a monte sono verificate.

Dopo l'interramento a monte della briglia le azioni di monte restano quelle della spinta idraulica mentre sulla fondazione lato monte il carico è formato dal materiale che si è accumulato. Le condizioni di stabilità sono ancora confermate per una sezione di briglia di altezza h=4,00m alla gaveta. Il rostro realizzato dalla fondazione in profondità serve a consolidare la briglia nel sotto alveo e mobilitare la spinta passiva a valle della briglia, conferendo ulteriore stabilità al sistema.



La figura a lato mostra la sezione della briglia in condizioni di interramento completato. La successiva figura mostra il prospetto della briglia con le ali che di inseriscono nelle sponde laterali dell'alveo del torrente.

Le briglie determinano essenzialmente l'innalzamento della quota di scorrimento nei tratti immediatamente a monte e di conseguenza il raggiungimento di condizioni di sicurezza delle sponde che, quando sono interessate da fenomeni di scalzamento ed erosione, possono franare in alveo, come accade nel caso in esame in corrispondenza delle frane, aggravando l'instabilità idraulica dell'alveo a valle. Considerando che la briglia che si propone nel progetto in esame rappresenta la ricostruzione di una briglia già esistente e divelta dalla azione della corrente in combinazione con la erosione e lo spostamento a valle di masse di terreno provenienti dalla frana sui due versanti a fianco del torrente, in sinistra ed in destra idraulica.
La distanza tra le briglie esistenti è stata rilevata con misura topografica in sito, comprendendo anche la posizione della briglia demolita da ricostruire. La stessa altezza della briglia da ricostruire è ripresa da quella precedente.



Facendo riferimento alla figura seguente, si indicano:

- Hz : dislivello totale del fondo tra le due briglie successive;
- h_B : la relativa altezza fuori terra
- α : angolo corrispondente al profilo i_e
- d_B : distanza orizzontale tra le due briglie.

Le relazioni tra le grandezze sono:

$h_B = Hz - d_B \text{ tg } \alpha = Hz - d_B \cdot i_e$

$d_B = (Hz - h_B) / \text{tg } \alpha$

Si valuta, in questa fase, un tratto di alveo compreso tra due briglie ed una intermedia: quest'ultima da realizzare in sostituzione di quella divelta dal torrente.
Considerando:
L: lunghezza del tratto in esame
i : pendenza di fondo
i_e :
N : numero di briglie

La relazione è:

$h_B = (i - i_e) L/N$

5. OPERA DI SOSTEGNO A GRAVITA'

Le opere di sostegno sono realizzate con blocchi di pietra.
Le dimensioni sono diverse a seconda della posizione della altezza da raggiungere per sostenere la scarpata.
Il calcolo di stabilità è eseguito per un muro tipo, alto 4,0m.

Analisi dei carichi
Peso del paramento verticale: W1 = [(1,0*4,0/2)+(1,0*4,0)]*25,0 = 150kN
Peso della fondazione: W2 = (2,30*1,05)*25 = 60,4kN
Totale peso del muro e fondazione: W=210.4kN

Momento dei carichi gravitazionali rispetto al punto di rotazione assunto (A).
M_{W1} = [(2,0*25,0*0,90)+60,4*(0,50+1,30)] = 153,72kNm
M_{W2}= 60,4*(2,30/2)= 69,46kNm
Totale momento stabilizzante dovuto al peso del muro: M_{W_A} = 223,18 kNm

Spinte terreno a monte: S = ½ *γ*h2*Ka = 0,5*18,0*5,02^2*0,53 = 120,21kN
Componente orizzontale di spinta: Sh = 120,21*cos 10° = 118,38kN
Componente verticale di spinta: Sv = 120,21*sin 10° = 20,87kN

Momento stabilizzante della componente verticale di spinta: Msv = 20,87*2,30 = 48,0kNm
Momento instabilizzante della componente verticale di spinta: Msh = 118,38*5/3= 197,30kNm

Momento risultante: Mstab = 223,18 + 48,0 = 271,18kNm
Momento instabilizzante totale: Minst = 197,30kNm
La verifica a ribaltamento in condizioni statiche è soddisfatta: η = 271,18/197,30 = 1,37

Per la verifica a scorrimento si considera l'attrito alla base del muro per il peso del muro la componente orizzontale di spinta.
η = [(210,4 + 20,8) * 0,6] + (0,5 * 19,0*1,0^2* 0, 70) / 118,38= 1,22
Verifica soddisfatta

---

ing. Claudio Comastri