

POLITECNICO DI TORINO

*Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio*



Tesi di Laurea Magistrale

Indagini, analisi di stabilità e interventi operativi
per la frana storica di località Comba d'Ara (Torino)

Relatore

Claudio Oggeri

Relatore esterno

Marco Casale

Candidato

Stefano Guerra

Ottobre 2022

Indice

1. Introduzione	3
2. Classificazione dei fenomeni franosi.....	5
3. Plutone di Traversella	14
4. Inquadramento del fenomeno franoso	21
4.1 Inquadramento geografico	21
4.2 Inquadramento geomorfologico.....	22
4.3 Stratigrafia.....	26
5. Storico degli interventi eseguiti per il consolidamento del movimento franso	37
5.1 Interventi passati	37
5.2 Interventi presenti	42
6. Monitoraggio del sito.....	45
7. Analisi del caso studio tramite il software Slide	57
7.1 Definizione della geometria, dei parametri e back analysis	58

7.2	Ricerca del fattore di sicurezza in diverse condizioni di saturazione	61
8.	Analisi del caso studio tramite il software RS2.....	64
8.1	Definizione dei parametri e della geometria.....	64
8.2	Ricerca delle deformazioni	67
8.3	Simulazioni con sistemi di consolidamento.....	71
9.	Conclusioni	73
10.	Bibliografia.....	75
11.	Sitografia	76

1. Introduzione

Il presente elaborato comprende lo studio dei fenomeni franosi, di come questi si verificano e come possano essere messi in sicurezza. È stata studiata nello specifico la frana che ha colpito la strada S.P. n.64 della Valchiusella al km 15+100, l'attivazione del fenomeno risale agli anni '70 ed in seguito si sono verificate numerose riattivazioni dovute a periodi di piogge intense che hanno provocato danni alla struttura viaria; quindi sono stati effettuati lavori di consolidamento in più fasi distinte, l'ultimo risale al 2021 ed è stato curato dall'Ing. Geol. Marco Casale.

Di seguito vengono definiti i fenomeni franosi, come si attivano e come si classificano. Successivamente si pone particolare attenzione all'area di studio esponendo le caratteristiche geologiche del plutone di Traversella in modo da comprendere i meccanismi che si possono verificare durante i fenomeni di dissesto.

Nei successivi capitoli è presente l'inquadramento del caso preso in esame, inizialmente viene proposta la localizzazione geografica e l'orografia del sito. Successivamente viene affrontato l'inquadramento geomorfologico in cui viene descritta la geologia e l'idrogeologia dell'area; infine vi è un dettaglio sulla stratigrafia.

Dopo aver inquadrato l'area colpita dal dissesto viene ripercorsa la storia degli interventi effettuati dall'attivazione del fenomeno franoso ponendo particolare attenzione all'ultimo intervento eseguito nel 2021-2022.

Viene affrontato il caso attraverso l'ausilio di due software di simulazione, Slide e RS2 della casa Rocscience ©, il primo per valutare la stabilità del pendio colpito dalla frana ed il secondo per implementare quest'analisi valutando le

deformazioni subite dal terreno verificate ulteriormente tramite immagini scattate nel sito.

Infine è stato valutato un possibile intervento affinché si possa consolidare in maniera definitiva il sito e ridurre così le deformazioni causate dal dissesto. Da queste considerazioni sono state tratte le conclusioni finali del lavoro di tesi.

2. Classificazione dei fenomeni franosi

Il termine frana rappresenta il movimento di una parte di terreno per effetto della gravità. Esistono più fattori che possono mutare lo stato di equilibrio di un versante e quindi dare inizio a questo tipo di fenomeno, le cause principali sono:

La diminuzione della resistenza al taglio, questo accade quando si verificano la variazione della pressione interstiziale nel terreno, l'aumento del peso specifico apparente, l'aumento dell'acclività, la diminuzione dell'angolo di attrito e della coesione a causa delle modifiche nei parametri di resistenza del terreno. L'aumento delle tensioni tangenziali dovute alle variazioni della geometria del pendio, alle azioni sismiche e alle vibrazioni artificiali. Si può riassumere che i principali fattori di innesco dei dissesti sono litologici, morfologici, strutturali, idrogeologici e antropici.

In letteratura esistono diverse metodologie per classificare i fenomeni franosi. Di seguito viene riportata quella proposta da Cruden e Varnes (1996).

- Crolli e ribaltamenti: movimento di caduta di materiali di qualsiasi dimensione e tipologia come terre rocce e detriti, il fenomeno può essere rapido o estremamente rapido tipico dei pendii molto acclivi. Il distacco avviene solitamente in superfici di discontinuità molto inclinate, le discontinuità sono principalmente piani di faglia, giunti di stratificazione, fessurazioni e superfici di contatto tra materiali con caratteristiche diverse.

- Scorrimenti rotazionali: fenomeno che avviene tramite un movimento di rotazione intorno ad un punto o un asse esterno al versante e sopra al baricentro della massa in questione. La componente in movimento si scompone in più blocchi ruotati in diverse direzioni, inoltre, nella parte bassa della frana possono verificarsi rigonfiamenti e avvallamenti. Gli scorrimenti possono interessare terre rocce e detriti, le principali cause possono essere sia naturali che artificiali e determinano una diminuzione delle resistenze di attrito o di quelle che causano improvvisi cedimenti degli sforzi di taglio quindi eventi meteorici, infiltrazioni d'acqua, innalzamenti della superficie piezometrica, sollecitazioni sismiche, vibrazioni artificiali, rotture delle reti idriche ed attività antropiche. Le velocità con cui si sviluppano questi fenomeni possono andare da pochi centimetri all'anno ad alcuni metri al secondo

- Scorrimenti traslativi: avvengono attraverso un movimento planare lungo superfici piane di discontinuità nella la direzione di massima pendenza, queste superfici devono essere orientate nello stesso senso del versante e avere un'inclinazione uguale o minore a quella del pendio. Le superfici di discontinuità possono essere piani di faglia, fratturazioni tettoniche piani di scistosità e superfici di contatto tra materiali con diverse caratteristiche. La velocità di movimento può essere variabile da lenta ad estremamente rapida.

- Colamenti lenti: fenomeno caratterizzato da deformazioni lente che creano all'interno del corpo di frana una notevole deformazione plastica, il movimento può coinvolgere la superficie di separazione tra massa in frana e materiale in posto ma anche l'intero corpo di frana. I limiti tra queste

due parti possono essere netti o sfumati e tendono a diminuire gradualmente con la profondità.

- Il movimento è causato dalla saturazione del materiale per cui avviene con tempistiche molto lente, la distribuzione delle velocità e quindi degli spostamenti è molto variabile all'interno della massa in movimento. Nel corpo di frana la velocità è più alta al centro rispetto che ai bordi e per questo assume la forma lobata. Questo genere di fenomeni colpisce per lo più detriti e terre; tipico dei terreni con un alto contenuto argilloso, bassa coesione e debole consolidamento.
- Colate rapide di detrito e fango (debris flow e mud flow): il fenomeno si verifica con la mobilitazione di grandi ammassi granulari a causa dell'apporto di importanti quantità d'acqua dovute ad eventi piovosi di grande entità, rapidi scioglimenti di nevai o ghiacciai oppure lo stazionamento alto della falda. La massa costituente la colata è composta da aria acqua e sedimenti in dimensioni variabili. Il materiale solido è costituito da ammassi granulari di diverse origini come depositi di detriti, sedimenti alluvionali, coltri di alterazione, depositi di vulcaniti, accumuli di corpi di frana e detriti prodotti da attività antropiche. Le dimensioni dei materiali variano dai blocchi ciclopici alle argille. Questo genere di colata è tipico dei versanti montuosi ripidi e si sviluppa come una piena di sedimenti che raggiunge velocità molto elevate (dai 0.5 ai 20 m/s) e si arrestano in aree di conoide o quando si riducono le pendenze. La colata ha un forte potere erosivo per cui durante il suo percorso può inglobare grandi quantità di materiale aumentando notevolmente il suo volume. L'evoluzione del fenomeno presenta diverse fasi, inizia con un fenomeno franoso che coinvolge la coltre detritica, il tutto è influenzato dalla

presenza di fessure nei depositi detritici o incrementi della pressione neutra dovuti a grandi differenze di permeabilità coltre/substrato. La rottura definisce la dilatazione del materiale che richiama acqua per cui il materiale fluidificato inizia a colare lungo il versante incorporando lungo il tragitto altro materiale detritico e vegetale aumentando così il volume della frana. Il movimento non risulta unico ma è formato da diverse ondate che talvolta si possono sovrapporre. La diminuzione di pendenza del versante provoca l'inizio della fase di deposizione con la conseguente creazione di una zona di accumulo a forma di ventaglio.

- Espansioni laterali: fenomeno che si verifica quando corpi rocciosi rigidi e fratturati sono sovrapposti a terreni con un comportamento plastico (tipicamente argillosi). L'evento comincia quando la pressione dell'ammasso roccioso provoca una deformazione sui terreni sottostanti, i quali cominciano a muoversi in modo differente, l'ammasso quindi si suddivide in blocchi lungo fratture preesistenti o nuove e si abbassa muovendosi verso valle con un movimento orizzontale. Il fenomeno avviene ad alte profondità e con velocità molto basse, non sempre si riconosce una superficie estesa ma si possono osservare deformazioni diffuse in grandi volumi di materiale. Le tipiche tracce della presenza di un'espansione laterale sono costituite da trincee e solchi nelle rocce rigide e da rigonfiamenti nei materiali plastici.
- Movimenti complessi: fenomeno che deriva dalla combinazione di due o più tipi di movimento che si sono verificati in successione temporale. Tra i più comuni vi sono colamento e scorrimento traslativo, colamento e

scorrimento rotazionale, colata rapida di detrito e soil slip, colata rapida e crollo di roccia.

- Deformazioni Gravitative Profonde di Versante: fenomeno caratterizzato da deformazioni plastiche differenziali e spazialmente continue che seguono movimenti lenti (anche di mm/anno) lungo superfici di discontinuità non sempre estese, interessa grandi masse rocciose con volumi fino a milioni di metri cubi. Si possono individuare in quanto presentano un tipico profilo concavo nella parte alta del versante con piegamenti, ribassamenti e sdoppiamenti della parte rocciosa mentre nella parte bassa si hanno inarcamenti e rigonfiamenti che determinano un profilo convesso. Il fenomeno si verifica solo in materiali lapidei.
- Movimenti lenti superficiali: fenomeno causato dal continuo e lento muovere della coltre detritica superficiale, questo movimento non ha una superficie di scorrimento ben definita. Ci sono due principali tipologie di movimenti, i soliflussi e le reptazioni.
- Soliflussi: possono essere paragonati a dei colamenti lenti di una massa fluida molto viscosa; quindi, si ha un movimento lento e discontinuo delle porzioni superficiali dei materiali sedimentari rese fluide dall'alto contenuto d'acqua, risulta per questo motivo un fenomeno tipico di terreni ricchi di limo e argilla quindi poco permeabili. L'inclinazione minima

affinché si verifichi un soliflusso è di 5° , questo fenomeno può raggiungere velocità di alcuni decimetri/anno.

- Reptazioni: sono date dall'insieme di piccoli movimenti parziali dovuti al continuo susseguirsi di: circolazione di acqua nel terreno, dilatazioni, contrazioni termiche, cicli di gelo e disgelo e l'effetto della gravità. Il movimento risulta molto lento con velocità dell'ordine dei mm/anno.
- Sprofondamenti: fenomeno legato a voragini di forma sub circolare e pareti sub verticali che si aprono nel terreno in uno o più eventi successivi, questo genere di fenomeni si verifica in corrispondenza di allineamenti tettonici lungo i quali ci sono anomalie della circolazione sotterranea.

In Figura 1 viene rappresentato uno schema degli eventi appena descritti.

Un altro metodo di classificazione dei dissesti è legato alla velocità con cui questi si verificano e ai danni prodotti, si possono quindi suddividere in 7 classi, Cruden & Varnes (1996):

- Estremamente lento (16 mm/anno): risulta impercettibile all'uomo senza strumenti di monitoraggio
- Molto lento (1,6 m/anno): Alcune strutture permanenti possono non essere danneggiate dal movimento
- Lento (13 m/mese): Possibilità di intraprendere lavori di restauro e rinforzo durante il movimento. Le strutture meno danneggiabili possono essere mantenute con frequenti lavori di rinforzo se lo spostamento totale non è troppo grande durante una particolare fase di accelerazione.
- Moderato (1.8 m/h): Alcune strutture temporanee o poco danneggiabili possono essere mantenute
- Rapido (3 m/min): Evacuazione possibile. Distruzione di strutture, immobili e installazioni permanenti.
- Molto rapido (5 m/sec): Perdita di alcune vite umane. Velocità troppo elevata per permettere l'evacuazione delle persone.
- Estremamente rapido (>5 m/sec): Catastrofe di eccezionale violenza. Edifici distrutti per l'impatto del materiale spostato. Molti morti. Fuga impossibile

Nella classificazione dei fenomeni franosi risulta importante definirne lo stato di attività, che può essere:

- Attivo: fenomeno attualmente in movimento o che si è mosso nell'ultimo ciclo stagionale
- Sospeso: fenomeno mosso prima dell'ultimo ciclo stagionale, non in movimento
- Riattivato: fenomeno attivo dopo un periodo di inattività
- Quiescente: fenomeno in cui permangono le cause del movimento che quindi si può riattivare
- Inattivo o stabilizzato: fenomeno che non può essere riattivato tramite le sue cause naturali
- Naturalmente stabilizzato: fenomeno che non è più influenzato dalle sue cause naturali
- Artificialmente stabilizzato: fenomeno protetto dalle sue cause originali attraverso misure di stabilizzazione
- Relitto: fenomeno sviluppato in condizioni geomorfologiche diverse da quelle attuali

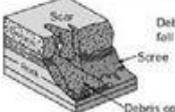
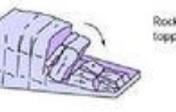
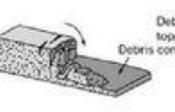
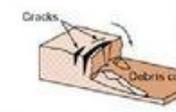
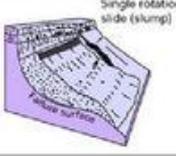
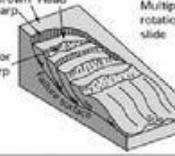
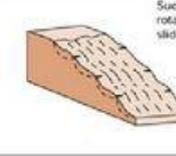
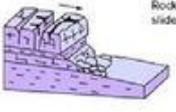
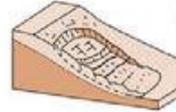
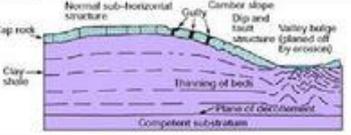
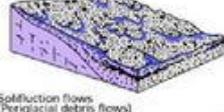
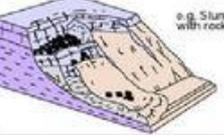
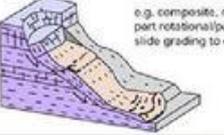
Material		ROCK	DEBRIS	EARTH
Movement type	FALLS	 Rock fall	 Debris fall Scree Debris cone	 Earth fall Colluvium Debris cone
	TOPPLES	 Rock topple	 Debris topple Debris cone	 Earth topple Cracks Debris cone
SLIDES	Rotational	 Single rotational slide (slump) Failure surface	 Crown Head Scarp Minor Scarp Multiple rotational slide	 Successive rotational slides
	Translational (Planar)	 Rock slide	 Debris slide	 Earth slide
SPREADS				 Earth spread
FLOWS	 Solidification flows (Periglacial debris flows)	 Debris flow		 Earth flow (mud flow)
COMPLEX	 e.g. Slump-earthflow with rock-fall debris		 e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe	

Figura 1 Classificazione dei fenomeni franosi secondo Cruden & Varnes (1996)

3. Plutone di Traversella

L'area in cui si trova il movimento franoso oggetto del caso in esame fa parte di una particolare formazione che prende il nome di Plutone di Traversella adiacente alla serra morenica di Ivrea, in entrambi sono frequenti fenomeni di dissesto dovuti alla natura delle formazioni.

Nel plutone sono presenti morene antiche, coltri detritiche e coltri eluvio colluviali nelle quali si generano con più frequenza fenomeni come colate di detriti sia lente che veloci e anche scivolamenti. Nella serra vi è una grande presenza di morene le cui componenti ricadono in un ampio margine di dimensioni, anche qui si verificano dissesti come quelli appena descritti in base alla formazione geologica delle zone colpite, uno dei più noti è la colata di Biò nel comune di Borgofranco d'Ivrea avvenuta nel 1994

Il plutone è una formazione geologica che si sviluppa con una forma di ellissoide in direzione SE – NO per circa 5 km entro le unità della falda penninica e più precisamente nelle unità che passano sono il nome: gruppo dei micascisti a glaucofane di Cuorné e degli gneiss di Pont Canavese appartenenti alle unità che compongono la zona Sesia- Lanzo. (Bassani U. 1978).

L'origine del plutone risale a circa 33-39 milioni di anni fa durante l'Oligocene, ovvero la terza ed ultima era del Paleogene, in cui una massa magmatica si è posta all'interno del complesso geologico Sesia – Lanzo composto da diverse tipologie di micascisti e gneiss con interposizioni di banchi calcareo-dolomitici. “Le unità litologiche della zona Sesia- Lanzo, contenenti lenti di calcescisti che avviluppano la parte superiore del plutone di Traversella, in origine costituivano effusioni laviche sottomarine ed un assieme di sedimenti che riflettevano tanto l'ambiente deposizionale e l'origine composizionale, quanto la susseguente

palagonitizzazione di jaloclastiti e tufiti con conseguente produzione di abbondanti argille del tipo a tre strati con reticolo espandibile del gruppo delle monmorilloniti magnesiache” (Marinelli G., 1971 - Millot G., 1964).

Durante la formazione del Plutone si è verificata la trasformazione dei calcari in marmi saccaroidi e in cornubianiti a granato, pirosseni, anfiboli e biotite; dentro a queste si sono formate le mineralizzazioni metalliche. La formazione dei corpi minerari è quindi dovuta alla diffusione di fluidi ricchi di minerali nelle fasi finali del raffreddamento del plutone.

Le modifiche che l’attività del plutone ha generato vengono racchiuse in quella che viene definita aureola metamorfica.

Le “rocce di aureola” sono quindi dovute al contatto tra magma e rocce già rese cristalline dall’effetto del metamorfismo regionale, sono diversi gli effetti ottenuti per scisti gneissici e micacei e per i calcari.

“Nella fascia di scisti gneissici e micacei la caratteristica più evidente, anche macroscopicamente, sta nelle differenti quantità di biotite di neoformazione che essi contengono - di cui si impoveriscono con l’allontanarsi dalla zona di contatto - ed in conseguenti modifiche dei loro caratteri tessiturali e strutturali. Per quanta riguarda le rocce calcaree sono state metamorfosate senza o con scarsa addizione di «sostanza magmatica», subendo delle modificazioni di carattere prevalentemente tessiturale e strutturale e subordinatamente chimico e mineralogico, trasformandosi così in tipi cristallini marmorei e calcefirici, nettamente saccaroidi. Più sovente, invece, essi calcari sono stati trasformati in vere tactiti, in seguito ad estesa od anche totale silicatizzazione, accompagnata da impregnazione, in quantità variabilissima, di minerali metalliferi di varia natura.” (Zucchetti S. 1966)

Di seguito vengono raffigurate in Figura 2 la cartina geologica di traversella ed in Figura 3 la sezione geologica del plutone di Traversella (Zucchetti 1966 modificato).

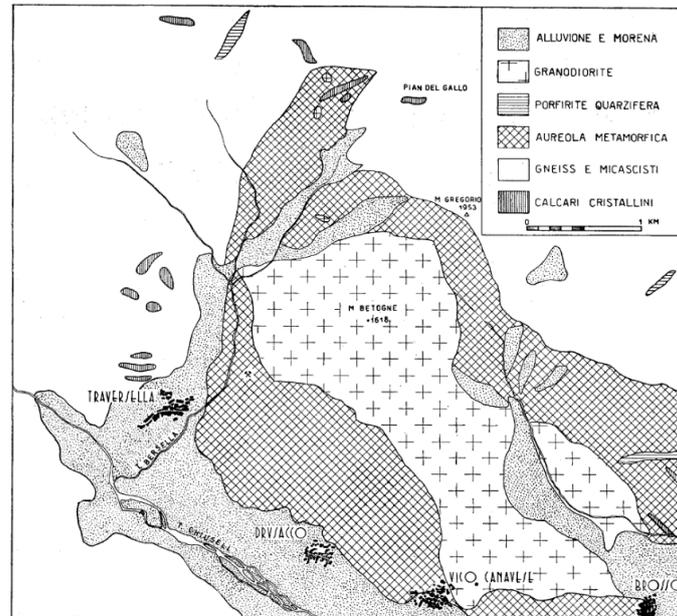


Figura 2 Cartina geologica di traversella

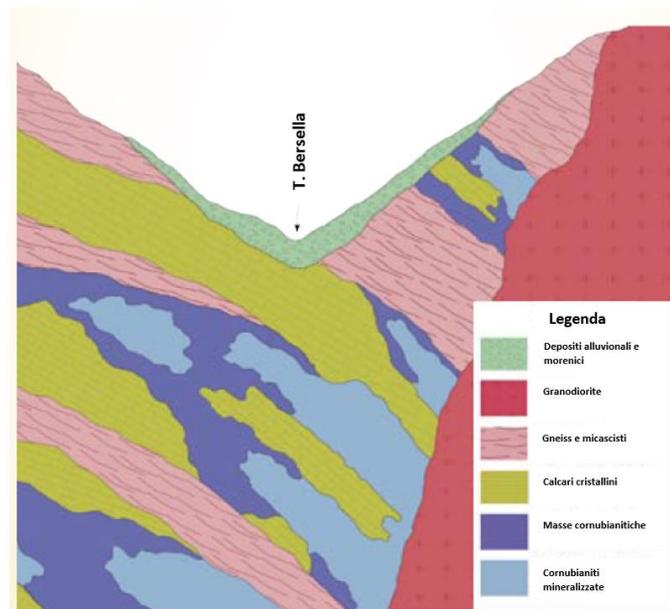


Figura 3 Sezione geologica di Traversella

La serra morenica d'Ivrea è costituita da un rilievo morenico formatosi durante il quaternario, fa parte di un complesso più ampio detto Anfiteatro morenico d'Ivrea di cui la serra rappresenta la morena laterale sinistra. Si estende da Andrate (To), Cavaglià (Bi) fino a Borgo d'Ale (Vc).

La serra ha origine presso la Colma di Mombarone (2371 m s.l.m.) e si estende per 20 km verso sud-est fino al lago di Viverone, è formata da sette cordoni sub-paralleli che possono raggiungere i 600 m di dislivello rispetto all'anfiteatro morenico di Andrate. Tra i cordoni morenici vi sono diversi corsi d'acqua, i più importanti sono i torrenti Olobbia e Viona. Il cordone morenico di destra, invece, è situato tra Bairo e lo sbocco del torrente Chiusella e raggiunge altitudini di 800 m s.l.m. La morena frontale è formata da rilievi che si estendono tra Agliè e Viverone, il punto più alto è rappresentato dal Bric Vignadoma (520 m s.l.m.).

L'anfiteatro morenico d'Ivrea (denominato anche AMI) 'si estende in Piemonte allo sbocco della Valle della Dora Baltea, nella pianura confinata tra il bordo interno delle Alpi Occidentali e il Monferrato. Il suo bacino di alimentazione, vasto 3400 km², coincide con la Valle d'Aosta e comprende alcune delle più alte vette d'Europa (Monte Bianco, Monte Rosa, Monte Cervino, Gran Paradiso' (*Gianotti et al*). L'AMI è caratterizzato al suo interno da una vasta area pianeggiante che rimane tra i 210 e i 270 m s.l.m. in cui si trova la città di Ivrea. Seguendo la classificazione orografica i rilievi in destra orografica appartengono alle Alpi Graie e quelle in sinistra orografica dalle Alpi Pennine. Nell'AMI si possono ritrovare nove diverse unità glaciali, separate da livelli interglaciali visibili in affioramento.

Lateralmente all'AMI si estendono gli apparati alluvionali, i quali si trovano a quote più basse rispetto a quelle dell'anfiteatro e presentano talvolta forme conoidi come quelle relative ai torrenti Stura di Lanzo e Cervo, a queste sono legate sequenze alluvionali aventi una stratigrafia particolare poiché sono formate da lembi di ghiaie distribuiti su più terrazzi. I lembi più antichi costituiscono i terrazzi più alti, quelli più recenti sono incastrati nei più antichi. In Figura 4 si ha una schematizzazione della geologia dell'area.



Figura 4 Profilo geologico semplificato dell'AMI (Gianotti)

Dal punto di vista geomorfologico l'AMI si divide in quattro settori, l'insieme delle cerchie moreniche, la depressione interna, i rilievi rocciosi e la piana fluvioglaciale esterna. Gli studi, inoltre, hanno permesso di conoscere le posizioni del bordo del ghiacciaio durante i suoi stazionamenti.

Le diverse cerchie moreniche indicano il perimetro del ghiacciaio balteo permettendo di ricostruirne la forma e la geometria in tutte le fasi della sua evoluzione.

Le morene quindi si formano durante lo stazionamento del margine glaciale, il quale tende a non espandersi avanzando ma aumenta il suo spessore, questa condizione accade quando vi è un ostacolo che può essere costituito da un rilievo

o una morena formatasi in precedenza, quindi il bordo del ghiacciaio scarica i detriti trasportati e genera una nuova crescita. Questo genere di fenomeni si verifica quando si ha la fine di una riavanzata glaciale e non un ritiro del ghiacciaio. Quindi possiamo distinguere morene più o meno antiche attraverso la loro posizione, nell'anfiteatro quelle più esterne in senso radiale sono le più datate mentre quelle più interne sono via via più recenti.

Attraverso questi studi si è potuto anche osservare la presenza di forme diagnostiche di margine glaciale rappresentate da morene e terrazzi di kame che presentano una forma stretta e lunga poichè si sono sviluppate parallelamente al margine glaciale.

Le morene e i terrazzi di kame differiscono per la forma della parte sommitale, le morene presentano una cresta a due fianchi mentre i terrazzi di kame hanno una superficie pianeggiante delimitata da una scarpata. Un altro fenomeno di cui tenere conto è la formazione dei laghi effimeri ovvero laghi di margine glaciale, questi si sviluppano nelle depressioni che si trovano tra il fianco interno della morena ed il bordo del ghiacciaio.

I rilievi modellati dall'erosione subglaciale corrispondono ai Colli d'Ivrea, al Monte Buono di Borgofranco ed altre collinette che si estendono per un'area di 21 km² a valle dello sbocco vallivo, sono spesso intervallati da depressioni di dimensioni medio-piccole che talvolta sono occupate da bacini lacustri.

La piana fluvio-glaciale comprende una serie di depositi marini, lacustri, alluvionali ed eolici. Alla base vi sono sabbie marine mentre nella parte più alta depositi fini e ghiaiosi, nella parte intermedia vi sono sabbie e ghiaie medio-fini. In Figura 5 si può osservare nel dettaglio la geomorfologia dell'area.

Studi ed indagini stratigrafiche hanno permesso di osservare che vi è molta varietà all'interno della serra morenica.

Il substrato su cui si trovano i depositi dell'AMI è formato da un basamento roccioso metamorfico (100 milioni di anni) e da una serie di sedimenti marini ed alluvionali del Pliocene inferiore (5 milioni di anni). I depositi dell'Ami poggiano direttamente sul substrato roccioso all'interno della valle della Dora Baltea, mentre nella parte più a valle poggiano su formazioni sedimentarie del plioquaternario.

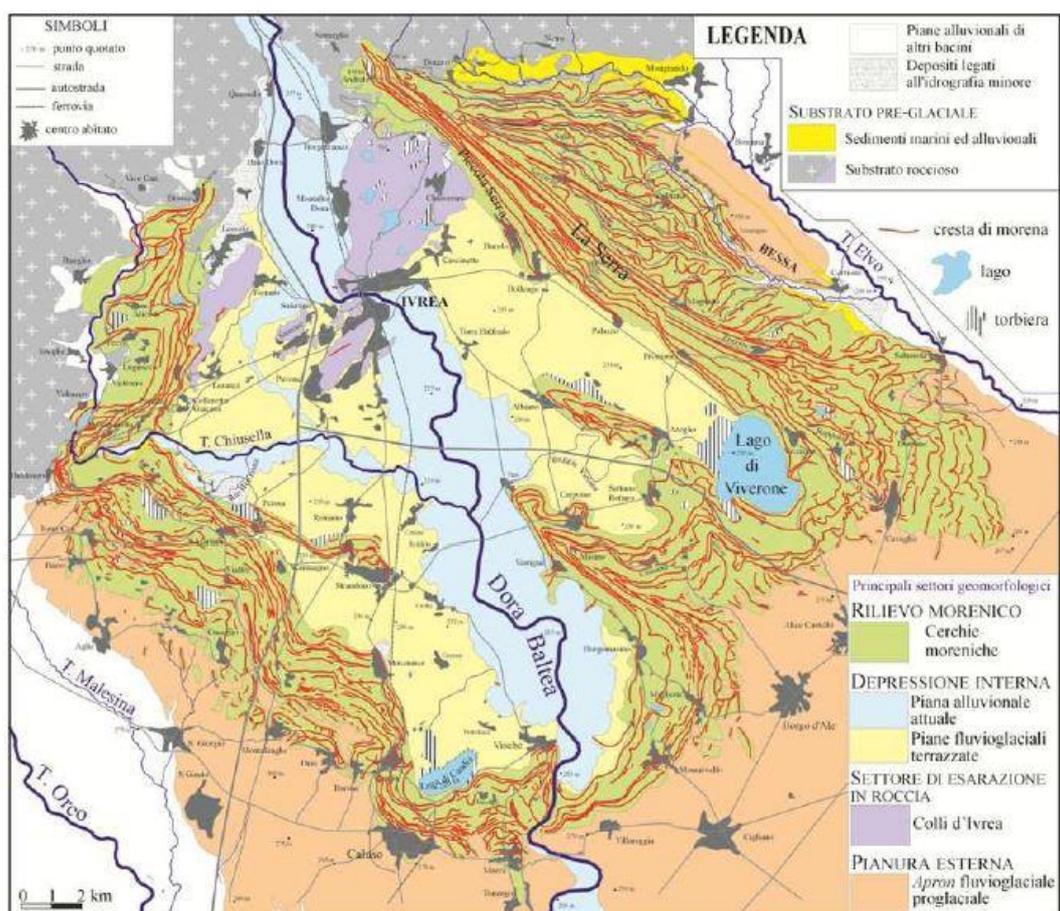


Figura 5 Carta geomorfologica dell'AMI, con i quattro settori principali:

4. Inquadramento del fenomeno franoso

4.1 Inquadramento geografico

Il movimento franoso del caso studio è situato presso la località di Comba d'Ara, frazione del comune di Traversella in particolare lungo la strada S.P. n.64 della Valchiusella al km 15+100 ad un'altitudine di c.ca 790 m. s.l.m. estendendosi fino alla quota di 745 m. s.l.m. dove si trova il piede della frana. Il versante è esposto verso Sud-Ovest. Di seguito in Figura 6 e Figura 7 sono riportate, un'immagine aerea dell'area di studio e una carta che ne mostra l'orografia in cui nell'area indicata in colore giallo viene evidenziata la zona colpita dal fenomeno franoso.



Figura 6 Immagine aerea dell'area di studio

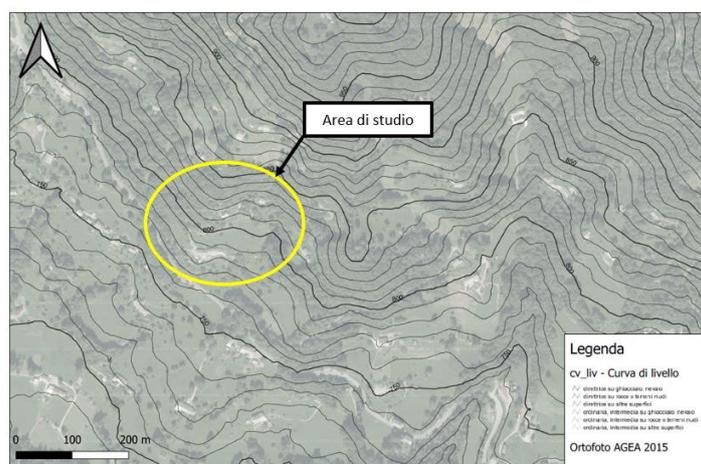


Figura 7 Orografia dell'arera di studio

Il comune di Traversella si estende tra i 700 ed i 2820 m. s.l.m. comprendendo le frazioni di Cappia, Fondo, Succinto, Tissone; raggiunge lo spartiacque con il bacino della Dora Baltea a nord e il Torrente Savenca a sud.

4.2 Inquadramento geomorfologico

L'area di studio viene classificata come montana, è costituita dalle valli dei torrenti Chiusella a sud e Bersella ad est. Le due valli, in questo settore hanno un andamento più o meno rettilineo con direzione circa NNO-SSE (quella del Chiusella), NE-SW (quella del Bersella), i rispettivi versanti sono molto acclivi in quanto formati dall'erosione compiuta dai torrenti nel corso del tempo.

Il corpo idrico principale dell'area di studio è il torrente Chiusella che nasce ai piedi del monte Marzo alimentato dalle nevi del massiccio del Gran Paradiso. Il t. Chiusella ha come affluente il torrente Bersella, piccolo corso d'acqua avente un bacino idrografico di circa 11 km² il quale ha tre aste principali che ricevono le acque provenienti dai versanti nord e nord-est rispetto a Traversella. Dopo aver

Dal punto di vista idrogeologico l'area di studio può essere divisa in due parti, quella montana e quella della piana alluvionale. La prima non ha grandi acquiferi superficiali in quanto è per lo più costituito da rocce metamorfiche, non vi sono nemmeno importanti circolazioni sotterranee poiché il suolo presenta una bassa permeabilità e poca estensione.

A livello geologico la zona di interesse presenta soprattutto Gneiss dovuti all'unità strutturale dei massicci Dora-Maira e Sesia-Lanzo. Le unità litologico-giacimentologiche hanno tre principali unità, una relativa ai giacimenti di sieniti, monzoniti, dioriti quarzifere e granodioriti, una seconda formata da gneiss occhiadini tabulari con alta densità di giunti di fratturazione ed infine vi è una terza unità con micascisti micascisti gneissici, micascisti quarziticci, micascisti filladici.

La zona in questione presenta dei giacimenti minerari (Riondello, Castiglione e Ferriere) in particolare collocati nella parte nord-orientale della Valchiusella, hanno caratteristiche simili in quanto la loro formazione è legata allo stesso evento ovvero la l'intrusione del Plutone di Traversella. Di seguito, in Figura 9, viene riportata la litografia dell'area in oggetto.

Il fenomeno studiato fa parte di un dissesto a scala più grande che comprende le coltri eluviali, colluviali e il substrato roccioso. Il movimento franoso viene descritto come “un colamento lento a cui è associata una componente di scivolamento descrivibile come scivolamento rotazionale” (Casale M.)

Vi è una grande correlazione tra le piogge ed i movimenti franosi, è possibile trovare un valore critico di acqua caduta che permetta l'innesco di una frana ma questo dipenderà da sito a sito poiché sarà correlato alla natura del terreno, alla quantità d'acqua già presente in esso e quindi alle piogge passate. È stato studiato

che l'innescò di un dissesto si verifica dopo il picco di precipitazioni (ore, talvolta giorni). In uno studio eseguito sugli eventi alluvionali del novembre 1994 relativo ai fenomeni franosi che ne sono scaturiti nel nord Italia è stato appurato che l'innescò si ha per precipitazioni di circa 80-100 mm/giorno con un'alta instabilità del pendio in esame per 120 mm/giorno. (Oggeri C.)

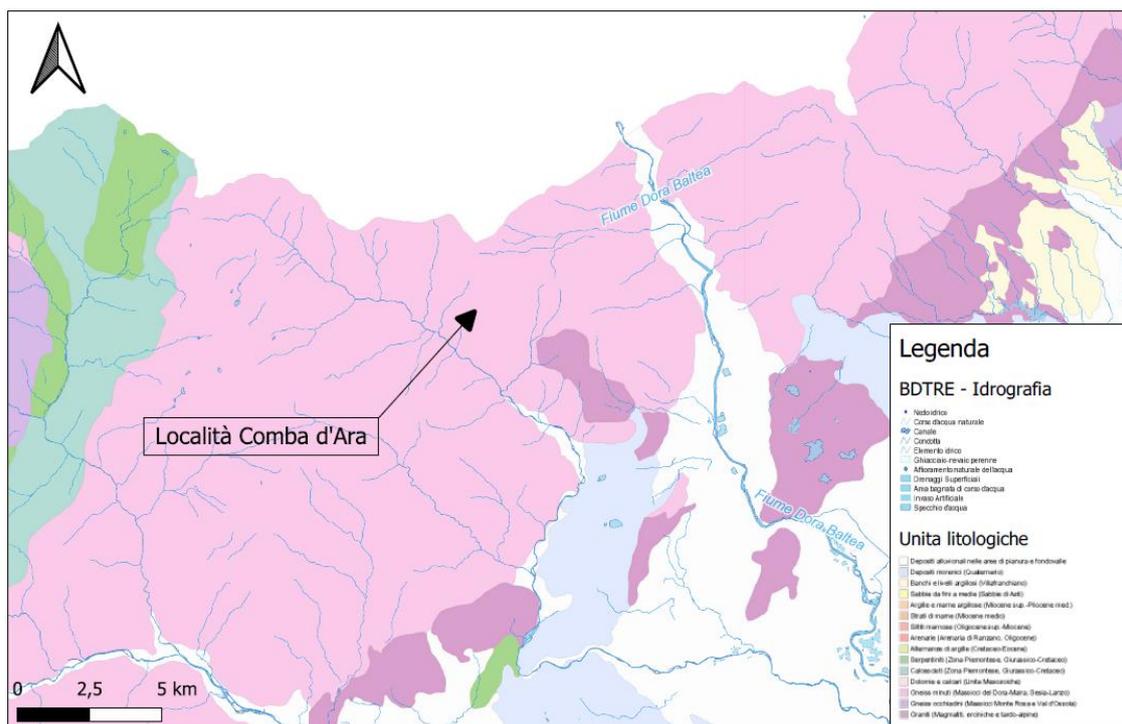


Figura 9 Litografia dell'area di studio

4.3 Stratigrafia

La stratigrafia dell'area di studio è nota grazie ai numerosi studi relativi al Plutone, questi evidenziano diverse aree con caratteristiche specifiche dovute ai numerosi fenomeni avvenuti nel corso del tempo.

Oltre ai dati storici si è potuto avere un riscontro diretto attraverso i risultati delle campagne di installazione degli strumenti di monitoraggio. Sono state effettuate due campagne, la prima risale al 1978 in cui sono state effettuate 4 perforazioni denominate rispettivamente S1, S2, S3 ed S4; ognuna di queste comprende un inclinometro ed uno o più piezometri, la seconda campagna risale al 1989-1990 in cui sono stati aggiunti due inclinometri, a S1 ed S2, in particolare 1alto e 2basso. Di seguito sono descritti i punti delle perforazioni e ciò che è stato estratto durante le stesse.

- S1 (45,502 7,757) risulta che alla profondità di 10m vi siano sabbie limose, a 11m limi e a 20m roccia.
- S2 (45,503 7,755) risulta che alla profondità di 14.5m vi siano sabbie limose e a 20 m ghiaie sabbiose limose
- TI1 (45,503 7,755) risulta che alla profondità di 2.9m vi sia detrito di scisto con poco materiale argilloso, a 9m scisti sericitici molto alterati, a 13m materiale argilloso di scisto alterato, a 16.6m scisti sericitici alterati in alternanza con materiale argilloso, a 24.3m materiale argilloso di scisto alterato e a 26m scisto sericitico compatto
- TI2 (45,503 7,754) risulta che alla profondità di 0.8m vi sia terreno vegetale limoso argilloso, a 4.5m vi sono trovanti di scisto in matrice

argillosa, a 21m alternanze di scisto sericitico poco compatto alterato con livelli di argilla e a 24m scisto sericitico compatto e fratturato

- TI3 (45,503 7,755) risulta che alla profondità di 13.2m vi sia terreno argilloso con trovanti di scisto sericitico poco compatto ed a 21.5m scisto sericitico mediamente compatto e molto fessurato
- TI4 (45,502 7,756) risulta che alla profondità di 0.4m vi sia terreno di riporto ghiaia ciottoli, a 12.6m terreno argilloso limoso con trovanti di scisto molto alterato, 18m alternanze di scisto alterato con terreno argilloso limoso ed a 24m scisto sericitico mediamente compatto

Da quest'analisi risulta una tendenza ad un terreno argilloso limoso con trovanti di scisto che varia dal compatto e fratturato all'alterato. In Figura 10 Figura 11 Figura 12 Figura 13 Figura 14 Figura 15 Figura 16 Figura 17 Figura 18 sono riportati i documenti relativi alle perforazioni ottenuti tramite Arpa Piemonte

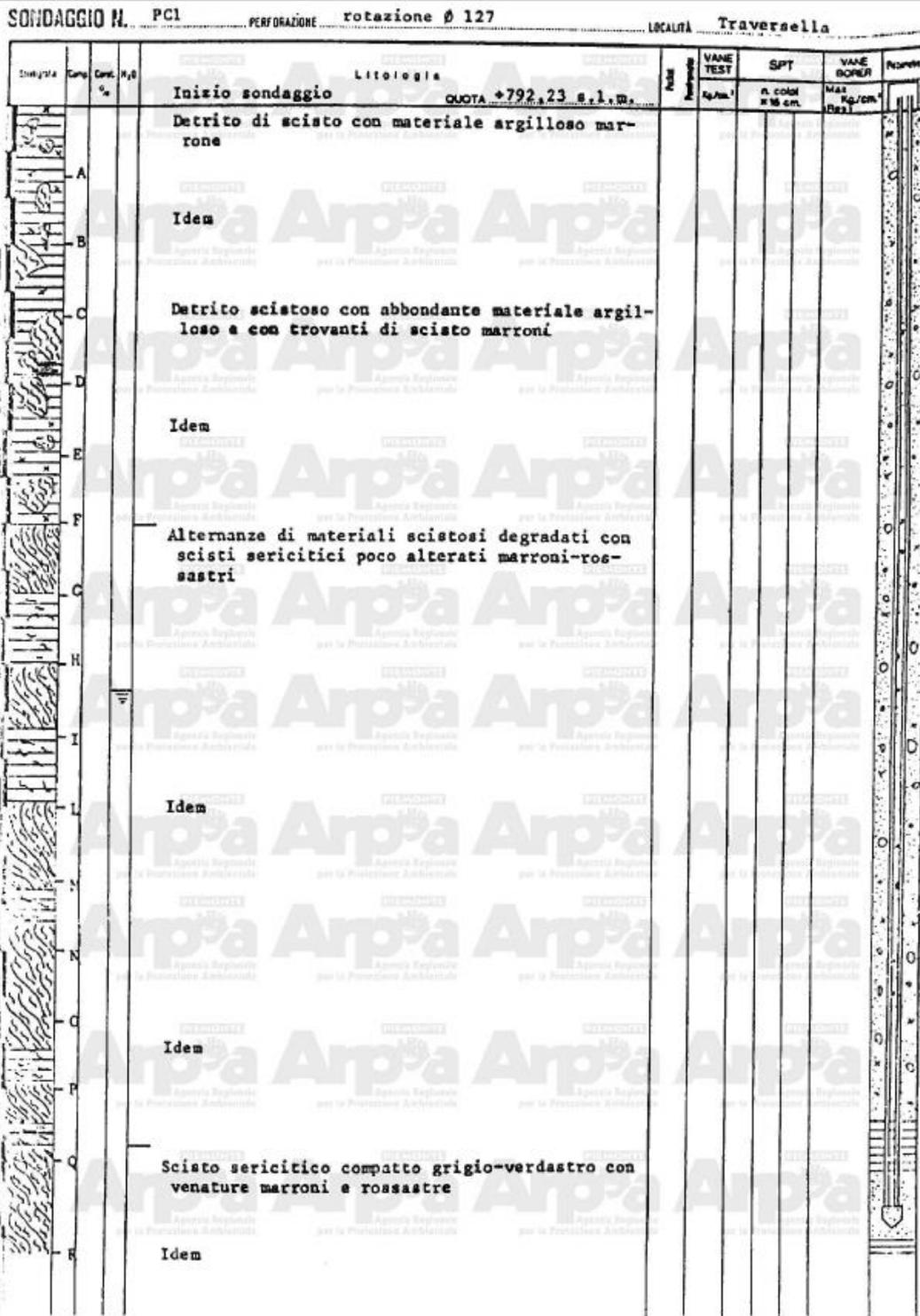


Figura 10 Dati perforazione sondaggio PCI

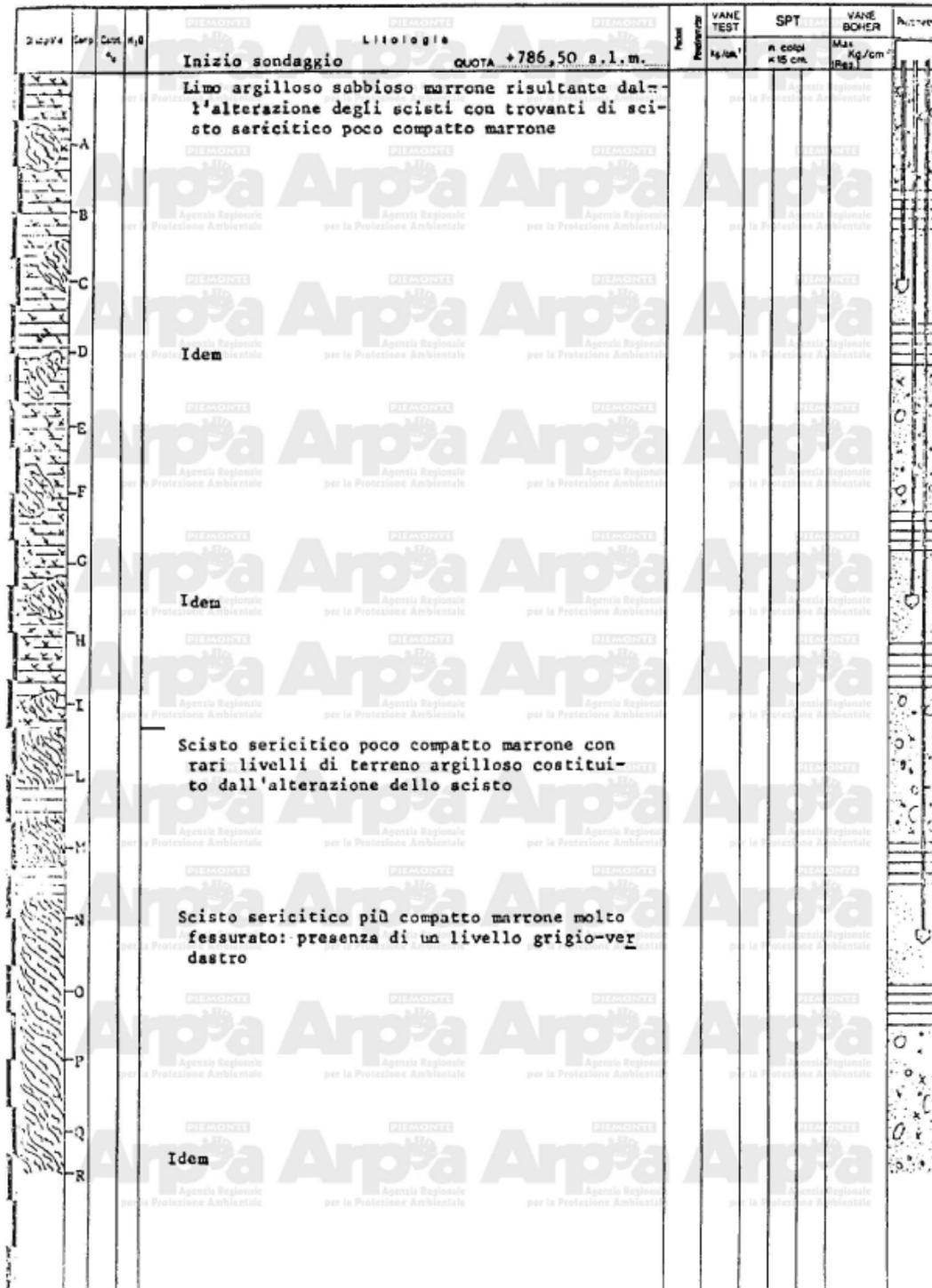


Figura 11 Dati perforazione sondaggio PC2

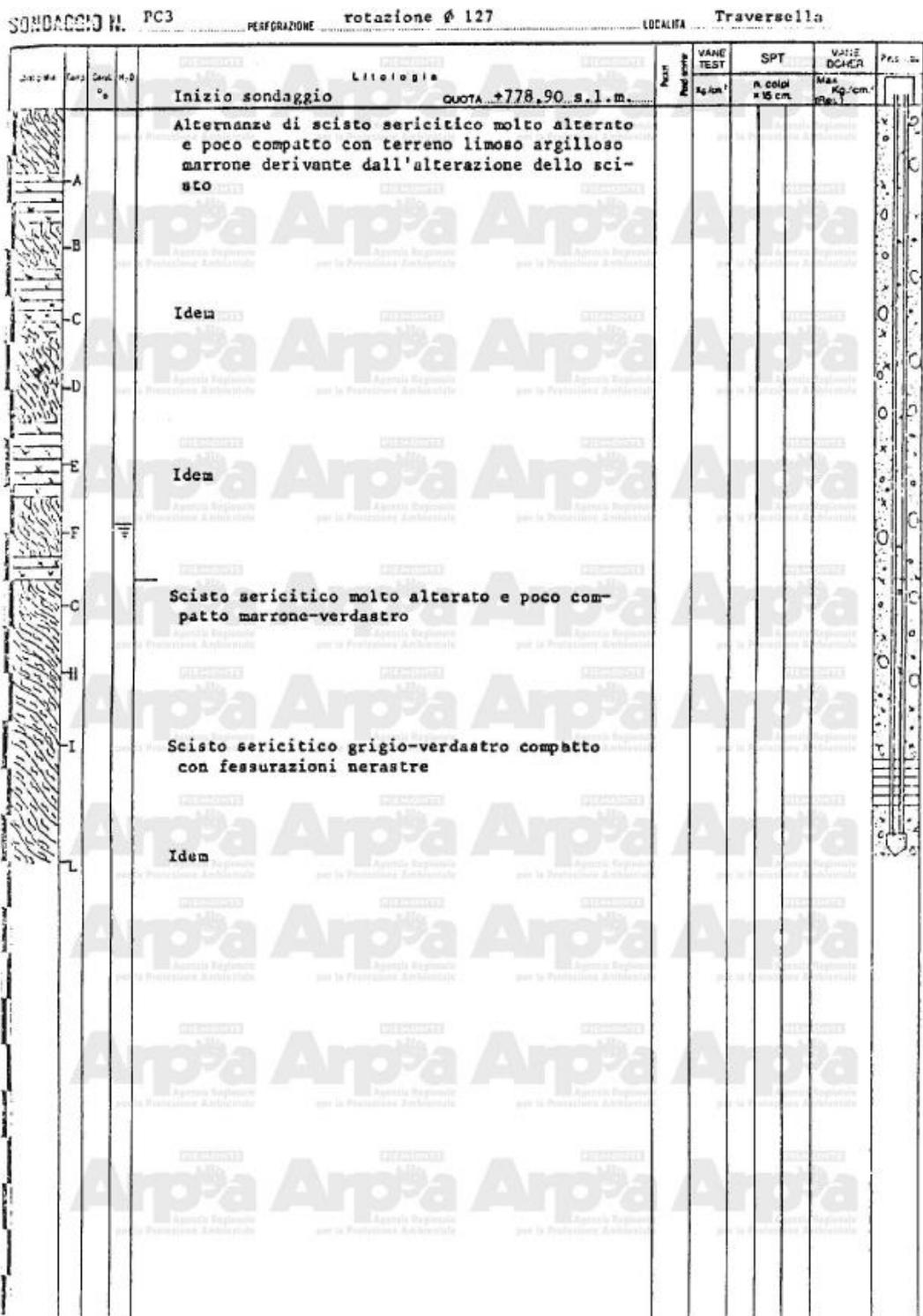


Figura 12 Dati perforazione sondaggio PC3

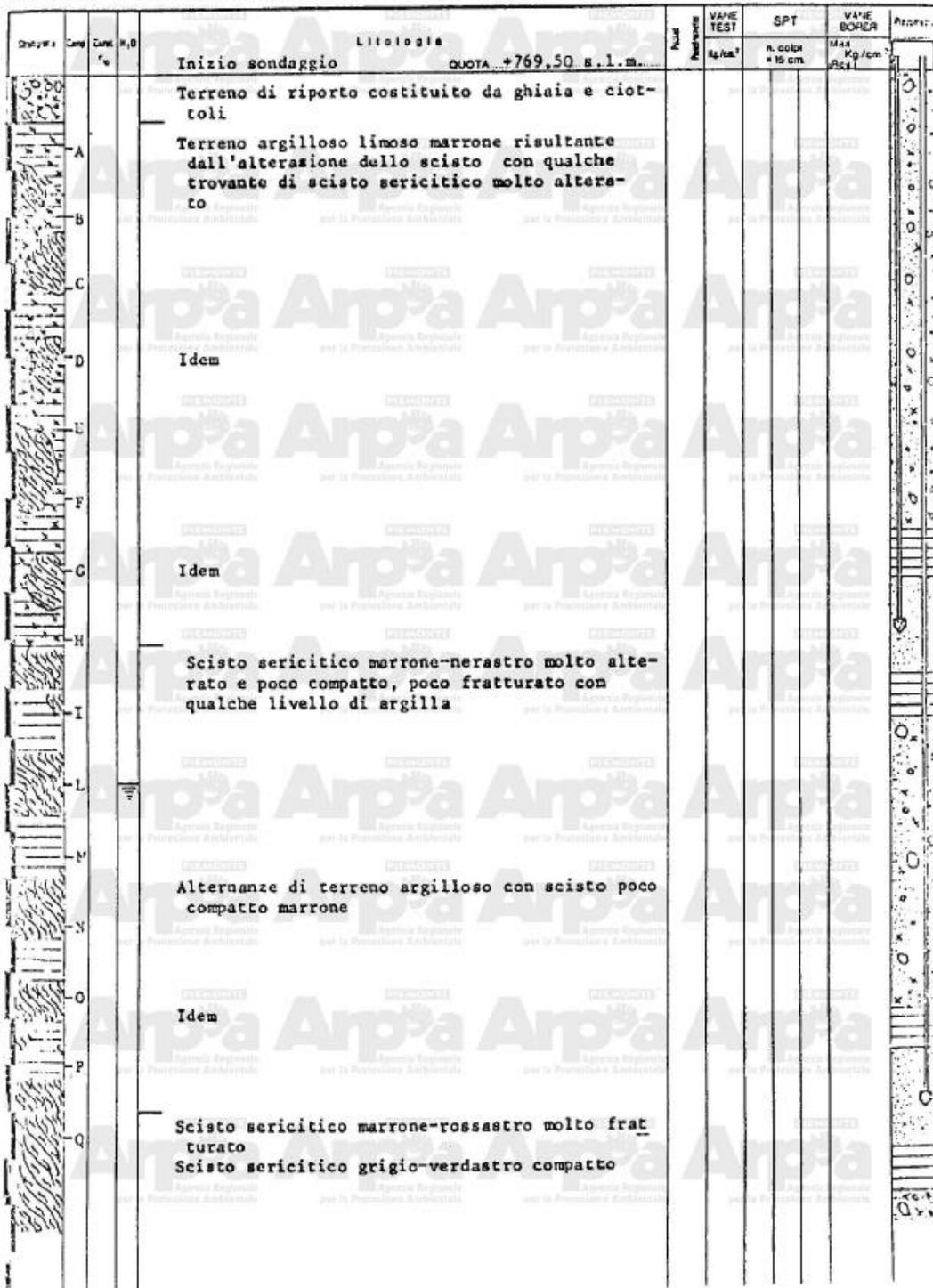


Figura 13 Dati perforazione sondaggio PC4

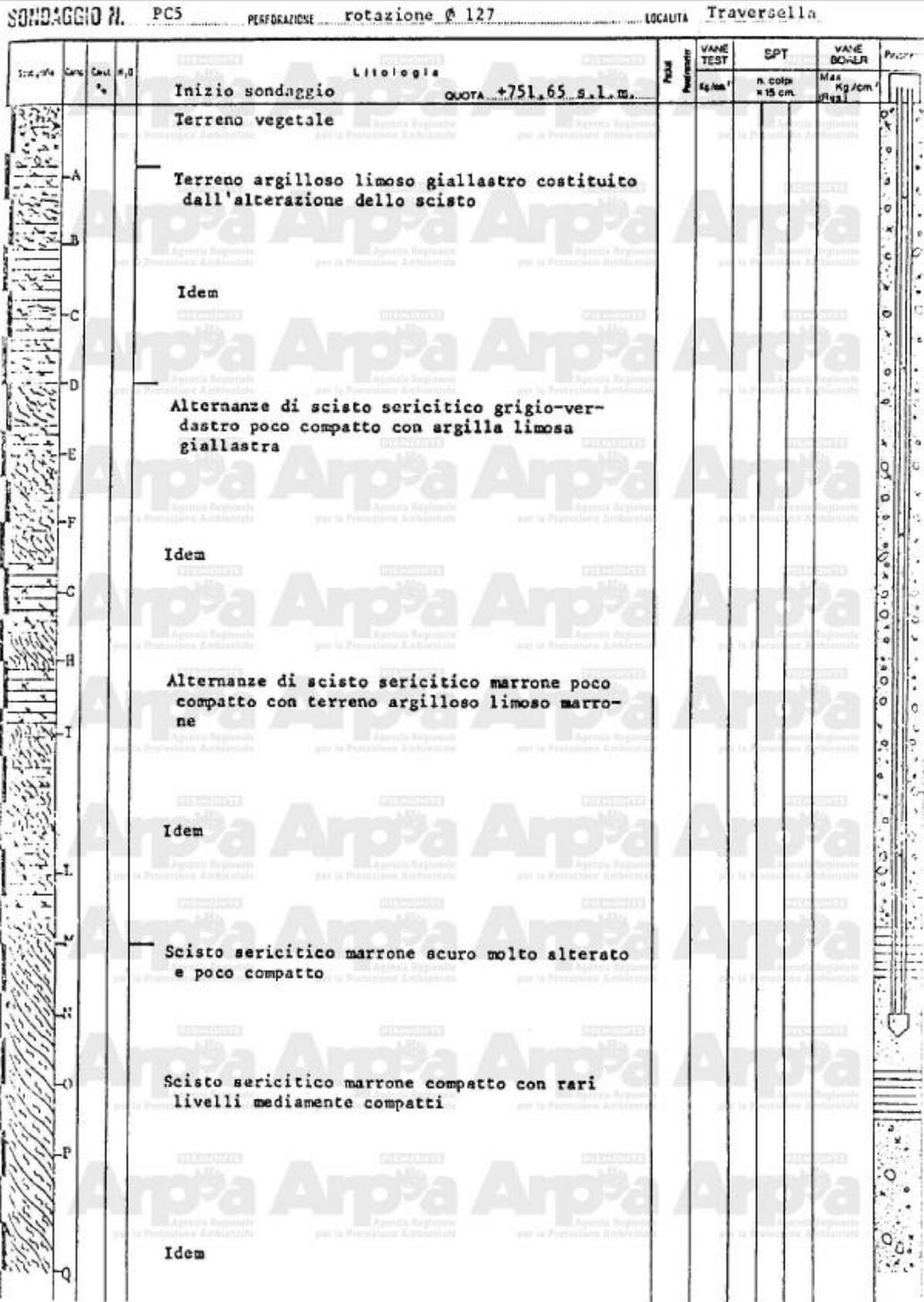


Figura 14 Dati perforazione sondaggio PC5

SONDACCIO N. T11 PERFORAZIONE rotazione Ø 127 LOCALITÀ Traversella

Profondità Car. m	Car. %	Profondità m,0	Litologia	Unità litologica	VANE TEST Kg/cm ²	SPT n. colpi a 15 cm	Vol. di BOHEM M ³ Kg/cm ³	Incl.
			Inizio sondaggio					
			QUOTA +792,30 s.l.m.					
			Detrito di scisto con poco materiale argilloso marrone e trovanti					
A								
B			Scisti sericitici molto alterati grigiastri con venature rossastre					
C								
D			Idem					
E								
F								
G			Materiale argilloso costituito da scisto al- terato marrone con pietrisco scistoso					
H			Idem					
I			Scisti sericitici alterati alternati a mate- riale argilloso marrone					
L								
M			Materiale argilloso costituito da scisto al- terato marrone					
N								
O								
P			Idem					
Q								
R			Scisto sericitico compatto grigio-verdastro con venature rossastre					

Figura 15 Dati perforazione sondaggio T11

SONDAGGIO N. **TI2** PERFORAZIONE rotazione ϕ 127 LOCALITA' **Traversella**

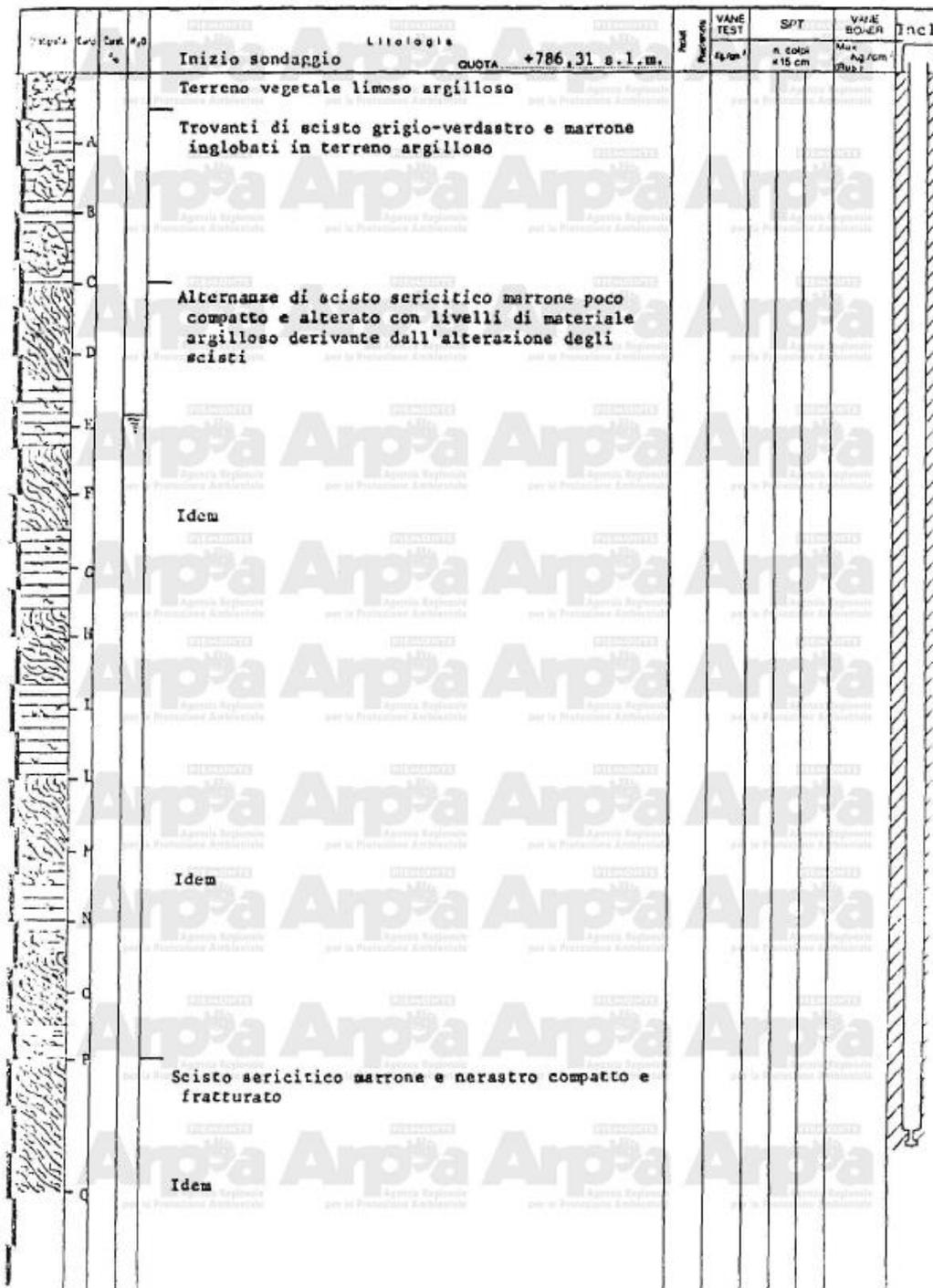


Figura 16 Dati perforazione sondaggio TI2

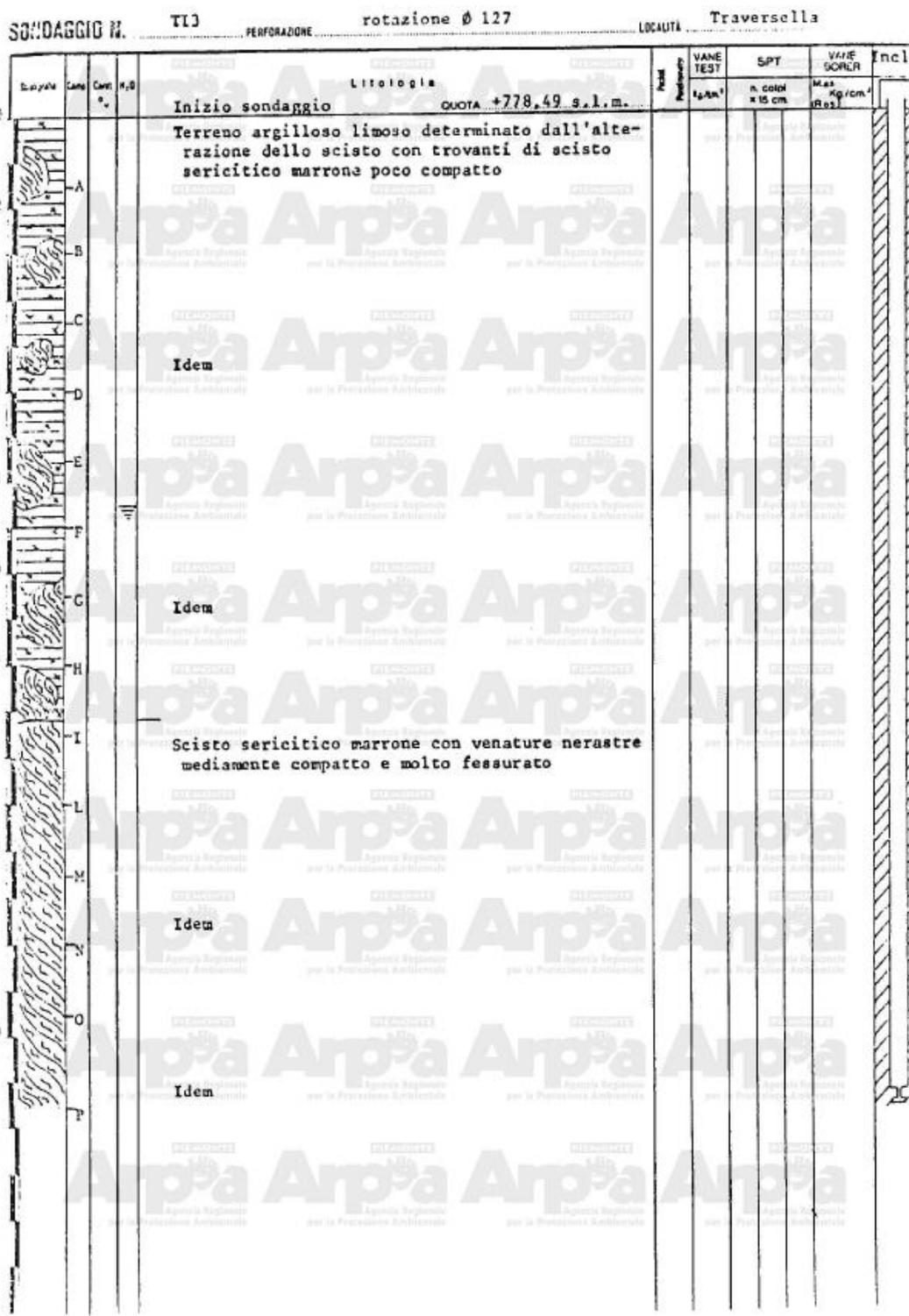


Figura 17 Dati perforazione sondaggio T13

SONDAGGIO N. TI4 PERFORAZIONE rotazionale Ø 127 LOCALITÀ Traversella

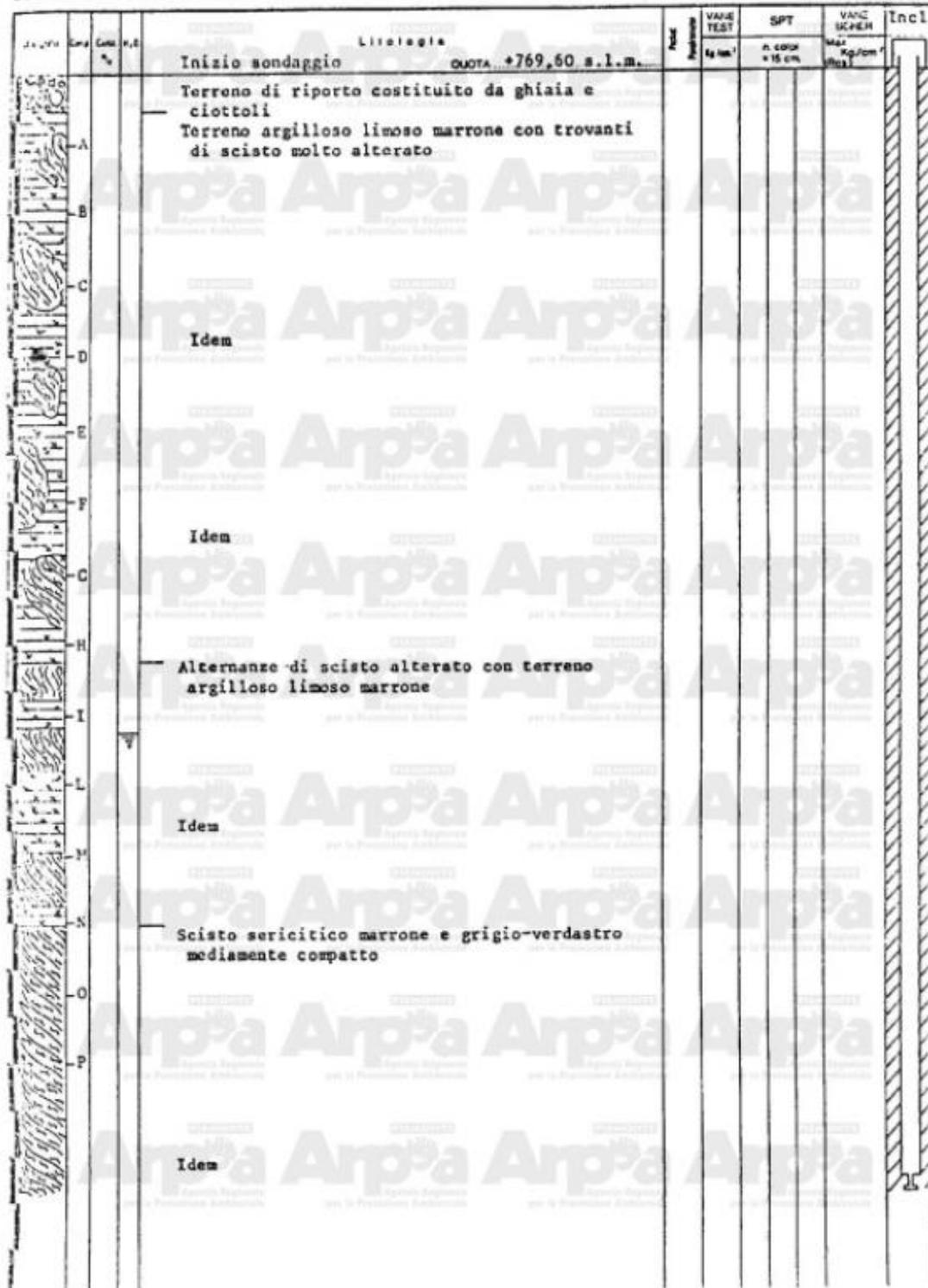


Figura 18 Dati perforazione sondaggio TI4

5. Storico degli interventi eseguiti per il consolidamento del movimento franoso

5.1 Interventi passati

Le prime testimonianze del fenomeno franoso risalgono alla fine degli anni '70 (1978), successivamente si è verificato uno degli eventi più significativi che risale al 27/05/1981 ed in seguito si sono susseguite diverse riattivazioni del movimento causate soprattutto da eventi pluviometrici intensi e prolungati.

Il fenomeno franoso ha quindi provocato danni sia alla sede stradale, che nel corso degli anni ha visto numerose manutenzioni sia alle aree circosanti per cui sono stati eseguiti lavori di consolidamento e drenaggio delle acque di falda.

Di seguito vengono riportati i lavori eseguiti e l'anno di esecuzione.

- Nel 1987 sono stati eseguiti lavori di consolidamento del fenomeno franoso da parte di Andrea Lazzari, Giovanni Arcuri e Vincenzo Cocco. In particolare sono stati realizzati 26 dreni suborizzontali microfessurati disposti su due fasce di versante (diametro esterno 3" e lunghezza 40 m), relative canalette superficiali per la raccolta delle acque. Per contrastare la spinta del terreno sono state disposte piastre nervate in C.A. ancorate al substrato roccioso attraverso tiranti con capacità di 60 t.
- Nel 1994 sono stati effettuati lavori di consolidamento del fenomeno franoso a cura di Andrea Lazzari.

- Il 30/07/2002 è stata eseguita una relazione di sopralluogo in località Gaido-Combadaara per il comune di Traversella a da parte di Ilaria Prinzi e Carlo Troisi.
- Nel Marzo 2004 è stato realizzato un sistema di controllo dei fenomeni franosi per la zona di Comba d'Ara e Delpizzen coordinato da Raffaele Perrone, Carlo Troisi e Arpa Piemonte.
- Dal 21 al 25 Novembre 2019 è stato nuovamente eseguito un intervento di sistemazione e consolidamento del movimento franoso al km 15+100 in località Comba d'Ara.

Sono state eseguite anche due campagne per l'installazione di strumenti di monitoraggio nel 1978 e nel 1989-1990 di cui si ha una relazione più accurata nel capitolo ad esse dedicato.

In seguito in Figura 19, Figura 20, Figura 21, Figura 22 e Figura 23 vengono allegate immagini risalenti ai primi interventi di consolidamento (Sifrap)



Figura 19 Evidenze superficiali della massa in movimento, anni '80



Figura 20 Interventi di monitoraggio sul corpo di frana



Figura 21 Interventi di sistemazione sul corpo di frana, dreni e canalette superficiali



Figura 22 Interventi di sistemazione sul corpo di frana: gabbionata nel settore inferiore, dreni e canaletta superficiale



Figura 23 Particolare di trefoli del vecchio sistema di tirantatura

5.2 Interventi presenti

Gli ultimi interventi eseguiti risalgono alla fine del 2021 proseguendo anche nei mesi di Gennaio e Febbraio 2022. Sono stati effettuati in seguito ad un movimento del corpo frana che ha interessato nuovamente l'area già nota al km 15+100, in seguito a quanto accaduto è stato effettuato un intervento di sistemazione e consolidamento a cura dell'Ing. Geol. Marco Casale.

Il lavoro svolto ha lo scopo di ripristinare le condizioni di sicurezza dell'area colpita, in particolare della sede stradale e non quello di stabilizzare definitivamente il fenomeno poichè sarebbero necessari interventi di maggiore estensione e più onerosi.

In seguito ad indagini sulla stabilità del pendio è stata ritenuta necessaria l'installazione di dreni della lunghezza di 40 m e diametro di 90 mm eseguiti con tubi in PVC microfessurati e protetti con una calza di tessuto non tessuto, oltre a questi viene realizzato un sostegno eseguito con la tecnica della scogliera cementata posizionata a monte della strada provinciale per attuare una cunetta alla francese; l'insieme di queste opere permetterà di regimare al meglio i deflussi delle acque riducendo così l'innalzamento della linea piezometrica della falda.

Di seguito vengono illustrate immagini scattate durante la realizzazione delle opere sopracitate, in particolare le perforazioni per la posa dei dreni in Figura 24 e Figura 25, la costruzione della scogliera cementata in Figura 26 e in Figura 27 mentre in Figura 28 la posa dei canali sotterranei.



Figura 24 Perforazione precedente la posa dei dreni



Figura 25 Parte terminale dei dreni e vecchia canaletta di raccolta delle acque superficiali



Figura 26 Blocchi ciclopici per la realizzazione della scogliera



Figura 27 Inizio della posa dei blocchi per l'esecuzione della scogliera



Figura 28 Realizzazione dei canali per la regimazione delle acque posti sotto la sede stradale

6. Monitoraggio del sito

Come visto in precedenza nel corso degli anni sono stati installati diversi strumenti di monitoraggio in particolare 8 inclinometri e 2 piezometri. Gli strumenti sono stati installati a partire dal 1978 in due campagne e sono rimasti in uso fino al secondo decennio del 2000, attualmente sono tutti inattivi a causa del movimento ripetuto negli anni del corpo frana e delle occlusioni dovute al deposito di sedimenti. Attraverso le perforazioni effettuate per l'installazione degli strumenti si è potuto avere un riscontro diretto sulla stratigrafia più superficiale come visto nel capitolo inerente.

La prima campagna di installazione degli strumenti risale al 1978 in cui sono state effettuate 4 perforazioni denominate rispettivamente S1, S2, S3 ed S4. Ognuna di queste comprende un inclinometro ed uno o più piezometri, di seguito vengono descritti gli strumenti presenti:

- S1: inclinometro TI1 e piezometro PC1
- S2: inclinometro TI2 e piezometri PC2 a-b-c (Casagrande)
- S3: inclinometro TI3 e piezometro PC3
- S4: inclinometro TI4 e piezometri PC4 a-b (Casagrande)

La seconda campagna risale al 1989-1990 in cui sono stati aggiunti due inclinometri, a S1 ed S2, in particolare 1alto e 2basso.

La prima lettura è stata effettuata nel 1994 in cui si è rilevato movimento del corpo frana.

Nel 2002 è stato verificato lo stato della strumentazione ed è risultato che:

- TI1 è interrotto a 6,2 m ma non a causa del movimento franoso
- TI2 è interrotto a 9,2 m a causa del movimento franoso
- PC2 b e c interrotti a 9,1 m dal movimento franoso
- TI3 è interrotto a 11 m a causa del movimento franoso
- PC3 è interrotto a 11 m a causa del movimento franoso
- TI4 è interrotto a 4 m a causa del movimento franoso
- PC4 a-b risultano distrutti
- 1alto interrotto a 12 m e segna un movimento a 11,5 m
- 2basso risulta un movimento a 4 m

In Figura 29 sono riportati tutti i dati sopra descritti ottenuto attraverso il SIFRaP (Sistema Informativo Frane in Piemonte)

Stato della strumentazione installata sul movimento franoso di Traversella loc. Comba d'Ara			
CAMPAGNA N°1			
anno 1978			
Lo studio tecnico definisce mov. <i>Creep</i> passante a Scivolamento rotazionale in coperture detritiche, superf. 7-11 m			
perforazione	tubo	strumento	stato al 2002
S1	TI1	inclinometro	interr. 6,2 metri NON dal movimento franoso
	PC1	piezometro	
S2	TI2	inclinometro	interrotto 9,2 m dal movimento franoso
	PC2 a-b-c	piez. Casagrande	b, c interrotti a 9,1 metri dal movimento franoso
S3	TI3	inclinometro	interrotto a 11 m dal movimento franoso
	PC3	piezometro	interrotto a 11 m dal movimento franoso
S4	TI4	inclinometro	interrotto a 4 metri dal movimento franoso
	PC4 a-b	piez. Casagrande	distrutti
CAMPAGNA N°2			
anno 1989-1990			
strumenti hanno rilevato movimento dalla prima lettura di esercizio (origine 1992, 1° lettura 1994)			
perforazione	tubo	strumento	stato al 2002
S1	1ALTO	inclinometro	interrotto a 12 m , movimento a 11,5 m
S2	2BASSO	inclinometro	movimento a 4 metri

Figura 29 Descrizione strumenti installati nelle prime due campagne e loro stato al 2002

Di seguito vengono riportate le ultime misure rilevate dagli strumenti.

Nella Figura 30 sono presenti tutti gli strumenti con relativi: nome, codice, profondità originaria e misurata, livello dell'acqua al piano campagna per i piezometri, diametro interno, materiale, tipo e stato terminale protettivo, presenza del lucchetto, profondità di un eventuale deformazione ed annotazioni. Tutte le informazioni sono state ricavate da Arpa e ReRCoMF rete regionale controllo movimenti franosi

Scheda Riassuntiva delle Misure e Stato della Strumentazione

Comune: TRAVERSELLA (TO)
 Località: Comba d'ara
 Operatori: Mazzoil
 Sonda impiegata: ARPA2 - Data Taratura: 20/05/2016
 Data delle Misure: 01/06/2016

Tipo strumento	Nome	Codice	profondità originaria (m)	profondità misurata (m)	livello H2O da piano campagna (m)	diametro interno (mm)	materiale	automatizzato	tipo terminale protettivo	stato terminale protettivo	lucchetto	profondità della eventuale deformazione (m)	annotazioni
tubo inclinometrico	S1	I6TRVA6	20.0	20.0	9.00	76	Alluminio		elevazione cemento	buono	si	4.00	
tubo inclinometrico	S2	I6TRVA7	20.0	/	/	76	Alluminio		elevazione metallo	buono	si		Tubo tranciato da movimento.
tubo inclinometrico	2BASSO	I6TRVA1	24.5	3.5	18.00	76	Alluminio		elevazione cemento	buono	no	3.00	Inclinometro tranciato alla profondità di 3.5 metri per incremento della deformazione.
tubo piezometrico	Pc2A	P6TRVA0	5.0	/	/	50	PVC		elevazione cemento				Misure manuali interrotte
tubo piezometrico	Pc2B	P6TRVA1	9.5	/	/	50	PVC		elevazione cemento				Misure manuali interrotte
tubo piezometrico	Pc2C	P6TRVA2	9.3	/	/	50	PVC		elevazione cemento				Misure manuali interrotte
tubo piezometrico	Pc3	P6TRVA3	11.3	/	/	50	PVC		elevazione cemento				Misure manuali interrotte

Figura 30 Dati Inclinometri e piezometri nella località di Comba d'Ara

Di seguito vengono riportati per l'inclinometro "2Basso" i dati relativi a: risultante (movimento per sommatoria) Figura 31, Azimut (angolo tra movimento sommatoria ed est in senso antiorario) Figura 32, risultante (movimento per punti rispetto all'origine) Figura 33.

Nella Figura 34 sono riportati i dati elaborati riguardanti il movimento per sommatoria e il movimento per punti rispetto all'origine.

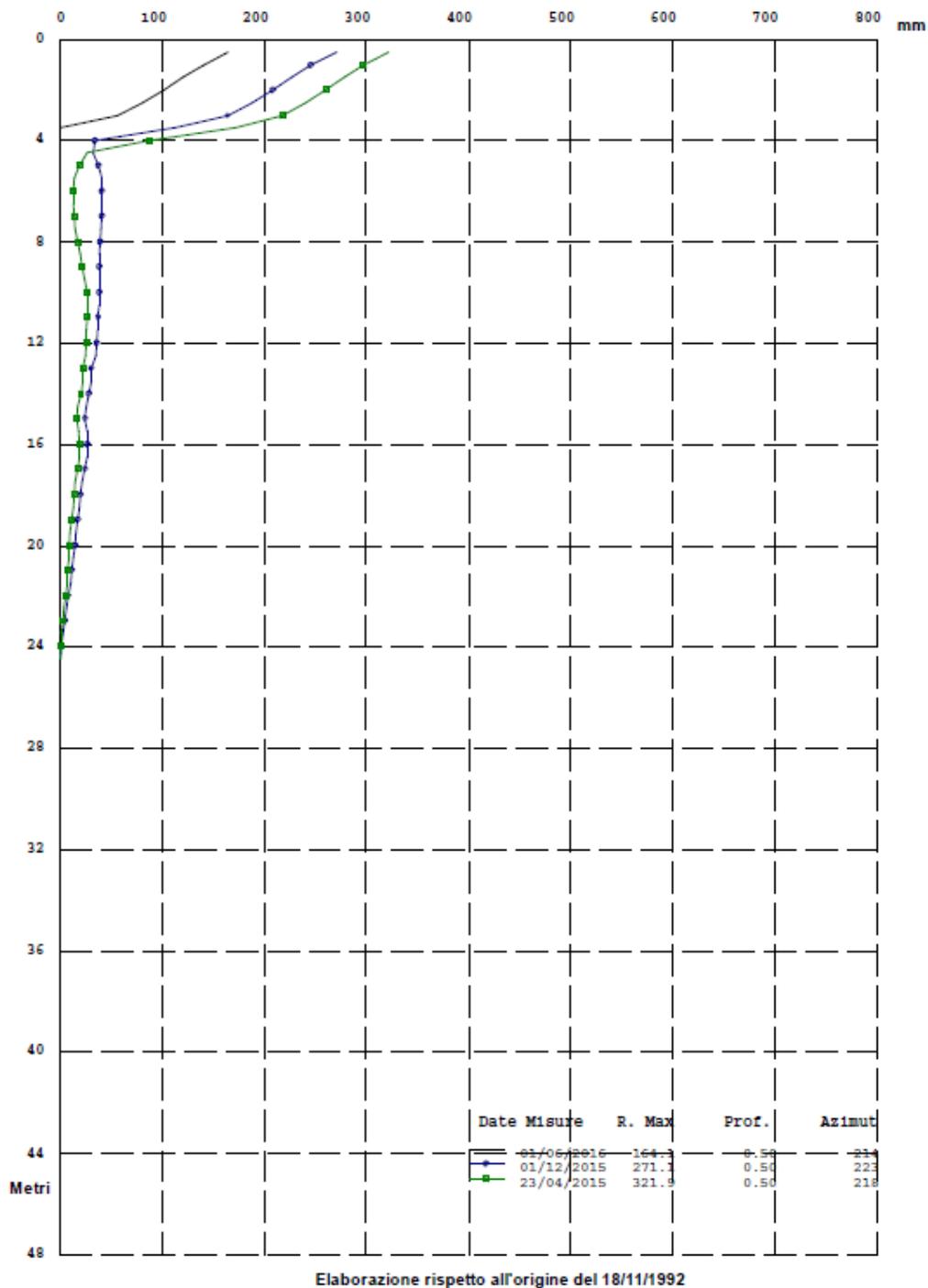


Figura 31 Risultante movimento per sommatoria 2Basso

Zona : TRAVERSELLA (TO) Comba d'ara Tubo: 2BAS Id: O16TRVA1

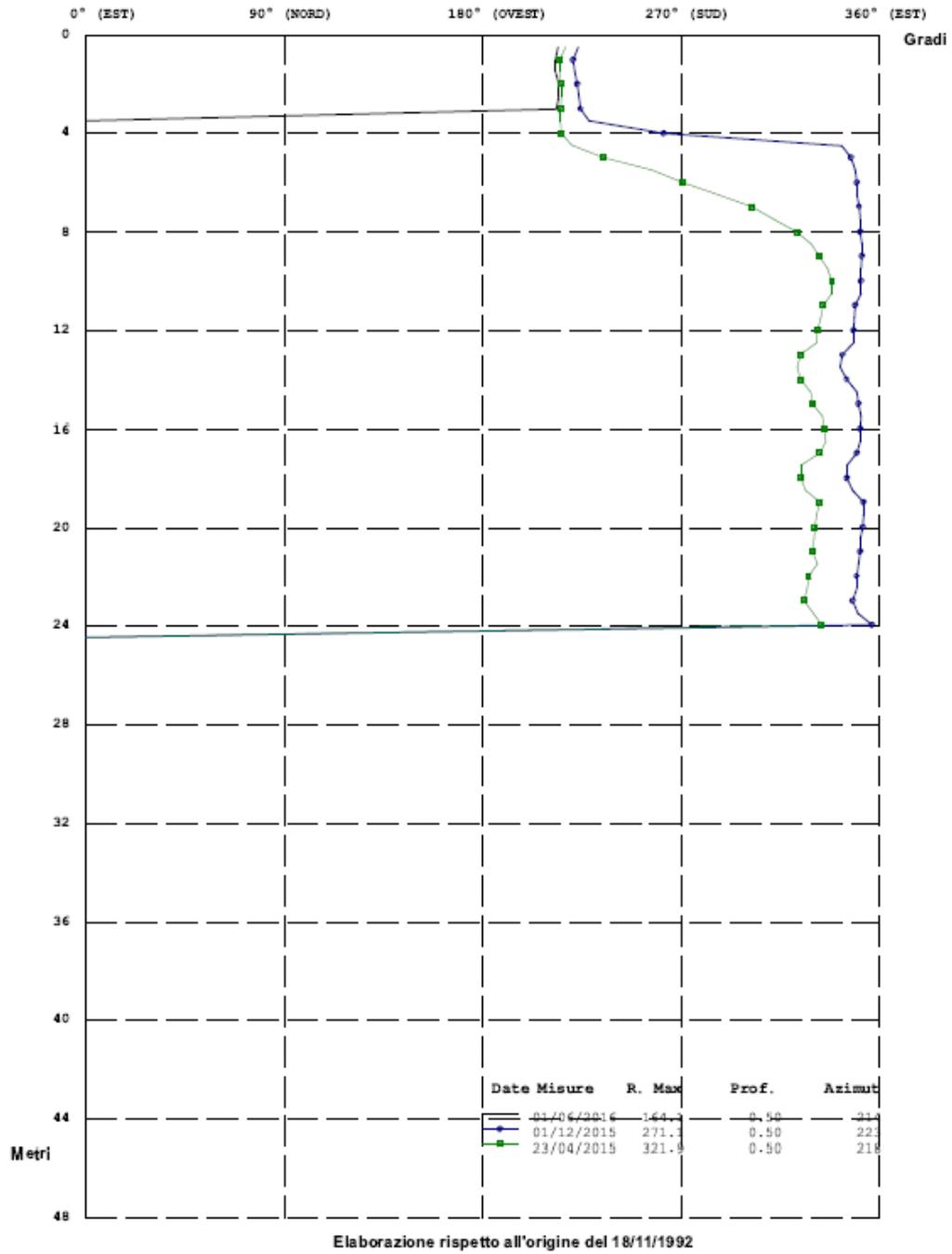


Figura 32 Azimut 2basso

Zona : TRAVERSELLA (TO) Comba d'ara Tubo: 2BAS Id: OI6TRVA1

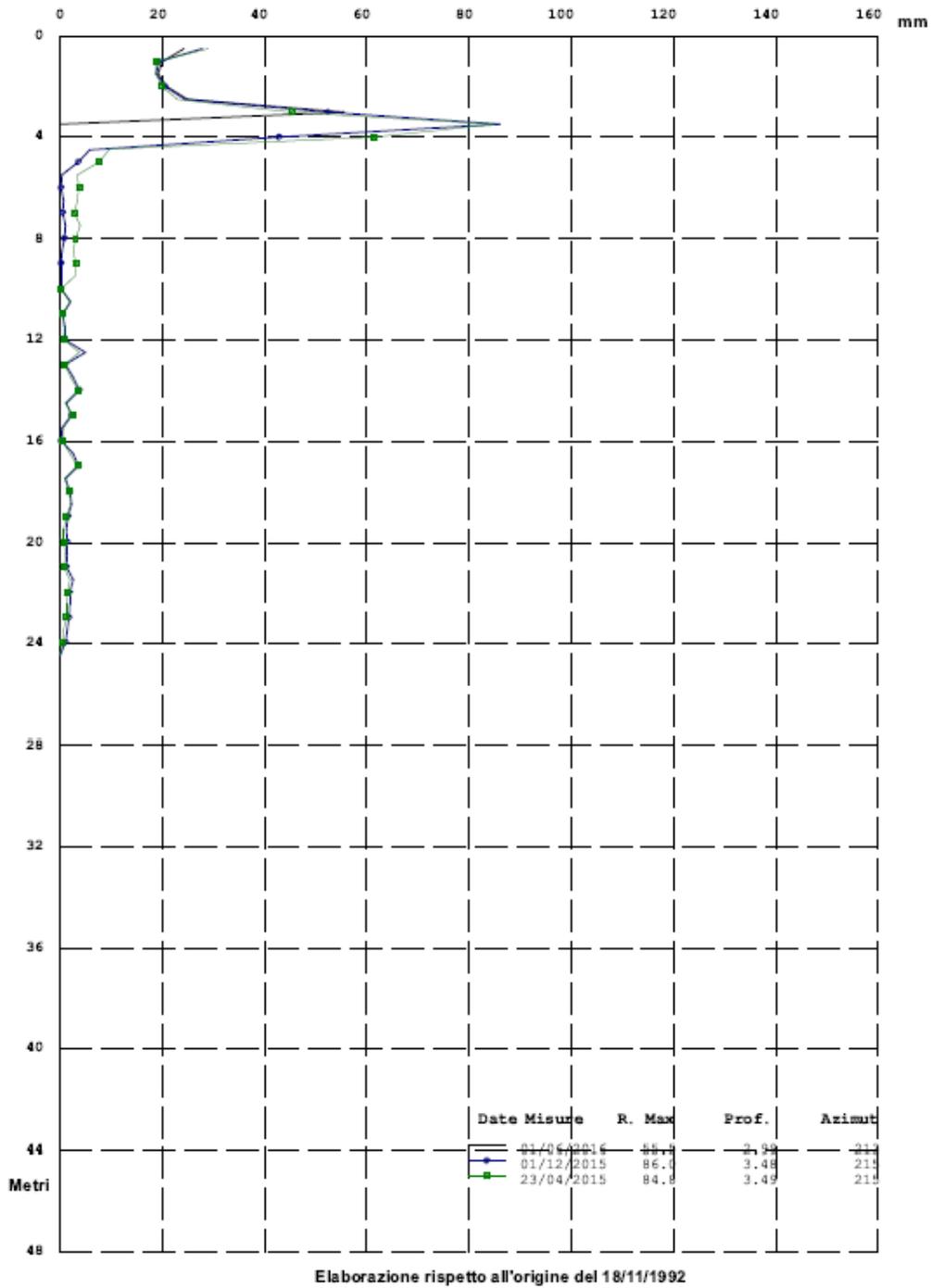


Figura 33 Risultante per punti rispetto all'origine

Zona : TRAVERSELLA (TO) Comba d'ara
 Identificativo Tubo OI6TRVA1
 Quota Acqua 18.
 Correzione Azimutale -130

Tubo: 2BAS Misura del : 01/06/2016 N°: 48
 Sonda Usata ARPA2
 Corr. Sensibilità Sonda A : -20000 B : 20000
 Correzione Angolare 0

N°	A1	A2	B3	B4	B1	B2	A3	A4	Spira.
1	0	0	-1116	1212	0	0	150	155	0
2	0	0	-1002	1015	0	0	-109	79	0
3	0	0	-959	962	0	0	-80	62	0
4	0	0	-947	912	0	0	114	-80	0
5	0	0	-1139	1120	0	0	147	-148	0
6	0	0	-2579	2202	0	0	5	78	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Zona : TRAVERSELLA (TO) Comba d'ara

Tubo: 2BAS

Misura del : 01/06/2016

Movimento per Sommatoria Rispetto all'Origine Del : 18/11/1992

N°	Profondità m.	Differenza X mm.	Differenza Y mm.	Risultante mm.	Azimu t (°)
1	0.50	-136.2	-91.6	164.1	213.93
2	1.00	-117.8	-75.8	140.1	212.76
3	1.50	-100.7	-65.5	120.1	213.03
4	2.00	-83.4	-57.4	101.2	214.53
5	2.50	-66.4	-45.4	80.4	214.36
6	2.99	-46.5	-30.4	55.5	213.24
7	3.49	0.0	0.0	0.0	0.00

Zona : TRAVERSELLA (TO) Comba d'ara

Tubo: 2BAS

Misura del : 01/06/2016

Movimento Per Punti rispetto all' Origine Del : 18/11/1992

N°	Profondità m.	Differenza X mm.	Differenza Y mm.	Risultante mm.	Azimu t (°)
1	0.50	-18.4	-15.8	24.3	220.68
2	1.00	-17.0	-10.3	19.9	211.17
3	1.50	-17.3	-8.1	19.1	205.05
4	2.00	-17.0	-12.0	20.8	215.17
5	2.50	-19.9	-14.9	24.9	216.87
6	2.99	-46.5	-30.4	55.5	213.24
7	3.49	0.0	0.0	0.0	0.00

Figura 34 Dati elaborati riguardanti il movimento per sommatoria e il movimento per punti rispetto all'origine

Di seguito vengono riportati per l'inclinometro "S1" i dati relativi a: risultante (movimento per sommatoria) Figura 35, Azimut (angolo tra movimento sommatoria ed est in senso antiorario) Figura 36, risultante (movimento per punti rispetto all'origine) Figura 37.

In Figura 38 e in Figura 39 sono riportati i dati elaborati riguardanti il movimento per sommatoria e il movimento per punti rispetto all'origine.

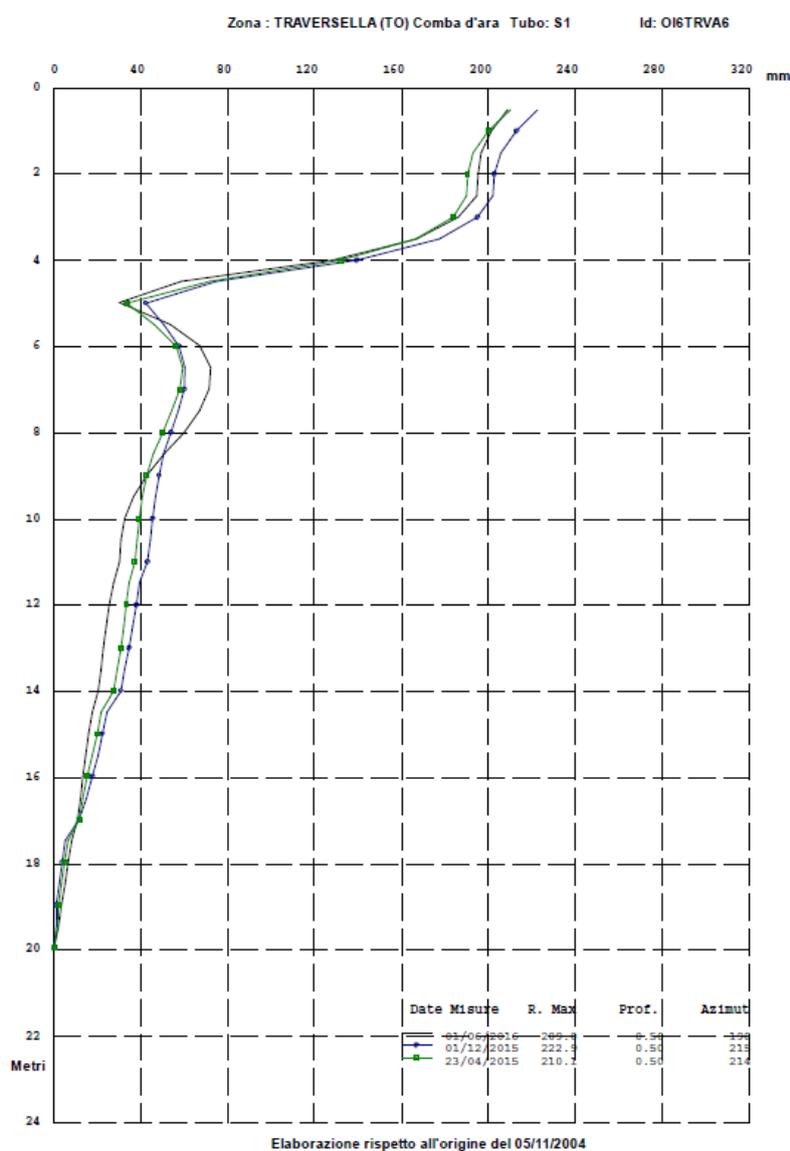


Figura 35 Risultante movimento per sommatoria inclinometro "S1"

Zona : TRAVERSELLA (TO) Comba d'ara Tubo: S1

Id: O16TRVA6

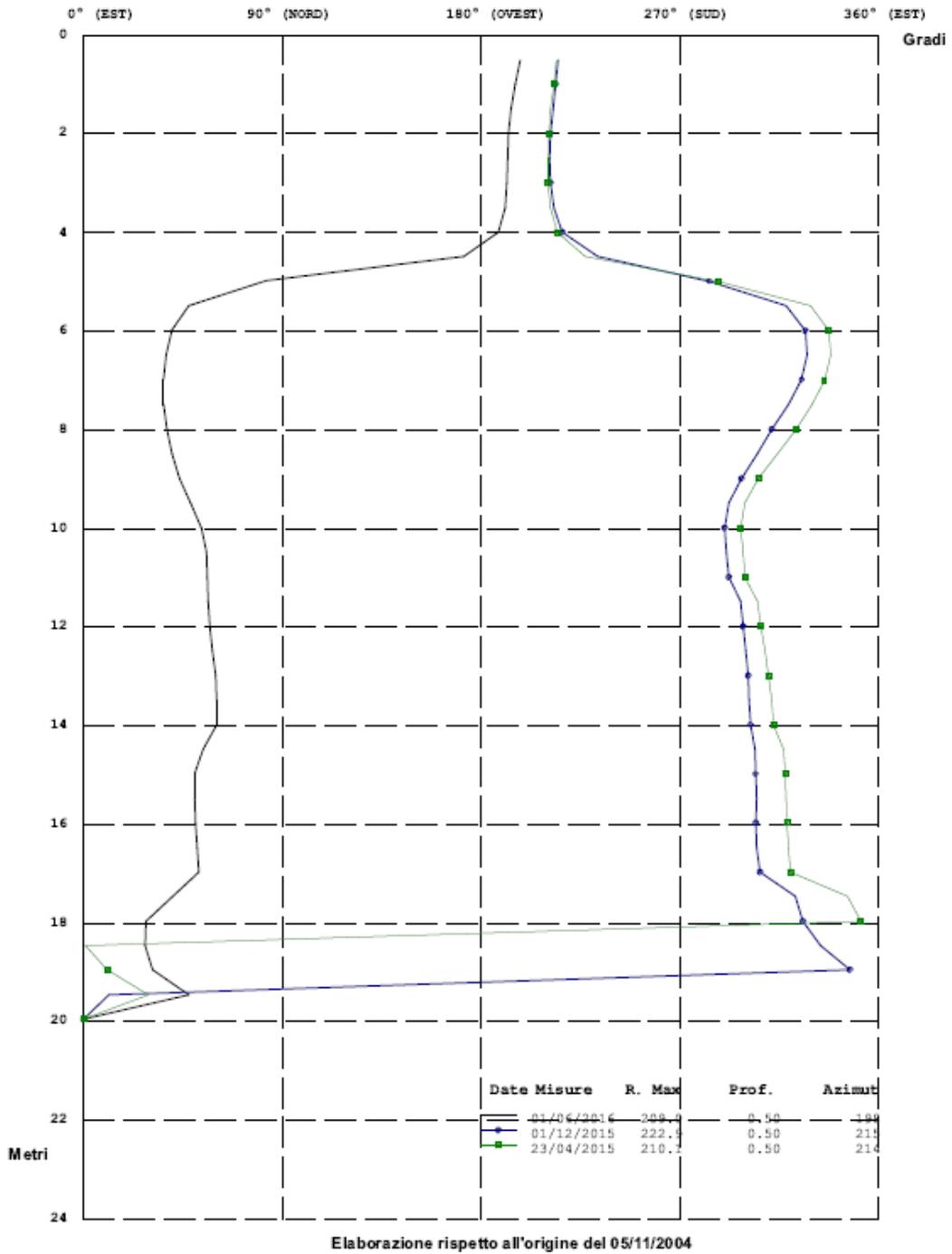


Figura 36 Azimut inclinometro "SI"

Zona : TRAVERSELLA (TO) Comba d'ara Tubo: S1

Id: O16TRVA6

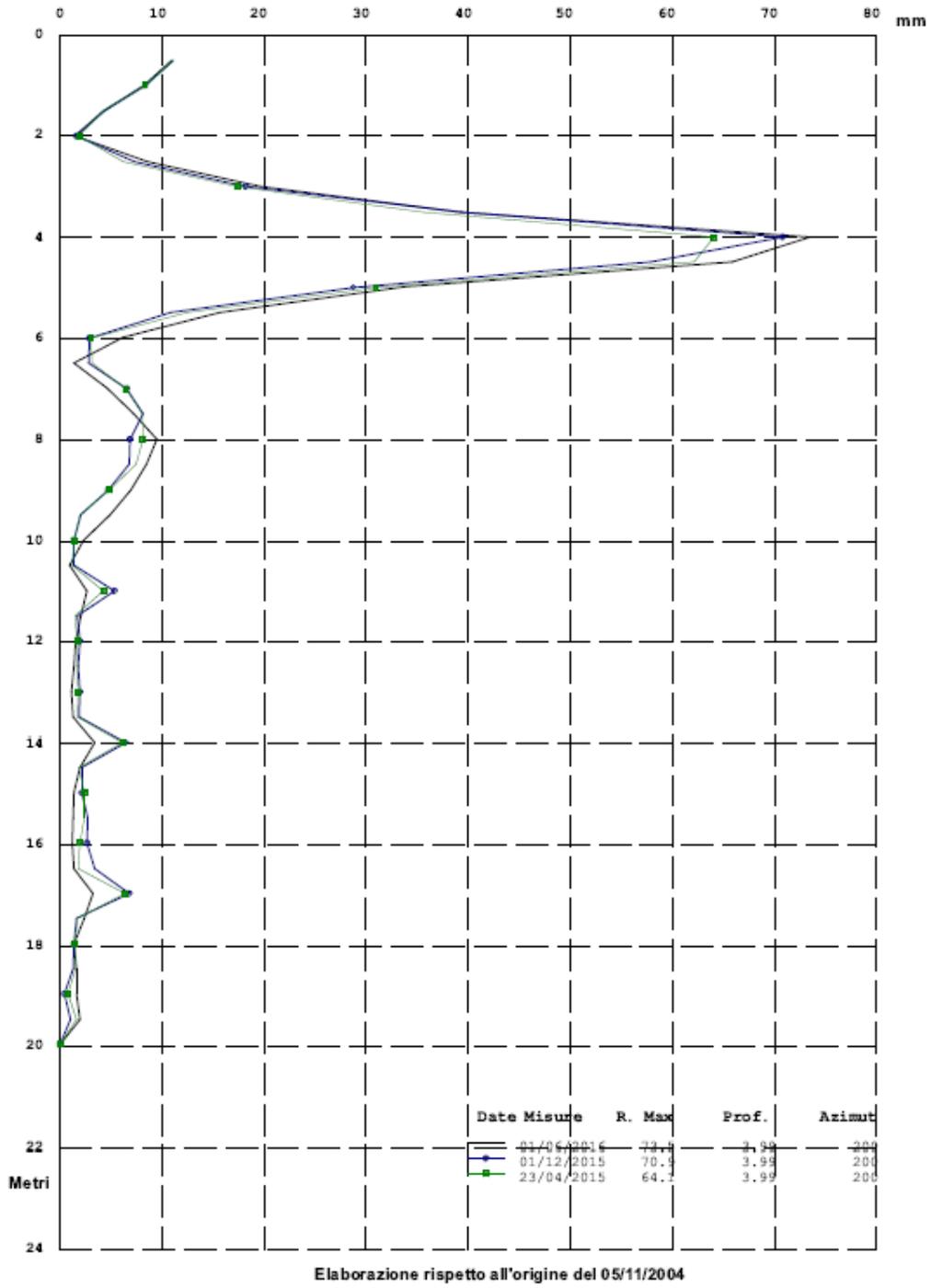


Figura 37 Risultante per punti rispetto all'origine inclinometro "S1"

Zona : TRAVERSELLA (TO) Comba d'ara Tubo : S1 Misura del : 01/06/2016

Movimento per Sommatoria Rispetto all'Origine Del : 05/11/2004

N°	Profondità m.	Differenza X mm.	Differenza Y mm.	Risultante mm.	Azimet (°)
1	0.50	-199.0	-63.8	209.0	197.78
2	1.00	-194.2	-54.0	201.5	195.55
3	1.50	-191.3	-46.3	196.8	193.62
4	2.00	-190.7	-42.2	195.3	192.48
5	2.50	-190.5	-40.8	194.8	192.08
6	3.00	-182.5	-37.7	186.3	191.66
7	3.50	-163.9	-31.2	166.9	190.77
8	3.99	-127.1	-17.6	128.3	187.90
9	4.48	-58.2	7.9	58.7	172.22
10	4.98	3.9	29.9	30.2	82.58
11	5.48	36.3	39.5	53.6	47.42
12	5.98	51.5	42.9	67.0	39.78
13	6.48	57.6	43.6	72.2	37.10
14	6.98	57.7	42.2	71.5	36.22
15	7.48	53.9	39.6	66.9	36.30
16	7.98	47.5	36.4	59.9	37.51
17	8.48	38.8	32.6	50.7	40.01
18	8.98	31.0	29.3	42.7	43.42
19	9.48	24.4	27.3	36.6	48.21
20	9.98	19.6	26.1	32.6	53.10
21	10.48	17.4	25.4	30.8	55.65
22	10.98	16.7	24.8	30.0	56.06
23	11.48	15.1	22.8	27.3	56.52
24	11.98	13.7	21.3	25.3	57.13
25	12.48	12.5	20.4	23.9	58.41
26	12.98	11.4	19.5	22.7	59.64
27	13.48	10.8	18.6	21.5	59.99
28	13.97	10.1	17.6	20.3	60.13
29	14.47	10.3	14.2	17.5	54.04
30	14.97	10.2	12.2	15.9	50.32
31	15.47	9.3	11.1	14.5	50.18
32	15.97	8.4	10.3	13.3	50.69
33	16.47	7.5	9.4	12.1	51.35
34	16.97	6.6	8.4	10.7	52.08
35	17.46	6.2	5.2	8.1	40.25
36	17.96	5.6	3.0	6.3	28.01
37	18.46	4.4	2.3	5.0	27.72
38	18.95	2.9	1.8	3.4	31.19
39	19.45	1.3	1.4	1.9	47.73
40	19.95	0.0	0.0	0.0	0.00

Zona : TRAVERSELLA (TO) Comba d'ara Tubo : S1 Misura del : 01/06/2016

Movimento Per Punti rispetto all' Origine Del : 05/11/2004

N°	Profondità m.	Differenza X mm.	Differenza Y mm.	Risultante mm.	Azimet (°)
1	0.50	-4.8	-9.8	10.9	243.76
2	1.00	-2.9	-7.7	8.2	249.36
3	1.50	-0.6	-4.1	4.2	262.13
4	2.00	-0.2	-1.4	1.5	261.28
5	2.50	-8.0	-3.1	8.6	201.19
6	3.00	-18.6	-6.5	19.7	199.26
7	3.50	-36.9	-13.6	39.3	200.19
8	3.99	-68.9	-25.6	73.5	200.35
9	4.48	-62.1	-22.0	65.8	199.51
10	4.98	-32.4	-9.5	33.7	196.40
11	5.48	-15.3	-3.4	15.6	192.65
12	5.98	-6.1	-0.7	6.1	186.36
13	6.48	0.0	1.3	1.3	92.06
14	6.98	3.7	2.6	4.6	34.96
15	7.48	6.4	3.2	7.2	26.21
16	7.98	8.7	3.9	9.5	24.07
17	8.48	7.8	3.2	8.5	22.52
18	8.98	6.6	2.1	6.9	17.28
19	9.48	4.8	1.2	4.9	14.04
20	9.98	2.2	0.6	2.3	16.14
21	10.48	0.7	0.6	0.9	41.62
22	10.98	1.6	2.1	2.6	51.29
23	11.48	1.3	1.5	2.0	48.89
24	11.98	1.2	0.9	1.5	36.27
25	12.48	1.1	0.8	1.4	37.42
26	12.98	0.7	0.9	1.1	53.00
27	13.48	0.7	1.1	1.3	57.72
28	13.97	-0.2	3.4	3.4	93.71
29	14.47	0.2	2.0	2.0	85.58
30	14.97	0.9	1.1	1.4	51.86
31	15.47	0.9	0.9	1.2	44.66
32	15.97	0.9	0.8	1.2	44.11
33	16.47	1.0	1.0	1.4	45.69
34	16.97	0.4	3.2	3.2	82.83
35	17.46	0.6	2.3	2.3	75.54
36	17.96	1.2	0.7	1.4	29.06
37	18.46	1.5	0.6	1.6	20.32
38	18.95	1.6	0.3	1.6	11.24
39	19.45	1.3	1.4	1.9	47.73
40	19.95	0.0	0.0	0.0	24.50

Figura 38 Movimento per sommatoria rispetto all'origine dell'inclinometro "S1"

Zona : TRAVERSELLA (TO) Comba d'ara					Tubo: S1 Misura del: 01/06/2016 N°: 22				
Identificativo Tubo	O6TRVA6				Sonda Usata	ARPA2			
Quota Acqua	9.				Corr. Sensibilità Sonda A :	-20000 B : 20000			
Correzione Azimutale	245				Correzione Angolare	-1			
N°	A1	A2	B3	B4	B1	B2	A3	A4	Spira.
1	0	0	-499	521	0	0	90	-239	0
2	0	0	-390	420	0	0	36	-192	0
3	0	0	-253	270	0	0	-60	-93	0
4	0	0	-213	245	0	0	-169	21	0
5	0	0	-588	604	0	0	-285	125	0
6	0	0	-1045	1055	0	0	-340	191	0
7	0	0	-1816	1881	0	0	-360	278	0
8	0	0	-3258	3260	0	0	-515	311	0
9	0	0	-2954	2939	0	0	-508	372	0
10	0	0	-1641	1648	0	0	-474	317	0
11	0	0	-932	974	0	0	-359	202	0
12	0	0	-548	605	0	0	-313	159	0
13	0	0	-303	357	0	0	-289	145	0
14	0	0	-159	205	0	0	-277	124	0
15	0	0	-65	113	0	0	-245	93	0
16	0	0	-32	87	0	0	-204	53	0
17	0	0	-225	274	0	0	-104	-55	0
18	0	0	-328	360	0	0	-45	-107	0
19	0	0	-454	480	0	0	-5	-142	0
20	0	0	-616	635	0	0	18	-171	0
21	0	0	-743	759	0	0	60	-216	0
22	0	0	-803	819	0	0	128	-279	0
23	0	0	-1050	1088	0	0	342	-504	0
24	0	0	-1147	1167	0	0	444	-600	0
25	0	0	-1207	1233	0	0	525	-677	0
26	0	0	-1271	1297	0	0	611	-758	0
27	0	0	-1301	1324	0	0	702	-850	0
28	0	0	-1326	1362	0	0	804	-954	0
29	0	0	-1361	1394	0	0	1160	-1321	0
30	0	0	-1370	1386	0	0	1302	-1465	0
31	0	0	-1368	1410	0	0	1416	-1573	0
32	0	0	-1378	1416	0	0	1514	-1671	0
33	0	0	-1394	1405	0	0	1602	-1771	0
34	0	0	-1378	1426	0	0	1689	-1838	0
35	0	0	-1417	1463	0	0	1977	-2141	0
36	0	0	-1443	1461	0	0	2091	-2263	0
37	0	0	-1424	1477	0	0	2143	-2292	0
38	0	0	-1435	1472	0	0	2167	-2326	0
39	0	0	-1491	1479	0	0	2136	-2343	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 39 Movimento per punti rispetto all'origine dell'inclinometro "S1"

7. Analisi del caso studio tramite il software Slide

Lo studio della stabilità del pendio e della successiva messa in sicurezza è stato affrontato attraverso l'uso di due software, Slide ed RS2 entrambi prodotti dalla Rocscience ©.

Slide è un programma utilizzato per valutare la stabilità dei versanti ed in questo caso è stato impiegato per la ricerca delle condizioni e delle caratteristiche del terreno tramite back analysis e successivamente per trovare un fattore di sicurezza idoneo ad una condizione di stabilità del pendio.

Si è scelto di utilizzare questo software nello specifico poiché oltre ad essere nota la sua efficacia ed affidabilità permette di valutare i parametri geotecnici dei diversi elementi che costituiscono l'area di studio, inoltre di ipotizzare una specifica forma della superficie di scivolamento (circolare o non circolare) che meglio possa approssimare quella effettiva ottenendo un'accurata rappresentazione della realtà. Ha la possibilità di applicare numerosi metodi all'equilibrio limite come: Bishop, Janbu, GLE Morgenstern e Price, Spencer. Il software risulta molto versatile in quanto vi è la possibilità di considerare ulteriori variabili come: la presenza di acqua, pressioni interne e carichi esterni; infine è possibile aggiungere elementi di rinforzo come pali, micropali, chiodi e geotessuti, di conseguenza valutare come possono variare le condizioni di stabilità dell'area in esame.

7.1 Definizione della geometria, dei parametri e back analysis

Al fine di rappresentare nella maniera più realistica possibile il caso studiato attraverso il software è stata creata una geometria che riprendesse le forme del pendio in esame; successivamente è stata definita la stratigrafia che comprende tre diversi livelli, partendo da quello più superficiale si hanno: copertura detritica, roccia alterata e roccia sana come riportato in Figura 40 in cui sono rappresentate rispettivamente in verde, giallo e marrone. Le simulazioni tenderanno di focalizzarsi maggiormente sui primi due livelli considerando che costituiscono la porzione di versante soggetta al rischio frana.

Dopo aver definito la geometria si prosegue con l'individuazione dei parametri del terreno utili al calcolo del fattore di sicurezza più adatto alla stabilità, i parametri ricercati sono in particolare la coesione e l'angolo d'attrito che vengono trovati attraverso una back analysis in cui si imposta un fattore di sicurezza unitario e si ottengono i parametri tramite un procedimento a ritroso. Dalla back analysis si ottengono: coesione di 500 kPa e angolo di attrito di 35° per la roccia sana, coesione di 20 kPa e angolo di attrito di 35° per la roccia alterata e coesione di 1 kPa e l'angolo di attrito di 21° per la copertura detritica come mostrato nella Tabella 1.

In secondo luogo nella definizione della geometria è stato inserito anche il carico stradale che può essere raggiunto in condizioni estreme pari a 20 kN/m² e successivamente tutti gli elementi costruttivi eseguiti durante gli ultimi interventi di messa in sicurezza quali: una scogliera a bordo strada lato monte a quota 765 m s.l.m. e una gabbionata posta a quota 748 m s.l.m. come viene rappresentato in Figura 41 e in Figura 42.

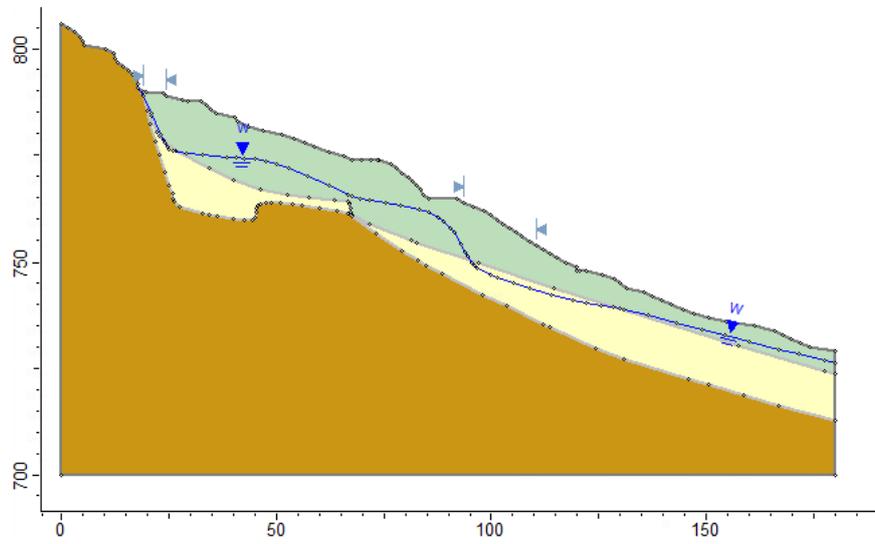


Figura 40 Rappresentazione della geometria e della stratigrafia del versante

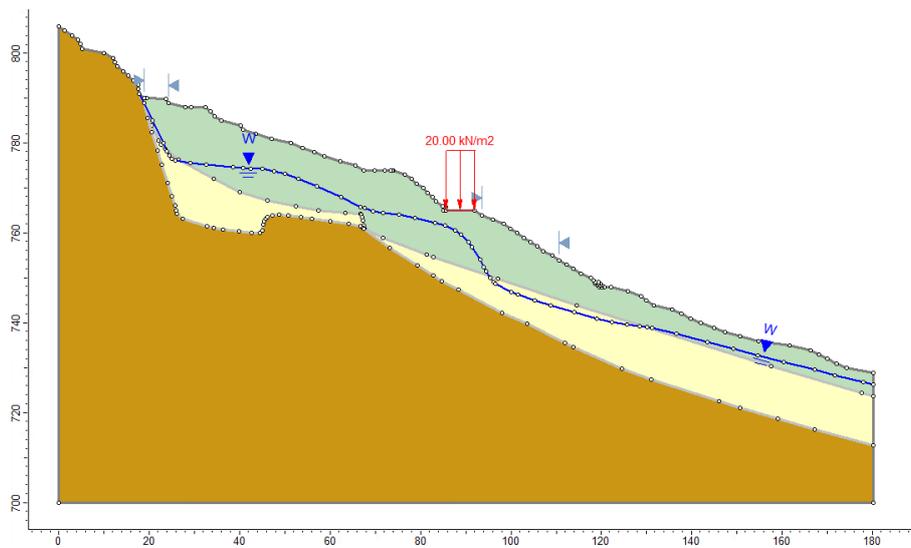


Figura 41 Geometria del caso studio con presenza del carico massimo della strada

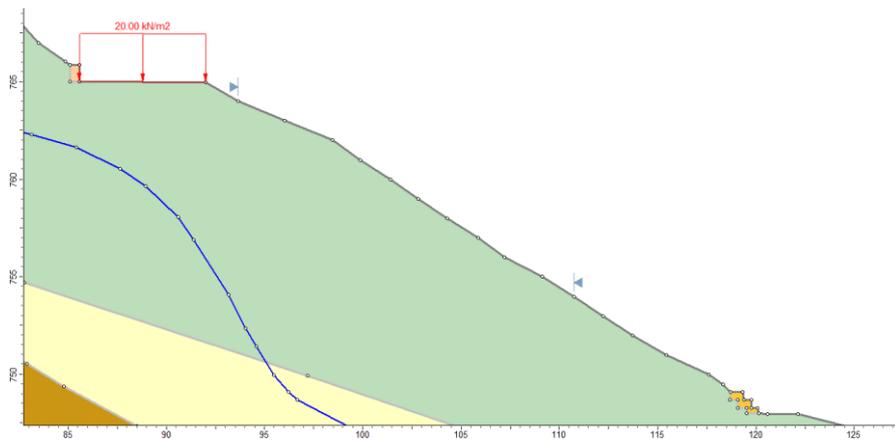


Figura 42 Rappresentazione degli elementi strutturali, gabbionata e scogliera

	Copertura detritica	Roccia alterata	Roccia sana
Angolo d'attrito [°]	21	35	35
Coesione [kPa]	1	20	500

Tabella 1 Parametri ottenuti tramite back analysis

7.2 Ricerca del fattore di sicurezza in diverse condizioni di saturazione

Dopo aver ricavato la coesione e l'angolo d'attrito degli strati del terreno si è proceduto con la ricerca del fattore di sicurezza. I parametri appena ottenuti sono da considerarsi come una base di partenza per comprendere quali devono essere le condizioni del terreno affinché si arrivi ad un fattore di sicurezza sufficientemente alto da tale da rientrare in una situazione di stabilità anche in condizioni critiche come un'elevata saturazione.

Sono state eseguite diverse prove con livelli di saturazione di 20 50 e 80 % in modo da valutare la diversa risposta del terreno alla presenza dell'acqua, variando i parametri dei primi due strati è emerso che il fattore di sicurezza è maggiormente influenzato dalle condizioni dello strato più superficiale in quanto più "debole".

Di seguito vengono riportati i risultati delle prove eseguite per i tre diversi livelli di saturazione variando l'angolo d'attrito e la coesione. I risultati sono riportati nella Tabella 2, Tabella 3 e Tabella 4 in cui sono rappresentati la coesione, l'angolo d'attrito e il relativo fattore di sicurezza.

Saturazione [%]	Coesione [kPa]	ϕ [°]	FS
20	1	21	1,023
20	5	21	1,120
20	1	22	1,075
20	5	22	1,172
20	1	23	1,128
20	5	23	1,226
20	1	24	1,182
20	5	24	1,280

Tabella 2 Coesione, angolo d'attrito e fattore di sicurezza per una saturazione del 20%

Saturazione [%]	Coesione [kPa]	ϕ [°]	FS
50	1	21	1,002
50	5	21	1,095
50	1	22	1,053
50	5	22	1,146
50	1	23	1,105
50	5	23	1,198
50	1	24	1,158
50	5	24	1,251

Tabella 3 Coesione, angolo d'attrito e fattore di sicurezza per una saturazione del 50%

Saturazione [%]	Coesione [kPa]	ϕ [°]	FS
80	1	21	0,977
80	5	21	1,069
80	1	22	1,026
80	5	22	1,119
80	1	23	1,078
80	5	23	1,170
80	1	24	1,129
80	5	24	1,222

Tabella 4 Coesione, angolo d'attrito e fattore di sicurezza per una saturazione del 80%

Dai risultati ottenuti si può evincere come il fattore di sicurezza tenda ad abbassarsi con l'aumentare della presenza dell'acqua, di conseguenza al fine di poter raggiungere una situazione di stabilità sarà necessario procedere con opere di drenaggio e regimazione delle acque; inoltre con l'aumentare della coesione e dell'angolo di attrito delle porzioni di terreno indagate si ottiene un FS sempre più alto per cui sarà necessario ricorrere a soluzioni che prevedano il consolidamento del terreno per compensare questa condizione.

8. Analisi del caso studio tramite il software RS2

Il caso in esame è stato successivamente affrontato con il software RS2 al fine di valutare le deformazioni che subisce la zona d'interesse e successivamente come queste possano essere ridotte attraverso interventi di consolidamento.

Il software è basato su metodi ad elementi finiti con cui si possono risolvere problemi legati a: stabilità dei pendii, consolidamento, valutazione delle deformazioni e permette di abbinare caratteristiche quali cedimenti, condizioni al contorno ed altro.

Uno dei modi in cui può essere utilizzato il programma lo studio della stabilità di un pendio attraverso il metodo SSR “shear strength reduction” ovvero della riduzione della resistenza al taglio che viene eseguita tramite criteri di Hoek-Brown e Mohr-Coulomb. Lo scopo sarà quello di trovare le deformazioni dell'area in esame nelle condizioni di criticità e in condizioni di stabilità ottenute anche attraverso l'ausilio di opere di sostegno.

8.1 Definizione dei parametri e della geometria

Il primo step affrontato è stato definire la geometria, in questo caso è stato sufficiente importare il profilo usato precedentemente col software Slide2 mantenendo la stessa stratigrafia ed imporre una maglia (‘mesh’), al fine di discretizzare l'area di studio è stato scelto di usare una discretizzazione a 1500 celle in modo da ottenere risultati sufficientemente precisi.

In secondo luogo si è ricercata un'area in cui far concentrare la simulazione, successivamente è stata definita la “SSR search area” cercando di comprendere le zone maggiormente colpite dall'evento franoso; l'area parte dalla quota di 781 m s.l.m. fino alla quota di 748 m s.l.m. in modo tale da comprendere le abitazioni e la strada statale poichè considerate strutture che necessitano di essere salvaguardate, l'area comprende i primi due strati di terreno precedentemente definiti come “copertura detritica” e “roccia alterata”, di seguito in Figura 43 viene rappresentata la geometria e in Figura 44 il particolare dell'area di ricerca SSR che viene evidenziato da una linea rossa tratteggiata.

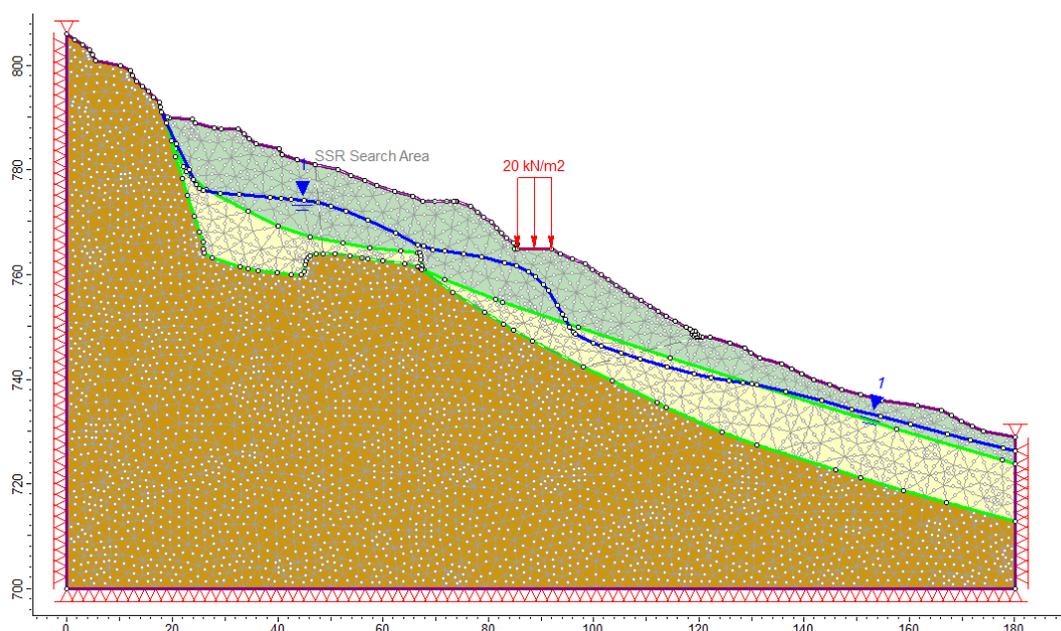


Figura 43 Rappresentazione della geometria e discretizzazione su RS2

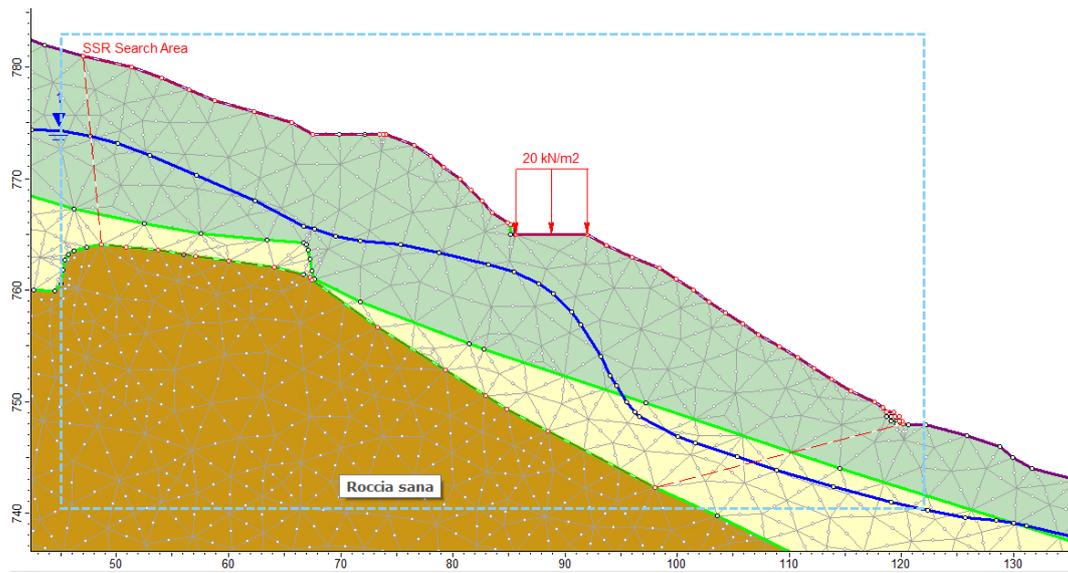


Figura 44 Dettaglio dell'area di ricerca delimitata da linea rossa tratteggiata

8.2 Ricerca delle deformazioni

Al fine di procedere con la simulazione è necessario impostare i parametri relativi ai tre strati, di seguito in Figura 45, Figura 46, e in Figura 47 vengono riportati i valori scelti in base alla tipologia di terreno, si è deciso inoltre di considerare un valore della saturazione del 50% in modo da rappresentare un caso di parziale presenza di acqua.

Le simulazioni sono state eseguite imponendo 500 step per iterazione e ricercando una bassa tolleranza impostata al valore di 0.001.

I risultati della simulazione vengono presentati in Figura 48 dai quali si può evincere una deformazione verticale pari a 0.2 m nei pressi della strada statale e di 0.36 m nell'area sovrastante la strada compresa tra le quote di 772 e 774 m s.l.m. come raffigurato nella Figura 49.

Come testimonianza degli abbassamenti subiti dalla sede stradale viene riportata la Figura 51 dove si vede un insieme di più coperture effettuate durante gli anni che arriva all'altezza di circa 80 cm, questo conferma i risultati ottenuti dalle seguenti simulazioni.

Da questi risultati si percepisce la necessità di intervenire attraverso opere di consolidamento che possano ridurre se non azzerare totalmente le deformazioni in questi punti critici.

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	25 kN/m ³
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.4
Young's Modulus	50000 kPa
Use Residual Young's Modulus	No
Failure Criterion	Mohr-Coulomb
Material Type	Plastic
Peak Tensile Strength	25 kPa
Peak Friction Angle	35 degrees
Peak Cohesion	25 kPa
Residual Tensile Strength	25 kPa
Residual Friction Angle	35 degrees
Residual Cohesion	25 kPa
Dilation Angle	0 degrees
Apply SSR (Shear Strength Reduction)	Yes
Use Unsaturated Parameters	Yes
Unsaturated Shear Strength Angle	0 degrees
Air Entry Value	0
Material Behaviour	Drained
Porosity Value	0.5
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	1
Hu Value	0.5

Figura 45 Parametri relativi alla roccia alterata

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	19 kN/m ³
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.4
Young's Modulus	50000 kPa
Use Residual Young's Modulus	No
Failure Criterion	Mohr-Coulomb
Material Type	Plastic
Peak Tensile Strength	1 kPa
Peak Friction Angle	24 degrees
Peak Cohesion	1 kPa
Residual Tensile Strength	1 kPa
Residual Friction Angle	24 degrees
Residual Cohesion	1 kPa
Dilation Angle	0 degrees
Apply SSR (Shear Strength Reduction)	Yes
Use Unsaturated Parameters	Yes
Unsaturated Shear Strength Angle	0 degrees
Air Entry Value	0
Material Behaviour	Drained
Porosity Value	0.5
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	1
Hu Value	0.5

Figura 46 Parametri relativi alla copertura detritica

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	25 kN/m ³
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.4
Young's Modulus	2.5e+07 kPa
Failure Criterion	Mohr-Coulomb
Material Type	Elastic
Peak Tensile Strength	500 kPa
Peak Friction Angle	38 degrees
Peak Cohesion	2000 kPa
Use Unsaturated Parameters	Yes
Unsaturated Shear Strength Angle	0 degrees
Air Entry Value	0
Material Behaviour	Drained
Porosity Value	0.5
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	1
Hu Value	0.5

Figura 47 Parametri relativi alla roccia sana

Maximum Number of Iterations:	500
Tolerance:	0.001
Number of Load Steps:	Automatic
Convergence Type:	Absolute Force & Energy
Tensile Failure:	Reduces Shear Strength
Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01	

Figura 48 Parametri dell'analisi

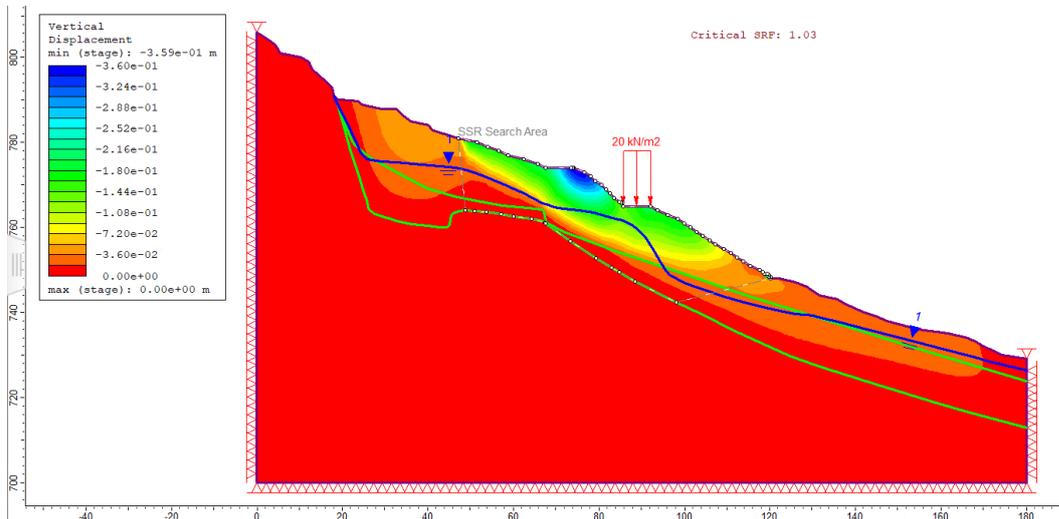


Figura 49 Deformazioni verticali risultanti dalla simulazione

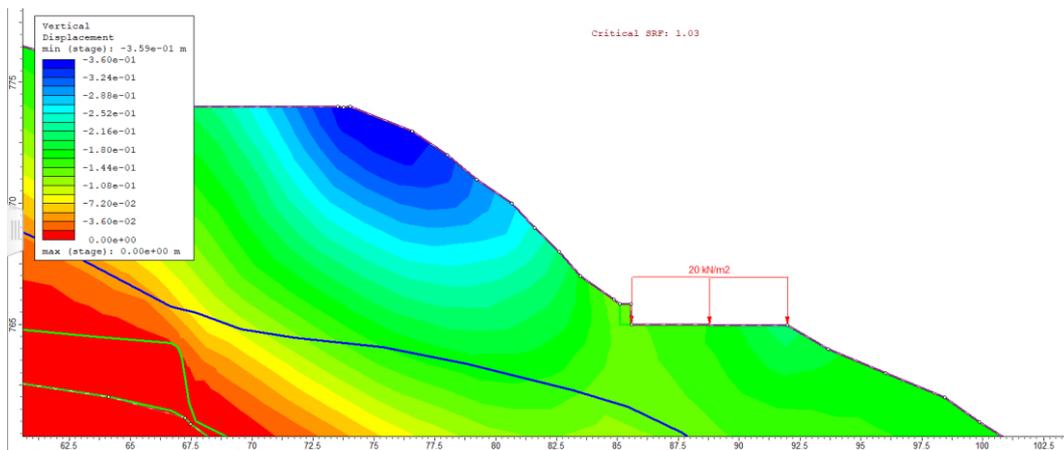


Figura 50 Particolare delle zone critiche e relative deformazioni

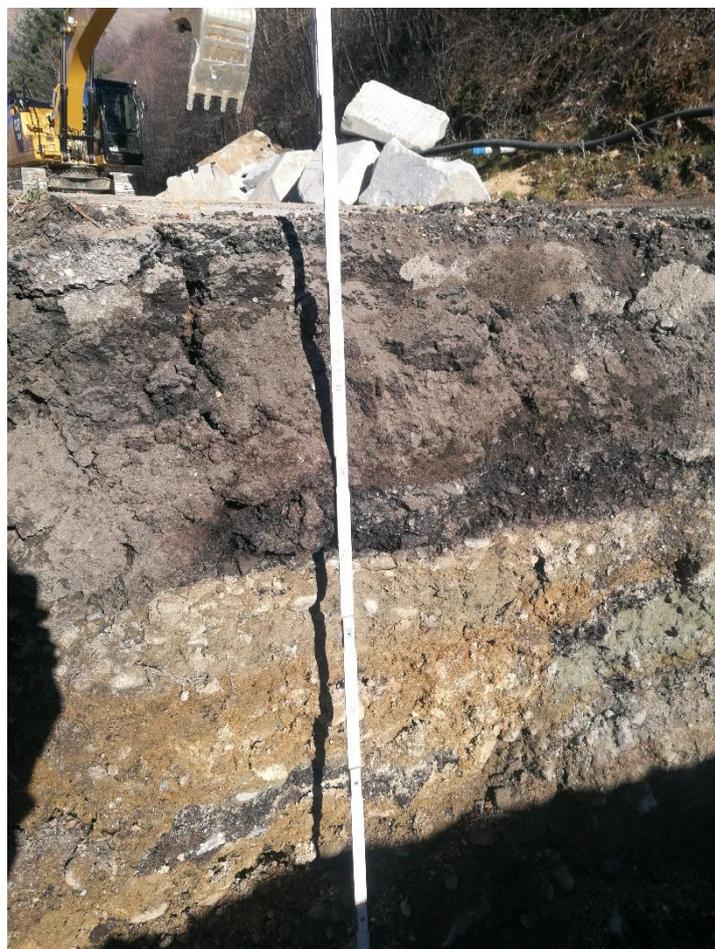


Figura 51 Particolare dello scavo che interessa la strada

8.3 Simulazioni con sistemi di consolidamento

Al fine di ridurre le deformazioni precedentemente ottenute si propone l'uso di due opere di consolidamento, un sistema "a cavalletto" costituito da pali tirantati che verrà posto prima e dopo la strada statale e un'ulteriore gabbionatura posta a quota di 770.2 m s.l.m.

La scelta del sistema a cavalletto è stata adottata in quanto in opere analoghe risulta uno dei metodi più efficienti, in questo caso si è ipotizzato l'uso di due pali inclinati di 90° e 85° rispetto all'orizzontale di lunghezza pari a 10 m e diametro pari a 100 mm di capacità pari a 1000 kN, ai pali viene applicata una piastra di ripartizione dei carichi nella parte sommitale eseguita in calcestruzzo di dimensioni 0.6 x 0.6 m. al sistema piastra-pali viene applicato un tirante con direzione sub-orizzontale della lunghezza di 25 m che arrivi fino allo strato sottostante la copertura detritica.

Per questa simulazione sono stati introdotti 3 step in modo tale da poter valutare la differenza di deformazioni dovute alla presenza delle strutture, quindi sono stati introdotti gli elementi a partire dallo step 2. Dalla Figura 52 ed in particolare dalla Figura 53 si può notare come grazie alla presenza delle strutture a cavalletto le deformazioni siano diminuite raggiungendo valori di 0.02 m ai lati della strada e di 0.07 m al centro di essa, mentre nella parte superiore grazie alla presenza della gabbionatura si riescono a portare a zero le deformazioni.

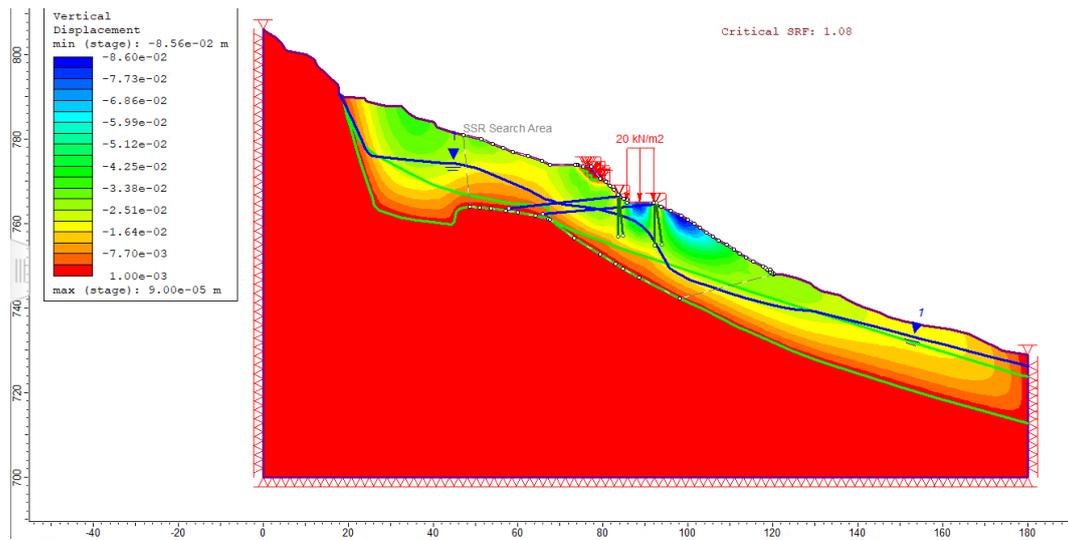


Figura 52 Rappresentazione della simulazione con opere di consolidamento

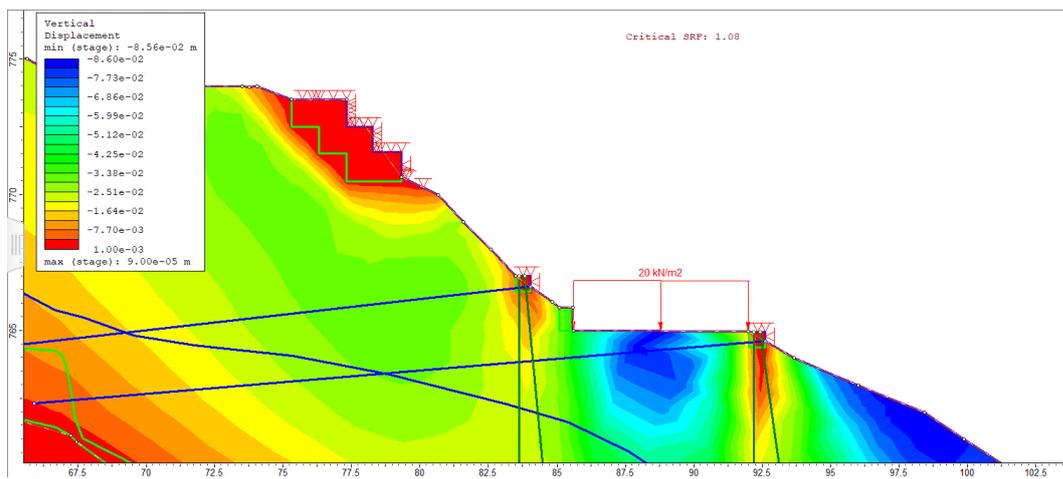


Figura 53 Particolare sulla zona relativa alla strada e porzione di terreno sopra di essa

9. Conclusioni

Il presente elaborato ha avuto lo scopo di fornire una visione d'insieme del problema, avendo considerato tutte le dinamiche che entrano in gioco durante il movimento franoso si è evinto che l'acqua ha un ruolo molto importante in quanto le riattivazioni del dissesto si sono verificate sempre dopo abbondanti piogge che hanno alterato le condizioni di stabilità del terreno, per cui è necessario adottare opere di drenaggio che tengano emunta la falda e impediscano l'innalzamento della tavola d'acqua.

Questi interventi potrebbero non essere sufficienti come è stato visto nel corso degli anni, in cui le opere talvolta non adempivano totalmente al loro impiego a causa della scarsa manutenzione e della inadeguatezza per cui sono stati necessari interventi di consolidamento.

Gli interventi effettuati durante gli anni hanno sicuramente ridotto l'estensione dei rischi derivati dal movimento ma non li hanno eliminati. L'ultimo intervento eseguito è stato fatto con lo scopo di ripristinare le giuste condizioni di sicurezza della strada provinciale, ridotte a causa dell'ultima riattivazione del movimento franoso, e non di stabilizzare definitivamente il fenomeno; al fine di attuare una sistemazione definitiva sono necessari interventi su scala più ampia. Una possibile soluzione viene proposta in questo elaborato, tuttavia per comprendere come agire è necessario valutare altre linee di intervento e a priori comprendere se risulta più conveniente continuare a seguire il fenomeno franoso e la sua evoluzione operando di volta in volta in seguito ai danni causati, oppure eseguire un'opera che possa definitivamente stabilizzarlo. La valutazione di ciò dipenderà oltre che dalle scelte progettuali anche dai futuri stanziamenti destinati al problema.

In definitiva è bene continuare a tenere sotto osservazione il fenomeno poiché potrebbe riattivarsi nuovamente in futuro, per fare ciò è necessario effettuare

monitoraggi con costanza per poter avere una continua visione del problema in modo tale da intervenire al fine di evitare ulteriori danni all'area.

10. Bibliografia

Cruden D.M., Varnes D.J. *Landslides. Investigation and Mitigation*, Special Report 247, pp 36-75. Washington: Transportation Research Board. (1996)

Hungr, O., Leroueil, S., Picarelli, L. *Varnes classification of landslide types, un update*. Proc. 11th Int. Symp. Landslides, Banff, Canada, pp 47-58, Taylor & Francis Group, London. (2012).

Bassani U. *Rivista mineralogica italiana*, Milano, vol 9, lasc. 1, 1978

Millot G. *Geologie dea argiles*. Masson Paris 1964

Zucchetti S. *Symposium internazionale sui giacimenti minerari delle Alpi*, Trento, Mendola 11-18 Settembre 1966

Gianotti F, *L'anfiteatro morenico d'ivrea*

Oggeri C. *Geotechnical descriptions of landslides during the 1993-1994 floods in Northern Italy*, Proceedings of the seventh international Symposium on landslides 17-21 pp 835 -840 Rotterdam Giugno 1996

Odetto G. *Relazione geologico tecnica della variante strutturale al PRG di Traversella*, Loranze (To) Novembre 2019

“Sistema Informativo Fenomeni Franosi in Piemonte, codice frana 001-03364-00” Sifrap

“Scheda frana di 1° livello codice 0010334101” ISPRA

Casale M. *Relazione geologico-geotecnica* Brandizzo (To) Aprile 2021 Allegato 4, *Programma di interventi extra FSUE a valere sul fondo per le emergenze nazionali a cura di Regione Piemonte, Direzione opere pubbliche, difesa del suolo, protezione civile, trasporti e logistica*, Torino Novembre 2019

Lazzari A. Coccolo V. Arcuri G. *Lavori di consolidamento del movimento franoso in località Comba d'Ara nel comune di Traversella*, Torino 1990

Troisi C. Prinzi I. *Sopralluogo in località Gaido-Traversella del 30/07/2022*, Torino Luglio 2002

Perrone R. Troisi C. *Progetto di sistema di controllo dei movimenti franosi di Comba d'Ara e Delpizzen nel comune di Traversella (To)*, Torino Marzo 2004

11. Sitografia

<https://www.geoportale.piemonte.it/cms/>

<http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/geologia-e-dissesto/bancadatiged/sifrap>

<https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/suolo-e-territorio-1/iffi-inventario-dei-fenomeni-franosi-in-italia>

<https://www.isprambiente.gov.it/it>