MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA

REGIONE PIEMONTE

SITO DI BONIFICA DI INTERESSE NAZIONALE DELLA EX MINIERA DI AMIANTO DI BALANGERO E CORIO

Legge 9 dicembre 1998, n°426

OPERE DI M.I.S.P. DISCARICA LAPIDEA LATO CORIO E OPERE IDRAULICHE IN T.TE FANDAGLIA. S.I.N. EX MINIERA AMIANTO DI BALANGERO E CORIO

PROGETTO ESECUTIVO

Tavola	*Titolo*
A03	**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA**

C.U.P.	*Data* 10/2021	*Scala*

Revisione	*Descrizione*	*Data*	*Redatto*
00	Emissione	10/2021	

Committente:

R.S.A. S.r.l. -Via Cave 24 - 10070 Balangero (To)
Società a capitale pubblico per il risanamento e lo sviluppo ambientale dell'ex miniera di amianto di Balangero e Corio
Tel.: 0123.34.74.52 Fax: 0123.34.74.15
http://www.rsa-srl.it e.mail: *rsa@rsa-srl.it*

Progettisti incaricati:

GEO engineering S.r.l.
Corso Unione Sovietica 560 - 10135 Torino
Tel.: 011.39.13.194 Fax: 011.34.70.903
http://www.geoeng.it
e.mail: *info@geoengineering.torino.it*

Geol. Edoardo RABAJOLI
GEO engineering S.r.l.
Iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi del Piemonte
Sez. A - n° 80

Ing. Massimo TUBERGA
GEO engineering S.r.l.
DIRETTORE TECNICO
Iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n° 5452

1 PREMESSA 1
2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE 2
2.1 Substrato roccioso 2
2.2 Depositi quaternari 5
2.3 Depositi di origine antropica 6
3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO 8
3.1 Fonti conoscitive disponibili 8
3.2 Quadro del dissesto in atto e potenziale: fenomeni erosivi 10
3.3 Quadro del dissesto in atto e potenziale: fenomeni gravitativi 13
3.4 Quadro del dissesto in atto e potenziale: fenomeni lungo la rete idrografica 19
3.5 Indicazioni provenienti dalle reti di monitoraggio a terra e dal telerilevamento 24
3.5.1 Rete di capisaldi GPS 24
3.5.2 Rete di mire topografiche e stazioni totali 25
3.5.3 Analisi dei dati inclinometrici 26
3.5.4 Telerilevamento con metodologia PSInsar 30
4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO 33
5 ANALISI GEOMORFOLOGICA 41
5.1 Acquisizione del rilievo aereofotogrammetrico del versante 41
5.2 Analisi dei dati in ambiente G.I.S. 42
6 INQUADRAMENTO SISMICO 47
6.1 Caratteri sismici dell'area piemontese 47
6.2 Sorgenti sismogenetiche e faglie capaci 48
6.3 Intensità macrosimica e sismicità storica dell'area 50
6.4 Pericolosità sismica dell'area di intervento 52
6.4.1 Aspetti normativi 52
6.4.2 Periodo di riferimento per l'azione sismica 53
6.4.3 Pericolosità sismica di base 54
6.4.4 Effetti di sito 57
6.4.5 Azione sismica di riferimento 59
6.4.6 Stabilità alla liquefazione 60
7 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE 62
7.1 Introduzione 62
7.2 Caratterizzazione geotecnica dei depositi di materiale lapideo di scarto industriale 62
7.3 Caratterizzazione geotecnica dei depositi recenti ed attuali lungo il T. Fandaglia 63
8 ANALISI DI STABILITA' CORONAMENTO ACCUMULO EST (AMBITO 13) 64
8.1 Analisi morfologica e classificazione del dissesto 64
8.2 Back analysis del dissesto 68
8.2.1 Metodologia di verifica adottata 70
8.2.2 Definizione della sezione di verifica 71
8.2.3 Risultanze delle verifiche di back analysis 72
8.3 Verifiche post operam 75
9 ALLEGATO – RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITA' 77

1 PREMESSA

Nell'ambito del progetto di "Messa in sicurezza permanente della discarica lapidea lato Corio e opere idrauliche nel torrente Fandaglia", redatto su incarico della società R.S.A., Società per il Risanamento e lo Sviluppo Ambientale dell'ex miniera di amianto di Balangero e Corio, è stato esperito uno studio geologico, geotecnico e sismico volto ad approfondire il quadro conoscitivo sull'area circa tali aspetti.

La presente relazione è redatta a seguito dei rilievi e delle indagini compiute in loco e delle informazioni acquisite da fonti bibliografiche e, più precisamente da quanto prescritto all'art. 26 del D.P.R. n. 207/2010, nonché dalle "*Norme tecniche per le costruzioni*" (D.M. 17.01.18).

Nei capitoli che seguono sono quindi caratterizzati l'assetto geologico e geomorfologico della zona di intervento tramite l'analisi della bibliografia esistente, illustrato lo stato di fatto dell'area sotto il profilo dei dissesti rilevabili sul terreno e dalle riprese aeree recenti, sintetizzato lo stato delle conoscenze alla luce dei dati di monitoraggio acquisiti mediante la strumentazione in campo e il telerilevamento.

La relazione è completata dall'elaborato cod. 09-2015-02-01600 "Cartografia delle opere in progetto", in scala 1:1.500, sviluppato in ambiente Q-GIS su ortofotoimmagini del 2010 reperibile nel Repertorio Cartografico Regionale, producendo una serie di strati tematici georiferiti nel sistema WGS-84, sovrapponibili alle Carte tecniche della Provincia di Torino in scala 1:5.000 e della Regione Piemonte in scala 1:10.000. Gli strati informativi della tavola sono a disposizione della Committente, per aggiornare il quadro conoscitivo precedentemente allestito.

Ulteriori approfondimenti per il presente Progetto Esecutivo riguardano l'analisi geomorfologica quantitativa sviluppata in ambiente G.I.S. avvalendosi dei risultati del rilievo aereofotogrammetrico da piattaforma a controllo remoto (drone), che hanno consentito di parametrizzare automaticamente una serie di caratteristiche morfologiche dei versanti interessati dagli interventi in progetto.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

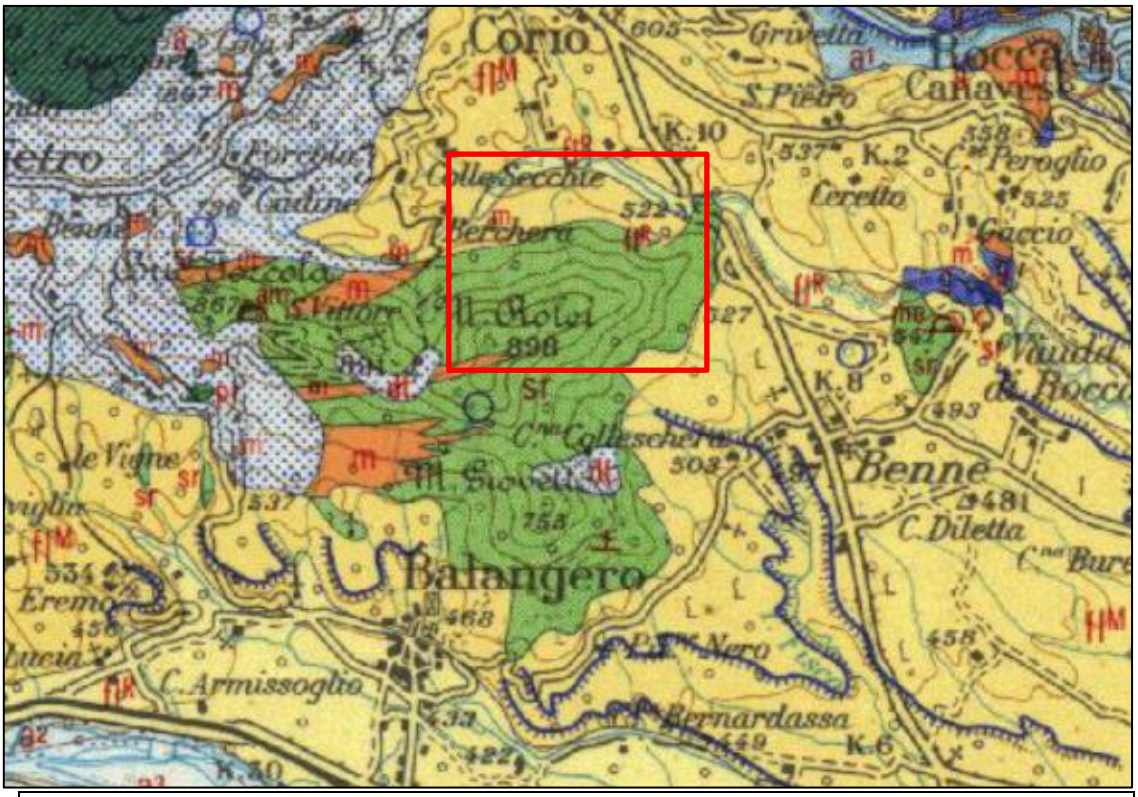
Il sito di intervento è ricompreso nel Foglio 56 – Torino della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, e si estende sul versante settentrionale della dorsale spartiacque tra il T. Fandaglia a Nord e il T. Bana a Sud, entrambi tributari di destra del Torrente Malone, delineato tra le sommità del Monte Vittore (ad Ovest) e del Monte Rolei (ad Est).

2.1 Substrato roccioso

Da un punto di vista tettonico e stratigrafico, il substrato metamorfico della zona è ascrivibile alle rocce serpentinitiche del Massiccio Ultrabasico di Lanzo, implicate in una struttura a "megapiega" con asse Est-Ovest nella zona di contatto con i micascisti della Zona Sesia – Lanzo, di pertinenza Austroalpina.

Il contatto tettonico tra le due unità risulta esposto nel geosito di elevato interesse naturalistico lungo l'affioramento sul versante orientale del Monte Vittore, aggettante sullo specchio lacustre della cavità estrattiva dismessa (Fig. 1).

Figura 1: Ripresa panoramica del geo-sito nella zona di contatto tra le serpentiniti del Massiccio Ultrabasico di Lanzo (in colore grigio, lungo il perimetro lacustre) e i micascisti della Zona Sesia-Lanzo (in colore rossastro)



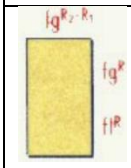
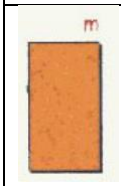
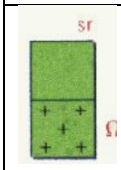
Depositi quaternari	
	Depositi fluvioglaciali con paleosuolo argilloso rossastro di spessore oltre a 5 metri (“ferretto”) (“Mindel”)
	Depositi fluvioglaciali con paleosuolo rosso-arancio (“Riss”)
Substrato roccioso	Zona Sesia-Lanzo
	Micascisti, cloritoscisti e gneiss minuti
Substrato roccioso	Massiccio Ultrabasico di Lanzo
	Serpentiniti (s), Lherzoliti (Ω) più o meno serpentinizzate

Figura 2: Inquadramento geologico del sito e relative voci di legenda; fonte: Foglio 56 – Torino della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:100.000 (riproduzione fuori scala).

Le superfici di taglio che separano le due unità tettoniche si connotano per una giacitura caratterizzata da direzione variabile da E-O a ENE – WSE, inclinazione verso Nord ed inclinazione elevata (superiore a 40°). Nella zona di studio le zone di affioramento del substrato serpentinitico sono diffuse lungo la zona perilacuale, nonché sul versante ad Ovest della discarica occidentale, e riprendono nel tratto medio-inferiore del Rio Est che delimita la discarica orientale.

Figura 1: Affioramento roccioso di serpentiniti, di dimensione plurimetrica lungo il tratto di Rio Est (nei pressi del cartello segnalatore)

Oltre agli affioramenti, la presenza del substrato metamorfico è documentata nelle stratigrafie dei fori di sondaggio attrezzati a punti di monitoraggio, alle profondità nel seguito indicate:

Corpo di discarica Est

- da 46.3 a 57.0 metri da p.c. nel sondaggio attrezzato ad inclinometro I19 (serpentinite)
- da 46.3 a 60.0 metri da p.c. nel sondaggio attrezzato a piezometro P19 (serpentinite)
- da 21.2 a 50.0 metri da p.c. nel sondaggio attrezzato ad inclinometro I21 (serpentinite)
- da 21.2 a 60.0 metri da p.c. nel sondaggio attrezzato a piezometro P21 (serpentinite)

Corpo di discarica Ovest

- da 55.0 a 65.0 metri da p.c. nel sondaggio attrezzato ad inclinometro I18 (serpentinite)
- da 55.0 a 60.0 metri da p.c. nel sondaggio attrezzato a piezometro P18 (serpentinite)
- da 49.0 a 60.0 metri da p.c. nel sondaggio attrezzato ad inclinometro I20 (serpentinite)
- da 49.0 a 60.0 metri da p.c. nel sondaggio attrezzato a piezometro P20 (serpentinite)

La profondità del substrato (e quindi lo spessore complessivo dei depositi sciolti sul versante Nord - sterile di coltivazione mineraria e depositi quaternari sottostanti) decrescono pertanto:

- da Ovest verso Est
- da Nord verso Sud

Questa distribuzione di profondità del substrato soggiacente ai depositi sciolti risulta coerente anche con le forme delle due discariche; infatti, la discarica occidentale disegna un lobo di depositi marcatamente più progradante rispetto al ventaglio della discarica orientale.

2.2 Depositi quaternari

Procedendo dai termini più antichi verso quelli più recenti della successione quaternaria, sono individuabili nella zona di studio le seguenti unità stratigrafiche:

- Depositi fluvioglaciali terrazzati (Mindel, Riss)
- Depositi gravitativi di versante
- Depositi alluvionali recenti ed attuali del T.Fandaglia
- Depositi eluvio-colluviali

I *depositi fluviali terrazzati* attribuiti all'interglaciale Mindel sono distribuiti lungo il lembo terrazzato residuale sul quale sorgono le case Berchera, in posizione esterna frontale alle discariche, a Nord del T. Fandaglia. Il potente paleosuolo ferrettizzato affiora lungo l'incisione del Rio delle Fornaci, in corrispondenza di scarpate per erosione al piede del versante.

I *depositi fluvioglaciali* attribuiti al Riss connotano la regione di fondovalle prossima all'alveo del T. Fandaglia, in posizione altimetricamente soggiacente alle superfici terrazzate superiori.

I *depositi gravitativi di versante* sono stati riscontrati dagli autori precedenti al piede della discarica orientale.

Nell'alveo del T. Fandaglia e lungo le sponde sono presenti i *depositi alluvionali recenti ed attuali*, attualmente alimentati anche dai fenomeni degradatori lungo le pendici settentrionali della dorsale M. Vittore-M. Rolei e dalla dinamica di trasporto solido del "Rio Est".

I depositi eluvio-colluviali si estendono diffusamente sopra al substrato metamorfico, e sono stati incontrati alla base dello sterile di discarica nei sondaggi, dove si presentano con facies regolitiche argillificate, oppure clasti a spigolo vivo in matrice sabbioso-limoso fine. Si riportano nel seguito alcune riprese fotografiche esemplificative di alcune delle tipologie di terreno sopra descritte.

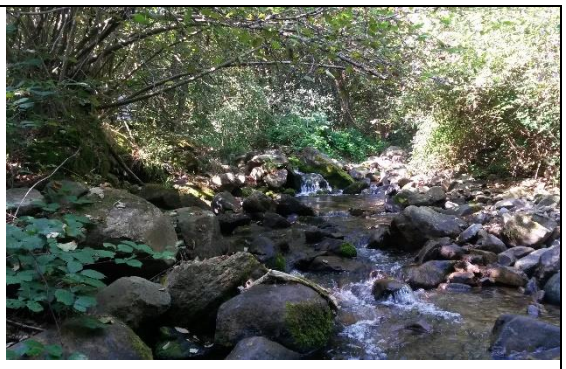
	
Depositi fluviali terrazzati (Mindel)	Depositi alluvionali recenti ed attuali

Figura 2: Affioramenti di depositi quaternari

2.3 Depositi di origine antropica

In accordo con gli Autori precedenti, è possibile differenziare da un punto di vista litologico, in funzione della provenienza e della lavorazione:

- Depositi di materiale lapideo di scarto industriale (sterile di stabilimento) – "matrix supported"
- Depositi di materiale lapideo di scarto industriale (sterile di cava) – "clast supported"

I primi sono riferibili allo sterile di stabilimento, essendo costituiti da una matrice fine pseudocoerente inglobante clasti serpentinitici centimetrici e decimetrici. Sono disposti lungo i due grandi accumuli della discarica, occidentale e orientale.

I secondi sono riferibili allo sterile di cava, costituito da una varietà di blocchi spigolosi eterometrici anche di dimensione pluridecimetrica, in scarsa matrice fine. Sono disposti

al piede dei due accumuli maggiori, e formano caratteristiche pietraie allungate.

Gli autori precedenti individuano anche una facies eterogenea, derivante dall'interstratificazione dello sterile di stabilimento con il terreno detritico naturale poggiante sul versante.

Figura 3: Affioramenti depositi antropici ("matrix supported", sx.; "clast supported", dx.)

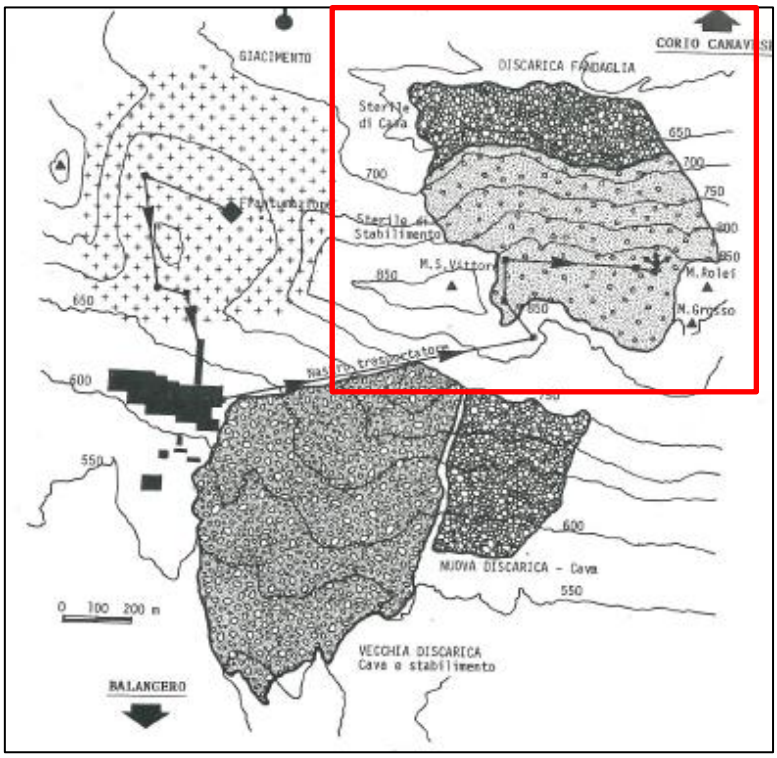


Figura 4: Schema messa a dimora scarti di lavorazione (Studio delle discariche di sterile dell'amiantifera di Balangero – Barla, Jarre, Sacchi 1986)

Secondo le stime di R.S.A., i volumi complessivamente deposti di materiale lapideo di scarto industriale raggiungono 30 milioni di metri cubi sul versante in esame. Il tenore medio in amianto risulta pari al 3%.

3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

3.1 Fonti conoscitive disponibili

Con la finalità di fornire un inquadramento geomorfologico aggiornato allo stato dei processi in atto, sono state considerate le seguenti fonti conoscitive:

- Monitoraggio geotecnico dei versanti di discarica – anno 2014 (R.S.A. Balangero). Rapporto di monitoraggio annuale
- Geoportale di Arpa Piemonte (SIFRAP – Sistema Informativo Frane Piemonte)
- Sopralluoghi in sito (agosto-settembre 2015)
- Ortofotoimmagini: anni 1988-1989 (b/n), 1994-1998 (b/n), 2000 (IT2000, colori), 2012 (Min. Ambiente, colori).
- Documentazione progettuale pregressa messa a disposizione da R.S.A.
- Riprese fotografiche a terra messe a disposizione di R.S.A. (cantieri delle opere realizzate tra il 2005 e il 2007)
- Riprese aereofotografiche aeree ravvicinate (da elicottero) messe a disposizione da R.S.A. (anni 2005-2012-2014).

Le informazioni acquisite sono state sintetizzate nell'elaborato cartografico annesso alla presente relazione, che sintetizza lo stato di fatto dei seguenti elementi:

- Assetto geomorfologico
- Opere di sistemazione
- Reti di monitoraggio
- Viabilità
- Contesto amministrativo

Si riporta nella figura seguente uno stralcio della legenda, che prende in considerazione gli strati informativi tematici allestiti nel sistema geografico di supporto al presente progetto.

ELEMENTI GEOMORFOLOGICI

Alveo naturale
Affioramenti di roccia

Dinamica gravitativa

Forme erosive isolate (calanchi)

Di recente formazione
In regressione
Attive

Aree soggette ad azione erosiva (gruppi di calanchi)

Attiva
In regressione

Coronamento

Aree soggette a rideposizione
Frane superficiali

Forme antropiche

Accumuli a pezzatura grossolana
Costolone di appoggio della teleferica
Area depressa

OPERE DI SISTEMAZIONE ESISTENTI

Controllo dei processi di versante

Trincea drenante
Dreni suborizzontali
Pozzi
Discenderie
Palizzate
Strutture di sostegno dei passi d'uomo
Terrazzamenti, berme e contropendenze
Terra rinforzata

Controllo dei processi lungo la rete idrografica

Guado
Briglia selettiva in c.a.
Briglie in legname e pietrame
Canalette di drenaggio
Canale rivestito
Canale rivestito con vasche di sedimentazione alternate a salti di fondo
Bacino di deposito

Limite ufficiale del SIN
Area di studio

Viabilità

Viabilità principale
Viabilità secondaria e percorsi ripristinabili con interventi di gestione della vegetazione
Percorsi transitabili lungo superfici inerbite o in fase di inerbimento
Passi d'uomo

PUNTI DI MONITORAGGIO

Piezometri
Punti gps
Inclinometri
Mire topografiche

Figura 5: Tematismi riportati nella cartografia dello stato di fatto (stralcio di legenda della tavola allegata).

Il SIFRAP – Sistema Informativo Frane Piemonte non riporta elementi sul versante settentrionale della dorsale M.Vittore - M.Rolei, oggetto della presente relazione.
La documentazione progettuale pregressa messa a disposizione da R.S.A. include

- Sistemazione statica, idrogeologica e idraulica del lato settentrionale del sito (lato Corio); progetto Esecutivo, Aprile 2002. Varianti in corso d'opera, 2006-2007.
- Progetto di messa in sicurezza del dissesto alla base della discarica Fandaglia (Zona Est). Progetto esecutivo, Luglio 2002
- Studio di Risk-Management volto alla definizione dei criteri di progettazione da adottare per il rilevato al piede della discarica Fandaglia. Maggio 1999

3.2 Quadro del dissesto in atto e potenziale: fenomeni erosivi

I fenomeni di ruscellamento superficiale incanalato (di tipo "rill erosion" – solchi meno profondi di 30 cm, localmente evoluti in "gully erosion" – solchi con profondità > 30 cm) si sono manifestati con particolare intensità in corrispondenza delle due discariche, occidentale ed orientale, sviluppando una rete di deflusso delle acque meteoriche (e, occasionalmente, di fusione nivale) con una densità di drenaggio particolarmente elevata.
In relazione all'intensità dei fenomeni, la progettazione delle opere di regimazione idraulica avviata dal 2002, realizzata dal 2005 (e terminata con varianti minori nel 2007) ha determinato un apprezzabile riduzione dei fenomeni, che hanno raggiunto la massima intensità, approfondimento e sviluppo longitudinale dei solchi erosivi verso la fine degli anni '90, come testimonia il confronto delle ortofotoimmagini acquisite, riferite ai diversi periodi dell'ultimo trentennio.
Le 4 linee di "discenderia" realizzate lungo i solchi erosivi maggiori delle due discariche, unitamente alla realizzazione dei "passi d'uomo" soprattutto nel rilevato occidentale, hanno determinato una certa regressione del fenomeno in quest'ultimo (in termini di riduzione della lunghezza dei solchi, nonché della loro profondità); persistono invece i ruscellamenti nel settore superiore dell'accumulo orientale, ancorchè limitatamente alla porzione più acclive.
A fronte dei processi erosivi incanalati di maggiore evidenza morfologica e significato ai fini della movimentazione di fibre di amianto, occorre tuttavia menzionare altri processi erosivi di tipo areale, che insistono sulle superfici residualmente prive di strato di copertura vegetale:

- l'erosione laminare ("sheet erosion") per effetto dell'impatto delle gocce di pioggia e del loro scorrimento superficiale diffuso, che comporta l'asportazione della frazione

più fine della matrice, in grado di trattenere la frazione organica e i nutrienti del suolo;

- l'erosione eolica, normalmente ritenuta possibile in letteratura per condizioni di velocità del vento al suolo superiori ai 20 km/h; determina la sospensione e la roto-saltazione delle particelle di suolo, in particolari condizioni di deficit idrico.

Si riportano nel seguito alcune immagini esplicative delle tipologie di fenomeno erosivo suddetto.

Figura 6: Vista prospettica dell'accumulo di discarica sul lato Est del versante, con evidenza dei solchi erosivi

Figura 7: Vista frontale dell'accumulo di discarica sul lato Ovest del versante

Figura 8: Dettagli che evidenziano l'interruzione dei solchi erosivi da parte dei "passi d'uomo" realizzati con la gradonatura del versante (fonte: RSA – riprese aeree a bassa quota, aprile 2005).

Figura 9: Solchi di erosione incanalata al piede dell'accumulo orientale (in primo piano); sullo sfondo: solchi di erosione in fase di progressivo rinverdimento (non ancora interessati da interventi di regimazione idraulica)

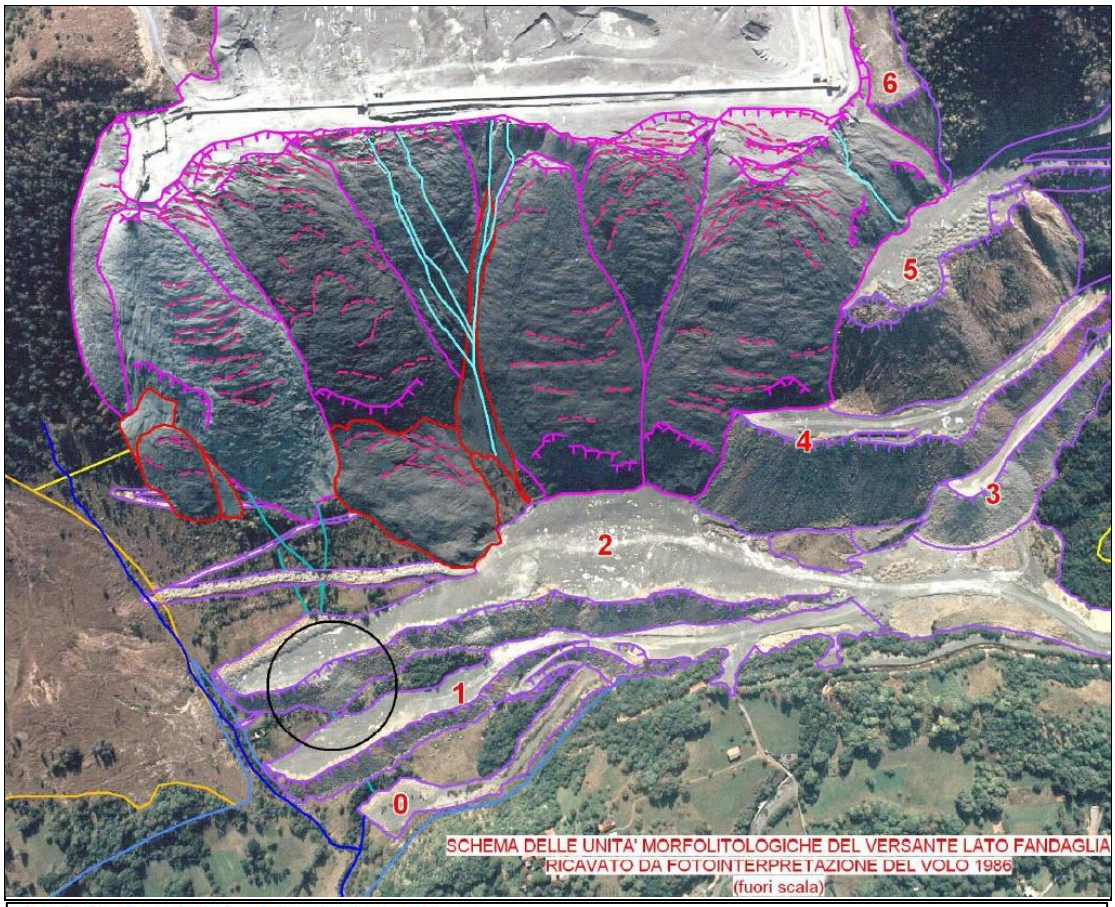
Figura 10: Superfici residue soggette ad erosione laminare diffusa ("sheet erosion") ed eolica, in quanto prive di rinverdimento superficiale; settore intermedio dell'accumulo occidentale

3.3 Quadro del dissesto in atto e potenziale: fenomeni gravitativi

I fenomeni gravitativi di versante, a carico delle due discariche del versante Nord, occidentale ed orientale, possono essere inquadrati a partire dalle analisi eseguite dagli autori precedenti, in quanto si sono esplicati in relazione al superamento di condizioni di equilibrio-limite in differenti intervalli di tempo, corrispondenti ad altrettante fasi di gestione dell'attività mineraria e delle relative discariche, e a successive differenti impronte areali e spessori degli accumuli.

Valorizzando in tal senso gli studi geologici per il progetto di sistemazione della frana del 2007, si riporta il quadro evolutivo delle condizioni di instabilità del versante, relativo ad un assetto morfologico delle zone di discarica nettamente differente rispetto a quello attuale (aereofotointerpretazione dell'assetto rilevabile da ortofoto del 1986).

È possibile notare che la gestione degli accumuli (che nel tempo hanno obliterato la viabilità inizialmente sviluppata al piede del versante), risulta improntata ad un successivo gradonamento dal basso verso l'alto, esplicatosi sino alla realizzazione del grande rilevato (di cui al progetto di sistemazione del 2002).



LEGENDA SCHEMA GEOMORFOLOGICO

- Settore coinvolto nel fenomeno franoso del gennaio 2007
- Fratture di trazione, emergenze di piani di taglio coinvolgenti gli accumuli di sterile di cava e di stabilimento
- Linee di deflusso concentrato lungo il pendio, sede di fenomeni di erosione e trasporto in massa in concomitanza di eventi meteorici
- Depressioni longitudinali lungo il pendio naturale, sede di scorrimenti idrici di carattere stagionale
- Principali impluvi, corrispondenti alle incicioni del rio Fandaglia e del rio che delimita verso est la discarica di sterili
- Principali masse di sterile che appaiono dislocate a seguito di fenomeni di cedimento degli accumuli di sterile
- Principali orli di scarpata presenti all'interno degli accumuli di sterile di stabilimento
- Principali accumuli di sterile di stabilimento, corrispondenti a successive fasi di accumulo
- Principali orli di scarpata presenti all'interno delle varie gradonature, costituite essenzialmente da sterile di cava o altro tipo di detrito
- Principali gradoni, costituiti essenzialmente da sterile di cava o altro tipo di materiale rimaneggiato; i vari livelli sono stati numerati partendo da quello posto alla quota inferiore (da livello 0 a livello 6)

Figura 11: Estratto dalla Relazione Geologica per il Progetto Esecutivo di sistemazione della frana del 2007

Allo stato di fatto attuale, le evidenze di movimenti gravitativi sono alquanto differenziate arealmente, e descritte in ordine decrescente di evidenza morfologica e grado di documentazione reperibile:

- Frana nei terreni superficiali, incombente sul tratto superiore del Rio Est, ad una quota media di 775 m s.l.m., con tendenza alla retrogressione della zona di coronamento, ed accumulo alimentante il trasporto solido dell'alveo soggiacente.

Figura 12: Frana nei terreni superficiali, incombente sul tratto superiore del Rio Est (Fonte: RSA – Ottobre 2014)

- Movimenti superficiali traslativi e roto-traslativi nei depositi "matrix-supported" lungo le superfici maggiormente acclivi dell'accumulo Ovest, interessate dalla realizzazione dei "passi d'uomo" – tra 1 e 6 in particolare, con elevata percentuale di diffusione areale, soprattutto tra la prima e la terza discenderia (assumendo come prima discenderia quella più occidentale); questi fenomeni persistono anche nella zona interposta tra l'accumulo Ovest ed Est, compresa tra la terza e la quarta discenderia, tra i passi d'uomo denominati 6a (a valle) e 2 (a monte). L'incidenza areale di questi movimenti tende a ridursi nelle aree già colonizzate dalla vegetazione arborea.

Figura 13: Frane diffuse nei terreni superficiali, settore centrale accumulo Ovest (Fonte: RSA – Giugno 2012)

- Frana a valle del grande rilevato di contenimento al piede dell'accumulo Est (ascritta dagli Autori precedenti tra le date 10-15 gennaio 2007), già oggetto di sistemazione a seguito di specifica progettazione esecutiva nel 2008 (seguita ad un monitoraggio nel corso dell'anno precedente), per la quale è ipotizzato un movimento iniziale lento di tipo viscoso su materiale plasticizzato sottostante ad elevato contenuto idrico. Attualmente il movimento risulta stabilizzato, i drenaggi sono in funzione.

Figura 14: Dissesto gennaio 2007 alla base della discarica Fandaglia – Zona est (fonte: RSA – Relazione geologica, 2008)

- Evidenze residuali di un movimento più profondo nell'accumulo Est (verosimilmente riferibile agli eventi alluvionali del settembre 1993 e ottobre 1994), con meccanismo di rottura ipotizzabile come rotazionale, la cui evidenza morfologica superficiale è oggi circoscritta ad un settore di coronamento a morfologia sub-circolare avente un ampiezza di 100 metri circa (ad 800 metri di quota media), seguito più a valle da una forma di accumulo debolmente convesso al piede (tra 750 e 710 m s.l.m.), che presenta un "pattern" erosivo nettamente differenziato (meno evoluto) rispetto al versante sovrastante (anche prima degli interventi di trattamento biovegetativo di cui al progetto del 2002).

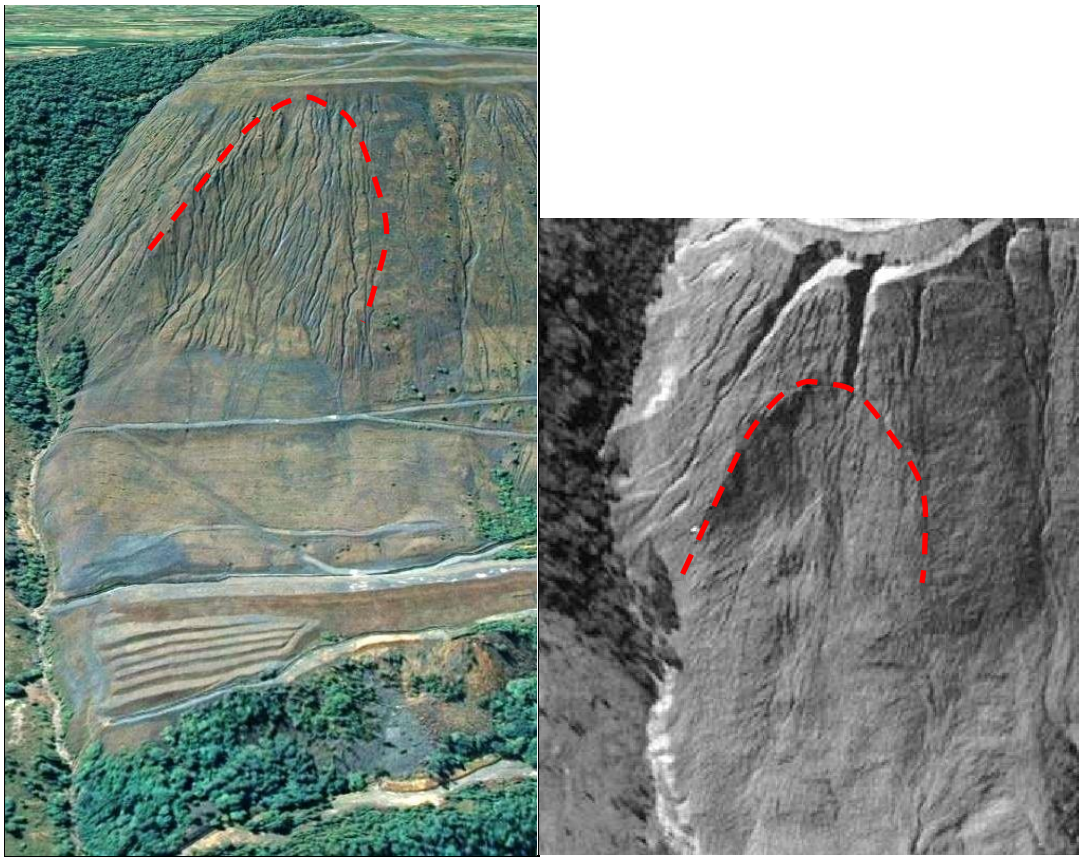


Figura 15: Evidenze residuali di movimento profondo 'accumulo Est (a dx – ortofoto anni 90)

Tale ultima evidenza risulta potenzialmente correlata al dissesto in esame. Nell'ambito delle periodiche attività manutentive nell'anno 2016 si riscontrò infatti la presenza in corrispondenza del settore SE della discarica lato Corio di una linea di frattura con andamento EW ortogonale alla linea di massima pendenza con dislocazione del terreno di qualche decimetro e sviluppo del fronte stimato in circa 200 m.

Le volumetrie potenzialmente mobilizzabili, sulla base della superficie di scorrimento individuata dalle misure inclinometriche risultano superiori ai 150.000 mc.

Figura 16 Ubicazione su foto aerea del sito d'intervento con indicazione della linea di frattura evidenziatasi nell'ambito dei depositi detritici

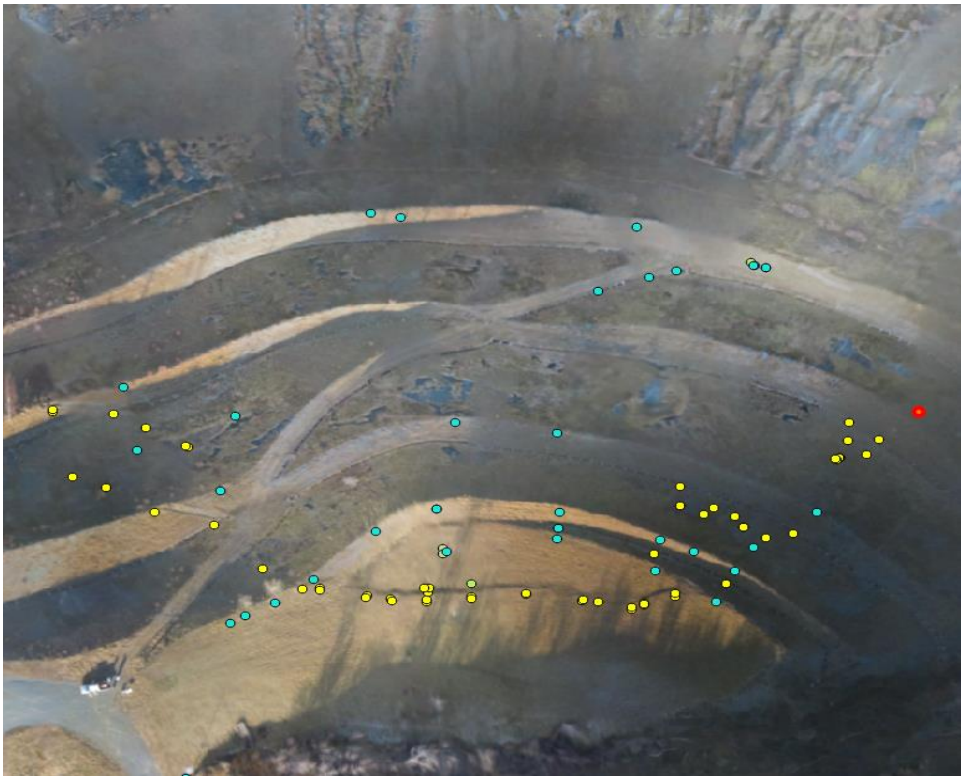


Figura 17: Distribuzione dei punti acquisiti con rilievo topografico GPS – RTK a definizione del coronamento di frana

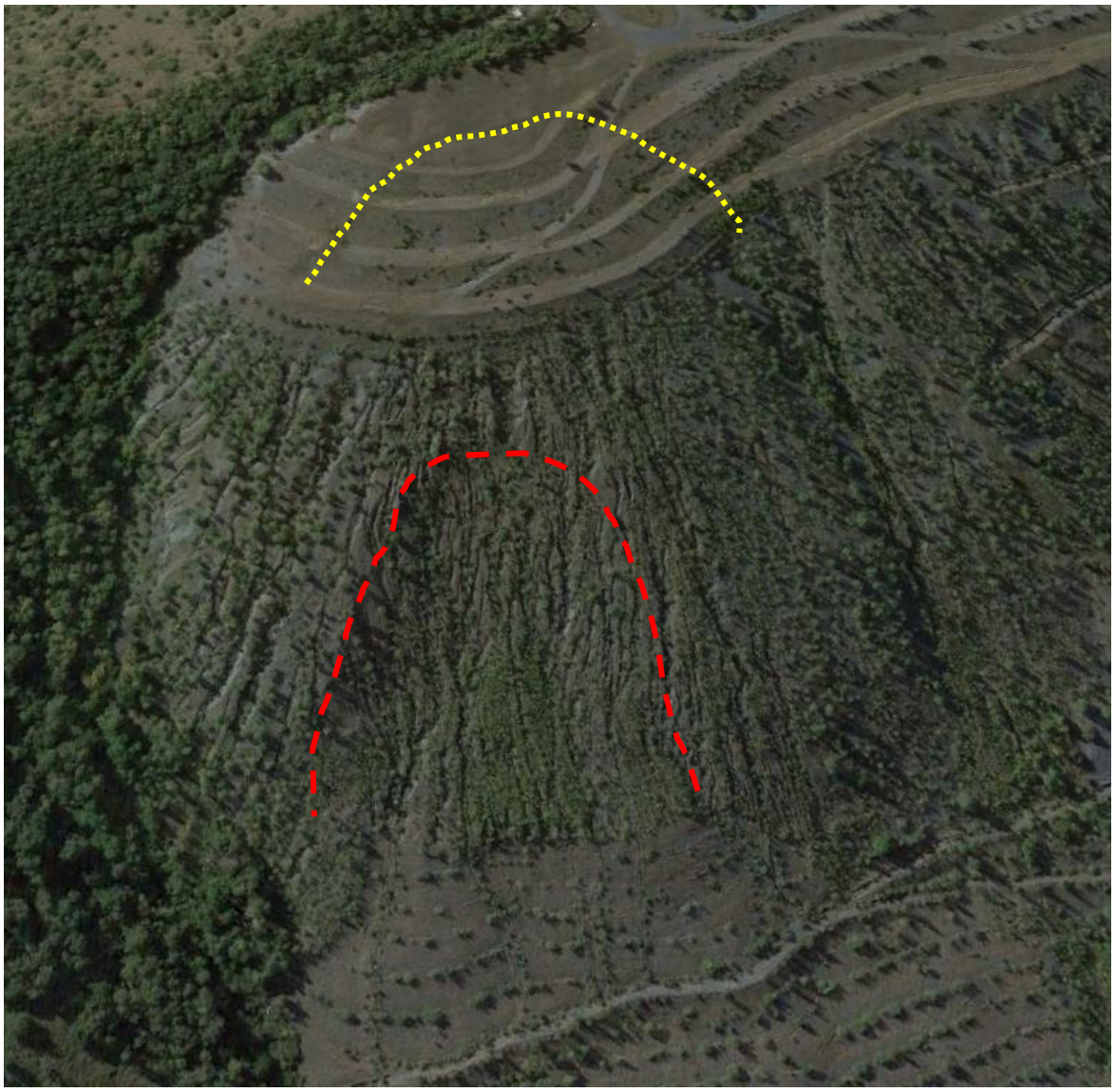


Figura 18: Raffronto tra i coronamenti di frana riconoscibili nell'area in studio – in rosso traccia evento eclatante '93-94 in giallo coronamento dissesto incipiente 2016

3.4 Quadro del dissesto in atto e potenziale: fenomeni lungo la rete idrografica

La rete idrografica nella zona di studio è riconducibile ai tratti nel seguito descritti, in parte con caratteri naturaliformi, più frequentemente condizionata artificialmente nell'ottica di intercettare e favorire la decantazione in appositi bacini delle fibre asbestifere flottanti.

- Alveo del T. Fandaglia. Il tratto naturaliforme dell'alveo si individua a valle del bacino di sedimentazione e decantazione racchiuso dalla briglia filtrante situata a quota 550 circa. Si tratta di un alveo unicursale subrettilineo, con fondo a "step

& pool" in blocchi e ciottoli di dimensione anche pluridecimetrica, con sponde boscate moderatamente incise nei depositi alluvionali. A valle della briglia, in prossimità di un guado il T. Fandaglia riceve il Rio Fornaci, affluente in sx. idrografica, descritto nel seguito.

- La sistemazione idraulica del canale di drenaggio delle acque del bacino superiore della zona a Nord del Lago, afferente al Rio Fornaci, impluvio a regime torrentizio situato esternamente al perimetro del S.I.N. tra Case Berchera e Case Vergon; tale sistemazione, realizzata su progetto del 1975, risultava finalizzata a favorire la deposizione della frazione di sedimento fine proveniente dalla zona di coltivazione in un primo bacino a quota 645 circa; a valle del bacino la sezione d'alveo risulta rivestita con sezione trapezia in cls, sul fondo e sulle sponde, dapprima a bassa pendenza, e quindi con una successione di salti di fondo alternati a vasche di decantazione a sezione rettangolare, che si interrompe a Nord-Ovest di C.se Berchera, dove è sostituita da un'alternanza di rilevati e interposte aree depresse, con finalità di trattenuta della frazione fine del trasporto solido. La sistemazione a sezione rettangolare con salti di fondo alternati a vasche di decantazione riprende più a valle, sino alla confluenza con il tratto naturaliforme del Rio Fornaci. In quest'ultimo sono presenti localizzati fenomeni di dissesto del versante destro, per erosione al piede. Nell'attuale configurazione, il canale rivestito presenta condizioni di funzionalità idraulica discrete, richiedenti una manutenzione ordinaria nel tratto a bassa pendenza a valle del bacino di monte. Più a valle, le vasche di decantazione risultano in buone condizioni, in quanto non rivelano condizioni di interramento significative.
- "Rio Est", impluvio in forte pendenza che delimita ad Est l'accumulo orientale, connotato dalla presenza in sponda sx. dei depositi di materiale lapideo di scarto industriale e in sponda dx. dalla presenza di depositi detritici con roccia serpentinitica subaffiorante in alcune sezioni. La sponda sx. del Rio, all'altezza del grande rilevato realizzato a quota 625 circa, è definita da opere di presidio spondale realizzate con tecniche di ingegneria naturalistica. Lungo il Rio Est sono presenti una serie di briglie in legname e pietrame, connotate da diffusa esigenza di manutenzione (e, in taluni casi, rifacimento) per il trasporto solido che ne ha determinato il parziale seppellimento o l'aggiramento e, in taluni casi, la disarticolazione della struttura.

Si riportano nel seguito alcuni fotogrammi esemplificativi dell'assetto idraulico sopra descritto.

Figura 19: Bacino deposizionale e briglia selettiva di valle del T. Fandaglia

Figura 20: Sistemazione idraulica del Rio a Nord di C.se Berchera: tratti rivestiti, alternanze di briglie e vasche di decantazione, bacini di deposizione

Figura 21: Sistemazioni idrauliche lungo il Rio Est, da monte verso valle; condizioni attuali delle briglie in legname e pietrame; foto in basso, relativa alla fase di costruzione, di R.S.A. (marzo 2006)

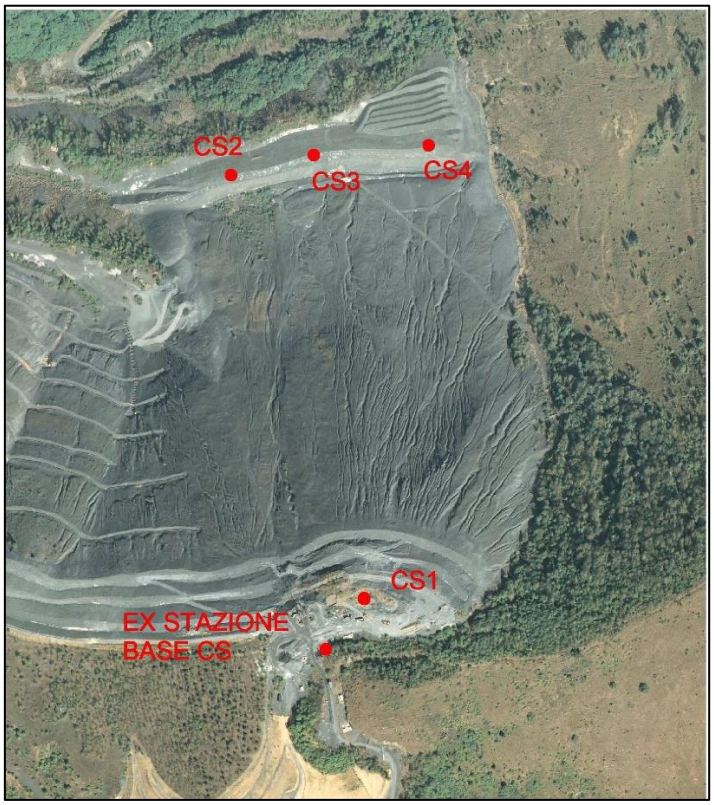
La valutazione complessiva dei fenomeni di trasporto solido in atto lungo il reticolo idrografico della zona di studio porta a ritenere un discreto stato di efficienza del sistema

di intercettazione delle fibre soggette a trasporto filtrante. Sussistono tuttavia opportunità di potenziamento della funzione di regimazione del trasporto solido, soprattutto per prevenire e contenere i fenomeni degradatori lungo il Rio Est. Per contro, la sistemazione idraulica realizzata nel 1975 è suscettibile di manutenzioni per il ripristino della capacità di trattenuta, e di selezione della vegetazione arborea aggettante o presente in alveo.

3.5 Indicazioni provenienti dalle reti di monitoraggio a terra e dal telerilevamento

3.5.1 Rete di capisaldi GPS

Per le finalità di controllo della stabilità generale degli accumuli di materiale lapideo di scarto industriale sono in esercizio dal settembre 2012 capisaldi topografici, che vengono utilizzati mediante letture periodiche con sistema GPS di precisione in modalità statica, con antenna fissa in stazione base e ricevitore mobile.



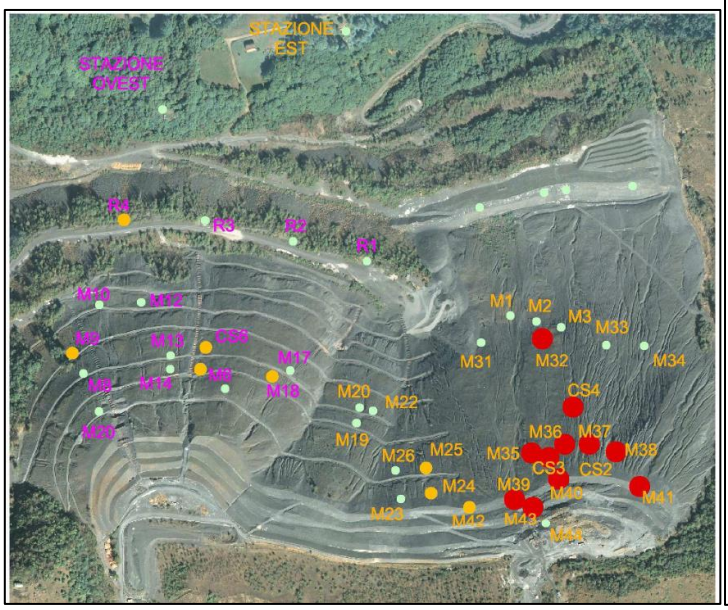
VELOCITA' DI SPOSTAMENTO 2014				
	E-W	N-S	H	TOTALE
	[mm/a]	[mm/a]	[mm/a]	[mm/a]
CS 1	-6	-54	56	78
CS 2	-3	-15	-4	16
CS 3	-2	-12	-12	17
CS 4				

Figura 22: Posizione e velocità di spostamento al suolo rilevate dalla rete di capisaldi topografici GPS di precisione

In corrispondenza dell'accumulo Est, i movimenti nel settore sommitale indicano un abbassamento del suolo di circa 5 cm/anno ed una traslazione verso Nord equivalente; i capisaldi alla base, lungo il grande rilevato basale, rivelano movimenti residuali centimetrici.

3.5.2 Rete di mire topografiche e stazioni totali

Con periodicità semestrale viene inoltre utilizzato un sistema di mire topografiche, valorizzando con stazione totale due postazioni fisse attrezzate in posizione frontale agli accumuli.



MIRA	SPOSTAMENTI 2014 * LATO EST ΔE [mm]	ΔN [mm]	ΔHe [mm]
CTM M19 #	1	33	-9
CTM M20 #	14	42	6
CTM M22	-14	43	0
CTM M23 #	-30	-9	24
CTM M24 #	-64	-39	57
CTM M25 #	-24	-41	36
CTM M26	-2	57	48
CTM M31			
CTM M32 #	-9	-125	81
CTM M33			
CTM M34 #			
CTM M35 #	-12	-144	128
CTM M36 #	-16	-135	137
CTM M37 #	15	-109	155
CTM M38 #	-22	-118	154
CTM M39	-12	-130	151
CTM M40 #	-34	-108	206
CTM M41	-56	-137	157
CTM CS2 #	-69	-153	146
CTM CS3	-23	-143	135
CTM CS4	-47	-135	173

Figura 23: Posizione e velocità di spostamento totale al suolo rilevate dalle mire topografiche con stazioni totali fisse; periodo III-IV trimestre 2013 / gennaio 2015 (componente orizzontale)

Dall'analisi delle tabelle degli spostamenti totali, si evidenziano i valori più elevati (superiori alla decina di cm/anno) sulla parte più acclive e topograficamente elevata dell'accumulo Est, mentre la situazione al piede risulta sostanzialmente stabilizzata; sull'accumulo Ovest, alle mire prevalentemente stabili si interpongono situazioni di deformazione superficiale dell'ordine di alcuni cm/anno.

3.5.3 Analisi dei dati inclinometrici

La rete inclinometrica attiva sul versante è costituita da due serie di inclinometri, posizionate lungo la linea di massima pendenza, in corrispondenza di due direttrici Sud-Nord sui due principali accumuli Ovest ed Est.

In corrispondenza del settore di interesse sono presenti due verticali inclinometriche, la cui installazione risale al 1999 e al 2007, denominate rispettivamente I16 e I19. La prima si colloca sulla spianata sommitale della discarica ove si è evidenziata la frattura mente la seconda si colloca a valle, su un gradone di rimodellamento posto a una quota inferiore di circa 25 m dalla precedente. Dal punto di vista stratigrafico la verticale di misura di monte si immorsa nel substrato litoide a una profondità di circa 22 m, mentre la verticale di valle interessa il substrato a partire da circa 37 m dalla superficie topografica esistente, il substrato litoide si rileva in tal caso a partire da circa 47 m.

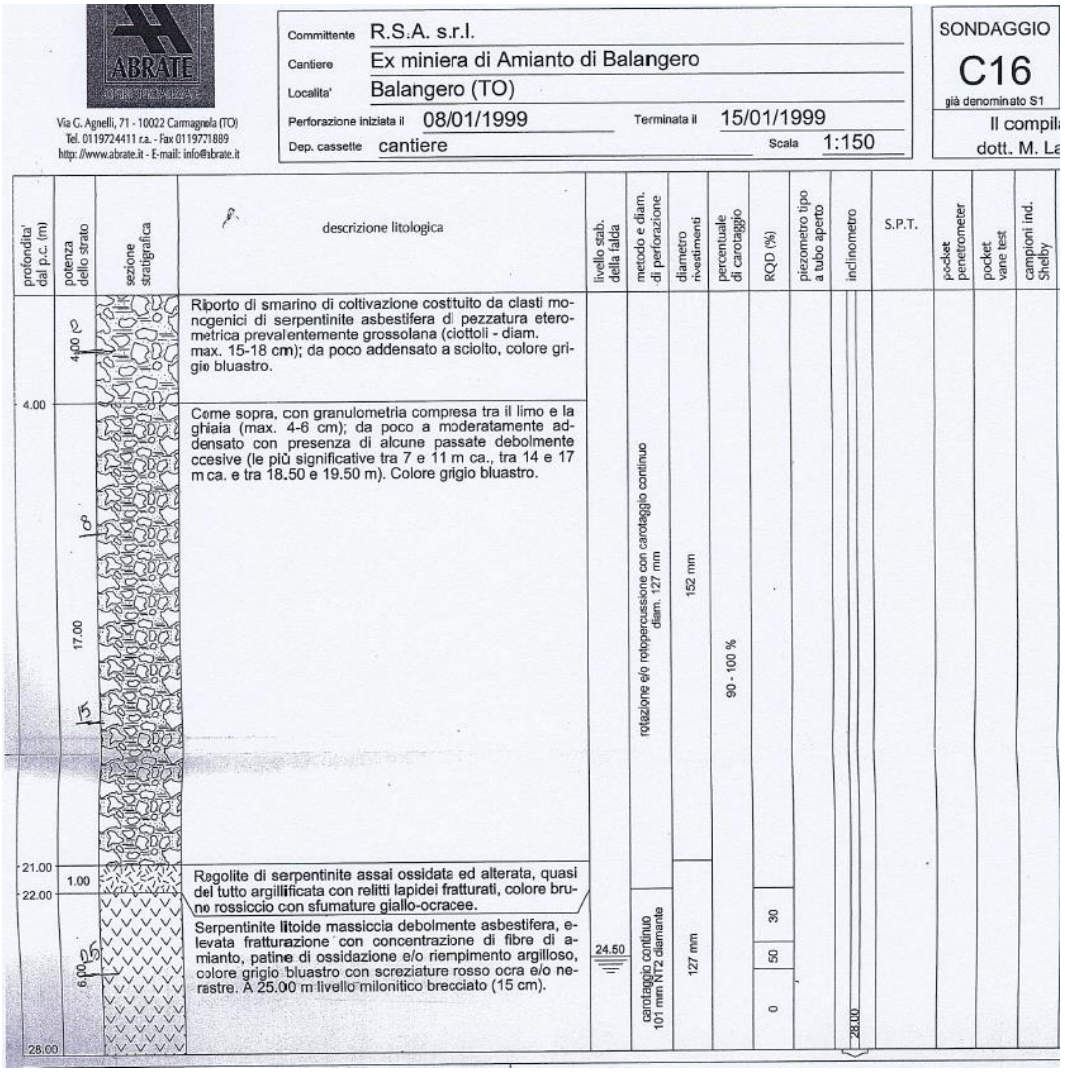


Figura 24: Stratigrafia verticale del sondaggio strumentato con il tubo inclinometrico I16

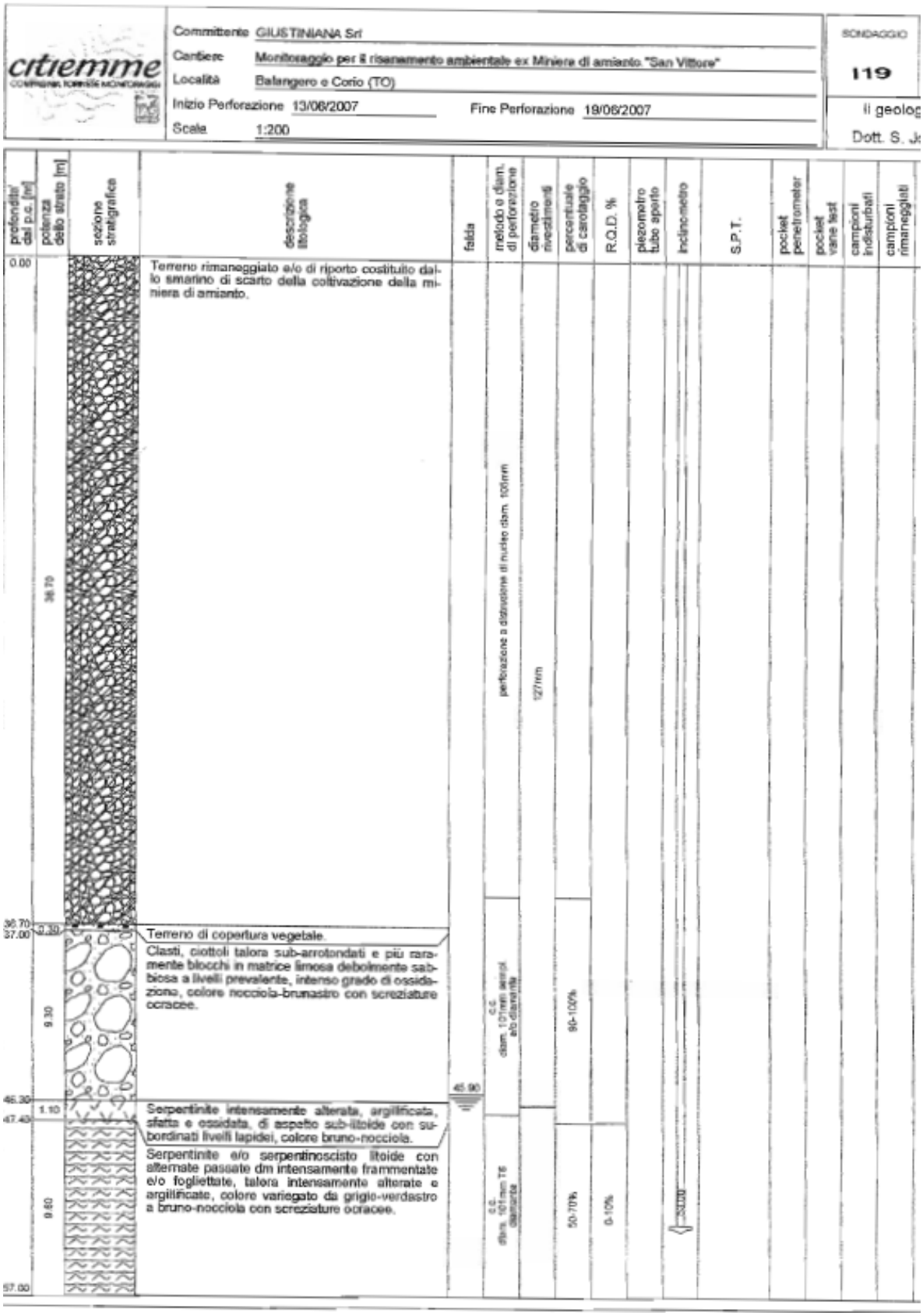


Figura 25: Stratigrafia verticale del sondaggio strumentato col tubo inclinometrico I19

Le misure inclinometriche disponibili per la verticale di valle (I19) confermano la presenza di un fenomeno deformativo di tipo profondo collocato a circa 17,50 m da boccaforo a cui si associa una instabilità più superficiale coinvolgente i primi 5-6 m sommitali. Complessivamente a testa tubo lo spostamento misurato, rispetto alla misura di riferimento del Novembre 2008, risulta di circa 50 cm.

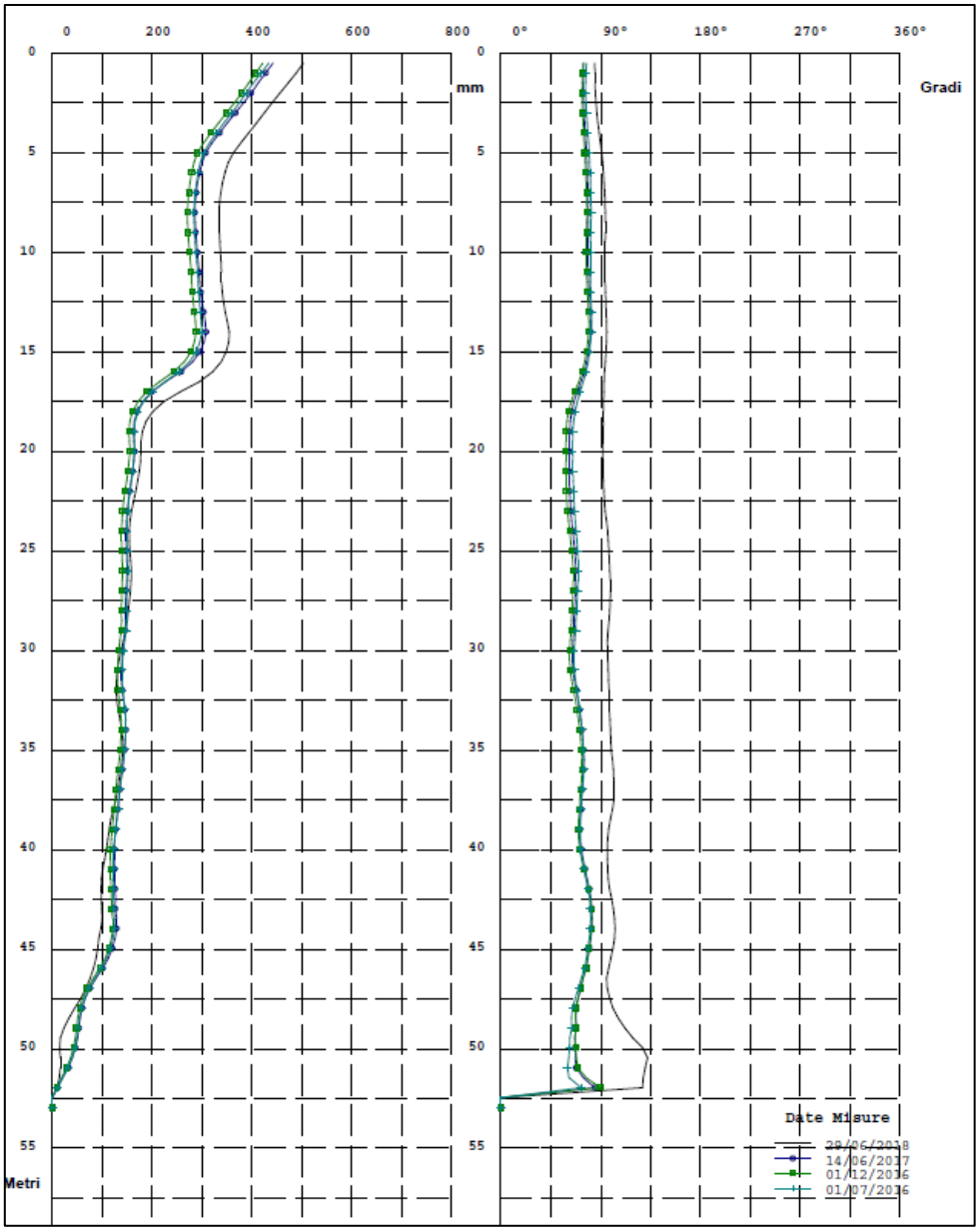


Figura 26: Andamento e direzione della deformazione registrate dall'inclinometro I19

Le misure disponibili per la verticale di monte (I16) evidenziano una attività deformativa nell'ambito della copertura più superficiale coinvolgente i primi 5-6 m sommitali. Complessivamente a testa tubo lo spostamento misurato, rispetto alla misura di riferimento del febbraio 2008, risulta di circa 5 cm. Si segnala un possibile innesco

deformativo alla profondità di circa 16 m, tuttavia solo con successive misure si potrà verificare l'effettivo grado di attività del cinematismo a tale profondità.

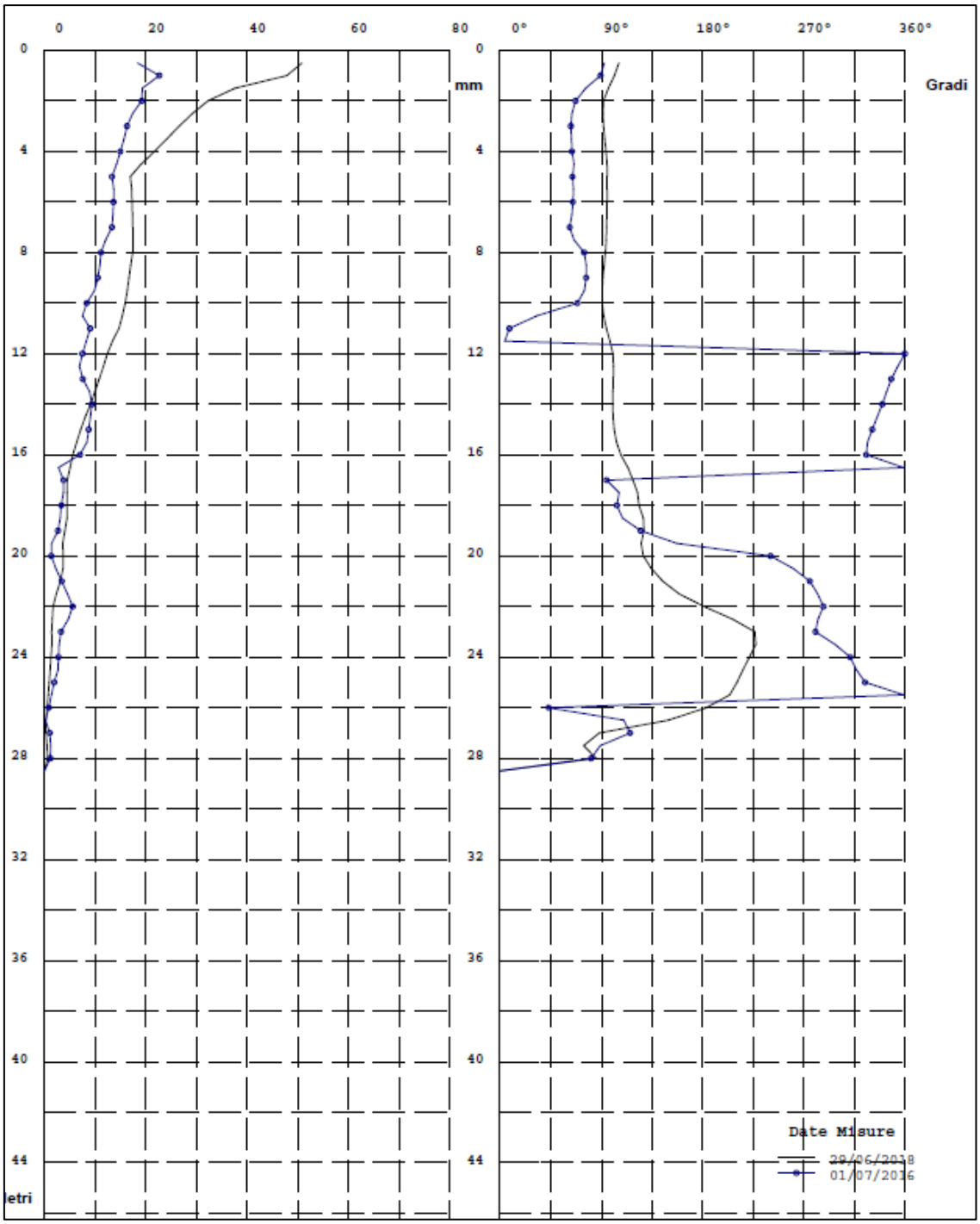


Figura 27: Andamento e direzione della deformazione registrate dall'inclinometro I16

Occorre osservare come associato al movimento orizzontale vi sia una notevole componente verticale evidenziata dal monitoraggio topografico dei luoghi. In particolare il caposaldo CS1 della Rete GPS evidenzia nel 2016 *un trend di abbassamento costante*

di circa 6 cm/anno con traslazione verso nord a velocità regolare 4 cm/anno; nel 2017 permane, *in linea con i periodi precedenti, un trend di movimento con abbassamento nel periodo di circa 4 cm e traslazione verso nord di circa 1,3 cm*.

Le mire della rete topografica (M41-M43-M44) evidenziano nel 2016 cedimenti verticali compresi tra i 5 e gli 8 cm.

Si riportano nelle figure seguenti le posizioni delle mire topografiche suddette.

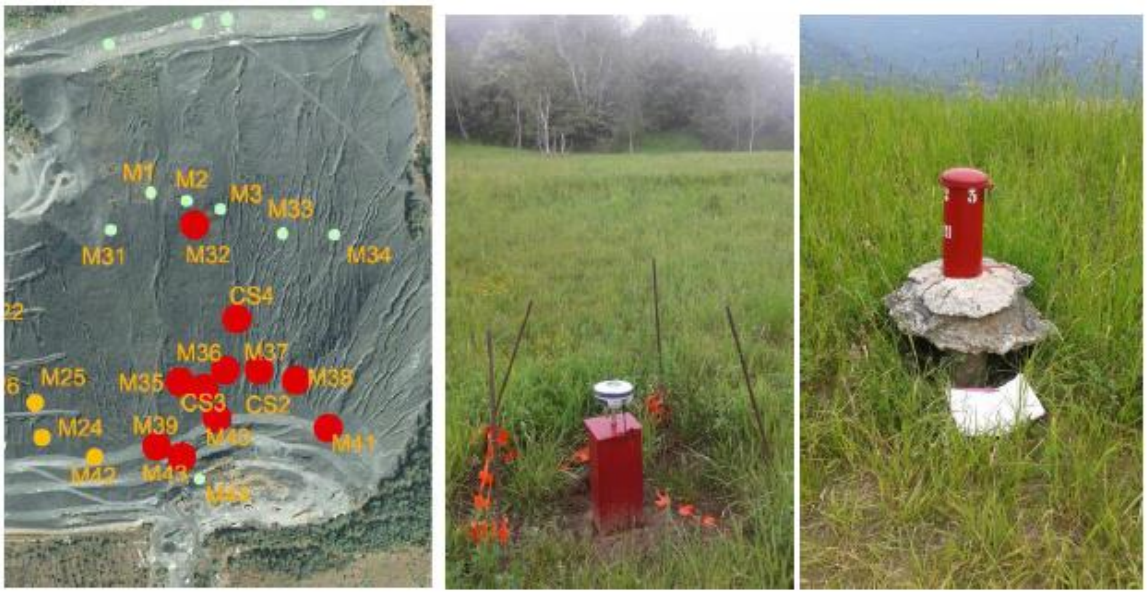


Figura 28: Posizione delle mire topografiche sul cumulo Est (a sx.). Caposaldo CS1 (centro), inclinometro sommitale (dx.)

3.5.4 Telerilevamento con metodologia PSInsar

Per ottenere un quadro dell'evoluzione del dissesto nel tempo, la consultazione delle Ortofotoimmagini storiche (anni 1988-1989, 1994-1998, 2000, 2005, 2010 e 2012) è stata integrata con l'analisi da telerilevamento; in particolare sono stati presi in esame i dati provenienti dall'interferometria Satellitare PSInsar gestita da Arpa Piemonte.

L'approccio PS si basa sull'osservazione di un piccolo sottoinsieme di bersagli radar, costituito da diffusori permanenti (Permanent Scatterers o PS), che mostra caratteristiche ideali per osservazioni interferometriche; essi preservano l'informazione di fase nel tempo e al variare della geometria di acquisizione.

I PS sono genericamente parti di edifici, strutture metalliche, rocce esposte, in generale elementi già presenti al suolo, le cui caratteristiche elettromagnetiche non variano sensibilmente di acquisizione in acquisizione.

Per ogni singolo PS si ricavano la posizione, il trend medio di deformazione, con un'accuratezza compresa tra 0.1 e 2 mm/anno, e l'intera serie temporale di

deformazione.

La frequenza di aggiornamento del dato è mensile e presenta una densità spaziale di punti di misura estremamente elevata.

Nell'area in esame, i dati forniti da Arpa Piemonte ricoprono un intervallo temporale di oltre 15 anni (satelliti ERS 1 e 2 - dal 1993 a 2000; satelliti RSat - dal 2003 al 2009: satelliti PSt - dal 2004 al 2009), permettendo quindi di confrontare gli spostamenti al suolo sia prima che dopo la realizzazione degli interventi di messa in sicurezza.

Nelle figure seguenti si riportano due distinte configurazioni ritenute significative.

1. Fase 1: assenza di interventi di messa in sicurezza visibile nell' ortofotoimmagine IT2000, con sovrapposizione dei dati di deformazione riferiti all'anno 2005.
2. Fase 2: realizzazione di interventi di mitigazione e messa in sicurezza, visibile nell'ortofotoimmagine della Regione Piemonte (anno 2010) con sovrapposizione delle deformazioni riferite all'anno 2010.

I PS rappresentati mostrano una gradazione di colori dal rosso al verde chiaro, rappresentativi di un grado di deformazione superficiale decrescente.

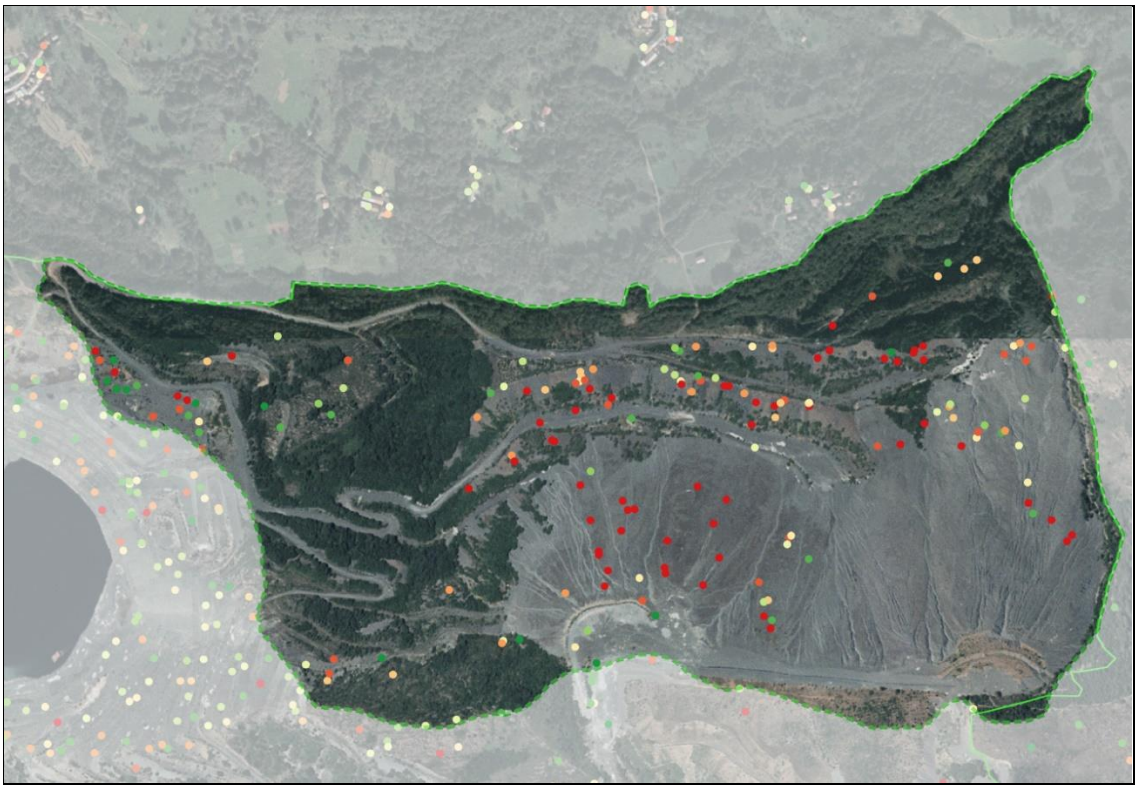


Figura 29: Ortofotoimmagine IT2000 e valori di deformazione riferiti all'anno 2005 (fase pre-interventi)

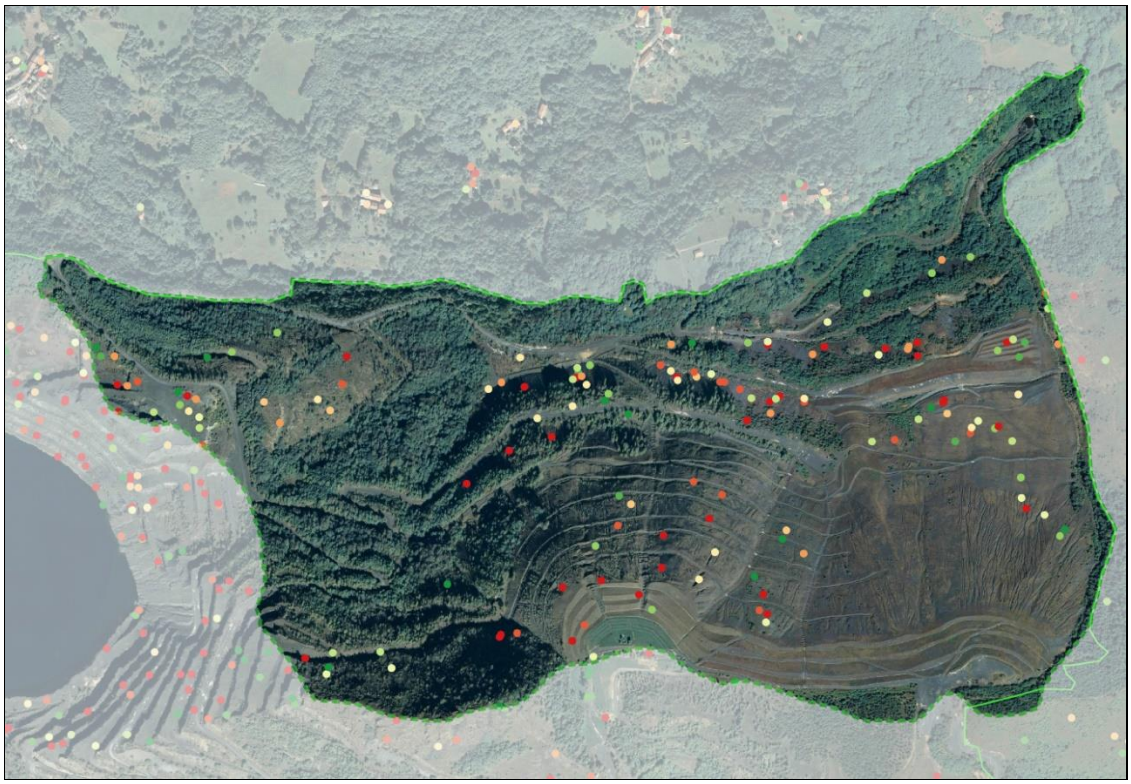


Figura 30: Ortofotoimmagine Regione Piemonte (2010) e valori di deformazione riferiti all'anno 2010 (post realizzazione interventi)

Nell'ortofoto di figura 22, in assenza di interventi di messa in sicurezza su entrambi i cumuli, condizione caratteristica antecedente all'anno 2006, si osserva una evidente prevalenza dei PS rossi, rappresentativi di una elevata deformazione sia del cumulo Est che di quello Ovest.

Nell'ortofoto di figura 23, a seguito della realizzazione di numerosi interventi di messa in sicurezza, in particolare sul cumulo Ovest, si osserva viceversa una netta riduzione dei PS rossi.

Dall'analisi comparata delle due rappresentazioni di cui sopra, emerge la difficoltà di applicazione del metodo in corrispondenza della zona superiore, più acclive, dell'accumulo Est, dove i processi degradatori in atto su una matrice litologica ad importante frazione fine rende problematica la generazione e la persistenza di Permanent-Scatterers.

Al contrario, nell'accumulo Ovest è possibile apprezzare la riduzione di PS con velocità di spostamento al suolo più bassa nell'immagine del 2010 (post-intervento di sistemazione) rispetto all'immagine del 2005. I restanti segnali distribuiti nella zona al piede non evidenziano un trend univoco, essendo fortemente influenzati dalla condizione locale.

4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Il sistema idrogeologico del versante settentrionale si connota per le seguenti caratteristiche geoidrologiche:

- substrato roccioso, avente ruolo di acquiclude basale, connotato da permeabilità per fratturazione molto bassa (in relazione al diffuso riempimento delle litoclasi da parte di minerali fillosilicatici), localmente bassa nella zona fratturata superficiale.
- depositi di materiale lapideo di scarto industriale (sterile di stabilimento) – “matrix supported”, nei quali la presenza della matrice interposta ai clasti determina condizioni di permeabilità medio-alta per porosità.
- depositi di materiale lapideo di scarto industriale (sterile di stabilimento) – “clast supported”, connotati da permeabilità elevata, sede di acquiferi per porosità, in rapporto alla posizione altimetrica tipica del piede dei gradoni.
- depositi fluvioglaciali e detritici, costituenti la zona di raccordo e di fondovalle dell’asse sepolto del T.Fandaglia (antecedente alla formazione delle discariche), connotati da permeabilità per porosità da media ad alta.

Il monitoraggio piezometrico, in accordo con quanto emerge dal Rapporto di Monitoraggio Annuale del 2014, evidenzia i seguenti caratteri idrogeologici (in regime idrologico ordinario):

- assenza di falda nel settore superiore del versante (battenti decimetrici nei piezometri P18 nell’accumulo Ovest e P19 nell’accumulo Est);
- condizioni drenate nell’accumulo Ovest (soggiacenza di 44 metri nel P20, confrontabile con la quota basale del materiale lapideo di scarto industriale); in corrispondenza dei rilevati al piede orientale di questo accumulo, la soggiacenza in PZ1 e PZ2 si riduce rispettivamente a 35-36 e 31-32 metri da p.c.;
- parziale saturazione della porzione inferiore dell’accumulo Est, a quote superiori rispetto al grande rilevato basale (soggiacenza di circa 13.5 metri, superficie basale del materiale lapideo di scarto industriale a 20.4 m da p.c., saturazione di 7 metri circa); nella zona in cui è realizzata la trincea drenante, sul grande rilevato basale, la soggiacenza misurata nei piezometri 8A-8B si conferma tra 12-16 metri da p.c.; sul lato di valle la falda è portata a giorno dai drenaggi esistenti, che alimentano il deflusso nell’adiacente Rio Est

- in corrispondenza della zona morfologicamente più depressa dell'attuale solco vallivo interposto tra il piede dell'accumulo Ovest e il terrazzo di Case Berchera, la linea di piezometri PZ3, PZ4, PZ5 evidenzia soggiacenze comprese tra 4-7 metri da p.c. (a monte), sino a 15 metri (in PZ5, più a valle, nei pressi della strada di accesso al cancello di C.se Berchera).

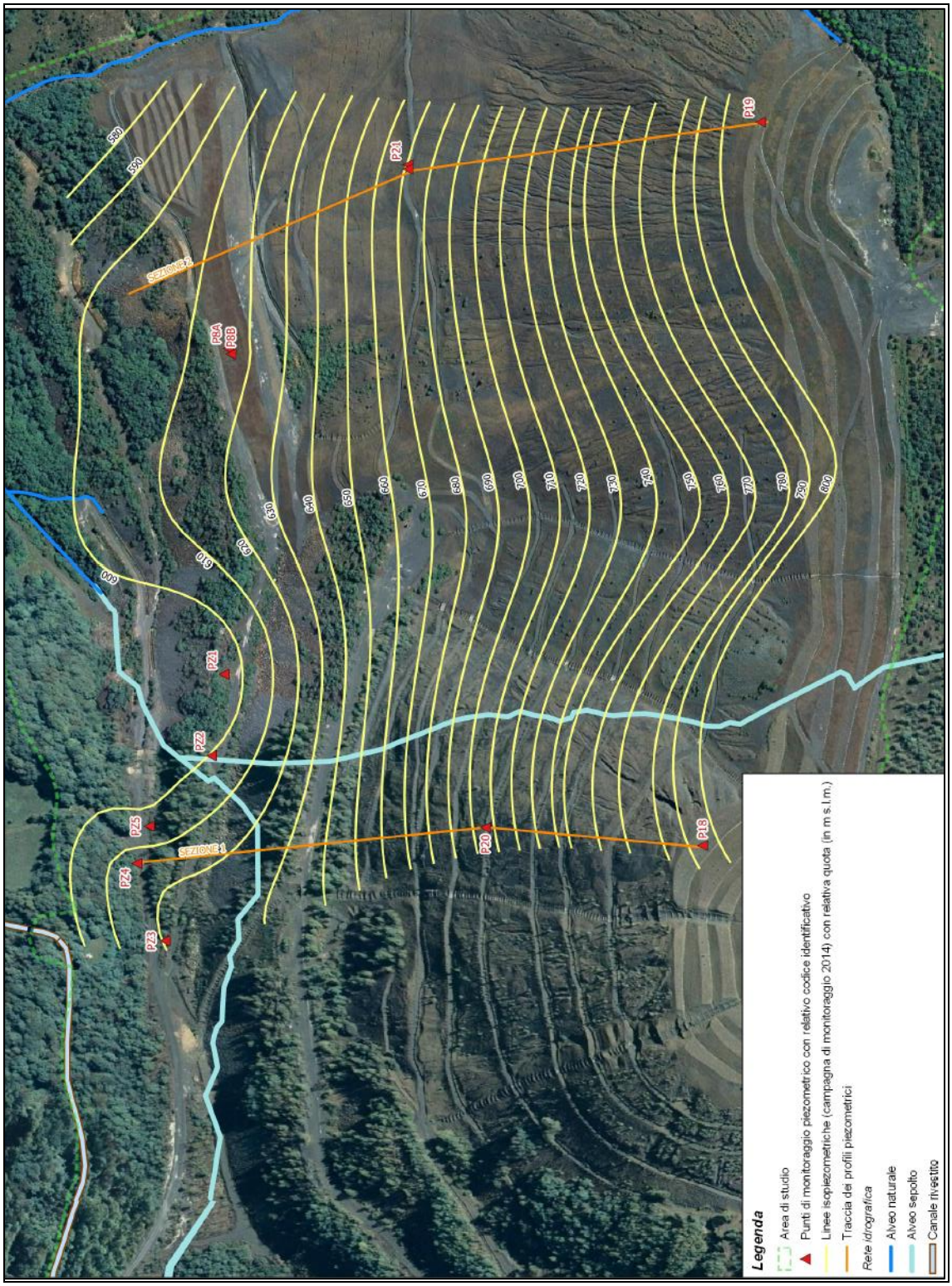
E' stata elaborata una carta piezometrica con riferimento ai livelli rilevati nel mese di giugno 2014, dalla quale è possibile desumere l'andamento della superficie di saturazione della falda idrica di versante e nel fondovalle sepolto del T. Fandaglia, al piede degli accumuli.
È possibile osservare la presenza di una depressione morfologica della piezometria, in qualche misura riferibile alla zona di confluenza sepolta tra il Rio del Prato e l'alveo del T. Fandaglia, sottolineata dall'elevata soggiacenza dei punti di misura PZ1 e PZ2 (valori superiori a 30 metri).
Nell'elaborazione della carta piezometrica, si è tenuto conto della presenza di affioramenti della falda al piede della zona di stabilizzazione della frana, realizzati con progetto del 2008, sul lato inferiore del grande rilevato basale, dove sono presenti drenaggi in esercizio con recapito verso l'adiacente alveo del Rio Est.

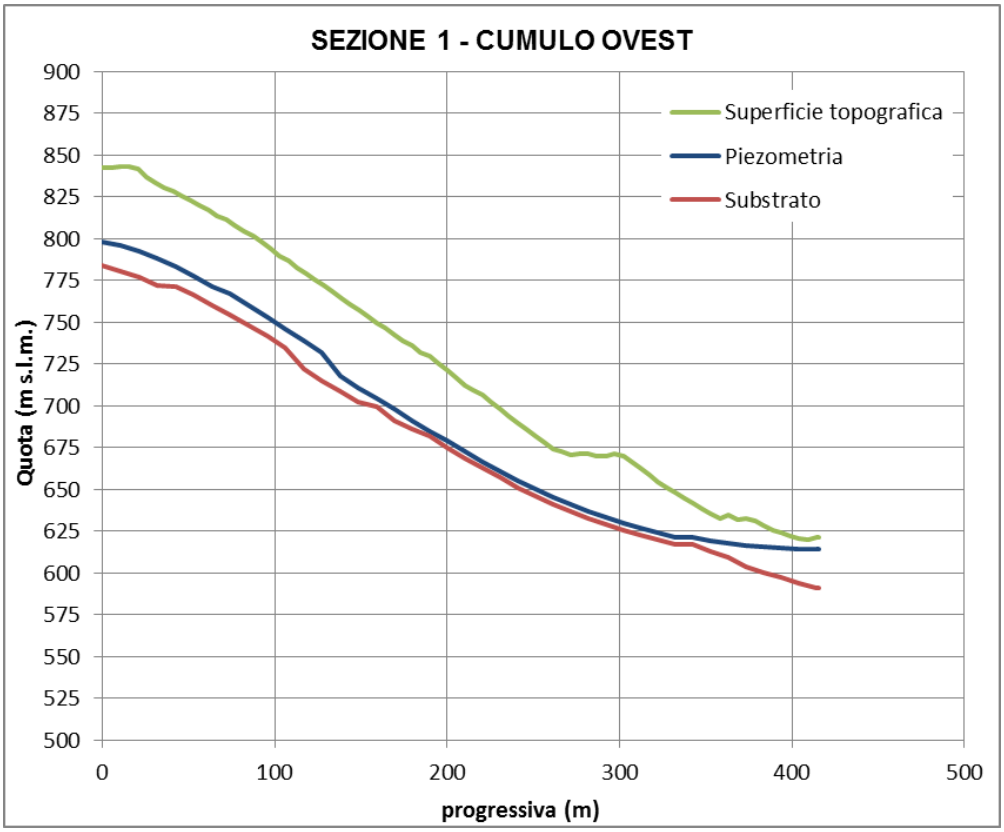
Per affinare la comprensione delle relazioni tra superficie piezometrica e dinamica di versante, sono stati elaborati n°2 profili, relativi ai due accumuli Ovest ed Est, passanti per i punti di misura piezometrica nei quali sono anche disponibili le stratigrafie di sondaggio. I profili recano indicazione della superficie basale degli accumuli, corrispondente al substrato roccioso, e della superficie piezometrica.

Dall'analisi dei profili suddetti è possibile evincere la considerevole depressione della superficie piezometrica rispetto a quella topografica: la curva di saturazione del terreno è controllata fondamentalmente dalla pendenza del substrato roccioso, in altri termini le coltri di deposito di sterile di coltivazione risultano insature nell'ordine di grandezza sino a qualche decina di metri di profondità.

Nell'accumulo Est, nella parte inferiore del pendio la soggiacenza risulta meno profonda rispetto al cumulo Ovest, ed è possibile osservare verso il piede del versante una zona di risalita piezometrica verso la superficie topografica, in prossimità delle opere di sistemazione realizzate (gradonature con drenaggi profondi).

Analogamente, nei gradoni al piede dell'accumulo Ovest la soggiacenza si riduce in corrispondenza dell'asse sepolto del T. Fandaglia.


Legenda
Area di studio
Punti di monitoraggio piezometrico con relativo codice identificativo
Linee isopiezometriche (campagna di monitoraggio 2014) con relativa quota (in m s.l.m.)
Traccia dei profili piezometrici
Rete idrografica
Alveo naturale
Alveo sepolto
Canale rivestito
SEZIONE 1
SEZIONE 2
P18
P19
P20
P21
P22
P23
P24
P25
P8A
P8B
590
595
600
610
620
630
640
650
660
670
680
690
700
710
720
730
740
750
760
770
780
790



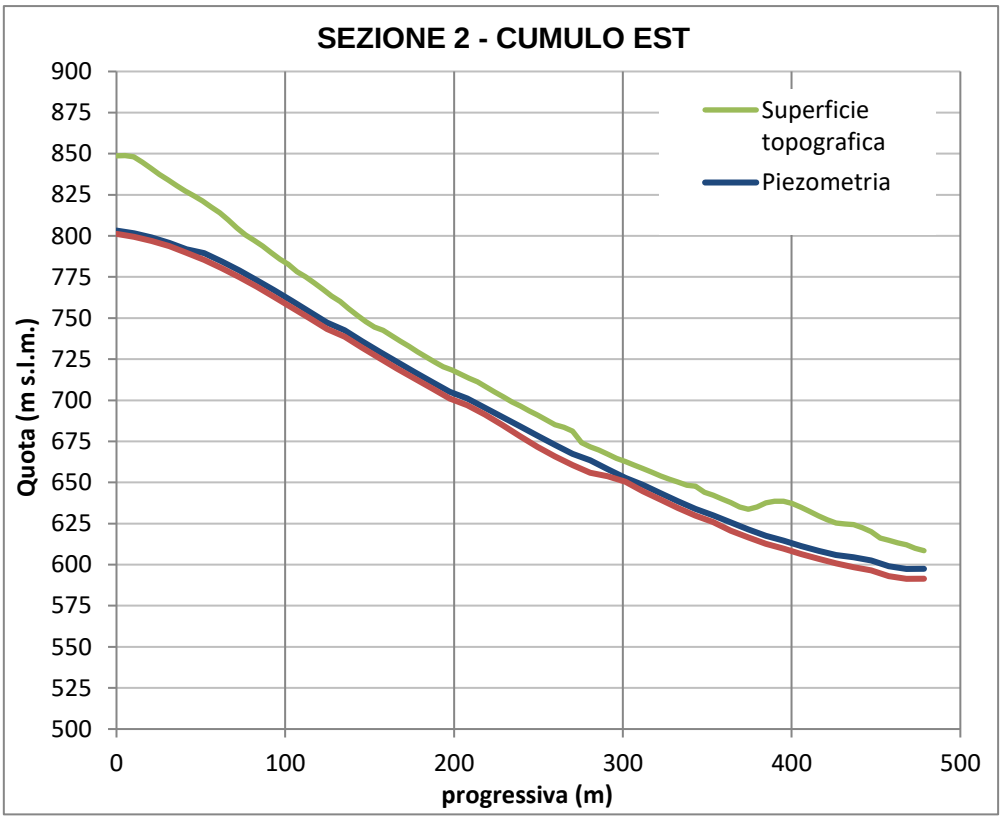


Figura 31: Carta piezometrica del versante Nord (pagina precedente) e profili piezometrici, recanti indicazione del substrato roccioso, interpolato dai sondaggi esistenti

Nel cumulo Est il gradiente piezometrico medio risulta prossimo al 47% a quote superiori ai 610 m s.l.m., riducendosi di un ordine di grandezza a quote inferiori (22 %).

Nel cumulo Ovest il gradiente piezometrico medio risulta paragonabile al precedente (48%) sino a quota 615 m s.l.m., riducendosi al 4.7% a quote inferiori.

Nello stato attuale, non risultano disponibili parametrizzazioni idrodinamiche del mezzo acquifero intercettato dalla linea di pozzi realizzata nei gradoni al piede dell'accumulo Ovest; tali parametrizzazioni potrebbero essere acquisite mediante opportune prove di pompaggio in foro con registrazione della depressione dinamica nei piezometri esistenti, a completamento del quadro idrogeologico sopra delineato.

Viene nel seguito proposta un'analisi preliminare degli elementi di bilancio idrogeologico che controllano la ripartizione dei deflussi idrici sotterranei nel contesto di versante in esame.

Si sono a tal fine considerati gli elementi conoscitivi provenienti dalle due stazioni più prossime, gestite da ARPA Piemonte:

- la stazione pluviometrica di Corio (562 m s.l.m.)
- la stazione termo-pluviometrica di Lanzo (580 m s.l.m.)

Le due stazioni presentano quote strettamente confrontabili, pertanto il regime termico registrato a Lanzo viene utilizzato come riferimento per la stima dell'evapotraspirazione anche nel sito di Corio.
In entrambi i siti è disponibile la registrazione giornaliera, con totali mensili, per il periodo di riferimento 2001-2015 (primo semestre).
Si sono considerati i dati medi mensili sul periodo: termometrici a Lanzo, pluviometrici a Corio.

Nella tabella e nella figura seguenti si riportano i valori delle temperature medie mensili e l'evapotraspirazione potenziale calcolata utilizzando il metodo di Thornthwaite

Nel diagramma successivo viene riassunto l'andamento annuale dei valori di precipitazione media mensile, evapotraspirazione potenziale media e precipitazione efficace.

Dai grafici emerge che nei mesi di luglio ed agosto l'evapotraspirazione potenziale media supera l'altezza di precipitazione, azzerando l'altezza di precipitazione efficace.
Durante il restante arco dell'anno si manifesta invece una situazione di cosiddetta "eccedenza idrica", con ricostituzione della riserva idrica sotterranea.

ANAGRAFICA STAZIONE : LANZO STURA DI LANZO

Denominazione	LANZO STURA DI LANZO
Località	SAN ROCCO
Comune	LANZO TORINESE
Provincia	PROVINCIA DI TORINO
Regione	PIEMONTE
Quota sito (m s.l.m.)	540.00
UTM X (m)	381063
UTM Y (m)	5014078
Lat. (ED50 G.sess)	451609
Long. (ED50 G.sess)	072902
Data attivazione	2001-03-23
Sensori presenti *	IPT *
Bacino idrografico	STURA DI LANZO
Zero idrometrico	N.D.

NAGRAFICA STAZIONE : CORIO

	CORIO
	CORIO
	CORIO
	PROVINCIA DI TORINO
	PIEMONTE
l.m.)	562.00
	386008
	5018529
ss)	451837
sess)	073245
	2001-01-01
*	P *
o	PO
	N.D.

Figura 32: Anagrafiche delle stazioni meteorologiche di riferimento per il sito (Corio, Lanzo)

STAZIONE	LANZO->CORIO				
	T	i	etp	N	ETP
	(°C)	indice termico	(mm)	(ore di sole)	(mm)
GEN	2,6	0,38	6,1	9,2	4,7
FEB	3,6	0,61	9,6	10,4	8,3
MAR	8,3	2,13	30,5	11,9	30,3
APR	12,0	3,78	51,9	13,6	58,8
MAG	15,9	5,74	76,5	14,9	95,0
GIU	20,2	8,27	107,4	15,6	139,6
LUG	22,0	9,40	121,1	15,3	154,4
AGO	21,3	8,97	115,9	14,1	136,2
SET	17,5	6,64	87,6	12,5	91,2
OTT	12,6	4,04	55,2	11,0	50,6
NOV	7,2	1,72	25,0	9,5	19,8
DIC	3,0	0,47	7,5	8,8	5,5
I indice termico globale		52,1			
a esponente della formula		1,4			

Figura 33: Dati per il calcolo dell'evapotraspirazione potenziale (serie termometrica stazione di Lanzo)

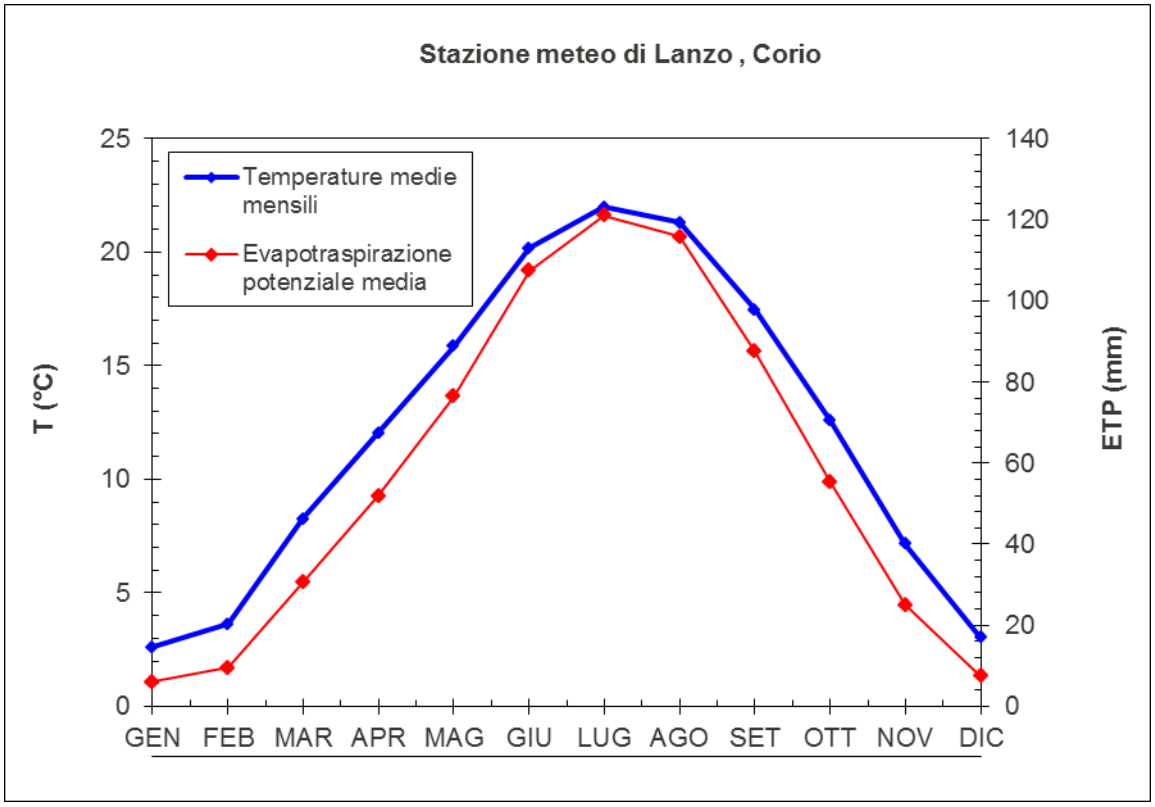


Figura 34: Valori di Evapotraspirazione potenziale media calcolati con i dati della serie termica locale

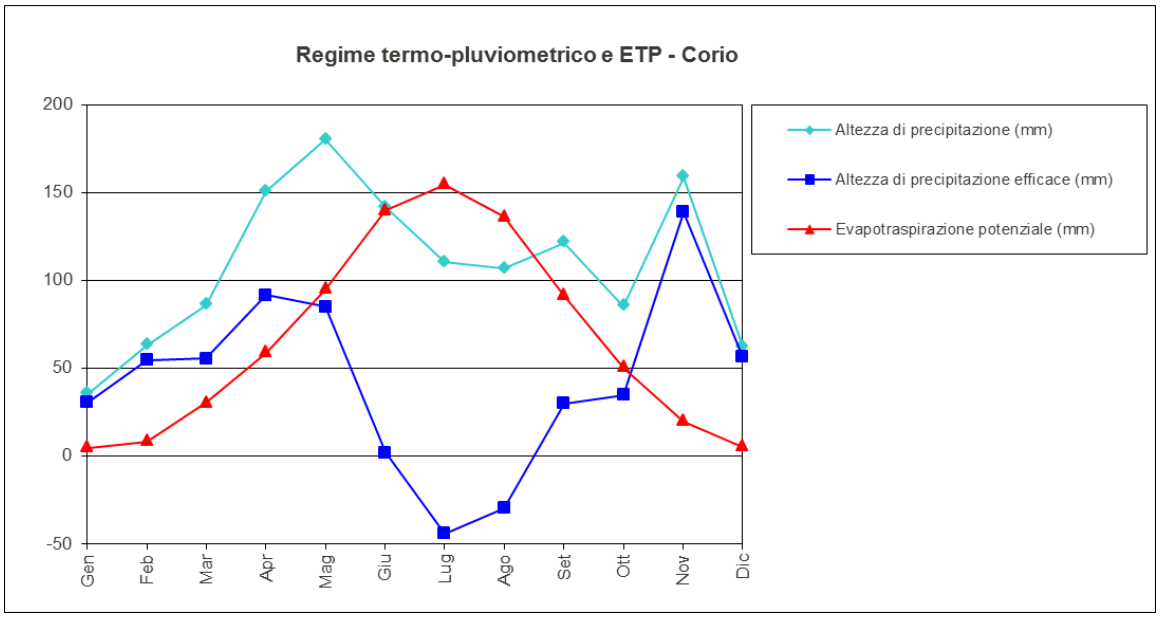


Figura 35: Stima dell'altezza di precipitazione efficace, per differenza tra altezza di precipitazione media mensile ed evapotraspirazione potenziale (corretta per il numero medio mensile di ore di sole)

Prendendo in considerazione la superficie dei bacini scolanti sul fondovalle, impostati negli accumuli Est ed Ovest, pari a circa 77 ha, riferendosi ad un'altezza di precipitazione efficace media annua nel quindicennio 2001-2005 di poco superiore a 500 mm/anno (a

fronte di una precipitazione totale media annua di 1300 mm), e ad un coefficiente di deflusso medio annuo Cd di circa 0.50, si possono stimare le grandezze nel seguito descritte.

Il deflusso superficiale (D) risulta pari a:

D = Cd* Precipitazione media annua

L'infiltrazione efficace è ricavata secondo la seguente relazione:
I efficace = Precipitazione media annua – D

Alla luce di quanto sopra esposto, sono stati preliminarmente stimati i seguenti parametri, riferiti al bacino di alimentazione delle sorgenti in esame :

- infiltrazione efficace,
- portata di deflusso medio sotterraneo.

Nella tabella seguente sono riepilogati gli elementi di bilancio idrogeologico calcolati, caratteristici
del bacino scolante verso il livello drenante di base costituito dall'alveo del T. Fandaglia.

Precipitazione mm/anno	ETP mm/anno	Prec. Efficace mm/anno	Coefficiente deflusso	Coefficiente infiltrazione potenziale	Infiltrazione efficace mm/anno	Superficie scolante (ha)	Q sotterranea media (l/s)
1300	800	500	0.50	0.50	250	77	6.1

In condizioni medie annue si stima pertanto un deflusso verso il livello drenante locale di base al piede delle discariche dell'ordine di grandezza compreso tra 5-10 l/s.

Assumendo come riferimento una lunghezza della sezione di deflusso idrico sotterraneo (ortogonale alla direzione di scorrimento lungo il versante) di 800 metri circa, e uno spessore saturo medio dei depositi compreso tra 5 e 10 metri, si ottiene una sezione di deflusso avente una superficie di riferimento variabile tra 4.000 ÷ 8.000 mq.

Considerando un gradiente idraulico medio dell'ordine di 0.4 (40%), applicando la legge di Darcy è possibile stimare una permeabilità media a grande scala dei depositi di versante dell'ordine di grandezza di 2.4E-06 m/s.

Tale valore è riferibile soprattutto ai depositi "matrix supported", mentre può risultare sensibilmente più elevato nei depositi a pezzatura grossolana dei gradoni al piede.

5 ANALISI GEOMORFOLOGICA

5.1 Acquisizione del rilievo aereofotogrammetrico del versante

In data 29-30 dicembre 2015, per affinare lo stato delle conoscenze relative all'effettivo assetto morfologico dell'area interessata dallo sviluppo del progetto, è stata eseguita un'indagine topografica mediante riprese aereofotogrammetriche da piattaforma a controllo remoto (drone).
Tale indagine si è concretizzata nell'acquisizione di una mappa tipo "Dense Cloud" di punti a terra, con una maglia avente un passo di 0.20 * 0.20 metri.

L'area complessivamente oggetto dell'indagine presenta una superficie di 2.11 kmq, ed è stata ripresa mediante l'acquisizione di complessive 744 immagini, tramite telecamera Canon PowerShot SX280 HS (4.5 mm) avente una lunghezza focale di 4.5 mm e una risoluzione 4000 * 3000. La risoluzione raggiunta a terra è di 5.65 cm/pix

Nella rappresentazione della figura seguente è possibile apprezzare il grado di sovrapposizione delle immagini, utilizzato per restituire la nuvola di punti a terra.

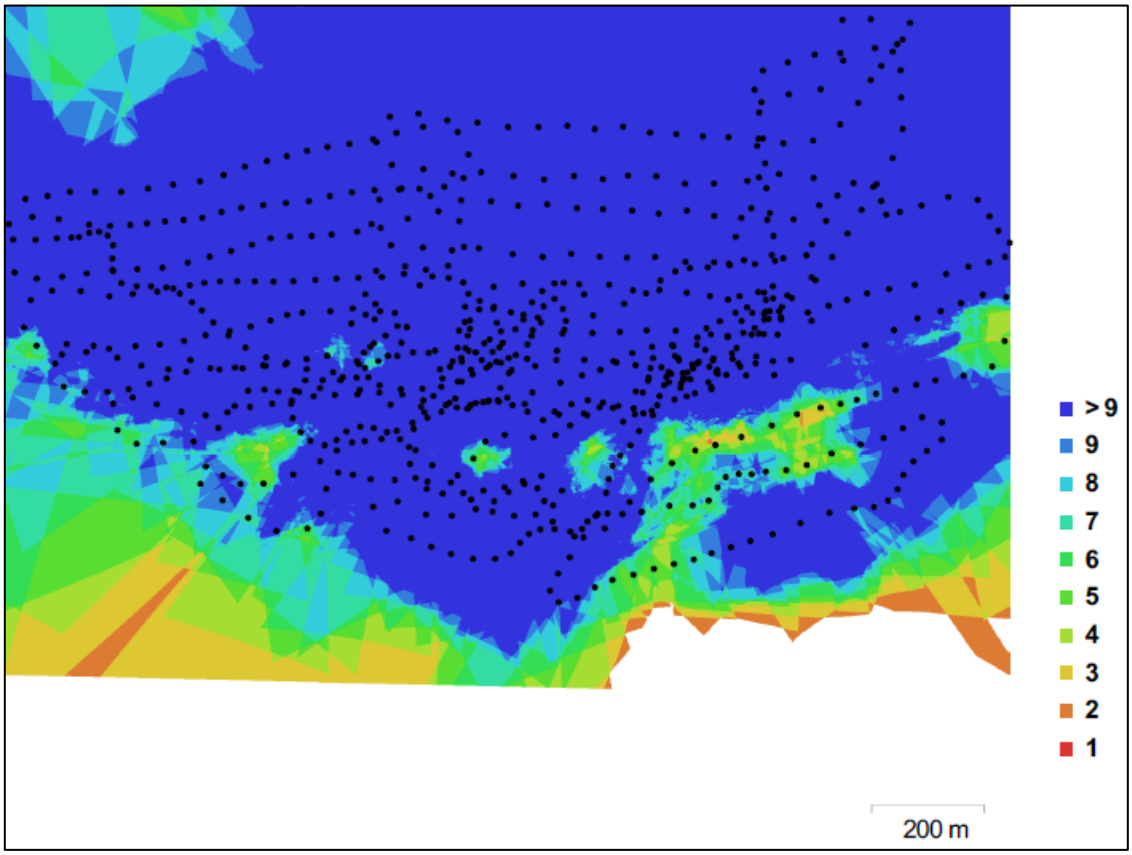


Figura 36: Numero di immagini e traiettorie di acquisizione

Il fotomosaico è stato georiferito utilizzando come riferimento i capisaldi intercettati nell'area, acquisiti da R.S.A. (Rapporto Studio Pro.Gea gennaio 2016 – "Rilievo topografico GPS finalizzato alla materializzazione e caratterizzazione di capisaldi interni all'area dell'amiantifera").

In particolare, i capisaldi intercettati dal volo sono quelli definiti:

CPS2 – Zona Lago

CPS4 - Caposaldo "Sommitale"

CPS5 - Base stazione Ovest

CPS6 - prossima a Base stazione Est

L'errore medio rivelato ai punti di controllo è risultato di 0.8 cm

Il modello digitale del terreno ricavato previa calibrazione della fotocamera ha consentito di ottenere una risoluzione del pixel di 22.6 cm

Complessivamente sono stati posizionati nel sistema di riferimento WGS 84 (EPSG:4326) 38.9 milioni di punti ("Dense cloud")

A titolo di confronto, il modello digitale del GEOportale della Regione Piemonte attualmente raggiunge un pixel di 5 metri, pertanto il livello di dettaglio acquisito nel corso della presente progettazione risulta oltre 22 volte superiore.

5.2 Analisi dei dati in ambiente G.I.S.

La nuvola di punti è stata gestita nell'ambito dello strumento free-ware Q-Gis v. 2.8.2, per elaborare il modello digitale del terreno (DTM) e generare rappresentazioni a griglia relative ai parametri morfometrici.

Tali elaborazioni hanno consentito di restituire i seguenti tematismi:

- Altimetria e aspetto del rilievo
- Esposizione
- Acclività

Tali elaborazioni sono riportate nella tavola 17.

Si riportano nel seguito stralci delle mappe suddette, per evidenziare il grado di dettaglio acquisito nella ricostruzione e nella digitalizzazione cartografica numerica delle forme caratteristiche dei processi descritti nei capitoli precedenti.

Il parametro dell'esposizione concorre a valutare le zone connotate da un punto di vista fisico a diverse condizioni di ritenzione dell'umidità naturale, che rappresenta un fattore primario nei confronti dello sviluppo delle coperture vegetali delle discariche di materiale lapideo.

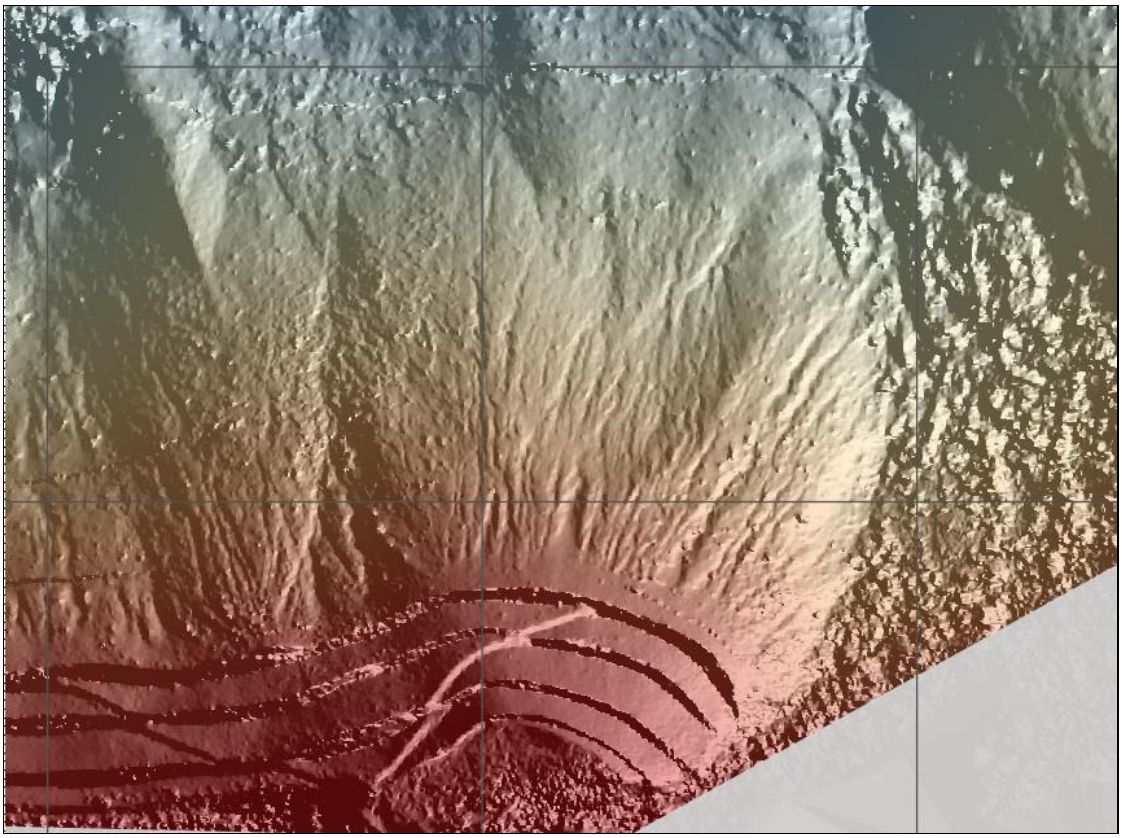


Figura 37: Analisi del modello digitale del terreno ricostruito con il rilievo da drone: dettaglio del cumulo Est

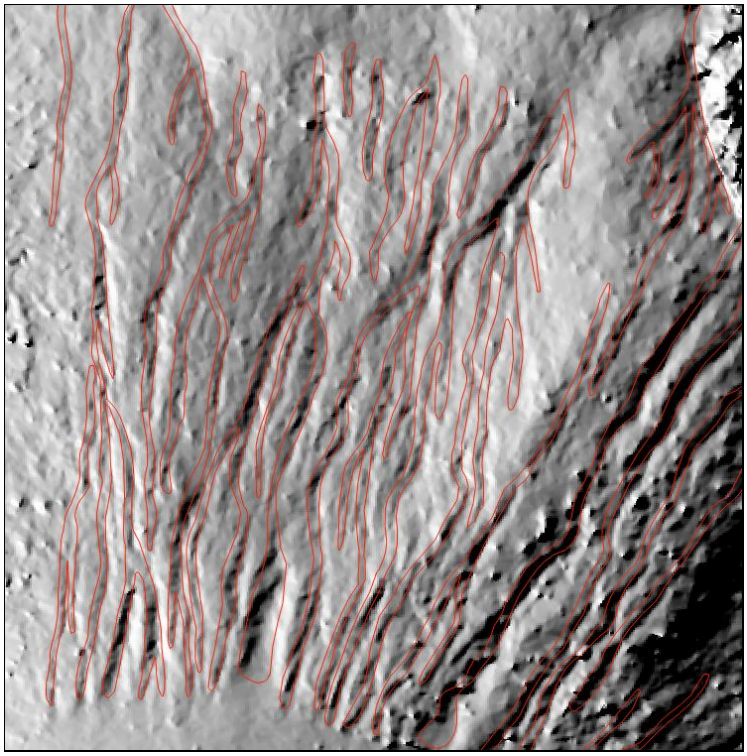


Figura 38: Digitalizzazione degli elementi morfologici: particolare disegno incisioni calanchive – cumulo Est.

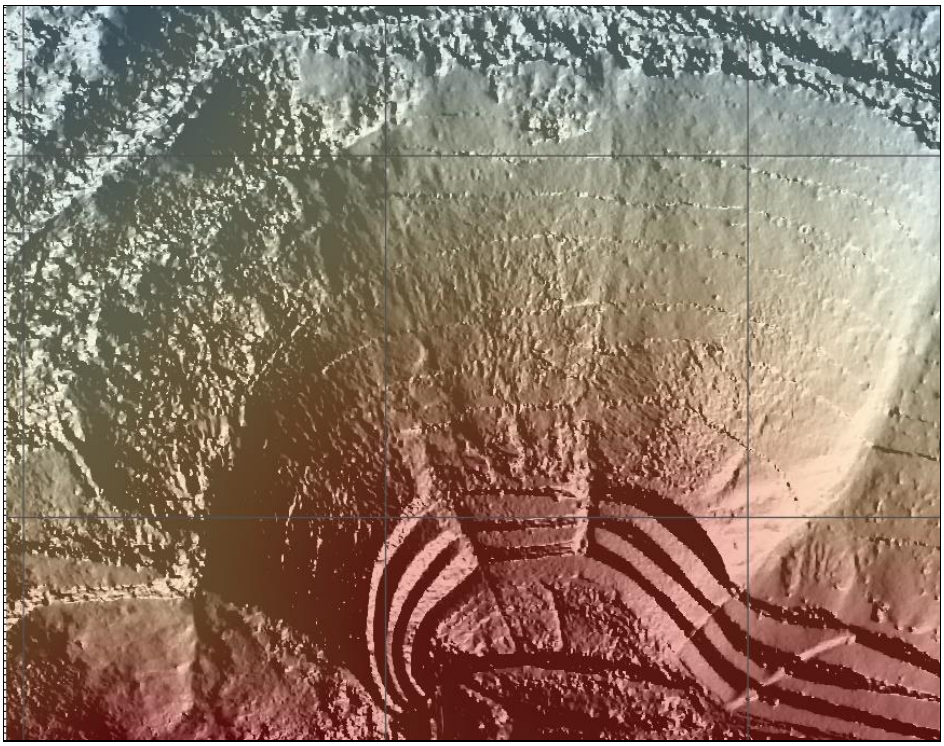


Figura 39: Analisi del modello digitale del terreno ricostruito con il rilievo da drone: dettaglio del cumulo Ovest (sotto)

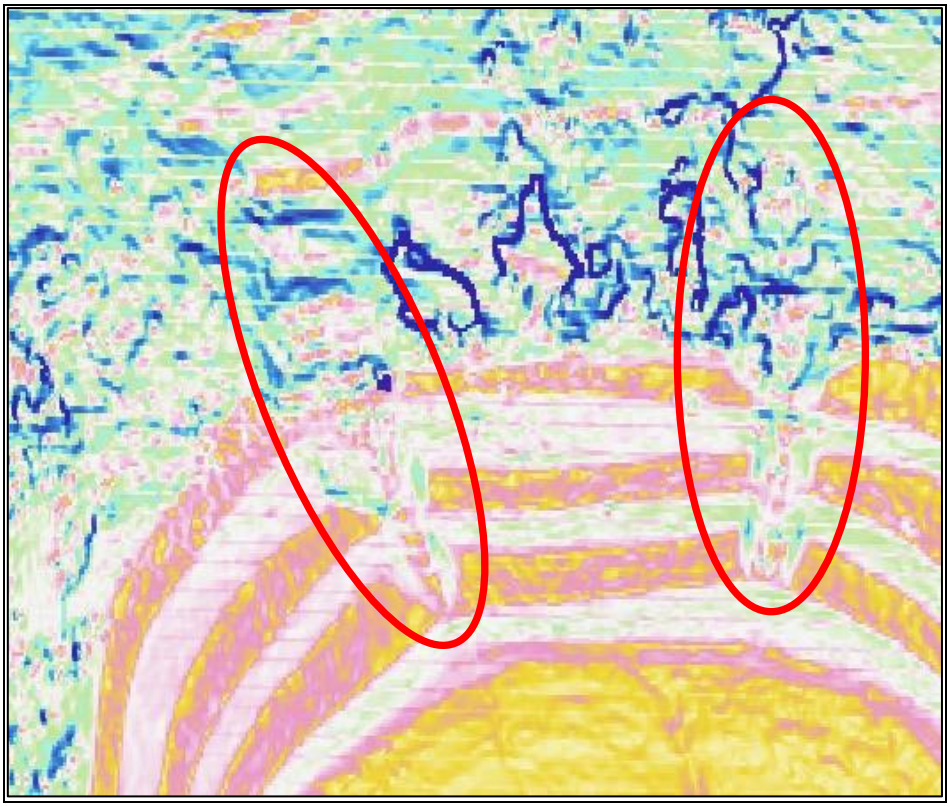


Figura 40: Analisi del modello digitale del terreno ricostruito con il rilievo da drone: elaborazione della carta delle pendenze – particolare del cumulo Ovest e dei gradoni superiori; in evidenza si indica il dettaglio delle rotture di pendenza restituite dal rilievo, corrispondenti alle strutture trasversali della discenderia esistente

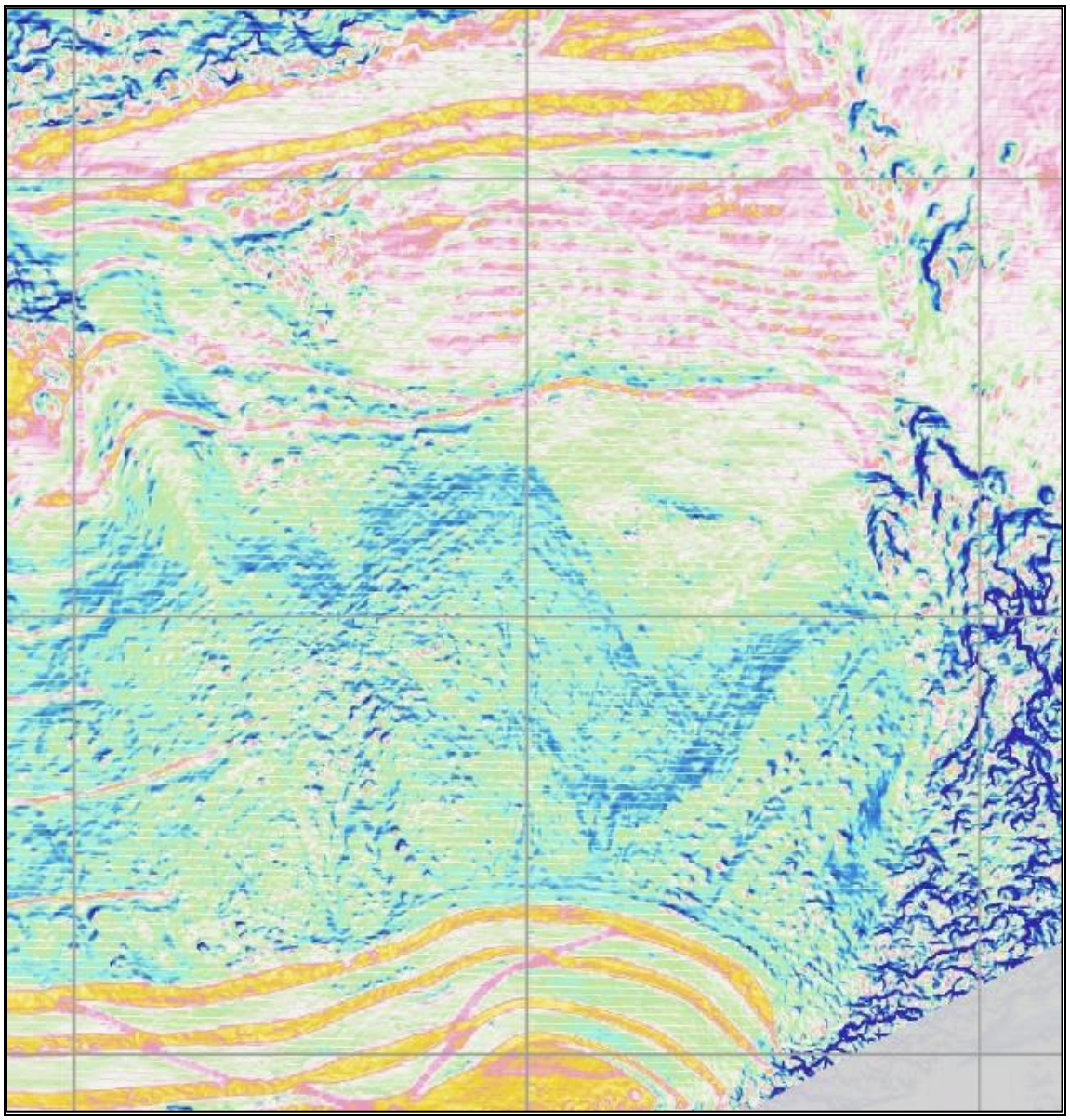


Figura 41: Analisi del modello digitale del terreno ricostruito con il rilievo da drone: elaborazione della carta delle pendenze – particolare del cumulo Est e dei gradoni superiori, dei terrazzamenti inferiori, dell'unghia.

Dalla riclassificazione mediante interpolazione delle quote acquisite e georiferite sono state ottenute le curve di livello di supporto alla progettazione, con isolinee secondarie ogni 50 cm di quota e isolinee direttrici ogni 5 metri d'altezza.

Si riportano esempi riferiti a diversi ambiti del versante sul quale si è sviluppata successivamente la progettazione delle opere di messa in sicurezza.

Dalle curve di livello sono stati altresì desunti tutti i profili e le sezioni di progetto, che pertanto si basano su un campionamento della superficie topografica in media ogni 0.5 metri, ottenendo una continuità di rappresentazione di gran lunga più elevata rispetto al rilievo topografico tradizionale a terra con stazione totale o GPS differenziale.

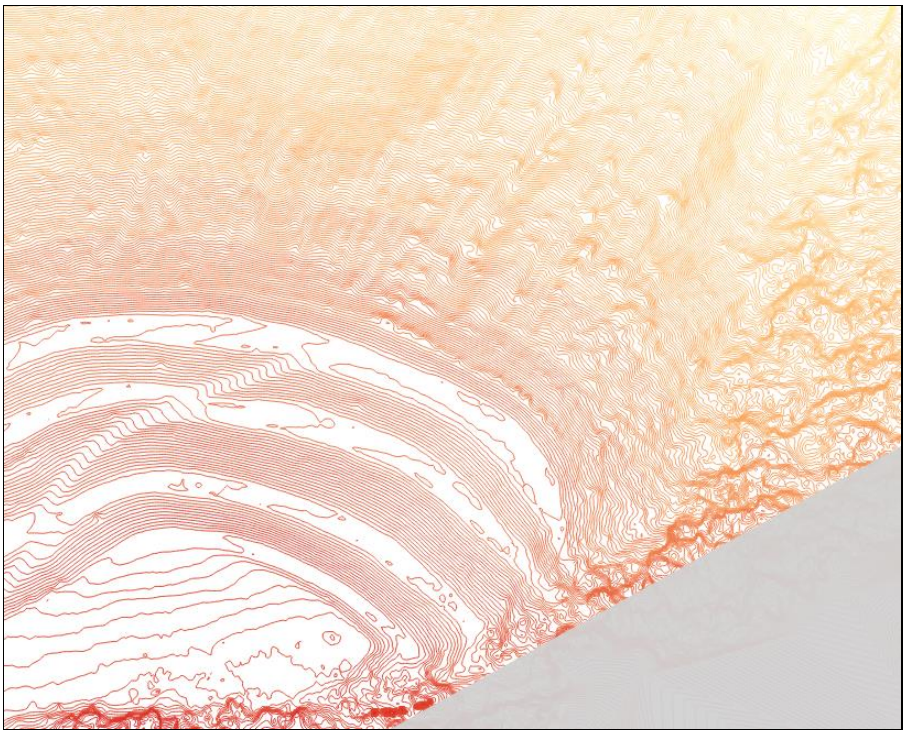


Figura 42: Ricostruzione delle curve di livello – settore del cumulo Est verso Rio Est; equidistanza 0.5 metri

Figura 43: Ricostruzione delle curve di livello – settore centrale tra piede dell'unghia e cumulo Ovest (a sx.); equidistanza 0.5 metri

6 INQUADRAMENTO SISMICO

6.1 Caratteri sismici dell'area piemontese

Il contesto tettonico e i regimi geodinamici tuttora attivi legati all'evoluzione della catena alpina sono all'origine dell'attività sismica presente in Piemonte, generalmente modesta come intensità, ma notevole come frequenza.

I terremoti si manifestano principalmente lungo due direttrici che riflettono chiaramente l'assetto tettonico regionale essendo quasi coincidenti, entro un ragionevole margine di distribuzione, l'uno con il fronte Pennidico e l'altro con il limite fra le unità pennidiche e la pianura padana.

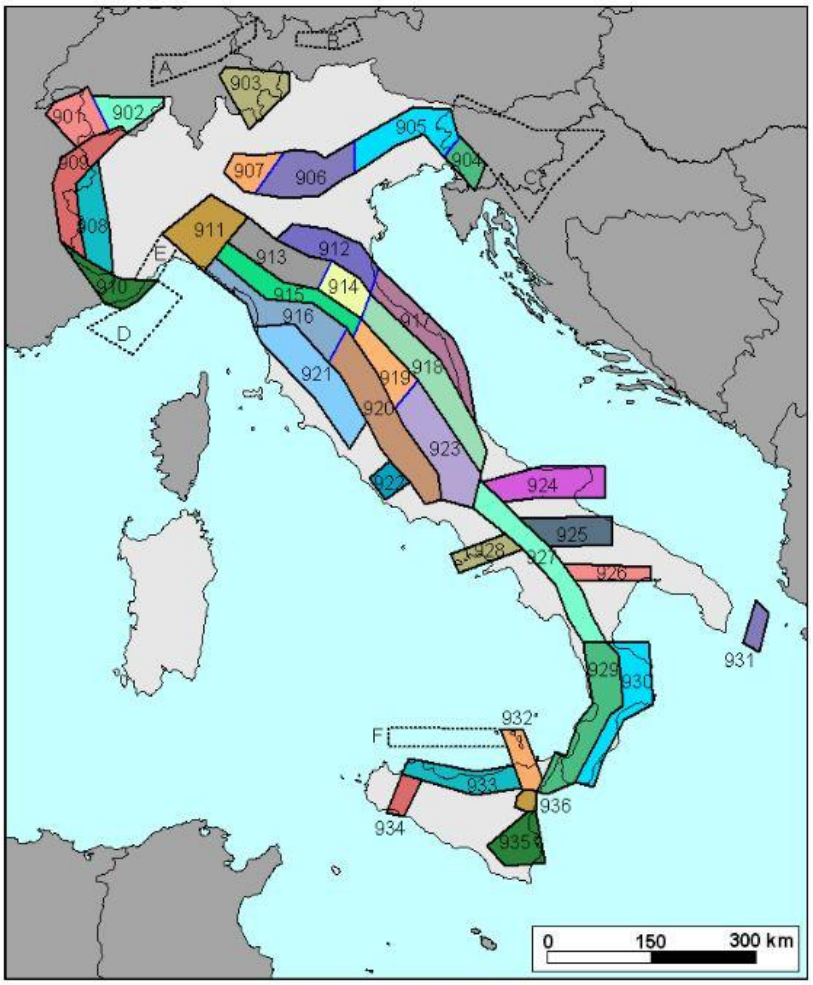


Figura 44: Zone sismogenetiche, figure tratte da Meletti & Valensise (2004, in Stucchi et alii, 2007).

Osservando infatti la localizzazione degli epicentri dei terremoti registrati dalla rete sismica si nota chiaramente una distribuzione dispersa lungo due direttrici principali:

- una segue la direzione dell'Arco Alpino occidentale nella sua parte interna in corrispondenza del massimo gradiente orizzontale della gravità (zona sismogenetica 908);
- l'altra (zona sismogenetica 909) più dispersa segue l'allineamento dei massicci cristallini esterni in corrispondenza del minimo gravimetrico delle Alpi Occidentali francesi.

Le due direttrici convergono nella zona del Cuneese, per riaprirsi a ventaglio verso la costa, interessando il Nizzardo e l'Imperiese (fonte: ARPA Piemonte).
Una terza direttrice (zona sismogenetica 911 “Tortona – Bobbio”), infine, interessa il fronte occidentale dell'Appennino sepolto ed il suo prolungamento nel Monferrato.

6.2 Sorgenti sismogenetiche e faglie capaci

L’Italia si colloca nel settore centrale del bacino Mediterraneo, caratterizzato da un complesso mosaico geodinamico, contraddistinto attualmente da zone di convergenza e di distensione con diverso grado di attività. In prevalenza, la deformazione crostale si distribuisce lungo sistemi di faglie riconoscibili in superficie, ma talvolta sepolti, e si manifesta con eventi sismici.

In Italia, molti terremoti storici catastrofici (e.g., i terremoti del 1783 in Calabria, 1915 nel Fucino, 1980 in Irpinia, con magnitudo intorno a 7), sono stati associati a fenomeni di fagliazione superficiale; studi paleosismologici hanno consentito di riconoscere fenomeni simili in epoca tardo Pleistocenica-Olocenica lungo varie strutture tettoniche considerate in precedenza inattive, dimostrandone una frequenza maggiore di quanto prima supposto.
La fagliazione superficiale può indurre seri danni agli edifici e alle infrastrutture e quindi rappresentare una rilevante fonte di pericolosità, particolarmente nelle numerose aree densamente popolate ed industrializzate del territorio italiano.
Di conseguenza, la conoscenza approfondita e la precisa collocazione spaziale delle faglie in grado di produrre una significativa deformazione tettonica permanente in superficie (faglie capaci), assume un ruolo chiave per la mitigazione del rischio.

Nel caso in esame la consultazione del database del progetto ITHACA (ITaly Hazard from CApable faults) ha permesso di escludere la presenza di faglie capaci, intese come lineamenti tettonici attivi che possono potenzialmente creare deformazioni in superficie e produrre fenomeni dagli effetti distruttivi per le opere antropiche, di interesse per il settore ove si colloca il manufatto oggetto di intervento. La consultazione del *Database of Individual Seismogenic Sources* (DISS) gestito dal INGV, di cui si riporta uno stralcio

cartografico nella figura successiva, conferma l'assenza di strutture sismogenetiche note di interesse per il settore in esame.

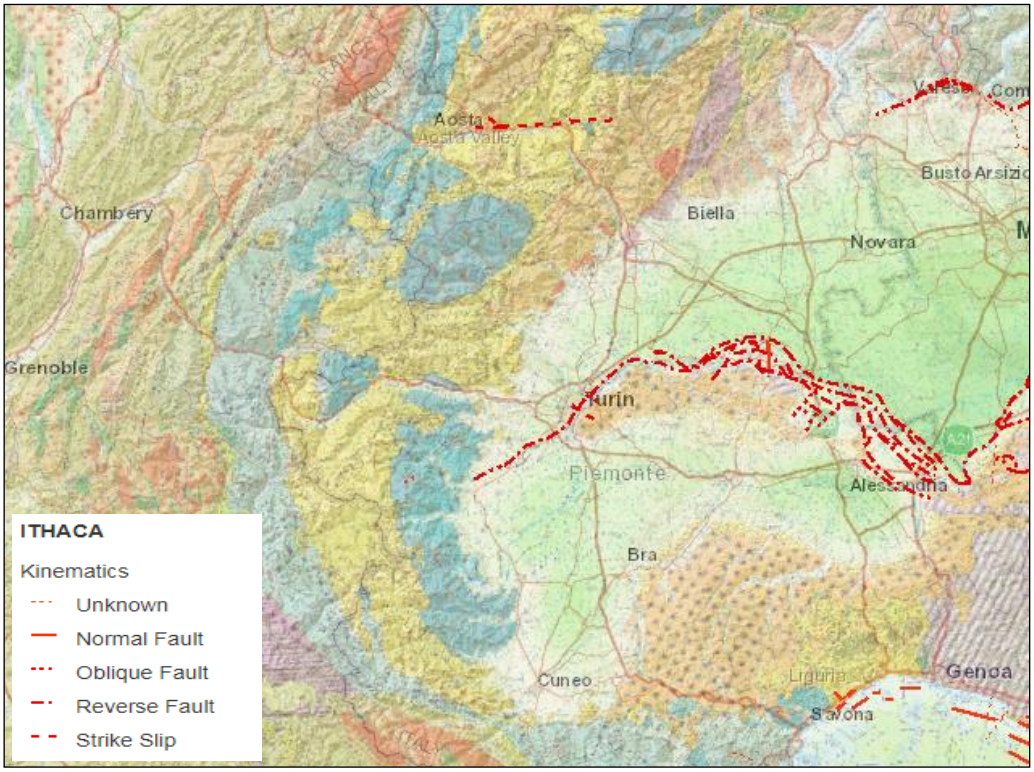


Figura 45: Stralcio cartografico dal catalogo delle faglie capaci - ITHACA.

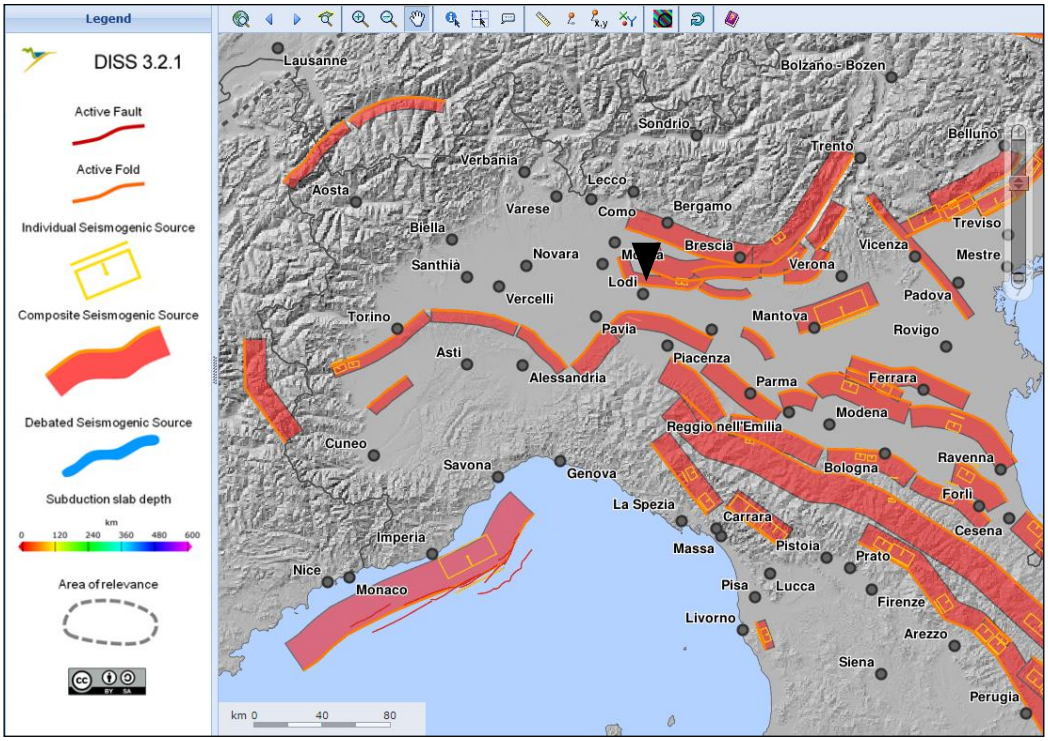


Figura 46: Stralcio cartografico dal database DIIS.

6.3 Intensità macrosimica e sismicità storica dell'area

Per quanto riguarda l'attività macrosismica dell'area in esame alcune considerazioni di carattere generale possono farsi sulla base delle mappe delle massime intensità macrosismiche osservate nei Comuni Italiani elaborate, per conto del Dipartimento della Protezione Civile, da Molin et al. nel 1996.

Tali mappe elaborate a partire dai dati collezionati nella banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA associano ad ogni Comune un valore di intensità massima osservata oppure "ponderata", espresso in una delle cinque classi seguenti: ≤6, 7, 8, 9, ≥10 della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS):

Grado	Scossa	Descrizione
I	impercettibile	Avvertita solo dagli strumenti sismici.
II	molto leggera	Avvertita solo da qualche persona in opportune condizioni.
III	leggera	Avvertita da poche persone. Oscillano oggetti appesi con vibrazioni simili a quelle del passaggio di un'automobile.
IV	moderata	Avvertita da molte persone; tremito di infissi e cristalli, e leggere oscillazioni di oggetti appesi.
V	piuttosto forte	Avvertita anche da persone addormentate; caduta di oggetti.
VI	forte	Qualche leggera lesione negli edifici e finestre in frantumi.
VII	molto forte	Caduta di fumaioli, lesioni negli edifici.
VIII	rovinosa	Rovina parziale di qualche edificio; qualche vittima isolata.
IX	distruttiva	Rovina totale di alcuni edifici e gravi lesioni in molti altri; vittime umane sparse ma non numerose.
X	completamente distruttiva	Rovina di molti edifici; molte vittime umane; crepacci nel suolo.
XI	catastrofica	Distruzione di agglomerati urbani; moltissime vittime; crepacci e frane nel suolo; maremoto.
XII	apocalittica	Distruzione di ogni manufatto; pochi superstiti; sconvolgimento del suolo; maremoto distruttivo.

Figura 47: Scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS).

I valori intermedi sono stati associati alla classe superiore (es.: 6/7 è stato considerato equivalente a 7); questa scelta, unitamente a quella di associare all'intero territorio comunale il valore massimo di intensità osservata in almeno una località appartenente al Comune stesso e di assegnare un valore "ponderato" nei casi in cui il record storico è molto incompleto, determina una rappresentazione tendenzialmente "pessimista" degli effetti dei terremoti del passato.

Per il territorio di interesse la mappa relativa al territorio Piemontese, riportata nella figura seguente, indica una intensità massima osservata pari non superiore al VI grado della scala MCS.

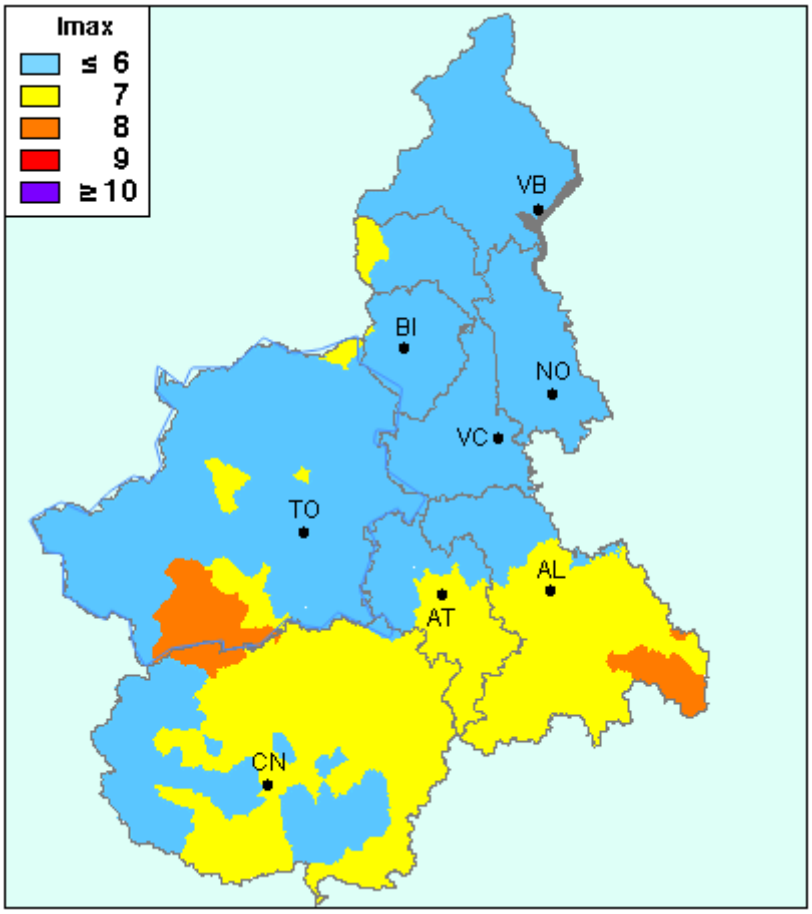


Figura 48: Massime intensità macrosismiche osservate nella Regione Piemonte (carta elaborata da D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise per conto del Dipartimento della Protezione Civile, 1996)

Indicazioni di maggior dettaglio circa l'attività macrosismica del territorio in esame possono trarsi dall'analisi della sismicità storica del medesimo; a tale scopo sono stati consultati i dati contenuti nel Database Macrosismico Italiano (DBMI15) e nel Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani (CPTI15) (Locati et alii, 2016).

Il database fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani nella finestra temporale 1000-2017.

Come si può notare dai dati contenuti nel CPTI15, sintetizzati nella figura seguente, la sismicità dell'area in esame può essere considerata moderata sia in termini di frequenza che di intensità, sia per quanto riguarda l'attività sismica locale che per quanto riguarda gli effetti percepiti connessi ad eventi verificatesi a maggiori distanze.

I comuni di Balangero e Corio si collocano in corrispondenza alla zona sismogenetica 908. Nella Tabella seguente si possono osservare alcuni dati relativi alla storia sismica

del Comune di Balangero contenuti nel Database Macrosismico Italiano 2004 (Stucchi et alii, 2007), che per la prima volta ha raccolto e organizzato in modo critico i dati macrosismici utilizzati per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04 (2004).

Storia sismica di Balangero
[45.270, 7.520]

Numero di eventi: 3

Effetti	In occasione del terremoto del:								
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
7	1767	05	26	18	24	Valle di Lanzo	3	8	5.17
4-5	1887	02	23	05	21	Liguria occidentale	1515	10	6.29
4	1990	02	11	07	00	CANAVESE	201	6	4.76

6.4 Pericolosità sismica dell'area di intervento

6.4.1 Aspetti normativi

Per quanto riguarda gli aspetti sismici del sito, con l'individuazione delle zone sismiche di cui all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri n. 3274 del 20/3/2003, così come modificata e integrata dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri del 28/4/2006, i territori dei comuni di Balangero e Corio erano ascritto alla Zona 4 (livello più basso previsto). Con l'entrata in vigore della Deliberazione della Giunta Regionale 19 gennaio 2010, n. 11-13058 "Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006)" fu confermata tale classificazione.
Successivamente con l'entrata in vigore della Deliberazione della Giunta Regionale del 15 Febbraio 2019, n. 17-8404 "OPCM 3519/2016. DGR 19 gennaio 2010 n. 65-7656. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte", classifica i Comuni di Corio e Balangero Zona sismica 3.

Le indicazioni della Deliberazione della Giunta Regionale 9 ottobre 2020, n. 14-2063 le opere strutturali previste in progetto nella zona 3 saranno soggette a:
b) denuncia prima dell'inizio dei lavori ai sensi dell'articolo 93 del D.P.R. n. 380/2001.

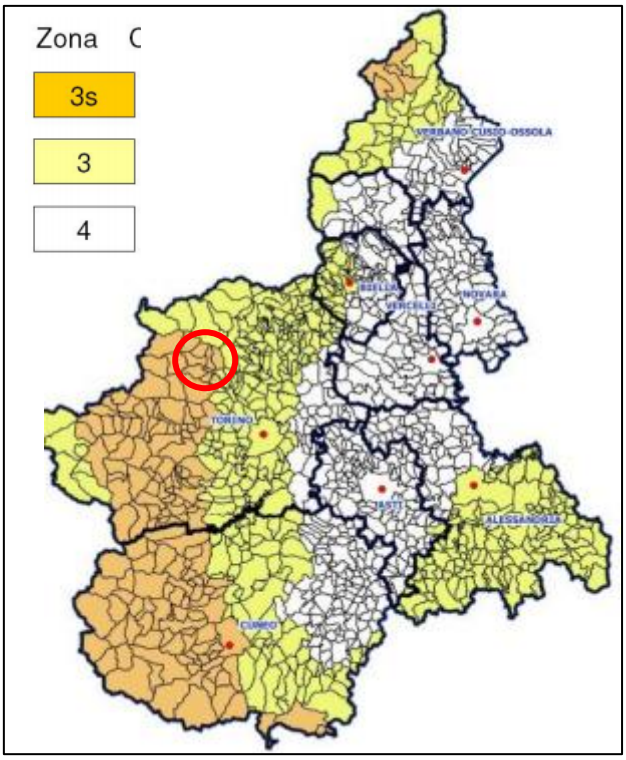


Figura 49 – Stralcio "Classificazione sismica dei comuni piemontesi".

6.4.2 Periodo di riferimento per l'azione sismica

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. In accordo a quanto riportato in NTC-08, e richiamato nelle successive modifiche ed integrazioni NTC-18, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato "periodo di riferimento per l'azione sismica" V_R; il medesimo, per ciascun tipo di costruzione, viene determinato moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U:

$$V_R = V_N \times C_U$$

<u>Vita nominale di progetto</u>

La vita nominale di una costruzione, così come definita al punto 2.4.1 del DM 17.1.2018, è intesa come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. Essa è la durata alla quale deve farsi espresso riferimento in sede progettuale, in relazione alla durabilità delle costruzioni, nel dimensionare le strutture ed i particolari costruttivi, nella scelta dei materiali e delle eventuali applicazioni e misure protettive per garantire il mantenimento della resistenza e della funzionalità.

Per il caso in esame, in funzione della tipologia dell'opera oggetto degli interventi in progetto, secondo quanto previsto dal suddetto D.M relativamente alle *Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari*, si farà riferimento ad una vita nominale di progetto pari a V_N = 50 anni.

Tab. 2.4.I – *Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni*

	TIPI DI COSTRUZIONI	Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 1: Valori minimi della Vita nominale V_N.

Coefficiente d'uso

Secondo quanto previsto dal DM 17 gennaio 2018, i livelli minimi di sicurezza richiesti alle diverse tipologie di costruzioni devono essere differenziati in relazione alla loro destinazione d'uso, ovvero alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso. Allo scopo il suddetto DM definisce 4 differenti classi d'uso nell'ambito delle quali devono essere inquadrate le differenti tipologie di costruzioni; a ciascuna classe la norma associa uno specifico valore del coefficiente d'uso.

Nel caso specifico si ritiene che le opere in progetto nella *Classe d'uso II* cui corrisponde un coefficiente d'uso C_U = 1,0.

In definitiva per il caso in esame si assume:

- Vita Nominale V_N = 50 anni
- Classe d'uso C IV C_U =1,0
- Periodo di riferimento V_R = 50 anni

6.4.3 Pericolosità sismica di base

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, sono stabilite a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Per pericolosità sismica di base si intende quella componente di pericolosità dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti).

La pericolosità sismica di base fornisce, in termini probabilistici, per una certa regione e per un determinato periodo di tempo V_R, i valori corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR}, dei parametri che descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto.

Essa si riferisce a condizioni ideali di suolo roccioso affiorante e privo di irregolarità morfologiche (superficie topografica orizzontale) e fornisce le caratteristiche del terremoto di riferimento.

In accordo a quanto riportato in NTC08 e s.m.i, le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, o pericolosità sismica di base, vengono definite in termini di accelerazione orizzontale massima attesa $\mathbf{a_g}$ in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria di sottosuolo **A**), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $\mathbf{S_c(T)}$, con riferimento a prefissate possibilità di eccedenza $\mathbf{P_{VR}}$ nel periodo di riferimento $\mathbf{V_R}$ ("Vita di riferimento").

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR}, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, definite dalla suddetta Norma, sono riportate nella successiva tabella:

Stati limite		**P_{VR}: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R**
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 2: Stati limite e P_{VR}

dove:

SLO – *Stato limite di operatività*: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

SLD – *Stato limite di danno*: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature;

SLV – *Stato limite di salvaguardia della vita*: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita

significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

SLC – *Stato limite ultimo di prevenzione del collasso*: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Per ciascun stato limite e relativa probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R il periodo di ritorno dell'azione sismica viene valutato utilizzando la relazione:

$$T_R = - V_R / \ln (1- P_{V_R}) = - C_U V_N / \ln (1- P_{V_R})$$

Nella tabella seguente si riporta il periodo di ritorno T_R, associato ad ogni stato limite, valutato assumendo, in accordo a quanto precedentemente esposto, un periodo di riferimento per l'azione sismica pari a V_R = 50 anni:

Stati limite		**P_{VR}: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R**	**T_R [anni]: Periodo di ritorno dell'azione sismica**
Stati limite di esercizio	SLO	81%	30
	SLD	63%	50
Stati limite ultimi	SLV	10%	475
	SLC	5%	975

Tabella 3: Stati limite, P_{VR} e T_R per V_R=50anni.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR}, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- **a_g**: accelerazione orizzontale massima al sito,
- **F_o**: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale,
- **T_c***: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nella tabella seguente si riportano, per il territorio di interesse, i suddetti parametri sismici di interesse per il periodo di ritorno T_R associato ad ogni Stato Limite:

Latitudine (WGS84): 45.29417402
Longitudine (WGS84): 7.52553898
Latitudine (ED50): 45.295971
Longitudine (ED50): 7.526542
Altitudine (mt) 837
Classe dell'edificio: II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti.
Vita Nominale Struttura 50
Periodo di Riferimento per l'azione sismica 50

Parametri di pericolosità Sismica

Stato Limite	T_r [anni]	a_g/g [-]	F_o [-]	T^*_c [s]
Operatività	30	0.025	2.550	0.180
Danno	50	0.031	2.567	0.200
Salvaguardia Vita	475	0.060	2.743	0.271
Prevenzione Collasso	975	0.072	2.778	0.283

Figura 50: Valori dei parametri a_g, F_o, T_C* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascun SL, relativi al Comune di Corio (TO), per V_R di 50 anni.

6.4.4 Effetti di sito

La pericolosità sismica di base, e di conseguenza i parametri adottati per la definizione della medesima, sono definiti con riferimento a condizioni standard di suolo, ovvero substrato roccioso affiorante con superficie topografica orizzontale.

È noto che le caratteristiche dello scuotimento del terreno sono fortemente influenzate dalle condizioni geologiche, geomorfologiche e geotecniche locali che modificano, a volte in modo significativo, il moto sismico corrispondente alla pericolosità sismica di base; tali modificazioni sono note in letteratura come effetti di sito o alternativamente amplificazione/deamplificazione sismica locale.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è per tanto necessario che l'azione sismica di base sia opportunamente modificata per tener conto dei suddetti effetti di sito. A tal fine sarebbe a rigore necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante analisi che consentono di definire le variazioni che il segnale sismico subisce, a causa delle caratteristiche geologiche dei depositi di terreno e delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.

Tuttavia, in assenza delle informazioni necessarie per condurre analisi specifiche, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili a specifiche categorie, definite al § 3.2.2 NTC-2018, è possibile valutare in modo approssimato l'influenza degli effetti di sito utilizzando metodi semplificati basati sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S.

Categoria di sottosuolo

Per l'area di intervento, sulla scorta dell'assetto litostratigrafico locale è possibile individuare una **categoria di sottosuolo C** (nell'area di versante), **B** (nell'area di fondovalle del T.Fandaglia) che localmente ove gli spessori risultano più esigui può essere riclassificato nella **classe E**.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 4: Categorie di sottosuolo di cui al D.M. 17/01/2018.

Condizioni topografiche

Come evidenziato nella circolare esplicativa n.7 del 21 gennaio 2019 *"la modifica delle caratteristiche del moto sismico per effetto della geometria superficiale del terreno è dovuta alla focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta dei rilievi a seguito dei fenomeni di riflessione delle onde sismiche ed all'interazione tra il campo d'onda incidente e quello diffratto. I fenomeni di amplificazione cresta-base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza"*.

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici, quale quella in oggetto, si può adottare la classificazione della figura seguente.

Per cui si ricade nella **categoria T2** (sul versante) e **T1** (fondovalle del T.Fandaglia) definite al par. 3.2.2 delle NTC-2018.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

Tabella 5: Categorie topografiche di cui al D.M. 17/01/2018.

6.4.5 Azione sismica di riferimento

Secondo quanto previsto dalle NTC08 e s.m.i., l'azione sismica può essere descritta per mezzo dell'accelerazione orizzontale di picco attesa in superficie, definita dalla pericolosità sismica di base ed eventualmente modificata per tener conto degli effetti di sito.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata, per i diversi Stati Limite considerati ed i corrispondenti valori di accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido a_g, mediante l'espressione:

$$\mathbf{a_{max}} = a_g * S_s * S_T$$

dove:

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido

S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica

S_T = coefficiente di amplificazione topografica

I suddetti coefficienti amplificativi da applicarsi per tener conto, seppur in maniera approssimata degli effetti di sito, possono essere valutati mediante le espressioni proposte nelle NTC18 e riportate nelle successive tabelle:

Tab. 3.2.IV – *Espressioni di S_S e di C_C*

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1{,}00 \le 1{,}40 - 0{,}40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}20$	$1{,}10 \cdot (T_C^*)^{-0{,}20}$
C	$1{,}00 \le 1{,}70 - 0{,}60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}50$	$1{,}05 \cdot (T_C^*)^{-0{,}33}$
D	$0{,}90 \le 2{,}40 - 1{,}50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}80$	$1{,}25 \cdot (T_C^*)^{-0{,}50}$
E	$1{,}00 \le 2{,}00 - 1{,}10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}60$	$1{,}15 \cdot (T_C^*)^{-0{,}40}$

Tabella 6: Espressioni di S_S e Cc.

Tab. 3.2.V – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T*

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tabella 7: Valori massimi di S_T.

6.4.6 Stabilità alla liquefazione

I fenomeni di liquefazione sono associati alla perdita di resistenza al taglio o ad un accumulo di deformazione plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizione non drenate.
L'entità delle deformazioni che subisce il terreno dipende dal grado di addensamento; se la sabbia è sciolta la pressione dei pori aumenterà molto velocemente, se la sabbia è densa le deformazioni avvengono più lentamente e sono associate ad un aumento di volume (dilatanza).
Per effetto della dilatazione la pressione interstiziale subisce una caduta ed il terreno riesce a sviluppare una resistenza al taglio sufficiente a sostenere le sollecitazioni indotte dai carichi ciclici.

Nell'ambito della teoria dello stato critico, il comportamento contraente o dilatante del terreno può essere messo in relazione ai parametri di stato iniziali (indice dei vuoti e stato tensionale); pertanto la curva di stato critico separa, per un determinato terreno, stati per i quali il terreno è suscettibile o meno alla liquefazione.

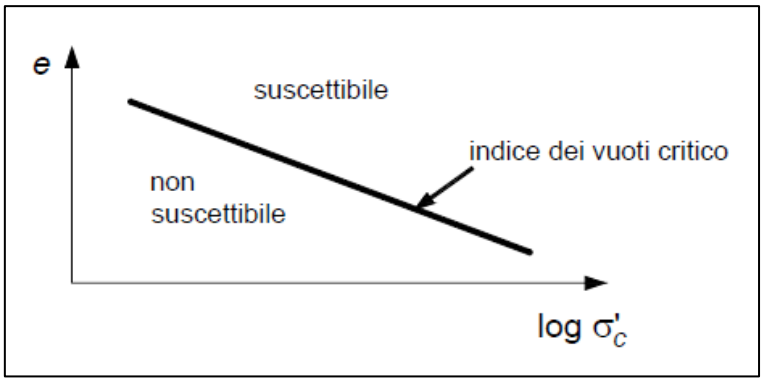


Figura 51: Suscettibilità alla liquefazione in relazione ai parametri di stato iniziali (modificata da Krmaer, 1996]

A tale proposito Casagrande afferma che sabbie sciolte con densità relative minori del 40% possono essere soggette a liquefazioni; nelle sabbie fortemente dilatanti, con densità relative maggiori del 70 % è invece normalmente impossibile che le pressioni neutre raggiungano quelle di confinamento, per cui si possono attendere solo assestamenti di lieve entità.

Secondo il D.M. 17/01/2018 la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti quattro circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;

2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata* (N1)60 > 30 oppure qc1N > 180 dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) delle NTC nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3,5 ed in Figura 7.11.1(b) delle NTC nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5

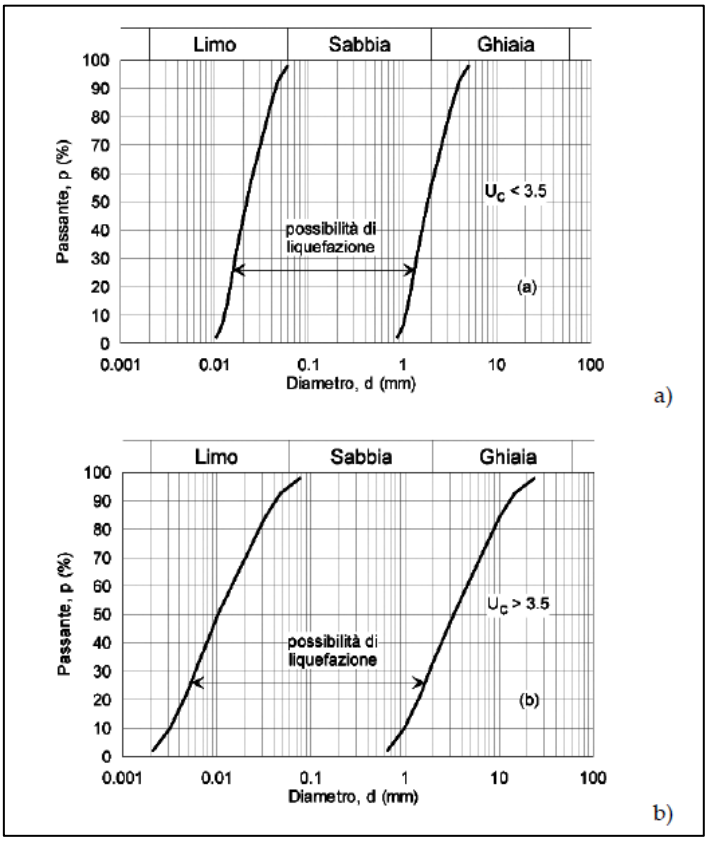


Figura 52: distribuzioni granulometriche dei terreni suscettibili alla liquefazione.

In considerazione dell'elevata pendenza del versante che non consente l'instaurarsi di una falda freatica se non in condizioni locali ed effimere, delle velocità delle onde di taglio nei sedimenti superficiali, della composizione granulometrica dei terreni desunta dalle analisi di laboratorio effettuate su numerosi campioni e caratterizzata da importante frazione ghiaiosa e limoso-argillosa, i fenomeni di liquefazione sono in generale da ritenersi poco probabili.

7 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

7.1 Introduzione

La presente caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione delle opere in progetto viene riferita ai differenti contesti geologici e geomorfologici nei quali le stesse vengono ad inserirsi.

In particolare, vengono differenziate le caratteristiche geotecniche degli accumuli di depositi di materiale lapideo di scarto industriale, sui quali sono distribuiti gli interventi di sistemazione idrogeologica, inerbimento e piantumazione, dai depositi alluvionali recenti ed attuali affioranti lungo l'alveo del T. Fandaglia, dove si concentrano gli interventi di sistemazione idraulica.

La parametrizzazione viene espressa con riferimento alle seguenti variabili di interesse geotecnico:

- peso di volume γ (kN/m^3)
- angolo di resistenza al taglio di picco in condizioni drenate ϕ'_p (°)
- angolo di resistenza al taglio a volume costante ϕ'_{cv} (°)
- coesione drenata c' (kPa)
- modulo di deformazione drenato E' (MPa)
- coefficiente di Poisson ν (-)

7.2 Caratterizzazione geotecnica dei depositi di materiale lapideo di scarto industriale

Per quanto concerne la caratterizzazione dei depositi di materiale lapideo di scarto industriale presenti sui due grandi corpi di accumulo "Est" ed "Ovest", ci si riferisce alla Relazione Tecnica del Progetto Esecutivo di "Sistemazione statica idraulica e idrogeologica del lato settentrionale del sito (Lato Corio), redatta per incarico di RSA da Polithema, Ing. Oboni e E. Zanella – Aprile 2002.

I parametri geotecnici di calcolo sono stati assunti analizzando le condizioni di equilibrio limite dei settori di versante a diversa pendenza, e corrispondono con un angolo di attrito di 40°, che conferisce al versante considerato nella sua globalità, con riferimento a superfici di rottura piano-parallele alla topografia e in assenza di falda, un coefficiente di sicurezza statico pari a 1.24.

Nelle zone adiacenti, la densità del terreno viene fissata a 21 kN/m^3.

In sintesi, per il contesto geologico riferito agli interventi di versante, si assumono i parametri geotecnici evidenziati nella tabella seguente.

TERRENO	STRUTTURA E CONSISTENZA	γ (kNm^{-3})	ϕ'_p (°)	ϕ'_{cv} (°)	c' (kPa)	E' (MPa)	v
Depositi a scheletro eterometrico spigoloso in matrice prevalentemente limoso-sabbiosa	Struttura stratificata lenticolare, terreno incoerente ad addensamento variabile	20÷21	38÷42	32÷34	0	30	0,30

Tabella 8: Parametri geotecnici per i depositi di materiale lapideo di scarto industriale

7.3 Caratterizzazione geotecnica dei depositi recenti ed attuali lungo il T. Fandaglia

I depositi lungo il T. Fandaglia si connotano per uno scheletro ad elementi lapidei poligenici, con ciottoli e blocchi da subarrotondati ad arrotondati, inserito in una matrice subordinata di natura sabbioso-ghiaiosa, a struttura caotica o con stratificazione lenticolare.

Per questa tipologia di deposito risulta problematico programmare un piano di indagini mirate alla parametrizzazione geotecnica tradizionale, in relazione alla difficoltà pratica di realizzare - ad esempio - prove penetrometriche senza incontrare rapidamente il rifiuto all'avanzamento (per effetto della presenza di ciottoli).

La parametrizzazione viene quindi desunta per similitudine con contesti sedimentologici analoghi.

TERRENO	STRUTTURA E CONSISTENZA	γ (kNm^{-3})	ϕ'_p (°)	ϕ'_{cv} (°)	c' (kPa)	E' (MPa)	v
Terreno ghiaioso a scheletro grossolano in matrice prevalentemente limoso-sabbiosi con frazione argillosa subordinata	Struttura stratificata lenticolare, terreno incoerente ad addensamento variabile	18÷20	38÷42	32÷34	0	40	0,30

Tabella 9: Parametri geotecnici per i depositi di materiale lapideo di scarto industriale

8 ANALISI DI STABILITA' CORONAMENTO ACCUMULO EST (AMBITO 13)

8.1 Analisi morfologica e classificazione del dissesto

I dati disponibili di carattere stratigrafico, morfologico e di monitoraggio geotecnico permettono di individuare con certezza la posizione del substrato roccioso il cui approfondimento, comparato con le risultanze del monitoraggio geotecnico, porta ad escludere un movimento di strato (di tipo planare) all'interfaccia tra materiale in posto e materiale detritico di discarica.

Il cinematismo di rottura si sviluppa quindi nell'ambito della copertura detritica di riporto costituita da un insieme caotico di termini granulometricamente compresi tra il blocco e il limo. Si tratta di un ammasso incoerente nell'ambito del quale, in assenza di ben definiti piani di strato, possono svilupparsi in genere movimenti di tipo rotazionale con possibili evoluzioni secondarie di tipo a colata in funzione del grado di saturazione dell'ammasso.

Il movimento può avvenire in corrispondenza di una singola superficie di rottura (scivolamento rotazionale singolo), oppure ripartirsi su più orizzonti di scorrimento (scivolamento rotazionale multiplo).

Tale fenomeno non è caratterizzato da ben definite velocità di movimento come altri tipi di dissesto. In bibliografia sono conosciuti eventi che si evolvono con velocità variabili in un range compreso tra i pochi cm all'anno a svariati metri, in funzione dei fattori di innesco, delle tipologie dei materiali coinvolti e dall'acclività del rilievo. L'analisi dei dati disponibili evidenzia come il dissesto in atto sia poco sviluppato, determinando condizioni prossime all'incipienza senza evoluzione a fenomeno eclatante.

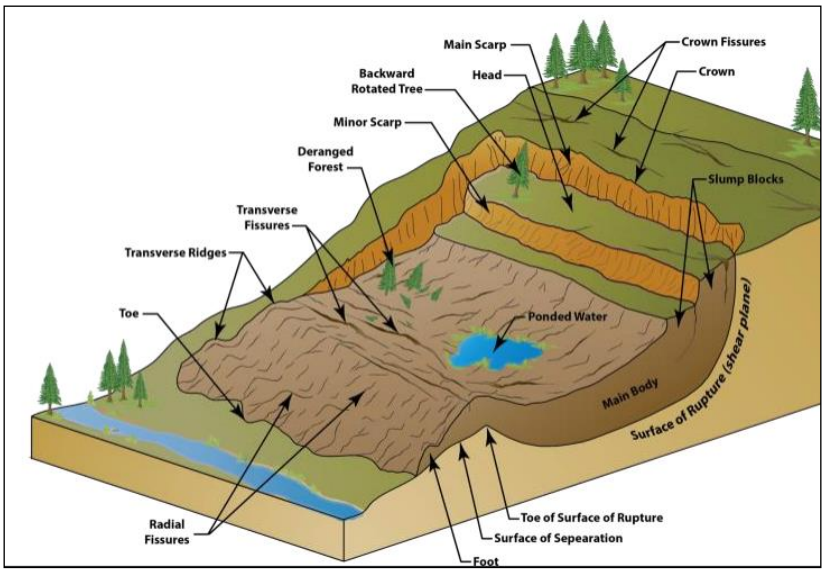


Figura 53: Schema dissesto di tipo rotazionale

È evidente come in un contesto di versante come quello qui presente, la cui genesi è riconducibile a un semplice scarico del materiale detritico lungo il versante, la stabilità è garantita dal fatto che l'enorme quantità di materiale qui riversato, senza pratiche di compattazione o stabilizzazione, si è disposta sotto l'azione della gravità secondo un angolo di natural declivio dettato dal solo attrito tra le particelle.
In altre parole le condizioni di stabilità dei tratti di pendio non rimodellati e non interessati dalle opere realizzate in passato sono da ritenersi in condizioni di equilibrio limite (fattore di sicurezza unitario), anche se fattori secondari quali attivazione di forze di adesione tra particelle e fenomeni di addensamento sotto l'azione della gravità negli strati più profondi ingeneri un incremento della resistenza al taglio negli strati meno superficiali.
Per cui le condizioni limite di stabilità risultano di fatto limitate agli strati superficiali come ben osservabile lungo il versante anche nei settori rimodellati interessati da diffusi fenomeni di soliflusso.
Ulteriore conferma di tale instabilità è data dall'esame dei risultati delle verticali inclinometriche che evidenziano, sia in corrispondenza della verticale I16 che della verticale I19, la presenza di uno scorrimento a circa 5 m dal piano campagna.

L'innesco di fenomeni di instabilità in pendii come quelli in esame sono quindi da ricercarsi nelle variazioni delle condizioni al contorno quali ad esempio:

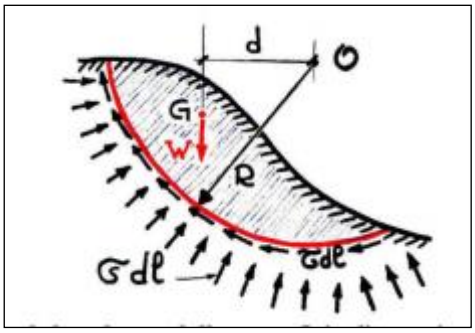
- fattori idrogeologici: ovvero circolazione idrica superficiale e sotterranea, entità e distribuzione delle pressioni interstiziali
- fattori morfologici: ovvero pendenza dei versanti o modifica delle condizioni al contorno
- fattori climatici: disboscamenti o viceversa crescita incontrollata di vegetazione d'alto fusto (trascurabili in tale fase per il problema specifico), repentino scioglimento di nevi per innalzamento temperatura in concomitanza di precipitazioni idrometeorologiche intense etc..

Sulla base delle analisi svolte è possibile individuare le linee generali dell'intervento progettuale. In particolare per superficie di tipo circolare il coefficiente di sicurezza nei confronti dello scivolamento risulta pari al rapporto fra momento stabilizzante e momento ribaltante rispetto al centro della circonferenza

$$FS = \frac{M_S}{M_R}$$

Le quantità che generano momento attorno al polo O:

1. W, il peso genera un momento antiorario ed ha un braccio d.
2. Le tensioni σdl non producono alcun momento rispetto ad O perché per l'ipotesi di superficie di rottura circolare sono dirette verso il punto O.
3. τdl generano attorno ad O un momento in senso orario ed hanno un braccio pari a



E' evidente che un aumento della stabilità agendo sul peso W possa ottenersi in due casi distinti:

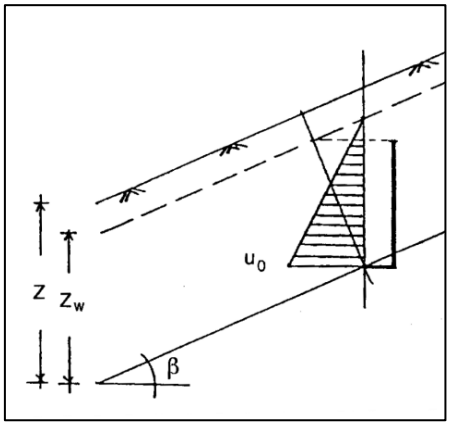
- scarico della parte sommitale
- formazione di un banchettone al piede

Non essendo possibile per evidenti ragioni morfologiche al piede la linea di intervento sarà volta allo scarico della parte sommitale del settore instabile

Un ulteriore aspetto, forse il principale, determinante per la stabilità di un pendio è l'andamento della superfcie piezometrica.

Secondo il cosiddetto "Principio delle Tensioni Efficaci" il comportamento del terreno è retto dalle tensioni efficaci ($\sigma'i$), e non da quelle totali. Quest'ultima è la differenza fra la tensione totale nel punto generico e la pressione interstiziale (uo) ivi agente:

$$\sigma'i = \sigma i - uo = \gamma_t z - \gamma_w * z_w$$



E' quindi evidente che la presenza di sovrapressioni interstiziali indotte dal livello piezometrico induce una riduzione delle pressioni efficaci nel'ammasso.

Nel caso di specie è quindi necessario ridurre il più possibile la possibilità di variazione del livello piezometrico o il verificarsi di fenomeni di saturazione teporanea dell'ammasso.

Ciò si può ottenere aumentando la percentuale di precipitazione allontanata per scorrimento e diminuenfo la percentuale di acque infiltratata mediante riduzione della permeabilità superfciale.

In definitiva le azioni possibili da mettere in atto in corrispondenza del settore in studio sono quelle relative a uno scarico in sommita dell'area in dissesto e nel ricoprimento dell'area in scavo con terreno vegetale a ridurre la permeabilità superfcilea con con convogliamento delle acque alla rete di drenaggio superfcile.

Criterio	*Principio fisico*	*Provvedimento*	*Note*
Riduzione delle forze che tendono a provocare la rottura	Riduzione degli sforzi tangenziali lungo la superficie di scivolamento	Scavo di alleggerimento sulla sommità del pendio	Non sempre fattibile per il costo elevato, per l'esistenza di manufatti, per pendii molto lunghi
		Abbattimento della scarpata	
	Trasferimento degli sforzi tangenziali ad elementi strutturali fondati o ancorati ad una formazione sottostante non interessata dal dissesto	Muri di sostegno	Molto costosi e non sempre adeguati
		Sistemi di pali	Non sempre efficaci
		Ancoraggi pesanti	Devono essere progettati con criteri cautelativi specialmente quando previsti con funzione di sostegno permanente
		Paratie e palancolate con o senza ancoraggio	
		Chiodi	Si applicano prevalentemente a pendii in roccia
Aumento delle forze resistenti	Aumento degli sforzi normali totali lungo la superficie di scivolamento	Applicazioni di elementi strutturali con tiranti pretesi	
		Applicazioni di rinfianchi o placcaggi al piede del pendio	Spesso applicabili
	Riduzioni delle pressioni interstiziali in punti interni o lungo il contorno	Allontanamento delle acque superficiali	
		Drenaggio: a) dreni orizzontali b) pozzi c) dreni verticali d) gallerie drenanti e) trincee drenanti	
		Elettroosmosi	Generalmente di costo elevato ed applicabili solo in terreni o rocce particolari
	Miglioramento della resistenza al taglio del materiale	Addensamento	
		Iniezioni	
		Congelamento	
		Cottura	

Figura 54: Schema delle possibili azioni da mettere in atto per la stabilizzazione dei pendii

8.2 Back analysis del dissesto

Al fine di determinare le caratteristiche di resistenza “su larga scala” che governano la stabilità del settore di versante in esame, da assumere per le successive verifiche progettuali, sono state condotte una serie di verifiche di stabilità al variare dei diversi parametri e delle differenti condizioni esterne.
Le verifiche sono state condotte facendo riferimento al metodo dell’equilibrio limite globale (LEM).

Nel dettaglio, con riferimento all’assetto litostratigrafico definito dai sondaggi geognostici ed ai risultati delle misure inclinometriche e piezometriche esposte ai paragrafi precedenti, si è proceduto ad una valutazione dei parametri geotecnici che governano la stabilità del versante al variare delle condizioni al contorno dei termini di discarica.
L’analisi dei luoghi ha infatti evidenziato come in seguito a fenomeni di precipitazione particolarmente intensi possa verificarsi una parziale saturazione dei termini di copertura, cui consegue un decadimento delle caratteristiche di resistenza come indicato al punto precedente.
In tal senso un’analisi di tipo parametrico, riferita a condizioni di equilibrio limite, risulta indispensabile per la conferma di un ragionevole intervallo di valori relativo ai parametri di resistenza che governano la stabilità del pendio, nelle diverse condizioni ipotizzabili.

Relativamente ai possibili apporti di natura idrometeorologica si riporta nel seguito una tabella dell’altezza di pioggia atteso per il sito in esame elaborato da ARPA Piemonte per diversi tempi di ritorno:

Atlante piogge intense in Piemonte (GEV)

Comune di **Corio** (lat: 5016709.95493 , lon: 384405.454713)

Parametri della curva di probabilità pluviometrica. **a: 31.55 n: 0.43**

CSV Excel

Fattore di crescita KT

K2	K5	K10	K20	K50	K100	K200
0.9	1.3	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7

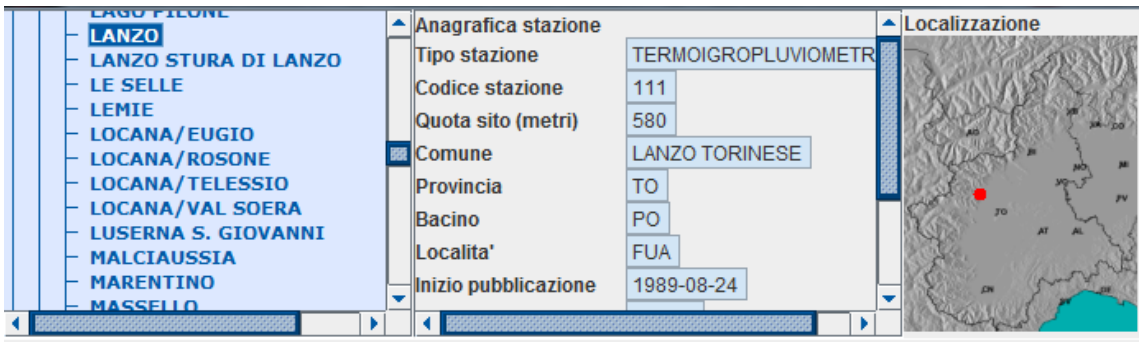
Piogge di assegnato tempo di ritorno per durate da 10 minuti a 24 ore (mm)

CSV Excel

Durata	Tempo di ritorno in anni						
	2	5	10	20	50	100	200
10 minuti	13.3	18.7	22.4	26	30.8	34.5	38.3
20 minuti	18.1	25.4	30.4	35.3	41.9	46.9	52.1
30 minuti	21.6	30.3	36.3	42.1	50	56	62.1
1 ora	29.1	40.8	48.9	56.8	67.3	75.4	83.7
3 ore	46.6	65.4	78.3	91	107.8	120.8	134.1
6 ore	62.7	88.1	105.4	122.4	145.1	162.6	180.5
12 ore	84.4	118.5	141.8	164.8	195.3	218.9	242.9
24 ore	113.6	159.5	190.9	221.8	262.9	294.6	327

Le altezzE previste possono essere confrontate con i dati registrati alla stazione di misura di Lanzo (Loc. Fua) posta poco e SW dell'area di interesse.

I dati registrati per il periodo 1990-2013 confermano tali previsioni con un valore di 312 mm/24ore nell'anno 2014 e superamento della soglia dei 200 mm in due occasioni.



Precipitazioni di massima intensita' registrate per periodi consecutivi

Giornalieri | Mensili | Precipitazioni intense

Max_12h	Data_max_12h	Ora_max_12h	Max_24h	Data_max_24h
94,6	17/10/1990	00:40	136,8	17/10/1990
141,3	09/03/1991	03:11	203,3	09/03/1991
92,2	05/10/1992	17:33	161,4	06/10/1992
108,3	24/09/1993	11:59	163,7	24/09/1993
217,7	06/11/1994	00:11	312,0	06/11/1994
82,2	19/09/1995	11:14	99,7	19/09/1995
52,1	14/10/1996	09:46	63,7	10/12/1996
78,8	29/06/1997	17:58	104,1	29/06/1997
111,7	28/04/1998	05:32	151,7	28/04/1998
144,1	04/07/1999	23:44	151,9	04/05/1999
112,8	14/10/2000	18:40	194,9	15/10/2000
52,5	05/05/2001	02:35	67,3	02/05/2001
80,0	05/06/2002	17:59	141,3	05/06/2002
45,7	07/08/2004	07:13	65,4	30/04/2004
96,9	09/09/2005	14:31	154,1	09/09/2005
119,9	15/09/2006	05:19	200,7	15/09/2006
62,0	02/05/2007	13:12	76,1	02/05/2007
79,8	04/11/2008	21:10	113,6	05/11/2008
84,9	05/10/2010	00:54	124,4	15/08/2010
116,5	05/11/2011	16:47	165,8	06/11/2011
61,5	28/11/2012	23:25	112,4	29/11/2012
79,0	08/08/2013	19:54	122,9	20/04/2013

Figura 55: Estratto Dati di misura precipitazioni intense Stazione pluviometrica ARPA – Lanzo T.se Loc Fua

Per eventi con tempi di ritorno compresi tra 50 e 200 anni l'altezza di pioggia attesa risulta dunque compresa tra 250 e 320 mm nelle 24 ore. Valori non trascurabili se raffrontati ai valori medi annui stimati in circa 1300 mm/anno.

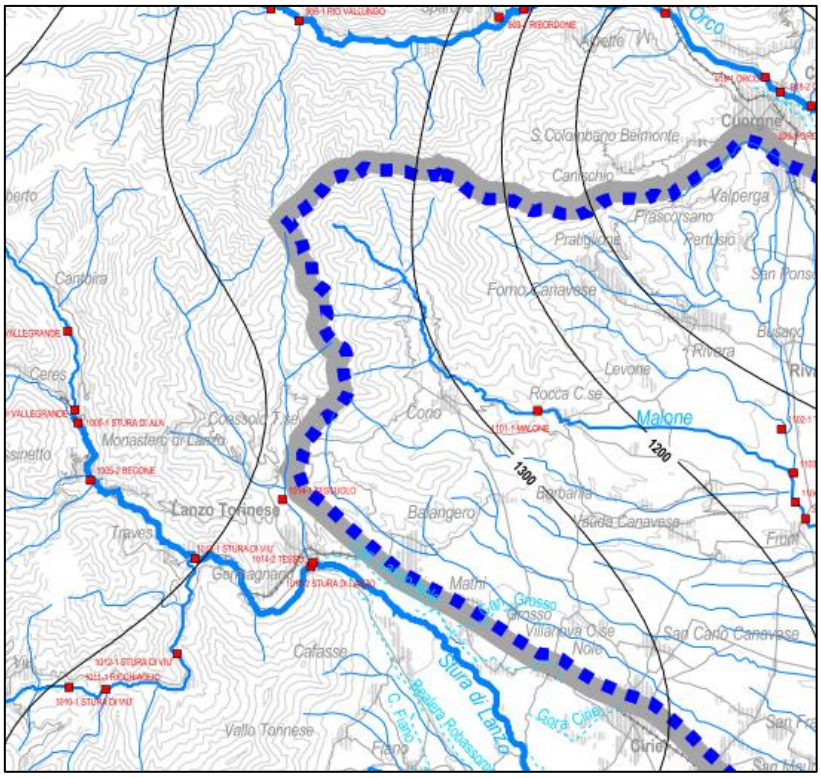


Figura 56: Estratto PTA Regione Piemonte - Bacino T. Malone

8.2.1 Metodologia di verifica adottata

Al fine di poter testare il maggior numero di combinazioni di valori, si è ricorso al metodo dell'equilibrio limite, comunque adeguato nella modellazione del versante ma sicuramente meno gravoso dal punto di vista del calcolo.

I metodi basati sul concetto dell'equilibrio limite hanno in comune le assunzioni evidenziate nel seguito (Lancellotta, 1987):

- le superfici di scivolamento sono definite e l'analisi di stabilità è effettuata considerando l'equilibrio della massa di terreno individuata da tali superfici, sottoposte alle forze al contorno;
- la resistenza al taglio necessaria all'equilibrio e agente lungo la superficie di scivolamento (ipotizzata o reale) è calcolata attraverso equazioni della statica.
- l'analisi è effettuata in condizioni di deformazione piane;
- la massa del pendio è suddivisa in un conveniente numero di conci;
- il grado di stabilità delle scarpate e dei pendii è in genere espresso numericamente dal fattore di sicurezza, che si ottiene come rapporto tra le forze resistenti e la forze instabilizzanti; esso è inteso come il fattore per il quale possono essere divisi i parametri di resistenza per portare il pendio alle condizioni di equilibrio limite (rottura), ed è implicitamente assunto costante lungo tutta la

superficie di scivolamento. Valori inferiori all'unità indicano condizioni di instabilità, valori superiori a indicano condizioni di stabilità.

Per la determinazione del fattore di sicurezza e quindi del grado di stabilità del settore di versante analizzato, si sono condotte analisi adottando i metodi proposti da Bishop, Janbu, Spencer, Morgenster & Price, Sarma, fondati sulla teoria dell'equilibrio limite; si è ipotizzato un modello comportamentale per il terreno rigido-perfettamente plastico e caratterizzato a rottura dal criterio di Mohr-Coulomb.

Nel caso specifico il metodo verrà applicato mediante l'impiego del programma di calcolo SLIDE, 7.027 proposto dalla ROCSCIENCE Inc., Toronto, Ontario CANADA.

8.2.2 Definizione della sezione di verifica

Ai fini delle verifiche è stata considerata una sezione elaborata in posizione centrale rispetto al dissesto osservato riportata nella tavola progettuale di rilievo. Le verifiche sono state condotte con riferimento alle seguenti differenti condizioni al contorno.

Assetto stratigrafico

Le verifiche sono state condotte con riferimento alla ricostruzione dell'assetto litostratigrafico in corrispondenza delle sezioni adottata sulla base dei risultati geognostici disponibili costituiti dalle verticali I16 e I19.

Con riferimento alle risultanze delle indagini geognostiche disponibili ed alla analisi geomorfologica locale, il modello è stato schematicamente suddiviso in 3 unità litologiche principali, costituite rispettivamente dai termini di discarica (UL I), dall'originaria coltre di copertura dell'area (UL II) e dal sottostante substrato pseudolitoide (UL III).

Falda freatica:

È stata condotta un'analisi di sensibilità del grado di stabilità del versante al verificarsi di condizioni di saturazione di strato connesse all'instaurarsi di fenomeni di filtrazione progressiva, favoriti da locali situazioni stratigrafiche di interdigitazione tra termini a granulometria fine prevalente (a minor permeabilità) e termini a maggior pezzatura (a maggior permeabilità.

In altri termini:

- la superficie freatica è stata posta secondo i livelli registrati durante le periodiche campagne di misura e di fatto non interferente con le superfici di scorrimento rilevate dalle misure inclinometriche,
- in corrispondenza delle superfici di scorrimento indagate si è considerato agente un carico piezometrico connesso ai fenomeni di filtrazione con saturazione del solo strato di interesse.

Parametri geotecnici:

Le osservazioni in sito consentono di ipotizzare la presenza di un fenomeno di dissesto incipiente che coinvolge i termini costituenti i materiali di discarica. Sulla base delle analisi condotte è stato imposto il passaggio delle superfici di tentativo nell'intorno della traccia di coronamento e in corrispondenza delle superfici di scorrimento individuate dalla verticale inclinometrica I19; per tale ragione si è ricercato con le verifiche di back analysis, la sola parametrizzazione delle proprietà geotecniche di resistenza in termini di angolo di resistenza al taglio.

Le verifiche sono state condotte con riferimento al range di parametri definiti usualmente attribuiti a termini granulari, ricercando per diversi valori dei parametri di resistenza un plausibile livello di sovrapressioni cui corrisponde un Fs =1 (condizioni di equilibrio limite).

A completamento di tali considerazioni va sottolineato come i parametri individuati per le porzioni di versante di interesse siano da considerarsi come parametri equivalenti, rappresentativi di un comportamento globale dei depositi riferito alle diverse condizioni al contorno ipotizzate.

Geometria della superficie di scorrimento:

Si sono condotte verifiche di stabilità globale, riferite alla geometria complessiva del settore di versante in esame. Le verifiche sono state condotte con generazione di superfici di scorrimento, circolari, individuate in una ben definita fascia di versante a cavallo della superficie topografica interessata da evidenti cedimenti.

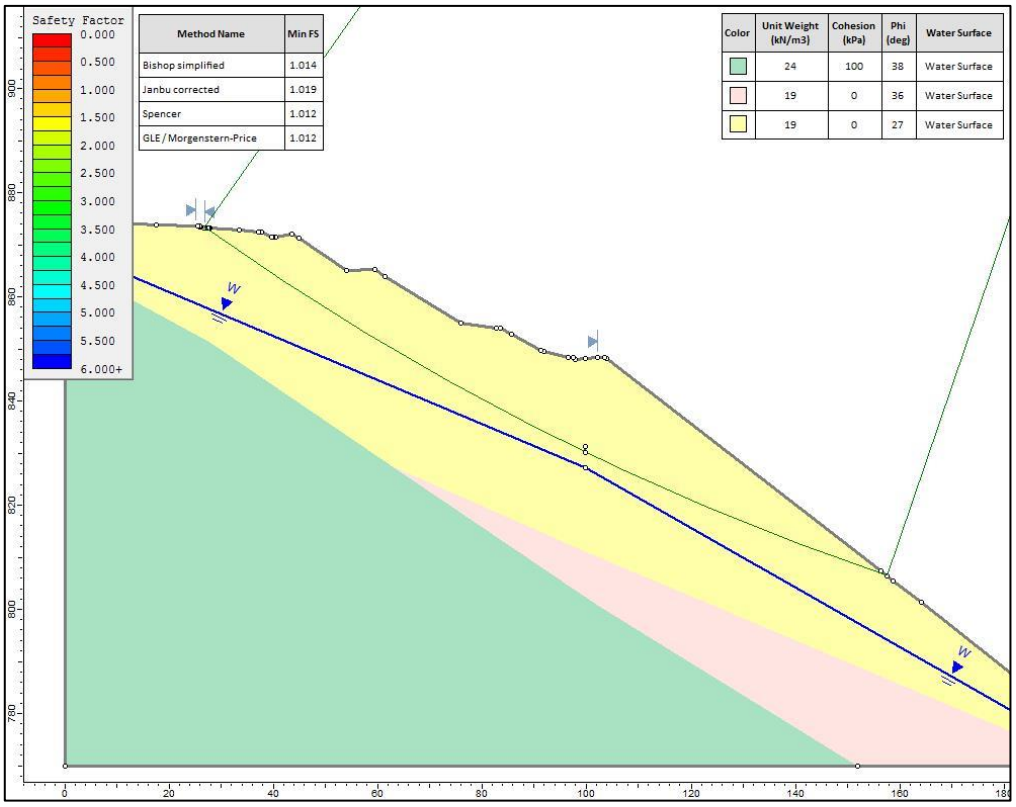
La condizione parametrica considerata per la simulazione della *condizione di equilibrio limite*, ovvero di incipiente movimento e con fattore di sicurezza prossimo all'unità, è *attribuibile a condizioni di incipiente deformazione del versante.*

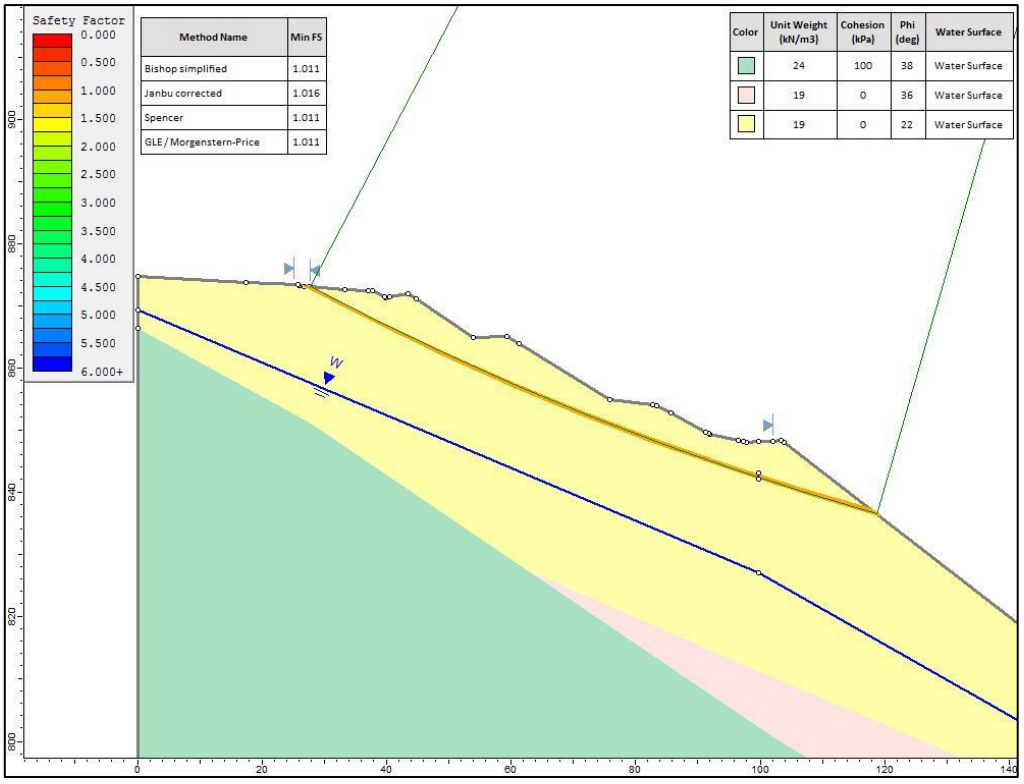
8.2.3 Risultanze delle verifiche di back analysis

In funzione di quanto esposto sopra si sono eseguite verifiche successive analizzando i coefficienti di sicurezza ottenuti al variare del livello di carico piezometrico, per diversi valori dei parametri di resistenza, sino ad ottenere valori di FS pari all'unità.

In particolare le analisi di back analysis svolte sono riconducibili alle seguenti condizioni.

1. Verifica in condizioni ordinarie, con livello di falda pari ai valori riscontrati nella strumentazione installata, lungo due superficie di scorrimento una superficiale, estesa sino a profondità di 5-6 m e la seconda più profonda ad intercettare la discontinuità segnalata dall'inclinometro I19 a 15-18 m dal p.c.





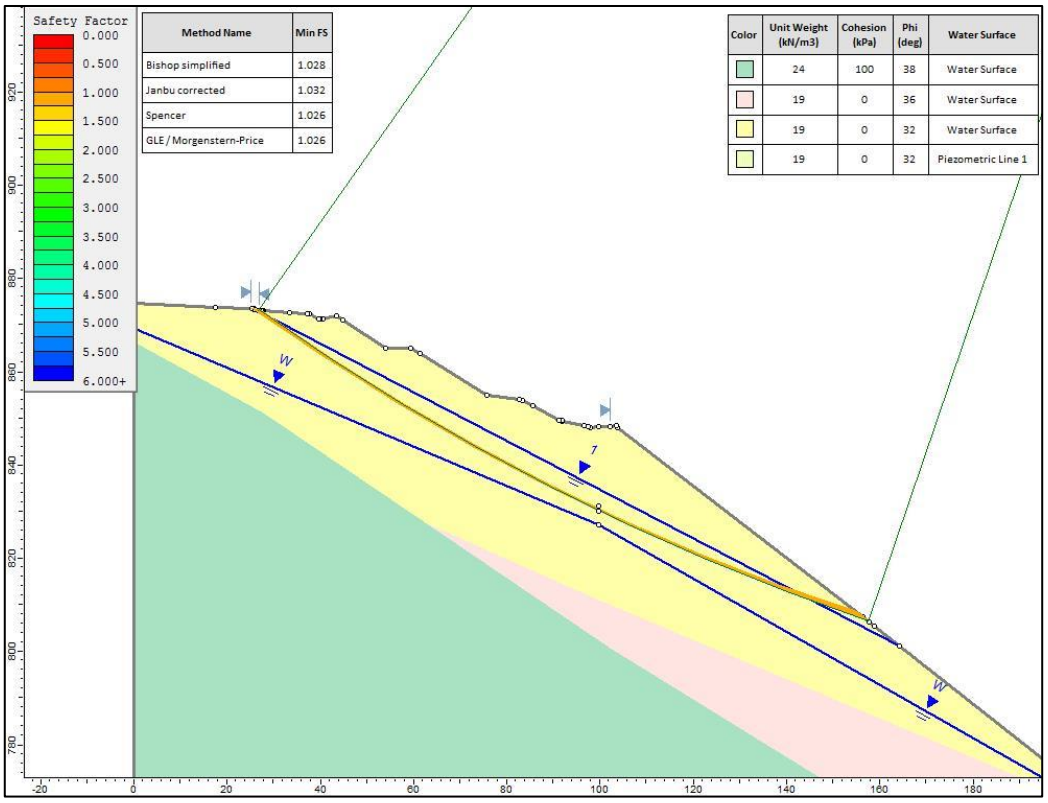
In tali condizioni l'equilibrio limite (Fs = 1) è raggiunto per un angolo di resistenza al taglio rispettivamente di 22 e 27°, valori certamente sottostimati per i depositi qui presenti costituiti da termini detritici a pezzatura variabile e di

fatto prossimi od inferiori ai valori residui a grandi deformazioni, mentre sulle superfici di scorrimento in fase di rottura progressiva la resistenza media disponibile risulta intermedia tra resistenza di picco e resistenza residua.

È quindi evidente che l'instabilità è manifesta solo al variare delle condizioni al contorno. Trattandosi di superfici inerbite non esposte a sovraccarichi significativi e quindi necessario ammettere che in particolari condizioni si verifichino condizioni di saturazione, non necessariamente direttamente correlate con la superfice freatica, tali da indurre un carico piezometrico sulle superfici più esposte a indurre una significativa riduzione delle tensioni efficaci responsabili della stabilità dell'ammasso.

Si è pertanto passati ad indagare l'effetto di saturazione di una porzione più o meno ampia della copertura detritica al fine di raggiungere condizioni di equilibrio limite.

2. Verifica lungo le superfici di scorrimento passanti dal coronamento sino ad intercettare la discontinuità segnalata dall'inclinometro I19 a 15-18 m dal p.c. imponendo una condizione di saturazione locale, circoscritta a un intorno metrico dell'ipotetica superfice di scorrimento, con agente un carico piezometrico indotto dai fenomeni di infiltrazione e saturazione avente gradiente pari a circa il 50%

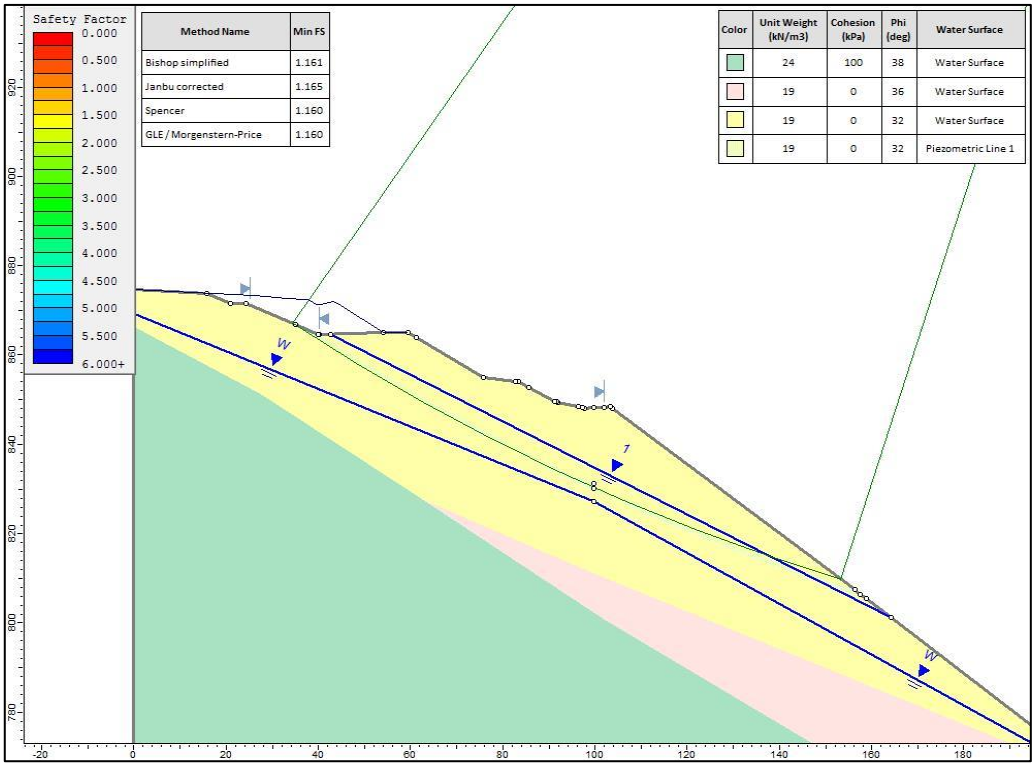


In tali condizioni il valore di resistenza al taglio rappresentativo delle condizioni di equilibrio limite risulta pari a 32° valore da ritenersi rappresentativo come medio tra valori di picco (36-38°) e residui (26-28°).

8.3 Verifiche post operam

Definita nel paragrafo precedente la resistenza disponibile, in termini di angolo di resistenza al taglio, nell'intorno delle superfici di scorrimento individuate è ora possibile procede a una stima del fattore di sicurezza a seguito della realizzazione delle opere previste in progetto.

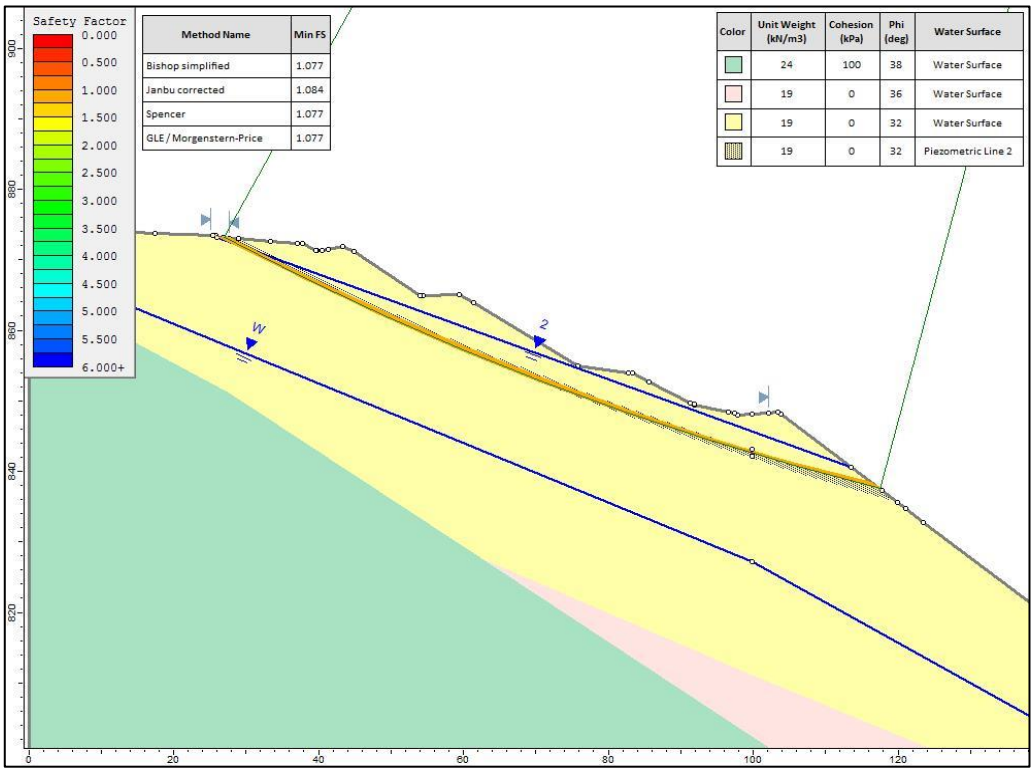
3. La prima condizione di verifica ricalca quanto previsto al punto 2 del precedente paragrafo adeguando la superficie topografica alla configurazione di progetto con scarico della parte sommitale del dissesto senza tuttavia tenere in conto l'azione di mitigazione dell'infiltrazione superficiale connessa alla messa in opera di una impermeabilizzazione nella parte sommitale del settore in dissesto.

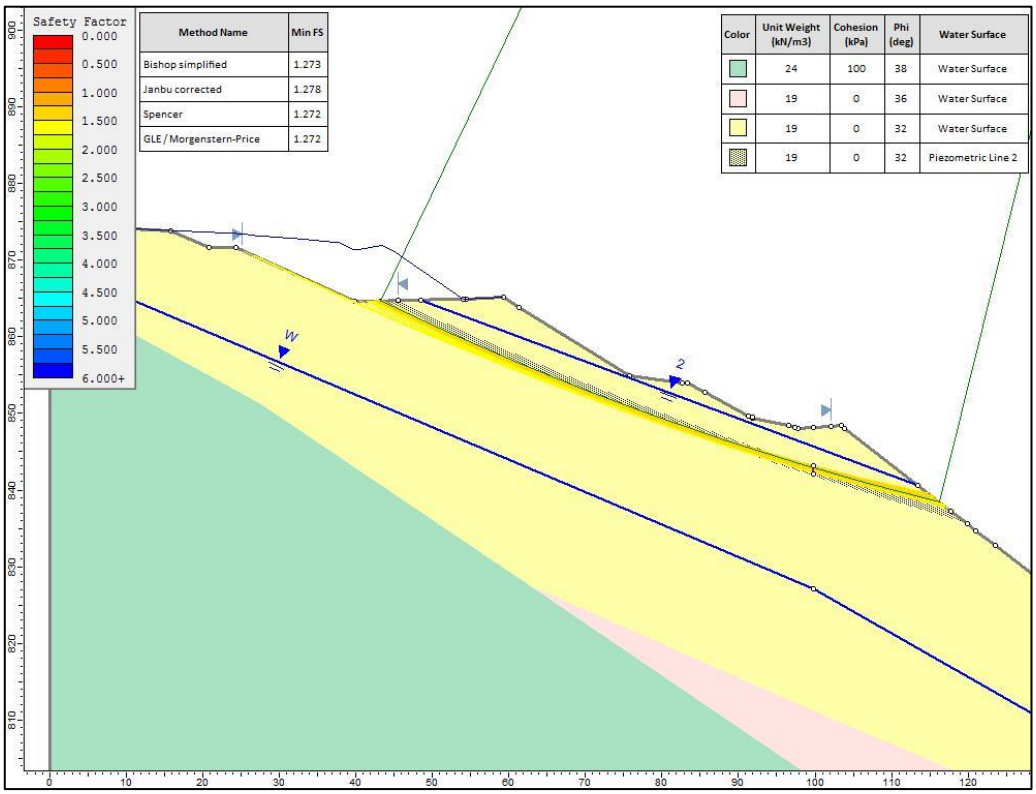


Il fattore di sicurezza minimo passa da 1 a 1,16 garantendo di fatto la stabilità anche al verificarsi delle condizioni di saturazione previste.

La seconda condizione di verifica riguarda la porzione più superficiale dell'ammasso detritico e in particolare si è provveduto a confrontare lo stato attuale con lo stato di progetto in condizioni di saturazione di stato analogamente

a quanto descritto al paragrafo precedente

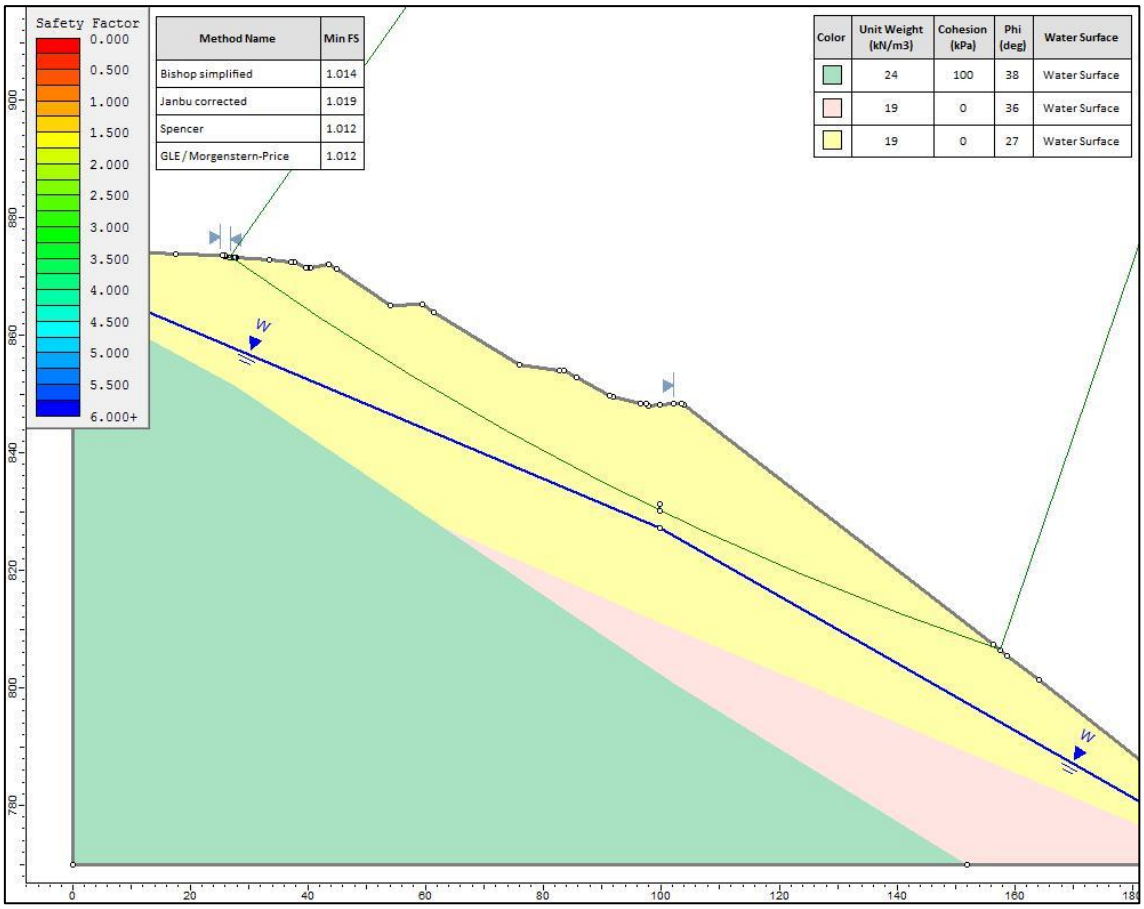




In tali condizioni il fattore di sicurezza passa da un valore di 1,07 a un valore di 1,27 garantendo di fatto la stabilità anche al verificarsi delle condizioni di saturazione previste per le porzioni più superficiali del pendio.

9 ALLEGATO – RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITA'

Back analysis - superfici profonde condizioni ordinarie



Slide Analysis Information
SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

Units of Measurement:	Metric Units
Time Units:	hours
Permeability Units:	meters/second
Failure Direction:	Left to Right
Data Output:	Standard
Maximum Material Properties:	20
Maximum Support Properties:	20

Analysis Options

Slices Type:	Vertical
Analysis Methods Used	
	Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function:	Half Sine
	Janbu corrected
	Spencer

Number of slices:	50
Tolerance:	0.005
Maximum number of iterations:	75
Check malpha < 0.2:	Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos:	Yes
Initial trial value of FS:	1
Steffensen Iteration:	Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method:	Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m3]:	9.81
Use negative pore pressure cutoff:	Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]:	0
Advanced Groundwater Method:	None

Random Numbers

Pseudo-random Seed:	10116
Random Number Generation Method:	Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type:	Circular
Search Method:	Slope Search
Number of Surfaces:	5000
Upper Angle:	Not Defined
Lower Angle:	Not Defined
Composite Surfaces:	Disabled
Reverse Curvature:	Invalid Surfaces
Minimum Elevation:	Not Defined
Minimum Depth:	Not Defined
Minimum Area:	Not Defined
Minimum Weight:	Not Defined

Material Properties

Property	**Substrato Roccioso**	**Depositi fluvio-glaciali**	**Materiale detritico di discarica**
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	24	19	19
Cohesion [kPa]	100	0	0
Friction Angle [deg]	38	36	27
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	**1.013610**
Center:	325.296, 1297.160
Radius:	518.603
Left Slip Surface Endpoint:	26.639, 873.188
Right Slip Surface Endpoint:	157.583, 806.425
Resisting Moment:	6.61072e+006 kN-m

Driving Moment:	6.52194e+006 kN-m
Total Slice Area:	1471.35 m2
Surface Horizontal Width:	130.944 m
Surface Average Height:	11.2364 m

Method: janbu corrected

FS	**1.019470**
Center:	325.296, 1297.160
Radius:	518.603
Left Slip Surface Endpoint:	26.639, 873.188
Right Slip Surface Endpoint:	157.583, 806.425
Resisting Horizontal Force:	11468.4 kN
Driving Horizontal Force:	11249.4 kN
Total Slice Area:	1471.35 m2
Surface Horizontal Width:	130.944 m
Surface Average Height:	11.2364 m

Method: spencer

FS	**1.012280**
Center:	325.296, 1297.160
Radius:	518.603
Left Slip Surface Endpoint:	26.639, 873.188
Right Slip Surface Endpoint:	157.583, 806.425
Resisting Moment:	6.60204e+006 kN-m
Driving Moment:	6.52194e+006 kN-m
Resisting Horizontal Force:	11357.1 kN
Driving Horizontal Force:	11219.3 kN
Total Slice Area:	1471.35 m2
Surface Horizontal Width:	130.944 m
Surface Average Height:	11.2364 m

Method: gle/morgenstern-price

FS	**1.012480**
Center:	325.296, 1297.160
Radius:	518.603
Left Slip Surface Endpoint:	26.639, 873.188
Right Slip Surface Endpoint:	157.583, 806.425
Resisting Moment:	6.60334e+006 kN-m
Driving Moment:	6.52194e+006 kN-m
Resisting Horizontal Force:	11357.5 kN
Driving Horizontal Force:	11217.5 kN
Total Slice Area:	1471.35 m2
Surface Horizontal Width:	130.944 m
Surface Average Height:	11.2364 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces:	3679
Number of Invalid Surfaces:	1321

Error Codes:
Error Code -105 reported for 2 surfaces
Error Code -113 reported for 327 surfaces
Error Code -114 reported for 992 surfaces

Method: janbu corrected

Number of Valid Surfaces:	3679
Number of Invalid Surfaces:	1321

Error Codes:
Error Code -105 reported for 2 surfaces
Error Code -113 reported for 327 surfaces
Error Code -114 reported for 992 surfaces

Method: spencer

Number of Valid Surfaces: 3679
Number of Invalid Surfaces: 1321

Error Codes:
Error Code -105 reported for 2 surfaces
Error Code -113 reported for 327 surfaces
Error Code -114 reported for 992 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 3679
Number of Invalid Surfaces: 1321

Error Codes:
Error Code -105 reported for 2 surfaces
Error Code -113 reported for 327 surfaces
Error Code -114 reported for 992 surfaces

Error Codes
The following errors were encountered during the computation:
-105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.
-113 = Surface intersects outside slope limits.
-114 = Surface with Reverse Curvature.

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	869.349
99.749	827.166
200	770

Focus Search Line

X	Y
99.749	830.166
99.749	831.166

External Boundary

X	Y
0	874.692
0	866.349
0	770
151.894	770
197.175	770
200	770
200	772.88
164.2	801.3
158.79	805.49
157.602	806.411
156.344	807.384
103.772	848.103
103.375	848.394
102.062	848.267
99.749	848.166
97.8	848.017
97.334	848.238
96.488	848.415

91.823	849.427
91.788	849.515
91.238	849.668
85.603	852.78
83.36	853.961
82.679	854.041
75.769	854.922
61.353	863.894
59.364	865.129
53.985	864.946
44.82	871.186
43.373	871.908
40.438	871.409
39.805	871.34
39.784	871.341
39.6	871.382
37.709	872.365
37.101	872.397
33.3182	872.681
27.709	873.101
27.6343	873.107
27.6328	873.107
27.3738	873.127
26.794	873.17
26.652	873.186
25.997	873.261
25.818	873.422
25.757	873.455
25.3788	873.47
17.435	873.783

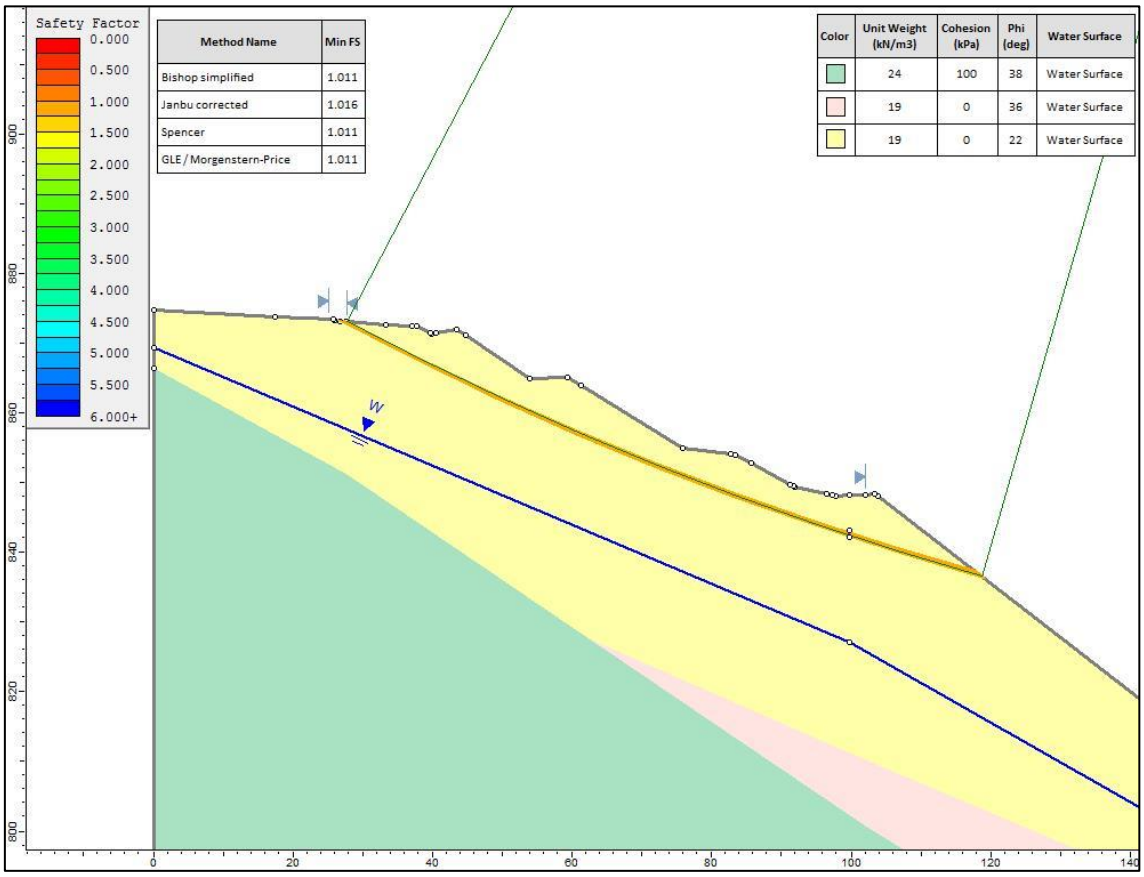
Material Boundary

X	Y
0	866.349
27.709	851.15
62.478	827.623
102.062	800.837
151.894	770

Material Boundary

X	Y
62.478	827.623
99.749	811.166
197.175	770

Back analysis - superfici superficiali condizioni ordinarie



Slide Analysis Information
SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

Units of Measurement:	Metric Units
Time Units:	hours
Permeability Units:	meters/second
Failure Direction:	Left to Right
Data Output:	Standard
Maximum Material Properties:	20
Maximum Support Properties:	20

Analysis Options

Slices Type:	Vertical
Analysis Methods Used	
	Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function:	Half Sine
	Janbu corrected
	Spencer
Number of slices:	50
Tolerance:	0.005
Maximum number of iterations:	75

Check malpha < 0.2:	Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos:	Yes
Initial trial value of FS:	1
Steffensen Iteration:	Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method:	Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m3]:	9.81
Use negative pore pressure cutoff:	Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]:	0
Advanced Groundwater Method:	None

Random Numbers

Pseudo-random Seed:	10116
Random Number Generation Method:	Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type:	Circular
Search Method:	Slope Search
Number of Surfaces:	5000
Upper Angle:	Not Defined
Lower Angle:	Not Defined
Composite Surfaces:	Disabled
Reverse Curvature:	Invalid Surfaces
Minimum Elevation:	Not Defined
Minimum Depth:	Not Defined
Minimum Area:	Not Defined
Minimum Weight:	Not Defined

Material Properties

Property	Substrato Roccioso	Depositi fluvio-glaciali	Materiale detritico di discarica
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	24	19	19
Cohesion [kPa]	100	0	0
Friction Angle [deg]	38	36	22
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	**1.011300**
Center:	251.527, 1298.300
Radius:	480.528
Left Slip Surface Endpoint:	27.660, 873.105
Right Slip Surface Endpoint:	118.795, 836.467
Resisting Moment:	1.49502e+006 kN-m
Driving Moment:	1.47831e+006 kN-m
Total Slice Area:	435.916 m2
Surface Horizontal Width:	91.1345 m

Surface Average Height:	4.78321 m

Method: janbu corrected

FS	**1.016020**
Center:	251.527, 1298.300
Radius:	480.528
Left Slip Surface Endpoint:	27.660, 873.105
Right Slip Surface Endpoint:	118.795, 836.467
Resisting Horizontal Force:	2905.43 kN
Driving Horizontal Force:	2859.64 kN
Total Slice Area:	435.916 m2
Surface Horizontal Width:	91.1345 m
Surface Average Height:	4.78321 m

Method: spencer

FS	**1.010840**
Center:	251.527, 1298.300
Radius:	480.528
Left Slip Surface Endpoint:	27.660, 873.105
Right Slip Surface Endpoint:	118.795, 836.467
Resisting Moment:	1.49434e+006 kN-m
Driving Moment:	1.47831e+006 kN-m
Resisting Horizontal Force:	2884.35 kN
Driving Horizontal Force:	2853.41 kN
Total Slice Area:	435.916 m2
Surface Horizontal Width:	91.1345 m
Surface Average Height:	4.78321 m

Method: gle/morgenstern-price

FS	**1.010850**
Center:	251.527, 1298.300
Radius:	480.528
Left Slip Surface Endpoint:	27.660, 873.105
Right Slip Surface Endpoint:	118.795, 836.467
Resisting Moment:	1.49435e+006 kN-m
Driving Moment:	1.47831e+006 kN-m
Resisting Horizontal Force:	2884.36 kN
Driving Horizontal Force:	2853.39 kN
Total Slice Area:	435.916 m2
Surface Horizontal Width:	91.1345 m
Surface Average Height:	4.78321 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces:	4081
Number of Invalid Surfaces:	919

Error Codes:
Error Code -105 reported for 5 surfaces
Error Code -113 reported for 367 surfaces
Error Code -114 reported for 547 surfaces

Method: janbu corrected

Number of Valid Surfaces:	4081

Number of Invalid Surfaces: 919

Error Codes:
Error Code -105 reported for 5 surfaces
Error Code -113 reported for 367 surfaces
Error Code -114 reported for 547 surfaces

Method: spencer

Number of Valid Surfaces: 4081
Number of Invalid Surfaces: 919

Error Codes:
Error Code -105 reported for 5 surfaces
Error Code -113 reported for 367 surfaces
Error Code -114 reported for 547 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 4081
Number of Invalid Surfaces: 919

Error Codes:
Error Code -105 reported for 5 surfaces
Error Code -113 reported for 367 surfaces
Error Code -114 reported for 547 surfaces

Error Codes
The following errors were encountered during the computation:
-105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.
-113 = Surface intersects outside slope limits.
-114 = Surface with Reverse Curvature.

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	869.349
99.749	827.166
200	770

Focus Search Line

X	Y
99.749	842.166
99.749	843.166

External Boundary

X	Y
0	874.692
0	866.349
0	770
151.894	770
197.175	770
200	770
200	772.88
164.2	801.3
103.772	848.103
103.375	848.394
102.062	848.267
99.749	848.166
97.8	848.017
97.334	848.238

96.488	848.415
91.823	849.427
91.788	849.515
91.238	849.668
85.603	852.78
83.36	853.961
82.679	854.041
75.769	854.922
61.353	863.894
59.364	865.129
53.985	864.946
44.82	871.186
43.373	871.908
40.438	871.409
39.805	871.34
39.784	871.341
39.6	871.382
37.709	872.365
37.101	872.397
33.3182	872.681
27.709	873.101
27.6328	873.107
26.794	873.17
25.997	873.261
25.818	873.422
25.757	873.455
17.435	873.783

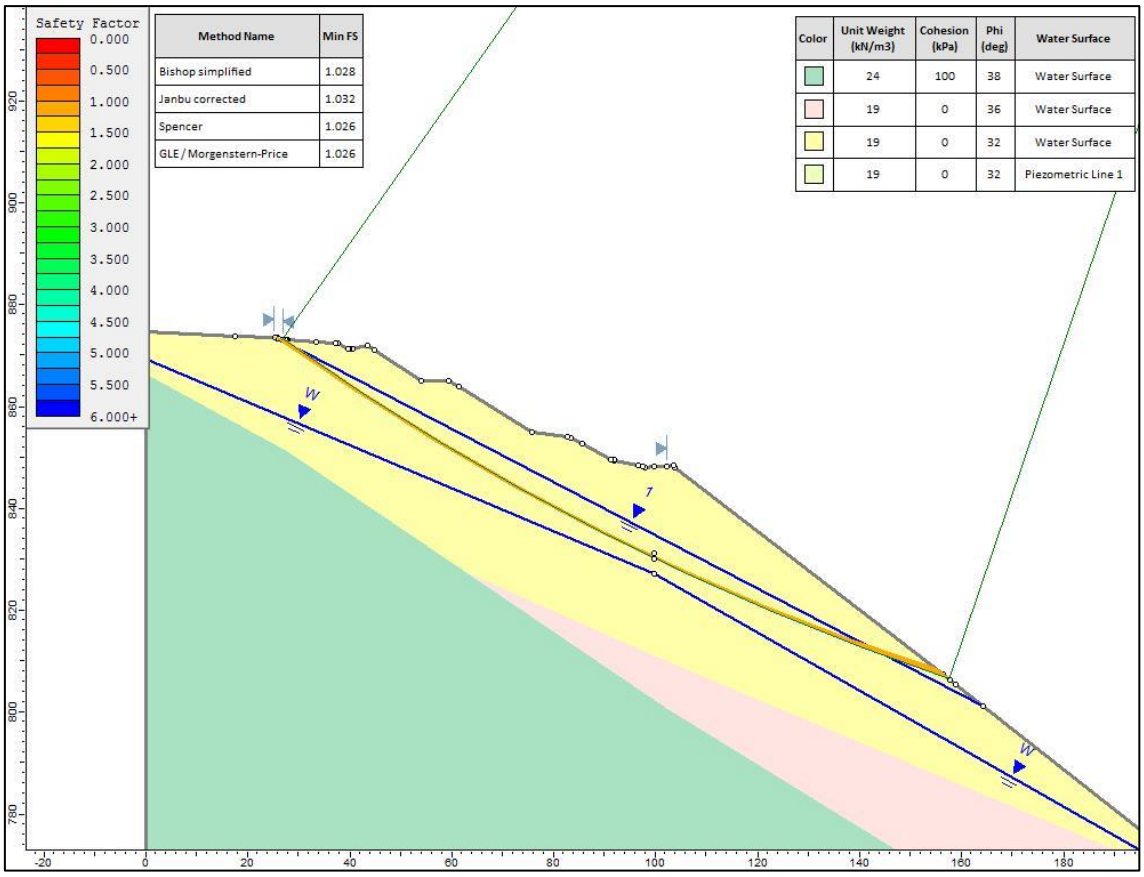
Material Boundary

X	Y
0	866.349
27.709	851.15
62.478	827.623
102.062	800.837
151.894	770

Material Boundary

X	Y
62.478	827.623
99.749	811.166
197.175	770

Back analysis superfice profonda (saturazione in corrispondenza sup. scorrimento)



Slide Analysis Information
SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

Units of Measurement:	Metric Units
Time Units:	hours
Permeability Units:	meters/second
Failure Direction:	Left to Right
Data Output:	Standard
Maximum Material Properties:	20
Maximum Support Properties:	20

Analysis Options

Slices Type:	Vertical
Analysis Methods Used	
	Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function:	Half Sine
	Janbu corrected
	Spencer
Number of slices:	50
Tolerance:	0.005
Maximum number of iterations:	75

Check malpha < 0.2:	Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos:	Yes
Initial trial value of FS:	1
Steffensen Iteration:	Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method:	Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m3]:	9.81
Use negative pore pressure cutoff:	Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]:	0
Advanced Groundwater Method:	None

Random Numbers

Pseudo-random Seed:	10116
Random Number Generation Method:	Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type:	Circular
Search Method:	Slope Search
Number of Surfaces:	5000
Upper Angle:	Not Defined
Lower Angle:	Not Defined
Composite Surfaces:	Disabled
Reverse Curvature:	Invalid Surfaces
Minimum Elevation:	Not Defined
Minimum Depth:	Not Defined
Minimum Area:	Not Defined
Minimum Weight:	Not Defined

Material Properties

Property	**Substrato Roccioso**	**Depositi fluvio-glaciali**	**Materiale detritico di discarica**	**Materiale in condizioni di rottura**
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	24	19	19	19
Cohesion [kPa]	100	0	0	0
Friction Angle [deg]	38	36	32	32
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Piezometric Line 1
Hu Value	1	1	1	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	**1.028200**
Center:	325.296, 1297.160
Radius:	518.603
Left Slip Surface Endpoint:	26.639, 873.188
Right Slip Surface Endpoint:	157.583, 806.425
Resisting Moment:	6.70585e+006 kN-m

Driving Moment:	6.52193e+006 kN-m
Total Slice Area:	1471.35 m2
Surface Horizontal Width:	130.944 m
Surface Average Height:	11.2364 m

Method: janbu corrected

FS	**1.031970**
Center:	325.296, 1297.160
Radius:	518.603
Left Slip Surface Endpoint:	26.639, 873.188
Right Slip Surface Endpoint:	157.583, 806.425
Resisting Horizontal Force:	11629.9 kN
Driving Horizontal Force:	11269.6 kN
Total Slice Area:	1471.35 m2
Surface Horizontal Width:	130.944 m
Surface Average Height:	11.2364 m

Method: spencer

FS	**1.025560**
Center:	325.296, 1297.160
Radius:	518.603
Left Slip Surface Endpoint:	26.639, 873.188
Right Slip Surface Endpoint:	157.583, 806.425
Resisting Moment:	6.68866e+006 kN-m
Driving Moment:	6.52193e+006 kN-m
Resisting Horizontal Force:	11524.3 kN
Driving Horizontal Force:	11237.1 kN
Total Slice Area:	1471.35 m2
Surface Horizontal Width:	130.944 m
Surface Average Height:	11.2364 m

Method: gle/morgenstern-price

FS	**1.025820**
Center:	325.296, 1297.160
Radius:	518.603
Left Slip Surface Endpoint:	26.639, 873.188
Right Slip Surface Endpoint:	157.583, 806.425
Resisting Moment:	6.69031e+006 kN-m
Driving Moment:	6.52193e+006 kN-m
Resisting Horizontal Force:	11525.1 kN
Driving Horizontal Force:	11235.1 kN
Total Slice Area:	1471.35 m2
Surface Horizontal Width:	130.944 m
Surface Average Height:	11.2364 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces:	3093
Number of Invalid Surfaces:	1907

Error Codes:
Error Code -105 reported for 2 surfaces
Error Code -110 reported for 586 surfaces
Error Code -113 reported for 327 surfaces
Error Code -114 reported for 992 surfaces

Method: janbu corrected

Number of Valid Surfaces: 3093
Number of Invalid Surfaces: 1907

Error Codes:
Error Code -105 reported for 2 surfaces
Error Code -110 reported for 586 surfaces
Error Code -113 reported for 327 surfaces
Error Code -114 reported for 992 surfaces

Method: spencer

Number of Valid Surfaces: 3079
Number of Invalid Surfaces: 1921

Error Codes:
Error Code -105 reported for 2 surfaces
Error Code -108 reported for 14 surfaces
Error Code -110 reported for 586 surfaces
Error Code -113 reported for 327 surfaces
Error Code -114 reported for 992 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 3093
Number of Invalid Surfaces: 1907

Error Codes:
Error Code -105 reported for 2 surfaces
Error Code -110 reported for 586 surfaces
Error Code -113 reported for 327 surfaces
Error Code -114 reported for 992 surfaces

Error Codes
The following errors were encountered during the computation:
-105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.
-108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
-110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
-113 = Surface intersects outside slope limits.
-114 = Surface with Reverse Curvature.

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	869.349
99.749	827.166
200	770

Piezoline

X	Y
25.997	873.261
164.2	801.3

Focus Search Line

X	Y
99.749	830.166
99.749	831.166

External Boundary

X	Y
0	874.692
0	866.349
0	770
151.894	770
197.175	770
200	770
200	772.88
164.2	801.3
158.79	805.49
157.602	806.411
156.344	807.384
103.772	848.103
103.375	848.394
102.062	848.267
99.749	848.166
97.8	848.017
97.334	848.238
96.488	848.415
91.823	849.427
91.788	849.515
91.238	849.668
85.603	852.78
83.36	853.961
82.679	854.041
75.769	854.922
61.353	863.894
59.364	865.129
53.985	864.946
44.82	871.186
43.373	871.908
40.438	871.409
39.805	871.34
39.784	871.341
39.6	871.382
37.709	872.365
37.101	872.397
33.3182	872.681
27.709	873.101
27.6343	873.107
27.6328	873.107
27.3738	873.127
26.794	873.17
26.652	873.186
25.997	873.261
25.818	873.422
25.757	873.455
25.3788	873.47
17.435	873.783

Material Boundary

X	Y
0	866.349
27.709	851.15
62.478	827.623
102.062	800.837
151.894	770

Material Boundary

X	Y

62.478	827.623
99.749	811.166
197.175	770

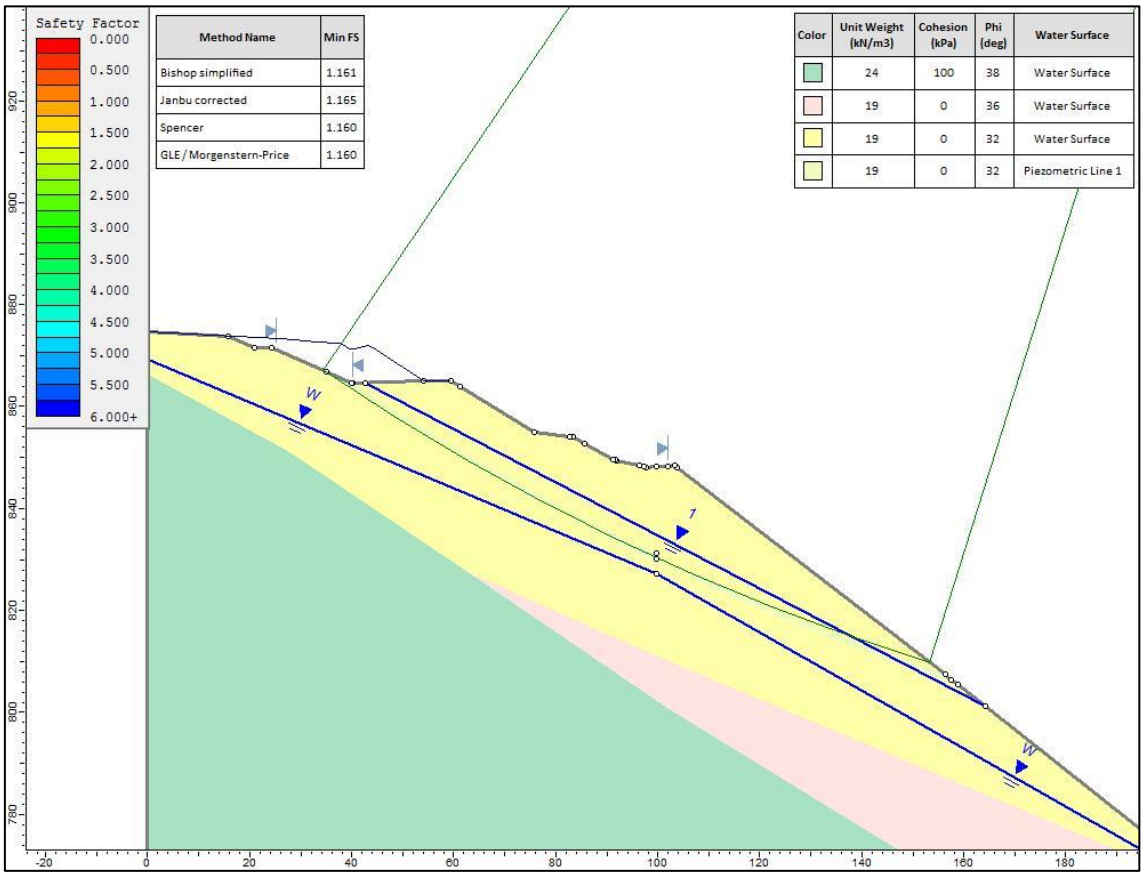
Material Boundary

X	Y
27.6343	873.107
28.1666	872.733
30.5287	871.087
33.5761	868.993
38.5822	865.621
43.5726	862.35
49.9123	858.312
56.0977	854.488
61.5601	851.207
69.5468	846.586
76.6913	842.604
83.3844	839.009
90.0822	835.527
94.9292	833.089
99.8015	830.702
105.429	828.027
110.775	825.561
116.284	823.094
122.055	820.592
127.126	818.462
133.191	815.994
139.624	813.469
144.7	811.551
149.795	809.687
156.344	807.384

Material Boundary

X	Y
25.3788	873.47
27.0233	872.314
29.423	870.634
31.5924	869.143
33.96	867.522
37.1626	865.37
40.2605	863.322
43.8971	860.953
48.6382	857.931
52.747	855.368
57.1533	852.679
62.478	849.512
68.4065	846.085
73.9442	842.975
82.8523	838.159
89.6282	834.636
97.8268	830.556
104.873	827.29
112	823.91
116.643	821.845
124.135	818.618
129.158	816.538
136.024	813.8
143.256	811.028
148.684	809.029
153.5	807.314
158.79	805.49

Riprofilatura - superficie profonda



Slide Analysis Information
SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

Units of Measurement:	Metric Units
Time Units:	hours
Permeability Units:	meters/second
Failure Direction:	Left to Right
Data Output:	Standard
Maximum Material Properties:	20
Maximum Support Properties:	20

Analysis Options

Slices Type:	Vertical
Analysis Methods Used	
	Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function:	Half Sine
	Janbu corrected
	Spencer
Number of slices:	50
Tolerance:	0.005
Maximum number of iterations:	75
Check malpha < 0.2:	Yes

Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos:	Yes
Initial trial value of FS:	1
Steffensen Iteration:	Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method:	Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m3]:	9.81
Use negative pore pressure cutoff:	Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]:	0
Advanced Groundwater Method:	None

Random Numbers

Pseudo-random Seed:	10116
Random Number Generation Method:	Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type:	Circular
Search Method:	Slope Search
Number of Surfaces:	5000
Upper Angle:	Not Defined
Lower Angle:	Not Defined
Composite Surfaces:	Disabled
Reverse Curvature:	Invalid Surfaces
Minimum Elevation:	Not Defined
Minimum Depth:	Not Defined
Minimum Area:	Not Defined
Minimum Weight:	Not Defined

Material Properties

Property	**Substrato Roccioso**	**Depositi fluvio-glaciali**	**Materiale detritico di discarica**	**Materiale in condizioni di rottura**
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	24	19	19	19
Cohesion [kPa]	100	0	0	0
Friction Angle [deg]	38	36	32	32
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Piezometric Line 1
Hu Value	1	1	1	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	**1.160760**
Center:	289.440, 1244.165
Radius:	455.248
Left Slip Surface Endpoint:	34.417, 867.051
Right Slip Surface Endpoint:	153.286, 809.753
Resisting Moment:	5.72646e+006 kN-m
Driving Moment:	4.93338e+006 kN-m
Total Slice Area:	1328.43 m2
Surface Horizontal Width:	118.869 m
Surface Average Height:	11.1756 m

Method: janbu corrected

FS	**1.165310**
Center:	291.924, 1251.332
Radius:	462.587
Left Slip Surface Endpoint:	34.388, 867.064
Right Slip Surface Endpoint:	152.729, 810.184
Resisting Horizontal Force:	11241.8 kN
Driving Horizontal Force:	9647.06 kN
Total Slice Area:	1305.8 m2
Surface Horizontal Width:	118.341 m
Surface Average Height:	11.0342 m

Method: spencer

FS	**1.159510**
Center:	289.440, 1244.165
Radius:	455.248
Left Slip Surface Endpoint:	34.417, 867.051
Right Slip Surface Endpoint:	153.286, 809.753
Resisting Moment:	5.72029e+006 kN-m
Driving Moment:	4.93338e+006 kN-m
Resisting Horizontal Force:	11349.3 kN
Driving Horizontal Force:	9788.02 kN
Total Slice Area:	1328.43 m2
Surface Horizontal Width:	118.869 m
Surface Average Height:	11.1756 m

Method: gle/morgenstern-price

FS	**1.159570**
Center:	289.440, 1244.165
Radius:	455.248
Left Slip Surface Endpoint:	34.417, 867.051
Right Slip Surface Endpoint:	153.286, 809.753
Resisting Moment:	5.7206e+006 kN-m
Driving Moment:	4.93338e+006 kN-m
Resisting Horizontal Force:	11349.6 kN
Driving Horizontal Force:	9787.79 kN
Total Slice Area:	1328.43 m2
Surface Horizontal Width:	118.869 m
Surface Average Height:	11.1756 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 2696
Number of Invalid Surfaces: 2304

Error Codes: Error Code -110 reported for 1325 surfaces
Error Code -114 reported for 979 surfaces

Method: janbu corrected

Number of Valid Surfaces: 2696
Number of Invalid Surfaces: 2304

Error Codes:
Error Code -110 reported for 1325 surfaces
Error Code -114 reported for 979 surfaces

Method: spencer

Number of Valid Surfaces: 2696
Number of Invalid Surfaces: 2304

Error Codes: Error Code -110 reported for 1325 surfaces
Error Code -114 reported for 979 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 2696

Number of Invalid Surfaces: 2304

Error Codes: Error Code -110 reported for 1325 surfaces
Error Code -114 reported for 979 surfaces

Error Codes *The following errors were encountered during the computation:*
-110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
-114 = Surface with Reverse Curvature.

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	869.349
99.749	827.166
200	770

Piezoline

X	Y
42.5645	864.634
164.2	801.3

Focus Search Line

X	Y
99.749	830.166
99.749	831.166

External Boundary

X	Y
0	874.692
0	866.349
0	770
151.894	770
197.175	770
200	770
200	772.88
164.2	801.3
158.79	805.49
157.602	806.411
156.344	807.384
103.772	848.103
103.375	848.394
102.062	848.267
99.749	848.166
97.8	848.017
97.334	848.238
96.488	848.415
91.823	849.427
91.788	849.515
91.238	849.668
85.603	852.78
83.36	853.961
82.679	854.041
75.769	854.922
61.353	863.894
59.364	865.129
53.985	864.946
40.1304	864.606
39.881	864.6
35.1503	866.722
24.278	871.6
20.901	871.6
15.887	873.864

Material Boundary

X	Y
0	866.349
27.709	851.15
62.478	827.623
102.062	800.837
151.894	770

Material Boundary

X	Y
62.478	827.623
99.749	811.166
197.175	770

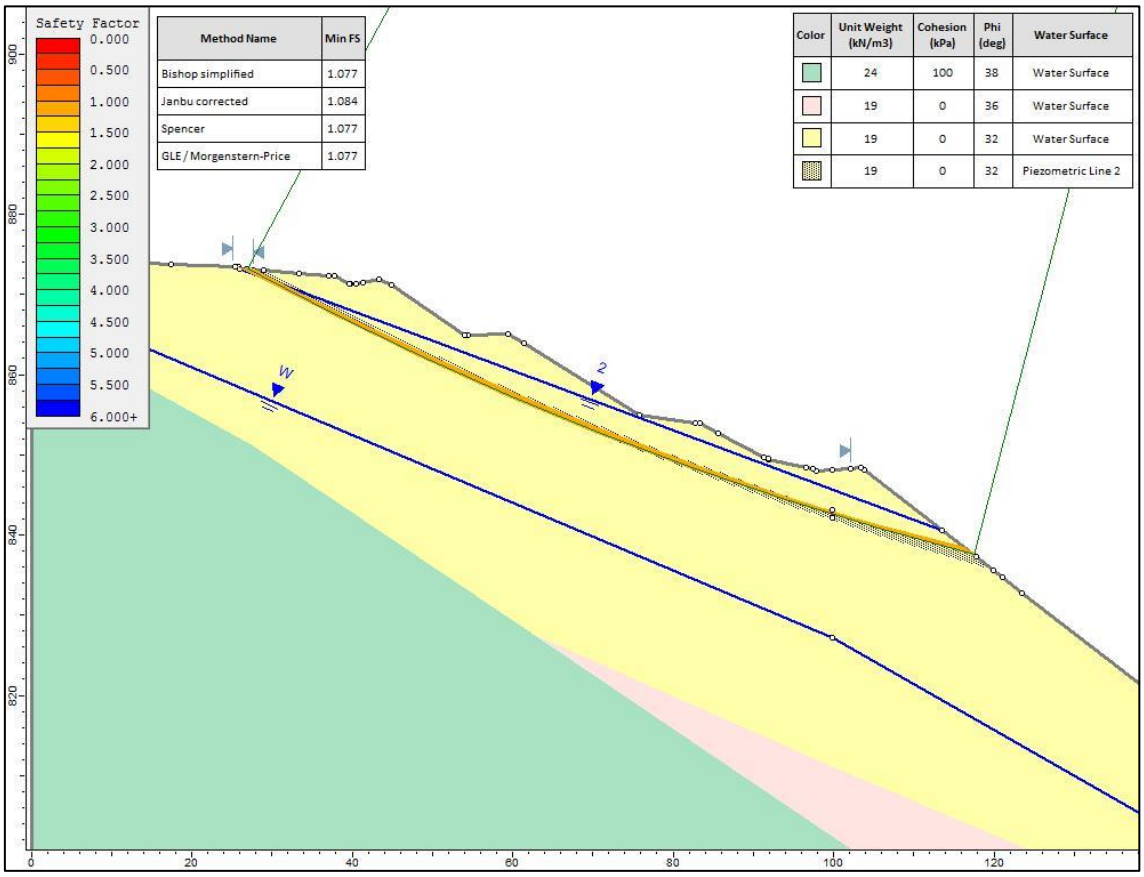
Material Boundary

X	Y
35.1503	866.722
37.1626	865.37
40.2605	863.322
43.8971	860.953
48.6382	857.931
52.747	855.368
57.1533	852.679
62.478	849.512
68.4065	846.085
73.9442	842.975
82.8523	838.159
89.6282	834.636
97.8268	830.556
104.873	827.29
112	823.91
116.643	821.845
124.135	818.618
129.158	816.538
136.024	813.8
143.256	811.028
148.684	809.029
153.5	807.314
158.79	805.49

Material Boundary

X	Y
40.1304	864.606
43.5726	862.35
49.9123	858.312
56.0977	854.488
61.5601	851.207
69.5468	846.586
76.6913	842.604
83.3844	839.009
90.0822	835.527
94.9292	833.089
99.8015	830.702
105.429	828.027
110.775	825.561
116.284	823.094
122.055	820.592
127.126	818.462
133.191	815.994
139.624	813.469
144.7	811.551
149.795	809.687

Condizioni attuali – superfici superficiali sature



Slide Analysis Information
SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

Units of Measurement:	Metric Units
Time Units:	hours
Permeability Units:	meters/second
Failure Direction:	Left to Right
Data Output:	Standard
Maximum Material Properties:	20
Maximum Support Properties:	20

Analysis Options

Slices Type:	Vertical
Analysis Methods Used	
	Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function:	Half Sine
	Janbu corrected
	Spencer
Number of slices:	50
Tolerance:	0.005
Maximum number of iterations:	75

Check malpha < 0.2:	Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos:	Yes
Initial trial value of FS:	1
Steffensen Iteration:	Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method:	Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m3]:	9.81
Use negative pore pressure cutoff:	Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]:	0
Advanced Groundwater Method:	None

Random Numbers

Pseudo-random Seed:	10116
Random Number Generation Method:	Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type:	Circular
Search Method:	Slope Search
Number of Surfaces:	5000
Upper Angle:	Not Defined
Lower Angle:	Not Defined
Composite Surfaces:	Disabled
Reverse Curvature:	Invalid Surfaces
Minimum Elevation:	Not Defined
Minimum Depth:	Not Defined
Minimum Area:	Not Defined
Minimum Weight:	Not Defined

Material Properties

Property	**Substrato Roccioso**	**Depositi fluvio-glaciali**	**Materiale detritico di discarica**	**Materiale in condizioni di rottura**
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	24	19	19	19
Cohesion [kPa]	100	0	0	0
Friction Angle [deg]	38	36	32	32
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Piezometric Line 2
Hu Value	1	1	1	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	**1.077170**
Center:	219.453, 1229.462
Radius:	404.994
Left Slip Surface Endpoint:	26.918, 873.161
Right Slip Surface Endpoint:	117.422, 837.531
Resisting Moment:	1.35925e+006 kN-m

Driving Moment:	1.26187e+006 kN-m
Total Slice Area:	448.608 m2
Surface Horizontal Width:	90.5038 m
Surface Average Height:	4.95679 m

Method: janbu corrected

FS	**1.083760**
Center:	219.453, 1229.462
Radius:	404.994
Left Slip Surface Endpoint:	26.918, 873.161
Right Slip Surface Endpoint:	117.422, 837.531
Resisting Horizontal Force:	3135.9 kN
Driving Horizontal Force:	2893.54 kN
Total Slice Area:	448.608 m2
Surface Horizontal Width:	90.5038 m
Surface Average Height:	4.95679 m

Method: spencer

FS	**1.076670**
Center:	219.453, 1229.462
Radius:	404.994
Left Slip Surface Endpoint:	26.918, 873.161
Right Slip Surface Endpoint:	117.422, 837.531
Resisting Moment:	1.35862e+006 kN-m
Driving Moment:	1.26187e+006 kN-m
Resisting Horizontal Force:	3112.03 kN
Driving Horizontal Force:	2890.42 kN
Total Slice Area:	448.608 m2
Surface Horizontal Width:	90.5038 m
Surface Average Height:	4.95679 m

Method: gle/morgenstern-price

FS	**1.076640**
Center:	219.453, 1229.462
Radius:	404.994
Left Slip Surface Endpoint:	26.918, 873.161
Right Slip Surface Endpoint:	117.422, 837.531
Resisting Moment:	1.35858e+006 kN-m
Driving Moment:	1.26187e+006 kN-m
Resisting Horizontal Force:	3112.01 kN
Driving Horizontal Force:	2890.48 kN
Total Slice Area:	448.608 m2
Surface Horizontal Width:	90.5038 m
Surface Average Height:	4.95679 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces:	3897
Number of Invalid Surfaces:	1103

Error Codes:
Error Code -105 reported for 8 surfaces
Error Code -110 reported for 163 surfaces
Error Code -113 reported for 386 surfaces
Error Code -114 reported for 546 surfaces

Method: janbu corrected

Number of Valid Surfaces: 3897
Number of Invalid Surfaces: 1103

Error Codes:
Error Code -105 reported for 8 surfaces
Error Code -110 reported for 163 surfaces
Error Code -113 reported for 386 surfaces
Error Code -114 reported for 546 surfaces

Method: spencer

Number of Valid Surfaces: 3896
Number of Invalid Surfaces: 1104

Error Codes:
Error Code -105 reported for 8 surfaces
Error Code -110 reported for 163 surfaces
Error Code -111 reported for 1 surface
Error Code -113 reported for 386 surfaces
Error Code -114 reported for 546 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 3897
Number of Invalid Surfaces: 1103

Error Codes:
Error Code -105 reported for 8 surfaces
Error Code -110 reported for 163 surfaces
Error Code -113 reported for 386 surfaces
Error Code -114 reported for 546 surfaces

Error Codes
The following errors were encountered during the computation:
-105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.
-110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
-111 = safety factor equation did not converge
-113 = Surface intersects outside slope limits.
-114 = Surface with Reverse Curvature.

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	869.349
99.749	827.166
200	770

Piezoline

X	Y
25.997	873.261
113.442	840.613

Focus Search Line

X	Y
99.749	842.166
99.749	843.166

External Boundary

X	Y
0	874.692
0	866.349
0	770
151.894	770
197.175	770
200	770
200	772.88
164.2	801.3
158.79	805.49
156.345	807.384
123.478	832.841
121.032	834.735
119.845	835.654
117.722	837.298
103.772	848.103
103.375	848.394
102.062	848.267
99.749	848.166
97.8	848.017
97.334	848.238
96.488	848.415
91.823	849.427
91.788	849.515
91.238	849.668
85.603	852.78
83.36	853.961
82.679	854.041
75.769	854.922
61.353	863.894
59.364	865.129
54.3842	864.96
53.985	864.946
44.82	871.186
43.373	871.908
41.2989	871.555
40.438	871.409
39.805	871.34
39.784	871.341
39.6	871.382
37.709	872.365
37.101	872.397
33.3182	872.681
28.9181	873.011
27.709	873.101
27.6343	873.107
27.6328	873.107
26.794	873.17
25.997	873.261
25.818	873.422
25.757	873.455
25.3789	873.47
17.435	873.783

Material Boundary

X	Y
0	866.349
27.709	851.15
62.478	827.623
102.062	800.837
151.894	770

Material Boundary

X	Y
62.478	827.623
99.749	811.166
197.175	770

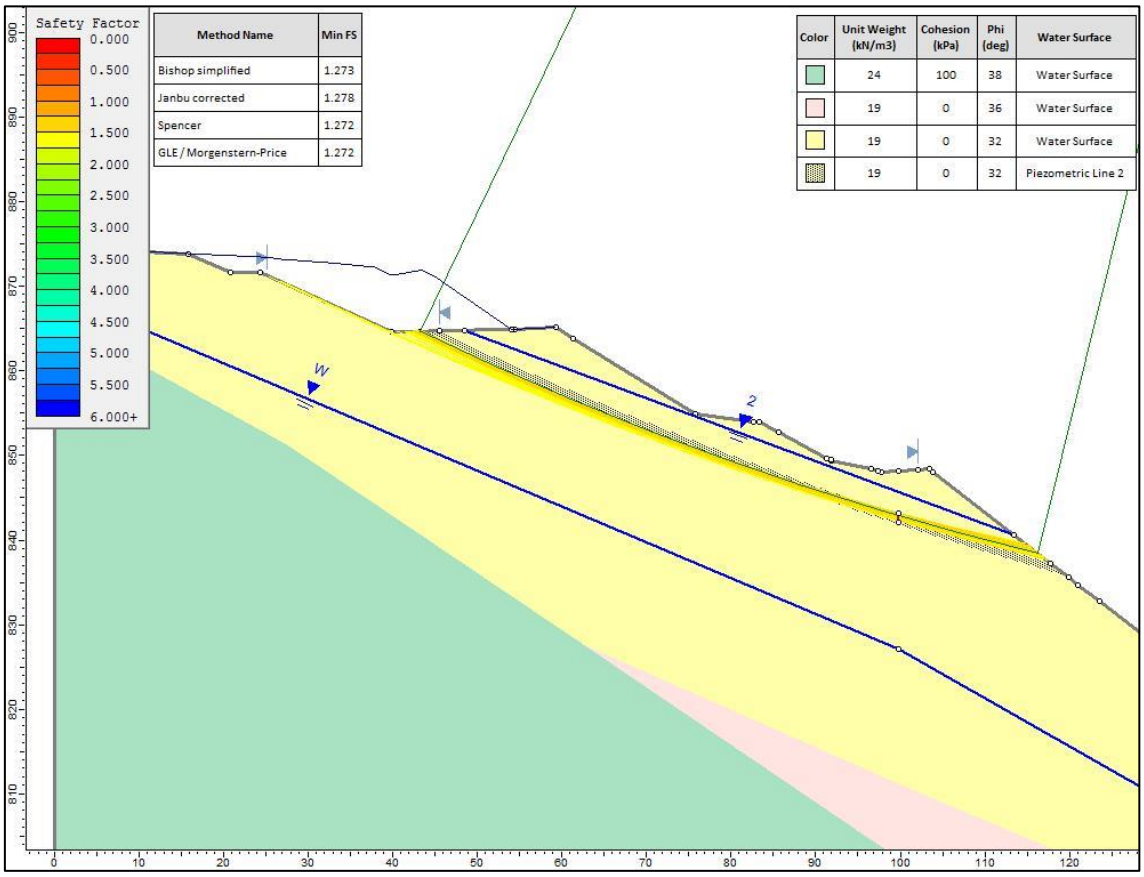
Material Boundary

X	Y
28.9181	873.011
32.3398	871.242
37.3121	868.724
41.0523	866.882
47.7139	863.692
53.8144	860.887
60.8849	857.752
67.5038	854.953
79.5003	850.155
90.8977	845.952
97.7341	843.579
103.19	841.766
109.627	839.731
117.722	837.298

Material Boundary

X	Y
25.997	873.261
28.2692	872.223
29.5398	871.562
30.7828	870.92
33.1449	869.701
36.3027	868.113
39.759	866.402
43.2273	864.717
46.7152	863.053
50.5772	861.26
54.9687	859.268
59.0608	857.461
62.3849	856.025
66.6182	854.238
71.7384	852.141
77.4511	849.881
84.6124	847.164
89.7118	845.311
94.8321	843.515
98.0986	842.397
101.811	841.169
106.484	839.665
111.22	838.195
115.505	836.911
119.845	835.654

Riprofilatura – superfici superficiali sature



Slide Analysis Information
SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

Units of Measurement:	Metric Units
Time Units:	hours
Permeability Units:	meters/second
Failure Direction:	Left to Right
Data Output:	Standard
Maximum Material Properties:	20
Maximum Support Properties:	20

Analysis Options

Slices Type:	Vertical
Analysis Methods Used	
	Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function:	Half Sine
	Janbu corrected
	Spencer
Number of slices:	50
Tolerance:	0.005
Maximum number of iterations:	75

Check malpha < 0.2:	Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos:	Yes
Initial trial value of FS:	1
Steffensen Iteration:	Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method:	Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m3]:	9.81
Use negative pore pressure cutoff:	Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]:	0
Advanced Groundwater Method:	None

Random Numbers

Pseudo-random Seed:	10116
Random Number Generation Method:	Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type:	Circular
Search Method:	Slope Search
Number of Surfaces:	5000
Upper Angle:	Not Defined
Lower Angle:	Not Defined
Composite Surfaces:	Disabled
Reverse Curvature:	Invalid Surfaces
Minimum Elevation:	Not Defined
Minimum Depth:	Not Defined
Minimum Area:	Not Defined
Minimum Weight:	Not Defined

Material Properties

Property	**Substrato Roccioso**	**Depositi fluvio-glaciali**	**Materiale detritico di discarica**	**Materiale in condizioni di rottura**
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	24	19	19	19
Cohesion [kPa]	100	0	0	0
Friction Angle [deg]	38	36	32	32
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Piezometric Line 2
Hu Value	1	1	1	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	**1.272850**
Center:	206.915, 1205.635
Radius:	378.231
Left Slip Surface Endpoint:	43.180, 864.681
Right Slip Surface Endpoint:	116.264, 838.428

Resisting Moment:	1.05766e+006 kN-m
Driving Moment:	830941 kN-m
Total Slice Area:	341.039 m2
Surface Horizontal Width:	73.0845 m
Surface Average Height:	4.66637 m

Method: janbu corrected

FS	**1.277850**
Center:	206.915, 1205.635
Radius:	378.231
Left Slip Surface Endpoint:	43.180, 864.681
Right Slip Surface Endpoint:	116.264, 838.428
Resisting Horizontal Force:	2645.64 kN
Driving Horizontal Force:	2070.38 kN
Total Slice Area:	341.039 m2
Surface Horizontal Width:	73.0845 m
Surface Average Height:	4.66637 m

Method: spencer

FS	**1.272130**
Center:	206.915, 1205.635
Radius:	378.231
Left Slip Surface Endpoint:	43.180, 864.681
Right Slip Surface Endpoint:	116.264, 838.428
Resisting Moment:	1.05707e+006 kN-m
Driving Moment:	830941 kN-m
Resisting Horizontal Force:	2627.04 kN
Driving Horizontal Force:	2065.07 kN
Total Slice Area:	341.039 m2
Surface Horizontal Width:	73.0845 m
Surface Average Height:	4.66637 m

Method: gle/morgenstern-price

FS	**1.272190**
Center:	206.915, 1205.635
Radius:	378.231
Left Slip Surface Endpoint:	43.180, 864.681
Right Slip Surface Endpoint:	116.264, 838.428
Resisting Moment:	1.05712e+006 kN-m
Driving Moment:	830941 kN-m
Resisting Horizontal Force:	2627.07 kN
Driving Horizontal Force:	2064.99 kN
Total Slice Area:	341.039 m2
Surface Horizontal Width:	73.0845 m
Surface Average Height:	4.66637 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 4009

Number of Invalid Surfaces: 991

Error Codes: Error Code -110 reported for 535 surfaces
Error Code -114 reported for 456 surfaces

Method: janbu corrected

Number of Valid Surfaces: 4009

Number of Invalid Surfaces: 991

Error Codes: Error Code -110 reported for 535 surfaces
Error Code -114 reported for 456 surfaces

Method: spencer

Number of Valid Surfaces: 4007

Number of Invalid Surfaces: 993

Error Codes:
Error Code -110 reported for 535 surfaces
Error Code -111 reported for 2 surfaces
Error Code -114 reported for 456 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 4009

Number of Invalid Surfaces: 991

Error Codes: Error Code -110 reported for 535 surfaces
Error Code -114 reported for 456 surfaces

Error Codes *The following errors were encountered during the computation:*
-110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
-111 = safety factor equation did not converge
-114 = Surface with Reverse Curvature.

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	869.349
99.749	827.166
200	770

Piezoline

X	Y
48.5592	864.813
113.442	840.613

Focus Search Line

X	Y
99.749	842.166
99.749	843.166

External Boundary

X	Y
0	874.692
0	866.349
0	770
151.894	770
197.175	770
200	770
200	772.88
164.2	801.3
158.79	805.49
156.345	807.384
123.478	832.841
121.032	834.735
119.845	835.654
117.722	837.298
103.772	848.103
103.375	848.394
102.062	848.267
99.749	848.166
97.8	848.017
97.334	848.238
96.488	848.415
91.823	849.427
91.788	849.515
91.238	849.668
85.603	852.78

83.36	853.961
82.679	854.041
75.769	854.922
61.353	863.894
59.364	865.129
54.3842	864.96
53.985	864.946
45.528	864.739
43.2959	864.684
39.881	864.6
24.278	871.6
20.901	871.6
15.887	873.864

Material Boundary

X	Y
0	866.349
27.709	851.15
62.478	827.623
102.062	800.837
151.894	770

Material Boundary

X	Y
62.478	827.623
99.749	811.166
197.175	770

Material Boundary

X	Y
45.528	864.739
47.7139	863.692
53.8144	860.887
60.8849	857.752
67.5038	854.953
79.5003	850.155
90.8977	845.952
97.7341	843.579
103.19	841.766
109.627	839.731
117.722	837.298

Material Boundary

X	Y
43.2959	864.684
46.7152	863.053
50.5772	861.26
54.9687	859.268
59.0608	857.461
62.3849	856.025
66.6182	854.238
71.7384	852.141
77.4511	849.881
84.6124	847.164
89.7118	845.311
94.8321	843.515
98.0986	842.397
101.811	841.169
106.484	839.665
111.22	838.195
115.505	836.911
119.845	835.654