

ASSE VIARIO MARCHE-UMBRIA E QUADRILATERO DI PENETRAZIONE INTERNA MAXILOTTO 1

PROGETTO ESECUTIVO

CONTRAENTE GENERALE



IL RESPONSABILE DEL CONTRAENTE GENERALE

IL PROGETTISTA

GRUPPO DI PROGETTAZIONE DEL PROGETTO ESECUTIVO APPROVATO

ATI: TECHNITAL s.p.a. (mandataria)
 EGIS STRUCTURES & ENVIRONNEMENT S.A.
 SICS s.r.l. Società Italiana Consulenza Strade
 S.I.S. Studio di Ingegneria Stradale s.r.l.
 SOIL Geologia Geotecnica Opere in sotterraneo Difesa del territorio

 INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE *Dott. Ing. M. Raccosta*

 IL GEOLOGO
Dott. Geol. F. Ferrari

IL GEOLOGO

 IL RESPONSABILE DELLA CONGRUENZA FUNZIONALE
 CON IL PROGETTO ESECUTIVO APPROVATO
 (ATI: TECHNITAL-EGIS-SOIL-SIS-SICS)

 VISTO:IL RESPONSABILE
 DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Vincenzo Lomma

 VISTO:IL COORDINATORE DELLA
 SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE

LA DIREZIONE LAVORI

SUBLOTTO 1.2: S.S. 77 "VAL DI CHIEN TI" TRONCO PONTELATRAVE – FOLIGNO TRATTI FOLIGNO-VALMENOTRE E GALLERIA MUCCIA-PONTELATRAVE (inclusa galleria) CABINA PREFABBRICATA PER APPARECCHIATURE ELETTRICHE PIANO DI FONDAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

 Codice Unico di Progetto (CUP) **F12C03000050010** (Delibera CIPE 13/2004)

REVISIONE

FOGLIO

SCALA

CODICE ELAB. e FILE	Opera	Lotto	Stato	Settore	WBS	Disciplina	Tipo Doc.	N. Progress.
L0703	A1	E	P	TR10100	GEO	REL	001	

A

-- --

D

C

B

A

EMISSIONE

25/08/2014

S. Piazzoli

V. Mastroianni

M. Rasimelli

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

 APPROVATO RESP.
 TECNICO ANAS

INDICE

1	INTRODUZIONE.....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3	SOFTWARE UTILIZZATI	5
4	INQUADRAMENTO PROGETTUALE.....	6
4.1	DATI DI PROGETTO.....	6
4.2	AREA INTERESSATA.....	6
4.3	SOPRALLUOGO.....	7
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO- GEOMORFOLOGICO-GEOTECNICO.....	8
5.1	INDAGINI ESEGUITE	11
5.2	PARAMETRI DI CALCOLO.....	14
6	VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE	15
6.1	MODELLO DI CALCOLO	15
6.2	ANALISI DI STABILITA'.....	17
6.3	CALCOLO SEZIONE 22.....	23
6.4	CALCOLO SEZIONE 23.....	31
6.5	RISULTATI DELLE VERIFICHE.....	38
6.6	VERIFICHE SCAVO SOVRASTANTE CABINA.....	38
7	CONCLUSIONI.....	40

- ALLEGATI

1 INTRODUZIONE

Oggetto della presente Relazione è la caratterizzazione geologica e geotecnica dell'area sulla quale è prevista la costruzione della cabina prefabbricata per apparecchiature elettriche denominata CE05, situata tra l'imbocco lato Pontelatrive della galleria "Belfiore" e l'imbocco lato Foligno della galleria "Pale", in corrispondenza del viadotto "Pale", nell'ambito del Progetto Esecutivo del Sublotto 1.2 "Asse viario Marche-Umbria e Quadrilatero di penetrazione interna" - S.S.77 "Val di Chienti".

La cabina ha un ingombro esterno in pianta di 9,70m x 29,70m con altezza utile pari a 3,2m ed un peso di 2,00 kg/cmq. A questa sarà affiancato un gruppo elettrogeno green power GP 1880 A/P con ingombro esterno in pianta di 3.4m x 11,1m e del peso di circa 17000kg

L'analisi è stata fatta prendendo in considerazione le evidenze geologiche riscontrate in sito, mediante saggi opportunamente pianificati e i dati provenienti dalla progettazione delle opere strategiche come le due gallerie tra le quali sorgerà la cabina ed il viadotto "Pale"

Per tutte queste opere sono state già condotte indagini geologiche e geotecniche in fase di progettazione esecutiva, che hanno permesso di ricavare parametri che descrivono in maniera analitica l'area in esame

Nel seguito vengono descritti, in dettaglio i dati estrapolati dal progetto esistente, utili alla parametrizzazione per la realizzazione delle opere, le indagini supplementari eseguite, laddove si sono riscontrate carenze o la situazione contingente richiedeva delle implementazioni di studio, e si forniscono, quindi, le caratteristiche geomeccaniche dei materiali costituenti il substrato della l'area dove sorgerà la cabina. Si riportano, infine, i risultati delle verifiche condotte.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le verifiche degli interventi e la redazione della presente relazione e degli elaborati tecnici allegati sono state effettuate nel rispetto della Normativa in vigore. I principali riferimenti normativi sono i seguenti:

- **D.M. 11/03/1988**: “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- **Circ. Min. 24/9/1988 n. 30483**: “Norme tecniche per terreni e fondazioni: istruzioni applicative del D.M. 11/3/1988”.
- **D.M. 14/09/2005** “Norme Tecniche per le Costruzioni”
- **O.P.C.M. del 20 marzo 2003 n.3274**
- **EC7_UNI-ENV-1997** : “Progettazione geotecnica”
- **EC8_UNI-ENV-1998** : “Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture”
- **Associazione Geotecnica Italiana** “Aspetti geotecnica della progettazione in zona sismica – Linee guida” Patron Editore, Bologna. Ed. provvisoria marzo 2005.

3 SOFTWARE UTILIZZATI

Nella presente relazione si è fatto uso dei seguenti codici di calcolo :

- **SLOPE, 2014.22.4.1122.** Programma per l'analisi di stabilità di pendii, GEOSTRU SOFTWARE

4 INQUADRAMENTO PROGETTUALE

Nel seguito si fornisce una descrizione dell'area di intervento, delle risultanze utili ricavate dagli elaborati delle opere adiacenti, ed i principali interventi e attività previste per la determinazione dei parametri geotecnici utili alla progettazione della cabina CE05, oggetto di questa relazione; per ulteriori informazioni si rimanda agli appositi elaborati grafici.

4.1 DATI DI PROGETTO

La realizzazione del progetto geotecnico di una cabina prefabbricata per apparecchiature elettriche prevede una parametrizzazione del substrato di fondazione che parte da dati di ingresso relativi alla caratterizzazione dell'area e dell'opera

I dati di ingresso utili a questo intervento sono i seguenti:

Vita utile di progetto = 100 anni

Classe di importanza = 2 (reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza)

Periodo di ritorno = 1000 anni (periodo di ritorno per fenomeni naturali coinvolti)

Per quanto riguarda la classificazione del sottosuolo di progetto, necessaria per la corretta valutazione delle azioni sismiche agenti è stata utilizzata cautelativamente la categoria più gravosa tra quella rilevata all'imbocco delle gallerie vicino e quella per il terreno di posa del viadotto.

Si è ipotizzata quindi la categoria B (depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri) con valori di Vs30 compresi tra 180 e 360 m/s

L'area in esame è classificata in zona sismica di I categoria

4.2 AREA INTERESSATA

L'area interessata ad ospitare la cabina elettrica in progetto come già espresso in precedenza, si trova tra l'imbocco est della galleria pale e l'imbocco ovest della galleria belfiore a dx sul versante di monte nei pressi della carreggiata nord su un lato superiore rispetto all'imbocco.

Sulla planimetria di progetto LO703 A1 E P TR101 00 TRA PLA 005 A è ubicata l'area di imposta e indicate le sezioni topografiche; la 21, 22 e 23 trasversali al versante e la 24 parallela ad esso. Queste sono rappresentate in sezione in LO703 A1 E P TR101 00 TRA SEZ 004 A

Si individua qui l'area della cabina rispetto alla direttrice stradale nord.

4.3 SOPRALLUOGO

Per la corretta modellizzazione geomeccanica e geotecnica dei litotipi costituenti il substrato è stato effettuato un sopralluogo sull'area di imposta delle fondazioni ed effettuati dei saggi per verificare le risultanze ricavate dalle relazioni geologiche e geotecniche già effettuate sull'area in esame per la progettazione delle opere strategiche adiacenti, quali gli imbocchi delle gallerie e il viadotto

Durante il sopralluogo è stata prevista una implementazione di indagini rispetto ai materiali presenti e di effettuare la verifica di stabilità su due sezioni presenti in progetto visto che la cabina poggia su due litotipi a contatto tra loro

.

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO- GEOMORFOLOGICO-GEOTECNICO

L'area dove è prevista la costruzione della cabina CE05 (Figura 5.1) si imposta prevalentemente al di sopra della formazione delle "Marne a Fucoidi" con un detrito di falda intervallivo che si sovrappone alla formazione mediante un processo di deposizione continentale. La formazione delle "Marne a Fucoidi" (Figura 5.2) è costituita da una sequenza di marne e argille marnose varicolori (dal rossastro al verdognolo) con intercalati rari livelli di selce grigio verdi e, subordinatamente, da calcari e calcari marnosi. Il detrito di falda (Figura 5.3) è composto da ghiaie e sabbie-limose rimaneggiate con un buon grado di cementazione anche se il deposito è prevalentemente granulare. La presenza di questo deposito di falda e l'esposizione al versante, peggiora ulteriormente le già scarse proprietà geomeccaniche della roccia, che è facilmente alterabile, tanto che in superficie si rileva spesso coperta da vegetazione fitta.



Figura 5.1 – Stralcio carta geologica con ubicazione cabina



Figura 5.2 – Marna a fucoidi



Figura 5.3 –Marna a Fucoidi

La stratigrafia schematica in corrispondenza della zona di imbocco si basa oltre che sulle indagini puntuali, anche sulla ricostruzione dei Profili Geologici di previsione presenti in progetto per le opere strategiche adiacenti all'area dove è stata prevista la cabina

La ricostruzione stratigrafica in corrispondenza della zona di imbocco si basa su tutte le indagini eseguite in fase di Progetto Preliminare, Definitivo e le successive indagini integrative eseguite per la progettazione Esecutiva:

- a. Linee sismiche R0 ed R1 (indagini di P. Preliminare),
- b. sondaggio SD3/PZ, linea sismica T15 (indagini di P.D.),
- c. pozzetto esplorativo P5 (indagini di P.E.).

Il sondaggio SD3/PZ ha restituito “carote” intensamente fratturate (RQD = 0), ma si ritiene che sia prevalentemente per l'effetto meccanico del carotiere, più che per l'effettiva fratturazione dell'ammasso roccioso.

La sezione tomografica sismica T15,, fa presumere che verrà interessata una porzione rocciosa con velocità sismiche comprese tra 1500 e 2000 m/sec, valori congruenti con un materiale lapideo molto alterato e degradato e con scadenti caratteristiche geomeccaniche.

L'insieme dei dati ha consentito la seguente ricostruzione stratigrafica:

- Livello superficiale dello spessore di circa 2 metri, con velocità delle onde sismiche V_p comprese tra 400 e 550 m/sec.
- Livello intermedio, molto alterato e fratturato (cappellaccio), con velocità comprese tra 1500 e 2000 m/sec, che può raggiungere i 29 – 30 metri da piano campagna.
- Il substrato roccioso meno alterato ha fatto registrare velocità comprese tra 2000 e 4000 m/sec, fino ad oltre 5000 m/sec, stando ad indicare quindi un ammasso roccioso sempre meno fratturato ed alterato con la profondità e con qualità geomeccaniche medie.

I rilievi piezometrici eseguiti evidenziano la presenza di una falda acquifera variabile da un minimo di 25.0 m ad un massimo di 22.0 m circa da piano campagna.

L'elemento progettuale più significativo rispetto alla nostra indagine è sicuramente il pozzetto esplorativo PE5, identificato con il quadratino verde sullo stralcio geologico dell'area ed eseguito nella campagna geognostica di progetto esecutivo nel 2008 e descritto nella relazione LO703 A0 E P GENER 00 GEO RLG 023 A.

Qui si evidenzia come per 4,5mt di scavo vi siano “*Ghiaia eterometrica e ciottoli, a spigoli da vivi a subangolari, di forma scgliosa, in matrice sabbiosa debolmente limosa, moderatamente umida, mediamente addensata, di colore marrone rossastro*” (detrito di versante)



Pozzetto PE5a. Coordinate: N42°58'26,4" E12°45'09,1". Quota p.c.: 380,6 m s.l.m.

Dal punto di vista geomorfologico sia il sopralluogo effettuato, sia l'elaborato LO703 A1 E P GENER 00 GEO PLA 015 A, presente in progetto esecutivo, ci permette di dire che,

alle nicchie di distacco osservabili a occhio nudo a monte, che si intravedono anche in figura 5.4, corrispondono degli accumuli granulari su tutta la zona intervalliva.

Questi sono stati censiti sia dal PAI, come area a rischio frana con il codice 4002929 e dall'IFFI come area di frana cod. 0540321900, che copre una buona metà della zona di imposta della cabina elettrica

5.1 INDAGINI ESEGUITE

Vista la particolarità dell'area interessata da questo intervento sono stati previsti comunque delle implementazioni di indagine mediante saggi ed eventuali nuove analisi sui materiali presenti nella zona.

L'area, opportunamente sbancata, ribassata e circoscritta per poter rappresentare al meglio l'impronta esterna della cabina e la sua recinzione si trova in una zona in cui si riconoscono, sulla scarpata a monte i due litotipi già descritti dai dati provenienti dal progetto (Figura 5.4)



Figura 5.4 – Scarpata a monte area di impronta

La foto in posizione est-ovest riscontra a dx la parte alterata della formazione delle marne a fucoidi ed a sinistra il detrito di versante

Sono stati effettuati, quindi, due saggi (Figura 5.5) sul ribasso adiacente la scarpata in figura, in corrispondenza dei due litotipi, dove è prevista la fondazione della cabina elettrica



Figura 5.5 – Saggi effettuati

Si è riscontrato che:

- 1) Per le marne a Fucoidi la parte alterata copre circa 1,5-2m la parte più lapidea, che si trova al di sotto, ed è composta da marne e argille rossastre come si è già riscontrato nelle relazioni geologiche delle opere adiacenti già consultate (Figura 5.6)



Figura 5.6 –Marna a Fucoidi

- 2) Il detrito di versante adiacente invece è presente anche dopo aver effettuato uno scavo superiore ai 3 m (Figura 5.7) e pertanto anch'esso, come la parte alterata della marna a fucoidi, costituisce la fondazione dell'opera



Figura 5.7 –Marna a Fucoidi

Alla luce di questi dati di campagna è stato deciso che la verifica di stabilità del versante dovrà essere effettuata per due sezioni corrispondenti ai due litotipi presenti nell'area.

Dalla planimetria di progetto si individuano la sezione 22 come sezione sulle marne a fucoidi e la sezione 23 sul detrito di versante

Mentre per le marne alterate i dati di progetto possono essere presi tranquillamente come riferimento visto lo studio approfondito che è stato fatto per gli imbocchi delle gallerie e la tipologia del litotipo, per il detrito di versante, di solito variabile per caratteristiche geotecniche, è stato prelevato un campione su cui effettuare le prove di laboratorio al fine di ricavare i parametri geotecnici e geomeccanici da prendere in considerazione nella verifica di stabilità

Su di esso state effettuate le seguenti prove per acquisire i parametri geotecnici riguardanti il detrito di versante, di cui si allegano i certificati alla presente relazione:

- Analisi Granulometrica
- Prova di taglio diretto

Dall'interpretazione di tutte le analisi a disposizione, sia di progetto e sia quelle effettuate con le prove di laboratorio si ricavano i parametri riportati nella seguente tabella.

Parametri	U.M.	Detrito di versante sezione 23	Marne a Fucoidi sezione 22
Stratigrafia	[m]	Da p.c. – 5.0	Da -1.5 a – 10.0
Peso di volume	[kN/m ³]	19,5	24 – 26
Coesione	[kPa]	19 – 20	60 – 100
Angolo di attrito	[°]	35 - 40	35 – 40
RMR _{base}		-	32
GSI		-	27

Tabella 5.1 - Parametri geotecnici -

5.2 PARAMETRI DI CALCOLO

Le stratigrafia e i valori dei parametri geotecnici adottati nelle valutazioni di tipo numerico sono elencati di seguito:

Formazione	z	γ	c	φ
	[m da p.c.]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]
Detrito di versante sezione 23	0 – 5 m	19,5	19,33	38
Marne a Fucoidi sezione 22	1,5 – 10 m	25,5	61	35

Tabella 5.2 - Parametri geotecnici di calcolo

dove:

γ = *peso di volume;*
 c = *coesione;*
 ϕ = *angolo di attrito;*

6 VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE

6.1 MODELLO DI CALCOLO

In accordo con quanto indicato nel Decreto del Ministero delle Infrastrutture NTC 2005 - D.M. 14/09/2005 "Norme Tecniche per le Costruzioni" che prevede la possibilità di progettare secondo l'Ordinanza O.P.C.M. del 20 marzo 2003 n.3274 nel rispetto dei livelli di sicurezza stabiliti nella presente norma, in particolare, in riferimento agli allegati 2 e 3 alla O.P.C.M. , le verifiche di stabilità globali sono state condotte secondo il metodo semiprobabilistico basato sull'impiego dei "coefficienti parziali di sicurezza".

L'esame della condizioni di stabilità è stato condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite. Le analisi di stabilità sono state eseguite utilizzando il programma di calcolo GEOSTRU/ SLOPE

Il programma si basa sull'applicazione di uno dei metodi dell'equilibrio limite in condizioni bidimensionali tra cui per la tipologia di intervento è stato scelto quello di Janbu (1967).

Il metodo valuta le condizioni di stabilità di un pendio naturale o di una scarpata artificiale ricercando per tentativi la superficie di scivolamento "critica" (ossia quella a cui compete il coefficiente di sicurezza F_S minimo) e verificando se tale valore risulta maggiore o minore di 1.

Il valore di $F_S=1$ corrisponde ad una situazione di incipiente scivolamento del pendio lungo la superficie di scorrimento considerata.

Il metodo si basa sulla considerazione dell'equilibrio di un blocco (o "cuneo") rigido di terreno rappresentato nella seguente figura.

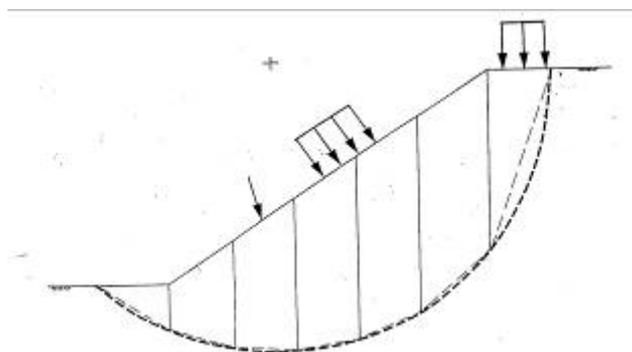


Figura6.1 –Blocco di terreno instabile: suddivisione in conci

Il cuneo è soggetto sia all'azione del peso proprio sia a quella di eventuali forze esterne di varia natura (sovraccarichi verticali, azioni dei tiranti, forze di inerzia sismiche, ecc.);

inoltre è possibile considerare la presenza della falda all'interno del pendio, trascurando il fenomeno di filtrazione.

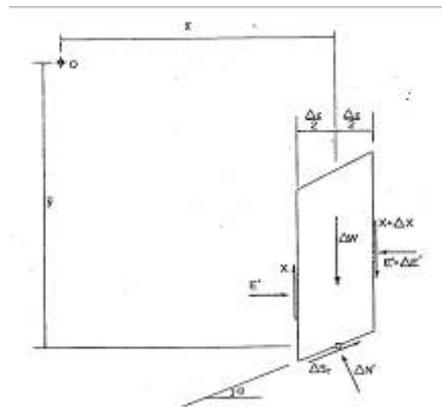


Figura 6.2 – Forze agenti sui concetti

A questo scopo il blocco viene dapprima suddiviso in concetti e l'equilibrio globale è analizzato come somma dell'equilibrio di ciascuno di essi facendo delle assunzioni semplificatrici sulle forze reciproche tra i concetti.

Il programma ricerca automaticamente la superficie di scorrimento "critica" con un procedimento iterativo basato sul tracciamento automatico delle superfici circolari e sul successivo calcolo del coefficiente di sicurezza di ciascuna di esse.

A questo proposito viene dapprima individuato un settore di passaggio (o un punto) comune a tutte le superfici di scivolamento (ad esempio: un tratto su uno dei contorni del pendio) ed una griglia di punti che vengono utilizzati come centro delle varie possibili superfici di scivolamento. Per ciascuna di esse viene eseguito il calcolo del coefficiente di sicurezza ed il valore più piccolo tra quelli ottenuti è assegnato all'intero pendio.

Eventualmente la procedura può essere ripetuta imponendo altri vincoli alle superfici di scivolamento in modo da migliorare l'affidabilità della ricerca.

6.2 ANALISI DI STABILITA'

Definizione

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

Introduzione all'analisi di stabilità

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (φ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
2. In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci. (Figura 6.3)

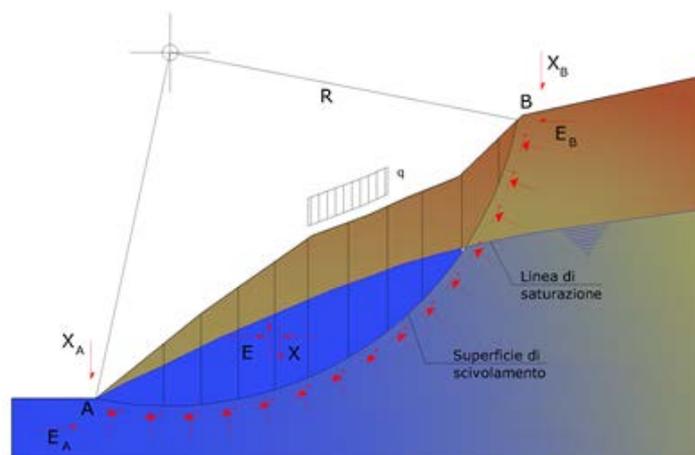


Figura 6.3

Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a n , il problema presenta le seguenti incognite:

- n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;
- n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i ;
- $(n-1)$ forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$ forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i ;
- $(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F .

Complessivamente le incognite sono $(6n-2)$.

Mentre le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n ;
- equazioni relative al criterio di rottura n .

Totale numero di equazioni $4n$.

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a $(n-2)$ in quanto si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le $(n-2)$ indeterminazioni.

Metodo di Janbu (1967)

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio). A tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$

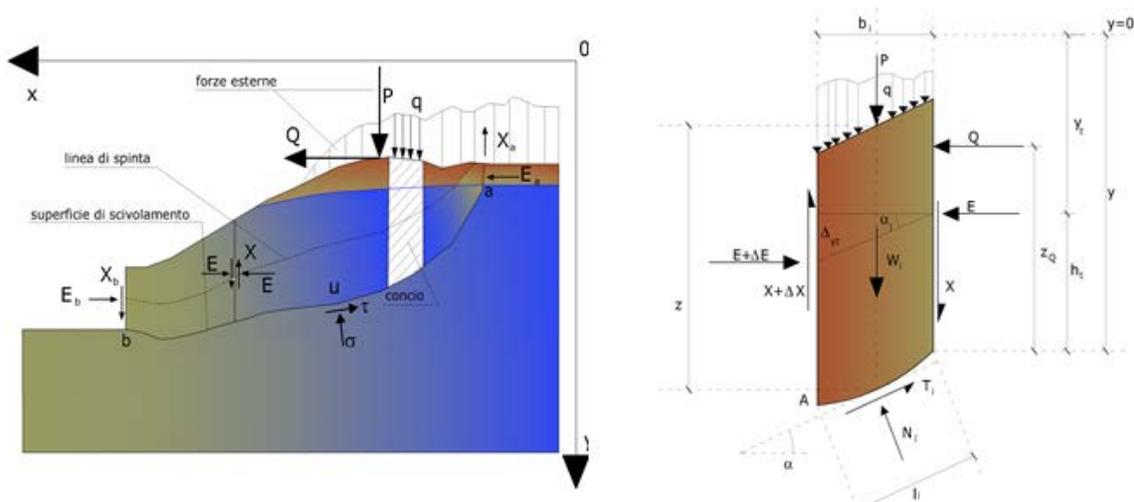


Figura 6.4 - Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Assumendo $\Delta X_i = 0$ si ottiene il metodo ordinario. Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \cdot F$$

dove f_0 è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici. Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati. (Figura 6.5)

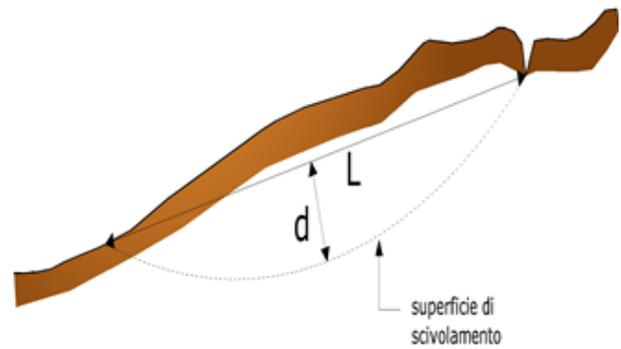
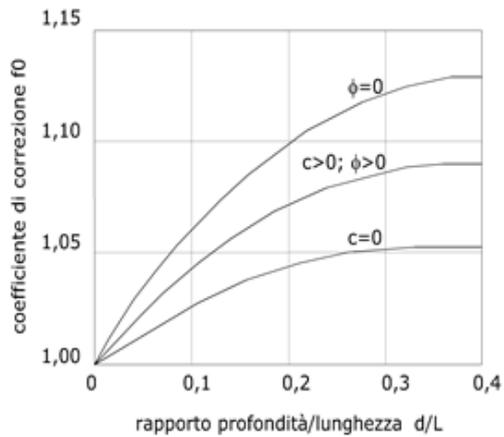


Figura 6.5

Valutazione dell'azione sismica

La stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$

Essendo:

- F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
- W peso concio;
- K_x coefficiente sismico orizzontale;
- K_y coefficiente sismico verticale.

Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia $m \times n$ e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

6.3 CALCOLO SEZIONE 22

VERIFICA DI STABILITÀ DEL VERSANTE - STATO DI PROGETTO

Sezione 22 - Cabina elettrica CE05 - Loc.Pale Foligno (PG)

Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

=====

Lat./Long. 42,97727/12,766822

Normativa NTC 2005

Numero di strati 1,0

Numero dei conci 25,0

Grado di sicurezza ritenuto accettabile 1,0

Coefficiente parziale resistenza 1,1

Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito: Picco

Analisi Condizione drenata

Superficie di forma circolare

=====

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	14,61 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	46,36 m
Ascissa vertice destro superiore xs	66,96 m
Ordinata vertice destro superiore ys	69,06 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,2188
Coefficiente azione sismica verticale	0,1094

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	1,0	0,0
2	3,09	0,0
3	5,88	0,03
4	6,31	1,59
5	6,55	1,71
6	15,36	11,31
7	21,05	13,64
8	24,49	14,82
9	29,7	18,52
10	31,21	19,28
11	39,91	19,28
12	39,89	17,97
13	50,59	17,97
14	50,59	19,34
15	53,23	19,35
16	57,65	24,1

17	57,95	24,1
18	58,44	23,61
19	58,9	23,61
20	63,79	28,56
21	66,24	28,98
22	67,32	29,45
23	68,08	29,61
24	68,54	29,84
25	70,21	30,23
26	71,72	31,06
27	78,37	33,09
28	78,85	35,09
29	79,31	34,99
30	79,32	34,78
31	81,06	34,96

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturato (Kg/m ³)	Litologia
1	0.6118		35	2549.25		Alterazione delle Marne a Fucoidi

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm ²)
1	40	18	50,5	18	2

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2] - [NTC 2005 - O.P.C.M.3274]

Fs minimo individuato	1,24
Ascissa centro superficie	14,61 m
Ordinata centro superficie	46,36 m
Raggio superficie	43,78 m

B: Larghezza del concio;

Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio;

Li: Lunghezza della base del concio;

Wi: Peso del concio;

Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre;

Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento;

Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento;

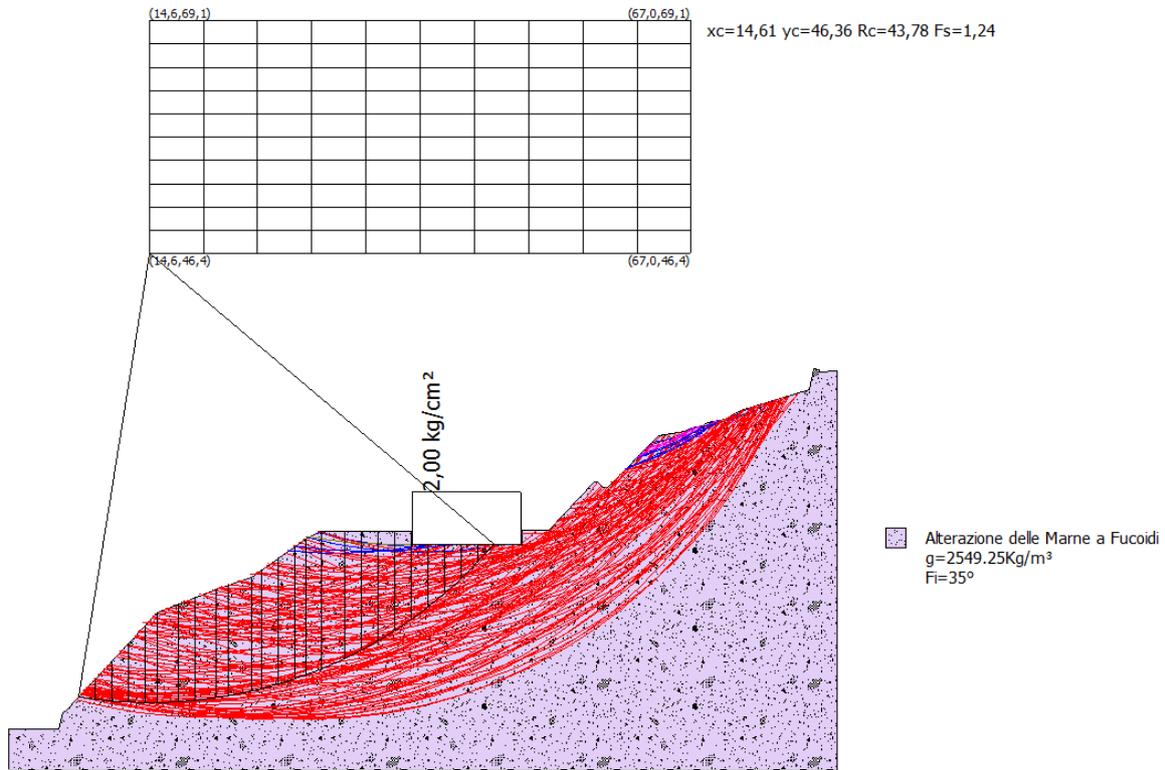
Fi: Angolo di attrito;

c: coesione.

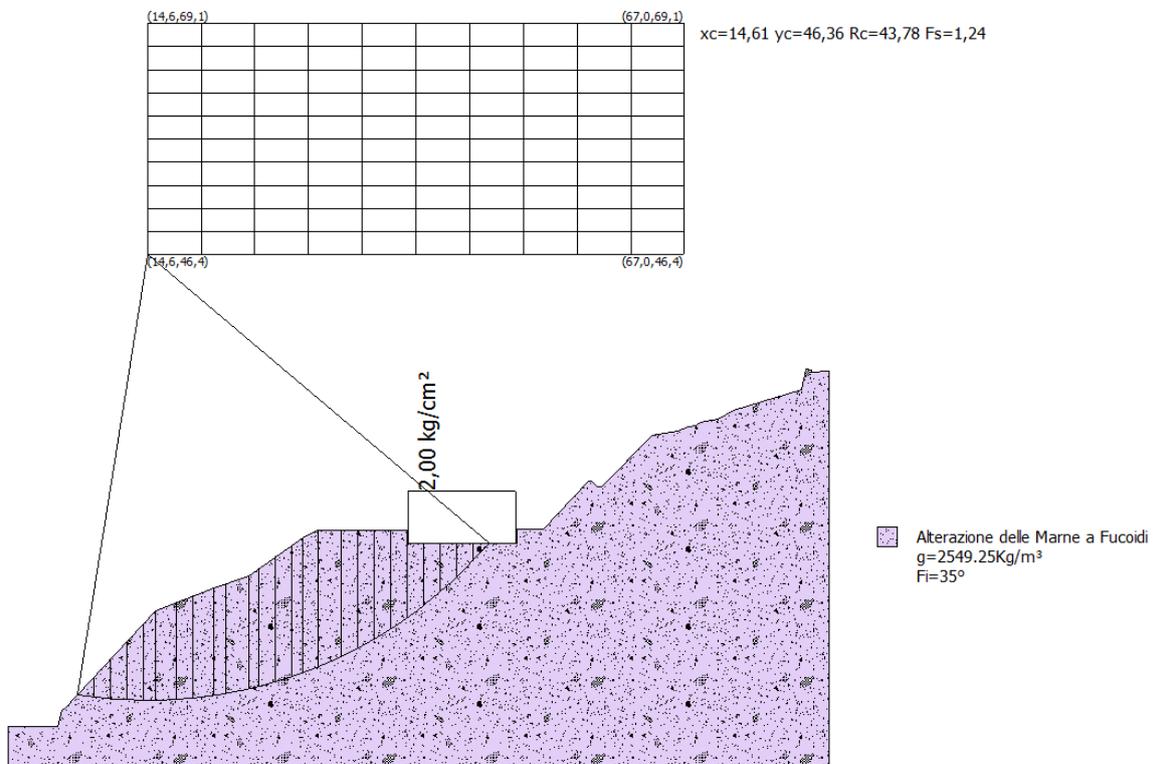
xc = 14,61 yc = 46,363 Rc = 43,785 Fs=1,242

Nr.	B	Alfa	Li	Wi	Kh•Wi	Kv•Wi	c	Fi	Ui	N'i	Ti
	m	(°)	m	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(kg/cm ²)	(°)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	1,60	-7,9	1,62	4056,11	887,48	443,74	0,49	29,3	0,0	5433,3	9799,8
2	1,60	-5,7	1,61	11983,14	2621,91	1310,96	0,49	29,3	0,0	13413,0	13700,9
3	1,60	-3,6	1,61	19665,89	4302,90	2151,45	0,49	29,3	0,0	20801,1	17307,9
4	1,60	-1,5	1,61	27106,56	5930,92	2965,46	0,49	29,3	0,0	27667,1	20672,2
5	1,12	0,3	1,12	23098,75	5054,01	2527,00	0,49	29,3	0,0	23027,2	16244,9
6	2,09	2,4	2,10	48685,43	10652,37	5326,19	0,49	29,3	0,0	47387,8	32590,1
7	1,60	4,8	1,61	39940,72	8739,03	4369,52	0,49	29,3	0,0	37925,5	25861,1
8	1,99	7,1	2,01	52335,13	11450,92	5725,46	0,49	29,3	0,0	48633,7	33050,6
9	1,22	9,3	1,23	33235,47	7271,92	3635,96	0,49	29,3	0,0	30348,4	20658,8
10	2,22	11,6	2,27	62239,40	13617,98	6808,99	0,49	29,3	0,0	55854,3	38293,9
11	0,98	13,7	1,01	28492,01	6234,05	3117,03	0,49	29,3	0,0	25208,7	17379,8
12	1,60	15,5	1,66	48808,68	10679,34	5339,67	0,49	29,3	0,0	42781,8	29481,9
13	1,60	17,7	1,68	51520,74	11272,74	5636,37	0,49	29,3	0,0	44696,0	30901,2
14	1,01	19,5	1,07	33755,67	7385,74	3692,87	0,49	29,3	0,0	29068,4	20209,7
15	1,51	21,2	1,62	51442,67	11255,66	5627,83	0,49	29,3	0,0	43992,5	30921,0
16	2,29	23,9	2,51	75590,51	16539,20	8269,60	0,49	29,3	0,0	63842,8	46490,3
17	1,60	26,7	1,80	49175,53	10759,61	5379,80	0,49	29,3	0,0	40924,8	31425,1
18	1,60	29,1	1,84	45697,38	9998,59	4999,29	0,49	29,3	0,0	37519,7	30390,3
19	1,60	31,5	1,88	41858,40	9158,62	4579,31	0,49	29,3	0,0	33820,0	29238,3
20	1,58	34,0	1,90	37012,34	8098,30	4049,15	0,49	29,3	0,0	29293,4	27458,6
21	1,63	36,6	2,03	58655,78	12833,88	6416,94	0,49	29,3	0,0	48623,5	40989,0
22	1,60	39,3	2,07	54610,25	11948,72	5974,36	0,49	29,3	0,0	44974,8	40401,4
23	1,60	42,1	2,16	48972,75	10715,24	5357,62	0,49	29,3	0,0	39742,4	39136,4
24	1,60	45,0	2,27	42746,39	9352,91	4676,46	0,49	29,3	0,0	33849,4	37585,2
25	1,60	48,0	2,40	33839,0	7403,97	3701,99	0,49	29,3	0,0	25177,0	34178,5

VERIFICA DI STABILITA' DEL VERSANTE - STATO PROGETTO
 Sezione 22 - Cabina elettrica CE05 - Loc.Pale Foligno (PG)



VERIFICA DI STABILITA' DEL VERSANTE - STATO PROGETTO
 Sezione 22 - Cabina elettrica CE05 - Loc.Pale Foligno (PG)



6.4 CALCOLO SEZIONE 23

VERIFICA DI STABILITÀ DEL VERSANTE - STATO DI PROGETTO

Sezione 23 - Cabina elettrica CE05 - Loc.Pale Foligno (PG)

Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

=====

Lat./Long. 42,97727/12,766822

Normativa NTC 2005

Numero di strati 1,0

Numero dei conci 25,0

Grado di sicurezza ritenuto accettabile 1,1

Coefficiente parziale resistenza 1,0

Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito: Picco

Analisi Condizione drenata

Superficie di forma circolare

=====

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	23,24 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	57,05 m
Ascissa vertice destro superiore xs	59,06 m
Ordinata vertice destro superiore ys	77,93 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Sisma

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,2188
Coefficiente azione sismica verticale	0,1094

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	11,71	0,08
3	15,31	0,08
4	33,26	10,4
5	48,21	19,3
6	49,88	19,29
7	49,87	18,03
8	60,78	18,03
9	60,78	19,3
10	61,23	19,3
11	63,08	19,52
12	63,49	19,68
13	68,61	24,86
14	69,03	24,8
15	69,62	24,47
16	70,08	24,47

17	75,65	30,05
18	76,42	30,49
19	76,97	30,74
20	77,75	31,19
21	78,09	31,25
22	80,52	33,44
23	80,97	33,55
24	82,29	33,55
25	84,95	35,76
26	86,03	35,82
27	87,76	35,23

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

=====

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

=====

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturato (Kg/m ³)	Litologia
1	0.1933		38	1950		Detrito di versante

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm ²)
1	50,1	18	60,6	18	2

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2] [NTC 2005 - O.P.C.M.3274]

=====

Fs minimo individuato	1,11
Ascissa centro superficie	23,24 m
Ordinata centro superficie	57,05 m
Raggio superficie	54,95 m

=====

B: Larghezza del concio;

Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio;

Li: Lunghezza della base del concio;

Wi: Peso del concio;

Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre;

Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento;

Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento;

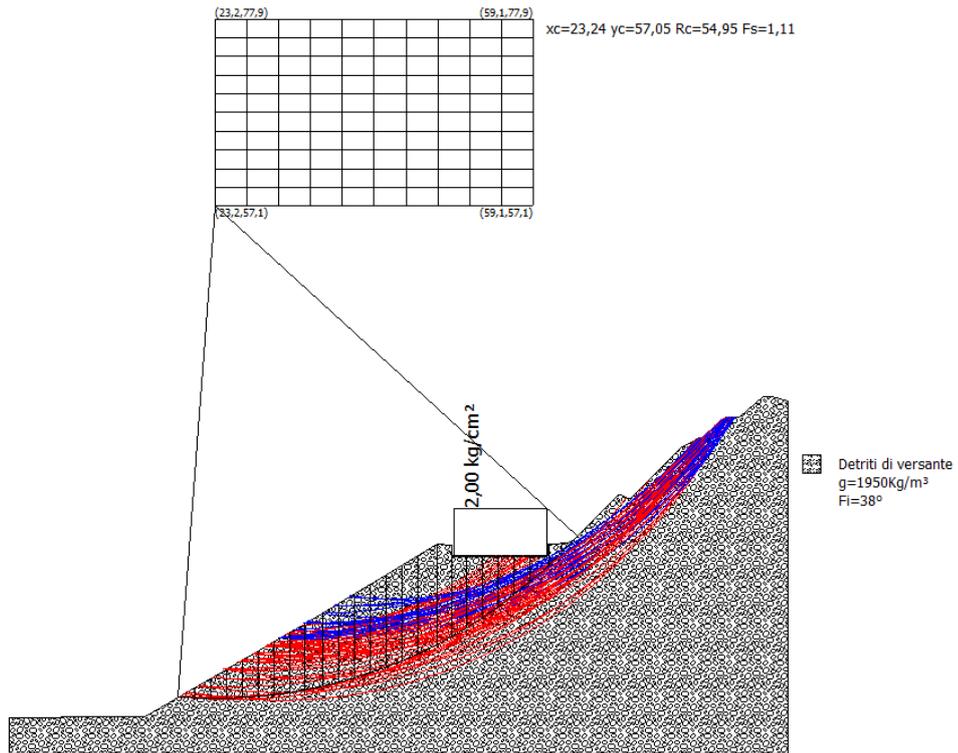
Fi: Angolo di attrito;

c: coesione.

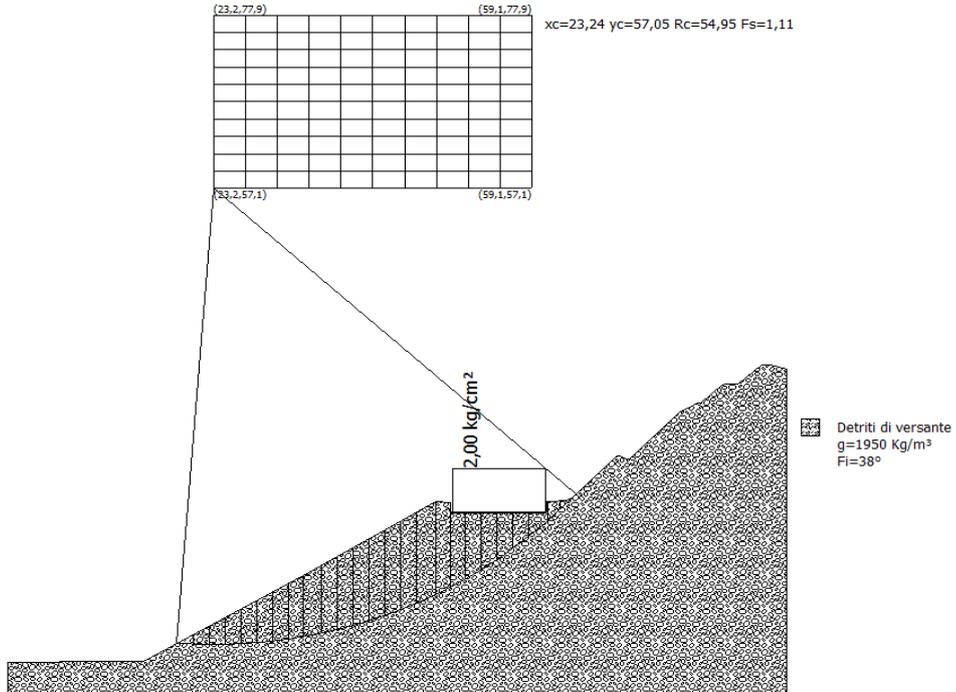
$$xc = 23,242 \quad yc = 57,052 \quad Rc = 54,954 \quad Fs=1,111$$

Nr.	B	Alfa	Li	Wi	Kh•Wi	Kv•Wi	c	Fi	Ui	N'i	Ti
	m	(°)	m	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(kg/cm ²)	(°)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	1,80	-3,4	1,80	2028,01	443,73	221,86	0,15	32,0	0,0	2302,2	4573,3
2	1,80	-1,5	1,80	5928,19	1297,09	648,54	0,15	32,0	0,0	6118,9	7139,9
3	1,80	0,4	1,80	9621,18	2105,11	1052,56	0,15	32,0	0,0	9561,4	9460,5
4	1,80	2,2	1,80	13107,21	2867,86	1433,93	0,15	32,0	0,0	12665,0	11566,4
5	1,80	4,1	1,80	16385,82	3585,22	1792,61	0,15	32,0	0,0	15459,4	13484,2
6	1,80	6,0	1,81	19455,82	4256,93	2128,47	0,15	32,0	0,0	17969,3	15236,0
7	1,80	7,9	1,82	22315,44	4882,62	2441,31	0,15	32,0	0,0	20215,7	16840,6
8	1,57	9,7	1,59	21642,18	4735,31	2367,66	0,15	32,0	0,0	19282,1	15903,2
9	2,03	11,6	2,07	30797,84	6738,57	3369,28	0,15	32,0	0,0	26994,0	22131,8
10	1,80	13,6	1,85	29818,96	6524,39	3262,19	0,15	32,0	0,0	25722,9	21049,5
11	1,80	15,6	1,87	31936,46	6987,70	3493,85	0,15	32,0	0,0	27172,9	22280,5
12	1,80	17,5	1,89	33822,34	7400,33	3700,16	0,15	32,0	0,0	28415,6	23421,0
13	1,80	19,5	1,91	35469,66	7760,76	3880,38	0,15	32,0	0,0	29456,0	24477,7
14	1,80	21,5	1,93	36869,75	8067,10	4033,55	0,15	32,0	0,0	30296,4	25454,9
15	1,80	23,5	1,96	38012,70	8317,18	4158,59	0,15	32,0	0,0	30936,7	26355,9
16	2,12	25,8	2,36	45914,77	10046,15	5023,08	0,15	32,0	0,0	37017,3	32124,1
17	1,67	28,0	1,89	35058,78	7670,86	3835,43	0,15	32,0	0,0	27982,1	24973,5
18	1,61	30,0	1,86	54690,04	11966,18	5983,09	0,15	32,0	0,0	44156,8	37983,1
19	1,80	32,0	2,12	62546,50	13685,17	6842,59	0,15	32,0	0,0	50311,9	44246,9
20	1,80	34,3	2,18	58420,28	12782,36	6391,18	0,15	32,0	0,0	46723,1	42572,6
21	1,80	36,6	2,24	53926,77	11799,18	5899,59	0,15	32,0	0,0	42890,2	40717,9
22	1,80	39,0	2,31	49033,37	10728,50	5364,25	0,15	32,0	0,0	38770,0	38628,0
23	2,14	41,7	2,87	46777,14	10234,84	5117,42	0,15	32,0	0,0	36455,3	39351,0
24	1,46	44,2	2,03	4775,88	1044,96	522,48	0,15	32,0	0,0	2027,9	6647,4
25	1,80	46,6	2,62	880,14	192,58	96,29	0,15	32,0	0,0	1956,5	4454,0

VERIFICA DI STABILITA' DEL VERSANTE - STATO PROGETTO
Sezione 23 - Cabina elettrica CE05 - Loc.Pale Foligno (PG)



VERIFICA DI STABILITA' DEL VERSANTE - STATO PROGETTO
Sezione 23 - Cabina elettrica CE05 - Loc.Pale Foligno (PG)



6.5 RISULTATI DELLE VERIFICHE

Nella seguente tabella si riportano i risultati delle verifiche condotte:

Formazione	F_s
Detrito di versante sezione 23	1,11
Marne a Fucoidi sezione 22	1,24

Tabella 6.6 – Verifica di stabilità globale – Risultati

Le analisi di stabilità eseguite consentono di ottenere sempre fattori di sicurezza superiori a quelle richieste dalla normativa e la verifica risulta quindi soddisfatta. I risultati ottenuti sono riportati negli appositi allegati.

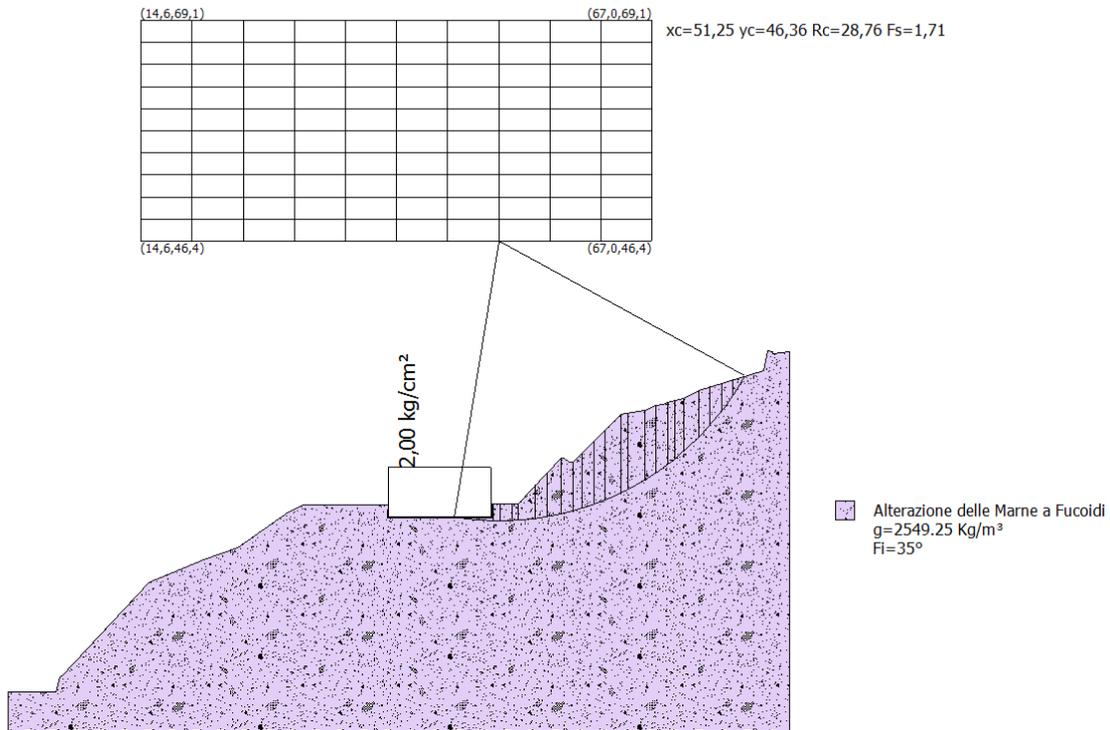
6.6 VERIFICHE SCAVO SOVRASTANTE CABINA

Si specifica che, al margine delle due verifiche di stabilità eseguite sulle sezioni progettuali trasversali all'area di imposta della cabina elettrica, le due figure riportate rappresentano in sequenza l'involuppo delle superfici di calcolo e la superficie di scivolamento a coefficiente di sicurezza più basso. La prima serve come quadro riepilogativo ed è utile ad individuare le regioni della sezione per cui passano le restanti superfici generate a partire dalla maglia dei centri.

Dal calcolo, anche queste ultime sono verificate, in quanto hanno un fattore di sicurezza maggiore di quello minimo e vanno anche ad interessare zone della sezione poste a monte del manufatto da mettere in opera.

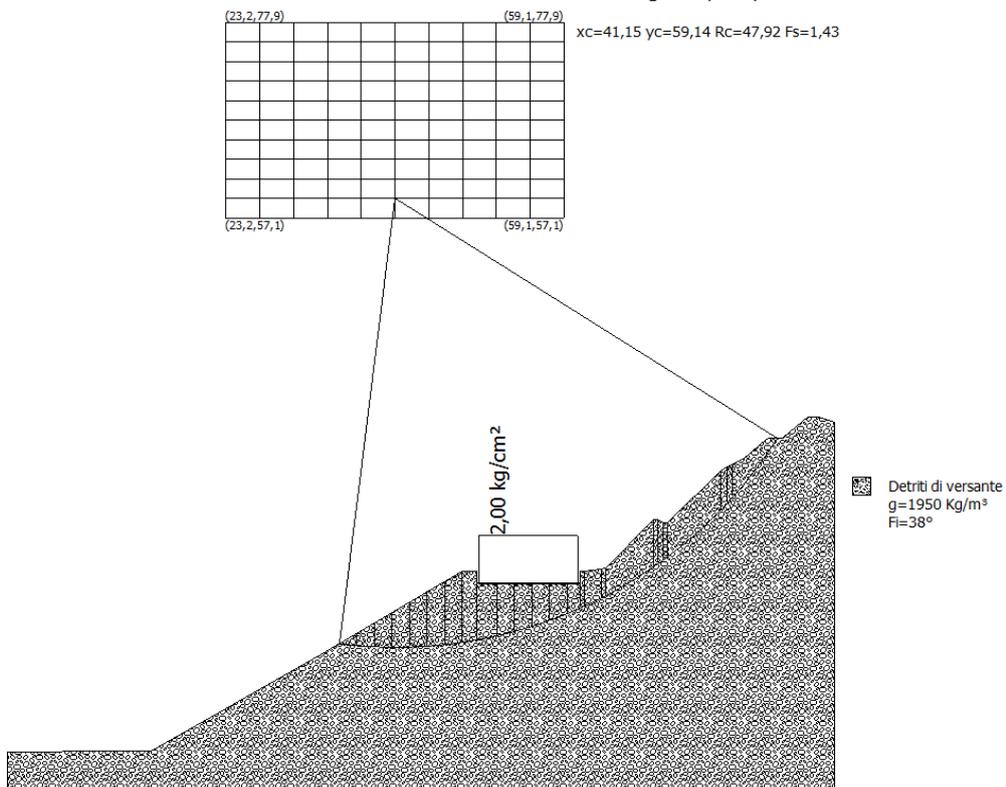
Come esempio si allegano due delle superfici calcolate nell'involuppo generato dalla maglia dei centri, le quali riportano coefficienti di sicurezza rispettivamente pari $F_s = 1,71$ per la superficie n.15 della Sez.22 e $F_s = 1,43$ per la superficie n.19 della sez.23.

VERIFICA DI STABILITA' DEL VERSANTE - STATO PROGETTO
 Sezione 22 - Cabina elettrica CE05 - Loc.Pale Foligno (PG)



Sup.

VERIFICA DI STABILITA' DEL VERSANTE - STATO PROGETTO
 Sezione 23 - Cabina elettrica CE05 - Loc.Pale Foligno (PG)



7 CONCLUSIONI

Oggetto della presente relazione tecnica e di calcolo è stata la caratterizzazione del substrato di fondazione della cabina prefabbricata per apparecchiature elettriche denominata CE05 situata tra l'imbocco lato Pontelatrive della galleria "Belfiore" e l'imbocco lato Foligno della galleria "Pale", in corrispondenza del viadotto "Pale", nell'ambito del Progetto Esecutivo del Sublotto 1.2 "Asse viario Marche-Umbria e Quadrilatero di penetrazione interna" - S.S.77 "Val di Chienti".

Nella presente relazione sono state descritte sia le fasi di indagine e di reperimento dati per la parametrizzazione dei litotipi presenti, e sia la caratterizzazione dei terreni di fondazione anche con implementazioni di analisi rispetto al materiale già a disposizione dal progetto delle opere strategiche adiacenti.

Tutto questo ha permesso di elaborare un modello geotecnico utile a verificare la stabilità dell'area di imposta dell'opera secondo il calcolo operato sulle sezioni topografiche ritenute più significative e inserendo in queste i dati provenienti dalla campagna di indagini e dalle risultanze del progetto delle opere adiacenti

Le verifiche condotte hanno dato esito positivo.

Si osserva che, nonostante positività delle verifiche, la cabina ha comunque come terreno di fondazione due litotipi con caratteristiche geomeccaniche e geotecniche differenti che, a medio-lungo periodo potrebbero influire sui cedimenti. L'analisi di questa eventuale differenza di comportamento rispetto al carico imposto viene rimandata nella parte riguardante la verifica geotecnico-strutturale.

Prima di realizzare l'opera, quindi, anche per le condizioni geomorfologiche al contorno, si suggerisce di valutare l'utilizzo di fondazioni adeguate in funzione delle condizioni locali e globali di instabilità, vista la prossimità del fosso intervallivo presente nell'area

ALLEGATI

PROVE DI LABORATORIO EFFETTUATE:

- **ANALISI GRANULOMETRICA**
- **PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)**
- **CORRELAZIONE TAGLIO DIRETTO**

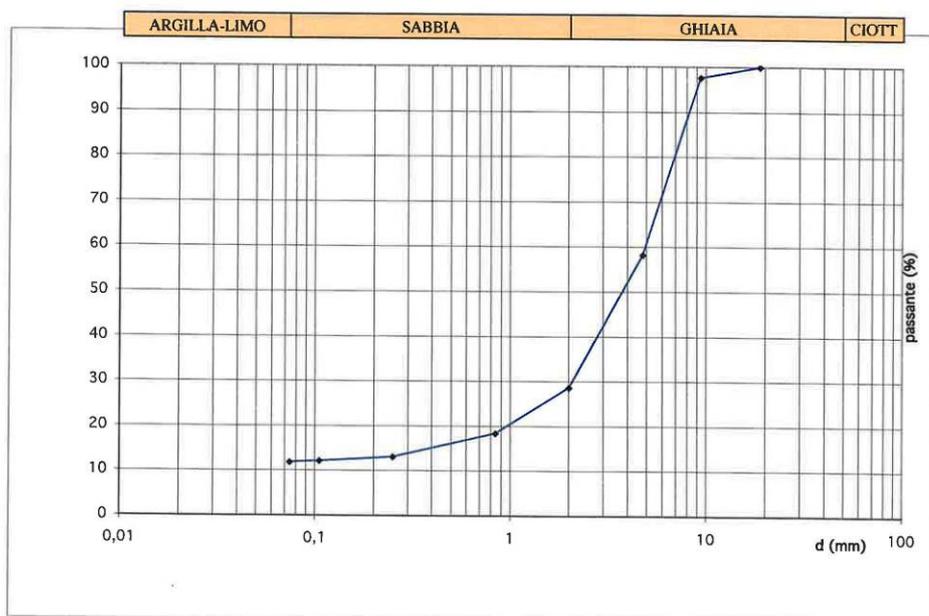


ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA

N. d'Ordine : 5A/14
Opere: Edificio nuova costruzione
Committente : Valdichienti - Socio San Lorenzo
Località : Loc.Pale - Foligno (PG)
Sondaggio n°: Saggio 1
Profondità di prelievo (m) : 1,5-2,0
Data apertura campione : 31-07-2014
Descrizione del campione : Sabbia Ghiaioso Limosa
Tipo di prova: per via umida
Peso totale del campione (g): 1214

N. Certificato : 54A/14
Campione n° : C1
Ricevimento campione: 30-07-2014
Data esecuzione prova: 1-08-2014
Umidità (%) : 6,0
Peso secco (g) : 616

Setacci (Serie ASTM)	Apertura d (mm)	Peso netto trattenuto (g)	Trattenuto (%)	Passante (%)
3/4	18,85	33	100,0%	0,0%
3/8	9,42	538	97,6%	2,4%
N4	4,76	406	58,2%	41,8%
N10	2,00	139	28,5%	71,5%
N20	0,84	73	18,4%	81,6%
N60	0,25	13	13,1%	86,9%
N140	0,105	4	12,1%	87,9%
N200	0,074	9	11,9%	88,1%



Lo sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

David Severini

Laboratorio con aut. Min. conc. n°10324 del 29/10/2012

Procedura UNI CEN ISO/TS 17892-4:2005

Il Direttore del Laboratorio
Antonio Sestini

Pagina 1/1

PO-12a

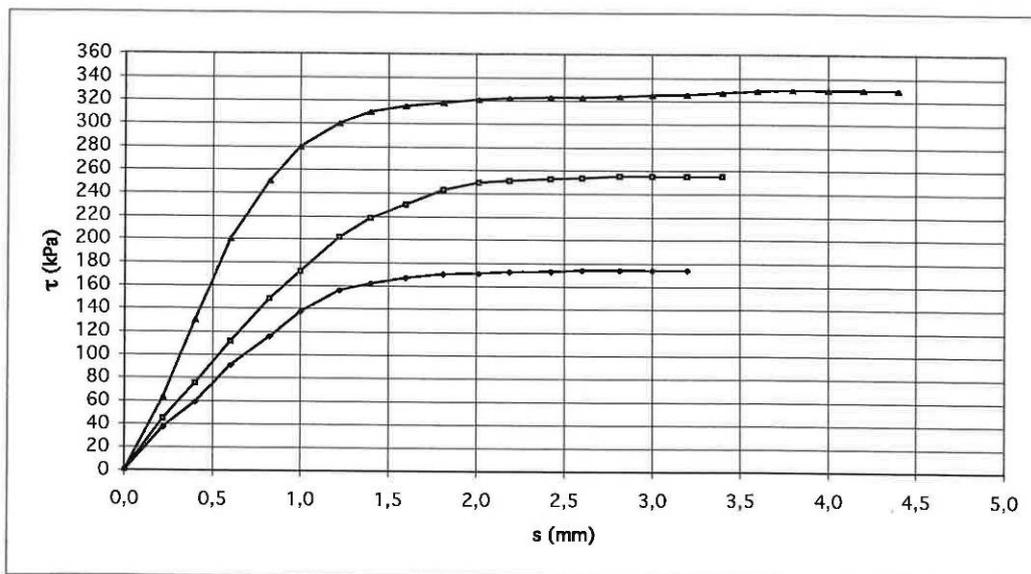


PROVA DI TAGLIO DIRETTO

N. d'Ordine : 5A/14
Indagine : Edificio nuova costruzione
Committente : Valdichienti - Socio San Lorenzo
Località : Loc.Pale - Foligno (PG)
Sondaggio n° : Saggio 1
Profondità di prelievo (m) : 1,5-2,0
Data apertura campione: 31-07-2014
Descrizione del campione : Sabbia Ghiaioso limosa

N. Certificato : 55A/14
Campione n° : C1
Data ricevimento campione: 30-07-2014
Data esecuzione prova: 1-08-2014

PROVINO N.	1	2	3
Peso dell'unità di volume (kN/m ³)	19,50	19,50	19,50
Contenuto naturale d'acqua (%)	6,00	6,00	6,00
Pressione verticale (kPa)	200	300	400
CARATTERISTICHE DELLA PROVA			
Velocità di deformazione (mm/min)	1,0000		
Dimensione dei provini (cm)	2,00 x 6,00		
Tipo di prova eseguita:	CD		



Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini
David Severini

Laboratorio con aut. Min. conc. n°10324 del 29/10/2012

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca
Fabio Bonazzi Bonaca

pagina 1/2



PROVA DI TAGLIO DIRETTO

N. d'Ordine : 5A/14
Indagine : Edificio nuova costruzione
Committente : Valdichienti - Socio San Lorenzo
Località : Loc.Pale - Foligno (PG)
Sondaggio n° : Saggio 1
Profondità di prelievo (m) : 1,5-2,0
Data apertura campione: 31-07-2014
Descrizione del campione : Sabbia Ghiaioso limosa

N. Certificato : 55A/14
Campione n° : C1
Data ricevimento campione: 30-07-2014
Data esecuzione prova: 1-08-2014

VALORI DEGLI SFORZI DI TAGLIO

Spostamento s (mm)	Provino 1 τ (kPa)	Provino 2 τ (kPa)	Provino 3 τ (kPa)
0,0	0,0	0,0	0,0
0,2	37,4	45,0	63,3
0,4	59,0	75,4	130,0
0,6	91,0	111,5	200,0
0,8	116,0	148,4	250,0
1,0	137,2	172,4	280,0
1,2	156,0	201,9	300,0
1,4	162,0	218,6	310,0
1,6	167,0	230,3	315,0
1,8	170,3	242,8	318,0
2,0	171,2	249,1	321,0
2,2	172,4	251,0	322,4
2,4	173,0	252,4	322,9
2,6	174,2	253,5	323,0
2,8	174,2	255,0	323,8
3,0	174,2	255,0	325,0
3,2	174,2	255,0	325,6
3,4		255,0	327,3
3,6			329,0
3,8			330,0
4,0			330,0
4,2			330,0
4,4			330,0
4,6			
4,8			
5,0			

Lo Sperimentatore
Dot. Geol. David Severini

Laboratorio con aut. Min. conc. n°10324 del 29/10/2012

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

pagina 2/2

- CORRELAZIONE TAGLIO DIRETTO

PROVINO N.	1	2	3
Peso dell'unità di volume (kN/m ³)	19,50	19,50	19,50
Contenuto naturale d'acqua (%)	6,00	6,00	6,00
Pressione verticale (kPa)	200	300	400
Sollecitazione di taglio a rottura (kPa)	174,2	255,0	330,0

CARATTERISTICHE DELLA PROVA	
Velocità di deformazione (mm/min)	1,0000
Dimensione dei provini (cm)	2,00 x 6,00
Tipo di prova eseguita:	CD

Angolo d'attrito interno (°)	38°
Coesione (kPa)	19,33

