

# GEOLOGICA TOSCANA



## STUDIO ASSOCIATO

*Dott. Paolo Castellani - Dott. Stefano Nastasi - Dott. Damiano Guarguaglini - Dott. Annalisa Fontanelli - Dott. Andrea Castellani*

### PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

PER LA SISTEMAZIONE MORFOLOGICA E LA BONIFICA AMBIENTALE  
DELLA DISCARICA MINERARIA **DIS5** DEL SITO DENOMINATO LU281  
IN LOC. REZZAIO A VALDICASTELLO NEL COMUNE DI PIETRASANTA (LU)

## RELAZIONE GEOLOGICA CON MODELLAZIONE GEOTECNICA E CON VERIFICHE DI STABILITA' DEL PENDIO

Progettisti	Dott. Geol. Paolo Castellani	Dott. Geol. Damiano Guarguaglini
DATA: 02.09.2016		

*Dott. Paolo Castellani**Dott. Stefano Nastasi**Dott. Damiano Guarguaglini**Dott. Annalisa Fontanelli**Dott. Andrea Castellani*

## **§ 1) PREMESSA**

Su incarico e per conto dell'Amministrazione Comunale di Pietrasanta (Determinazione Dirigenziale 2256 del 25 giugno 2016) abbiamo effettuato uno studio geologico con modellazione geotecnica e con verifiche di stabilità in un terreno ubicato in Loc. Rezzaio a Valdicastello nel Comune di Pietrasanta (vedi fig. 1).

Il presente studio geologico è stato eseguito a supporto di un progetto di bonifica di una discarica di materiale minerario denominata DIS5 del sito LU281.

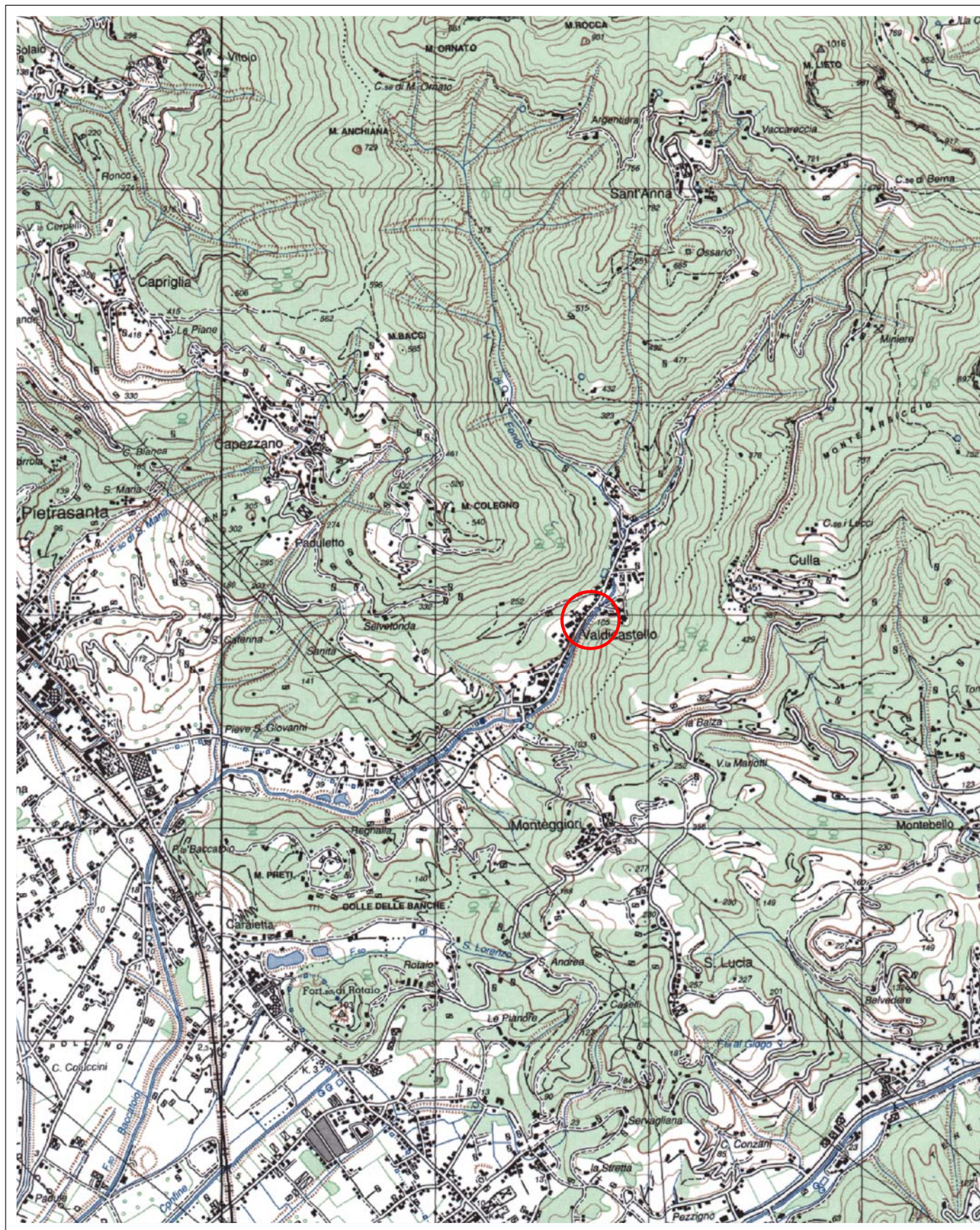
Questo studio intende caratterizzare l'area in esame dal punto di vista geologico, geomorfologico ed idrogeologico, attraverso l'esecuzione di rilevamenti e sopralluoghi diretti eseguiti nell'area d'intervento; indica inoltre le indagini geognostiche e geofisiche realizzate nel sito in esame, finalizzate alla ricostruzione della stratigrafia, litologia e sismostratigrafia della zona.

Tutto ciò al fine della messa in sicurezza morfologica dell'area e successivamente della bonifica ambientale del sito.

In ottemperanza del D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni", il presente elaborato determina per l'area d'intervento l'azione sismica di sito con le relative accelerazioni di progetto e la categoria di suolo fondale.

I risultati delle indagini geologiche, geognostiche e geofisiche hanno infine consentito di ***effettuare una verifica di stabilità del pendio della discarica allo stato attuale in condizioni statiche e sismiche e allo stato modificato, cioè considerando la modellazione morfologica del terreno, sempre sia in condizione statica che sismica.***





Scala 1:25.000

FIG. 1  
UBICAZIONE DELL'AREA



AREA IN ESAME





## **§ 2) INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

L'area in esame (vedi fig. 2) è posta nella stretta valle alluvionale del Torrente Baccatoio.

Essa è costituita per uno spessore di circa mt 6,50 da materiale di discarica a tratti grossolano e a tratti fine ad elementi di pirite, scisti, calcari ed inclusi antropici (laterizi) in matrice prevalentemente limosa.

Il materiale di discarica mineraria poggia su uno spessore inferiore al metro di terre rossastre con inclusi litoidi calcarei, forse di origine alluvionale o più probabilmente di copertura delle cataclasiti alla base del Calcare Cavernoso.

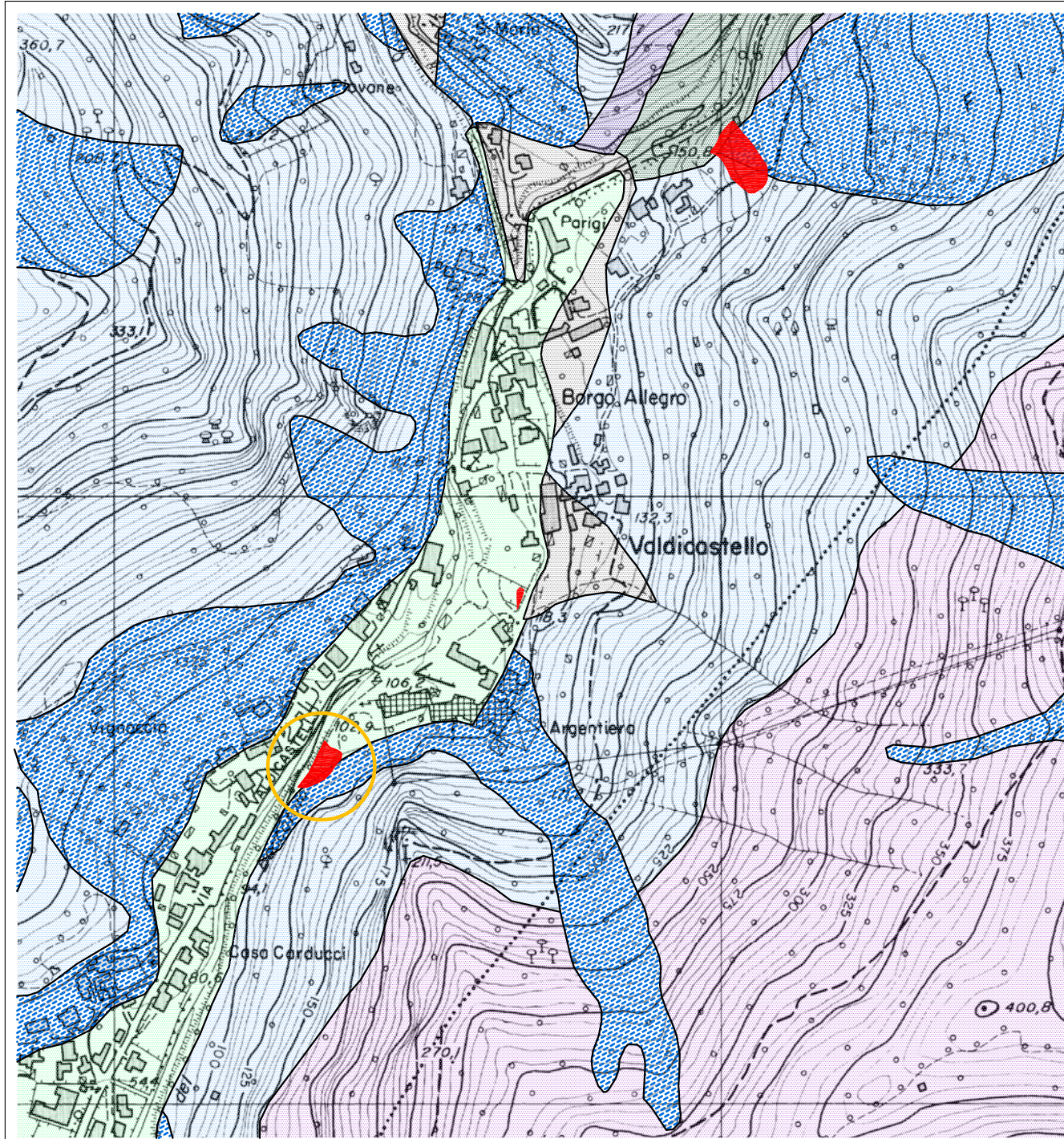
Queste ultime sono presenti al di sotto del materiale di discarica a partire da mt - 7,40 fino ad almeno 15 metri di profondità e sono presenti anche in affioramento in gran parte dei due fianchi della valle alluvionale del Torrente Baccatoio con elementi di dolomie e più raramente di marmi.

## **§ 3) GEOMORFOLOGIA**

La discarica mineraria in esame costituisce un'area semipianeggiante in prosecuzione del piazzale dell'ex stabilimento EDEM del Rezzaio, ad una quota altimetrica di circa mt 105 slm.

L'area degrada progressivamente in direzione sud-ovest seguendo una strada campestre e scende con una scarpata molto ripida in direzione est verso il corso del Torrente Baccatoio, arrivando in alcuni punti quasi sul ciglio di sponda del corso d'acqua.





Scala 1:5.000

**DEPOSITI ANTROPICI ATTUALI**

DETRITI DI SCARTO DELLE LAVORAZIONI DI MINIERA

**DEPOSITI QUATERNARI**

DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI I° ORDINE



DEPOSITI DI CONOIDE



COLTRI DETRITICHE (COMPRESI I DEPOSITI DI FRANA)



DEPOSITI DI ORIGINE CARSIKA NELLE CATACASTLITI ALLA BASE DEL CALCARE CAVERNOSO

**DOMINIO TOSCANO****UNITA' TETTONICA DELLA "FALDA TOSCANA"**

CALCARE CAVERNOSO: CALCARI, DOLOMIE E CALCARI DOLOMITICI GRIGI CON BRECCIE A PREVALENTI ELEMENTI DOLOMITICI (NORICO SUPERIORE). LA FORMAZIONE E' INTERESSATA DA IMPORTANTI FENOMENI CATACLASTICI



CATACLASITI ALLA BASE DEL CALCARE CAVERNOSO AD ELEMENTI DI MARMI E DOLOMIE

**UNITA' TETTONICA AUTOCTONO**

BASAMENTO ERCINICO



FILLADI QUARZITICO-MUSCOVITICHE GRIGIO SCURO O GRIGIO VERDASTRE (CAMBRIANO - ORDOVICIANO INFERIORE)

FIG. 2  
INQUADRAMENTO GEOLOGICO

AREA IN ESAME





Tale pendio presenta un'altezza massima di circa mt 8,50 e un angolo di scarpata di circa 40°.

Nonostante il pendio non risulti attualmente instabile a causa della buona compattezza del materiale, la notevole acclività della discarica e la sua vicinanza all'alveo del Torrente Baccatoio, con i susseguenti rischi di erosione del piede della scarpata, determinano la necessità di una messa in sicurezza morfologica dell'area con una gradonatura e un alleggerimento del pendio.

Per questo motivo in fase progettuale è stata prevista la gradonatura della scarpata, i cui effetti sono stati controllati tramite una verifica di stabilità lungo due sezioni significative secondo la direzione di massima pendenza del versante sia allo stato attuale che modificato, sia in condizioni statiche che sismiche (vedi § 8).

Le manifestazioni erosive, causate prevalentemente dal ruscellamento delle acque pluviali e selvagge, sono scarsamente incisive anche lungo la scarpata a più elevata pendenza.

#### **§ 4) IDROGEOLOGIA**

Il materiale della discarica mineraria presenta una permeabilità di tipo primario variabile a seconda della prevalenza di pezzature grossolane (permeabilità medio-elevata) o viceversa di materiale a granulometria fine (permeabilità medio-bassa).

In ogni caso nel materiale di discarica mineraria è presente sicuramente una circolazione delle acque pluviali e di scorrimento superficiale che si infiltrano in profondità per tutto lo spessore della discarica.

Al di sotto dell'accumulo di discarica giace un terreno lapideo fratturato (Cataclasiti alla base del Calcare Cavernoso) che presenta elevata permeabilità di tipo prevalentemente secondario.

Dal piezometro installato nel sondaggio geognostico risulta un livello piezometrico della falda a mt -11,56 dal piano sommitale della discarica mineraria.

## **§ 5) INDAGINI GEOGNOSTICHE**

Per definire con esattezza lo spessore della discarica mineraria (almeno nella sua area centrale), le caratteristiche del materiale scaricato, i parametri geotecnici utilizzati per la verifica di stabilità e il livello di falda (nonché in seguito le caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua) abbiamo eseguito un sondaggio a carotaggio continuo della profondità di 15 metri.

Nella fig. 3 è riportata l'ubicazione del sondaggio geognostico rispetto all'area d'ingombro della discarica mineraria.

### **5.1) Modalità esecutive del sondaggio a carotaggio continuo**

Il sondaggio è stato eseguito con impianto semovente operante a carotaggio continuo a rotazione ed avanzamento a secco con sistema ad aste e carotiere del diametro di mm 101 (rivestimento, quando necessario, con tubo in ferro del diametro di mm 127, infisso a rotazione con circolazione d'acqua).





Il sondaggio è stato spinto a profondità utili agli scopi dell'indagine e cioè a mt 15,00 dal piano campagna attuale.

Sono state allestite cassette catalogatrici in plastica contenenti in media 5 metri di campionatura ordinaria (vedi allegato 2); in base a tali cassette e tramite costanti osservazioni di cantiere è stata ricostruita la stratigrafia del terreno.

A profondità utili agli scopi dell'indagine sono state eseguite due prove penetrometriche in avanzamento S.P.T. per definire in situ le caratteristiche di resistenza del materiale e per ottenere, tramite formule indirette, i parametri geotecnici del terreno (il materiale lapideo della discarica non ha consentito il prelievo di campioni indisturbati di terreno da sottoporre alle successive analisi geotecniche di laboratorio).

## **5.2) Prove S.P.T.**

La Standard Penetration Test è una prova nella quale si misura il numero di colpi necessario per infiggere il campionatore standard per la profondità di 45 centimetri sul fondo del foro di sondaggio.

Le prove sono state effettuate rispettando le norme definite nei documenti "ASTM designation D 1586/67 e 84", infiggendo il campionatore a mezzo di un dispositivo a percussione del peso di Kg 63,5 che cade da un'altezza costante di cm 76.

Per tale prova esistono apposite tabelle e diagrammi che correlano i risultati della prova standard con le caratteristiche del terreno e con il carico ammissibile per fondazioni di varie dimensioni.

Vale soprattutto come indagine in terreni prevalentemente sabbiosi o sabbio-limosi e un po' meno favorevolmente in terreni limo-argillosi; solo eccezionalmente e con minor significato in terreni ghiaiosi.

Nella presente indagine, sono state effettuate 2 prove in tratti di terreno a matrice limosa con inclusi materiali di discarica mineraria granulari o lapidei, per cui i risultati ottenuti non possono essere considerati rigorosi dal punto di vista geotecnico, ma in ogni caso forniscono indicazioni utili per quanto riguarda il grado di resistenza meccanica del sottosuolo e le sue caratteristiche.

Qui di seguito riportiamo i valori delle S.P.T. e le rispettive quote di esecuzione:

S.P.T. n° 1    mt   3,00        numero di colpi: 2 - 2 - 4

S.P.T. n° 2    mt   6,00        numero di colpi: 7 - 5 - 6

### **5.3) Stratigrafia del sondaggio**

Nella fig. 4 è stata ricostruita e descritta la stratigrafia del sondaggio geognostico, dove è riportata la rappresentazione della colonna stratigrafica; la descrizione litologica; la percentuale di carotaggio; i valori delle prove S.P.T e le informazioni sulla falda.

## **§ 6) INDAGINI GEOFISICHE**

Per ottenere la Vs30 dell'area necessaria per la verifica di stabilità in condizione sismica, abbiamo effettuato un'indagine sismica tipo MASW.

Nella fig. 3 è riportata anche l'ubicazione dello stendimento MASW.



# GEOLOGICA TOSCANA

VIALE G. MARCONI, 106 - POGGIBONSI - Tel. 0577 935891 Fax 0577 989279

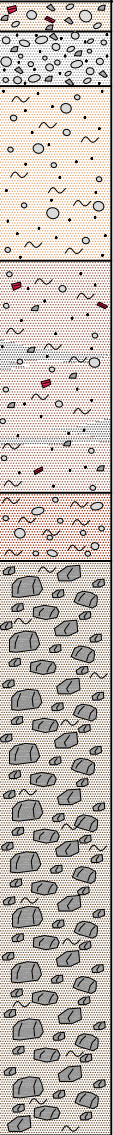
Data: 08.06.2016  
10.06.2016

**COMMITTENTE:** COMUNE DI PIETRASANTA

**METODO DI PERFORAZIONE:** CAROTAGGIO CONTINUO

**SONDAGGIO N°:**      **COORDINATE GEOG.**

**LOCALITA':** VALDICASTELLO - REZZAIO - PIETRASANTA

PROFON. mt	QUOTA	STRATIG.	CAMPIONE	PROF. CAMP.	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% CAROT.	S.P.T.	POCKET PENETR. Kg/cmq	PIEZO- METRO	FALDA
1					Da mt 0,00 a mt 0,40 terreno di discarica ad elementi lapidei di varia pezzatura (per lo più centimetrica) in matrice sabbio-limosa;					
2					da mt 0,40 a mt 1,12 terreno di discarica granulare grossolano prevalentemente calcareo e scistoso;					
3					da mt 1,12 a mt 3,43 terreno di discarica in matrice prevalentemente terrosa limosa con frequenti inclusi di varie dimensioni di pirite, scisti, calcari e laterizi;	90%	2-2-4 (3,00)			
4					da mt 3,43 a mt 6,50 materiale di riporto marrone e a tratti nerastro, prevalentemente limoso scarsamente consistente con inclusi elementi litoidi centimetrici, plastiche e altri materiali antropici;					
5						30%				
6										
7					da mt 6,50 a mt 7,40 depositi alluvionali e/o terre rossastre di copertura delle cataclasiti in matrice limosa con abbondanti elementi litoidi calcarei;	90%	7-5-6 (6,00)			
8										
9					da mt 7,40 a mt 15,00 cataclasiti alla base del Calcare Cavernoso con elementi prevalenti di dolomie e molto raramente di marmi in matrice limosa marrone.	40%				
10										
11										
12						80%				
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										

-11,56  
(13.06.2016)

FIG. 4

### **6.1) Indagine sisimica a mezzo “MASW”**

L'indagine MASW sfrutta la dispersione delle onde superficiali per la ricostruzione stratigrafica dei terreni e per la valutazione di alcuni moduli di elasticità propri dei materiali.

Attraverso la stretta correlazione che esiste tra le onde superficiali di Rayleigh e le onde di taglio S, viene quindi valutato il parametro Vs30.

### **6.2) Acquisizione dati del MASW**

Il profilo sismico è stato eseguito energizzando artificialmente il terreno e rilevando la vibrazione prodotta con piccoli captatori denominati geofoni collegati ad un ricevitore (sismografo) attraverso un cavo multipolare.

Abbiamo posizionato i 12 geofoni a distanza di un metro l'uno dall'altro coprendo una distanza di mt 11,00. Dopo le acquisizioni necessarie per una buona resa del metodo, abbiamo traslato lo stendimento di 12 metri in linea retta in modo che il primo geofono venisse a trovarsi a distanza di un metro dalla posizione del 12° geofono dello stendimento precedente.

Con questo metodo siamo stati in grado di ottenere 24 tracce sismiche per ogni scoppio, con soli 12 geofoni.

L'energizzazione è avvenuta battendo una mazza da 11 Kg su una piastra in alluminio; al momento della battuta parte la registrazione (*trigger*), con campionamento costante e predeterminato, dei segnali ricevuti dai sensori. Il sismografo utilizzato è stato un PASI MOD.16SG24-N a 24 canali.



*Dott. Paolo Castellani*  
*Dott. Stefano Nastasi*  
*Dott. Damiano Guarguaglini*  
*Dott. Annalisa Fontanelli*  
*Dott. Andrea Castellani*

Le acquisizioni sono state effettuate utilizzando come durata del sismogramma 1.024 millisecondi e come tempo di campionamento 250 micro-secondi per un totale di 4096 campioni per ogni traccia.

Sono state scelte 3 posizioni di battuta tutte a lato del primo geofono.

Per ogni punto di scoppio abbiamo utilizzato la metodologia dello “stacking” che consiste nel ripetere più volte le misurazioni per amplificare l'ampiezza del segnale sismico e quindi ottenere sismogrammi di facile lettura.

### 6.3) Elaborazione dei dati del MASW

Le tracce così acquisite sono state elaborate attraverso il software di calcolo “winMASW” della ditta EliaSoft Geophysical Software.

Sono state caricate tre acquisizioni per ogni stendimento ed è stata elaborata quella che forniva una migliore curva di dispersione.

Attraverso la funzione di modellazione diretta abbiamo ricavato la probabile stratigrafia dell'area, ma abbiamo comunque deciso, per non farci troppo condizionare dalle conoscenze geologiche dell'area, di procedere attraverso il picking della curva stessa.

Questa operazione prevede il ripasso grafico dei massimi della curva di dispersione in modo da ottenere dei binomi velocità – frequenza.

La fase successiva riguarda l'inversione analitica di questi dati; per fare ciò deve essere scelto il numero di strati che ipotizziamo compongano la nostra successione stratigrafica, il range minimo e massimo dei loro spessori e il range minimo e massimo di velocità delle onde sismiche S.

L'innovazione del metodo di calcolo, in confronto ai vecchi software per le analisi di prospezioni MASW, sta nel fatto che il metodo d'inversione della curva di dispersione è basato su una tecnica di approssimazione particolarmente sofisticata (algoritmi genetici), che non richiedono necessariamente modelli di partenza.

Lanciata l'inversione il programma cerca il modello medio e il modello migliore, tra i vari possibili, nello spazio di ricerca che abbiamo precedentemente fissato.

La scelta dello spazio di ricerca, per non incorrere in errori concettuali, deve essere effettuata in modo oculato e tenendo conto delle caratteristiche geologiche dell'area.

**Di seguito riportiamo i risultati analitici e i grafici dello stendimento con la parametrizzazione del valore Vs30 (vedi fig. 5):**

Vs (m/s): 250, 821  
Spessore (m): 3.7, 26.3  
Densità (gr/cm<sup>3</sup>): 1.90, 2.16  
Modulo di Taglio (MPa): 118, 1455

**Analisi: Rayleigh Waves**

Valori approssimativi di Vp e dei moduli elastici

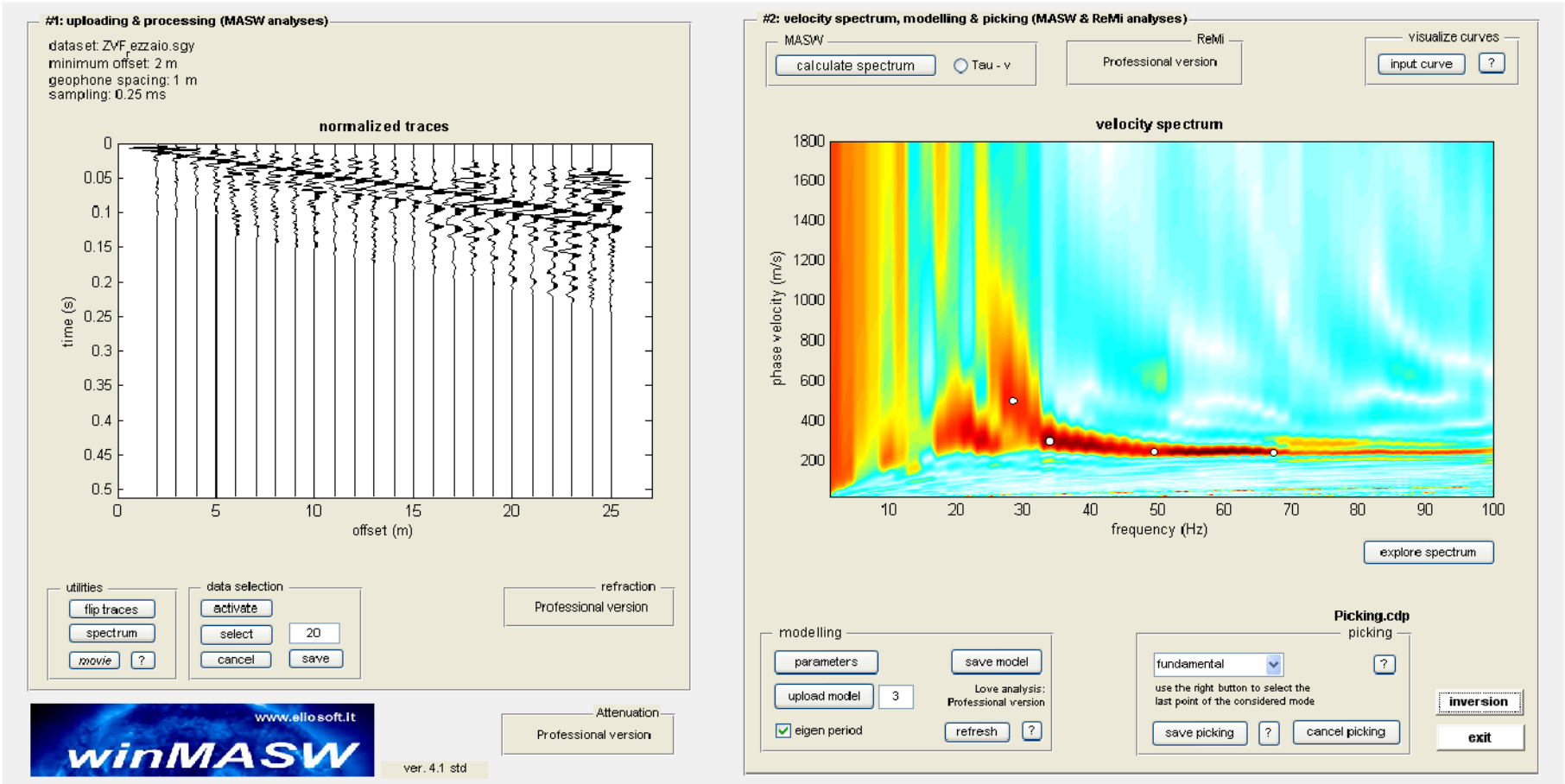
Vp (m/s): 520, 1536  
Poisson: 0.35, 0.30  
Modulo di Bulk (MPa): 355, 3152  
Modulo di Young (MPa): 320, 3782  
Modulo di Lamè (MPa): 276, 2182

**VS30 (m/s): 641**

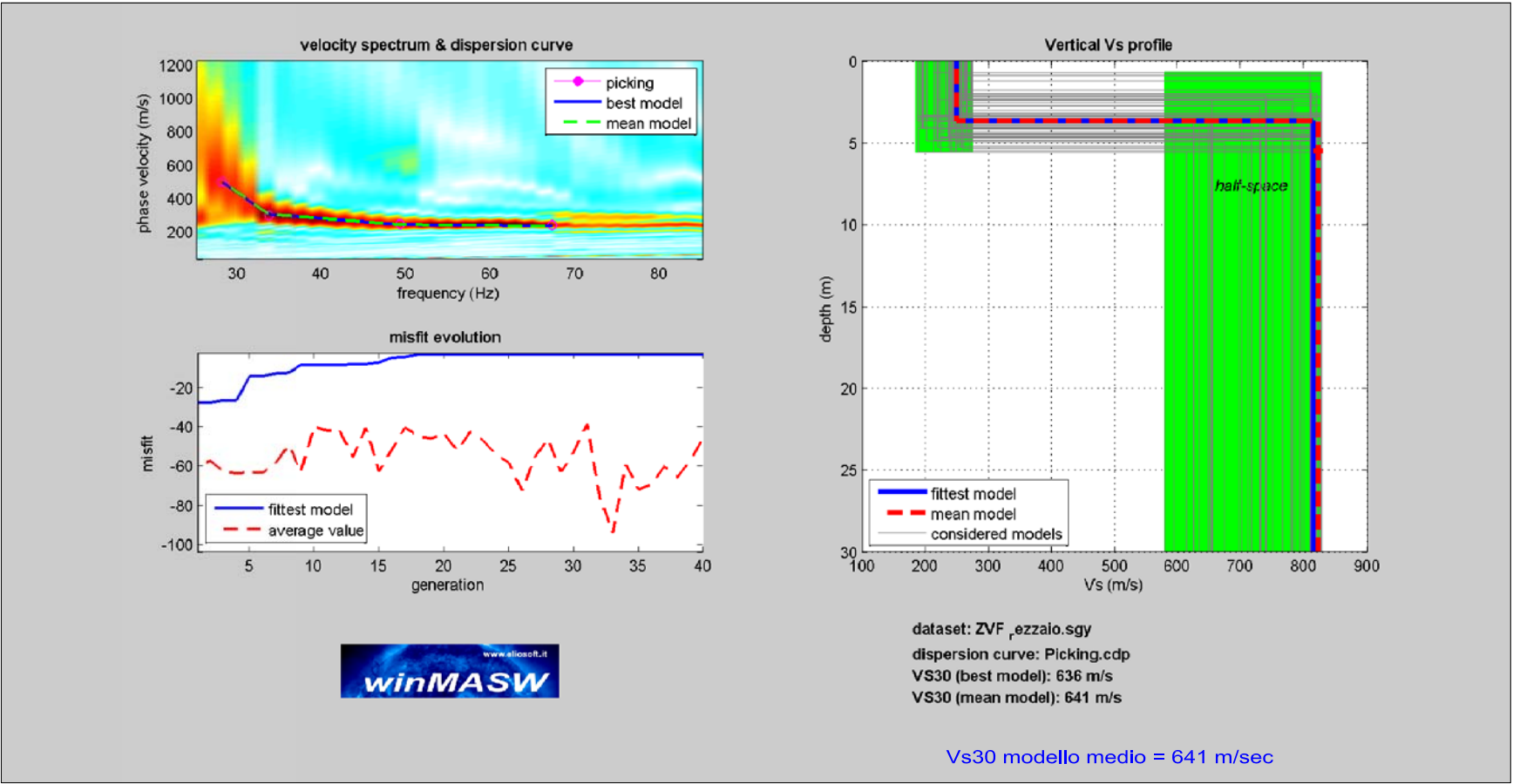
#### **6.4) Interpretazione dei dati del MASW**

Si nota la presenza di uno strato superficiale di spessore di quasi 4 metri con bassa velocità delle onde S (250 m/sec), che può essere interpretato come il materiale di discarica mineraria superficiale a matrice limosa areato.





PICKING CURVA DI DISPERSIONE



INVERSIONE CURVA DI DISPERSIONE

Committente: Comune di Pietrasanta (LU)  
**Località Valdicastello - Pietrasanta (LU)**

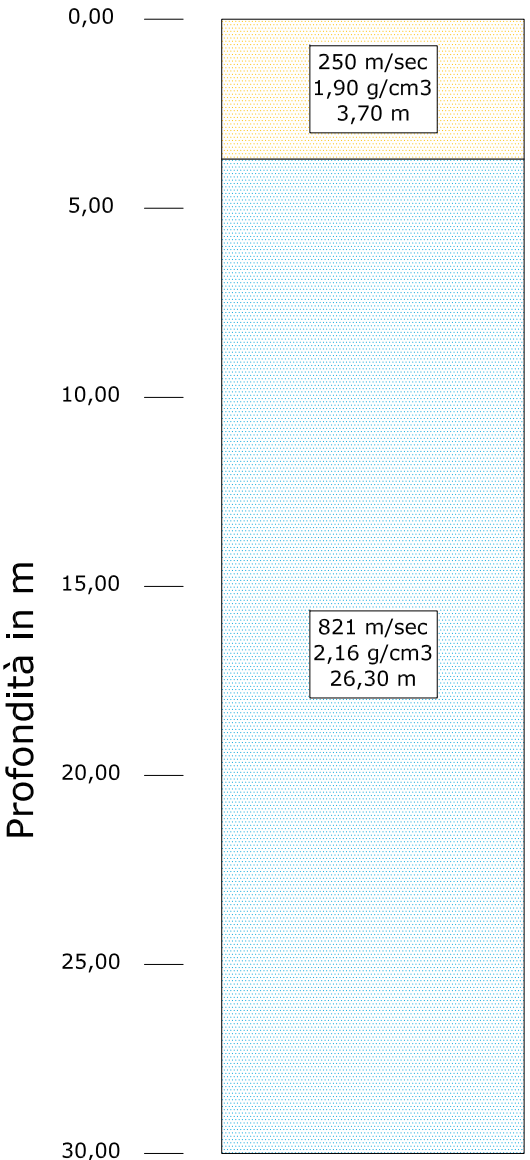


FIG. 5  
RISULTANZE DELL'ANALISI SISMICA MASW

*Dott. Paolo Castellani**Dott. Stefano Nastasi**Dott. Damiano Guarguaglini**Dott. Annalisa Fontanelli**Dott. Andrea Castellani*

Sotto a questo strato c'è un netto aumento della velocità, corrispondente al passaggio litologico con il sub-strato delle cataclasiti del Calcare Cavernoso, presente fino alla massima profondità investigata di mt 30,00.

**Il valore di Vs30 in questa zona è di 641 m/sec, quindi un valore di categoria B, ma nel caso specifico, avendo un terreno superficiale di tipo C ( $V_s = 250$  m/sec) di spessore non superiore a 20 metri, posto sul substrato di riferimento con  $V_s > 800$  m/sec ( $V_s = 821$  m/sec), la categoria di suolo deve essere considerata di tipo E.**

## **MODELLAZIONE GEOTECNICA**

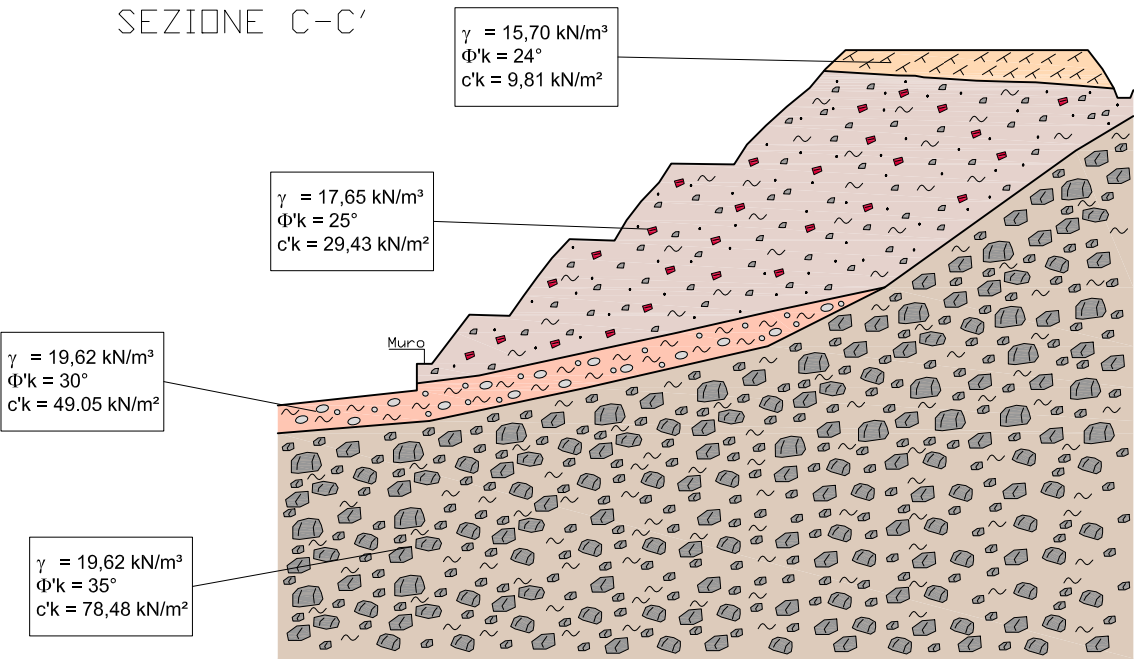
### **§ 7) ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE E RELATIVO MODELLO GEOTECNICO DEL TERRENO DI FONDAZIONE**

Sulla scorta dei rilevamenti e delle indagini svolte abbiamo ricostruito l'assetto litostratigrafico dei terreni locali (vedi le sezioni geo-litologiche allo stato modificato della fig. 6).

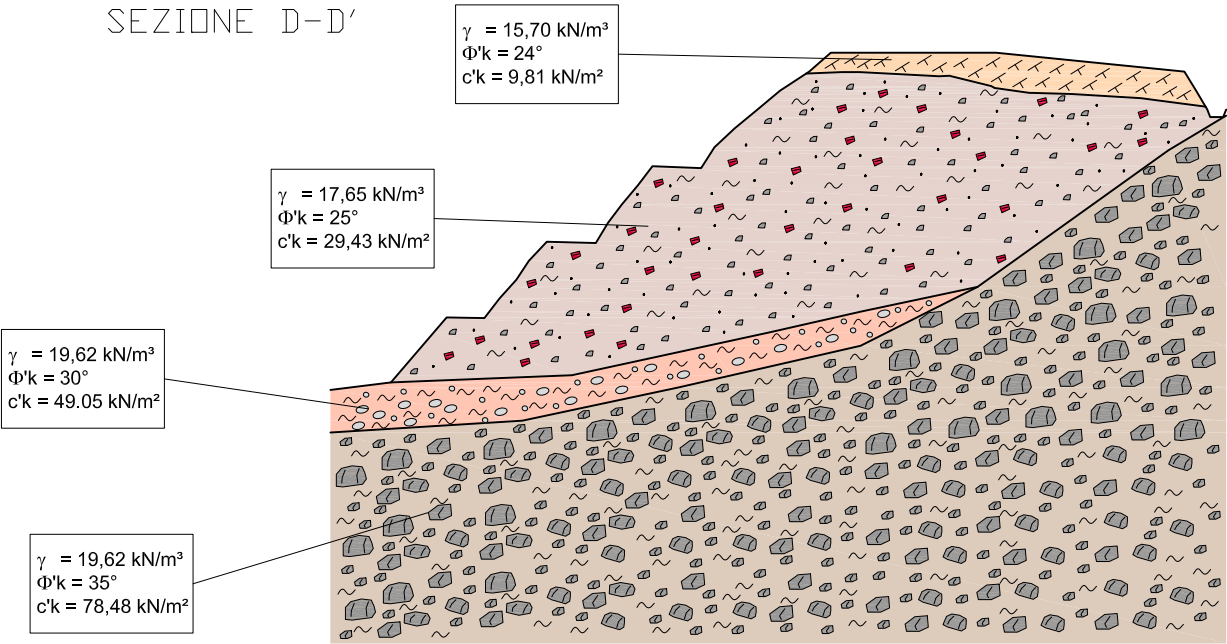
Come si può vedere dalle sezioni geo-litologiche di fig. 6, una volta eseguita la sistemazione morfologica dell'area, avremo un sottile spessore superficiale (inferiore al metro) di detrito mobilizzato e successivamente idoneamente compattato, messo a dimora a seguito della gradonatura dell'area e della sistemazione morfologica definitiva.

Sotto ad esso è presente il materiale di discarica mineraria, avente spessori variabili, crescenti verso il corso del Torrente Baccatoio, fino ad un massimo di circa mt 8,50.

SEZIONE C-C'



SEZIONE D-D'



Scala 1:200

FIG. 6  
SEZIONI GEO-LITOLOGICHE INTERPRETATIVE



DETRITO DI RIPORTO MOBILIZZATO E COMPATTATO PER LA SISTEMAZIONE MORFOLOGICA DELL'AREA



TERRENO DI DISCARICA IN MATRICE PREVALENTEMENTE LIMOSA CON INCLUSI DI PIRITE, SCISTI, CALCAREI, LATERIZI E ALTRI MATERIALI ANTROPICI



DEPOSITI ALLUVIONALI E/O TERRE DI COPERTURA DELLE CATACLASITI



CATACLASITI ALLA BASE DEL CALCARE CAVERNOSO AD ELEMENTI DI DOLOMIE E PIU' RARAMENTE DI MARMI



*Dott. Paolo Castellani**Dott. Stefano Nastasi**Dott. Damiano Guarguaglini**Dott. Annalisa Fontanelli**Dott. Andrea Castellani*

Quindi è presente un sottile strato di sedimenti alluvionali o di materiale di copertura delle cataclasiti del Calcarea Cavernoso, le quali giacciono al di sotto della discarica mineraria.

Qui di seguito proponiamo una corrispondenza tra modello geologico-stratigrafico e modello geotecnico, attribuendo ai vari orizzonti la seguente parametrizzazione fisico-meccanica (sono indicati i valori geotecnici caratteristici “ $f_K$ ”):

**DETRITO DI RIPORTO MOBILIZZATO E SUCCESSIVAMENTE COMPATTATO**

- **peso di volume**  $\gamma = 1,6 \text{ g/cm}^3$ ;
- **angolo d'attrito interno**  $\phi' = 24^\circ$ ;
- **coesione**  $c' = 0,1 \text{ kg/cmq.}$

**TERRENO DI DISCARICA MINERARIA**

- **peso di volume**  $\gamma = 1,8 \text{ g/cm}^3$ ;
- **angolo d'attrito interno**  $\phi' = 25^\circ$ ;
- **coesione**  $c' = 0,3 \text{ kg/cmq.}$

**DEPOSITI ALLUVIONALI E/O TERRE DI COPERTURA DELLE CATACLASITI**

- **peso di volume**  $\gamma = 2,0 \text{ g/cm}^3$ ;
- **angolo d'attrito interno**  $\phi' = 30^\circ$ ;
- **coesione**  $c' = 0,5 \text{ kg/cmq.}$

**CATACLASITI ALLA BASE DEL CALCARE CAVERNOSO**

- **peso di volume**  $\gamma = 2,0 \text{ g/cm}^3$ ;
- **angolo d'attrito interno**  $\phi' = 35^\circ$ ;
- **coesione**  $c' = 0,8 \text{ kg/cmq.}$

*Dott. Paolo Castellani**Dott. Stefano Nastasi**Dott. Damiano Guarguaglini**Dott. Annalisa Fontanelli**Dott. Andrea Castellani*

## **§ 8) VERIFICHE DI STABILITA' DEL PENDIO**

Come detto nel § 3, il **pendio della discarica mineraria verso il Torrente Baccatoio** presenta forte acclività (angolo di scarpata di circa 40°), che attualmente è sicuramente stabile, ma che riteniamo debba essere necessariamente modellato e messo in sicurezza a causa della vicinanza dell'alveo del Torrente Baccatoio e quindi del rischio di erosione del piede della scarpata con conseguente potenziale instabilità geomorfologica.

Pertanto **abbiamo effettuato due verifiche di stabilità del pendio su due sezioni topografiche lungo la linea di massima pendenza, come riportato nelle sezioni geo-litologiche di fig. 6.**

Per l'esecuzione delle verifiche di stabilità abbiamo utilizzato le sezioni topografiche C-C' e D-D' del rilievo topografico appositamente realizzato nell'area.

Quindi abbiamo costruito la sezione geo-litologica in base ai risultati dell'indagine geologica, indicando i parametri caratteristici ricavati dalla modellazione geotecnica.

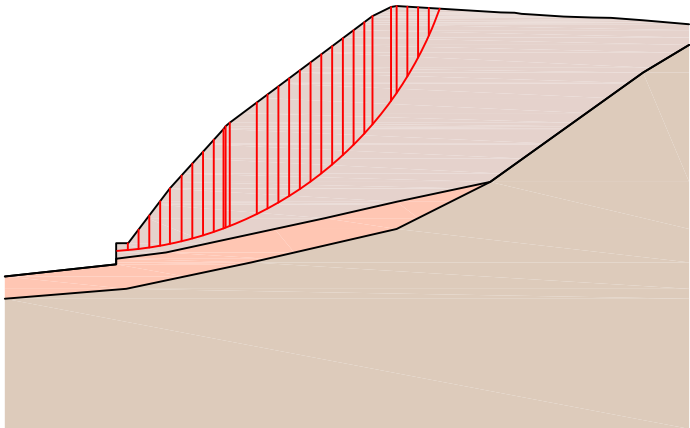
Sulle due sezioni geo-litologiche abbiamo effettuato le verifiche di stabilità allo stato attuale in condizioni statiche e sismiche e allo stato modificato, cioè considerando le variazioni morfologiche del terreno a seguito della gradonatura prevista nel progetto esecutivo, sempre sia in condizione statica e sismica.

Tutte le verifiche di stabilità sono state effettuate con il metodo di Bishop, attraverso il quale non viene trascurato alcun contributo di forze agenti sui blocchi.

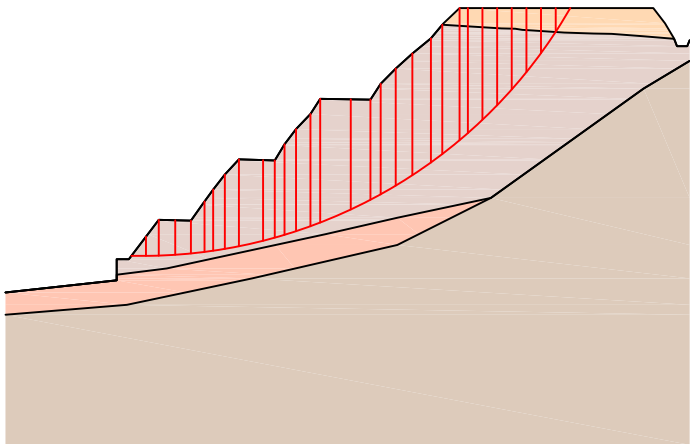
Nelle figg. 7 e 8 sono riportate le sezioni delle verifiche di stabilità con i risultati del coefficiente di sicurezza minimo per ogni stato.

Da esse si ottiene che nello stato attuale il pendio è sempre stabile con coefficiente di sicurezza minimo  $F_s = 1,77$  in condizione statica (ricordiamo che per essere verificato deve essere  $F_s \geq 1,3$ ) e  $F_s = 1,56$  in condizione sismica (per essere verificato deve essere  $F_s \geq 1,1$ ).

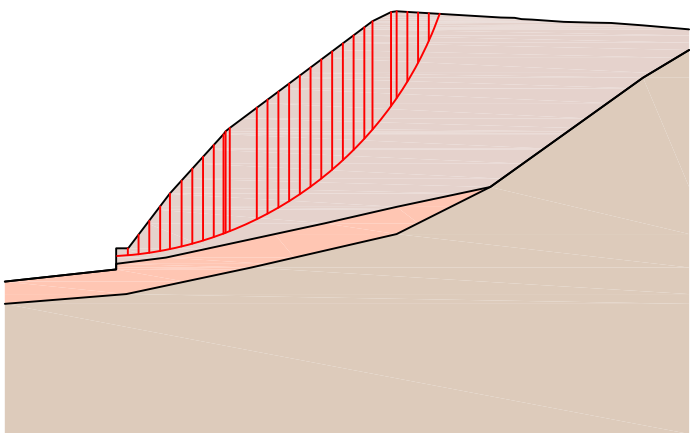
SEZIONE C-C' (stato attuale)  
Condizione Statica  
 $F_{S(min)} = 1,77$



SEZIONE C-C' (stato modificato)  
Condizione Statica  
 $F_{S(min)} = 1,98$



SEZIONE C-C' (stato attuale)  
Condizione Sismica  
 $F_{S(min)} = 1,56$



SEZIONE C-C' (stato modificato)  
Condizione Sismica  
 $F_{S(min)} = 1,72$

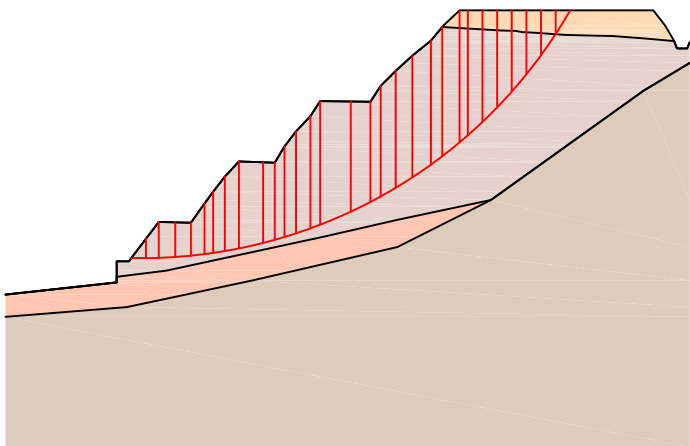


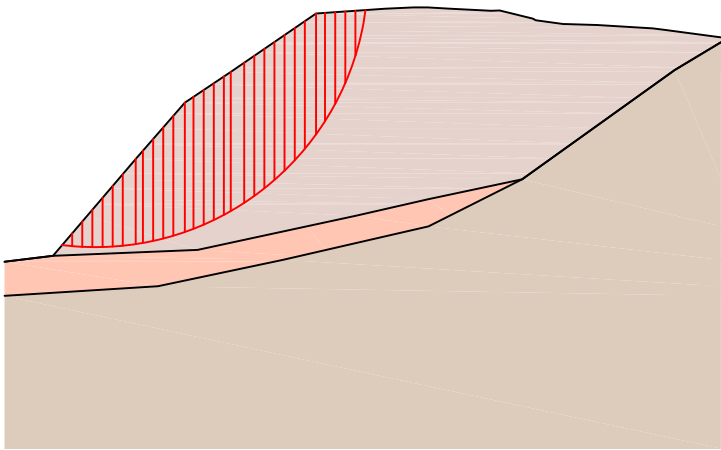
FIG. 7  
VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SEZIONE C-C'

Scala 1:250

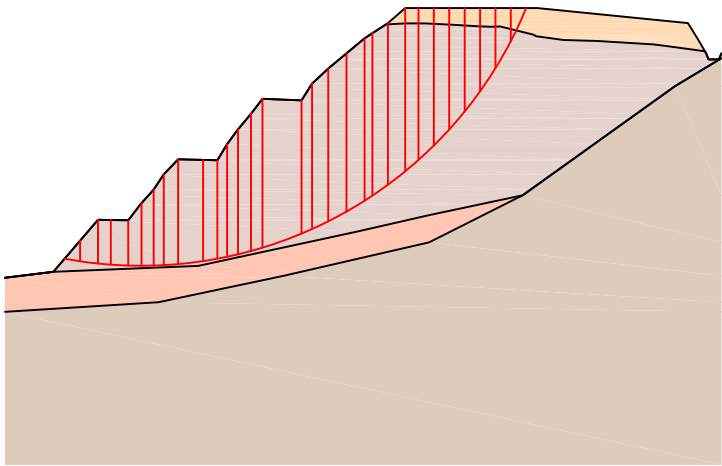
- DETRITO DI RIPORTO MOBILIZZATO E COMPATTATO PER LA SISTEMAZIONE MORFOLOGICA DELL'AREA
- TERRENO DI DISCARICA IN MATRICE PREVALENTEMENTE LIMOSA CON INCLUSI DI PIRITE, SCISTI, CALCAREI, LATERIZI E ALTRI MATERIALI ANTROPICI
- DEPOSITI ALLUVIONALI E/O TERRE DI COPERTURA DELLE CATACLASITI
- CATACLASITI ALLA BASE DEL CALCARE CAVERNOSO AD ELEMENTI DI DOLOMIE E PIU' RARAMENTE DI MARMI



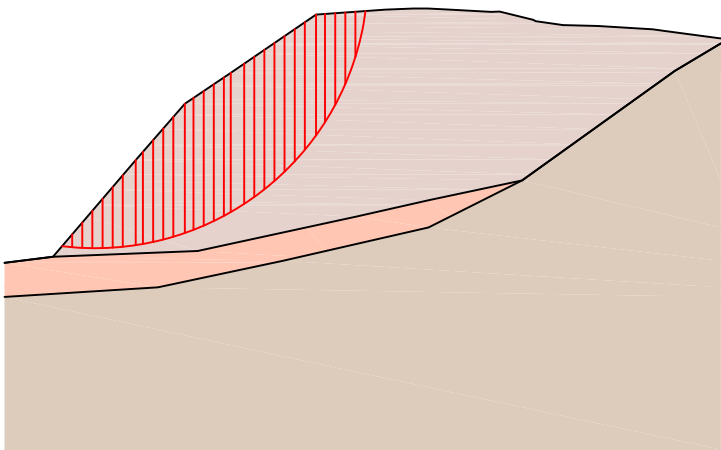
SEZIONE D-D' (stato attuale)  
Condizione Statica  
 $F_{S(min)} = 1,80$



SEZIONE D-D' (stato modificato)  
Condizione Statica  
 $F_{S(min)} = 1,92$



SEZIONE D-D' (stato attuale)  
Condizione Sismica  
 $F_{S(min)} = 1,57$



SEZIONE D-D' (stato modificato)  
Condizione Sismica  
 $F_{S(min)} = 1,65$

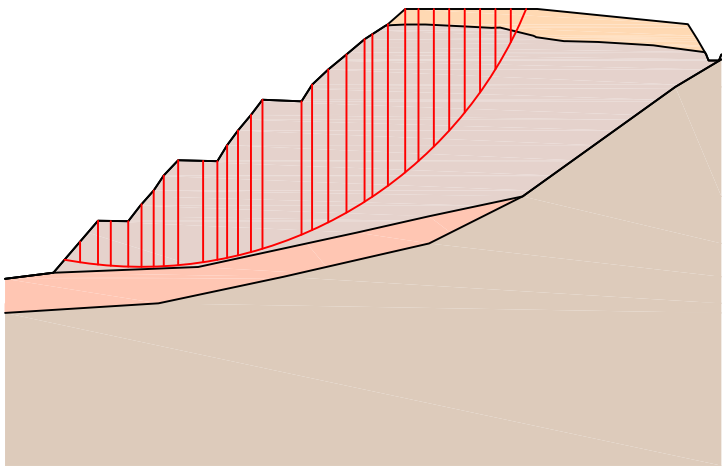


FIG. 8  
VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SEZIONE D-D'

Scala 1:250

- DETRITO DI RIPORTO MOBILIZZATO E COMPATTATO PER LA SISTEMAZIONE MORFOLOGICA DELL'AREA
- TERRENO DI DISCARICA IN MATRICE PREVALENTEMENTE LIMOSA CON INCLUSI DI PIRITE, SCISTI, CALCAREI, LATERIZI E ALTRI MATERIALI ANTROPICI
- DEPOSITI ALLUVIONALI E/O TERRE DI COPERTURA DELLE CATACLASITI
- CATACLASITI ALLA BASE DEL CALCARE CAVERNOSO AD ELEMENTI DI DOLOMIE E PIU' RARAMENTE DI MARMI

*Dott. Paolo Castellani**Dott. Stefano Nastasi**Dott. Damiano Guarguaglini**Dott. Annalisa Fontanelli**Dott. Andrea Castellani*

Allo stato modificato, cioè dopo le modifiche morfologiche a seguito della gradonatura in progetto, la stabilità geomorfologica migliora sempre con coefficiente di sicurezza minimo  $F_s = 1,92$  in condizione statica e  $F_s = 1,65$  in condizione sismica.

Nell'allegato 1 sono riportate integralmente le verifiche di stabilità.

## **§ 9) CONCLUSIONI**

La scarpata della discarica mineraria prospiciente il Torrente Baccatoio dovrà essere messa in sicurezza morfologica tramite gradonatura del pendio, come previsto dagli elaborati progettuali.

Tale intervento comporta un miglioramento del coefficiente di sicurezza sia in condizione statica che sismica e consentirà di eseguire in assoluta sicurezza le opere di bonifica ambientale tramite il mescolamento dei primi 20 centimetri di top soil con terreno vegetale arricchito di marne smectitiche con elevato tenore di calcio e magnesio e successivo rinverdimento.

Poggibonsi, 02.09.2016



*Dott. Paolo Castellani*  
*Dott. Stefano Nastasi*  
*Dott. Damiano Guarguaglini*  
*Dott. Annalisa Fontanelli*  
*Dott. Andrea Castellani*

## **A L L E G A T O 1**

### **Verifiche di stabilità del pendio**



## SEZIONE C – C' (STATO ATTUALE)

### CONDIZIONE STATICA

#### Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	43,956058/10,266822
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	30,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
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	-5,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	9,5 m
Ascissa vertice destro superiore xs	25,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	35,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	30,0
Numero di celle lungo y	30,0

#### Coefficienti sismici [N.T.C.]

##### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	35,0 [anni]

##### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	E
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,44	2,5	0,24
S.L.D.	35,0	0,47	2,51	0,24
S.L.V.	332,0	1,18	2,42	0,29
S.L.C.	682,0	1,53	2,39	0,29

##### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,8448	0,2	0,0172	0,0086
S.L.D.	0,9024	0,2	0,0184	0,0092
S.L.V.	2,2656	0,24	0,0555	0,0277
S.L.C.	2,9189	0,24	0,0714	0,0357

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	3,68	0,4
3	3,68	1,1
4	4,08	1,1
5	5,46	2,91
6	7,23	4,87
7	7,3	4,97
8	7,44	5,08
9	12,16	8,61
10	12,77	8,91
11	12,96	8,94
12	16,4	8,73
13	16,86	8,72
14	17,09	8,68
15	17,44	8,66
16	18,48	8,59
17	19,45	8,56
18	20,05	8,55
19	21,1	8,47
20	22,63	8,34

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	3,68	0,4
3	3,68	0,58
4	5,33	0,79
5	10,58	1,93
6	12,96	2,47
7	16,06	3,13
8	21,1	6,74
9	22,63	7,66

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-0,74
2	4,02	-0,41
3	8,15	0,47
4	12,96	1,57
5	16,06	3,13
6	21,1	6,74
7	22,63	7,66

**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 (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	29.43	0	25	17,65	19.65		
2	49.05	0	30	19.62	21.62		
3	78.48	0	35	19.62	21.62		

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

Fs minimo individuato	1,77
Ascissa centro superficie	3,0 m
Ordinata centro superficie	12,9 m
Raggio superficie	12,08 m

**xc = 3,00 yc = 12,90 Rc = 12,077 Fs=1,769**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0,36	4,2	0,36	1,53	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	1,2	5,0
2	0,36	5,9	0,36	2,69	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	2,2	5,2
3	0,36	7,6	0,36	5,36	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	4,6	5,8
4	0,36	9,3	0,36	7,96	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	7,0	6,3
5	0,33	11,0	0,33	9,52	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	8,5	6,2
6	0,39	12,7	0,39	13,65	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	12,2	7,8
7	0,36	14,5	0,37	14,61	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	13,1	7,7
8	0,36	16,2	0,37	16,47	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	14,8	8,1
9	0,36	18,0	0,37	18,26	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	16,5	8,4
10	0,32	19,7	0,34	17,79	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	16,1	7,9
11	0,07	20,7	0,07	4,1	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	3,7	1,8
12	0,14	21,2	0,15	8,36	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	7,6	3,6
13	0,89	23,9	0,98	56,17	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	50,9	23,8
14	0,36	27,2	0,4	23,4	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	21,3	9,8
15	0,36	29,1	0,41	23,88	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	21,8	10,0
16	0,36	31,0	0,41	24,25	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	22,2	10,2
17	0,36	33,0	0,42	24,53	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	22,5	10,4
18	0,36	35,0	0,43	24,69	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	22,7	10,6
19	0,36	37,1	0,45	24,73	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	22,9	10,8
20	0,36	39,3	0,46	24,64	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	22,9	10,9
21	0,36	41,5	0,47	24,41	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	22,8	11,1
22	0,36	43,8	0,49	24,02	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	22,5	11,3
23	0,36	46,2	0,51	23,46	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	21,9	11,5
24	0,27	48,4	0,41	17,34	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	16,2	8,8
25	0,61	51,7	0,98	36,18	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	33,0	20,0
26	0,19	54,8	0,33	10,03	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	8,6	6,2
27	0,35	57,1	0,65	16,12	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	12,3	11,2
28	0,36	60,3	0,72	12,5	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	6,2	10,9
29	0,36	64,0	0,81	8,15	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	-2,4	10,3
30	0,36	68,2	0,96	3,01	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	-15,5	9,5



## SEZIONE C – C' (STATO ATTUALE)

### CONDIZIONE SISMICA

#### Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	43,956058/10,266822
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	30,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
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	-5,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	9,5 m
Ascissa vertice destro superiore xs	25,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	35,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	30,0
Numero di celle lungo y	30,0

#### Coefficienti sismici [N.T.C.]

##### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	35,0 [anni]

##### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	E
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,44	2,5	0,24
S.L.D.	35,0	0,47	2,51	0,24
S.L.V.	332,0	1,18	2,42	0,29
S.L.C.	682,0	1,53	2,39	0,29

##### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,8448	0,2	0,0172	0,0086
S.L.D.	0,9024	0,2	0,0184	0,0092
S.L.V.	2,2656	0,24	0,0555	0,0277
S.L.C.	2,9189	0,24	0,0714	0,0357

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0555
Coefficiente azione sismica verticale	0,0277

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	3,68	0,4
3	3,68	1,1
4	4,08	1,1
5	5,46	2,91
6	7,23	4,87
7	7,3	4,97
8	7,44	5,08
9	12,16	8,61
10	12,77	8,91
11	12,96	8,94
12	16,4	8,73
13	16,86	8,72
14	17,09	8,68
15	17,44	8,66
16	18,48	8,59
17	19,45	8,56
18	20,05	8,55
19	21,1	8,47
20	22,63	8,34

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	3,68	0,4
3	3,68	0,58
4	5,33	0,79
5	10,58	1,93
6	12,96	2,47
7	16,06	3,13
8	21,1	6,74
9	22,63	7,66

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-0,74
2	4,02	-0,41
3	8,15	0,47
4	12,96	1,57
5	16,06	3,13
6	21,1	6,74
7	22,63	7,66

**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 (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	29.43	0	25	17,65	19.65		
2	49.05	0	30	19.62	21.62		
3	78.48	0	35	19.62	21.62		

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

Fs minimo individuato	1,56
Ascissa centro superficie	3,0 m
Ordinata centro superficie	12,9 m
Raggio superficie	12,08 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 = 3,00 yc = 12,90 Rc = 12,077 Fs=1,564**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0,36	4,2	0,36	1,53	0,08	0,04	23,54	20,5	0,0	1,1	5,6
2	0,36	5,9	0,36	2,69	0,15	0,07	23,54	20,5	0,0	2,1	5,9
3	0,36	7,6	0,36	5,36	0,3	0,15	23,54	20,5	0,0	4,5	6,5
4	0,36	9,3	0,36	7,96	0,44	0,22	23,54	20,5	0,0	6,9	7,1
5	0,33	11,0	0,33	9,52	0,53	0,26	23,54	20,5	0,0	8,3	7,0
6	0,39	12,7	0,39	13,65	0,76	0,38	23,54	20,5	0,0	12,0	8,8
7	0,36	14,5	0,37	14,61	0,81	0,4	23,54	20,5	0,0	12,9	8,6
8	0,36	16,2	0,37	16,47	0,91	0,46	23,54	20,5	0,0	14,5	9,0
9	0,36	18,0	0,37	18,26	1,01	0,51	23,54	20,5	0,0	16,1	9,5
10	0,32	19,7	0,34	17,79	0,99	0,49	23,54	20,5	0,0	15,7	8,8
11	0,07	20,7	0,07	4,1	0,23	0,11	23,54	20,5	0,0	3,6	2,0
12	0,14	21,2	0,15	8,36	0,46	0,23	23,54	20,5	0,0	7,4	4,0
13	0,89	23,9	0,98	56,17	3,12	1,56	23,54	20,5	0,0	49,7	26,6
14	0,36	27,2	0,4	23,4	1,3	0,65	23,54	20,5	0,0	20,7	10,9
15	0,36	29,1	0,41	23,88	1,33	0,66	23,54	20,5	0,0	21,1	11,2
16	0,36	31,0	0,41	24,25	1,35	0,67	23,54	20,5	0,0	21,5	11,4
17	0,36	33,0	0,42	24,53	1,36	0,68	23,54	20,5	0,0	21,7	11,6
18	0,36	35,0	0,43	24,69	1,37	0,68	23,54	20,5	0,0	21,9	11,8
19	0,36	37,1	0,45	24,73	1,37	0,68	23,54	20,5	0,0	22,0	12,0
20	0,36	39,3	0,46	24,64	1,37	0,68	23,54	20,5	0,0	21,9	12,1
21	0,36	41,5	0,47	24,41	1,35	0,68	23,54	20,5	0,0	21,7	12,3
22	0,36	43,8	0,49	24,02	1,33	0,67	23,54	20,5	0,0	21,3	12,5
23	0,36	46,2	0,51	23,46	1,3	0,65	23,54	20,5	0,0	20,7	12,7
24	0,27	48,4	0,41	17,34	0,96	0,48	23,54	20,5	0,0	15,1	9,7
25	0,61	51,7	0,98	36,18	2,01	1,0	23,54	20,5	0,0	30,4	22,1
26	0,19	54,8	0,33	10,03	0,56	0,28	23,54	20,5	0,0	7,8	6,8
27	0,35	57,1	0,65	16,12	0,89	0,45	23,54	20,5	0,0	10,7	12,3
28	0,36	60,3	0,72	12,5	0,69	0,35	23,54	20,5	0,0	4,4	11,9
29	0,36	64,0	0,81	8,15	0,45	0,23	23,54	20,5	0,0	-4,3	11,2
30	0,36	68,2	0,96	3,01	0,17	0,08	23,54	20,5	0,0	-17,4	10,2

## SEZIONE C – C' (STATO MODIFICATO)

### CONDIZIONE STATICA

#### Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	43,956058/10,266822
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	4,0
Numero dei conci	30,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
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	-5,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	9,5 m
Ascissa vertice destro superiore xs	25,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	35,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	30,0
Numero di celle lungo y	30,0

#### Coefficienti sismici [N.T.C.]

##### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	35,0 [anni]

##### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	E
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,44	2,5	0,24
S.L.D.	35,0	0,47	2,51	0,24
S.L.V.	332,0	1,18	2,42	0,29
S.L.C.	682,0	1,53	2,39	0,29

##### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,8448	0,2	0,0172	0,0086
S.L.D.	0,9024	0,2	0,0184	0,0092
S.L.V.	2,2656	0,24	0,0555	0,0277
S.L.C.	2,9189	0,24	0,0714	0,0357

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	3,68	0,4
3	3,68	1,1
4	4,08	1,1
5	5,07	2,4
6	6,13	2,37
7	6,5	2,9
8	6,87	3,4
9	7,25	3,9
10	7,72	4,4
11	8,91	4,36
12	9,23	4,9
13	9,61	5,4
14	10,09	5,9
15	10,41	6,4
16	12,07	6,37
17	12,41	6,9
18	12,91	7,4
19	13,46	7,9
20	14,07	8,4
21	14,45	8,85
22	14,49	8,9
23	15,02	9,4
24	21,43	9,4
25	21,81	8,9
26	22,11	8,4
27	22,21	8,14
28	22,38	8,14
29	22,55	8,14
30	22,63	8,34

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	3,68	0,4
3	3,68	1,1
4	4,08	1,1
5	5,07	2,4
6	6,13	2,37
7	6,5	2,9
8	6,87	3,4
9	7,25	3,9
10	7,72	4,4
11	8,91	4,36
12	9,23	4,9
13	9,61	5,4
14	10,09	5,9
15	10,41	6,4
16	12,07	6,37
17	12,41	6,9
18	12,91	7,4
19	13,46	7,9
20	14,07	8,4
21	14,45	8,85
22	16,4	8,73
23	16,86	8,72
24	17,09	8,68
25	17,44	8,66



26	18,48	8,59
27	19,45	8,56
28	20,05	8,55
29	21,1	8,47
30	22,11	8,38
31	22,21	8,14
32	22,38	8,14
33	22,55	8,14
34	22,63	8,34

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	3,68	0,4
3	3,68	0,58
4	5,33	0,79
5	10,58	1,93
6	12,96	2,47
7	16,06	3,13
8	21,1	6,74
9	22,63	7,66

**Vertici strato .....3**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-0,74
2	4,02	-0,41
3	8,15	0,47
4	12,96	1,57
5	16,06	3,13
6	21,1	6,74
7	22,63	7,66

**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 (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	9.81	0	24	15.70	17.70		
2	29.43	0	25	17.65	19.65		
3	49.05	0	30	19.62	21.62		
4	78.48	0	35	19.62	21.62		

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

Fs minimo individuato	1,98
Ascissa centro superficie	4,5 m
Ordinata centro superficie	17,58 m
Raggio superficie	16,37 m

**xc = 4,50 yc = 17,575 Rc = 16,368 Fs=1,976**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0,48	-0,3	0,48	2,74	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	2,8	6,3
2	0,42	1,3	0,42	6,79	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	6,7	6,3
3	0,55	3,0	0,55	11,23	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	10,8	8,6
4	0,52	4,8	0,52	10,2	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	9,6	8,0
5	0,45	6,5	0,45	10,97	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	10,2	7,3
6	0,28	7,8	0,29	9,27	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	8,7	5,1
7	0,39	9,0	0,39	15,28	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	14,3	7,4
8	0,47	10,5	0,48	22,01	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	20,6	9,6
9	0,8	12,8	0,82	39,07	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	36,3	16,6
10	0,39	14,9	0,4	17,9	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	16,4	7,9
11	0,32	16,2	0,33	15,69	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	14,4	6,7
12	0,38	17,5	0,4	21,53	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	19,9	8,5
13	0,48	19,1	0,51	29,89	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	27,7	11,3
14	0,32	20,6	0,34	22,05	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	20,6	8,0
15	1,01	23,1	1,1	69,36	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	64,6	25,3
16	0,65	26,3	0,72	39,93	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	36,8	15,6
17	0,34	28,2	0,38	20,71	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	19,1	8,2
18	0,5	29,9	0,58	33,18	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	31,0	12,7
19	0,55	32,0	0,65	38,44	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	36,2	14,6
20	0,61	34,5	0,74	43,85	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	41,7	16,7
21	0,38	36,6	0,47	27,96	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	26,9	10,7
22	0,57	38,7	0,73	43,2	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	42,0	16,6
23	0,28	40,6	0,36	20,36	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	19,9	8,1
24	0,48	42,4	0,66	32,85	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	31,9	13,8
25	0,48	44,7	0,68	28,89	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	27,5	13,3
26	0,48	47,2	0,71	24,59	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	22,5	12,7
27	0,48	49,7	0,75	19,9	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	16,6	12,0
28	0,48	52,4	0,79	14,75	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	9,6	11,3
29	0,48	55,3	0,85	9,06	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	1,0	10,3
30	0,48	58,4	0,92	3,08	0,0	0,0	7,85	19,6	0,0	-0,1	3,7

## SEZIONE C – C' (STATO MODIFICATO)

### CONDIZIONE SISMICA

#### Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	43,956058/10,266822
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	4,0
Numero dei conci	30,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
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	-5,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	9,5 m
Ascissa vertice destro superiore xs	25,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	35,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	30,0
Numero di celle lungo y	30,0

#### Coefficienti sismici [N.T.C.]

##### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	35,0 [anni]

##### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	E
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,44	2,5	0,24
S.L.D.	35,0	0,47	2,51	0,24
S.L.V.	332,0	1,18	2,42	0,29
S.L.C.	682,0	1,53	2,39	0,29

##### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,8448	0,2	0,0172	0,0086
S.L.D.	0,9024	0,2	0,0184	0,0092
S.L.V.	2,2656	0,24	0,0555	0,0277
S.L.C.	2,9189	0,24	0,0714	0,0357

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0555
Coefficiente azione sismica verticale	0,0277

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	3,68	0,4
3	3,68	1,1
4	4,08	1,1
5	5,07	2,4
6	6,13	2,37
7	6,5	2,9
8	6,87	3,4
9	7,25	3,9
10	7,72	4,4
11	8,91	4,36
12	9,23	4,9
13	9,61	5,4
14	10,09	5,9
15	10,41	6,4
16	12,07	6,37
17	12,41	6,9
18	12,91	7,4
19	13,46	7,9
20	14,07	8,4
21	14,45	8,85
22	14,49	8,9
23	15,02	9,4
24	21,43	9,4
25	21,81	8,9
26	22,11	8,4
27	22,21	8,14
28	22,38	8,14
29	22,55	8,14
30	22,63	8,34

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	3,68	0,4
3	3,68	1,1
4	4,08	1,1
5	5,07	2,4
6	6,13	2,37
7	6,5	2,9
8	6,87	3,4
9	7,25	3,9
10	7,72	4,4
11	8,91	4,36
12	9,23	4,9
13	9,61	5,4
14	10,09	5,9
15	10,41	6,4
16	12,07	6,37
17	12,41	6,9
18	12,91	7,4
19	13,46	7,9
20	14,07	8,4
21	14,45	8,85
22	16,4	8,73
23	16,86	8,72
24	17,09	8,68
25	17,44	8,66

26	18,48	8,59
27	19,45	8,56
28	20,05	8,55
29	21,1	8,47
30	22,11	8,38
31	22,21	8,14
32	22,38	8,14
33	22,55	8,14
34	22,63	8,34

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	3,68	0,4
3	3,68	0,58
4	5,33	0,79
5	10,58	1,93
6	12,96	2,47
7	16,06	3,13
8	21,1	6,74
9	22,63	7,66

**Vertici strato .....3**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-0,74
2	4,02	-0,41
3	8,15	0,47
4	12,96	1,57
5	16,06	3,13
6	21,1	6,74
7	22,63	7,66

**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 (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	9.81	0	24	15.70	17.70		
2	29.43	0	25	17.65	19.65		
3	49.05	0	30	19.62	21.62		
4	78.48	0	35	19.62	21.62		



**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

Fs minimo individuato	1,72
Ascissa centro superficie	4,5 m
Ordinata centro superficie	17,58 m
Raggio superficie	16,37 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 = 4,50 yc = 17,575 Rc = 16,368 Fs=1,722**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0,48	-0,3	0,48	2,74	0,15	0,08	23,54	20,5	0,0	2,8	7,2
2	0,42	1,3	0,42	6,79	0,38	0,19	23,54	20,5	0,0	6,6	7,2
3	0,55	3,0	0,55	11,23	0,62	0,31	23,54	20,5	0,0	10,7	9,8
4	0,52	4,8	0,52	10,2	0,57	0,28	23,54	20,5	0,0	9,5	9,2
5	0,45	6,5	0,45	10,97	0,61	0,3	23,54	20,5	0,0	10,1	8,4
6	0,28	7,8	0,29	9,27	0,51	0,26	23,54	20,5	0,0	8,6	5,8
7	0,39	9,0	0,39	15,28	0,85	0,42	23,54	20,5	0,0	14,1	8,4
8	0,47	10,5	0,48	22,01	1,22	0,61	23,54	20,5	0,0	20,4	10,9
9	0,8	12,8	0,82	39,07	2,17	1,08	23,54	20,5	0,0	35,8	18,9
10	0,39	14,9	0,4	17,9	0,99	0,5	23,54	20,5	0,0	16,1	9,0
11	0,32	16,2	0,33	15,69	0,87	0,43	23,54	20,5	0,0	14,1	7,6
12	0,38	17,5	0,4	21,53	1,19	0,6	23,54	20,5	0,0	19,5	9,7
13	0,48	19,1	0,51	29,89	1,66	0,83	23,54	20,5	0,0	27,2	12,8
14	0,32	20,6	0,34	22,05	1,22	0,61	23,54	20,5	0,0	20,2	9,0
15	1,01	23,1	1,1	69,36	3,85	1,92	23,54	20,5	0,0	63,1	28,7
16	0,65	26,3	0,72	39,93	2,22	1,11	23,54	20,5	0,0	35,8	17,7
17	0,34	28,2	0,38	20,71	1,15	0,57	23,54	20,5	0,0	18,5	9,2
18	0,5	29,9	0,58	33,18	1,84	0,92	23,54	20,5	0,0	30,0	14,4
19	0,55	32,0	0,65	38,44	2,13	1,06	23,54	20,5	0,0	35,0	16,5
20	0,61	34,5	0,74	43,85	2,43	1,21	23,54	20,5	0,0	40,3	18,8
21	0,38	36,6	0,47	27,96	1,55	0,77	23,54	20,5	0,0	25,9	12,0
22	0,57	38,7	0,73	43,2	2,4	1,2	23,54	20,5	0,0	40,4	18,7
23	0,28	40,6	0,36	20,36	1,13	0,56	23,54	20,5	0,0	19,0	9,1
24	0,48	42,4	0,66	32,85	1,82	0,91	23,54	20,5	0,0	30,3	15,5
25	0,48	44,7	0,68	28,89	1,6	0,8	23,54	20,5	0,0	25,9	14,9
26	0,48	47,2	0,71	24,59	1,36	0,68	23,54	20,5	0,0	20,8	14,2
27	0,48	49,7	0,75	19,9	1,1	0,55	23,54	20,5	0,0	14,9	13,5
28	0,48	52,4	0,79	14,75	0,82	0,41	23,54	20,5	0,0	7,9	12,6
29	0,48	55,3	0,85	9,06	0,5	0,25	23,54	20,5	0,0	-0,7	11,5
30	0,48	58,4	0,92	3,08	0,17	0,09	7,85	19,6	0,0	-0,7	4,1

## SEZIONE D – D' (STATO ATTUALE)

### CONDIZIONE STATICA

#### Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	43,956058/10,266822
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	30,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
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	-5,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	9,5 m
Ascissa vertice destro superiore xs	25,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	35,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	30,0
Numero di celle lungo y	30,0

#### Coefficienti sismici [N.T.C.]

##### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	35,0 [anni]

##### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	E
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,44	2,5	0,24
S.L.D.	35,0	0,47	2,51	0,24
S.L.V.	332,0	1,18	2,42	0,29
S.L.C.	682,0	1,53	2,39	0,29

##### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,8448	0,2	0,0172	0,0086
S.L.D.	0,9024	0,2	0,0184	0,0092
S.L.V.	2,2656	0,24	0,0555	0,0277
S.L.C.	2,9189	0,24	0,0714	0,0357

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	1,6	0,2
3	4,34	3,4
4	5,96	5,26
5	7,48	6,28
6	10,3	8,21
7	12,59	8,37
8	13,52	8,41
9	14,0	8,41
10	14,73	8,37
11	16,09	8,3
12	16,37	8,31
13	17,47	8,04
14	17,53	8,01
15	17,56	7,99
16	18,49	7,86
17	18,58	7,86
18	19,61	7,83
19	21,44	7,72
20	21,82	7,67
21	23,69	7,42

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	1,6	0,2
3	6,39	0,39
4	11,64	1,53
5	14,02	2,07
6	17,12	2,73
7	22,16	6,34
8	23,69	7,26

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-1,13
2	5,08	-0,81
3	9,21	0,07
4	14,02	1,17
5	17,12	2,73
6	22,16	6,34
7	23,69	7,26

**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 (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	29.43	0	25	17,65	19.65		
2	49.05	0	30	19.62	21.62		
3	78.48	0	35	19.62	21.62		

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

Fs minimo individuato	1,8
Ascissa centro superficie	3,0 m
Ordinata centro superficie	9,5 m
Raggio superficie	9,01 m

**xc = 3,00 yc = 9,50 Rc = 9,015 Fs=1,80**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0,33	-5,9	0,34	1,27	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	1,8	4,8
2	0,33	-3,8	0,34	3,74	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	4,1	5,2
3	0,33	-1,7	0,33	6,14	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	6,3	5,7
4	0,33	0,5	0,33	8,47	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	8,4	6,1
5	0,33	2,6	0,33	10,72	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	10,4	6,5
6	0,33	4,7	0,34	12,9	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	12,4	7,0
7	0,43	7,2	0,43	19,73	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	18,7	9,6
8	0,24	9,3	0,24	12,32	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	11,6	5,6
9	0,33	11,2	0,34	18,95	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	17,7	8,1
10	0,33	13,3	0,34	20,79	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	19,4	8,5
11	0,33	15,5	0,35	22,55	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	20,9	8,9
12	0,38	17,9	0,4	27,52	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	25,5	10,5
13	0,29	20,2	0,31	22,17	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	20,6	8,3
14	0,33	22,3	0,36	26,03	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	24,1	9,7
15	0,33	24,6	0,37	26,5	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	24,6	9,9
16	0,33	27,0	0,38	26,87	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	25,0	10,1
17	0,23	29,0	0,26	18,29	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	17,1	6,9
18	0,44	31,5	0,52	36,18	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	34,0	13,8
19	0,33	34,4	0,41	27,38	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	25,9	10,7
20	0,33	37,0	0,42	27,32	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	26,0	10,9
21	0,33	39,7	0,43	27,11	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	26,0	11,1
22	0,33	42,6	0,45	26,73	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	25,9	11,3
23	0,33	45,5	0,48	26,18	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	25,6	11,5
24	0,33	48,6	0,51	25,41	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	25,0	11,8
25	0,37	52,2	0,6	26,85	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	26,6	13,4
26	0,3	55,8	0,53	20,08	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	19,5	11,0
27	0,33	59,6	0,66	19,6	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	17,7	12,3
28	0,33	64,1	0,77	16,06	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	11,3	12,4
29	0,33	69,6	0,96	11,62	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	-0,2	12,5
30	0,33	77,6	1,55	5,3	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	-34,8	13,1

## SEZIONE D – D' (STATO ATTUALE)

### CONDIZIONE SISMICA

#### Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	43,956058/10,266822
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	30,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
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	-5,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	9,5 m
Ascissa vertice destro superiore xs	25,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	35,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	30,0
Numero di celle lungo y	30,0

#### Coefficienti sismici [N.T.C.]

##### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	35,0 [anni]

##### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	E
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,44	2,5	0,24
S.L.D.	35,0	0,47	2,51	0,24
S.L.V.	332,0	1,18	2,42	0,29
S.L.C.	682,0	1,53	2,39	0,29

##### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,8448	0,2	0,0172	0,0086
S.L.D.	0,9024	0,2	0,0184	0,0092
S.L.V.	2,2656	0,24	0,0555	0,0277
S.L.C.	2,9189	0,24	0,0714	0,0357

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,056
Coefficiente azione sismica verticale	0,028



**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	1,6	0,2
3	4,34	3,4
4	5,96	5,26
5	7,48	6,28
6	10,3	8,21
7	12,59	8,37
8	13,52	8,41
9	14,0	8,41
10	14,73	8,37
11	16,09	8,3
12	16,37	8,31
13	17,47	8,04
14	17,53	8,01
15	17,56	7,99
16	18,49	7,86
17	18,58	7,86
18	19,61	7,83
19	21,44	7,72
20	21,82	7,67
21	23,69	7,42

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	1,6	0,2
3	6,39	0,39
4	11,64	1,53
5	14,02	2,07
6	17,12	2,73
7	22,16	6,34
8	23,69	7,26

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-1,13
2	5,08	-0,81
3	9,21	0,07
4	14,02	1,17
5	17,12	2,73
6	22,16	6,34
7	23,69	7,26

**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 (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	29.43	0	25	17,65	19.65		
2	49.05	0	30	19.62	21.62		
3	78.48	0	35	19.62	21.62		

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

Fs minimo individuato	1,57
Ascissa centro superficie	3,5 m
Ordinata centro superficie	9,93 m
Raggio superficie	9,47 m

**xc = 3,50 yc = 9,925 Rc = 9,475 Fs=1,574**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0,36	-8,4	0,37	1,55	0,09	0,04	23,54	20,5	0,0	2,5	6,1
2	0,36	-6,2	0,37	4,58	0,26	0,13	23,54	20,5	0,0	5,3	6,7
3	0,36	-4,0	0,36	7,52	0,42	0,21	23,54	20,5	0,0	8,1	7,4
4	0,36	-1,8	0,36	10,38	0,58	0,29	23,54	20,5	0,0	10,6	8,0
5	0,36	0,4	0,36	13,14	0,74	0,37	23,54	20,5	0,0	13,1	8,5
6	0,36	2,6	0,36	15,81	0,89	0,44	23,54	20,5	0,0	15,4	9,1
7	0,23	4,4	0,23	11,26	0,63	0,32	23,54	20,5	0,0	10,8	6,0
8	0,5	6,6	0,5	27,96	1,57	0,78	23,54	20,5	0,0	26,5	13,8
9	0,36	9,2	0,37	23,19	1,3	0,65	23,54	20,5	0,0	21,8	10,7
10	0,36	11,5	0,37	25,45	1,42	0,71	23,54	20,5	0,0	23,7	11,2
11	0,39	13,8	0,4	29,87	1,67	0,84	23,54	20,5	0,0	27,7	12,6
12	0,34	16,1	0,35	26,94	1,51	0,75	23,54	20,5	0,0	24,8	11,1
13	0,36	18,3	0,38	30,05	1,68	0,84	23,54	20,5	0,0	27,6	12,3
14	0,36	20,7	0,39	30,79	1,72	0,86	23,54	20,5	0,0	28,2	12,5
15	0,46	23,3	0,5	39,5	2,21	1,11	23,54	20,5	0,0	36,1	16,0
16	0,27	25,8	0,3	23,88	1,34	0,67	23,54	20,5	0,0	21,8	9,7
17	0,36	27,9	0,41	32,37	1,81	0,91	23,54	20,5	0,0	29,6	13,2
18	0,36	30,4	0,42	32,67	1,83	0,91	23,54	20,5	0,0	30,0	13,4
19	0,36	33,0	0,43	32,83	1,84	0,92	23,54	20,5	0,0	30,3	13,7
20	0,36	35,7	0,45	32,83	1,84	0,92	23,54	20,5	0,0	30,4	13,9
21	0,36	38,4	0,46	32,66	1,83	0,91	23,54	20,5	0,0	30,5	14,2
22	0,36	41,3	0,48	32,31	1,81	0,9	23,54	20,5	0,0	30,3	14,4
23	0,36	44,3	0,51	31,77	1,78	0,89	23,54	20,5	0,0	30,0	14,7
24	0,36	47,5	0,54	30,2	1,69	0,85	23,54	20,5	0,0	28,5	14,8
25	0,36	50,9	0,58	27,67	1,55	0,77	23,54	20,5	0,0	25,7	14,7
26	0,36	54,5	0,63	24,77	1,39	0,69	23,54	20,5	0,0	22,2	14,6
27	0,36	58,5	0,7	21,41	1,2	0,6	23,54	20,5	0,0	17,3	14,5
28	0,36	63,0	0,8	17,4	0,97	0,49	23,54	20,5	0,0	10,1	14,4
29	0,36	68,5	0,99	12,41	0,69	0,35	23,54	20,5	0,0	-2,4	14,3
30	0,36	76,1	1,51	5,44	0,3	0,15	23,54	20,5	0,0	-35,0	14,3

## SEZIONE D – D' (STATO MODIFICATO)

### CONDIZIONE STATICA

#### Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	43,956058/10,266822
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	4,0
Numero dei conci	30,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
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	-5,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	9,5 m
Ascissa vertice destro superiore xs	25,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	35,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	30,0
Numero di celle lungo y	30,0

#### Coefficienti sismici [N.T.C.]

##### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	35,0 [anni]

##### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	E
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,44	2,5	0,24
S.L.D.	35,0	0,47	2,51	0,24
S.L.V.	332,0	1,18	2,42	0,29
S.L.C.	682,0	1,53	2,39	0,29

##### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Stabilità dei pendii e Fondazioni
--------	-----------------------------------

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,8448	0,2	0,0172	0,0086
S.L.D.	0,9024	0,2	0,0184	0,0092
S.L.V.	2,2656	0,24	0,0555	0,0277
S.L.C.	2,9189	0,24	0,0714	0,0357

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	1,6	0,2
3	3,07	1,92
4	4,07	1,9
5	4,47	2,42
6	4,92	2,92
7	5,25	3,42
8	5,72	3,92
9	7,02	3,89
10	7,34	4,42
11	7,7	4,91
12	8,13	5,42
13	8,52	5,92
14	9,8	5,87
15	10,15	6,42
16	10,69	6,92
17	11,29	7,42
18	11,89	7,92
19	12,66	8,42
20	13,23	8,92
21	17,61	8,92
22	22,59	8,42
23	22,9	7,92
24	23,19	7,42
25	23,19	7,42
26	23,27	7,22
27	23,44	7,22
28	23,61	7,22
29	23,69	7,42

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	1,6	0,2
3	3,07	1,92
4	4,07	1,9
5	4,47	2,42
6	4,92	2,92
7	5,25	3,42
8	5,72	3,92
9	7,02	3,89
10	7,34	4,42
11	7,7	4,91
12	8,13	5,42
13	8,52	5,92
14	9,8	5,87
15	10,15	6,42
16	10,69	6,92
17	11,29	7,42
18	11,89	7,92
19	12,58	8,37
20	12,59	8,37
21	13,52	8,41
22	14,0	8,41
23	14,73	8,37
24	16,09	8,3
25	16,37	8,31
26	17,47	8,04

27	17,53	8,01
28	17,56	7,99
29	18,49	7,86
30	18,58	7,86
31	19,61	7,83
32	21,44	7,72
33	21,82	7,67
34	23,15	7,49
35	23,19	7,42
36	23,19	7,42
37	23,27	7,22
38	23,44	7,22
39	23,61	7,22
40	23,69	7,42

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	1,6	0,2
3	6,39	0,39
4	11,64	1,53
5	14,02	2,07
6	17,12	2,73
7	22,16	6,34
8	23,69	7,26

**Vertici strato .....3**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-1,13
2	5,08	-0,81
3	9,21	0,07
4	14,02	1,17
5	17,12	2,73
6	22,16	6,34
7	23,69	7,26

**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 (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	9.81	0	24	15.70	17.70		
2	29.43	0	25	17.65	19.65		
3	49.05	0	30	19.62	21.62		
4	78.48	0	35	19.62	21.62		



**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

Fs minimo individuato	1,92
Ascissa centro superficie	4,5 m
Ordinata centro superficie	14,18 m
Raggio superficie	13,78 m

**xc = 4,50 yc = 14,175 Rc = 13,777 Fs=1,917**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0,51	-9,5	0,52	3,07	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	4,3	7,2
2	0,59	-7,2	0,6	11,18	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	12,5	9,8
3	0,42	-5,1	0,43	10,96	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	11,7	7,5
4	0,58	-3,0	0,58	15,18	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	15,7	10,2
5	0,44	-0,9	0,44	13,94	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	14,1	8,2
6	0,4	0,9	0,4	16,27	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	16,2	8,1
7	0,33	2,4	0,33	16,14	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	15,8	7,2
8	0,48	4,1	0,48	27,15	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	26,4	11,0
9	0,83	6,8	0,83	49,83	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	47,8	19,5
10	0,47	9,5	0,48	27,43	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	26,0	10,9
11	0,32	11,2	0,33	19,87	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	18,7	7,7
12	0,36	12,7	0,37	25,16	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	23,7	9,2
13	0,43	14,4	0,44	32,89	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	31,0	11,5
14	0,38	16,1	0,4	31,79	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	30,0	10,7
15	1,29	19,8	1,37	106,59	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	100,2	36,3
16	0,35	23,4	0,38	28,45	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	26,7	9,9
17	0,53	25,5	0,59	46,56	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	44,0	15,8
18	0,6	28,1	0,69	54,93	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	52,3	18,6
19	0,6	31,0	0,7	55,87	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	53,8	19,0
20	0,26	33,1	0,31	24,32	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	23,6	8,3
21	0,51	35,0	0,63	48,63	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	47,5	16,9
22	0,57	37,8	0,72	54,04	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	53,4	19,3
23	0,44	40,5	0,58	40,08	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	40,0	14,9
24	0,51	43,2	0,7	42,52	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	42,5	16,8
25	0,51	46,2	0,73	37,98	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	37,8	16,4
26	0,51	49,3	0,78	32,92	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	32,1	15,8
27	0,51	52,7	0,84	27,26	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	25,0	15,2
28	0,51	56,4	0,92	20,83	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	16,0	14,4
29	0,51	60,4	1,03	13,4	0,0	0,0	23,54	20,5	0,0	3,6	13,4
30	0,51	65,1	1,21	4,62	0,0	0,0	7,85	19,6	0,0	0,2	5,0

## SEZIONE D – D' (STATO MODIFICATO)

### CONDIZIONE SISMICA

#### Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	43,956058/10,266822
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	4,0
Numero dei conci	30,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
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	-5,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	9,5 m
Ascissa vertice destro superiore xs	25,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	35,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	30,0
Numero di celle lungo y	30,0

#### Coefficienti sismici [N.T.C.]

##### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	35,0 [anni]

##### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	E
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,44	2,5	0,24
S.L.D.	35,0	0,47	2,51	0,24
S.L.V.	332,0	1,18	2,42	0,29
S.L.C.	682,0	1,53	2,39	0,29

##### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,8448	0,2	0,0172	0,0086
S.L.D.	0,9024	0,2	0,0184	0,0092
S.L.V.	2,2656	0,24	0,0555	0,0277
S.L.C.	2,9189	0,24	0,0714	0,0357

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0555
Coefficiente azione sismica verticale	0,0277

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	1,6	0,2
3	3,07	1,92
4	4,07	1,9
5	4,47	2,42
6	4,92	2,92
7	5,25	3,42
8	5,72	3,92
9	7,02	3,89
10	7,34	4,42
11	7,7	4,91
12	8,13	5,42
13	8,52	5,92
14	9,8	5,87
15	10,15	6,42
16	10,69	6,92
17	11,29	7,42
18	11,89	7,92
19	12,66	8,42
20	13,23	8,92
21	17,61	8,92
22	22,59	8,42
23	22,9	7,92
24	23,19	7,42
25	23,19	7,42
26	23,27	7,22
27	23,44	7,22
28	23,61	7,22
29	23,69	7,42

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	1,6	0,2
3	3,07	1,92
4	4,07	1,9
5	4,47	2,42
6	4,92	2,92
7	5,25	3,42
8	5,72	3,92
9	7,02	3,89
10	7,34	4,42
11	7,7	4,91
12	8,13	5,42
13	8,52	5,92
14	9,8	5,87
15	10,15	6,42
16	10,69	6,92
17	11,29	7,42
18	11,89	7,92
19	12,58	8,37
20	12,59	8,37
21	13,52	8,41
22	14,0	8,41
23	14,73	8,37
24	16,09	8,3
25	16,37	8,31
26	17,47	8,04

27	17,53	8,01
28	17,56	7,99
29	18,49	7,86
30	18,58	7,86
31	19,61	7,83
32	21,44	7,72
33	21,82	7,67
34	23,15	7,49
35	23,19	7,42
36	23,19	7,42
37	23,27	7,22
38	23,44	7,22
39	23,61	7,22
40	23,69	7,42

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	1,6	0,2
3	6,39	0,39
4	11,64	1,53
5	14,02	2,07
6	17,12	2,73
7	22,16	6,34
8	23,69	7,26

**Vertici strato .....3**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-1,13
2	5,08	-0,81
3	9,21	0,07
4	14,02	1,17
5	17,12	2,73
6	22,16	6,34
7	23,69	7,26

**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 (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	9.81	0	24	15.70	17.70		
2	29.43	0	25	17.65	19.65		
3	49.05	0	30	19.62	21.62		
4	78.48	0	35	19.62	21.62		

**Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]**

Fs minimo individuato	1,65
Ascissa centro superficie	4,5 m
Ordinata centro superficie	14,18 m
Raggio superficie	13,78 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 = 4,50 yc = 14,175 Rc = 13,777 Fs=1,655**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0,51	-9,5	0,52	3,07	0,17	0,09	23,54	20,5	0,0	4,5	8,4
2	0,59	-7,2	0,6	11,18	0,62	0,31	23,54	20,5	0,0	12,7	11,4
3	0,42	-5,1	0,43	10,96	0,61	0,3	23,54	20,5	0,0	11,8	8,7
4	0,58	-3,0	0,58	15,18	0,84	0,42	23,54	20,5	0,0	15,8	11,8
5	0,44	-0,9	0,44	13,94	0,77	0,39	23,54	20,5	0,0	14,1	9,5
6	0,4	0,9	0,4	16,27	0,9	0,45	23,54	20,5	0,0	16,1	9,4
7	0,33	2,4	0,33	16,14	0,9	0,45	23,54	20,5	0,0	15,8	8,3
8	0,48	4,1	0,48	27,15	1,51	0,75	23,54	20,5	0,0	26,3	12,7
9	0,83	6,8	0,83	49,83	2,77	1,38	23,54	20,5	0,0	47,5	22,6
10	0,47	9,5	0,48	27,43	1,52	0,76	23,54	20,5	0,0	25,7	12,6
11	0,32	11,2	0,33	19,87	1,1	0,55	23,54	20,5	0,0	18,5	8,8
12	0,36	12,7	0,37	25,16	1,4	0,7	23,54	20,5	0,0	23,4	10,6
13	0,43	14,4	0,44	32,89	1,83	0,91	23,54	20,5	0,0	30,6	13,2
14	0,38	16,1	0,4	31,79	1,76	0,88	23,54	20,5	0,0	29,5	12,3
15	1,29	19,8	1,37	106,59	5,92	2,95	23,54	20,5	0,0	98,3	41,7
16	0,35	23,4	0,38	28,45	1,58	0,79	23,54	20,5	0,0	26,1	11,3
17	0,53	25,5	0,59	46,56	2,58	1,29	23,54	20,5	0,0	42,9	18,1
18	0,6	28,1	0,69	54,93	3,05	1,52	23,54	20,5	0,0	50,9	21,2
19	0,6	31,0	0,7	55,87	3,1	1,55	23,54	20,5	0,0	52,2	21,7
20	0,26	33,1	0,31	24,32	1,35	0,67	23,54	20,5	0,0	22,8	9,5
21	0,51	35,0	0,63	48,63	2,7	1,35	23,54	20,5	0,0	45,9	19,3
22	0,57	37,8	0,72	54,04	3,0	1,5	23,54	20,5	0,0	51,4	21,9
23	0,44	40,5	0,58	40,08	2,22	1,11	23,54	20,5	0,0	38,3	16,9
24	0,51	43,2	0,7	42,52	2,36	1,18	23,54	20,5	0,0	40,4	19,0
25	0,51	46,2	0,73	37,98	2,11	1,05	23,54	20,5	0,0	35,6	18,5
26	0,51	49,3	0,78	32,92	1,83	0,91	23,54	20,5	0,0	29,8	17,8
27	0,51	52,7	0,84	27,26	1,51	0,76	23,54	20,5	0,0	22,6	17,0
28	0,51	56,4	0,92	20,83	1,16	0,58	23,54	20,5	0,0	13,4	16,1
29	0,51	60,4	1,03	13,4	0,74	0,37	23,54	20,5	0,0	0,9	14,9
30	0,51	65,1	1,21	4,62	0,26	0,13	7,85	19,6	0,0	-0,9	5,5

*Dott. Paolo Castellani*  
*Dott. Stefano Nastasi*  
*Dott. Damiano Guarguaglini*  
*Dott. Annalisa Fontanelli*  
*Dott. Andrea Castellani*

## **A L L E G A T O 2**

### **Documentazione fotografica del sondaggio geognostico**

*Committente:* COMUNE DI PIETRASANTA

*Località:* VALDICASTELLO - REZZAIO - PIETRASANTA (LU)

## **SONDAGGIO**



*Sondaggio*



*Da mt 0,00 a mt 5,00*



*Committente:* COMUNE DI PIETRASANTA

*Località:* VALDICASTELLO - REZZAIO - PIETRASANTA (LU)

## SONDAGGIO



*Da mt 5,00 a mt 10,00*



*Da mt 10,00 a mt 15,00*