



# COMUNE DI ARCIDOSO

## Provincia di Grosseto



### Interventi di riqualificazione e valorizzazione dell'area "La Fratta" sottostante le Mura del Centro Storico "Lavori di consolidamento statico del versante occidentale"

(Determina n° 87 del 17/09/2025)

#### Progetto Esecutivo



#### 2.RILIEVI SPECIALISTICI E DIAGNOSTICA 2.3 GEOLOGIA/GEOTECNICA/SISMICA

**OGGETTO:**

Relazione Geologica a supporto degli interventi di riqualificazione e valorizzazione dell'area La Fratta sottostante le mura del centro storico - (Zona 5)

Elaborato: 18

Committente: Comune di Arcidosso (GR)

Scala: A4

Il Sindaco : Dott. Jacopo Marini

Data: Novembre 2025

Responsabile Unico del Procedimento: Ing. Simone Savelli

Aggiornamento:

Ingegneria strutturale: Ing. Giousè Gifuni

Revisione:

Geologia e Geotecnica - Geoamiata : Geol. Alessandro Nenci - Geol. Massimo Fanti

Rilievi specialistici :

Progettazione e valutazioni economiche:

File : Elab.18\_GEO.05.pdf



Via Siria, 102 58100 Grosseto



Ing. Arch. Maurizio Di Stefano  
Via Medina 5  
80133 Napoli  
maurizio.distefano@ordingna.it



# COMUNE DI ARCIDOSSO



## RELAZIONE GEOLOGICA A SUPPORTO DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE VALORIZZAZIONE DELL'AREA LA FRATTA SOTTOSTANTE LE MURA CENTRO STORICO - LAVORI DI CONSOLIDAMENTO STATICO DEL VERSANTE OCCIDENTALE

COMMITTENTE: AMM.NE COMUNALE DI ARCIDOSSO

CONSULENTE GEOLOGO: DOTT. GEOL. MASSIMO FANTI

### RELAZIONE GEOLOGICA

NOME FILE: 7215\_Relazione Geologica.doc

Prat. 7215

ELABORATO:

01

| AGG.: | DATA:      | DESCRIZIONE: | AGG.: | DATA: | DESCRIZIONE: |
|-------|------------|--------------|-------|-------|--------------|
| 00    | 04/11/2025 |              |       |       |              |
|       |            |              |       |       |              |
|       |            |              |       |       |              |

## INDICE

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1.      | PREMessa .....  | 3  |
| 2.      | INQUADRAMENTO NORMATIVO E VINCOLISTICO .....  | 5  |
| 3.      | UBICAZIONE.....   | 7  |
| 4.      | INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....  | 8  |
| 5.      | INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....  | 11 |
| 6.      | INQUADRAMENTO IDRAULICO E IDROGEOLOGICO.....  | 13 |
| 7.      | INQUADRAMENTO SISMICO.....  | 15 |
| 8.      | RILIEVO PLANOANLTIMETRICO .....   | 15 |
| 9.      | INDAGINI GEOFISICHE .....   | 16 |
| 9.1.    | INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE P ELABORATO CON TECNICA TOMOGRAFICA .....                            | 16 |
| 9.1.1.  | RISULTATI INDAGINE SISMICA TOMOGRAFICA IN ONDE P .....  | 17 |
| 9.2.    | INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE S ELABORATA CON TECNICA MASW .....                                | 18 |
| 9.2.1.  | RISULTATI INDAGINE SISMICA MASW .....   | 20 |
| 10.     | PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE .....   | 21 |
| 11.     | SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO.....   | 23 |
| 11.1.   | PROVE SPT IN FORO .....   | 23 |
| 11.2.   | PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO .....   | 24 |
| 12.     | RILIEVO GEOMECCANICO DELL'AMMASSO ROCCIOSO .....  | 26 |
| 12.1.   | RAPPRESENTAZIONE DELLA STRATIFICAZIONE E DELLE DISCONTINUITÀ TRAMITE PROIEZIONI<br>STEREOGRAFICHE ..... | 26 |
| 12.1.1. | SCIVOLAMENTO PLANARE.....   | 29 |
| 12.1.2. | SCIVOLAMENTO DI CUNEO .....   | 31 |
| 12.1.3. | RIBALTAMENTO .....  | 32 |
| 12.2.   | CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DI BENIAWSKY .....   | 33 |
| 13.     | MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO .....   | 38 |
| 14.     | VERIFICA DI STABILITÀ' DEL VERSANTE .....   | 41 |
| 14.1.   | REPORT DI CALCOLO IN CONDIZIONE DRENATE .....   | 45 |
| 15.     | CONCLUSIONI .....   | 48 |

## ALLEGATI

ALLEGATO 1 - REPORT PROVE PENETROMETRICHE

ALLEGATO 2 - REPORT STRATIGRAFICI SONDAGGI

ALLEGATO 3 - CERTIFICATO ANALISI DI LABORATORIO GEOTECNICO

TAV. G721525MFAF01 - INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO E VINCOLISTICO

TAV. G721525MFAF02 - MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO E SISMICO



## 1. PREMESSA

Su incarico e per conto dell'Amm.ne Comunale di Arcidosso, è stata redatta la presente relazione geologica di supporto agli "interventi di riqualificazione valorizzazione dell'area La Fratta sottostante mura centro storico - lavori di consolidamento statico del versante occidentale", nel centro abitato di Arcidosso, comune di Arcidosso (Gr).

Il presente studio si è reso necessario per la verifica e la caratterizzazione dell'affioramento roccioso sotto al muro in pietra del terrazzo del ristorante Bastarda Rossa.

Gli interventi in oggetto, ai sensi del D.P.G.R. n. 1/R del 19/01/2022, art. 5 (classi d'indagine geologiche, geofisiche e geotecniche), possono essere inseriti nei casi particolari caratterizzati da contesti geologici rappresentati da ammassi rocciosi affioranti e di opere non a volume, dove non è applicabile il concetto di classe di indagine. Le indagini eseguite sono state eseguite tenendo conto della significatività dell'interazione terreno-struttura.

La relazione si prefigge di stimare le caratteristiche e le alterazioni delle formazioni e dei terreni affioranti, fornendo una valutazione della stabilità generale della zona allo stato attuale e di valutare eventuali processi evolutivi che potrebbero compromettere la sicurezza dei luoghi.

L'indagine, tenuto conto del tipo di studio, si è articolata attraverso le seguenti fasi:

- rilievo laser scanner;
- rilievo dei dati morfologici e geologici in un ambito geologicamente significativo ed esame della situazione idrologica ed idrogeologica;
- determinazione delle caratteristiche litologiche dei terreni di interesse, mediante stime speditive di campagna tipo visivo-comparative, granulari-modali secondo le indicazioni A.G.I.;
- caratterizzazione stratigrafica e geotecnica del terreno attraverso l'analisi delle risultanze emerse dall'esecuzione di n. 4 prove penetrometriche dinamiche medio-leggere, spinte fino al raggiungimento del bedrock o comunque fino al rifiuto strumentale.
- per la definizione del modello geologico-geotecnico sono state considerate anche le risultanze di due sondaggi geognostici, eseguiti precedentemente alla base del tratto di mura oggetto d'indagine;
- rilievo geomecanico della parete rocciosa e caratterizzazione dell'ammasso attraverso la classificazione di Bieniawsky;

- determinazione del modello sismico mediante l'esecuzione di un profilo sismico a rifrazione in onde P elaborato con tecnica tomografica e restituzione 2D, eseguito in parete verticale. Sul medesimo profilo è stata eseguita anche una prova sismica M.A.S.W., necessaria a definire, mediante il valore delle VS<sub>eq</sub>, la categoria sismica del sottosuolo (v. Relazione sismica);
- sintesi ed elaborazione dei dati raccolti secondo i modelli più adatti, con particolare riferimento ed attenzione alla valutazione dell'impatto dell'opera oggetto di realizzazione sul contesto paesaggistico-ambientale della zona;
- studio dei processi morfogenetici e specifico riferimento a dissesti in atto o potenziali e loro eventuali tendenze evolutive;
- consultazione degli strumenti urbanistici del Comune di Arcidosso ed altri strumenti operativi disponibili sul sito della Regione Toscana e dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale;
- elaborati grafici e stesura del rapporto conclusivo.



## 2. INQUADRAMENTO NORMATIVO E VINCOLISTICO

La presente relazione è stata redatta ai sensi delle seguenti norme:

- Legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 Norme per il governo del territorio e ss.mm.ii.;
- D.P.G.R. n. 5/R del 30/01/2020 - Regolamento di attuazione dell'art. 104 della L.R. 65/2014 contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche;
- Delibera n. 31 del 20/01/2020 Regione Toscana - approvazione dell'allegato A, quale parte integrante e sostanziale del presente atto, avente ad oggetto "Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche";
- D.P.G.R.T. 19/01/2022 n. 1/R - Regolamento di attuazione dell'art. 181 della L.R. n. 65/2014 "Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico";
- "Linee guida sulle tipologie e classi di indagini geologiche, geofisiche e geotecniche da allegare al progetto da presentare ai sensi dell'art. 3 del Reg. 1R/2022;
- L.R. n. 41 del 24/07/2018 - Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla L.R. 80/2015 e alla L.R. 65/2014;
- Decreto Ministeriale del 17/01/2018 - Aggiornamento delle "Norme Tecniche sulle Costruzioni";
- Circolare del 21/01/2019 n. 7 C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17/01/2019;
- L.R. n. 58 del 16/10/2009 - Norme in materia di prevenzione e riduzione del rischio sismico;
- L.R. n. 24 del 21/05/2019 - Disposizioni in materia di prevenzione e diminuzione del rischio sismico. Modifiche alla L.R. 58/2009;
- O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e ss.mm.ii. contenente "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per la costruzione in zona sismica";
- O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006 "criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle stesse zone";

- All. al voto n. 36 del 27/07/2007 del C.S. dei LL.PP - Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale;
- Del. G.R.T. n°421 del 26/05/2014 (attuazione Ord. P.C.M. n° 3519 del 28/04/2006 e D.M. 14/01/2007) - Classificazione sismica dei Comuni della Regione Toscana;
- D.M. 11/03/1988 e successive modifiche ed integrazioni, alla Circ. Appl. Min. LL.PP. n. 30483 del 24/9/1988 e tenendo conto della Del. C.P. n. 80 del 30/6/1997;
- AGI Associazione Geotecnica Italiana - Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche (1977).

L'area in oggetto non rientra in quelle sottoposte al Vincolo Idrogeologico ai sensi del R.D.L. n. 3267 del 30/12/1923 (cfr. Tav. G721525MFAF01 - fig. 12); non ricade nemmeno nelle aree sottoposte a Vincolo Paesaggistico ai sensi del D.Lgs. 42/04 (cfr. Tav. G721525MFAF01 - fig. 13).

Dalla consultazione della Carta della Pericolosità Geomorfologica della Variante generale al Piano Strutturale, l'area in esame ricade, ai sensi del D.P.G.R. n. 26/R/2007, in classe G.2 - Pericolosità Geologica Media (cfr. Tav. G721525MFAF01 - fig. 8).

Dalla consultazione della Carta del PGRA, redatta dall'autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, il sito di studio non è interessato da pericolosità idraulica (cfr. Tav. G721525MFAF01 - fig. 11).

Il territorio del Comune di Arcidosso, in base alla Deliberazione GRT n. 421 del 26/05/2014, aggiornamento Deliberazione GRT n. 878 dell'8 ottobre 2012, ricade in classe sismica 3.

### 3. UBICAZIONE

L'area di studio è ubicata in corrispondenza di un tratto di mura sul versante occidentale del paese di Arcidosso. Nello specifico il sito si trova in località La Fratta, nel tratto di mura storiche del paese dove è presente il terrazzo del ristorante la Bastarda Rossa.

Dal punto di vista cartografico l'area in esame ricade:

- Foglio N° 320 Sez. II – Castel del Piano, della nuova cartografia in scala 1: 25.000 dell'IGMI (cfr. Tav. G721525MFAF01 - Fig. 1);
- Carta Tecnica Regionale redatta dalla Regione Toscana Foglio 320110 in scala 1: 10.000 (cfr. Tav. G721525MFAF01 - Fig. 2);
- Catastralmente l'area oggetto di studio è individuabile nel Foglio n. 30 particella n. 320 in scala 1:1.000 del Comune di Arcidosso (cfr. Tav. G721525MFAF01 - Fig. 3).

Di seguito si riportano le coordinate del sito (WGS84):

- Latitudine: 42.871610
- Longitudine: 11.534838



Figura 1 - Foto aerea dell'area di studio (google maps)

## 4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il centro abitato di Arcidosso si sviluppa alle pendici del Monte Amiata, sul versante occidentale. Il monte Amiata costituisce un edificio vulcanico non attivo con pendii irregolari e numerose valli radiali che si sono incise nel tempo.

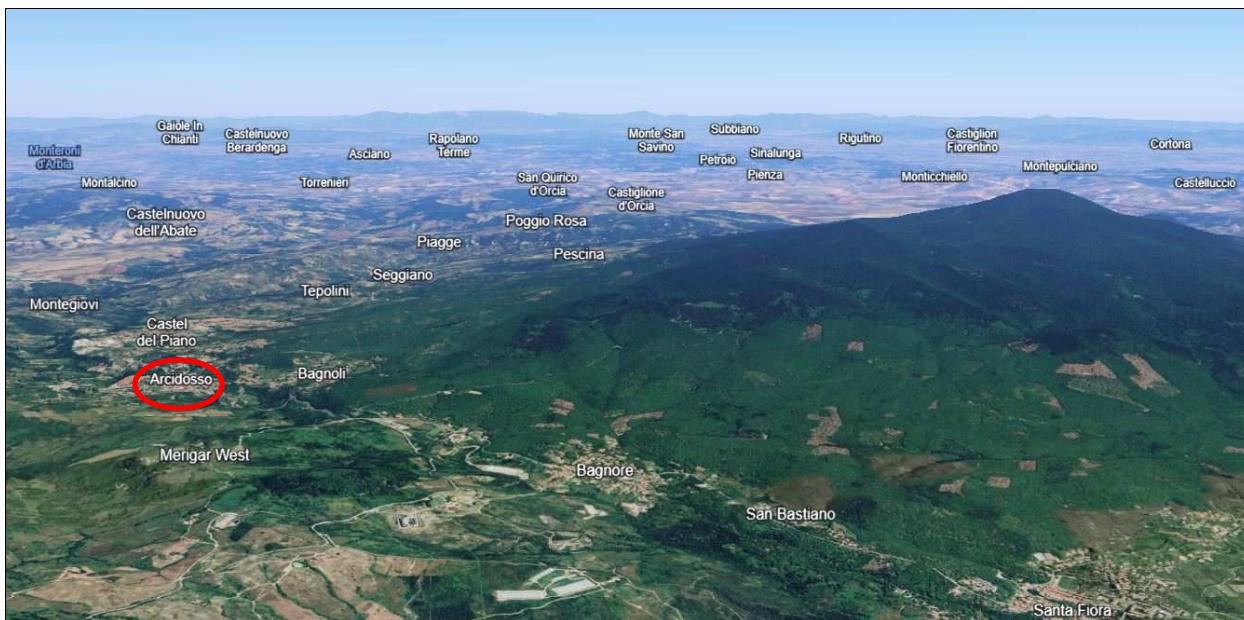


Figura 2 - Foto aerea 3D dell'area di Arcidosso e del Monte Amiata (google earth)

L'area di studio, inserita in un contesto morfologico collinare o di bassa montagna, si trova sulla scarpata occidentale delle mura del centro storico di Arcidosso. La parte sommitale del terrazzo del ristorante si trova ad una quota di  $\approx$  640, mentre il piede della scarpata delle mura si trova ad una quota di  $\approx$  630 s.l.m.; coprendo un dislivello di  $\approx$  10/12 metri.

Nelle vicinanze dell'area d'indagine, è possibile riscontrare la presenza di una serie di rilievi morfologici, che danno origine a dorsali collinari aventi un'orientazione Nord Ovest-Sud Est, caratterizzate dalle formazioni rocciose più resistenti all'azione erosiva degli agenti atmosferici, rappresentate dalla formazione della Pietraforte e delle Vulcaniti.

Durante i sopralluoghi effettuati sul sito di studio non si notano particolari elementi geomorfologici attivi e/o potenziali, il muro, poggiante sull'affioramento roccioso, non presenta segni evidenti o elementi di lesioni o fratture.

Dalla consultazione della Carta Geomorfologica della Variante generale al Piano Strutturale il tratto di mura in esame non risulta interessato da processi e forme di origine gravitativa; la cartografia riporta una frana attiva a valle dell'area interessata dallo studio in oggetto (cfr. Tav. G721525MFAF01 - Fig. 5).

Questo dato è confermato anche dal database geomorfologico della Regione Toscana che comprende anche le frane del progetto IFFI (Inventario dei fenomeni franosi in Italia): l'area presenta una frana di scivolamento rotazionale/traslativo a valle del tratto interessato dallo studio in oggetto.



*Figura 3 - Estratto database geomorfologico della Regione Toscana con indicate le frane del progetto IFFI (in giallo)*

Il sito in esame, secondo la Carta della Pericolosità Geomorfologica della Variante generale al Piano Strutturale, redatto secondo il DPGR 26/R del 27/04/2007, risulta ricadere in classe G.2 - Pericolosità Media, ovvero: *"aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto"*.

Secondo la Mappa PAI dei Dissesti, redatta dall'Autorità di Bacino dell'Appennino Settentrionale (delibera n. 39 del 28 marzo 2024), l'area in oggetto è inserita pericolosità elevata di tipo a - P3a, ovvero: *"Aree potenzialmente instabili interessate da dissesti di natura geomorfologica"* (cfr. Tav. G721525MFAF01 - Fig. 10).

La carta della Pericolosità Geomorfologica del Piano Strutturale Intercomunale, adottato nel 2020 e redatto ai sensi del D.P.G.R. 5/R/2020, riporta il sito di studio in classe di pericolosità geologica G.3 - Elevata (cfr. Tav. G721525MFAF01 - Fig. 9), ovvero: *"aree in cui sono presenti fenomeni franosi quiescenti e relative aree di evoluzione; aree con potenziale instabilità connessa a giacitura, ad acclività,*

*a litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee e relativi processi di morfodinamica fluviale, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da fenomeni di soliflusso, fenomeni erosivi; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geomeccaniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori a 15 gradi”.*

Secondo la cognizione sulle caratteristiche geomorfologiche dell'area in esame, si può concludere che allo stato attuale le condizioni generali di stabilità non sembrano presentare processi o forme gravitative in atto; risulta però la presenza di una frana nell'area subito a valle del tratto di mura in oggetto e una pericolosità G.3 da PAI; quindi, il presente studio sarà rivolto alla verifica della presenza del substrato roccioso su cui appoggiano le mura e alla determinazione delle condizioni di stabilità del versante.



## 5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il sito in esame è ubicato lungo la dorsale Monte Amiata-Montalcino-Razzano ed interessa la porzione occidentale del sistema vulcanico amiatino.

La porzione di territorio interessato dallo studio è costituita in prevalenza da formazioni facenti parte del dominio Ligure e Sub-Ligure a composizione arenacea e calcarenitica.

Gli studi e le indagini svolte nella presente relazione sono estesi all'area direttamente interessata dalle opere e ad un "intorno" comprendente l'unità di territorio individuabile con criteri geologici e geomorfologici, i cui processi evolutivi possano compromettere l'utilizzazione delle opere.

Grazie ad un preliminare rilevamento di campagna, alla consultazione della Carta Geologica della Variante generale al Piano Strutturale del Comune di Arcidosso e dalla consultazione del Database geologico della Regione Toscana (cfr. Tav. G721525MFAF01 - fig. 4), è stato definito il quadro geologico dell'area in esame.

In particolare, è emerso che le unità litostratigrafiche affioranti nell'area sono così denominate:

### DOMINIO LIGURE E SUB-LIGURE

Pietraforte (PFT): costituita da un complesso flyschoide formato da arenarie stratificate con alla testa di ogni singolo membro argilosisti e marnosistici spesso fogliettati. I rapporti quantitativi tra il litotipo arenaceo e gli altri litotipi sono alquanto variabili. Le arenarie si presentano in strati di spessore da qualche centimetro a qualche decimetro, e con caratteri schiettamente lapidei. Costituiscono l'ossatura dei rilievi ad Ovest ed a Sud di Arcidosso, nonché gli speroni rocciosi sui quali sorgono i centri storici di Arcidosso, Montelaterone e Salaiola. Sulla carta sono state distinte le due *facies* essenzialmente per la presenza più o meno preponderante della componente arenacea (*Cretaceo sup.*).

Pietraforte: siltiti-argilliti (PFTc): costituite da argilliti, finemente fogliettate, di colore variabile dall'azzurro al grigio-fango e contenenti abbondanti livelli arenacei. Ai piedi delle scarpate, gli scisti si frantumano in piccole e sottili laminette denominate volgarmente "tischio". Affiorano con continuità sui rilievi compresi tra la valle dell'Ente e quella del Torrente Zancona (*Cretaceo inf.*).

### VULCANITI DEL MONTE AMIATA

Formazione di Quaranta (QRT): Colate laviche clastogeniche colate laviche a blocchi di composizione trachidacitica derivante dal collasso di un mega duomo esogeno. In alcune località mostrano evidenti segni di reomorfismo con caratteristiche marcate di laminazione sin-deposizionale legata al collasso laterale plastico del protoduomo. La formazione presenta una colorazione variabile da grigio chiaro a

rosa, fortemente porfirica con abbondante vetro intergranulare. I fenocristalli raramente presentano habitus euedrale in seguito alla forte frantumazione subita durante la messa in posto delle colate. Sono presenti abbondanti xenoliti metamorfici e sedimentari di varia composizione. La messa in posto del produomo sarebbe avvenuta nella zona assiale del Monte Amiata (*Pleistocene*).

Nel sito di studio affiorano la formazione della Pietraforte nella facies arenacea.



Figura 4 - Affioramento della formazione della Pietraforte

Dalla consultazione della Carta Litotecnica della Variante Generale al Piano Strutturale del Comune di Arcidosso l'area in esame ricade nei "Terreni litoidi stratificati poco caotici" (cfr. Tav. G721525MFAF01 - fig. 7).

## 6. INQUADRAMENTO IDRAULICO E IDROGEOLOGICO

L'area oggetto di studio non è soggetta al Vincolo Idrogeologico ai sensi del R.D.L. 30/12/1923 n. 3267.

In relazione alla Carta del P.G.R.A., redatta dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, il sito di studio non è interessato da pericolosità idraulica.

Anche dalla consultazione della Carta della Pericolosità Idraulica della Variante Generale al Piano Strutturale (Tav.7A), il sito di indagine ricade esternamente dalle aree classificate con pericolosità idraulica

Quindi, in relazione alla posizione morfologica del sito e alle classificazioni di pericolosità determinate dagli strumenti cartografici, non si riscontrano problematiche di fattibilità dell'intervento dal punto di vista idraulico.

Dal punto di vista idrologico è presente, ad Est del sito d'indagine, il Fosso del Giunco, che diventa tombato al di sotto del parcheggio antistante il tratto di mura in oggetto; gli altri due corsi idrici più importanti della zona sono il Torrente Ente e il Fosso Melacce che si congiungono a Nord del centro abitato di Arcidosso.

Tali corsi d'acqua, insieme all'apporto dato dal sistema fognario del paese di Arcidosso, regolano il deflusso idrico delle acque superficiali ricadenti nell'intorno dell'area.

Non si è a conoscenza di fenomeni sorgivi nell'immediato intorno dell'area di indagine. È presente una sorgente non ad uso potabile/acquedottistico in località Madonna Incoronata a circa 250 metri in direzione Sud dal sito in esame.

Non risulta la presenza, nel raggio di m 200 intorno all'area in oggetto di studio, di pozzi o sorgenti utilizzate per l'approvvigionamento di acqua potabile.

La struttura idrogeologica principale dell'area di studio è quella del Bacino del Torrente Zancona (Relazione geologica della variante generale al piano strutturale) caratterizzato dalla formazione della Pietraforte, permeabile per fessurazione e fratturazione, che costituisce il serbatoio poggiante sulla base impermeabile formata dagli argilloscisti.

L'analisi di dettaglio delle formazioni geologiche affioranti nell'intorno dell'area in esame, mette in evidenza un quadro idrogeologico contraddistinto dall'affioramento, alla base delle mura del paese, della formazione della Pietraforte, avente una permeabilità secondaria variabile da valori medio-bassi a valori medio-alti e dipendenti dal grado di alterazione e fratturazione della roccia (cfr. Tav. G721525MFAF01 - fig. 6). L'area di studio è inserita all'interno dell'area urbana di Arcidosso e di

conseguenza si assume un valore di permeabilità molto bassa (v. Tav. GEO.03.04C – Carta Idrogeologica del Piano Strutturale Intercomunale - Adottato 2020 - dell’Unione dei comuni montani Amiata Grossetana).

Tenuto conto della natura dell’ammasso roccioso (facies arenacea della Pietraforte), del suo stato di alterazione e fratturazione (permeabilità secondaria), è possibile ipotizzare una buona circolazione idrica sotterranea anche se limitata nel tempo, localizzata lungo le discontinuità, che costituiscono, nel sottosuolo, un reticolo di vuoti e spazi intercomunicanti tra loro.

Le prove penetrometriche, eseguite sul terrazzo del ristorante e che hanno interessato il primo spessore di materiale di copertura della roccia, eterogeneo e a struttura caotica, non hanno evidenziato la presenza d’acqua all’interno del foro.

Non si esclude però la presenza di una debole circolazione idrica nello spessore superficiale a composizione prevalentemente granulare, specialmente nei periodi più piovosi dell’anno.

Dalla consultazione della Carta delle problematiche Idrogeologiche-vulnerabilità della Falda della Variante Generale al Piano Strutturale (Tav. 8A), l’area in oggetto ricade in classe di vulnerabilità media: “Arenarie con risorsa idrica con medio grado di protezione”. Secondo la carta delle problematiche idrogeologiche del PSI adottato 2020, il sito di progetto, in relazione alla formazione geologica affiorante, è caratterizzato da un grado di vulnerabilità media; però, essendo all’interno di aree urbane, il suo grado di vulnerabilità può essere definito molto basso (Tav. GEO.03.05C).



## 7. INQUADRAMENTO SISMICO

Il territorio del Comune di Arcidosso, in base alla Deliberazione GRT n. 421 del 26/05/2014, aggiornamento Deliberazione GRT n. 878 dell'8 ottobre 2012, ricade in classe sismica 3 ( $0,125 < Ag/g < 0,15$ ).

Dalla consultazione della carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica di livello 1, secondo lo Studio di Microzonazione Sismica della Regione Toscana – Comune di Arcidosso, il sito di studio ricade all'interno delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (cfr. Tav. G721525MFAF01 - fig. 14); nello specifico rientra nella zona 2007, ovvero: aree nelle quali è presente un substrato rappresentato dai litotipi appartenenti alla Pietraforte o alla facies calcareo - argillitica dell'Unità di Canetolo (SFALS), coperti da un sottile spessore, inferiore a 5 metri, riferibile alla coltre di alterazione del substrato. Le possibili amplificazioni sono dovute alla fratturazione del substrato. Questa zona comprende le aree con versanti con pendenza superiore a 15°.

Questo dato conferma quanto è scaturito dalle indagini geognostiche eseguite nel sito di progetto, dove si evidenzia uno strato superficiale di materiale variamente addensato che ricopre, per uno spessore di circa 5/7 metri, la formazione rocciosa della Pietraforte.

## 8. RILIEVO PLANOANTIMETRICO

Il rilievo dello stato attuale è stato eseguito con tecnologia laserscanner SLAM, al fine di ottenere una pointcloud precisa e dettagliata dalla quale estrarre sezioni particolareggiate della scarpata (cfr. Tav. G721525MFAF02 - fig.1).

La pointcloud è stata acquisita con un laserscanner BLKARC e georiferita tramite l'utilizzo di target topografici al sistema di coordinate assolute WGS84-UTM piane.

La posizione dei target topografici è stata invece acquisita con strumentazione GPS "CHC i89" in modalità VRS (Virtual Remote Station) per essere poi calibrata sul sistema di coordinate assolute WGS84-UTM piane.

L'estrazione delle sezioni e, ove ritenuto opportuno, la digitalizzazione della pointcloud è avvenuta con l'utilizzo di specifico software regolarmente concessionato alla scrivente.

## 9. INDAGINI GEOFISICHE

Per la determinazione delle caratteristiche sismiche delle formazioni geologiche presenti nell'area di studio e per determinare la sismostratigrafia del versante in oggetto, è stata eseguita una prospezione sismica. L'indagine sismica ha avuto lo scopo di fornire anche un adeguato supporto conoscitivo per ciò che concerne la valutazione della stabilità del in situ.

In particolare è stato eseguito un profilo sismico a rifrazione in onde P elaborato con tecnica tomografica e restituzione 2D. Lungo lo stesso stendimento è stata effettuata anche una prova MASW necessaria a definire, mediante il valore delle VSeq, la categoria sismica del sottosuolo (cfr. Tav. G721525MFAF02 - fig. 1).

Il profilo sismico è stato eseguito sulle mura occidentali del centro storico: i geofoni sono stati disposti partendo dal terrazzo del ristorante la Bastarda Rossa e da qui lungo la parete verticale delle mura per poi svilupparsi, nel tratto terminale, lungo il prato antistante il parcheggio.

Per una migliore rappresentazione geometrica e spaziale dell'area è stato eseguito un rilievo laser scanner dal quale è stato possibile generare un modello tridimensionale dettagliato (v. Cap. 8). Questo modello ha permesso di riprodurre, con estrema precisione, la planimetria e la sezione del profilo sismico eseguito.

L'indagine sismica ha permesso di analizzare i seguenti fattori:

- rappresentazione del sottosuolo con un modello di distribuzione della velocità delle onde di compressione "P".
- successione e disposizione dei terreni nel sottosuolo secondo un criterio puramente geofisico.

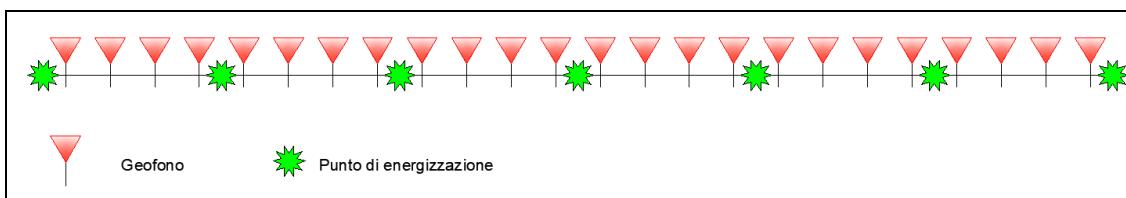
### 9.1. INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE P ELABORATO CON TECNICA TOMOGRAFICA

Lo scopo della prova consiste nel determinare il profilo di rigidezza del sito attraverso la misura della velocità di propagazione delle onde di compressione (Vp), secondo fasi d'acquisizione differenti e determinare le geometrie sepolte (spessori e superfici di contatto) dei sismo-strati individuati.

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, lungo il profilo da indagare, delle sollecitazioni dinamiche verticali per la generazione delle onde P, a distanze note e prefissate mediante sensori a componente verticale (geofoni).

Le indagini sono state condotte con strumentazione apposita per rilievi sismici e possono essere riassunte con le seguenti caratteristiche tecniche:

- sismografo *Geometrics Geode* 24 canali 24 bit;
- numero geofoni attivi: 24;
- spaziatura dei geofoni: 2.5 metri;
- frequenza geofoni: 4.5 Hz;
- spaziatura dei tiri: 10 metri;
- sorgente: massa battente da 6.0 kg.
- Numero di energizzazioni 7 (5 interne e 2 esterne)



*Figura 5 - Rappresentazione schematica di array sismico a rifrazione*

Dai sismogrammi registrati con il rilievo sismico eseguito con le caratteristiche sopra citate si ricavano i tempi di “primo arrivo” dell’onda sismica.

I tempi sismici delle onde P sono stati elaborati con metodologia tomografica che prevede la suddivisione dello spazio bidimensionale in celle quadrate o rettangolari secondo una maglia prefissata, con l’attribuzione ad ognuna di un determinato valore di velocità sismica.

Nell’elaborazione il programma di calcolo determina il tempo di transito ipotizzando dei valori di velocità sismica per ogni cella, tale processo cessa quando si raggiunge la minore discordanza tra i tempi calcolati e i tempi sismici sperimentali misurati sui sismogrammi.

Il modello sismico derivato da tale processo, detto inverso, permette di ottenere una sezione in due dimensioni che ci consente di poter effettuare un’interpretazione per definire un assetto stratigrafico in base alla velocità sismica e al gradiente di velocità.

#### **9.1.1. RISULTATI INDAGINE SISMICA TOMOGRAFICA IN ONDE P**

L’indagine sismica tomografica in onde P ha permesso di ricostruire il gradiente di velocità delle onde di compressione delle formazioni geologiche presenti lungo l’allineamento dei geofoni.

Lungo i profili sono stati riconosciuti n. 3 sismo-strati distinti nel modo seguente:

- 1° sismo-strato =  $400 < V_p \text{ (m/s)} < 800$  con  $V_p$  medio = 600 m/s corrispondente al terreno superficiale probabilmente di riporto e/o di disfacimento della roccia con spessore massimo di circa 6/8 metri;

- 2° sismo-strato =  $800 < V_p \text{ (m/s)} < 1200$  con  $V_p$  medio = 1000 m/s probabilmente corrispondente, da un punto di vista litologico, alla porzione fratturata e disgregata dell'ammasso roccioso.
- 3° sismo-strato =  $V_p > 1200 \text{ (m/s)}$  corrispondente da un punto di vista litologico al substrato roccioso della Formazione della Pietraforte integro o poco fratturato.

Quindi, la formazione rocciosa, nell'area di indagine, risulta in parte ricoperta da terreni di riempimento antropico e/o da depositi superficiali.

Questi terreni, probabilmente, hanno colmato l'area di scarpata per la realizzazione del terrazzo del ristorante la Bastarda Rossa, sostenuto dal muro antistante, oppure rappresentano la porzione di disfacimento della formazione rocciosa della Pietraforte.

Le velocità delle onde sismiche della roccia, nella parte affiorante, risultano piuttosto contenute, rappresentative quindi di una porzione alterata.

## 9.2. INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE S ELABORATA CON TECNICA MASW

Il metodo d'indagine attivo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è basato sullo studio spettrale delle onde superficiali presenti in un sismogramma realizzato per mezzo di un'energizzazione sismica artificiale (*Nazarian e Stokoe, 1984; Park et al., 1999*).

Lo scopo della prova MASW è quello di ricostruire il profilo di rigidezza del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie di Rayleigh con un successivo processo d'inversione, attraverso il quale è fornita una stima indiretta della distribuzione delle onde  $V_s$  (velocità di propagazione delle onde di taglio).

La prova consiste nel produrre in un punto sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione dinamica verticale e nel registrare tramite uno stendimento lineare di sensori le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

L'indagine è stata condotta con strumentazione apposita per rilievi sismici e può essere riassunta con le seguenti caratteristiche tecniche:

- sismografo *Geometrics Geode* 24 canali 24 bit;
- numero geofoni attivi: 24;
- spaziatura dei geofoni: m 2.5;
- lunghezza stesa sismica: m 60;
- frequenza geofoni: 4.5 Hz;
- sorgente: massa battente da 6.0 kg.



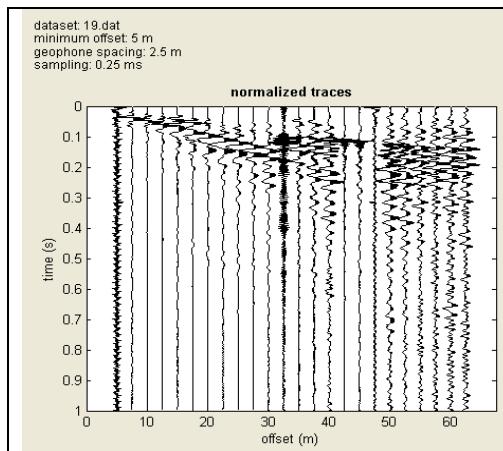
*Figura 6 - Rappresentazione schematica di array per acquisizione di MASW su stesa PS4*

La metodologia MASW consente di eseguire un'analisi dei dati sismici in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della velocità delle onde S e di definire il parametro  $VS_{eq}$ , utile per la classificazione dei terreni nelle categorie di suolo con metodo semplificato da utilizzare per la descrizione dell'azione sismica in situ.

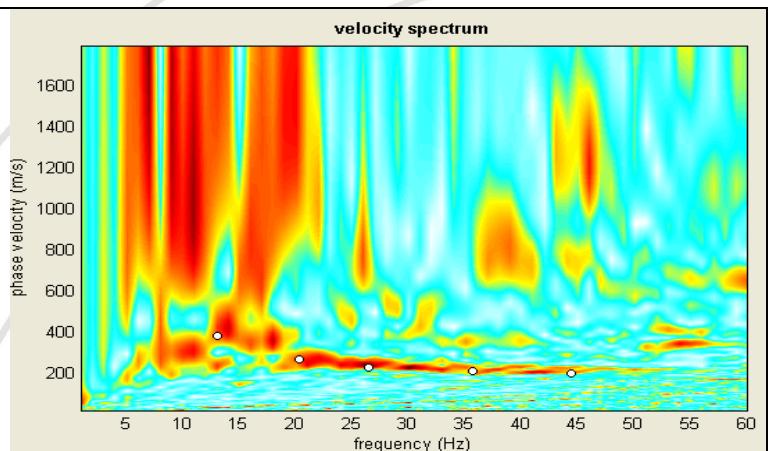
Il profilo verticale delle velocità sismiche delle onde S è ottenuto tramite l'inversione (considerando tanto il modo fondamentale che quelli superiori) delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh. Ottenuto il sismogramma si determina lo spettro di velocità sul quale si identifica la curva di dispersione.

Il profilo verticale di Vs si ottiene con l'inversione della curva di dispersione precedentemente "piccata". Tale inversione è eseguita tramite l'utilizzo di algoritmi genetici che consentono di ottenere soluzioni affidabili ed una stima dell'attendibilità del modello ricavato in termini di deviazione standard.

L'operazione d'inversione è ottimizzata definendo uno spazio di ricerca i cui confini sono definiti da valori di Vs e spessori all'interno dei quali si cerca la soluzione. Tali assunzioni sono fatte sulla base delle conoscenze geologiche del sito e delle informazioni derivate dalla sismica a rifrazione.



*Figura 7 - sismogramma*



*Figura 8 - Spettro di velocità e picking*

Una volta fissati i limiti minimi e massimi dello spazio di ricerca, sono quindi impostati i parametri genetici che definiscono sia il numero di individui (ossia il numero di modelli che costituiscono la popolazione che si evolverà verso soluzioni sempre migliori), sia il numero di generazioni al passare delle quali sono esplorati modelli sempre migliori.

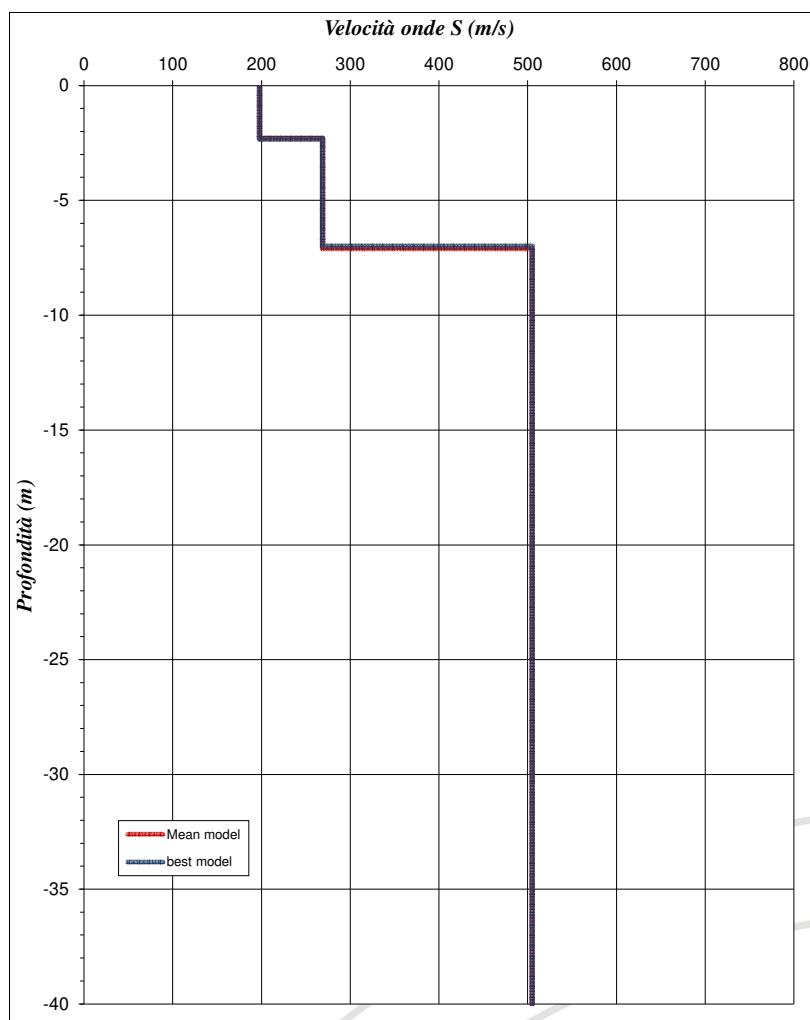


Figura 9 - Modello interpretativo ottenuto dalla prova MASW effettuata in situ

### 9.2.1. RISULTATI INDAGINE SISMICA MASW

L'interpretazione delle prove MASW, relativa alle onde S, ha reso evidente le seguenti successioni:

| PROVA MASW                  |                          |                             |                          |                          |                          |
|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Best model                  |                          | Mean model                  |                          |                          |                          |
| Profondità da P.C<br>(m)    | Velocità Onde S<br>(m/s) | Profondità da P.C<br>(m)    | Velocità Onde S<br>(m/s) | Profondità da P.C<br>(m) | Velocità Onde S<br>(m/s) |
| 0                           | 2.3                      | 0                           | 198                      | 2.3                      | 198                      |
| 2.3                         | 6.9                      | 2.3                         | 269                      | 7.1                      | 269                      |
| 6.9                         | 40                       | 7.1                         | 505                      | 40                       | 505                      |
| $V_{seq} = 402 \text{ m/s}$ |                          | $V_{seq} = 401 \text{ m/s}$ |                          |                          |                          |

Tabella 1 - Modello sismostratigrafico elaborazione MASW

La prova MASW realizzata evidenzia che l'area in esame può essere collocata, secondo la normativa italiana, in **classe B**.

## 10. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Nel sito di progetto, sul terrazzo del ristorante la Bastarda Rossa, sono state eseguite n. 4 prove dinamiche medio-leggere (v. Allegato 1) per la definizione delle caratteristiche del terreno alle spalle delle mura (cfr. Tav. G721525MFAF02 - fig. 1).

Per la logistica di accesso all'area di studio è stato utilizzato un penetrometro medio-leggero (GeoDeepDrill DM30).

La prova penetrometrica dinamica medio-leggera consiste nel far cadere da un'altezza di 0.2 m, una massa di circa 30 Kg su una batteria di aste su cui è montata una punta chiusa, misurando il numero di colpi che servono ad infiggere un tratto di cm 10 di aste, fino a raggiungere la profondità di rifiuto all'avanzamento, che si ha quanto si raggiungono più di 50 colpi per infiggere i cm 10 di asta.

Le prove, rispetto al piano del pavimento del terrazzo del ristorante hanno raggiunto le seguenti profondità:

- DM1 - m 4.0 (rifiuto)
- DM2 - m 2.5 (rifiuto)
- DM3 - m 3.5 (rifiuto)
- DM4 - 2.6 m (rifiuto)

Il rifiuto strumentale (superamento del numero di colpi) che ha interrotto le prove penetrometriche è dovuto, con buona probabilità, al rinvenimento del livello litoide della roccia nella porzione fratturata e alterata (livello B).

Dall'elaborazione e dall'interpretazione delle prove possiamo indicare che la porzione superficiale del versante retrostante alle mura è interessata dalla presenza di terreni di riporto/riempimento eterogenei che si estendono per una profondità compresa tra m 2.5 a m 4.0 dal piano di calpestio del pavimento del terrazzo (livello A).

La composizione del livello superficiale è prevalentemente granulare, quindi, le elaborazioni sono state eseguite considerando i valori per i terreni incoerenti. Nonostante ciò, per una completa caratterizzazione, sono stati determinati anche i valori della coesione non drenata ( $C_u$ ), questi valori sono stati presi in maniera molto cautelativa e a favore della sicurezza.

Il numero di colpi nel tratto di terreno eterogeneo presenta delle oscillazioni che si estendono tra i 5 e i 20/25 colpi. Nell'interpretazione, in maniera cautelativa e a favore della sicurezza, non sono stati considerati i passaggi con numero di colpi > a 15.

Dall'interpretazione del numero dei colpi sono stati definiti i parametri geotecnici dei terreni individuati.

Per l'elaborazione è stato utilizzato il software Dynamic Probing di Geostru.

| Prova penetrometrica DM1 |         |                  |                  |        |                    |                    |                    |    |
|--------------------------|---------|------------------|------------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|----|
| Livello                  | Prof.   | $\gamma$         | $\gamma_{sat}$   | $\phi$ | Cu                 | Med                | My                 | Dr |
|                          | m.p.c.  | t/m <sup>3</sup> | t/m <sup>3</sup> | °      | Kg/cm <sup>2</sup> | Kg/cm <sup>2</sup> | Kg/cm <sup>2</sup> | %  |
| A                        | 0.0-3.9 | 1.40             | 1.87             | 22.3   | 0.16               | 35                 | 31                 | 18 |
| B                        | 3.9-4.0 | 1.76             | 2.10             | 38     | 1.37               | 104                | 300                | 90 |

*Non è stata rilevata la presenza di acqua nel foro di prova*

| Prova penetrometrica DM2 |         |                  |                  |        |                    |                    |                    |    |
|--------------------------|---------|------------------|------------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|----|
| Livello                  | Prof.   | $\gamma$         | $\gamma_{sat}$   | $\phi$ | Cu                 | Med                | My                 | Dr |
|                          | m.p.c.  | t/m <sup>3</sup> | t/m <sup>3</sup> | °      | Kg/cm <sup>2</sup> | Kg/cm <sup>2</sup> | Kg/cm <sup>2</sup> | %  |
| A                        | 0.0-2.4 | 1.4              | 1.87             | 23     | 0.16               | 36                 | 32                 | 18 |
| B                        | 2.4-2.5 | 1.76             | 2.1              | 38     | 1.37               | 105                | 300                | 70 |

*Non è stata rilevata la presenza di acqua nel foro di prova*

| Prova penetrometrica DM3 |         |                  |                  |        |                    |                    |                    |    |
|--------------------------|---------|------------------|------------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|----|
| Livello                  | Prof.   | $\gamma$         | $\gamma_{sat}$   | $\phi$ | Cu                 | Med                | My                 | Dr |
|                          | m.p.c.  | t/m <sup>3</sup> | t/m <sup>3</sup> | °      | Kg/cm <sup>2</sup> | Kg/cm <sup>2</sup> | Kg/cm <sup>2</sup> | %  |
| A                        | 0.0-3.4 | 1.39             | 1.87             | 22.2   | 0.14               | 34.5               | 27                 | 16 |
| B                        | 3.4-3.5 | 1.76             | 2.1              | 38     | 1.37               | 105                | 300                | 70 |

*Non è stata rilevata la presenza di acqua nel foro di prova*

| Prova penetrometrica DM4 |         |                  |                  |        |                    |                    |                    |    |
|--------------------------|---------|------------------|------------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|----|
| Livello                  | Prof.   | $\gamma$         | $\gamma_{sat}$   | $\phi$ | Cu                 | Med                | My                 | Dr |
|                          | m.p.c.  | t/m <sup>3</sup> | t/m <sup>3</sup> | °      | Kg/cm <sup>2</sup> | Kg/cm <sup>2</sup> | Kg/cm <sup>2</sup> | %  |
| A                        | 0.0-2.5 | 1.39             | 1.87             | 22.6   | 0.14               | 35                 | 28                 | 17 |
| B                        | 2.5-2.6 | 1.76             | 2.1              | 38     | 1.37               | 105                | 300                | 70 |

*Non è stata rilevata la presenza di acqua nel foro di prova*

$\gamma$  = peso di volume;  $\gamma_{sat}$  = peso di volume saturo;  $\phi$  = angolo di attrito; Cu = coesione non drenata;

Med = modulo edometrico; My = modulo di Young; Dr=densità relativa

## 11. SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

Per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica del sottosuolo alla base delle mura, sono stati utilizzati i risultati ottenuti da due sondaggi a carotaggio continuo eseguiti precedentemente in prossimità dell'aria di intervento (cfr. Tav. G721525MFAF02 - fig. 1).

Il sondaggio denominato S1\_2025 è stato eseguito alla base delle mura oggetto di studio ed ha raggiunto la profondità di m 15.0 dal p.c..

Il sondaggio denominato S1\_2021 è stato eseguito in prossimità del prato antistante l'area di parcheggio ed ha raggiunto la profondità di m 15.0 dal p.c..

Mediante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo, è stato possibile ottenere:

- una precisa stratigrafia del sottosuolo (v. Allegato 2)
- verificare la presenza della falda (v. Allegato 2)
- una caratterizzazione geotecnica dei terreni, attraverso l'esecuzione di prove SPT in foro e mediante il prelievo di un campione di terreno indisturbato sottoposto a prove geotecniche di laboratorio (v. Allegato 3)

Durante l'esecuzione della perforazione è stato possibile quindi ricostruire l'assetto stratigrafico del sottosuolo alla base delle mura del paese di Arcidosso, in prossimità del sito di studio.

Dai risultati ottenuti possiamo osservare la presenza, nella porzione superficiale, di terreni di riporto eterogenei e a struttura caotica: costituiti per la maggior parte da sabbie limose e limi argillosi con inclusi e blocchi di arenaria e talvolta con sfridi edili di laterizio anche di grandi dimensioni.

Al di sotto di questo spessore si rinviene la roccia arenaria calcarea fratturata che aumenta di compattezza con la profondità.

Nelle stratigrafie dei sondaggi, spinti fino alla profondità di 15.0 m da p.c., non è stato misurato il livello dell'acqua nel foro ma comunque si può escludere la presenza della falda negli orizzonti stratigrafici più superficiali.

### 11.1. PROVE SPT IN FORO

Le prove penetrometriche dinamiche SPT in foro consistono nel far cadere, con un ritmo di 20/25 colpi al minuto, una massa di 63.5 Kg da un'altezza di cm 76.2 (standard europeo) su una batteria di aste che possiedono nella parte terminale un campionatore cilindrico con apertura di cm 3.6, nel nostro caso è stato utilizzato il campionatore a punta chiusa.

Per quanto concerne le aste nello standard europeo hanno le seguenti caratteristiche:

- diametro interno: mm 34.1;
- diametro esterno: mm 43.7;
- peso: circa Kg 6 per metro;

La prova viene eseguita sul fondo del foro di sondaggio infiggendo il campionatore per cm 45, misurando il numero di colpi necessari all’infissione per ognuno dei tre tratti di cm 15.

Al fine di poter ricavare i parametri geotecnici più appropriati si tiene conto dei colpi relativi agli ultimi cm 30 di infissione (il primo tratto di cm 15 rappresenta l’infissione preliminare necessaria per superare il tratto carotato di terreno).

Nel sondaggio S1\_2025 sono state eseguite due prove SPT alle profondità di m 1.85 e a m 3.45 da p.c., all’interno del terreno di riporto.

Nel sondaggio S1\_2021 sono state eseguite due prove SPT alle profondità di m 2.65 e a m 6.25 da p.c., all’interno del terreno di riporto.

Di seguito si riportano i valori dei parametri fisico-mecanici dei terreni indagati, ricavati dall’elaborazione delle prove SPT eseguite nei fori di sondaggio:

| Sondaggio S1_2025 |              |    |      |                    |                    |                  |                  |
|-------------------|--------------|----|------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|
| Profondità        | Numero colpi | Dr | ϕ    | Med                | My                 | γ                | γ <sub>sat</sub> |
|                   |              | %  | °    | Kg/cm <sup>2</sup> | Kg/cm <sup>2</sup> | t/m <sup>3</sup> | t/m <sup>3</sup> |
| SPT1 - m 1.85     | 5            | 21 | 23.8 | 38                 | 40                 | 1.41             | 1.88             |
| SPT2 - m 3.45     | 18           | 48 | 27.4 | 64                 | 144                | 1.57             | 1.98             |

| Sondaggio S1_2021 |              |    |      |                    |                    |                  |                  |
|-------------------|--------------|----|------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|
| Profondità        | Numero colpi | Dr | ϕ    | Med                | My                 | γ                | γ <sub>sat</sub> |
|                   |              | %  | °    | Kg/cm <sup>2</sup> | Kg/cm <sup>2</sup> | t/m <sup>3</sup> | t/m <sup>3</sup> |
| SPT1 - m 1.85     | 20           | 51 | 28   | 68                 | 160                | 1.60             | 1.99             |
| SPT2 - m 3.45     | 11           | 35 | 23.3 | 50                 | 88                 | 1.49             | 1.93             |

## 11.2. PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

Durante l’esecuzione del sondaggio S1\_2021 è stato prelevato un campione indisturbato di terreno e sottoposto ad analisi di laboratorio geotecnico.

Il campione è stato prelevato alla quota di m 1.0 dal p.c., nella porzione superficiale del terreno di riporto ed è stato sottoposto alle seguenti prove di laboratorio (v. Allegato 3):

- CARATTERISTICHE FISICHE DEL CAMPIONE
- LIMITI DI ATTERBERG
- PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)

### CARATTERISTICHE FISICHE DEI TERRENI

Di seguito si riportano in formato tabellare i parametri relativi alle proprietà fisiche dei terreni analizzati:

| campione  | peso di volume naturale t/m <sup>3</sup> | peso di volume secco t/m <sup>3</sup> | peso di volume saturo t/m <sup>3</sup> | indice dei vuoti | porosità % | grado di saturazione % | Contenuto naturale d'acqua % |
|-----------|--|---------------------------------------|--|------------------|------------|------------------------|------------------------------|
| S1C1_2021 | 2.03                                     | 1.70                                  | 2.05                                   | 0.55             | 35.4       | 95.1                   | 19.8                         |

### LIMITI DI ATTERBERG

Di seguito si riporta la sintesi dei risultati:

| Campione | Umidità naturale (%) | Limite Liquido (%) | Limite Plasticò (%) | Indice di plasticità (%) | Indice di consistenza | Classificazione di Casagrande |
|----------|----------------------|--------------------|---------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| S1C1     | 19.8                 | 34                 | 17                  | 17                       | 0.8                   | CL                            |

### PROVA DI TAGLIO DIRETTO - CD

Dai grafici relativi all'inviluppo di rottura, sono stati ricavati i seguenti valori di  $c'$  e  $\phi'$  relativi ai campioni:

| CAMPIONE  | $\phi'$ (°) | $c'$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------|-------------|----------------------------|
| S1C1_2021 | 32          | 0.08                       |

## 12. RILIEVO GEOMECCANICO DELL'AMMASSO ROCCIOSO

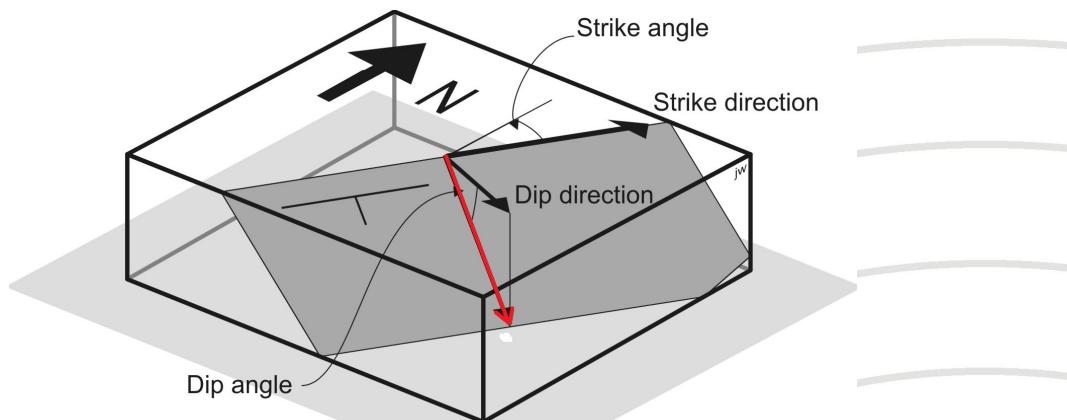
### 12.1. RAPPRESENTAZIONE DELLA STRATIFICAZIONE E DELLE DISCONTINUITÀ TRAMITE PROIEZIONI STEREOGRAFICHE

Al fine di valutare la stabilità geo-strutturale della Formazione litoide affiorante, è stato eseguito un rilievo geomeccanico della parete rocciosa oggetto di studio. L'affioramento in esame, da un rilievo in situ, presenta una lunghezza di circa 10 m ed un'altezza di circa 4 m.

L'arenaria della formazione della Pietraforte (PTF) da un'analisi visiva appare di colorazione marrone ocre su superficie alterata e con tonalità marrone scuro su affioramento integro.

L'ammasso appare pervaso da una rete di discontinuità litologiche che sono state identificate, misurate e classificate in n. 4 famiglie.

Le misure sono state effettuate con metodo *"dip and dip direction"*; ovvero è stata misurata la direzione dello strato, l'angolo di inclinazione e la direzione di immersione.



*Figura 10 - Manipolazione dei vettori secondo le coordinate sferiche*

L'affioramento è caratterizzato da un aspetto massivo, la superficie di strato ( $S_0$ ) è comunque riconoscibile attraverso la gradazione granulometrica verticale che caratterizza la genesi della formazione in oggetto; tale deposizione di tipo torbiditico è caratterizzato nella prima fase da sedimentazione di depositi grossolani alla base (sabbie medie), e deposizione nelle successive fasi di depositi a granulometria sempre inferiore fino a diventare pelitico al tetto (limi-argille).

La successiva dislocazione fragile e fragile-duttile che ha coinvolto tale formazione, ha dato origine a diverse famiglie di discontinuità ( $F_1-F_2-F_3$ ) rappresentate graficamente nella figura 11 e con indicazione dei dati di immersione e inclinazione presenti in tabella 2.



*Figura 11 - Scatto del 22/01/24 della parete rocciosa con individuazione della stratificazione (S0 in blu) e delle famiglie di discontinuità (F1 in rosso - F2 in ciano - F3 in arancione)*

| STRATIFICAZIONE<br>S <sub>0</sub> |                     | 1° SISTEMA DI<br>FRATTURAZIONE F <sub>1</sub> |                     | 2° SISTEMA DI<br>FRATTURAZIONE F <sub>2</sub> |                     | 3° SISTEMA DI<br>FRATTURAZIONE F <sub>3</sub> |                     |
|-----------------------------------|---------------------|---|---------------------|---|---------------------|---|---------------------|
| Immersione<br>(N)                 | Inclinazione<br>(°) | Immersione<br>(N)                             | Inclinazione<br>(°) | Immersione<br>(N)                             | Inclinazione<br>(°) | Immersione<br>(N)                             | Inclinazione<br>(°) |
| 90                                | 15                  | 60  | 65                  | 210   | 65                  | 170   | 75                  |

*Tabella 2 - Misure di strato e di fratturazione sulla situazione geomecanica analizzata*

Per la ricostruzione dei possibili modelli di rottura delle scarpate rocciose si può rappresentare l'orientazione spaziale delle discontinuità misurate tramite le proiezioni stereografiche.

Le proiezioni stereografiche consentono una rapida ed efficace rappresentazione grafica dei dati di orientazione spaziale delle discontinuità che condizionano la stabilità dei versanti in roccia.

Tale rappresentazione è stata riprodotta tridimensionalmente attraverso un software specifico, potendo così analizzare il modello che approssima i piani di scivolamento e/o ribaltamento. In questo modo si è potuto ricavare informazioni importanti sulle orientazioni delle discontinuità potenzialmente instabili.

Di seguito si riportano le proiezioni stereografiche della stazione di misura con visuali 2D e 3D dei piani misurati.

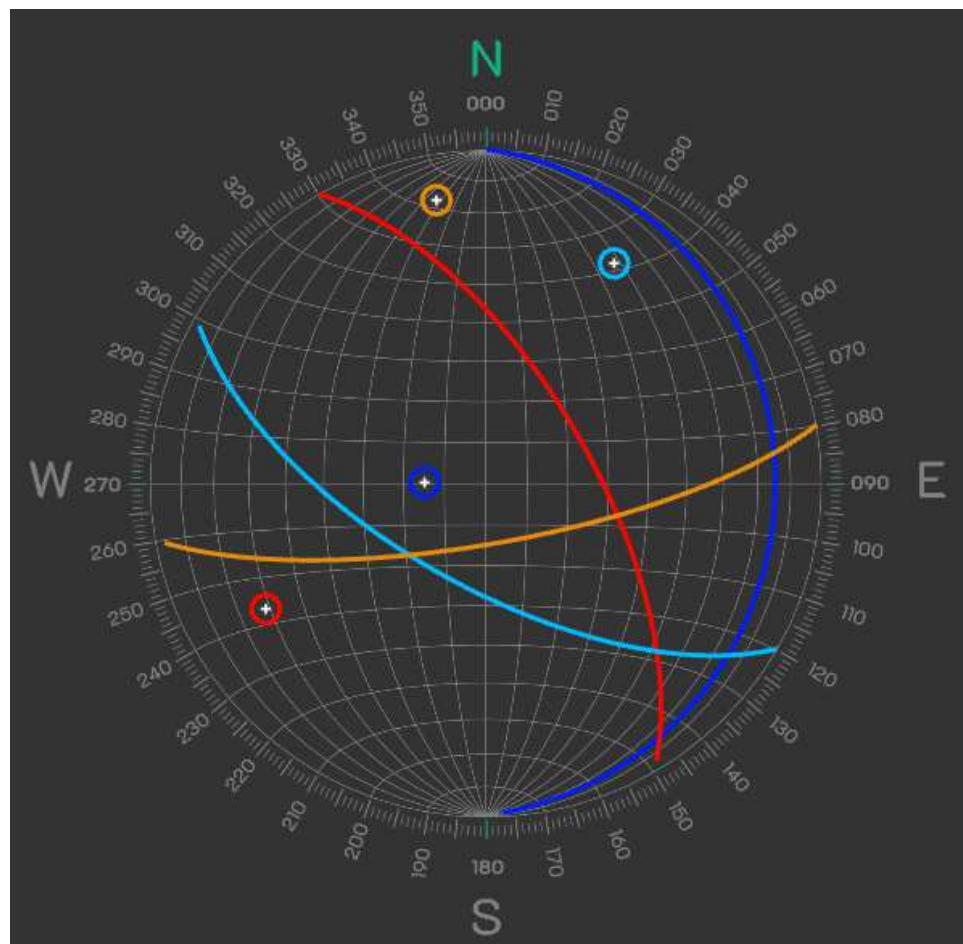


Figura 12 - Rappresentazione stereonet 2D della S<sub>0</sub>(blu) - F<sub>1</sub>(Rosso) - F<sub>2</sub>(Ciano) - F<sub>3</sub>(Arancione)

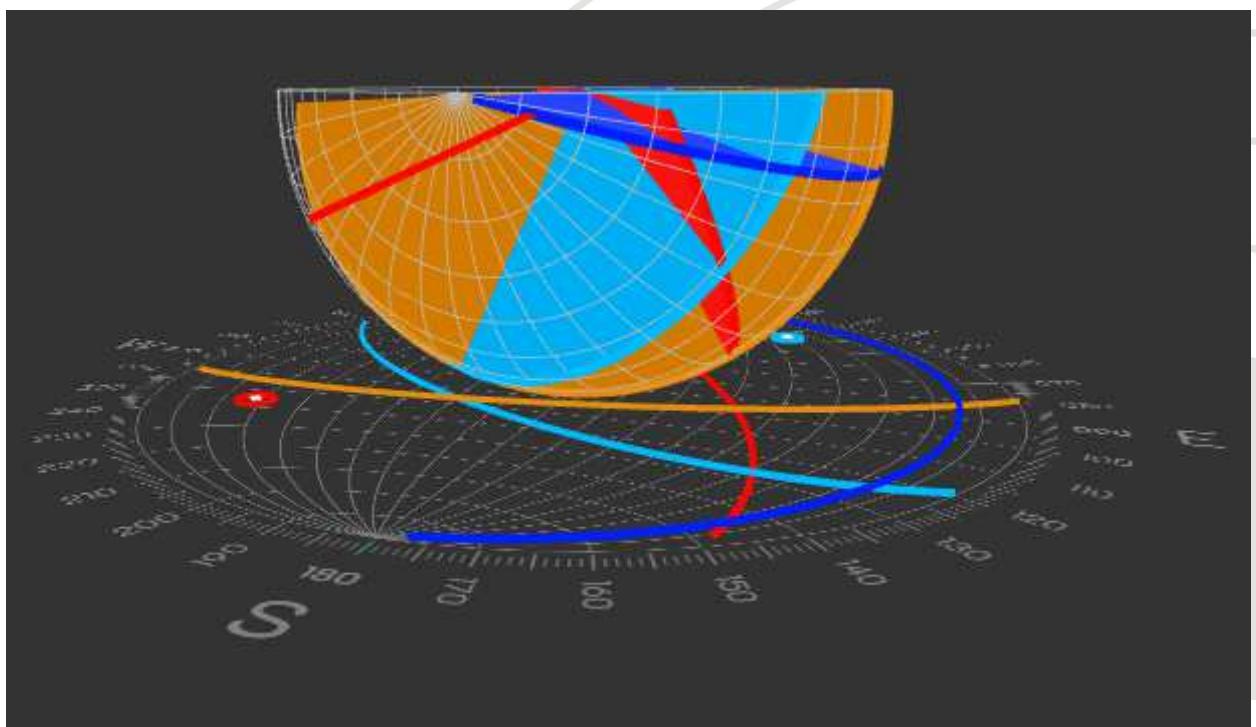


Figura 13 - Rappresentazione stereonet 3D vista da Sud della S<sub>0</sub>(blu) - F<sub>1</sub>(Rosso) - F<sub>2</sub>(Ciano) - F<sub>3</sub>(Arancione)

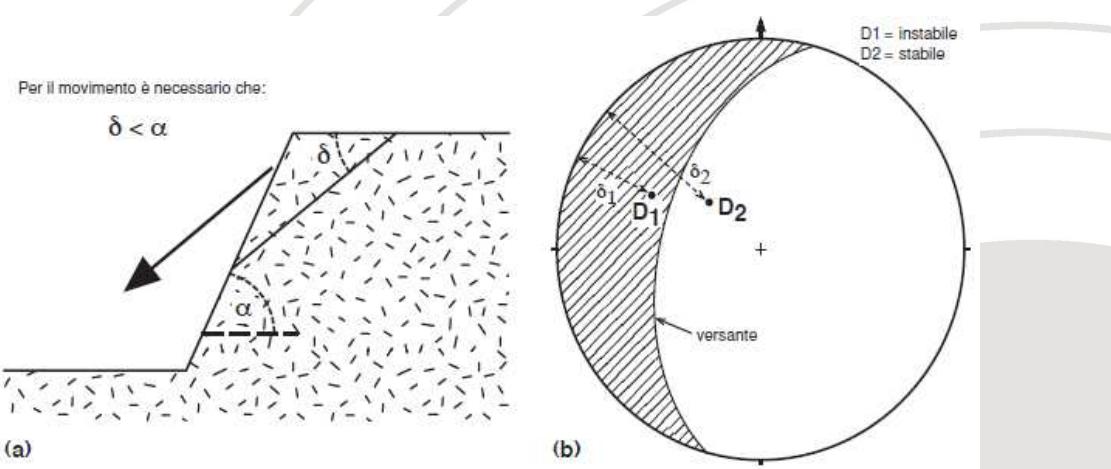
Le giaciture della stratificazione e del primo sistema di fratture ( $F_1$ ) sono disposte a reggi-poggio, quindi a favore della sicurezza; le fratture del secondo sistema ( $F_2$ ) hanno una giacitura a frana-poggio meno inclinata del pendio, quindi a sfavore della sicurezza ed infine le fratture del terzo sistema ( $F_3$ ) hanno una giacitura con immersione parallela al pendio.

Le fratture dell'affioramento, analizzate in fase di rilievo, sono aperte e si denota l'assenza di riempimento. Il sistema di fratture riconoscibile presenta una spaziatura compresa fra 30 cm e 3.5 m, con una persistenza > di 1.0 m e un RQD pari a circa il 35-40% (ricavato direttamente da carota nel sondaggio S1\_2025). Durante il rilievo geomeccanico non sono state osservate venute d'acqua all'interno dei sistemi di frattura; le stesse sono risultate perfettamente asciutte.

### **12.1.1. SCIVOLAMENTO PLANARE**

La verifica più importanti per l'analisi di scivolamento su piani è lo studio dei rapporti tra la direzione di scivolamento dei piani ( $D$ ) e la giacitura del versante. Se il pendio ha un angolo di inclinazione  $\alpha$ , la condizione necessaria per lo scivolamento su un piano è semplicemente che il vettore  $D$  del piano emerga da pendio, cioè che il vettore inclinazione abbia un'inclinazione  $\delta$  minore di  $\alpha$ .

La figura 14 mostra un pendio proiettato in proiezione stereografica come un grande cerchio. Le condizioni cinematiche per lo scivolamento sono soddisfatte se il vettore  $D$  di una possibile superficie di scivolamento cade nell'area tratteggiata, che rappresenta orientazioni meno inclinate del pendio. Nell'esempio di figura 13b il piano 1 ( $D_1$ ) potrebbe dare luogo a scivolamento, mentre sul piano 2 ( $D_2$ ) non si avrà scivolamento.



*Figura 14 - Condizione cinematica perché si verifichi uno scivolamento su piano*

Di seguito viene mostrata la condizione in studio dove sono indicati su stereonet le misura del versante e la misura delle discontinuità:

- Versante 270/80
- $S_0$  90/15
- $F_1$  60/65
- $F_2$  210/65
- $F_3$  170/75

Nel caso in esame (fig. 15) la condizione definita in figura 14 è soddisfatta per lo scivolamento solamente per il sistema di fratturazione  $F_2$ . L'orientazione delle altre due famiglie di fratturazione non presenta una condizione che potrebbe generare scivolamento. La figura 15 mostra il pendio proiettato in proiezione stereografica (linea marrone) con la costruzione del piccolo cerchio rispetto al piano del versante (cerchio verde). Nel caso in esame il piano di fratturazione della famiglia  $F_2$  presenta la condizione per il verificarsi dello scivolamento planare, in quanto, nella costruzione del piccolo cerchio (corrispondente all'angolo di attrito dell'ammasso 33°), il vettore del piano  $F_2$  ricade tra l'area delimitata dal piano del versante e il piccolo cerchio (area tratteggiata rossa).

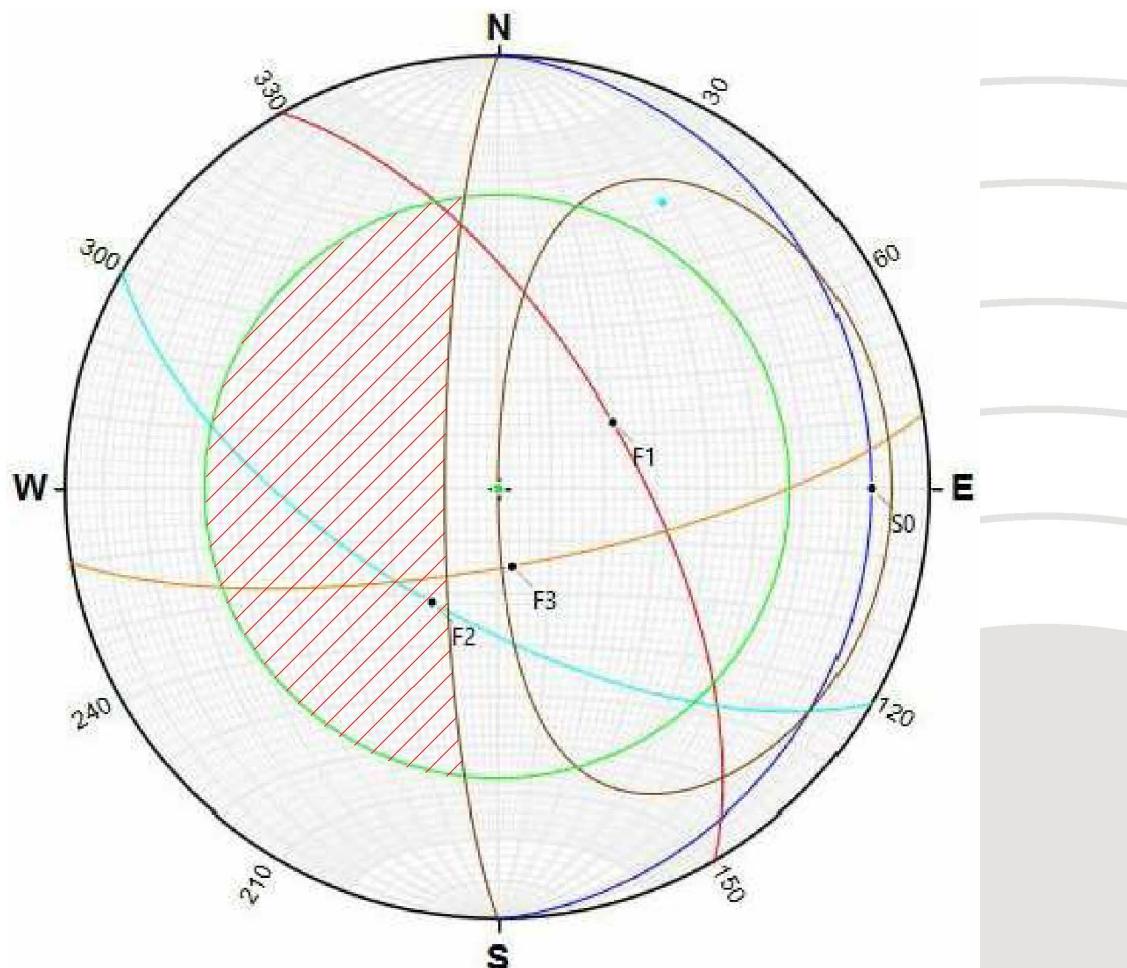
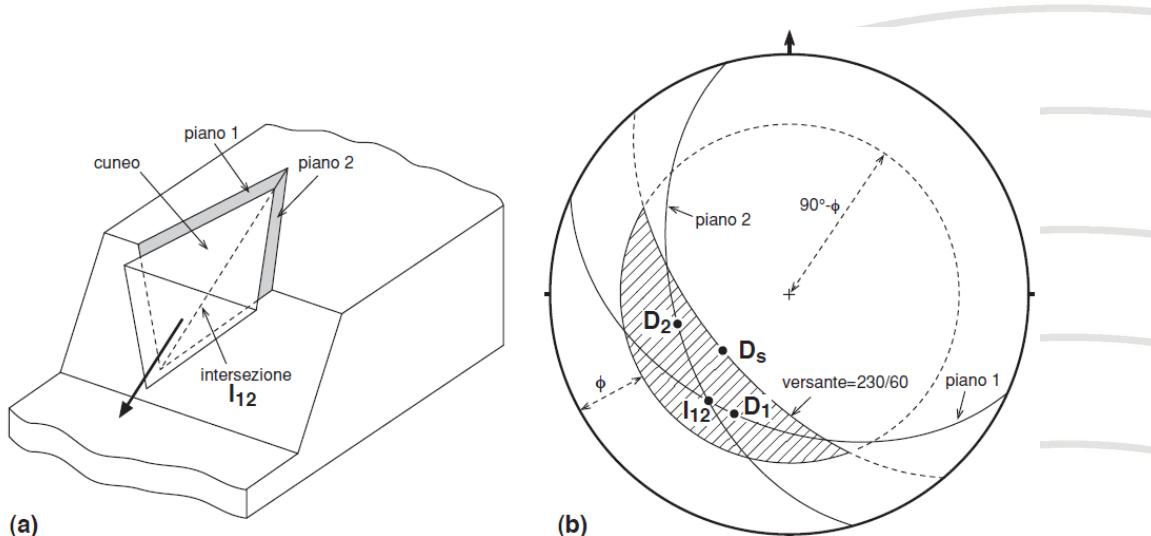


Figura 15 - Rappresentazione su stereonet del versante (in Marrone), la stratificazione (linea blu), il piano di fratturazione  $F_1$  (linea rossa), il piano di fratturazione  $F_2$  (linea ciano), il piano di fratturazione  $F_3$  (linea arancione) e il piccolo cerchio corrispondente all'angolo di attrito (cerchio verde)

### **12.1.2. SCIVOLAMENTO DI CUNEO**

Scivolamenti di cuneo si hanno quando due superfici di discontinuità e la loro intersezione vengono a giorno sul pendio, individuando così volumi di roccia di forma tetraedrica. Il cuneo può scivolare verso il basso sulle due superfici di discontinuità lungo la loro linea di intersezione, oppure su una sola delle due discontinuità lungo la sua direzione di massima pendenza. L'analisi cinematica di un cuneo che scivola sulle superfici che lo delimitano verso il basso si basa sullo studio dell'orientazione della linea di intersezione di queste due superfici. Per avere scivolamento di un cuneo su due discontinuità bisogna che:

- a) La linea di intersezione tra le due superfici di discontinuità sia sufficientemente inclinata, cioè sia inclinata con angolo  $\delta$  maggiore dell'angolo di attrito  $\phi$  (cfr. fig. 16b). Se le due superfici hanno coefficienti di attrito molto diversi tra loro, deve essere presa in considerazione la media dei due coefficienti;
- b) La linea di intersezione immerga nella direzione del versante e abbia un'inclinazione minore dell'inclinazione del versante, cioè che venga a giorno sul versante.



*Figura 16 - Condizione cinematica perché si verifichi uno scivolamento di cuneo*

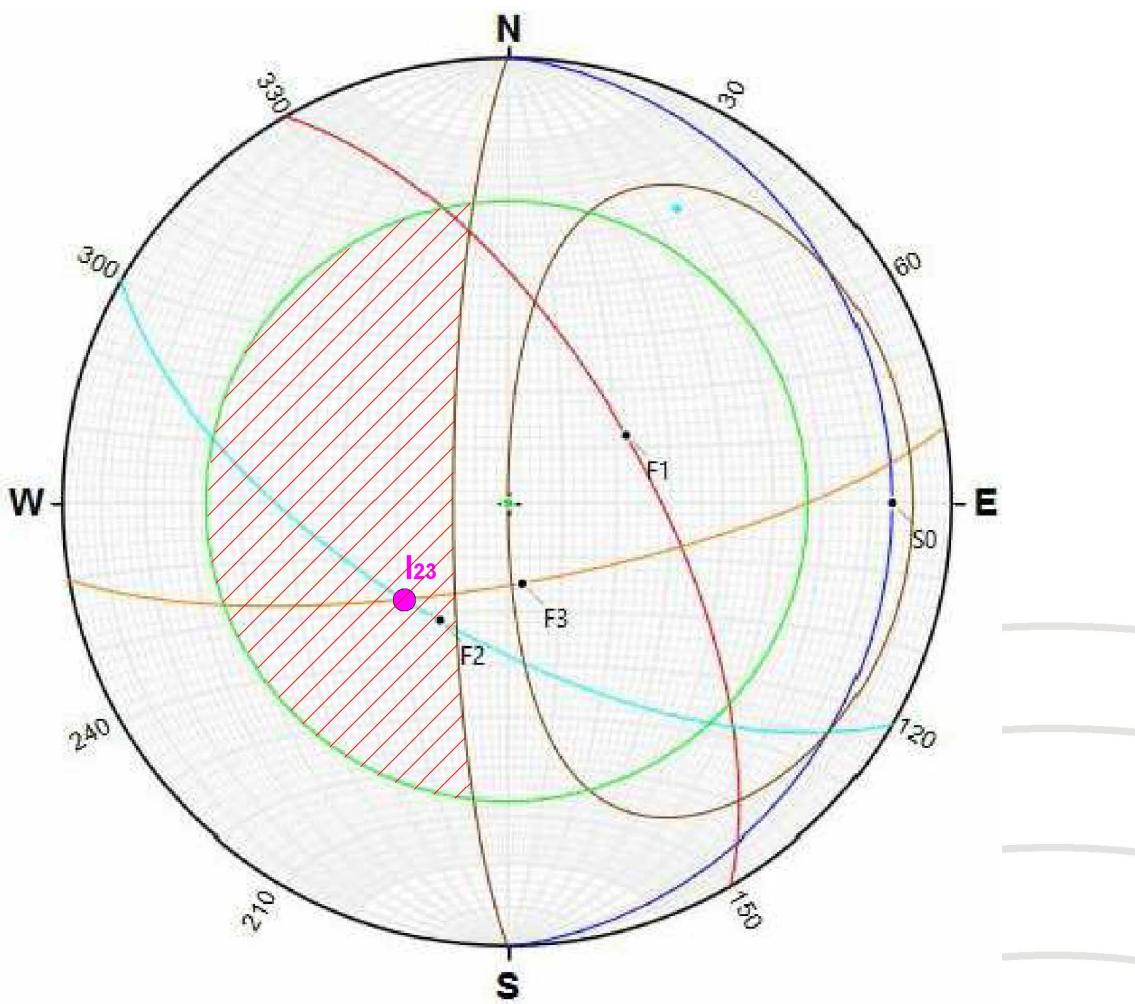
Nel caso in esame (fig. 17) la condizione definita in precedenza è soddisfatta in quanto l'intersezione di due discontinuità presenta inclinazione minore del pendio.

I punti di intersezione dei piani di fratturazione  $F_2$  e  $F_3$  presentano la seguente misurazione:

Pallino magenta = 227/64

La figura 17 mostra il pendio proiettato in proiezione stereografica (linea marrone) con la costruzione del piccolo cerchio rispetto al piano del versante (cerchio verde). Nel caso in esame il piano di

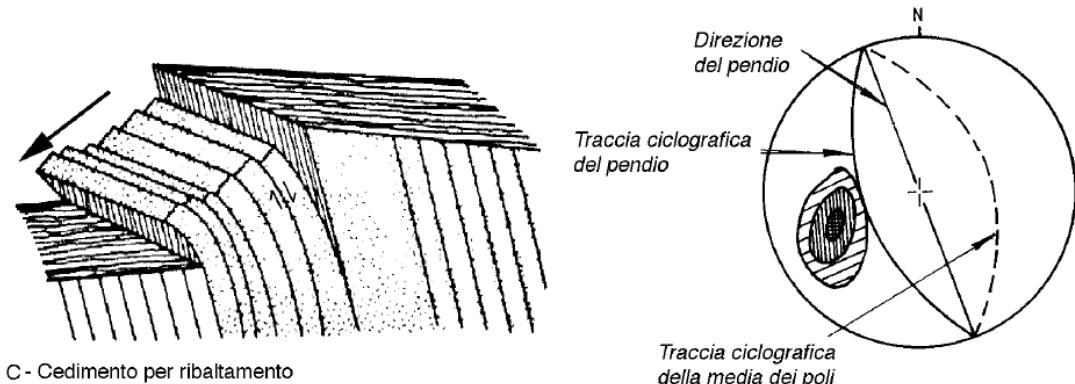
fratturazione della famiglia F<sub>2</sub> interseca con il piano della famiglia F<sub>3</sub>, presentando una condizione per il verificarsi dello scivolamento di cuneo, in quanto l'intersezione dei due piani di fratturazione (I<sub>23</sub>) ricade tra l'area delimitata dal piano del versante e il piccolo cerchio.



*Figura 17 - Rappresentazione su stereonet del versante (in Marrone), la stratificazione (linea blu), il piano di fratturazione F1 (linea rossa), il piano di fratturazione F2 (linea ciano), il piano di fratturazione F3 (linea arancione) e il piccolo cerchio (cerchio verde)*

### 12.1.3. RIBALTIMENTO

Cedimenti per ribaltamento legati alla gravità possono avere luogo in rocce interessate da superfici di discontinuità planari e parallele fra loro, con direzione circa parallela a quella del versante e immersione opposta al versante (reggi-poggio).



*Figura 18 - Condizione cinematica perché si verifichi ribaltamento*

Le superfici di discontinuità individuano blocchi stratiformi o colonnari che possono ruotare e ribaltarsi verso il basso. Ribaltamento si può avere in rocce sottilmente stratificate, ma anche in ammassi rocciosi con stratificazione molto spaziata se sono presenti giunti ortogonali alla stratificazione.

Per avere ribaltamento bisogna che il centro di gravità dello strato cada fuori della sua base. Ribaltando produce movimenti significativi in prossimità del versante, mentre i movimenti sono molto più limitati in profondità, alla base dello strato. Per avere questi movimenti è necessario che siano possibili scivolamenti strato su strato e lungo le superfici di discontinuità. Ribaltamenti sono in genere causati da erosione o escavazione alla base delle pareti o per aumento del contenuto di acqua nell'ammasso roccioso.

Si avranno quindi ribaltamenti legati alla gravità quando:

- le superfici di discontinuità sono sufficientemente inclinate per dare scivolamento;
- le superfici di discontinuità hanno la stessa direzione del versante o comunque ne differiscono di +/- 30°;
- le superfici di discontinuità sono a reggi-poggio, cioè hanno direzione di immersione opposta a quella del versante;
- il versante è sufficientemente inclinato. Poiché la superficie di contatto aria-roccia è soggetta a uno sforzo di taglio nullo, lo sforzo principale massimo  $\sigma_1$  è parallelo al pendio.

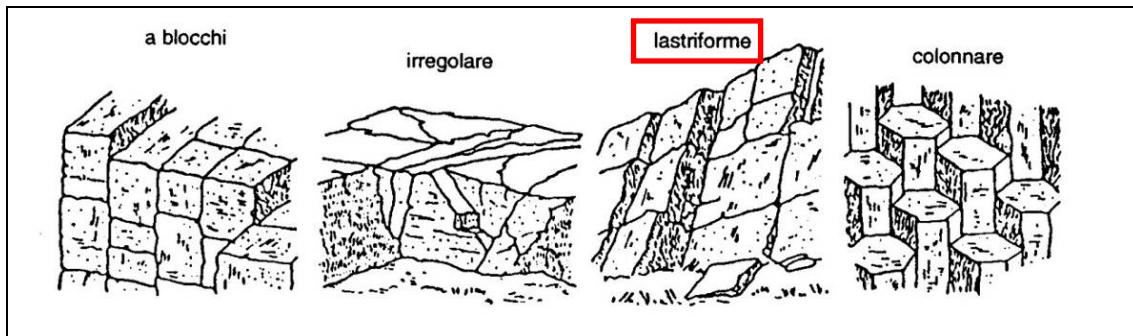
Per il caso in esame le tre famiglie di discontinuità riconosciute, rispetto all'orientazione del versante non soddisfano i requisiti dei punti a)-b)-c)-d) indicati in precedenza; di conseguenza il fenomeno del ribaltamento si può escludere.

## 12.2. CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DI BENIAWSKY

Per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità dell'ammasso roccioso oggetto di studio è stata utilizzata la classificazione di Beniawsky degli ammassi rocciosi dai dati ricavati

dal rilievo geomecanico eseguito sulla parete di roccia alla base del muro. La caratterizzazione è riferita alla porzione di roccia arenaria fratturata e alterata.

L'affioramento è costituito dalle arenarie della Pietraforte e il suo assetto, in relazione alla forma dei blocchi, si può definire con una forma prevalentemente lastriforme dei blocchi.



*Figura 19 - Rappresentazione indicativa del sistema di stratificazione e fratturazione di un ammasso roccioso*

La classificazione di Beniawsky si basa sul rilievo, in campagna o in laboratorio, di sei parametri:

- A1 = resistenza a compressione uniassiale;
- A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);
- A3 = spaziatura delle discontinuità;
- A4 = condizioni delle discontinuità;
- A5 = condizioni idrauliche;
- A6 = orientamento delle discontinuità.

Da questi parametri, ricavati da correlazioni con le misure rilevate in campagna, si ricava il RMR (Rock Mass Rating). L'RMR, nella pratica, viene differenziato come:

$$\text{RMR di base} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

$$\text{RMR corretto} = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$$

- A1. La resistenza a compressione monoassiale ( $S_u$ ) è stata ricavata da prova speditiva (standard ISRM). È stato assegnato un valore di resistenza di 50-100 Mpa, corrispondente ad un coefficiente  $A1 = 7$
- A2. Avendo a disposizione dei sondaggi eseguiti nelle immediate vicinanze del sito di studio è stato ricavato il valore di RQD corrispondente a circa il 35%, corrispondente ad un coefficiente  $A2 = 7$
- A3. per spaziatura invece s'intende la distanza che intercorre tra discontinuità adiacenti e parallele o subparallele. È stata assegnata una spaziatura di circa 30 cm, corrispondente ad un coefficiente  $A3 = 9$

- A4. Per la determinazione delle condizioni delle discontinuità si procede sommando alcuni parametri numerici attribuibili alla: persistenza del giunto (V1), ovvero il rapporto tra l'estensione areale della superficie di discontinuità e l'area complessiva sulla quale la discontinuità si sviluppa; all'apertura del giunto (V2), ovvero la distanza delle pareti di una discontinuità fra le quali non sia presente materiale di riempimento; alla rugosità del giunto (V3), all'alterazione delle pareti (V4), e al riempimento delle discontinuità (V5):

$$A4 = V1 + V2 + V3 + V4 + V5$$

Sono stati determinati, dalle misure di campagna sull'affioramento roccioso, i parametri V:

$$V1 = 4.0; V2 = 1; V3 = 3; V4 = 5; V5=6$$

Dalla somma dei parametri V si ricava il coefficiente A4 = 19

- A5. Durante il rilievo geomeccanico non sono state osservate venute d'acqua e quindi ne deriva un coefficiente A5 = 15
- A6. Per l'orientamento delle discontinuità si applica un coefficiente di correzione A6, a seconda che l'applicazione sia relativa a gallerie o fondazioni. Nel caso in esame l'applicazione è considerata come fondazioni e orientamento sfavorevole, quindi ne deriva un coefficiente A6 = -15

Di seguito si riporta la sintesi degli indici ottenuti:

| Parametro   | Indice |
|---|--------|
| A1 - Resistenza a compressione della roccia intatta | 4      |
| A2 – Rock Quality Designation Index (Indice RQD)    | 8      |
| A3 - Spaziatura delle discontinuità                 | 9      |
| A4 - Condizione di alterazione delle discontinuità  | 18     |
| A5 - Condizioni idrauliche                          | 15     |
| A6 - Orientamento delle discontinuità               | -15    |

Fissati gli indici dei cinque parametri da A1 ad A5 si determina il RMR di base per l'ammasso analizzato e successivamente, inserendo nella sommatoria anche il coefficiente A6 si determina il RMR corretto.

$$\text{RMR di base} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 = 57$$

$$\text{RMR corretto} = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6 = 42$$

Di seguito si riporta, in forma tabellare, un riepilogo dei risultati ottenuti dalla caratterizzazione dell'ammasso roccioso secondo il metodo di Beniawsky.

| A - PARAMETRI DI CLASSIFICAZIONE E LORO INDICI |                                 |  | Intervalli dei valori   |  |  |  |   |
|--|---------------------------------|--|---|--|--|--|---|
| Parametri                                      |                                 |  | Intervalli dei valori   |  |  |  |   |
| 1  | Parametri del materiale intatto | Indice della resistenza Point-Load (MPa)                               | >10   | 4 - 10   | 2 - 4  | 1 - 2  | Per questo basso intervallo è preferibile una prova di resistenza alla compr. monoassiale |
|  |                                 | Resistenza alla compress. monoassiale (MPa)                            | >250  | 100 - 250  | 50 - 100   | 25 - 50  | 5-25 1-5 <1   |
|  | Indice                          | 15   | 12  | 7  | 4  | 2 1 0  |   |
| 2  | RQD %                           | 90-100   | 75-90   | 50-75  | 25-50  | <25  |   |
|  | Indice                          | 20   | 17  | 13   | 8  | 3  |   |
| 3  | Spaziatura                      | > 2 m  | 0,6 - 2 m   | 200 - 600 mm   | 60 - 200 mm  | < 60 mm  |   |
|  | Indice                          | 20   | 15  | 10   | 8  | 5  |   |
| 4  | Condizioni della discontinuità  |  | S. molto ruvida non continua senza separazione pareti materiale | S. legg. ruvida apertura <1 mm pareti legg. alterate | S. legg. ruvida apertura <1 mm pareti molto alterate | S. stirata o gouge < 5 mm di spess. o aperture 1 - 5 mm continue | Gouge soffice di spess. > 5 mm o apert. > 5 mm continue                                   |
|  | Indice                          | 30   | 25  | 20   | 10   | 0  |   |
| 5  | Condizioni idrauliche           | Afflusso per 10 m di lungh. galleria (l/min)                           | nessuno   | < 10   | 1 - 25   | 25 - 125   | > 125   |
|  |                                 | Rapporto tra: press. acqua nelle fratture e sforzo principale maggiore | 0   | < 0,1  | 0,1 - 0,2  | 0,2 - 0,5  | > 0,5   |
|  | Condizioni generali             | Compl. asciutto  | Umido   | Bagnato  | Stallido   | Flusso   |   |
|  | Indice                          | 15   | 10  | 7  | 4  | 0  |   |

Figura 20 - Parametri di classificazione e loro indici

| <b>B - INDICI CORRETTIVI PER L'ORIENTAMENTO DELLE DISCONTINUITÀ'</b> |                  |            |              |             |                   |
|--|------------------|------------|--------------|-------------|-------------------|
| Direzione e pendenza delle discontinuità                             | Molto favorevole | Favorevole | Indifferente | Sfavorevole | Molto sfavorevole |
| Gallerie e miniere   | 0                | -2         | -5           | -10         | -12               |
| Fondazioni   | 0                | -2         | -7           | -15         | -25               |
| Versanti   | 0                | -5         | -25          | -50         | -60               |

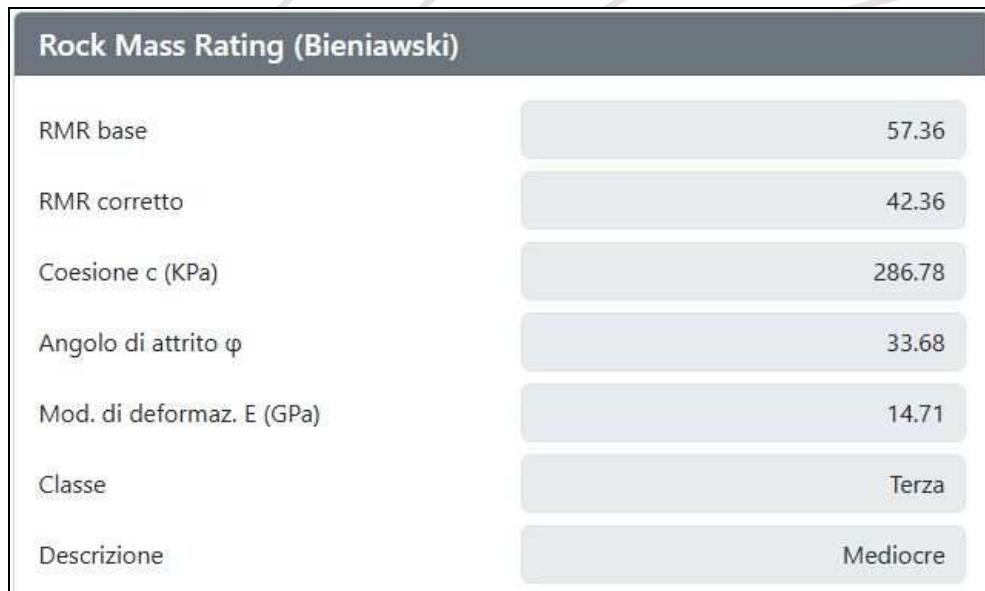
| <b>C - CLASSI DELL'AMMASSO ROCCIOSO IN BASE AL PUNTEGGIO TOTALE SIGNIFICATO DELLE CLASSI</b> |                   |                  |                      |                   |                 |
|--|-------------------|------------------|----------------------|-------------------|-----------------|
| Indice   | 100-81            | 80-61            | 60-41                | 40-21             | <20             |
| Classe n.  | I                 | II               | III                  | IV                | V               |
| Descrizione  | Molto buono       | Buono            | Discreto             | Scadente          | Molto scadente  |
| Tempo medio di autosostentamento   | 20 anni<br>h 15 m | 1 anno<br>h 10 m | 1 settimana<br>h 5 m | 10 ore<br>h 2.5 m | 30 min<br>h 1 m |
| Coesione (kPa)   | > 400             | 300-400          | 200-300              | 100-200           | < 100           |
| Angolo d'attrito (°)   | > 45              | 35-45            | 25-35                | 15-25             | < 15            |

| <b>D - PROCEDURA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE CONDIZIONI DELLA DISCONTINUITÀ' (FRATTURE)</b> |                   |                     |                      |                       |                 |
|--|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------------|
| Parametri  | Indici            |                     |                      |                       |                 |
| Lunghezza delle discontinuità (persistenza/continuità)                                       | < 1 m<br>6        | 1-3 m<br>4          | 3-10 m<br>2          | 10-20 m<br>1          | < 20 m<br>0     |
| Separazione (apertura)   | Nessuna<br>6      | < 0.1 mm<br>5       | 0.1-1 mm<br>4        | 1-5 mm<br>1           | > 5 mm<br>0     |
| Scabrezza  | Molto scabro<br>6 | Scabro<br>5         | Legg. scabro<br>3    | Liscio<br>1           | Striato<br>0    |
| Riempimento (gouge)  | Nessuno<br>6      | r. duro < 5 mm<br>4 | > 5 mm<br>2          | r. tenero < 5 mm<br>2 | 0 > 5 mm<br>0   |
| Alterazione  | Inalterato<br>6   | Legg. alterato<br>5 | Moder. alterato<br>3 | Molto alterato<br>1   | Decomposto<br>0 |

*Figura 21 - Definizione delle classi dell'ammasso roccioso secondo Benieawsky*

Tramite l'applicazione della classificazione di Beniawsky si possono determinare: la coesione c, l'angolo di attrito  $\phi$  e il Modulo di deformazione E dell'ammasso roccioso considerato.



*Figura 22 - Parametri geotecnici ottenuti tramite software online Geostru AmmassiRocciosi*

### 13. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Dopo l'elaborazione e l'interpretazione delle indagini geognostiche e l'esecuzione del rilievo geomeccanico dell'ammasso roccioso nella porzione fratturata, è stato possibile determinare la caratterizzazione geologica e geotecnica dell'area di studio.

L'elaborazione della tomografia sismica in onde P ha permesso di identificare una sismo-stratigrafia lungo la sezione che interessa il terrazzo del ristorante, la parete verticale e la porzione pianeggiante antistante il parcheggio.

Si possono distinguere tre strati, uno più superficiale con velocità delle onde P medio basse probabilmente costituito da materiale di riporto eterogeneo e caotico, uno secondo strato che presenta un sostanziale aumento delle velocità probabilmente rappresentativo della porzione superficiale dell'ammasso roccioso fratturato e disgregato e il terzo strato più profondo con velocità molto elevate, associabile alla formazione rocciosa integra o poco fratturata.

I risultati ottenuti con l'indagine sismica evidenziano una buona correlazione stratigrafica con i dati acquisiti dalle prove penetrometriche e dai sondaggi geognostici.

Nell'area del terrazzo le prove penetrometriche hanno riscontrato uno strato superficiale, dello spessore variabile da m 2.0 a m 4.0 dal p.c., composto da materiale eterogeneo, probabilmente materiale di riporto e riempimento. Al termine di questo spessore le prove vanno tutte a rifiuto, questo potrebbe indicare la probabile presenza della parte superiore fratturata e disgregata delle arenarie.

Nell'area alla base della scarpata, i due sondaggi hanno evidenziato una stratigrafia composta da un primo livello di materiale di riporto eterogeneo e a struttura caotica (sabbie limose con inclusi di grandi dimensioni, blocchi di arenaria e resti di laterizi) per uno spessore medio di circa 6 metri da p.c.. Al di sotto di questo spessore è stata rinvenuta la roccia arenaria, che nella porzione superiore si presenta fratturata ( $RQD\% \approx 35/40$ ), mentre nella parte sottostante si presenta integra e poco fratturata ( $RQD\% \approx 80/100$ ).

In riferimento a questo modello geologico dell'area sono stati poi determinati i parametri geotecnici degli strati, elaborando così il modello geotecnico.

Il modello geotecnico è stato suddiviso in 4 unità geotecniche (cfr. Tav. G721525MFAF02):

- U.G.1 - Terreno di riporto eterogeneo del terrazzo del ristorante
- U.G.2 - Terreno di riporto eterogeneo alla base della scarpata
- U.G.3 - Arenaria fratturata

➤ U.G.4 - Arenaria integra o poco fratturata

L'unità 1 è stata caratterizzata con i parametri geotecnici ricavati dall'elaborazione e dall'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche eseguite sul terrazzo del ristorante.

L'unità 2 è stata caratterizzata con i parametri geotecnici ricavati dall'elaborazione e dall'interpretazione delle prove SPT eseguite nei sondaggi geognostici alla base della scarpata e del campione prelevato dal sondaggio S1\_2021.

L'unità 3 è stata caratterizzata con la classificazione dell'ammasso roccioso di Beniawsky sull'affioramento alla base della scarpata.

L'unità 4, non avendo dei dati diretti, è stata caratterizzata considerando, in maniera cautelativa, un debole aumento percentuale dei parametri dell'unità 3.

Il D.M. 14/1/2008 introduce il concetto di valore caratteristico (ciò è confermato dal D.M. 17/01/2018) a partire dai valori medi o nominali.

Per *valore caratteristico* di un parametro geotecnico si intende una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato; ovvero rappresenta la soglia al di sotto della quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie teoricamente illimitata di prove.

Il calcolo del valore caratteristico è calcolato facendo riferimento alle disposizioni delle Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) sulle NTC.

Secondo quanto disposto dal CSLP, i valori caratteristici possono essere presi prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (in *fondazioni superficiali tipo platee* o in una *frana* il volume interessato dalla superficie di rottura è grande).

Nel caso in cui vengano coinvolti modesti volumi di terreno (ad es. *terreno di base di un palo o di un plinto, verifica a scorrimento di un muro*), i valori caratteristici devono essere prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici.

Di seguito si riporta il modello geotecnico in forma tabellare (cfr. Tav. G721525MFAF02):

| <b>Unità geotecniche superficiali - terre</b> |                                   |  |                                 |                                   |                                       |                                  |                                  |                                 |
|---|-----------------------------------|--|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| U.G.  | <i>Peso di volume</i><br>$\gamma$ | <i>Peso di volume saturo</i><br>$\gamma_{sat}$ | <i>Densità relativa</i><br>$Dr$ | <i>Angolo attrito</i><br>$\phi_k$ | <i>Coesione non drenata</i><br>$Cu_k$ | <i>Coesione efficace</i><br>$c'$ | <i>Modulo edometrico</i><br>$Ed$ | <i>Modulo elastico</i><br>$E_y$ |
|   | (t/m <sup>3</sup> )               | (t/m <sup>3</sup> )                            | %                               | °                                 | (Kg/cm <sup>2</sup> )                 | (Kg/cm <sup>2</sup> )            | (Kg/cm <sup>2</sup> )            | (Kg/cm <sup>2</sup> )           |
| 1   | 1.40                              | 1.87   | 17                              | 21.6                              | 0.13                                  |                                  | 35                               | 29                              |
| 2   | 1.45                              | 1.85   | 40                              | 24.5                              | 0.15                                  | 0.08                             | 57                               | 80                              |

| <b>Unità geotecniche profonde - roccia</b> |                                   |                                 |                        |                                   |
|--|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| U.G.                                       | <i>Peso di volume</i><br>$\gamma$ | <i>Angolo attrito</i><br>$\phi$ | <i>Coesione</i><br>$c$ | <i>Modulo Deformazione</i><br>$E$ |
|  | (t/m <sup>3</sup> )               | °                               | (Kg/cm <sup>2</sup> )  | (MPa)                             |
| 3  | 2.50                              | 33.7                            | 2.9                    | 14.7                              |
| 4  | 2.50                              | 40                              | 3.2                    | 18                                |



## 14. VERIFICA DI STABILITA' DEL VERSANTE

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.

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 deviatorio ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

- a) 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 ( $\phi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
- b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

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 ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), 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.).

### 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 BISHOP (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\Sigma F_v = 0, \Sigma M_O = 0, \text{ Criterio di rottura.}$$

**Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.**

I valori di F e di  $\Delta X$  per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre  $\Delta X = 0$  ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di Bishop ordinario, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

### **Valutazione dell'azione sismica**

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita 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, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

**Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.**

Essendo:

FH e FV rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W: peso concio

Ko: Coefficiente sismico orizzontale

Kv: Coefficiente sismico verticale.

### **Calcolo coefficienti sismici**

Le **NTC 2018** calcolano i coefficienti Ko e Kv in dipendenza di vari fattori:

$$Ko = \beta_s \times (a_{max}/g)$$

$$Kv = \pm 0,5 \times Ko$$

Con:

- $\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
- $a_{max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$amax = SS \cdot ST \cdot ag$$

SS (effetto di amplificazione stratigrafica):

$0.90 \leq Ss \leq 1.80$ ; è funzione di F0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

ST (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di ST varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$\mathbf{T1(ST = 1.0)} \quad \mathbf{T2(ST = 1.20)} \quad \mathbf{T3(ST = 1.20)} \quad \mathbf{T4(ST = 1.40)}$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$TR = -VR / \ln(1-PVR)$$

Con VR vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso VR dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

### Ricerca della superficie di scorrimento critica

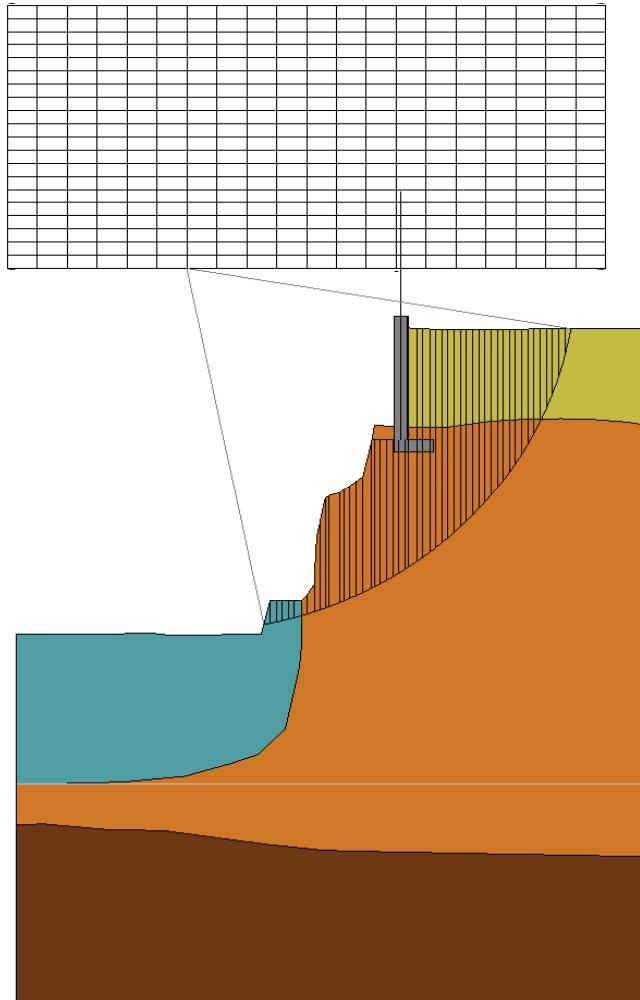
In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici. Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato 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•n e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Di seguito si riporta la verifica di stabilità del versante oggetto di studio eseguita allo stato attuale in condizioni drenate. Il muro, non conoscendo né la geometria, né la struttura è stato rappresentato considerando una struttura alta circa 5 metri. Per agevolare la rappresentazione, gli strati sono stati considerati tutti come terre e le superfici di scivolamento sono state considerate circolari.

Per le verifiche si è utilizzato il software Slope 2025 di Geostru.

#### 14.1. REPORT DI CALCOLO IN CONDIZIONE DRENATE

$xc=62.42$   $yc=83.76$   $Rc=14.69$   $Fs=3.65$



- UG1
- UG2
- UG3
- UG4

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

|   |                      |
|---|----------------------|
| Zona                                    | Arcidosso            |
| Lat./Long.                              | 42.87161/11.534838 ° |
| Calcolo eseguito secondo                | NTC 2018             |
| Numero di strati                        | 4.0                  |
| Numero dei conci                        | 50.0                 |
| Grado di sicurezza ritenuto accettabile | 1.1                  |
| Coefficiente parziale resistenza        | 1.1                  |
| Analisi                                 | Condizione drenata   |
| Superficie di forma circolare           |                      |

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

#### Dati generali

|                      |                     |
|----------------------|---------------------|
| Tipo opera:          | 2 - Opere ordinarie |
| Classe d'uso:        | Classe II           |
| Vita nominale:       | 50.0 [anni]         |
| Vita di riferimento: | 50.0 [anni]         |

#### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: B  
 Categoria topografica: T2

| S.L.<br>Stato limite | TR<br>Tempo ritorno<br>[anni] | ag<br>[m/s <sup>2</sup> ] | F0<br>[-] | TC*<br>[sec] |
|----------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------|--------------|
| S.L.O.               | 30.0                          | 0.461                     | 2.485     | 0.244        |
| S.L.D.               | 50.0                          | 0.579                     | 2.524     | 0.252        |
| S.L.V.               | 475.0                         | 1.373                     | 2.498     | 0.278        |
| S.L.C.               | 975.0                         | 1.716                     | 2.525     | 0.284        |

#### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:

Stabilità dei pendii e Fondazioni

| S.L.<br>Stato limite | amax<br>[m/s <sup>2</sup> ] | beta<br>[-] | kh<br>[-] | kv<br>[sec] |
|----------------------|-----------------------------|-------------|-----------|-------------|
| S.L.O.               | 0.6638                      | 0.2         | 0.0135    | 0.0068      |
| S.L.D.               | 0.8338                      | 0.2         | 0.017     | 0.0085      |
| S.L.V.               | 1.9771                      | 0.24        | 0.0484    | 0.0242      |
| S.L.C.               | 2.471                       | 0.24        | 0.0605    | 0.0302      |

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.0484

Coefficiente azione sismica verticale 0.0242

#### 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<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | Coesione non<br>drenata<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | Angolo<br>resistenza al<br>taglio<br>(°) | Peso unità di<br>volume<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Peso unità di<br>volume saturo<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Litologia |  |
|--------|-----------------------------------|--|--|---|--|-----------|--|
| 1      | 0.01*                             | 0.13   | 21.6                                     | 1400  | 1870   | UG1       |  |
| 2      | 0.08                              | 0.15   | 24.5                                     | 1450  | 1850   | UG2       |  |
| 3      | 2.9                               |  | 33.7                                     | 2500  | 2500   | UG3       |  |
| 4      | 3.2                               |  | 40                                       | 2500  | 2500   | UG4       |  |

\*Assegnata cautelativamente

#### Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche

| N° | x<br>(m) | y<br>(m) | Base mensola<br>a valle<br>(m) | Base mensola<br>a monte<br>(m) | Altezza muro<br>(m) | Spessore testa<br>(m) | Spessore base<br>(m) | Peso<br>specifico<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |
|----|----------|----------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|---|
| 1  | 70.74    | 76.85    | 0                              | 1                              | 5                   | 0.5                   | 0.5                  | 2200                                      |

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

|                              |             |
|------------------------------|-------------|
| <b>Fs minimo individuato</b> | <b>3.65</b> |
| Ascissa centro superficie    | 62.42m      |
| Ordinata centro superficie   | 83.76 m     |
| Raggio superficie            | 14.69 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.

$$xc = 62.423 \quad yc = 83.763 \quad Rc = 14.693 \quad Fs=3.647$$

| Nr. | B<br>m | Alfa<br>(°) | Li<br>m | Wi<br>(kg) | Kh•Wi<br>(kg) | Kv•Wi<br>(kg) | c<br>(kg/cm²) | Fi<br>(°) | Ui<br>(kg) | N'i<br>(kg) | Ti<br>(kg) |
|-----|--------|-------------|---------|------------|---------------|---------------|---------------|-----------|------------|-------------|------------|
| 1   | 0.25   | 11.9        | 0.3     | 164.38     | 7.96          | 3.98          | 0.07          | 20.0      | 0.0        | 156.3       | 55.4       |
| 2   | 0.22   | 12.8        | 0.2     | 281.55     | 13.63         | 6.81          | 0.07          | 20.0      | 0.0        | 274.8       | 61.4       |
| 3   | 0.23   | 13.7        | 0.2     | 282.08     | 13.65         | 6.83          | 0.07          | 20.0      | 0.0        | 274.7       | 64.0       |
| 4   | 0.23   | 14.6        | 0.2     | 261.73     | 12.67         | 6.33          | 0.07          | 20.0      | 0.0        | 254.2       | 62.3       |
| 5   | 0.23   | 15.6        | 0.2     | 240.06     | 11.62         | 5.81          | 0.07          | 20.0      | 0.0        | 232.4       | 60.5       |
| 6   | 0.25   | 16.6        | 0.3     | 234.16     | 11.33         | 5.67          | 0.07          | 20.0      | 0.0        | 225.5       | 63.4       |
| 7   | 0.21   | 17.5        | 0.2     | 355.99     | 17.23         | 8.61          | 2.32          | 28.1      | 0.0        | -31.3       | 1283.0     |
| 8   | 0.29   | 18.5        | 0.3     | 683.34     | 33.07         | 16.54         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 120.6       | 1789.4     |
| 9   | 0.2    | 19.5        | 0.2     | 1500.95    | 72.65         | 36.32         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 1110.6      | 1358.2     |
| 10  | 0.21   | 20.4        | 0.2     | 2068.88    | 100.13        | 50.07         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 1650.1      | 1498.8     |
| 11  | 0.16   | 21.1        | 0.2     | 1757.93    | 85.08         | 42.54         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 1433.3      | 1167.6     |
| 12  | 0.38   | 22.3        | 0.4     | 4301.37    | 208.19        | 104.09        | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 3474.1      | 2866.1     |
| 13  | 0.15   | 23.4        | 0.2     | 1709.98    | 82.76         | 41.38         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 1366.8      | 1146.8     |
| 14  | 0.23   | 24.2        | 0.3     | 2622.89    | 126.95        | 63.47         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 2089.5      | 1747.9     |
| 15  | 0.23   | 25.2        | 0.3     | 2662.2     | 128.85        | 64.43         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 2112.3      | 1762.8     |
| 16  | 0.26   | 26.3        | 0.3     | 3042.34    | 147.25        | 73.62         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 2403.2      | 2004.0     |
| 17  | 0.32   | 27.6        | 0.4     | 4172.4     | 201.94        | 100.97        | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 3396.1      | 2510.6     |
| 18  | 0.12   | 28.5        | 0.1     | 1804.36    | 87.33         | 43.67         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 1519.5      | 982.9      |
| 19  | 0.23   | 29.3        | 0.3     | 3565.82    | 172.59        | 86.29         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 3002.2      | 1936.5     |
| 20  | 0.23   | 30.3        | 0.3     | 3486.12    | 168.73        | 84.36         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 2904.2      | 1939.5     |
| 21  | 0.23   | 31.4        | 0.3     | 3403.02    | 164.71        | 82.35         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 2800.9      | 1942.9     |
| 22  | 0.23   | 32.5        | 0.3     | 3316.73    | 160.53        | 80.26         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 2692.6      | 1946.7     |
| 23  | 0.23   | 33.5        | 0.3     | 10376.7    | 502.23        | 251.12        | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 10461.0     | 2999.5     |
| 24  | 0.14   | 34.4        | 0.2     | 1868.59    | 90.44         | 45.22         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 1471.2      | 1158.7     |
| 25  | 0.33   | 35.5        | 0.4     | 6356.71    | 307.66        | 153.83        | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 5621.9      | 3065.1     |
| 26  | 0.19   | 36.8        | 0.2     | 3643.47    | 176.34        | 88.17         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 3195.0      | 1811.0     |
| 27  | 0.27   | 37.9        | 0.3     | 5026.15    | 243.27        | 121.63        | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 4368.0      | 2571.2     |
| 28  | 0.23   | 39.2        | 0.3     | 4171.09    | 201.88        | 100.94        | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 3583.4      | 2205.2     |
| 29  | 0.23   | 40.3        | 0.3     | 4061.3     | 196.57        | 98.28         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 3445.7      | 2216.5     |
| 30  | 0.23   | 41.5        | 0.3     | 3946.49    | 191.01        | 95.51         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 3297.5      | 2229.1     |
| 31  | 0.23   | 42.7        | 0.3     | 3828.39    | 185.29        | 92.65         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 3140.2      | 2242.7     |
| 32  | 0.23   | 44.0        | 0.3     | 3709.06    | 179.52        | 89.76         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 2974.9      | 2258.6     |
| 33  | 0.24   | 45.3        | 0.3     | 3653.54    | 176.83        | 88.42         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 2848.2      | 2321.2     |
| 34  | 0.23   | 46.6        | 0.3     | 3384.28    | 163.8         | 81.9          | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 2546.3      | 2249.7     |
| 35  | 0.23   | 47.9        | 0.3     | 3318.23    | 160.6         | 80.3          | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 2385.9      | 2316.3     |
| 36  | 0.23   | 49.3        | 0.4     | 3175.75    | 153.71        | 76.85         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 2150.0      | 2339.5     |
| 37  | 0.23   | 50.7        | 0.4     | 3025.45    | 146.43        | 73.22         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 1886.8      | 2365.4     |
| 38  | 0.23   | 52.1        | 0.4     | 2862.58    | 138.55        | 69.27         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 1585.7      | 2393.2     |
| 39  | 0.23   | 53.6        | 0.4     | 2689.78    | 130.19        | 65.09         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 1243.9      | 2424.6     |
| 40  | 0.23   | 55.2        | 0.4     | 2506.71    | 121.32        | 60.66         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 854.5       | 2459.5     |
| 41  | 0.23   | 56.8        | 0.4     | 2312.48    | 111.92        | 55.96         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | 404.2       | 2499.8     |
| 42  | 0.23   | 58.5        | 0.4     | 2105.15    | 101.89        | 50.94         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | -124.2      | 2546.2     |
| 43  | 0.23   | 60.2        | 0.5     | 1883.04    | 91.14         | 45.57         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | -752.3      | 2599.6     |
| 44  | 0.23   | 62.1        | 0.5     | 1641.09    | 79.43         | 39.71         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | -1523.9     | 2663.1     |
| 45  | 0.23   | 64.1        | 0.5     | 1378.52    | 66.72         | 33.36         | 2.32          | 28.1      | 0.0        | -2486.4     | 2739.1     |
| 46  | 0.23   | 66.3        | 0.6     | 1129.36    | 54.66         | 27.33         | 0.01          | 17.6      | 0.0        | 2350.2      | 200.5      |
| 47  | 0.23   | 68.6        | 0.6     | 949.2      | 45.94         | 22.97         | 0.01          | 17.6      | 0.0        | 2132.6      | 184.9      |
| 48  | 0.23   | 71.3        | 0.7     | 744.34     | 36.03         | 18.01         | 0.01          | 17.6      | 0.0        | 1836.3      | 163.7      |
| 49  | 0.23   | 74.4        | 0.9     | 502.78     | 24.33         | 12.17         | 0.01          | 17.6      | 0.0        | 1392.9      | 132.3      |
| 50  | 0.23   | 78.3        | 1.1     | 198.09     | 9.59          | 4.79          | 0.01          | 17.6      | 0.0        | 602.6       | 77.1       |

Dalla verifica di stabilità eseguita possiamo osservare che il versante presenta un coefficiente di sicurezza superiore ai limiti normativi, rappresentando così una condizione di stabilità globale.

Si ricorda che la verifica è stata eseguita considerando la geometria e la struttura del muro di contenimento ricavata da osservazioni e rilievo topografico.

## 15. CONCLUSIONI

Su incarico e per conto dell'Amm.ne Comunale di Arcidosso, è stata redatta la presente relazione geologica di supporto agli "interventi di riqualificazione valorizzazione dell'area la fratta sottostante mura centro storico - lavori di consolidamento statico del versante occidentale", nel centro abitato di Arcidosso, comune di Arcidosso (Gr).

Il presente studio si è reso necessario per la verifica e la caratterizzazione dell'affioramento roccioso sotto al muro in pietra del terrazzo del ristorante Bastarda Rossa.

Per la determinazione delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dell'area sono state eseguite quattro prove penetrometriche dinamiche medio-leggere, spinte fino al raggiungimento del bedrock o comunque fino al rifiuto strumentale, sono state considerate le risultanze di due sondaggi geognostici, eseguiti precedentemente alla base del tratto di mura in oggetto ed è stato eseguito un rilievo geomeccanico della parete rocciosa con caratterizzazione dell'ammasso attraverso la classificazione di Bieniawsky.

Il modello sismico è stato determinato mediante l'esecuzione di un profilo sismico a rifrazione in onde P elaborato con tecnica tomografica e restituzione 2D, eseguito in parete verticale. Sul medesimo profilo è stata eseguita anche una prova sismica M.A.S.W., necessaria a definire, mediante il valore delle VSeq, la categoria sismica del sottosuolo.

L'area in oggetto non rientra in quelle sottoposte al Vincolo Idrogeologico ai sensi del R.D.L. n. 3267 del 30/12/1923 non ricade nemmeno nelle aree sottoposte a Vincolo Paesaggistico ai sensi del D.Lgs. 42/04.

L'area di studio, inserita in un contesto morfologico collinare o di bassa montagna, si trova sulla scarpata occidentale delle mura del centro storico di Arcidosso. La parte sommitale del terrazzo del ristorante si trova ad una quota di  $\approx$  640, mentre il piede della scarpata delle mura si trova ad una quota di  $\approx$  m 630 s.l.m.; coprendo un dislivello di  $\approx$  10/12 metri.

Durante i sopralluoghi effettuati sul sito di studio e durante le fasi di acquisizione delle indagini geognostiche non si notano particolari elementi geomorfologici attivi e/o potenziali, il muro, poggiante sull'affioramento roccioso, non presenta segni evidenti o elementi di lesioni o fratture.

Secondo la ricognizione sulle caratteristiche geomorfologiche dell'area in esame, si può definire che allo stato attuale le condizioni generali di stabilità non sembrano presentare processi o forme gravitative in atto; risulta però la presenza di una frana nell'area subito a valle del tratto di mura in oggetto e una

pericolosità G.3 da PAI; quindi, si è proceduto con la verifica e la caratterizzazione dell'ammasso roccioso su cui appoggiano le mura e alla determinazione delle condizioni di stabilità del versante.

La porzione di territorio interessato dallo studio è costituita in prevalenza da formazioni facenti parte del dominio Ligure e Sub-Ligure a composizione arenacea e calcarenitica. Nell'area affiora la formazione della Pietraforte nella facies arenacea.

In relazione alla Carta del P.G.R.A., redatta dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, il sito di studio non è interessato da pericolosità idraulica. Anche dalla consultazione della Carta della Pericolosità Idraulica della Variante Generale al Piano Strutturale (Tav.7A), il sito di indagine ricade esternamente dalle aree classificate con pericolosità idraulica.

Quindi, in relazione alla posizione morfologica del sito e alle classificazioni di pericolosità determinate dagli strumenti cartografici, non si riscontrano problematiche di fattibilità dell'intervento dal punto di vista idraulico.

Il quadro idrogeologico dell'area di studio è contraddistinto dall'affioramento, alla base delle mura del paese, della formazione della Pietraforte, avente una permeabilità secondaria variabile da valori mediobassi a valori medio-alti e dipendenti dal grado di alterazione e fratturazione della roccia.

Tenuto conto della natura dell'ammasso roccioso (facies arenacea della Pietraforte), del suo stato di alterazione e fratturazione (permeabilità secondaria), è possibile ipotizzare una buona circolazione idrica sotterranea anche se limitata nel tempo, localizzata lungo le discontinuità, che costituiscono, nel sottosuolo, un reticolo di vuoti e spazi intercomunicanti tra loro.

Le prove penetrometriche, eseguite sul terrazzo del ristorante e che hanno interessato il primo spessore di materiale di copertura della roccia, eterogeneo e a struttura caotica, non hanno evidenziato la presenza d'acqua all'interno del foro. Non si esclude però la presenza di una debole circolazione idrica nello spessore superficiale a composizione prevalentemente granulare, specialmente nei periodi più piovosi dell'anno.

L'indagine sismica sito specifica è stata eseguita sulle mura occidentali del centro storico: i geofoni del profilo sono stati disposti partendo dal terrazzo del ristorante la Bastarda Rossa e da qui lungo la parete verticale delle mura per poi svilupparsi, nel tratto terminale, lungo il prato antistante il parcheggio.

Per una migliore rappresentazione geometrica e spaziale dell'area è stato eseguito un rilievo laser scanner dal quale è stato possibile generare un modello tridimensionale dettagliato. Questo modello ha permesso di riprodurre, con estrema precisione, la planimetria e la sezione del profilo sismico eseguito.

Lungo il profilo sismico è stata eseguita un'indagine a rifrazione in onde P elaborata con tecnica tomografica e restituzione 2D e una prova sismica M.A.S.W., necessaria a definire, mediante il valore delle VSeq, la categoria sismica del sottosuolo.

Dalla tomografia in onde P è stato possibile ricostruire il gradiente di velocità delle onde di compressione delle formazioni geologiche presenti lungo l'allineamento dei geofoni.

Lungo il profilo sono stati riconosciuti n. 3 sismo-strati:

- quello superficiale caratterizzato da una velocità media delle onde P di circa 600 m/s, probabilmente corrispondente al terreno di riporto e /o riempimento,
- quello intermedio caratterizzato da una velocità media delle onde P di circa 1000 m/s, probabilmente corrispondente alla porzione fratturata e disgregata della roccia
- il più profondo caratterizzato da una velocità media delle onde P di circa > 1200 m/s, probabilmente corrispondente alla roccia integra o poco fratturata.

La prova MASW realizzata evidenzia che l'area in esame può essere collocata, secondo la normativa italiana, in classe B (402 m/s).

Dall'elaborazione e dall'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche medio-leggere DM30 è stato possibile ricostruire la stratigrafia della porzione del versante retrostante alle mura, dove si distingue una porzione superficiale, interessata dalla presenza di terreni di riporto/riempimento eterogenei che si estendono per una profondità compresa tra m 2.5 a m 4.0 dal piano di calpestio del pavimento del terrazzo e una porzione profonda caratterizzata probabilmente dalla formazione rocciosa alterata e fratturata su cui le prove vanno a rifiuto strumentale.

Dalle stratigrafie dei sondaggi è stato possibile ricostruire l'assetto stratigrafico del sottosuolo alla base delle mura del paese di Arcidosso, in prossimità del sito di studio. Dai risultati ottenuti possiamo osservare la presenza, nella porzione superficiale, di terreni di riporto eterogenei e a struttura caotica: costituiti per la maggior parte da sabbie limose e limi argillosi con inclusi e blocchi di arenaria e talvolta con sfridi edili di laterizio anche di grandi dimensioni. Al di sotto di questo spessore si rinviene la roccia arenaria calcarea fratturata che aumenta di compattezza con la profondità.

Nei sondaggi sono state eseguite delle prove SPT in foro ed è stato prelevato un campione di terreno indisturbato e sottoposto ad analisi di laboratorio geotecnico.

Al fine di valutare la stabilità geo-strutturale della Formazione litoide affiorante (Pietraforte), è stato eseguito un rilievo geomecanico della parete rocciosa oggetto di studio.

L'ammasso risulta pervaso da una rete di discontinuità litologiche che sono state identificate, misurate e classificate in n. 4 famiglie (stratificazione e tre famiglie di fratture) da queste misure si è potuto ricostruire i possibili modelli di rottura della scarpata rocciosa tramite la rappresentazione dell'orientazione spaziale delle discontinuità sulle proiezioni stereografiche.

Dai risultati ottenuti dalle proiezioni stereografiche è scaturito che la famiglia di fratture denominata  $F_2$  presenta le condizioni per lo scivolamento planare lungo la discontinuità e che l'intersezione tra la famiglia di fratture  $F_2$  e la famiglia di fratture  $F_3$  può generare lo scivolamento di un cuneo.

Per la caratterizzazione geotecnica dell'affioramento roccioso della Pietraforte, nella sua porzione fratturata, è stata eseguita la classificazione di Beniawsky.

Dall'elaborazione e dall'interpretazione delle indagini eseguite sul sito di studio è stato possibile determinare il modello geotecnico di riferimento.

Nello specifico sono state riconosciute 4 unità geotecniche

- U.G.1 - Terreno di riporto eterogeneo del terrazzo del ristorante
- U.G.2 - Terreno di riporto eterogeneo alla base della scarpata
- U.G.3 - Arenaria fratturata
- U.G.4 - Arenaria integra o poco fratturata

L'unità 1 è stata caratterizzata con i parametri geotecnici ricavati dall'elaborazione e dall'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche eseguite sul terrazzo del ristorante.

L'unità 2 è stata caratterizzata con i parametri geotecnici ricavati dall'elaborazione e dall'interpretazione delle prove SPT eseguite nei sondaggi geognostici alla base della scarpata e del campione prelevato dal sondaggio S1\_2021.

L'unità 3 è stata caratterizzata con la classificazione dell'ammasso roccioso di Beniawsky sull'affioramento alla base della scarpata.

L'unità 4, non avendo dei dati diretti, è stata caratterizzata considerando, in maniera cautelativa, un debole aumento percentuale dei parametri dell'unità 3.

| <b>Unità geotecniche superficiali - terre</b> |                            |   |                          |                            |                                |                           |                           |                         |
|---|----------------------------|---|--------------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|
| U.G.  | Peso di volume<br>$\gamma$ | Peso di volume saturo<br>$\gamma_{sat}$ | Densità relativa<br>$Dr$ | Angolo attrito<br>$\phi_k$ | Coesione non drenata<br>$Cu_k$ | Coesione efficace<br>$c'$ | Modulo edometrico<br>$Ed$ | Modulo elastico<br>$Ey$ |
|   | (t/m <sup>3</sup> )        | (t/m <sup>3</sup> )                     | %                        | °                          | (Kg/cm <sup>2</sup> )          | (Kg/cm <sup>2</sup> )     | (Kg/cm <sup>2</sup> )     | (Kg/cm <sup>2</sup> )   |
| 1   | 1.40                       | 1.87                                    | 17                       | 21.6                       | 0.13                           |                           | 35                        | 29                      |
| 2   | 1.45                       | 1.85                                    | 40                       | 24.5                       | 0.15                           | 0.08                      | 57                        | 80                      |

| <b>Unità geotecniche profonde - roccia</b> |                            |                          |                       |                            |
|--|----------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------|
| U.G.                                       | Peso di volume<br>$\gamma$ | Angolo attrito<br>$\phi$ | Coesione<br>$c$       | Modulo Deformazione<br>$E$ |
|  | (t/m <sup>3</sup> )        | °                        | (Kg/cm <sup>2</sup> ) | (MPa)                      |
| 3  | 2.50                       | 33.7                     | 2.9                   | 14.7                       |
| 4  | 2.50                       | 40                       | 3.2                   | 18                         |

Dalla verifica di stabilità eseguita è risultato che il versante presenta un coefficiente di sicurezza superiore ai limiti normativi, rappresentando così una condizione di stabilità globale (v. Cap. 14).

Dalla consultazione della carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica di livello 1, secondo lo Studio di Microzonazione Sismica della Regione Toscana – Comune di Arcidosso, il sito di studio ricade all'interno delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali; nello specifico rientra nella zona 2007, ovvero: aree nelle quali è presente un substrato rappresentato dai litotipi appartenenti alla Pietraforte o alla facies calcareo - argillitica dell'Unità di Canetolo (SFALS), coperti da un sottile spessore, inferiore a 5 metri, riferibile alla coltre di alterazione del substrato. Le possibili amplificazioni sono dovute alla fratturazione del substrato. Questa zona comprende le aree con versanti con pendenza superiore a 15°.

Questo dato conferma quanto è scaturito dalle indagini geognostiche eseguite nel sito di progetto e con quanto riportato nel modello geologico-geotecnico, dove si evidenzia uno strato superficiale di materiale variamente addensato che ricopre, per uno spessore di circa 5/7 metri, la formazione rocciosa della Pietraforte.

Esaminando i risultati ottenuti dalla campagna d'indagine e dai rilevamenti effettuati sul versante in oggetto risulta che l'affioramento roccioso alla base delle mura presenta un sistema di fratturazione che potrebbe generare delle superfici di scivolamento planare o di cuneo; inoltre, la cartografia del PAI Dissesti dell'Appennino settentrionale e del Piano Strutture Intercomunale (adottato 2020) inseriscono il sito di progetto in classe di pericolosità elevata (P3a per il PAI e G.3 per il PSI).

In relazione a quanto sopra riportato si consiglia di eseguire delle opere e degli interventi per contenere le probabili instabilità.

Come operazione primaria si consiglia di eliminare tutta la vegetazione presente sulle mura ed in modo particolare le piante (fico) presenti nell'area di appoggio delle mura sulla formazione rocciosa (cfr. Tav. G721525MFAF02 - Foto 4).

Si consiglia di effettuare dei disgaggi di eventuali porzioni o frammenti di roccia instabili che potrebbero staccarsi alla base delle mura.

Si consiglia di realizzare delle opere di stabilizzazione del versante alla base delle mura in appoggio alla roccia, tipo dei contrafforti come sono già stati eseguiti immediatamente ad est del sito di studio (cfr. Tav. G721525MFAF02 - Foto 4).

In riferimento a quanto sopra esposto, le opere di intervento si può definire fattibile dal punto di vista geologico/geomorfologico, idraulico e idrogeologico, salvo la realizzazione di opere di contenimento del versante.

Si ricorda che i volumi di terreno eventualmente movimentati sono disciplinati da quanto prescritto nel D.P.R. 13 giugno 2017, n. 120.

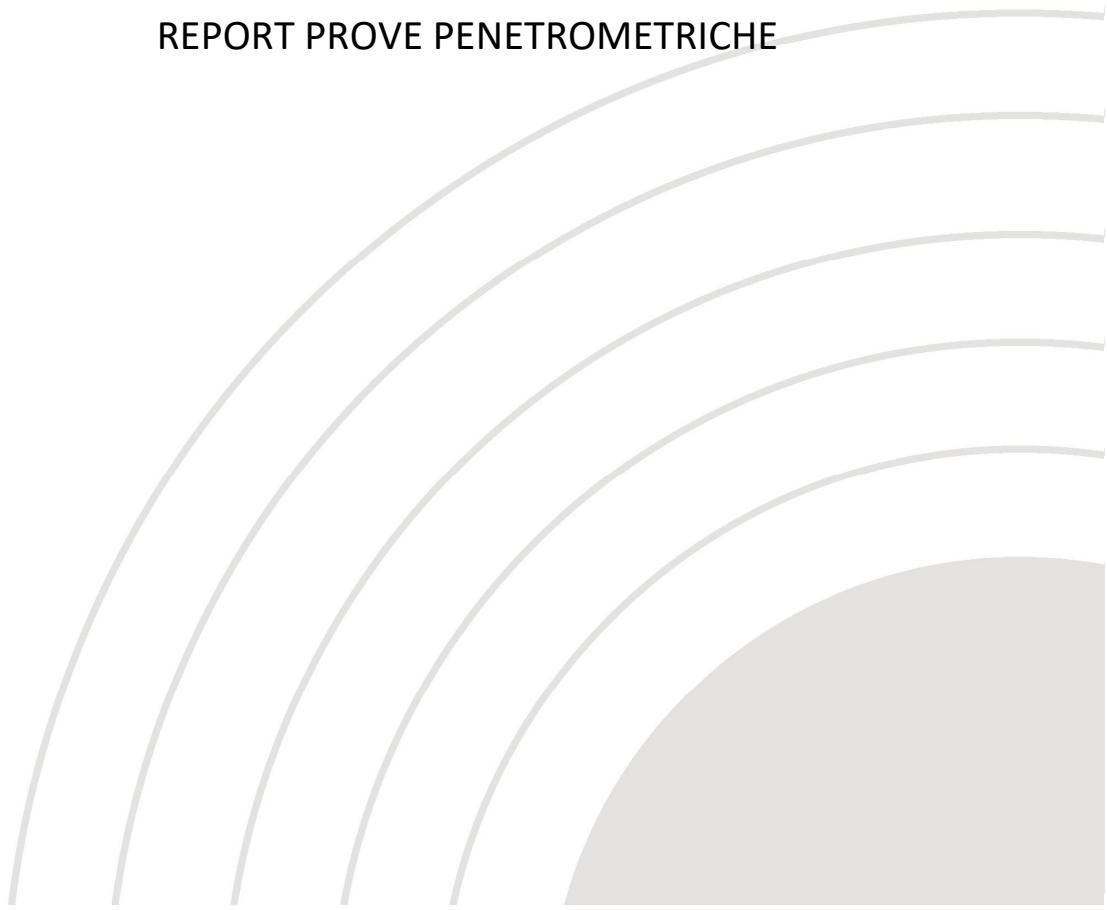
Grosseto, novembre 2025

Il Tecnico  
Dott. Geol. Massimo Fanti



## ALLEGATO 1

## REPORT PROVE PENETROMETRICHE



GEOSTRU  
CHANGES FROM: PREFERENCES OPTIONS  
COMPANY

.....

---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1  
Strumento utilizzato... GeoDeepDrill DM30

---

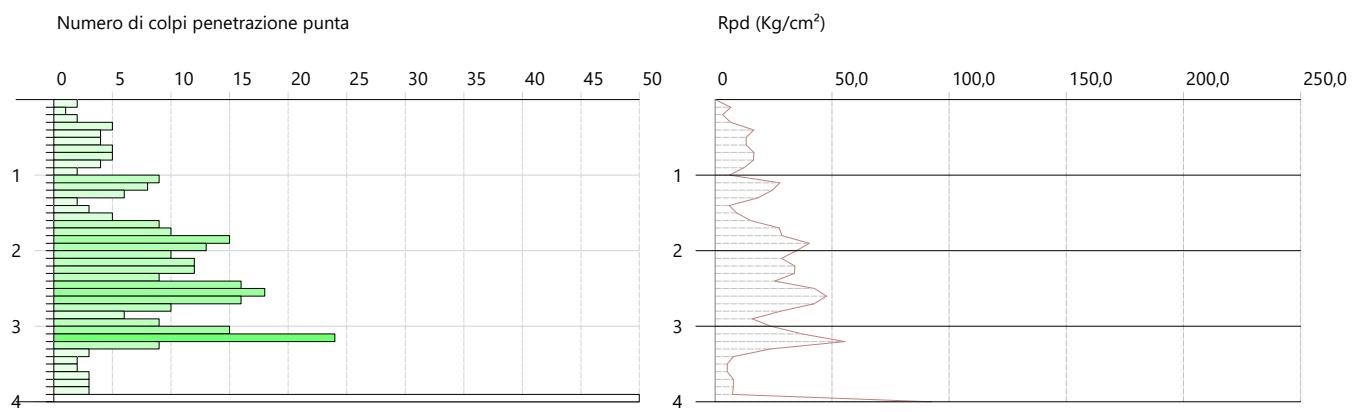
Committente: Alessandro Nenci

03/10/2025

Descrizione:

Localita': Via della Fratta, Arcidosso

Scala 1:100



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

GEOSTRU  
CHANGES FROM: PREFERENCES OPTIONS  
COMPANY

.....

---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2  
Strumento utilizzato... GeoDeepDrill DM30

---

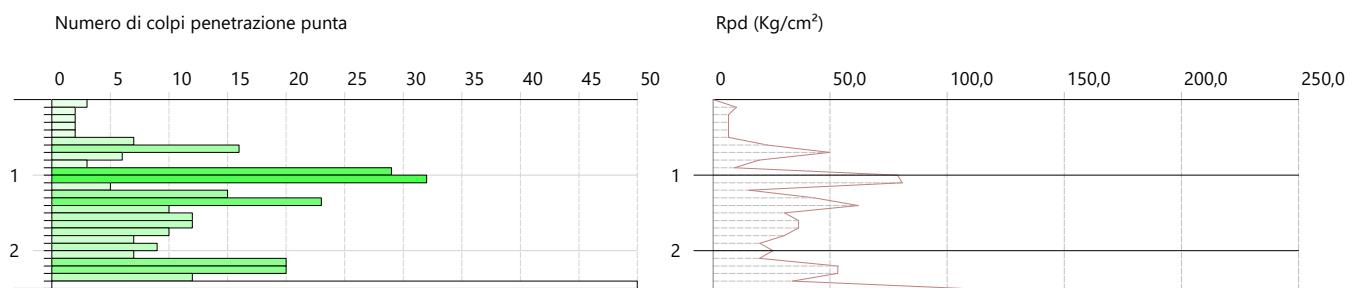
Committente: Alessandro Nenci

03/10/2025

Descrizione:

Localita': Via della Fratta, Arcidosso

Scala 1:100



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

GEOSTRU  
CHANGES FROM: PREFERENCES OPTIONS  
COMPANY

.....

---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3  
Strumento utilizzato... GeoDeepDrill DM30

---

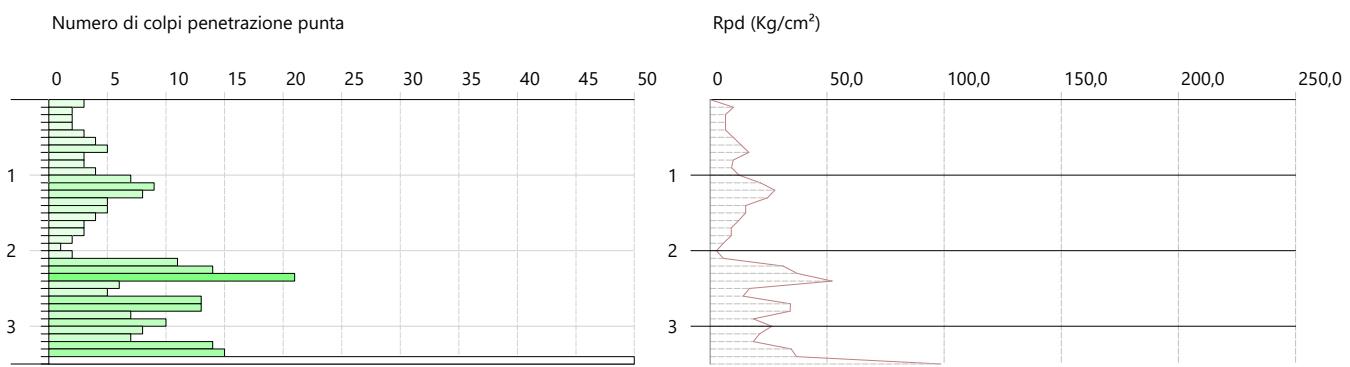
Committente: Alessandro Nenci

03/10/2025

Descrizione:

Localita': Via della Fratta, Arcidosso

Scala 1:100



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

GEOSTRU  
CHANGES FROM: PREFERENCES OPTIONS  
COMPANY

.....

---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.4  
Strumento utilizzato... GeoDeepDrill DM30

---

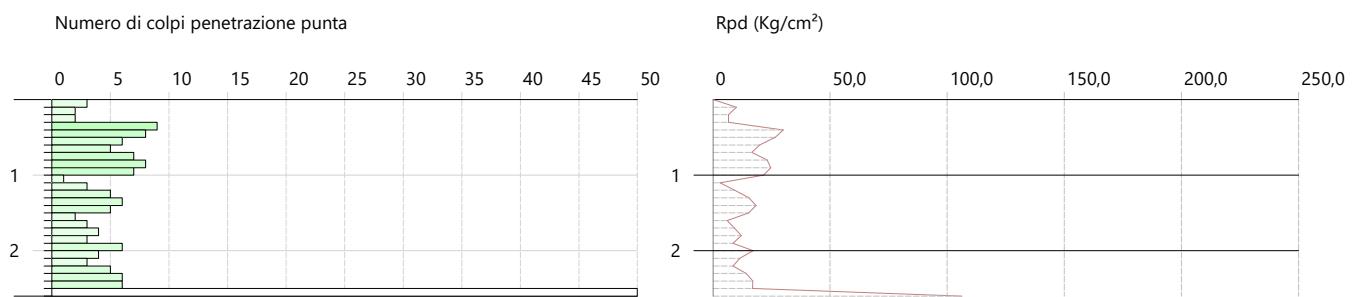
Committente: Alessandro Nenci

03/10/2025

Descrizione:

Localita': Via della Fratta, Arcidosso

Scala 1:100

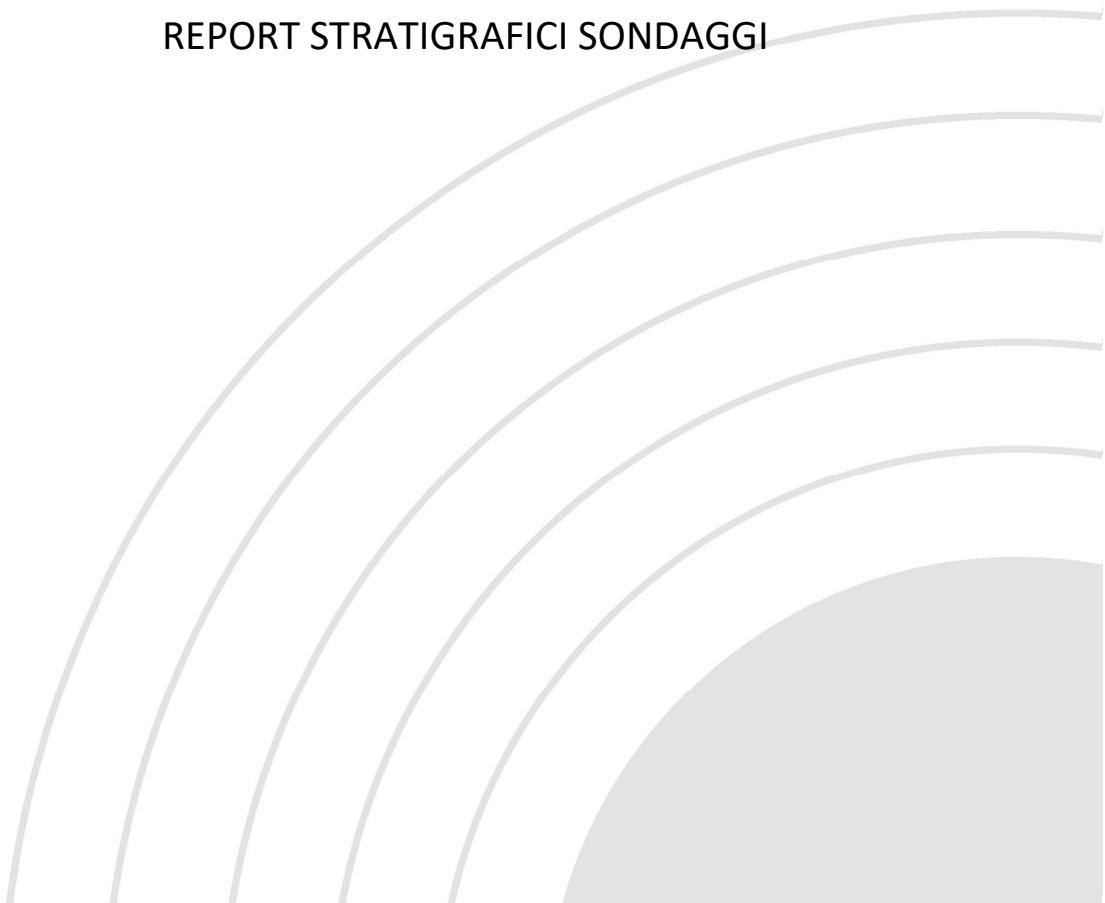


SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

## ALLEGATO 2

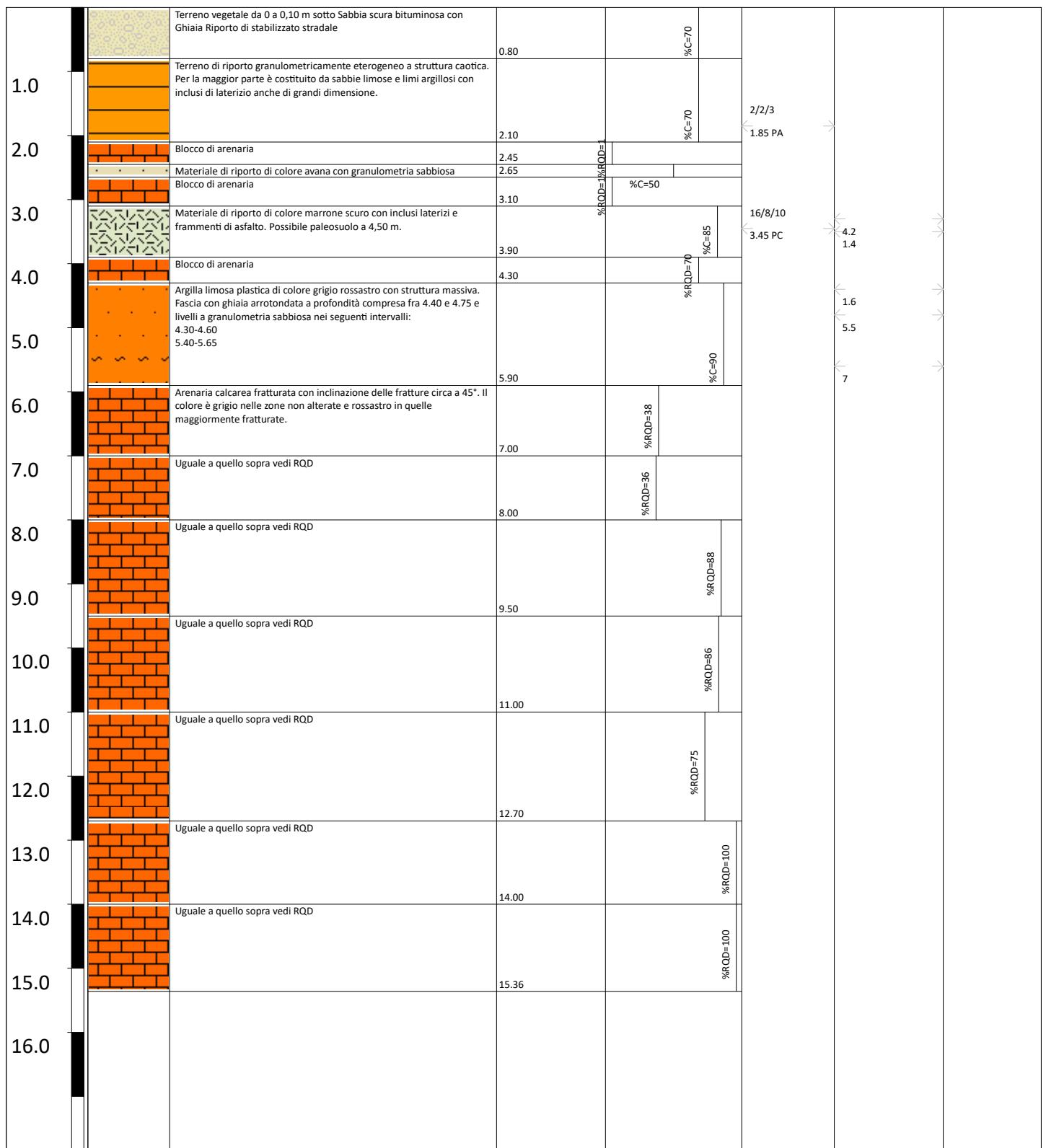
## REPORT STRATIGRAFICI SONDAGGI



|  |   |                              |   |
|--|---|------------------------------|---|
| Committente<br>Amm. comunale Arcidosso | Ubicazione<br>Via della Fratta - Arcidosso (GR)       | Tipo Sonda<br>CMV            | Inizio/Fine Esecuzione<br>09/10/2025-10/10/2025 |
| Quota Ass. P.C.<br>629 m s.l.s         | Coordinate X Y<br>X: 707044; Y: 47496659 (EPSG 32632) | Profondità raggiunta<br>15 m | Falda<br>Non individuata                        |

### Sondaggio S1

| Scala | Litologia | Descrizione | Spessore | % di recupero / RQD | S.P.T. | Pocket Test |  |
|-------|-----------|-------------|----------|---------------------|--------|-------------|--|
|-------|-----------|-------------|----------|---------------------|--------|-------------|--|



|                                       |  |                                    |  |                             |                      |
|---------------------------------------|--|------------------------------------|--|-----------------------------|----------------------|
| Commitente                            |  | Ubicazione indagine                |  | Data esecuzione inizio/fine |                      |
| Amministrazione comunale di Arcidosso |  | Via della Fratta - Arcidosso (GR)  |  | 09/10/2025-10/10/2025       |                      |
| Attrezzatura perforazione             |  | Metodo perforazione                |  | Quota P.C (metri s.l.m)     | Profondità raggiunta |
| CMV                                   |  | Perforazione a carotaggio continuo |  | 629,0 m s.l.m               | 15,00 m              |

### Sondaggio S1

#### Documentazione fotografica



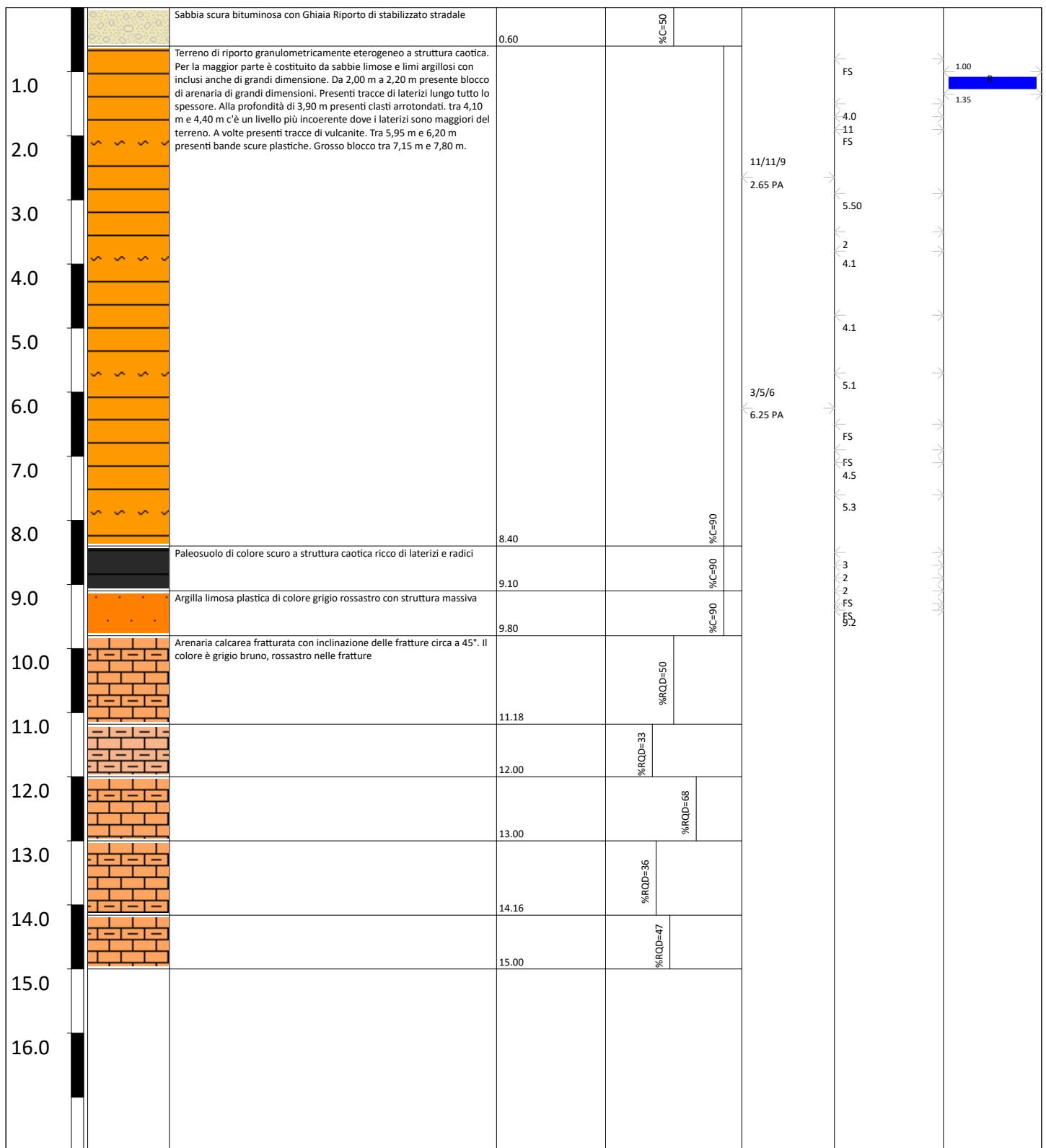
#### Postazione S1



|  |   |                              |   |
|--|---|------------------------------|---|
| Committente<br>Amm. comunale Arcidosso | Ubicazione<br>Via della Fratta - Arcidosso (GR)             | Tipo Sonda<br>Beretta T40    | Inizio/Fine Esecuzione<br>17/05/2021-17/05/2021 |
| Quota Ass. P.C.<br>632 m s.l.s         | Coordinate X Y<br>X: 42.87142660; Y: 11.5348022 (EPSG 4023) | Profondità raggiunta<br>15 m | Falda<br>Non individuata                        |

### Sondaggio S2

| Scala | Litologia | Descrizione | Spessore | % di recupero / RQD | S.P.T. | Pocket Test | Campioni |
|-------|-----------|-------------|----------|---------------------|--------|-------------|----------|
|-------|-----------|-------------|----------|---------------------|--------|-------------|----------|



|   |   |  |
|---|---|--|
| Commitente<br>Amministrazione comunale di Arcidosso | Ubicazione indagine<br>Via della Fratta - Arcidosso (GR)  | Data esecuzione inizio/fine<br>17/05/2021-17/05/2021 |
| Attrezzatura perforazione<br>Beretta T40            | Metodo perforazione<br>Perforazione a carotaggio continuo | Quota P.C (metri s.l.m)<br>630,0 m s.l.m             |
| <b>Sondaggio S2</b>                                 |   |  |

## Documentazione fotografica



### Postazione S2



**ALLEGATO 3****CERTIFICATO ANALISI DI LABORATORIO GEOTECNICO**

Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l.  
per Amministrazione Comunale di Arcidosso

---

Parcheggio Via della Madonna  
Arcidosso (GR)

---

RISULTATI PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

---

|   |      |                             |          |  |  |
|---|------|-----------------------------|----------|--|--|
| VERBALE DI ACCETTAZIONE:  | 1234 | DATA VERBALE :              | 19/05/21 | IL DIRETTORE DEL LABORATORIO<br>DOTT. RICCARDO RAMPI |  |
| COMMESSA:   | 1092 | DATA EMISSIONE CERTIFICATI: | 07/06/21 |  |  |
| <b>CNG S.r.l.</b>   |      |                             |          |  |  |
| Sede Legale e Uffici Tecnici: Via Squinzano, 87 - 00133 - Roma  |      |                             |          |  |  |
| Tel/Fax 06 2018088 - WEB: <a href="http://www.congeo.it">www.congeo.it</a> - E-mail: <a href="mailto:cng@congeo.it">cng@congeo.it</a> - PEC: <a href="mailto:cngsrl@pec.it">cngsrl@pec.it</a> |      |                             |          |  |  |
| C. F. e P. I.V.A. 11215291003 - R.E.A. n. 1287827 - c.s. 10.000,00 € i.v.   |      |                             |          |  |  |
| Azienda con Sistema Qualità Certificato N° IT239744   |      |                             |          |  |  |

|   |   |  |  |  |  |  |                         |
|---|---|--|--|--|--|--|-------------------------|
|  <p><b>CNG S.r.l.</b><br/>LABORATORIO<br/>GEOTECNICO<br/>Via Squinzano, 87 - 00133 Roma<br/>Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it</p> | <b>Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l. per Amministrazione Comunale di Arcidosso</b> |  |  |  |  |  | Data: <b>07/06/2021</b> |
|   | <b>Parcheggio Via della Madonna</b>   |  |  |  |  |  | N° Commessa <b>1092</b> |
|   | <b>Arcidosso (GR)</b>   |  |  |  |  |  | N° Verbale <b>1234</b>  |
|   |   |  |  |  |  |  |                         |

**QUADRO SINOTTICO DEI RISULTATI**

| <b>DETERMINAZIONE</b>                                      | SONDAGGI                          | 1                                   | 2     |       |       |  |  |
|--|-----------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|--|--|
|  | CAMPIONE                          | 1                                   | 1     |       |       |  |  |
|  | da m                              | 2,00                                | 1,00  |       |       |  |  |
|  | a m                               | 2,25                                | 1,35  |       |       |  |  |
|  | N° laborat.                       | 4584                                | 4585  |       |       |  |  |
|  | CONTENUTO NATURALE D'ACQUA        | <b>W<sub>n</sub></b>                | ( % ) | 20,4  | 19,8  |  |  |
| INDICE DEI VUOTI   | <b>e</b>                          | ( - )                               |       | 0,56  | 0,55  |  |  |
| POROSITÀ   | <b>n</b>                          | ( % )                               |       | 35,7  | 35,4  |  |  |
| GRADO DI SATURAZIONE                                       | <b>S<sub>r</sub></b>              | ( % )                               |       | 99,7  | 95,1  |  |  |
| PESO DI VOLUME NATURALE                                    | <b>γ<sub>n</sub></b>              | (kN/m <sup>3</sup> )                |       | 20,62 | 19,96 |  |  |
| PESO DI VOLUME SECCO                                       | <b>γ<sub>d</sub></b>              | (kN/m <sup>3</sup> )                |       | 17,13 | 16,66 |  |  |
| PESO DI VOLUME SATURO                                      | <b>γ<sub>sat</sub></b>            | (kN/m <sup>3</sup> )                |       | 20,63 | 20,13 |  |  |
| PESO SPECIFICO DEI GRANULI                                 | <b>γ<sub>s</sub></b>              | (kN/m <sup>3</sup> )                |       | 26,65 | 25,78 |  |  |
| FRAZIONE GHIAIOSA  | <b>G</b>                          | ( % )                               |       |       |       |  |  |
| FRAZIONE SABBIOSA  | <b>S</b>                          | ( % )                               |       |       |       |  |  |
| FRAZIONE LIMOSA  | <b>L</b>                          | ( % )                               |       |       |       |  |  |
| FRAZIONE ARGILLOSA   | <b>A</b>                          | ( % )                               |       |       |       |  |  |
| LIMITE DI LIQUIDITÀ  | <b>W<sub>L</sub></b>              | ( % )                               |       | 36,6  | 34,0  |  |  |
| LIMITE DI PLASTICITÀ                                       | <b>W<sub>P</sub></b>              | ( % )                               |       | 17,5  | 17,0  |  |  |
| INDICE DI PLASTICITÀ                                       | <b>IP</b>                         | ( % )                               |       | 19,1  | 17,0  |  |  |
| INDICE DI CONSISTENZA                                      | <b>IC</b>                         | ( - )                               |       | 0,8   | 0,8   |  |  |
| LIMITE DI RITIRO   | <b>W<sub>s</sub></b>              | ( % )                               |       |       |       |  |  |
| CLASSIFICAZIONE U.S.C.S. (S.I.)                            | <b>U.S.C.S</b>                    | ( - )                               |       | /     | /     |  |  |
| CLASSIFICAZIONE AASHTO                                     | <b>AASHTO</b>                     | ( - )                               |       | /     | /     |  |  |
| VANE TEST (MEDIA DI PIU' VALORI)                           |                                   | (kPa)                               |       | /     | /     |  |  |
| POCKET PENETROMETER (MEDIA O RANGE DI PIU' VALORI)         |                                   | (kPa)                               |       | /     | /     |  |  |
| RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA | <b>σ</b>                          | (kPa)                               |       |       |       |  |  |
|  | <b>ε</b>                          | ( % )                               |       |       |       |  |  |
| PROVA DI TAGLIO DIRETTO TIPO CD*                           | <b>c'</b>                         | (kPa)                               |       | 17    | 8     |  |  |
|  | <b>ϕ'</b>                         | ( ° )                               |       | 25    | 32    |  |  |
| PROVA DI TAGLIO DIRETTO RESIDUO                            | <b>c<sub>r</sub></b>              | (kPa)                               |       | 1     |       |  |  |
|  | <b>ϕ<sub>r</sub></b>              | ( ° )                               |       | 23    |       |  |  |
| PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE UU                        | <b>c<sub>u</sub></b>              | (kPa)                               |       |       |       |  |  |
| PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CIU                       | <b>c</b>                          | (kPa)                               |       |       |       |  |  |
| PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE CID                       | <b>ϕ'</b>                         | ( ° )                               |       |       |       |  |  |
| MODULO DI COMPRESSIBILITÀ EDOMETRICA                       | <b>E</b><br>(kPa)                 | 12,3/25(kPa)                        |       |       |       |  |  |
|  |                                   | 25/49(kPa)                          |       |       |       |  |  |
|  |                                   | 49/98(kPa)                          |       |       |       |  |  |
|  |                                   | 98/196(kPa)                         |       |       |       |  |  |
|  |                                   | 196/392(kPa)                        |       |       |       |  |  |
|  |                                   | 392/785(kPa)                        |       |       |       |  |  |
|  |                                   | 785/1569(kPa)                       |       |       |       |  |  |
|  |                                   | 1569/3138(kPa)                      |       |       |       |  |  |
|  |                                   | 3138/6276(kPa)                      |       |       |       |  |  |
| COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE                             | <b>Cv</b><br>cm <sup>2</sup> /sec | 12,3/25(kPa)                        |       |       |       |  |  |
|  |                                   | 25/49(kPa)                          |       |       |       |  |  |
|  |                                   | 49/98(kPa)                          |       |       |       |  |  |
|  |                                   | 98/196(kPa)                         |       |       |       |  |  |
|  |                                   | 196/392(kPa)                        |       |       |       |  |  |
|  |                                   | 392/785(kPa)                        |       |       |       |  |  |
|  |                                   | 785/1569(kPa)                       |       |       |       |  |  |
|  |                                   | 1569/3138(kPa)                      |       |       |       |  |  |
|  |                                   | 3138/6276(kPa)                      |       |       |       |  |  |
| PROVA DI COLONNA RISONANTE                                 | <b>RC</b>                         | /                                   |       |       |       |  |  |
| PROVA DI TAGLIO TORSIONALE CICLICO                         | <b>TTC</b>                        | /                                   |       |       |       |  |  |
| PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO IN CELLA EDOMETRICA             | <b>RG</b>                         | (kPa)                               |       |       |       |  |  |
| PROVA PROCTOR  | <b>PR</b>                         | γ <sub>d</sub> (kN/m <sup>3</sup> ) |       |       |       |  |  |
|  |                                   | w (%)                               |       |       |       |  |  |
| PROVA CBR  | <b>CBR</b>                        | (a 2,5 mm)                          |       |       |       |  |  |
| CONTENUTO IN CARBONATI TOTALI                              | <b>CAT</b>                        | (%)                                 |       |       |       |  |  |
| PROVA DI PERMEABILITÀ IN CELLA EDOMETRICA                  | <b>K</b>                          | (m/sec)                             |       |       |       |  |  |

\* NEL TD I VALORI DI C' E ϕ' SONO IL RISULTATO DI UNA RETTA DI INVILUPPO CHE PASSA PER I TRE PUNTI COME LINEA DI INTERPOLAZIONE, SENZA alcuna interpretazione dei risultati

|  |   |                  |                            |                                   |
|--|---|------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| <br><b>CNG S.r.l.</b><br>LABORATORIO<br>GEOTECNICO | <b>Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l. per<br/>Amministrazione Comunale di Arcidosso</b> | SOND.:<br>CAMP.: | 2<br>1                     | PAGINA:<br>15                     |
|  | Parcheggio Via della Madonna<br>Arcidosso (GR)  | da m:<br>a m:    | 1,00<br>1,35               | N° IDENTIFICATIVO INTERNO<br>4585 |
|  | DATA RICEVIMENTO CAMPIONE   | 19/05/21         | DATA EMISSIONE CERTIFICATI | 07/06/21                          |

## **FOGLIO RIEPILOGATIVO DELLE CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICO-MECCANICHE DEL CAMPIONE**

#### **CARATTERISTICHE CHIMICHE**

| FRAZIONE CARBONIO ORG. MEDIA (%) | REAZIONE DEL SUOLO (PH) | TENORE CARBONATI |
|----------------------------------|-------------------------|------------------|
| SOSTANZA ORGANICA S.O.           | TENORE SOLFATI          |                  |

#### **CARATTERISTICHE FISICHE**

|                   |       |      |       |                            |                |       |                      |
|-------------------|-------|------|-------|----------------------------|----------------|-------|----------------------|
| UMIDITA' NATURALE | $W_n$ | 19,8 | (%)   | PESO DI VOLUME NATURALE    | $\gamma_n$     | 19,96 | (kN/m <sup>3</sup> ) |
| INDICE DEI VUOTI  | $e$   | 0,55 | ( - ) | PESO DI VOLUME SECCO       | $\gamma_d$     | 16,66 | (kN/m <sup>3</sup> ) |
| POROSITA'         | $n$   | 35,4 | (%)   | PESO DI VOLUME SATURO      | $\gamma_{sat}$ | 20,13 | (kN/m <sup>3</sup> ) |
| GRADO DI SATURAZ. | $S_r$ | 95,1 | (%)   | PESO SPECIFICO DEI GRANULI | $\gamma_s$     | 25,78 | (kN/m <sup>3</sup> ) |

#### **CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE (SECONDO UDDEN - WENTWORTH)**

| /                        |                              |                                 | PASSANTE AL SETACCIO 200 (%) |          |        |
|--------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|----------|--------|
| GHIAIA (%):<br>64 - 2 mm | SABBIA (%):<br>2 - 0,0625 mm | LIMO (%):<br>0,0625 - 0,0039 mm | ARGILLA (%):<br>< 0,0039 mm  | U.S.C.S. | AASHTO |
|                          |                              |                                 |                              | /        | /      |

#### **CARATTERISTICHE DI PLASTICITA' E PERMEABILITA'**

| CLASSIFICAZIONE SECONDO ABACO DI PLASTICITÀ |                      | <b>CL</b> | CONSISTENZA DEL MATERIALE SECONDO IC |                               | <b>Solido-plastica</b> |          |
|---|----------------------|-----------|--------------------------------------|-------------------------------|------------------------|----------|
| LIMITE DI LIQUIDITA'                        | <b>W<sub>L</sub></b> | 34,0      | (%)                                  | LIMITE DI RITIRO              | <b>W<sub>S</sub></b>   | (%)      |
| LIMITE DI PLASTICITA'                       | <b>W<sub>P</sub></b> | 17,0      | (%)                                  | INDICE DI CONSISTENZA         | <b>IC</b>              | 0,83 (-) |
| INDICE DI PLASTICITA'                       | <b>IP</b>            | 17,0      | (%)                                  | ATTIVITA' ( IP / % < 0,002mm) | <b>Ac</b>              | ( - )    |
| PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO                  |                      | (kPa)     | PERMEABILITA'                        |                               | <b>k</b>               | (m/sec)  |

#### **CARATTERISTICHE MECCANICHE**

|   |           |                 |                     |       |       |                      |                 |
|---|-----------|-----------------|---------------------|-------|-------|----------------------|-----------------|
| VAN TEST                                | /         | <b>Cu</b> (kPa) | POCKET PENETROMETER |       |       | /                    | <b>σf</b> (kPa) |
| ESPANSIONE LATERALE LIBERA              |           |                 | <b>σf</b>           | (kPa) |       | <b>ε</b>             | (%)             |
| PROVA DI TAGLIO DIRETTO TIPO C.D.       |           |                 | VALORI DI PICCO     |       |       | VALORI RESIDUI       |                 |
|   |           |                 | <b>C'</b>           | 8     | (kPa) | <b>C<sub>r</sub></b> | (kPa)           |
|   |           |                 | <b>ϕ'</b>           | 32    | ( ° ) | <b>ϕ<sub>r</sub></b> | ( ° )           |
| PROVA DI<br>COMPRESSEIONE<br>TRIASSIALE | CID       |                 | CIU                 |       |       | UU                   |                 |
|   | <b>C'</b> | (kPa)           | <b>C</b>            | (kPa) |       | <b>C<sub>u</sub></b> | (kPa)           |
|   | <b>ϕ'</b> | ( ° )           | <b>ϕ</b>            | ( ° ) |       | <b>ϕ<sub>u</sub></b> | ( ° )           |

#### **CARATTERISTICHE EDOMETRICHE**

|                               |  |   |
|-------------------------------|--|---|
| <b>INDICE CBR (2,5) (%) =</b> | <b>CARATTERISTICHE OTTIMALI PROCTOR</b>            | P.VOLUME SEC. $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> ) |
| <b>INDICE CBR (5,0) (%) =</b> | PESO DI VOL. UMIDO $\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> ) | UMIDITA' W (%)                                |

|   |   |                        |                         |                                     |
|---|---|------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| <br><b>CNG S.r.l.</b><br>LABORATORIO<br>GEOTECNICO<br>Via Squinzano, 87 - 00133 Roma<br>Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it | <b>Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l. per Amministrazione Comunale di Arcidosso</b> |                        | SOND.: 2                | PAGINA: 16                          |
|   | Parcheggio Via della Madonna<br>Arcidosso (GR)  |                        | da m: 1,00<br>a m: 1,35 |                                     |
| N° VERBALE  | 1234  | N° COMMESSA            | 1092                    | ID. INTERNO: 4585                   |
| DATA RICEVIMENTO CAMPIONE   | 19/05/21  | DATA APERTURA CAMPIONE | 19/05/21                | DATA EMISSIONE CERTIFICATO 07/06/21 |

## SCHEDA CAMPIONE

### CARATTERISTICHE DI CAMPIONAMENTO

|                               |                  |                            |        |
|-------------------------------|------------------|----------------------------|--------|
| TIPO DI PERFORAZIONE          | ASTE E CAROTIERE | TIPO DI CAMPIONATORE       | SHELBY |
| TIPO DI CONTENITORE           | INOX             | LUNGHEZZA CONTENITORE (cm) | 50     |
| LUNGHEZZA REALE CAMPIONE (cm) | 35               | DIAMETRO CAMPIONE (mm)     | 85     |

### DESCRIZIONE ED ANALISI PRELIMINARI

| POCKET(kPa) | V.TEST(kPa) | CAMPIONE  | UBICAZIONE PROVE               | DESCRIZIONE  |
|-------------|-------------|---|--------------------------------|--|
| /           | /           |  |                                | Clasti spigolosi e frammenti di laterizi in matrice sabbioso-argillosa di colore marrone, abbastanza consistente, plastica alla manipolazione. Vivace la reazione all'HCl. |
| /           | /           |   |                                |  |
| /           | /           |   | TD ←                           |  |
| /           | /           | Basso   | STATO DICHiarato DEL CAMPIONE: | INDISTURBATO   |
|             |             |   | /                              | CLASSE DI QUALITA' (BS 5930:1981): 2   |
|             |             |   |                                |  |

### DETERMINAZIONI ESEGUITE

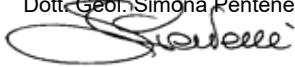
| PROVE ESEGUITE                                      |   | DATA INIZIO | DATA FINE | PROVE ESEGUITE  |  | DATA INIZIO | DATA FINE |
|---|---|-------------|-----------|---|--|-------------|-----------|
| CONTENUTO NATURALE D'ACQUA                          | X | 19/05/21    | 23/05/21  | PROVA TRIASSIALE TIPO CID                             |  |             |           |
| PESO DI VOLUME NATURALE                             | X | 20/05/21    | 22/05/21  | PROVA DI COSTIPAMENTO PROCTOR                         |  |             |           |
| PESO SPECIFICO DEI GRANULI                          | X | 27/05/21    | 28/05/21  | PROVA C.B.R.  |  |             |           |
| ANALISI GRANULOMETRICA                              |   |             |           | PROVA DI PERMEABILITA' IN EDOMETRO A CARICO VARIABILE |  |             |           |
| LIMITI DI ATTERBERG                                 | X | 28/05/21    | 31/05/21  | PROVA DI PERMEABILITA' IN CELLA TRIASSIALE            |  |             |           |
| PROVA DI TAGLIO DIRETTO TIPO C.D.                   | X | 20/05/21    | 27/05/21  | PERMEABILITA' IN PERMEAMETRO                          |  |             |           |
| PROVA DI TAGLIO DIRETTO RESIDUO                     |   |             |           | DETERMINAZIONE PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO             |  |             |           |
| PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA                    |   |             |           | PROVA DI RIGONFIAMENTO METODO HUDER-AMBERG            |  |             |           |
| PROVA DI COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA |   |             |           | DETERMINAZIONE DEFORMAZIONE DI RIGONFIAMENTO          |  |             |           |
| PROVA TRIASSIALE TIPO UU                            |   |             |           | DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO DI CARBONATI             |  |             |           |
| PROVA TRIASSIALE TIPO CIU                           |   |             |           | DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO DI SOSTANZE ORGANICHE    |  |             |           |
| PROVA DI COLONNA RISONANTE (RC)                     |   |             |           | PROVA DI TAGLIO TORSIONALE CICLICO (TTC)              |  |             |           |

### NOTE

|  |
|--|
|  |
|--|

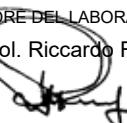
LO SPERIMENTATORE

Dott. Geol. Simona Pentenè



IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Dott. Geol. Riccardo Rampi



|   |   |                        |             |                   |            |                    |
|---|---|------------------------|-------------|-------------------|------------|--------------------|
| <br><b>CNG S.r.l.</b><br>LABORATORIO<br>GEOTECNICO<br>Via Squinzano, 87 - 00133 Roma<br>Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it | <b>Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l. per Amministrazione Comunale di Arcidosso</b> |                        |             |                   | SOND.: 2   | PAGINA: 17         |
|   | Parcheggio Via della Madonna<br>Arcidosso (GR)  |                        |             |                   | CAMP.: 1   | PAGINA CERTIFICATO |
|   |   |                        |             |                   | da m: 1,00 | 1 di 1             |
|   | N° VERBALE  | 1234                   | N° COMMESSA | 1092              | a m: 1,35  | N° CERTIFICATO     |
|   | ID. INTERNO   | 4585                   |             |                   |            | <b>18995 WN</b>    |
| DATA RICEVIMENTO CAMP.  | 19/05/21  | DATA EMISSIONE CERTIF. | 07/06/21    | DATA INIZIO PROVA | 19/05/21   | DATA FINE PROVA    |
|   |   |                        |             |                   |            | 23/05/21           |

## CONTENUTO D'ACQUA NATURALE $W_n$

ASTM D 2216

|                                   |   |   |
|-----------------------------------|---|---|
| Classe di qualità (BS 5930:1981): | 1 | / |
|-----------------------------------|---|---|

| PROVA DI RIFERIMENTO | $W_1$ | $W_2$ | ED | Trx CID | Trx CID | Trx CID | TD    | TD    | TD    | Perm Trx |
|----------------------|-------|-------|----|---------|---------|---------|-------|-------|-------|----------|
| PESO CAPS. (g)       | 28,73 | 29,25 |    |         |         |         | 29,70 | 29,01 | 29,96 |          |
| P.UMIDO+CAPS. (g)    | 76,91 | 69,24 |    |         |         |         | 63,66 | 68,65 | 66,07 |          |
| P.SECCO+CAPS. (g)    | 70,3  | 61,41 |    |         |         |         | 58,28 | 62    | 60,1  |          |
| $W$ (%)              | 15,9  | 24,3  |    |         |         |         | 18,8  | 20,2  | 19,8  |          |

| PROVA DI RIFERIMENTO | ELL | ELL | ELL | UU | UU | UU | PR. RIG. | HUDER-A. | RC | TTC |
|----------------------|-----|-----|-----|----|----|----|----------|----------|----|-----|
| PESO CAPS. (g)       |     |     |     |    |    |    |          |          |    |     |
| P.UMIDO+CAPS. (g)    |     |     |     |    |    |    |          |          |    |     |
| P.SECCO+CAPS. (g)    |     |     |     |    |    |    |          |          |    |     |
| $W$ (%)              |     |     |     |    |    |    |          |          |    |     |

|                    |      |                      |   |                    |   |                                      |
|--------------------|------|----------------------|---|--------------------|---|--------------------------------------|
| MEDIA VALORI $W_n$ | 19,6 | MEDIA VALORI $W_n$   | / | MEDIA VALORI $W_n$ | / | <b><math>W_n</math> MEDIO TOTALE</b> |
| TRATTO PROVA TD    | (%)  | TRATTO PROVA Trx CID |   | TRATTO PROVA ELL   |   | <b>19,8 (%)</b>                      |

### NOTE

I contenuti d'acqua naturale  $W_1$  e  $W_2$  si riferiscono all'apertura del campione.

LO SPERIMENTATORE

Dott. Geol. Simona Pentenè



IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Dott. Geol. Riccardo Rampi



|   |  |                        |             |                   |                              |
|---|--|------------------------|-------------|-------------------|------------------------------|
| <br><b>CNG S.r.l.</b><br>LABORATORIO<br>GEOTECNICO<br>Via Squinzano, 87 - 00133 Roma<br>Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it | <b>Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l. per<br/>         Amministrazione Comunale di Arcidosso</b> |                        |             | SOND.: 2          | PAGINA: 18                   |
|   | Parcheggio Via della Madonna<br>Arcidosso (GR)   |                        |             | CAMP.: 1          | PAGINA CERTIFICATO<br>1 di 1 |
|   | N° VERBALE   | 1234                   | N° COMMESSA | 1092              | ID. INTERNO<br><b>4585</b>   |
| DATA RICEVIMENTO CAMP.  | 19/05/21   | DATA EMISSIONE CERTIF. | 07/06/21    | DATA INIZIO PROVA | 20/05/21                     |
|   |  |                        |             | DATA FINE PROVA   | 22/05/21                     |

## PESO DI VOLUME NATURALE $\gamma_n$

ASTM D 2937

|                                   |   |   |
|-----------------------------------|---|---|
| Classe di qualità (BS 5930:1981): | 1 | / |
|-----------------------------------|---|---|

| PROVA DI RIFERIMENTO            | $\gamma_{n1}$ | $\gamma_{n2}$ | ED | Trx CID | Trx CID | Trx CID | TD     | TD     | TD     | Perm Trx |
|---------------------------------|---------------|---------------|----|---------|---------|---------|--------|--------|--------|----------|
| VOL. FUST. (cm <sup>3</sup> )   |               |               |    |         |         |         | 71,16  | 71,16  | 71,16  |          |
| P. FUST. (g)                    |               |               |    |         |         |         | 99,10  | 99,10  | 99,10  |          |
| PESO TOTALE (g)                 |               |               |    |         |         |         | 242,77 | 245,85 | 243,13 |          |
| $\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> ) |               |               |    |         |         |         | 19,80  | 20,22  | 19,85  |          |

| PROVA DI RIFERIMENTO            | UU | UU | UU | ELL | ELL | ELL | PR. RIG. | HUDER-A. | RC | TTC |
|---------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|----------|----------|----|-----|
| VOL. FUST. (cm <sup>3</sup> )   |    |    |    |     |     |     |          |          |    |     |
| P. FUST. (g)                    |    |    |    |     |     |     |          |          |    |     |
| PESO TOTALE (g)                 |    |    |    |     |     |     |          |          |    |     |
| $\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> ) |    |    |    |     |     |     |          |          |    |     |

|  |       |                              |                              |  |
|--|-------|------------------------------|------------------------------|--|
| MEDIA VALORI $\gamma_n$<br>TRATTO PROVA TD<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | 19,96 | MEDIA VALORI $\gamma_n$<br>/ | MEDIA VALORI $\gamma_n$<br>/ | $\gamma_n$ MEDIO TOTALE<br><b>19,96 (kN/m<sup>3</sup>)</b> |
|--|-------|------------------------------|------------------------------|--|

### NOTE

Vista la natura del materiale si è dovuto ricostituire parzialmente i provini del taglio diretto.

LO SPERIMENTATORE

Dott. Geol. Simona Pentenè



IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Dott. Geol. Riccardo Rampi



|   |   |          |                        |          |   |
|---|---|----------|------------------------|----------|---|
| <br><b>CNG S.r.l.</b><br>LABORATORIO<br>GEOTECNICO<br>Via Squinzano, 87 - 00133 Roma<br>Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it | <b>Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l. per<br/>Amministrazione Comunale di Arcidosso</b> |          |                        | SOND.: 2 | PAGINA: 19  |
|   | Parcheggio Via della Madonna<br>Arcidosso (GR)  |          |                        | CAMP.: 1 | PAGINA CERTIFICATO<br>1 di 1                              |
|   | N° VERBALE  | 1234     | N° COMMESSA            | 1092     | ID. INTERNO<br><b>18997 PGR</b>                           |
|   | DATA RICEVIMENTO CAMP.  | 19/05/21 | DATA EMISSIONE CERTIF. | 07/06/21 | DATA INIZIO PROVA<br>27/05/21 DATA FINE PROVA<br>28/05/21 |

**PESO SPECIFICO DEI GRANULI  $\gamma_s$**   
**ASTM D 854**

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Classe di qualità (BS 5930:1981):</b> | 1 | / |
|--|---|---|

|  |        |        |  |            |                               |                                 |
|--|--------|--------|--|------------|-------------------------------|---------------------------------|
| <b>NUMERO PICNOMETRO</b>                                       | 5      | 17     |  | $\gamma_s$ | <b>MEDIA DI 2 MISURAZIONI</b> | <b>25,79 (kN/m<sup>3</sup>)</b> |
| <b>TEMPERATURA (°C)</b>  | 23,7   | 23,5   |  |            |                               |                                 |
| <b>PESO PICNOMETRO + ACQUA (g)</b>                             | 200,18 | 209,06 |  |            |                               |                                 |
| <b>PESO PICNOMETRO + ACQUA + TERRA (g)</b>                     | 209,48 | 218,38 |  |            |                               |                                 |
| <b>PESO TERRA SECCA (g)</b>                                    | 15,03  | 15,00  |  |            |                               |                                 |
| <b>PESO SPECIFICO <math>\gamma_s</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b> | 25,71  | 25,88  |  |            |                               |                                 |

**NOTE**

|  |
|--|
|  |
|--|

LO SPERIMENTATORE

Dott. Geol. Simona Pentenè



IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Dott. Geol. Riccardo Rampi



|   |   |                        |                              |
|---|---|------------------------|------------------------------|
| <br><b>CNG S.r.l.</b><br>LABORATORIO<br>GEOTECNICO<br>Via Squinzano, 87 - 00133 Roma<br>Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it | <b>Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l. per<br/>         Amministrazione Comunale di Arcidosso</b><br>Parcheggio Via della Madonna<br>Arcidosso (GR)<br>N° VERBALE 1234 N° COMMESSA 1092 ID. INTERNO 4585 | SOND.: 2               | PAGINA: 20                   |
|   |   | CAMP.: 1               | PAGINA CERTIFICATO<br>1 di 1 |
| RICEV. CAMP.  | 19/05/21  | DATA EMISSIONE CERTIF. | 07/06/21                     |
| DATA INIZIO PROVA   | 28/05/21  | DATA FINE PROVA        | 31/05/21                     |

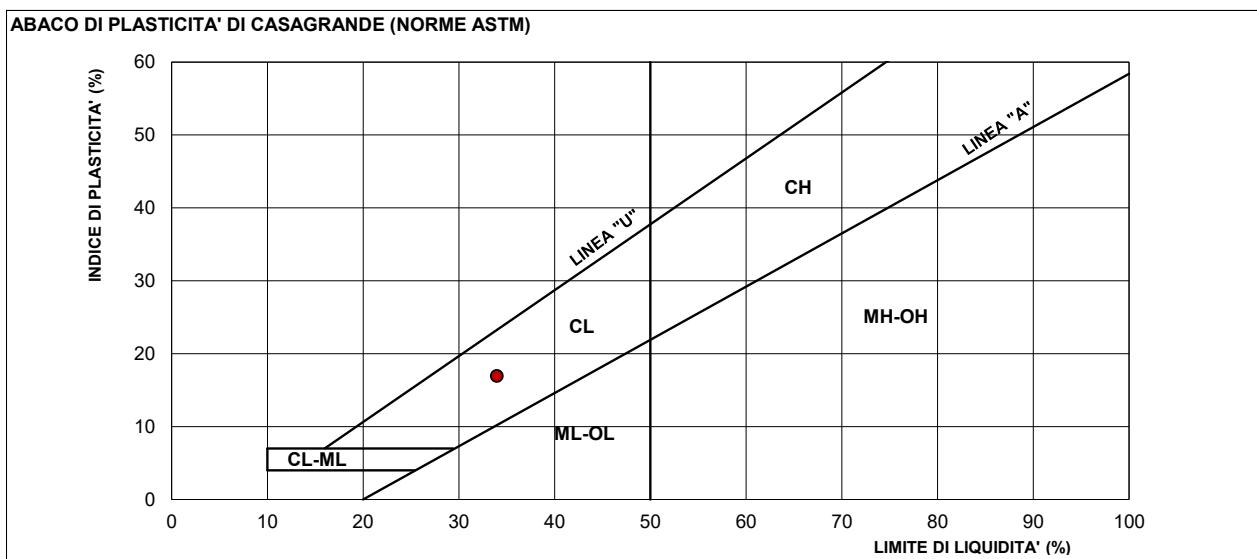
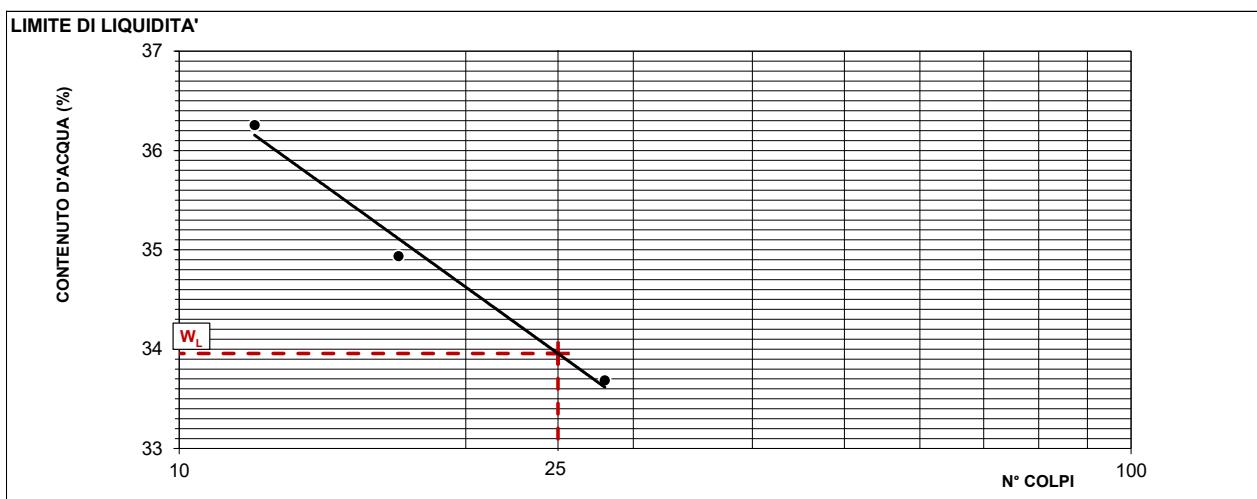
### CARATTERISTICHE DI CONSISTENZA ASTM D 4318

|                                   |   |   |
|-----------------------------------|---|---|
| Classe di qualità (BS 5930:1981): | 1 | / |
|-----------------------------------|---|---|

#### DATI Sperimentali e Risultati

| DETERMINAZIONE | 1 W <sub>L</sub> | 2 W <sub>L</sub> | 3 W <sub>L</sub> | 4 W <sub>L</sub> |  | 1 W <sub>P</sub> | 2 W <sub>P</sub> |
|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--|------------------|------------------|
| UMIDITÀ'       | 36,26            | 34,94            | 33,69            |                  |  | 17,29            | 16,69            |
| N° COLPI       | 12               | 17               | 28               |                  |  | <b>Media</b>     | 16,99            |

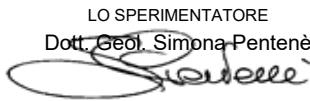
|   |      |       |  |  |                 |       |
|---|------|-------|--|--|-----------------|-------|
| LIMITE DI LIQUIDITÀ' (W <sub>L</sub> )  | 34,0 | ( % ) |  | CONTENUTO NAT. D'ACQUA (W <sub>n</sub> ) | 19,8            | ( % ) |
| LIMITE DI PLASTICITÀ' (W <sub>P</sub> ) | 17,0 | ( % ) |  | INDICE DI CONSISTENZA (IC)               | 0,83            | ( - ) |
| LIMITE DI RITIRO (W <sub>s</sub> )      |      | ( % ) |  | ATTIVITÀ' (IP / % < 0,002mm)             | /               | ( - ) |
| INDICE DI PLASTICITÀ' (IP)              | 17,0 | ( % ) |  | CONSISTENZA SECONDO IC                   | Solido-plastica |       |
| CLASSIFICAZIONE AASHTO                  | /    |       |  | CLASSIF. ABACO DI PLASTICITÀ'            | CL              |       |



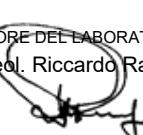
#### NOTE

|  |
|--|
|  |
|--|

LO SPERIMENTATORE  
 Dott. Geol. Simona Pentenè



IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
 Dott. Geol. Riccardo Rampi



|   |   |          |                        |          |                   |                              |
|---|---|----------|------------------------|----------|-------------------|------------------------------|
| <br><b>CNG S.r.l.</b><br>LABORATORIO<br>GEOTECNICO<br>Via Squinzano, 87 - 00133 Roma<br>Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it | <b>Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l. per Amministrazione Comunale di Arcidosso</b> |          |                        |          | SOND.: 2          | PAGINA: 21                   |
|   | Parcheggio Via della Madonna<br>Arcidosso (GR)  |          |                        |          | CAMP.: 1          | PAGINA CERTIFICATO<br>1 di 3 |
|   | N° VERBALE  | 1234     | N° COMMESSA            | 1092     | ID. INTERNO       | 4585                         |
|   | DATA RICEVIMENTO CAMP.  | 19/05/21 | DATA EMISSIONE CERTIF. | 07/06/21 | DATA INIZIO PROVA | 20/05/21                     |
|   |   |          |                        |          | DATA FINE PROVA   | 27/05/21                     |

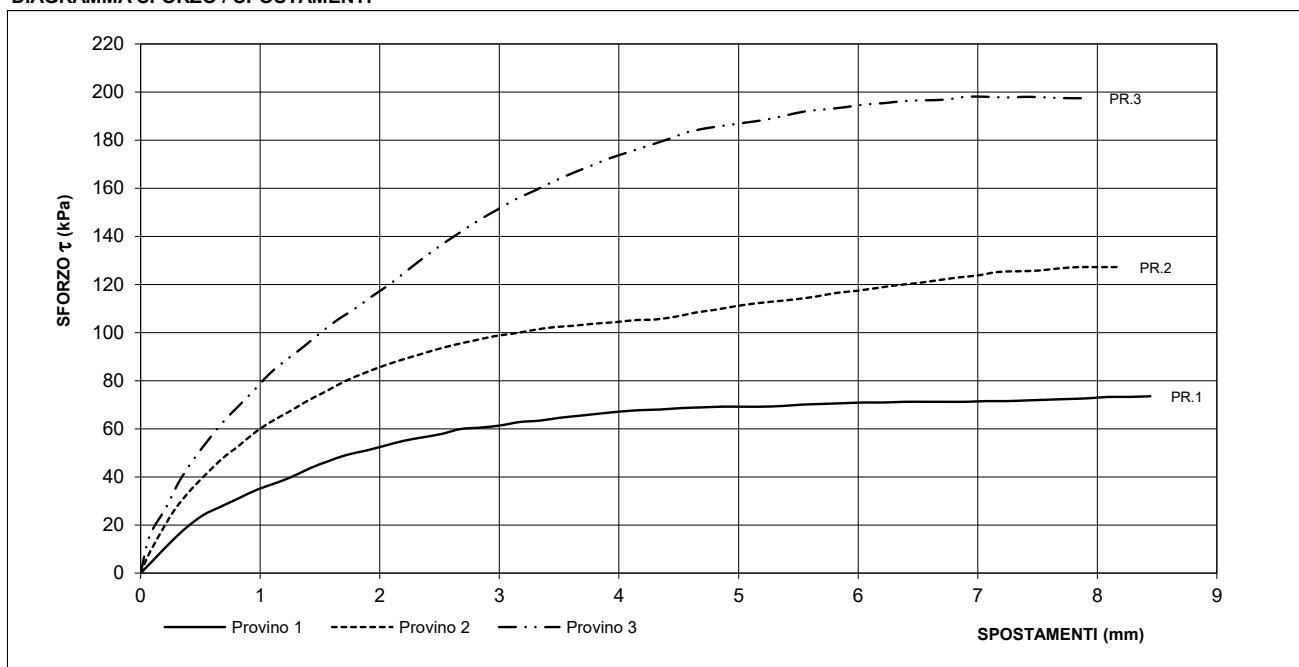
### PROVA DI TAGLIO DIRETTO TIPO C.D. ASTM D 3080

| CONDIZIONI INIZIALI E DATI RELATIVI ALLA CONSOLIDAZIONE |                |                   |                            |                         |                                    |                     | VELOCITA' DEL TAGLIO (mm/min) = 0,006 |                            |                         |                       |                 |
|---|----------------|-------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|
| PROVINO<br>N°   | LATO<br>L (mm) | ALTEZZA<br>H (mm) | INIZIO CONS.<br>VOL. (cm³) | UMIDITA' NAT.<br>Wn (%) | PESO DI VOL.<br>$\gamma_n$ (kN/m³) | CONSOLIDAZIONE 24 h |                                       | FINE CONSOL.<br>VOL. (cm³) | UMIDITA' FIN.<br>Wf (%) | VALORI DI SFORZO MAX. |                 |
|   |                |                   |                            |                         |                                    | $\sigma'$ (kPa)     | CEDIM. (mm)                           |                            |                         | $\tau$ (kPa)          | $\delta_t$ (mm) |
| 1   | 59,80          | 19,90             | 71,16                      | 18,8                    | 19,80                              | 98                  | 0,765                                 | 68,4                       | 16,5                    | 73,54                 | 8,444           |
| 2   | 59,80          | 19,90             | 71,16                      | 20,2                    | 20,22                              | 196                 | 1,048                                 | 67,4                       | 17,1                    | 127,23                | 7,845           |
| 3   | 59,80          | 19,90             | 71,16                      | 19,8                    | 19,85                              | 294                 | 1,302                                 | 66,5                       | 15,9                    | 198,04                | 6,900           |

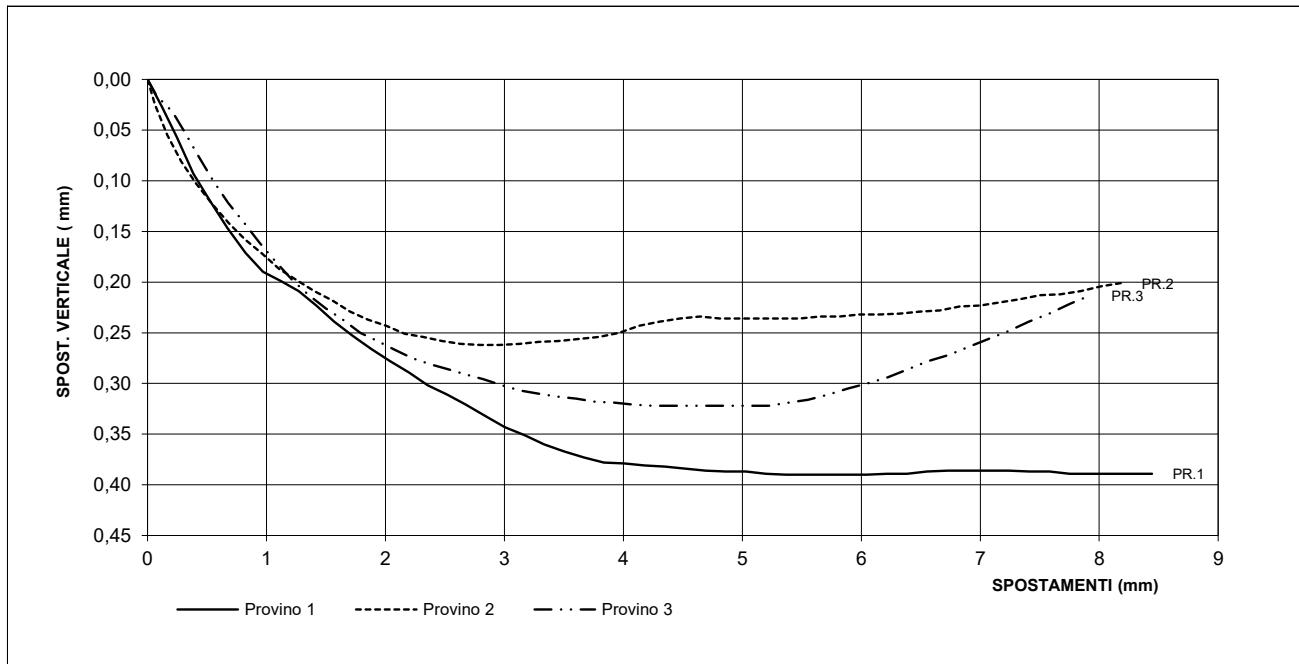
#### CARATTERISTICHE DEL CAMPIONE

|                                   |   |              |   |
|-----------------------------------|---|--------------|---|
| Classe di qualità (BS 5930:1981): | 1 | INDISTURBATO | / |
|-----------------------------------|---|--------------|---|

#### DIAGRAMMA SFORZO / SPOSTAMENTI



#### DIAGRAMMA SPOSTAMENTO VERTICALE / SPOSTAMENTI ORIZZ.



LO SPERIMENTATORE

Dott. Geol. Simona Pentenè

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Dott. Geol. Riccardo Rampi

|   |   |          |                        |          |                   |          |                 |                                   |
|---|---|----------|------------------------|----------|-------------------|----------|-----------------|-----------------------------------|
| <br><b>CNG S.r.l.</b><br>LABORATORIO<br>GEOTECNICO<br><br>Via Squinzano, 87 - 00133 Roma<br>Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it | <b>Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l. per Amministrazione Comunale di Arcidosso</b> |          |                        |          |                   |          | SOND.: 2        | PAGINA: 22                        |
|   | Parcheggio Via della Madonna<br>Arcidosso (GR)  |          |                        |          |                   |          | CAMP.: 1        | PAGINA CERTIFICATO<br>2 di 3      |
|   | N° VERBALE  | 1234     | N° COMMESSA            | 1092     | ID. INTERNO       | 4585     |                 | N° CERTIFICATO<br><b>18999 TD</b> |
|   | DATA RICEVIMENTO CAMP.  | 19/05/21 | DATA EMISSIONE CERTIF. | 07/06/21 | DATA INIZIO PROVA | 20/05/21 | DATA FINE PROVA | 27/05/21                          |

**DATI SPERIMENTALI RELATIVI AL TAGLIO**

**PROVINO 1**

**PRESSIONE DI CONSOLIDAZIONE (kPa) = 98**

| Spost. or.<br>(mm) | Sforzo τ<br>(kPa) | Spost. ver.<br>(mm) | Spost. or.<br>(mm) | Sforzo τ<br>(kPa) | Spost. ver.<br>(mm) | Spost. or.<br>(mm) | Sforzo τ<br>(kPa) | Spost. ver.<br>(mm) | Spost. or.<br>(mm) | Sforzo τ<br>(kPa) | Spost. ver.<br>(mm) |
|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| 0,000              | 0,00              | 0,000               | 4,007              | 67,16             | 0,379               | 8,444              | 73,54             | 0,389               |                    |                   |                     |
| 0,122              | 6,22              | 0,027               | 4,177              | 67,74             | 0,381               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 0,246              | 12,60             | 0,057               | 4,349              | 68,03             | 0,382               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 0,384              | 18,98             | 0,093               | 4,519              | 68,61             | 0,384               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 0,526              | 24,21             | 0,120               | 4,690              | 68,90             | 0,386               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 0,673              | 27,69             | 0,147               | 4,860              | 69,19             | 0,387               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 0,823              | 31,17             | 0,171               | 5,029              | 69,19             | 0,387               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 0,972              | 34,66             | 0,190               | 5,199              | 69,19             | 0,389               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 1,120              | 37,27             | 0,199               | 5,366              | 69,48             | 0,390               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 1,271              | 40,17             | 0,209               | 5,537              | 70,06             | 0,390               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 1,419              | 43,65             | 0,223               | 5,707              | 70,35             | 0,390               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 1,570              | 46,55             | 0,239               | 5,876              | 70,64             | 0,390               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 1,725              | 49,17             | 0,253               | 6,045              | 70,93             | 0,390               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 1,882              | 50,91             | 0,266               | 6,213              | 70,93             | 0,389               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 2,040              | 52,94             | 0,278               | 6,384              | 71,22             | 0,389               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 2,197              | 54,97             | 0,289               | 6,554              | 71,22             | 0,387               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 2,356              | 56,42             | 0,302               | 6,726              | 71,22             | 0,386               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 2,518              | 57,87             | 0,311               | 6,900              | 71,22             | 0,386               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 2,676              | 59,90             | 0,321               | 7,070              | 71,51             | 0,386               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 2,838              | 60,48             | 0,332               | 7,242              | 71,51             | 0,386               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 3,002              | 61,35             | 0,343               | 7,412              | 71,80             | 0,387               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 3,169              | 62,80             | 0,351               | 7,583              | 72,09             | 0,387               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 3,335              | 63,38             | 0,360               | 7,752              | 72,38             | 0,389               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 3,500              | 64,55             | 0,367               | 7,924              | 72,67             | 0,389               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 3,666              | 65,42             | 0,373               | 8,096              | 73,25             | 0,389               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 3,835              | 66,29             | 0,378               | 8,269              | 73,25             | 0,389               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |

**PROVINO 2**

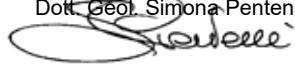
**PRESSIONE DI CONSOLIDAZIONE (kPa) =**

**196**

| Spost. or.<br>(mm) | Sforzo τ<br>(kPa) | Spost. ver.<br>(mm) | Spost. or.<br>(mm) | Sforzo τ<br>(kPa) | Spost. ver.<br>(mm) | Spost. or.<br>(mm) | Sforzo τ<br>(kPa) | Spost. ver.<br>(mm) | Spost. or.<br>(mm) | Sforzo τ<br>(kPa) | Spost. ver.<br>(mm) |
|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| 0,000              | 0,00              | 0,000               | 3,795              | 103,72            | 0,254               | 8,184              | 127,23            | 0,201               |                    |                   |                     |
| 0,064              | 7,38              | 0,025               | 3,963              | 104,30            | 0,250               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 0,166              | 16,66             | 0,055               | 4,134              | 105,17            | 0,243               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 0,283              | 26,24             | 0,081               | 4,304              | 105,46            | 0,239               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 0,410              | 34,08             | 0,103               | 4,476              | 106,62            | 0,236               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 0,545              | 41,04             | 0,123               | 4,645              | 108,37            | 0,234               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 0,685              | 47,71             | 0,142               | 4,812              | 109,53            | 0,236               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 0,821              | 52,94             | 0,158               | 4,976              | 110,98            | 0,236               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 0,963              | 58,74             | 0,172               | 5,143              | 112,14            | 0,236               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 1,106              | 63,38             | 0,187               | 5,312              | 113,01            | 0,236               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 1,254              | 67,45             | 0,198               | 5,482              | 113,88            | 0,236               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 1,401              | 71,80             | 0,209               | 5,653              | 115,04            | 0,234               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 1,551              | 75,57             | 0,218               | 5,818              | 116,49            | 0,234               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 1,702              | 79,64             | 0,229               | 5,987              | 117,36            | 0,232               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 1,853              | 82,83             | 0,237               | 6,154              | 118,52            | 0,232               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 2,006              | 85,73             | 0,243               | 6,323              | 119,68            | 0,231               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 2,162              | 88,34             | 0,251               | 6,492              | 120,55            | 0,229               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 2,318              | 90,66             | 0,254               | 6,660              | 121,71            | 0,228               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 2,475              | 92,98             | 0,258               | 6,829              | 122,87            | 0,224               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 2,633              | 95,02             | 0,261               | 6,998              | 123,75            | 0,223               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 2,795              | 96,76             | 0,262               | 7,167              | 125,20            | 0,220               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 2,959              | 98,50             | 0,262               | 7,334              | 125,49            | 0,217               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 3,126              | 99,66             | 0,261               | 7,504              | 125,78            | 0,213               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 3,292              | 101,11            | 0,259               | 7,673              | 126,65            | 0,212               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 3,459              | 102,27            | 0,258               | 7,845              | 127,23            | 0,209               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 3,626              | 102,85            | 0,256               | 8,018              | 127,23            | 0,204               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |

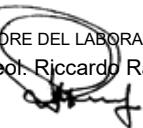
LO SPERIMENTATORE

Dott. Geol. Simona Pentenè



IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Dott. Geol. Riccardo Rampi



|   |   |          |                        |          |                   |          |                 |                                   |
|---|---|----------|------------------------|----------|-------------------|----------|-----------------|-----------------------------------|
| <br><b>CNG S.r.l.</b><br>LABORATORIO<br>GEOTECNICO<br><br>Via Squinzano, 87 - 00133 Roma<br>Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it | <b>Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l. per Amministrazione Comunale di Arcidosso</b> |          |                        |          |                   |          | SOND.: 2        | PAGINA: 23                        |
|   | Parcheggio Via della Madonna<br>Arcidosso (GR)  |          |                        |          |                   |          | CAMP.: 1        | PAGINA CERTIFICATO<br>3 di 3      |
|   | N° VERBALE  | 1234     | N° COMMESSA            | 1092     | ID. INTERNO       | 4585     |                 | N° CERTIFICATO<br><b>18999 TD</b> |
|   | DATA RICEVIMENTO CAMP.  | 19/05/21 | DATA EMISSIONE CERTIF. | 07/06/21 | DATA INIZIO PROVA | 20/05/21 | DATA FINE PROVA | 27/05/21                          |

### DATI SperimentALI RELATIVI AL TAGLIO

PROVINO 3

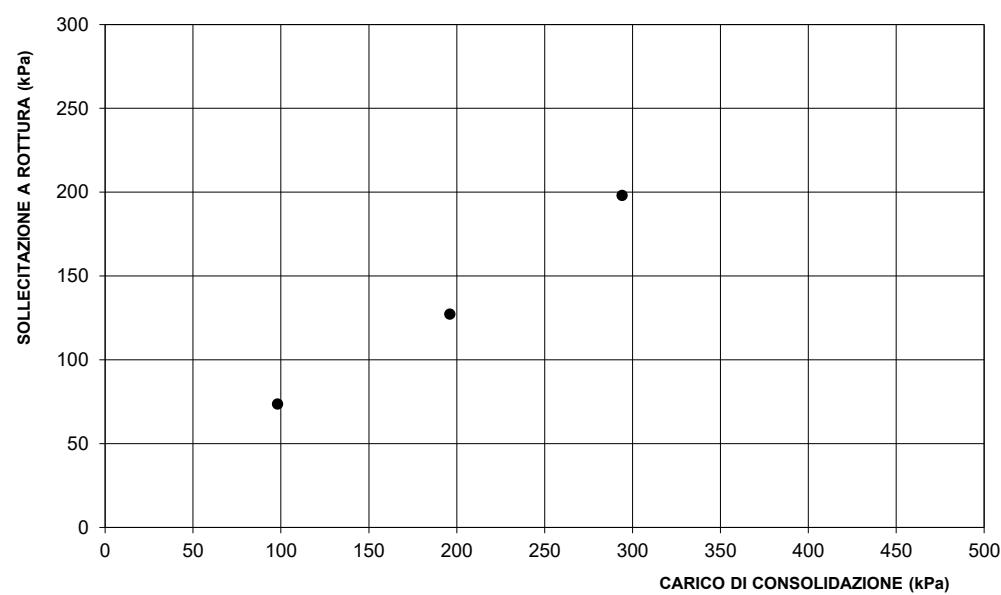
PRESsIONE DI CONSOLIDAZIONE (kPa) = 294

| Spost. or.<br>(mm) | Sforzo τ<br>(kPa) | Spost. ver.<br>(mm) | Spost. or.<br>(mm) | Sforzo τ<br>(kPa) | Spost. ver.<br>(mm) | Spost. or.<br>(mm) | Sforzo τ<br>(kPa) | Spost. ver.<br>(mm) | Spost. or.<br>(mm) | Sforzo τ<br>(kPa) | Spost. ver.<br>(mm) |
|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| 0,000              | 0,00              | 0,000               | 3,603              | 166,11            | 0,315               | 7,930              | 197,46            | 0,213               |                    |                   |                     |
| 0,075              | 15,50             | 0,016               | 3,764              | 169,31            | 0,318               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 0,211              | 27,11             | 0,032               | 3,925              | 172,50            | 0,319               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 0,313              | 37,27             | 0,052               | 4,086              | 175,11            | 0,321               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 0,428              | 46,26             | 0,076               | 4,246              | 177,72            | 0,322               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 0,551              | 54,39             | 0,100               | 4,407              | 180,33            | 0,322               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 0,678              | 62,22             | 0,122               | 4,568              | 183,24            | 0,322               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 0,808              | 68,90             | 0,141               | 4,732              | 184,98            | 0,322               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 0,940              | 75,57             | 0,161               | 4,894              | 186,14            | 0,322               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 1,077              | 82,83             | 0,180               | 5,056              | 187,30            | 0,322               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 1,217              | 88,63             | 0,198               | 5,222              | 188,46            | 0,322               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 1,356              | 93,86             | 0,213               | 5,389              | 190,20            | 0,319               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 1,498              | 99,66             | 0,226               | 5,553              | 191,94            | 0,316               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 1,643              | 105,17            | 0,237               | 5,722              | 192,81            | 0,311               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 1,789              | 109,82            | 0,250               | 5,887              | 193,68            | 0,305               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 1,933              | 115,04            | 0,258               | 6,054              | 194,84            | 0,300               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 2,080              | 119,97            | 0,267               | 6,223              | 195,42            | 0,294               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 2,228              | 125,78            | 0,275               | 6,393              | 196,29            | 0,286               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 2,379              | 131,58            | 0,281               | 6,561              | 196,58            | 0,278               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 2,525              | 136,80            | 0,286               | 6,733              | 196,87            | 0,272               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 2,674              | 141,74            | 0,291               | 6,900              | 198,04            | 0,264               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 2,827              | 146,67            | 0,296               | 7,069              | 198,04            | 0,256               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 2,980              | 151,02            | 0,302               | 7,240              | 197,75            | 0,248               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 3,134              | 155,38            | 0,307               | 7,408              | 198,04            | 0,239               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 3,288              | 158,86            | 0,310               | 7,581              | 197,75            | 0,231               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |
| 3,444              | 162,63            | 0,313               | 7,758              | 197,46            | 0,221               |                    |                   |                     |                    |                   |                     |

### NOTE

Vista la natura del materiale si è dovuto ricostituire parzialmente i provini del taglio diretto.

### DIAGRAMMA SOLLECITAZIONE A ROTTURA / CARICO



LO SPERIMENTATORE

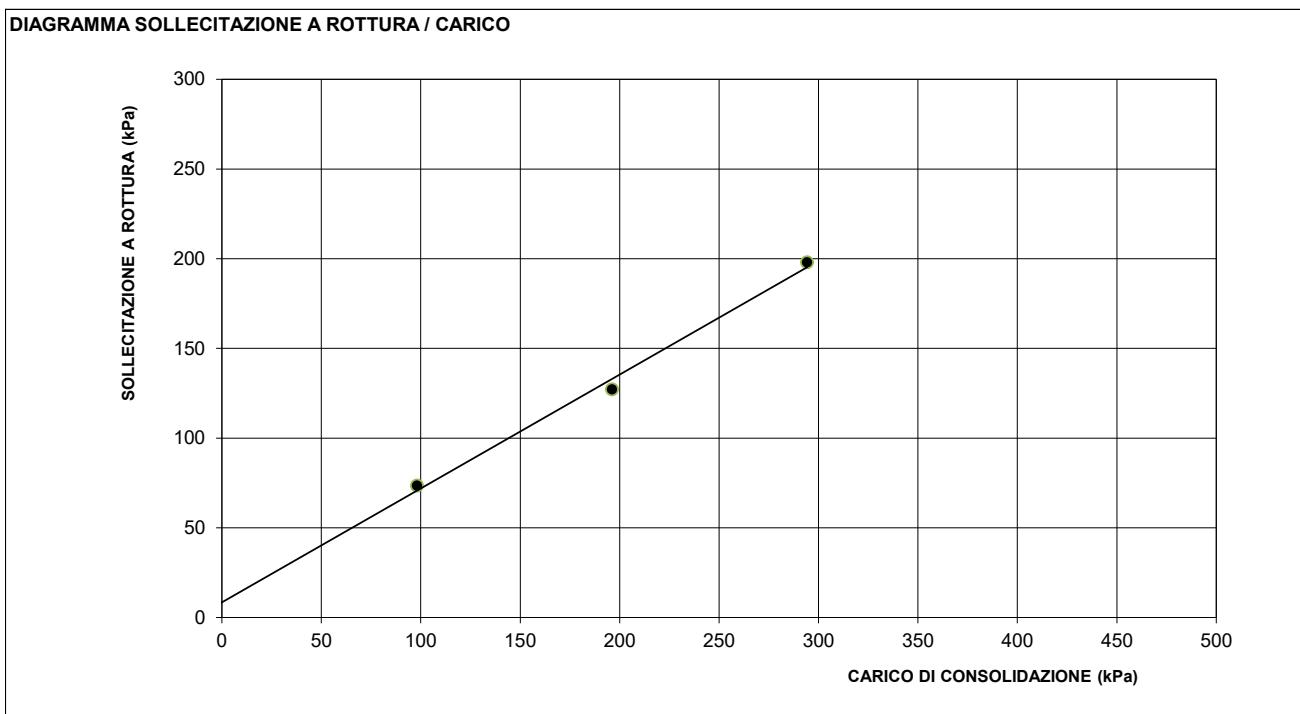
Dott. Geol. Simona Pentenè

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Dott. Geol. Riccardo Rampi

|  |   |                          |                           |
|--|---|--------------------------|---------------------------|
|  <p><b>CNG S.r.l.</b><br/>LABORATORIO<br/>GEOTECNICO<br/>Via Squinzano, 87 - 00133 Roma<br/>Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it</p> | Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l. per<br>Amministrazione Comunale di Arcidosso | SOND.: 2<br>CAMP.: 1     | PAGINA: 24                |
|  | Parcheggio Via della Madonna<br>Arcidosso (GR)                                      | da m: 1,00<br>a m: 1,35  | PAGINA ALLEGATO<br>1 DI 1 |
|  | DATA INIZIO PROVA 20/05/21  | DATA FINE PROVA 27/05/21 |                           |
|  |   |                          |                           |

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO TIPO C.D. ASTM D 3080


**RISULTATI TAGLIO DRENATO**
**NOTE**

|                            |    |   |
|----------------------------|----|---|
| COESIONE EFFICACE (kPa)    | 8  | LA RETTA DI INVILUPPO CHE PASSA PER I TRE PUNTI E' UNA LINEA DI INTERPOLAZIONE SENZA<br>ALCUNA INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI. |
| ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE | 32 |   |