

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 ARCIDOSO



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 ARCIDOSO

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 PLANOANLITIMETRICO	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 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 STABILITA' 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-modalali 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 geomeccanico 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 VSeq, 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.

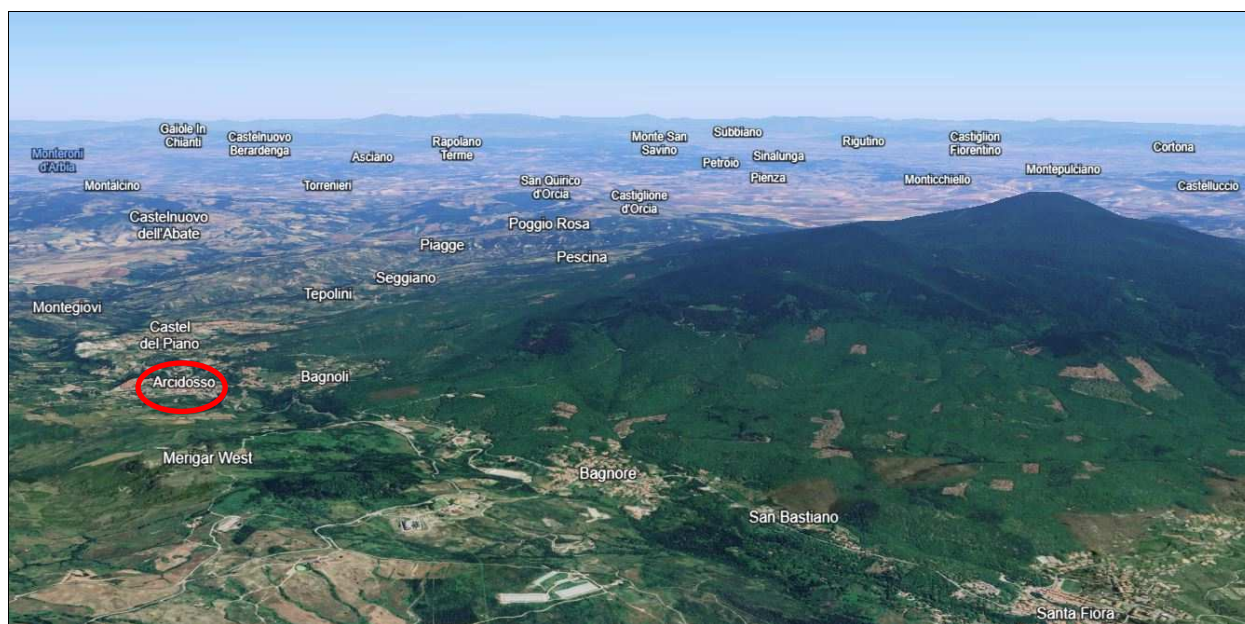


Figura 2 - Foto aerea 3D dell'area di Arcidosso e del Monte Amiata (google earth)

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 ≈ 640 , mentre il piede della scarpata delle mura si trova ad una quota di ≈ 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/traslattivo a valle del tratto interessato dallo studio in oggetto.

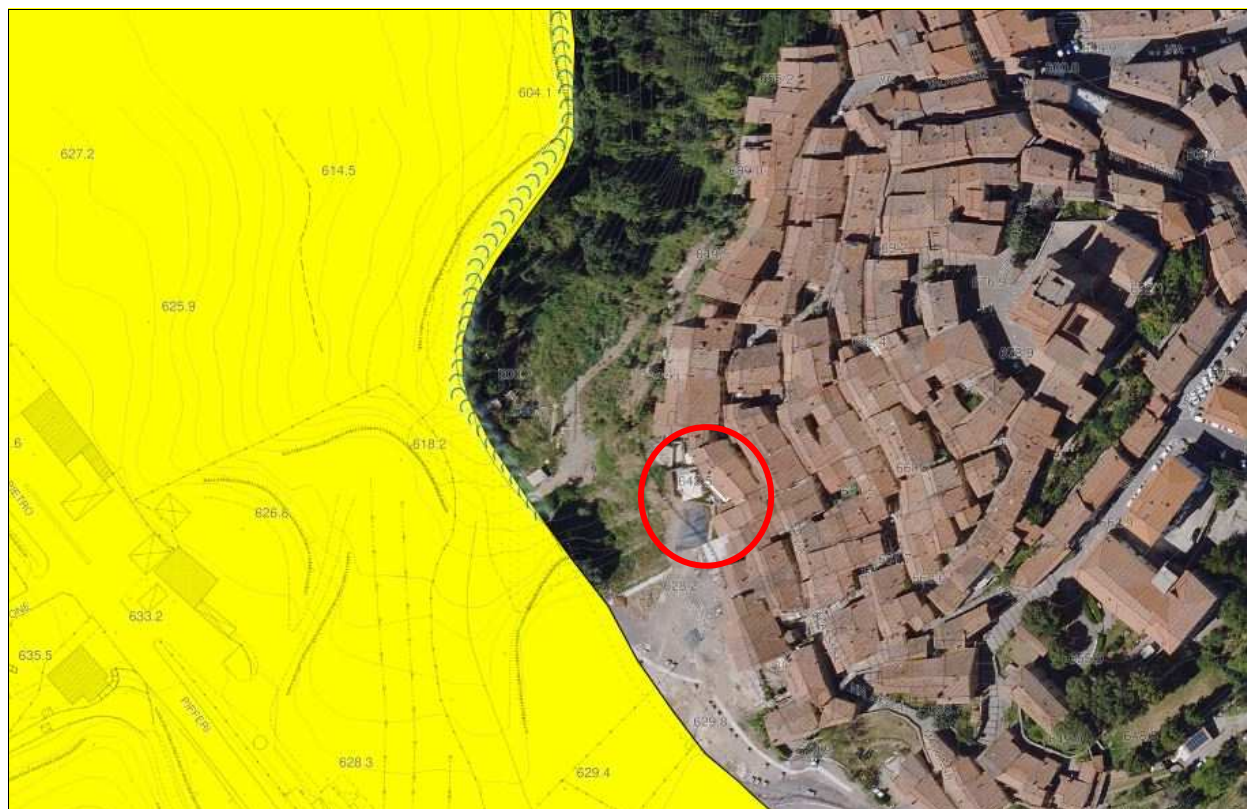


Figura 3 - Estratto database geomorfologico della Regione Toscana con indicate le frane del progetto IFFI (in giallo)

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 giaciture 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 ricognizione 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 flyschoidale formato da arenarie stratificate con alla testa di ogni singolo membro argilloscisti e marnoscisti 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-ferro e contenenti abbondanti livelletti 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 poggianti 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

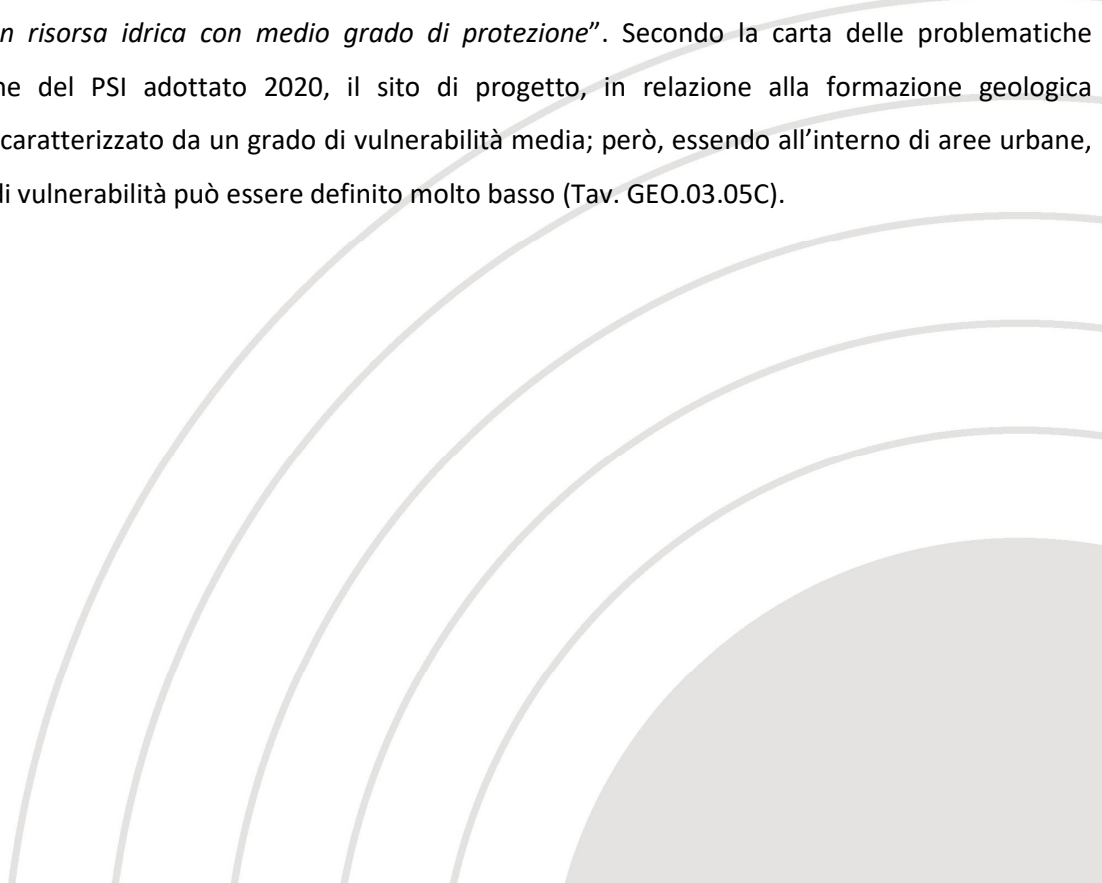
conseguenza si assume un valore di permeabilità molto bassa (v. Tav. GEO.03.04C – Carta Idrogeologica del Piano Strutturale Intercomunale - Adottato 2020 - dell'Unione dei comuni montani Amiata Grossetana).

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 ($0,125 < A_g/g < 0,15$).

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 PLANOALTIMETRICO

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 piano.

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 piano.

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

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 rigidità del sito attraverso la misura della velocità di propagazione delle onde di compressione (V_p), 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)

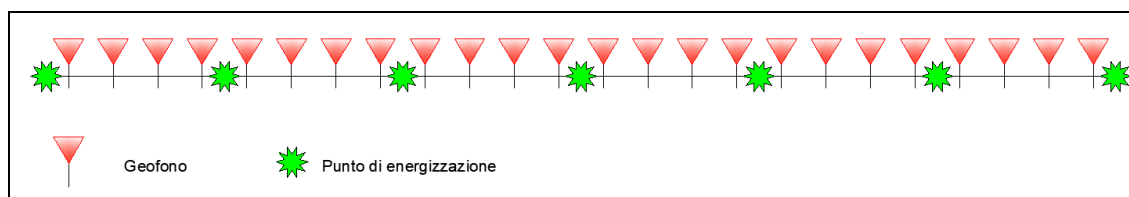


Figura 5 - Rappresentazione schematica di array sismico a rifrazione

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.

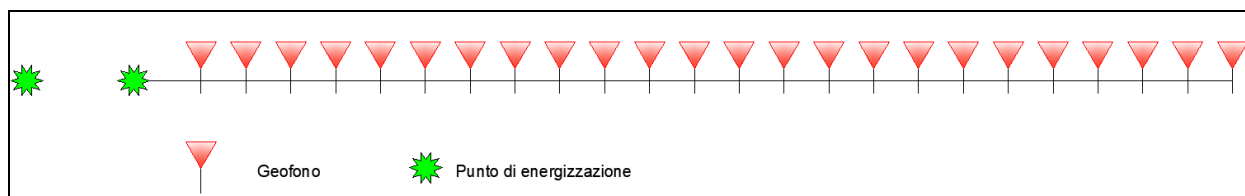


Figura 6 - Rappresentazione schematica di array per acquisizione di MASW su stesa PS4

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 V_{Seq} , utile per la classificazione dei terreni nelle categorie di suolo con metodo semplificato da utilizzare per la descrizione dell'azione sismica in sito.

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 V_s 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 V_s 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.

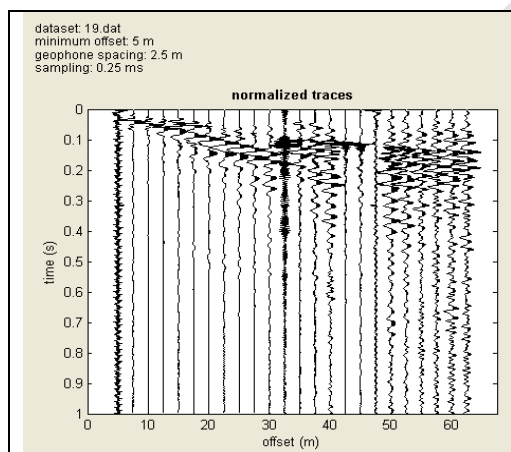


Figura 7 - sismogramma

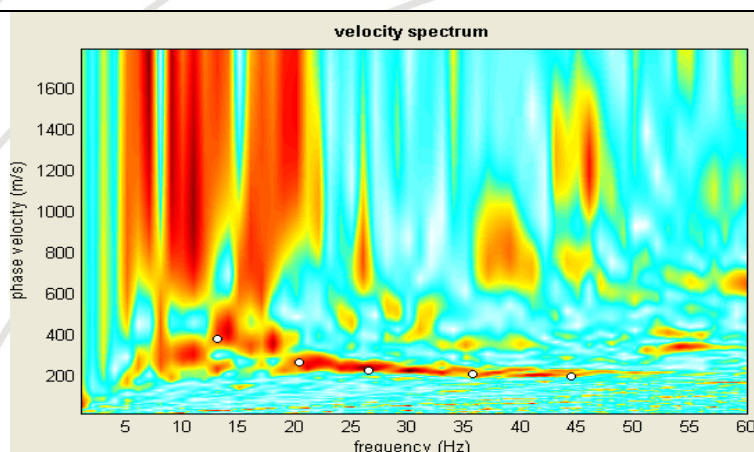


Figura 8 - Spettro di velocità e picking

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.

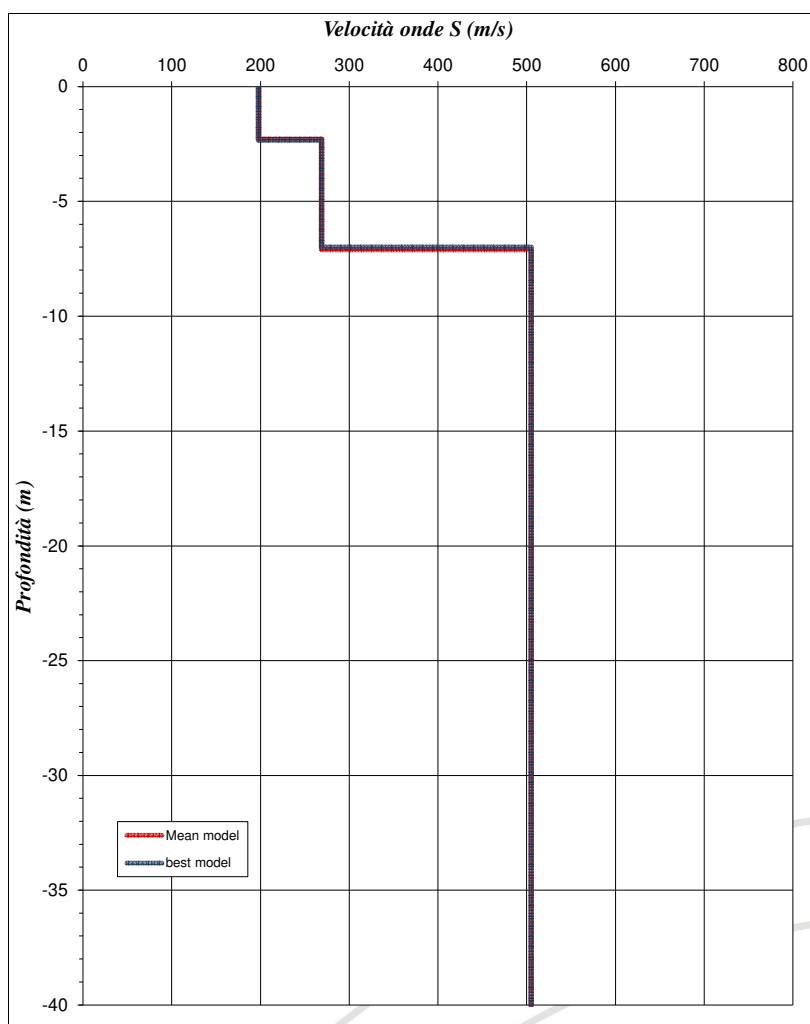


Figura 9 - Modello interpretativo ottenuto dalla prova MASW effettuata in situ

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 (m)		Velocità Onde S (m/s)	Profondità da P.C (m)		Velocità Onde S (m/s)
0	2.3	198	0	2.3	198
2.3	6.9	269	2.3	7.1	269
6.9	40	505	7.1	40	505
V_{seq} = 402 m/s			V_{seq} = 401 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 quando 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 > 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.	γ	γ_{sat}	ϕ	Cu	Med	My	Dr
	m.p.c.	t/m ³	t/m ³	°	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	%
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.	γ	γ_{sat}	ϕ	Cu	Med	My	Dr
	m.p.c.	t/m ³	t/m ³	°	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	%
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.	γ	γ_{sat}	ϕ	Cu	Med	My	Dr
	m.p.c.	t/m ³	t/m ³	°	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	%
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.	γ	γ_{sat}	ϕ	Cu	Med	My	Dr
	m.p.c.	t/m ³	t/m ³	°	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	%
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								

γ = peso di volume; γ_{sat} = peso di volume saturo; ϕ = 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'area 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-meccanici 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_{sat}
		%	°	Kg/cm ²	Kg/cm ²	t/m ³	t/m ³
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_{sat}
		%	°	Kg/cm ²	Kg/cm ²	t/m ³	t/m ³
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^3	peso di volume secco t/m^3	peso di volume saturo t/m^3	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 Plastico (%)	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'involuppo di rottura, sono stati ricavati i seguenti valori di c' e ϕ' relativi ai campioni:

CAMPIONE	ϕ' (°)	c' (Kg/cm²)
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 sito, 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 ocra 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.

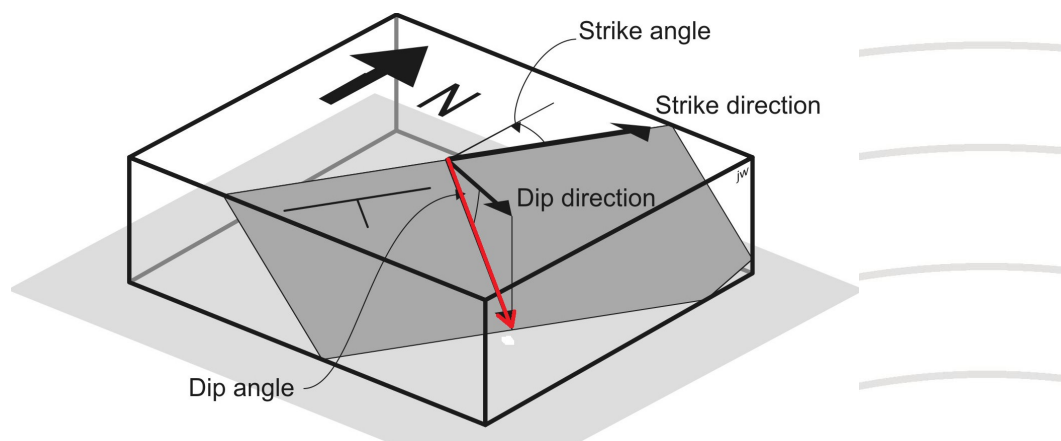


Figura 10 - Manipolazione dei vettori secondo le coordinate sferiche

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 S ₀		1° SISTEMA DI FRATTURAZIONE F ₁		2° SISTEMA DI FRATTURAZIONE F ₂		3° SISTEMA DI FRATTURAZIONE F ₃	
Immersione (N)	Inclinazione (°)	Immersione (N)	Inclinazione (°)	Immersione (N)	Inclinazione (°)	Immersione (N)	Inclinazione (°)
90	15	60	65	210	65	170	75

Tabella 2 - Misure di strato e di fratturazione sulla situazione geomeccanica 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.

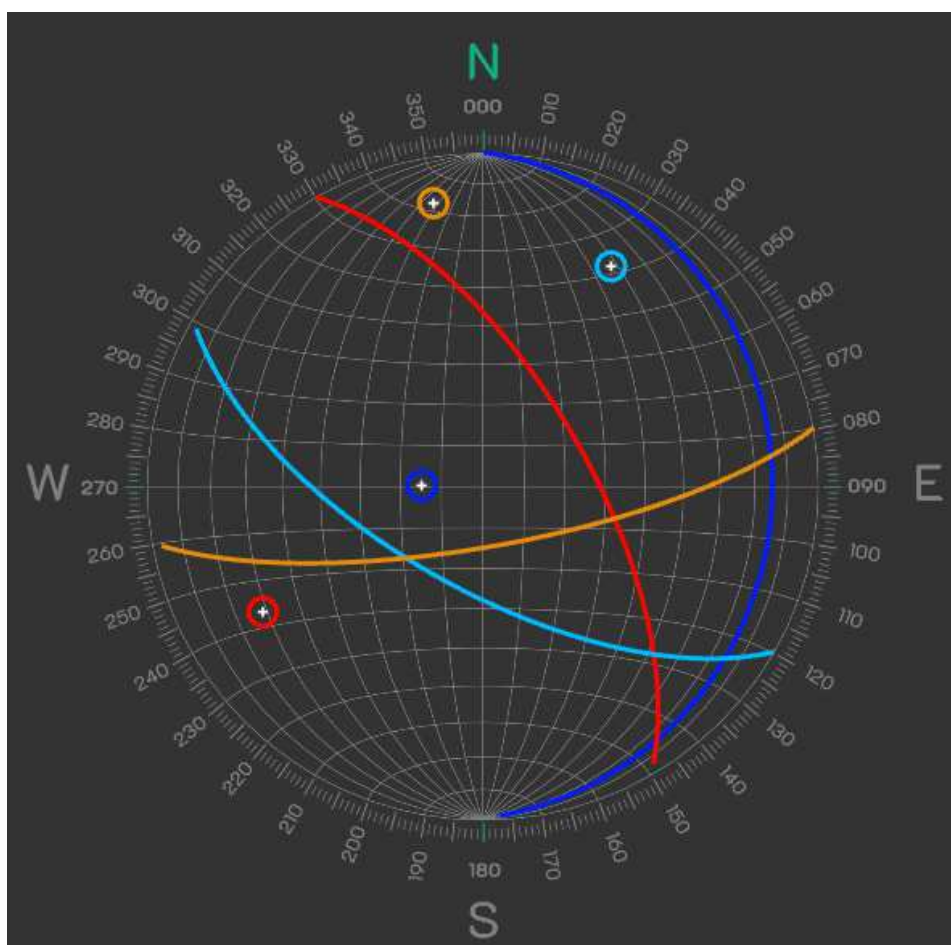


Figura 12 - Rappresentazione stereonet 2D della S_0 (blu) - F_1 (Rosso) - F_2 (Ciano) - F_3 (Arancione)

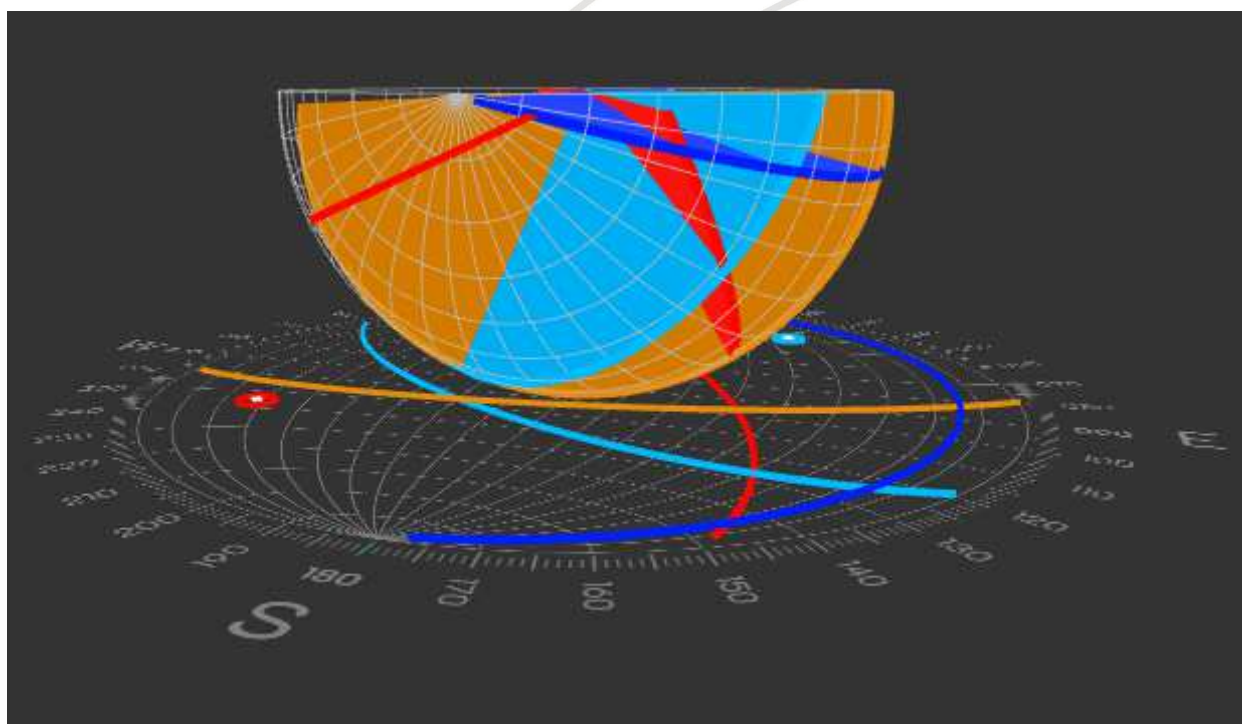


Figura 13 - Rappresentazione stereonet 3D vista da Sud della S_0 (blu) - F_1 (Rosso) - F_2 (Ciano) - F_3 (Arancione)

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 importante 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 α , 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 δ minore di α .

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.

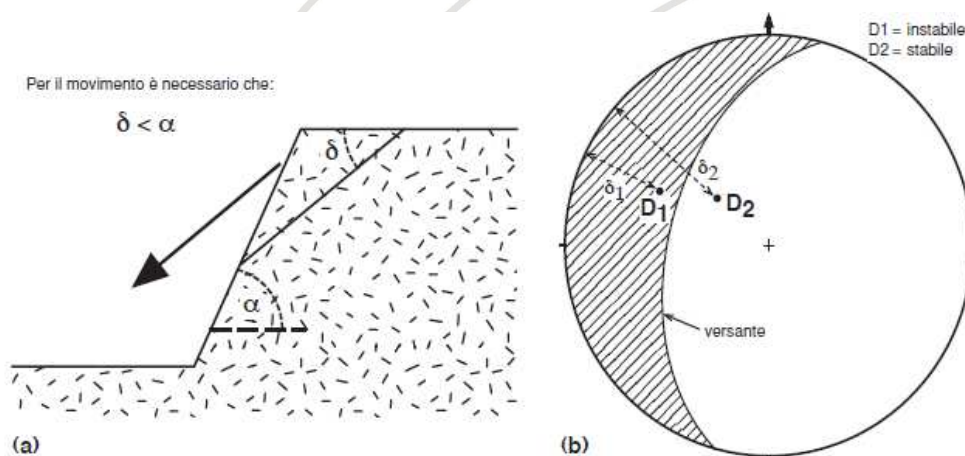


Figura 14 - Condizione cinematica perché si verifichi uno scivolamento su piano

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).

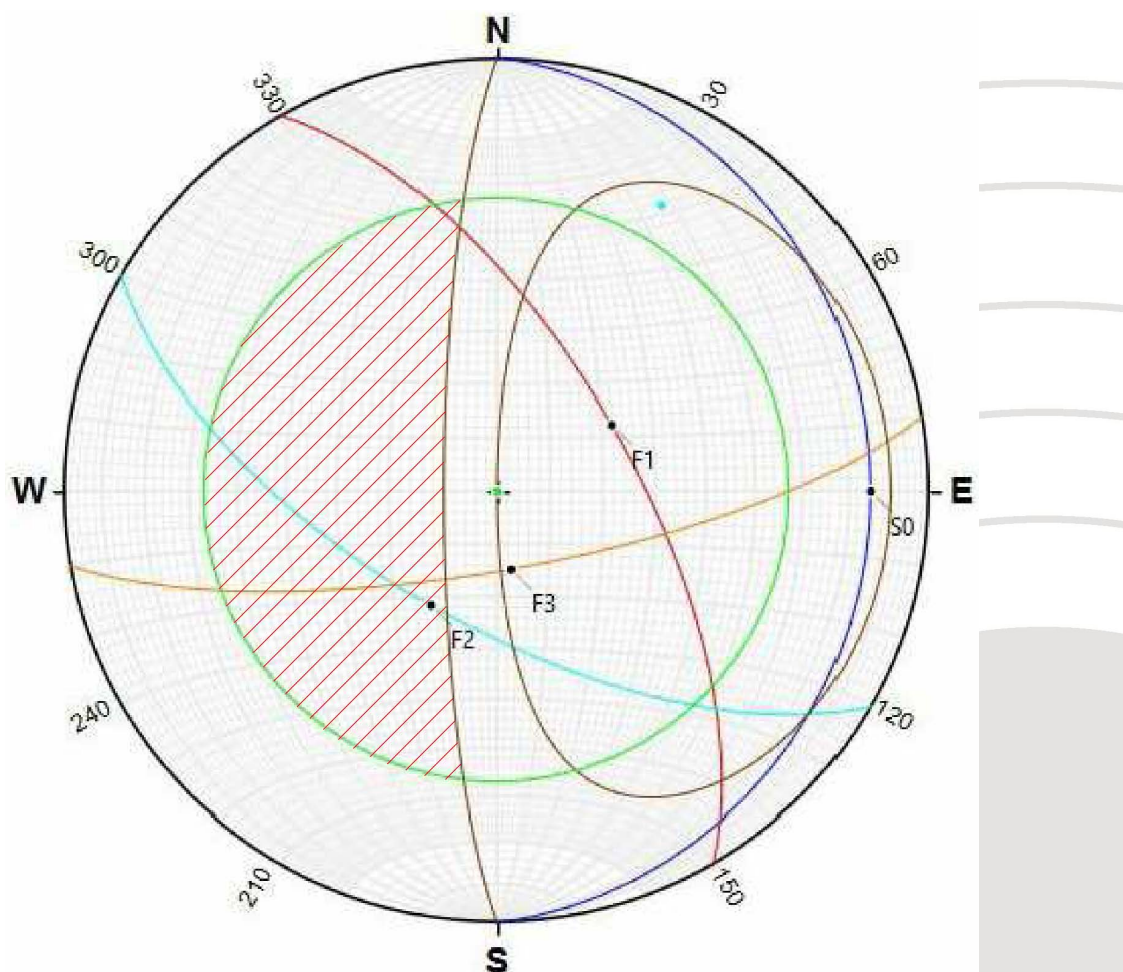


Figura 15 - Rappresentazione su stereonet del versante (in Marrone), la stratificazione (linea blu), il piano di fratturazione F_1 (linea rossa), il piano di fratturazione F_2 (linea ciano), il piano di fratturazione F_3 (linea arancione) e il piccolo cerchio corrispondente all'angolo di attrito (cerchio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

- La linea di intersezione tra le due superfici di discontinuità sia sufficientemente inclinata, cioè sia inclinata con angolo δ maggiore dell'angolo di attrito ϕ (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;
- 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.

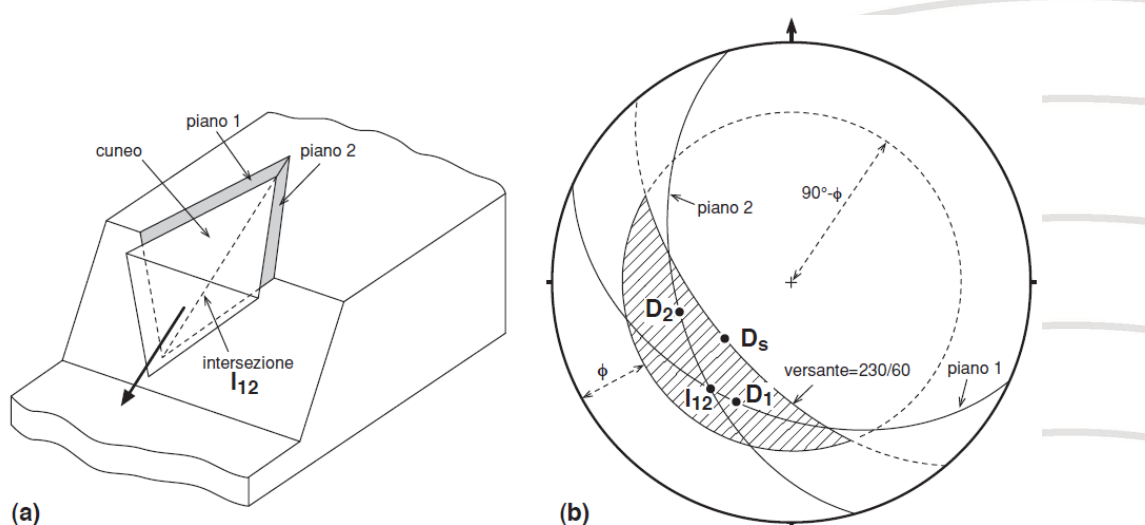


Figura 16 - Condizione cinematica perché si verifichi uno scivolamento di cuneo

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_2 interseca con il piano della famiglia F_3 , presentando una condizione per il verificarsi dello scivolamento di cuneo, in quanto l'intersezione dei due piani di fratturazione (I_{23}) ricade tra l'area delimitata dal piano del versante e il piccolo cerchio.

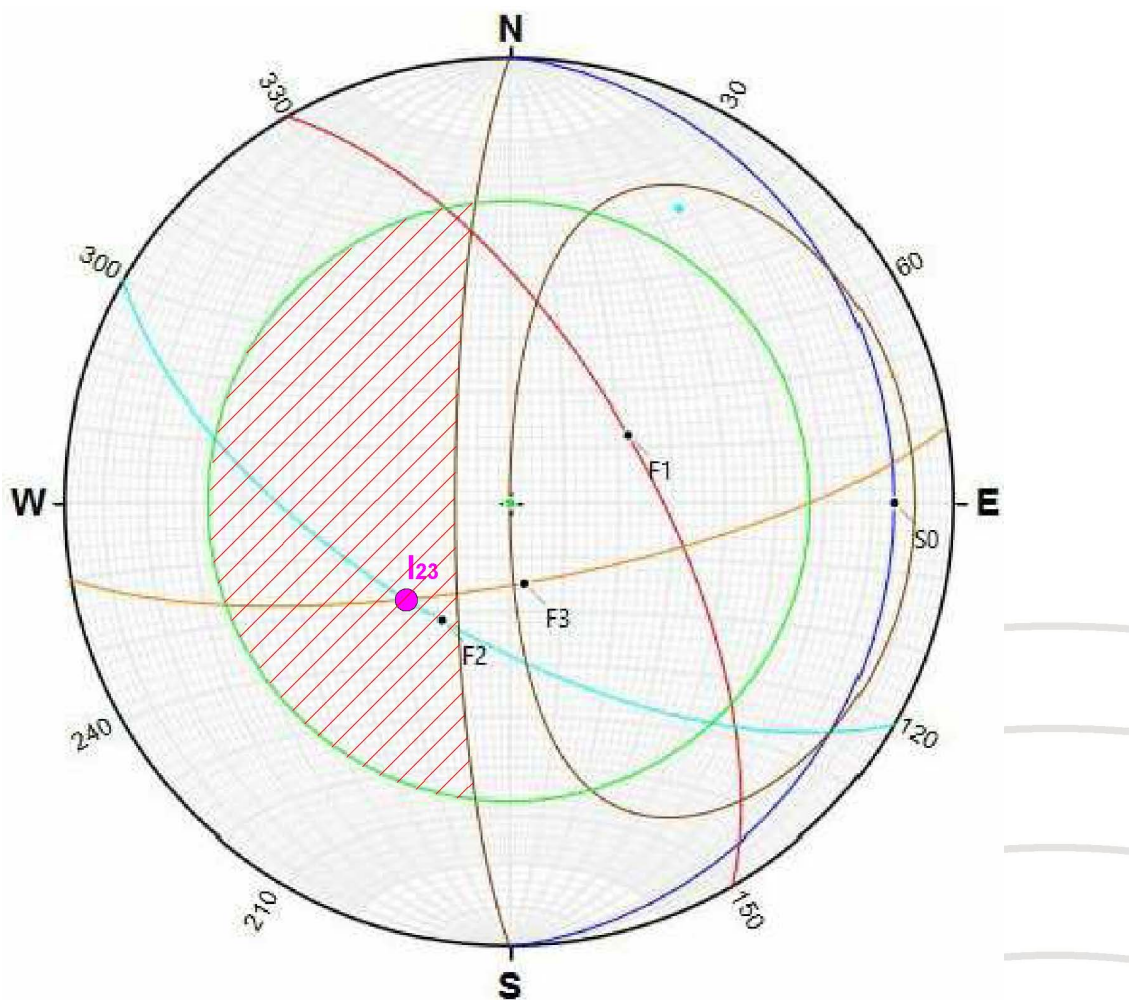


Figura 17 - Rappresentazione su stereonet del versante (in Marrone), la stratificazione (linea blu), il piano di fratturazione F_1 (linea rossa), il piano di fratturazione F_2 (linea ciano), il piano di fratturazione F_3 (linea arancione) e il piccolo cerchio (cerchio verde)

12.1.3. RIBALTAMENTO

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).

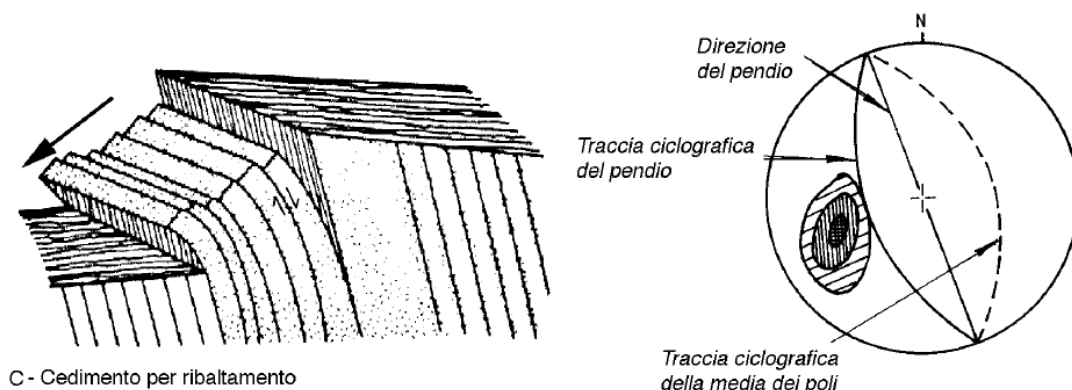


Figura 18 - Condizione cinematica perché si verifichi ribaltamento

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 $\pm 30^\circ$;
- 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 σ_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 geomeccanico 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.

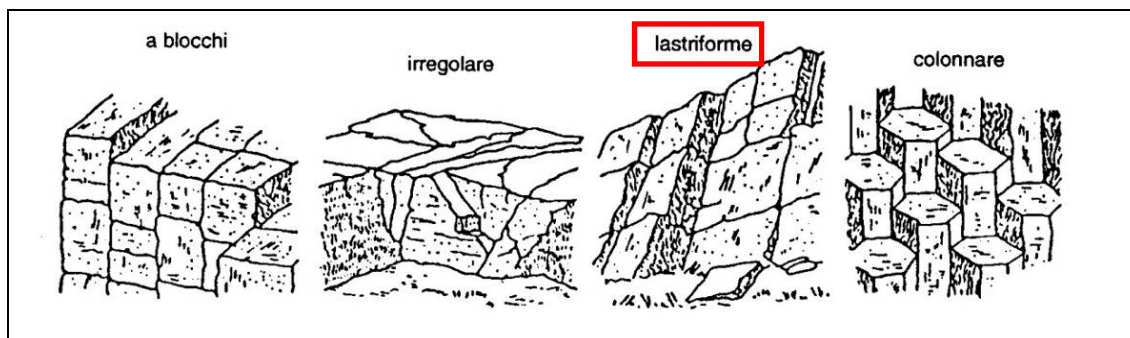


Figura 19 - Rappresentazione indicativa del sistema di stratificazione e fratturazione di un ammasso roccioso

La classificazione di Beniauwsky 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, corrispondete 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 Beniauskis.

A - PARAMETRI DI CLASSIFICAZIONE E LORO INDICI						
Parametri			Intervallo dei valori			
1	Parametri del materiale intatto	Indice della resistenza Point-load (MPa)	>10	4 - 10	2 - 4	1 - 2
		Resistenza alla compress. monoassiale (MPa)	>250	100 - 250	50 - 100	25 - 50
	Indice		15	12	7	4
2	RQD %		90-100	75-90	50-75	25-50
	Indice		20	17	13	8
3	Spaziatura		> 2 m	0,6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm
	Indice		20	15	10	8
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. striata o gouge < 5 mm di spess. o aperture 1 - 5 mm continue
	Indice		30	25	20	10
5	Condizioni idrauliche	Afflusso per 10 m di lung. galleria (l/min)	nessuno	< 10	1 - 25	25 - 125
		Rapporto tra: press. acqua nelle fratture e sforzo principale maggiore	0	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5
	Condizioni generali		Compl. asciutto	Umido	Bagnato	Stillicidio
	Indice		15	10	7	4

Figura 20 - Parametri di classificazione e loro indici

B - INDICI CORRETTIVI PER L'ORIENTAMENTO DELLE DISCONTINUITA'					
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
C - CLASSI DELL'AMMASSO ROCCIOSO IN BASE AL PUNTEGGIO TOTALE SIGNIFICATO DELLE CLASSI					
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 h 15 m	1 anno h 10 m	1 settimana h 5 m	10 ore h 2.5 m	30 min h 1 m
Coesione (kPa)	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100
Angolo d'attrito (°)	> 45	35-45	25-35	15-25	< 15
D - PROCEDURA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE CONDIZIONI DELLA DISCONTINUITA' (FRATTURE)					
Parametri	Indici				
Lunghezza delle discontinuità (persistenza/continuità)	< 1 m 6	1-3 m 4	3-10 m 2	10-20 m 1	> 20 m 0
Separazione (apertura)	Nessuna 6	< 0.1 mm 5	0.1-1 mm 4	1-5 mm 1	> 5 mm 0
Scabrezza	Molto scabro 6	Scabro 5	Legg. scabro 3	Liscio 1	Striato 0
Riempimento (gouge)	Nessuno 6	r. duro < 5 mm 4	> 5 mm 2	r. tenero < 5 mm 2	0 > 5 mm 0
Alterazione	Inalterato 6	Legg. alterato 5	Moder. alterato 3	Molto alterato 1	Decomposto 0

Figura 21 - Definizione delle classi dell'ammasso roccioso secondo Bieniawsky

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

Rock Mass Rating (Bieniawski)	
RMR base	57.36
RMR corretto	42.36
Coesione c (KPa)	286.78
Angolo di attrito ϕ	33.68
Mod. di deformaz. E (GPa)	14.71
Classe	Terza
Descrizione	Mediocre

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 Beniauskas 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):

Unità geotecniche superficiali - terre								
U.G.	Peso di volume γ	Peso di volume saturo γ_{sat}	Densità relativa D_r	Angolo attrito ϕ_k	Coesione non drenata Cu_k	Coesione efficace c'	Modulo edometrico E_d	Modulo elastico E_y
	(t/m ³)	(t/m ³)	%	°	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)
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

Unità geotecniche profonde - roccia				
U.G.	Peso di volume γ	Angolo attrito ϕ	Coesione c	Modulo Deformazione E
	(t/m ³)	°	(Kg/cm ²)	(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 (ϕ), 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 (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza $F = \tau_f / \tau$.

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

Metodo dei concii

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di concii. Se il numero dei concii 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 concii;
- $(n-1)$ forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei concii;
- 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 quando 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:

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

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

I valori di F e di ΔX 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:

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

$$K_v = \pm 0,5 \times K_o$$

Con:

- β_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.

$$a_{max} = SS \cdot ST \cdot a_g$$

SS (effetto di amplificazione stratigrafica):

$0.90 \leq S_s \leq 1.80$; è funzione di F_0 (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:

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

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:

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

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

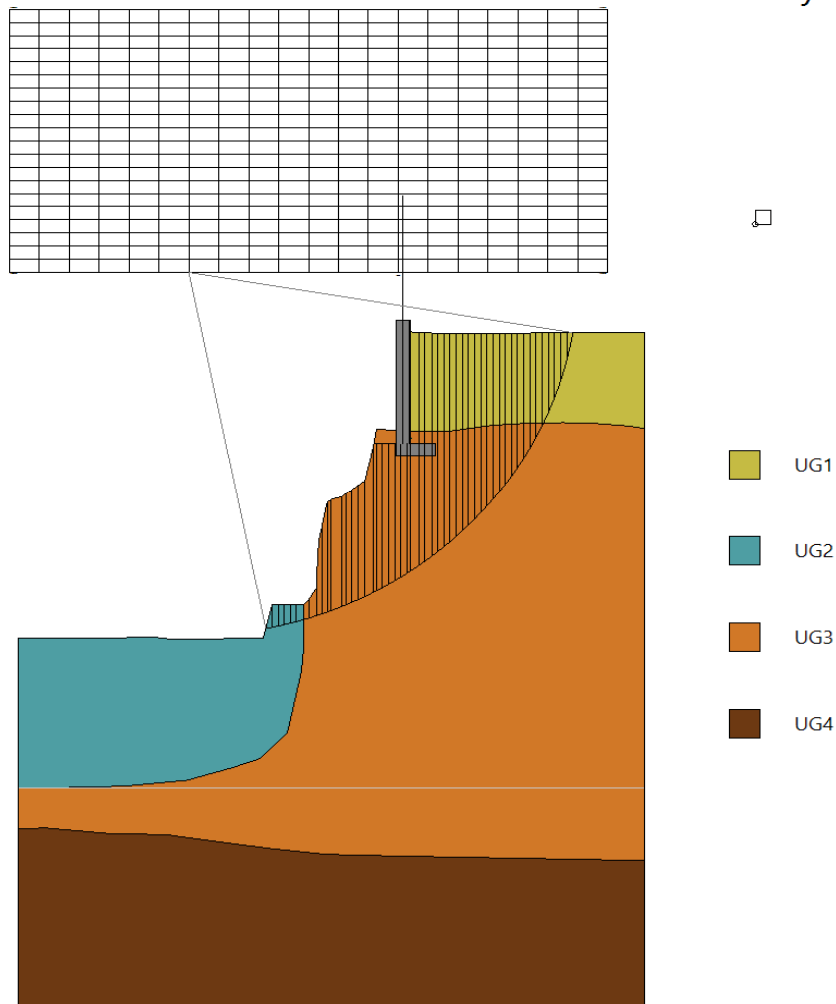
In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici. Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia $m \cdot n$ 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

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



Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Zona	Arcidoso
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. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [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. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [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 (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kg/m ³)	Peso unità di volume saturo (kg/m ³)	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 (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (kg/m ³)
1	70.74	76.85	0	1	5	0.5	0.5	2200

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]
Fs minimo individuato 3.65
 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.

$$x_c = 62.423 \quad y_c = 83.763 \quad R_c = 14.693 \quad F_s = 3.647$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kg)	Kh•Wi (kg)	Kv•Wi (kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (kg)	N'i (kg)	Ti (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 ≈ 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 medio-bassi 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 Arcidoso, 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 geomeccanico 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 Beniauskas.

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 Beniauskas 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.

Unità geotecniche superficiali - terre								
U.G.	Peso di volume γ	Peso di volume saturo γ_{sat}	Densità relativa D_r	Angolo attrito ϕ_k	Coesione non drenata Cu_k	Coesione efficace c'	Modulo edometrico E_d	Modulo elastico E_y
	(t/m ³)	(t/m ³)	%	°	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)
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

Unità geotecniche profonde - roccia				
U.G.	Peso di volume γ	Angolo attrito ϕ	Coesione c	Modulo Deformazione E
	(t/m ³)	°	(Kg/cm ²)	(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 Arcidoso, 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 Strutturale 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 disaggi 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

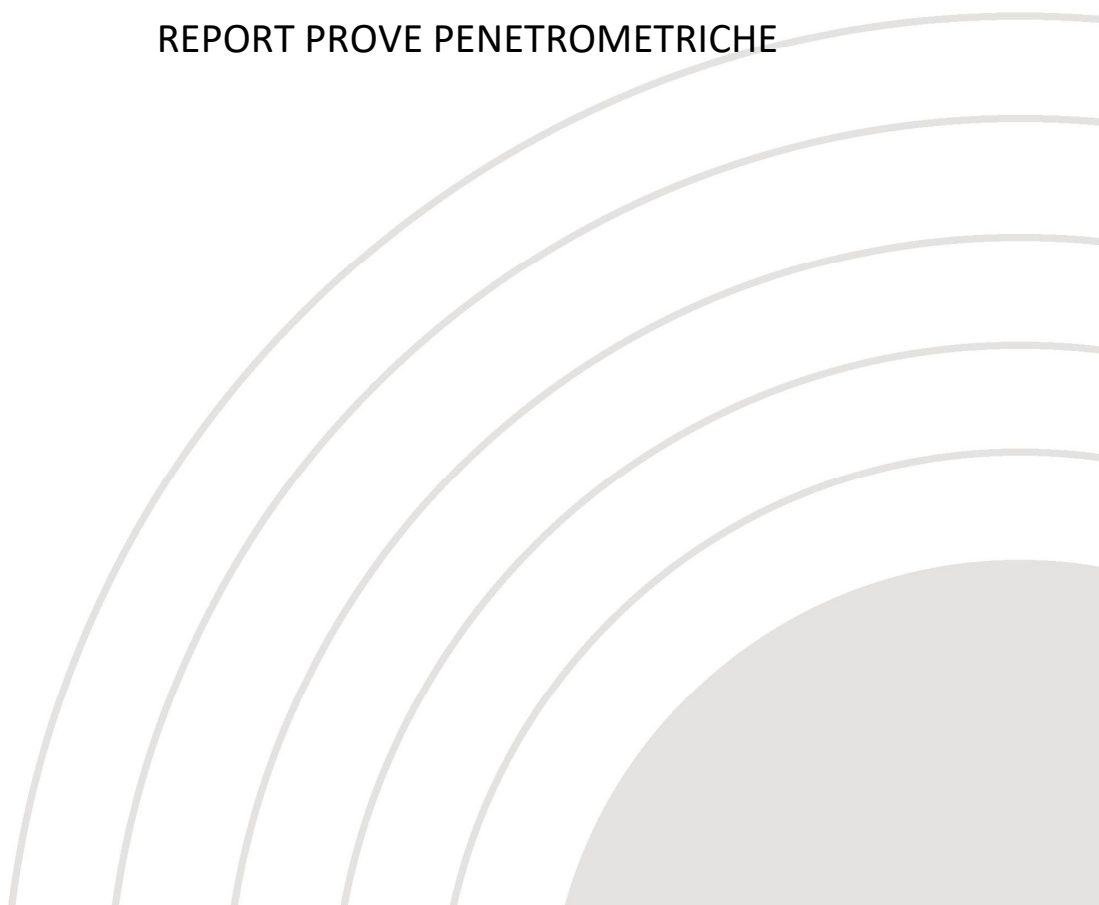
Il Tecnico

Dott. Geol. Massimo Fanti



ALLEGATO 1

REPORT PROVE PENETROMETRICHE



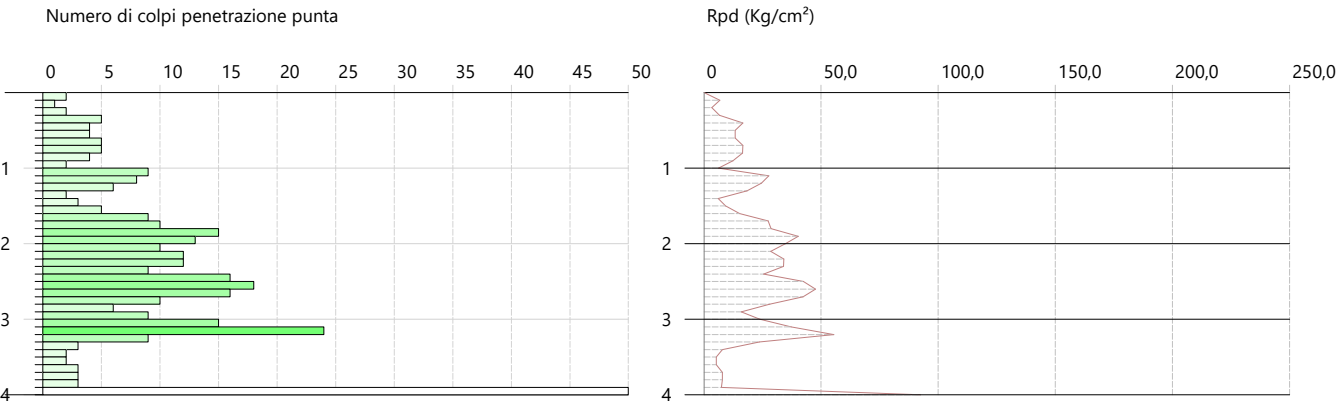
GEOSTRU
CHANGES FROM: PREFERENCES OPTIONS
COMPANY
.....

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

Committente: Alessandro Nenci
Descrizione:
Localita': Via della Fratta, Arcidosso

03/10/2025

Scala 1:100



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

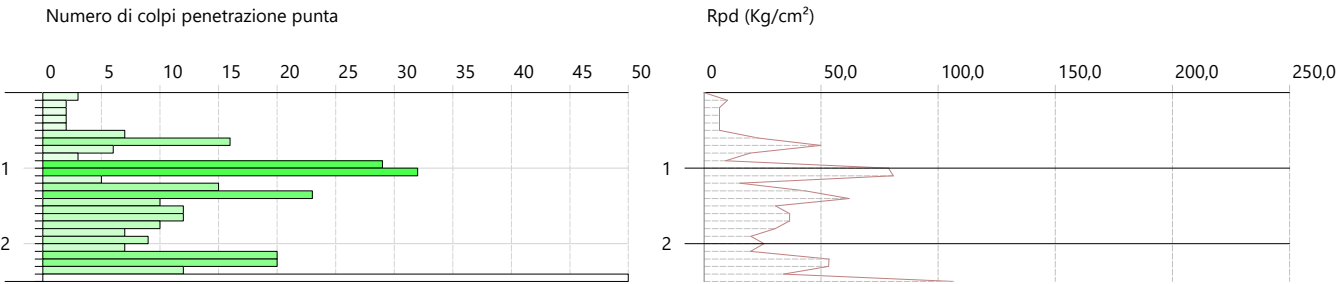
GEOSTRU
CHANGES FROM: PREFERENCES OPTIONS
COMPANY
.....

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

Committente: Alessandro Nenci
Descrizione:
Localita': Via della Fratta, Arcidosso

03/10/2025

Scala 1:100



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

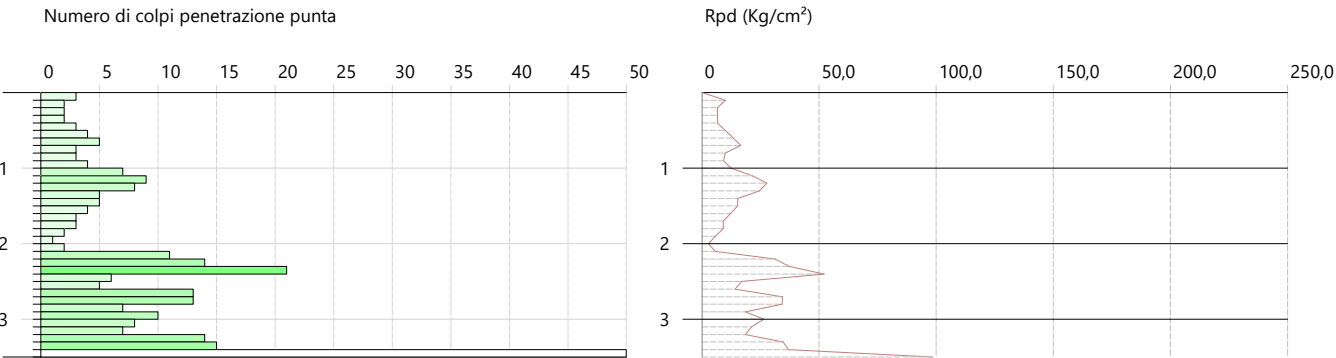
GEOSTRU
CHANGES FROM: PREFERENCES OPTIONS
COMPANY
.....

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

Committente: Alessandro Nenci
Descrizione:
Localita': Via della Fratta, Arcidosso

03/10/2025

Scala 1:100



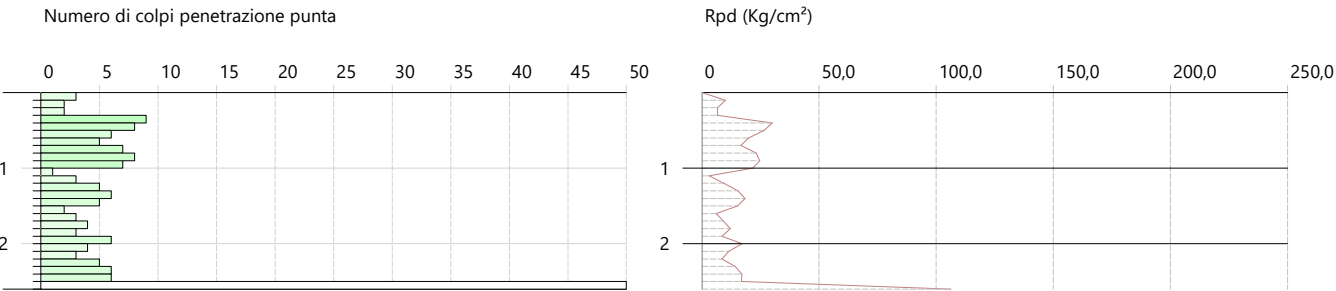
GEOSTRU
CHANGES FROM: PREFERENCES OPTIONS
COMPANY
.....

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

Committente: Alessandro Nenci
Descrizione:
Localita': Via della Fratta, Arcidosso

03/10/2025

Scala 1:100

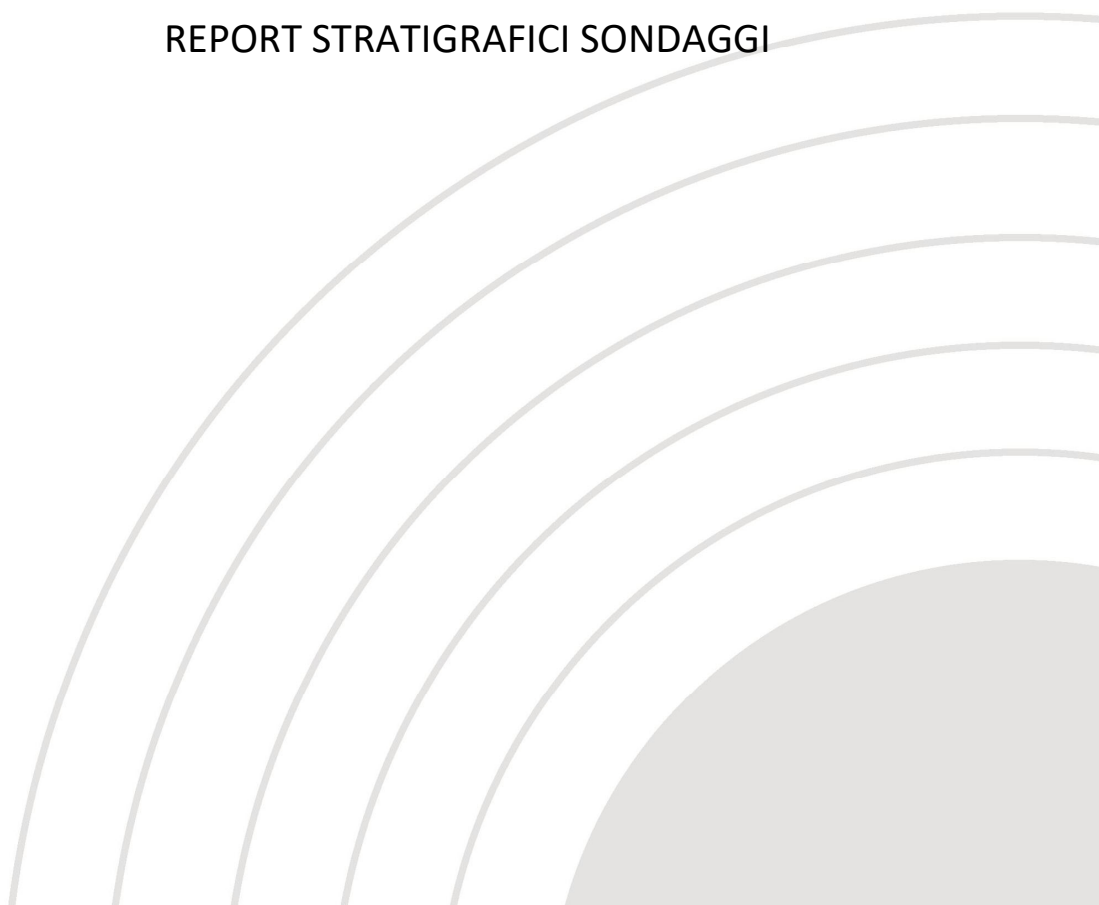


SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

ALLEGATO 2

REPORT STRATIGRAFICI SONDAGGI



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

Sondaggio S1

Scala	Litologia	Descrizione	Spessore	% di recupero / RQD	S.P.T.	Pocket Test	
1.0		Terreno vegetale da 0 a 0,10 m sotto Sabbia scura bituminosa con Ghiaia Riporto di stabilizzato stradale	0.80	%C=70	2/2/3 1.85 PA		
		Terreno di riporto granulometricamente eterogeneo a struttura caotica. Per la maggior parte è costituito da sabbie limose e limi argillosi con inclusi di laterizio anche di grandi dimensione.	2.10	%C=70			
2.0		Blocco di arenaria	2.45	%RQD=100	%C=50		
		Materiale di riporto di colore avana con granulometria sabbiosa	2.65				
3.0		Blocco di arenaria	3.10	%RQD=70	%C=85	16/8/10 3.45 PC	4.2 1.4
		Materiale di riporto di colore marrone scuro con inclusi laterizi e frammenti di asfalto. Possibile paleosuolo a 4,50 m.	3.90				
4.0		Blocco di arenaria	4.30	%RQD=70	%C=90		1.6 5.5
		Argilla limosa plastica di colore grigio rossastro con struttura massiva. Fascia con ghiaia arrotondata a profondità compresa fra 4.40 e 4.75 e livelli a granulometria sabbiosa nei seguenti intervalli: 4.30-4.60 5.40-5.65	5.90				
5.0							
6.0							
7.0							
8.0							
9.0							
10.0							
11.0							
12.0							
13.0							
14.0							
15.0							
16.0							

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




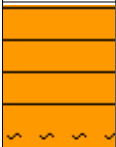
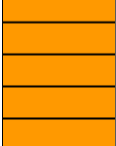
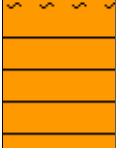
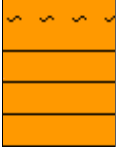
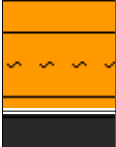
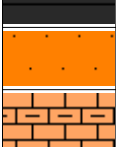
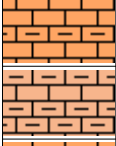
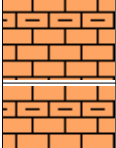

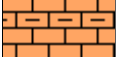
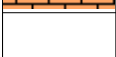
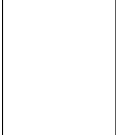

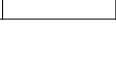

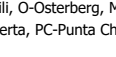

Postazione S1



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

Sondaggio S2

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

		Sabbia scura bituminosa con Ghiaia Riporto di stabilizzato stradale	0.60	%C=50				
1.0		Terreno di riporto granulometricamente eterogeneo a struttura caotica. Per la maggior parte è costituito da sabbie limose e limi argillosi con inclusi anche di grandi dimensioni. Da 2,00 m a 2,20 m presente blocco di arenaria di grandi dimensioni. Presenti tracce di laterizi lungo tutto lo spessore. Alla profondità di 3,90 m presenti clasti arrotondati. tra 4,10 m e 4,40 m c'è un livello più incoerente dove i laterizi sono maggiori del terreno. A volte presenti tracce di vulcanite. Tra 5,95 m e 6,20 m presenti bande scure plastiche. Grosso blocco tra 7,15 m e 7,80 m.						
2.0					11/11/9 2.65 PA	FS 4.0 11 FS		1.00 1.35
3.0						5.50		
4.0						2 4.1		
5.0						4.1		
6.0					3/5/6 6.25 PA	5.1		
7.0						FS FS 4.5		
8.0				%C=90		5.3		
8.0		Paleosuolo di colore scuro a struttura caotica ricco di laterizi e radici	8.40					
9.0		Argilla limosa plastica di colore grigio rossastro con struttura massiva	9.10	%C=90		3 2 FS		
9.0			9.80	%C=90		FS 5.2		
10.0		Arenaria calcarea fratturata con inclinazione delle fratture circa a 45°. Il colore è grigio bruno, rossastro nelle fratture		%RQD=50				
10.0			11.18					
11.0			12.00	%RQD=33				
12.0			13.00	%RQD=68				
13.0			14.16	%RQD=36				
14.0			15.00	%RQD=47				
15.0								
16.0								

Commitente Amministrazione comunale di Arcidosso		Ubicazione indagine Via della Fratta - Arcidosso (GR)	Data esecuzione inizio/fine 17/05/2021-17/05/2021
Attrezzatura perforazione Beretta T40	Metodo perforazione Perforazione a carotaggio continuo	Quota P.C (metri s.l.m) 630.0 m s.l.m	Profondità raggiunta 15,00 m
Sondaggio S2			

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 DOTT. RICCARDO RAMPI 
COMMESSA:	1092	DATA EMISSIONE CERTIFICATI:	07/06/21	
CNG S.r.l. Sede Legale e Uffici Tecnici: Via Squinzano, 87 - 00133 - Roma Tel/Fax 06 2018088 - WEB: www.congeo.it - E-mail: cng@congeo.it - PEC: cngsrl@pec.it 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				

QUADRO SINOTTICO DEI RISULTATI

[illegible]

* 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

 <div>CNG S.r.l. LABORATORIO GEOTECNICO</div> <div>Via Squinzano, 87 - 00133 Roma Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it</div>	Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l. per Amministrazione Comunale di Arcidosso		SOND.: 2	PAGINA: 15
	Parcheggio Via della Madonna Arcidosso (GR)		CAMP.: 1	
	DATA RICEVIMENTO CAMPIONE 19/05/21		da m: 1,00 a m: 1,35	N° IDENTIFICATIVO INTERNO 4585
		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	γ_n	19,96	(kN/m ³)
INDICE DEI VUOTI	e	0,55	(-)	PESO DI VOLUME SECCO	γ_d	16,66	(kN/m ³)
POROSITA'	n	35,4	(%)	PESO DI VOLUME SATURO	γ_{sat}	20,13	(kN/m ³)
GRADO DI SATURAZ.	S_r	95,1	(%)	PESO SPECIFICO DEI GRANULI	γ_s	25,78	(kN/m ³)

CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE (SECONDO UDDEN - WENTWORTH)

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

CARATTERISTICHE DI PLASTICITA' E PERMEABILITA'

CLASSIFICAZIONE SECONDO ABACO DI PLASTICITA'		CL	CONSISTENZA DEL MATERIALE SECONDO IC		Solido-plastica
LIMITE DI LIQUIDITA'	W_L	34,0	(%)	LIMITE DI RITIRO	W_s (%)
LIMITE DI PLASTICITA'	W_p	17,0	(%)	INDICE DI CONSISTENZA	IC 0,83 (-)
INDICE DI PLASTICITA'	IP	17,0	(%)	ATTIVITA' (IP / % < 0,002mm)	Ac (-)
PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO		(kPa)		PERMEABILITA'	k (m/sec)

CARATTERISTICHE MECCANICHE

VAN TEST / Cu (kPa)		POCKET PENETROMETER / σ_f (kPa)	
ESPANSIONE LATERALE LIBERA		σ_f (kPa)	ε (%)
PROVA DI TAGLIO DIRETTO TIPO C.D.		VALORI DI PICCO	
		C' 8 (kPa)	C_r (kPa)
		φ' 32 (°)	φ_r (°)
PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE		CIU	
CID		UU	
C' (kPa)		C (kPa)	C_u (kPa)
φ' (°)		φ (°)	φ_u (°)

CARATTERISTICHE EDOMETRICHE

DA σ'	A σ'	E_{ed}	m_v	c_v	k
(kPa)		(kPa)	(kPa ⁻¹)	(cm ² /sec)	(cm/sec)

INDICE CBR (2,5) (%) =	CARATTERISTICHE OTTIMALI PROCTOR	P.VOLUME SEC. γ _d (kN/m ³)
INDICE CBR (5,0) (%) =		UMIDITA' W (%)


 CNG S.r.l. LABORATORIO GEOTECNICO Via Squinzano, 87 - 00133 Roma Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it	Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l. per Amministrazione Comunale di Arcidosso				SOND.: 2	PAGINA: 16 PAGINA CERTIFICATO 1 di 1
	Parcheggio Via della Madonna Arcidosso (GR)				da m: 1,00	
	N° VERBALE 1234		N° COMMESSA 1092		a m: 1,35	
					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

DOCUMENTO DI VALUTAZIONE				
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



 CNG S.r.l. LABORATORIO GEOTECNICO Via Squinzano, 87 - 00133 Roma Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it	Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l. per		SOND.: 2	PAGINA: 17
	Amministrazione Comunale di Arcidosso		CAMP.: 1	
	Parceggio Via della Madonna		da m: 1,00	PAGINA CERTIFICATO
	Arcidosso (GR)		a m: 1,35	1 di 1
N° VERBALE 1234		N° COMMESSA 1092	ID. INTERNO 4585	N° CERTIFICATO
				18995 wn
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	/	W_n MEDIO TOTALE
TRATTO PROVA TD	(%)	TRATTO PROVA Trx CID		TRATTO PROVA ELL		19,8 (%)

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



 <div>CNG S.r.l. LABORATORIO GEOTECNICO</div> <div>Via Squinzano, 87 - 00133 Roma Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it</div>	Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l. per Amministrazione Comunale di Arcidosso			SOND.: 2	PAGINA: 18
	Parcheggio Via della Madonna Arcidosso (GR)			CAMP.: 1	PAGINA CERTIFICATO 1 di 1
				da m: 1,00 a m: 1,35	N° CERTIFICATO 18996 pv
	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 22/05/21	

PESO DI VOLUME NATURALE γ_n
ASTM D 2937

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

PROVA DI RIFERIMENTO	γ_{n1}	γ_{n2}	ED	Trx CID	Trx CID	Trx CID	TD	TD	TD	Perm Trx
VOL. FUST. (cm ³)							71,16	71,16	71,16	
P. FUST. (g)							99,10	99,10	99,10	
PESO TOTALE (g)							242,77	245,85	243,13	
γ_n (kN/m ³)							19,80	20,22	19,85	

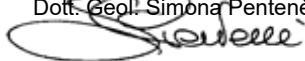
PROVA DI RIFERIMENTO	UU	UU	UU	ELL	ELL	ELL	PR. RIG.	HUDER-A.	RC	TTC
VOL. FUST. (cm ³)										
P. FUST. (g)										
PESO TOTALE (g)										
γ_n (kN/m ³)										

MEDIA VALORI γ_n	19,96	MEDIA VALORI γ_n	/	MEDIA VALORI γ_n	/	γ_n MEDIO TOTALE	
TRATTO PROVA TD	(kN/m ³)	TRATTO PROVA Trx CID		TRATTO PROVA ELL		19,96 (kN/m³)	

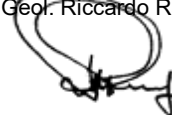
NOTE

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



 CNG S.r.l. LABORATORIO GEOTECNICO Via Squinzano, 87 - 00133 Roma Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it	Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l. per		SOND.: 2	PAGINA: 19
	Amministrazione Comunale di Arcidosso		CAMP.: 1	
	Parcheggio Via della Madonna		da m: 1,00	PAGINA CERTIFICATO
	Arcidosso (GR)		a m: 1,35	1 di 1
	N° VERBALE 1234	N° COMMESSA 1092	ID. INTERNO 4585	N° CERTIFICATO
				18997 PGR
DATA RICEVIMENTO CAMP.	19/05/21	DATA EMISSIONE CERTIF.	07/06/21	DATA INIZIO PROVA
			27/05/21	DATA FINE PROVA
				28/05/21

PESO SPECIFICO DEI GRANULI γ_s
ASTM D 854

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

NUMERO PICNOMETRO	5	17		γ_s	MEDIA DI 2 MISURAZIONI	25,79 (kN/m ³)
TEMPERATURA (°C)	23,7	23,5				
PESO PICNOMETRO + ACQUA (g)	200,18	209,06		γ_s	RIFERITO A 20°C	25,78 (kN/m ³)
PESO PICNOMETRO + ACQUA + TERRA (g)	209,48	218,38				
PESO TERRA SECCA (g)	15,03	15,00		Gs	(γ_s/γ_w)	2,628
PESO SPECIFICO γ_s (kN/m ³)	25,71	25,88				

NOTE

--

LO SPERIMENTATORE

Dott. Geol. Simona Pentenè



IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Dott. Geol. Riccardo Rampi



 CNG S.r.l. LABORATORIO GEOTECNICO Via Squinzano, 87 - 00133 Roma Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it	Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l. per Amministrazione Comunale di Arcidosso		SOND.: 2 CAMP.: 1	PAGINA: 20 PAGINA CERTIFICATO 1 di 1
	Parcheggio Via della Madonna Arcidosso (GR)		da m: 1,00 a m: 1,35	N° CERTIFICATO 18998 LM
RICEV. CAMP. 19/05/21 DATA EMISSIONE CERTIF. 07/06/21	N° VERBALE 1234 N° COMMESSA 1092	DATA INIZIO PROVA 28/05/21 DATA FINE PROVA 31/05/21		

CARATTERISTICHE DI CONSISTENZA

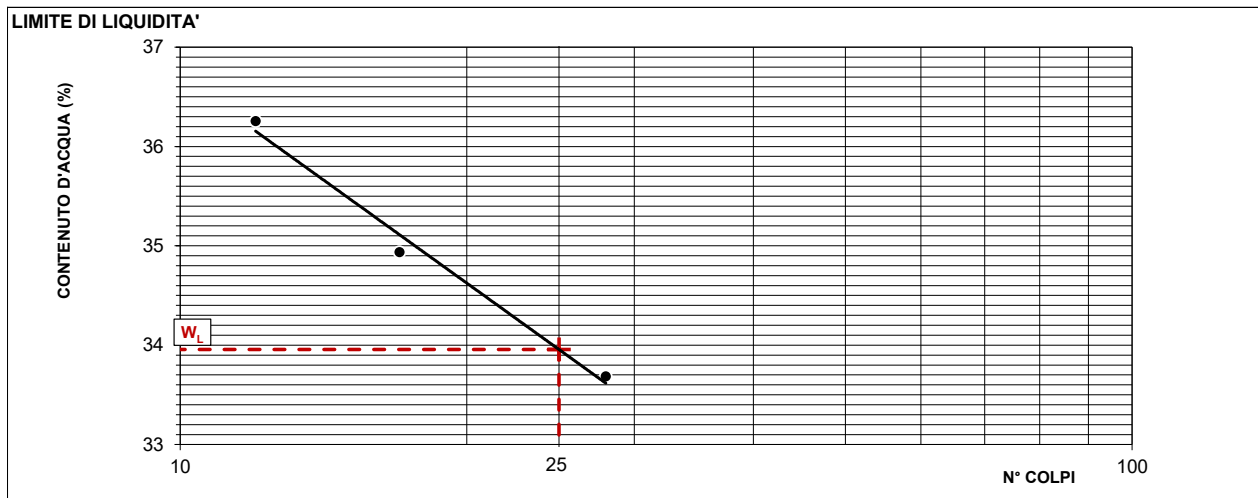
ASTM D 4318

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

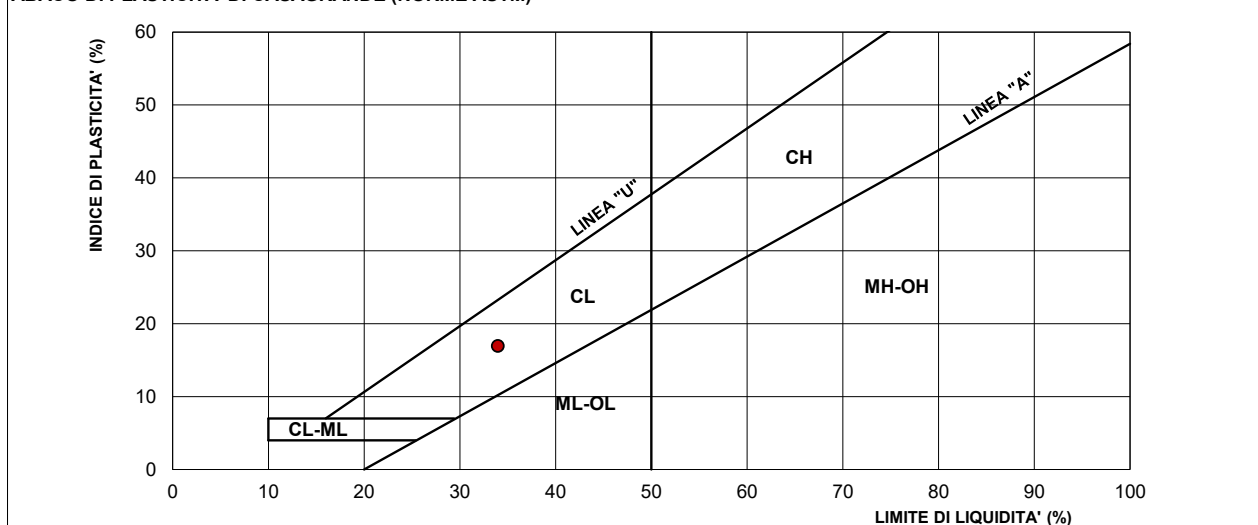
DATI SPERIMENTALI E RISULTATI

DETERMINAZIONE	1 W _L	2 W _L	3 W _L	4 W _L	1 W _P	2 W _P
UMIDITA'	36,26	34,94	33,69		17,29	16,69
N° COLPI	12	17	28		Media	16,99

LIMITE DI LIQUIDITA' (W _L)	34,0	(%)	CONTENUTO NAT. D'ACQUA (W _n)	19,8	(%)
LIMITE DI PLASTICITA' (W _P)	17,0	(%)	INDICE DI CONSISTENZA (IC)	0,83	(-)
LIMITE DI RITIRO (W _S)		(%)	ATTIVITA' (IP / % < 0,002mm)	/	(-)
INDICE DI PLASTICITA' (IP)	17,0	(%)	CONSISTENZA SECONDO IC	Solido-plastica	
CLASSIFICAZIONE AASHTO	/		CLASSIF. ABACO DI PLASTICITA'	CL	



ABACO DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE (NORME ASTM)



NOTE

LO SPERIMENTATORE
Dott. Geol. Simona Pentenè

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
Dott. Geol. Riccardo Rampi

 CNG S.r.l. LABORATORIO GEOTECNICO Via Squinzano, 87 - 00133 Roma Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it	Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l. per Amministrazione Comunale di Arcidosso		SOND.: 2	PAGINA: 21 PAGINA CERTIFICATO 1 di 3
	Parcheggio Via della Madonna Arcidosso (GR)		CAMP.: 1	
	N° VERBALE 1234	N° COMMESSA 1092	da m: 1,00 a m: 1,35	N° CERTIFICATO 18999 TD
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 N°	LATO L (mm)	ALTEZZA H (mm)	INIZIO CONS. VOL. (cm³)	UMIDITA' NAT. Wn (%)	PESO DI VOL. γ_n (kN/m³)	CONSOLIDAZIONE 24 h		FINE CONSOL. VOL. (cm³)	UMIDITA' FIN. Wf (%)	VALORI DI SFORZO MAX.	
						σ' (kPa)	CEDIM. (mm)			τ (kPa)	δ_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

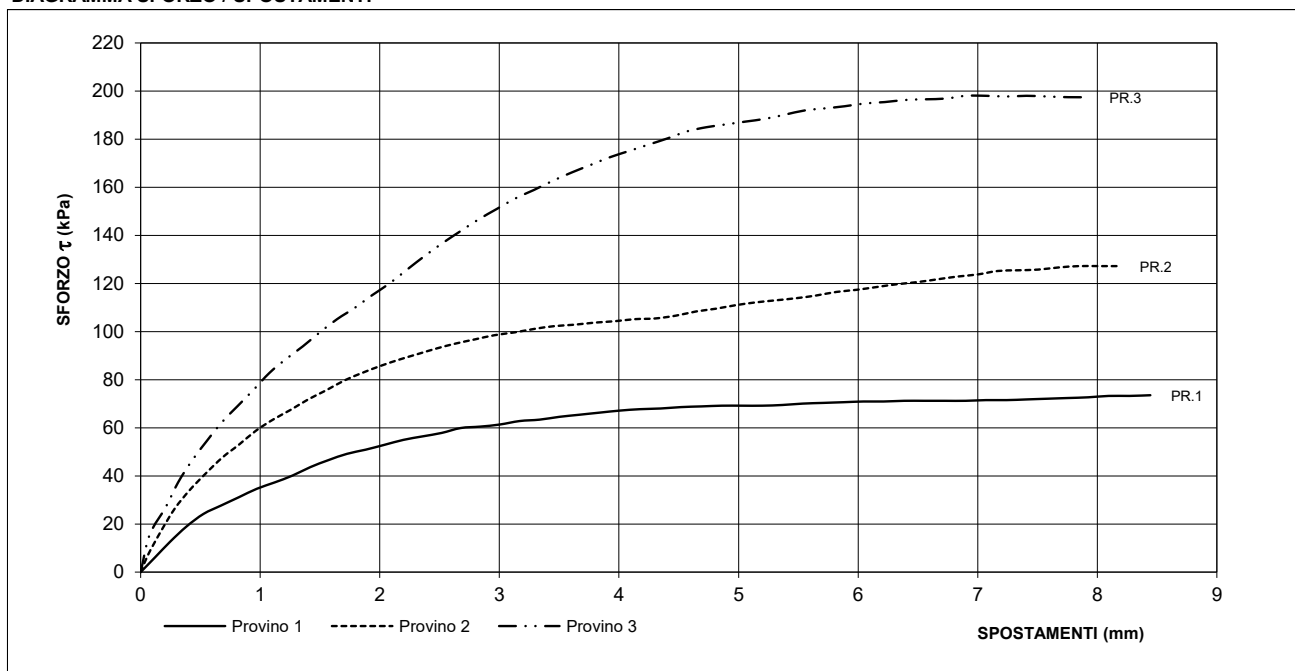
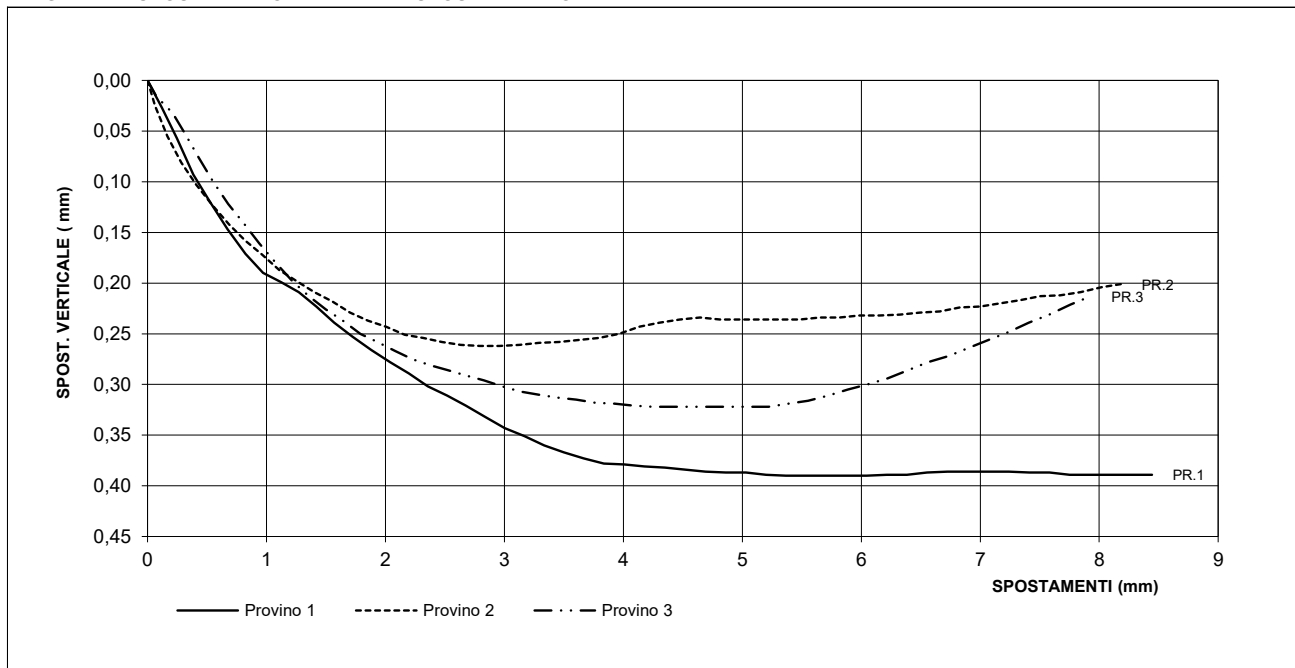
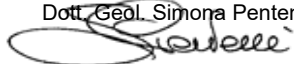


DIAGRAMMA SPOSTAMENTO VERTICALE / SPOSTAMENTI ORIZZ.



LO SPERIMENTATORE
Dott. Geol. Simona Pentenè



IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
Dott. Geol. Riccardo Rampi



 <div>CNG S.r.l. LABORATORIO GEOTECNICO</div> <div>Via Squinzano, 87 - 00133 Roma Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it</div>	Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l. per Amministrazione Comunale di Arcidosso			SOND.: 2	PAGINA: 22
	Parcheggio Via della Madonna Arcidosso (GR)			CAMP.: 1	
				da m: 1,00 a m: 1,35	N° CERTIFICATO 18999 TD
	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	

DATI SPERIMENTALI RELATIVI AL TAGLIO

PROVINO 1						PRESSIONE DI CONSOLIDAZIONE (kPa) = 98					
Sp. or. (mm)	Sforzo τ (kPa)	Sp. ver. (mm)	Sp. or. (mm)	Sforzo τ (kPa)	Sp. ver. (mm)	Sp. or. (mm)	Sforzo τ (kPa)	Sp. ver. (mm)	Sp. or. (mm)	Sforzo τ (kPa)	Sp. ver. (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					
Sp. or. (mm)	Sforzo τ (kPa)	Sp. ver. (mm)	Sp. or. (mm)	Sforzo τ (kPa)	Sp. ver. (mm)	Sp. or. (mm)	Sforzo τ (kPa)	Sp. ver. (mm)	Sp. or. (mm)	Sforzo τ (kPa)	Sp. ver. (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



 <div>CNG S.r.l. LABORATORIO GEOTECNICO</div> <div>Via Squinzano, 87 - 00133 Roma Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it</div>	Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l. per Amministrazione Comunale di Arcidosso			SOND.: 2	PAGINA: 23
	Parcheggio Via della Madonna Arcidosso (GR)			CAMP.: 1	
				da m: 1,00 a m: 1,35	N° CERTIFICATO 18999 TD
	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	

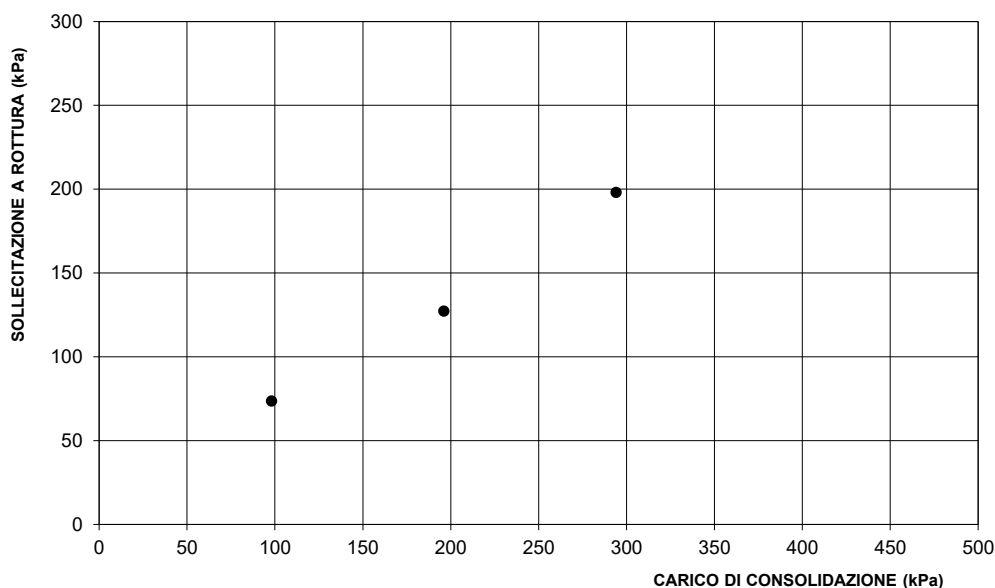
DATI SPERIMENTALI RELATIVI AL TAGLIO

PROVINO 3						PRESSIONE DI CONSOLIDAZIONE (kPa) = 294					
Spost. or. (mm)	Sforzo τ (kPa)	Spost. ver. (mm)	Spost. or. (mm)	Sforzo τ (kPa)	Spost. ver. (mm)	Spost. or. (mm)	Sforzo τ (kPa)	Spost. ver. (mm)	Spost. or. (mm)	Sforzo τ (kPa)	Spost. ver. (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



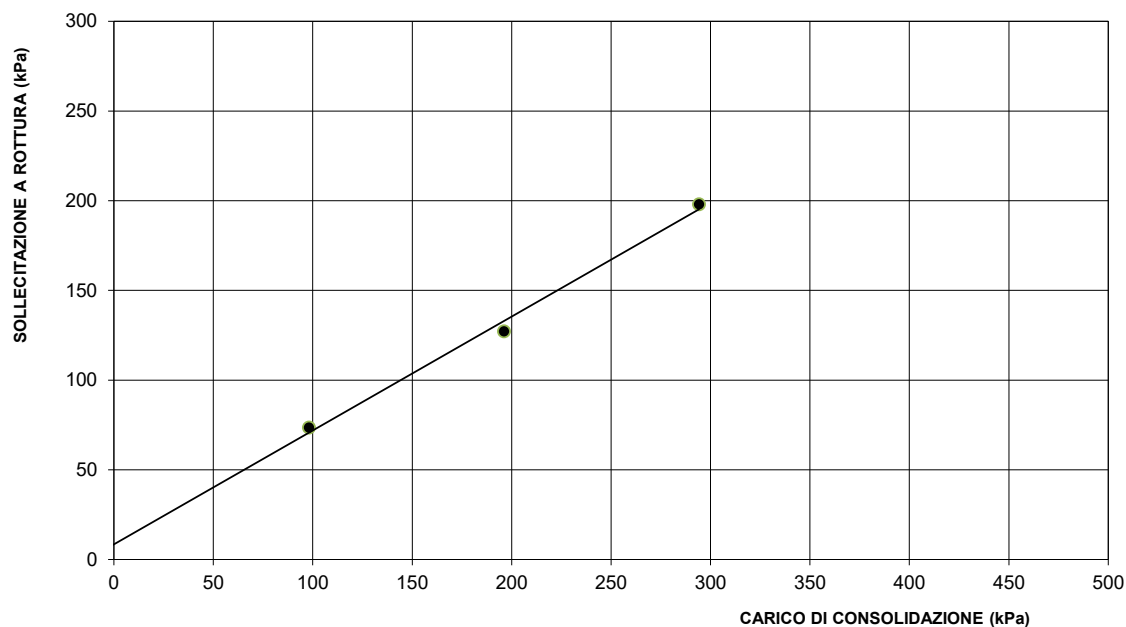
IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
Dott. Geol. Riccardo Rampi



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

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

DIAGRAMMA SOLLECITAZIONE A ROTTURA / CARICO



RISULTATI TAGLIO DRENATO

COESIONE EFFICACE (kPa)	8
ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE	32

NOTE

LA RETTA DI INVILUPPO CHE PASSA PER I TRE PUNTI E' UNA LINEA DI INTERPOLAZIONE SENZA ALCUNA INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI.