

CITTA' METROPOLITANA DI PALERMO

**S.P. N.37 "DI GIBILROSSA
LAVORI DI RIPRESA E MESSA IN SICUREZZA
DELLA GALLERIA ARTIFICIALE DANNEGGIATA
DALLA CADUTA MASSI AL Km. 2+500
CUP D77H21007330002**

PROGETTO ESECUTIVO

ELABORATO: GEO 1
RELAZIONE GEOLOGICA

IL R.U.P.
Ing. Claudio Tascone

IL PROGETTISTA
Ing. Ivan Torretta

DATA: MAGGIO 2023



CITTÀ METROPOLITANA DI PALERMO

RELAZIONE GEOLOGICA

**LAVORI DI RIPRESA E MESSA IN SICUREZZA DELLA
GALLERIA ARTIFICIALE DANNEGGIATA DALLA CADUTA
MASSI AL KM 2+500 CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4**

IL Responsabile unico del Procedimento

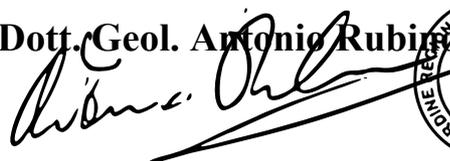
Visti

IL Committente

Città Metropolitana di Palermo

IL Tecnico

Dott. Geol. Antonio Rubino



Palermo 05/2022

INDICE

1. PREMESSA	2
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GEOMORFOLOGIA.....	4
3. PERICOLOSITA' GEOLOGICHE E ASSETTO IDROGEOLOGICO.	7
4. ASPETTI GEOLOGICO - TETTONICI.....	9
5. LINEAMENTI GEOLOGICI E STRATIGRAFIA	11
6. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI.....	13
7. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	14
7.1 PERFORAZIONI GEOGNOSTICHE.....	15
7.2 PROVA GEOTECNICA IN FORO S.P.T. (Standard penetration test)	19
7.3 PROSPEZIONE SISMICA.....	20
8. CARATTERISTICHE MECCANICHE GEOTECNICA.....	22
9. CONCLUSIONI.....	27

Si Allega:

1. Corografia dei Luoghi scala 1:25.000
2. Ortofoto scala 1:5.000
3. Stralcio della Carta dei Dissesti P.A.I.
4. Stralcio della Pericolosità e del Rischio Idrogeologico P.A.I.
5. Studio mitigazione del Rischio Idrogeologico (PRO-GEO)
6. Carta Geologica scala 1:10.000
7. Carta Geomorfologica 1:10.000
8. Prospezioni Geognostiche scala 1:2.000
9. Relazioni Indagini Geognostiche
10. Report prove di laboratorio

1. PREMESSA

Lo scrivente Dott. Geol. Rubino Antonio (O.R.G.S. n° 2758) è stato incaricato dalla Città Metropolitana di Palermo – Direzione Viabilità - per redigere lo “Studio geologico esecutivo per la Progettazione esecutiva nell’ambito di SP37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al Km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.”

Il presente studio si è reso necessario in quanto nel Novembre del 2021 si è verificato un fenomeno di Crollo con il seguente distacco di elementi lapidei di grosse dimensioni che ha danneggiato la galleria paramassi sottostante la SP37 che comunque ha svolto la sua funzione di protezione resistendo all’impatto.

Lo studio Geologico Esecutivo ha compreso l’esecuzione di indagini geologiche sia dirette che indirette al fine di caratterizzare in maniera completa il piano di posa delle fondazioni.

A tal fine sono state effettuate delle specifiche indagini geognostiche e rilievi sul territorio, per determinare le caratteristiche geologico-tecniche dei terreni presenti e l’azione sismica di progetto, in modo da rilevare le possibili complicanze riscontrabili durante l’esecuzione delle opere.

Gli elementi che hanno consentito di ricostruire la serie stratigrafica locale sono stati acquisiti in seguito all’esecuzione di n. 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo; in una delle perforazioni è stata effettuata una prova penetrometrica dinamica discontinua (SPT) lungo il foro, e inoltre sono stati prelevati n. 5 campioni di roccia rimaneggiati e su 4 di essi sono state eseguite le prove di laboratorio necessarie per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è stata effettuata una prova sismica tipo Masw secondo il **D.M.17/01/2018**.

Una volta inquadrati gli aspetti geomorfologici e idrogeologici dell'area e definito l'assetto geologico e geotecnico del sottosuolo, è stato possibile caratterizzare i terreni che interagiranno con le fondazioni previste in progetto. A seguito degli accertamenti effettuati e dai dati acquisiti è stata redatta la presente consulenza nel quale verrà illustrato il modello geologico dell'area e verranno forniti i parametri geotecnici utili ai fini della progettazione esecutiva dell'opera.

Per quanto attiene lo studio del costone roccioso, il rilievo geostrutturale e il progetto di messa in sicurezza con l'individuazione delle opere di mitigazione del dissesto idrogeologico è stato condotto e relazionato dalla PRO-GEO a cura del Prof. Ing. Cafiso.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGIA

L'area in esame è cartografata nella C.T.R. in scala 1:10.000 Sez. 595100 e ricade all'interno della Tavoletta I.G.M. 249 II SE scala 1:25.000 denominata Misilmeri (vedi Corografia allegata).

Si sviluppa in maniera regolare su di un pendio ai piedi di un alto strutturale a Nord di Portella Larga ad una quota di circa 185 m s.l.m, ed è delimitata da un lato da Monte Grifone e dall'altro dal passo di Gibilrossa in un'area a Sud-Ovest di Villabate (Pa) in territorio comunale di Palermo. La strada in oggetto è delimitata nella parte a Sud da un costone roccioso di origine calcarea che si eleva fino ad una quota di circa 300 m s.l.m.

Il tratto di SP37 oggetto del presente studio è interessato dalla presenza di una galleria paramassi della lunghezza di circa 300 m, il tratto interessato dal crollo è ubicato a circa 150 m dall'imbocco della galleria provenendo da Palermo.

Per una migliore descrizione delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche della zona in studio è stato eseguito il rilievo geologico di superficie il quale è stato integrato con i dati presenti nella letteratura esistente; ciò ha consentito di comprendere il contesto geomorfologico generale, originato dalla combinazione di diversi fattori geomorfologici, litologici e tettonici.

Il paesaggio è tipico delle aree di versante, da un punto di vista geomorfologico, la zona s'inquadra su un aspro pendio con brusche rotture di pendenza che degrada più a Nord in area pianeggiante che si affaccia sul Mar Tirreno con la sua forma tipica a mezzaluna e che si sviluppa in direzione grosso modo N-S ed O-E parallelamente alla costa.

La conformazione morfologia, caratterizzata da un area acclive con brusche rotture di pendenza e un dislivello di circa 90 m, è contraddistinta, lungo la sede

stradale, dalla coltre detritica derivante dalla disgregazione delle rocce presenti nel promontorio adiacente, e rappresenta il risultato sia dell'azione degli eventi meteorici, sia dagli eventi fisici, sia dall'azione adoperata dai fenomeni gravitativi sia dell'azione ad opera di dei corsi d'acqua, i quali hanno inciso più o meno profondamente le aree adiacenti.

Tale assetto morfologico rappresentato da un pendio accentuato e articolato è tipico delle aree montane, con versanti ripidi e scoscesi in corrispondenza degli affioramenti calcareo-dolomitici e calcareo-marnosi.

Più in particolare l'area è caratterizzata dalla presenza di rilievi carbonatici delimitati a Nord dalla fascia costiera subpianeggiante. Qui i valori di pendenza sono piuttosto elevati e localmente sono presenti pareti subverticali e pendii ripidi e scoscesi soggetti a degradazione fisica per processi termoclastici e a fenomeni di crollo derivanti dalle caratteristiche fisiche in cui si trovano le rocce della Formazione Geologica presente; ciò nell'evoluzione geomorfologica ha determinato la conformazione attuale rappresentata da una fascia detritica di ampiezza variabile posta alla base delle pendici rocciose e dove si sviluppa proprio la viabilità in oggetto.

Localmente, pertanto, la dinamica dei versanti è rappresentata da fenomeni di crollo e ribaltamento dovuti principalmente alle caratteristiche intrinseche delle unità geologiche presenti (stratificazione, assetto strutturale, giacitura, caratteristiche fisico-meccaniche, etc.) ed ai fattori esterni quali pendenza dei versanti, piovosità, azioni sismiche, etc., che sotto la spinta diretta della gravità movimentano il versante, dando luogo a veri e propri fenomeni franosi.

Le diverse unità stratigrafico strutturali riscontrate sono costituite da successioni carbonatiche con una configurazione a blocchi e carbonatico terrigene derivanti dalle deformazioni del dominio Imerese e limitatamente all'area

progettuale si è rilevata la Formazione Scillato in affioramento lungo la parete rocciosa e i Detriti di falda più o meno recenti posti alla base della sede stradale.

3. PERICOLOSITA' GEOLOGICHE E ASSETTO IDROGEOLOGICO.

Come anticipato nella sezione relativa all'assetto morfologico, la zona in cui è prevista la realizzazione degli interventi in progetto è in atto caratterizzata da aree di instabilità generale dovute principalmente a frane di crollo.

La valutazione complessiva delle pericolosità geologiche e del rischio idrogeologico è stata effettuata sulla base dell'analisi di vari documenti ed elaborati, tra cui la cartografia allegata al P.R.G. del Comune di Palermo, integrato con quanto osservato in sito e da foto aeree.

L'analisi del rischio è stata condotta dalla PRO-GEO e curata dal Prof. Ing. Cafiso che ha provveduto, a seguito di apposito incarico ricevuto dalla Città Metropolitana di Palermo, ad individuare la pericolosità del fronte roccioso e di conseguenza di valutarne il Rischio e di progettare gli interventi necessari per la mitigazione del rischio idrogeologico.

Inoltre, secondo le direttive **P.A.I. (Piano Straordinario per l'Assetto Idrogeologico)** erano già presenti situazioni di rischio idrogeologico R3 e di Pericolosità P4 Bacino del Fiume Oreto (038), e in particolare sono mappati due aree 038-6PM-002 e 038-6PM-012 (Ovest Burrone e Discesa dei Mille) tali aree scaturiscono a seguito della presenza di due dissesti attivi per frane di crollo (vedi tavole allegate P.A.I.).

Dal rilievo effettuato in loco si è constatato la presenza delle aree sopra descritte dove recentemente si sono verificati fenomeni di crollo con il distacco di grossi blocchi di roccia che hanno causato il danneggiamento di alcuni moduli della galleria oggetto di messa in sicurezza.

Inoltre dall'analisi del dettagliato rilievo geostrutturale condotto dalla PRO-GEO si è chiaramente evinto come il fronte roccioso sia interessato da un fitto sistema di discontinuità che determinano il disarticolamento di blocchi interi di roccia anche di notevoli dimensioni. Più in particolare è stata chiaramente individuata la nicchia di distacco dell'evento evento franoso che presenta un'altezza massima di 25 m e una larghezza massima di 12 m. inoltre sono stati individuati n. 5 famiglie di discontinuità che possono generare svariati sistemi di crollo e pertanto l'intera area presente un reale **Pericolosità in termini di probabilità che l'evento si riverifichi nel breve termine e pertanto necessita degli interventi previsti nel progetto proposto.**

Per ulteriori dettagli si rimanda al Progetto definitivo degli interventi di mitigazione del rischio geomorfologico per il tratto della SP37 che si sviluppa lungo la galleria artificiale danneggiata dal crollo del 1° Novembre 2021.

4. ASPETTI GEOLOGICO - TETTONICI

La ricostruzione dell'evoluzione paleogeografica della zona in studio è stata effettuata sulla base di informazioni ricavate dal rilievo geologico di un'ampia area circostante la zona interessata dall'intervento in oggetto, attraverso le indagini geognostiche e integrando i dati ricavati consultando gli studi precedenti.

Nello specifico, il sito in studio è caratterizzato dalla presenza di particolari successioni carbonatiche afferenti alle successioni del Dominio Imerese e nello specifico i Calcari afferenti alla Formazione Scillato (*vedi carta Geologica allegata*).

La Formazione è costituita da Calcilutiti e Calcareniti grigiastre con rare liste e noduli di selce, sono presenti anche calcareniti grigiastre in strati e banchi e verso l'alto vi è la presenza di calciruditi stratificate a luoghi dolomitizzate, a tratti sono presenti breccie intercalate (costituite da grossi elementi di calcilutiti e schegge di noduli di selce) e doloruditi massive in banchi plurimetrici.

Nello specifico, per quanto concerne l'area oggetto di studio, circa 100.000 anni fa durante l'era interglaciale wurmiana Palermo era ancora mare aperto e la conca d'Oro non era ancora emersa e Monte Pellegrino rappresentava un'isola che sbarrava da nord un ampio golfo.

La linea di costa cominciò a prendere l'attuale conformazione verso la fine dell'era interglaciale Riss – Wurm, periodo in cui il progressivo scioglimento dei ghiacciai comportò un aumento del livello del mare che s'innalzò per più di 50 m rispetto al livello attuale.

Testimonianza di tale evento sono i segni che si riscontrano sui Monti che circondano Palermo e su Monte Pellegrino costituiti dalle tracce dell'escavazione marina sulle roccia calcareo dolomitica.

In seguito circa 35.000 – 15.000 anni fa (glaciazione Wurmiana) si verificò un sensibile abbassamento del livello del mare con conseguente aumento dei fenomeni erosivi ad opera degli agenti meteorici e dei corsi d'acqua che furono interessati da una fase di ringiovanimento con approfondimento del fondo alveo e regime idraulico vorticoso.

Nel mentre la linea di costa avanzava lungo la piattaforma carbonatica mutando la propria morfologia. Durante questo periodo il livello medio del mare si posizionava a una quota di circa -80 m rispetto al livello attuale creando un'ampia fascia costiera larga circa 4 km.

5. LINEAMENTI GEOLOGICI E STRATIGRAFIA

La successione stratigrafica dei terreni presenti è stata determinata in seguito ad uno scrupoloso rilievo geologico e da bibliografia esistente, supportato dai dati acquisiti attraverso la campagna di indagini geognostiche.

Sono stati individuati, nell'area progettuale, rispettivamente da quello superficiale al più profondo, i seguenti terreni e formazioni geologiche:

- *Detrito di Falda (recente)*
- *Formazione Scillato (Cenomaniano Sup. - Retico)*

DETRITO DI FALDA

Costituiti da elementi sciolti o poco cementati posti lungo le fasce pedemontane dei rilievi montuosi più importanti. Le litologie sono variabili e comunque sempre riferibili al litotipo presente nei rilievi da cui si originano.

FORMAZIONE SCILLATO

Calcilutiti, calcisiltiti e calcareniti grigiastre a luoghi laminate in strati con rari liste e noduli di selce di colore variabile, marne policrome passanti verso l'alto a calcilutiti e calcareniti grigiastre in strati e banchi. Si succedono verso l'alto calcareniti e calciruditi stratificate a luoghi dolomitizzate; a luoghi breccie intercalate e doloruditi massive in banchi plurimetrici.

Nel dettaglio le perforazioni hanno interessato la coltre detritica con spessori superiori ai 15-20 m, (vedi sezioni geotecniche e colonne stratigrafiche allegate) le seguenti litologie:

- **Limi sabbiosi e argille limose di origine detritica con trovanti:** limi sabbiosi e argille limose in prevalenza, di origine detritica, di colore bruno rossastro mediamente addensati o a tratti cementati, poco umidi, con presenza di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi e trovanti di natura

calcareo-dolomitica di colore grigio chiaro, compatti, vacuolari, con spessori carotati anche superiori al decimetro. A luoghi sono presenti diffusi elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi e trovanti di natura calcareo dolomitica compatti, vacuolari con spessori anche superiori al decimetro, più in profondità i limi si presentano argillosi di colore giallo oca-rossastro con presenza diffusa di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi.

6. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI

L'assetto idrogeologico del territorio investigato dipende principalmente dal tipo di permeabilità che contraddistingue i litotipi presenti e inoltre dall'insieme dei fattori contingenti relativi all'assetto giaciturale, strutturale e stratigrafico che lo caratterizzano.

Nell'areale di interesse sono stati rilevati litotipi aventi caratteristiche idrogeologiche variabili in relazione alla loro natura litologica.

La facies calcareo-dolomitica della formazione Scillato è caratterizzata da una permeabilità secondaria per fessurazione e/o carsismo che permettono una circolazione idrica sotterranea elevata per la fitta rete di fratture e faglie sub verticali. A questo gruppo appartengono le litologie carbonatiche dei rilievi presenti, con un valore di permeabilità compreso nell'intervallo $10^{-1} > k > 10^{-4}$.

I detriti di falda antichi e recenti hanno elevata permeabilità primaria. Accostati alla parte bassa dei versanti, sono un ottimo acquifero ed hanno la funzione di drenare le acque dei calcari e delle dolomie a cui sono appoggiati.

All'interno della coltre superficiale alterata si può creare una modesta circolazione idrica temporanea, legata strettamente all'andamento delle precipitazioni, ma non tale da contribuire ad alimentare il sistema freatico profondo.

Comunque le indagini hanno evidenziato che sino alla profondità investigata non è stata inoltre riscontrata la presenza di falda acquifera (vedi sezioni geologiche e colonne stratigrafiche allegate).

7. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Il fine delle indagini geognostiche è stato quello di evidenziare, assieme ai rilievi sul territorio, le caratteristiche geologico-tecniche dei terreni presenti nel sito in studio e l'azione sismica di progetto, in modo da rilevare le possibili complicanze riscontrabili durante l'esecuzione delle opere (vedi prospezioni geognostiche).

La campagna di indagine geognostica è consistita in:

- 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo. Totale: 45 m. di perforazione.
- 1 prove penetrometriche dinamiche discontinue (*Standard Penetration Test*).
- Prelievo di 4 campioni e successive prove di laboratorio.
- Prospezione sismica di tipo Masw.

7.1 PERFORAZIONI GEOGNOSTICHE

La campagna di indagini è stata programmata ed effettuata sulla base degli approfondimenti necessari per la caratterizzazione geologica del sito e per determinare la successione stratigrafica dei terreni presenti.

I sondaggi geotecnici sono consistiti nella perforazione a carotaggio continuo dei terreni e nella descrizione della stratigrafia, con modalità e osservazioni tali da consentire una caratterizzazione geotecnica degli stessi.

In particolare sono stati eseguiti n° 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, spinti sino alle profondità che hanno permesso di ricostruire la natura litologica dei i terreni di copertura in quanto non è stato possibile intercettare il substrato compatto che si attesta a notevoli profondità. (Per l'ubicazione dei sondaggi vedi planimetria allegata).

Durante tale operazione, oltre l'estrazione di carote per il riconoscimento della litostratigrafia dei terreni, sono stati prelevati 5 campioni rimaneggiati in quanto su tali tipi di terreni di natura eterogenea non è possibile il prelievo di campioni indisturbati. Successivamente su 4 campioni sono state eseguiti le analisi e le prove geotecniche di laboratorio, necessarie per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni in studio.

Inoltre entro i fori di sondaggio S2 è stata eseguita una prova geotecnica in foro tipo SPT1.

Durante l'esecuzione delle indagini non è stata rilevata evidenze di circolazione di acqua (vedi sezioni geologiche e colonne stratigrafiche allegate).

Di seguito sono descritte le risultanze dei sondaggi geognostici, le relative profondità d'indagine, le prove in foro effettuate ed i campioni prelevati.

SONDAGGIO: S1

- **da m 0,00 a m 0,1:** Pavimentazione stradale in asfalto
- **da m 0,1 a m 0,7:** Calcestruzzo armato;
- **da m 0,70 a m 3,0:** limi sabbiosi e argille limose in prevalenza, di origine detritica, di colore bruno rossastro mediamente addensati o a tratti cementati, poco umidi, con presenza di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi e trovanti di natura calcareo-dolomitica di colore grigio chiaro, compatti, vacuolari, con spessori carotati anche superiori al decimetro;
- **da m 3,0 a m 12,50:** limi sabbiosi e argille sabbiose, di origine detritica, di colore bruno rossastro, a tratti beige, mediamente addensati, con presenza diffusa di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi e trovanti di natura calcareo-dolomitica compatti, vacuolari con spessori carotati anche superiori al decimetro, specie nel tratto tra - 5,00 e - 8,50 mt .;
- **da m 12,50 a m 15,0 :** limi debolmente argillosi di colore giallo ocre - rossastro, di origine detritica, ben addensati, mediamente umidi con presenza diffusa di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi, eterometrici , di dimensioni medie inferiori al cm.

CAMPIONI PRELEVATI: (S1-C1) 2,00 m - 2,30 m

(S1-C2) 11,30 m - 11,50 m

(S1-C3) 14,50 m - 14,80 m

SONDAGGIO: S2

- **da m 0,00 a m 0,1:** Pavimentazione stradale in asfalto
- **da m 0,1 a m 0,7:** Calcestruzzo armato;
- **da m 0,7 a m 6,5:** limi sabbiosi e argille limose in prevalenza, di origine detritica, di colore giallo ocraceo-rossastro da poco a mediamente addensati,

poco umidi, con presenza di abbondanti elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi, eterometrici. Da - 0,70 a -5,50 mt circa presente un orizzonte con prevalenza di trovanti di natura calcareo-dolomitica di colore biancastro, compatto, vacuolare, con spessori carotati anche superiori al decimetro.;

- **da m 6,5 a m 16,50** : limi sabbiosi e argille sabbiose, di origine detritica, di colore giallo ocra o bruno-rossastro mediamente addensati, con presenza diffusa di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi ed eterometrici. Da - 11,00 a - 12,50 mt circa la matrice limo-sabbiosa diminuisce ed aumenta la presenza di elementi lici di dimensioni medie superiori al cm e trovanti di natura calcareo-dolomitica, compatti, vacuolari, con spessori carotati anche superiori al decimetro;
- **da m 16,50 a m 20,0**: limi debolmente argillosi di colore giallo ocra - rossastro, di origine detritica, ben addensati, con presenza diffusa di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi, di dimensioni medie inferiori al cm.

PROVE GEOTECNICHE IN FORO SPT (Standard Penetration Test):

- da m. 17,50-17,05:

$N_1=20 - N_2=20 - N_3=22$

CAMPIONI PRELEVATI: (S2-C1) 10,10 m - 10,30 m

SONDAGGIO: S3

- **da m 0,00 a m 0,1**: Pavimentazione stradale in asfalto
- **da m 0,1 a m 1,0**: Calcestruzzo armato;

- **da m 1,00 a m 4,00:** limi sabbiosi e argille limose in prevalenza, di origine detritica, di colore beige-giallo ocraceo da poco a mediamente addensati, poco umide, con presenza di abbondanti elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi, eterometrici , con dimensioni anche superiori al cm;
- **da m 4,00 a m 8,80:** limi sabbiosi e argille sabbiose, di origine detritica, di colore giallo oca - rossastro mediamente addensati, umidi, con presenza diffusa di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi ed eterometrici. Da -5,20 a -8,00 mt circa presenza di un orizzonte dove la matrice limo-sabbiosa diminuisce ed aumenta la presenza di elementi lici di dimensioni medie superiori al cm e trovanti di natura calcareo-dolomitica compatti, vacuolari, di colore grigio chiaro, con spessori carotati anche superiori al decimetro;
- **da m 8,80 a m 10,0:** limi debolmente argillosi di colore giallo oca - rossastro, di origine detritica, ben addensati , con presenza diffusa di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi, di dimensioni medie inferiori al cm.

CAMPIONI PRELEVATI: (S3-C1) 3,60 m - 4,00 m

7.2 PROVA GEOTECNICA IN FORO S.P.T. (Standard penetration test)

Per una migliore definizione della consistenza dei depositi e della loro caratterizzazione geotecnica, si è ritenuto opportuno provvedere all'esecuzione di prove geotecniche in foro tipo SPT (*Standard Penetration Test*).

L'indagine ha avuto lo scopo di ricavare informazioni lungo le verticali investigate, in modo da avere un quadro geomeccanico puntuale, continuo in profondità e sufficientemente dettagliato. E' una prova discontinua eseguita nel foro preventivamente ripulito, e consiste nella infissione a percussione di un campionatore a pareti grosse (campionatore Raymond) collegato alla superficie mediante batteria di aste (diametro: 50 mm, spessore: 5 mm, peso lineare: 7,23 kg; modulo di resistenza o rigidità $W = 15,5 \times 10^{-6} \text{ m}^3$) in testa alle quali agisce un maglio del peso di 63.5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0.75 m. (vedi indagini S.P.T. in allegato).

Il dispositivo di percussione comprende una testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste, un maglio di acciaio di 63.5 kg, un sistema di guida e sganciamento automatico del maglio che assicuri una corsa a caduta libera fissa pari a 0.75 m (30 pollici).

Con questa prova vengono registrati i colpi necessari per una penetrazione di 30 cm (NSPT) del campionatore.

Durante l'infissione, si registrano infatti i colpi necessari a produrre l'avanzamento totale di 45 cm., distinti in tre tratti consecutivi di 15 cm.

In tal modo si misura l'NSPT del terreno investigato, considerando tale misura uguale alla somma dei colpi negli ultimi due tratti.

Per i terreni in esame le prove SPT hanno evidenziato degli *elevati valori di consistenza*, compresi tra $N_{spt} = 20 - 22$.

Sondaggio	Id. prova	Profondità (m)	N ₀	N ₁	N ₂	N _{SPT}	<i>punta</i>
S2	S2- SPT1	17,50-17,95	20	20	22	42	Conica

Nell'interpretazione di questi dati bisogna comunque considerare la probabile presenza di trovanti, ciottoli o livelli quarzarenitici che possono influenzare l'esito delle prove SPT.

7.3 PROSPEZIONE SISMICA

RIFERIMENTI NORMATIVI E CATEGORIE DI SUOLI

La nuova normativa sismica italiana, come riportato nel nuovo DM 14/01/2018 "Norme Tecniche sulle Costruzioni" definisce l'azione sismica di progetto basandosi sulla categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l'opera.

La classificazione del suolo è convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio nel sottosuolo (onde S) è stimato mediante il calcolo del V_{seq} mediante la seguente relazione:

$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore $h(strato)$ e dalla velocità delle onde S $V_s(strato)$, per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità H del substrato superiori a 30 m., la velocità equivalente $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H = 30$ m nella precedente

espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità (tabella 3.2.II delle citate NTC).

Sulla base del suddetto valore vengono individuate le seguenti cinque categorie di suolo ed in generale il fenomeno dell'amplificazione diventa più accentuato passando dalla classe A alla classe E.

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

Tabella 1: Categorie di Sottosuolo NTC 2018

Al fine di poter determinare la categoria di suolo è stata effettuata n. 1 indagine sismica di tipo Masw (vedi indagine sismica allegata), dall'interpretazione dei dati acquisiti è stato possibile classificare il sottosuolo come categoria C ($V_{Seq} = 355,39 \text{ m/s}$) definita come:

- *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti: con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

Per i parametri elastici si rimanda alla relazione sismica in allegato.

8. CARATTERISTICHE MECCANICHE E GEOTECNICA

Durante le perforazioni sono stati prelevati 5 campioni rimaneggiati, su 4 dei quali sono state eseguite le analisi e le prove geotecniche di laboratorio, necessarie per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni in studio.

Sono state effettuate sui campioni di terra le prove di identificazione consistenti nella determinazione del contenuto d'acqua, della composizione granulometrica, del peso specifico dei grani e del peso dell'unità di volume e su campioni di trovanti di roccia si sono effettuate le prove di compressione monoassiale per determinarne la resistenza a rottura.

Per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità dei terreni, sono state effettuate prove di taglio diretto consolidata drenata (CD).

Sono stati inoltre determinati, per ogni singolo provino, il contenuto d'acqua iniziale e finale ed il peso dell'unità di volume, il peso secco dell'unità di volume, la porosità ed il grado di saturazione iniziali.

Di seguito viene esposto il quadro riassuntivo, con riferimento al numero di sondaggio, alla quota di prelievo e al tipo di campione ed alla interpretazione con determinazione dei parametri delle terre (vedi prove di laboratorio allegate).

QUADRO RIEPILOGATIVO DELLE CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DELLE TERRE

CARATTERISTICHE FISICHE											CARATTERISTICHE MECCANICHE		
Sondaggio	Campione	Prof.	γ (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	w (%)	wp (%)	wl (%)	Ip	Ic	% <d=0,0002mm	TIPO PROVA	C' (Mpa)	Φ' (°)
S2	C1	10,1 - 10,3	21,3	26,8	14,4	13,7	30,2	0,17	0,96	18,44	TD	48,45	25,97
S3	C1	3,6 - 4,0	20,5	26,8	19,4	18,2	50,4	0,32	0,96	42,35	TD	15,35	36,26

Argilla ghiaiosa sabbiosa

coesione	$c' = \dots\dots\dots 48,45 \text{ Mpa}$
angolo di resistenza a taglio	$\varphi' = \dots\dots\dots 25,97^\circ$
peso dell'unità di volume	$\gamma = \dots\dots\dots 21,3 \text{ KN/m}^3$

Argilla Limosa con sabbia e ghiaia

coesione	$c' = \dots\dots\dots 15,35 \text{ Mpa}$
angolo di resistenza a taglio	$\varphi' = \dots\dots\dots 36,26^\circ$
peso dell'unità di volume	$\gamma = \dots\dots\dots 19,4 \text{ KN/m}^3$

Di seguito viene esposto il quadro riassuntivo, con riferimento al numero di sondaggio, alla quota di prelievo e al tipo di campione ed alla interpretazione con determinazione dei parametri delle rocce (vedi prove di laboratorio allegate).

QUADRO RIEPILOGATIVO DELLE CARATTERISTICHE FISICHE DELLE ROCCE

PROVA A COMPRESSIONE MONOASSIALE								
Sondaggio	Campione	Prof.	DIMENSIONI		SEZ (mm ²)	Massa (g)	Peso dell'unità di volume (Kg/m ³)	Resistenza a rottura (N/mm ²)
			D (mm)	H (mm)				
S1	C1	2,0 - 2,30	78	158	4778	2083,2	2760	131,4
S3	C1	3,6 - 4,0	78	160	4778	2241,4	2930	74,5

Il riepilogo e le schede relative a tutte le analisi e prove eseguite sui campioni, con le caratteristiche fisiche determinate, sono riportate nell'allegato relativo alle prove di laboratorio.

È stata inoltre eseguita una prova SPT sulla porzione più sprofonda che ha evidenziato dei *valori medi di consistenza, costanti con $N_{spt} = 45$* , di seguito si riportano le risultanze delle SPT:

Coesione non drenata

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	C_u (Kg/cm ²)
Strato 1	42.00	17,50-17,95	Terzaghi-Peck	1.36

Coesione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	c' (Kg/cm ²)
Strato 1	42.00	17,50-17,95	Terzaghi	0.11

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	42.00	17,50-17,95	Classificazione A.G.I.	ADDENSATO

Peso per unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (KN/m ³)
Strato 1	42.00	17,50-17,95	Meyerhof ed altri	21.45

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Angolo di attrito (°)
Strato 1	42.00	17,50-17,95	De Mello	36.85

In relazione alle indagini eseguite all'analisi dei campioni e alle prove eseguite le litologie riscontrate lungo le perforazioni sono riconducibili ad un detrito di falda costituito da una matrice a composizione granulometrica variabile dai limi sabbiosi ai limi argillosi di colore prevalente bruno-rossastro da mediamente a molto addensata. La matrice ingloba uno scheletro solido costituito da elementi litici eterometrici di natura calcareo-dolomitica a spigoli vivi o subangolari.

In particolare nei sondaggi S1 ed S2 , spesso si riscontrano trovanti anche di grandi dimensioni di calcari dolomitici generalmente compatti o interessati da fratturazioni , talora saldate da calcite di ricristallizzazione e a luoghi si rinvengono anche dei microvacuoli.

Le stratigrafie sono state redatte differenziando tre orizzonti litologici dove il più profondo presenta una maggiore presenza di matrice bruno-rossastra ed una lieve diminuzione degli elementi litici ed assenza di trovanti.

La matrice dei due orizzonti litologici superiori sono caratterizzati dalle prove di laboratorio condotte sui campioni S2(10,10-10,30 mt) e S3 (3,60-4,00 mt)

mentre lo strato inferiore può essere caratterizzato con la prova SPT eseguita nel sondaggio S2 alla profondità di 17,50 mt.

Bisogna puntualizzare che la caratteristica della formazione geologica riscontrata, rappresentata dalla Coltre Detritica, presenta un' estrema variabilità in funzione delle litologie ed è rappresentata da un' alternanza di strati argillosi-limosi-ghiaiosi frammisti a trovanti di roccia di dimensioni variabili che non permette di caratterizzare univocamente sotto il profilo geotecnico l'orizzonte geologico. Di fatto i parametri presentano una certa variabilità in funzione della frazione litologica riscontrata e pertanto si è preferito fornire i dati per ciascun campione analizzato.

I trovanti di roccia sono stati caratterizzati con i due campioni prelevati nel sondaggio S1. Il valore di resistenza a compressione non elevato scaturisce probabilmente dalle microfratture ed i vacuoli che si formano nella fase di dolomitizzazione e che caratterizzano localmente la Formazione affiorante lungo il costone roccioso rendendo l'ammasso roccioso privo dell'originaria compattezza.

Alla luce delle superiori considerazioni in ogni caso, per i calcoli delle strutture, si consiglia di utilizzare dei parametri geotecnici scelti sempre a favore di sicurezza delle opere in progetto.

Inoltre sarà cura del progettista, in base ai parametri qui forniti, considerare l'altezza ammissibile di scavo in relazione sia alla tipologia di terreno sia alla durata dei lavori di scavo in quanto tanto maggiore è il tempo in resta aperto lo scavo, tanto minore è la fiducia nella conservazione della coesione non drenata per salvaguardare le strutture adiacenti la viabilità e l'incolumità pubblica e dei lavoratori.

Inoltre si dovranno:

- Colmare e rassodare i vuoti formati nel terreno in conseguenza degli scavi, per evitare fenomeni di dilavamento, di scoscendimento e la modifica dell'assetto idrologico;
- Convogliare le acque meteoriche nei luoghi di normale deflusso superficiale, avendo cura di non modificare il naturale deflusso delle acque, ne prima, ne dopo gli interventi, realizzando ove necessario nel contempo, le opere di regimazione idraulica;
- I lavori dovranno essere eseguiti esclusivamente su terreno asciutto/in periodo non piovoso;
- Il materiale di risulta dagli scavi non utilizzato in loco, dovrà essere portato a pubblica discarica autorizzata, è in ogni caso vietato abbandonare disordinatamente lo stesso, così da non determinare possibili dissesti idrogeologici.

9.CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono stati esposti i risultati relativi allo *Studio geologico esecutivo per la Progettazione esecutiva nell'ambito di SP37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al Km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.*

I lavori di cui al presente progetto sono ubicati nell'abitato del Comune di Palermo lungo la SP37 al Km 2+500.

A tal fine è stata effettuata una specifica campagna di indagini geognostiche e rilievi sul territorio, sulla base degli approfondimenti necessari per la caratterizzazione geologica e sismica del sito.

Per determinare la successione stratigrafica dei terreni presenti sono stati eseguiti n° 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, spinti sino alle profondità che hanno permesso di ricostruire la natura litologica ed i rapporti geometrici che intercorrono lungo la formazione geologica riscontrata.

Durante tale operazione, oltre l'estrazione di carote per il riconoscimento della litostratigrafia dei terreni, sono stati prelevati 5 campioni rimaneggiati, su 4 dei quali sono state eseguite le analisi e le prove geotecniche di laboratorio, necessarie per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni e rocce in studio.

Inoltre entro un foro di sondaggio è stata eseguita una prove geotecniche in foro tipo SPT.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è stato valutato l'effetto della risposta sismica locale mediante l'esecuzione di una prospezione sismica tipo Masw. Pertanto, i terreni in esame sono stati inseriti nella *categoria di sottosuolo "C"*.

Come anticipato nella sezione relativa all'assetto geomorfologico, la zona in cui è prevista la realizzazione degli interventi in progetto è in atto caratterizzata da scarse condizioni di stabilità in quanto interessata da dissesti per frane di crollo attive e pertanto necessita di interventi di mitigazione del rischio idrogeologico.

Inoltre, secondo le direttive P.A.I. è presente un'area a *rischio idrogeologico R3* e un'area con *Pericolosità P4 Bacino del Fiume Oreto (038)*, e in particolare sono mappate due zone 038-6PM-002 e 038-6PM-012 (Ovest Burrone e Discesa dei Mille).

L'area su cui insiste la sede stradale è caratterizzata dalla presenza di una di un'ampia fascia di Detrito di Falda costituito da una matrice a composizione granulometrica variabile dai limi sabbiosi ai limi argillosi di colore prevalente bruno-rossastro da mediamente a molto addensata dove la matrice ingloba uno scheletro solido costituito da elementi litici eterometrici di natura calcareo-dolomitica a spigoli vivi o subangolari e intensamente fratturati. La variabilità della formazione affiorante ha determinato anche una certa variabilità nella stima dei parametri geotecnici e non è stato possibile distinguere nettamente gli orizzonti litologici e pertanto sono stati forniti i risultati delle prove di laboratorio effettuate.

Alla luce delle superiori considerazioni in ogni caso, per i calcoli delle strutture, si consiglia di utilizzare dei parametri geotecnici scelti sempre a favore di sicurezza delle opere in progetto.

Le stratigrafie sono state redatte differenziando tre orizzonti litologici dove il più profondo presenta una maggiore presenza di matrice bruno-rossastra ed una lieve diminuzione degli elementi litici ed assenza di trovanti.

La matrice dei due orizzonti litologici superiori sono caratterizzati dalle prove di laboratorio condotte sui campioni S2(10,10-10,30 mt) e S3 (3,60-4,00 mt)

mentre lo strato inferiore può essere caratterizzato con la prova SPT eseguita nel sondaggio S2 alla profondità di 17,50 mt.

Il presente studio geologico e il rilievo geostrutturale condotto dalla PRO-GEO hanno chiaramente dimostrato come il fronte roccioso sia interessato da un fitto sistema di discontinuità che determinano il disarticolamento di blocchi interi generando fenomeni di crollo come quello avvenuto nel Novembre del 2021.

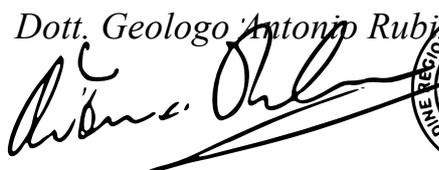
Pertanto prima di effettuare qualsiasi intervento sulla viabilità bisogna preventivamente mettere in sicurezza il fronte roccioso attuando gli interventi previsti nello studio condotto dalla PRO-GEO.

Infine restano intese anche se qui non interamente riportate le prescrizioni indicate nel paragrafo Caratteristiche meccaniche e Geotecnica.

In riferimento a quanto esposto nei precedenti paragrafi si ritiene possibile e la realizzazione degli interventi a condizioni che vengano preventivamente attuate tutte le misure atte alla mitigazione del Rischio Idrogeologico.

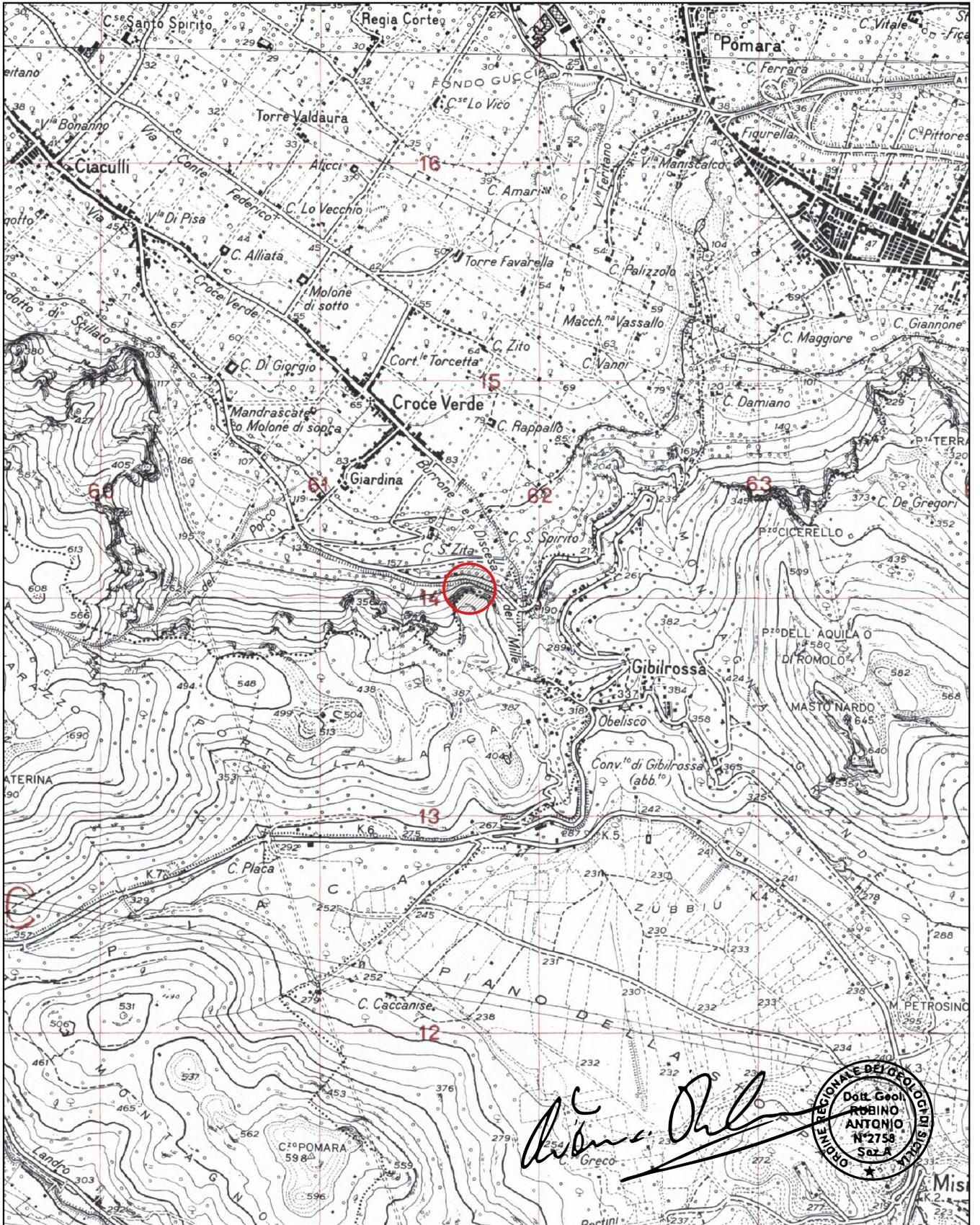
Palermo, 26.05.2022

Dott. Geologo Antonio Rubino



COROGRAFIA DEI LUOGHI

SCALA 1:25.000



0

1.000

2.000

3.000 m



ORTOFOTO
Scala 1:5.000



Antonio Rubino

ORDINE REGIONALE DEI GEOL. DELLA SICILIA
Dott. Geol.
ANTONIO RUBINO
N°2758
Soz.A

0 100 200 300 400 500 m





Regione Siciliana
Assessorato Regionale del Territorio e dell'Ambiente

DIPARTIMENTO REGIONALE DELL' AMBIENTE
Servizio 3 - ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO

Aggiornamento del Piano Stralcio di Bacino
per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

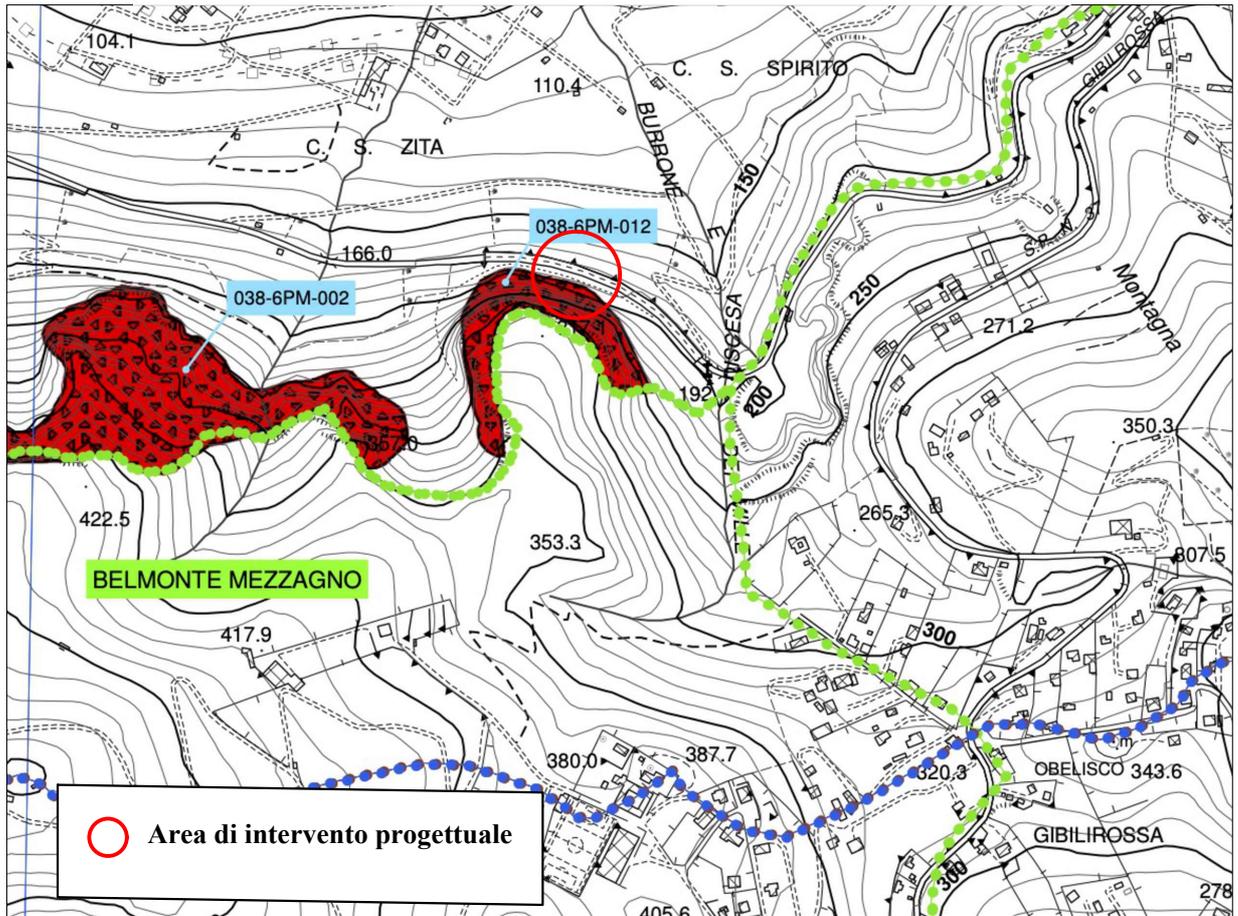
(Art. 67 del D.Lgs. 3 Aprile 2006, n. 152 e ss. mm. II.)

Il Aggiornamento

(Art. 5 delle Norme di Attuazione della Relazione Generale del P.A.I. Sicilia - Anno 2004)

Bacino idrografico del Fiume Eleuterio (037)
e area tra i bacini del F. Eleuterio e del F. Oreto (038)

COMUNI INTERESSATI: BAGHERIA - MISILMERI



FENOMENI FRANOSI

- Crollo e/o ribaltamento
- Colamento rapido
- Sprofondamento
- Scorrimento
- Frana complessa
- Espansione laterale o deformazione gravitativa (DGPV)
- Colamento lento
- Area a franosità diffusa
- Deformazione superficiale lenta
- Calenco
- Dissesti dovuti ad erosione accelerata
- Sito d'attenzione

STATO DI ATTIVITA'

- Attivo
- Inattivo
- Quiescente
- Stabilizzato artificialmente o naturalmente
- Limite bacino idrografico
- Limite area territoriale
- Limite comunale



REPUBBLICA ITALIANA



Regione Siciliana
Assessorato Regionale del Territorio e dell'Ambiente

DIPARTIMENTO REGIONALE DELL' AMBIENTE
Servizio 3 - ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO

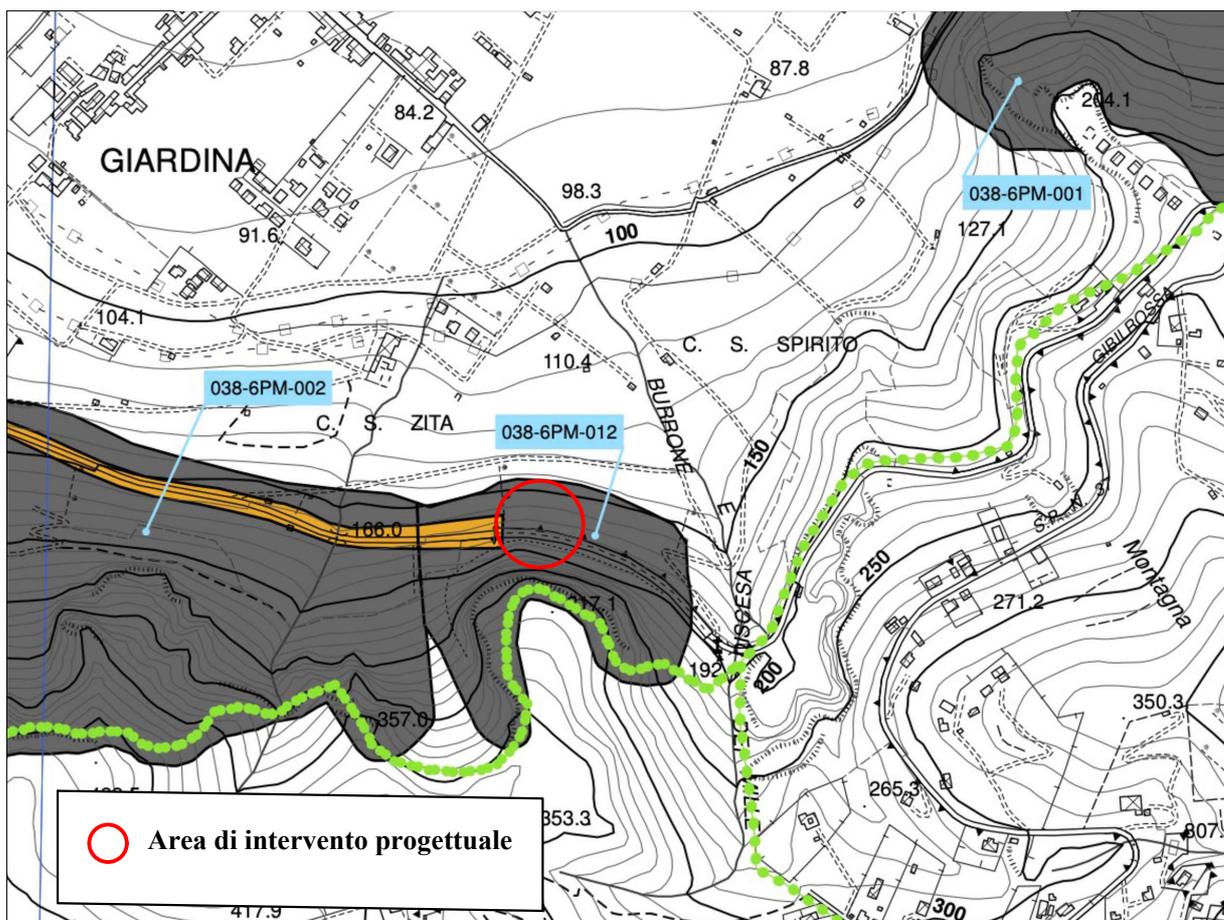
Aggiornamento del Piano Stralcio di Bacino
per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

(Art. 67 del D.Lgs. 3 Aprile 2006, n. 152 e ss. mm. ii.)

Il Aggiornamento

(Art. 5 delle Norme di Attuazione della Relazione Generale del P.A.I. Sicilia - Anno 2004)

Bacino idrografico del Fiume Eleuterio (037)
e area tra i bacini del F. Eleuterio e del F. Oreto (038)



LIVELLI DI PERICOLOSITA'

	P0 basso
	P1 moderato
	P2 medio
	P3 elevato
	P4 molto elevato
	Sito di attenzione

LIVELLI DI RISCHIO

	R1 moderato
	R2 medio
	R3 elevato
	R4 molto elevato

	Limite bacino idrografico
	Limite area territoriale
	Limite comunale



STRALCIO DELLA CARTA GEOLOGICA DEL PRG DI PALERMO

Scala 1:10.000

Progettazione esecutiva nell'ambito di "Sp 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al Km 2+500

LEGENDA



DEPOSITI QUATERNARI

- RSU** Discarica di rifiuti solidi urbani ATTUALE
- AAR** Accumulo antropico recente ATTUALE - RECENTE
- AAA** Accumulo antropico antico ATTUALE - STORICO

SINTEMA DI CAPO PLAIA

- AFL** Depositi di frana (AFLa1) - Detrito di Falda (AFLa3) - Depositi di fondovalle (AFLb) - Coltre eluvio colluviale (AFLb2) - Depositi eolici in faies di duna costiera (AFLd) - Depositi lacustri e/o palustri (AFLc3) - Travertino (AFLf1) - Depositi di spiaggia (AFLg2) - Deposito torrentizio o conoide (AFLi) - PLEISTOCENE SUP. - OLOCENE

SINTEMA DI MARSALA

- MRSd** Calcareniti di Palermo - Calcareniti e sabbie bioclastiche e marne di colore giallo e biancastro EMILIANO P.P. - SICILIANO

SUCCESSIONI DEL DOMINIO IMERESE

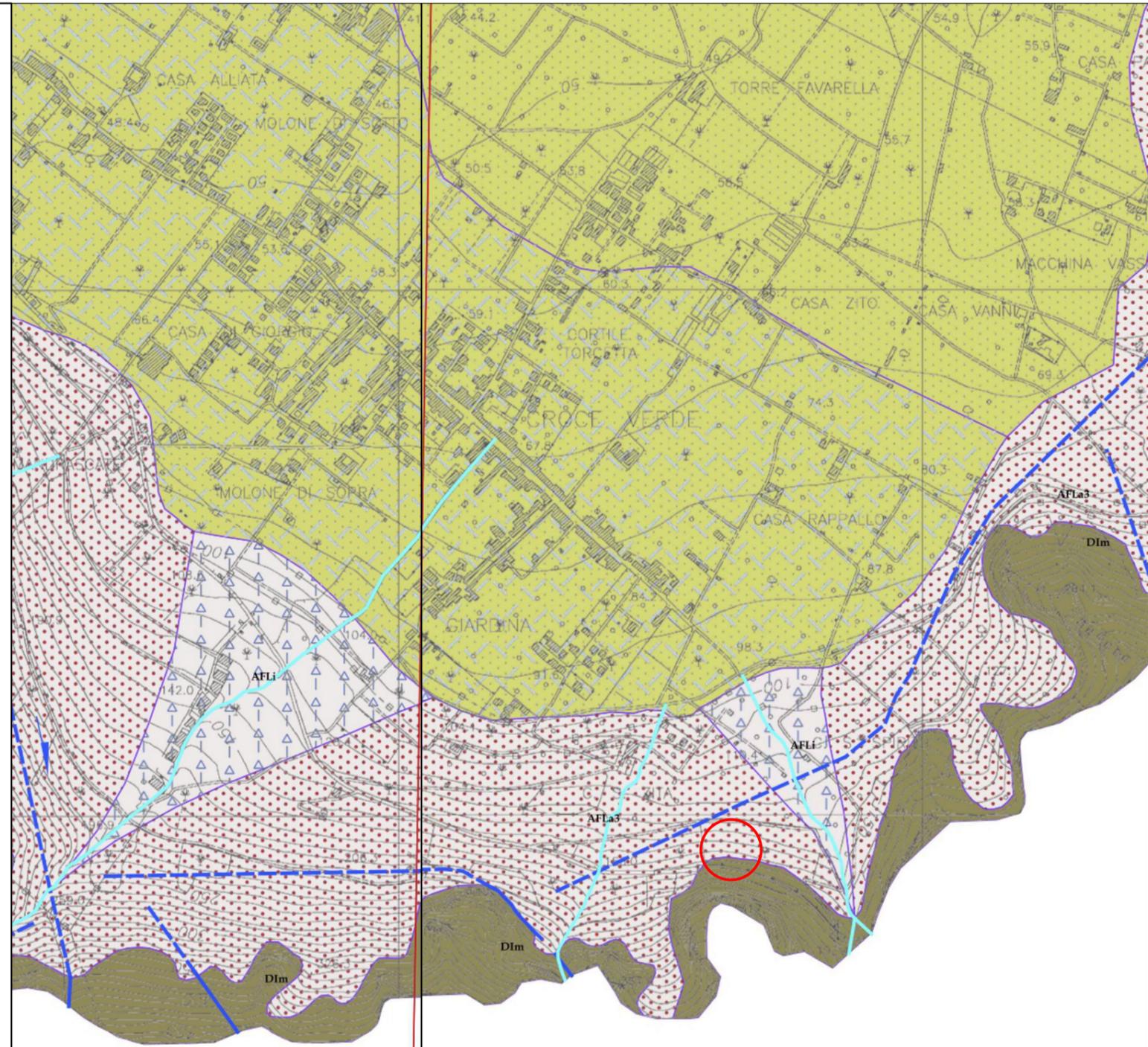
- DIm** - Successione bacinale silico carbonatica. TRIAS SUP. - OLIGOCENE
- CRI1** - Formazione Crisanti: Membro delle radiolariti. Radiolariti e argilliti silicee di colore da bruno nerastre a rosso vinaccia e verdi
- CRI2** - Membro breccie ad Ellipsactinie - Breccie calcaree e biocalcareni risedimentata grigie in strati e banchi

SOVRASSEGNI DELLE UNITA' QUATERNARIE

- | | | |
|--------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Deposito di frana (a1) | Coltre eluvio - colluviale (b2) | Travertino (f1) |
| Detrito di falda (a3) | Deposito eolico, sabbie (d) | Deposito di spiaggia (g2) |
| depositi alluvionali (b) | Deposito lacustre/palustre (e3) | Deposito di origine misto (i) |

SIMBOLI E SEGNI CONVENZIONALI

- | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| direzione, immersione ed inclinazione degli strati
strati orizzontali
strati dritti
strati rovesciati
strati verticali
contatto stratigrafico | faglia
sovr. principale
faglia inversa
faglia diretta
faglia trascorrente destra
faglia transtensiva destra | faglia transpressiva destra
faglia trascorrente sinistra
faglia transtensiva sinistra
faglia transpressiva sinistra
cava attiva e inattiva
discarica R.S.U. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



Robino Antonio

Area di intervento progettuale

STRALCIO DELLA CARTA GEOMORFOLOGICA DEL PRG DI PALERMO

Scala 1:10.000

Progettazione esecutiva nell'ambito di "Sp 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al Km 2+500

-  A1 - Depositi di spiaggia e dune litoranee (Pleistocene sup.-Olocene)
-  B1 - Alluvioni di fondovalle (Pleistocene sup.-Olocene)
-  B2 - Alluvioni terrazzate - Depositi fluviali terrazzati (Pleistocene medio-sup.)
-  B3 - Deposito torrentizio o conoide (Pleistocene sup.-Olocene)
-  C1 - Coltre eluvio-colluviale (Pleistocene sup.-Olocene)
-  C2 - Detrito di falda (Pleistocene sup.-Olocene)
-  C5 - Terrerri di riporto (Attuale)
-  C6 - Depositi di frana (Pleistocene sup.-Olocene)
-  E1 - Argille azzurre (Emiliano p.p.-Siciliano)
-  E2 - Depositi lacustri e/o palustri (Pleistocene sup.-Olocene)
-  G1 - Calcari duri e compatti (Triassico sup.- oligocene)
-  G2 - Calcari porosi e teneri (Emiliano p.p.-Siciliano)
-  H2 - Flysch arenaceo - marnoso (Oligocene sup.-Miocene inf.)

 Ciglio di parete rocciosa

 Grotte di origine carsica

 Manufatti sotterranei centro storico censiti

 Pareti rocciose soggette a crolli

 Deformazione gravitativa profonda

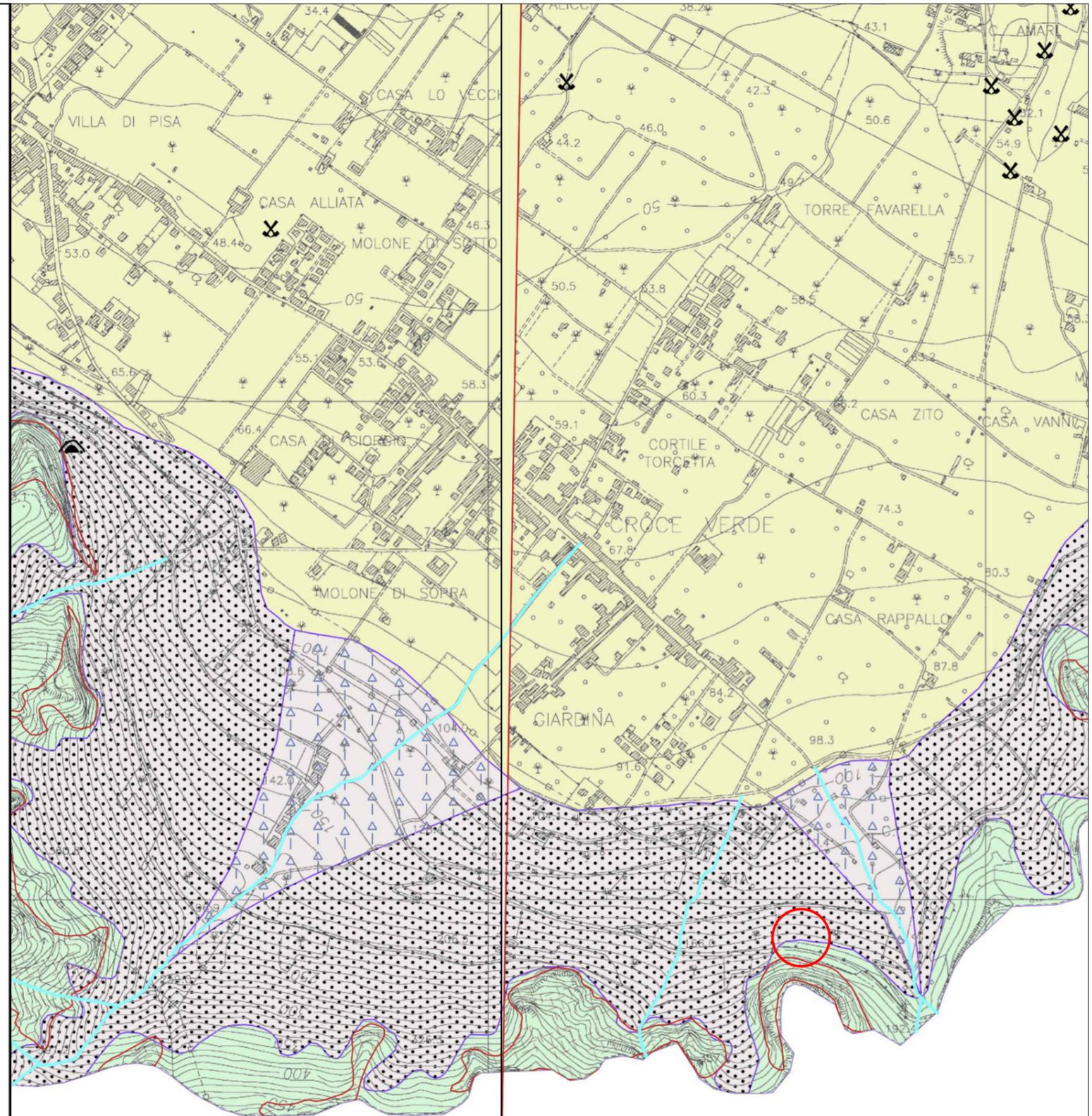
 Erosione accelerata delle sponde

 Tratto di costa in arretramento

 Tratto di costa in avanzamento

 Canali coperti

 Reticolo idrografico (corsi d'acqua, canali e linee di impluvio principali)




Dott. Geol.
RUBINO ANTONIO
N° 2758
Sez. A

 Area di intervento progettuale

PROSPEZIONI GEOGNOSTICHE
SCALA 1:2000



LEGENDA

- • — SONDAGGIO SISMICO TIPO MASW
- SONDAGGI DIRETTI

Antonio Rubino

CITTA' METROPOLITANA DI PALERMO

Area Viabilità - Energia - Ambiente

DIREZIONE VIABILITA'

RELAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Oggetto: progettazione esecutiva nell'ambito della SP37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500

Località: Palermo - loc. Gibilrossa - Ciaculli

Numero Commessa:	021AS/22	Data Revisione:	
		Numero Revisione:	0
		Data Consegna:	Maggio 2022

Redatto: Il Direttore Tecnico Geol. Alfonso SPERA 	Collaborazione: 	Allegato n.	01/01
		Visti e Pareri Enti	
	Redazione: GEOPROJECT srl		
Approvato: L'Amministratore Unico Geol. Pietro Chiavetta GEOPROJECT srl Amministratore Unico Dr. Pietro CHIAVETTA 	Il Committente: Dr. Geologo Antonio RUBINO		

GEOPROJECT srl

C.da Crete Ferrigna snc - 90029 Valledolmo (PA) - tel/fax 091/5640657 - mail: info@geoprojectsrl.eu; web site: www.geoprojectsrl.eu

P.IVA: 05714710828 - Iscrizione CCIAA-REA: 272167

INDAGINI GEOGNOSTICHE

Indice

Premessa	pag. 3
Piano delle indagini	pag. 3
Cronologia delle attività	pag. 3
Manodopera ed attrezzature impiegate	pag. 3
Procedure operative delle perforazioni a carotaggio continuo	pag. 4
Procedure operative per il prelievo dei campioni per la caratterizzazione geotecnica	pag. 5
Procedure operative per l'esecuzione delle prove SPT in foro	pag. 7
Stratigrafia dei sondaggi	pag. 7
Indagini geofisiche	pag. 7

ALLEGATI

Planimetrie con ubicazione indagini geognostiche e geofisiche
Log stratigrafici
Documentazione fotografica
Certificati prove SPT
Relazione prova Masw

Premessa

Su incarico del Geologo Dr. Antonio Rubino, nella qualità di tecnico incaricato dalla Direzione Viabilità della Città Metropolitana di Palermo, la scrivente impresa Geoproject s.r.l. ha eseguito una campagna di indagini geognostiche e geofisiche a supporto della relazione geologica esecutiva.

Piano delle Indagini

Le indagini hanno riguardato un tratto della SP 37 che ricade all'interno della Galleria paramassi Gibilrossa. In dettaglio, il tratto di strada è stato indagato mediante :

- a) N. 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, denominati S1-S2-S3 ;
- b) Prelievo di campioni di terreno per analisi geotecniche;
- c) Esecuzione di prove SPT
- d) Esecuzione di prova sismica attiva di tipo MASW;

Cronologia delle attività

Le attività di perforazione e prelievo di campioni per analisi geotecniche sono state svolte dall'11 al 15 Aprile 2022; la prova sismica Masw è stata eseguita in data 28 Aprile 2022. Le condizioni climatiche sono state buone durante l'esecuzione dei sondaggi. Mentre la realizzazione della prova Masw è stata più volte rinviata anche a causa di condizioni meteo caratterizzate da forti venti di scirocco e da giornate di pioggia battente.

Manodopera ed attrezzature impiegate

1) Sondaggi meccanici

I sondaggi ubicati come da planimetria allegata, sono stati eseguiti a carotaggio continuo con le seguenti modalità:

- Manodopera: è stata utilizzata una squadra composta da 1 trivellatore con esperienza ultradecennale nel settore e munito di regolare patentino coadiuvato da n° 2 operai semplici. La squadra è stata sempre coordinata da un Geologo regolarmente abilitato ed iscritto al rispettivo albo professionale.
- Trivella impiegata: per l'esecuzione di tutti i sondaggi è stata utilizzata la perforatrice oleodinamica YDRA Yoj-3 HD100; casa costruttrice Ydra s.p.a. con sede a Molinelle (BO); anno di costruzione: 2019; velocità di rotazione 0-600 rpm; Potenza motore: 125 kW; Coppia massima: 1200 Kgm; Corsa utile: 6400 mm.; Spinta: 10.000 kg; Tiro: 10.000 kg; Conformità CE.
- Utensili di perforazione: per la perforazione sono stati a disposizione:
 - carotieri semplici da 1.0, 1.5 e 3.0 mt. con ϕ_{est} 101 mm;

- carotieri doppio tipo T2 e T6 da 1,50 mt. con ϕ_{est} 101 mm;
- carotieri triplo tipo TS6 da 1,50 mt. con ϕ_{est} 101 mm.;
- carotiere ambientale bivalve da 1,0 mt. con ϕ_{est} 101 mm.;
- corone di perforazione con inserti in widia tipo Tc3, Tc5 e Tc7;
- corone diamantate tipo Nexus A6 –A5 –A2;
- aste di perforazione con filettatura tronco-conica ϕ_{est} 76 - 90 mm, da 1.0, 1.5 e 3.0 mt.
- Altre attrezzature: come attrezzi di ausilio sono stati utilizzati:
 - n° 1 camion per il trasporto della trivella;
 - n° 1 furgone cassonato;
 - n° 3 serbatoi per acqua da 1000 lt;
 - chiavi giratubi;
 - cassette catalogatrici in pvc;
 - freatimetro;
 - pocket penetrometro.

Procedure operative delle perforazioni a carotaggio continuo

Le perforazioni sono state tutte realizzate a carotaggio continuo con le seguenti modalità:

Carotaggio: il carotaggio nei fori di sondaggio non è stato integrale con percentuali di recupero medie dei terreni prossime all' 85 - 90 %. La perdita di materiale si è manifestata soprattutto in corrispondenza dell'attraversamento degli orizzonti litologici costituiti da trovanti litoidi inglobati in abbondante matrice limo-sabbiosa ed argillosa. In presenza di tali materiali è stato necessario l'impiego di acqua di circolazione che se da un lato hanno consentito l'avanzamento ed il carotaggio della roccia, dall'altro hanno causano la perdita di molta frazione fine, a prescindere dal tipo di carotiere utilizzato.

Per l'avanzamento negli orizzonti detritici con matrice limo-sabbiosa predominante sugli elementi litoidi è stato eseguito utilizzando un carotiere semplice con diametro interno 101 mm e corone in widia; In corrispondenza dei tratti con presenza prevalente di trovanti a consistenza tenace per l'avanzamento è stato invece utilizzato un doppio carotiere tipo T6 e corone diamantate tipo Nexus A2.

Rivestimento: per l'avanzamento delle perforazioni, al fine di evitare il crollo delle pareti del foro e quindi un possibile rimaneggiamento tra terreni in posto e terreni precipitati dalle parti più superficiali del foro, è stata utilizzata una colonna di rivestimento metallico del diametro interno 127 mm. per l'intero tratto perforato.

Scarotaggio: le operazioni di estrusione delle carote di terreno dal carotiere, laddove possibile, sono state eseguite a secco con battitura o con estrusore idraulico a pressione e solo dove strettamente necessario a pressione con acqua.

Di seguito viene presentato l'elenco riepilogativo delle trivellazioni effettuate, indicando, le coordinate geografiche, i metri di carotaggio effettivi, il numero e la tipologia di campioni prelevati, prove meccaniche eseguite e l'eventuale strumentazione installata in foro.

Sigla Sond.	Coordinate Geografiche (WGS-84)		Quota slm (m)	Tipologia di indagine	Profondità Sondaggio (m)	Prove SPT	Campioni analisi geotecniche	Strument. installata
	Lat.	Long.						
S1	38.061876°	13.424265°	184	Carotaggio continuo	15,0	0	3	nessuna
S2	38.062008°	13.423856°	183	Carotaggio continuo	20,0	1	1	nessuna
S3	38.062145°	13.423556"	182	Carotaggio continuo	10,0	0	1	nessuna

Procedure operative per il prelievo dei campioni per la caratterizzazione geotecnica

Durante l'esecuzione di tutti sondaggi sono stati prelevati in totale 5 campioni per analisi geotecniche. Non tutti i campioni prelevati sono stati analizzati.

L'elenco completo dei campioni prelevati è il seguente:

Prog.	Sondaggio	Campioni		tipologia campione	matrice
		Sigla Camp.	Quota (m.)		
1	S1	S1 (2,00-2,30 m)	2,00 - 2,30	Campione rimaneggiato	roccia
		S1 (11,30-11,50 m)	11,30 - 11,50	Campione rimaneggiato	roccia
		S1 (14,50-14,80 m)	14,50 - 14,80	Campione rimaneggiato	terreno
2	S2	S2 (10,10-10,30 m)	10,10-10,50	Campione rimaneggiato	terreno
3	S3	S3 (3,60-4,00 m)	3,60-4,00	Campione rimaneggiato	terreno

I campioni prelevati sono di tipo rimaneggiato.

Il campione rimaneggiato per analisi geotecniche consiste in un tratto di carota prelevato durante l'esecuzione del sondaggio a carotaggio continuo e che ha subito il minor disturbo possibile. La carota è stata estratta dal tubo carotiere tramite una spinta esercitata da un pistone idraulico, quindi senza l'impiego di acqua a pressione. I campioni prelevati sono stati successivamente sigillati con un foglio plastificato, etichettati e consegnati al laboratorio.

Nei 2 tentativi effettuati, non è stato possibile prelevare dei campioni indisturbati di terreno poiché la matrice in prevalenza limo-sabbiosa presentava uno scheletro solido costituito da elementi litici di varie dimensioni ed a consistenza tenace che di fatto hanno ostacolato l'infissione delle fustelle in acciaio.

Procedure operative per l'esecuzione delle prove SPT in foro

Le prove SPT sono state eseguite con attrezzatura standard della *Geomarc s.r.l.* certificata in conformità con le direttive CE, inclusive degli emendamenti applicativi, ref. 89/392 e 89/336 e successive modifiche; ASTM D4633-86 e Raccomandazioni AGI; standard applicati ISO 9001:2000.

La prova, eseguita in foro durante la perforazione, consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard (*campionatore Raymond*) o una punta conica chiusa, collegati alla superficie mediante batteria di aste (diametro: 50 mm, spessore: 5 mm, peso lineare: 7,23 kg; modulo di resistenza o rigidità $W = 15,5 \times 10^{-6} \text{ m}^3$) in testa alle quali agisce un maglio del peso di 63.5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0.75 m.

Durante la prova vengono effettuate in tutto 3 misure:

N_0 = numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm, assunti come tratto di "avviamento";

N_1 = numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;

N_2 = numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:

$$N_{SPT} = N_1 + N_2$$

Prima della realizzazione di ogni prova il foro di sondaggio è stato preparato con apposita manovra di pulizia del fondo foro, mantenendo il rivestimento provvisorio al di sopra al di sopra della profondità di inizio prova.

Tabella riepilogativa delle prove eseguite:

Sondaggio	Id. prova	Profondità (m)	N_0	N_1	N_2	N_{SPT}	<i>punta</i>
S2	S2- SPT1	17,50-17,95	20	20	22	42	Conica

I certificati delle prove sono allegati in calce alla relazione.

Stratigrafia dei sondaggi

Le stratigrafie dei sondaggi sono state redatte dal Tecnico di cantiere della Geoproject Geol. Alfonso Spera, regolarmente iscritto all'Albo Regionale dei Geologi di Sicilia al n° 1201.

Nei logs stratigrafici è stato indicato il committente, l'oggetto dei lavori, il periodo di esecuzione dei lavori, l'ubicazione tramite coordinate riferite al sistema WGS84, la quota, la descrizione delle litologie rinvenute, i campioni prelevati e le relative profondità, le prove meccaniche eseguite, l'installazione di strumentazione geotecnica e la quota di rinvenimento dell'eventuale falda idrica.

Per le descrizioni di dettaglio si rimanda ai logs stratigrafici presentati in allegato.

Indagini geofisiche

Nell'ambito della caratterizzazione sismica del sottosuolo sono state realizzate:

- n.1 indagine in sismica attiva con metodologia MASW

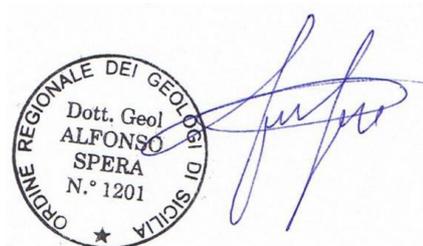
Di seguito viene presentato un quadro riepilogativo dei principali risultati delle prova:

Id. Prova	Ubicazione (WGS84)		$V_{s,eq}$ (m/s)	Classificazione del sottosuolo
	Latitudine	Longitudine		
MASW1	38.062201° N	13.421231° E	355,39	C

Per i dettagli completi sulle metodologie di acquisizione e di elaborazione dei dati e sulle strumentazioni utilizzate si rimanda alle specifiche *Relazioni sulle indagini sismiche*.

Valledolmo, Maggio 2022

*Il Direttore Tecnico
Geol. Alfonso Spera*



ALLEGATI

Planimetrie con ubicazione indagini geognostiche e geofisiche

Log stratigrafici

Documentazione fotografica

Certificati prove SPT

Relazione prova Masw

PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE



● sondaggi geognostici

--- prova sismica Masw

Committente: Geol. Antonio Rubino

Sito: Palermo - Galleria Gibilrossa - loc. Ciaculli

Progetto: progettazione esecutiva nell'ambito della SP37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500

Data: 11-12/04/22 **Cond. Meteo:** sereno

Sondaggio: **S1** **Fondo Foro:** - 15,00 mt da p.c.

Tipo attività: sondaggio a carotaggio continuo

Ditta operatrice: Geoproject srl

Direzione cantiere: Geol. Alfonso Spera

POSTAZIONE



diámetro carotaggio: 101 mm **Rivestimento:** 127 mm

quota foro: 184,00 m. slm **Lat:** 38.061876° **Long:** 13.424265°

Legenda: Avanzamento: CS (carotiere semplice); DC (doppio carotiere); CD (corona diamantata)

■ campione geotecnico (T: terreno / R: roccia)

Carotaggio % 0 ----- 100	RQD % 0 ----- 100	Avanzamento	pocket penetr kg/cmq	prof. m.	Litologie	Descrizione Litologica	mt.	Campioni prof.	SPT prof.	H ₂ O	pZ	ind
				0,10		pavimentazione stradale in asfalto	0,00					
		CS		0,70		calcestruzzo armato						
		dc cd		3,00		limi sabbiosi e argille limose in prevalenza, di origine detritica, di colore bruno rossastro mediamente addensati o a tratti cementati, poco umidi, con presenza di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi e trovanti di natura calcareo-dolomitica di colore grigio chiaro, compatti, vacuolari, con spessori carotati anche superiori al decimetro.	1,00 2,00	S1 R				
		dc cd				limi sabbiosi e argille sabbiose, di origine detritica, di colore bruno rossastro, a tratti beige, mediamente addensati, con presenza diffusa di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi e trovanti di natura calcareo-dolomitica compatti, vacuolari con spessori carotati anche superiori al decimetro, specie nel tratto tra - 5,00 e - 8,50 mt .	3,00 4,00 5,00 6,00 7,00 8,00					
		CS					9,00 10,00					
		dc cd		12,50			11,00	S1 R				
							12,00	11,30-11,50				
		CS				limi debolmente argillosi di colore giallo oca - rossastro, di origine detritica, ben addensati, mediamente umidi con presenza diffusa di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi, eterometrici, di dimensioni medie inferiori al cm	13,00 14,00	S1				
				15,00			15,00	T				
						FINE SONDAGGIO : 15,00 mt	14,50-14,80	14,50-14,80				
							16,00 17,00 18,00 19,00 20,00					

GEOPROJECT s.r.l.
Partita IVA 05714710828
DIRETTORE TECNICO
(Indagini Geognostiche e Valutazioni)
Dr. Geol. Alfonso Spera

Committente: Geol. Antonio Rubino
Sito: Palermo - Galleria Gibilrossa - loc. Ciaculli
Progetto: progettazione esecutiva nell'ambito della SP37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500
Data: 13-14/04/22 **Cond. Meteo:** poco nuvoloso
Sondaggio: **S2** **Fondo Foro:** - 20,00 mt da p.c.
Tipo attività: sondaggio a carotaggio continuo
Ditta operatrice: Geoproject srl
Direzione cantiere: Geol. Alfonso Spera

POSTAZIONE



diámetro carotaggio: 101 mm Rivestimento: 127 mm
 quota foro: 183 m. slm Lat: 38.062008° Long: 13.423856°

Legenda: Avanzamento: CS (carotiere semplice); DC (doppio carotiere); CD (corona diamantata)
 ■ campione geotecnico (T: terreno / R:roccia)

Carotaggio % 0 ----- 100	RQD % 0 ----- 100	Avanzamento	pocket penetr kg/cmq	prof. m.	Litologie	Descrizione Litologica	mt.	Campioni prof.	SPT prof.	H ₂ O	pz	ind		
				0,10		pavimentazione stradale in asfalto	0,00							
		CS		0,70		calcestruzzo armato	1,00							
		dc cd		6,50		limi sabbiosi e argille limose in prevalenza, di origine detritica, di colore giallo ocraceo-rossastro da poco a mediamente addensati, poco umidi, con presenza di abbondanti elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi, eterometrici. Da - 0,70 a -5,50 mt circa presente un orizzonte con prevalenza di trovanti di natura calcareo-dolomitica di colore biancastro, compatto, vacuolare, con spessori carotati anche superiori al decimetro.	2,00							
		CS	3,00											
		CS		16,50		limi sabbiosi e argille sabbiose, di origine detritica, di colore giallo ocra o bruno-rossastro mediamente addensati, con presenza diffusa di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi ed eterometrici. Da - 11,00 a - 12,50 mt circa la matrice limo-sabbiosa diminuisce ed aumenta la presenza di elementi lici di dimensioni medie superiori al cm e trovanti di natura calcareo-dolomitica, compatti, vacuolari, con spessori carotati anche superiori al decimetro.	4,00							
		dc cd	5,00											
		CS	6,00											
		CS		20,00		limi debolmente argillosi di colore giallo ocra - rossastro, di origine detritica, ben addensati, con presenza diffusa di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi, di dimensioni medie inferiori al cm	7,00							
		CS	8,00											
		CS		20,00		limi debolmente argillosi di colore giallo ocra - rossastro, di origine detritica, ben addensati, con presenza diffusa di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi, di dimensioni medie inferiori al cm	9,00							
		CS	10,00											
		CS		20,00		limi debolmente argillosi di colore giallo ocra - rossastro, di origine detritica, ben addensati, con presenza diffusa di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi, di dimensioni medie inferiori al cm	11,00							
		CS	12,00											
		CS		20,00		limi debolmente argillosi di colore giallo ocra - rossastro, di origine detritica, ben addensati, con presenza diffusa di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi, di dimensioni medie inferiori al cm	13,00							
		CS	14,00											
		CS		20,00		limi debolmente argillosi di colore giallo ocra - rossastro, di origine detritica, ben addensati, con presenza diffusa di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi, di dimensioni medie inferiori al cm	15,00							
		CS	16,00											
		CS		20,00		limi debolmente argillosi di colore giallo ocra - rossastro, di origine detritica, ben addensati, con presenza diffusa di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi, di dimensioni medie inferiori al cm	17,00							
		CS	18,00											
		CS		20,00		limi debolmente argillosi di colore giallo ocra - rossastro, di origine detritica, ben addensati, con presenza diffusa di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi, di dimensioni medie inferiori al cm	19,00							
		CS	20,00											

GEOPROJECT s.r.l.
 Partita IVA 05714710828
 DIRETTORE TECNICO
 (Indagini Geognostiche e Applicazioni)
 Dr. Geol. Alfonso Spera

S2
 ■ T
 10,10-10,30

SPT1
 17,50-17,95
 ↓
 N: 20-20-22

FINE SONDAGGIO : 20,00 mt

Committente: Geol. Antonio Rubino
Sito: Palermo - Galleria Gibilrossa - loc. Ciaculli
Progetto: progettazione esecutiva nell'ambito della SP37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500
Data: 15/04/22 **Cond. Meteo:** nuvoloso
Sondaggio: S3 **Fondo Foro:** - 10,00 mt da p.c.
Tipo attività: sondaggio a carotaggio continuo
Ditta operatrice: Geoproject srl
Direzione cantiere: Geol. Alfonso Spera

POSTAZIONE



diametro carotaggio: 101 mm **Rivestimento:** 127 mm
 quota foro: 182 m. s.l.m. **Lat:** 38.062145° **Long:** 13.423556°

Legenda: Avanzamento: CS (carotiere semplice); DC (doppio carotiere); CD (corona diamantata)
 campione geotecnico (T: terreno / R:roccia)

Carotaggio % 0 ----- 100	RQD % 0 ----- 100	Avanzamento	pocket penetr kg/cmq	prof. m.	Litologie	Descrizione Litologica	Campioni		SPT prof.	H ₂ O	piezom. 2"
							mt.	prof.			
				0,10		pavimentazione stradale in asfalto					
		CS		1,00		calcestruzzo armato e pietrisco calcareo sottostante					
		CS		4,00		limi sabbiosi e argille limose in prevalenza, di origine detritica, di colore beige-giallo ocreo da poco a mediamente addensati, poco umide, con presenza di abbondanti elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi, eterometrici, con dimensioni anche superiori al cm		S3 T 3,60 - 4,00			
		CS		8,80		limi sabbiosi e argille sabbiose, di origine detritica, di colore giallo ocra - rossastro mediamente addensati, umidi, con presenza diffusa di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi ed eterometrici. Da -5,20 a -8,00 mt circa presenza di un orizzonte dove la matrice limo-sabbiosa diminuisce ed aumenta la presenza di elementi lici di dimensioni medie superiori al cm e trovanti di natura calcareo-dolomitica compatti, vacuolari, di colore grigio chiaro, con spessori carotati anche superiori al decimetro.					
		dc cd									
		CS		10,00		limi debolmente argillosi di colore giallo ocra - rossastro, di origine detritica, ben addensati, con presenza diffusa di elementi litici di natura carbonatica a spigoli vivi, di dimensioni medie inferiori al cm					
						FINE SONDAGGIO : 10,00 mt					

GEOPROJECT s.r.l.
 Partita IVA 05714710828
 DIRETTORE TECNICO
 (Indagini Geognostiche e Intervallazioni)
 Dr. Geol. Alfonso Spera



Geoproject srl
C.da Crete Ferrigna snc - 90029 Valledolmo (PA)
Tel/fax: 0921542995
e-mail: info@geoprojectsrl.eu
web site: www.geoprojectsrl.eu
Partita IVA: 05714710828 - Iscrizione CCIAA - R.E.A.: 272167

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

pag 1/2

Sito: Palermo - loc. Gibilrossa-Ciaculli

Sondaggio:

S1

Oggetto: progettazione esecutiva nell'ambito della SP37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500



Foto 1: postazione trivella



Foto 2: cass. 1 da 0,00 a - 5,00 m



Geoproject srl
C.da Crete Ferrigna snc - 90029 Valledolmo (PA)
Tel/fax: 0921542995
e-mail: info@geoprojectsrl.eu
web site: www.geoprojectsrl.eu
Partita IVA: 05714710828 - Iscrizione CCIAA - R.E.A.: 272167



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

pag 2/2

Sito: Palermo - loc. Gibilrossa-Ciaculli

Sondaggio:

S1

Oggetto: progettazione esecutiva nell'ambito della SP37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500



Foto 3: cass. 2 da -5,00 a -10,00 m



Foto 4: cass. 3 da -10,00 a -15,00 m



Geoproject srl
C.da Crete Ferrigna snc - 90029 Valledolmo (PA)
Tel/fax: 0921542995
e-mail: info@geoprojectsrl.eu
web site: www.geoprojectsrl.eu
Partita IVA: 05714710828 - Iscrizione CCIAA - R.E.A.: 272167



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

pag 1/3

Sito: Palermo - loc. Gibilrossa-Ciaculli

Sondaggio:

S2

Oggetto: progettazione esecutiva nell'ambito della SP37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500



Foto 1: postazione trivella



Foto 2: cass. 1 da 0,00 a - 5,00 m



Geoproject srl
C.da Crete Ferrigna snc - 90029 Valledolmo (PA)
Tel/fax: 0921542995
e-mail: info@geoprojectsrl.eu
web site: www.geoprojectsrl.eu
Partita IVA: 05714710828 - Iscrizione CCIAA - R.E.A.: 272167



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

pag 2/3

Sito: Palermo - loc. Gibilrossa-Ciaculli

Sondaggio:

S2

Oggetto: progettazione esecutiva nell'ambito della SP37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500



Foto 3: cass. 2 da -5,00 a -10,00 m



Foto 4: cass. 3 da -10,00 a -15,00 m



Geoproject srl
C.da Crete Ferrigna snc - 90029 Valledolmo (PA)
Tel/fax: 0921542995
e-mail: info@geoprojectsrl.eu
web site: www.geoprojectsrl.eu
Partita IVA: 05714710828 - Iscrizione CCIAA - R.E.A.: 272167



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

pag 3/3

Sito: Palermo - loc. Gibilrossa-Ciaculli

Sondaggio:

S2

Oggetto: progettazione esecutiva nell'ambito della SP37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500



Foto 5: cass. 4 da -15,00 a -20,00 m



Geoproject srl
C.da Crete Ferrigna snc - 90029 Valledolmo (PA)
Tel/fax: 0921542995
e-mail: info@geoprojectsrl.eu
web site: www.geoprojectsrl.eu
Partita IVA: 05714710828 - Iscrizione CCIAA - R.E.A.: 272167



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

pag 1/2

Sito: Palermo - loc. Gibilrossa-Ciaculli

Sondaggio:

S3

Oggetto: progettazione esecutiva nell'ambito della SP37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500



Foto 1: postazione trivella



Foto 2: cass. 1 da 0,00 a - 5,00 m



Geoproject srl
C.da Crete Ferrigna snc - 90029 Valledolmo (PA)
Tel/fax: 0921542995
e-mail: info@geoprojectsrl.eu
web site: www.geoprojectsrl.eu
Partita IVA: 05714710828 - Iscrizione CCIAA - R.E.A.: 272167



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

pag 2/2

Sito: Palermo - loc. Gibilrossa-Ciaculli

Sondaggio:

S3

Oggetto: progettazione esecutiva nell'ambito della SP37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500



Foto 3: cass. 2 da -5,00 a -10,00 m

sondaggio



SCHEDA PROVE SPT

(Standard Penetration Test)

S2

Oggetto: indagini geognostiche di supporto allo studio geologico esecutivo

Committente: Geol. Antonio Rubino

Sito: Palermo - galleria Gibilrossa-Ciaculli

Ubicazione:	Latitudine	Longitudine	Quota p.c.			
	???	???	???			

Data esecuzione prove:

DATI TECNICI

Martino Automatico ed Aste per prove SPT - Geomarc srl

peso maglio 63,5 kg.

altezza caduta 750 mm.

diametro aste 50 mm.

peso lineare aste 7,23 kg.

lunghezza aste 1,00 m.



RISULTATI

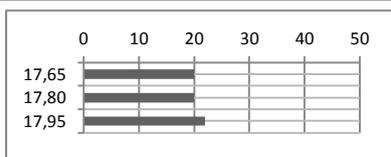
prog. Prova	ID prova	quota prova (m. da p.c.)	NUMERO COLPI				tipologia punta
			N ₀	N ₁	N ₂	N ₁ + N ₂	
1	S2 - SPT1	17,50 -17,95	20	20	22	42	punta conica

presenza acqua in foro: no

profondità acqua:

penetrazione iniziale: 1,2 cm

litologia: limi argillosi

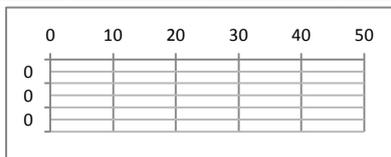


presenza acqua in foro:

profondità acqua:

penetrazione iniziale:

litologia:

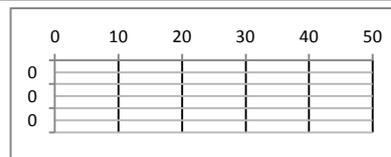


presenza acqua in foro:

profondità acqua:

penetrazione iniziale:

litologia:



Note

la matrice è limo-argillosa ma sono presenti molti elementi litici. Utilizzata punta conica

Il Direttore Tecnico

Dr. Geol. Alfonso Spera



CITTA' METROPOLITANA DI PALERMO

Area Viabilità - Energia - Ambiente

DIREZIONE VIABILITA'

RELAZIONE INDAGINE SISMICA MASW

Oggetto: progettazione esecutiva nell'ambito della SP37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500

Località: Palermo - loc. Gibilrossa - Ciaculli

Numero Commessa:	021AS/22	Data Revisione:	
		Numero Revisione:	0
		Data Consegna:	Maggio 2022

Redatto: Il Direttore Tecnico Geol. Alfonso SPERA 	Collaborazione: 	Allegato n.	01/01
		Visti e Pareri Enti	
	Redazione: GEOPROJECT srl		
Approvato: L'Amministratore Unico Geol. Pietro Chiavetta GEOPROJECT srl Amministratore Unico Dr. Pietro CHIAVETTA 	Il Committente: Dr. Geologo Antonio RUBINO		

GEOPROJECT srl

C.da Crete Ferrigna snc - 90029 Valledolmo (PA) - tel/fax 091/5640657 - mail: info@geoprojectsrl.eu; web site: www.geoprojectsrl.eu

P.IVA: 05714710828 - Iscrizione CCIAA-REA: 272167

Il presente documento è proprietà della Geoproject srl; a termine di legge ogni diritto è riservato - This document is the property of Geoproject srl; are reserved according to law

INDAGINE SISMICA MASW

1) Indagine sismica MASW

Nell'ambito del servizio di indagini geognostiche e geofisiche a supporto della relazione geologica esecutiva per il monitoraggio della galleria artificiale Gibilrossa – SP37, Km 2+500”, la Società Geoproject s.r.l. ha eseguito una prova sismica attiva realizzata con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave).

La prova, ubicata come da planimetria allegata, è stata realizzata in data 28/04/2022 ed è identificata con le seguenti coordinate geografiche:

ID	Latitudine	Longitudine
MASW 1	38.062201° N	13.421231° E

Le coordinate sono riferite al centro della stesa geofonica.

La presenza di una soletta di calcestruzzo armata dello spessore di circa 70 cm, rilevata con i sondaggi geognostici al di sotto del tratto di strada protetto dalla galleria paramassi, ha causato un diffuso disturbo del segnale rilevato con la prima prova masw eseguita; pertanto, si è effettuata una seconda prova nel tratto di strada antistante la galleria paramassi che, sotto l'aspetto stratigrafico e sismico, si ritiene simile a quanto riscontrato nel sottosuolo all'interno della galleria.

1.1) metodologia d'indagine MASW

La tecnica MASW, proposta da Park nel 1999, consiste nella registrazione simultanea di più ricevitori di una vibrazione prodotta da una sorgente sismica impulsiva; in quanto tale è classificabile come tecnica di sismica attiva, dove con il termine “attivo” si intende che l'impulso è stato generato artificialmente. In particolare, il metodo permette di ricavare la velocità delle onde di taglio Vs basandosi sulla misura delle onde superficiali (*Onde di Rayleigh SV* o onde di *Love SH*).

In un mezzo stratificato le onde superficiali hanno natura dispersiva, cioè onde con diversa lunghezza d'onda si propagano con diversa velocità; ossia la velocità di fase (o di gruppo) delle onde superficiali dipende dalla frequenza di propagazione. In particolare, le onde ad alta frequenza si propagano negli strati superficiali, e quindi danno informazione sulla porzione più superficiale del terreno, mentre quelle a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi.

Il metodo MASW consente in genere di valutare le velocità di fase in un intervallo di frequenze tra 5 Hz e 70 Hz, permettendo quindi di indagare i primi 30 - 50 metri di terreno, in funzione della rigidità del suolo.

Una volta misurata in situ la velocità di fase (o curva di dispersione apparente) delle onde superficiali, essendo essa funzione della velocità delle onde di taglio Vs (oltre che della natura del terreno e degli

spessori degli strati) è possibile risalire al valore di queste ultime con un processo d'inversione, in genere tramite un software, che variando opportunamente spessore degli strati e velocità Vs tende a rendere minimo l'errore tra la curva sperimentale della velocità di fase misurata in situ e la curva numerica elaborata. In genere, quando l'errore relativo tra curva sperimentale e curva numerica è inferiore al 10% il profilo di velocità delle onde di taglio Vs ottenuto rappresenta un risultato molto attendibile.

1.2) Strumentazione e tecniche utilizzate

Le indagini sono state eseguite con l'utilizzo di un sismografo 16S24-U della P.A.S.I. s.r.l. dotato di un sistema di acquisizione fino a 24 canali e convertitore A/D a 24 bit.

Entrambe le prove sono state realizzate mediante uno stendimento lineare di n° 24 trasduttori di velocità verticali (geofoni) con frequenza di vibrazione propria di 4,5 Hz, posti ad una distanza intergeofonica pari a 2 metri, ottenendo così uno stendimento totale (inclusi gli shots) pari a 51 metri.

Per l'energizzazione è stata usata una mazza da 10 kg ed un piattello in alluminio 20x20 cm; posto a 5 metri dal primo geofono. Il processo d'inversione della curva di dispersione è stato effettuato tramite software con algoritmo genetico (*EasyMASW*) a partire da una modellazione diretta che ha tenuto conto delle conoscenze geologiche e stratigrafiche del sito.

I risultati grafici ed analitici dell'elaborazione sono di seguito presentati:

2) Elaborazioni sismica MASW

2.1) Elaborazione MASW

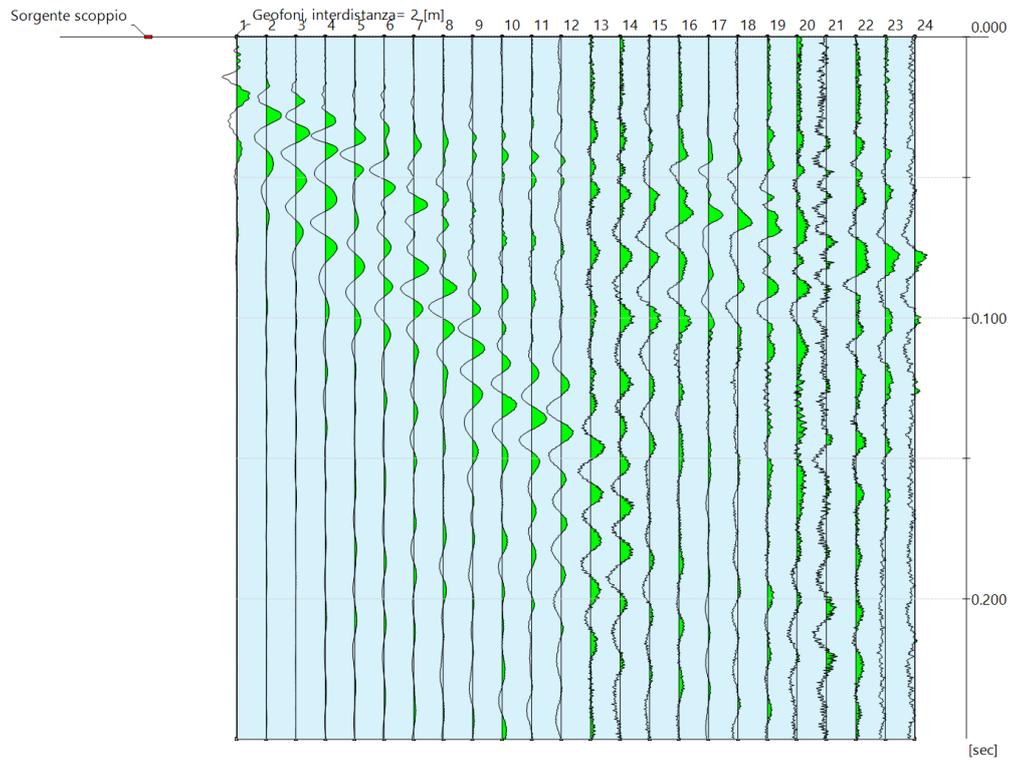


Fig.1: Masw - Tracce sismiche e geometria di acquisizione

Parametri di acquisizione Masw:

<i>Numero tracce:</i>	<i>24</i>
<i>Distanza intergeofonica (Δx):</i>	<i>2 metri</i>
<i>Frequenza di campionamento:</i>	<i>1000 Hz</i>
<i>Tempo di acquisizione:</i>	<i>2 secondi</i>
<i>Tempo di analisi</i>	<i>0.25 secondi</i>

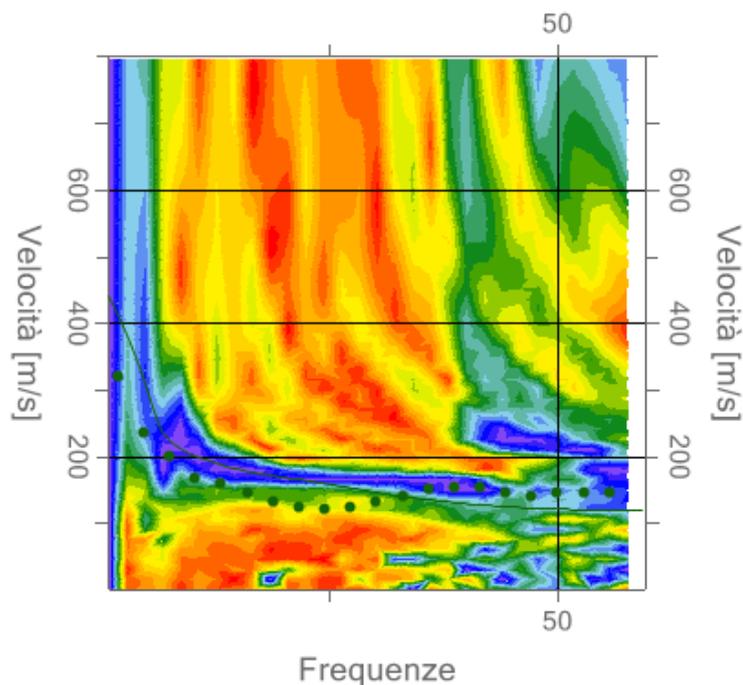


Fig.2: Masw - Spettro delle velocità di fase e Picking

Nell'interpretazione della curva di dispersione delle onde di superficie di tipo Rayleigh (fig.2), valutata tra 1 Hz e 80 Hz, la modellazione diretta basata sulle conoscenze stratigrafiche del sito ha permesso di correlare l'andamento dei modi di propagazione delle onde con i massimi della velocità di fase; in particolare si può notare come il modo fondamentale rappresenti il modo dominante a quasi tutte le frequenze investigate.

Basandosi su tale interpretazione ed a partire dal risultato della modellazione diretta, allo scopo di affinare ulteriormente il modello, è stato successivamente effettuato il picking e l'inversione, ipotizzando un modello a 4 sismostrati. I risultati dell'inversione hanno fornito i seguenti valori della velocità delle onde S.

Tab1 : Inversione Masw

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.00	1.00	1800.0	0.20	No	248.6	152.2
2	4.50	3.50	1800.0	0.20	No	389.6	238.6
3	12.70	8.20	1800.0	0.20	No	515.3	315.6
4	oo	oo	1800.0	0.20	No	759.7	465.2

Percentuale di errore 0.186 %

Fattore di disadattamento della soluzione 0.054

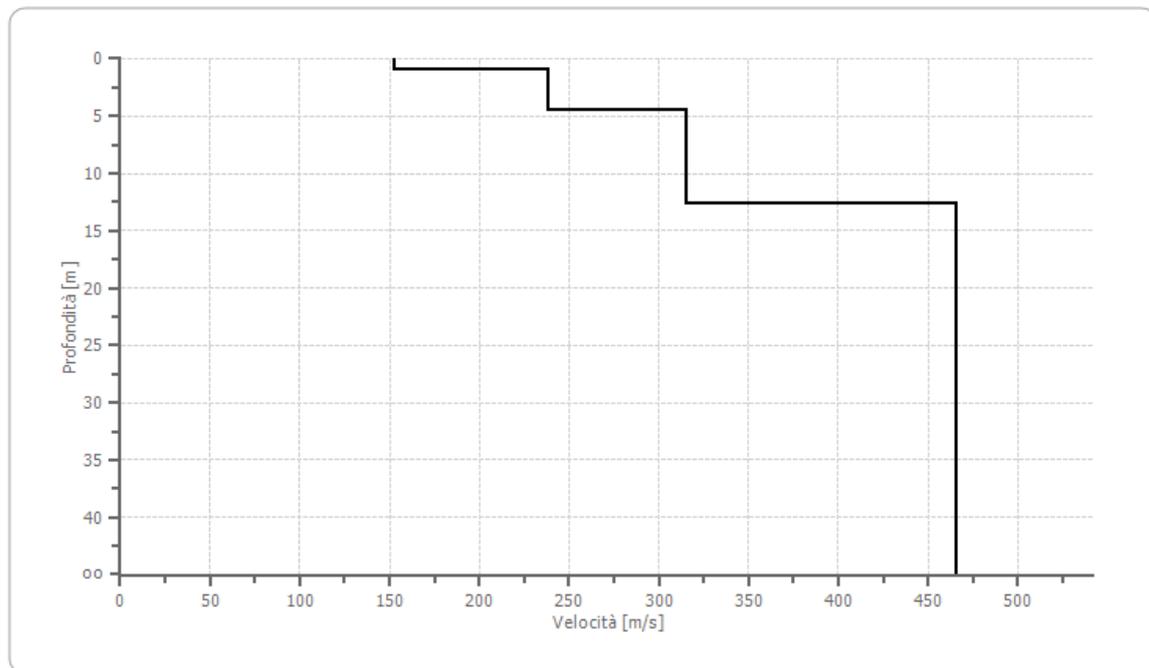


Fig.3: Masw - Profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio

Il valore della velocità equivalente $V_{s,eq}$ di propagazione delle onde di taglio nel sottosuolo (onde S) è valutato secondo la relazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore $h(strato)$ e dalla velocità delle onde S $V_s(strato)$.

Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità H del substrato superiori a 30 m., la velocità equivalente $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H = 30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Dall'elaborazione dei dati risulta:

$$V_{s,eq} (Masw) = 355.39 \text{ m/s};$$

tale valore, unitamente all'assenza di un substrato di riferimento rigido (bedrock) a profondità inferiore a 30 metri ed a un sostanziale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità rende il sottosuolo in esame classificabile come “**sottosuolo di tipo C**”, come da tabella 3.2.II, D.M.17/01/2018.

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

Valledolmo, maggio 2022

Geoproject s.r.l.

Geol. Alfonso Spera

(Direttore Tecnico)



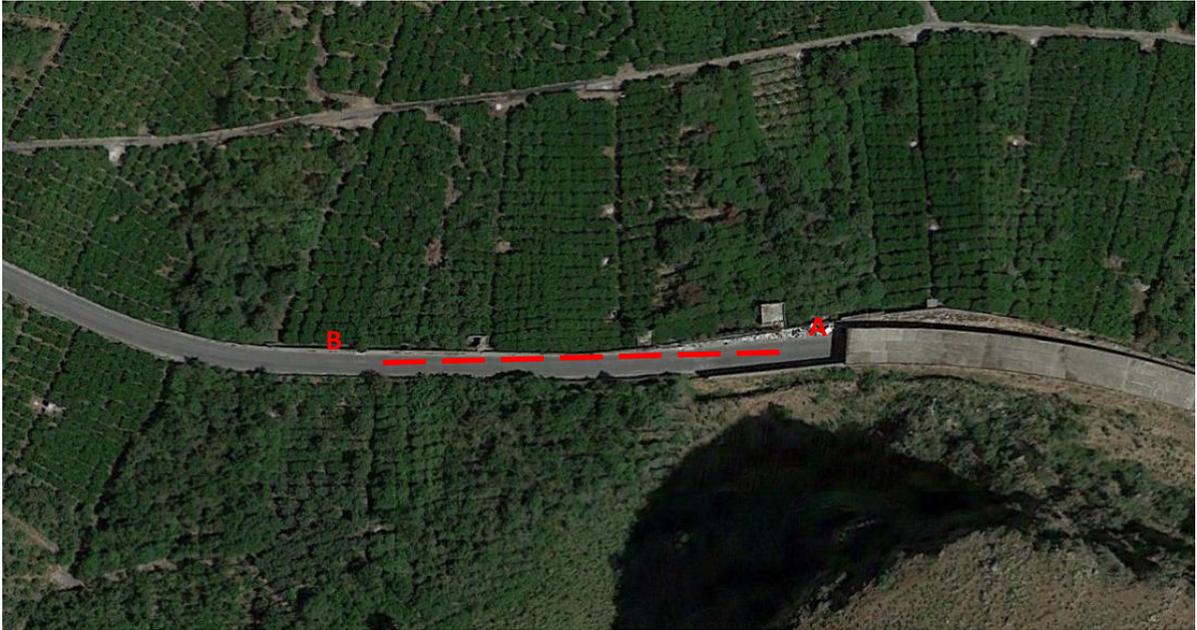
A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Alfonso Spera", written over the professional stamp.

COLONNA SISMOSTRATIGRAFICA					
SONDAGGIO SISMICO TIPO MASW : MW1					
		Spessore (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	
Strato	1	1.0	248.6	152.2	1.0 m
Strato	2	3.0	389.6	238.6	4.5 m
Strato	3	8.2	515.3	315.6	12.7
Strato	4	>25	759.7	465.2	> 30 m

Vs_eq = 355.39 m/s

Colonna Sismostratigrafica MW1

PLANIMETRIA CON UBICAZIONE STESA GEOFONICA



— — — — — prova sismica MASW

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





Prove di laboratorio su campioni di terreno

RAPPORTO DI PROVA

<i>Richiedente</i>	Dott. Geologo Antonio Rubino
<i>Lavoro</i>	Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.
<i>Ente Appaltante</i>	Città Metropolitana di Palermo
<i>Lettera d'incarico</i>	Palermo, 22/04/2022

Il presente rapporto include i certificati di prova dal n. 2847 al n. 2865

Palermo, 17 maggio 2022

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Lombardo



Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4

Prove di laboratorio

Nel presente elaborato si riportano i risultati delle prove di laboratorio effettuate su 2 campioni rimaneggiati di terreno e 2 campioni di roccia, prelevati nel corso delle indagini per la progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.

Le prove sono state effettuate su incarico del Dott. Geologo Antonio Rubino.

Il rapporto include i certificati dal n. 2847 al n. 2865, e le elaborazioni di sintesi delle prove. I campioni pervenuti in laboratorio dal giorno 22 aprile 2022, sono stati descritti singolarmente, specificando il colore, la consistenza, la struttura e l'eventuale presenza di alterazioni. Sono state effettuate prove di identificazione consistenti nella determinazione del contenuto d'acqua w , dei limiti di consistenza w_p e w_L , della composizione granulometrica, del peso specifico dei grani γ_s e del peso dell'unità di volume γ .

La determinazione della composizione granulometrica è stata effettuata per stacciatura e sedimentazione, secondo la Normativa ASTM D-422 (2007). In particolare, la quantità di materiale da utilizzare è stata determinata in dipendenza delle dimensioni massime dell'elemento più grosso.

La composizione granulometrica della frazione passante al n. 200 ASTM è stata determinata, mediante sedimentazione, con il metodo dell'areometro, impiegando cilindri della capacità di 1 lt.

I risultati sono diagrammati in grafici che forniscono la percentuale in peso del materiale in funzione del diametro; vengono inoltre riportati la composizione granulometrica del terreno secondo la classificazione A.G.I. e la percentuale in peso della frazione argillosa, corrispondente al diametro $d = 0,002$ mm.

Il peso specifico dei grani γ_s è stato determinato per mezzo del volumetro come media di due determinazioni, su materiale preliminarmente essiccato in stufa, passante al setaccio ASTM n. 40. Il peso dell'unità di volume γ è stato determinato mediante fustella tarata.

Per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità dei terreni, sono state effettuate n. 2 prove di taglio diretto consolidate drenate (CD).

E' stata inoltre misurata la resistenza alla punta R_p , per mezzo di un penetrometro da laboratorio.

Secondo quanto prescritto dalla Normativa ASTM D-3080 (2004), le prove di taglio diretto CD sono state effettuate, per ciascun campione, su tre provini di forma cilindrica di diametro 6 cm ed altezza 2 cm. La velocità di deformazione è stata posta pari a 0,002 mm/min.



Nel corso delle prove sono stati misurati lo sforzo di taglio τ per mezzo di una cella di carico elettronica e gli spostamenti orizzontali δ_o e verticali δ_v per mezzo di due trasduttori elettronici.

Sono stati inoltre determinati, per ogni singolo provino, il contenuto d'acqua w iniziale e finale ed il peso dell'unità di volume γ , il peso secco dell'unità di volume γ_d , la porosità n ed il grado di saturazione S iniziali.

I risultati delle prove sono stati diagrammati in grafici τ/δ e τ/σ' .

Le prove di compressione semplice sono state eseguite su campioni cilindrici di altezza pari a circa il doppio del diametro secondo la Normativa ASTM D-2166 (2001).

Le prove di compressione semplice e le prove di carico puntuale sono state eseguite per mezzo di una macchina universale SUNS, scala 1000 kN, matricola n. 1012001, classe 1; la velocità di deformazione è stata posta pari a 1,6 mm/min.

Nel corso delle prove sono stati misurati la tensione normale σ_v per mezzo di una cella di carico e lo spostamento verticale δ_v del campione mediante un trasduttore elettronico.

La verifica di taratura agli strumenti utilizzati per la misura delle forze e delle pressioni è stata eseguita il 18/07/2021.

La verifica di taratura agli strumenti utilizzati per la misura degli spostamenti delle prove di taglio è stata eseguita il 18/07/2021.

La verifica di taratura della macchina universale per le compressioni semplici e per il carico puntuale è stata eseguita il 01/04/2022

Nelle pagine seguenti sono riportati, nell'ordine, l'elenco dei simboli adottati, i risultati delle prove eseguite sui campioni di terreno.

Palermo, 17 maggio 2022

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Lombardo





ELENCO DEI SIMBOLI

γ	Peso dell'unità di volume	w_s	Limite di ritiro
γ_f	Peso dell'unità di volume alla fine della prova	σ	Pressione effettiva
w	Contenuto d'acqua	σ_v	Tensione normale
w_i	Contenuto d'acqua all'inizio della prova	σ_f	Tensione normale a rottura
G	Analisi granulometrica	τ	Tensione tangenziale
U	Coefficiente di uniformità	τ_f	Tensione tangenziale a rottura
d	Dimensione del grano	ε	Deformazione
l_o	Altezza del campione all'inizio della prova	ε_f	Deformazione a rottura
γ_d	Peso secco dell'unità di volume	δ	Spostamento orizzontale assoluto
γ_s	Peso specifico dei grani	δ_o, δ_v	Spostamenti orizzontali e verticali
e	Indice dei vuoti	δ_{of}	Spostamento orizzontale a rottura
n	Porosità	c_v	Coefficiente di consolidazione
S	Grado di saturazione	E_{ed}	Modulo di compressione edometrica
w_p	Limite di plasticità	k	Coefficiente di permeabilità
w_l	Limite di liquidità	CS	Prova di compressione semplice
I_p	Indice di plasticità	CE	Prova di compressione edometrica
I_c	Indice di consistenza	TD	Prova di taglio diretto

NORMATIVE SEGUITE PER L'ESECUZIONE DELLE PROVE

ASTM	American Society for Testing Materials
BSI	British Standard Institution
CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche
ISRM	International Society for Rock Mechanics
UNI	Unificazione Nazionale Italiana



RIEPILOGO PROVE ESEGUITE SUI CAMPIONI DI TERRENO E DI ROCCIA

Sondaggio	S2	S3	S1						
Campione									
Profondità da m	10.10	3.60	2.00	11.30					
a m	10.30	4.00	2.30	11.50					
Riconoscimento e descrizione	●	●							
Data prova n. certificato	06/05/2022 2847	05/05/2022 2855							
CARATTERISTICHE FISICHE									
γ	●	●							
Data prova n. certificato	06/05/2022 2848	05/05/2022 2856							
γ_d									
Data prova n. certificato									
γ_s	●	●							
Data prova n. certificato	13/05/2022 2849	13/05/2022 2857							
G	●	●							
Data prova n. certificato	10/05/2022 2853	09/05/2022 2861							
w	●	●							
Data prova n. certificato	06/05/2022 2850	05/05/2022 2858							
w _p	●	●							
Data prova n. certificato	10/05/2022 2851	11/05/2022 2859							
w _l	●	●							
Data prova n. certificato	10/05/2022 2852	11/05/2022 2860							
w _s									
Data prova n. certificato									
PROVE MECCANICHE									
C E									
Data prova n. certificato									
C S			●	●					
Data prova n. certificato			11/05/2022 2863	11/05/2022 2864					
TD (CD)	●	●							
Data prova n. certificato	06/05/2022 2854	05/05/2022 2862							
TR (rocce)									
Data prova n. certificato									
TR (CU)									
Data prova n. certificato									
COST									
Data prova n. certificato									

Lo Sperimentatore

Dott. Paulo Jorge De Oliveira

Modulo 9.30A - Rev. 2 del 03/07/17

Il Direttore del Laboratorio

Ingegnere Francesco Lombardo





RIEPILOGO CARATTERISTICHE FISICHE DEI TERRENI

Sondaggio	S2	S3							
Campione									
Profondità da m a m	10.10	3.60							
	10.30	4.00							
γ [kN/m ³]	21,3	20,5							
γ_d [kN/m ³]									
γ_s [kN/m ³]	26,8	26,8							
w [%]	14,4	19,4							
w _P [%]	13,7	18,2							
w _L [%]	30,2	50,4							
w _S [%]									
I _p	0,17	0,32							
I _c	0,96	0,96							
n									
S									
U									
% < d = 0,002 mm	18,44	42,35							
SO [%]									
CaCO ₃ [%]									
k [cm/sec]									

Lo Sperimentatore

Dott. Paulo Jorge De Oliveira

Il Direttore del laboratorio

Ing. Francesco Lombardo





Rif. verbale di accettazione G/382 del 22/04/2022

Certificato n. 2847 del 17/05/2022

Richiedente: Dott. Geologo Antonio Rubino

Ente Appaltante: Città Metropolitana di Palermo

Lavoro: Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.

Sondaggio: S2

Campione:

Profondità da m 10,10 a m 10,30

SCHEDA DESCRIZIONE CAMPIONE

Attrezzatura e modalità di prelievo

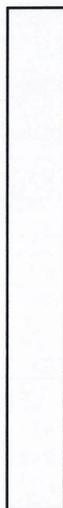
Data di prelievo Non dichiarata
 Data di arrivo in laboratorio 22/04/022
 Data di apertura 05/05/2022
 Contenitore Sacchetto di plastica
 Dimensioni l ≈ 37 cm
 Condizioni campione Rimaneggiato
 Prove eseguite γ , γ_s , G, w, w_p , w_l , TD (CD)

R_p [N/mm²]

Descrizione

(Normativa ASTM D2487/11 – ASTM D2488/09)

Argilla ghiaiosa sabbiosa rimaneggiata di colore bruno rossastro. Gli elementi lapidei sono di natura carbonatica, a spigoli vivi sub arrotondati dalle dimensioni da millimetriche a centimetriche; dispersi nella matrice argillosa e presenti lungo tutto il campione. $W_N \geq W_P$.



Lo Sperimentatore
Dott. Paulo Jorge De Oliveira

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Lombardo



Rif. verbale di accettazione G/382 del 22/04/2022

Richiedente: Dott. Geologo Antonio Rubino

Ente Appaltante: Città Metropolitana di Palermo

Lavoro: Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.

Sondaggio: S2

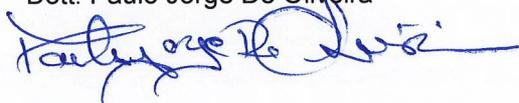
Campione:

Profondità da m 10,10 a m 10,30

CARATTERISTICHE FISICHE

Data di arrivo del campione: 22/04/022	Certificato n. del	Data prova	Normativa di riferimento
Peso dell'unità di volume $\gamma =$ 21,3 kN/m ³	2848 17/05/2022	06/05/2022	Procedura interna
Peso specifico dei grani $\gamma_s =$ 26,8 kN/m ³	2849 17/05/2022	13/05/2022	CNR UNI 10013 (1964)
Contenuto d'acqua $w =$ 14,4 %	2850 17/05/2022	06/05/2022	ASTM D-2216 (2010)
Limite di plasticità $W_p =$ 13,7 %	2851 17/05/2022	10/05/2022	ASTM D-4318 (2010)
Limite di liquidità $W_l =$ 30,2 %	2852 17/05/2022	10/05/2022	ASTM D-4318 (2010)
Limite di ritiro $W_s =$ %			ASTM D-427 (2008)
Percentuale di sostanza organica $SO =$ %			Procedura interna
Percentuale di carbonato di calcio $CaCO_3 =$ %			Procedura interna

Lo Sperimentatore
Dott. Paulo Jorge De Oliveira



Il Direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Lombardo





Rif. Verbale di accettazione G/382 del 22/04/2022

Certificato n. 2853 del 17/05/2022

Richiedente: Richiedente: Dott. Geologo Antonio Rubino

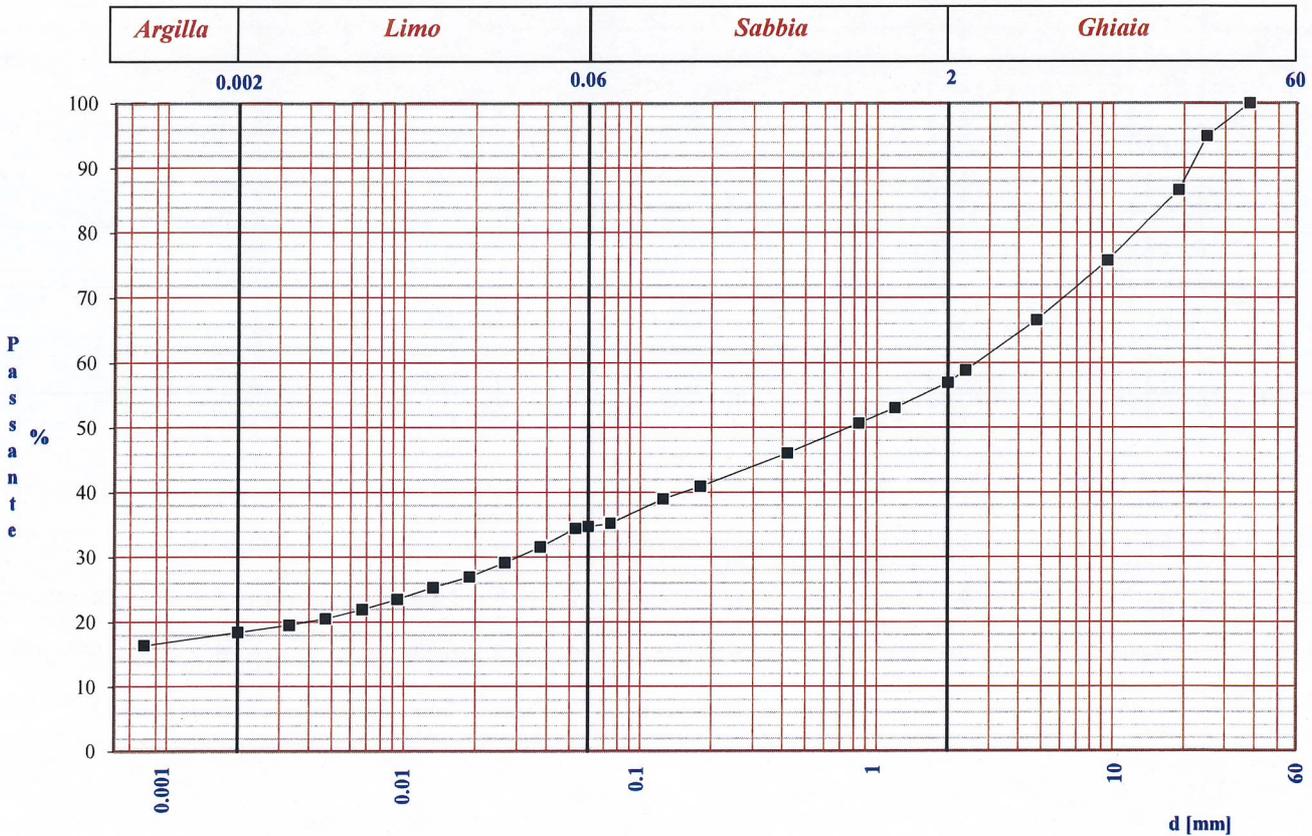
Ente Appaltante: Città Metropolitana di Palermo

Lavoro: Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500.

Sondaggio: S2 Campione: Profondità m 10,10 - 10,30

Data inizio Prova: 10/05/2022 Data fine Prova: 14/05/2022

ANALISI GRANULOMETRICA – ASTM D-422 (2007)



Classificazione AGI: ghiaia sabbiosa argillosa limosa

$U = d_{60}/d_{10}$ % <math>d < 0,075 \text{ mm}</math> = 18,44

Note:

Lo Sperimentatore
Dott. Paulo Jorge De Oliveira

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Lombardo



Rif. verbale di accettazione G/382 del 22/04/2022

Certificato n. 2854 del 17/05/2022

Richiedente: Dott. Geologo Antonio Rubino

Ente Appaltante: Città Metropolitana di Palermo

Lavoro: Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.

Sondaggio: S2

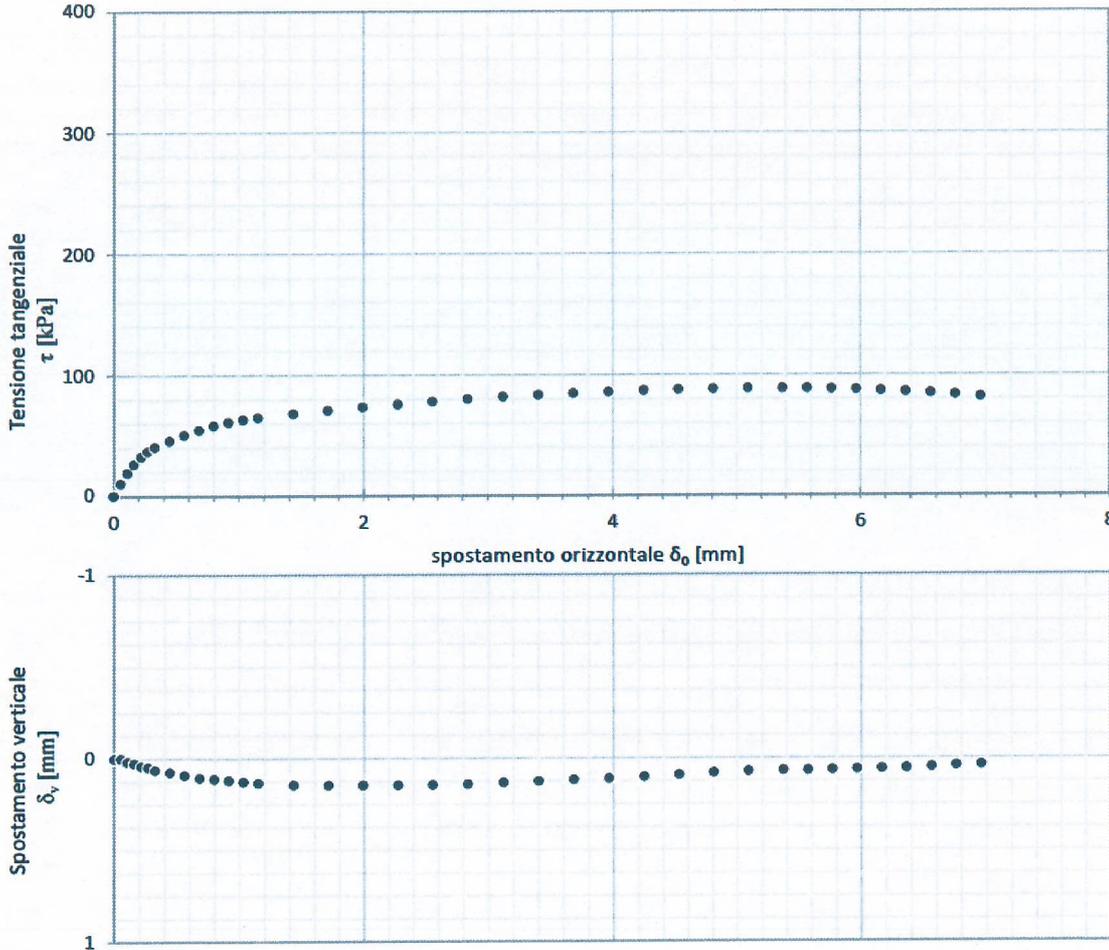
Campione: /1

Profondità da m 10,10 a m 10,30

Data inizio prova 06/05/2022

Data fine prova 09/05/2022

PROVA DI TAGLIO DIRETTO – ASTM D-3080 (2011)



Velocità di deformazione 0,002 mm/1'

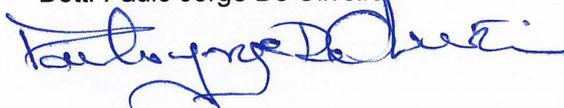
Dimensioni del provino cilindrico: diametro = 60 mm altezza = 19,9 mm

γ [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]	n_i	S	w _i [%]	w _f [%]	τ_f [kPa]	σ' [kPa]
21,38	18,74	0,31	0,86	14,12	14,13	88,38	100,00

Note Provino ricostruito

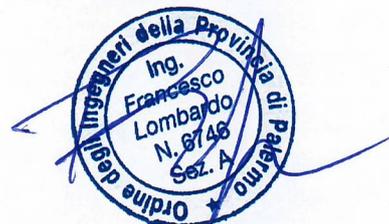
Lo Sperimentatore

Dott. Paulo Jorge De Oliveira



Il Direttore del Laboratorio

Ing. Francesco Lombardo





Rif. verbale di accettazione G/382 del 22/04/2022

Certificato n. 2854 del 17/05/2022

Richiedente: Dott. Geologo Antonio Rubino

Ente Appaltante: Città Metropolitana di Palermo

Lavoro: Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.

Sondaggio: S2

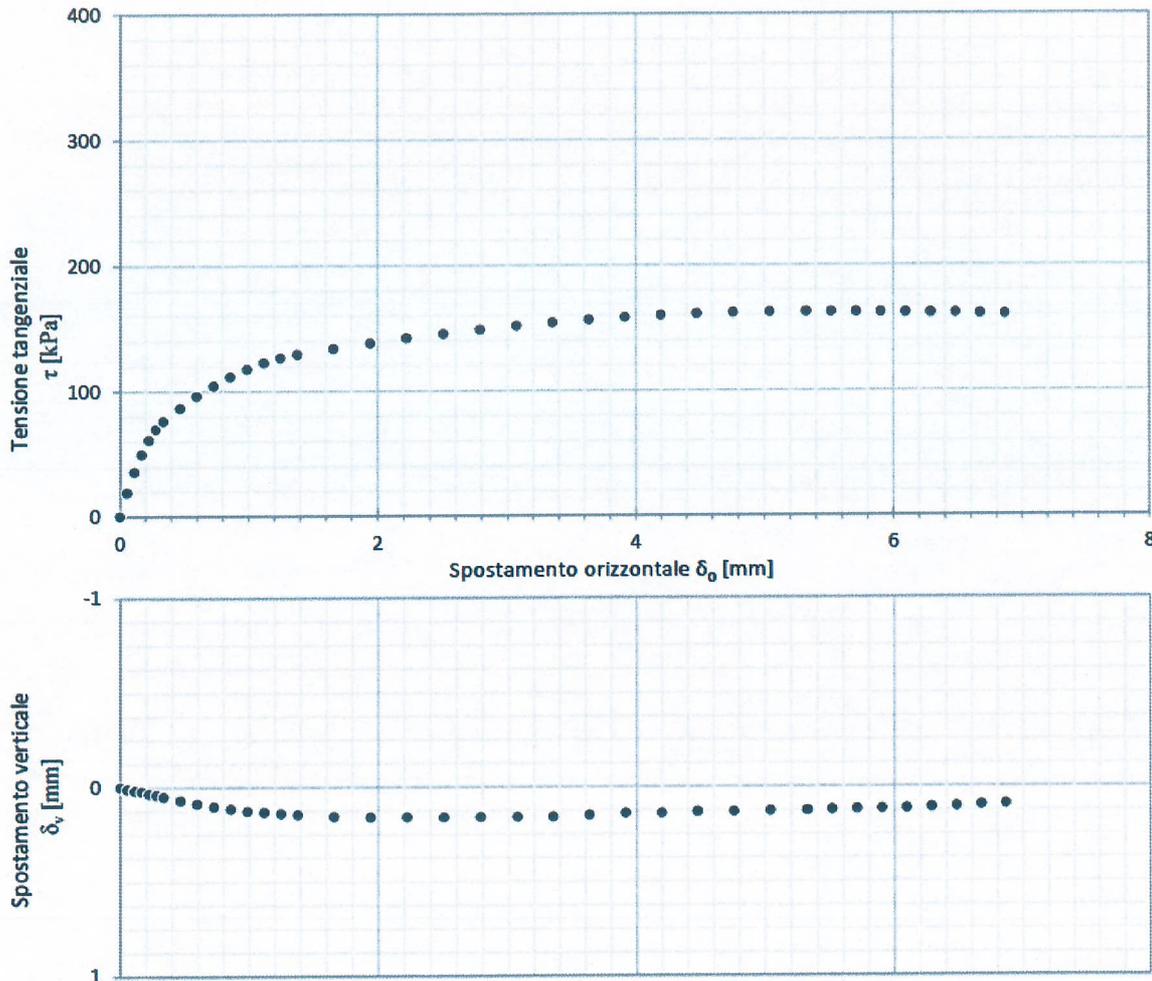
Campione: /2

Profondità da m 10,10 a m 10,30

Data inizio prova 06/05/2022

Data fine prova 09/05/2022

PROVA DI TAGLIO DIRETTO – ASTM D-3080 (2011)



Velocità di deformazione 0,002 mm/1'

Dimensioni del provino cilindrico: diametro = 60 mm altezza = 19,9 mm

γ [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]	n_i	S	w _i [%]	w _f [%]	τ_r [kPa]	σ' [kPa]
21,33	18,60	0,31	0,88	14,66	14,43	162,51	200,00

Note Provino ricostruito

Lo Sperimentatore

Dott. Paulo Jorge De Oliveira

Il Direttore del Laboratorio

Ing. Francesco Lombardo





Rif. verbale di accettazione G/382 del 22/04/2022

Certificato n. 2854 del 17/05/2022

Richiedente: Dott. Geologo Antonio Rubino

Ente Appaltante: Città Metropolitana di Palermo

Lavoro: Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.

Sondaggio: S2

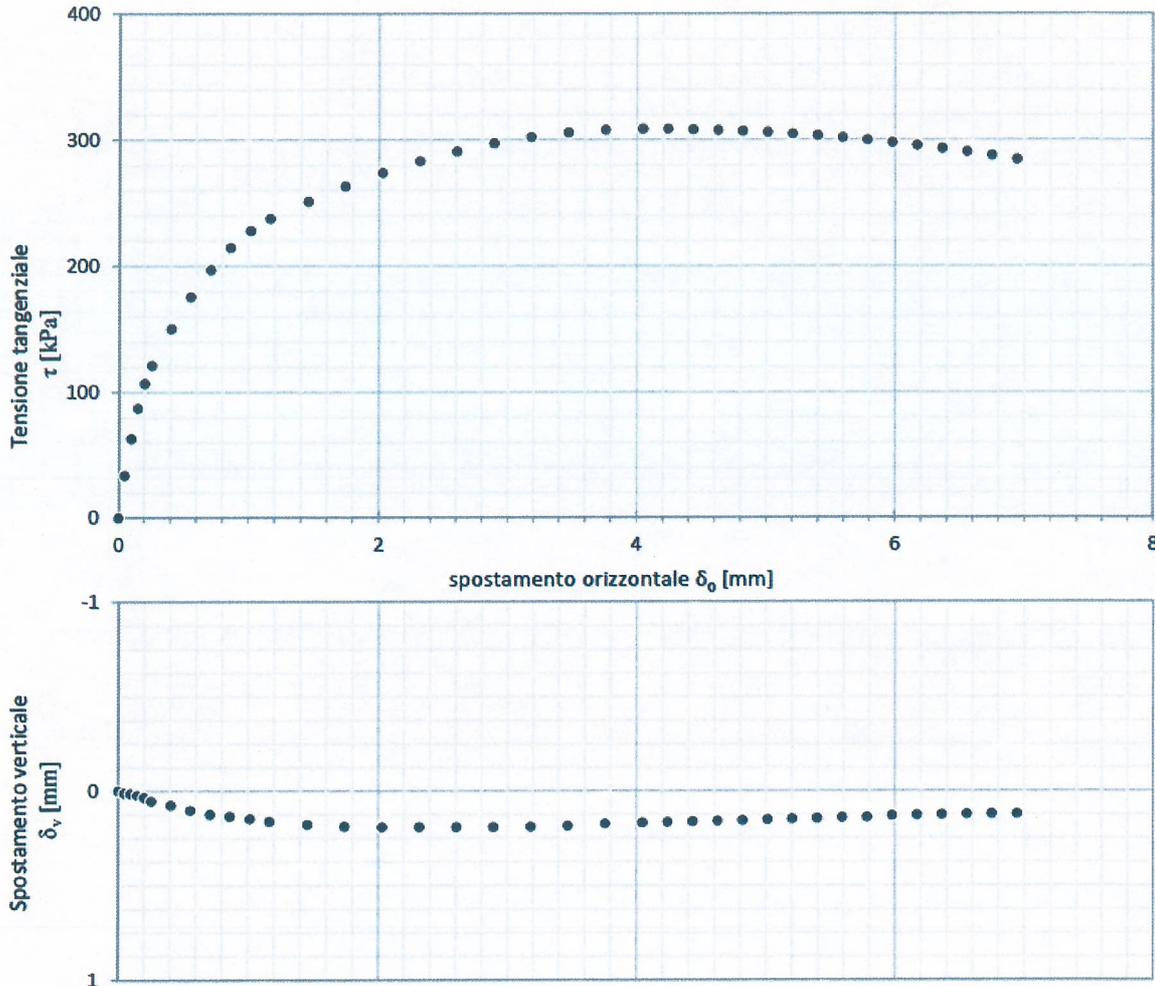
Campione: /3

Profondità da m 10,10 a m 10,30

Data inizio prova 06/05/2022

Data fine prova 09/05/2022

PROVA DI TAGLIO DIRETTO – ASTM D-3080 (2011)



Velocità di deformazione 0,002 mm/1'

Dimensioni del provino cilindrico: diametro = 60 mm altezza = 19,9 mm

γ [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]	n_i	S	w_i [%]	w_f [%]	τ_r [kPa]	σ' [kPa]
21,30	19,46	0,28	0,66	9,45	13,33	308,58	400,00

Note Provino ricostruito

Lo Sperimentatore

Dott. Paulo Jorge De Oliveira

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Lombardo

Rif. verbale di accettazione G/382 del 22/04/2022

Certificato n. 2854 del 17/05/2022

Richiedente: Dott. Geologo Antonio Rubino

Ente Appaltante: Città Metropolitana di Palermo

Lavoro: Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.

Sondaggio: S2

Campione:

Profondità da m 10,10 a m 10,30

RISULTATO DELLA PROVA DI TAGLIO DIRETTO - ASTM D-3080

Data taratura celle di carico: 18/07/2021

Data inizio prova: 06/05/2022

Data fine prova: 09/05/2022

Provino: 1			Provino: 2			Provino: 3		
σ' [kPa] 100			σ' [kPa] 200			σ' [kPa] 400		
δ_0 [mm]	τ [kPa]	δ_v [mm]	δ_0 [mm]	τ [kPa]	δ_v [mm]	δ_0 [mm]	τ [kPa]	δ_v [mm]
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,054	10,109	0,000	0,054	19,033	0,010	0,046	33,719	0,011
0,108	18,868	0,018	0,109	35,561	0,018	0,096	62,927	0,014
0,162	26,273	0,027	0,165	49,549	0,022	0,148	87,363	0,023
0,216	32,319	0,042	0,221	60,968	0,034	0,201	106,811	0,035
0,270	37,002	0,049	0,278	69,793	0,040	0,257	121,099	0,054
0,325	40,319	0,063	0,335	76,005	0,051	0,407	150,279	0,077
0,443	45,684	0,075	0,465	86,591	0,071	0,558	175,559	0,104
0,560	50,427	0,092	0,595	96,060	0,088	0,710	196,923	0,124
0,678	54,546	0,106	0,726	104,410	0,103	0,862	214,356	0,135
0,796	58,043	0,113	0,856	111,642	0,115	1,014	227,848	0,149
0,913	60,916	0,120	0,986	117,755	0,127	1,167	237,388	0,162
1,031	63,167	0,127	1,117	122,749	0,133	1,455	250,913	0,179
1,149	64,794	0,135	1,247	126,622	0,141	1,743	263,015	0,189
1,431	67,834	0,145	1,378	129,375	0,147	2,031	273,694	0,192
1,712	70,665	0,147	1,660	133,940	0,158	2,319	282,950	0,192
1,994	73,286	0,147	1,942	138,167	0,161	2,607	290,782	0,192
2,275	75,698	0,147	2,224	142,056	0,161	2,895	297,191	0,192
2,557	77,899	0,146	2,505	145,607	0,162	3,183	302,175	0,191
2,839	79,891	0,142	2,787	148,819	0,161	3,471	305,735	0,187
3,120	81,674	0,133	3,069	151,694	0,161	3,759	307,872	0,175
3,402	83,247	0,126	3,351	154,230	0,160	4,047	308,584	0,170
3,683	84,610	0,119	3,633	156,428	0,151	4,240	308,477	0,167
3,965	85,763	0,113	3,915	158,288	0,143	4,433	308,156	0,164
4,247	86,706	0,103	4,197	159,810	0,142	4,626	307,620	0,161
4,528	87,440	0,093	4,478	160,993	0,135	4,820	306,871	0,158
4,810	87,965	0,081	4,760	161,839	0,135	5,013	305,908	0,154
5,091	88,279	0,074	5,042	162,346	0,131	5,206	304,730	0,151
5,373	88,384	0,070	5,324	162,515	0,129	5,399	303,338	0,148
5,571	88,275	0,069	5,517	162,483	0,125	5,592	301,733	0,143
5,769	87,949	0,066	5,710	162,387	0,121	5,785	299,913	0,141
5,967	87,404	0,063	5,903	162,226	0,120	5,978	297,879	0,132
6,165	86,642	0,061	6,096	162,002	0,118	6,172	295,631	0,129
6,363	85,662	0,058	6,288	161,714	0,113	6,365	293,169	0,127
6,561	84,465	0,052	6,481	161,361	0,108	6,558	290,493	0,124
6,759	83,050	0,044	6,674	160,944	0,100	6,751	287,603	0,123

n. matricola celle: 601756

700375

606834

Note

Lo Sperimentatore
Dott. Paulo Jorge De Oliveira



Il Direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Lombardo



Rif. verbale di accettazione G/382 del 22/04/2022

Richiedente: Dott. Geologo Antonio Rubino

Ente Appaltante: Città Metropolitana di Palermo

Lavoro: Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.

Sondaggio: S2

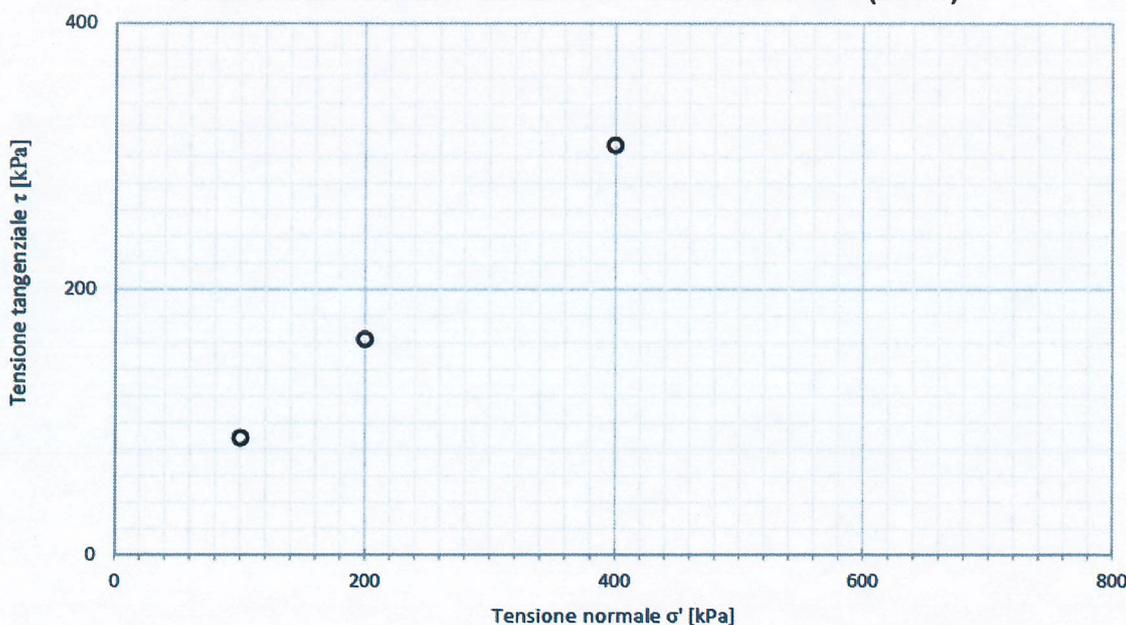
Campione:

Profondità da m 10,10 a m 10,30

Data inizio prova 06/05/2022

Data fine prova 09/05/2022

PROVA DI TAGLIO DIRETTO – ASTM D-3080 (2011)



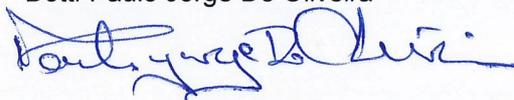
Velocità di deformazione 0,002 mm/1'

Provino	γ [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]	n_i	S	W_i [%]	W_f [%]	T_f [kPa]	σ' [kPa]	δ_{of} [mm]
1	21,38	18,74	0,31	0,86	14,1	14,1	88,38	100,00	0,90
2	21,33	18,60	0,31	0,88	14,7	14,4	162,51	200,00	0,17
3	21,30	19,46	0,28	0,66	9,5	13,3	308,58	400,00	2,17

Note: Prova consolidata drenata

Provini ricostruiti

Lo Sperimentatore
Dott. Paulo Jorge De Oliveira



Il Direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Lombardo



Rif. verbale di accettazione G/382 del 22/04/2022

Certificato n. 2855 del 17/05/2022

Richiedente: Dott. Geologo Antonio Rubino

Ente Appaltante: Città Metropolitana di Palermo

Lavoro: Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.

Sondaggio: S3

Campione:

Profondità da m 3,60 a m 4,00

SCHEDA DESCRIZIONE CAMPIONE

Attrezzatura e modalità di prelievo

Data di prelievo Non dichiarata

Data di arrivo in laboratorio 22/04/022

Data di apertura 05/05/2022

Contenitore Sacchetto di plastica

Dimensioni $l \approx 37$ cm

Condizioni campione Rimaneggiato

Prove eseguite γ , γ_s , G, w, w_p , w_i , TD (CD)

Rp [N/mm²] 3,8

Descrizione

(Normativa ASTM D2487/11 – ASTM D2488/09)

Argilla limosa con sabbia e ghiaia, rimaneggiata, mediamente consistente, $w_N \geq w_p$. Di colore bruno rossastro. Presenza di elementi lapidei di natura carbonatica, a spigoli da vivi a sub arrotondati dal $d_{max} \approx 20$ mm.



Lo Sperimentatore
Dott. Paulo Jorge De Oliveira

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Lombardo



Rif. verbale di accettazione G/382 del 22/04/2022

Richiedente: Dott. Geologo Antonio Rubino

Ente Appaltante: Città Metropolitana di Palermo

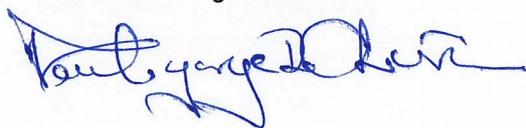
Lavoro: Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.

Sondaggio: S3 Campione: Profondità da m 3,60 a m 4,00

CARATTERISTICHE FISICHE

Data di arrivo del campione: 22/04/022	Certificato n. del	Data prova	Normativa di riferimento
Peso dell'unità di volume $\gamma =$ 20,5 kN/m ³	2856 17/05/2022	05/05/2022	Procedura interna
Peso specifico dei grani $\gamma_s =$ 26,8 kN/m ³	2857 17/05/2022	13/05/2022	CNR UNI 10013 (1964)
Contenuto d'acqua w = 19,4 %	2858 17/05/2022	05/05/2022	ASTM D-2216 (2010)
Limite di plasticità $W_p =$ 18,2 %	2859 17/05/2022	11/05/2022	ASTM D-4318 (2010)
Limite di liquidità $W_l =$ 50,4 %	2860 17/05/2022	11/05/2022	ASTM D-4318 (2010)
Limite di ritiro $W_s =$ %			ASTM D-427 (2008)
Percentuale di sostanza organica SO = %			Procedura interna
Percentuale di carbonato di calcio CaCO ₃ = %			Procedura interna

Lo Sperimentatore
Dott. Paulo Jorge De Oliveira



Il Direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Lombardo



Rif. Verbale di accettazione G/382 del 22/04/2022

Certificato n. 2861 del 17/05/2022

Richiedente: Richiedente: Dott. Geologo Antonio Rubino

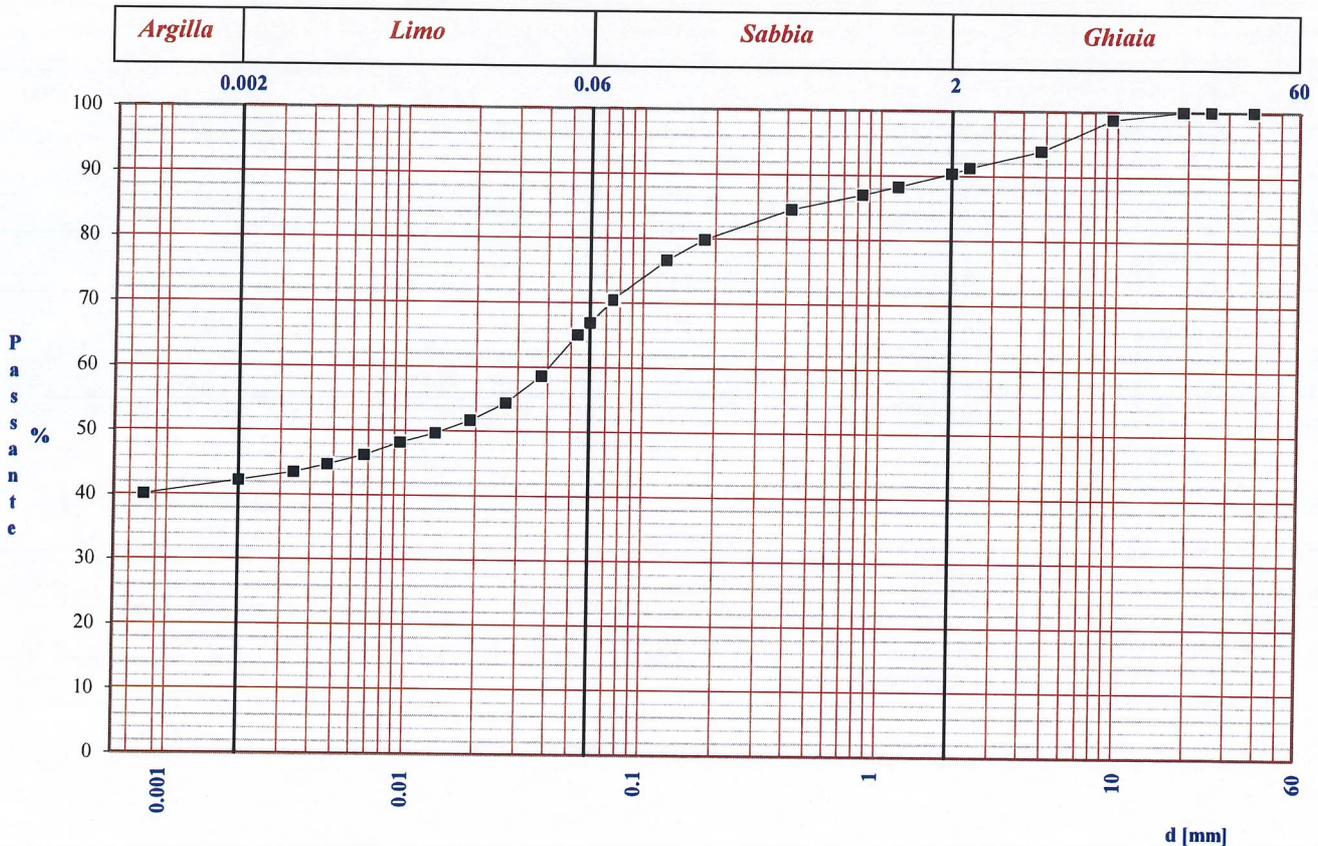
Ente Appaltante: Città Metropolitana di Palermo

Lavoro: Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500.

Sondaggio: S3 Campione: Profondità m 3,60 - 4,00

Data inizio Prova: 10/05/2022 Data fine Prova: 14/05/2022

ANALISI GRANULOMETRICA – ASTM D-422 (2007)



Classificazione AGI: argilla limosa sabbiosa debolmente ghiaiosa

$U = d_{60}/d_{10}$ % < d 0,002 mm = 42,35

Note:

Lo Sperimentatore
Dott. Paulo Jorge De Oliveira



Il Direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Lombardo



Rif. verbale di accettazione G/382 del 22/04/2022

Certificato n. 2862 del 17/05/2022

Richiedente: Dott. Geologo Antonio Rubino

Ente Appaltante: Città Metropolitana di Palermo

Lavoro: Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.

Sondaggio: S3

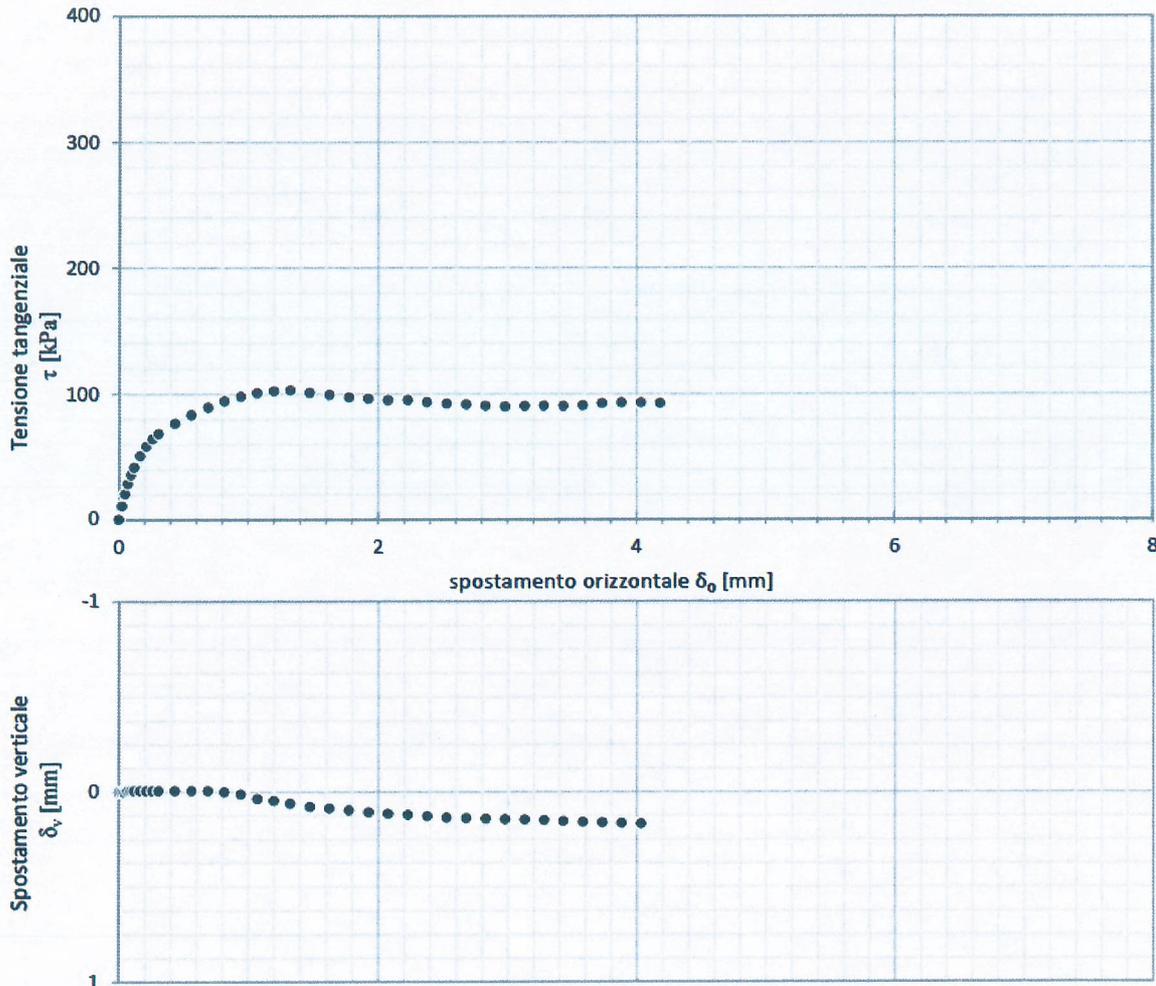
Campione: /1

Profondità da m 3,60 a m 4,00

Data inizio prova 05/05/2022

Data fine prova 10/05/2022

PROVA DI TAGLIO DIRETTO – ASTM D-3080 (2011)



Velocità di deformazione 0,002 mm/1'

Dimensioni del provino cilindrico: diametro = 60 mm altezza = 19,9 mm

γ [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]	n_i	S	w_i [%]	w_f [%]	τ_r [kPa]	σ' [kPa]
20,87	17,48	0,35	0,97	19,38	19,64	102,85	100,00

Note Provino parzialmente ricostituito

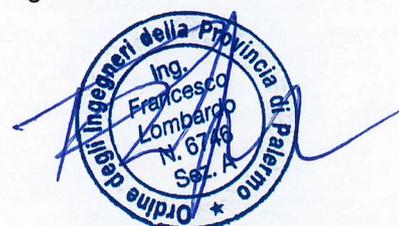
Lo Sperimentatore

Dott. Paulo Jorge De Oliveira



Il Direttore del Laboratorio

Ing. Francesco Lombardo



Rif. verbale di accettazione G/382 del 22/04/2022

Certificato n. 2862 del 17/05/2022

Richiedente: Dott. Geologo Antonio Rubino

Ente Appaltante: Città Metropolitana di Palermo

Lavoro: Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.

Sondaggio: S3

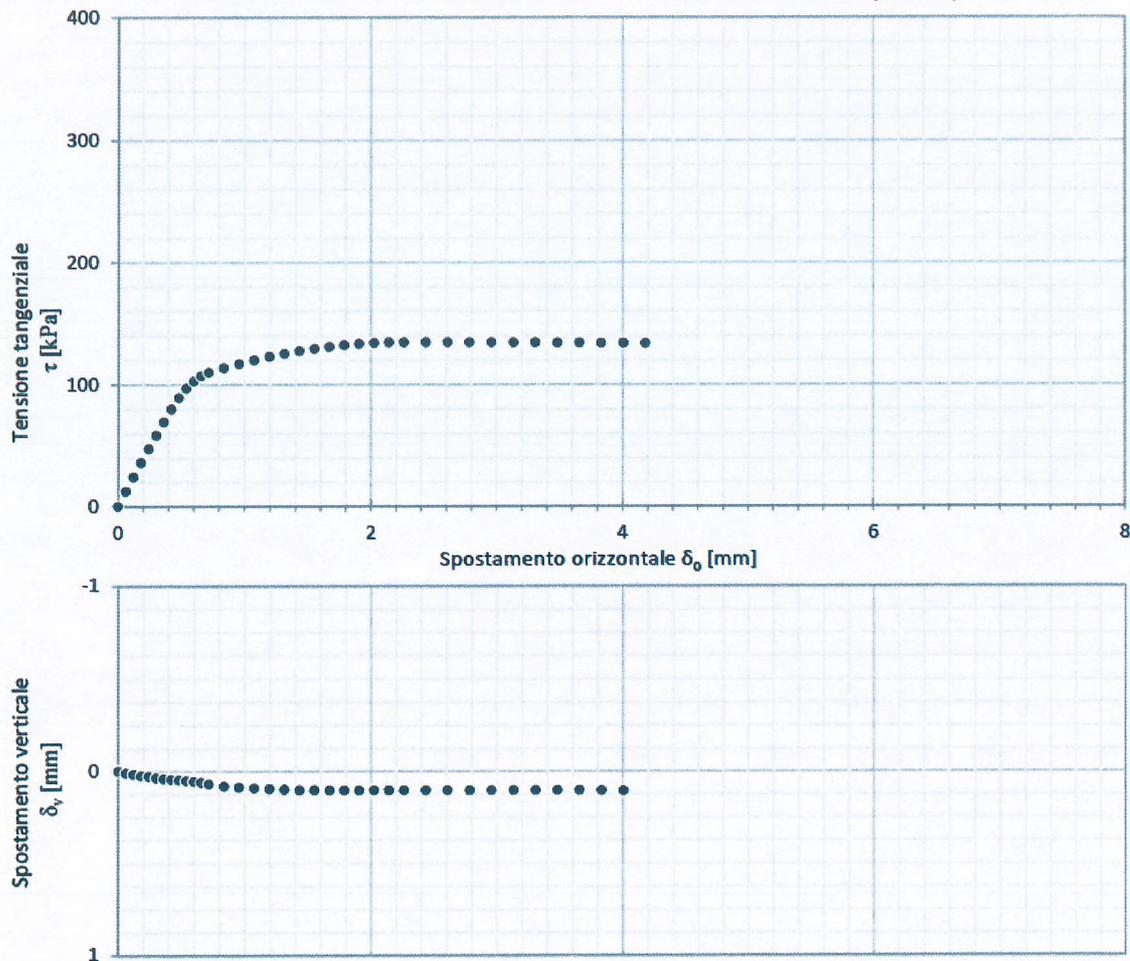
Campione: /2

Profondità da m 3,60 a m 4,00

Data inizio prova 05/05/2022

Data fine prova 10/05/2022

PROVA DI TAGLIO DIRETTO – ASTM D-3080 (2011)

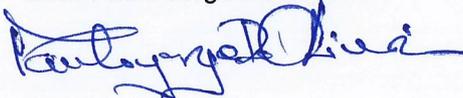


Velocità di deformazione 0,002 mm/1'

Dimensioni del provino cilindrico: diametro = 60 mm altezza = 19,9 mm

γ [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]	n_i	S	w_i [%]	w_f [%]	τ_r [kPa]	σ' [kPa]
20,70	17,12	0,36	0,99	20,90	21,85	134,68	200,00

Note Provino parzialmente ricostituito
Lo Sperimentatore
Dott. Paulo Jorge De Oliveira



Il Direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Lombardo



Rif. verbale di accettazione G/382 del 22/04/2022

Certificato n. 2862 del 17/05/2022

Richiedente: Dott. Geologo Antonio Rubino

Ente Appaltante: Città Metropolitana di Palermo

Lavoro: Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.

Sondaggio: S3

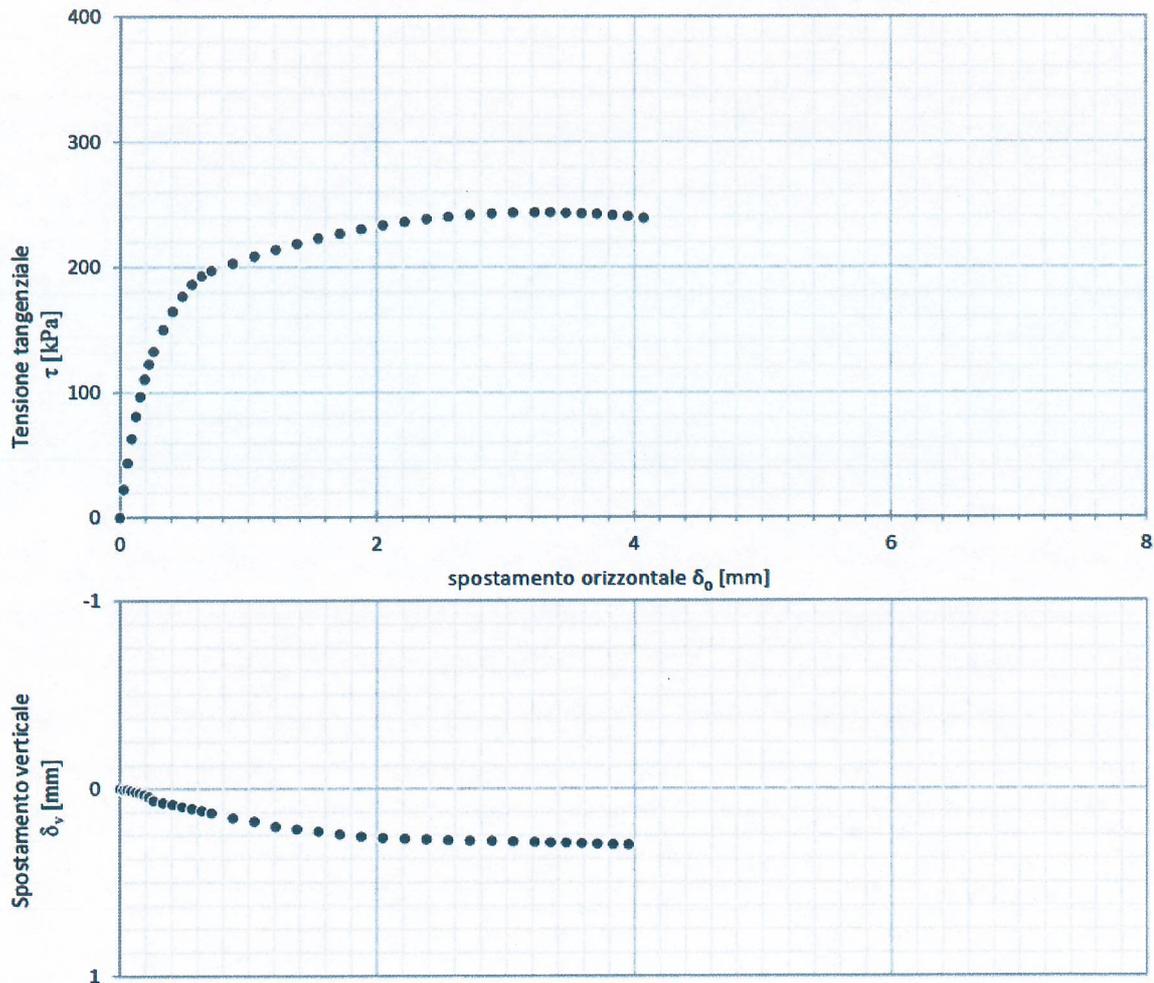
Campione: /3

Profondità da m 3,60 a m 4,00

Data inizio prova 05/05/2022

Data fine prova 10/05/2022

PROVA DI TAGLIO DIRETTO – ASTM D-3080 (2011)



Velocità di deformazione 0,002 mm/1'

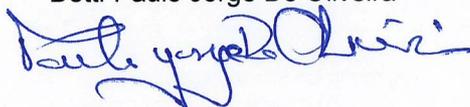
Dimensioni del provino cilindrico: diametro = 60 mm altezza = 19,9 mm

γ [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]	n_i	S	w _i [%]	w _f [%]	τ_r [kPa]	σ' [kPa]
20,08	16,68	0,38	0,90	20,41	22,33	243,47	400,00

Note Provino parzialmente ricostituito

Lo Sperimentatore

Dott. Paulo Jorge De Oliveira



Il Direttore del Laboratorio

Ing. Francesco Lombardo



Rif. verbale di accettazione G/382 del 22/04/2022

Certificato n. 2862 del 17/05/2022

Richiedente: Dott. Geologo Antonio Rubino

Ente Appaltante: Città Metropolitana di Palermo

Lavoro: Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.

Sondaggio: S3

Campione:

Profondità da m 3,60 a m 4,00

RISULTATO DELLA PROVA DI TAGLIO DIRETTO - ASTM D-3080

Data taratura celle di carico: 18/07/2021

Data inizio prova: 05/05/2022

Data fine prova 10/05/2022

Provino: 1			Provino: 2			Provino: 3		
σ' [kPa] 100			σ' [kPa] 200			σ' [kPa] 400		
δ_o [mm]	τ [kPa]	δ_v [mm]	δ_o [mm]	τ [kPa]	δ_v [mm]	δ_o [mm]	τ [kPa]	δ_v [mm]
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,022	10,684	0,000	0,060	12,289	0,010	0,029	22,762	0,005
0,045	20,198	0,000	0,120	24,295	0,017	0,059	43,871	0,006
0,068	28,518	-0,005	0,181	36,017	0,026	0,090	63,263	0,011
0,092	35,620	-0,005	0,241	47,457	0,029	0,123	80,876	0,018
0,116	41,486	-0,005	0,301	58,613	0,036	0,156	96,654	0,023
0,163	50,815	-0,005	0,362	69,485	0,042	0,190	110,550	0,033
0,211	58,416	-0,005	0,422	80,073	0,046	0,225	122,519	0,044
0,258	64,281	-0,005	0,481	89,360	0,050	0,260	132,523	0,064
0,306	68,401	-0,006	0,539	97,012	0,053	0,334	149,786	0,077
0,433	76,473	-0,005	0,599	103,022	0,057	0,408	164,453	0,086
0,560	83,469	-0,005	0,658	107,386	0,061	0,483	176,507	0,097
0,687	89,390	-0,005	0,717	110,100	0,071	0,558	185,933	0,108
0,815	94,235	0,001	0,836	113,736	0,082	0,633	192,719	0,119
0,942	98,004	0,013	0,955	117,081	0,088	0,709	196,857	0,131
1,069	100,696	0,036	1,073	120,135	0,093	0,876	202,864	0,158
1,197	102,311	0,047	1,192	122,899	0,098	1,044	208,458	0,176
1,324	102,849	0,062	1,311	125,371	0,101	1,211	213,637	0,205
1,474	100,818	0,078	1,430	127,553	0,103	1,378	218,402	0,218
1,625	99,373	0,088	1,549	129,444	0,104	1,545	222,753	0,230
1,775	97,188	0,098	1,668	131,044	0,105	1,713	226,689	0,245
1,926	96,102	0,108	1,787	132,353	0,105	1,880	230,211	0,257
2,076	95,095	0,115	1,905	133,371	0,105	2,047	233,319	0,265
2,227	94,917	0,122	2,024	134,099	0,105	2,215	236,013	0,270
2,377	93,382	0,129	2,143	134,535	0,105	2,382	238,292	0,273
2,528	92,216	0,136	2,262	134,680	0,105	2,550	240,157	0,277
2,678	91,673	0,140	2,436	134,672	0,105	2,717	241,607	0,280
2,829	90,514	0,143	2,610	134,647	0,105	2,884	242,643	0,282
2,979	89,724	0,145	2,785	134,604	0,105	3,052	243,264	0,285
3,130	90,135	0,147	2,959	134,545	0,105	3,219	243,472	0,288
3,280	90,356	0,150	3,133	134,469	0,105	3,341	243,381	0,291
3,431	90,142	0,156	3,307	134,375	0,105	3,463	243,111	0,292
3,581	90,686	0,161	3,481	134,265	0,105	3,585	242,660	0,295
3,732	92,408	0,164	3,655	134,138	0,105	3,708	242,028	0,298
3,882	92,865	0,167	3,830	133,994	0,106	3,830	241,216	0,301
4,033	93,018	0,169	4,004	133,833	0,108	3,952	240,224	0,302

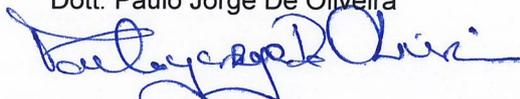
n. matricola celle: 601756

700375

606834

Note

Lo Sperimentatore
Dott. Paulo Jorge De Oliveira



Il Direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Lombardo



Rif. verbale di accettazione G/382 del 22/04/2022

Richiedente: Dott. Geologo Antonio Rubino

Ente Appaltante: Città Metropolitana di Palermo

Lavoro: Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.

Sondaggio: S3

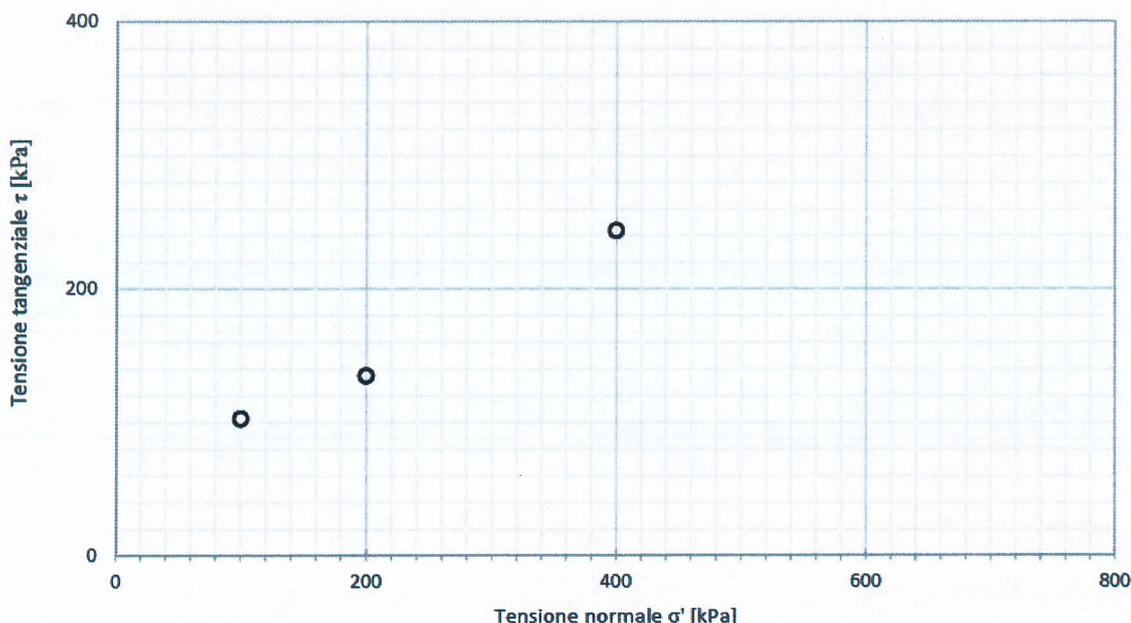
Campione:

Profondità da m 3,60 a m 4,00

Data inizio prova 05/05/2022

Data fine prova 10/05/2022

PROVA DI TAGLIO DIRETTO – ASTM D-3080 (2011)



Velocità di deformazione 0,002 mm/1'

Provino	γ [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]	n_i	S	w_i [%]	w_r [%]	T_r [kPa]	σ' [kPa]	δ_{of} [mm]
1	20,87	17,48	0,35	0,97	19,4	19,6	102,85	100,00	0,51
2	20,70	17,12	0,36	0,99	20,9	21,9	134,68	200,00	1,15
3	20,08	16,68	0,38	0,90	20,4	22,3	243,47	400,00	1,27

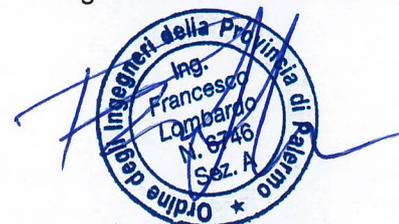
Note: Prova consolidata drenata

Provini parzialmente ricostituiti

Lo Sperimentatore
Dott. Paulo Jorge De Oliveira



Il Direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Lombardo





Certificato n. 2863 del 17/05/2022

Rif. verbale di accettazione G/382 del 22/04/2022

Richiedente: Dott. Geologo Antonio Rubino

Ente Appaltante: Città Metropolitana di Palermo

Lavoro: Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.

Sondaggio: S1

Campione:

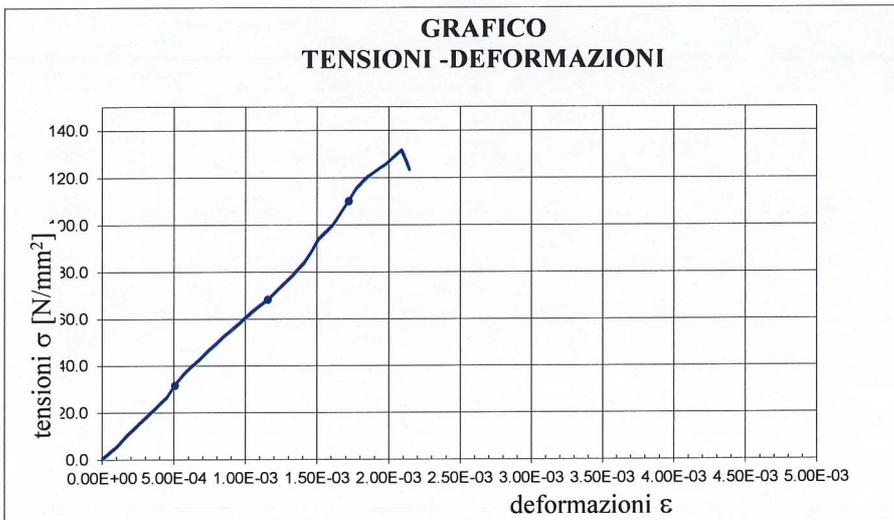
Profondità da m 2,00 a m 2,30

PROVA A COMPRESIONE MONOASSIALE SU PROVINI CILINDRICI

CURVA PRESSIONE - DEFORMAZIONE

Sondaggio	Data prova	Dimensioni		Sezione [mm ²]	Massa [g]	Peso dell'unità di volume [kg/m ³]	Resistenza a rottura σ_f [N/mm ²]
		\varnothing [mm]	h [mm]				
S1	11/05/22	78	158	4778	2083,2	2760	131,4

**GRAFICO
TENSIONI - DEFORMAZIONI**



Schema di rottura



Descrizione

(Normativa ISRM 1975)
Calcere molto compatto, massivo, di colore grigio chiaro con presenza di alcune cavità $d_{max} \approx 3$ mm

Note: Attrezzatura: Macchina universale SUNS, scala 1000 kN, matricola n. 1012001, classe 1 - Scadenza taratura del 31/03/2023

Lo Sperimentatore
Dott. Paulo Jorge De Oliveira

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Lombardo





Certificato n. 2864 del 17/05/2022

Rif. verbale di accettazione G/382 del 22/04/2022

Richiedente: Dott. Geologo Antonio Rubino

Ente Appaltante: Città Metropolitana di Palermo

Lavoro: Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.

Sondaggio: S1

Campione:

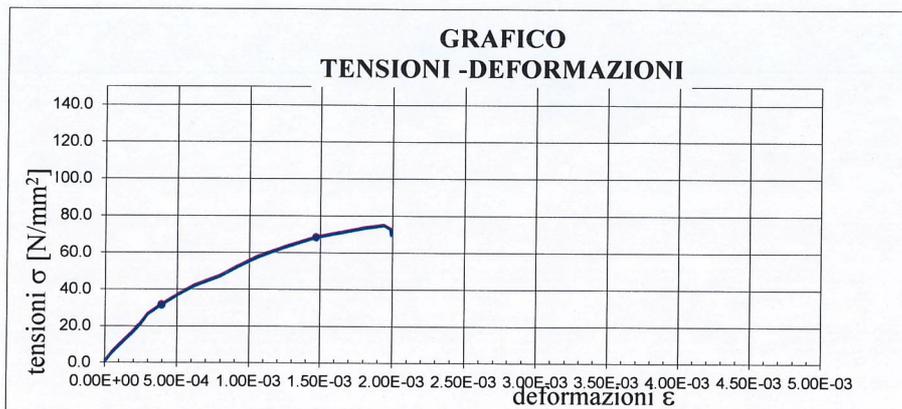
Profondità da m 11,30 a m 11,50

PROVA A COMPRESSIONE MONOASSIALE SU PROVINI CILINDRICI

CURVA PRESSIONE - DEFORMAZIONE

Sondaggio	Data prova	Dimensioni		Sezione [mm ²]	Massa [g]	Peso dell'unità di volume [kg/m ³]	Resistenza a rottura σ_f [N/mm ²]
		\varnothing [mm]	h [mm]				
S1	11/05/22	78	160	4778	2241,4	2930	74,5

GRAFICO TENSIONI - DEFORMAZIONI



Schema di rottura



Descrizione

(Normativa ISRM 1975)

Calcare molto compatto, massivo, di colore grigio chiaro con presenza di alcune cavità $d_{max} \approx 10$ mm

Note: Attrezzatura: Macchina universale SUNS, scala 1000 kN, matricola n. 1012001, classe 1 - Scadenza taratura del 31/03/2023

Lo Sperimentatore
Dott. Paulo Jorge De Oliveira

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Lombardo



Rif. verbale di accettazione G/382 del 22/04/2022

Certificato n. 2865 del 17/05/2022

Richiedente: Dott. Geologo Antonio Rubino

Ente Appaltante: Città Metropolitana di Palermo

Lavoro: Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.

Sondaggio: S1

Campione:

Profondità da m 20,00 a m 20,30

**PROVA DI CARICO PUNTUALE - ISRM (1985)
PROVA ASSIALE**

Sondaggio	Campione	Data prova	L [mm]	Altezza D [mm]	Carico di rottura P [N]	Diametro equivalente De [mm]	Indice di carico puntuale Is [N/mm2]	Fattore di correzione F	Indice di carico puntuale standard Is(50) [N/mm2]
S1	1	11/05/22	78	28	12725	52,7	4,690	1,024	103,1
	2		78	31	14960	55,5	4,859	1,048	112,0
	1		78	28	18307	52,7	6,740	1,024	148,3

Note: Provini di forma cilindrica

Lo Sperimentatore
Dott. Paulo Jorge De Oliveira



Il Direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Lombardo





Rif. verbale di accettazione G/382 del 22/04/2022

Certificato n. 2865 del 17/05/2022

Richiedente: Dott. Geologo Antonio Rubino

Ente Appaltante: Città Metropolitana di Palermo

Lavoro: Progettazione esecutiva nell'ambito di SP 37 di Gibilrossa. Lavori di ripresa e messa in sicurezza della galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi al km 2+500. CUP: D77H21007330002 CIG: ZCB36190C4.

Sondaggio: S1

Campione:

Profondità da m 20,00 a m 20,30

**PROVA DI CARICO PUNTUALE - ISRM (1985)
PROVA ASSIALE**

Sondaggio	Campione	Data prova	L [mm]	Altezza D [mm]	Carico di rottura P [N]	Diametro equivalente De [mm]	Indice di carico puntuale Is [N/mm ²]	Fattore di correzione F	Indice di carico puntuale standard Is(50) [N/mm ²]
S1	1	11/05/22	78	28	12725	52,7	4,690	1,024	103,1
	2		78	31	14960	55,5	4,859	1,048	112,0
	1		78	28	18307	52,7	6,740	1,024	148,3

Note: Provini di forma cilindrica

Attrezzatura: Macchina universale SUNS, scala 200 kN, matricola n. 1012001, classe 1 - Scadenza taratura del 31/03/2023

Lo Sperimentatore
Dott. Paulo Jorge De Oliveira

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Francesco Lombardo



CITTA' METROPOLITANA DI PALERMO

S.P. 37 "di Gibilrossa"

Progetto definitivo degli interventi di mitigazione del rischio geomorfologico per il tratto della SP 37 che si sviluppa lungo a galleria artificiale danneggiata dal crollo del 1° novembre 2021

PROGETTO DEFINITIVO



R2

Relazione geotecnica e di calcolo

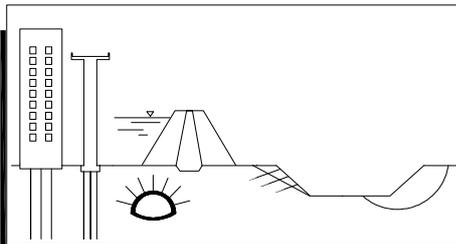
Il R.U.P.

Il Progettista
Prof. Ing. Fabio Cafiso

Dott. Ing.
FABIO
CAFISO
n. 3756

Collaborazione
Geol. Riccardo Ferraro

Dott. Geol.
RICCARDO
FERRARO
n. 3408



Palermo, aprile 2022
Lav. n. 202130

PRO - GEO progettazione geotecnica

studio di ingegneria in associazione fra gli ingg.: Angelo Bruccheri, Fabio Cafiso, Guido Umiltà, Pietro Umiltà
Via Valdemone n. 57, 90144 Palermo - Tel. 091.519860, Fax 091.524782

INDICE

1 - PREMESSA ED OGGETTO	2
2 - INQUADRAMENTO GENERALE	3
3 - DESCRIZIONE DEI LUOGHI	5
4 - CONSIDERAZIONI DI CARATTERE GEOLOGICO	8
5 - POSIZIONE DEL PROBLEMA	11
6 - RILIEVI E INDAGINI	15
6.1 Generalità.....	15
6.2 Rilievo con sistema S.A.P.R.	15
6.3 Ispezioni in parete	16
6.4 Rilievo geostrutturale.....	16
7 - STATO DI FATTO	21
7.1 Generalità.....	21
7.2 Crollo del giorno 1 novembre 2021	21
7.3 Cause del crollo del giorno 1 novembre 2021	29
8 - MODELLO GEOTECNICO	31
8.1 Condizioni di stabilità del costone lapideo in studio.....	31
8.2 Elementi lapidei in equilibrio instabile individuati nel costone lapideo	37
8.3 Caratteristiche meccaniche dell'ammasso roccioso	41
9 - INTERVENTI PREVISTI	44
9.1 Strategia generale	44
9.2 Interventi di carattere esteso.....	45
9.3 Interventi di carattere puntuale	48
9.4 Considerazioni di carattere generale	53
10 - RISULTATI DEI CALCOLI	56
10.1 Generalità.....	56
10.2 Valutazione delle azioni sismiche	57
10.3 Schemi di calcolo per la determinazione delle forze stabilizzanti... ..	59
10.4 Determinazione delle forze stabilizzanti	62
10.5 Determinazione del tiro di esercizio di tiranti e funi.....	64
10.6 Dimensionamento dei tiranti.....	65
10.7 Verifica di aderenza barra di acciaio – miscela di iniezione	69
10.8 Verifica strutturale delle funi di acciaio	69
10.9 Verifica strutturale dei pannelli di funi.....	70

1 - PREMESSA ED OGGETTO

In data 1 novembre 2021, dopo giorni caratterizzati da eventi meteorici parossistici con piogge di grande intensità e durata, sulla S.P. 37 "di Gibilrossa", strada provinciale che collega la città di Palermo con l'abitato di Gibilrossa e con il paese di Belmonte Mezzagno, si è verificato il crollo di un elemento lapideo di grandi dimensioni. In particolare, nel tratto investito dalla frana l'infrastruttura viaria corre all'interno di una galleria paramassi, al piede di un costone lapideo di roccia carbonatica di altezza pari a circa 115 m. Malgrado l'ingente volume del materiale crollato, che ha raggiunto l'opera di difesa passiva, la galleria complessivamente ha resistito all'impatto, ma ha riportato significativi danni strutturali ai pilastri e alla soletta di copertura. E' stato, quindi, necessario interdire alla pubblica fruizione il tratto della S.P. 37 interessato dal crollo, con grave disagio per i residenti di Gibilrossa e di Belmonte Mezzagno, costretti a percorsi molto più lunghi per raggiungere la città di Palermo. La Città Metropolitana di Palermo, ente proprietario della strada provinciale, ha quindi attivato le iniziative finalizzate a ripristinare il traffico nel tratto che è stato interessato dalla frana. In particolare, dal momento che gli interventi di ripristino e consolidamento della galleria paramassi danneggiata dovranno essere realizzati operando al piede del costone lapideo sorgente dei crolli, la Città Metropolitana ha ritenuto indispensabile verificare preliminarmente le condizioni di stabilità del costone lapideo e progettare gli interventi indispensabili a garantire la sicurezza delle maestranze che saranno impegnate nella riparazione della galleria artificiale. Di conseguenza ha incaricato lo scrivente di predisporre:

1. una relazione sullo stato di fatto (condizioni di stabilità del costone carbonatico incombente sulla galleria paramassi), da redigere una volta completati i rilievi topografici, mediante drone, e geostrutturali, da eseguire con metodi di progressione su corda, affidati ad altri professionisti;
2. il progetto di fattibilità tecnico-economica degli interventi di mitigazione del rischio geomorfologico per il tratto della SP 37 che si sviluppa lungo a galleria artificiale danneggiata dalla caduta massi in data 1 novembre 2021;
3. il progetto definitivo degli interventi di cui al punto precedente.

Come già evidenziato al punto 1, per sviluppare le attività professionali commissionate allo scrivente sono necessari specifici rilievi del fronte lapideo sorgente del crollo del novembre scorso, da realizzare mediante drone di ultima generazione e con ispezioni

diretta del costone lapideo, operando con metodi di progressione su corda, affidati dall'Amministrazione ad altri professionisti. Inoltre, nel disciplinare di incarico dello scrivente viene evidenziato che i citati progetti di fattibilità tecnico-economica e definitivo non riguardano gli interventi di ripristino della galleria paramassi danneggiata dal crollo del 1 novembre 2021, ma gli interventi di tipo attivo di mitigazione del rischio di caduta massi, da realizzare sul fronte roccioso sorgente dei crolli. L'iter progettuale si è sviluppato per fasi successive: dopo un sopralluogo necessario a prendere visione del problema e a pianificare i rilievi necessari ad acquisire i dati da porre a base del progetto degli interventi, sono stati effettuati il rilievo del costone lapideo sorgente dei crolli con il drone (a cura dell'ing. Antonino Barone) e le ispezioni in parete con metodi di progressione su corda, da rocciatori coordinati dal dott. Angelo Leotta. Sulla base dei risultati di tali rilievi, lo scrivente ha individuato lo stato dei luoghi e redatto il progetto di fattibilità tecnico-economica sopra indicato. Tale progetto è stato approvato dalla committenza in data 4 aprile 2022 e, pertanto, è stato redatto il progetto definitivo, di cui il presente elaborato costituisce la Relazione geotecnica e di calcolo.

Nel seguito, dopo un inquadramento di carattere generale sull'area in studio, si descrivono i luoghi, facendo riferimento alla documentazione fotografica raccolta in situ; si riporta, quindi, un cenno geologico e si riferisce sulle problematiche generali di stabilità dei costoni lapidei e sul relativo iter di studio, evidenziando i rilievi e le indagini eseguiti nel caso specifico. Si illustrano, poi, lo stato di fatto e il modello geotecnico, mettendo in risalto le gravissime condizioni di stabilità del fronte roccioso in studio, dedotte dall'elaborazione dei dati acquisiti con i citati rilievi. Nel capitolo successivo si descrivono gli interventi finalizzati a ridurre la pericolosità del costone lapideo sorgente del crollo citato e, quindi, a mitigare le condizioni di rischio per la sottostante S.P.37. In ultimo si riportano i calcoli eseguiti per il dimensionamento degli interventi proposti, i cui tabulati sono raccolti nell'elaborato R6.

In calce alla presente relazione è riportata un'Appendice, contenente le definizioni delle caratteristiche delle superfici di discontinuità presenti negli ammassi rocciosi e le tecniche di elaborazione delle relative misure eseguite in situ.

2 - INQUADRAMENTO GENERALE

L'area in studio ricade all'interno del foglio n°595 denominato "Palermo" e nella sezione n°595100 della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 (fig. 1). Essa è

Progetto definitivo degli interventi di mitigazione del rischio geomorfologico per il tratto della SP 37 che si sviluppa lungo a galleria artificiale danneggiata dal crollo verificatosi in data 1 novembre 2021
R2 - Relazione geotecnica e di calcolo

ubicata tra Monte Grifone ed il passo di Gibilrossa, a sud-ovest dell'abitato di Villabate (fig. 2).

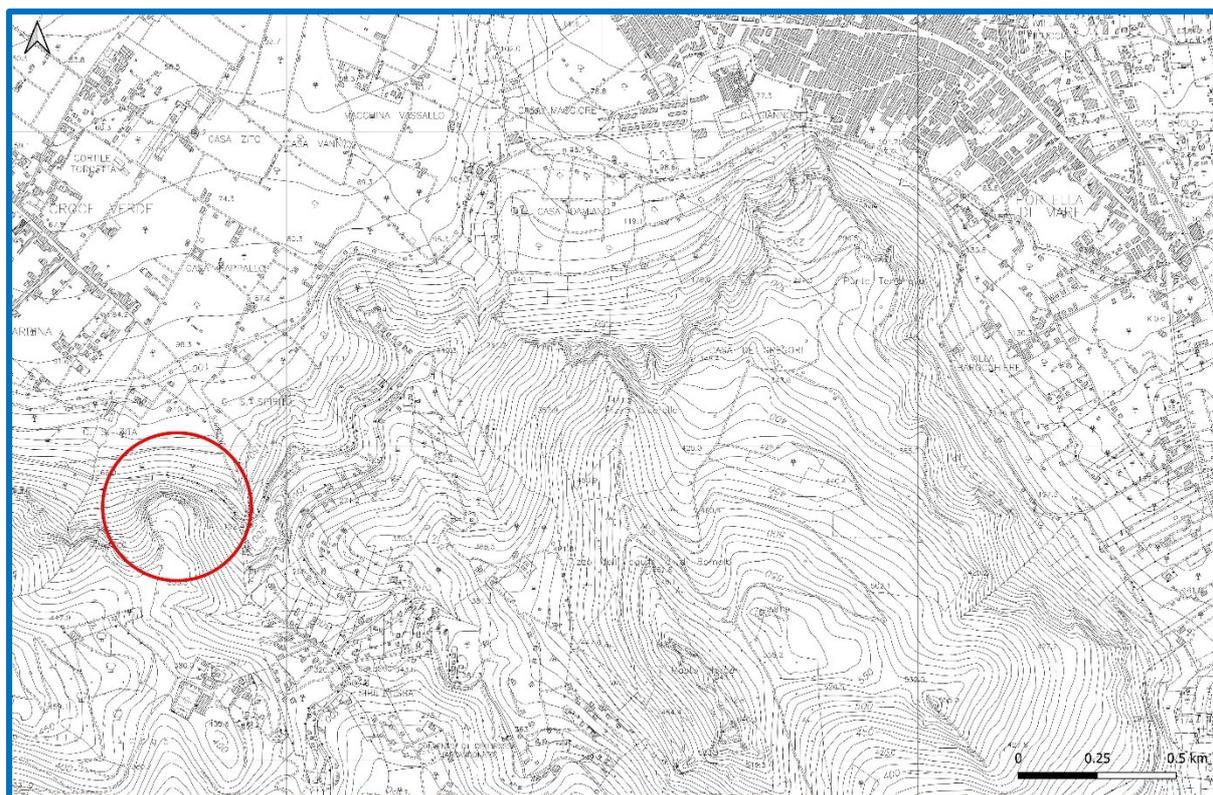


Fig. 1 - CTR n°595100 con ubicazione dell'area in studio



Fig. 2 - Foto aerea con ubicazione dell'area in studio

In particolare, l'area in studio comprende un costone lapideo, che si sviluppa orientativamente tra le quote 200 m s.l.m. e 300 m s.l.m., e la sottostante S.P. 37, che collega la città di Palermo all'abitato di Gibilrossa e al paese di Belmonte Mezzagno. Nel tratto sul quale incombe il citato costone, la strada provinciale corre all'interno di una galleria paramassi della lunghezza di circa 300 m mentre per ulteriori 70 m (lato Palermo) è priva di protezione dal crollo di blocchi (fig. 3)



Fig. 3 - Vista panoramica dell'area in studio

3 - DESCRIZIONE DEI LUOGHI

Come visibile nella già citata fig. 3 e come si evince dalla fig. 4, i luoghi in studio sono caratterizzati da un costone roccioso dell'altezza media pari a circa 110 m, che incombe direttamente sulla S.P. 37 per un tratto di circa 370 m. Come già anticipato, per circa 300 m la strada provinciale corre all'interno di una galleria paramassi costituita da una soletta in c.a. sorretta, sul lato di monte, da un muro in c.a., su quello di valle da pilastri a sezione circolare posti ad interasse di circa 5 m (fig. 5); sulla soletta non è presente materasso smorzante.

All'estremità lato Palermo, per circa 70 m, il tratto della S.P. 37 sottostante il costone carbonatico in oggetto è sprovvisto della protezione della galleria paramassi.

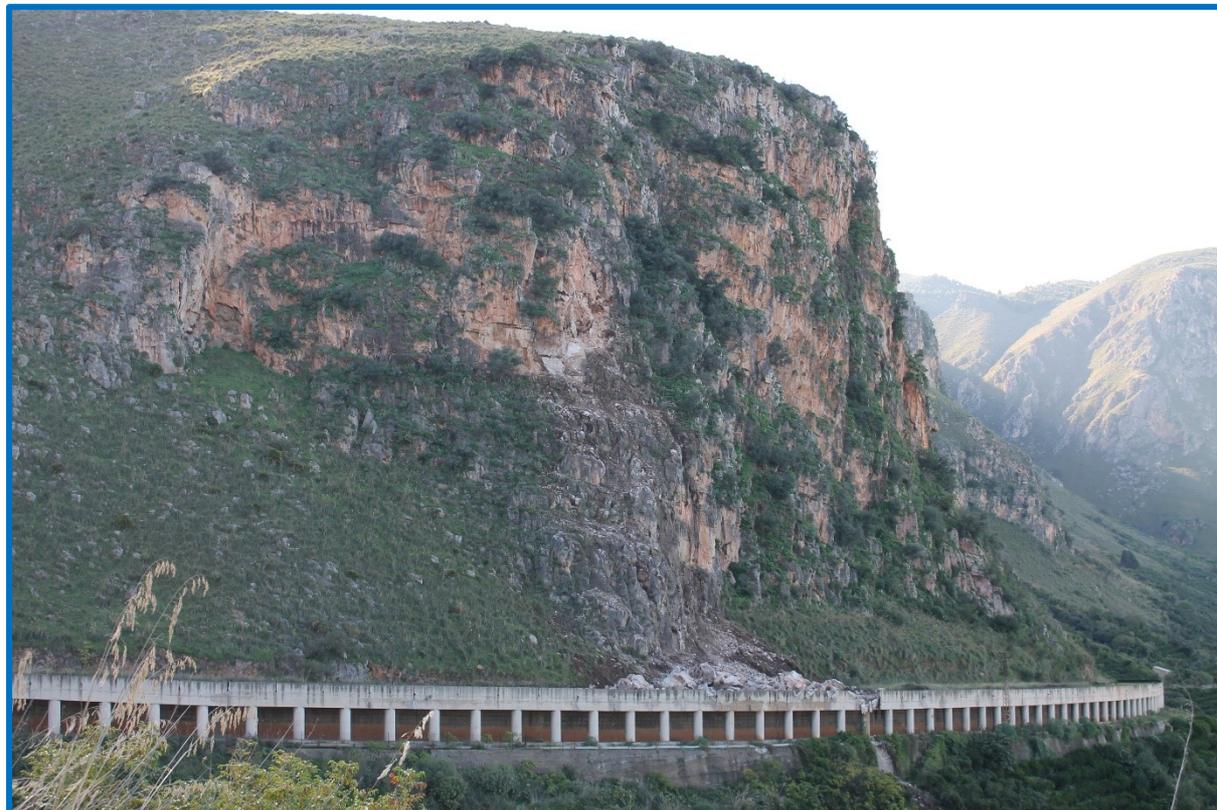


Fig. 4 - Vista del costone roccioso incumbente sulla sottostante S.P. 37

Come risulta dai rilievi effettuati in situ nell'ambito delle indagini prodromiche alla presente progettazione, sui quali si riferisce in dettaglio nel seguito, e come ben visibile nella fig. 4 e nel particolare della foto di fig. 6, l'ammasso roccioso che costituisce il costone in studio è solcato da diversi sistemi di discontinuità di origine sedimentaria (piani di stratificazione) e tettonica (giunti e faglie), che gli conferiscono una configurazione "a blocchi": le discontinuità, cioè, interagendo le une con le altre delimitano singoli elementi lapidei che, in condizioni di carico particolari, possono crollare.

Già da un esame a distanza dei luoghi risulta che il costone carbonatico è puntellato da numerosi blocchi lapidei di dimensioni assai variabili, dal metro cubo alle centinaia di metri cubi, in equilibrio precario. Appare evidente che, per la breve distanza tra il fronte roccioso e la sottostante S.P. 37, nel caso di crollo, il blocco raggiungerebbe con sicurezza la strada provinciale, come accaduto lo scorso 1 novembre. Peraltro, a causa delle grandi dimensioni dei blocchi in equilibrio instabile e per l'altezza del costone roccioso, la difesa passiva costituita dalla galleria paramassi non può ritenersi esaustiva ad eliminare il rischio geomorfologico per la strada provinciale.



Fig. 5 - Interno della galleria paramassi della S.P. 37

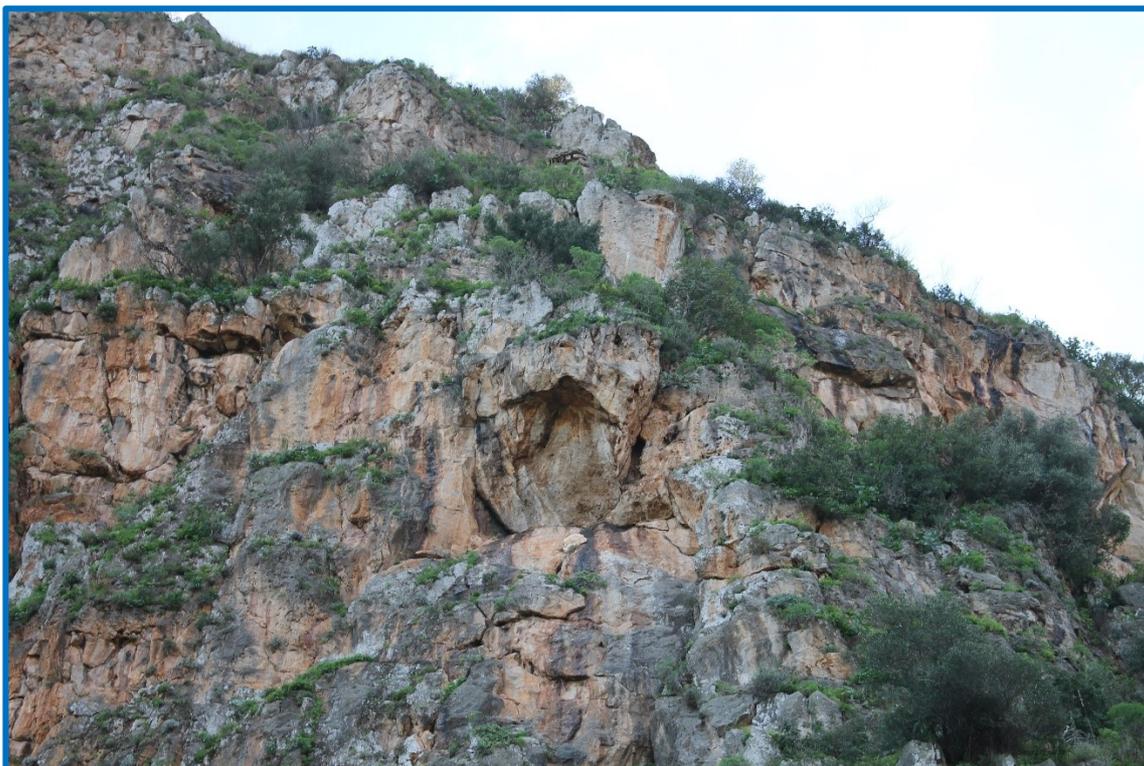


Fig. 6 - Particolare del costone lapideo incombente sul tratto in studio della S.P. 37

4 - CONSIDERAZIONI DI CARATTERE GEOLOGICO

Occorre premettere che la committenza ha dichiarato che lo studio geologico verrà redatto da personale interno alla stessa. Cionondimeno, al presente studio ha collaborato il geologo dott. Riccardo Ferraro per conto dello scrivente; inoltre, il geologo dott. Angelo Leotta è stato incaricato dalla Città Metropolitana delle ispezioni in parete, sui risultati delle quali egli riferisce nella Relazione geomeccanica che si allega al presente progetto. Di conseguenza, vista l'urgenza del presente progetto, con l'ausilio dei due professionisti citati è stato predisposto il presente capitolo, necessario per acquisire gli elementi di specifica competenza prodromici alla presente progettazione.

I “*Monti di Palermo*” costituiscono un segmento della catena appennino-maghrebide, estesa dall'Appennino al Nord-Africa, caratterizzato da uno stile tettonico effetto della sovrapposizione per sovrascorrimento di unità carbonatiche e terrigeno-carbonatiche deposte negli originari domini di età Mesozoico-Terziaria note in letteratura come Panormide ed Imerese. Le principali successioni stratigrafiche mappate nello stralcio della carta geologica d'Italia Foglio 595 “*Palermo*” (fig. 7) sono rappresentate, infatti, dalle successioni Panormide ed Imerese, sulle quali si sono deposte in discordanza le successioni Numidiche.

I movimenti compressivi più importanti registrati in questo settore della catena sono legati alla rotazione antioraria del blocco sardo-corso. Questa rotazione, che si sviluppò a partire dall'Oligo-Miocene, ha portato alla collisione del blocco sardo-corso con il margine continentale africano.

In particolare, i “*Monti di Palermo*” sono il risultato di due eventi deformativi a carattere compressivo e trascorrente:

- **Evento 1** - deformazione superficiale (*Shallow Seated*), che si sviluppa dopo il Miocene inferiore con superfici di *thrust* a basso angolo, che determina la sovrapposizione delle unità tettoniche di primo ordine. Nell'area di studio, l'evento *Shallow Seated* causa la sovrapposizione dell'Unità del Bacino Imerese, in affioramento, sulle Unità del Bacino Imerese sepolte (Catalano et al., 2000);
- **Evento 2** - deformazione profonda (*Deep Seated*), che si esplica nel Plio-Pleistocene con *thrust* ad alto angolo e faglie trascorrenti, che inducono la ri-deformazione delle unità tettoniche messe in posto durante l'evento 1.

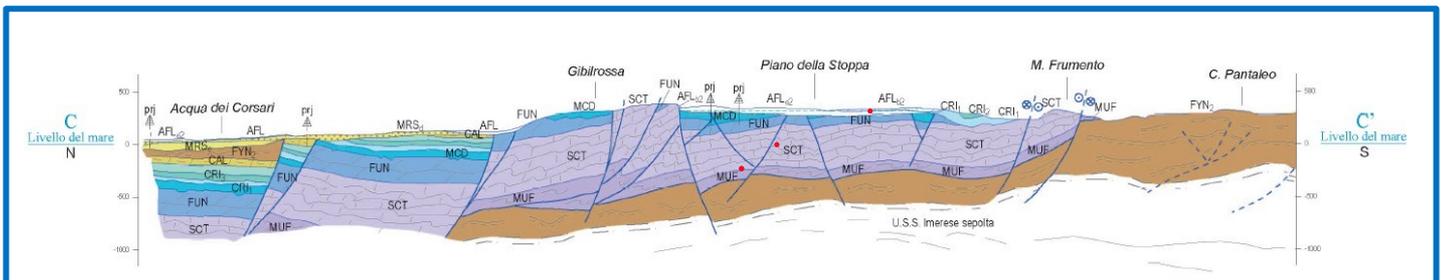
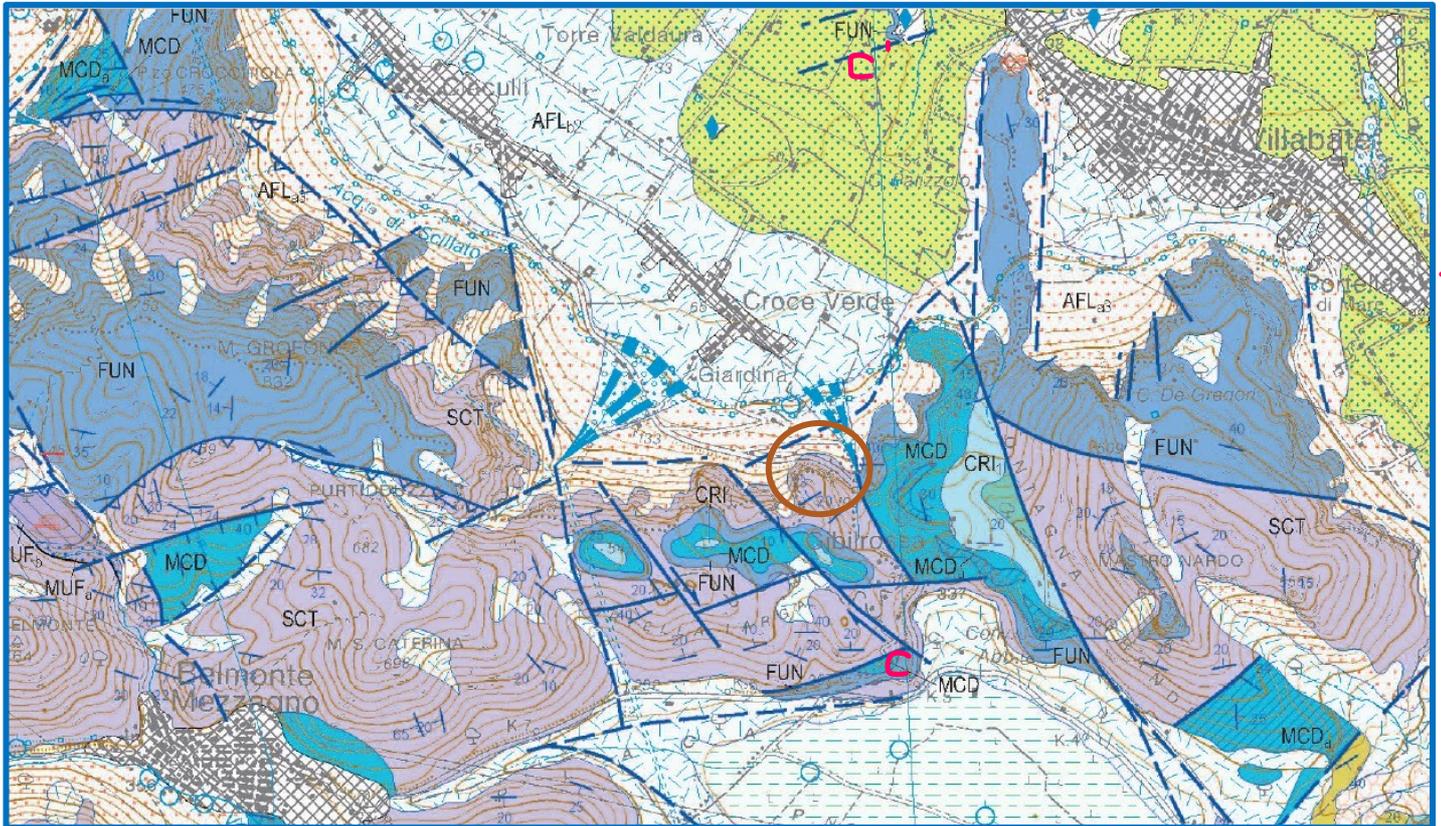


Fig. 7 - Stralcio del foglio 595 del CARG con ubicazione dell'area in studio e sezione CC'

L'assetto tettonico complessivo è caratterizzato da una **fase tettonica distensiva**, che si esplica dopo il Pleistocene inferiore, e ribassa verso costa le successioni carbonatiche imeresi che costituiscono il costone roccioso in studio.

Come risulta nella fig. 7, nell'area oggetto di studio affiora la successione Imerese, comprendente:

CRI, Formazione Crisanti

Calcolititi a radiolari, radiolariti, calcari selciferi e marne cui si intercalano livelli di breccie carbonatiche risedimentate, derivanti dalla frammentazione di corpi di piattaforma carbonatica e del suo margine (Panormide). La Formazione è suddivisa in 4 membri: membro delle radiolariti; membro delle breccie ad Ellipsactinie; membro

marnoso-spongolitico; membro delle brecce a rudiste e orbitoline (*Liassico superiore-cretacico superiore*);

MCD, Calcari a Crinoidi e Brecce di Altofonte

Biocalcareniti ad articoli di crinoidi laminate e marne argillose grigio verdastre a cui si intercalano o seguono verso l'alto brecce carbonatiche e calciruditi risedimentate plurimetriche ad elementi di piattaforma carbonatica e scogliera (brecce di altofonte MCD_a). Gli spessori della Formazioni variano dai 15 m ai 100 m; il limite inferiore è discordante ed erosivo sulla Formazione Fanusi. Ambiente sedimentario di scarpata e base scarpata (*Liassico medio- Liassico superiore*);

FUN, Formazione Fanusi

Brecce dolomitiche e doloruditi bianche o grigie, stratificate in banchi dallo spessore metrico e decametrico, alternate ciclicamente a doloareniti e dolosiltiti gradate e laminate in strati centimetrico-decimetrici. Localmente, dolomie massive, farinose e vacuolari. Il corpo litologico, racchiuso stratigraficamente tra i calcari triassici della Formazione Scillato e i livelli Liassico medio-superiore dei Calcari a crinoidi e brecce di Altofonte, viene attribuito unicamente per posizione stratigrafica al *Liassico inferiore*. Corpo risedimentato da un'adiacente area di piattaforma carbonatica, depositatosi ai piedi della scarpata a costruire un "apron carbonatico" (Basilone, 2000);

SCT, Formazione Scillato

Calcari con selce, dolomitizzati nella parte alta della serie. La successione è costituita da calcilutiti grigie in strati sottili, che superiormente passano a calcilutiti cristalline, calcareniti e calciruditi in grossi banchi; nella parte più alta della successione si rinvencono calcari nodulari e calcari bianchi e rosati. Lo spessore può variare da 650 m fino a 100 m. Sono presenti radiolari, conodonti e lamellibranchi calcari, che permettono di datare la formazione tra il *Carnico superiore* e il *Retico*. Il limite inferiore è netto e concordante con le argille e marne della Formazione Mufara. Il limite superiore può essere erosivo e con rapporti discordanti con le dolomie della formazione Fanusi o in *onlap* con le radiolariti giurassiche della Formazione Crisanti.

Nel dettaglio, ***il costone roccioso in studio è costituito dai calcari con selce della Formazione Scillato***, dislocati da un sistema di faglie trascorrenti destre a direzione NO-SE. Ad est del settore in cui si è verificato il crollo si sviluppa una faglia ad alto

angolo a direzione NNO-SSE, che ribassa la Formazione Fanusi ed i Calcari a Crinoidi e Breccie di Altofonte affioranti lungo la valle denominata Discesa dei Mille.

5 - POSIZIONE DEL PROBLEMA

Come segnalato nel cap.1, scopo dell'incarico affidato allo scrivente dalla Città Metropolitana di Palermo è di:

1. individuare la **pericolosità** del fronte lapideo sorgente del crollo verificatosi in data 1 novembre 2021, ossia le relative condizioni di stabilità, e, conseguentemente, valutare le condizioni di **rischio** per le maestranze che dovranno essere impegnate nell'intervento di ripristino e consolidamento della galleria paramassi danneggiata dal citato crollo;
2. nel caso di pericolosità e rischio significativo, progettare: gli interventi che consentano di effettuare in sicurezza i citati interventi di ripristino e consolidamento; se necessario, opere atte ad integrare le strutture esistenti a protezione della S.P.37.

Occorre premettere che il vigente P.A.I. (*Piano per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana*) è molto esplicito sulle condizioni di stabilità del costone lapideo in argomento, nel quale viene identificato il **dissesto 038-6PM-012** (fig. 8). Inoltre, tutta l'area alla base del fronte roccioso, nella quale si sviluppa il tratto della S.P.37 in studio, viene identificata a **pericolosità molto elevata P4** (fig. 9). Il tratto della strada provinciale ricadente in tale area non protetto dalla galleria artificiale viene considerato a **rischio elevato R3**, mentre non viene segnalato rischio per la S.P.37 che si sviluppa all'interno della galleria paramassi proprio per la presenza dell'opera di difesa passiva. E', appena il caso di evidenziare che le previsioni del P.A.I. relative alla pericolosità trovano conferma nell'ingente frana del novembre 2021; quelle inerenti al rischio per il tratto della S.P.37 all'interno della galleria paramassi sono, invece, poco cautelative, visti i danni subiti dalla stessa galleria a seguito del crollo e i risultati del presente studio, su cui si riferisce nel seguito.

Progetto definitivo degli interventi di mitigazione del rischio geomorfologico per il tratto della SP 37 che si sviluppa lungo a galleria artificiale danneggiata dal crollo verificatosi in data 1 novembre 2021
R2 - Relazione geotecnica e di calcolo

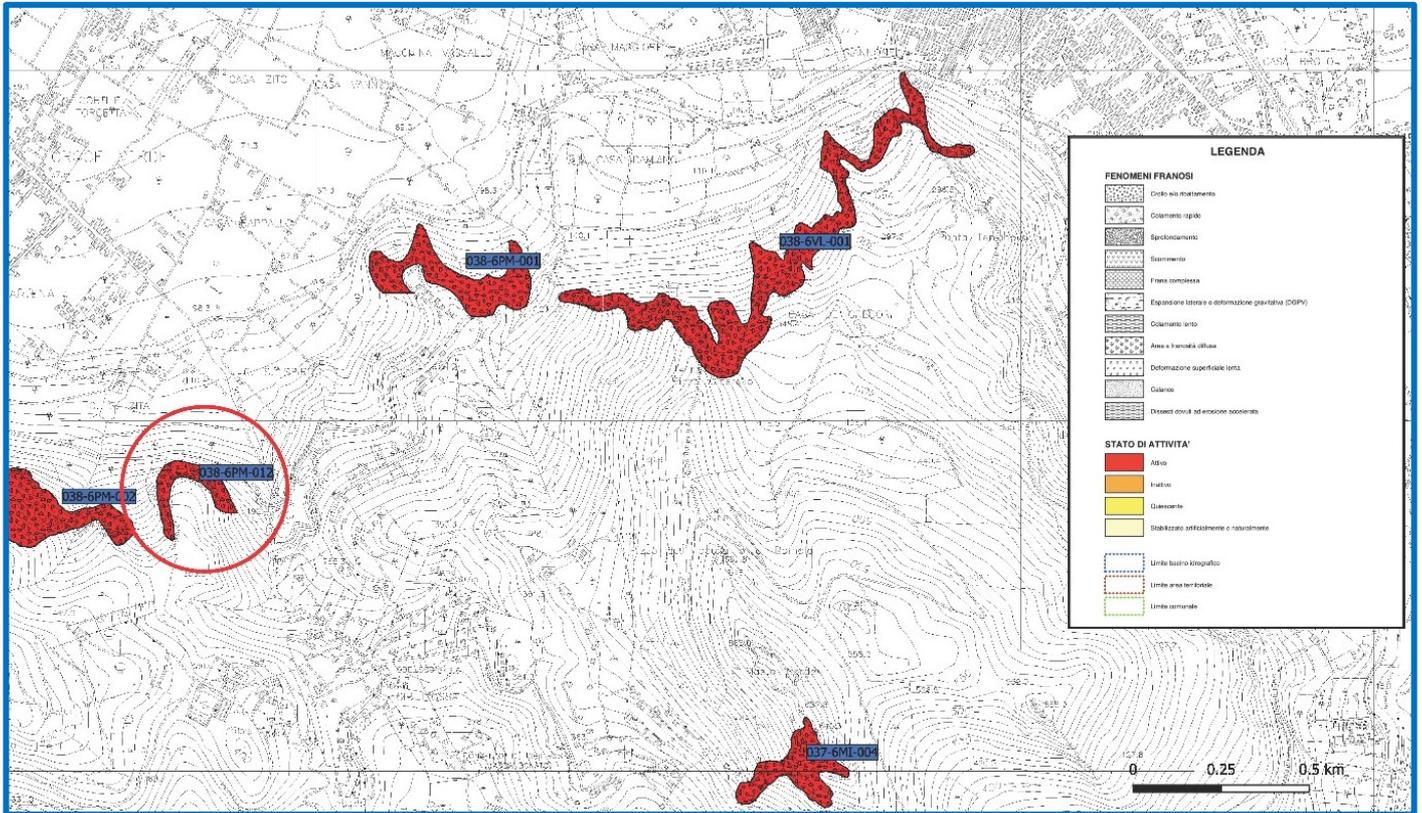


Fig. 8 - Stralcio della carta dei dissesti del P.A.I. n°595100

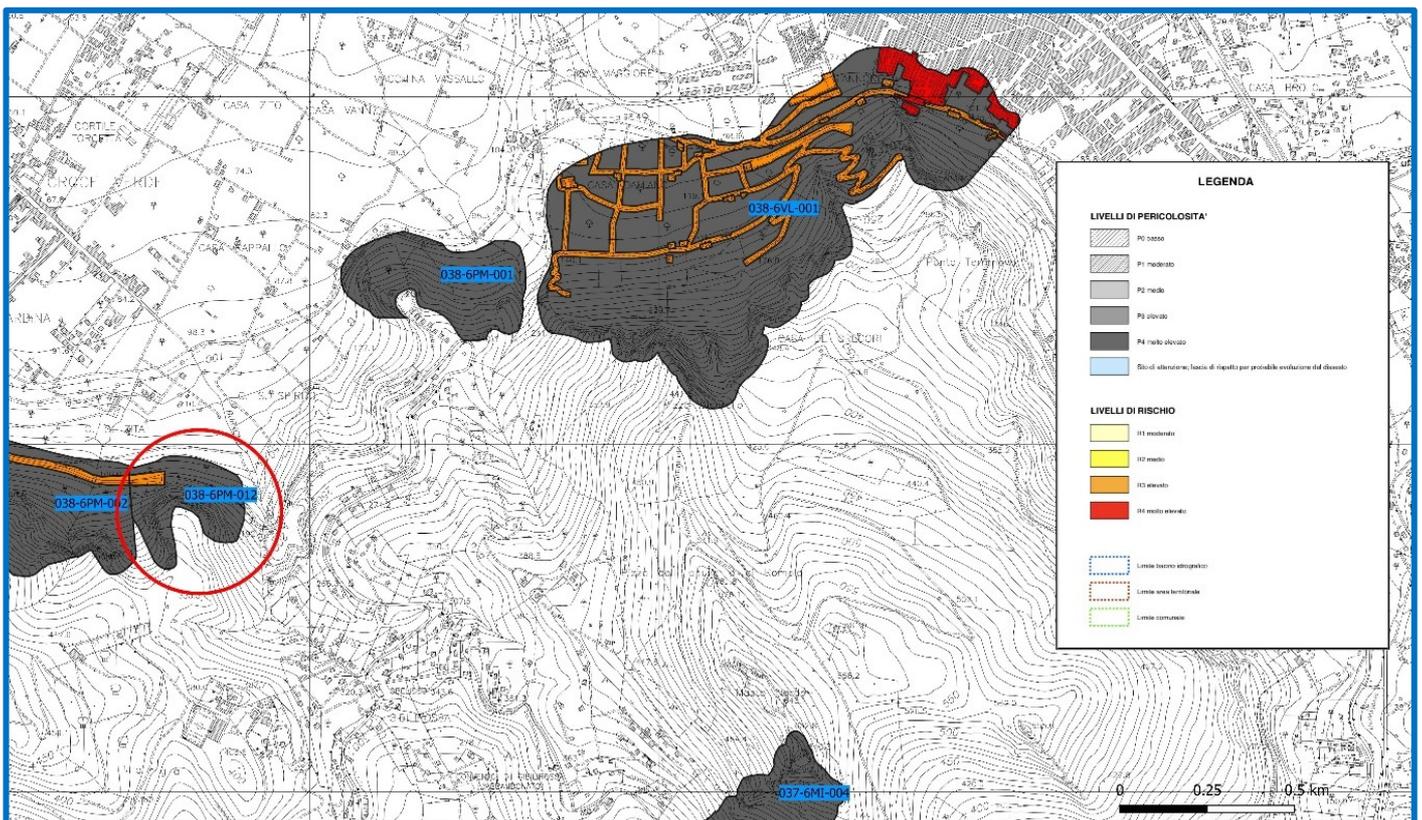


Fig. 9 - Stralcio della carta della pericolosità e del rischio del P.A.I. n°595100

In ogni caso, tenuto conto che le maestranze che saranno impegnate nei lavori di ripristino e consolidamento della galleria paramassi, comprensivi dell'asportazione del materiale crollato il giorno 1 novembre 2021 su di essa posizionato, opereranno all'esterno dell'opera di difesa passiva e/o, comunque, all'interno di un'opera significativamente danneggiata, sulla base di quanto sopra indicato risultano evidenti le condizioni di rischio elevato per gli operai in assenza di adeguati interventi da realizzare prima delle lavorazioni.

Evidentemente le previsioni del P.A.I. sono di carattere generale e non basate su una puntuale conoscenza dello stato dei luoghi né prima del crollo né dopo lo stesso, intendendo per "stato dei luoghi" le effettive condizioni di stabilità del costone roccioso in argomento. Per approfondire tale aspetto, occorre riferire dapprima sui fattori che determinano le frane da crollo e ribaltamento, quindi sui rilievi pianificati per risalire alle effettive condizioni di stabilità della parete carbonatica in studio.

Al cap. 3 si è evidenziato che, come la quasi totalità degli ammassi rocciosi, anche quello in affioramento nel costone lapideo in studio è interessato da una fitta rete di discontinuità di natura tettonica (giunti e faglie) e sedimentaria (piani di stratificazione), che ne condizionano le caratteristiche meccaniche e la stabilità. In particolare, il comportamento degli ammassi rocciosi fessurati è ben rappresentato dal "**modello rigido discontinuo**", in base al quale eventuali dissesti possono verificarsi per fenomeni di rottura lungo le discontinuità che individuano singoli blocchi disarticolati gli uni dagli altri e ciascuno dall'ammasso roccioso, come indicato in fig. 10.

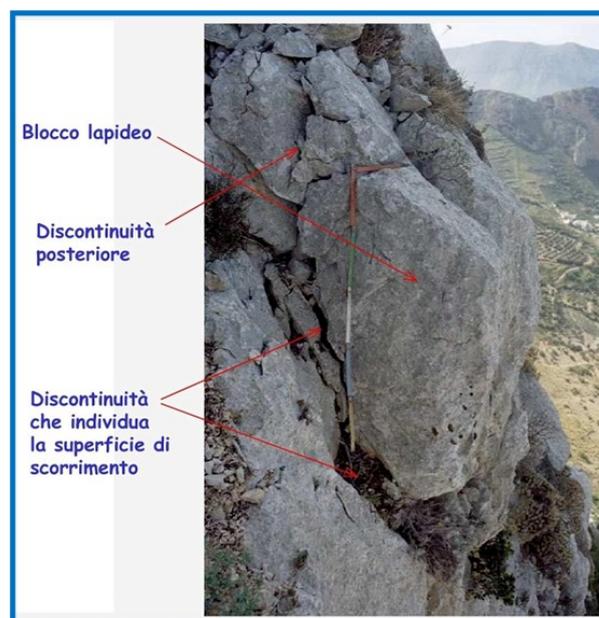


Fig. 10 - Blocco lapideo delimitato da superfici di discontinuità

I possibili cinematismi dei massi dipendono dall'orientazione delle superfici di discontinuità che li delimitano in relazione a quella del fronte roccioso sul quale sono ubicati. Le possibilità meccaniche dipendono dalle forze agenti sui blocchi, tra le quali si citano la forzante sismica, la spinta dell'acqua di saturazione del materiale che talora si trova all'interno delle superfici di discontinuità e la forza di attrito che dipende dalla resistenza al taglio della roccia lungo i giunti.

Infine, la scelta della tipologia di un intervento di mitigazione del rischio geomorfologico (passivo, attivo, misto) e l'entità delle forze stabilizzanti da trasmettere agli elementi lapidei in equilibrio instabile per assicurarne la stabilità con opportuno coefficiente di sicurezza sono funzioni, oltre che del meccanismo di rottura, anche delle dimensioni dei blocchi rocciosi.

In definitiva, soltanto con rilievi puntuali e specifici è possibile acquisire tutte le informazioni indispensabili per individuare le condizioni di stabilità di un fronte lapideo e per la progettazione e per il dimensionamento degli interventi di consolidamento e/o di difesa passiva dei manufatti che si intende salvaguardare. Di conseguenza, lo studio degli ammassi rocciosi fessurati si articola per fasi successive:

1. rilievo fotografico e topografico con sistema SAPR (*Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto*, nome tecnico del drone) dell'area in studio e restituzione di un modello 3D;
2. ispezione diretta dei fronti rocciosi in cui si è reso necessario approfondire i dati acquisiti con il drone e rilievo geometrico e geostrutturale dei blocchi in equilibrio instabile;
3. elaborazione dei dati acquisiti in sito, comprendente: la caratterizzazione geostrutturale dell'ammasso roccioso; la definizione dei possibili cinematismi relativi ai blocchi in equilibrio instabile e le conseguenti verifiche di stabilità;
4. scelta della tipologia di intervento e relativo dimensionamento.

Sulla base delle considerazioni sopra illustrate, è stato pianificato dallo scrivente il programma dei rilievi e delle indagini, affidati dall'Amministrazione a professionisti competenti, su cui si riferisce nel capitolo seguente; i risultati ottenuti, elaborati dallo scrivente, sono stati posti a base della valutazione delle attuali condizioni di stabilità del fronte roccioso in studio (cap. 8) e della scelta e del dimensionamento degli interventi previsti (cap. 9).

6 - RILIEVI ED INDAGINI

6.1 Generalità

Al fine di acquisire tutti gli elementi indispensabili per gli approfondimenti di carattere geologico, geotecnico e geomeccanico e per individuare e dimensionare gli interventi da porre in opera per la mitigazione del rischio geomorfologico per la zona a valle del costone sorgente del crollo del 1 novembre 2021, nella quale ricade il tratto della S.P.37 in studio, sono stati eseguiti i rilievi e le indagini appresso elencati:

1. **rilievo foto/topografico mediante l'utilizzo di S.A.P.R.**, finalizzato alla acquisizione del modello tridimensionale dei luoghi, eseguito dall'ing. Antonino Barone;
2. **ispezioni in parete** dei fronti lapidei effettuate con metodi di progressione su corda da rocciatori coordinati dal geol. Angelo Leotta, con individuazione di blocchi in equilibrio instabile e relativi rilievi geometrici e geostrutturali;
3. **rilievo geostrutturale dell'ammasso roccioso** in varie stazioni di misura, con acquisizione delle caratteristiche delle superfici di discontinuità codificate dall'ISRM (*International Society of Rock Mechanics*), eseguite dal dott. Leotta sul fronte lapideo in argomento.

Sul rilievo con il sistema S.A.P.R. riferisce in una specifica relazione l'ing. Barone; i risultati acquisiti con le ispezioni e con il rilievo geostrutturale sono raccolti nella Relazione geomeccanica redatta dal dott. Leotta. Entrambi gli elaborati sono allegati al presente progetto.

6.2 Rilievo con sistema S.A.P.R.

Il rilievo foto/topografico è stato eseguito con il drone "*HIGHONE 4HSE PRO*", dotato di fotocamera *SONY Alpha 7R* con sensore full-frame da 35 mm (35,9 × 24 mm), 36,4 megapixel (effettivi), sensibilità iso 50-25600, obiettivo *Zeissfe 35mm f/2.8* e di Software di reality modeling *Contex Capture* della Bentley.

Mediante tale rilievo è stato acquisito il Modello Digitale del Fronte roccioso in studio (DTM); in particolare, nella fig. 11 si riporta il modello 3D ricavato dall'elaborazione della nuvola di punti acquisita con il drone.

Per ulteriori dettagli si rinvia alla citata relazione redatta dall'ing. Barone, allegata al presente progetto.



Fig. 11 - Modello 3D del fronte roccioso in studio

6.3 Ispezioni in parete

Le ispezioni sono state condotte da rocciatori coordinati dal dott. Leotta, che hanno operato con metodi di progressione su corda. Essi hanno individuato e rilevato n°8 elementi lapidei in equilibrio instabile, identificati con le sigle M1, ..., M8, di cui hanno fornito specifiche monografie contenenti la relativa ubicazione sul fronte roccioso, la documentazione fotografica, le dimensioni e indicazioni sui possibili cinematismi. Per ulteriori dettagli si rinvia alla Relazione geomeccanica citata.

6.4 Rilievo geostrutturale

Per l'analisi della stabilità di costoni lapidei fessurati è necessario conoscerne *la struttura orientata*: si tratta di ricostruire *il modello geomeccanico* dell'ammasso roccioso sorgente dei crolli, che consiste nell'individuare le *"famiglie"* di discontinuità in esso presenti. A tal fine si procede in situ con il cosiddetto rilievo geostrutturale dell'ammasso roccioso, mediante il quale si acquisiscono i dati di orientazione spaziale di un campione rappresentativo di discontinuità: ciascuna discontinuità, infatti, è univocamente posizionata nello spazio mediante due angoli (fig. 12), l'inclinazione α (*dip*) e l'azimut β (*dip direction*).

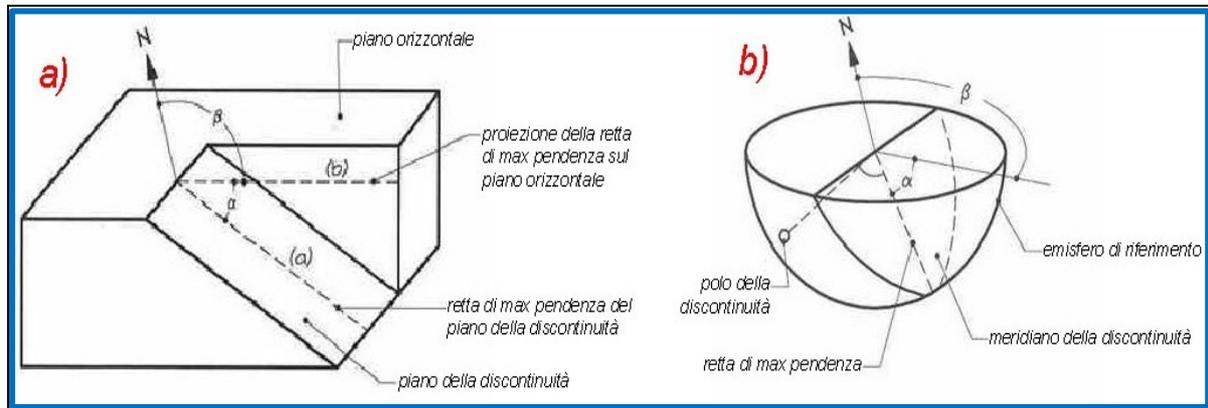


Fig. 12 - Orientazione delle discontinuità (Cafiso F., Corso di meccanica delle rocce – UNIPA)

Nel caso specifico, il dott. Leotta ha effettuato rilievi geostrutturali dell'ammasso roccioso in varie stazioni, misurando le caratteristiche di orientazione di n°117 superfici di discontinuità, i cui valori sono riportati nelle tabb. Ia e Ib. Inoltre, sono state rilevate le altre grandezze delle discontinuità indicate dall'ISRM (*International Society of Rock Mechanics*) secondo le prescrizioni indicate in "Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses" (Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 15, pp. 319-368, 1978) e, precisamente:

- l'apertura **a**, ossia la distanza tra le due pareti della medesima discontinuità;
- la spaziatura **s**, definita come la distanza tra due discontinuità consecutive subparallele;
- l'eventuale presenza e le caratteristiche del materiale di riempimento;
- la persistenza **p**, ossia la lunghezza della traccia della discontinuità sul fronte;
- la terminazione, che individua le caratteristiche delle estremità della traccia della discontinuità sul fronte;
- la resistenza del materiale che costituisce le pareti della discontinuità, che viene indicata con la sigla **JCS** ("Joint wall Compressive Strength");
- la scabrezza del profilo, misurata tramite il coefficiente **JRC** ("Joint Roughness Coefficient" – indice della scabrezza delle superfici delle discontinuità).

Progetto definitivo degli interventi di mitigazione del rischio geomorfologico per il tratto della SP 37 che si sviluppa lungo a galleria artificiale danneggiata dal crollo verificatosi in data 1 novembre 2021

R2 - Relazione geotecnica e di calcolo

N. discontinuità	α (°)	β (°)	S (cm)	P(m)	a (mm)	RUG	JRC	Riempimento	JCS	FILTRAZ	terminazione	FRONTE
1	87	233	53	7	6	7	3	inc	2	2	x	86/015
2	70	58	50	9	120	8	2	ass	3	2	x	
3	40	48	80	1,1	8	1	18	ass	3	2	d	
4	77	75	31	4	4	5	7	ass	3	2	x	
5	75	58	43	1,38	7	7	3	inc	3	2	d	
6	65	61	28	1,37	7	8	1	ass	3	2	d	
7	82	62	57	2,6	3	7	4	inc	3	2	x	
8	84	268	74	0,38	1	5	7	inc	3	2	d	
9	72	275	43	0,4	2	1	19	ass	3	2	d	
10	30	73	71	1,4	2	7	2	inc	3	2	d	
11	72	74	25	1,1	7	4	9	ass	3	4	x	
12	30	40	27	1,3	6	4	8	inc	3	2	d	
13	65	263	49	0,53	3	7	2	inc	3	3	d	
14	80	70	54	2,5	10	4	9	ass	3	3	x	
15	72	40	51	2,5	19	5	7	ass	3	3	x	
16	35	235	47	1,3	1	7	3	inc	3	2	d	
17	40	223	65	1,2	3	7	3	ass	3	4	d	
18	85	135	43	0,98	4	7	2	inc	3	2	d	
19	90	300	22	1,5	3	1	19	inc	3	2	x	
20	72	292	43	1,23	8	8	1	inc	3	3	d	
21	52	264	76	1,13	9	8	2	inc	3	3	x	84/020
22	88	63	77	4	9	4	9	inc	3	2	x	
23	67	140	41	0,9	3	4	8	ass	2	2	d	
24	70	120	33	1,07	6	4	9	inc	3	3	d	
25	47	330	37	1,57	3	7	3	inc	3	3	d	
26	54	329	38	0,8	1	7	4	inc	3	3	d	
27	38	328	90	20	3	7	4	cem	3	2	x	
28	34	348	59	20	2	7	2	ass	2	2	x	
29	84	92	79	3,4	4	2	15	inc	3	3	d	
30	72	30	63	3	5	1	20	inc	3	3	x	
31	75	14	41	1,42	20	7	3	inc	3	3	d	
32	62	100	33	0,52	11	1	18	ass	3	3	d	
33	70	120	17	1,43	5	5	7	ass	3	3	x	
34	47	158	47	1,18	2	2	15	ass	5	3	d	
35	34	358	50	1,8	1	7	3	inc	3	3	x	
36	57	245	31	0,7	1	7	4	ass	3	3	d	
37	80	240	51	7	5	8	1	inc	3	3	x	
38	35	333	84	1,43	2	8	1	ass	3	3	x	
39	62	58	51	1,63	18	8	2	inc	3	3	x	
40	35	13	1,83	1,67	22	6	5	inc	3	2	d	
41	58	234	167	1,62	8	7	3	ass	3	3	d	
42	88	48	57	2,1	30	5	7	ass	3	3	d	
43	86	83	108	12	30	8	1	ass	3	3	x	82/023
44	22	324	58	20	8	8	2	ass	3	3	x	
45	72	240	68	4	12	8	1	inc	3	3	x	
46	28	348	50	20	7	8	1	inc	3	3		
47	65	194	42	1,75	7	5	7	ass	3	3		
48	34	358	110	20	1	7	4	inc	3	3	x	
49	80	115	72	1,87	3	4	9	ass	3	2	d	
50	86	102	75	2,4	20	2	14	inc	3	3	x	
51	64	227	120	2,4	11	7	2	inc	3	3	x	
52	82	331	82	2,7	3	1	20	ass	2	2	d	
53	82	228	91	2,2	3	2	15	ass	2	3	d	
54	47	332	53	25	7	8	4	inc	3	3	x	
55	88	74	37	1,17	3	5	7	inc	3	3	x	
56	73	165	49	0,41	3	1	18	inc	3	3	d	
57	80	71	57	1,82	4	7	4	inc	3	3	x	
58	90	358	54	1,6	7	7	4	ass	3	2	d	
59	88	257	35	8	7	5	7	ass	3	3	x	
60	35	336	55	25	3	8	2	ass	3	3	x	
61	86	73	53	1,8	3	7	2	inc	3	4	x	
62	82	140	37	0,52	4	1	18	inc	3	3	d	

Tab. Ia - Risultati del rilievo geostrutturale

Progetto definitivo degli interventi di mitigazione del rischio geomorfologico per il tratto della SP 37 che si sviluppa lungo a galleria artificiale danneggiata dal crollo verificatosi in data 1 novembre 2021

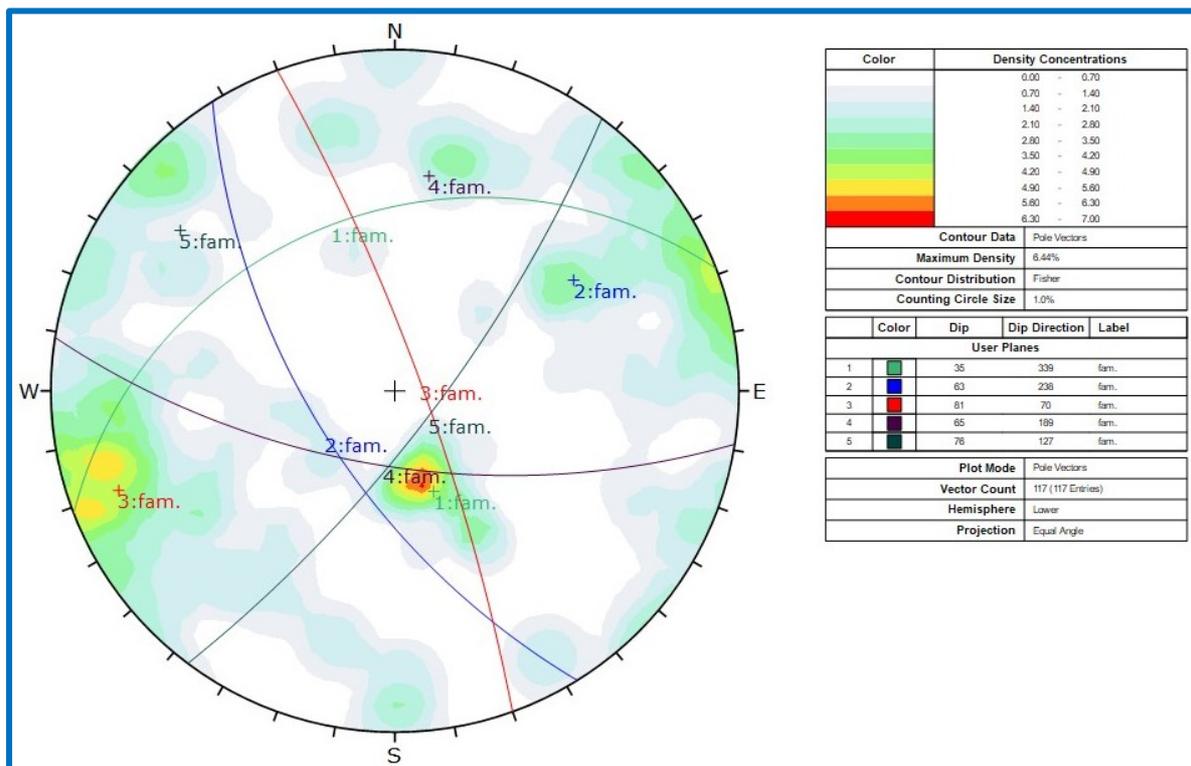
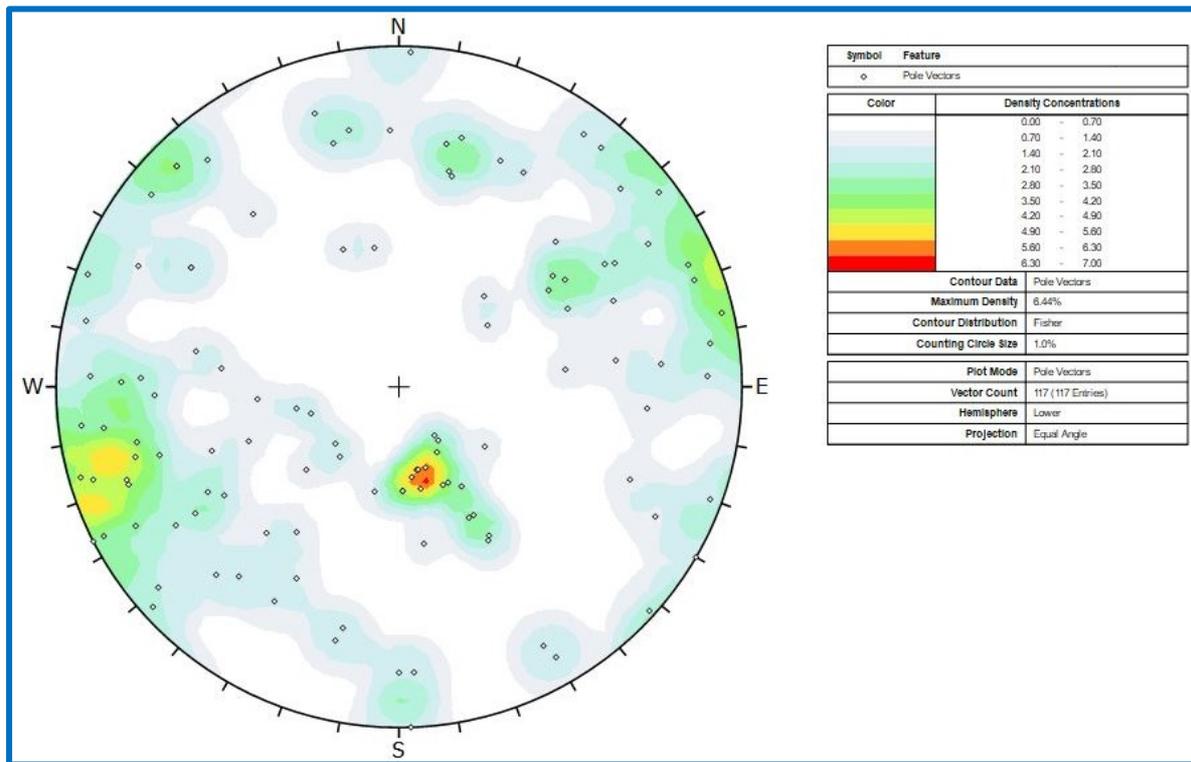
R2 - Relazione geotecnica e di calcolo

63	88	290	40	5	4	1	18	ass	3	3	x	86/345
64	74	194	30	0,88	1	4	8	cem	3	3	d	
65	89	182	61	1,77	1	7	4	ass	3	2	x	
66	88	110	81	15	12	7	3	inc	3	3	x	
67	28	48	200	5	3	8	2	inc	3	3	x	
68	66	193	37	2,5	30	5	8	ass	3	2	x	
69	80	297	49	1,78	3	7	4	ass	3	3	x	
70	68	248	55	0,97	0,5	5	6	cem	2	2	d	
71	34	78	108	2,5	3	7	4	inc	3	3	d	
72	28	342	80	25	3	8	2	ass	3	5	x	
73	72	210	52	1,8	1	8	2	inc	3	5	x	
74	78	91	73	3	3	7	4	cem	3	2	x	
75	28	347	74	1,7	2	8	2	ass	3	4	x	
76	50	351	82	3,3	3	5	7	inc	3	3	x	
77	74	92	47	1,18	2	7	2	ass	3	2	d	
78	71	88	101	15	8	8	1	inc	3	4	d	
79	80	357	49	1,7	10	4	10	ass	3	3	d	
80	25	330	70	25	1	7	4	cem	3	4	x	
81	76	78	53	2,7	3	5	7	ass	2	2	x	
82	74	178	67	2,7	1	5	7	inc	2	2	d	
83	34	305	500	2,5	7	8	2	inc	3	6	x	80/330
84	72	204	250	2	20	2	14	ass	3	3	d	
85	89	312	200	5	40	1	19	ass	3	3	x	
86	85	128										85/216
87	75	265										
88	65	28										
89	85	220										
90	80	0										
91	85	247										
92	55	237										
93	60	237										
94	85	330										
95	90	63										
96	50	70										
97	70	239										
98	55	35										
99	75	44										
100	85	135										
101	85	50										
102	20	324										
103	85	262										
104	75	169										
105	82	82										
106	85	216										
107	85	250										
108	80	163										70/191
109	72	191										
110	30	352										
111	60	71										
112	60	42										
113	55	330										
114	45	170										
115	45	85										
116	72	13										
117	55	96										

Tab. Ib - Risultati del rilievo geostrutturale

I dati relativi alle discontinuità rilevate sono stati, quindi, elaborati statisticamente utilizzando le proiezioni emisferiche, individuando, in tal modo, il numero e le caratteristiche di orientazione delle principali famiglie di discontinuità presenti nell'ammasso roccioso, come indicato nelle figg. 13 e 14. Nella prima è rappresentato il cerchio equatoriale di Wulf con i poli delle discontinuità rilevate e le curve isofrequenziali, che contornano le aree del diagramma ove ricadono fissate percentuali di poli. Nella fig. 14, oltre le curve isofrequenziali sono riportati i meridiani rappresentativi delle famiglie di discontinuità presenti nell'ammasso roccioso, i cui valori medi statistici di α e β corrispondono alle coordinate dei baricentri delle curve

di isodensità a massima frequenza.



Figg. 13 e 14 - Elaborazione statistica delle misure di orientazione

In definitiva, è risultato che nel costone lapideo in studio sono presenti n°5 famiglie di discontinuità, i cui valori medi statistici di orientazione sono pari a: $\alpha_1 = 35^\circ$, $\beta_1 = 339$; $\alpha_2 = 63^\circ$, $\beta_2 = 238$; $\alpha_3 = 81^\circ$, $\beta_3 = 70$; $\alpha_4 = 65^\circ$, $\beta_4 = 189$; $\alpha_5 = 75^\circ$, $\beta_5 = 127$.

7 - STATO DI FATTO

7.1 Generalità

Le effettive condizioni di stabilità del costone lapideo in studio sono state dedotte attraverso l'elaborazione dei dati acquisiti con le indagini e i rilievi illustrati nel capitolo precedente. Di seguito si riferisce, dapprima, sul crollo verificatosi in data 1 novembre 2021 sulle sue cause; nel capitolo successivo si presenta il modello geotecnico, riguardante le condizioni di stabilità del fronte lapideo, evidenziando le conseguenti condizioni di rischio geomorfologico sia per le maestranze che dovranno riparare la galleria paramassi danneggiata, sia per la stessa S.P. 37 nel tratto in cui essa si sviluppa alla base del fronte lapideo ma senza la protezione della galleria (estremità lato Palermo), ma anche laddove la strada provinciale corre all'interno dell'opera di difesa passiva, come appresso evidenziato.

7.2 Crollo del giorno 1 novembre 2021

Al crollo verificatosi il giorno 1 novembre 2021, già visibile nelle figg. 3, 4 e 11, si riferiscono le foto delle figg. 15, ..., 18.

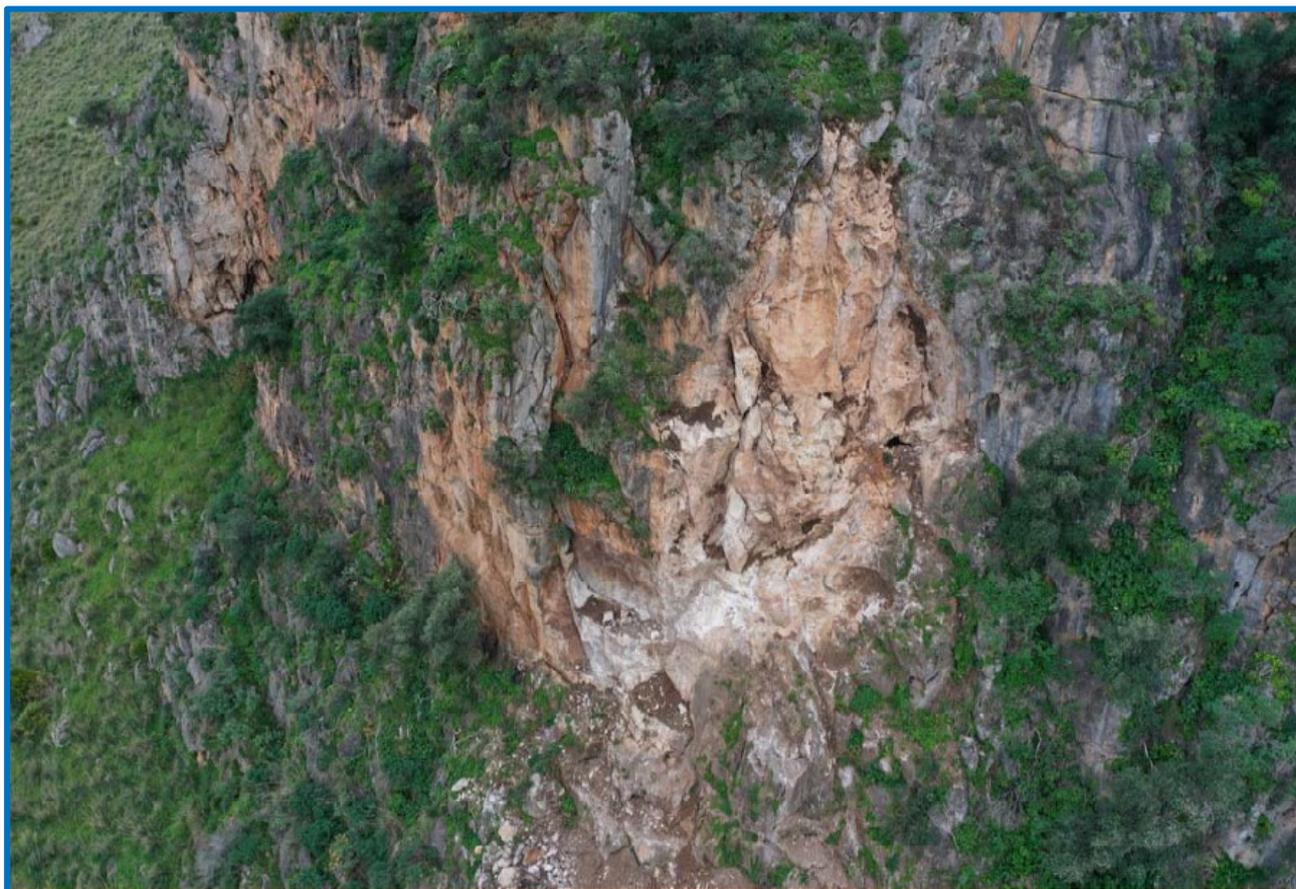
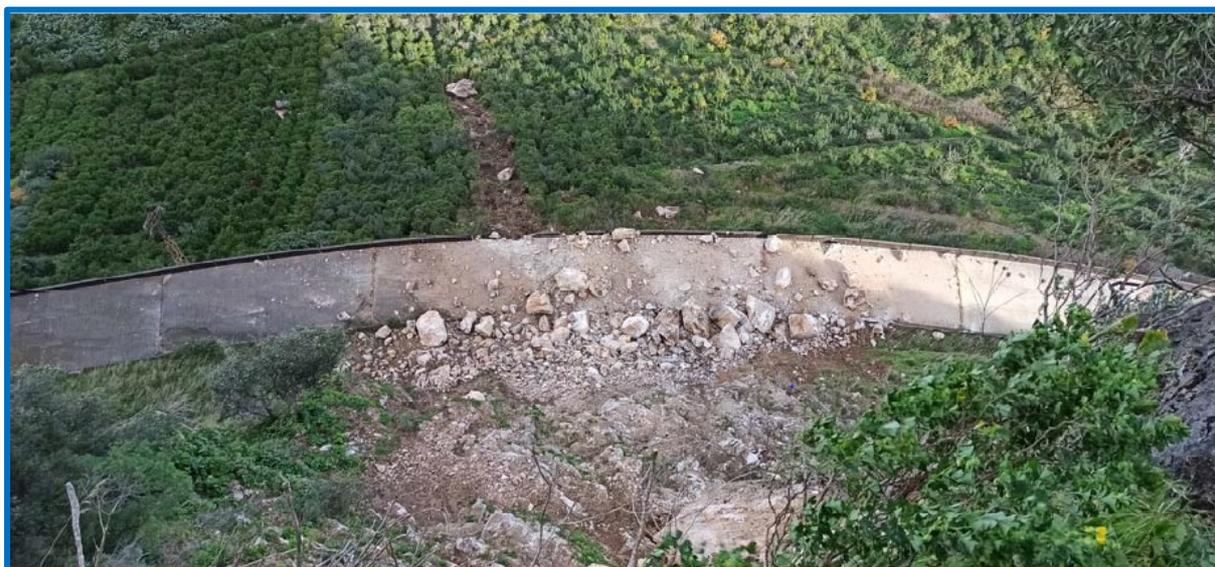


Fig. 15 - Nicchia di distacco dell'elemento lapideo crollato il 1 novembre 2021

In particolare, in fig. 15 è visibile la nicchia di distacco dell'elemento lapideo crollato, caratterizzata da un'altezza massima pari a 25 m, una larghezza massima pari a 12 m e uno spessore massimo di circa 7 m (misure acquisite elaborando il rilievo effettuato con il drone), per un volume complessivo massimo pari a 2.100 m³. Per quanto il volume della roccia realmente crollata sarà un po' inferiore a quello innanzi indicato (ottenuto con riferimento alle dimensioni massime del vuoto lasciato dall'elemento lapideo), verosimilmente è superiore a circa 1.500 m³.



Figg. 16 e 17 - Materiale crollato depositatosi sulla galleria paramassi e a valle della stessa



Fig. 18 - Particolare del materiale crollato depositatosi sulla galleria paramassi

L'elemento lapideo, probabilmente costituito da singoli blocchi, ha subito un fenomeno di rottura di tipo complesso, quasi certamente causato dal ribaltamento (*toppling*) di singoli massi che ne costituivano la base, che nel loro spostamento hanno coinvolto l'intero elemento lapideo, divenuto privo dell'appoggio al piede. In ogni caso l'elemento lapideo, distaccatosi da un'altezza media di 60 m rispetto alla sommità della galleria paramassi (quota del baricentro della nicchia di distacco), prima di raggiungere l'opera di difesa passiva, ha impattato più volte sulla fascia del costone roccioso compresa tra la nicchia di distacco e la S.P. 37, dove è rimasto parte del materiale crollato, come si evince dalle figg. 15 e 16. Del resto, se l'elemento lapideo fosse stato monolitico e avesse impattato direttamente sulla galleria, la sua energia, sarebbe stata pari a $W \times \Delta H = 2.430.000 \text{ kJ}$ e avrebbe distrutto completamente la galleria ($W = \gamma \times V = 27 \times 1.500 = 40.500 \text{ kN}$ = peso dell'elemento lapideo; $\gamma = 27 \text{ kN/m}^3$ = peso dell'unità di volume della roccia calcarea, $\Delta H = 60 \text{ m}$ = differenza di quota tra il baricentro dell'elemento lapideo e la soletta della galleria paramassi).

Si rileva, infine, che alcuni massi sono andati ben più a valle della galleria artificiale, come si evince dalle figg. 16 e 17 e, soprattutto, dalla fig. 3, nella quale è visibile un

grosso blocco distante un centinaio di metri dalla galleria e la relativa traccia lasciata sul terreno.

L'impatto dei blocchi ha danneggiato sensibilmente la galleria paramassi; rinviando allo specifico progetto di consolidamento e ripristino a cura di altro professionista per i dettagli, in questa sede ci si limita a commentare le figg. 19, ..., 24.

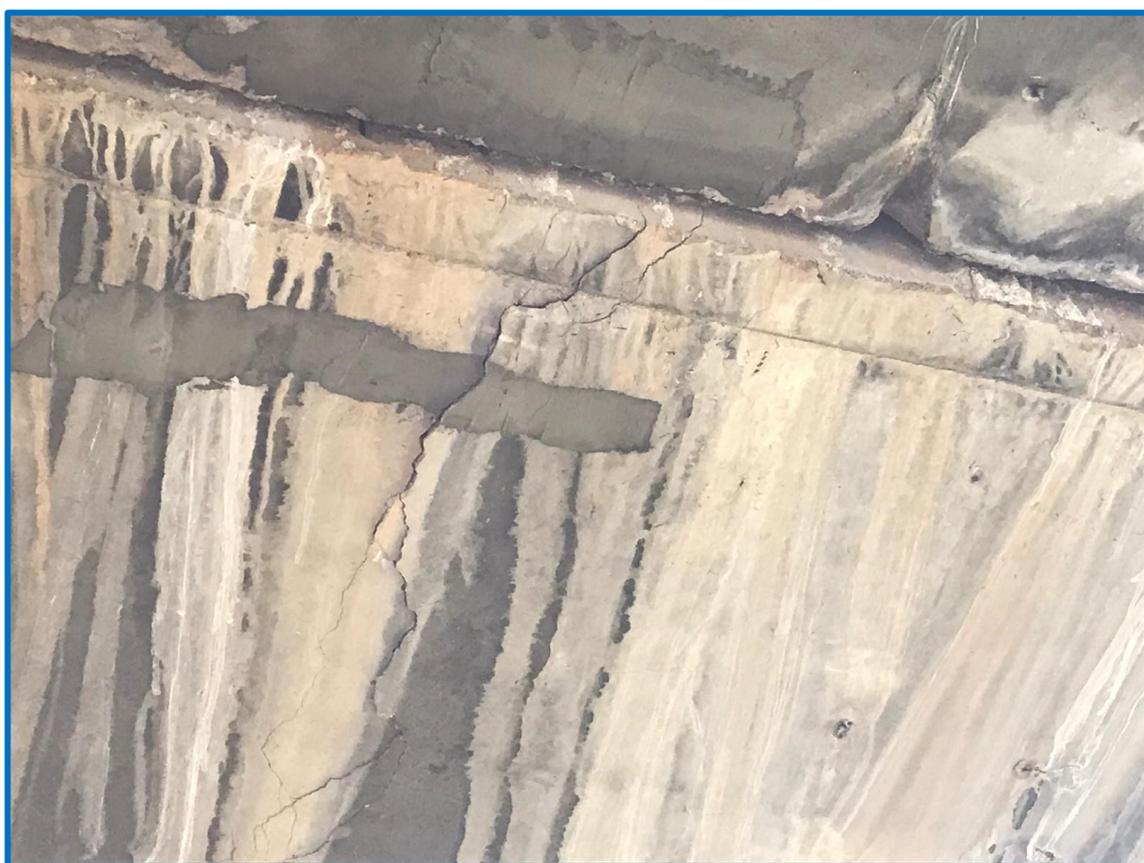


Fig. 19 - Tratti distrutti della soletta di copertura

Come si evince dalle foto citate, all'incirca per un tratto di 40 m le strutture della galleria paramassi hanno subito danni significativi non soltanto in corrispondenza della soletta di copertura, ove è avvenuto l'impatto dei blocchi, ma anche nei pilastri che la sostengono sul lato di valle. In particolare, nel tratto ove è avvenuto l'impatto con il maggior quantitativo di materiale la soletta è stata in parte distrutta (figg. 19, 20 e 21), mentre in corrispondenza dei tratti di estremità della zona di impatto essa ha subito uno spostamento verso valle e si è lesionata (figg. 22 e 23). Diversi pilastri presentano lesioni a 45° (figg. 21 e 24) e le strutture di quelli in prossimità dell'impatto principale hanno anche subito una traslazione relativa (fig. 24).



Figg. 20, 21 - Tratti distrutti della soletta di copertura e lesioni nei pilastri di sostegno



Figg. 22 e 23 - Spostamento di un concio di soletta e lesioni



Fig. 24 - Traslazione verso valle della parte superiore di un pilastro rispetto a quella inferiore

Per concludere si citano le figg. 25 e 26, riprese orientativamente dalla medesima angolazione, nelle quali è visibile il costone lapideo in studio prima del crollo in argomento e nella attuale configurazione dei luoghi: l'elemento lapideo prima del crollo e la nicchia lasciata dopo il fenomeno franoso sono indicati in rosso.



Fig. 25 - Configurazione dei luoghi prima del crollo verificatosi in data 1 novembre 2021

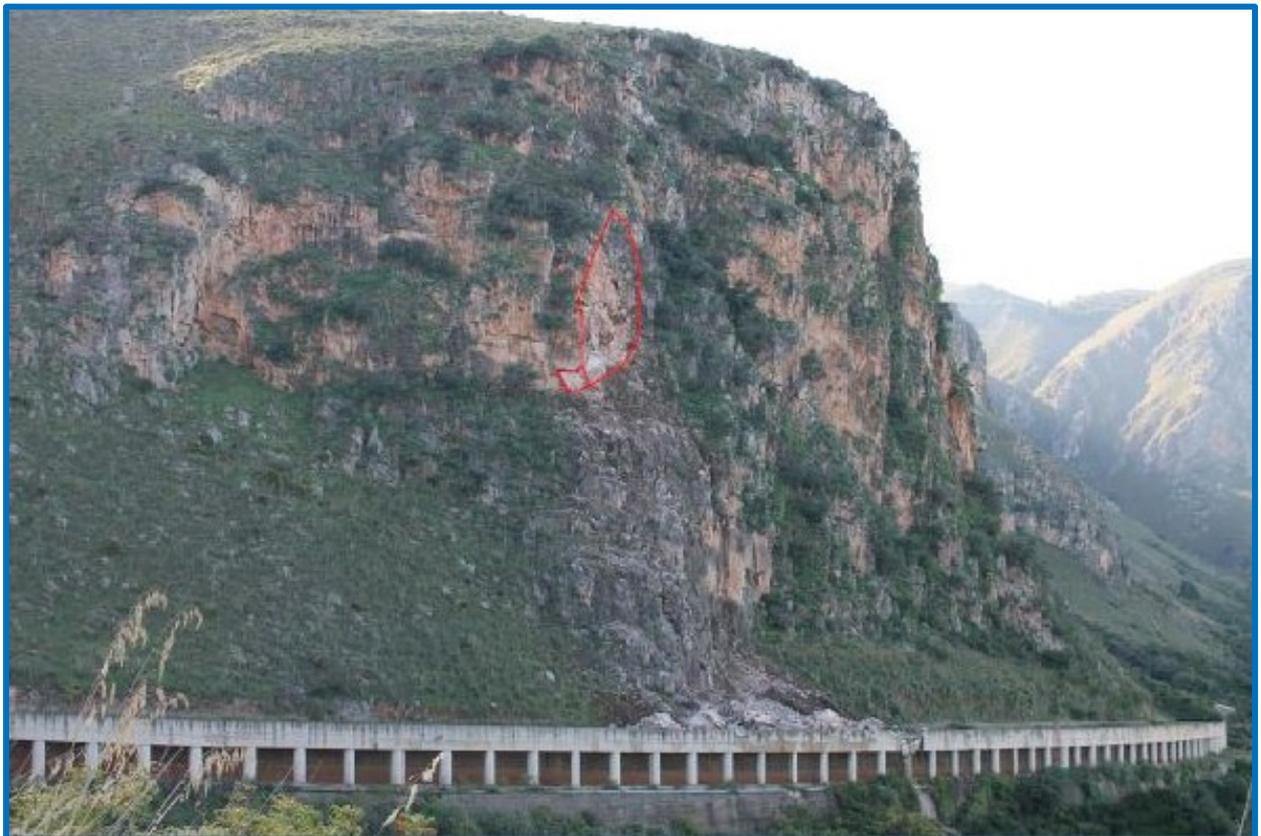


Fig. 26 - Attuale configurazione dei luoghi

7.3 Cause del crollo del giorno 1 novembre 2021

La principale causa predisponente al fenomeno franoso è costituita dalla suscettibilità del costone carbonatico in studio ai fenomeni di rottura; tale suscettibilità dipende dalla struttura dell'ammasso roccioso, nel quale sono presenti n°5 famiglie di discontinuità che, come evidenziato in dettaglio nel paragrafo seguente, rendono cinematicamente possibili fenomeni di *toppling* e di *sliding*.

Per quanto riguarda le cause di innesco (scatenanti), si è fatto riferimento alle principali forzanti destabilizzanti che possono agire improvvisamente sui blocchi lapidei: il sisma e la spinta esercitata dall'acqua di saturazione del materiale di riempimento delle discontinuità.

Dalla consultazione dell'INGV è risultato che nei giorni precedenti il crollo si sono verificati n°3 eventi sismici (fig. 27) nella zona epicentrale Tirreno Meridionale (costa Settentrionale della Sicilia):

- evento registrato in data 13/10/21 con una magnitudo 2,4 ad una profondità di 10 km;
- evento registrato in data 18/10/21 con una magnitudo 2,6 ad una profondità di 1 km;
- evento registrato in data 24/10/21 con una magnitudo 2,4 ad una profondità di 5 km;

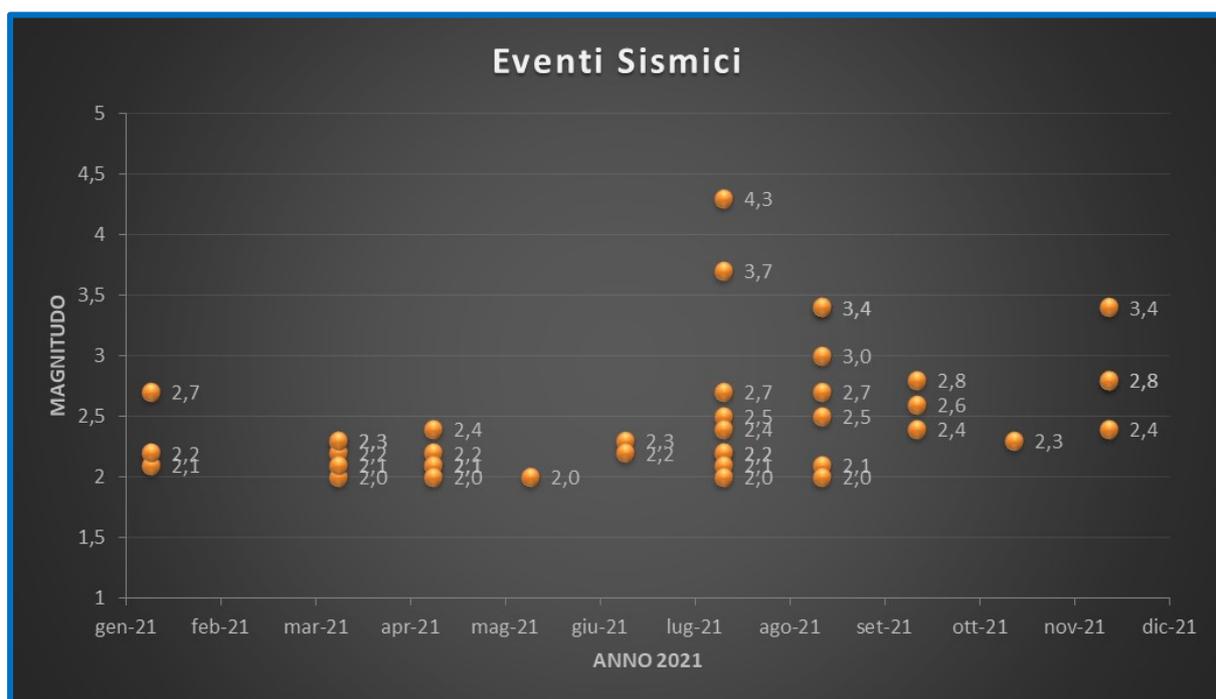


Fig. 27 - Eventi sismici catalogati dall'INGV nel Tirreno meridionale (costa settentrionale della Sicilia)

Si tratta di tre eventi sismici con una magnitudo molto bassa; pertanto, non è possibile concludere che siano stati la causa di innesco del crollo del 1 novembre 2021, ma potrebbero avere influito nella predisposizione all'evento franoso.

Più significativa, ai fini della individuazione della causa che ha innescato il crollo in studio, è risultata l'analisi dei dati pluviometrici effettuata in corrispondenza delle tre stazioni più vicine all'area in studio (Misilmeri, Monreale e Palermo), basata sui dati acquisiti dal SIAS. In particolare, sono stati presi in considerazione i dati pluviometrici relativi al mese di ottobre relativi all'ultimo ventennio (fig. 28).

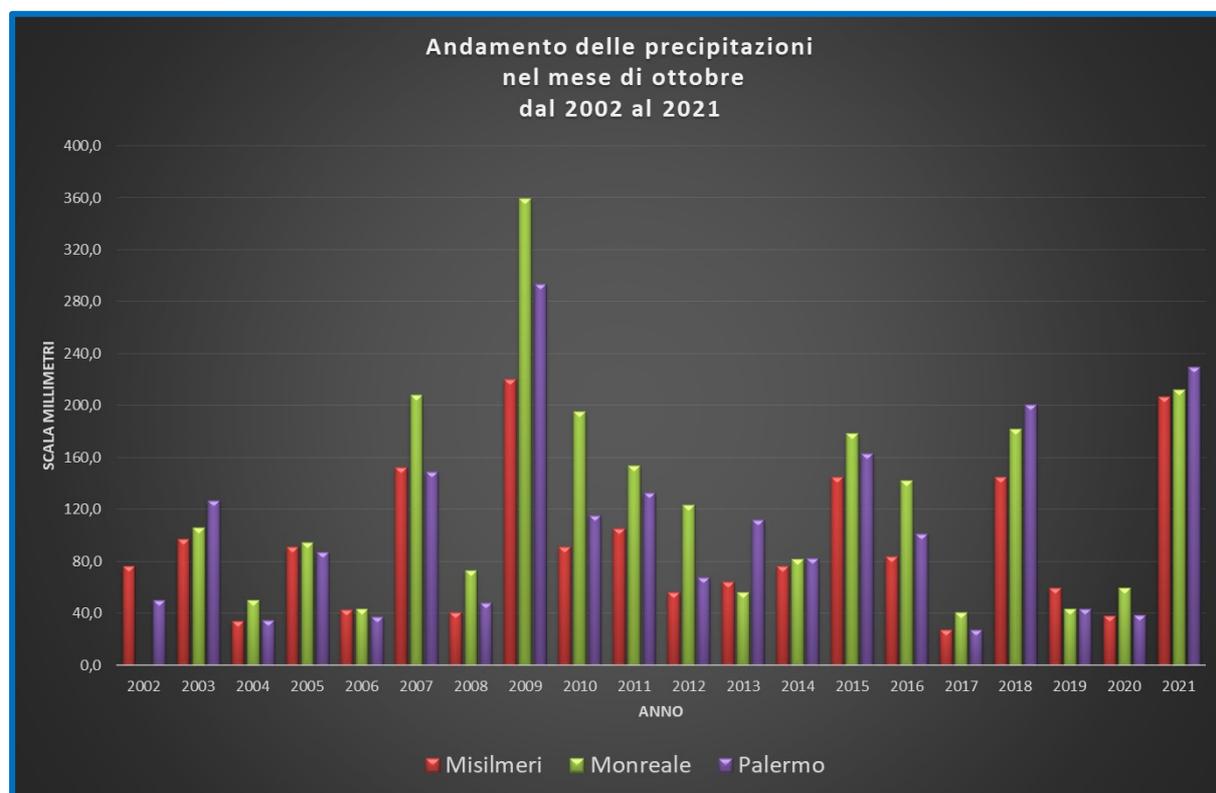


Fig. 28 - Istogrammi rappresentativi dell'intensità di pioggia relativa al mese di ottobre

Il dato relativo al mese di ottobre 2021 risulta molto significativo, sia in termini assoluti che statistici. Infatti, il valore assoluto della piovosità di ottobre 2021, superiore a 200 mm (Stazione di Palermo: 229,6 mm; Stazione di Misilmeri: 207,2 mm; Stazione di Monreale: 212,6), risulta molto elevato; ed ancora più significativo è il confronto con gli altri dati del campione, in quanto tale piovosità mensile è superata soltanto da quella registrata nel 2009 ed è pari a circa il doppio del valore medio del campione esaminato, pari a:

- 107,3 mm, per la Stazione di Palermo;

- 92,8 mm, per la Stazione di Misilmeri;
- 120,3 mm, per la Stazione di Monreale.

Solo per inciso si evidenzia che le straordinarie piogge dell'autunno 2009 provocarono in tutta la Sicilia Settentrionale gravissimi e diffusi eventi franosi, che causarono anche vittime (Giampileri e Scaletta Zanclea), la distruzione di interi quartieri e la perdita delle abitazioni per diverse centinaia di residenti (San Fratello, Caronia, Sfaranda, Ucria).

In definitiva, sulla base dell'analisi dei dati pluviometrici è possibile concludere che è assai possibile una relazione eziologica tra gli eventi meteorici parossistici verificatisi nell'ottobre 2021 e il crollo del giorno 1 novembre 2021.

8 - MODELLO GEOTECNICO

8.1 Condizioni di stabilità del costone lapideo in studio

Come già evidenziato nei capitoli 3 e 5, le pareti rocciose in argomento sono caratterizzate da litologie carbonatiche: la genesi delle rocce sedimentarie fa sì che in esse siano presenti superfici che interrompono la continuità della deposizione (piani di stratificazione). Inoltre, queste rocce sono state “*trasportate*” in luoghi differenti dai loro ambienti di formazione attraverso movimenti dovuti ai processi tettonici, che hanno contribuito alla formazione di ulteriori interruzioni della continuità interna alla roccia (giunti e faglie). Infine, nelle rocce possono esplicarsi processi di alterazione e degradazione, ad opera di agenti esogeni, che esaltano la presenza e gli effetti delle superfici di discontinuità.

Per tale ragione, nello studio di problemi di stabilità di versanti lapidei si fa riferimento al cosiddetto *ammasso roccioso*, inteso come matrice lapidea solcata da superfici di discontinuità (struttura). Queste ultime determinano un comportamento meccanico di tipo prevalentemente anisotropo e, per il fatto di essere spesso costituite da roccia degradata o riempite con materiale di scadenti proprietà di resistenza e deformabilità, costituiscono zone di debolezza meccanica dell'ammasso roccioso, in quanto in loro corrispondenza la roccia presenta resistenza a trazione bassa o nulla. In particolare, la presenza di superfici di discontinuità all'interno di un ammasso roccioso ne condiziona in maniera significativa il comportamento meccanico; infatti, esse, interagendo le une con le altre, gli conferiscono una configurazione “*a blocchi*” (fig. 10) come indicato nei capitoli precedenti. In tali condizioni, il comportamento a rottura

dell'ammasso roccioso è "rigido-discontinuo", ossia i fenomeni di rottura, riguardanti singoli massi indeformabili, possono verificarsi esclusivamente lungo le discontinuità. I possibili cinematismi dei blocchi lapidei dipendono dall'orientazione mutua tra i giunti presenti nell'ammasso roccioso, riconducibili a un numero limitato di "famiglie" principali, le cui caratteristiche di orientazione nello spazio sono legate alle vicissitudini geologiche che le hanno generato.

I cinematismi che i singoli blocchi possono subire sono evidenziati nella fig. 29, dove vengono posti in relazione ai diagrammi isofrequenziali ed ai meridiani rappresentativi delle superfici di discontinuità presenti nell'ammasso roccioso.

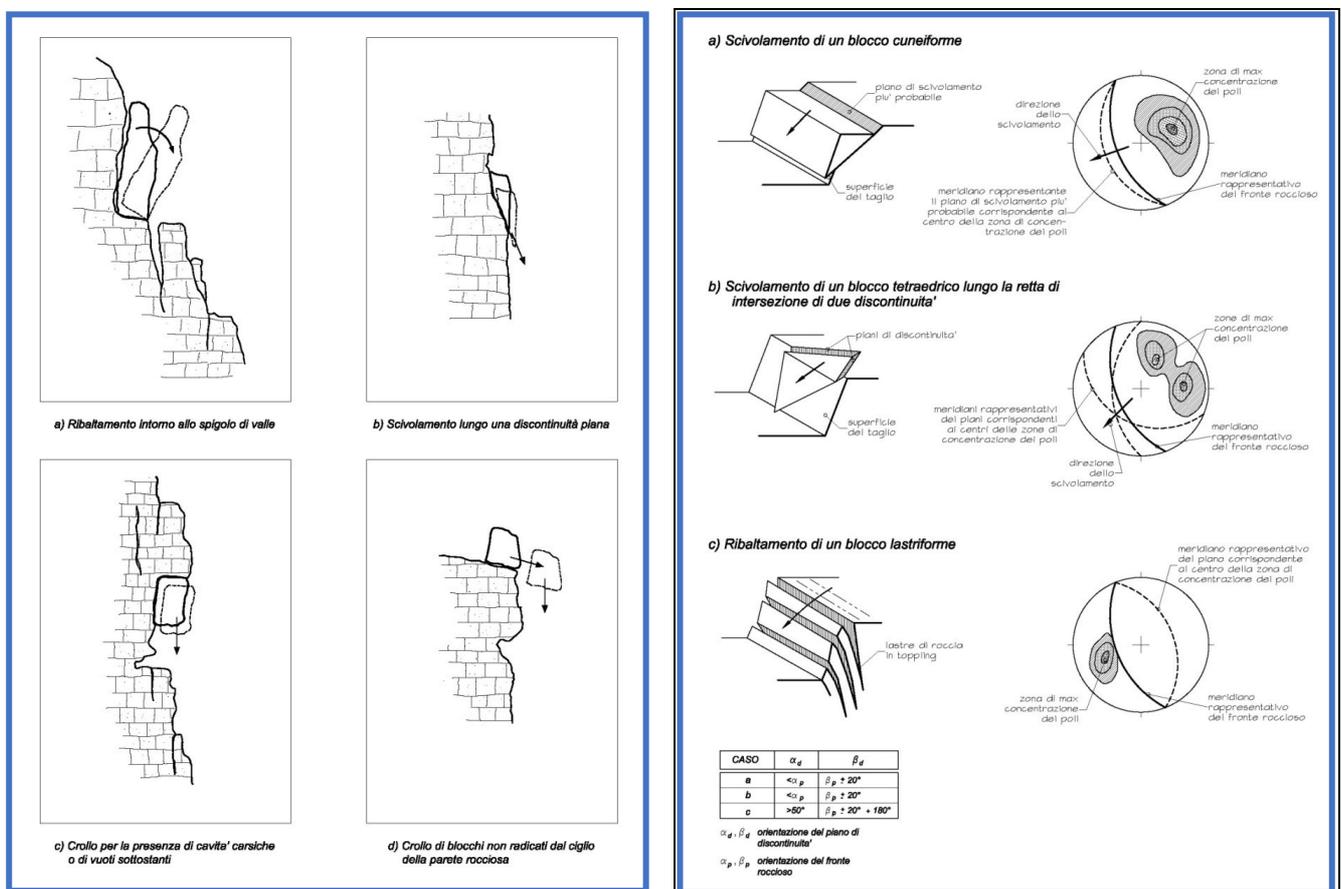


Fig. 29 - Cinematismi in relazione all'orientazione delle discontinuità rispetto al fronte

Va, tuttavia, specificato che in letteratura il cinematismo di "toppling" viene considerato soltanto nel caso in cui la forza peso sia squilibrante, come nel primo schema della fig. 30, fenomeno associato alla presenza di superfici di discontinuità subverticali, subparallele al fronte ed inclinate a "reggipoggio" rispetto al fronte medesimo. Nella realtà, per la presenza di altre forze squilibranti, quali la forzante sismica e/o la spinta dell'acqua di saturazione dell'eventuale materiale di

riempimento del giunto che delimita posteriormente il masso, anche superfici di discontinuità subverticali inclinate a “*franapoggio*” rendono cinematicamente e meccanicamente possibile il ribaltamento del masso (secondo schema di fig. 30).

Tale meccanismo è ancora più probabile in presenza di rocce con livelli meno cementati: in questi casi, infatti, i fenomeni di erosione selettiva sviluppati dagli agenti esogeni proprio in corrispondenza dei livelli meno resistenti possono determinare scavarnamenti sotto i blocchi, che rimangono in una configurazione “*a sbalzo*”, modificando l’azione della forza peso, al punto che il suo momento rispetto all’asse di rotazione diviene squilibrante (terzo schema di fig. 30).

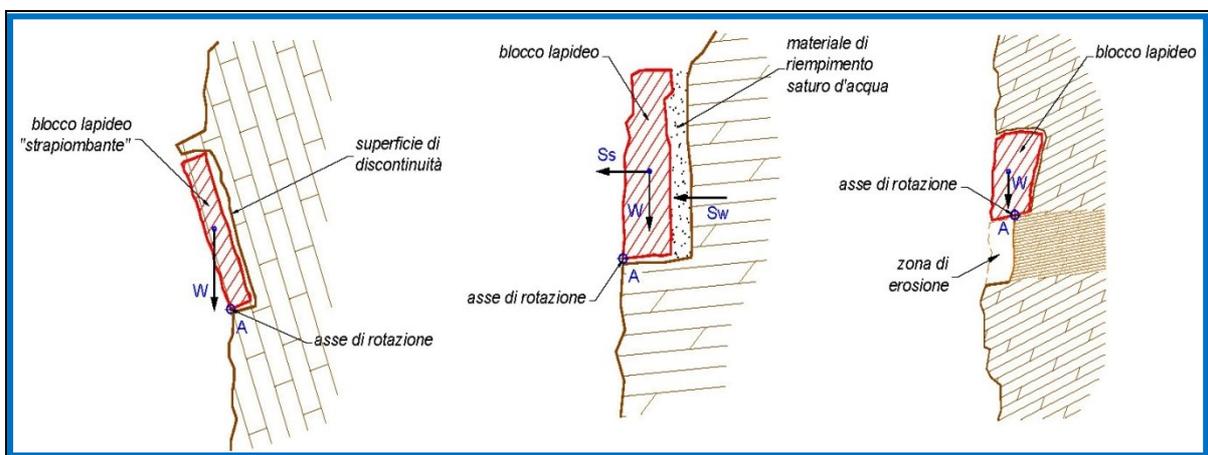


Fig. 30 - Toppling in ammassi rocciosi fessurati (Cafiso F. – Corso di geotecnica – UNIPA)

Inoltre, il cinematismo di scorrimento (*sliding*) può verificarsi lungo una superficie di discontinuità (*plane failure* - fig. 31) ovvero lungo la retta di intersezione di due giunti (*wedge failure* - fig. 32).

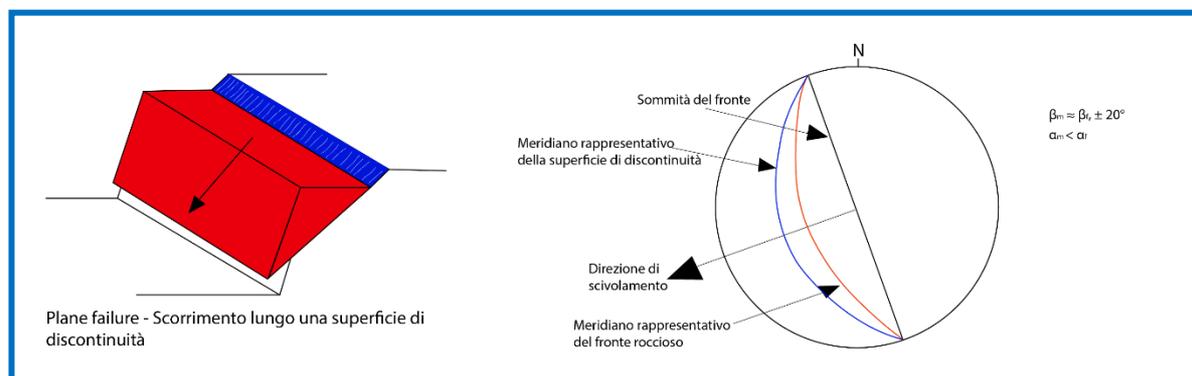


Fig. 31 - Cinematismo di plane failure

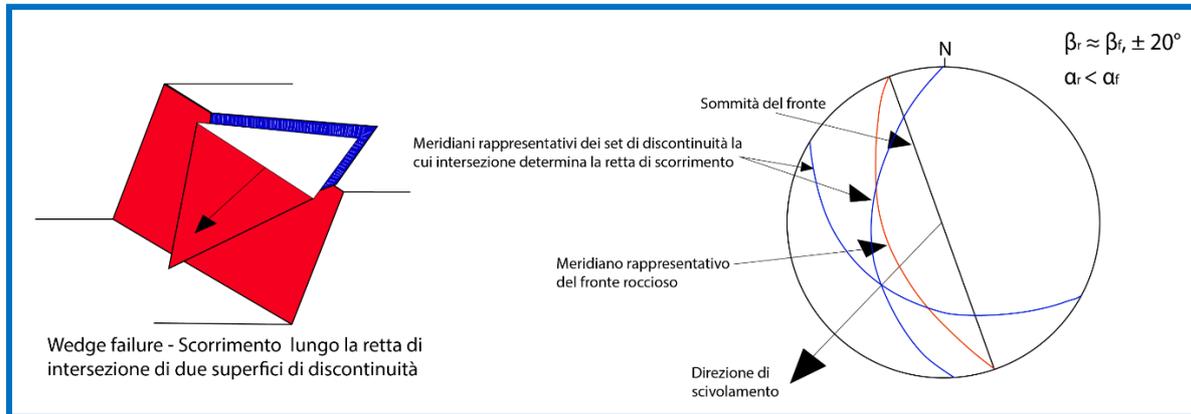


Fig. 32 - Cinematismo di wedge failure

Per quanto attiene il cinematismo di crollo, rigorosamente inteso come traslazione del masso lungo una discontinuità subverticale (*falling*), esso è possibile per i blocchi “a sbalzo”, privi delle base di appoggio; tale configurazione si può verificare per la presenza di cavità, per gli effetti dei citati fenomeni di erosione selettiva ovvero per il crollo del masso sottostante (schemi di fig. 33).

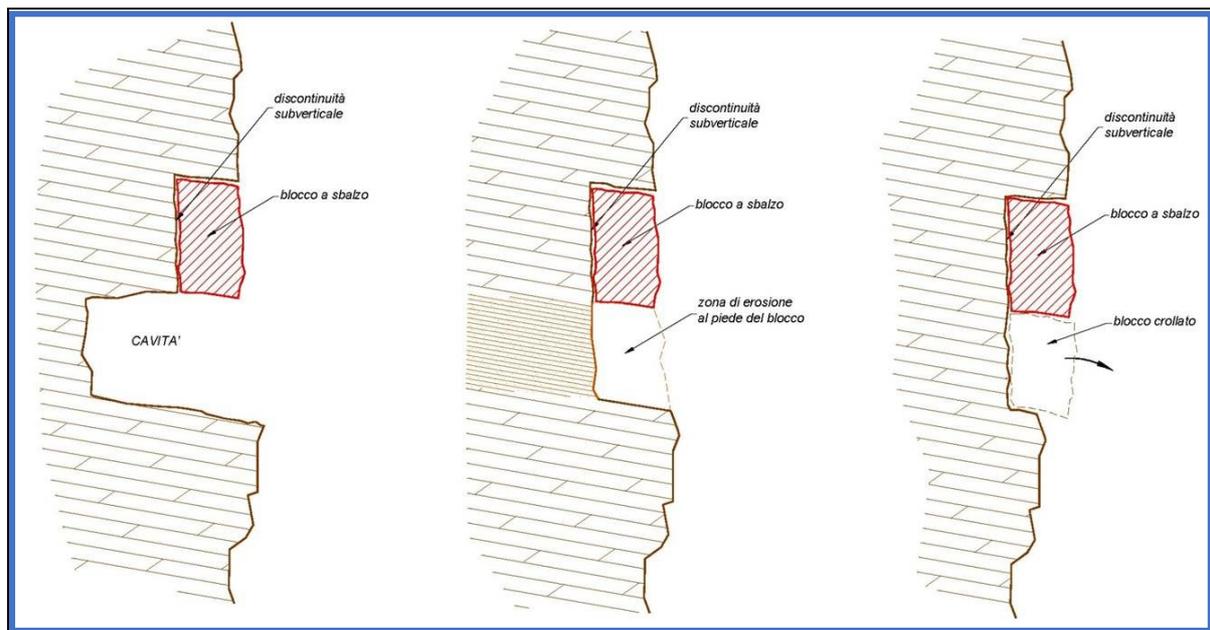


Fig. 33 - Falling in ammassi rocciosi fessurati (Cafiso F. – Corso citato)

Infine, nella tab. II sono evidenziate le possibilità cinematiche in funzione delle caratteristiche di orientazione delle discontinuità (con pedice *d*) rispetto a quelle del fronte (con pedice *f*), mentre con il pedice *r* si indicano le caratteristiche di orientazione della retta di intersezione di due giunti.

Cinematismo	Condizione cinematica
Sliding plane failure (fig. 31)	$\alpha_d \leq \alpha_f$; $\beta_d = \beta_f \pm 20^\circ$
Sliding wedge failure (fig. 32)	$\alpha_r \leq \alpha_f$; $\beta_r = \beta_f \pm 20^\circ$
Toppling da letteratura (fig. 30a)	$\alpha_d \geq 60^\circ$; $\beta_d = \beta_f \pm 180^\circ \pm 20^\circ$
Toppling non da letteratura (fig. 30b,c)	$\alpha_d \geq 75^\circ$; $\beta_d = \beta_f \pm 20^\circ$

Tab. II - Condizioni cinematiche

Nel caso specifico, per individuare i cinematismi possibili nel costone carbonatico in studio, i meridiani rappresentanti le n°5 famiglie di discontinuità presenti nell'ammasso roccioso individuate con il rilievo geostrutturale (v. paragrafo 6.4) sono stati messi a confronto, nel diagramma circolare di Wulf di fig. 34, con quelli rappresentativi dei n°3 differenti fronti che inviluppano il costone, caratterizzati dai parametri di orientazione appresso indicati:

- **fronte a:** $\alpha = 85^\circ$ $\beta = 325^\circ$ (tratto di costone lapideo che si affaccia a nord-ovest);
- **fronte b:** $\alpha = 85^\circ$ $\beta = 35^\circ$ (tratto di costone lapideo che si affaccia a nord);
- **fronte c:** $\alpha = 85^\circ$ $\beta = 70^\circ$ (tratto di costone lapideo che si affaccia a nord-est).

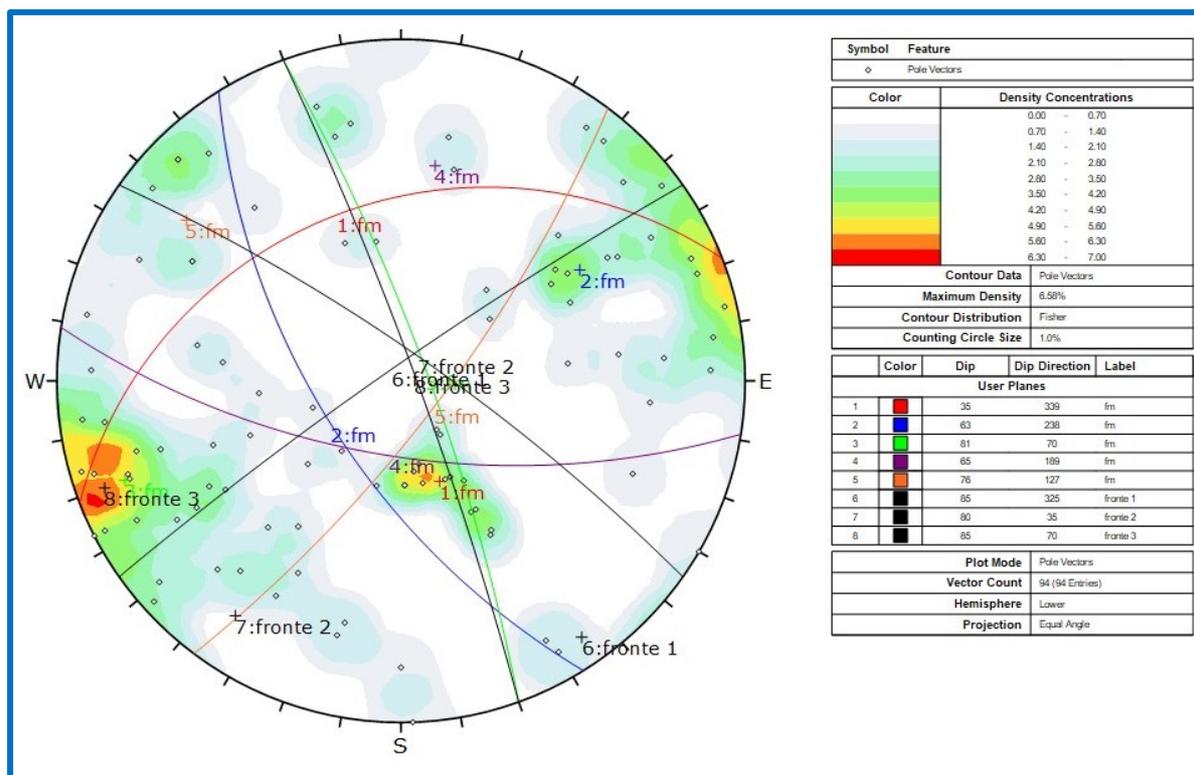


Fig. 34 - Stereogramma di Wulf con i meridiani rappresentativi delle famiglie di discontinuità e dei fronti

Tenendo conto delle condizioni cinematiche riportate nella tab. II, delle caratteristiche di orientazione dei n°3 fronti, innanzi indicate e dei parametri di orientazione delle n°5 famiglie di discontinuità, riportate nel paragrafo 6.4, nel costone lapideo in studio risultano possibili i cinematismi appresso evidenziati:

1. fronte a

- *sliding plane failure* (fig. 31), di blocchi cuneiformi o prismatici lungo i piani di stratificazione della famiglia 1;
- *toppling da letteratura* (fig. 30a) di elementi lapidei lastriformi delimitati posteriormente da giunti della famiglia 5.

2. fronte b

- *sliding wedge failure* (fig. 32), di blocchi tetraedrici lungo la retta di intersezione di superfici di discontinuità appartenenti alle famiglie 1 e 5;
- *toppling da letteratura* (fig. 30a) di elementi lapidei lastriformi delimitati posteriormente da giunti della famiglia 2.

3. fronte c

- *sliding plane failure* (fig. 31), di blocchi cuneiformi o prismatici lungo i piani di stratificazione della famiglia 3;
- *toppling da letteratura* (fig. 30a) di elementi lapidei lastriformi delimitati posteriormente da giunti della famiglia 2;
- *toppling non da letteratura* (fig. 30b, c) di elementi lapidei lastriformi delimitati posteriormente da giunti della famiglia 3.

In corrispondenza di tutti i fronti, inoltre, può verificarsi il *falling* di blocchi lapidei a sbalzo. Va rilevato che il *plane failure* sul *fronte a* e il *wedge failure* sul *fronte b* non sono meccanicamente possibili per via della modesta inclinazione del piano di scivolamento potenziale (35°) in relazione alla resistenza al taglio della roccia lungo le discontinuità. Tutti gli altri cinematismi sopra indicati, in presenza di particolari condizioni di carico (sisma; spinta dell'acqua di saturazione del materiale di riempimento presente nelle discontinuità) sono meccanicamente possibile e, pertanto, sul costone lapideo in argomento possono verificarsi fenomeni di rottura, come del resto avvenuto in data 1 novembre 2021 e come previsto nel P.A.I. che, come già osservato, individua una pericolosità P4 per il costone lapideo in argomento e per l'area in studio in generale.

8.2 Elementi lapidei in equilibrio instabile individuati nel costone lapideo

Le considerazioni precedentemente illustrate riguardanti i cinematismi e meccanismi di rottura possibili nel costone roccioso in studio e, quindi, la relativa pericolosità intesa come probabilità di crollo, trovano riscontro con quanto ottenuto mediante i rilievi effettuati con le ispezioni dirette dei fronti rocciosi e con il drone.

In particolare, come già anticipato al paragrafo 6.3, i rocciatori hanno individuato n°8 elementi lapidei in equilibrio instabile, ai quali sono state attribuite le sigle M1, ..., M8; ulteriori n°19 elementi lapidei in equilibrio instabile, identificati con le sigle B1, ..., B19, sono stati individuati dallo scrivente esaminando le immagini acquisite mediante il drone. Va rilevato che la ricerca ha riguardato massi di volume superiore ai 2 m³, in quanto il costone lapideo è puntellato da moltissimi blocchi di volume inferiore a quello innanzi indicato. Inoltre, si mette in evidenza che, nel caso dei gruppi di blocchi, le volumetrie complessive superano anche i 1.000 m³ e ciò è in linea con il fenomeno franoso del giorno 1 novembre 2021. Nella fig. 35 è indicata l'ubicazione dei n°27 elementi lapidei (costituiti da un unico blocco roccioso o da gruppi di massi) sul costone lapideo in studio; la diversa colorazione distingue gli elementi lapidei individuati con le ispezioni dirette (in giallo) e con il drone (in rosso).

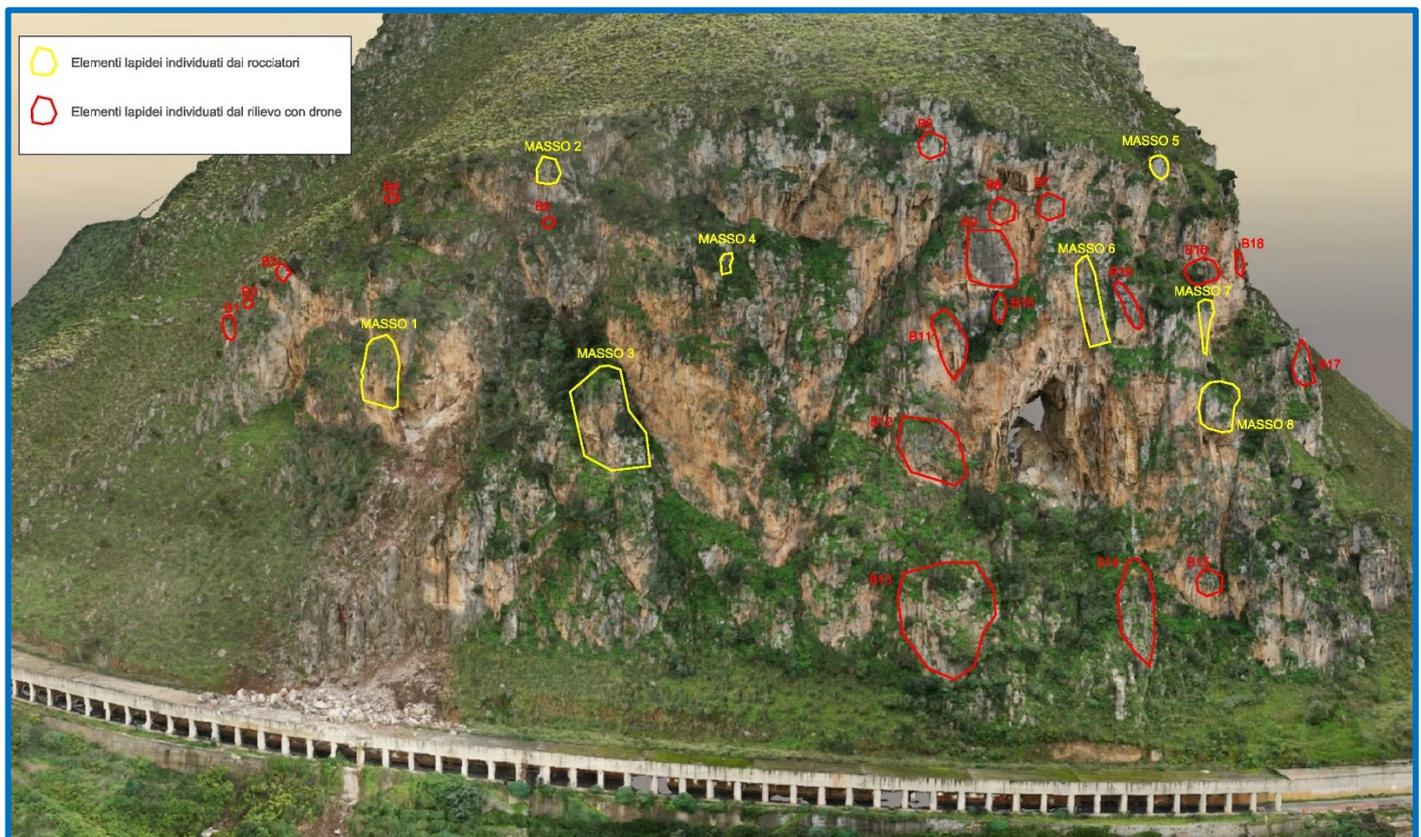


Fig. 35 - Ubicazione degli elementi lapidei di volume superiore a 2 m³ sul costone roccioso

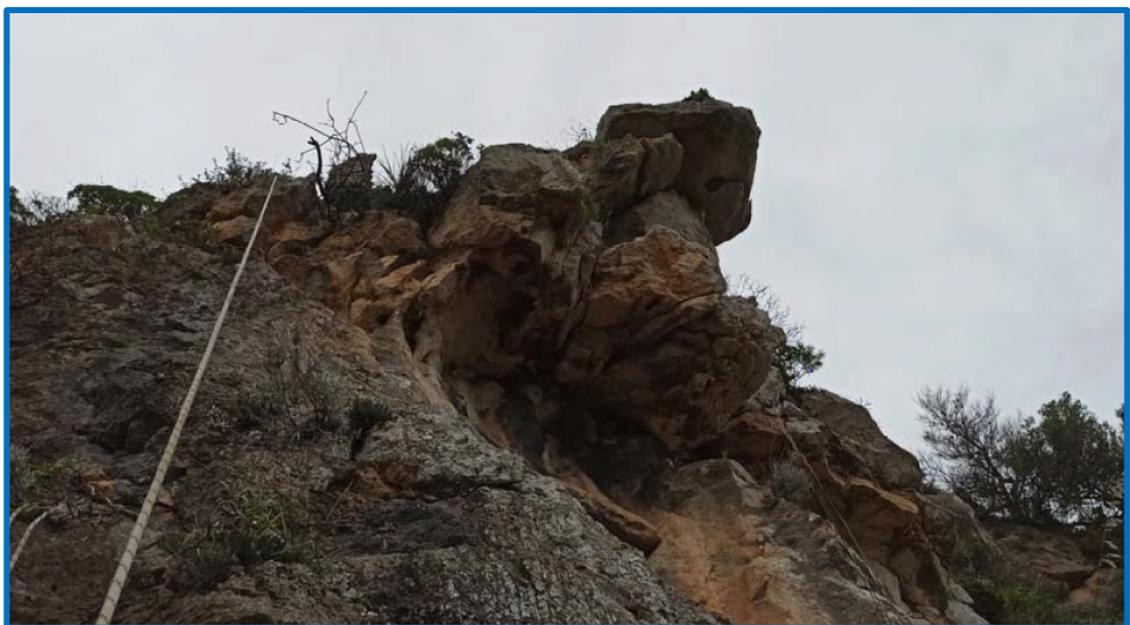
Nella tab. III sono riportate le caratteristiche geometriche e geostrutturali degli elementi lapidei indicati nella fig. 35. In particolare, in tale tabella, in corrispondenza di ciascun elemento lapideo, sono indicati:

- le dimensioni medie altezza H, larghezza L e spessore s (dimensione ortogonale al fronte);
- il volume V e il peso $W = \gamma \times V$, con $\gamma = 27 \text{ kN/m}^3$ = peso dell'unità di volume della roccia carbonatica;
- il possibile cinematismo;
- l'inclinazione α delle superfici di discontinuità lungo le quali può avvenire lo scorrimento.

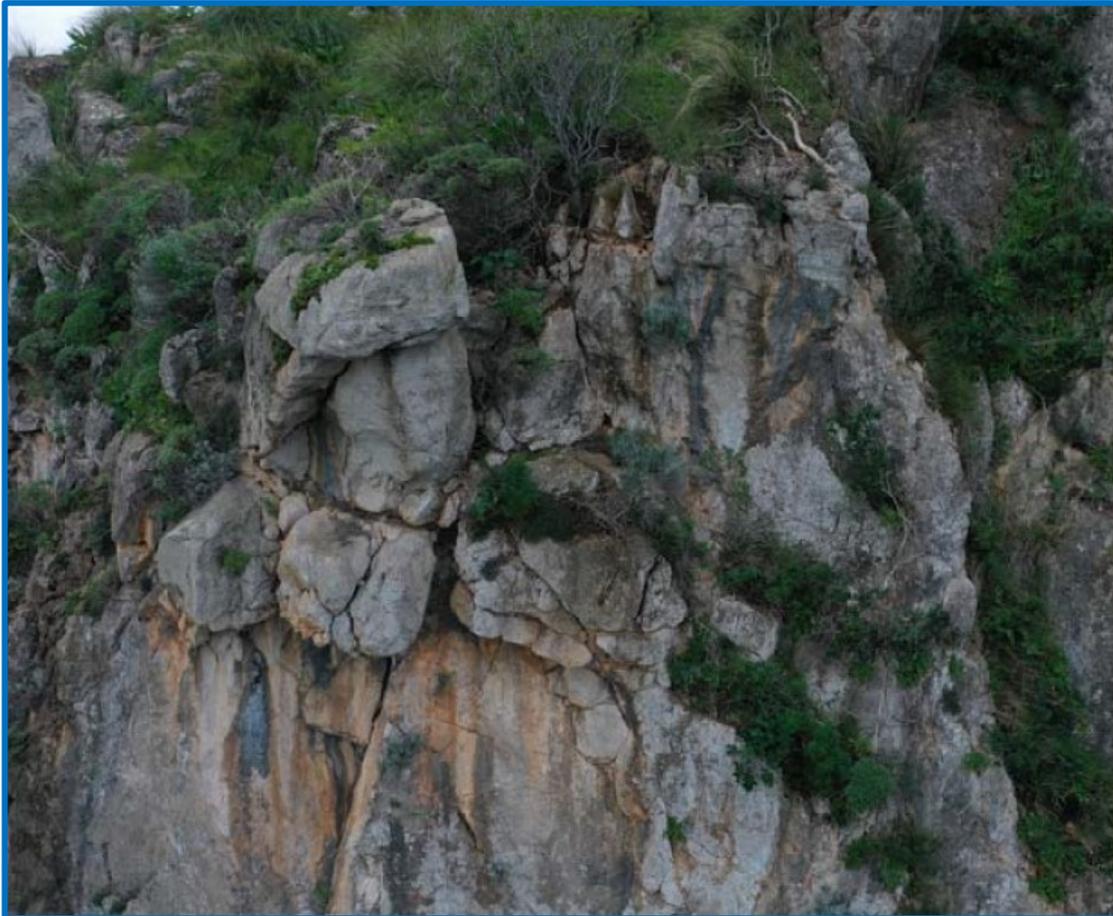
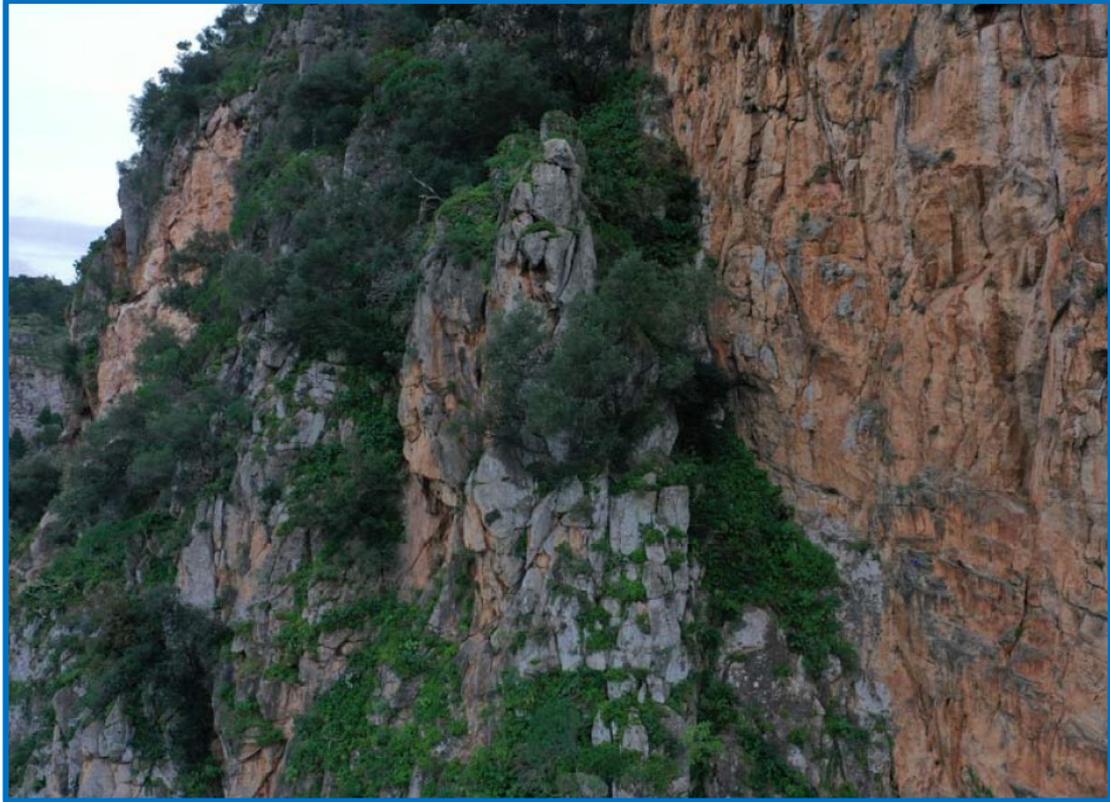
Elemento Lapideo	H (m)	L (m)	s (m)	V (m ³)	W (kN)	Cinematismo
B1	4,5	5,0	2,8	63,0	1701,0	crollo singoli massi - toppling
B2	2,0	1,4	0,7	2,0	52,9	toppling
B3	3,2	5,0	0,5	8,0	216,0	toppling
B4	5,0	4,0	1,0	20,0	540,0	sliding $\alpha = 65^\circ$
B5	3,0	4,0	1,6	19,2	518,4	toppling
B6	5,0	2,0	1,5	15,0	405,0	toppling
B7	5,0	2,5	1,4	17,5	472,5	toppling
B8	2,4	3,8	0,9	8,2	221,6	toppling
B9	10,0	10,0	1,0	100,0	2700,0	toppling
B10	5,0	2,0	2,0	20,0	540,0	toppling
B11	12,0	5,0	3,0	180,0	4860,0	crollo singoli massi - toppling
B12	9,4	7,5	1,7	119,9	3236,0	sliding $\alpha = 65^\circ$
B13	22,0	13,0	4,0	1144,0	30888,0	crollo singoli massi
B14	21,3	9,0	5,0	958,5	25879,5	crollo singoli massi
B15	3,9	1,5	1,0	5,9	158,0	toppling
B16	3,8	7,5	1,0	28,5	769,5	toppling
B17	8,2	6,2	5,0	254,2	6863,4	crollo singoli massi
B18	5,8	3,5	1,8	36,5	986,6	toppling
B19	13,3	2,4	1,8	57,5	1551,3	toppling
M1	10,0	5,0	2,0	100,0	2700,0	crollo singoli massi - toppling
M2	4,0	2,5	2,0	20,0	540,0	crollo singoli massi - toppling
M3	20,0	10,0	7,0	1400,0	37800,0	crollo singoli massi - toppling
M4	4,0	2,4	2,1	20,2	544,3	crollo singoli massi - toppling
M5	5,0	3,8	5,0	95,0	2565,0	toppling - sliding $\alpha = 55^\circ$
M6	20,0	2,0	1,7	68,0	1836,0	toppling
M7	9,3	4,2	2,8	109,4	2952,9	toppling
M8	10,0	5,5	3,5	192,5	5197,5	toppling

Tab. III - Caratteristiche geometriche e cinematismi degli elementi lapidei

Nelle figg. 36, ..., 41 si riportano immagini relative ad alcuni degli elementi lapidei in argomento, dalle quali risultano evidenti le precarie condizioni di equilibrio e i grandi volumi in gioco.



Figg. 36, 37 - Elementi lapidei in equilibrio instabile sul costone roccioso



Figg. 38, 39 - Elementi lapidei in equilibrio instabile sul costone roccioso



Figg. 40, 41 - Elementi lapidei in equilibrio instabile sul costone roccioso

8.3 Caratteristiche meccaniche dell'ammasso roccioso

Ai fini delle verifiche di stabilità di fronti lapidei interessati da superfici di discontinuità occorre conoscere la resistenza al taglio della roccia lungo i giunti. Tale resistenza dipende da vari fattori, quali:

- i valori di apertura delle discontinuità;
- lo spessore dell'eventuale materiale di riempimento e le relative caratteristiche

meccaniche;

- la rugosità delle pareti dei giunti almeno, come ha dimostrato Goodman, nei casi in cui l'altezza delle asperità in esse presenti è superiore allo spessore del materiale di riempimento (*Goodman R.E. - the deformability of joints in "Determination of the in situ modulus of deformation of rock". American Society for Testing and Materials Special Technical Publication, n° 477, 1970*).

In particolare, per valori significativi di apertura delle discontinuità con materiale di riempimento, sono le caratteristiche meccaniche di tale materiale a condizionare la resistenza al taglio della roccia lungo i giunti. Laddove, invece, le discontinuità presentano valori di apertura nulli o, comunque, l'altezza delle asperità è superiore allo spessore del riempimento, occorre fare alla resistenza a taglio della roccia lungo le discontinuità. Nel caso specifico, come osservato sui luoghi nel corso del rilievo geostrutturale, in generale le asperità hanno spessore maggiore del materiale di riempimento, ove presente e, pertanto, nelle verifiche di stabilità dei blocchi lapidei allo scorrimento occorre fare riferimento alla resistenza al taglio della roccia lungo i giunti.

In letteratura sono disponibili i risultati di prove di laboratorio effettuate su provini dell'area di 50 cm² di dolomie della medesima Formazione rocciosa in affioramento nell'area in studio, caratterizzati da discontinuità con profili di scabrezza simili a quelli riscontrati nel caso in oggetto; sono stati ottenuti valori dell'angolo di attrito apparente di picco di 53° e finale pari a 43° (fig. 42 - Nocilla N., Ercoli L., "*Caratteri strutturali e comportamento meccanico negli ammassi rocciosi*" - Atti della Riunione del Gruppo di Coordinamento per gli Studi di Ingegneria Geotecnica, 1981, CNR).

Ulteriori punti sperimentali sono stati ottenuti dallo scrivente nell'ambito dei lavori di costruzione del serbatoio idrico di Monte Grifone e, quindi, nella medesima area in studio. Tali punti sperimentali, pubblicati negli atti del XVIII Convegno Nazionale di Geotecnica, Rimini 1993 (Cafiso F. et Al., "*Valutazione della stabilità di un serbatoio in sotterraneo nei Monti di Palermo*"), sono rappresentati nel diagramma di fig. 43. Si tratta dei risultati di prove di taglio lungo giunti naturali caratterizzati da un profilo di rugosità simile a quello medio individuato in situ in corrispondenza delle discontinuità della famiglia 3, lungo le quali può avvenire lo scorrimento.

I risultati ottenuti sono prossimi a quelli innanzi descritti; infatti, il valore di picco dell'angolo di resistenza al taglio della roccia lungo le discontinuità è pari a 54°,

mentre in condizioni residue si è ottenuto un valore di 43°.

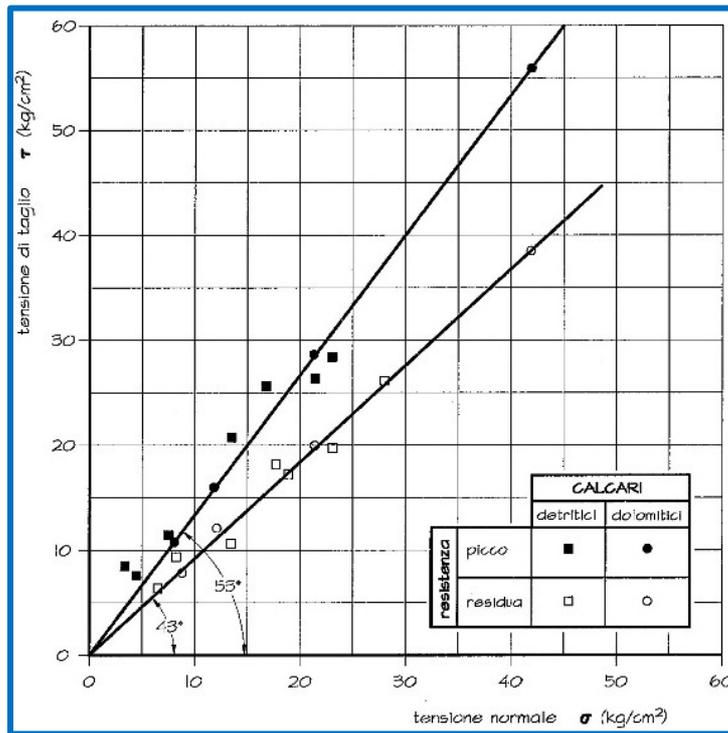


Fig. 42 - Risultati delle prove di taglio lungo giunti naturali (Nocilla N., Ercoli L.)

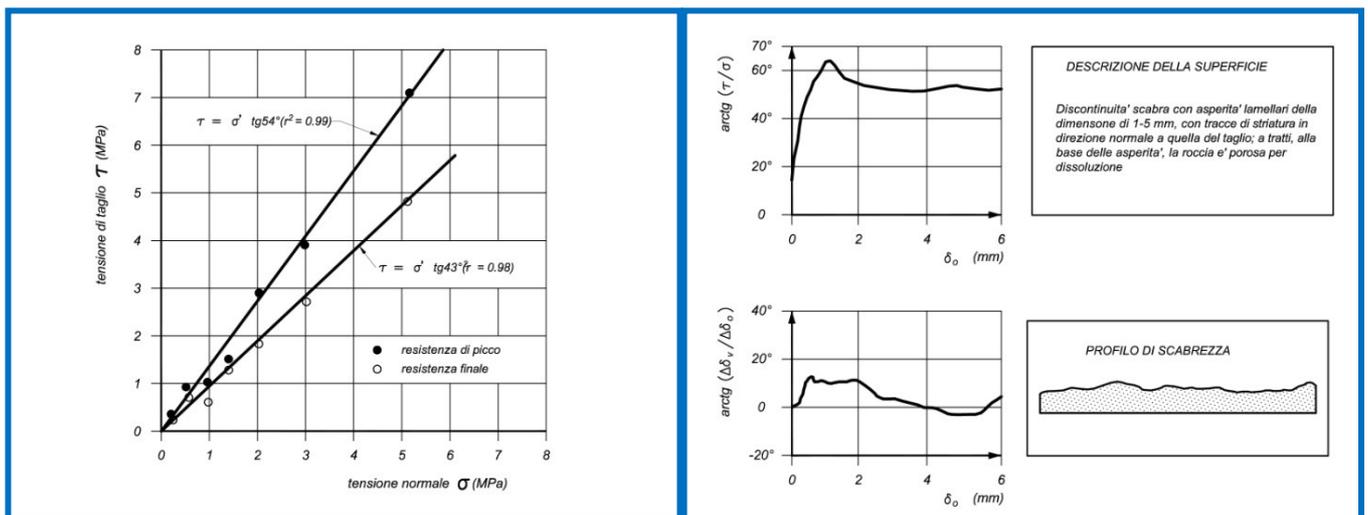


Fig. 43 - Risultati delle prove di taglio lungo giunti naturali (Cafiso F. et Al.)

A favore di sicurezza, nei calcoli riportati nel cap. 10 si è fatto riferimento al valore residuo dell'angolo di resistenza al taglio della roccia lungo i giunti, pari a 43°.

9 - INTERVENTI PREVISTI

9.1 Strategia generale

Nel capitolo precedente sono state illustrate le gravissime condizioni di stabilità del costone lapideo in studio, nel quale sono presenti moltissimi massi in equilibrio precario di cui n°27 di notevoli dimensioni, anche di volume dell'ordine delle centinaia di metri cubi e, nel caso degli elementi lapidei costituiti da gruppi di massi, addirittura di volume superiore a 1.000 m³, esattamente come l'elemento lapideo crollato in data 1 novembre 2021 (v. tab. III). Inoltre, è stato verificato che un tratto della S.P.37 della lunghezza di circa 70 m, ubicato all'estremità della zona in studio lato Palermo, è sotteso al costone lapideo in studio ma sprovvisto dell'opera di difesa passiva costituita dalla galleria paramassi.

Premesso quanto innanzi, sono stati progettati interventi con la finalità di:

1. garantire la sicurezza delle maestranze che saranno impegnate nei lavori di ripristino e consolidamento del tratto di galleria paramassi danneggiato dal recente crollo;
2. incrementare il grado di sicurezza per i fruitori della S.P.37 nel tratto in cui essa si sviluppa alla base del costone lapideo in studio rispetto alla condizione prima del crollo del giorno 1 novembre 2021.

L'obiettivo di cui al punto 1. è evidente, in quanto le maestranze opereranno senza la protezione della galleria paramassi, sia per asportare il materiale depositatosi sulla stessa a seguito del crollo, sia in quanto nel tratto da ripristinare e consolidare la galleria paramassi allo stato attuale non è in grado di esercitare una reale protezione a causa dei danni subiti. Del resto, è principalmente per tale ragione che la Città Metropolitana di Palermo ha affidato incarico allo scrivente di redigere il presente progetto. Meno evidente potrebbe risultare l'obiettivo di cui al punto 2. e, pertanto, si ritiene necessario approfondire tale aspetto, che coinvolge due distinte problematiche, riguardanti il tratto di S.P.37 che si sviluppa all'interno della galleria paramassi, di lunghezza pari a circa 300 m, e il segmento, di sviluppo pari a 70 m, che invece corre alla base del costone in studio senza alcuna protezione.

Con riferimento alla prima problematica, si rileva che le dimensioni della quasi totalità dei singoli elementi lapidei riportati in tab.III sono tali che, in caso di crollo, potrebbero distruggere o danneggiare seriamente la galleria paramassi che, pertanto, pur essendo di grande importanza ed efficacia, non è esaustiva a garantire il transito in

sicurezza lungo il tratto della S.P.37 in studio. Del resto, tale osservazione è confermata da quanto avvenuto in data 1 novembre 2021.

L'altra problematica riguarda il tratto all'estremità lato Palermo della S.P.37 che, come evidenziato, è privo di qualunque protezione nei confronti della caduta massi, per il quale il vigente P.A.I. segnala condizioni di rischio geomorfologico R3 elevato.

In definitiva, con gli interventi previsti nel presente progetto, illustrati nei paragrafi seguenti e negli elaborati A3, A4, A5, A6, ai quali si rinvia per i dettagli:

1. si garantisce la sicurezza delle maestranze che saranno impegnate nei lavori di ripristino e consolidamento del tratto danneggiato della galleria paramassi;
2. si incrementano le condizioni di sicurezza per i fruitori della S.P.37, rispetto alla condizione prima del crollo, in corrispondenza del tratto in cui la strada provinciale si sviluppa all'interno della galleria paramassi;
3. si garantisce la sicurezza per i fruitori della S.P.37 in corrispondenza del tratto in cui la strada provinciale è priva di difesa passiva e, quindi, attualmente soggetta a rischio geomorfologico elevato.

E' evidente che, per incrementare le condizioni di sicurezza per il tratto di S.P. 37 in galleria, è sufficiente consolidare gli elementi lapidei di maggiori dimensioni che, in caso di crollo, a causa dell'elevata energia posseduta, potrebbero distruggere o danneggiare gravemente la galleria, funzionale nel proteggere l'arteria stradale nei confronti di eventuali crolli dei numerosi massi di piccole e medie dimensioni presenti sul costone lapideo. Laddove, invece, la galleria paramassi non esiste (tratto di estremità lato Palermo) o nel transitorio in cui essa non è efficace perché seriamente danneggiata, gli interventi devono essere finalizzati al consolidamento diffuso dell'ammasso roccioso, anche dei blocchi di volumetria media e piccola.

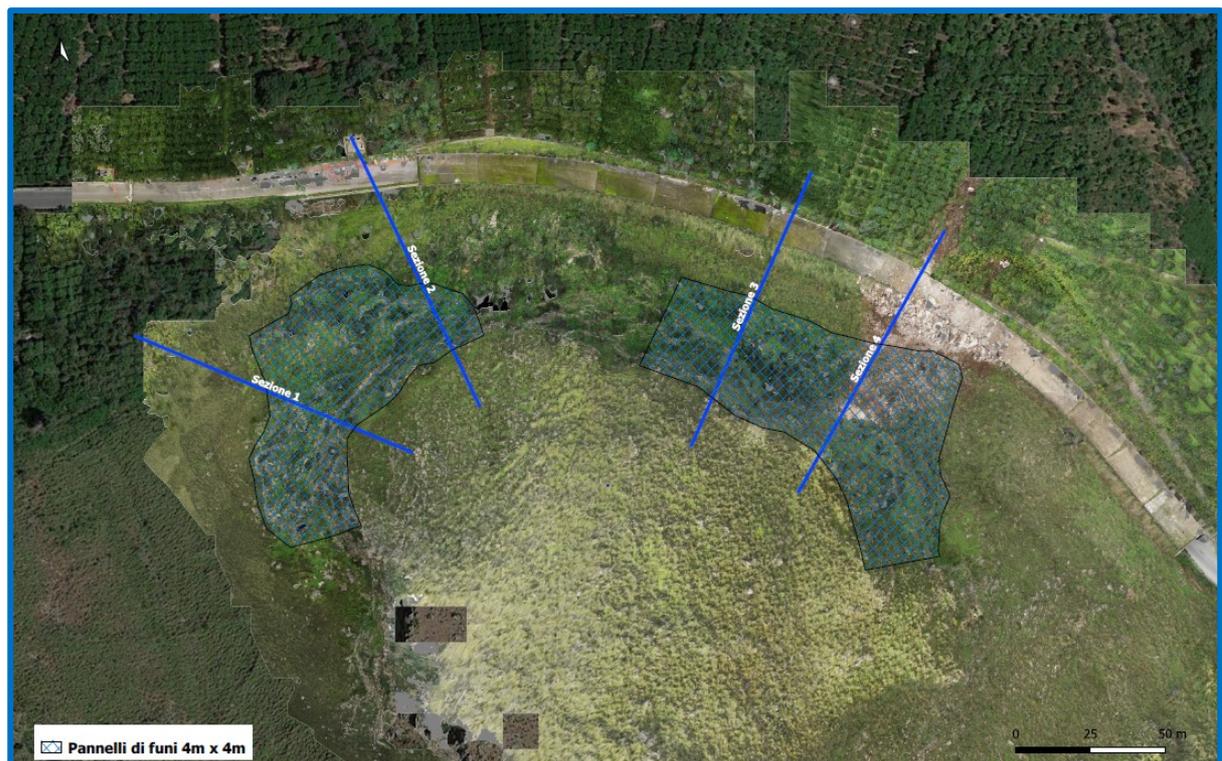
Di conseguenza sono stati distinti interventi "di carattere esteso", in quanto riguardano tratti estesi dei fronti lapidei, e "di carattere puntuale", relativi a singoli elementi lapidei, sui quali si riferisce, rispettivamente nei due paragrafi che seguono.

9.2 Interventi di carattere esteso

Gli interventi "di carattere esteso" previsti in progetto sono indicati, sulla vista frontale e sulla ortofoto, nelle figg. 44 e 45; essi interesseranno due distinte fasce del costone roccioso in studio e, precisamente:

Progetto definitivo degli interventi di mitigazione del rischio geomorfologico per il tratto della SP 37 che si sviluppa lungo a galleria artificiale danneggiata dal crollo verificatosi in data 1 novembre 2021
R2 - Relazione geotecnica e di calcolo

- la fascia incumbente direttamente sul tratto di galleria danneggiata dal crollo del giorno 1 novembre 2021, dalla quale possono distaccarsi massi in grado di raggiungere tale tratto della strada provinciale;
- quella incumbente sul tratto della S.P.37 che si sviluppa alla base del costone carbonatico in argomento senza la protezione della galleria paramassi.



Figg. 44 e 45 - Ubicazione degli Interventi di carattere esteso sul costone lapideo in studio

Tali interventi, unitamente a quelli di carattere puntuale su cui si riferisce nel paragrafo successivo, garantiranno:

1. condizioni di sicurezza alle maestranze impegnate nei lavori di ripristino e consolidamento della galleria paramassi nel periodo transitorio pari alla durata di tali lavori;
2. **la mitigazione dell'attuale rischio geomorfologico elevato per il tratto della S.P. 37 privo di galleria paramassi.**

L'intervento di tipo attivo previsto comprende **l'applicazione di pannelli di funi di acciaio** del diametro di 8 mm ad alta resistenza, con fune perimetrale del diametro di 16 mm e ancoraggi, posti ai vertici di ciascun pannello, del tipo "a bulbo iniettato" con armatura in barre di acciaio B450C zincate del diametro di 24 mm della lunghezza di 6 m (figg. 46, 47 e 48).

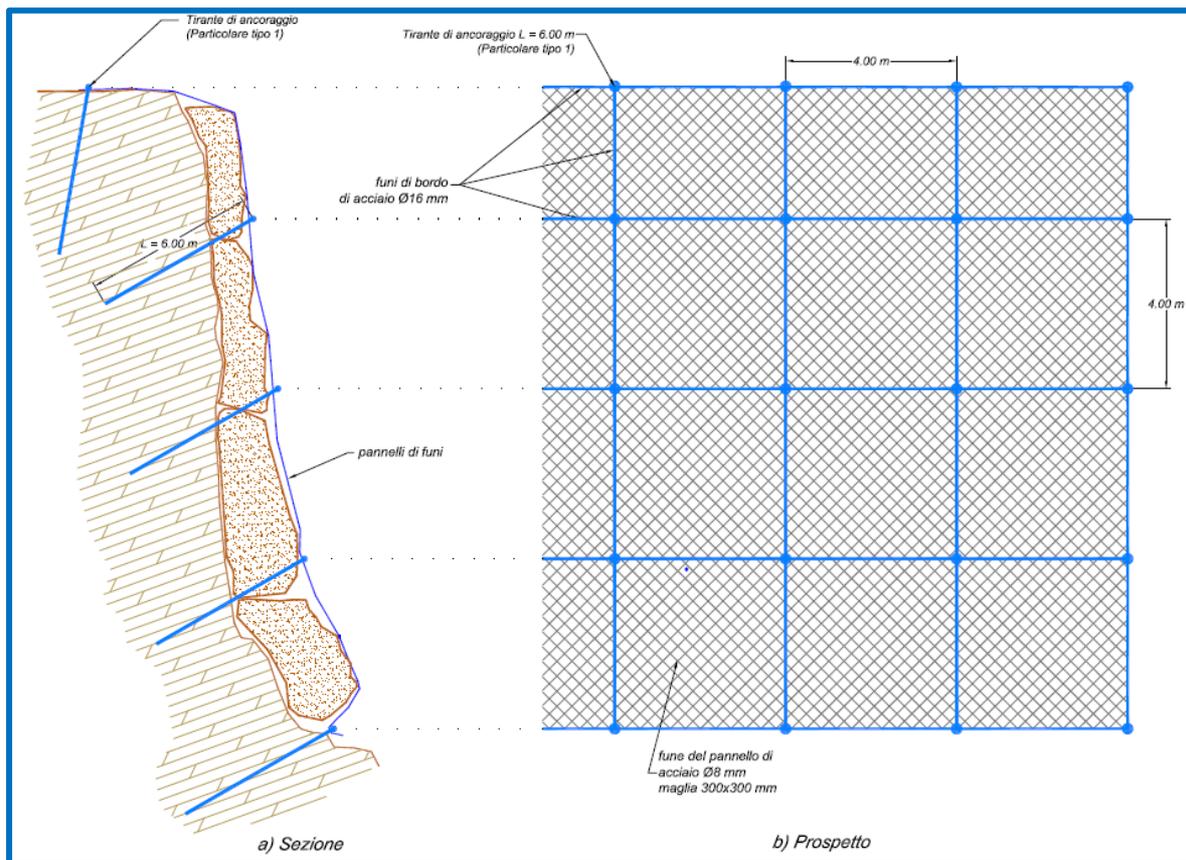


Fig. 46 - Intervento tipo con pannelli di funi

Come indicato in fig. 47, la fune perimetrale di ciascun pannello, da porre in opera dopo i pannelli, garantirà il collegamento dei pannelli adiacenti e di ciascuno di essi agli ancoraggi.

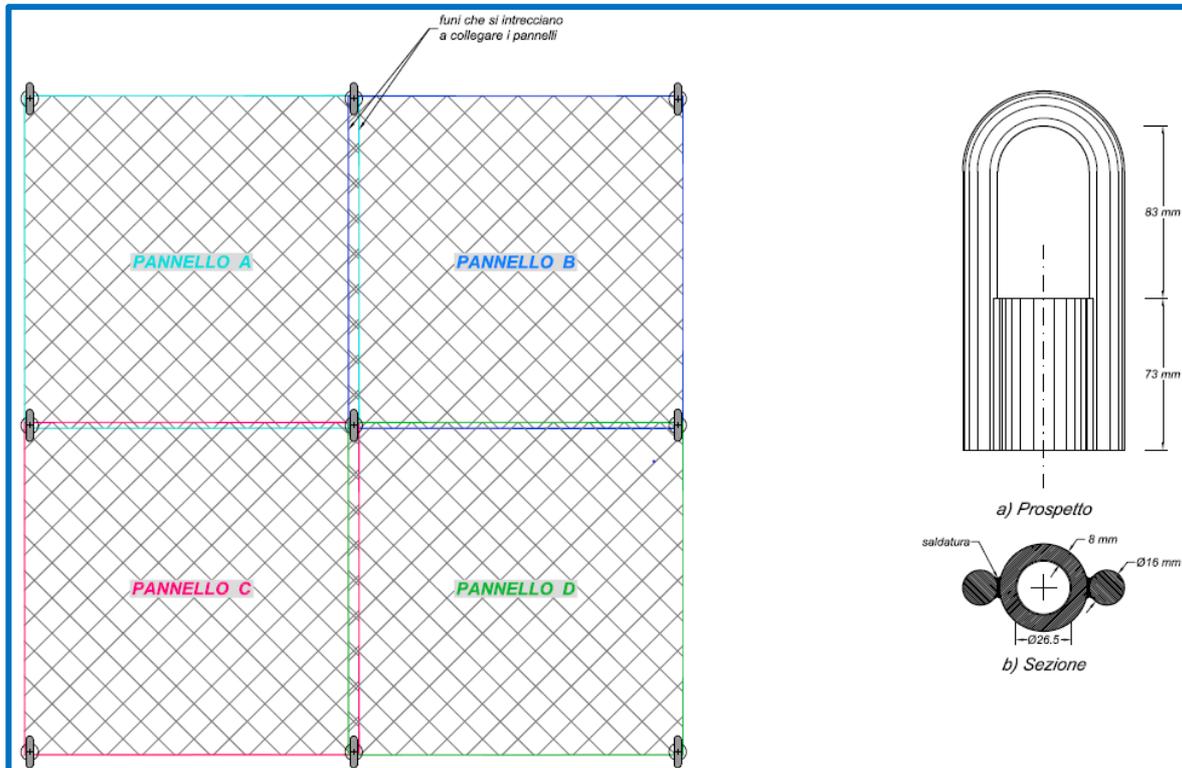


Fig. 47 - Particolare dei collegamenti tra i singoli pannelli e delle funi agli ancoraggi

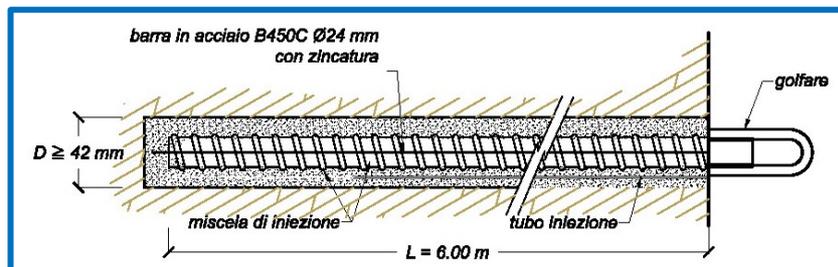


Fig. 48 - Particolare dell'ancoraggio dei pannelli di funi

Mediante il rilievo topografico eseguito con il sistema S.A.P.R. sono state valutate le superfici delle fasce del costone carbonatico su cui applicare i pannelli; tali superfici sono state, quindi, incrementate del 20% per tenere conto degli aggetti dei massi. Le quantità così individuate sono indicate in fig. 44 e negli elaborati grafici (A3) e contabili (E3) di progetto, ai quali si rinvia.

9.3 Interventi di carattere puntuale

Gli interventi di carattere puntuale sono finalizzati al consolidamento degli elementi lapidei in equilibrio instabile individuati con l'ispezione diretta del fronte roccioso e mediante il modello 3D ottenuto dall'elaborazione del rilievo eseguito con il drone. Va rilevato che per tre di tali elementi lapidei (B15, B17, M4), che ricadono nelle fasce

Progetto definitivo degli interventi di mitigazione del rischio geomorfologico per il tratto della SP 37 che si sviluppa lungo a galleria artificiale danneggiata dal crollo verificatosi in data 1 novembre 2021
R2 - Relazione geotecnica e di calcolo

su cui saranno realizzati gli interventi *di carattere esteso*, su cui si è riferito nel paragrafo precedente, non sono stati previsti ulteriori interventi *di carattere puntuale* in quanto i primi sono sufficienti per la relativa stabilizzazione.

Gli interventi previsti sono indicati in fig. 49 e in tab. IV, oltre che negli elaborati grafici di progetto A5 e A6, ai quali si rimanda per i dettagli.



Fig. 49 - Interventi di carattere puntuale sul costone lapideo in studio

Gli interventi puntuali, oltre a garantire unitamente a quelli *di carattere esteso* la sicurezza delle maestranze nel periodo del loro impiego per riparare i danni provocati dal crollo in argomento e per il tratto della S.P.37 privo di galleria paramassi, **determineranno la mitigazione del rischio geomorfologico per il tratto della strada provinciale che si sviluppa all'interno della galleria, in quanto consentiranno la stabilizzazione degli elementi lapidei che, in caso di crollo, potrebbero distruggere o danneggiare gravemente l'opera di difesa passiva esistente.**

Gli interventi previsti rientrano in varie tipologie, sulla base delle specifiche caratteristiche geostrutturali degli elementi lapidei in equilibrio instabile. In particolare, nel caso degli elementi lapidei costituiti da un insieme di massi, si è fatto

riferimento al medesimo intervento con i pannelli di funi descritto al paragrafo precedente (figg. 46, 47 e 48).

Elemento Lapideo	H (m)	L (m)	s (m)	V (m ³)	W (kN)	Cinematismo	Intervento esteso	Intervento puntuale
B1	4,5	5,0	2,8	63,0	1701,0	crollo singoli massi - toppling	-	n°6 pannelli di funi - Tipo A
B2	2,0	1,4	0,7	2,0	52,9	toppling	-	imbracatura a 2 livelli - Tipo B
B3	3,2	5,0	0,5	8,0	216,0	toppling	-	imbracatura a 2 livelli - Tipo B
B4	5,0	4,0	1,0	20,0	540,0	sliding $\alpha = 65^\circ$	-	imbracatura a 2 livelli- Tipo B
B5	3,0	4,0	1,6	19,2	518,4	toppling	pannelli di funi	imbracatura a 2 livelli- Tipo B
B6	5,0	2,0	1,5	15,0	405,0	toppling	-	imbracatura a 2 livelli- Tipo B
B7	5,0	2,5	1,4	17,5	472,5	toppling	-	imbracatura a 2 livelli- Tipo B
B8	2,4	3,8	0,9	8,2	221,6	toppling	-	imbracatura a 2 livelli- Tipo B
B9	10,0	10,0	1,0	100,0	2700,0	toppling	-	imbracatura a 2 livelli + placcaggio con 6 tiranti - Tipo B+C
B10	5,0	2,0	2,0	20,0	540,0	toppling	-	imbracatura a 2 livelli- Tipo B
B11	12,0	5,0	3,0	180,0	4860,0	crollo singoli massi - toppling	-	n°6 pannelli di funi- Tipo A
B12	9,4	7,5	1,7	119,9	3236,0	sliding $\alpha = 65^\circ$	-	placcaggio con 8 tiranti- Tipo C
B13	22,0	13,0	4,0	1144,0	30888,0	crollo singoli massi	-	n°30 pannelli di funi- Tipo A
B14	21,3	9,0	5,0	958,5	25879,5	crollo singoli massi	-	n°24 pannelli di funi- TipoA
B15	3,9	1,5	1,0	5,9	158,0	toppling	pannelli di funi	-
B16	3,8	7,5	1,0	28,5	769,5	toppling	pannelli di funi	imbracatura a 2 livelli + placcaggio con 4 tiranti - Tipo B+C
B17	8,2	6,2	5,0	254,2	6863,4	crollo singoli massi	pannelli di funi	-
B18	5,8	3,5	1,8	36,5	986,6	toppling	pannelli di funi	imbracatura a 3 livelli - Tipo B
B19	13,3	2,4	1,8	57,5	1551,3	toppling	pannelli di funi	imbracatura a 5 livelli - Tipo B
M1	10,0	5,0	2,0	100,0	2700,0	crollo singoli massi - toppling	pannelli di funi	imbracatura a 3 livelli - Tipo B
M2	4,0	2,5	2,0	20,0	540,0	crollo singoli massi - toppling	pannelli di funi	demolizione massa (3,8 m ³) + imbracatura a 2 livelli - Tipo B+D
M3	20,0	10,0	7,0	1400,0	37800,0	crollo singoli massi - toppling	pannelli di funi	imbracatura a 6 livelli - Tipo B
M4	4,0	2,4	2,1	20,2	544,3	crollo singoli massi - toppling	pannelli di funi	-
M5	5,0	3,8	5,0	95,0	2565,0	toppling - sliding $\alpha = 55^\circ$	pannelli di funi	imbracatura a 3 livelli con funi doppie - Tipo B
M6	20,0	2,0	1,7	68,0	1836,0	toppling	-	imbracatura a 4 livelli - Tipo B
M7	9,3	4,2	2,8	109,4	2952,9	toppling	pannelli di funi	imbracatura a 3 livelli - Tipo B
M8	10,0	5,5	3,5	192,5	5197,5	toppling	pannelli di funi	imbracatura a 4 livelli con funi doppie - Tipo B

Tab. IV - Interventi di carattere puntuale in corrispondenza dei singoli elementi lapidei

Nei casi in cui gli elementi lapidei sono costituiti da singoli blocchi monolitici, in generale ne è stata prevista **l'imbracatura mediante funi in acciaio zincato ϕ 16 mm ancorate a tiranti del tipo "a bulbo iniettato"** con armatura in barra di acciaio ad alta resistenza del diametro di 26,5 mm e della lunghezza di 6 m (di cui 3 m di ancoraggio fisso), posti ai lati dei blocchi, nella roccia stabile, dotati di golfare di estremità per alloggiare le funi (figg. 50 e 51). In due casi (M5, M8) si utilizzeranno funi doppie.

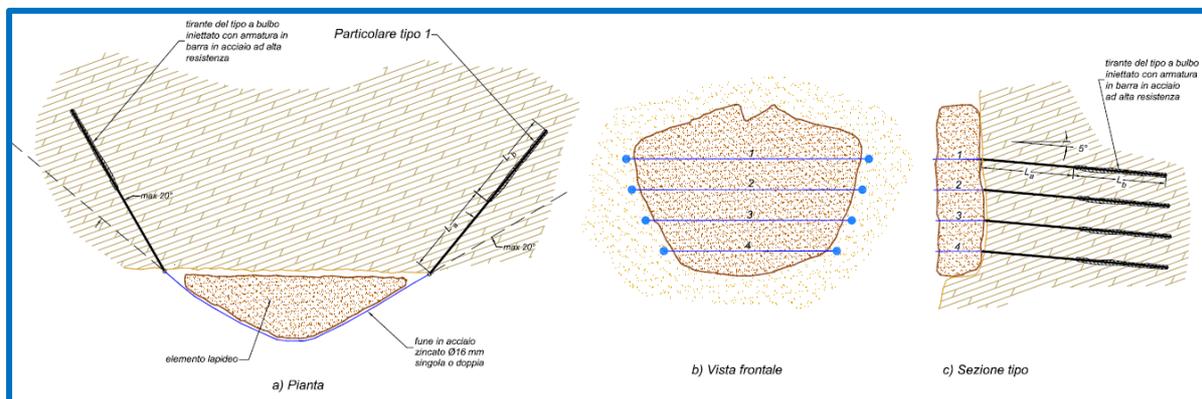


Fig. 50 - Intervento tipo di imbracatura

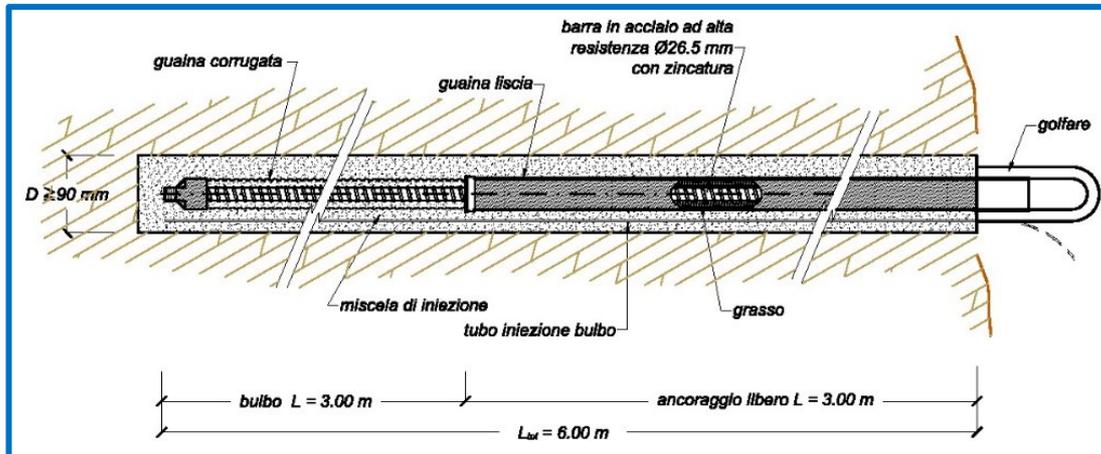


Fig. 51 - Particolare dell'ancoraggio delle funi di imbracatura

Tale intervento ha il duplice vantaggio di avere un basso impatto ambientale e di garantire la sicurezza degli operatori in fase esecutiva, in quanto essi lavorano ai lati del blocco "pericolante" e non a valle dello stesso.

Nel caso degli elementi lapidei B9 e B16, per la puntuale morfologia dell'ammasso roccioso nell'intorno di tali blocchi, l'imbracatura non è risolutiva delle condizioni di stabilità; di conseguenza essa sarà utilizzata come intervento temporaneo, atto a garantire un miglioramento delle attuali condizioni di stabilità nelle more che venga realizzato l'intervento di consolidamento definitivo dei massi, mediante **il placcaggio** degli stessi **con tiranti del tipo "a bulbo iniettato"** con armatura in barra di acciaio ad alta resistenza del diametro di 26,5 mm e di lunghezza variabile da 6 m a 12 m in funzione dello spessore dell'elemento lapideo da placcare, dotati di piastra di estremità (figg. 52 e 53). Per l'elemento B12 il placcaggio potrà effettuarsi senza imbracatura preliminare.

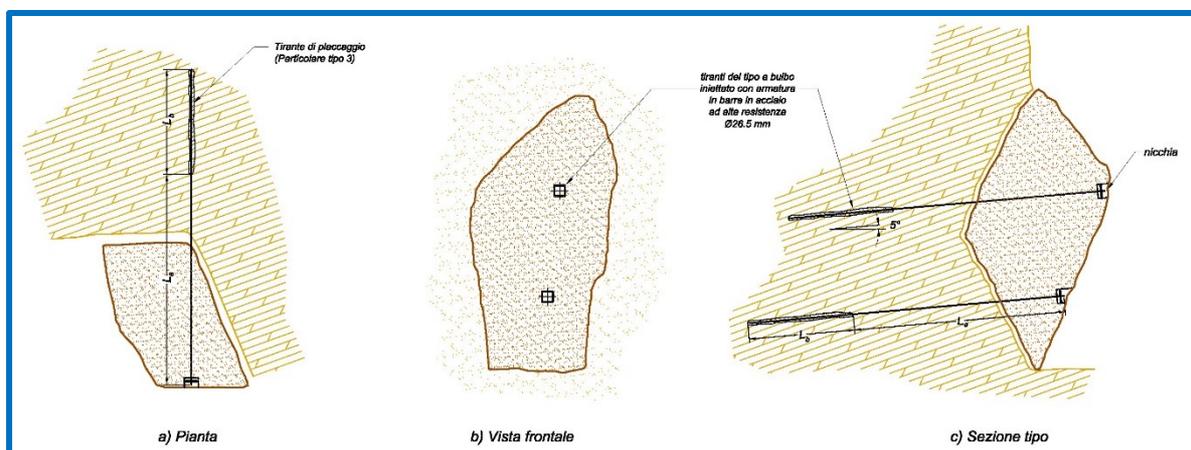


Fig. 52 - Intervento tipo di placcaggio

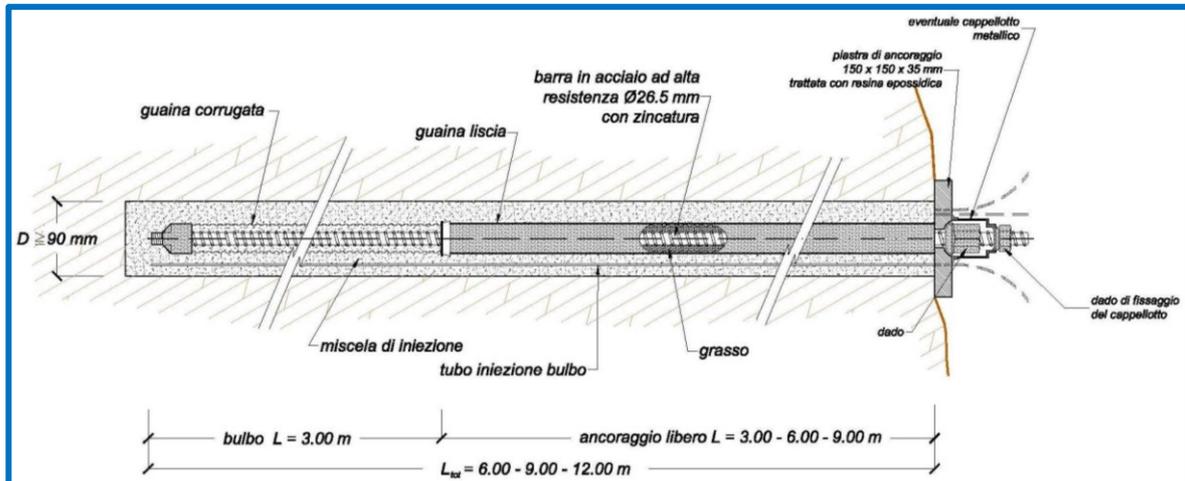


Fig. 53 - Particolare dei tiranti di placcaggio

Dell'elemento lapideo M2 fa parte un masso del volume di poco inferiore a 4 m^3 , isolato, che è possibile asportare senza innescare problemi di stabilità al suo intorno. Di tale masso è stata prevista la **demolizione mediante espansivi chimici** (fig. 54).

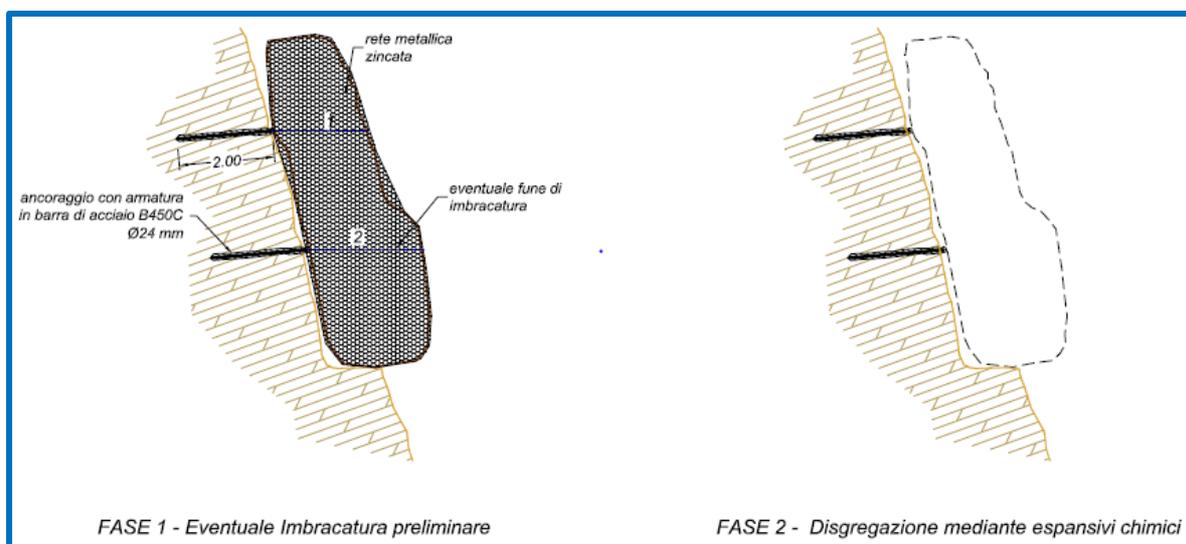
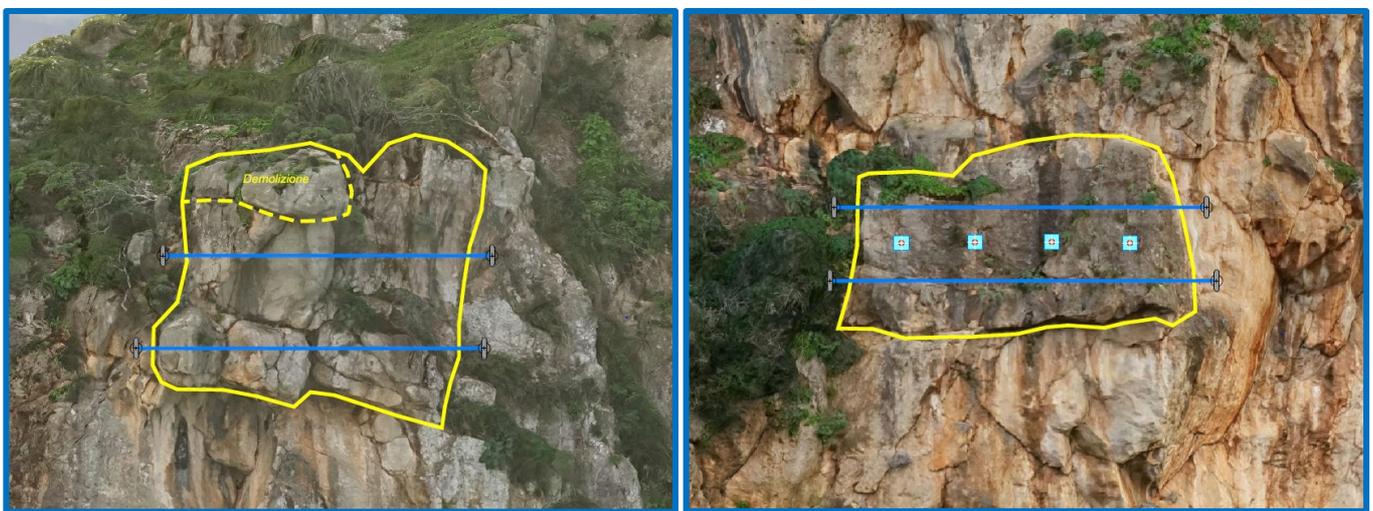


Fig. 54 - Intervento tipo di demolizione con prodotti espansivi chimici

Si tratta di agenti di demolizione non esplosivi, che hanno la proprietà di disgregare in tutta sicurezza la roccia senza produrre rumore, vibrazioni, lancio di detriti. Per effettuare la demolizione è necessario forare la roccia e colare nei fori la miscela di espansivo con acqua. In generale l'espansivo si presenta come una polvere grigiastrea e consiste essenzialmente in una particolare miscela di prodotti inorganici a base calcica. L'elevata forza espansiva che si genera durante l'idratazione del materiale provoca la demolizione della roccia in cui esso è stato inserito.

Prima di essere trattato con gli espansivi, il blocco da demolire sarà imbracato mediante rete metallica rinforzata con funi ancorate a tiranti provvisori, come illustrato in fig. 54, sia per assicurare temporaneamente la stabilità dell'elemento lapideo durante la fase di perforazione, sia per sostenere i frammenti prodotti dalla disgregazione, che saranno, poi, allontanati dai rocciatori.

Nell'elaborato A6 sono illustrati, in corrispondenza di ciascun elemento lapideo, gli interventi previsti. A tale elaborato si rimanda per i dettagli e nelle figg. 55 e 56 si riportano, a titolo di esempio, gli interventi su due degli elementi lapidei in argomento.



Figg. 55, 56 - Interventi previsti per gli elementi lapideo M2 e B16

9.4 Considerazioni di carattere generale

Gli interventi di tipo attivo saranno eseguiti con tecniche di progressione su corda, a cura di rocciatori specializzati, che procederanno rigorosamente da monte verso valle.

Al fine di garantire la durabilità nel tempo degli interventi di consolidamento, inseriti in un ambiente aggressivo dal punto di vista chimico, particolare cura verrà posta per ostacolare i fenomeni di corrosione delle parti metalliche degli interventi medesimi. In particolare:

- tutti gli elementi metallici esterni, quali le funi e i pannelli di funi di acciaio, le asole di passaggio delle funi di imbracatura e dei pannelli di funi, i manicotti con i golfari da applicare ai tiranti di ancoraggio delle funi medesime, dovranno essere trattati con prodotti anticorrosione di nuova generazione ed in ottemperanza alle "linee guida" più rigorose su questo aspetto;

- gli ancoraggi con armatura in barre in acciaio ad alta resistenza saranno del tipo **“con doppia protezione nei riguardi della corrosione”**: le armature metalliche saranno, cioè, protette nei riguardi dei fenomeni di aggressione chimica sia dalla miscela cementizia di intasamento che dalle guaine in materiale plastico (durotene, polietilene, etc.) all’interno delle quali saranno collocate. Tali guaine saranno:
 - di tipo *“liscio”*, in corrispondenza del tratto di ancoraggio libero del tirante;
 - di tipo *“corrugato”*, in corrispondenza della fondazione o *“bulbo”*;
- le barre in acciaio B450C di ancoraggio dei pannelli di funi non saranno collocate all’interno di guaine ma saranno trattate con zincatura a caldo 360 g/m² in accordo con la EN1461: in questo caso la doppia protezione è garantita dalla zincatura e dalla miscela di iniezione.

Si segnala, poi, che la miscela di iniezione di tiranti ha un ruolo fondamentale sull’efficacia degli ancoraggi; infatti, deve avere idonee caratteristiche meccaniche e mantenersi in perfetta aderenza alla roccia nell’intorno del foro ove è stato collocato l’ancoraggio. Di conseguenza, in essa non devono manifestarsi fenomeni di ritiro e, per tale ragione, il rapporto Acqua/Cemento non deve essere superiore a 0,3; per garantirne la fluidità (indispensabile per il suo pompaggio), occorre aggiungere un additivo che sia allo stesso tempo superfluidificante, antiritiro ed espansivo, nella misura del 6% rispetto al peso del cemento. In termini percentuali, le caratteristiche della miscela di iniezione, composta da **Cemento**, **Acqua** e **additivo**, devono essere:

$$A/C \leq 0,3 \qquad a/C = 0,06$$

Un’ultima considerazione riguarda l’intervento di tipo esteso previsto per mitigare le attuali condizioni di rischio geomorfologico elevato per il tratto della S.P.37 che si sviluppa alla base del costone lapideo sorgente del recente crollo ma senza la protezione della galleria paramassi (estremità lato Palermo).

La soluzione progettuale è stata prescelta dopo un confronto con altre soluzioni; in particolare sono state considerate, in alternativa all’intervento di tipo attivo illustrato nel paragrafo 9.2, opere di difesa passiva e, precisamente:

- barriere paramassi ad elevato assorbimento di energia da collocare tra il fronte roccioso e la strada provinciale;
- il prolungamento in tale tratto della galleria paramassi esistente nel segmento

viario attiguo.

La prima soluzione è stata scartata in quanto, per la morfologia dei luoghi, caratterizzata da una modesta distanza tra il costone lapideo e la strada provinciale, la barriera potrebbe essere scavalcata. Infatti, dalle simulazioni delle traiettorie dei massi effettuate utilizzando un modello di calcolo “*lumped mass*” 3D, è risultato che un numero significativo di “*scendimenti*” (traiettorie simulate) scavalcano le barriere malgrado siano state considerate di ben 7 m di altezza utile, come si evince dalla fig. 57.

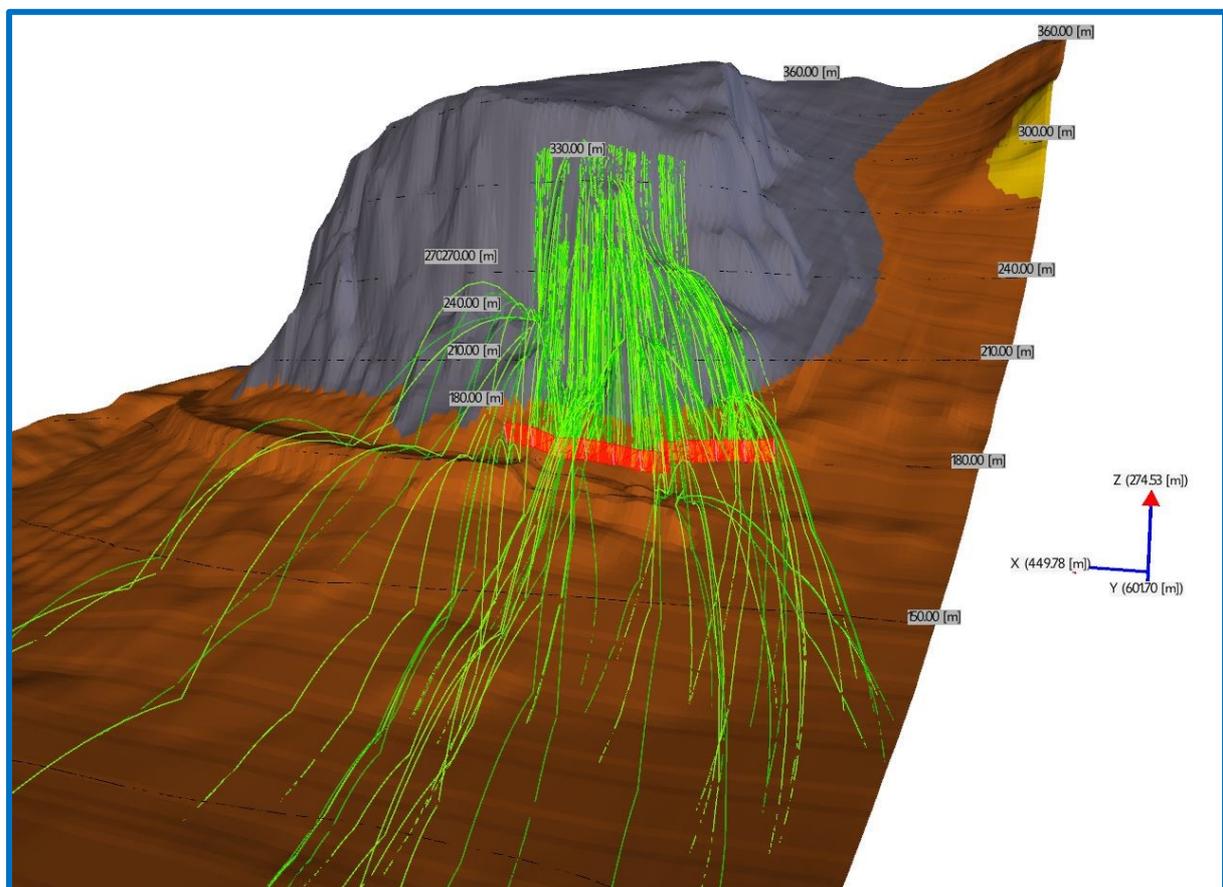


Fig. 57 - Analisi delle traiettorie dei massi incombenti sul tratto di S.P.37 privo di galleria paramassi in presenza di barriere paramassi

La seconda alternativa, costituita dalla realizzazione anche nel tratto in argomento di una galleria paramassi, valida sotto il profilo tecnico, è stata scartata in quanto comporta costi sensibilmente maggiori di quelli dell'intervento di tipo attivo previsto nel presente progetto. Senza contare che la sua realizzazione esporrebbe le maestranze a lavorazioni in condizioni di rischio per la potenziale caduta massi dal costone sovrastante.

10 - RISULTATI DEI CALCOLI

10.1 Generalità

Nel presente capitolo si illustrano i calcoli di carattere geotecnico e strutturale relativi agli interventi illustrati nel capitolo precedente.

Nello specifico i calcoli di carattere geotecnico consistono nella determinazione:

- delle azioni sismiche, in base al D.M. 17/01/18;
- della forza da trasmettere ai blocchi lapidei in equilibrio instabile per assicurarne la stabilità;
- dello sforzo di esercizio agente sui tiranti e sulle funi di imbracatura;
- della lunghezza dei tiranti.

I calcoli strutturali riguardano:

- le barre di armatura dei tiranti di ancoraggio;
- la miscela di iniezione;
- le funi di acciaio;
- i pannelli di funi.

Nei calcoli si è fatto riferimento alla normativa di seguito indicata:

- **D.M. Infrastrutture 17/01/2018** “*Norme tecniche per le costruzioni*”;
- **Circolare n°7 del 21 gennaio 2019** del Consiglio Superiore LL.PP. “*Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. Infrastrutture 17/01/2018*”;
- **D.M. 11/3/88** “*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*”;
- **UNI 11211-4** (gennaio 2012), relative alle “*Opere di difesa dalla caduta massi*”;
- **Raccomandazioni AGI/AICAP** per ancoraggi nei terreni e nelle rocce (giugno 2012).

Le caratteristiche dei materiali adoperati sono le seguenti:

RETE AD ALTA RESISTENZA (pannelli di funi)

- Tensione di rottura del singolo filo della fune $\varnothing 8$ mm ≥ 1.770 N/mm²

- Carico di rottura teorico della fune $\varnothing 8$ mm $\geq 40,0$ kN
- Tens. di rottura del singolo filo della fune perim. $\varnothing 16$ mm ≥ 1.770 N/mm²
- Carico di rottura teorico della fune perimetrale $\varnothing 16$ mm $\geq 160,0$ kN
- Tensione nominale a trazione (a rottura) del pannello $\geq 150,0$ kN/m
- Resistenza al punzonamento del pannello $\geq 235,0$ kN

FUNI DI ACCIAIO PER IMBRACATURE

- Tensione di rottura del singolo filo della fune $\varnothing 16$ mm ≥ 1.770 N/mm²
- Carico di rottura teorico della fune $\varnothing 16$ mm $\geq 160,0$ kN

BARRE DI ACCIAIO PER ARMATURA ANCORAGGI

- Barre $\varnothing 24$ mm in acciaio B450C $f_{tk} \geq 540$ N/mm²
 $f_{yk} \geq 450$ N/mm²
- Barre $\varnothing 26,5$ mm in acciaio ad alta resistenza $f_{ptk} \geq 900$ N/mm²
 $f_{pyk} \geq 1.050$ N/mm²

MISCELA DI CEMENTO per iniezione degli ancoraggi

(a/C = 0,30), additivata con agente antiritiro ed espansivo (a/C = 0,06)

$$\tau_p \geq 15 \text{ N/mm}^2$$

10.2 Valutazione delle azioni sismiche

Secondo il D.M. Infrastrutture del 17 gennaio 2018, le azioni sismiche dipendono dalle coordinate geografiche del sito, a cui corrispondono i parametri sismici, e da coefficienti di amplificazione locale relativi alla topografia e alla categoria del suolo presente nel sito. Adottando il metodo pseudostatico previsto nel citato D.M., l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Nelle verifiche allo stato limite ultimo, le componenti orizzontale F_h e verticale F_v di tale forza sono pari a:

$$F_h = k_h \times W$$

$$F_v = k_v \times W$$

Le espressioni dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v sono le seguenti:

$$k_h = \beta_s \times a_{max}/g$$

$$k_v = \pm 0,5 \times k_h$$

essendo:

- β_s , il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa nel sito in oggetto, che dipende dalla "categoria di sottosuolo";
- a_{max} , l'accelerazione massima attesa nel sito in oggetto;
- g , l'accelerazione di gravità.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, si può assumere:

$$a_{max} = S \times a_g = S_S \times S_T \times a_g$$

dove:

- S_s , coefficiente d'amplificazione stratigrafica, che dipende dalla "categoria di sottosuolo";
- S_T , coefficiente d'amplificazione topografica, che dipende dalla "categoria topografica";
- a_g , accelerazione orizzontale massima attesa sul sito di riferimento rigido.

Nel caso specifico si è operato come appresso (v. fig. 58):

1 - Sono stati individuati i parametri sismici locali.

Le costruende strutture rientrano nella **Classe d'uso II**; per esse è prevista una **Vita nominale 50 di anni**.

Punti della maglia: 45397 45398 45619 45620

Facendo riferimento allo **Stato Limite Ultimo SLU**, risultano i parametri sismici locali appresso indicati:

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [m/s ²]	F_o	T_c^* [s]
SLU	475	1,767	2,385	0,292

2 - E' stata definita la "categoria di sottosuolo".

A favore di sicurezza, si è considerato che la formazione rocciosa in argomento rientri nella "categoria di sottosuolo B".

3 - E' stato determinato il coefficiente di "amplificazione topografica".

Sulla base della categoria topografica e, soprattutto, dell'ubicazione degli interventi di consolidamento, si è assunto un valore massimo del coefficiente di amplificazione topografica pari a (v. D.M. 17/01/2018):

$$S_T = 1,4$$

Sulla base di quanto innanzi, i **coefficienti sismici** risultano pari a (fig. 59):

$$k_h = 11,50\%$$

$$k_v = 0,5 \times 0,1150 = 5,75\%$$

Parametri sismici				
	T_R [anni]	a_g [m/s ²]	F_0 [...]	T_C^* [s]
SLO	30	0.452	2.325	0.231
SLD	50	0.622	2.332	0.252
SLV	475	1.767	2.385	0.292
SLC	975	2.285	2.435	0.306

 ID Punto 1 = 45398  ID Punto 2 = 45397  ID Punto 3 = 45619  ID Punto 4 = 45620	
Dati sismici rilevati correttamente.	

Fig. 58 - Parametri sismici locali

N.T.C. 2008/2018	
Accelerazione al suolo a_g [m/s ²]	$a_g/g = 0,18$ 1,767
Massimo fattore amplificazione spettro orizz. F_0	2,385
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante T_C^*	0,292
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico S_s	Tipo B \downarrow 1,200
Coeff. amplificazione topografica S_T	T4 \downarrow 1,40
Coefficiente di riduzione (β_s)	C 0,24
Coefficiente di riduzione (β_{s2})	0,38
Coeff. di intensità sismica orizzontale (PC) - K_h [%] = 7,26	
Coeff. di intensità sismica orizzontale (A2-M2) - K_h [%] = 11,50	
Intensità sismica Verticale/Orizzontale	0,50

Fig. 59 - Calcolo dei coefficienti d'intensità sismica

10.3 Schemi di calcolo per la determinazione delle forze stabilizzanti

Da quanto evidenziato nel cap. 8, risulta che, in generale, per gli elementi lapidei in equilibrio instabile sono meccanicamente possibili:

- sliding** tipo "planar failure" - scivolamento lungo superfici di discontinuità piane che individuano la superficie di contatto del masso con la roccia sottostante;
- toppling** - ribaltamento intorno allo spigolo di valle.

Per la determinazione della forza stabilizzante F da trasmettere con gli interventi previsto ai singoli elementi lapidei in equilibrio instabile si è fatto riferimento agli schemi di calcolo e alle relative espressioni di F illustrati nelle figg. 60 e 61.

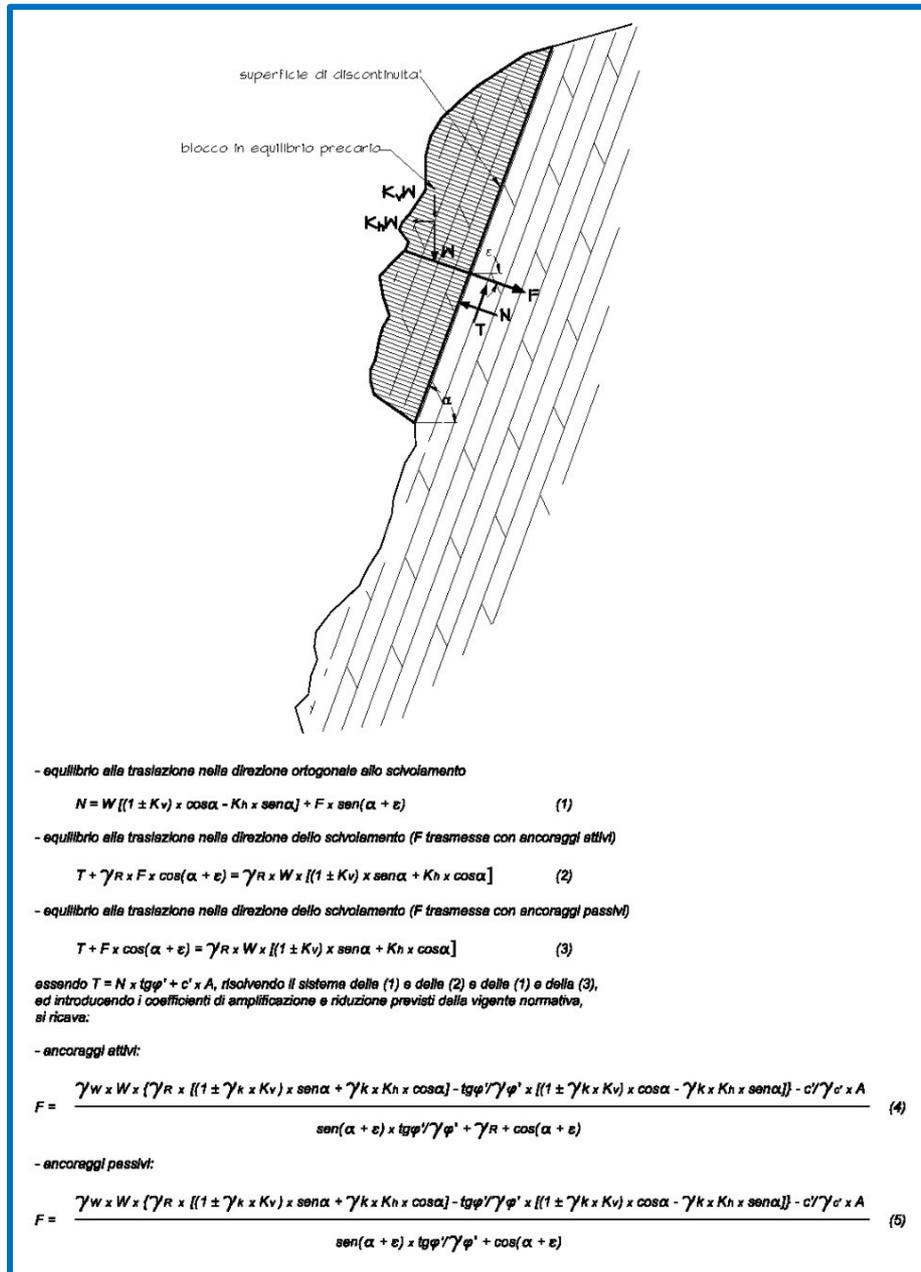


Fig. 60 - Sliding (plane failure): schema di calcolo della forza stabilizzante

Lo schema di calcolo di fig. 60 è rappresentativo del meccanismo di rottura per scivolamento lungo una superficie di discontinuità caratterizzata da un'inclinazione α . Nella medesima figura sono indicati le forze agenti sul blocco roccioso, il significato dei simboli, le equazioni di equilibrio e l'espressione della forza stabilizzante F.

Lo schema di calcolo relativo al meccanismo di ribaltamento, illustrato in fig. 61, è di validità generale. Evidentemente, per la sua applicazione occorre tenere conto delle effettive condizioni al contorno degli elementi lapidei da consolidare.

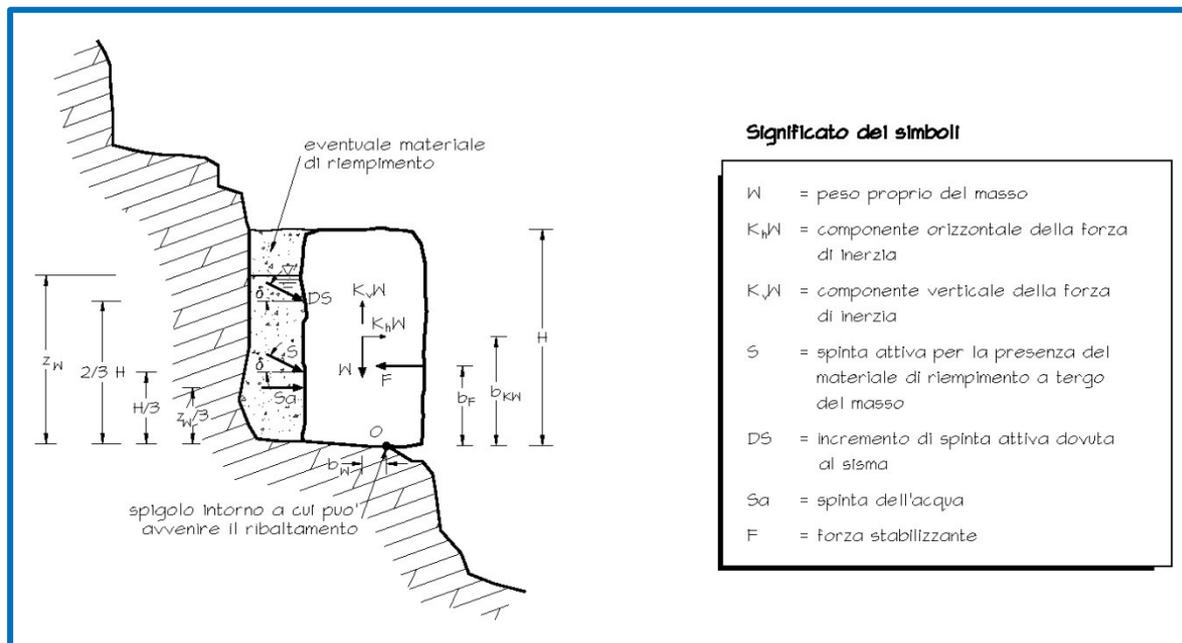


Fig. 62 - Toppling: schema di calcolo della forza stabilizzante

Nell'ipotesi che l'apertura della discontinuità che separa il masso dal fronte lapideo non sia tale da formare un cuneo di spinta, sull'elemento lapideo agiscono le forze appresso indicate:

- il peso proprio W, con braccio b_w rispetto allo spigolo attorno a cui può avvenire il ribaltamento;
- la spinta dell'acqua S_a , avente braccio pari a $z/3$, essendo z l'altezza del livello dell'acqua a tergo del masso;
- la forza di inerzia $K \times W$, di componente orizzontale $k_h \times W$ e verticale $k_v \times W$ rispettivamente con braccio pari a b_{kw} e b_w ;
- la forza F trasmessa alla roccia con gli ancoraggi, con braccio pari a b_f .

Il momento stabilizzante è pari a:

$$M_s = W \times b_w + F \times b_f \quad (i)$$

Il momento ribaltante è invece fornito dalla:

$$M_r = K_h \times W \times b_{kw} + k_v \times W \times b_w + S_a \times z_w / 3 \quad (ii)$$

Il coefficiente di sicurezza è pari a:

$$\gamma_R = M_s / M_r \quad (iii)$$

Per cui, tenendo conto delle espressioni (i), (ii) e (iii)

$$F = [\gamma_R (k_h \times W \times b_{kw} + k_v \times W \times b_w + S_a \times z_w / 3) - W \times b_w] / b_f \quad (iiii)$$

avendo indicato con b_f il braccio della forza F.

10.4 Determinazione delle forze stabilizzanti

Per la determinazione delle forze stabilizzanti F da trasmettere agli elementi lapidei in argomento si è fatto riferimento agli schemi di calcolo illustrati in dettaglio al paragrafo precedente e a quanto indicato nella vigente normativa (D.M. 17/01/18), in verità non molto esplicita nel caso della meccanica delle rocce.

In particolare:

- i calcoli sono stati sviluppati nei confronti degli Stati Limite Ultimi (SLU);
- in analogia a quanto prescritto nel citato D.M. per i muri di sostegno, si è fatto riferimento agli **approcci progettuali** e alle **combinazioni** indicate in tab. V.

MECCANISMO DI ROTTURA	APPROCCIO	COMBINAZIONE	ABBINAMENTO COEFFICIENTI (D.M. 14/01/2008)	γ_w	γ_k	γ_ϕ	γ_R	k_v
Scivolamento	1	2	A2+M2+R2	1,00	1,00	1,25	1,00	positivo
	1	2	A2+M2+R2	1,00	1,00	1,25	1,00	negativo
	2	---	A1+M1+R3	1,30	0,00	1,00	1,10	-
Ribaltamento	1	1	A2+M2+R1*	1,00	1,00	-	1,40	-

* A favore di sicurezza di è posto $\gamma_R = 1,4$ anzichè 1

Tab. V - Coefficienti per le verifiche secondo il D.M. 17/01/2018

Nella tab. V sono, altresì, evidenziati i coefficienti di amplificazione dei carichi sfavorevoli (γ_w , γ_k), di riduzione dei parametri caratteristici di resistenza del terreno (γ_ϕ) e quello parziale, ossia di sicurezza (γ_R).

Va rilevato che, a favore di sicurezza, in corrispondenza del meccanismo di rottura di ribaltamento, sul quale nulla precisa la vigente normativa, si è ritenuto opportuno considerare un valore di $\gamma_R = 1,4$, pari al massimo previsto nel D.M., benché all'unica combinazione possibile corrisponda $\gamma_R = 1$.

I calcoli sono stati sviluppati per gli elementi lapidei in equilibrio instabile, per i quali sono stati previsti gli interventi puntuali, e per un blocco tipo sostenuto dai pannelli di funi (intervento diffuso), ipotizzandone, a favore di sicurezza, un volume $V = 4 \text{ m}^3$ (altezza e larghezza pari a 2 m e spessore pari a 1 m). Evidentemente, per ciascun elemento lapideo si è fatto riferimento ai possibili cinematismi indicati nella tab. III. Va rilevato quanto appresso:

- a favore di sicurezza, i calcoli relativi al *toppling* sono stati sviluppati ipotizzando l'azione squilibrante contemporanea del sisma (prevista dalla normativa) e della spinta idrostatica dell'acqua di saturazione del materiale di riempimento eventualmente presente all'interno della discontinuità che separa l'elemento lapideo dalla roccia retrostante (non prevista dalla vigente normativa); inoltre, si è trascurato il momento della forza peso laddove stabilizzante. Per non eccedere nelle cautele, si è assunto:

$$\text{per } H \geq 10 \text{ m, } z_w = H/2$$

$$\text{per } H < 10 \text{ m, } z_w = H$$

con H = altezza dell'elemento lapideo e z_w = altezza della spinta dell'acqua;

- a favore di sicurezza, per lo sliding si è assunto pari a 43° l'angolo di resistenza al taglio della roccia lungo la discontinuità (v. paragrafo 8.3).

I risultati ottenuti sono raccolti nei tabulati allegati nell'elaborato R6 e sintetizzati nella tab. VI.

Elemento Lapideo	Cinematismo	Intervento puntuale	F (kN)	n_t	T_{et} (kN)	n_r	T_{er} (kN)
B2	toppling	imbracatura a 2 livelli	34,7	4	8,7	2	8,7
B3	toppling	imbracatura a 2 livelli	273,7	4	68,7	2	68,7
B4	sliding $\alpha = 65^\circ$	imbracatura a 2 livelli	389,0	4	97,3	2	97,3
B5	toppling	imbracatura a 2 livelli	251,5	4	63,1	2	63,1
B6	toppling	imbracatura a 2 livelli	298,5	4	74,9	2	74,9
B7	toppling	imbracatura a 2 livelli	367,7	4	92,3	2	92,3
B8	toppling	imbracatura a 2 livelli	137,8	4	34,6	2	34,6
B9	toppling	placcaggio con 6 tiranti	1601,37	6	267,9	-	-
B10	toppling	imbracatura a 2 livelli	320,3	4	80,4	2	80,4
B12	sliding $\alpha = 65^\circ$	placcaggio con 8 tiranti	2331,1	8	291,4	-	-
B16	toppling	placcaggio con 4 tiranti	629,3	4	157,9	-	-
B18	toppling	imbracatura a 3 livelli	708,3	6	118,5	3	118,5
B19	toppling	imbracatura a 5 livelli	1117,5	10	111,8	5	111,8
M5	sliding $\alpha = 55^\circ$	imbracatura a 3 livelli f.d.	1230,9	6	205,2	6	102,6
M5	toppling	imbracatura a 3 livelli f.d.	856,3	6	143,3	6	71,6
M6	toppling	imbracatura a 4 livelli	762,3	8	95,7	4	95,7
M7	toppling	imbracatura a 3 livelli	687,3	6	115,0	3	115,0
M8	toppling	imbracatura a 4 livelli f.d.	1157,6	8	145,3	8	72,6
blocco tipo	sliding $\alpha = 65^\circ$	pannello di funi	77,8	1	77,8	-	-
blocco tipo	toppling	pannello di funi	54,7	1	54,9	-	-

Tab. VI - Forze stabilizzanti e carichi di esercizio in funi e tiranti

10.5 Determinazione del tiro di esercizio di tiranti e funi

Per la determinazione degli sforzi di esercizio sui tiranti e sulle funi di imbracatura si è fatto riferimento alle espressioni appresso riportate:

a) tiranti di ancoraggio

$$T_{et} = \frac{F}{n_t} \quad (a)$$

b) funi di imbracatura

$$T_{ef} = \frac{F}{2 \times n_f} \quad (b)$$

essendo:

- T_{et} , lo sforzo di esercizio su ciascun tirante;
- F , la forza stabilizzante;
- n_t , il numero di tiranti di consolidamento dell'elemento lapideo;
- T_{ef} , lo sforzo di esercizio su ciascuna fune;
- n_f , il numero di funi di imbracatura applicate sul singolo blocco.

In effetti le (a) e (b) sono rigorose nel caso in cui la forza F è stata determinata con riferimento allo *sliding*, in quanto il valore di F tiene conto dell'inclinazione dei tiranti di ancoraggio rispetto all'orizzontale. Nel caso del *toppling*, invece, la F è orizzontale e, quindi, per il calcolo degli sforzi su funi e tiranti occorre dividere per il coseno dell'angolo di inclinazione degli stessi, pari a 5° .

Nella già citata tab. VI sono riportati, in corrispondenza di ciascun elemento lapideo:

- il valore di F ;
- lo sforzo di esercizio su ciascuna fune T_{ef} calcolato con l'espressione (b) sopra riportata, eventualmente modificata come innanzi indicato;
- lo sforzo di esercizio su ciascun tirante T_{et} calcolato con l'espressione (a) sopra riportata eventualmente modificata come innanzi indicato.

Dalla tab. VI risulta che:

a) il valore massimo del tiro sui tiranti con armatura in barre di acciaio B450C del diametro pari a 24 mm (di ancoraggio dei pannelli di funi – blocco tipo) è pari a:

$$T_{et}^{\max} = 77,8 \text{ kN}$$

b) il valore massimo del tiro sui tiranti con armatura in barre di acciaio ad alta resistenza del diametro pari a 26,5 mm (di ancoraggio delle funi di imbracatura e di placcaggio – singoli elementi lapidei) è pari a:

$$T_{et}^{max} = 291,4 \text{ kN}$$

c) il valore massimo del tiro sulle funi $\varnothing 16$ mm in acciaio è pari a:

$$T_{ef}^{max} = 118,5 \text{ kN}$$

10.6 Dimensionamento dei tiranti

La lunghezza complessiva L dei tiranti è, in generale, somma di due termini:

$$L = L_a + L_b$$

essendo:

- L_a = lunghezza del tratto libero;
- L_b = lunghezza del bulbo.

La lunghezza della fondazione L_b viene dimensionata nei riguardi della verifica allo sfilamento del complesso “*bulbo-terreno*”. In base alla vigente normativa deve risultare:

$$T_{et}^{max} \leq R_{ad} = R_{ak} / \gamma_{Ra,p}$$

Essendo:

- T_{et}^{max} , il massimo tiro di esercizio dei tiranti;
- R_{ad} , la resistenza di calcolo;
- R_{ak} , la resistenza caratteristica allo sfilamento del complesso “*bulbo-terreno*”;
- $\gamma_{Ra,p}$, un fattore parziale, pari a 1,2 per tiranti permanenti, quali quelli in argomento.

La valutazione della resistenza caratteristica si può effettuare:

- a) mediante prove preliminari su ancoraggi;
- b) con metodi di calcolo analitici.

In base alla vigente normativa deve essere:

$$R_{ak} = R_{ac} / \zeta_{ai}$$

ove:

- $R_{ac} = S_{lim}$ = carico limite allo sfilamento del tirante ottenuto dal calcolo;
- ζ_{ai} , fattore di correlazione, il cui valore è pari a 1,80 nel caso si faccia ricorso ai metodi di calcolo analitici, come nel caso in oggetto.

In definitiva, deve risultare:

$$T_{et}^{max} \leq S_{lim} / (\gamma_{Ra,p} \times \zeta_{ai}) = S_{lim} / 2,16$$

L'espressione di S_{lim} a cui si fa riferimento per ancoraggi in roccia è la seguente (fig. 62):

$$S_{lim} = \pi \times D \times \tau \times L_b$$

in cui:

- S_{lim} - carico limite allo sfilamento del complesso bulbo-terreno;
- L_b - lunghezza del bulbo;
- τ - massima tensione di adesione "miscela-roccia";
- D - diametro del bulbo.

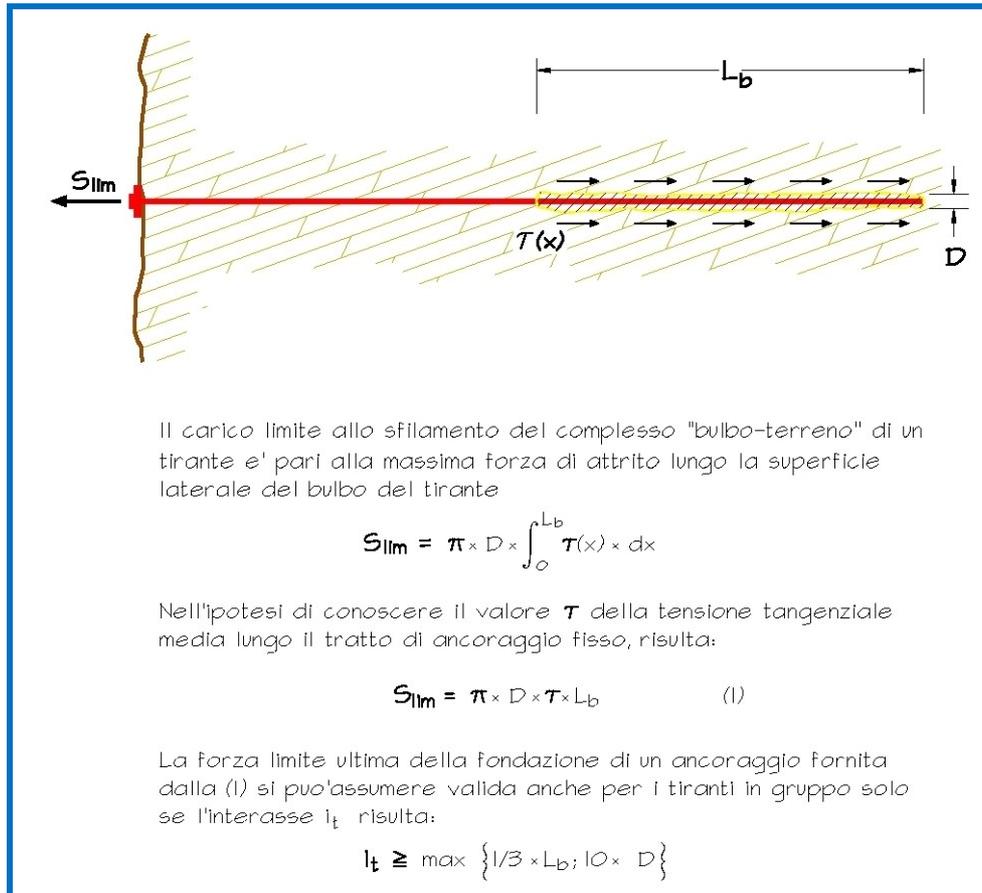


Fig. 62 - Carico limite allo sfilamento del complesso "tirante-roccia lapidea"

Per quanto riguarda la τ , si è fatto riferimento ai risultati di letteratura illustrati nella fig. 63, dove sono indicati i valori massimi τ_{lim} della tensione tangenziale di adesione "miscela-roccia" in funzione del tipo di roccia. Per i calcari e le dolomie vengono indicati valori della τ_{lim} compresi tra 1.200 kN/m² e 1.560 kN/m². Nel caso specifico, a favore di sicurezza si è utilizzato, per la verifica allo sfilamento del tiranti, un valore della tensione tangenziale pari ai 2/3 dell'estremo inferiore dell'intervallo innanzi indicato. Si è posto, cioè:

$$\tau = 800 \text{ kN/m}^2$$

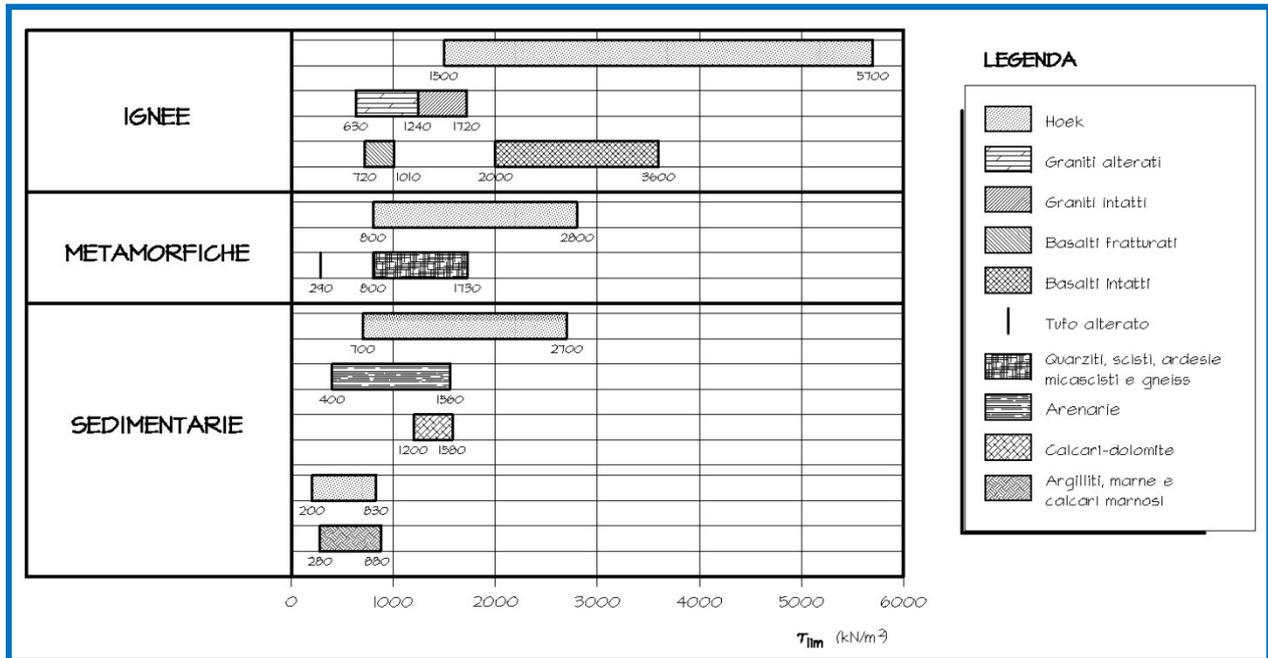


Fig. 63 - Valori della tensione tangenziale limite al variare del tipo di roccia

In ogni caso, in fase esecutiva, **si effettueranno ulteriori prove di sfilamento su ancoraggi identici a quelli in progetto, per una verifica sperimentale dei calcoli eseguiti**, come specificatamente prescritto dalle vigenti NTC (D.M. Infrastrutture 17/01/2018).

Per quanto riguarda il diametro del bulbo, nelle verifiche si è posto cautelativamente $D = d$, essendo d il diametro di perforazione, in quanto quello del bulbo non è noto a priori e, comunque, non differisce molto da quello di perforazione trattandosi di roccia.

Dal momento che i tiranti utilizzati in corrispondenza degli interventi puntuali presentano caratteristiche diverse da quella degli ancoraggi dei pannelli di funi, sono state sviluppate due verifiche distinte.

a) Tiranti di ancoraggio delle funi di imbracatura e di placcaggio dei singoli elementi lapidei

$$T_{et}^{max} = 291,4 \text{ kN} \quad L_b = 3 \text{ m} \quad D = 90 \text{ mm}$$

Risulta:

$$S_{lim} = \pi \times D \times \tau \times L_b = 678,2 \text{ kN}$$

$$T_{et}^{max} = 291,4 \text{ kN} < S_{lim}/2,16 = 314,0 \text{ kN}$$

b) Ancoraggi dei pannelli di funi

$$T_{et}^{max} = 77,8 \text{ kN} \quad L_b = 3 \text{ m} \quad D = 42 \text{ mm}$$

Risulta:

$$S_{lim} = \pi \times D \times \tau \times L_b = 316,5 \text{ kN}$$
$$T_{et}^{max} = 77,8 \text{ kN} < S_{lim}/2,16 = 146,5 \text{ kN}$$

La lunghezza di ancoraggio libero dei tiranti di ancoraggio delle funi di imbracatura è stata determinata secondo il criterio che il bulbo debba ricadere, con adeguato margine di sicurezza, al di là della roccia fratturata superficiale: si è ritenuta opportuna una lunghezza di ancoraggio libero non inferiore a 3 m (fig. 51). Nel caso dei tiranti di placcaggio la lunghezza di ancoraggio libero deve tenere conto anche dello spessore del blocco da stabilizzare: di conseguenza è risultata variabile da 3 m a 9 m (fig. 53).

Con riferimento alle verifiche strutturali dell'armatura metallica dei tiranti, si rileva che, in base alla vigente normativa (D.M. 17/01/18), la tensione agente nelle strutture metalliche deve essere non superiore alla resistenza di calcolo f_{yd} dell'acciaio, pari a:

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$$

essendo:

- f_{yk} , la tensione convenzionale caratteristica di snervamento;
- γ_s , il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio, pari a 1,15.

Indicando con σ_{max} la massima tensione agente nelle barre in acciaio previste in progetto, risulta:

a) Tiranti di ancoraggio delle funi di imbracatura e di placcaggio

$$T_{et}^{max} = 291,4 \text{ kN} \quad \text{barre } \phi 26,5 \text{ mm}$$
$$\sigma_{max} = 291.400/(\pi \times 26,5^2/4) = 528,60 \text{ N/mm}^2$$
$$\sigma_{max} = 528,60 \text{ N/mm}^2 < f_{yk}/\gamma_s = 900/1,15 = 782,61 \text{ N/mm}^2$$

b) Ancoraggi dei pannelli di funi

$$T_{et}^{max} = 77,8 \text{ kN} \quad \text{barre } \phi 24 \text{ mm}$$
$$\sigma_{max} = 77.800/(\pi \times 24^2/4) = 172,06 \text{ N/mm}^2$$
$$\sigma_{max} = 172,06 \text{ N/mm}^2 < f_{yk}/\gamma_s = 450/1,15 = 391,30 \text{ N/mm}^2$$

10.7 Verifica di aderenza “barra di acciaio - miscela di iniezione”

Il valore della τ_m agente nella miscela al contatto con la barra metallica è fornito dalla seguente espressione, ricavata sperimentalmente:

$$\tau_m = T_{et}^{max} / (\pi \times d \times L_b \times \gamma \times \delta) \quad (c)$$

essendo:

- T_{et}^{max} , lo sforzo di esercizio massimo agente sul tirante;
- d , il diametro della barra di armatura;
- L_b , la lunghezza di ancoraggio fisso (bulbo);
- γ , un coefficiente correttivo, dipendente dallo stato della superficie della barra di armatura e dalla eventuale presenza di dispositivi di ancoraggio profondi;
- δ , un coefficiente correttivo, dipendente dal numero di armature elementari contenuti in ciascuna perforazione.

Nel caso in oggetto risulta:

- $\gamma = 2$ (barra corrugata senza “compressione grips” all’estremità profonda);
- $\delta = 1$ (sarà installata una sola barra per ogni perforazione).

Si ha:

$$T_{et}^{max} = 291.400 \text{ N} \quad d = 26,5 \text{ mm} \quad L_b = 3.000 \text{ mm}$$

Con riferimento ai valori innanzi riportati, mediante la (c) si ottiene:

$$\tau_m \cong 0,58 \text{ N/mm}^2$$

Inoltre:

$$T_{et}^{max} = 77.800 \text{ N} \quad d = 24 \text{ mm} \quad L_b = 3.000 \text{ mm}$$

Con riferimento ai valori innanzi riportati, mediante la (c) si ottiene:

$$\tau_m \cong 0,17 \text{ N/mm}^2$$

Si tratta di valori di τ_m trascurabili a confronto della tensione di aderenza massima della miscela di iniezione trattata con additivo antiritiro, superfluidificante ed espansivo nella percentuale del 6% rispetto al peso del cemento, pari a 15 N/mm^2 , valore ricavato sperimentalmente dalla ditta produttrice dell’additivo.

10.8 Verifica strutturale delle funi di acciaio

In base alla vigente normativa, la tensione agente nelle strutture metalliche deve essere non superiore alla resistenza di calcolo f_{yd} dell’acciaio, pari a:

$$f_{yd} = 0,90 \times f_{yk} / \gamma_s = 1.385 \text{ N/mm}^2$$

essendo :

- $f_{yk} = 1.770 \text{ MPa}$, la tensione convenzionale caratteristica di snervamento;
- γ_s , il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio, pari a 1,15.

La verifica risulta soddisfatta in quanto la massima tensione agente sulla fune vale:

$$T_{ef}^{max} / S \cong 1.208 \text{ N/mm}^2 < 1.385 \text{ N/mm}^2$$

dove:

- $T_{ef}^{max} = 118.500 \text{ N}$, è il massimo tiro agente sulle funi (v. paragrafo 10.5);
- $S = 98,1 \text{ mm}^2$, è la sezione della fune $\varnothing 16 \text{ mm}$, come risulta dalla fig. 64 (funi a 222 fili più anima tessile).

Funi in acciaio in fili di uguale diametro						DIN 655				
FORMAZIONE	Numero			\varnothing nom. della fune mm (tol. $\pm 5\%$)	\varnothing nom. del filo ¹⁾ mm	Sezione metallica della fune mm ²	Peso kg/m (tol. $\pm 5\%$)	Carico di rottura teorico ²⁾ della fune in kg per una tensione nominale di rottura del filo singolo di kg/mm ²		
	dei trefoli	dei fili in un trefolo	di tutti i fili					140	160	180
 6x19= 114 fili + anima tessile	6	19	114	3,5	0,23	4,74	0,045	660	750	850
				4	0,26	6,09	0,057	845	950	1100
				5	0,31	8,6	0,081	1200	1350	1550
				6	0,37	12,3	0,116	1720	1950	2200
				6,5	0,4	14,3	0,135	2000	2300	2550
				8	0,5	22,4	0,21	3130	3600	4050
				9,5	0,6	32,2	0,30	4500	5150	5800
				11	0,7	43,4	0,41	6140	7000	7900
				12,5	0,8	51,3	0,54	8020	9150	10300
				14	0,9	72,5	0,68	10100	11600	13050
				16	1,0	94,5	0,85	12500	14300	16100
				17	1,1	109,3	1,02	15100	17350	19500
				19	1,2	128,4	1,22	18000	20600	23200
				20	1,3	151,3	1,43	21100	24200	27250
22	1,4	175,5	1,66	24500	28050	31600				
 6x37 = 222 fili + anima tessile	6	37	222	6	0,28	13,67	0,130	1910	2190	2460
				7	0,31	16,76	0,151	2340	2680	3010
				8	0,34	20,16	0,191	2820	3230	3640
				9	0,4	27,4	0,26	3400	4450	5000
				10	0,45	35,3	0,34	4440	5650	6350
				12	0,5	43,6	0,41	6100	7000	7850
				12	0,55	52,7	0,50	7310	8450	9500
				13	0,6	62,8	0,59	8190	9450	10600
				14	0,65	73,7	0,70	10300	11800	13250
				15	0,7	85,4	0,81	11400	13050	14500
				16	0,75	98,1	0,93	13100	15100	17500
				18	0,8	111,6	1,06	15600	17850	20100
				20	0,9	141,2	1,34	19700	22600	25400
				22	1,0	174,4	1,65	24400	27900	31400
				24	1,1	211,0	2,00	29500	33750	38000
				27	1,2	251,1	2,38	35100	40200	45200
				29	1,3	294,7	2,80	41200	47150	53050
				31	1,4	341,7	3,24	47800	54650	61500
33	1,5	392,3	3,72	54900	62750	70600				
35	1,6	446,4	4,24	62400	71400	80350				
37	1,7	503,9	4,78	70500	80600	90700				
40	1,8	564,9	5,36	79200	90400	101700				
42	1,9	628,4	5,97	88400	100700	113500				
44	2,0	697,4	6,62	97600	111600	125500				
 8x37 = 246 fili + anima tessile	8	37	246	16	0,6	83,7	0,84	11700	13400	15050
				19	0,7	113,9	1,14	15400	18200	20500
				20	0,75	130,8	1,31	18300	20750	23550
				21	0,8	149,8	1,49	20600	23800	26800
				23	0,85	168,0	1,68	23500	26400	30250
				25	0,95	204,8	2,10	27300	30950	34750
				27	1,0	232,5	2,32	30900	34200	38950
				30	1,1	281,3	2,81	37300	45000	50650
				32	1,2	334,8	3,35	46800	53950	60250
				35	1,3	392,3	3,95	55200	62950	70700
				37	1,4	455,7	4,56	63700	73000	82000
				40	1,5	523,1	5,24	73200	83700	94150
				43	1,6	595,1	5,95	83900	95200	107100
				45	1,7	671,9	6,72	94600	107500	120750
48	1,8	752,2	7,52	105000	120250	135400				
51	1,9	834,2	8,34	117000	134300	151050				
54	2,0	924,9	9,30	130000	148800	167400				
58	2,2	1123,1	11,25	157000	180000	202500				

¹⁾ I diametri dei fili valgono per fili lucidi e fili zincati. Tolleranze sec. DIN 2075 F1. Il diametro del filo d'anima dei trefoli, può essere maggiorato del 10%.

²⁾ Il carico di rottura teorico della fune e' il prodotto della resistenza nominale dei fili per la somma della sezione nominale dei fili. Il carico di rottura effettivo e' la somma dei carichi di rottura dei diversi fili determinati sperimentalmente. Esso non deve essere inferiore al carico di rottura teorico e non deve superarlo possibilmente di oltre il 5%.

Il carico di rottura effettivo e' il carico al quale si rompe una spezzina della fune. Esso non deve sottopassare di oltre il 15% il carico di rottura teorico delle funi con formazione A, B, D e di oltre il 20% quello delle funi con formazione C.

Fig. 64 - Caratteristiche delle funi di acciaio

10.9 Verifica strutturale dei pannelli di funi

Il pannello di funi è stato verificato al punzonamento sollecitato dalla spinta esercitata dal blocco tipo: la forza concentrata con cui agisce il blocco instabile sul pannello è

uguale e opposta alla forza stabilizzante F stabilizzante il blocco medesimo (già calcolata con i coefficienti di sicurezza previsti dalla normativa vigente, come indicato al paragrafo 10.4). Dalla tab. VI risulta:

$$F = 77,8 \text{ kN}$$

Tenendo conto della resistenza a rottura per punzonamento del pannello di funi considerato, pari a 235 kN, risulta un coefficiente di sicurezza η pari a:

$$\eta = 235/77,8 = 3$$

Palermo, aprile 2022

Prof. ing. Fabio Cafiso



Appendice A

*Caratteristiche delle superfici di discontinuità
e tecniche di rappresentazione
ed elaborazione statistica*

DEFINIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DELLE DISCONTINUITA' DELLE ROCCE LAPIDEE

Le caratteristiche delle discontinuità utili ai fini della caratterizzazione geotecnica di un ammasso roccioso sono: l'orientazione, la spaziatura, la persistenza, la scabrezza, la resistenza della roccia in prossimità delle pareti, la apertura, la permeabilità e le proprietà meccaniche del materiale di riempimento eventualmente presente.

Le prime tre grandezze, nonché il numero di famiglia di discontinuità e le dimensioni dei massi in cui risulta suddiviso l'ammasso, definiscono la configurazione geometrica della struttura; le altre caratteristiche forniscono, unitamente alle precedenti, elementi per la caratterizzazione meccanica.

La cinematica degli spostamenti dei blocchi di un ammasso roccioso dipende dalla **orientazione** delle discontinuità che li delimitano, descritta dall'angolo di **inclinazione** α e dall'**azimut di inclinazione** β , definiti in fig. A1a. Misurati in sito i valori di α e β rappresentativi della giacitura di ciascuna superficie di discontinuità presente sul fronte di esposizione, mediante uno strumento chiamato bussola clinometrica del Prof. Clar, questi vengono restituiti in forma grafica sui diagrammi circolari di Schmidt. Alla costruzione di tali diagrammi si perviene utilizzando la tecnica grafica della proiezione sferica.

A tal fine, si immagini una sfera di raggio unitario che, essendo libera di traslare ma non di ruotare, mantiene rispetto al Nord una orientazione costante.

Portando idealmente a coincidere il centro della sfera con un punto del piano di discontinuità, quest'ultimo interseca la superficie sferica secondo un cerchio massimo o "*meridiano*".

Oltre che dal meridiano, l'orientazione del piano di discontinuità può essere univocamente rappresentata dal "*polo*", punto di intersezione tra la superficie dell'emisfera inferiore e la retta, normale al piano, passante per il centro (fig. A1b).

Per la rappresentazione bidimensionale di tale costruzione ci si avvale della proiezione sferica a conservazione di angoli, detta isogonica (figg. A1b e A1c),

in base alla quale gli angoli ottenuti con la proiezione sono identici a quelli reali. Questa proprietà risulta assai utile ai fini della elaborazione statistica dei dati di orientazione.

Per effettuare l'elaborazione statistica dei dati, risulta agevole fare riferimento a diagrammi su cui siano rappresentati solamente i poli delle superfici di discontinuità (diagrammi polari).

Infatti, poiché la presenza di discontinuità isorientate, e cioè appartenenti alla medesima famiglia, determina l'addensamento dei poli in aree discrete del diagramma, tale rappresentazione permette di individuare speditamente il numero di famiglie di discontinuità presenti nell'ammasso e di pervenire alla costruzione dei diagrammi di frequenza. Su questi ultimi, per ciascun raggruppamento, vengono tracciate le curve di isodensità, che contornano le aree in cui è presente la medesima percentuale di poli, allo scopo di individuare, per ciascuna famiglia, i valori degli angoli α e β di massima densità. Sulla base dei valori di inclinazione e dell'azimut di inclinazione così determinati, vengono successivamente tracciati, sui diagrammi equatoriali, i meridiani rappresentativi di ciascuna famiglia di discontinuità.

La **spaziatura** è la distanza tra discontinuità adiacenti parallele o subparallele e viene misurata in centimetri.

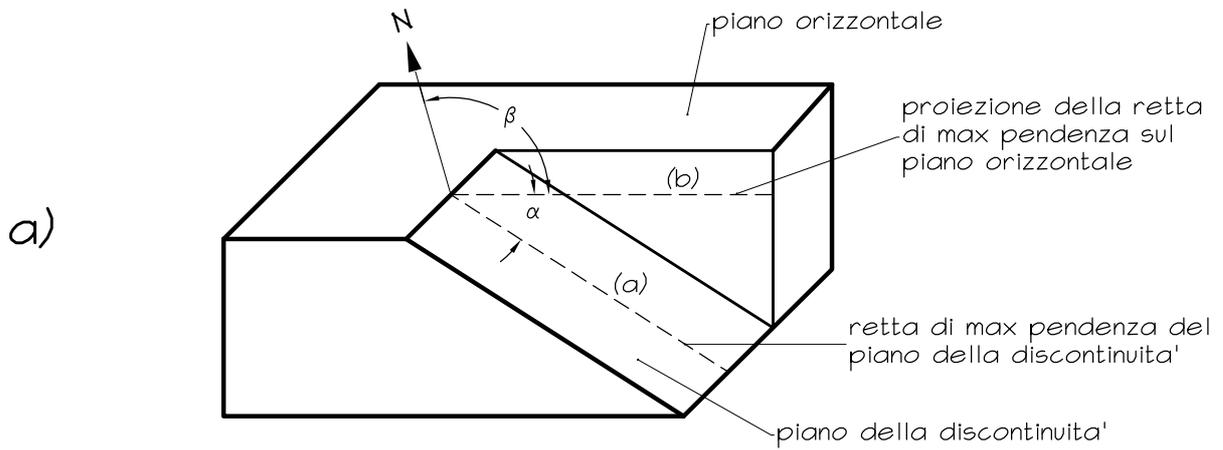
Nel caso di rilievi lungo "scanlines", ossia lungo rette orientate, viene rilevata la cosiddetta "fracture intercept" che si indica con la lettera λ e rappresenta il numero di discontinuità a metro lineare di rilievo. Tale parametro può essere messo in relazione alla spaziatura.

La **persistenza** di una discontinuità, misurata in metri, viene identificata con la lunghezza della traccia di tale superficie sul fronte di esposizione.

Un altro parametro che interviene nel comportamento meccanico dell'ammasso

roccioso è l'**apertura** delle discontinuità, e cioè la distanza che intercorre fra le pareti di quest'ultima.

La **scabrezza** è dovuta alla presenza di ondulazioni o gradini che modificano sensibilmente l'andamento geometrico complessivo della discontinuità, rispetto al piano di cui essa viene riferita. Tale grandezza viene rappresentata mediante il parametro JRC ("*Joint Roughness Coefficient*"), i cui valori sono stati proposti da Barton.



α : angolo formato dalla retta (a) di max pendenza del piano di discontinuita' con la sua proiezione (b) sul piano orizzontale

β : angolo azimutale della retta (a) misurato in senso antiorario

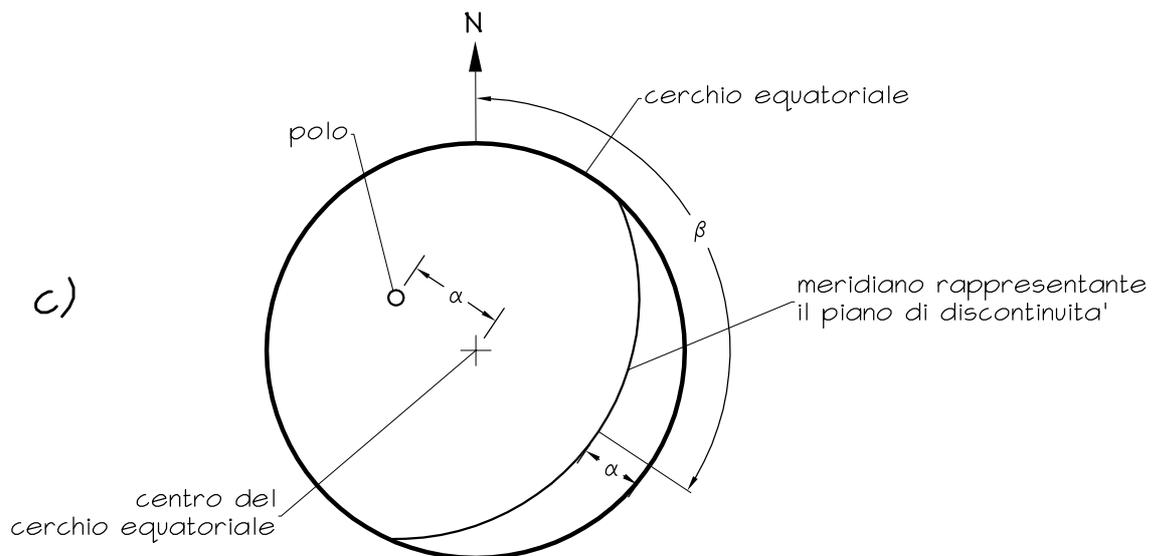
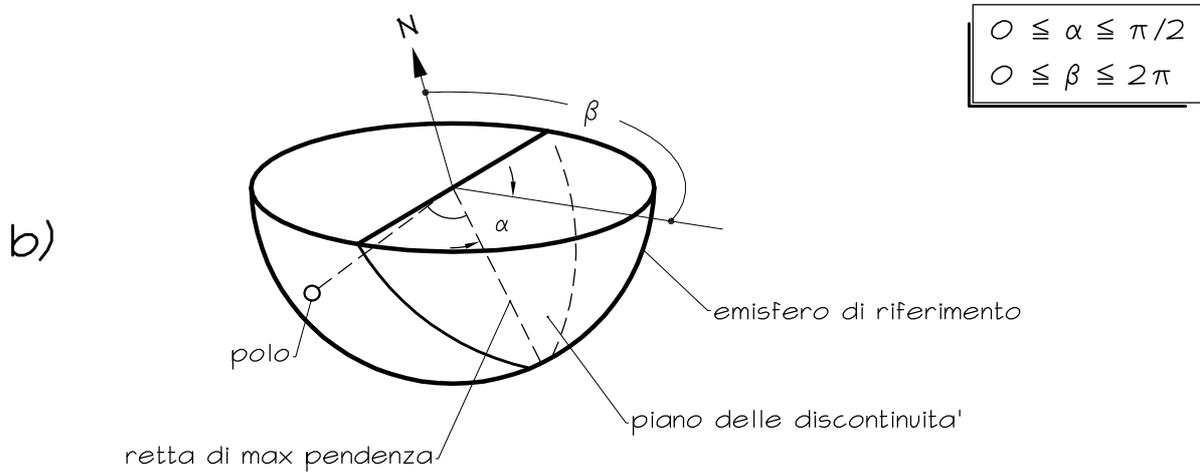


FIG. A.1 - Definizione del sistema di riferimento per la rappresentazione grafica delle superfici di discontinuità e significato degli angoli di orientazione α e β

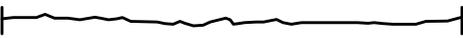
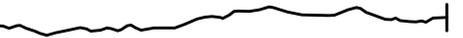
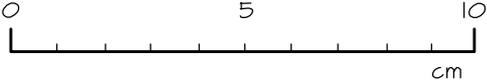
PROFILI DI SCABREZZA TIPICI	JRC
	0-2
	2-4
	4-6
	6-8
	8-10
	10-12
	12-14
	14-16
	16-18
	18-20
	Scala

FIG. A.2 - Profili di scabrezza proposti da Barton per JRC variabile nell'intervallo 0-20