PROVINCIA DI L'AQUILA
SETTORE VIABILITÀ

INDAGINE GEOGNOSTICA E SISMICA
INTERVENTI DI SISTEMAZIONE DELLA S.R. 602 "DI FORCA DI PENNE"
A VILLA SANTA LUCIA DEGLI ABRUZZI E CASTEL DEL MONTE (AQ)
aprile 2025

RAPPORTO D'INDAGINE



GEO L'AQUILA s.r.l. – via Casella n.14 - 67100 L'Aquila
Sede operativa: Via San Clemente – Fossa (AQ) - 0862 755102

P.P.V.

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DELL'AQUILA
Ingegneria civile e ambientale, industriale, dell'informazione
GIUSEPPE PACE
N° 1051

Nel presente rapporto sono riportati i risultati dell'indagine geognostica e sismica, eseguita per conto del ***Settore Viabilità della Provincia di L'Aquila***, propedeutica agli *"Interventi di sistemazione e di riordino generale sulle SS.RR. e sulle SS.PP. ricomprese nei territori dei comuni di Castel Del Monte, Santo Stefano Di Sessanio, Castelvecchio Calvisio, Carapelle Calvisio, San Pio Delle Camere, Villa Santa Lucia Degli Abruzzi e Calascio (AQ)"* del *"DM 12.10.2021 Strategia Nazionale Aree Interne (SNAI) - Area Interna "Subequana"* sulla S.R. 602 "di Forca di Penne" nei comuni di Santa Lucia degli Abruzzi e Castel del Monte.

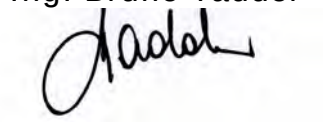
L'indagine, condotta con la direzione tecnica del professionista incaricato dalla committenza, è consistita nell'esecuzione di n.2 prove penetrometriche dinamiche, n.1 prova sismica tipo MASW (Multichannel Analisys of Surface Wawes) e n.3 stazioni di rilievo geomeccanico.

Le prove penetrometriche dinamiche sono state eseguite con penetrometro dinamico superpesante tipo Pagani TG 63-200.

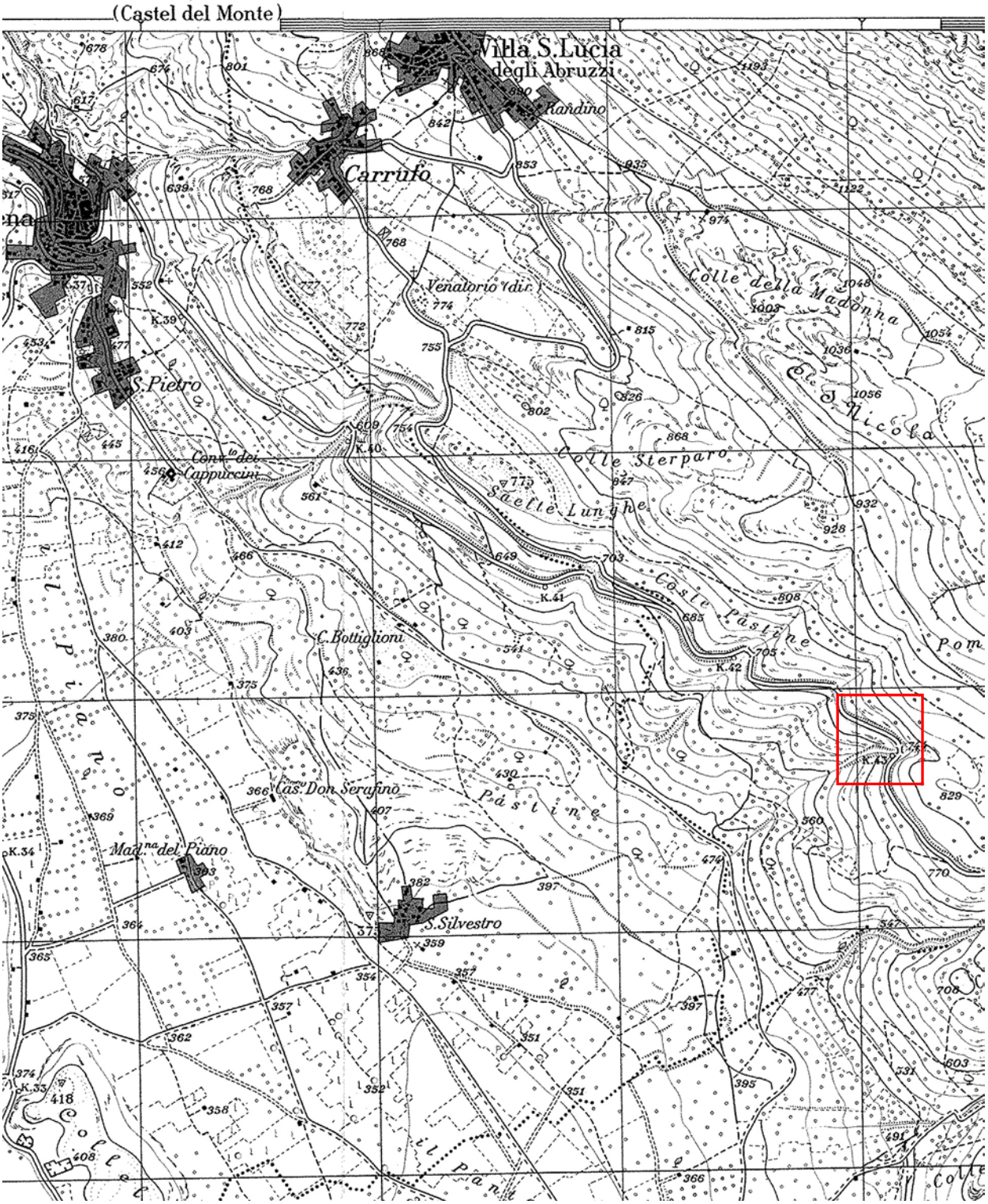
Nel seguito sono riportati:

- stralcio della Carta Topografica Regionale in scala 1:25.000;
- foto aerea con l'ubicazione delle prove;
- risultati prove penetrometriche dinamiche;
- risultati prove MASW;
- risultati rilievo geomeccanico;
- documentazione fotografica.

Ing. Bruno Taddei

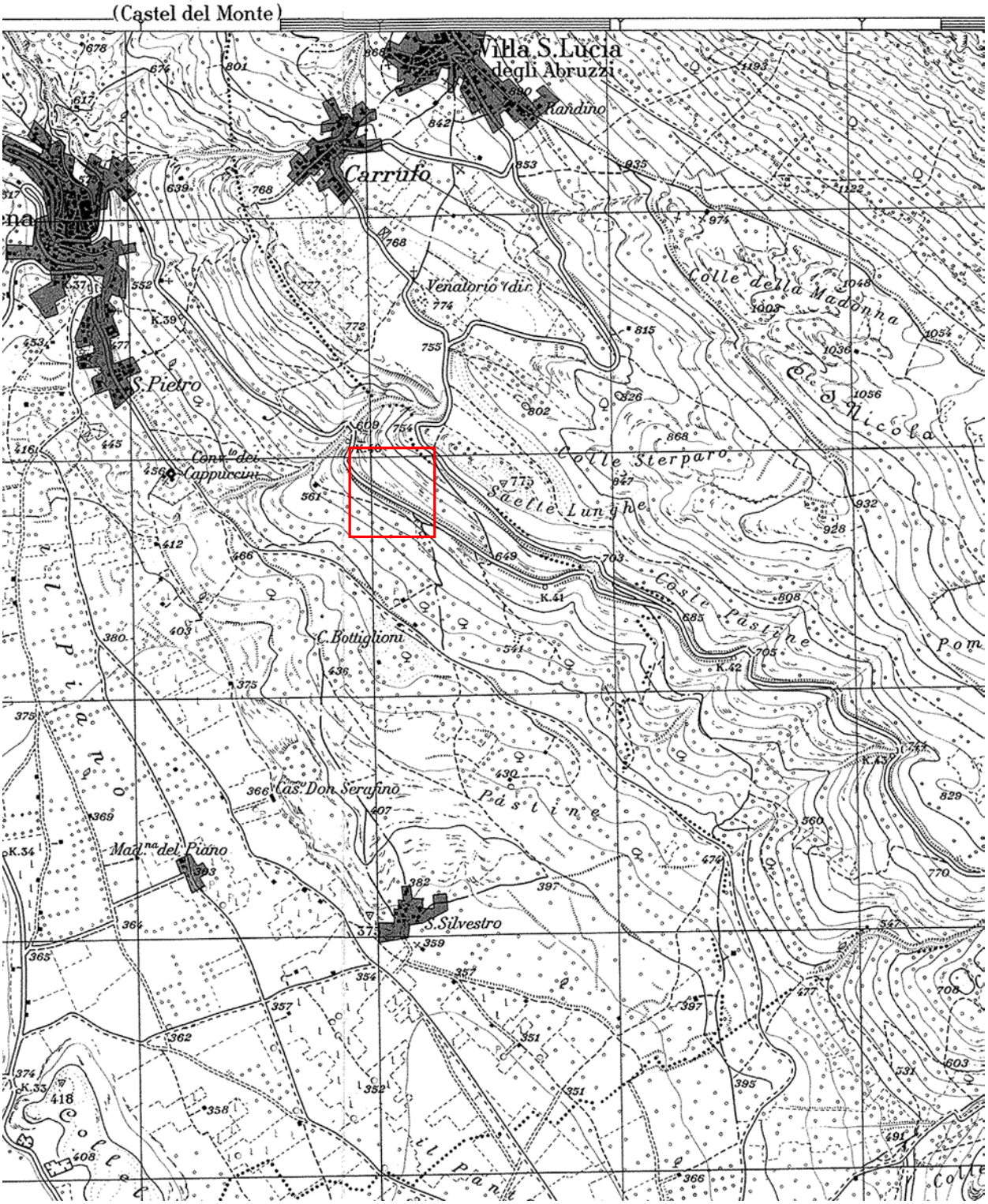


STRALCIO DELLA CARTA TECNICA REGIONALE (1:25.000)




A
A'

STRALCIO DELLA CARTA TECNICA REGIONALE (1:25.000)




PD/1
PD/2

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Provincia di L'Aquila – Settore Viabilità
Descrizione: Interventi di sistemazione della S.R. 602 "di Forca di Penne"
Localita': Villa Santa Lucia Degli Abruzzi e Castel del Monte (AQ)

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094	
Peso Massa battente	63,5	Kg
Altezza di caduta libera	0,75	m
Peso sistema di battuta	0,63	Kg
Diametro punta conica	51,00	mm
Area di base punta	20,43	cm²
Lunghezza delle aste	1	m
Peso aste a metro	6,31	Kg/m
Profondita' giunzione prima asta	0,40	m
Avanzamento punta	0,20	m
Numero colpi per punta	N(20)	
Coeff. Correlazione	1,47	
Rivestimento/fanghi	No	
Angolo di apertura punta	90	°

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE (DYNAMIC PROBING) DPL-DPM–DPH-DPSH

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α);
- avanzamento (penetrazione) δ ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	**Sigla di riferimento**	**peso della massa M** *(kg)*	**prof. max indagine battente** *(m)*
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento δ = 10 cm, punta conica (α=60-90°), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm^2 rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H=0.20 m, avanzamento δ = 10 cm, punta conica (α= 60-90°), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm^2 rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H=0.75 m, avanzamento δ=30 cm, punta conica (α = 60°), diametro D = 50.8 mm, area base cono A=20.27 cm^2 rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
massa battente M=63.5 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento δ=20-30 cm, punta conica conica (α = 60°-90°) diametro D = 50.5 mm, area base cono A = 20 cm^2, rivestimento / fango bentonitico: talora previsto.

Correlazione con Nspt

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi Nspt ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con Nspt. Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Qspt è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M peso massa battente.
M' peso aste.

H altezza di caduta.
A area base punta conica.
δ passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

Rpd resistenza dinamica punta (area A).
e infissione media per colpo (δ/ N).
M peso massa battente (altezza caduta H).
P peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N60 \text{ con } CN = \sqrt{(Pa/'\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa}$$ *(Liao e Whitman 1986)*

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_S \cdot C_r \cdot C_d$$

ER/60 rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
C_S parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
C_d funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
C_r parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software.*

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare, consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenze alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono:

Media
Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima
Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo
Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo
Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio
Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata
Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

***Media* (+ s)**
Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

***Media* (– s)**
Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.
Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$Nspt,_k = Nspt,_{medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{Nspt})$$

dove σ_{Nspt} è la deviazione standard di Nspt

Distribuzione normale R.N.C.
Il valore di Nspt,k viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di Nspt distribuiti normalmente:

$$Nspt,_k = Nspt,_{medio} - 1.645 \cdot \left(\sigma_{Nspt}\right) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immorsamento d = 1 m.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati Nspt il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se Nspt dello strato considerato risulta inferiore a Nspt critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione Nspt in presenza di falda

$$Nspt\ corretto = 15 + 0.5 \cdot \left(Nspt - 15\right)$$

Nspt è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda) σ >5 t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38°).

- Schmertmann (1977) - Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) σ >15 t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) s>15 t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young *(E_y)*

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici.
- Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.

- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione *(Stress Ratio)*

- Seed-Idriss (1978-1981). Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio *Vs (m/s)*

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio *(G)*

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione *(Ko)*

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico *(Qc)*

- Robertson (1983) - Qc

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli - correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con Nspt < 8, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). *C*u (min-max).
- Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5, per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, (Cu-Nspt-grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille** e **limi argillosi** con Nc = 20 e Qc/Nspt = 2.
- Schmertmann (1975), Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC.
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago). Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

***Resistenza alla punta del Penetrometro Statico** (Qc)*

- Robertson (1983) - Qc

***Modulo Edometrico-Confinato** (Mo)*

- Stroud e Butler (1975), - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità (IP < 20), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità (IP < 20) - da esperienze su argille glaciali.
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato -Mo (Eed) (Kg/cmq) -, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto Qc/Nspt=1.5-2.0).

- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte (Nspt < 30) medie e molli (Nspt < 4) e argille sabbiose (Nspt = 6-12).

Modulo Di Young *(E_Y)*

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15.
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

PROVA PD/1

Strumento utilizzato	DPSH TG 63-200 PAGANI
Prova eseguita in data	23/04/2025
Profondita' prova	0,80 mt

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	3	0,855	2,64	3,09	132,09	154,56
0,40	5	0,851	4,38	5,15	219,16	257,60
0,60	3	0,847	2,40	2,84	120,15	141,85
0,80	100	0,643	60,84	94,57	3042,00	4728,49

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (KN/m³)	Peso unita' di volume saturo (KN/m³)	Tensione efficace (KPa)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0,6	3,67	3,69	Incoerente - coesivo	0	17,46	18,44	5,24	1,47	5,39	
0,8	100	94,57	Incoerente - coesivo	0	24,52	24,52	12,93	1,47	147	

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA PD/1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (KPa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D.M.S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[1] -	5,39	0,60	33,05	66,10	24,52 - 49,03	21,48	51,48	110,72	47,66	81,98	26,38	86,89	66,10
[2] -	147	0,80	973,02	1801,97	0,00	329,80	1460,70	2837,06	544,56	2380,07	720,79	2560,22	1801,97

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Mpa)
[1] -	5,39	0,60	Robertson (1983)	1,06
[2] -	147	0,80	Robertson (1983)	28,83

Modulo Edometrico (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] -	5,39	0,60	2,43	7,93	5,57	6,61
[2] -	147	0,80	66,14	--	147,21	144,16

Modulo di Young (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] -	5,39	0,60	4,08	5,29
[2] -	147	0,80	163,78	144,16

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] -	5,39	0,60	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[2] -	147	0,80	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (KN/m^3)
[1] -	5,39	0,60	Meyerhof	17,46
[2] -	147	0,80	Meyerhof	24,52

Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (KN/m^3)
[1] -	5,39	0,60	Meyerhof	18,44
[2] -	147	0,80	Meyerhof	24,52

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	5,39	0,60	27,31	56,17	82,5	21,87
[2] -	147	0,80	100	100	100	100

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] -	5,39	0,60	5,39	28,54	21,54	29,51	34,09	31,83	0	<30	23,99	28,62	25,18	25,38
[2] -	147	0,80	147	69	62	69,16	37,48	10,65	42	>38	61,96	71,1	37,42	69,22

Modulo di Young (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appolloni a ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] -	5,39	0,60	5,39	---	4,23	---	---	---
[2] -	147	0,80	147	84,87	115,33	170,17	125,77	79,43

Modulo Edometrico (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] -	5,39	0,60	5,39	---	3,78	3,75	6,08
[2] -	147	0,80	147	86,49	32,30	102,35	68,02

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] -	5,39	0,60	5,39	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[2] -	147	0,80	147	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' di Volume (KN/m³)
[1] -	5,39	0,60	5,39	Terzaghi-Peck 1948	13,90
[2] -	147	0,80	147	Terzaghi-Peck 1948	16,46

Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (KN/m³)
[1] -	5,39	0,60	5,39	Terzaghi-Peck 1948	18,46
[2] -	147	0,80	147	Terzaghi-Peck 1948	19,96

Modulo di Poisson

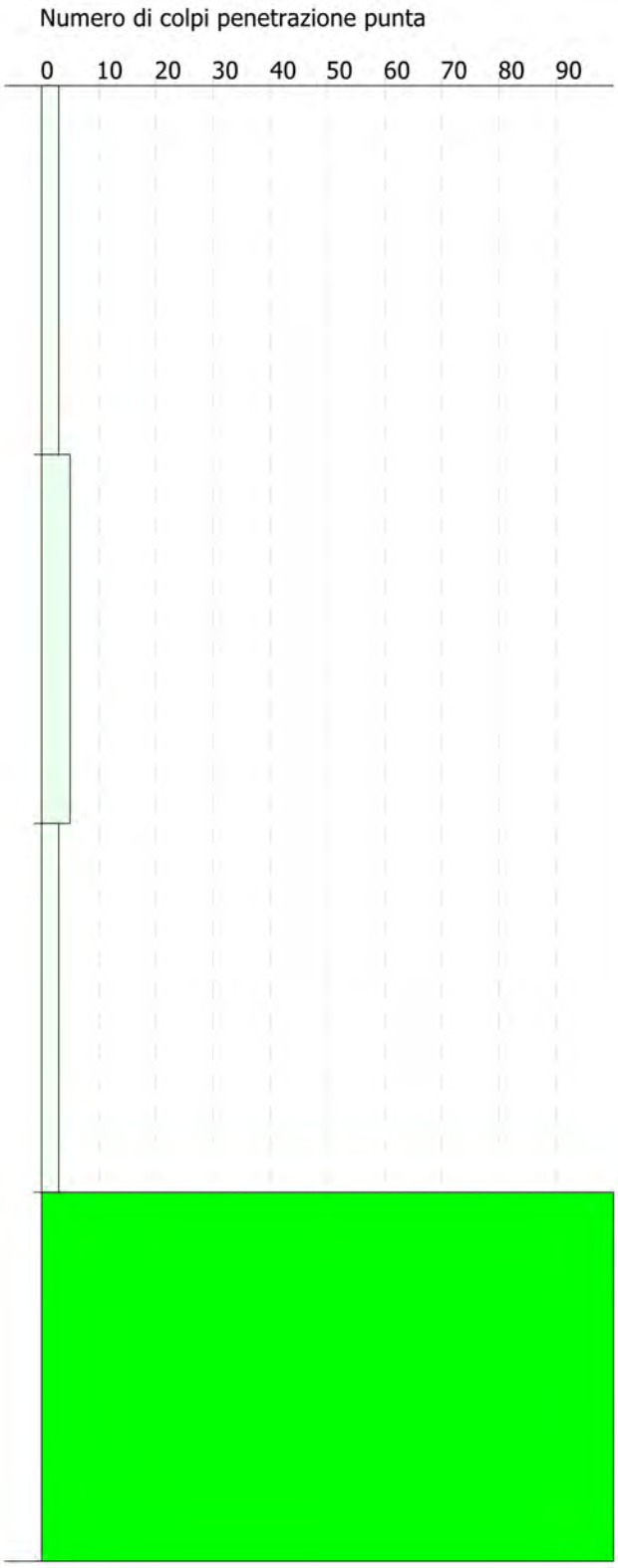
	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] -	5,39	0,60	5,39	(A.G.I.)	0,34
[2] -	147	0,80	147	(A.G.I.)	0,06

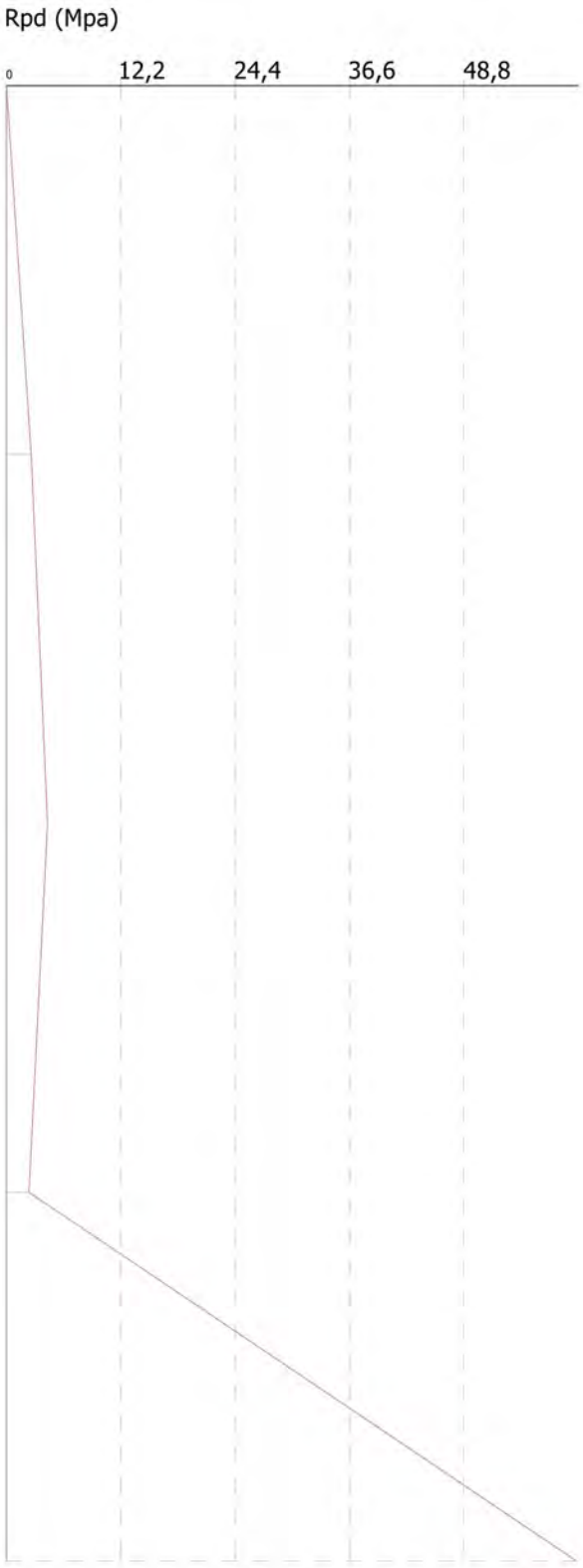
Modulo di deformazione a taglio dinamico (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] -	5,39	0,60	5,39	31,05	34,31
[2] -	147	0,80	147	694,56	258,62

Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] -	5,39	0,60	5,39	Ohta & Goto (1978) Limi	72,57
[2] -	147	0,80	147	Ohta & Goto (1978) Limi	151,42


Numero di colpi penetrazione punta
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90


Rpd (Mpa)
0
12,2
24,4
36,6
48,8



Prova PD/1: postazione



Prova PD/1: punta a recupero

PROVA PD/2

Strumento utilizzato	DPSH TG 63-200 PAGANI
Prova eseguita in data	23/04/2025
Profondita' prova	0,60 mt

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	1	0,855	0,88	1,03	44,03	51,52
0,40	6	0,851	5,26	6,18	262,99	309,12
0,60	100	0,647	61,19	94,57	3059,36	4728,49

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (KN/m³)	Peso unita' di volume saturo (KN/m³)	Tensione efficace (KPa)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0,4	3,5	3,61	Incoerente - coesivo	0	17,36	18,44	3,47	1,47	5,14	
0,6	100	94,57	Incoerente - coesivo	0	24,52	24,52	9,4	1,47	147	

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA PD/2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (KPa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D.M.S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassie Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[1] -	5,14	0,40	31,48	62,96	24,52 - 49,03	20,50	49,03	108,27	45,50	80,12	25,20	85,02	62,96
[2] -	147	0,60	973,02	1801,97	0,00	329,80	1460,70	2837,06	544,56	2380,07	720,79	2563,75	1801,97

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Mpa)
[1] -	5,14	0,40	Robertson (1983)	1,01
[2] -	147	0,60	Robertson (1983)	28,83

Modulo Edometrico (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] -	5,14	0,40	2,31	7,56	5,32	6,30
[2] -	147	0,60	66,14	--	147,21	144,16

Modulo di Young (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] -	5,14	0,40	3,80	5,04
[2] -	147	0,60	163,78	144,16

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] -	5,14	0,40	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[2] -	147	0,60	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (KN/m^3)
[1] -	5,14	0,40	Meyerhof	17,36
[2] -	147	0,60	Meyerhof	24,52

Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (KN/m^3)
[1] -	5,14	0,40	Meyerhof	18,44
[2] -	147	0,60	Meyerhof	24,52

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	5,14	0,40	26,79	55,52	89,82	21,21
[2] -	147	0,60	100	100	100	100

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] -	5,14	0,40	5,14	28,47	21,47	29,44	34,91	31,73	0	<30	23,78	28,54	25,07	25,14
[2] -	147	0,60	147	69	62	69,16	38,18	10,65	42	>38	61,96	71,1	37,56	69,22

Modulo di Young (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appolloni a ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] -	5,14	0,40	5,14	---	4,03	---	---	---
[2] -	147	0,60	147	84,87	115,33	170,17	125,77	79,43

Modulo Edometrico (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] -	5,14	0,40	5,14	---	3,73	3,58	5,97
[2] -	147	0,60	147	86,49	32,30	102,35	68,02

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] -	5,14	0,40	5,14	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[2] -	147	0,60	147	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' di Volume (KN/m³)
[1] -	5,14	0,40	5,14	Terzaghi-Peck 1948	13,87
[2] -	147	0,60	147	Terzaghi-Peck 1948	16,46

Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (KN/m³)
[1] -	5,14	0,40	5,14	Terzaghi-Peck 1948	18,44
[2] -	147	0,60	147	Terzaghi-Peck 1948	19,96

Modulo di Poisson

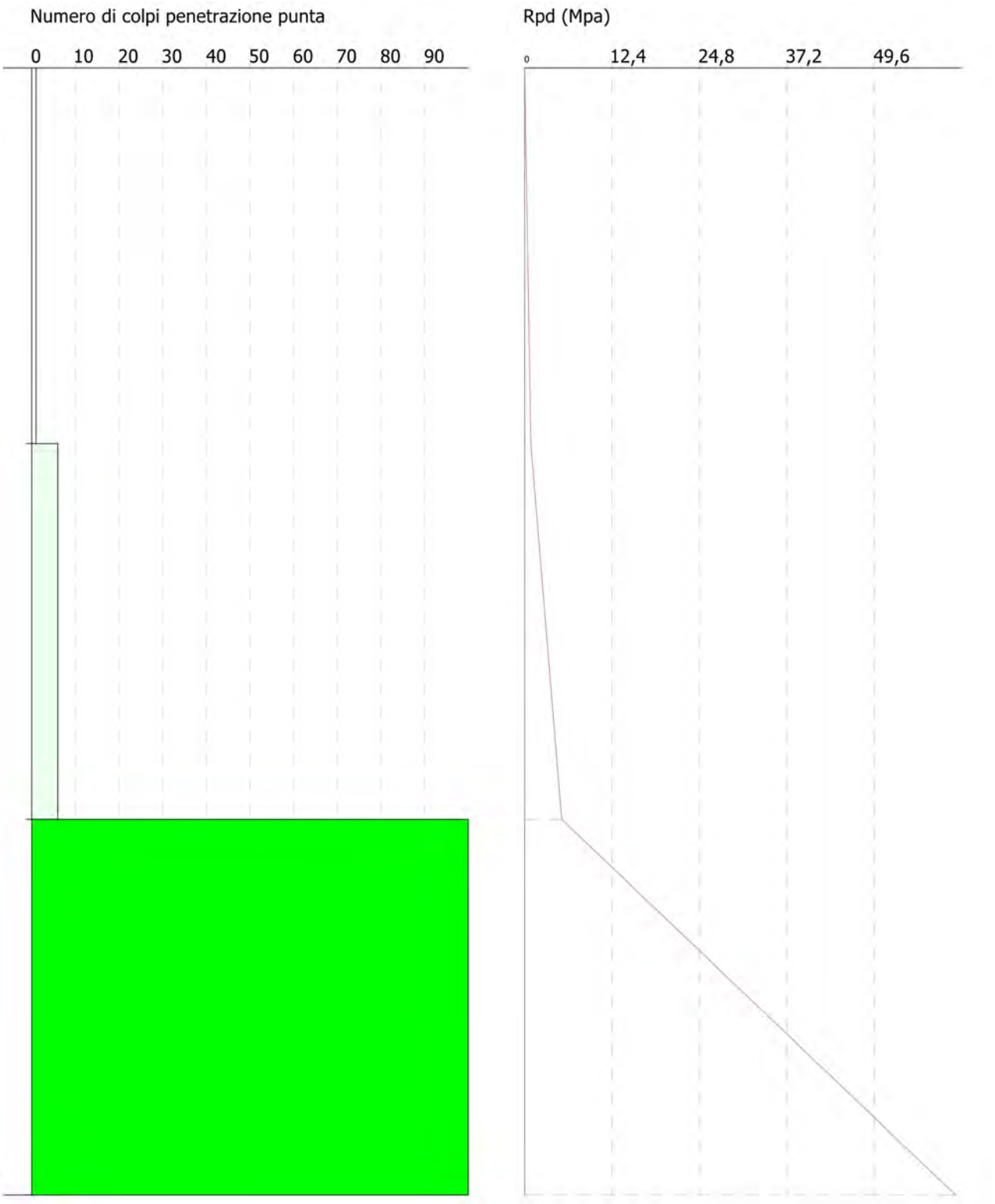
	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] -	5,14	0,40	5,14	(A.G.I.)	0,34
[2] -	147	0,60	147	(A.G.I.)	0,06

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Mpa)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] -	5,14	0,40	5,14	29,70	33,33
[2] -	147	0,60	147	694,56	258,62

Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] -	5,14	0,40	5,14	Ohta & Goto (1978) Limi	66,56
[2] -	147	0,60	147	Ohta & Goto (1978) Limi	141,9


Numero di colpi penetrazione punta
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Rpd (Mpa)
0
12,4
24,8
37,2
49,6



Prova PD/2: postazione



Prova PD/2: punta a recupero

PROVA M.A.S.W.

PREMESSA

La prova M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) consente la misurazione in sito delle velocità delle onde superficiali a diverse frequenze.

Nel metodo in esame si analizzano le sole onde di Rayleigh, trascurando gli effetti dovuti alle onde P e S, in quanto le prime trasportano circa i due terzi dell'energia generata dalla sorgente e subiscono un'attenuazione geometrica inferiore alle P e S, dovuta al fatto che si propagano su fronti d'onda cilindrici e non sferici.

Una volta noto il profilo di velocità delle onde di taglio lungo la verticale di indagine, risulta immediata la determinazione del parametro $\mathbf{V_{s,eq}}$ e la valutazione della **categoria di sottosuolo** ai sensi del D.M.17-01-2018 "Norme tecniche per le costruzioni".

Inoltre, accettando l'assunzione che il materiale indagato sia un mezzo omogeneo, isotropo e con comportamento elastico, è possibile calcolare i valori dinamici medi di parametri meccanici quali modulo di Young, di taglio, di compressibilità e coefficiente di Poisson. Tali valori sono propri, data la natura della prova, di stati di deformazione molto contenuti, bene al di sotto della soglia elastica lineare del materiale.

La metodologia della prospezione sismica M.A.S.W. presenta, tra gli altri, il vantaggio di conservare la sua attendibilità anche in presenza di stratificazioni caratterizzate da velocità delle onde di taglio decrescenti con la profondità.

ACQUISIZIONE DATI

La prova è condotta approntando uno stendimento rettilineo di 24 geofoni ad interasse costante pari a 2,0 m per una lunghezza complessiva di 46,0 m. In seguito si effettua una serie di energizzazioni superficiali in onde P su ogni estremità dello stendimento ad una distanza di 2,0 m dal primo e dall'ultimo geofono.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

- Sismografo Ambrogeo ECHO 24/2002 Seismic UNIT a 24 canali

Number of channels	24
Sampler interval	0,296 msec
A/D Conversion	16 bit
Amplifiers	
Input impedance	1 KOhm
Gain	10 dB - 100 dB, step 1 dB
Saturation tension	+/- 2,3 V
Saturation level	100 dB
Distorsion	0,01%
Sampler	25 msec (191 points) 50 msec (383 points) 100 msec (756 points) 200 msec (1530 points) 400 msec (3060 points) 800 msec (6121 points)
Sampling	130 micro/sec
Record lenght	25-50 -10 -20 -400-800 millisec
Filter low pass	from 50 to 950 Hz, step1 Hz
Digital Filter (Fir) low pass	1000-900-800-700-600-500-400-300-200-100-50 Hz
Digital Filter (Fir) high pass	0-25-50-75-100-125-150-175-200-225-250 Hz
Frequency response	7-950 Hz, filter at 950 Hz
Dynamic range	93 dB
Noise	0,66 uV rms, gain = 55 dB
Crosstalk	52 dB, gain = 55 dB
Power	12 V



- Geofoni ad asse verticale con frequenza di taglio pari a 4,5 Hz



- Trigger: sistema elettronico che, nell'istante dell'energizzazione, invia un impulso al sismografo che a sua volta lo interpreta come inizio della registrazione delle onde.
- Apparato energizzante: mazza battente rispettivamente su di una piastra di alluminio in senso verticale, come sorgente di onde P.



- Notebook collegato al sismografo e dotato di software di acquisizione e di elaborazione dati.

ELABORAZIONE DATI

L'elaborazione dei dati della **prova M.A.S.W.**, effettuata con il software Easy MASW, consiste dapprima nell'individuare la curva di dispersione apparente sperimentale, frutto dell'interazione tra tutti i modi di Rayleigh, e poi nel cercare la curva di dispersione apparente numerica, a partire da un modello sintetico di sottosuolo, che meglio approssimi quella sperimentale. Tanto più è piccolo lo scarto relativo tra le due curve e maggiore è la probabilità che il profilo delle velocità delle onde di taglio sia quello più realistico.

Una volta noto il profilo delle suddette onde di taglio è immediato il calcolo del parametro $\mathbf{V_{s,eq}}$ e la valutazione della **categoria di sottosuolo** ai sensi del D.M.17-01-2018 "Norme tecniche per le costruzioni".

MODULI ELASTO-DINAMICI

$$E_d = \rho \cdot V_S^{\,2} \cdot \frac{3V_P^{\,2} - 4V_S^{\,2}}{V_P^{\,2} - V_S^{\,2}}$$ Modulo di Young dinamico

$$G_d = \rho \cdot V_S^{\,2}$$ Modulo di taglio dinamico

$$Kd = \rho \cdot \left(V_P^{\,2} - \frac{4}{3} V_S^{\,2} \right)$$ Modulo di compressibilità dinamico

$$\nu = \frac{1}{2} \cdot \frac{\left(\frac{V_P}{V_S} \right)^2 - 2}{\left(\frac{V_P}{V_S} \right)^2 - 1}$$ Coefficiente di Poisson dinamico

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO
paragrafo 3.2.2 del D.M. 17-01-2018 – NTC

Premesso che l'azione sismica relativa al sito di riferimento rigido differisce da quella effettiva che interessa l'opera, si rende necessario tenere conto, oltre che di altri fattori, delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera medesima. Queste infatti tendono a modificare l'azione sismica in superficie, rispetto a quella attesa su un sito rigido, in ampiezza, durata e spettro di frequenze. La stima di queste modifiche è parte fondante dello studio della **risposta sismica locale**.

Essa può essere definita come l'azione sismica quale emerge "in superficie" a seguito delle suddette modifiche subite trasmettendosi dal substrato rigido. In tal senso un ruolo molto importante è giocato dai cosiddetti **effetti stratigrafici**, legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato rigido ed i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno.

Gli effetti della **risposta sismica locale** possono essere valutati con specifiche analisi, di non immediata applicazione, oppure con metodi semplificati, basati sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento. Quest'ultimi, a rigore, possono essere impiegati solo se l'azione sismica in superficie è descritta dall'accelerazione massima oppure dallo spettro elastico di risposta: non se ne può fare uso qualora tale azione sia descritta mediante accelerogrammi. Secondo tali approcci semplificati si attribuisce il sito ad una delle categorie di sottosuolo definite nella tabella 1. In particolare la valutazione della risposta sismica locale consiste nella modifica dello spettro di risposta in accelerazione del moto sismico di riferimento, relativo all'affioramento della formazione rocciosa (categoria di suolo A) su superficie orizzontale.

Ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, è fortemente raccomandato che la classificazione si effettui in base ai valori della velocità equivalente $\mathbf{V_{s,eq}}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi trenta metri di profondità, riferita al piano di imposta, qualora si tratti di fondazioni superficiali, oppure alla testa dei pali, qualora si tratti di fondazioni profonde, oppure alla sommità di opere di sostegno di terreni naturali oppure ancora al piano d'imposta della fondazione di muri di sostegno di terrapieni.

Categoria	Descrizione
A	**Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi** caratterizzati da valori di velocità di onde di taglio superiori a 800 m s^{-1}, 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 fine molto consistenti**, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,eq}$ compresi tra 360 m s^{-1} e 800 m s^{-1}.
C	**Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti**, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,eq}$ compresi tra 180 m s^{-1} e 360 m s^{-1}.
D	**Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti**, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,eq}$ compresi tra 100 m s^{-1} e 180 m s^{-1}.
E	**Terreni caratteristiche e valori di $V_{s,eq}$ riconducibili a quelle definite per le categorie C o D**, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 1 (Tabella 3.2.II del D.M. 17-01-2018)

La velocità equivalente **$V_{s,eq}$** di propagazione delle onde di taglio è definita dalla seguente espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con

i – i-esimo strato;

h_i (m) – spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$ (ms^{-1}) – velocità di propagazione delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N – numero di strati;

H – profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 ms^{-1}.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $v_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dalle suddette analisi è stato possibile determinare che il valore del parametro $\mathbf{V_{s,eq}}$, calcolate rispetto al piano campagna dello stendimento di geofoni, risulta pari a **559,0 ms^{-1}**.

Di seguito è allegata la tabella con il profilo delle velocità ed i relativi grafici.



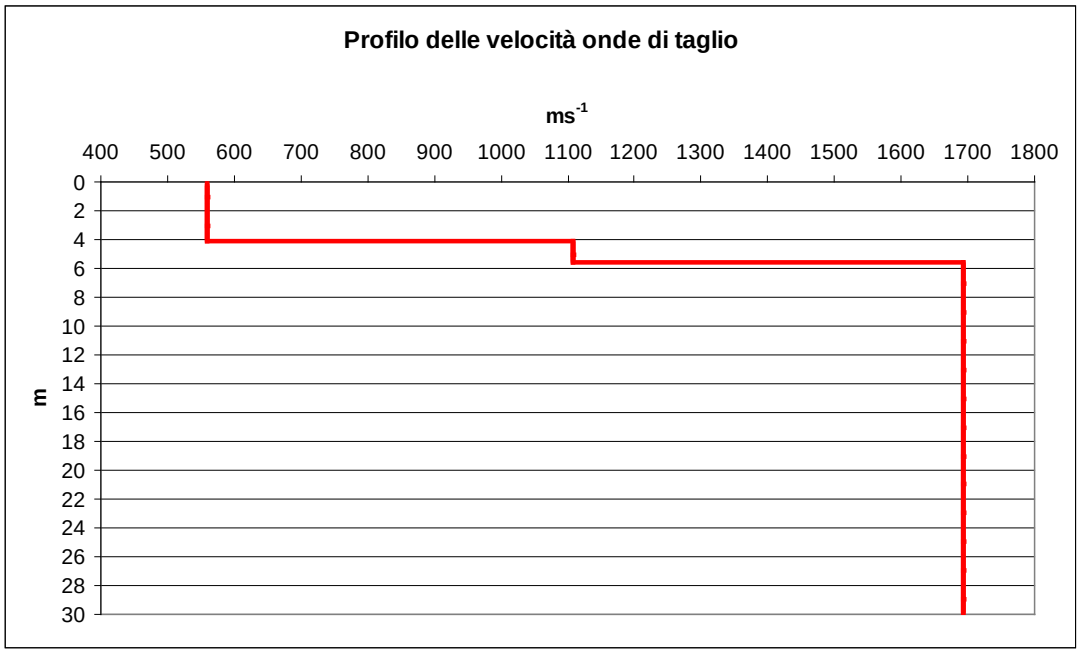
Esecuzione della prova M.A.S.W.

Profilo delle onde di taglio

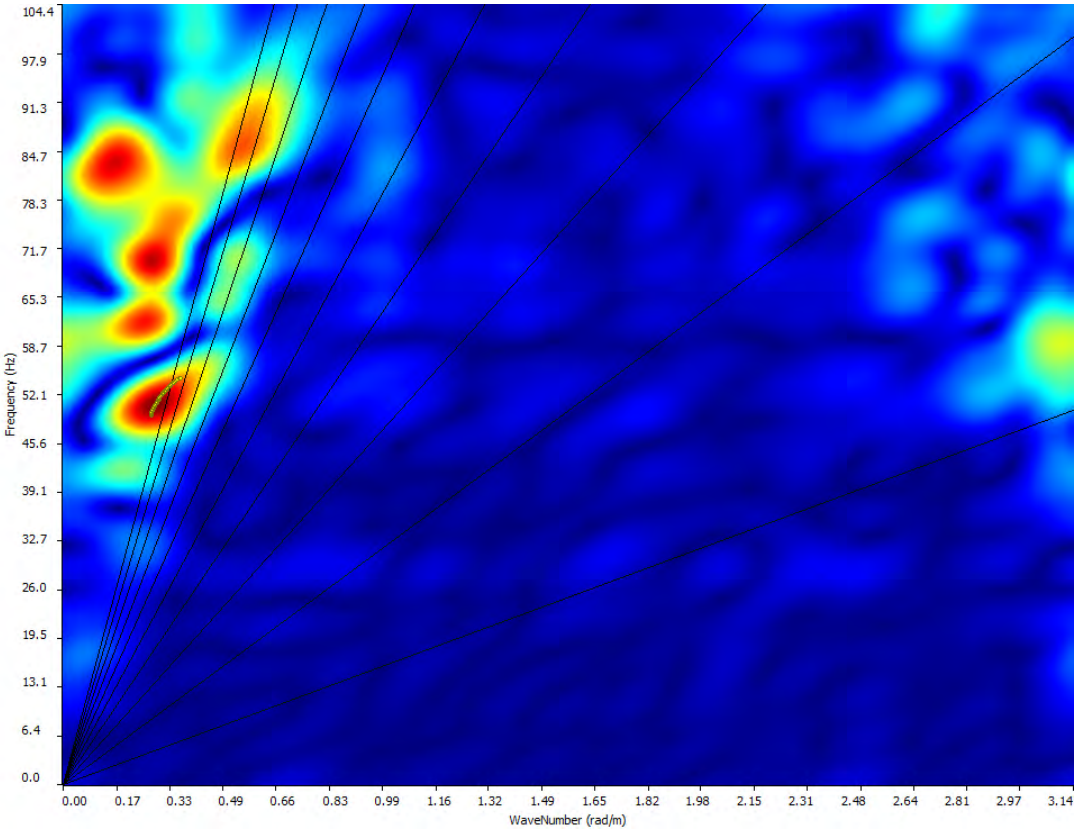
Profondità sismostrato [m]	Spessore sismostrato [m]	Velocità onde di taglio Vs [m s^{-1}]
4,06	4,06	559
5,62	1,56	1109
30,00	24,38	1692

$V_{s,eq}$ = 559,0 ms^{-1}

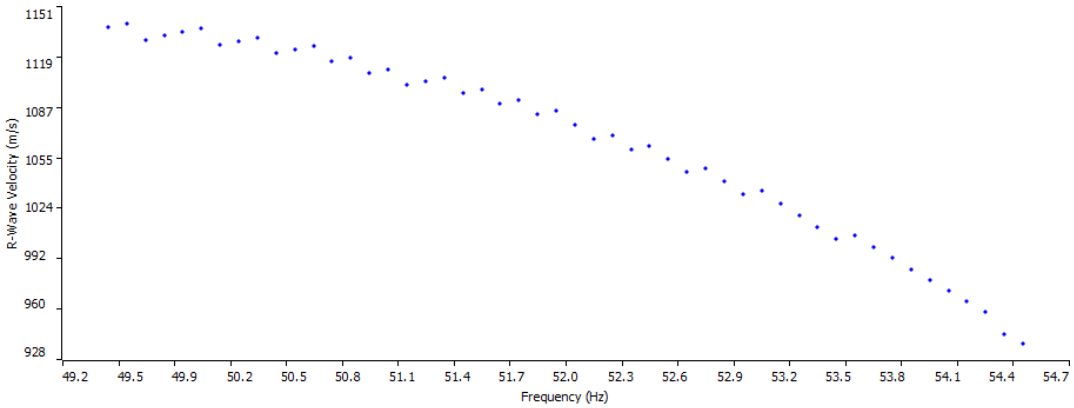
ALLEGATI



Profilo delle velocità delle onde di taglio



Spettro FK



Curva di dispersione

RILIEVO GEOMECCANICO

INTRODUZIONE

Il rilevamento geomeccanico è stato eseguito cercando di determinare il più alto numero possibile di parametri per il maggior numero di discontinuità, seguendo le raccomandazioni dell'I.S.R.M. (International Society For Rock Mechanics; I.S.R.M., 1978).

Nello specifico è stato possibile effettuare valutazioni sia quantitative che qualitative. I parametri considerati e definiti sono i seguenti: orientazione, spaziatura, lunghezza della traccia, apertura, terminazione, riempimento, alterazione delle pareti del giunto, rugosità a piccola scala, ondulazione del giunto a grande scala (andamento).

Sugli affioramenti sono state effettuate misure di resistenza con lo sclerometro da roccia NOVATEST. Tali valori sono stati elaborati con il Software di Geostru "Geoapp-Caratterizzazione ammassi rocciosi" al fine di ottenere i parametri di coesione e angolo di attrito della roccia presa in esame.

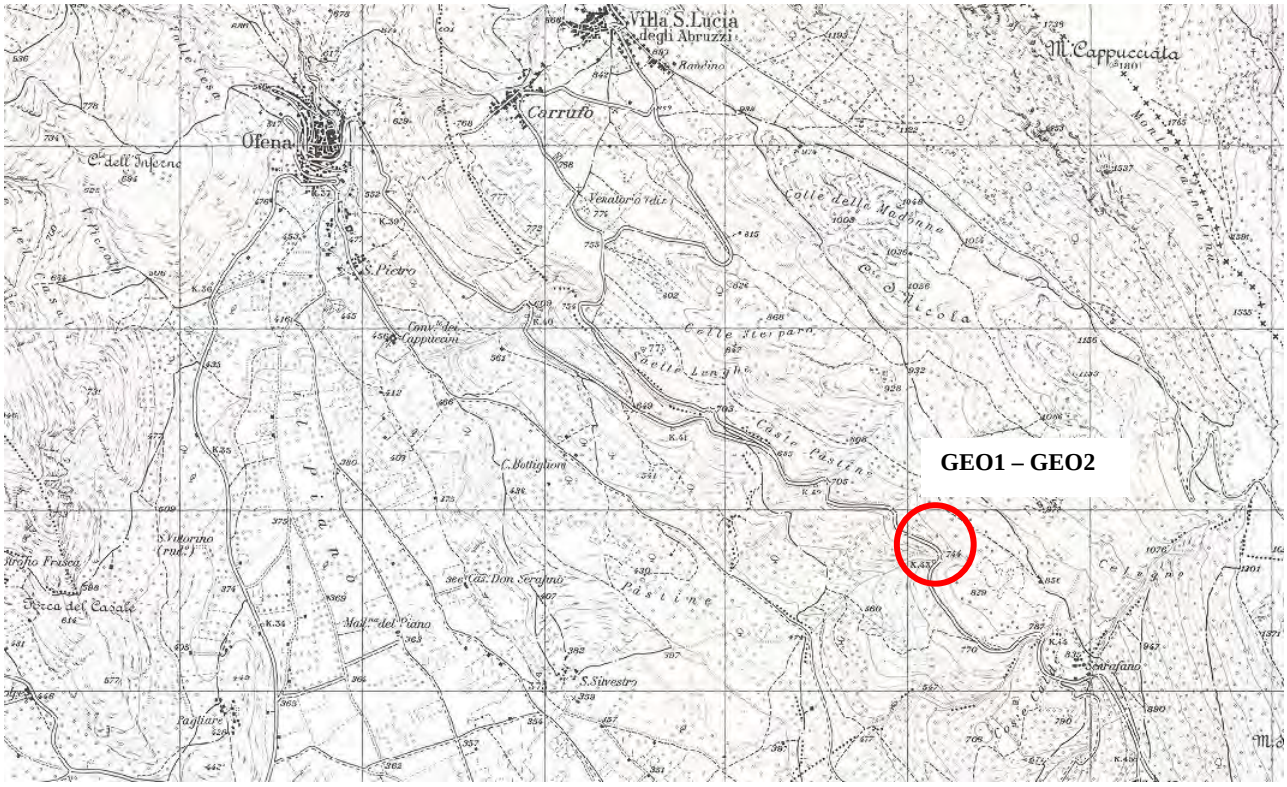
Sono state inoltre elaborate le proiezioni stereografiche con il Software di Geostru "GMS".

Nei siti oggetto degli interventi sono stati effettuati i seguenti rilievi geomeccanici:

- N. 2 rilievi in corrispondenza del tratto di SR 602 al Km 11+350, nel sito dell'Intervento 1 (GEO1-GEO2);
- N. 1 rilievo in corrispondenza del tratto di SR 17 bis al Km 59+000, nel sito dell'Intervento 4 (GEO3);

Gli affioramenti in generale si presentano molto fratturati ma espongono bene l'assetto geostrutturale delle formazioni dei Calcari cristallini (Intervento 1) e del Calcare massiccio (Intervento 4) (Progetto CARG – Foglio 360 Torre de' Passeri).

Si riporta di seguito l'ubicazione delle stazioni di misura su Carta Topografica IGM a scala 1:25.000, su CTR a scala 1:5.000 e su ortofoto.


Villa S.Lucia
degli Abruzzi
Carrufo
Ofena
M. Cappucciata
GEO1 – GEO2

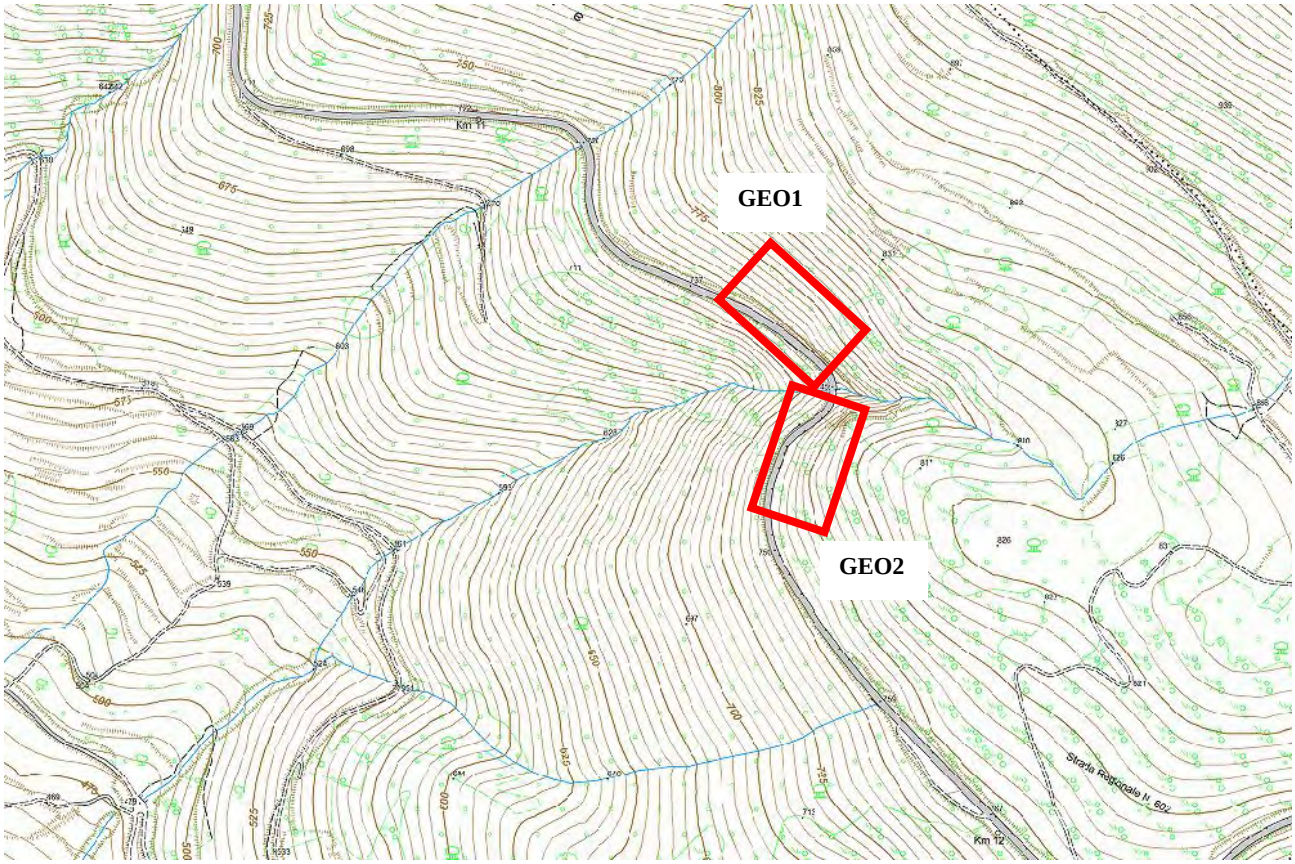
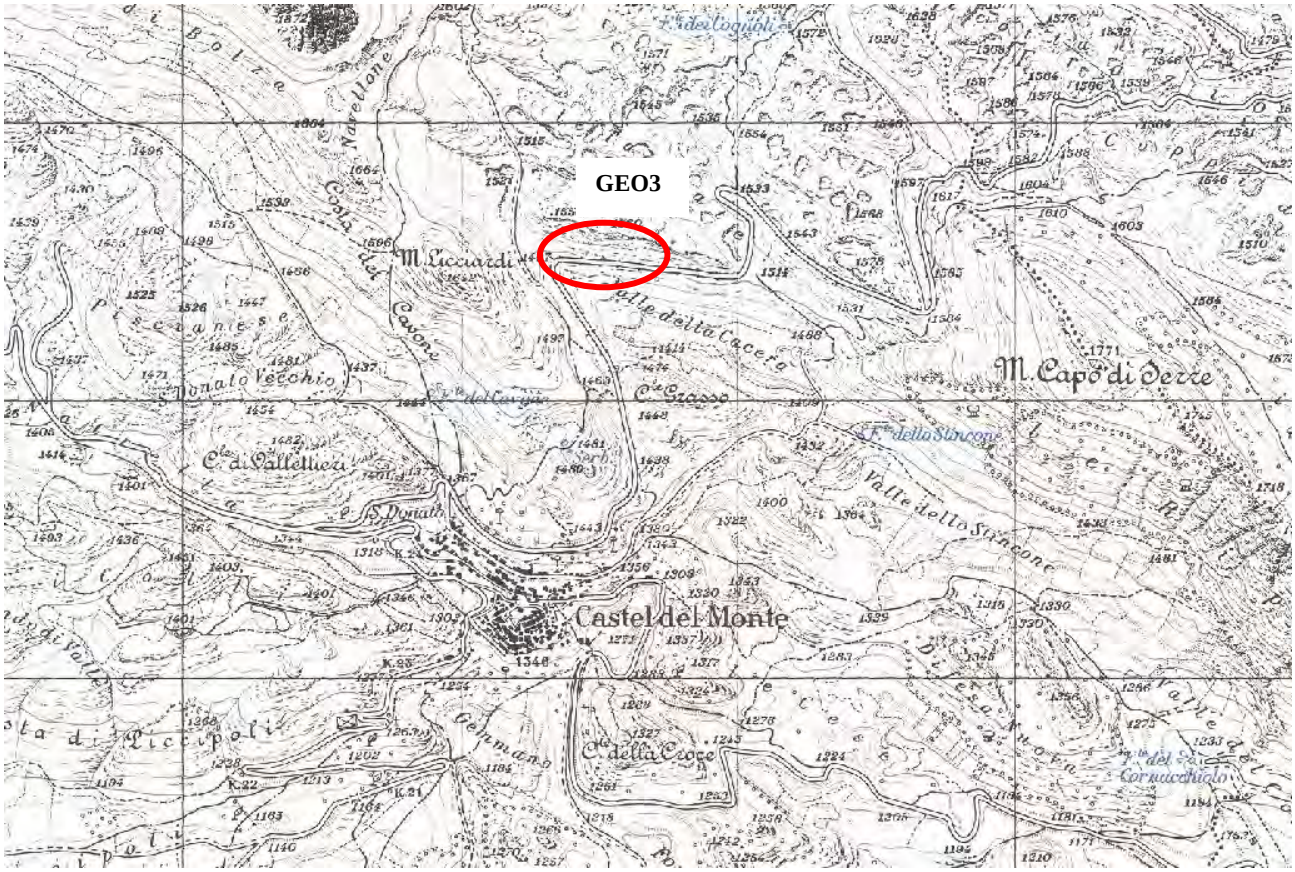

GEO1
GEO2
Km 11
Km 12
Strada Regionale N. 602



Fig. 1: Ubicazione rilievo GEO1 e GEO2 su Carta Topografica IGM a scala 1:25.000, CTR a scala 1:5.000 e ortofoto


GEO3
M. Licciardi
M. Capo di Serre
Castel del Monte
Valle della Cacera
Valle della Stincone

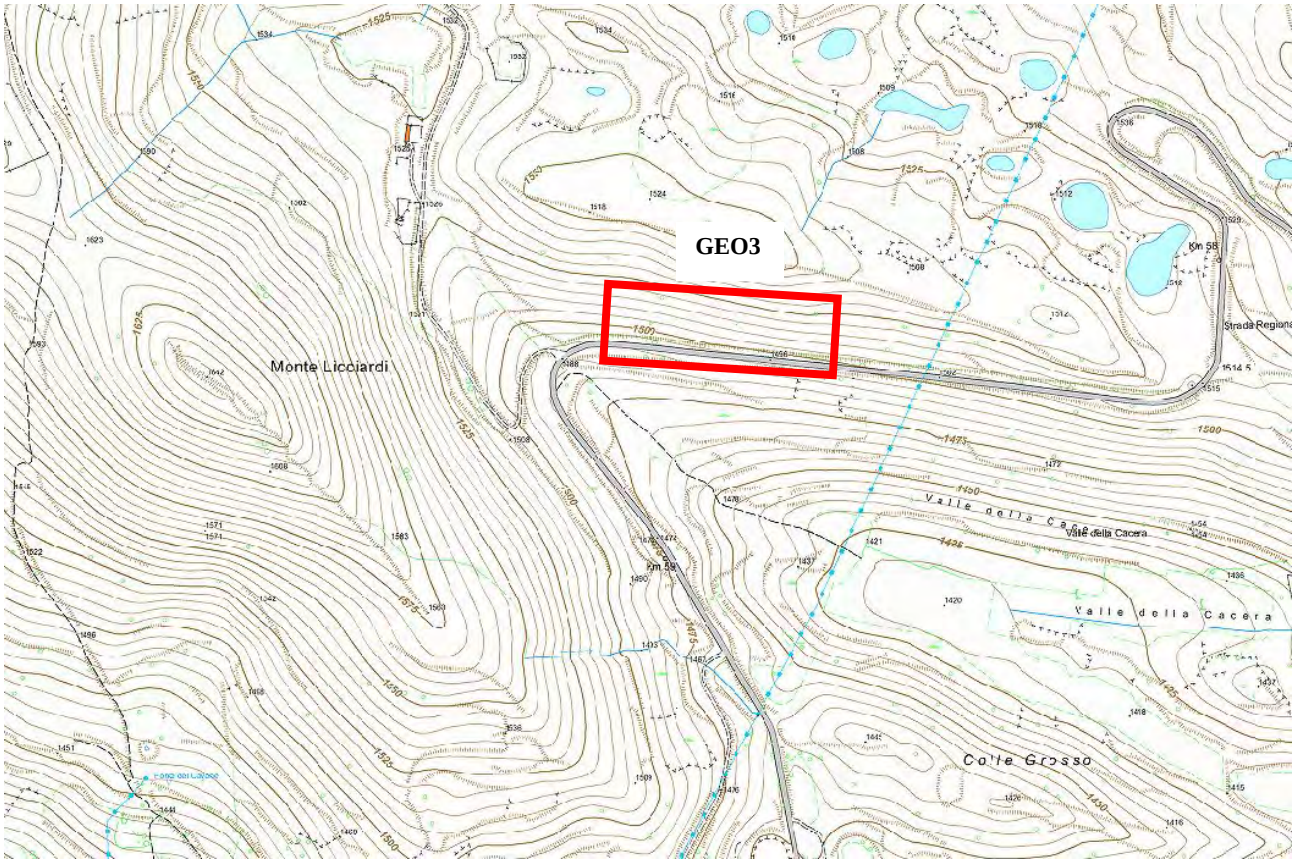

GEO3
Monte Licciardi
Valle della Cacera
Colle Grosso
Strada Regiona



Fig. 2: Ubicazione rilievo GEO3 su Carta Topografica IGM a scala 1:25.000, CTR a scala 1:5.000 e ortofoto

Nel campo della progettazione di infrastrutture di ingegneria civile, siano esse legate alla stabilità di un versante o alla stabilità di un opera in sotterraneo, difficilmente si possono avere informazioni dettagliate sulle caratteristiche di resistenza e di deformabilità dell'ammasso roccioso interessato alla progettazione. Allora diventa importante poter utilizzare uno schema che possa soddisfare le richieste, un metodo empirico che permetta di risolvere i problemi dovuti alla scarsa conoscenza o esperienza di una determinata area. Le classificazioni di Beniawsky e Romana (la seconda è derivata dalla prima, che risultava troppo "conservativa") consentono di soddisfare i quesiti richiesti e le problematiche che si presentano. La classificazione di Beniawsky si basa sul rilievo, in campagna o in laboratorio, di sei parametri:

A1 = resistenza a compressione uniassiale;

A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);

A3 = spaziatura delle discontinuità;

A4 = condizioni delle discontinuità;

A5 = condizioni idrauliche;

A6 = orientamento delle discontinuità.

Da questi sei parametri si ricava Rock Mass Rating (RMR, Beniawsky) e con le dovute correzioni apportate da Romana nel 1985 lo Slope Mass Rating (SMR).

L'RMR, nella pratica, viene differenziato come:

RMR di base = RMRb = A1 + A2 + A3 + A4 + A5

RMR corretto = RMRc = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) +A6

Valore di A1

A1 si può ricavare sia da prove di laboratorio (Point Load Test), sia da prove di campagna mediante sclerometro o da prove speditive (Standard ISRM), definendo la resistenza a compressione uniassiale S_u.

- La prova Point Load Test

La prova Point Load ha il vantaggio di essere portatile; da essa si deriva l'indice di carico puntuale Is che viene correlato alla resistenza alla compressione uniassiale Su mediante la relazione:

$$S_u = K\ I_s$$

K è un coefficiente moltiplicativo per il quale l'ISRM consiglia il valore 24, ma nella pratica si è evidenziato come tale valore non è univoco ma largamente variabile. Palmström suggerisce di variare K in funzione di Is secondo lo schema seguente:

IS (MPa)	K
<3,5	14
3,5-6,0	16
6,0-1,0	20
>6,0	25

- Le prove sclerometriche

Il martello di Schmidt, noto come sclerometro, è ampiamente utilizzato come prova non distruttiva e volta a misurare la "durezza di rimbalzo" della roccia. Dalla prova si ricava l'indice di rimbalzo R che è possibile correlare alla resistenza alla compressione uniassiale mediante la relazione di Irfan e Dearman (1978):

$$S_u = 0{,}775\ R + 21{,}3$$

- Standard ISRM

In una fase preliminare delle indagini, mancando prove di campagna o di laboratorio, il valore di Su può essere stimato osservando la risposta della roccia alla sua percussione con il martello da geologo.

Dalla risposta della roccia si possono ricavare i seguenti valori:

La roccia si incide con l'unghia o si sbriciola con le mani	0,25 - 1 MPa
Si sbriciola sotto i colpi della punta, lastre sottili si rompono con facilità con le mani	1 - 5 MPa
La punta lascia deboli buchi, lastre sottili si rompono con forti pressioni delle mani	5 - 25 MPa
La roccia si frattura con un colpo	25 - 50 MPa
Si frattura dopo due-tre colpi	50 - 100 MPa
Si scheggia solamente	>200 MPa

Definita la resistenza a compressione S_u è possibile ricavare il valore del primo parametro A1.

Se si utilizzano prove Point Load o prove sclerometriche risulta più agevole, rispetto alle tabelle e ai grafici proposte da Beniawsky, ricavare il valore di A1 trasformando i grafici in forma di equazioni:

VALORE DI Su (MPa)	EQUAZIONE
<= 44,5	$A1 = \frac{4}{44.5} S_u + 1$
44,5-93,75	$A1 = \frac{4}{49.25} S_u + 1.368$
93,75-140	$A1 = \frac{3}{46.25} S_u + 2.919$
140-180	$A1 = 0.0375 \cdot S_u + 6.75$
180-240	$A1 = 0.025 \cdot S_u + 9$
>240	A1 = 15

Qualora si utilizzi lo Standard ISRM si usa la tabella proposta da Beniawsky nell'ultima versione del sistema (1989):

Su (MPa)	>200	100-200	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
Coefficiente A1	15	12	7	4	2	1	0

Valore di A2

Se si effettuano sondaggi è possibile ricavare il valore di RQD, da cui si ottiene il coefficiente A2, dal recupero di percentuale di carotaggio riferito alla somma degli spezzoni di carota con lunghezza maggiore o uguale a 100 mm:

$$RQD = \frac{\Sigma L_c}{L_t} \cdot 100$$

dove: Lc = somma delle lunghezze degli spezzoni di carota > 100 mm;

Lt = lunghezza totale del tratto in cui si è misurata Lc.

In mancanza di carote di sondaggio, RQD si ricava dal numero di famiglie di discontinuità caratterizzanti l'ammasso roccioso e dalla misura della loro spaziatura. Dalla relazione di Palmström (1982) si ha:

$$RQD = 115 - 3{,}3\ Jv$$

dove: Jv è il numero di fratture per metro cubo di roccia.

In forma alternativa RQD si può ricavare dalla formula di Priest e Hudson (1981):

$$RQD = 100\ e^{(0{,}1\ n)}\ (0{,}1\ n + 1)$$

con n numero medio di giunti per metro.

Calcolato RQD con uno di questi metodi, si ricava il coefficiente A2 mediante le equazioni, che derivano sempre dai grafici di Beniawsky:

VALORE DI RQD %	EQUAZIONE
<=26,5	$A2 = \frac{3}{26.6} RQD + 3$
26,5-39	$A2 = \frac{2}{12.4} RQD + 1.71$
6,0-1,0	$A2 = \frac{7}{37.6} RQD + 0.739$
>6,0	$A2 = \frac{5}{23.4} RQD - 1.367$

Valore di A3

Una volta calcolata la spaziatura media, cioè la distanza media tra due discontinuità adiacenti, è possibile ricavare il valore del coefficiente A3, mediante le seguenti relazioni:

SPAZIATURA (m)	EQUAZIONE
<=0,2	A3 = 15s + 5
0,2-0,4	A3 = 10s + 6
0,4-0,66	A3 = 7.752s + 5.9
0,66-0,94	A3 = 7.067s + 7.35
0,94-1,6	A3 = 6.07s + 8.288
1,6-2,0	A3 = 5s + 10
>2,0	A3 = 20

Valore di A4

Determinare dalle tavole di classificazione di Beniawsky il valore numerico relativo alla condizione delle discontinuità, invece, risulta molto soggettivo.

Perciò per valutare correttamente A4 conviene procedere sommando alcuni parametri numerici attribuibili alla persistenza del giunto, all'apertura del giunto, alla rugosità dello stesso, all'alterazione delle pareti, e al materiale di riempimento:

$$A4 = v1 + v2 + v3 + v4 + v5$$

I valori da assegnare sono:

- v1 – Persistenza del giunto

PERSISTENZA (m)	v1
<=1	6
1-3	4
3-10	2
10-20	1
>20	0

- v2 – Apertura del giunto

APERTURA (mm)	v2
Completamente chiuso	6
< 0,1	5
0,1-1	4
1-5	1
>5	0

- v3 – Rugosità del giunto

RUGOSITA'	v3
Molto Rugosa	6
Rugosa	5
Leggermente Rugosa	3
Liscia	1
Levigata	0

- v4 – Alterazione delle pareti

ALTERAZIONE	v4
Non alterate	6
Leggermente alterate	5
Mediamente alterate	3
Molto alterate	1
Decomposte	0

- v5 – Riempimento delle discontinuità

RIEMPIMENTO (mm)	RIEMPIMENTO	v5
-	Assente	6
< 5	Compatto	4
> 5	Compatto	2
< 5	Soffice	2
> 5	Soffice	0

Valore di A5

Questo valore viene derivato dalle condizioni idrauliche riferite ad un fronte di 10 m. Dalle tabelle fornite da Beniawsky si ottiene:

Venute d'acqua su 10 m di lunghezza	Nessuna	<10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	>125 l/min
Condizione	Asciutta	Umida	Bagnata	Deboli venute	Forti venute
Coefficiente A5	15	10	7	4	0

Valore di A6

Per l'orientamento delle discontinuità si applica un coefficiente di correzione A6, a seconda che si tratti di gallerie o fondazioni.

APPLICAZIONE	Molto favorevole	Favorevole	Mediocre	Sfavorevole	Molto sfavorevole
Gallerie	0	-2	-5	-10	-12
Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25

Per quanto riguarda i versanti il coefficiente A6 proposto da Beniawsky risulta troppo "conservativo" e pertanto nel calcolo di RMR si utilizza la metodologia proposta da Romana.

Valore di RMR (Rock Mass Rating) e parametri caratteristici dell'ammasso

Attribuiti tutti i coefficienti, sulla base del valore RMR_c calcolato si identificano 5 intervalli a cui corrispondono 5 classi di ammasso roccioso e altrettante valutazioni di qualità della roccia:

RMRC	100-81	80-61	60-41	40-21	<= 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Molto buono	Buono	Mediocre	Scadente	Molto scadente

Dal valore di RMR_b si derivano i parametri caratteristici dell'ammasso, che secondo Beniawsky assumono il valore:

coesione di picco c_p (kPA) = 5 RMR_b

angolo di attrito di picco f_p = 0,5 RMR_b + 5

modulo di deformazione E (GPa) = 2 RMR_b – 100

I valori della coesione residua e dell'angolo di attrito residuo si ricavano introducendo nelle formule sopra indicate un valore di RMRb modificato secondo la:

$RMR_b = RMR_b(originario) – [0,2 \times RMR_b(originario)]$ (Priest, 1983)

La formula di E è però da considerare valida per valori di RMR superiori di 50, mentre per valori inferiori si utilizza la formula di Serafim e Pereira (1983):

$$E(GPa) = 10^{(RMR_b - 10/40)}$$

Il valore di GSI (Geological Strength Index) viene ricavato dalla:

$$GSI = RMR – 5$$

dove RMR viene calcolato tenendo conto dei punteggi assegnati ai primi quattro parametri e assumendo condizioni idrauliche asciutte (A5 = 15). Tale relazione è da ritenersi valida per RMR > 23.

Slope Mass Rating (SMR, Romana 1985)

Romana propone di aggiungere al valore di RMR (di base), alcuni fattori di aggiustamento sulla base dell'orientamento relativo fra discontinuità e fronte del versante e aggiungere un ulteriore fattore che tiene conto del metodo di scavo:

$$SMR = RMR_b + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

Il primo fattore di aggiustamento è il prodotto di tre fattori:

- F1 dipende dal parallelismo fra l'immersione del fronte e l'immersione dei giunti.
- F2 è riferito all'inclinazione del giunto nell'ipotesi di rottura planare.
- F3 mantiene le relazioni proposte da Beniawsky per l'inclinazione fra fronte e giunti.
- F4 rappresenta un fattore di correzione legato al metodo di scavo ed è stato fissato empiricamente.

Le condizioni di stabilità verificate sono relative rotture planari e per ribaltamento (toppling); il metodo è stato esteso anche alle rotture a cuneo di recente da Anbalagan et al..

Sulla base della tabella che segue si attribuiscono i valori ai fattori:

CASO		Molto favorevole	Favorevole	Mediocre	Sfavorevole	Molto sfavorevole
Planare Toppling Cuneo	aj-af aj-af-180° ai-af	>30°	30°-20°	20°-10°	10°-5°	<5°
	F1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
Planare Cuneo	ßj ßi	<20°	20°-30°	30°-35°	35°-45°	>45°
	F2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
Toppling	F2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Planare Cuneo	ßj-ßf ßi-ßf	>10°	10°-0°	0°	0°-(-10°)	<-10°
Toppling	ßj-ßf	<110°	110°-120°	>120°	-	-
	F3	0	-6	-25	-50	-60

dove:

αj = immersione del giunto;

αi = immersione della retta di intersezione di due piani per la rottura a cuneo;

αf = immersione del fronte del versante;

ßj = inclinazione del giunto;

ßi = inclinazione della retta di intersezione di due piani per la rottura a cuneo;

ßf = inclinazione del fronte.

Il fattore F4 vale invece:

METODO DI SCAVO	F4
Scarpata naturale	15
Abbattimento con pretaglio	10
Abbattimento controllato	8
Abbattimento normale	0
Abbattimento non controllato	-8

Calcolato il valore di SMR, si possono avere indicazioni generali, fornite da Romana, sul grado di stabilità della scarpata, sul tipo di cinematismo di rottura che si può instaurare e su quanto possano pesare eventuali interventi di stabilizzazione:

SMR	100-81	80-61	60-41	40-21	21-0
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Molto buono	Buono	Mediocre	Scadente	Molto scadente
Stabilità	Sicuramente stabile	Stabile	Parzialmente stabile	Instabile	Sicuramente instabile
Modo di rottura	Assente	Possibili blocchi	Lungo piani o per cunei	Lungo piani o su grandi cunei	Su grandi piani o rototraslazionali
Stabilizzazione	Nessuna	Occasionale	Sistematica	Estesa	Riprofilare la scarpata

Sugli affioramenti inoltre sono state effettuate misure di resistenza con lo sclerometro da roccia NOVATEST.



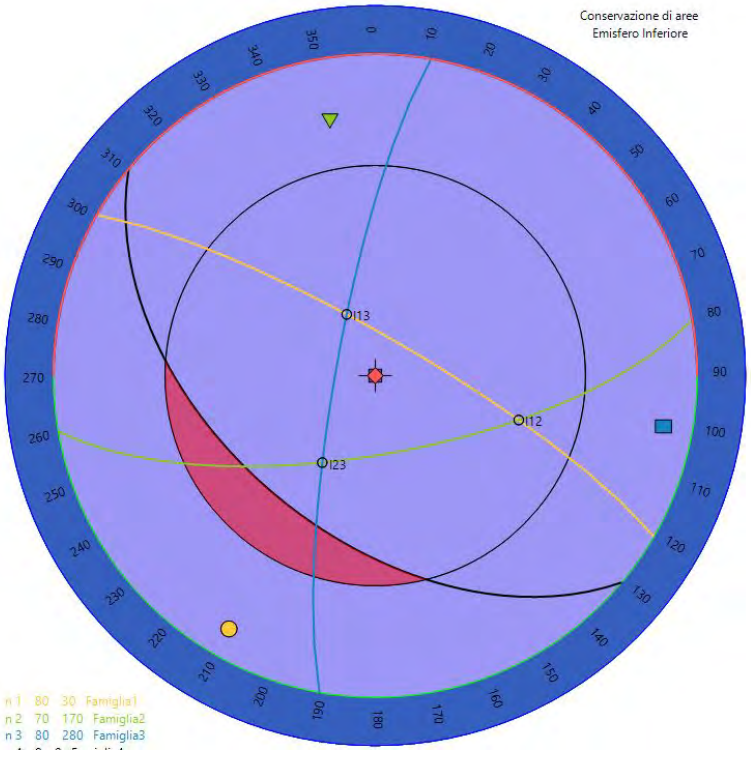
RISULTATI

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per ogni stazione di misura.

STAZIONI GEO1 e GEO2

(Lat: 42.307372°; Long: 13.799669° - Lat: 42.306685°; Long: 13.800019°)

- *Ubicazione*: sbancamento stradale su SR 602 Km. 11+500 (740 m s.l.m.)
- *Formazione*: Calcari cristallini (Campaniano p.p.-Maastrichtiano)
- *Descrizione litologica*: calcari bioclastici fini, saccaroidi in strati da medi a spessi con intercalazioni di calcari micritici.
- *Descrizione qualitativa della stazione*: gli stop sono stati eseguiti su due scarpate di altezza di circa 10 m e lunghezza di circa 10 m. La formazione risulta attraversata da numerosi sistemi di fratturazione.
- *Assetto strutturale*: l'ammasso roccioso si presenta fortemente fratturato e risulta difficoltoso individuare una stratificazione. Alla base della scarpata si rinvengono frammenti da centimetrici a decimetrici nelle porzioni non protette dalle reti paramassi mentre nelle aree in cui sono presenti, le reti risultano rigonfiate dall'accumulo di detriti che ospitano alla base. La giacitura degli strati infatti è stata misurata in più punti anche al di fuori della stazione di misura poiché all'interno dell'affioramento analizzato persiste per un massimo 2-3 m. Giacitura: N140E/60SE
- *Caratteristiche geomeccaniche*: L'ammasso è attraversato da almeno N. 3 principali famiglie di sistemi di fratturazione che si sviluppano lungo tutto l'affioramento (F1: N30E; F2:N170E; F3: N80W).



- *Resistenza della roccia*: le prove di carico puntuali sono state eseguite con lo sclerometro da roccia NOVATEST. Si riportano di seguito i valori di resistenza misurati.

STAZIONE DI MISURA 1	Valori orizzontali α = 0°	Valori verticali α = -90°
Indice di rimbalzo I	38 32 32 22 22 16 20 12 16 12	10 16 12 10 10 10 10 10 28 10
Resistenza alla compressione (MPa)	25	10

- *Spaziatura e condizione dei giunti*: i giunti risultano semi-aperti mentre le superfici appaiono rugose. Le discontinuità invece risultano principalmente semi-aperte, asciutte e senza riempimento.
- *Condizioni idrauliche*: le osservazioni condotte consentono di definire l'ammasso asciutto.











Fig. 3: Foto Stazione GEO1

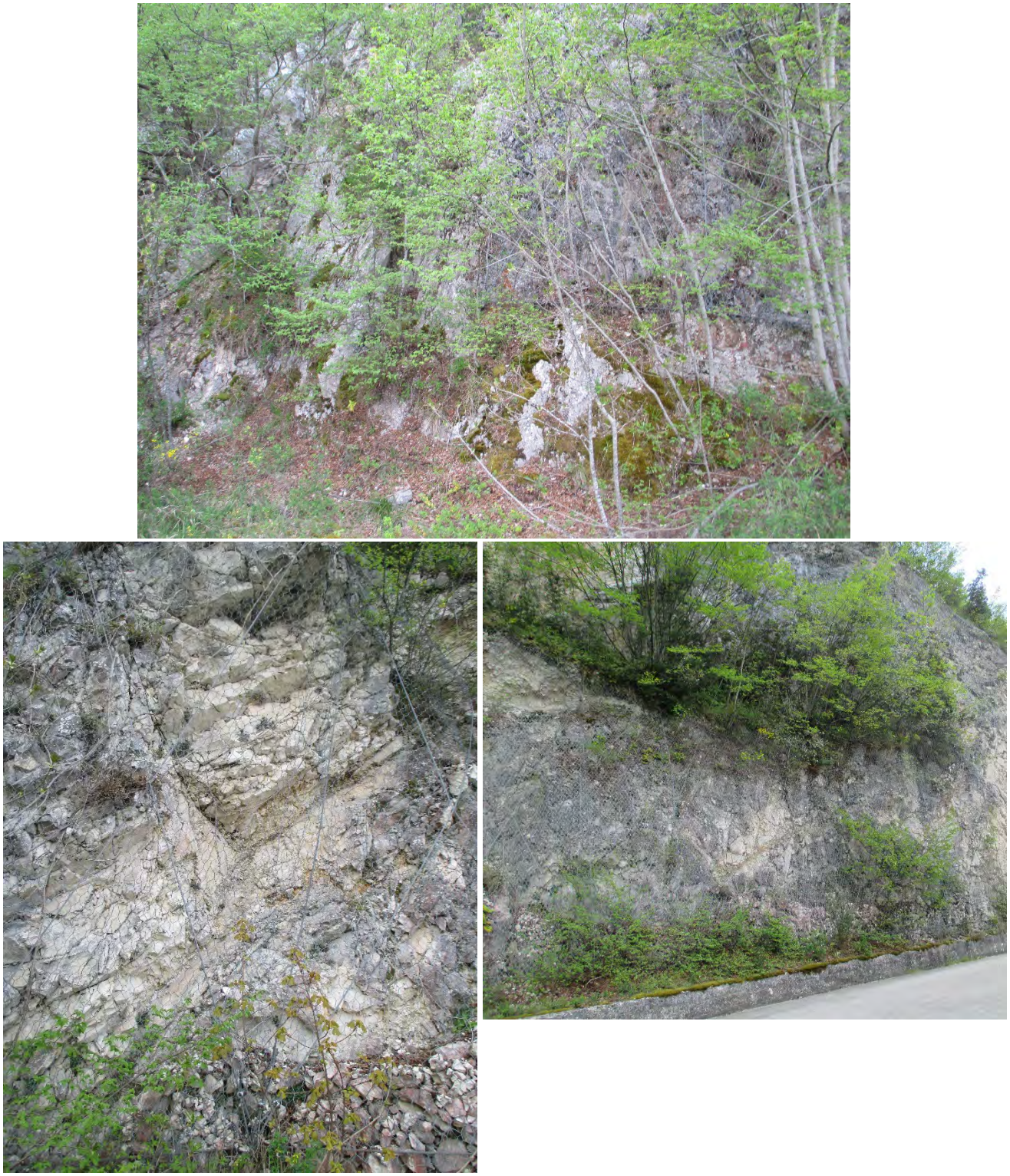


Fig. 3: Foto Stazione GEO2

In ultima analisi, si riportano di seguito i parametri geotecnici dedotti dall'analisi qualitativa e quantitativa condotta sulle stazioni di misura 1 e 2 elaborati con l'applicativo desktop per la geomeccanica di Geostru "Caratterizzazione di ammassi rocciosi".

Rock Mass Rating (Beniawsky)	
RMR base	73.65
RMR corretto	58.65
Coesione c (KPa)	368.27
Angolo di attrito fi	41.83
Mod. di deformaz. E (GPa)	47.31
Classe	Terza
Descrizione	Mediocre

STAZIONE GEO3

(Lat: 42.375999°; Long: 13.729273°)

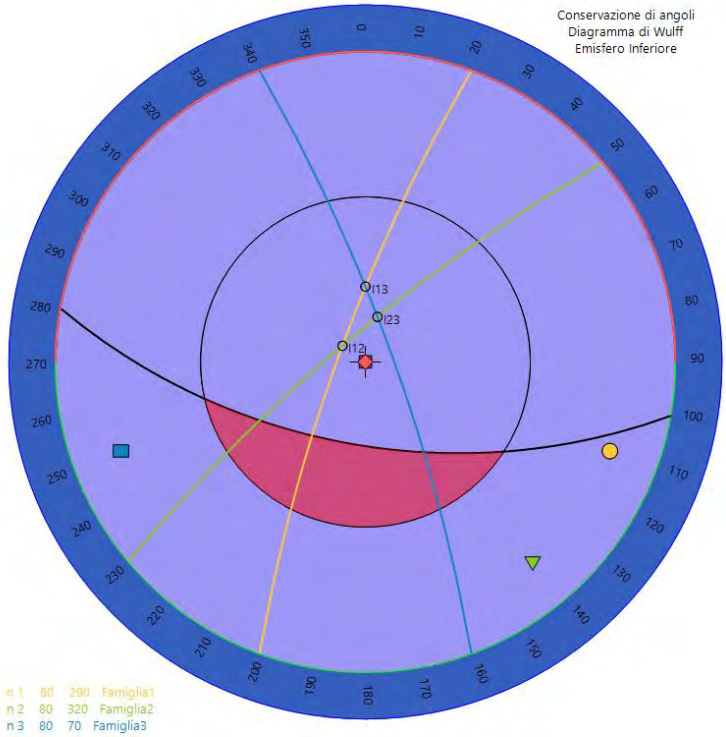
- *Ubicazione*: sbancamento stradale sulla SR 17 bis Km. 59+000 (1490 m s.l.m.)
- *Formazione*: Calcare massiccio (Hettangiano – Sinemuriano inf.)
- *Descrizione litologica*: Calcari fango-sostenuti dolomitizzati.
- *Descrizione qualitativa della stazione*: lo stop è stato eseguito su una scarpata antropica di altezza di circa 2-3 m e lunghezza di circa 10 m.
- *Assetto strutturale*: L'affioramento si presenta estremamente fratturato, brecciato e caotico con cunei di roccia di dimensioni da centimetriche a decimetriche. Al piede della parete si rinviene una coltre di detriti di dimensioni da centimetriche a decimetriche.







- *Caratteristiche geomeccaniche*: l'ammasso roccioso si presenta fortemente fratturato tanto da assumere un aspetto brecciato e pertanto non è possibile individuare una stratificazione. In particolare si rinvengono almeno N. 3 principali famiglie di sistemi di fratturazione che si sviluppano lungo tutto l'affioramento (F1: N70W; F2:N40W; F3: N70E).



- *Resistenza della roccia*: le prove di carico puntuali sono state eseguite con lo sclerometro da roccia NOVATEST. Si riportano di seguito i valori di resistenza misurati.

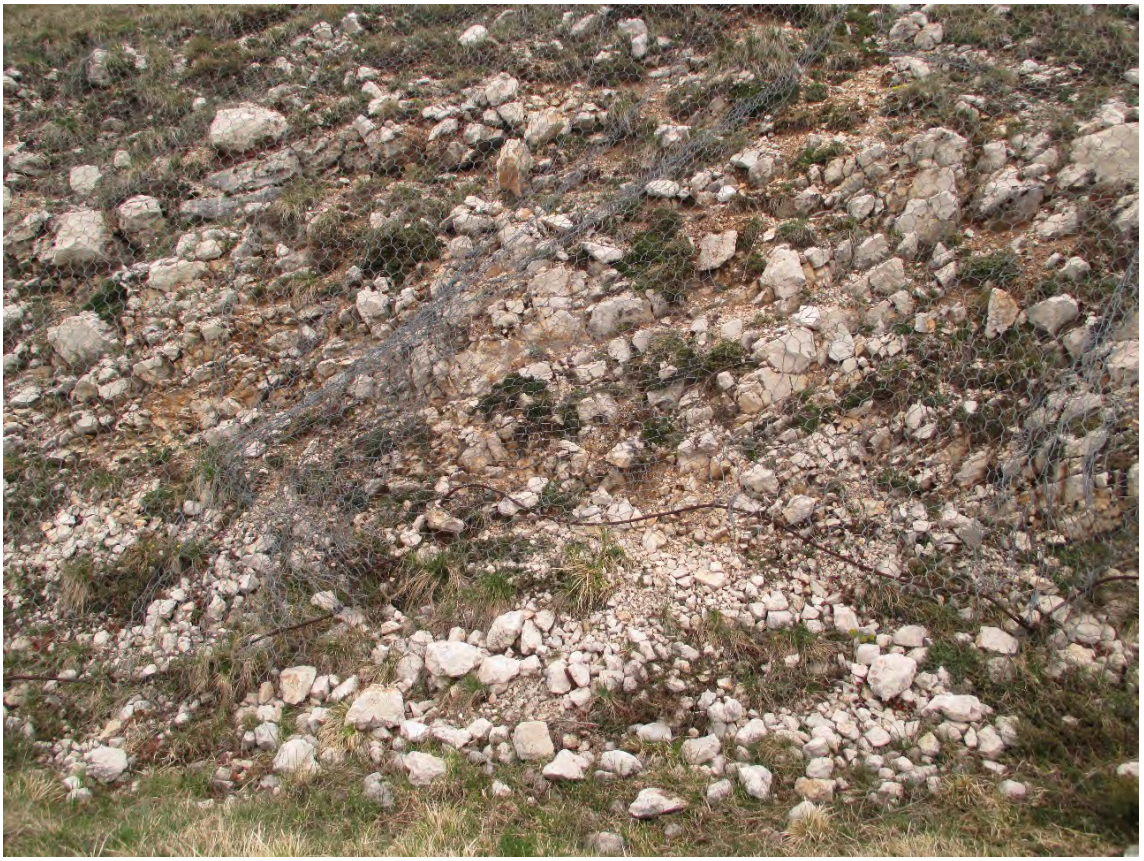
STAZIONE DI MISURA 1	Valori orizzontali α = 0°	Valori verticali α = -90°
Indice di rimbalzo I	36 38 24 36 46 40 34 26 28 30	32 34 26 18 20 32 40 44 26 34
Resistenza alla compressione (MPa)	70	70

- *Spaziatura e condizione dei giunti*: i giunti risultano semi-aperti mentre le superfici appaiono rugose. Le discontinuità invece risultano principalmente semi-aperte, asciutte e con riempimento terroso soffice.
- *Condizioni idrauliche*: le osservazioni condotte consentono di definire l'ammasso asciutto.











In ultima analisi, si riportano di seguito i parametri geotecnici dedotti dall'analisi qualitativa e quantitativa condotta sulla stazione di misura 1 elaborati con l'applicativo desktop per la geomeccanica di Geostru "Caratterizzazione di ammassi rocciosi".

Rock Mass Rating (Beniawsky)	
RMR base	58.36
RMR corretto	33.36
Coesione c (KPa)	291.81
Angolo di attrito fi	34.18
Mod. di deformaz. E (GPa)	16.72
Classe	Quarta
Descrizione	Scadente