

COMUNE DI CATANZARO

Provincia di Catanzaro

EDIFICIO AULE DA REALIZZARE SULL'AREA
COMPRESA TRA LA SEDE DELLA FACOLTA' DI
GIURISPRUDENZA E LE RESIDENZE
STUDENTESCHE
CIG Z9338A3327

COMMITTENTE

UNIVERSITA' DEGLI STUDI MAGNA GRECIA
DI CATANZARO

ELABORATO

RELAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Allegato:

STUDIO DI GEOLOGIA

Dott. Fabio Procopio

Via Magna Grecia n.°51/B 88100 Catanzaro

3394560061 - info@studio-procopio.com

Data:

Catanzaro li, 28.11.2022



Dott. Geol. Fabio Procopio
Ordine dei Geologi della Calabria n.°278

PREMESSA

L'Amministrazione dell'Università degli Studi Magna Grecia di Catanzaro, con DDG n. 1483 del 17.11.2022, ha conferito al sottoscritto dott. geol. Fabio PROCOPIO l'incarico professionale per l'esecuzione delle indagini geognostiche relative all'edificio aule da realizzare sull'area compresa tra la sede della facoltà di Giurisprudenza e le residenze studentesche. CIG. Z9338A3327.

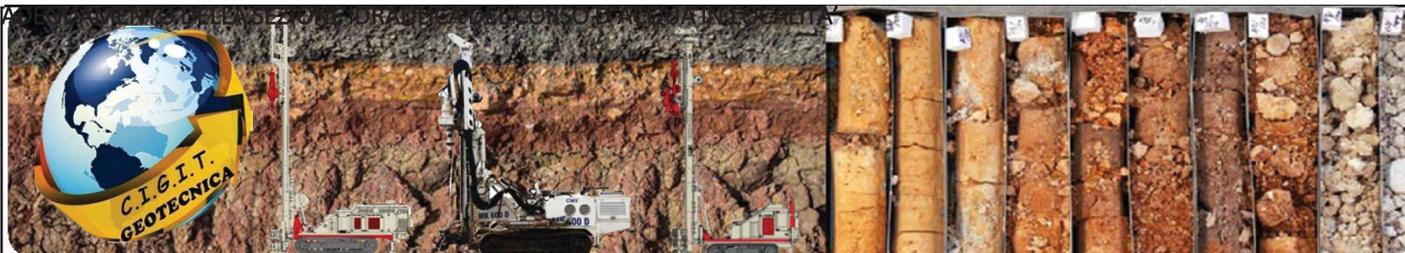
La campagna di indagini geognostiche si è articolata con l'esecuzione delle seguenti prove in sito:

- n.1 Carotaggio continuo 30 ml;
- n. 1 Indagini sismica attiva (MASW);
- n.1 Indagine sismica passiva (HVSR).
- N. 5 prove spt in foro;
- n.2 prove penetrometriche dinamiche (DPSH)

Di seguito si riportano i report delle indagini geognostiche eseguite e la Carta Ubicazione Indagini Geognostiche in scala 1:1.000

Dott. Fabio Procopio
Ordine Regionale della Calabria N.°278





C. I. G. I. T Soc. Coop.

UNI EN ISO9001:2015-Certificato n. 663/19/Q



Dott. Geologo Procopio Fabio

Realizzazione Edificio aule sull'area compresa tra la sede della facoltà di giurisprudenza e le residenze studentesche UMG - Catanzaro



Elaborati:

- Sondaggi geognostici
- Prove in situ
- Indagine laboratorio Terre

C.I.G.I.T. Soc. Coop
Il Legale Rappresentante
Ing. Aloj Salvatore Francesco

San Floro: 28 Novembre 2022



Loc. Andreotta Zona PIP 88021 San Floro (CZ)



Tel/Fax 0961951412



cigit@cigit.it





RELAZIONE SULLE INDAGINI

Premessa

La **C.I.G.I.T.** Società Cooperativa è affidataria dei lavori per la **“Realizzazione dell'edificio aule sull'area compresa tra la sede della facoltà di giurisprudenza e le residenze studentesche”**.

I lavori hanno previsto un programma di indagine geognostica consistente nell'esecuzione di sondaggi geotecnici e indagine di laboratorio terre di cui si forniscono i risultati nel presente allegato.

Indagini

Il programma delle indagini, eseguite con sonda meccanica Comacchio MC 900P matricola n. 1512/2010 conforme alla direttiva 2000/14/CE:

- Potenza netta installata: 126Kw
- Livello potenza acustica misurata LwA: 105 dB(A)
- Livello potenza acustica garantita LwA: 106 dB (A)

ha previsto n°1 sondaggio ad andamento verticale a carotaggio continuo spinto fino alla profondità di mt. 30.00 in corrispondenza dell'area interessata e indicata dalla D. L.

E' stata redatta, quindi, la stratigrafia del terreno indagato, riportando la profondità raggiunta e annotando il livello della falda acquifera,

Nel corso delle operazioni di perforazione è stata eseguita la caratterizzazione stratigrafica, catalogando i campioni in apposite cassette e sono stati prelevati n. 2 campioni indisturbati riportati in **Tab: II** sui quali sono state eseguite le analisi presso il laboratorio terre della scrivente Società.

Esecuzione delle indagini geotecniche

Tab. I - Sondaggi meccanici

| Sondaggio | Prof. p. c. (m) |
|-----------|-----------------|
| S1 | 30.00 |

Tab. II Elenco campioni indisturbati

| Sondaggio | Campione | Prof. p.c |
|-----------|----------|-------------|
| S1 | C1 | 4.00-4.50 |
| | C2 | 24.00-24.40 |



RELAZIONE SULLE INDAGINI

Standard Penetration Test

Nel corso delle perforazioni sono state eseguite, nel foro di sondaggio, secondo la procedura standard, n. 5 prove SPT (Standard Penetration Test) secondo le metodiche di cui alle norme ASTM 1586.84, con punta conica, maglio di 63,5 Kg e volata di 760 mm. Prima dell'esecuzione della prova, il foro è stato accuratamente pulito; quindi, si è proceduto all'infissione preliminare, annotando il numero di colpi necessari per la penetrazione dei primi 15 cm nel terreno; infine, si è dato inizio alla prova vera e propria che prevede una infissione di 30 cm, annotando, separatamente, il numero di colpi necessari alla penetrazione dei secondi e dei terzi 15 cm.

Nella **Tab. III** viene riportato il numero di colpi N_{SPT} e la profondità d'esecuzione della prova. Inoltre, il numero di colpi N_{SPT} , può essere facilmente correlato, attraverso alcune formulazioni empiriche, alle caratteristiche di resistenza a taglio del terreno.

Tab. III - Sintesi dei risultati delle prove SPT

| SONDAGGIO | Nspt(30) |
|-------------------------|----------|
| S1 prof.mt. 4.50-4.95 | 2 |
| S1 prof.mt. 8.00-8.45 | 6 |
| S1 prof.mt. 14.50-14.95 | 28 |
| S1 prof.mt. 19.40-19.85 | 26 |
| S1 prof.mt. 24.40-24.85 | 27 |

San Floro, Novembre

C. I. G. I. T. Soc. Coop.

Ing. Salvatore Aloï

C.I.G.I.T. Soc. Coop
Il Legale Rappresentante

Ing. Aloï Salvatore Francesco



| | |
|--|---------------------|
| Committente: Dott. Geologo Fabio Procopio | Sondaggio: S1 |
| Riferimento: Realizzazione edificio UMG - Catanzaro | Data: 22-23/11/2022 |
| Coordinate: | Quota: 30.00 mt. |
| Perforazione: Perforazione a carotaggio continuo con sonda Comacchio MC 900P | |

SCALA 1:150

STRATIGRAFIA - S1

Pagina 1/1

| Ø mm | R v | metri batt. | LITOLOGIA | Prel. % 0 --- 100 | prof. m | Spess. m | DESCRIZIONE | Campioni | Standard Penetration Test | | | | |
|---------|--------|----------------|-----------|----------------------|------------|-------------|--|-------------------------|---------------------------|---------|---------|----|--|
| | | | | | | | | | m | S.P.T. | N | A | |
| | | 1 | | | | 1,5 | Copertura di terreno agrario con terreno colluviale di colore marrone chiaro. | | | | | | |
| | | 2 | | | | | Terreni di natura colluviale alluvionale costituito da alternanze di limi sabbiosi e limi argillosi debolmente sabbiosi di colore giallo-grigio, poco consistenti. | | | | | | |
| | | 3 | | | | | | | | | | | |
| | | 4 | | | | | | | 1) She < 4,00 4,50 | 4,5 | 1-1-1 | 2 | |
| | | 5 | | | | | | | | | | | |
| | | 6 | | | | | | | | | | | |
| | | 7 | | | | | | | | | | | |
| | | 8 | | | | | | | | 8,0 | 2-2-4 | 6 | |
| | | 9 | | | | | | | | | | | |
| | | 10 | | | | | | | | | | | |
| | | 11 | | | | | | | | | | | |
| | | 12 | | | | 12,0 | Alternanza di limi argillosi e sabbie limose di colore variabile dal giallo al grigio, da mediamente consistenti a mediamente addensate. | | | | | | |
| | | 13 | | | | | | | | | | | |
| | | 14 | | | | | | | | | | | |
| | | 15 | | | | | | | | 14,5 | 7-12-16 | 28 | |
| | | 16 | | | | | | | | | | | |
| | | 17 | | | | | | | | | | | |
| | | 18 | | | | | | | | | | | |
| | | 19 | | | | | | | | 19,4 | 8-11-15 | 26 | |
| | | 20 | | | | | | | | | | | |
| | | 21 | | | | | | | | | | | |
| | | 22 | | | | | | | | | | | |
| | | 23 | | | | | | | | | | | |
| | | 24 | | | | | | | | | | | |
| | | 25 | | | | 25,0 | Argille limose di colore grigio consistenti con locali livelli sabbioso-limosi. | 2) She < 24,00 24,40 | 24,5 | 8-12-15 | 27 | | |
| | | 26 | | | | | | | | | | | |
| | | 27 | | | | | | | | | | | |
| | | 28 | | | | | | | | | | | |
| | | 29 | | | | | | | | | | | |
| 101 | | 30 | | | | 30,0 | | | | | | | |

Il Direttore
 Ing. Aloj Salvatore
 C.I.G.I.T. Soc. Coop
 Il Legale Rappresentante
 Ing. Aloj Salvatore Francesco



Loc. Andreotta Area PIP 88021 San Floro (CZ)

Tel/Fax 0961951412-cigit@cigit.it

<http://www.cigitcoop.com> p.iva 00821600798

Committente: Dott. Geologo Fabio Procopio

Sondaggio: S1

Pagina 1

Fotografie - Pagina 1/3

Riferimento: Realizzazione edificio UMG - Catanzaro

Data: 22-23/11/2022



Cassetta n° 1 - profondità da m 0,00 a m 5,00



Cassetta n° 2 - profondità da m 5,00 a m 10,00



Loc. Andreotta Area PIP 88021 San Floro (CZ)

Tel/Fax 0961951412 - cigit@cigit.it

<http://www.cigitcoop.com> p.iva 00821600798

Committente: Dott. Geologo Fabio Procopio

Sondaggio: S1

Pagina 2

Fotografie - Pagina 2/3

Riferimento: Realizzazione edificio UMG - Catanzaro

Data: 22-23/11/2022



Cassetta n° 3 - profondità da m 10,00 a m 15,00



Cassetta n° 4 - profondità da m 15,00 a m 20,00



Loc. Andreotta Area PIP 88021 San Floro (CZ)
Tel/Fax 0961951412-cigit@cigit.it
<http://www.cigitcoop.com> p.iva 00821600798

Committente: Dott. Geologo Fabio Procopio

Sondaggio: S1

Pagina 3

Fotografie - Pagina 3/3

Riferimento: Realizzazione edificio UMG - Catanzaro

Data: 22-23/11/2022

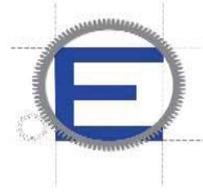


Cassetta n° 5 - profondità da m 20,00 a m 25,00



Cassetta n° 6 - profondità da m 25,00 a m 30,00

Concessione n. 0000282 del 06.11.2015 ai sensi del
Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
per prove sui terreni (settore A)



UNI EN ISO9001:2015-Certificato n. 663/19/Q

Dott. Geol. Fabio Procopio



Oggetto: “Realizzazione Edificio aule sull’area compresa tra la sede della facoltà di giurisprudenza e le residenze studentesche UMG - Catanzaro”.

Certificati:
dal n° 2478 al n° 2080

PROVE DI LABORATORIO
(Settore Terre)

Data emissione:
28.11.2022

Direttore del Laboratorio
Ing. Salvatore Aloï

C.I.G.I.T. Soc. Coop
Il Legale Rappresentante
Ing. Aloï Salvatore Francesco

Sperimentatore
Ing. Alfredo Aloï





| | | | |
|--|--------------|----------------|-------------|
| COMMITTENTE: Dott.GeoL.Fabio Procopio | | | |
| RIFERIMENTO: Realizz. edificio aule area tra la sede facoltà di giurisprudenza e le residenze studentesche | | | |
| SONDAGGIO: SI | CAMPIONE: C2 | PROFONDITA': m | 24,00-24,40 |

MODULO RIASSUNTIVOCARATTERISTICHE FISICHE

| | | |
|------------------------|-------|-------------------|
| Umidità naturale | 24,4 | % |
| Peso di volume | 19,8 | kN/m ³ |
| Peso di volume secco | 15,9 | kN/m ³ |
| Peso di volume saturo | 19,9 | kN/m ³ |
| Peso specifico | 26,7 | kN/m ³ |
| Indice dei vuoti | 0,672 | |
| Porosità | 40,2 | % |
| Grado di saturazione | 98,6 | % |
| Limite di liquidità | 49,7 | % |
| Limite di plasticità | 19,5 | % |
| Indice di plasticità | 30,2 | % |
| Indice di consistenza | 0,84 | |
| Passante al set. n° 40 | SI | |
| Limite di ritiro | | % |
| CNR-UNI 10006/00 | | |

ANALISI GRANULOMETRICA

| | | |
|-------------------|----------|----|
| Ghiaia | | % |
| Sabbia | 4,5 | % |
| Limo | 45,8 | % |
| Argilla | 49,7 | % |
| D 10 | | mm |
| D 50 | 0,002103 | mm |
| D 60 | 0,004305 | mm |
| D 90 | 0,039596 | mm |
| Passante set. 10 | 100,0 | % |
| Passante set. 42 | 99,8 | % |
| Passante set. 200 | 97,2 | % |

PERMEABILITA'

| | |
|----------------|--------|
| Coefficiente k | cm/sec |
|----------------|--------|

COMPRESSIONE

| | | | |
|----------|-----|--------------|-----|
| σ | kPa | σ Rim | kPa |
| C_u | kPa | C_u Rim | kPa |

TAGLIO DIRETTO

| | | | | | |
|-------------------------|------|-----|-------------|------|---|
| Prova consolidata-lenta | | | | | |
| c' | 29,7 | kPa | ϕ' | 19,9 | ° |
| c' Res | | kPa | ϕ' Res | | ° |

COMPRESSIONE TRIASSIALE

| | | | | |
|------|-----------|-----|--------------|---|
| C.D. | C_d | kPa | ϕ_d | ° |
| C.U. | C'_{cu} | kPa | ϕ'_{cu} | ° |
| | C_{cu} | kPa | ϕ_{cu} | ° |
| U.U. | C_u | kPa | ϕ_u | ° |

PROVA EDOMETRICA

| σ kPa | E kPa | C_v cm ² /sec | k cm/sec |
|-----------------|----------|-------------------------------|-------------|
| 98,1 ÷ 196,1 | 13092 | 0,002183 | 1,64E-08 |
| 196,1 ÷ 392,3 | 20686 | 0,000716 | 3,40E-09 |
| 392,3 ÷ 784,6 | 31258 | 0,000687 | 2,15E-09 |
| 784,6 ÷ 1569,1 | 37462 | 0,000808 | 2,11E-09 |

Argilla con Limo



| | | | |
|--|------------|-----------------------------|--------------------------|
| CERTIFICATO DI PROVA N°: 02478 | Pagina 1/1 | DATA DI EMISSIONE: 28/11/22 | Inizio analisi: 25/11/22 |
| VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 113 del 23/11/22 | | Apertura campione: 24/11/22 | Fine analisi: 26/11/22 |

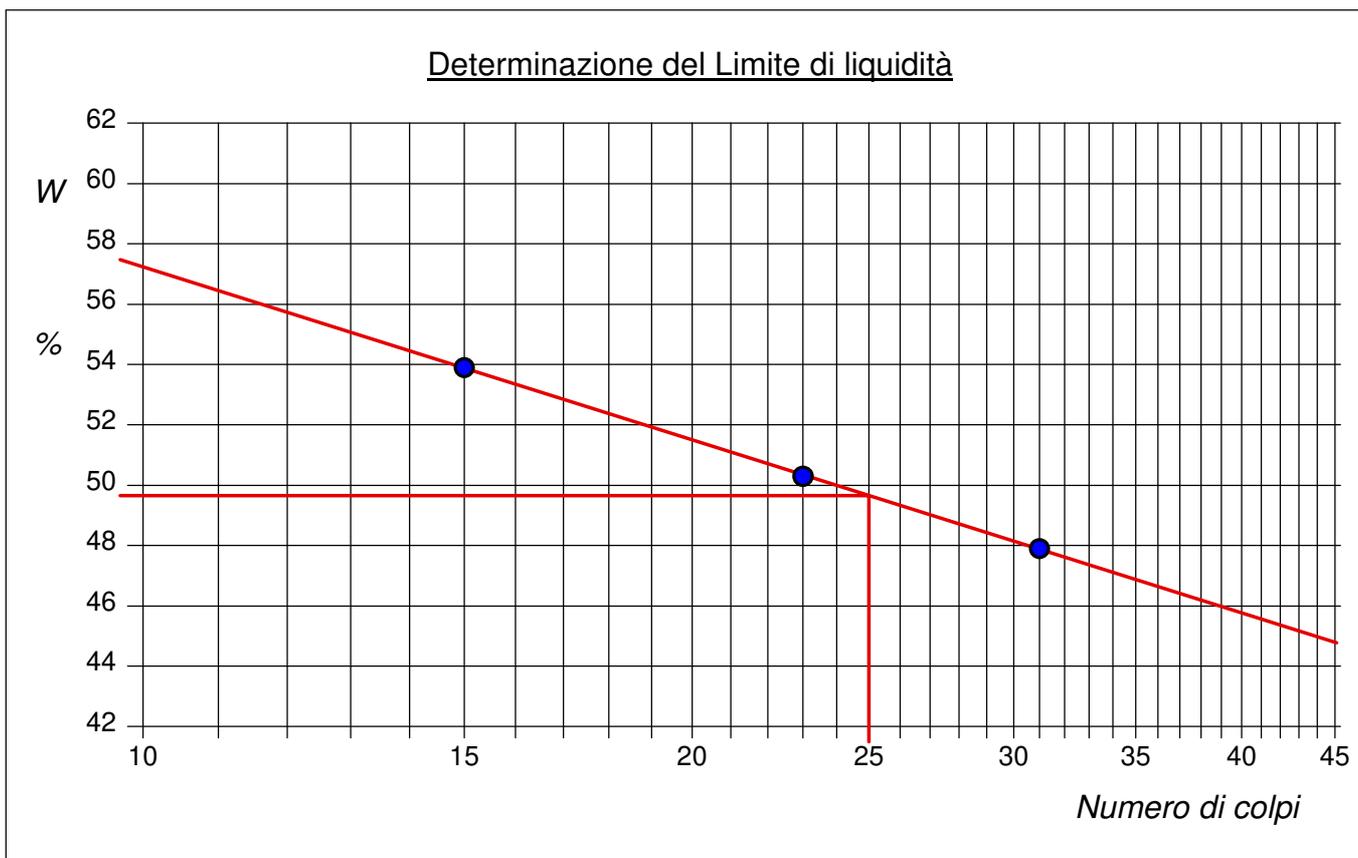
| | | | |
|---|---------------------|-----------------------------------|--|
| COMMITTENTE: Dott. Geol. Fabio Procopio | | | |
| RIFERIMENTO: Realizz. edificio aule area tra la sede facoltà di giurisprudenza e le residenze studentesche | | | |
| SONDAGGIO: SI | CAMPIONE: C2 | PROFONDITA': m 24.00-24.40 | |

LIMITI DI CONSISTENZA LIQUIDO E PLASTICO

| | |
|----------------------|--------|
| Limite di liquidità | 49,7 % |
| Limite di plasticità | 19,5 % |
| Indice di plasticità | 30,2 % |

La prova è stata eseguita sulla frazione granulometrica passante al setaccio n° 40 (0.42 mm)

| LIMITE DI LIQUIDITA' | | | | | LIMITE DI PLASTICITA' | | |
|----------------------|------|------|------|--|-----------------------|------|------|
| Numero di colpi | 15 | 23 | 31 | | Umidità (%) | 19,3 | 19,6 |
| Umidità (%) | 53,9 | 50,3 | 47,9 | | Umidità media | 19,5 | |



Argilla con Limo

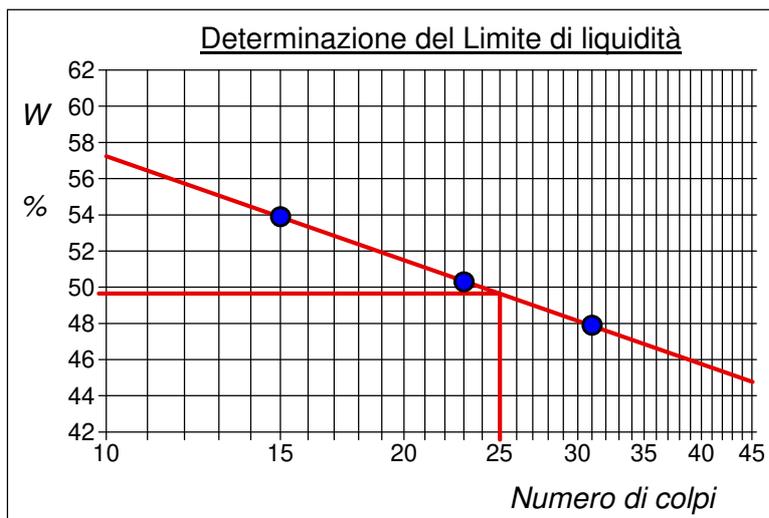


| | | | |
|--|------------|-----------------------------|--------------------------|
| CERTIFICATO DI PROVA N°: 02478 | Allegato 1 | DATA DI EMISSIONE: 28/11/22 | Inizio analisi: 25/11/22 |
| VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 113 del 23/11/22 | | Apertura campione: 24/11/22 | Fine analisi: 26/11/22 |

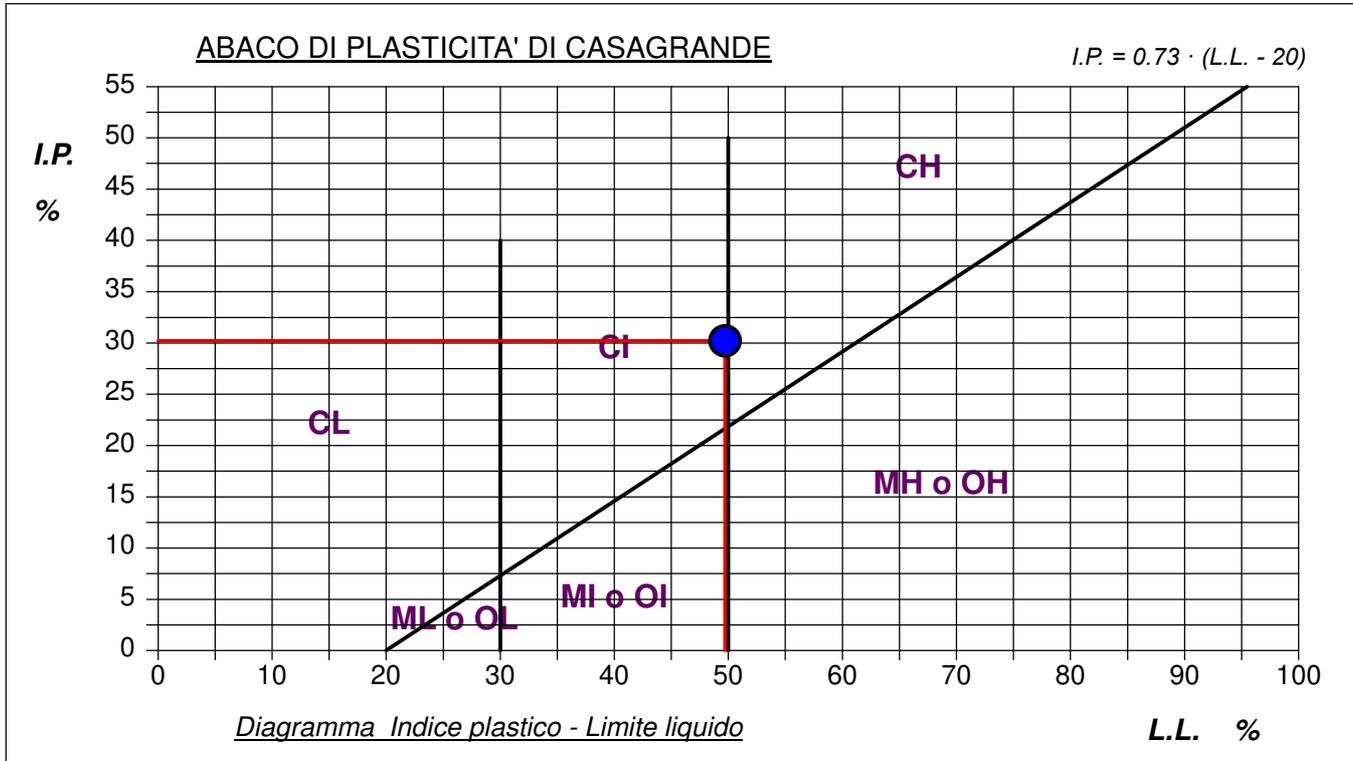
| | | | |
|---|---------------------|-----------------------------------|--|
| COMMITTENTE: Dott. Geol. Fabio Procopio | | | |
| RIFERIMENTO: Realizz. edificio aule area tra la sede facoltà di giurisprudenza e le residenze studentesche | | | |
| SONDAGGIO: SI | CAMPIONE: C2 | PROFONDITA': m 24.00-24.40 | |

ABACO DI CASAGRANDE

| | | |
|------------------------|------|---|
| Limite di liquidità | 49,7 | % |
| Limite di plasticità | 19,5 | % |
| Indice di plasticità | 30,2 | % |
| Indice di consistenza | 0,84 | |
| Passante al set. n° 40 | SI | |



| | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| C - Argille inorganiche | L - Bassa compressibilità |
| M - Limi inorganici | I - Media compressibilità |
| O - Argille e limi organici | H - Alta compressibilità |



Argilla con Limo

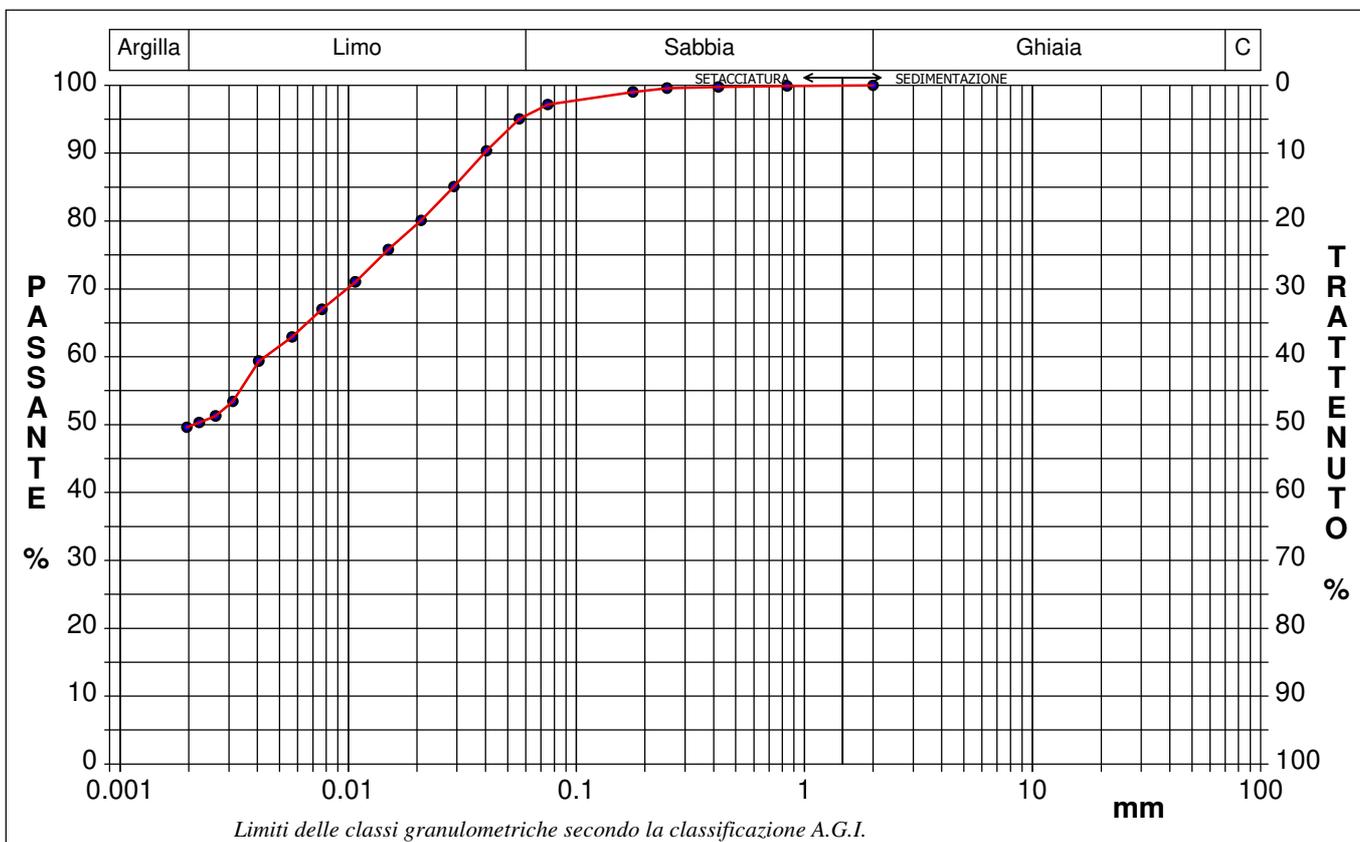


| | | | |
|--|------------|-----------------------------|--------------------------|
| CERTIFICATO DI PROVA N°: 02479 | Pagina 1/1 | DATA DI EMISSIONE: 28/11/22 | Inizio analisi: 25/11/22 |
| VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 113 del 23/11/22 | | Apertura campione: 24/11/22 | Fine analisi: 28/11/22 |

| | | |
|--|--------------|--------------------------|
| COMMITTENTE: Dott. Geol. Fabio Procopio | | |
| RIFERIMENTO: Realizz. edificio aule area tra la sede facoltà di giurisprudenza e le residenze studentesche | | |
| SONDAGGIO: SI | CAMPIONE: C2 | PROFONDITA': m 2400-2440 |

ANALISI GRANULOMETRICA

| | | | | | | |
|----------------------------|--------|----------------------------------|---------|-----|---------|----|
| Argilla | 49,7 % | Passante setaccio 200 (0.075 mm) | 97,2 % | D10 | --- | mm |
| Limo | 45,8 % | Passante setaccio 40 (0.42 mm) | 99,8 % | D30 | --- | mm |
| Sabbia | 4,5 % | Passante setaccio 10 (2 mm) | 100,0 % | D50 | 0,00210 | mm |
| Ghiaia | 0,0 % | | | D60 | 0,00431 | mm |
| | | | | D90 | 0,03960 | mm |
| Coefficiente di uniformità | --- | Coefficiente di curvatura | --- | | | |



| Diametro mm | Passante % | Diametro mm | Passante % |
|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-----------------|------------|
| 0,0020 | 49,61 | 0,0057 | 62,94 | 0,0291 | 85,09 | 0,2500 | 99,59 | | |
| 0,0022 | 50,32 | 0,0077 | 66,99 | 0,0404 | 90,33 | 0,4200 | 99,77 | | |
| 0,0026 | 51,27 | 0,0107 | 71,04 | 0,0563 | 95,04 | 0,8410 | 99,89 | | |
| 0,0031 | 53,42 | 0,0150 | 75,81 | 0,0750 | 97,18 | 2,0000 | 100,00 | Setacci | 5 |
| 0,0041 | 59,37 | 0,0209 | 80,09 | 0,1770 | 99,03 | | | Punti sediment. | 13 |

Argilla con Limo

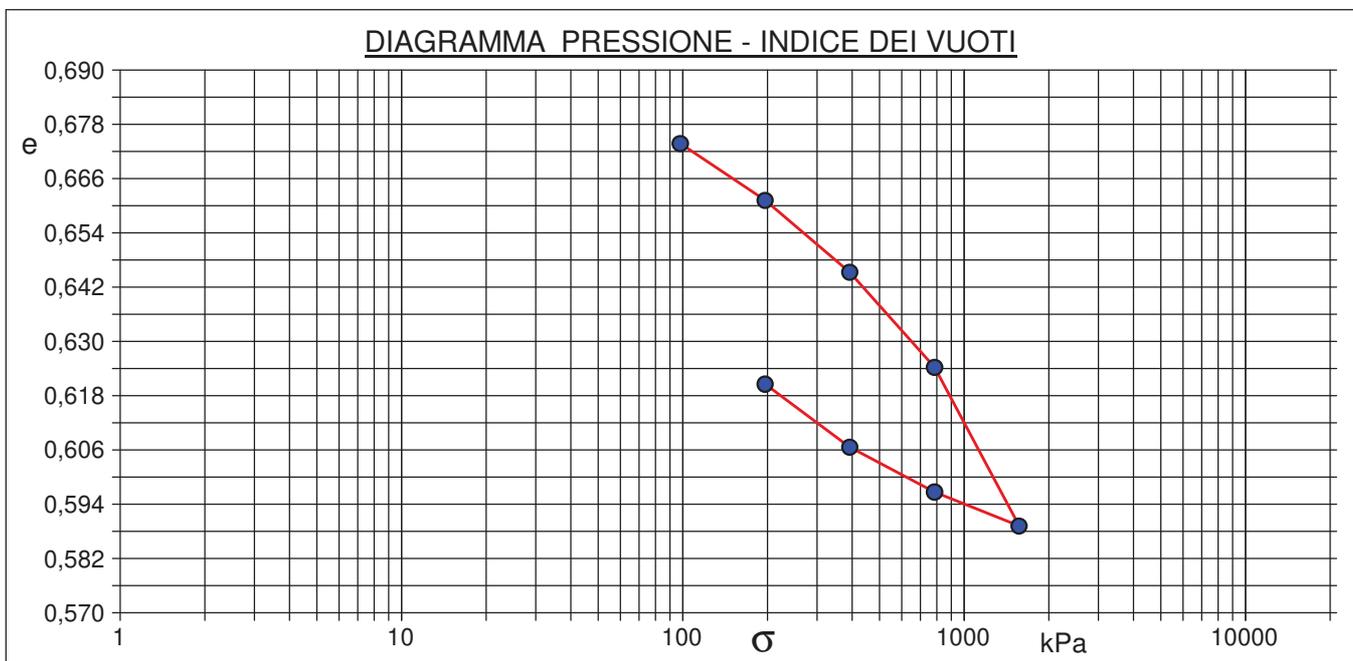


| | | | |
|--|------------|-----------------------------|--------------------------|
| CERTIFICATO DI PROVA N°: 02501 | Pagina 1/3 | DATA DI EMISSIONE: 20/12/22 | Inizio analisi: 25/11/22 |
| VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 113 del 23/11/22 | | Apertura campione: 24/11/22 | Fine analisi: 12/12/22 |

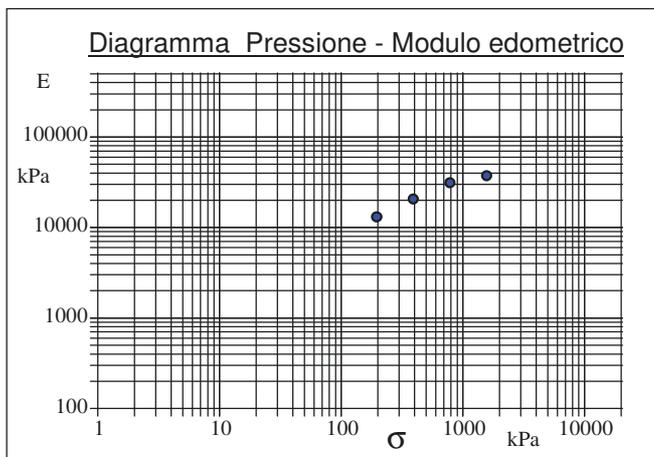
| | | |
|--|--------------|----------------------------|
| COMMITTENTE: Dott. Geol. Fabio Procopio | | |
| RIFERIMENTO: Realizz. edificio aule area tra la sede facoltà di giurisprudenza e le residenze studentesche | | |
| SONDAGGIO: SI | CAMPIONE: C2 | PROFONDITA': m 24,00-24,40 |

PROVA EDOMETRICA

| Caratteristiche del campione | | | | | |
|------------------------------|-------|------------------------|-------|------------------|-------|
| Peso di volume (kN/m³) | 19,84 | Altezza provino (cm) | 2,00 | Indice dei vuoti | 0,67 |
| Umidità (%) | 24,6 | Volume provino (cm³) | 40,00 | Porosità (%) | 40,28 |
| Peso specifico (kN/m³) | 26,67 | Volume dei vuoti (cm³) | 16,11 | Saturazione (%) | 99,0 |



| Pressione kPa | Cedim. mm/100 | Indice Vuoti | Cc | Modulo kPa | Cv cm²/sec | k cm/sec |
|---------------|---------------|--------------|-------|------------|------------|----------|
| 98,1 | 1,1 | 0,674 | | | | |
| 196,1 | 16,0 | 0,661 | 0,042 | 13092 | 0,002183 | 1,64E-08 |
| 392,3 | 35,0 | 0,645 | 0,053 | 20686 | 0,000716 | 3,40E-09 |
| 784,6 | 60,1 | 0,624 | 0,070 | 31258 | 0,000687 | 2,15E-09 |
| 1569,1 | 102,0 | 0,589 | 0,117 | 37462 | 0,000808 | 2,11E-09 |
| 784,6 | 93,0 | 0,597 | | | | |
| 392,3 | 81,2 | 0,607 | | | | |
| 196,1 | 64,6 | 0,621 | | | | |



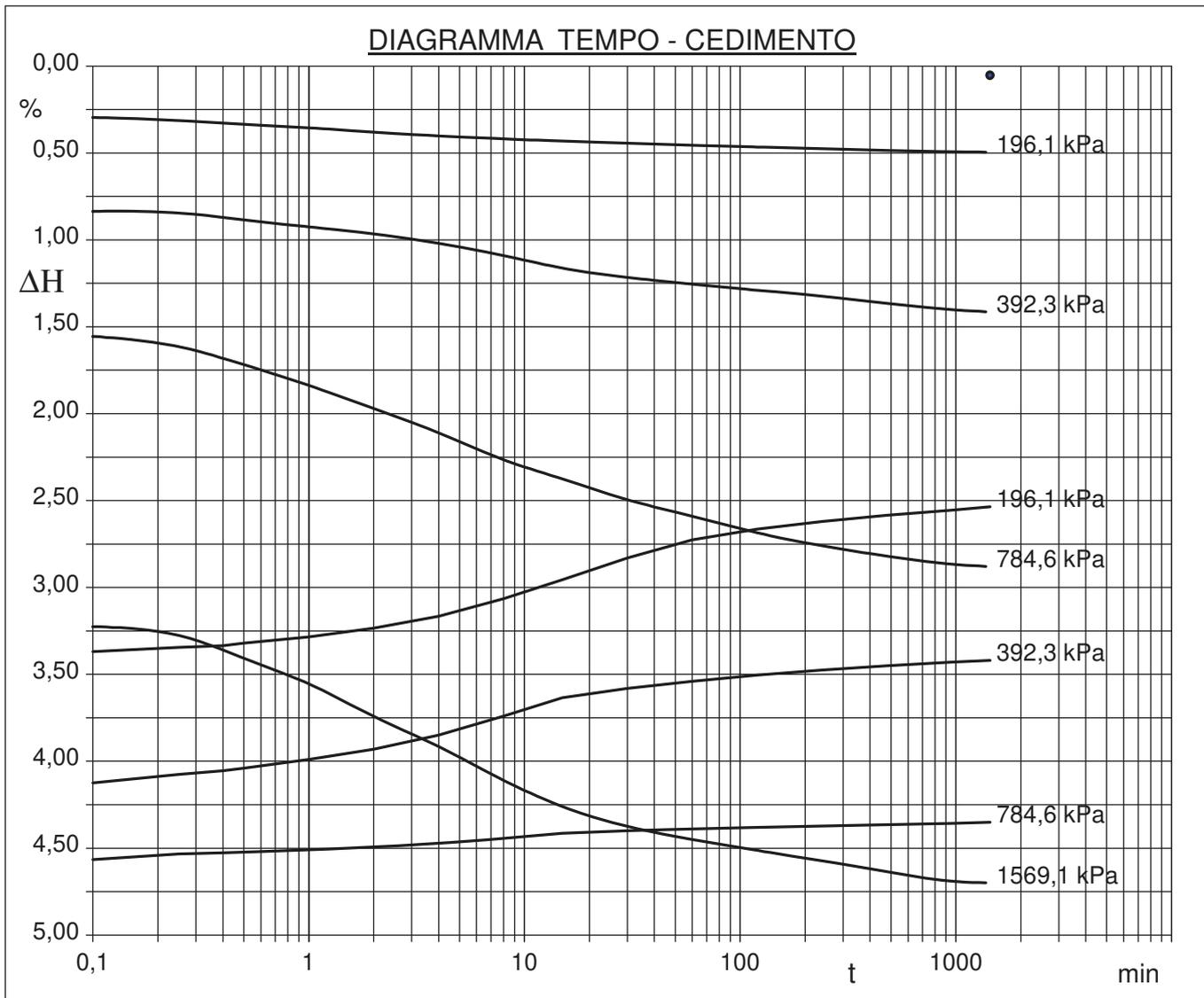
Argilla con Limo



| | | | |
|--|------------|-----------------------------|--------------------------|
| CERTIFICATO DI PROVA N°: 02501 | Pagina 2/3 | DATA DI EMISSIONE: 20/12/22 | Inizio analisi: 25/11/22 |
| VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 113 del 23/11/22 | | Apertura campione: 24/11/22 | Fine analisi: 12/12/22 |

| | | |
|--|--------------|----------------------------|
| COMMITTENTE: Dott.Geol.Fabio Procopio | | |
| RIFERIMENTO: Realizz. edificio aule area tra la sede facoltà di giurisprudenza e le residenze studentesche | | |
| SONDAGGIO: SI | CAMPIONE: C2 | PROFONDITA': m 24.00-24.40 |

PROVA EDOMETRICA

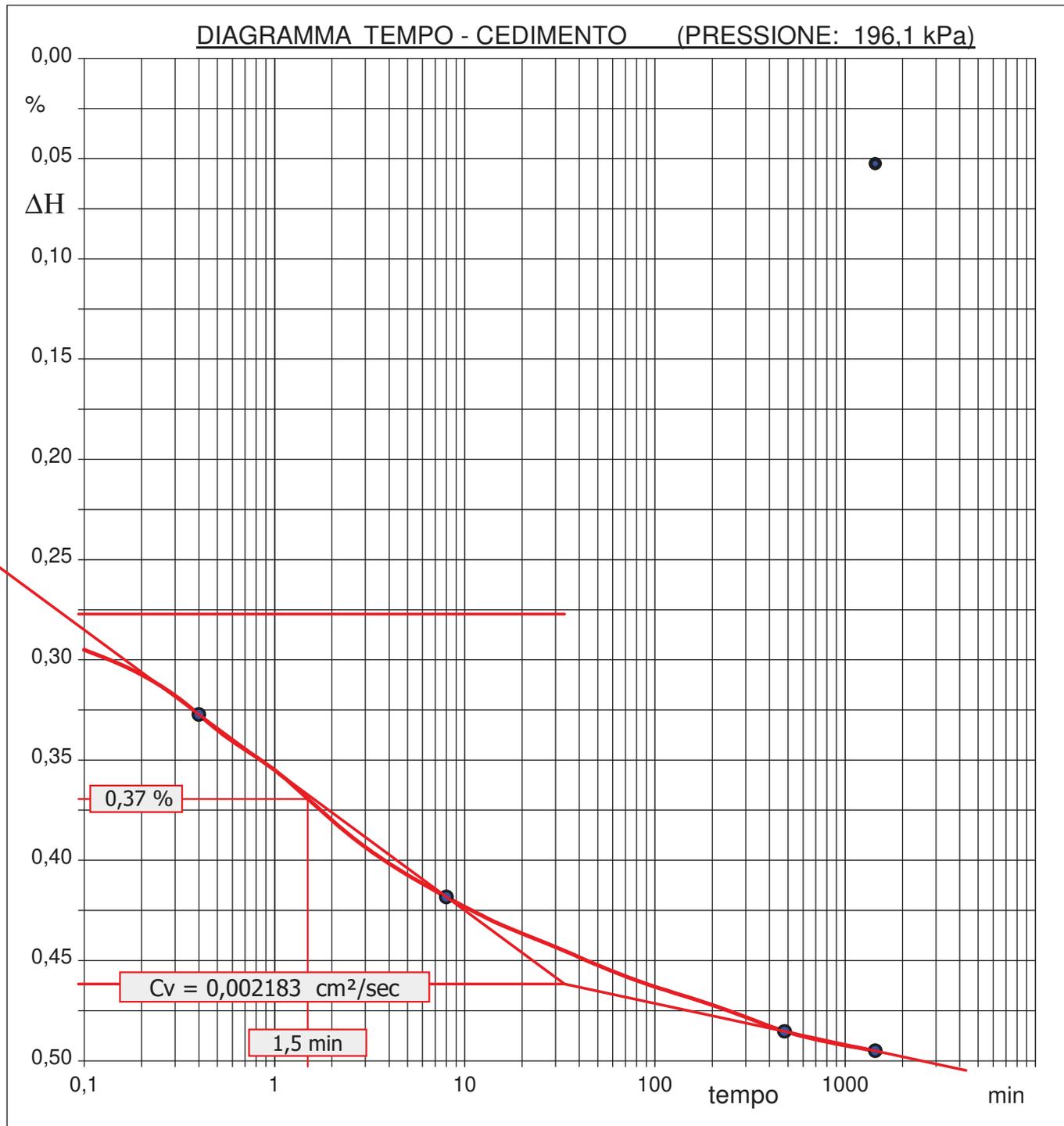




| | | | |
|--|-------------|-----------------------------|--------------------------|
| CERTIFICATO DI PROVA N°: 02501 | Pagina -3/3 | DATA DI EMISSIONE: 20/12/22 | Inizio analisi: 25/11/22 |
| VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 113 del 23/11/22 | | Apertura campione: 24/11/22 | Fine analisi: 12/12/22 |

| | | |
|--|--------------|----------------------------|
| COMMITTENTE: Dott.Geol.Fabio Procopio | | |
| RIFERIMENTO: Realizz. edificio aule area tra la sede facoltà di giurisprudenza e le residenze studentesche | | |
| SONDAGGIO: SI | CAMPIONE: C2 | PROFONDITA': m 24.00-24.40 |

PROVA EDOMETRICA

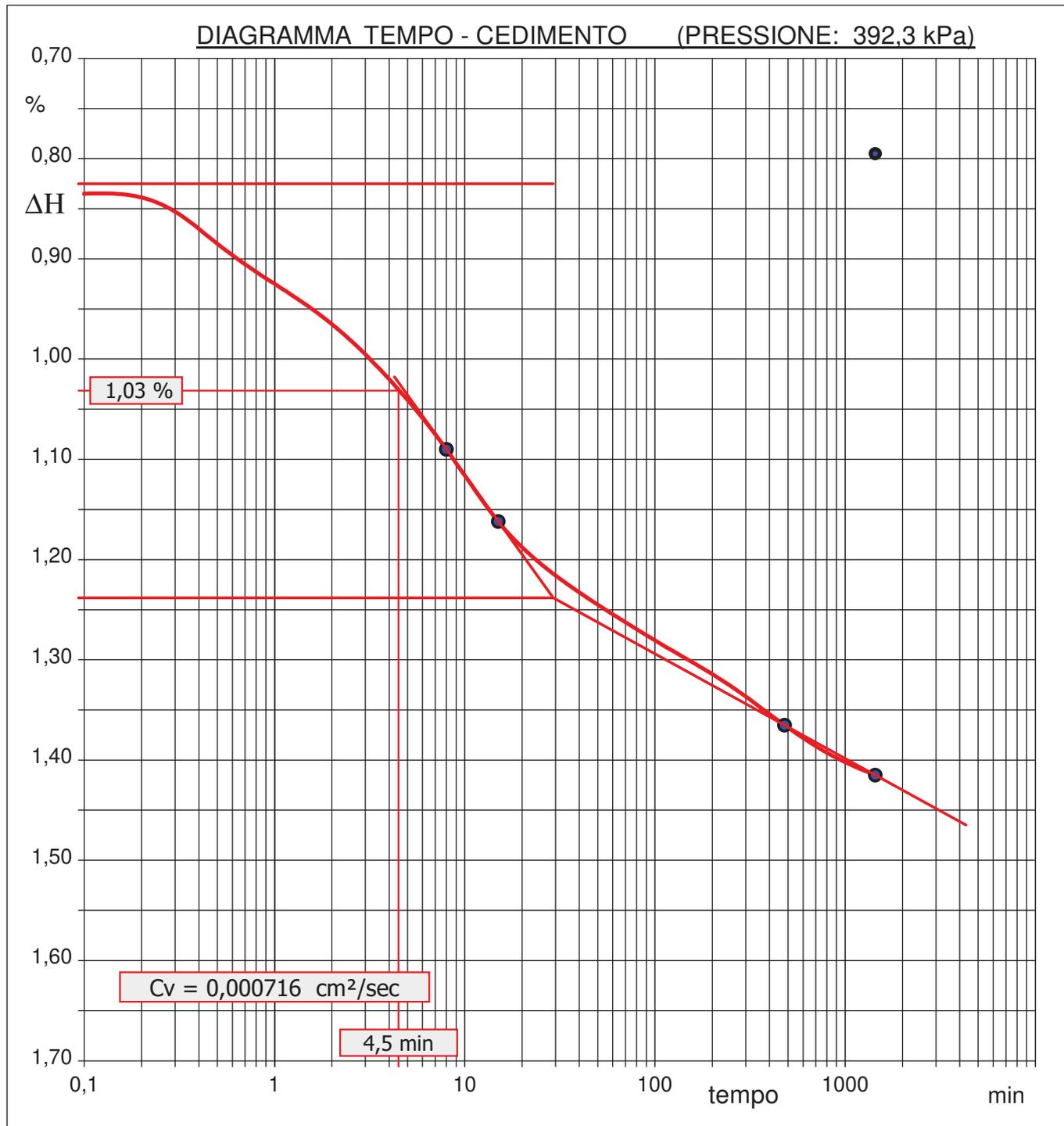




| | | | |
|--|-------------|-----------------------------|--------------------------|
| CERTIFICATO DI PROVA N°: 02501 | Pagina -2/3 | DATA DI EMISSIONE: 20/12/22 | Inizio analisi: 25/11/22 |
| VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 113 del 23/11/22 | | Apertura campione: 24/11/22 | Fine analisi: 12/12/22 |

| | | |
|--|--------------|----------------------------|
| COMMITTENTE: Dott.Geol.Fabio Procopio | | |
| RIFERIMENTO: Realizz. edificio aule area tra la sede facoltà di giurisprudenza e le residenze studentesche | | |
| SONDAGGIO: SI | CAMPIONE: C2 | PROFONDITA': m 24.00-24.40 |

PROVA EDOMETRICA

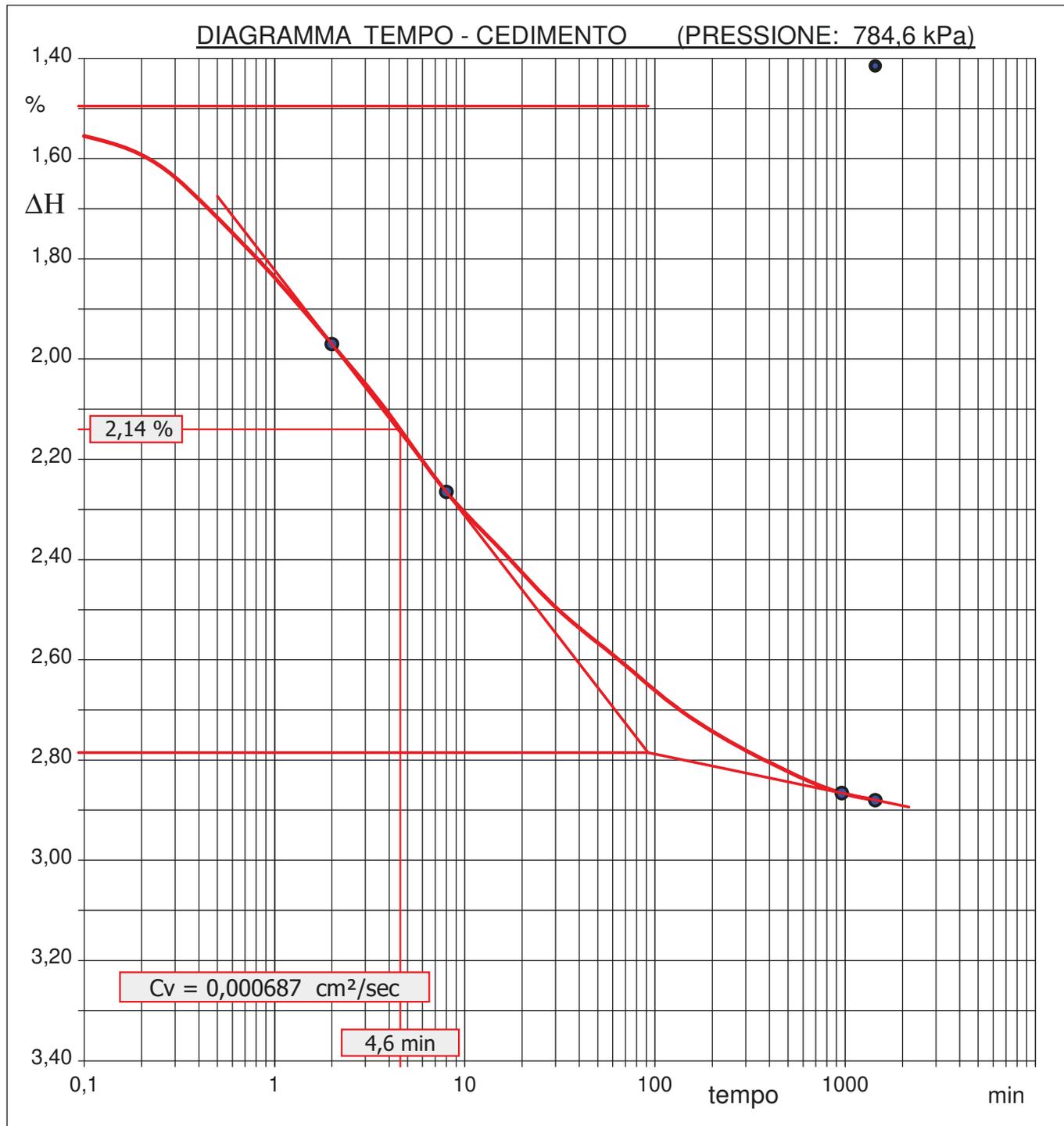




| | | | |
|--|-------------|-----------------------------|--------------------------|
| CERTIFICATO DI PROVA N°: 02501 | Pagina -1/3 | DATA DI EMISSIONE: 20/12/22 | Inizio analisi: 25/11/22 |
| VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 113 del 23/11/22 | | Apertura campione: 24/11/22 | Fine analisi: 12/12/22 |

| | | |
|--|--------------|----------------------------|
| COMMITTENTE: Dott.Geol.Fabio Procopio | | |
| RIFERIMENTO: Realizz. edificio aule area tra la sede facoltà di giurisprudenza e le residenze studentesche | | |
| SONDAGGIO: SI | CAMPIONE: C2 | PROFONDITA': m 24.00-24.40 |

PROVA EDOMETRICA

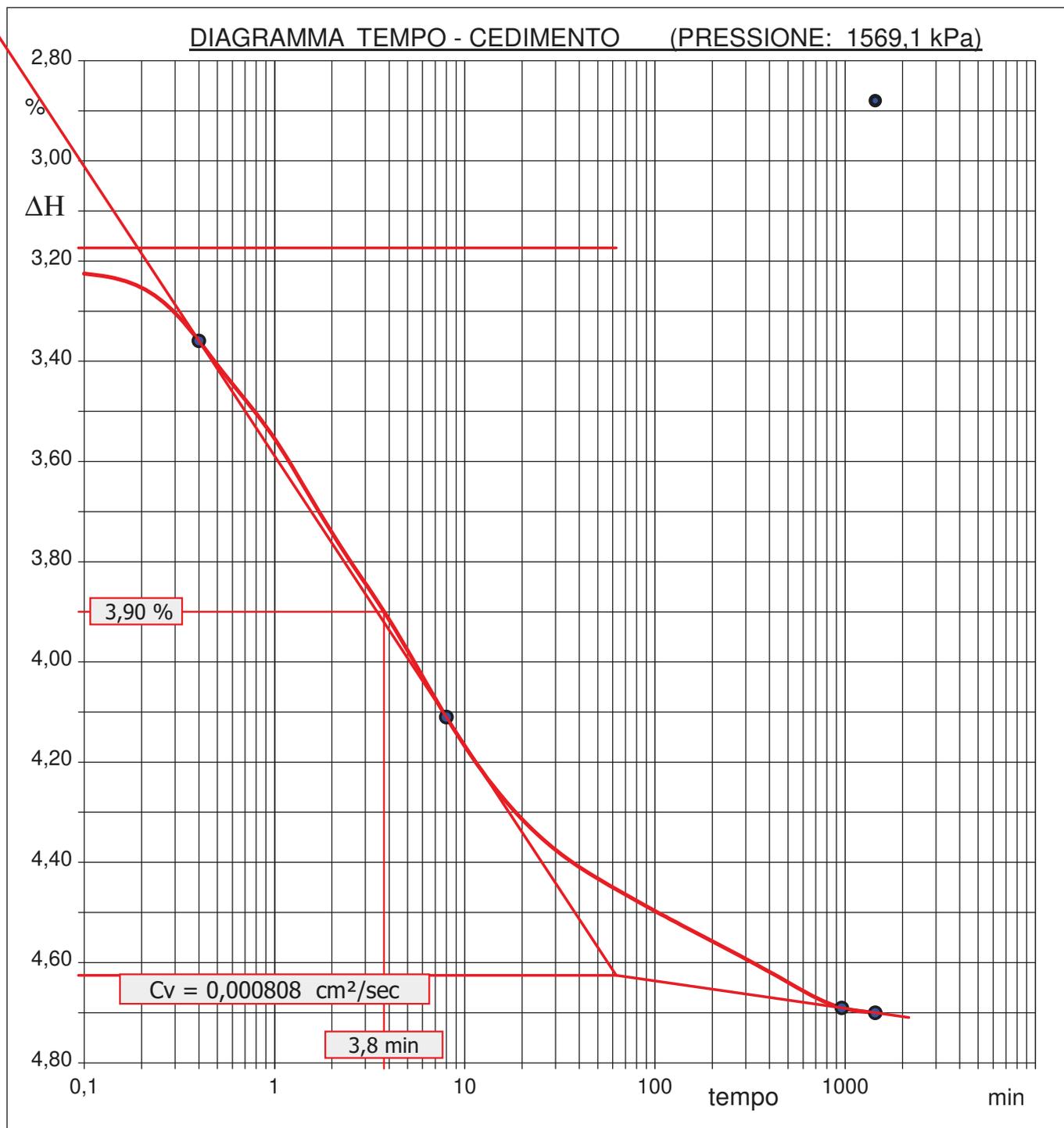




| | | | |
|--|------------|-----------------------------|--------------------------|
| CERTIFICATO DI PROVA N°: 02501 | Pagina 0/3 | DATA DI EMISSIONE: 20/12/22 | Inizio analisi: 25/11/22 |
| VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 113 del 23/11/22 | | Apertura campione: 24/11/22 | Fine analisi: 12/12/22 |

| | | |
|--|--------------|----------------------------|
| COMMITTENTE: Dott.Geol.Fabio Procopio | | |
| RIFERIMENTO: Realizz. edificio aule area tra la sede facoltà di giurisprudenza e le residenze studentesche | | |
| SONDAGGIO: SI | CAMPIONE: C2 | PROFONDITA': m 24.00-24.40 |

PROVA EDOMETRICA





| | | | |
|--|------------|-----------------------------|--------------------------|
| CERTIFICATO DI PROVA N°: 02501 | Pagina 3/3 | DATA DI EMISSIONE: 20/12/22 | Inizio analisi: 25/11/22 |
| VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 113 del 23/11/22 | | Apertura campione: 24/11/22 | Fine analisi: 12/12/22 |

| | | | |
|---|---------------------|---------------------------------|--|
| COMMITTENTE: Dott. Geol. Fabio Procopio | | | |
| RIFERIMENTO: Realizz. edificio aule area tra la sede facoltà di giurisprudenza e le residenze studentesche | | | |
| SONDAGGIO: SI | CAMPIONE: C2 | PROFONDITA': m 2400-2440 | |

PROVA EDOMETRICA

LETTURE INTERMEDIE - TABELLE RIASSUNTIVE

| Pressione 196,1 kPa | | | | Pressione 392,3 kPa | | | | Pressione 784,6 kPa | | | | Pressione 1569,1 kPa | | | |
|---------------------|---------------|-----------|---------------|---------------------|---------------|-----------|---------------|---------------------|---------------|-----------|---------------|----------------------|---------------|-----------|---------------|
| Tempo min | Cedim. mm/100 | Tempo min | Cedim. mm/100 | Tempo min | Cedim. mm/100 | Tempo min | Cedim. mm/100 | Tempo min | Cedim. mm/100 | Tempo min | Cedim. mm/100 | Tempo min | Cedim. mm/100 | Tempo min | Cedim. mm/100 |
| 0,00 | 1,1 | | | 0,00 | 15,9 | | | 0,00 | 28,3 | | | 0,00 | 57,6 | | |
| 0,10 | 9,3 | | | 0,10 | 17,1 | | | 0,10 | 30,7 | | | 0,10 | 65,5 | | |
| 0,25 | 9,9 | | | 0,25 | 17,4 | | | 0,25 | 31,7 | | | 0,25 | 66,7 | | |
| 0,40 | 10,4 | | | 0,40 | 18,2 | | | 0,40 | 32,9 | | | 0,40 | 68,6 | | |
| 0,50 | 10,6 | | | 0,50 | 18,7 | | | 0,50 | 33,5 | | | 0,50 | 69,7 | | |
| 1,00 | 11,3 | | | 1,00 | 19,9 | | | 1,00 | 35,5 | | | 1,00 | 73,1 | | |
| 2,00 | 12,1 | | | 2,00 | 21,1 | | | 2,00 | 37,8 | | | 2,00 | 77,4 | | |
| 4,00 | 12,9 | | | 4,00 | 22,8 | | | 4,00 | 40,2 | | | 4,00 | 81,4 | | |
| 8,00 | 13,4 | | | 8,00 | 24,9 | | | 8,00 | 42,9 | | | 8,00 | 85,9 | | |
| 15,00 | 13,9 | | | 15,00 | 27,1 | | | 15,00 | 44,7 | | | 15,00 | 89,4 | | |
| 30,00 | 14,3 | | | 30,00 | 28,8 | | | 30,00 | 46,8 | | | 30,00 | 92,0 | | |
| 60,00 | 14,7 | | | 60,00 | 30,0 | | | 60,00 | 48,4 | | | 60,00 | 93,7 | | |
| 120,00 | 15,0 | | | 120,00 | 31,0 | | | 120,00 | 50,1 | | | 120,00 | 95,2 | | |
| 240,00 | 15,3 | | | 240,00 | 32,1 | | | 240,00 | 51,4 | | | 240,00 | 96,6 | | |
| 480,00 | 15,7 | | | 480,00 | 33,3 | | | 480,00 | 52,4 | | | 480,00 | 98,0 | | |
| 960,00 | 15,9 | | | 960,00 | 34,4 | | | 960,00 | 53,2 | | | 960,00 | 99,3 | | |
| 1440,00 | 16,0 | | | 1440,00 | 34,9 | | | 1440,00 | 53,4 | | | 1440,00 | 99,5 | | |

| Pressione 784,6 kPa | | | | Pressione 392,3 kPa | | | | Pressione 196,1 kPa | | | | Pressione -- kPa | | | |
|---------------------|---------------|-----------|---------------|---------------------|---------------|-----------|---------------|---------------------|---------------|-----------|---------------|------------------|---------------|-----------|---------------|
| Tempo min | Cedim. mm/100 | Tempo min | Cedim. mm/100 | Tempo min | Cedim. mm/100 | Tempo min | Cedim. mm/100 | Tempo min | Cedim. mm/100 | Tempo min | Cedim. mm/100 | Tempo min | Cedim. mm/100 | Tempo min | Cedim. mm/100 |
| 0,00 | 94,0 | | | 0,00 | 68,0 | | | 0,00 | 68,4 | | | | | | |
| 0,10 | 90,6 | | | 0,10 | -362,0 | | | 0,10 | 67,5 | | | | | | |
| 0,25 | 89,7 | | | 0,25 | -332,4 | | | 0,25 | 67,0 | | | | | | |
| 0,40 | 89,6 | | | 0,40 | -320,5 | | | 0,40 | 66,8 | | | | | | |
| 0,50 | 89,5 | | | 0,50 | -311,6 | | | 0,50 | 66,5 | | | | | | |
| 1,00 | 89,1 | | | 1,00 | -282,0 | | | 1,00 | 65,9 | | | | | | |
| 2,00 | 88,7 | | | 2,00 | -246,4 | | | 2,00 | 64,9 | | | | | | |
| 4,00 | 88,1 | | | 4,00 | -198,9 | | | 4,00 | 63,6 | | | | | | |
| 8,00 | 87,4 | | | 8,00 | -133,7 | | | 8,00 | 61,7 | | | | | | |
| 15,00 | 86,7 | | | 15,00 | -71,4 | | | 15,00 | 59,7 | | | | | | |
| 30,00 | 86,3 | | | 30,00 | -38,8 | | | 30,00 | 57,3 | | | | | | |
| 60,00 | 86,0 | | | 60,00 | -15,0 | | | 60,00 | 55,4 | | | | | | |
| 120,00 | 85,8 | | | 120,00 | 5,7 | | | 120,00 | 54,2 | | | | | | |
| 240,00 | 85,6 | | | 240,00 | 23,5 | | | 240,00 | 53,4 | | | | | | |
| 480,00 | 85,4 | | | 480,00 | 38,3 | | | 480,00 | 52,7 | | | | | | |
| 960,00 | 85,2 | | | 960,00 | 50,2 | | | 960,00 | 52,2 | | | | | | |
| 1440,00 | 85,0 | | | 1440,00 | 56,1 | | | 1440,00 | 51,8 | | | | | | |



| | | | |
|--|------------|-----------------------------|--------------------------|
| CERTIFICATO DI PROVA N°: 02480 | Pagina 1/2 | DATA DI EMISSIONE: 28/11/22 | Inizio analisi: 25/11/22 |
| VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 113 del 23/11/22 | | Apertura campione: 24/11/22 | Fine analisi: 28/11/22 |

| | | | |
|---|---------------------|-----------------------------------|--|
| COMMITTENTE: Dott.Geol.Fabio Procopio | | | |
| RIFERIMENTO: Realizz. edificio aule area tra la sede facoltà di giurisprudenza e le residenze studentesche | | | |
| SONDAGGIO: SI | CAMPIONE: C2 | PROFONDITA': m 24.00-24.40 | |

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

| Provino n°: | 1 | 2 | 3 |
|--|--------------|--------------|--------------|
| Condizione del provino: | Indisturbato | Indisturbato | Indisturbato |
| Pressione verticale (kPa): | 98 | 196 | 294 |
| Tensione a rottura (kPa): | 69 | 97 | 140 |
| Deformazione orizzontale a rottura (mm): | 3,31 | 3,76 | 3,42 |
| Deformazione verticale a rottura (mm): | 0,00 | -0,17 | -0,16 |
| Umidità naturale (%): | 24,6 | 24,0 | 24,2 |
| Peso di volume (kN/m³): | 19,7 | 19,9 | 19,8 |

DIAGRAMMA
Tensione - Pressione verticale

| | |
|--------------------------------|---------------------|
| Tipo di prova: | Consolidata - lenta |
| Velocità di deformazione: | 0,006 mm / min |
| Tempo di consolidazione (ore): | 24 |

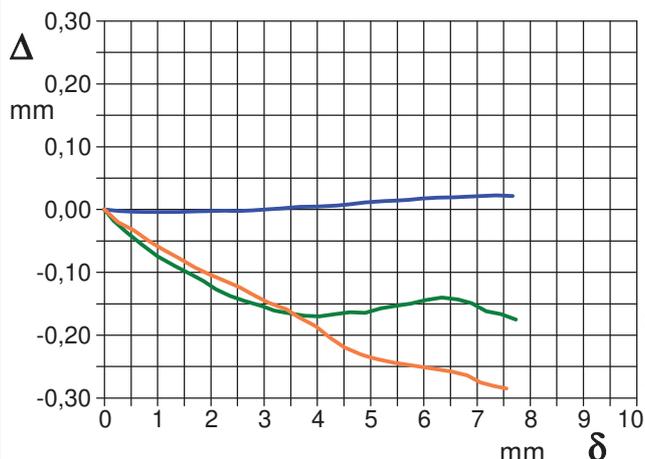
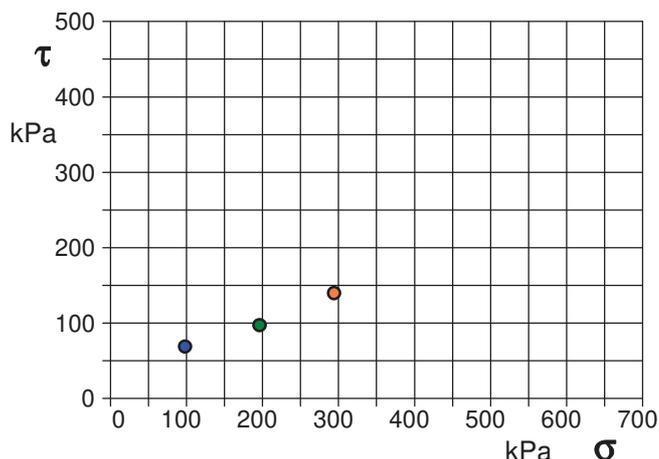


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

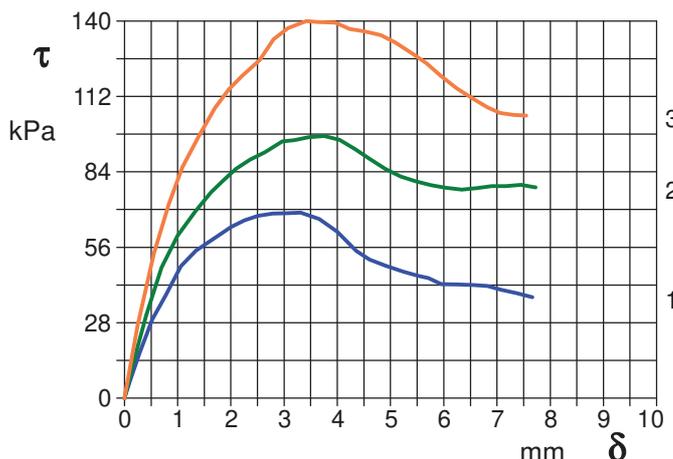


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

Argilla con Limo

COMUNE DI CATANZARO
Provincia di Catanzaro

INDAGINI GEOFISICHE

- A. SISMICA SUPERFICIALE ATTIVA CON TECNICA
MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (Masw);
- B. SISMICA SUPERFICIALE PASSIVA (microtremori) CON TECNICA
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (Hvsr)

PROGETTO

Realizzazione di un edificio aule tra la sede della facoltà di
Giurisprudenza e le Residenze Studentesche CIG:
Z9338A3327

COMMITTENTE

Università Magna Grecia di Catanzaro

Data Novembre 2022

Il Tecnico
Dott. Geol Fabio Procopio



PREMESSA

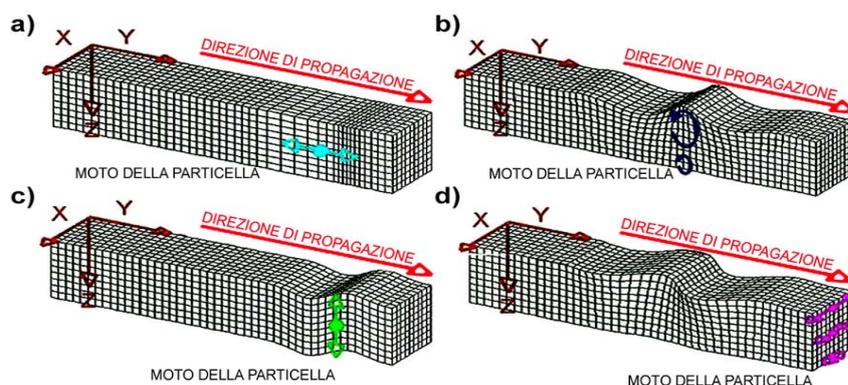
Per il progetto in oggetto è stata eseguita una campagna d'indagine geofisica, a mezzo sismica superficiale attiva di tipo Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW01) e sismica superficiale passiva (microtremori) con tecnica Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVS01). L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di un sismografo Seismic Unit Echo 24/2002 della Ambrogeo srl ed un tromografo GeoBox della SARA Electronics Instruments per le misure di microtremori.



Ubicazione indagini 38.870680°N, 16.574553°E -- Immagine Google Heart.

INDAGINE SISMICA SUPERFICIALE ATTIVA: PRINCIPI DEL METODO, TECNICHE DI PROSPEZIONE, STRUMENTAZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI, PARAMETRI ELASTODINAMICI RILEVABILI

Il principale obiettivo dei metodi sismici è quello di individuare le strutture geologiche presenti nel sottosuolo, di ricostruire l'andamento delle discontinuità legate a variazioni delle proprietà elastiche delle rocce, determinare le caratteristiche elasto-dinamiche dei litotipi. In particolare l'indagine sismica a rifrazione consiste nel determinare direttamente la velocità di propagazione, all'interno del mezzo in esame, delle onde di compressione (onde P), di taglio (onde S) e/o delle onde di superficie (onde di Rayleigh, Love) ed indirettamente, utilizzando i valori delle velocità acquisite (V_p , V_s , V_r e V_l), le proprietà elasto-dinamiche (moduli dinamici) delle litologie investigate. La sismica di superficie si fonda sul fenomeno fisico secondo cui una perturbazione, prodotta artificialmente mediante cariche esplosive, vibratori o masse battenti, si propaga in un mezzo in modo tale che esista, in ogni suo punto, una dipendenza reciproca tra la posizione e il tempo. La perturbazione potrà identificarsi come lo spostamento, all'interno del mezzo, di una superficie ipotetica (*fronte d'onda*) che abbia in tutti i punti, in un determinato istante, lo stesso valore di fase. Quando uno sforzo è improvvisamente applicato ad un corpo elastico (per es. viene colpito con una massa battente) e quando lo sforzo viene improvvisamente rilasciato, all'interno del corpo stesso si generano delle piccole deformazioni sotto forma di onde elastiche che si propagano in tutte le direzioni. Le onde elastiche in natura sono di due tipi: le *onde di volume* (onde P ed S, che si propagano all'interno del corpo interessato dalla perturbazione, e le *onde superficiali* (onde di Rayleigh e di Love), che si propagano solo lungo la superficie.



Rappresentazione grafica delle direzioni di oscillazione delle particelle che costituiscono il mezzo nel caso della propagazione di a) *Onde longitudinali P* (direzione di oscillazione coincidente con quella di propagazione dell'onda); c) *Onde di taglio S* (direzione di oscillazione perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda); b) *Onde di Raleigh R* (moto ellissoidale retrogrado delle particelle nel piano verticale dell'onda); d) *Onde di Love L* (moto nel piano orizzontale ortogonale alla direzione di propagazione dell'onda).

Le **onde P** (*di compressione o longitudinali*) si propagano mediante oscillazioni delle particelle che costituiscono il mezzo attraversato nella stessa direzione della propagazione dell'onda. Di conseguenza, il mezzo sarà soggetto principalmente a sforzi di compressione e dilatazione e la velocità dell'onda sarà anche funzione del modulo di incompressibilità (k), che esprime la resistenza del mezzo a questo tipo di sforzo, oltre che del modulo di rigidità (μ) e della densità (ρ).

Le **onde S** (*trasversali o di taglio*) si propagano mediante oscillazioni delle particelle del mezzo perpendicolarmente alla direzione di propagazione dell'onda. Di conseguenza, il mezzo sarà soggetto a sforzi di taglio e la velocità delle onde sarà funzione della resistenza del mezzo a questo tipo di sforzo, che è espressa dal modulo di rigidità (μ) detto anche modulo di Taglio (G).

Le onde sismiche non sono caratterizzate da un trasporto di materia, ma da un trasferimento di energia. Tenendo presente che lo sforzo impulsivo può ripartirsi in componenti normali e tangenziali, si deduce che le onde longitudinali possono anche essere chiamate onde di compressione in quanto generate dalla reazione elastica che si oppone a variazioni di volume e/o di lunghezza del corpo e di cui sono responsabili le componenti normali dello sforzo. Le onde trasversali sono anche dette onde di taglio in quanto generate da reazione elastica che si oppone a variazioni di forma del corpo e di cui sono responsabili le componenti tangenziali dello sforzo. Logicamente, onde di compressione e di taglio si generano contemporaneamente in seguito ad uno sforzo impulsivo, ma sono caratterizzate da differenti velocità di propagazione. Attraverso lo studio dei tempi di propagazione delle onde di compressione e di taglio, attraverso le leggi fondamentali dell'ottica, si possono calcolare le velocità di propagazione delle onde sismiche, che, a loro volta, rappresentano la base per la determinazione della natura, disposizione geometrica (profondità ed inclinazione degli strati, detti anche *sismo-strati* o *rifrattori*), caratteristiche elasto-dinamiche dei litotipi presenti nell'area di indagine. Se il mezzo ha una superficie libera e viene sollecitato acusticamente, oltre alle onde di volume (longitudinali e di taglio) si creano anche delle onde superficiali tra cui le onde di Rayleigh e di Love.

Nelle **onde R di Raleigh** le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado alla direzione di propagazione delle onde che vengono così generate. La velocità delle onde di Rayleigh, come si sa, è inferiore a quella delle onde di volume ed in particolare $V_r = 0,9 V_s$.

Nelle **onde L di Love** sono generate quando le onde S incontrano la superficie libera del terreno, il movimento delle particelle elementari è perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione e decresce con la distanza dalla superficie libera. Le onde di Love sono le onde superficiali più veloci.

Tenuto conto che per sottosuoli naturali, a causa della rapidità delle azioni e del fatto che essi si trovano per gran parte sotto falda e quindi in condizioni di drenaggio impedito, il fenomeno sismico produce deformazioni volumetriche trascurabili, rispetto a quelle distorsionali. Per questo appare giustificato ricondurre la modellazione meccanica di un fenomeno sismico all'analisi degli effetti prodotti da un insieme di onde S, che si propagano dal substrato alla superficie, con un campo di spostamenti del terreno praticamente orizzontale. L'assunzione è oltretutto validata dal fatto che, da un punto di vista ingegneristico, il moto più significativo ai fini della verifica sismica dei manufatti è quello orizzontale. In tal senso, a livelli di deformazione bassi, è assunta l'ipotesi che il terreno in esame presenti un comportamento tensione-deformazione di tipo elastico lineare (deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$)

La strumentazione per le indagini superficiali attive è il sismografo DoReMi della Sara Electronics Instruments, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione). L'elevata dinamica unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo sia per tecniche di tipo a rifrazione (Sr), sia per tecniche di indagine di tipo non convenzionale: Re.Mi. (Refraction Microtremor) - M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) - S.A.S.W. (Spectral Analysis of Surface Waves). Tali indagini risultano particolarmente adatte in aree fortemente antropizzate (aree urbane e industriali) con notevole presenza di rumore di fondo (noise).

La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dal fatto che utilizza per l'acquisizione ed il salvataggio dei record un computer portatile in modo da sfruttare tutte le potenzialità del computer. L'ambiente operativo è quello di Microsoft Windows. Lo strumento è in grado di effettuare misure a rifrazione (onde P ed S), con l'utilizzo di 12 o 24 geofoni collegati a cavi con attacchi equidistanziati di 5 metri, o misure MASW e ReMi con 24 geofoni, verticali o orizzontali, con frequenza di 4,5 Hz. La sorgente sismica è costituita da una massa battente, mazza dal peso di 8kg che funge contemporaneamente da starter poichè collegato a mezzo di trigger al sismografo, che batte su una piastra metallica o da un fucile sismico.

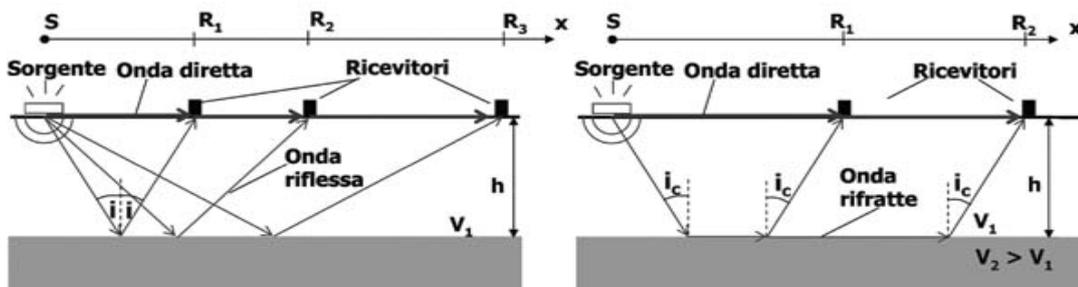
Caratteristiche tecniche

| No. of Bits | 24 (144dB dynamic range) |
|--------------------------------|---|
| A/D Converter Type: | SIGMA DELTA |
| Converter Input Span: | 5 V |
| S/N Ratio @ 500 SPS | 140 dB |
| S/N Ratio @ 5000 SPS | 130 dB |
| S/N Ratio @ 20000 SPS | 105 dB |
| Input Type: | Unipolar Differential |
| Input Impedance: | 20 kΩ |
| Common Mode Rejection: | > 80 dB |
| Low Pass Filter: | DC-400 Hz |
| Filtri (IIR o 0 Phase): | Low pass, High pass, notch and customizable |
| Max Sampling Lag Between Ch.: | <30 ppm |
| Max Error Between Trigger Ch.: | < 0.2 us |
| Ch. Memory: | 128000 bytes |
| Maximum Samples: | 40000 |
| Sampling Rates: | 200 Hz to 20000 Hz |
| Maximum Connectable Channels: | 255 |
| Power Consumption: | ≈ 0.3 W per Ch. |
| Instrument Chain Max Length: | 1000 m |
| Recommended Geophones: | 4.5 Hz High Gain 80 V/m/s |
| Diagnosis: | Memory Status (OK / Vdc) |
| Baud Rate: | 115200/230400, N, 8,1 |
| BUS Communication: | USB |
| File format: | .drm, SEG-2, SEY-Y, .saf, .csv |



INDAGINE SISMICA SUPERFICIALE ATTIVA A RIFRAZIONE IN ONDE P ED S

Le prospezioni sismiche a rifrazione, le più diffuse tra le indagini geofisiche, consistono, dunque, nel **determinare i tempi di arrivo, mediante un sismografo, delle onde elastiche longitudinali e/o trasversali rifratte**, generate da una sorgente di energia. L'energia prodotta dalla sorgente artificiale si propaga nel sottosuolo sottoforma di onde sferiche che, nel loro cammino, subiranno riflessioni (*onde riflesse*) o rifrazioni (*onde rifratte*) in funzione delle caratteristiche elastiche e delle discontinuità presenti nelle rocce attraversate.



Geometria dei percorsi delle onde sismiche riflesse e rifratte nel sottosuolo

Una volta raggiunta la superficie, le onde vengono rilevate da una serie di geofoni posti lungo una linea retta sul terreno, detta "*stendimento sismico*", a distanza crescente dalla sorgente di energia. I geofoni, trasformati gli

impulsi d'urto di ritorno in energia elettrica, inviano i segnali elettrici al sismografo registratore che, a sua volta, li restituisce sotto forma numerica e grafica (*sismogramma*). Il sismogramma è composto da un insieme di linee o tracce che riproducono graficamente il progressivo arrivo in superficie delle onde sismiche riflesse o rifratte. Il numero di tracce corrisponde al numero di geofoni utilizzati per la prova. Lo studio delle tracce del sismogramma consente il calcolo dell'intervallo di tempo tra un'energizzazione e l'arrivo delle onde sismiche ai geofoni. I tempi di arrivo Δt (sec) delle onde sismiche registrate ai geofoni posti a distanze Δx (m) dalla sorgente costituiranno le coppie di valori base da utilizzare per l'elaborazione del modello interpretativo del sottosuolo. Ogni coppia di valori Δt e Δx individuerà un punto sul diagramma spazio-temporale. Interpolando tutti questi punti si otterrà una polilinea o "dromocrona", caratterizzata da segmenti di retta corrispondenti a percorsi effettuati con uguale velocità delle onde sismiche; in pratica ciascun segmento rettilineo rappresenta uno spessore di terreno caratterizzato da un valore medio della velocità delle onde P o delle onde S, il cui valore assoluto è espresso dal reciproco della pendenza della relativa dromocrona. Dallo studio della dromocrona diretta e reciproca, ottenuta invertendo la posizione del punto di energizzazione dello stendimento, e calcolando sperimentalmente le velocità di ciascun segmento della dromocrona, si potrà ricostruire la profondità, lo spessore, la pendenza e la litologia degli orizzonti sismici presenti nel sottosuolo. In tabella sono riportati i valori di velocità per le onde longitudinali di alcuni materiali. Si nota che il campo di variazione per uno stesso litotipo è ampio, in quanto la velocità dipende dai parametri elastici intrinseci che possono essere influenzati da numerosi fattori quali: la compattezza o il grado di litificazione, la porosità, la tessitura il contenuto di fluidi, ecc.

| Tipo di roccia | Vp (Km/sec) | Tipo di roccia | Vs (Km/sec) |
|-----------------------------------|-------------|---|-------------|
| <i>Sedimenti non consolidati</i> | | <i>Rocce molto dure</i> | |
| Argilla | 1,0 – 2,5 | Rocce metamorfiche poco o per niente fratturate | 1,40 – 3,20 |
| Sabbia asciutta | 0,2 – 1,0 | | |
| Sabbia satura | 1,5 – 2,0 | | |
| <i>Rocce sedimentarie</i> | | <i>Rocce dure</i> | |
| Calcere tipo chalk | 2,1 – 4,5 | Rocce sedimentarie ignee, tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia | 0,70 – 1,40 |
| Dolomia | 4,0 – 7,0 | | |
| Calcere | 3,9 – 6,2 | | |
| Argilla | 2,0 – 5,5 | <i>Suoli ghiaiosi e rocce da tenere a dure</i> | 0,37 – 0,70 |
| Arenaria | 2,0 – 5,0 | | |
| <i>Rocce ignee e metamorfiche</i> | | <i>Argille compatte e suoli sabbiosi</i> | |
| Basalto | 5,3 – 6,5 | Sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose | 0,20 – 0,37 |
| Granito | 4,7 – 6,0 | | |
| Gabbro | 6,5 – 7,0 | <i>Terreni teneri</i> | 0,10 – 0,20 |
| Ardesia | 3,5 – 4,4 | terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere | |
| Rocce ultrabasiche | 7,5 – 8,5 | | |
| <i>Altri materiali</i> | | | |
| Aria | 0,3 | Ghiaccio | 3,4 |
| Acqua | 1,4 – 1,5 | | |

Velocità sismiche P ed S nelle rocce (Esplorazione del sottosuolo – Zanichelli 2003 e Borcherdt, 1994)

Da un'attenta interpretazione delle dromocrone che si ottengono nei grafici in cui sono riportati, per i diversi geofoni, i tempi di arrivo delle onde sismiche e le rispettive distanze dal punto di energizzazione, è possibile ricostruire l'andamento in profondità dei differenti orizzonti rifrattori. Tale ricostruzione è stata realizzata utilizzando il metodo di elaborazione GRM (Metodo Reciproco Generalizzato; Palmer, 1980) che, rispetto ai comuni metodi di interpretazione consente di ricavare la profondità dal p.c. dei vari rifrattori al di sotto di ogni singolo geofono, fornendo così con estremo dettaglio l'andamento geometrico dei vari orizzonti rifrattori indagati, anche alla presenza di situazioni geologiche complesse ed articolate.

Nella sismica a rifrazione le oscillazioni del suolo sono rilevate da 12 o 24 geofoni (Verticali a 4.5 o 10 Hz ed orizzontali a 4.5 o 14 Hz) posizionati lungo un profilo sismico di lunghezza massima di 115 m con offset massimo di 5m che consentono sufficientemente l'identificazione dei sismostrati fino a profondità di 20-30 metri dal p.c. Lungo lo stendimento vengono eseguite energizzazioni variabili da cinque a 11 (stendimento con 12 o 24 geofoni) con battute variabili da quattro esterne ed una centrale a quattro esterne, due interne ed una centrale (energizzazioni dirette, centrale e inverse). Al fine di ridurre il noise e migliorare i segnali acquisiti viene usata la funzione iterazione per somma e vengono eseguiti amplificazioni dei guadagni (gain) in ingresso dei geofoni posti in posizione più lontana dalle energizzazioni. I segnali sismici acquisiti sono successivamente elaborati analiticamente con calcolo automatico utilizzando il software EasyMasw della Geostru che permette di determinare la stratigrafia del sottosuolo. Infatti il modello sismico a rifrazione permette la costruzione di dromocrone (tempi verso distanze) dalle quali è possibile calcolare velocità e profondità di interfacce profonde. I tempi rifratti si riferiscono ad onde sismiche che incidono con "angolo critico" le superfici di separazione di due mezzi a velocità differenti (ad esempio V2 e V1 con V2>V1). Queste onde possono propagarsi lungo tale

interfaccia e tornare in superficie fornendo informazioni sugli spessori, variazioni degli stessi, sulle velocità dei due mezzi e sulla pendenza dell'interfaccia.

INDAGINE SISMICA SUPERFICIALE ATTIVA CON ANALISI MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW)

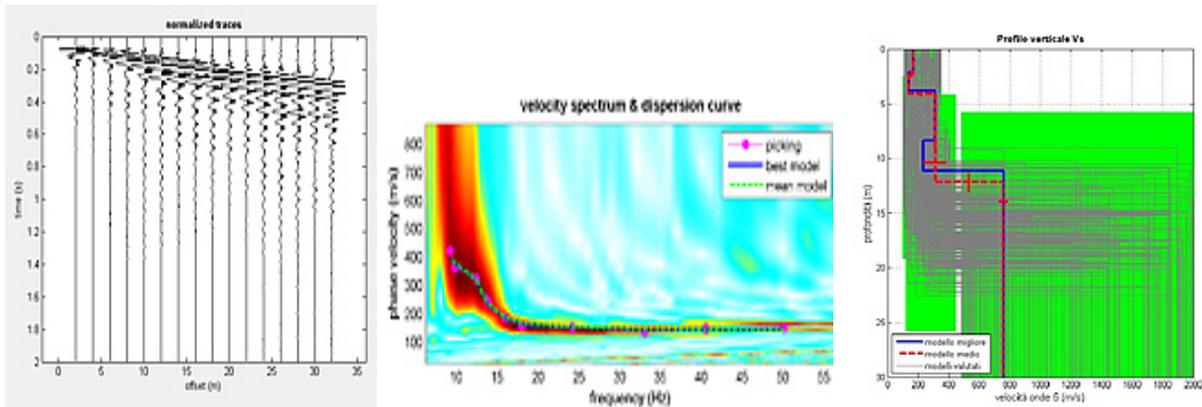
Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde di taglio S in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh. Il metodo di indagine MASW si distingue in "attivo" e "passivo" (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006). Nel "metodo attivo" le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica). Nel "metodo passivo" lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche "microtremore") prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali). In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione, cioè sono onde la cui velocità dipende dalla frequenza. Le due tecniche indagano bande spettrali differenti: mentre il metodo attivo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo), il metodo passivo consente di determinare una curva di dispersione nella banda di frequenza tra 5 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi (generalmente al di sotto dei 30 m). La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo nella banda di frequenza comprese tra 5 e 40 Hz e permette una dettagliata ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 35-40 m di profondità (sempre in funzione della rigidità degli strati).

Nella prova MASW l'analisi delle onde superficiali è eseguita utilizzando la strumentazione classica della prospezione sismica superficiale multicanale. La geometria di acquisizione consiste nel disporre sul terreno uno stendimento di almeno 12 (consigliati 24) geofoni verticali da 4,5 Hz con spaziatura di 1-5 metri (data la necessità di analizzare, con elevato dettaglio, le basse frequenze tipicamente anche al di sotto dei 20 Hz). L'energizzazione viene eseguita con massa battente di 8 Kg ad una distanza (offset) di 2-15 m dal primo geofono (Optimum Field Parameters of an MASW Survey", Park et al., 2005; Dal Moro, 2008). La registrazione simultanea di 12 o più canali fornisce una ridondanza statistica delle misure di velocità di fase e ne avvalorata la veridicità. Il salvataggio delle tracce nel dominio temporale, previsto dal metodo, permette inoltre di distinguere e evidenziare, durante l'analisi, le onde di Rayleigh o di Love presenti nel record che, normalmente, sono caratterizzate da un'elevata ampiezza di segnale (circa il 60% dell'energia prodotta dalla sorgente artificiale si distribuisce in onde di superficie). Una particolare analisi spettrale, permette di distinguere il modo fondamentale delle onde di superficie da cui ricavare la curva di dispersione ed il profilo delle V_s per successiva inversione 1-D. La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente posa sui massimi del valore assoluto dello spettro. La curva di dispersione in realtà può non essere così facile da estrarre, questo perché dipende molto dalla pulizia dei dati e da quanto disturbano gli altri segnali presenti nel sismogramma. Ecco perché questa fase in realtà è la vera e propria interpretazione, e per questo i migliori software di analisi di dati MASW-SASW, ESAC e REMI consentono di modificare anche manualmente la curva di dispersione per soddisfare le esigenze dell'utente più esperto. A questo punto la curva di dispersione sperimentale deve essere confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente alterato in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenere un modello sintetico a cui è associata una curva di dispersione sperimentale approssimativamente coincidente con la curva sperimentale. Questa delicata seconda fase di interpretazione è comunemente detta fase di inversione. Entrambe le due fasi di interpretazione, per quanto debbano seguire le linee guida dettate dalla teoria, devono rigorosamente essere controllate accuratamente dall'utente poiché non è possibile affidarsi completamente ad un sistema automatico che lavora alla ricerca della soluzione matematicamente migliore, infatti quasi mai questa coincide con la soluzione realmente migliore. Nel decidere la posizione e spaziatura dell'array sismico è da tenere presente che la teoria da cui nasce la metodologia dell'analisi multicanale impone che il sito investigato non abbia variazione stratigrafica lungo l'array, infatti, durante la fase di inversione, il modello del terreno è considerato a strati piani e paralleli (di estensione infinita).

Per quanto riguarda le caratteristiche del segnale da acquisire essendo la parte interessante del segnale acquisito contenuta sotto i 100Hz, è sconsigliato (Teorema di Nyquist) abbassare la frequenza di campionamento sotto i 200Hz., ovvero è bene usare sempre un intervallo di campionamento non superiore a 5ms. La durata (lunghezza temporale) del segnale registrato deve essere sufficiente per consentire all'impulso emesso dalla sorgente, di propagarsi da un estremo all'altro dell'array, ed inoltre per consentire la naturale attenuazione del

segnale su tutti i ricevitori. Di norma basta una lunghezza temporale di 1-3 secondi ma si consiglia di eseguire uno scoppio ed osservare se l'intera traccia è contenuta nel sismogramma registrato e quindi scegliere di conseguenza il tempo di registrazione sufficiente per lo scopo. Per quanto riguarda il guadagno da attribuire ai diversi geofoni se non bisogna fare studi sull'attenuazione del segnale sismico non ci sono problemi, altrettanto dicasi della sommatoria di più scoppi per aumentare il rapporto segnale/rumore di fondo.

I dati sperimentali, acquisiti in formato DRM, vengono successivamente esportati, dal software di acquisizione, in un formato compatibile (KGS format file tipo sg2, sgy) per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (WinMASW Academy della Eliosoft o EasiMasw della Geostru).



Interpretazione indagine MASW: Fase 1 acquisizione dei dati; Fase 2 calcolo della curva di dispersione dallo spettro di velocità; Fase 3: restituzione del modello sismo – stratigrafico del sottosuolo.

L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "phase velocity-frequency (c-f)" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. Sullo spettro bidimensionale ottenuto dalle registrazioni è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie (Rayleigh), in quanto presentano un carattere marcatamente dispersivo a differenza di altri tipi di onde (riflesse, rifratte, multiple). Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze. Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo. Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali. L'analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità. Dall'inversione della curva di dispersione, si ottiene il modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità rappresentativo dell'area investigata

PARAMETRI ELASTO-DINAMICI RICAVABILI

Le onde di volume P ed S, che attraversano un mezzo omogeneo e isotropo (condizioni ideali) hanno ben definite equazioni di moto. Note le velocità V_p e V_s che vengono ottenute tramite misure dirette e nota la densità ρ , possono essere ricavate alcune proprietà meccaniche, quali il *Modulo di Young dinamico* o *Modulo elastico* E_d , il *Modulo di rigidezza al taglio* G_0 , il *Coefficiente di Poisson* ν , e il *Modulo di bulk* o di *rigidità volumetrica* K . Le relative equazioni sono le seguenti:

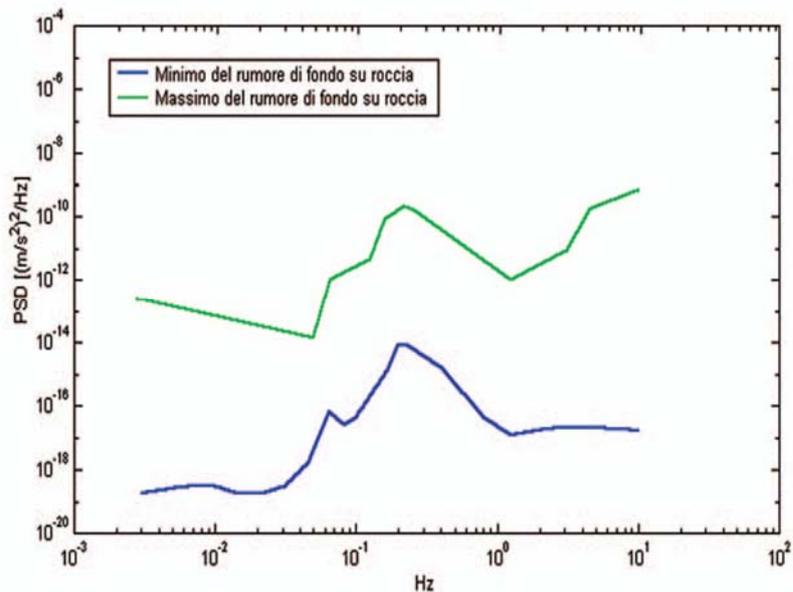
$$\nu = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \left\{ 1 - \left[\frac{V_s^2}{(V_p^2 - V_s^2)} \right] \right\}; \quad E_d = \frac{\rho V_p^2 (1 - 2\nu)(1 + \nu)}{1 - \nu}; \quad G_0 = \frac{E_d}{2(1 + \nu)}; \quad \rho = \frac{G_0}{V_s^2}; \quad K = \frac{E_d}{3(1 - 2\nu)}$$

Poiché nei fluidi $V_s=0$, ν risulta uguale a 0.5. Nei solidi, il valore ν varia generalmente da 0.25 a circa 0.35. Pertanto, valori più elevati di ν possono essere indicativi della presenza di frazioni di liquido nel mezzo attraversato.

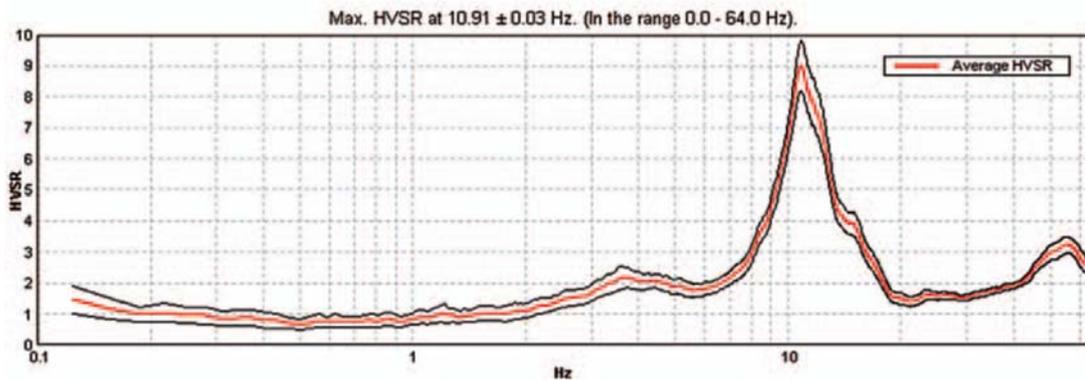
INDAGINE SISMICA SUPERFICIALE PASSIVA (MICROTREMORI): PRINCIPI DEL METODO, TECNICHE DI PROSPERAZIONE, STRUMENTAZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI, PARAMETRI ELASTODINAMICI RILEVABILI

Il principale obiettivo del metodo sismico di misura dei microtremori è, principalmente, quello di individuare le frequenze di risonanza del sito. In linea di principio, visto che il suolo è assimilabile ad un corpo viscoelastico, è possibile misurarne le frequenze proprie di oscillazione in ogni punto. Queste frequenze vengono determinate dalle proprietà meccaniche e dalla morfologia attorno al punto di misura. Nella prassi ingegneristica la misura delle frequenze di risonanza avviene applicando ad un corpo una sollecitazione nota, solitamente un impulso singolo oppure una sollecitazione sinusoidale, e misurando poi la risposta del corpo in termini di spostamenti o accelerazioni. La risposta del suolo può essere studiata in questa maniera utilizzando come funzione di eccitazione le onde di un terremoto o di una sorgente artificiale. Esiste un'alternativa, allo stesso tempo efficace, assolutamente non invasiva e gratuita: l'utilizzo del rumore sismico di fondo come funzione di eccitazione. Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro. Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in Figura 5, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo 'minimo di riferimento mentre la curva verde rappresenta il 'massimo' di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono prodotti delle onde oceaniche sulle coste.

Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda (fenomeno per cui un campo di onde tende a rimanere confinato entro un canale es. un tubo o una fibra in ottica a causa delle riflessioni delle onde con l'interfaccia di confinamento. In sismica il fenomeno si verifica nei mezzi stratificati ed è l'origine delle onde di Rayleigh e di Love). A questo rumore di fondo, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S (vedi ad es. Lachet e Bard, 1994), il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime. Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V*), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo (11 Hz nell'esempio di Figura 6, Field e Jacob, 1993; Lachet e Bard, 1994; Lermo e Chavez-Garcia, 1993, 1994; Bard, 1998; Ibs-von Seht e Wohlenberg, 1999; Fah et al., 2001; solo per citarne alcune). Inizialmente, alcuni ricercatori, trasportati dall'entusiasmo, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco ($H/V = 9$ nell'esempio di Figura 6) come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione. Purtroppo, esiste abbondante letteratura comprovante il fatto che l'ampiezza del picco H/V , pur essendo legata all'entità del contrasto di impedenza tra strati, non è correlabile all'amplificazione sismica in modo semplice (cfr. Mucciarelli e Gallipoli, 2001; SESAME, 2005 e referenze ivi contenute).



Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra (secondo USGS). Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

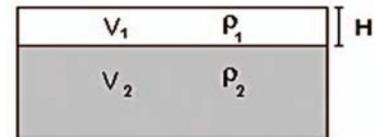


Curva H/V relativa ad un sito con substrato roccioso compatto (calcare) a 5 m di profondità. Il picco a 11 Hz indica la frequenza di risonanza dei depositi sedimentari sovrastanti il bedrock. E' riconoscibile un secondo picco a 3.5 Hz che indica una discontinuità all'interno della roccia.

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente facili da comprendere in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D). Consideriamo il sistema di Figura 7 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2).

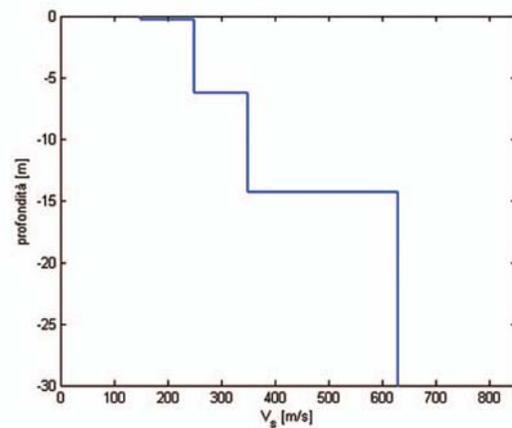
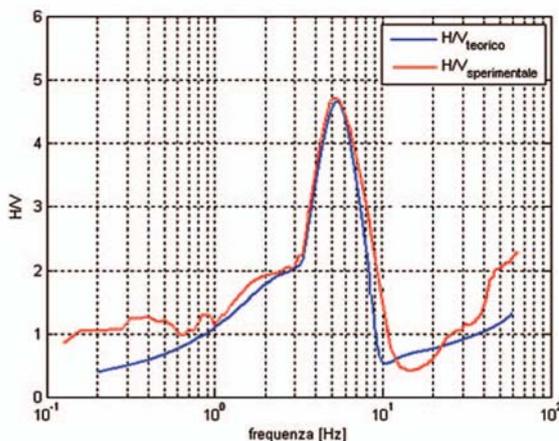
Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (l) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S è pari a

$$f_r = \frac{V_{s1}}{4H} \quad [1]$$



Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità ρ e velocità di propagazione delle onde sismiche V .

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1]. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto. La situazione, nel caso di un suolo reale, è spesso più complessa. Innanzitutto il modello di strato piano al disopra del bedrock si applica molto raramente. Poi, la velocità aumenta con la profondità, possono esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere piana. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini (per le basi teoriche si veda ad es. Aki, 1964; Ben-Menahem e Singh, 1981; Arai e Tokimatsu, 2004), figura 8.



Confronto tra curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (azzurro) ottenuta per il modello di sottosuolo in figura.

L'applicabilità pratica della semplice formula [1] per il calcolo delle frequenze fondamentali di risonanza dei suoli è stata dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico

(per un riassunto cfr. Gallipoli et al., 2000; Castellano et al., 2005). Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (es. Pratt - Vale la pena sottolineare che nel caso degli edifici l'H/V coincide con la risposta delle componenti orizzontali, in quanto si assume, per lo meno negli edifici moderni, che la risposta spettrale alle sollecitazioni verticali sia pressoché piatta).

$$freq. naturale edificio \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani.} \quad [2]$$

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura ad essere particolarmente pericolosa, perché dà luogo alla massima amplificazione.

$$freq. naturale edificio \approx freq. naturale coperture \quad [3]$$

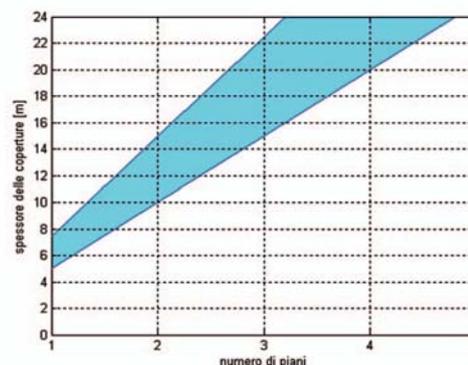
La combinazione della [1], [2] e della [3] porta alla

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx V_s / (4H), \quad [4]$$

da cui si può ricavare una relazione di prima approssimazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso che possono determinare situazioni pericolose e devono quindi essere oggetto di studi approfonditi. Se consideriamo, ad esempio, una fascia di velocità delle onde di taglio tipica dei terreni alluvionali medio-fini (200-300 m/s), possiamo riscrivere la [4] come:

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx 200-300 \text{ m/s} / (4H). \quad [5]$$

ottenendo la relazione illustrata in figura.



La fascia azzurra del grafico illustra la relazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso per cui, per una zona con V_s caratteristiche delle coperture di 200-300 m/s, sarebbero possibili fenomeni di doppia risonanza.

STRUMENTAZIONE PER INDAGINE SISMICA SUPERFICIALE PASSIVA (HVSR)

L'indagine superficiale passiva viene eseguita mediante l'utilizzo di un tromografo "GeoBox" della Sara Electronics Instruments s.r.l., strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire misure di microtremori

Caratteristiche tecniche

| | |
|---------------------------------|--|
| Alimentazione: | batteria interna ricaricabile, consumo minore di 1W |
| Numero canali ed a/d converter: | 3 ($\Sigma\Delta$) dinamica di 144dB (24 bit effettivi fra 0.1 e 10Hz, ENOB) |
| Sensibilità: | con velocimetri da 4.5Hz: < 1 nanometro/secondo per count |
| Campionamento: | simultaneo sui tre canali a 10,20,50,100,200,300,400,480,600Hz |
| Real Time Clock: | Sincronizzato da GPS via PPS modulato (su richiesta) |
| Precisione RTC: | +/-10ppm fra -20/+50°C (+/-40µs rispetto ad UTC) |
| Antenna GPS: | esterna con 10mt di cavo e connettore BNC |
| Interfaccia dati: | RS232 con cavo da 8 metri e adattatore USB in dotazione |
| Contenitore: | Monoblocco in alluminio IP66 |
| Dimensioni e peso: | 155x140x110 mm 3.1kg con sensori da 4.5Hz |
| Temperatura operativa: | -20/+50°C |
| Conformità: | CE |



| | |
|---------------|----------------------------|
| Alimentazione | 10-16 Vdc 180mA (max) @12V |
| Orologio | |

| | |
|----------------------------|---|
| Sincronizzazione | Tramite ricevitore GPS |
| Errore massimo del PPS | 10 microsecondi (60 microsecondi del calendario dell'A/D) |
| Oscillatore al quarzo | 11.0592Mhz +/-10ppm from -10/+60°C |
| Calibrazione di fabbrica | Eseguita 20-25°C di temperatura ambiente, maggiore di 1ppm |
| Convertitore A/D - SR04 MT | |
| Risoluzione | 24 bit |
| Freq. di campionamento | 10, 20, 25, 50, 100, 200 SPS |
| Campionamento | Simultaneo sui 3 canali pilotato dal microprocessore |
| Filtro anti-alias | 1 pole 8.8 Hz standards (personalizzabile) |
| Modi di ingresso segnale | Differenziale (standards); single ended (selezionabile con jumpers) |
| Range di ingresso | 2V peak-to-peak (+/-1V) standard; 1.25 peak-to-peak (+/-0.625V) pe rMT (microtremori) |
| Impedenza di ingresso | >300kOhm |
| Soglia di rumore | <= -124dB @ 100SPS |
| Sensori | 1 sensore 3D (velocimetro ad alta risoluzione) |

Lo strumento, tramite una porta seriale (RS232), registra direttamente in digitale su computer tramite l'interfaccia costituita dal software Seismolog-MT della suite Geoxplorer. L'ambiente operativo è quello di Microsoft WindowS. Il programma Seismolog-MT permette di avere il controllo in tempo reale della misura in corso. Infatti è possibile valutare la presenza di segnali di disturbo nei sondaggi di tipo HVSR esaminando il particle motion del segnale dei sensori orizzontali. La funzione FFT dotata di correzione strumentale permette di restituire uno spettro del segnale sia in accelerazione che velocità con una stima assoluta delle ampiezze di segnale alle varie frequenze. Una agevole gestione delle registrazioni manuali e automatiche consente di eseguire registrazioni singole e/o multiple con acquisizioni sincronizzate col tempo UTC (strumento equipaggiato con ricevitore GPS). L'output dei file di registrazione permette la scelta fra quattro formati e cioè: PSN TEXT Formato ASCII standard supportato da WinQuake; GSE2 CM6 Direttamente compatibile con il formato GSE2.0 con compressione dati CM6; SAF SESAME Formato ASCII compatibile con Geopsy; RAW ASCII Formato ASCII semplice, con un breve header e l'elenco dei campioni.

INDAGINE SISMICA SUPERFICIALE PASSIVA CON ANALISI HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSR)

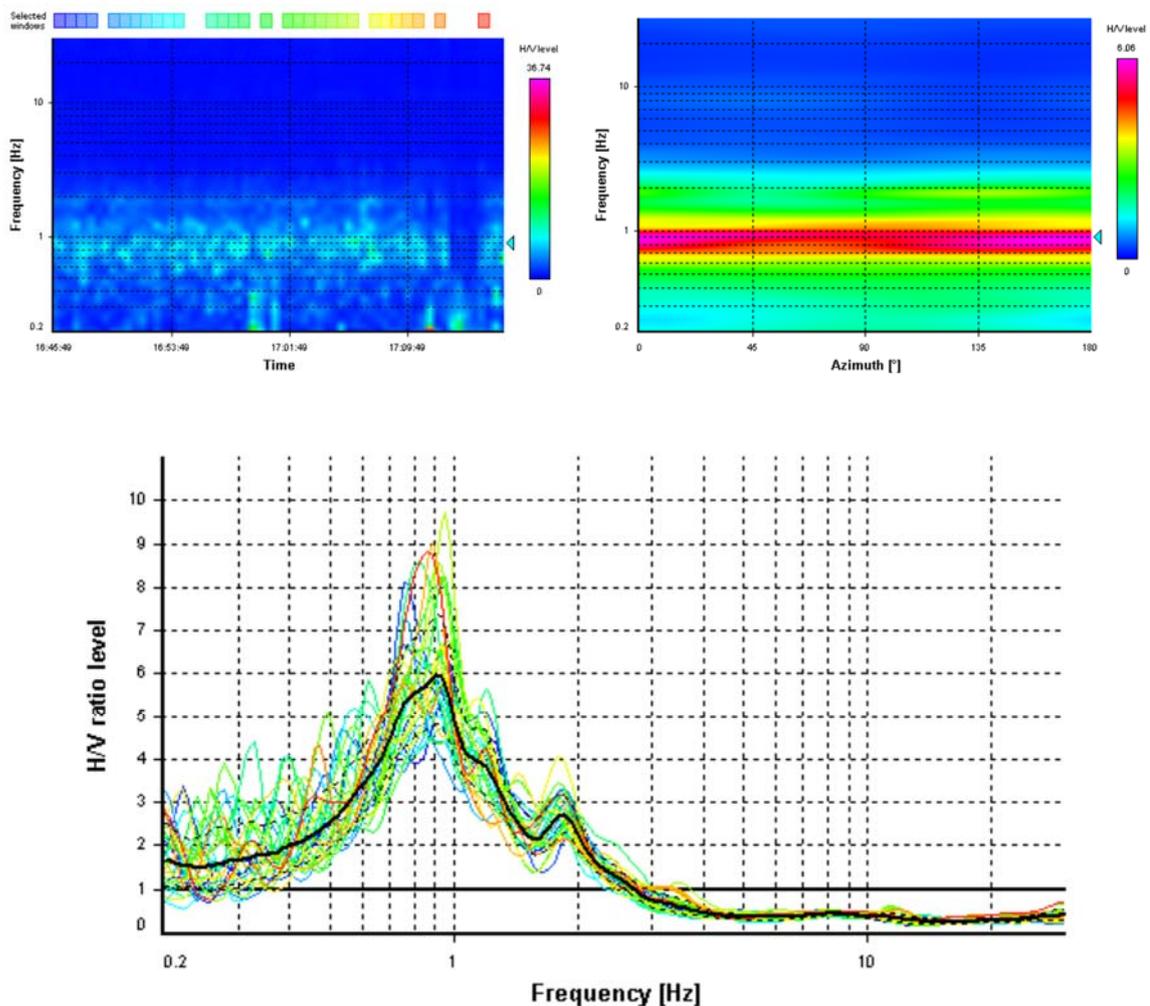
La tecnica HVSR, come già detto, permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo Vs30 attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi operative di seguito illustrate. Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo

| Verifica SESAME | Esito |
|--|-------|
| Affidabilità curva H/V | |
| $f_0 > 10/l_w$ | OK |
| $n_c(f_0) > 200$ | OK |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | OK |
| Affidabilità picco | |
| $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ | OK |
| $\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ | OK |
| $A_0 > 2$ | OK |
| $f_{picco} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | OK |
| $\sigma_f < \varepsilon(f)$ | OK |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | OK |

le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti. Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce. Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione. Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee (es. Konno & Ohmachi, triangolare proporzionale, ecc.) Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce

orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea. Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing. Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo VSeq. L'affidabilità della curva H/V e del picco è soddisfacente se vengono soddisfatti i criteri SESAME. Le operazioni di interpretazione ed inversione suddette sono eseguite attraverso l'utilizzo di specifici programmi di elaborazione (GeoExplorerHVSR della Sara Electronics Instruments, WinMASW Academy della Eliosoft o EasyHVRS della Geostru).



Mappa della stazionarietà e della direzionalità degli spettri; Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia.

PARAMETRI ELASTO-DINAMICI RICAVABILI

Il primo parametro ricavabile è la frequenza di picco del sito, inoltre se da misure dirette è nota la profondità H del bedrock o bedrock-like, è immediato calcolare il V_{s30} attraverso misure di fr. Se $H > 30$ m, il valore V_{s30} viene calcolato direttamente dalla [1]. Se invece $H \leq 30$ m, allora

$$V_{s30} = \frac{30}{t_H + t_{30-H}} = \frac{30}{\frac{1}{4f_r} + \frac{(30-H)}{V_B}}$$

dove V_B è la velocità delle onde S nel bedrock o bedrock-like. Per il bedrock, volendo seguire in maniera letterale la normativa italiana, si può semplicemente usare $V_B = 800$ m/s. In alternativa si possono usare i valori di Tabella 1. Nel caso di bedrock-like si useranno invece sempre i valori di Tabella 1, che riprende essenzialmente i valori tabulati da Borchardt (1992; 1994) assieme a quelli ottenuti sperimentalmente in diversi ambienti sedimentari da altri autori (Budny, 1984; Ibs von Seht e Wohlenberg, 1999; Delgado et al., 2000 a, b; Parolai et al., 2002; Scherbaum et al., 2003; D'Amico et al., 2004, 2006; Hinzen et al., 2004). Le stime di V_{s30} ottenibili con quest'ultima procedura sono, ovviamente, approssimate. Ciononostante, è estremamente difficile che il loro utilizzo comporti un reale degrado dell'affidabilità delle stime fatte secondo la normativa vigente.

| Velocità caratteristiche delle onde S nei vari tipi di suolo [Borchardt, 1994] | | | |
|---|-----------------|-------------------|-----------------|
| TIPO DI SUOLO | VS min [m/s] | VS media [m/s] | VS max [m/s] |
| ROCCE MOLTO DURE - (es. rocce metamorfiche molto poco fratturate) | 1400 | 1620 | - |
| ROCCE DURE - (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturati) | 700 | 1050 | 1400 |
| SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE - (es. rocce sedimentarie ignee, tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia) | 375 | 540 | 700 |
| ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI - (es. sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose) | 200 | 290 | 375 |
| TERRENI TENERI - (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere). | 100 | 150 | 200 |

VSEQ E CATEGORIA STRATIGRAFICA DEL SUOLO SECONDO L'O.P.C.M. 3274 ED IL D.M. 17/01/2018 NTC

Il D.M. del 17/01/2018 "Norme tecniche per le costruzioni" la classificazione dei sottosuoli si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio VSeq (in m/sec). La stima della velocità delle onde di taglio Vs dei vari sismostati può essere eseguita con la tecnica MASW che fornisce la stratigrafia e le velocità delle onde di taglio, o con indagini sismiche a rifrazione, dove è possibile misurare direttamente le onde di taglio S mediante geofoni orizzontali, o in alternativa misurando la velocità delle onde P e successivamente stimando la velocità delle onde S (Vs) mediante la formula che lega il modulo di Poisson (ν) alle velocità delle onde sismiche di compressione (Vp): $V_s = V_p \cdot \text{Rad}Q[(1-2\nu)/(2-2\nu)]$.

Una volta acquisiti gli spessori degli strati e le relative velocità delle onde S si calcola la velocità equivalente relativa ai terreni posti al di sopra del terreno costituente il bedrock sismico ($V_s \geq 800$ m/sec). La formula adoperata è la seguente:

$$V_{Seq} = \frac{H}{\sum_{i=1, N} h_i / V_{si}}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $<10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di n presenti sopra il bedrock sismico. H profondità del substrato, definito come quella formazione costituito da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da una Vs non inferiore a 800 m/sec. La classificazione del sito, per fondazioni superficiali, deve interessare i terreni compresi tra il piano di imposta delle fondazioni ed un substrato roccioso rigido di riferimento (bedrock), per fondazioni profonde dalla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni è riferita al piano d'imposta delle fondazioni. Per depositi con profondità H del substrato sismico superiore a 30 metri, la velocità equivalente delle onde di taglio VSeq è definita dal parametro VS30 ottenuto ponendo $H=30$ metri nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. La classificazione si effettua secondo la tabella seguente in base al valore della velocità equivalente delle onde di taglio VSeq.

| Classe | Descrizione |
|--------|--|
| 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 | Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 metri, 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 | Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti , con profondità del substrato superiori a 30 metri, 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 m.. |

Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato da normativa D.M. del 17/01/2018 "Norme tecniche per le costruzioni".

Dalla tabella si evince il moto sismico al bedrock non subisce variazioni sostanziali propagandosi in superficie per un suolo di tipo A cioè roccia affiorante o suolo omogeneo molto rigido. In presenza di suoli di tipo B, C, D ed E, il moto sismico in superficie in genere risulta modificato rispetto al moto sismico al bedrock, in funzione dell'intensità e del contenuto in frequenza dell'input sismico e delle caratteristiche geotecniche sismiche e dello spessore del suolo attraversato dalle onde sismiche per giungere in superficie. In assenza di una specifica analisi di amplificazione sismica locale per il suolo in esame, per valutare l'accelerazione sismica spettrale in presenza di suoli di tipo B, C, D ed E la normativa introduce un fattore di amplificazione S_s ed i parametri ag , F_0 , T_c^* , C_c , St che servono per calcolare i parametri che definiscono lo spettro di risposta di un oscillatore semplice con smorzamento pari al 5%. Nello specifico per le cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto nel paragrafo 3.2.3. delle NTC2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre analisi di risposta sismica locale per la definizione dell'azione sismica.

RIEPILOGO ELABORAZIONI INDAGINI

I profili sismici Masw sono stati eseguiti con le seguenti caratteristiche geometriche e di acquisizione:

MW01 -- (ZVF) --> Onde R; Lunghezza stendimento 57.5 mt; geofoni verticali (4,5 Hz) n. 24 con off-set di 2.50 mt; Shot n. 3 esterni a distanza di metri: -5.0, -7.5 e -10.0 dal primo geofono; Energizzazione verticale con mazza da 8 Kg su piastra metallica. Al fine di ridurre il *noise* e migliorare i segnali acquisiti è stata usata la funzione iterazione per somma e sono state eseguite amplificazioni dei guadagni (*gain*) in ingresso dei geofoni posti in posizione più lontana dalle energizzazioni. L'acquisizioni del segnale, di lunghezza temporale T=2.0 s è stata effettuata con un intervallo di campionamento dt=0.001 s. La frequenza di campionamento è data da: $f_{\text{campionamento}}=1/dt=1000$ Hz. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di *Nyquist*, è data da: $f_{\text{nyquist}}=1/2dt=500$ Hz. La frequenza minima dei segnali è data da: $f_{\text{min}}=1/T=0.5$ Hz.

Dato che le acquisizioni sono risultate tutte della stessa qualità si è elaborata la prova: *Cz_MW01UniCzGiurisprudenza2022_ZVF500cmA250cm.sgy*, energizzazione -5.0 metri dal primo geofono.

L'elaborazione dei dati è stata effettuata con il programma WinMASW della EliaSoft che ha permesso di eseguire l'intero processo di elaborazione della sezione sismostratigrafica 1D, della stima dei parametri elasto-dinamici, della VSeq e della categoria di suolo.

Le acquisizioni dei microtrekori sono stati eseguiti con le seguenti caratteristiche di acquisizione:

HVSR01 --> Numero tracce:3 (Verticale, Nord-Sud, Est-Ovest); Durata registrazione: 2280s; Frequenza di campionamento: 300,00 Hz; Numero campioni: 684000. L'elaborazione dei dati è stata effettuata con il programma EasyHVSR della GeoStru che ha permesso di eseguire l'intero processo di elaborazione dei segnali.

| RIEPILOGO PARAMETRI SISMICI MW 01 | | | | | | | |
|------------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---|---|
| Valore VSeq: 227 m/s | | | | | | | |
| Numero strato | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Velocità onde S: Vs (m/s) | 133+-9 | 189+-6 | 264+-17 | 312+-35 | 421+-59 | | |
| Spessore medio sismo strato: h (m) | 1.6 | 10.2 | 13.4 | 15.5 | Ind. | | |

| RIEPILOGO PARAMETRI HV 01 | | | | | |
|---------------------------------------|----------------|------------------|---|-------------------|-------------------------------|
| Frequenza del picco del rapporto H/V: | | 1.70 Hz ±0.19 Hz | | | |
| Valore VSeq: | | 228.66 m/s | | | |
| Strato | Profondità [m] | Spessore [m] | Peso per Unità di Vol. [kN/m ³] | Coeff. di Poisson | Velocità Onde di taglio [m/s] |
| 1 | 0 | 1.5 | 18.5 | 0.4 | 133 |
| 2 | 1.5 | 10 | 19.4 | 0.48 | 189 |
| 3 | 11.5 | 13.5 | 19.8 | 0.45 | 264 |
| 4 | 25 | 16 | 20 | 0.4 | 315 |
| 5 | 41 | 50 | 20.5 | 0.36 | 480 |
| 6 | 91 | 20 | 21 | 0.32 | 800 |

INDAGINE SISMICA MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MW01)

winMASW - Full Velocity Spectrum (FVS) Inversion

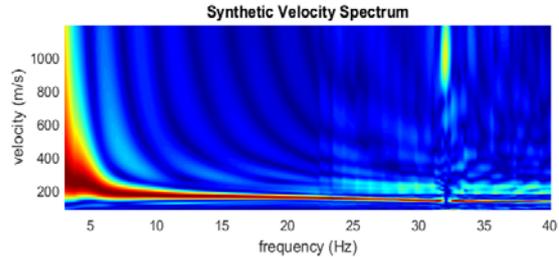
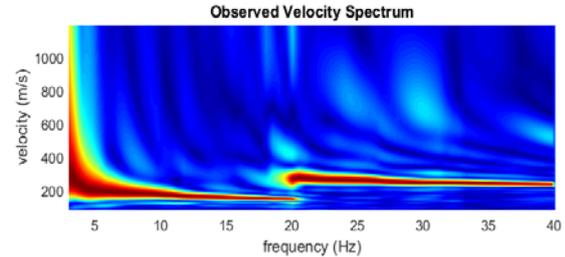
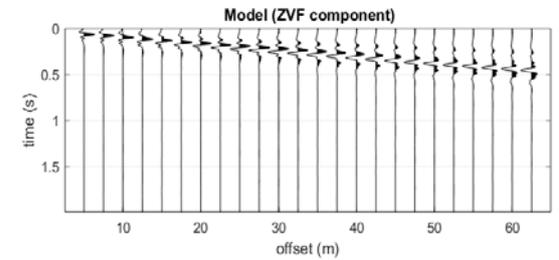
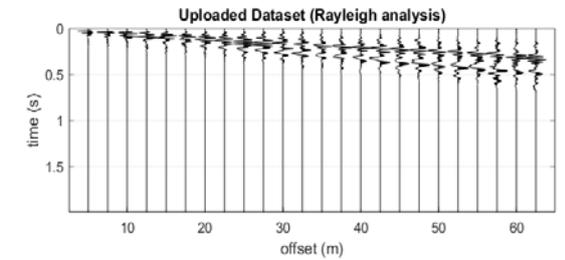
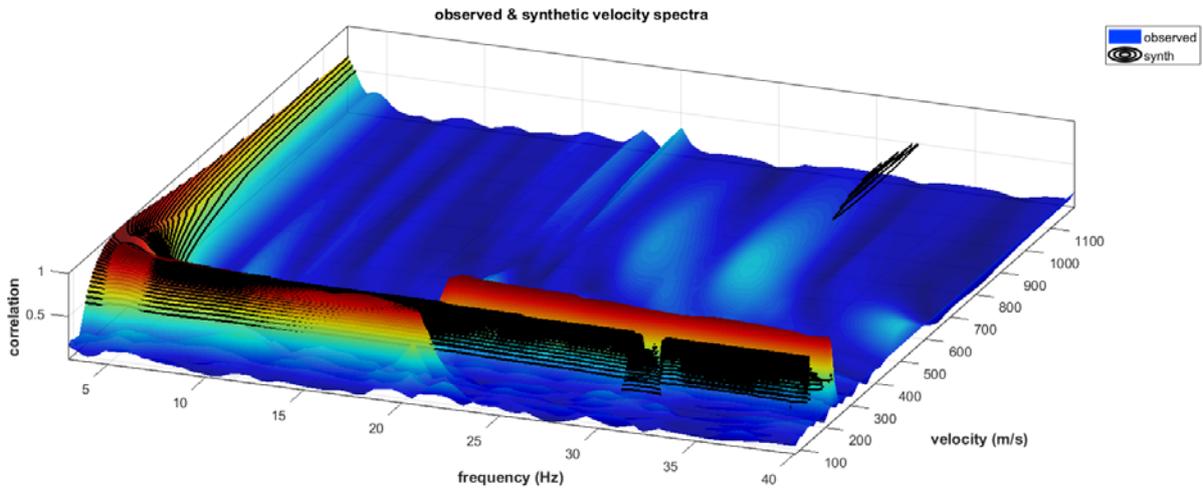
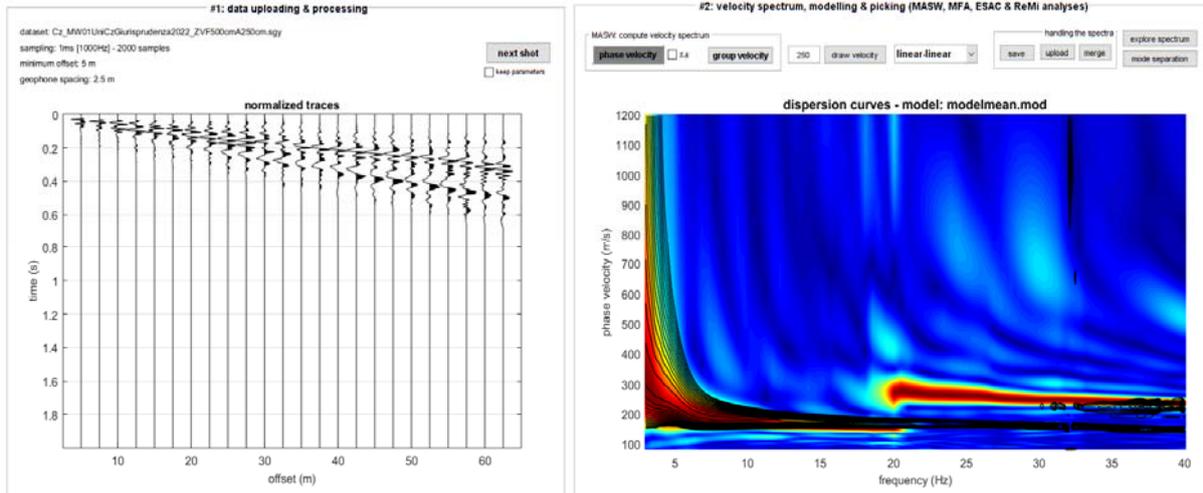
Date: 23 11 2022 --- Time: 11 48

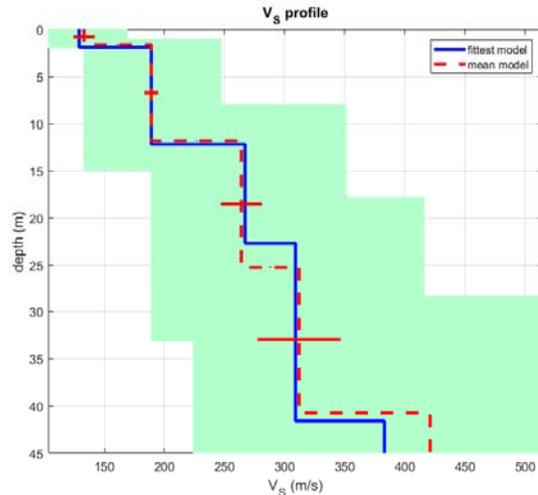
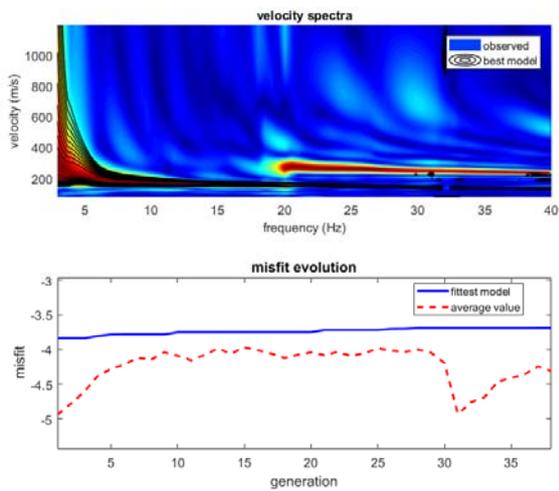
Considered velocity spectrum: Cz_MW01UniCzGiurisprudenza2022_ZVF500cmA250cmFVS.mat

Considered component: ZVF

Analyzing Phase velocities

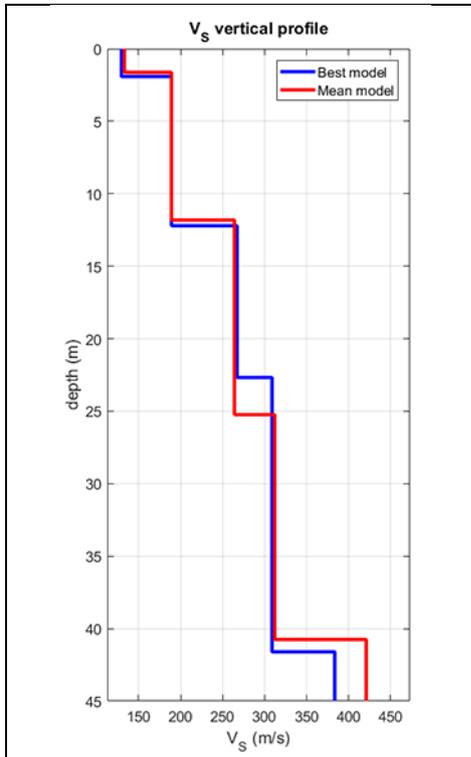
Dataset: Cz_MW01UniCzGiurisprudenza2022_ZVF500cmA250cm.sgy





dataset: Cz_MW01UniCzGiurisprudenza2022_ZVF500cmA250cm.sgy
 velocity spectrum: Cz_MW01UniCzGiurisprudenza2022_ZVF500cmA250cmFVS.mat
 Vs30 & VsE (best model): 227 227 m/s half-space
 Vs30 & VsE (mean model): 227 227 m/s

www.winmasw.com



Mean model
 Vs (m/s): 133, 189, 264, 312, 421
 Vs standard deviations (m/s): 9, 6, 17, 35, 59
 Thickness (m): 1.6, 10.2, 13.4, 15.5
 Vs30 and VsE (m/s): 227 227

Best model
 Vs (m/s): 129, 189, 267, 309, 383
 Thickness (m): 1.9, 10.3, 10.5, 18.9
 Vs30 and VsE (m/s): 227 227
 Depth equivalent (m): 2031
 Analysis: Rayleigh Waves
 Approximate values for Vp and Poisson
 (please, see manual)
 Vp (m/s): 252, 395, 688, 700, 1024
 Poisson: 0.32 0.35 0.41 0.38 0.42

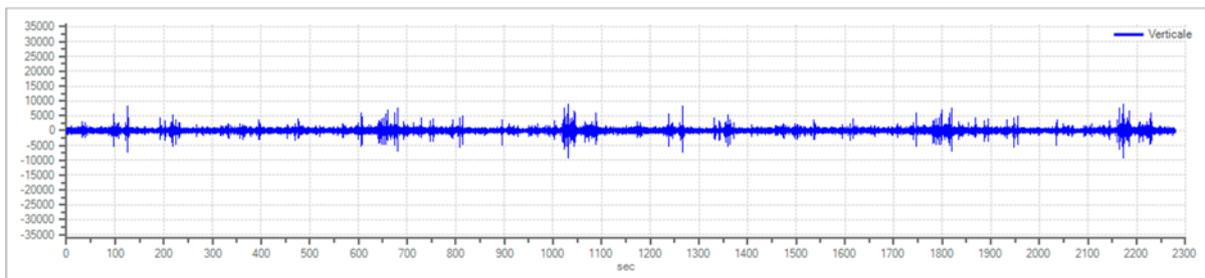
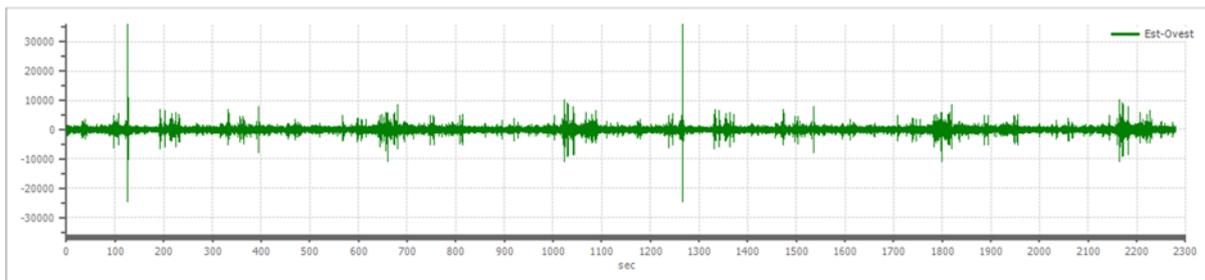
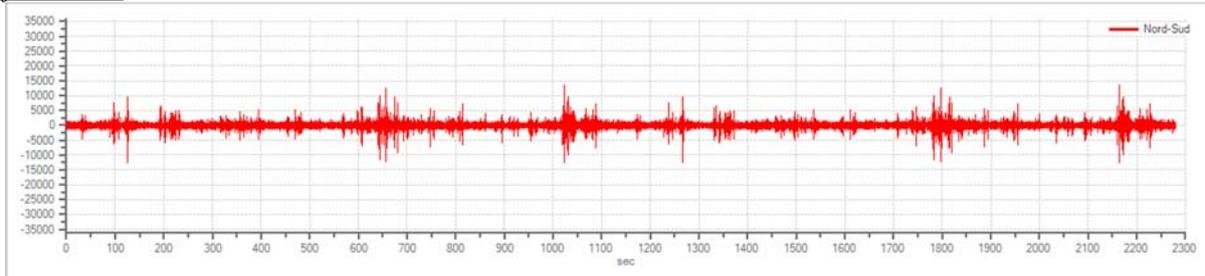
INDAGINE SISMICA HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HV01)

Tracce in Input

Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3
Durata registrazione: 2280 s
Frequenza di campionamento: 300.00 Hz
Numero campioni: 684000
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici tracce:



Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

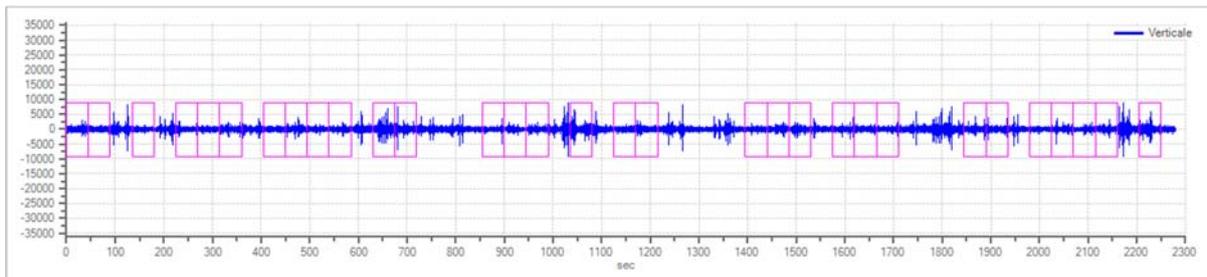
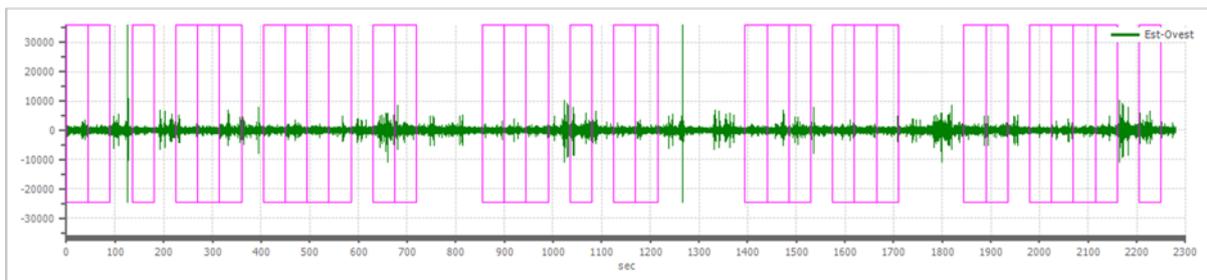
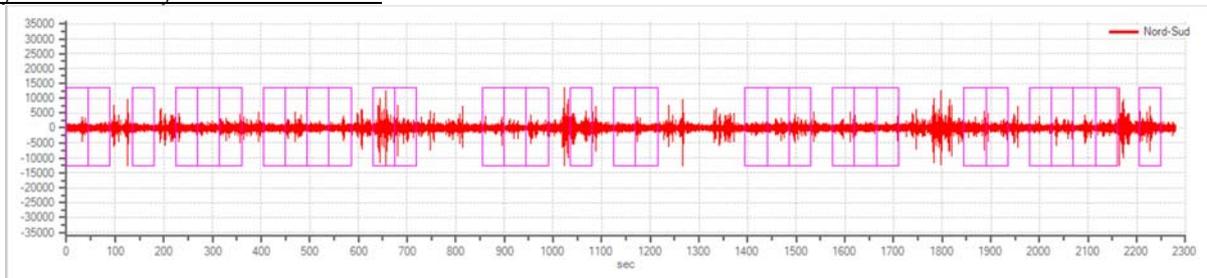
Numero totale finestre selezionate: 31
Numero finestre incluse nel calcolo: 23
Dimensione temporale finestre: 45.000 s
Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento: 15.00 %
Coefficiente di banda: 30.00

Tabella finestre:

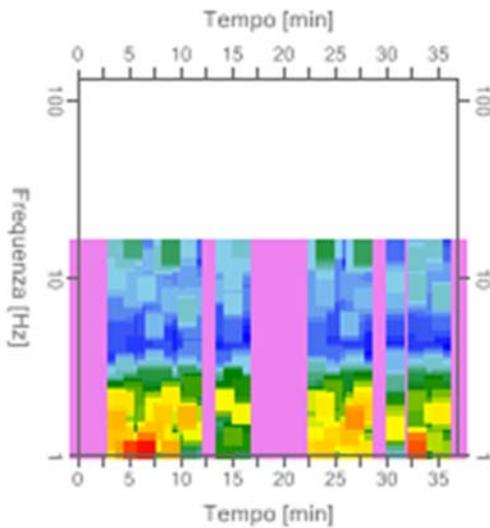
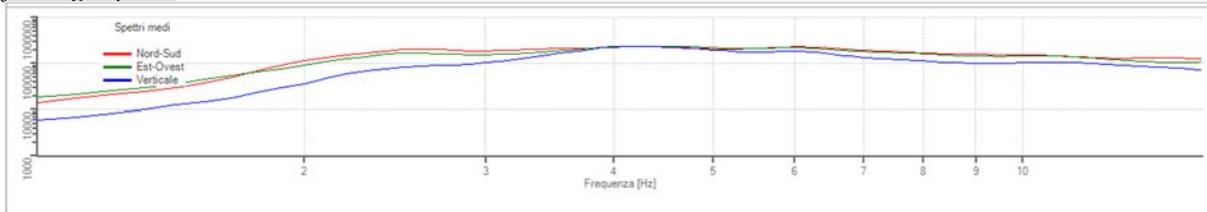
| Numero finestra | Istante iniziale | Istante finale | Selezione |
|-----------------|------------------|----------------|-----------|
| 1 | 0 | 45 | Esclusa |
| 2 | 45 | 90 | Esclusa |
| 3 | 135 | 180 | Esclusa |
| 4 | 225 | 270 | Inclusa |

| | | | |
|----|------|------|---------|
| 5 | 270 | 315 | Inclusa |
| 6 | 315 | 360 | Inclusa |
| 7 | 405 | 450 | Inclusa |
| 8 | 450 | 495 | Inclusa |
| 9 | 495 | 540 | Inclusa |
| 10 | 540 | 585 | Inclusa |
| 11 | 630 | 675 | Inclusa |
| 12 | 675 | 720 | Inclusa |
| 13 | 855 | 900 | Inclusa |
| 14 | 900 | 945 | Inclusa |
| 15 | 945 | 990 | Inclusa |
| 16 | 1035 | 1080 | Esclusa |
| 17 | 1125 | 1170 | Esclusa |
| 18 | 1170 | 1215 | Esclusa |
| 19 | 1395 | 1440 | Inclusa |
| 20 | 1440 | 1485 | Inclusa |
| 21 | 1485 | 1530 | Inclusa |
| 22 | 1575 | 1620 | Inclusa |
| 23 | 1620 | 1665 | Inclusa |
| 24 | 1665 | 1710 | Inclusa |
| 25 | 1845 | 1890 | Inclusa |
| 26 | 1890 | 1935 | Esclusa |
| 27 | 1980 | 2025 | Inclusa |
| 28 | 2025 | 2070 | Inclusa |
| 29 | 2070 | 2115 | Inclusa |
| 30 | 2115 | 2160 | Inclusa |
| 31 | 2205 | 2250 | Esclusa |

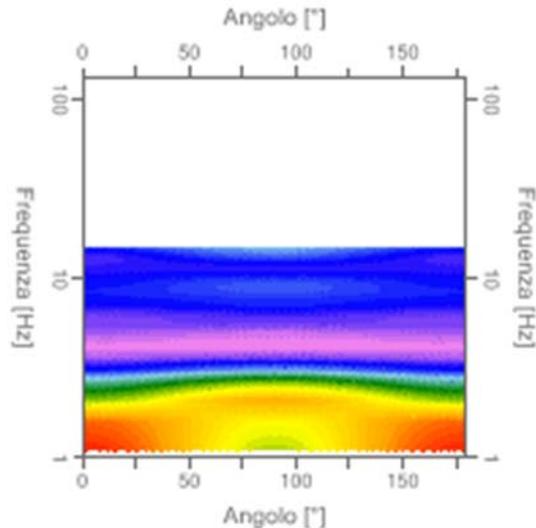
Grafici tracce con finestre selezionate:



Grafici degli spettri



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

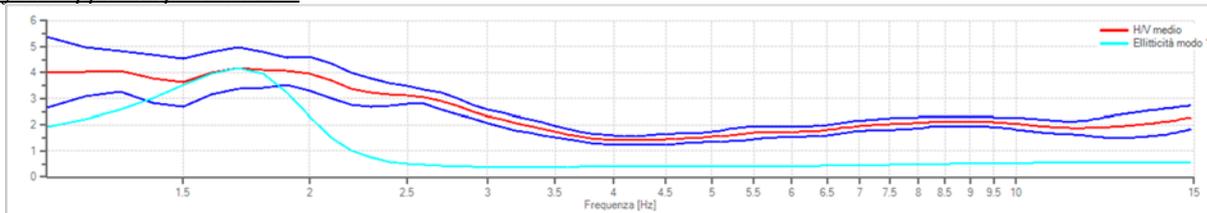
Dati riepilogativi:

| | |
|-----------------------------|------------------|
| Frequenza massima: | 15.00 Hz |
| Frequenza minima: | 1.10 Hz |
| Passo frequenze: | 0.10 Hz |
| Tipo lisciamento:: | Konno & Ohmachi |
| Percentuale di lisciamento: | 15.00 % |
| Tipo di somma direzionale: | Media geometrica |

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 1.70 Hz ±0.19 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Verifiche SESAME:

| | Verifica | Esito |
|------------------|-----------------|--------------|
| $f_0 > 10/l_w$ | | Ok |
| $n_c(f_0) > 200$ | | Ok |

$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ Ok
 $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$ Ok
 $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ Ok
 $\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ Ok
 $A_0 > 2$ Ok
 $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ Ok
 $\sigma_f < \varepsilon(f)$ Ok
 $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ Ok

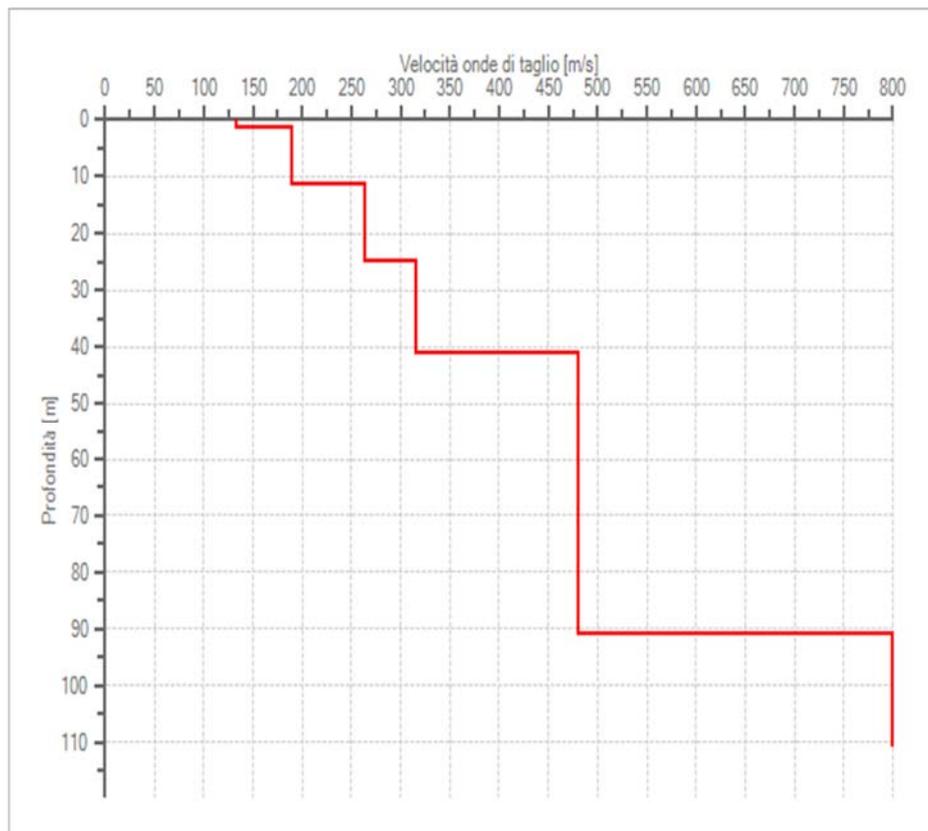
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati: 6
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 1.70 Hz
 Valore di disadattamento: -1.00
 Valore Vseq: 228.66 m/s

Dati della stratigrafia:

| Strato | Profondità [m] | Spessore [m] | Peso per Unità di Vol. [kN/m ³] | Coeff. di Poisson | Velocità onde di taglio [m/s] |
|--------|----------------|--------------|---|-------------------|-------------------------------|
| 1 | 0 | 1.5 | 18.5 | 0.4 | 133 |
| 2 | 1.5 | 10 | 19.4 | 0.48 | 189 |
| 3 | 11.5 | 13.5 | 19.8 | 0.45 | 264 |
| 4 | 25 | 16 | 20 | 0.4 | 315 |
| 5 | 41 | 50 | 20.5 | 0.36 | 480 |
| 6 | 91 | 20 | 21 | 0.32 | 800 |



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH

Committente: Università degli studi Magna Grecia
di Catanzaro
Descrizione: Edificio aule Giurisprudenza
Localita': Germaneto di Catanzaro

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 cm ² |
| 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 ° |

Il tecnico
Dott. Geol. Fabio Procopio



PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE
(DYNAMIC PROBING)
DPSH – DPM (... scpt ecc.)

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 ($\alpha=60-90^\circ$), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm² 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 $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha = 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² 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 $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27$ cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20$ cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

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 N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di riportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_t \cdot N$$

Dove:

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

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} 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 R_{pd}

Formola Olandesi

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

| | |
|----------|--|
| R_{pd} | 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:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa)^n \sigma_{vo}} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa} \quad (\text{Liao e Whitman 1986})$$

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

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:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.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%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

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 immersione $d = 1$ m.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} 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 N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} 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) $\sigma > 5$ 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) $\sigma > 15$ 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 V_s (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 (K_0)

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

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

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 $N_{spt} < 8$, 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 , (C_u - N_{spt} -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille** e **limi argillosi** con $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata C_u (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 (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- 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 - M_o (Eed) (Kg/cm²)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buisman- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt} = 6-12$).

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 ... Nr.1

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 28/11/2022

Profondita' prova 13.80 mt

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

| Profondita' (m) | Nr. Colpi | Calcolo coeff. riduzione sonda Chi | Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²) | Res. dinamica (Kg/cm ²) | Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²) | Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²) |
|-----------------|-----------|------------------------------------|---|-------------------------------------|--|--|
| 0.20 | 2 | 0.855 | 17.96 | 21.01 | 0.90 | 1.05 |
| 0.40 | 1 | 0.851 | 8.94 | 10.51 | 0.45 | 0.53 |
| 0.60 | 1 | 0.847 | 8.17 | 9.64 | 0.41 | 0.48 |
| 0.80 | 5 | 0.843 | 40.66 | 48.22 | 2.03 | 2.41 |
| 1.00 | 2 | 0.840 | 16.20 | 19.29 | 0.81 | 0.96 |
| 1.20 | 2 | 0.836 | 16.13 | 19.29 | 0.81 | 0.96 |
| 1.40 | 2 | 0.833 | 16.06 | 19.29 | 0.80 | 0.96 |
| 1.60 | 1 | 0.830 | 7.39 | 8.91 | 0.37 | 0.45 |
| 1.80 | 5 | 0.826 | 36.82 | 44.55 | 1.84 | 2.23 |
| 2.00 | 5 | 0.823 | 36.68 | 44.55 | 1.83 | 2.23 |
| 2.20 | 6 | 0.820 | 43.85 | 53.47 | 2.19 | 2.67 |
| 2.40 | 4 | 0.817 | 29.13 | 35.64 | 1.46 | 1.78 |
| 2.60 | 2 | 0.814 | 13.49 | 16.56 | 0.67 | 0.83 |
| 2.80 | 2 | 0.811 | 13.44 | 16.56 | 0.67 | 0.83 |
| 3.00 | 1 | 0.809 | 6.70 | 8.28 | 0.33 | 0.41 |
| 3.20 | 2 | 0.806 | 13.35 | 16.56 | 0.67 | 0.83 |
| 3.40 | 4 | 0.803 | 26.61 | 33.13 | 1.33 | 1.66 |
| 3.60 | 4 | 0.801 | 24.78 | 30.94 | 1.24 | 1.55 |
| 3.80 | 3 | 0.798 | 18.53 | 23.21 | 0.93 | 1.16 |
| 4.00 | 5 | 0.796 | 30.79 | 38.68 | 1.54 | 1.93 |
| 4.20 | 2 | 0.794 | 12.28 | 15.47 | 0.61 | 0.77 |
| 4.40 | 2 | 0.791 | 12.24 | 15.47 | 0.61 | 0.77 |
| 4.60 | 2 | 0.789 | 11.45 | 14.51 | 0.57 | 0.73 |
| 4.80 | 6 | 0.787 | 34.27 | 43.54 | 1.71 | 2.18 |
| 5.00 | 4 | 0.785 | 22.79 | 29.03 | 1.14 | 1.45 |
| 5.20 | 6 | 0.783 | 34.09 | 43.54 | 1.70 | 2.18 |
| 5.40 | 6 | 0.781 | 34.01 | 43.54 | 1.70 | 2.18 |
| 5.60 | 7 | 0.779 | 37.27 | 47.84 | 1.86 | 2.39 |
| 5.80 | 8 | 0.777 | 42.50 | 54.67 | 2.12 | 2.73 |
| 6.00 | 2 | 0.775 | 10.60 | 13.67 | 0.53 | 0.68 |
| 6.20 | 3 | 0.774 | 15.86 | 20.50 | 0.79 | 1.03 |
| 6.40 | 2 | 0.772 | 10.55 | 13.67 | 0.53 | 0.68 |

| | | | | | | |
|-------|----|-------|-------|-------|------|------|
| 6.60 | 4 | 0.770 | 19.90 | 25.83 | 0.99 | 1.29 |
| 6.80 | 2 | 0.769 | 9.93 | 12.92 | 0.50 | 0.65 |
| 7.00 | 6 | 0.767 | 29.73 | 38.75 | 1.49 | 1.94 |
| 7.20 | 8 | 0.766 | 39.56 | 51.66 | 1.98 | 2.58 |
| 7.40 | 7 | 0.764 | 34.54 | 45.20 | 1.73 | 2.26 |
| 7.60 | 7 | 0.763 | 32.68 | 42.85 | 1.63 | 2.14 |
| 7.80 | 8 | 0.761 | 37.28 | 48.97 | 1.86 | 2.45 |
| 8.00 | 6 | 0.760 | 27.91 | 36.73 | 1.40 | 1.84 |
| 8.20 | 4 | 0.759 | 18.57 | 24.48 | 0.93 | 1.22 |
| 8.40 | 5 | 0.757 | 23.18 | 30.60 | 1.16 | 1.53 |
| 8.60 | 3 | 0.756 | 13.19 | 17.45 | 0.66 | 0.87 |
| 8.80 | 6 | 0.755 | 26.34 | 34.90 | 1.32 | 1.75 |
| 9.00 | 8 | 0.753 | 35.07 | 46.54 | 1.75 | 2.33 |
| 9.20 | 8 | 0.752 | 35.01 | 46.54 | 1.75 | 2.33 |
| 9.40 | 8 | 0.751 | 34.96 | 46.54 | 1.75 | 2.33 |
| 9.60 | 9 | 0.750 | 37.41 | 49.88 | 1.87 | 2.49 |
| 9.80 | 7 | 0.749 | 29.05 | 38.80 | 1.45 | 1.94 |
| 10.00 | 8 | 0.748 | 33.15 | 44.34 | 1.66 | 2.22 |
| 10.20 | 6 | 0.747 | 24.83 | 33.25 | 1.24 | 1.66 |
| 10.40 | 7 | 0.746 | 28.92 | 38.80 | 1.45 | 1.94 |
| 10.60 | 6 | 0.744 | 23.64 | 31.75 | 1.18 | 1.59 |
| 10.80 | 8 | 0.743 | 31.47 | 42.34 | 1.57 | 2.12 |
| 11.00 | 4 | 0.742 | 15.71 | 21.17 | 0.79 | 1.06 |
| 11.20 | 8 | 0.741 | 31.39 | 42.34 | 1.57 | 2.12 |
| 11.40 | 8 | 0.740 | 31.34 | 42.34 | 1.57 | 2.12 |
| 11.60 | 8 | 0.739 | 29.95 | 40.51 | 1.50 | 2.03 |
| 11.80 | 15 | 0.688 | 52.28 | 75.96 | 2.61 | 3.80 |
| 12.00 | 14 | 0.687 | 48.72 | 70.89 | 2.44 | 3.54 |
| 12.20 | 10 | 0.736 | 37.28 | 50.64 | 1.86 | 2.53 |
| 12.40 | 11 | 0.735 | 40.95 | 55.70 | 2.05 | 2.79 |
| 12.60 | 12 | 0.734 | 42.77 | 58.25 | 2.14 | 2.91 |
| 12.80 | 10 | 0.733 | 35.59 | 48.54 | 1.78 | 2.43 |
| 13.00 | 15 | 0.682 | 49.67 | 72.81 | 2.48 | 3.64 |
| 13.20 | 12 | 0.731 | 42.59 | 58.25 | 2.13 | 2.91 |
| 13.40 | 12 | 0.730 | 42.52 | 58.25 | 2.13 | 2.91 |
| 13.60 | 15 | 0.679 | 47.47 | 69.92 | 2.37 | 3.50 |
| 13.80 | 20 | 0.678 | 63.20 | 93.23 | 3.16 | 4.66 |

| Prof. Strato (m) | NPDM | Rd (Kg/cm ²) | Tipo | Clay Fraction (%) | Peso unita' di volume (t/m ³) | Peso unita' di volume saturo (t/m ³) | Tensione efficace (Kg/cm ²) | Coeff. di correlaz. con Nspt | NSPT | Descrizione |
|------------------|------|--------------------------|----------------------|-------------------|---|--|---|------------------------------|------|---------------|
| 1.6 | 2 | 19.52 | Incoerente - coesivo | 0 | 1.63 | 1.86 | 0.13 | 1.47 | 2.94 | Copertura |
| 11.6 | 5.24 | 33.86 | Incoerente - | 0 | 1.89 | 1.9 | 1.21 | 1.47 | 7.7 | Alternanza di |

| | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|----------------------|---|-----|------|------|------|-------|---|---|
| | | | coesivo | | | | | | | | limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti |
| 13.8 | 13.27 | 64.77 | Incoerente - coesivo | 0 | 2.1 | 2.31 | 1.82 | 1.47 | 19.51 | Alternanza di limi argillosi e sabbie limose mediamente consistenti | |

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

| | 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] - Copertura | 2.94 | 1.60 | 0.18 | 0.37 | 0.15 - 0.25 | 0.12 | 0.28 | 0.59 | 0.27 | 0.65 | 0.15 | 0.34 | 0.37 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.7 | 11.60 | 0.48 | 0.96 | 0.25 - 0.50 | 0.31 | 0.75 | 1.02 | 0.69 | 1.02 | 0.39 | 0.00 | 0.96 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi | 19.51 | 13.80 | 1.32 | 2.44 | 1.00 - 2.00 | 0.76 | 1.93 | 1.94 | 1.66 | 2.04 | 0.98 | 1.41 | 2.44 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| i e sabbie limose media mente consist enti | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Qc (Kg/cm ²) |
|--|-------|---------------------|------------------|-----------------------------|
| [1] - Copertura | 2.94 | 1.60 | Robertson (1983) | 5.88 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.7 | 11.60 | Robertson (1983) | 15.40 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose mediamente consistenti | 19.51 | 13.80 | Robertson (1983) | 39.02 |

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Stroud e Butler (1975) | Vesic (1970) | Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner | Buisman- Sanglerat |
|---|-------|---------------------|---------------------------|--------------|--|-----------------------|
| [1] - Copertura | 2.94 | 1.60 | 13.49 | 44.10 | 31.78 | 36.75 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.7 | 11.60 | 35.33 | -- | 80.33 | 96.25 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose mediamente consistenti | 19.51 | 13.80 | 89.51 | -- | 200.78 | 195.10 |

Modulo di Young (Kg/cm²)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Schultze | Apollonia |
|--|-------|---------------------|----------|-----------|
| [1] - Copertura | 2.94 | 1.60 | 13.41 | 29.40 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.7 | 11.60 | 68.15 | 77.00 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose mediamente consistenti | 19.51 | 13.80 | 203.97 | 195.10 |

Classificazione AGI

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione |
|---|------|---------------------|---------------|-------------------------|
| [1] - Copertura | 2.94 | 1.60 | A.G.I. (1977) | POCO CONSISTENTE |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi | 7.7 | 11.60 | A.G.I. (1977) | MODERAT. CONSISTENTE |

| | | | | |
|---|-------|-------|---------------|-------------------|
| deb. sabbiosi poco consistenti [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose mediamente consistenti | 19.51 | 13.80 | A.G.I. (1977) | MOLTO CONSISTENTE |
|---|-------|-------|---------------|-------------------|

Peso unita' di volume

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Peso unita' di volume (t/m ³) |
|---|-------|------------------|--------------|---|
| [1] - Copertura | 2.94 | 1.60 | Meyerhof | 1.63 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.7 | 11.60 | Meyerhof | 1.89 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose mediamente consistenti | 19.51 | 13.80 | Meyerhof | 2.10 |

Peso unita' di volume saturo

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Peso unita' di volume saturo (t/m ³) |
|---|-------|------------------|--------------|--|
| [1] - Copertura | 2.94 | 1.60 | Meyerhof | 1.86 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.7 | 11.60 | Meyerhof | 1.90 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose mediamente consistenti | 19.51 | 13.80 | Meyerhof | 2.31 |

Velocita' onde di taglio

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Velocita' onde di taglio (m/s) |
|---|-------|------------------|----------------------------|--------------------------------|
| [1] - Copertura | 2.94 | 1.60 | Ohta & Goto (1978) Limi | 78.97 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.7 | 11.60 | Ohta & Goto (1978) Limi | 140.17 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose mediamente consistenti | 19.51 | 13.80 | Ohta & Goto (1978) Limi | 186.8 |

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Gibbs & Holtz 1957 | Meyerhof 1957 | Schultze & Menzenbach (1961) | Skempton 1986 |
|-----------------------------------|------|------------------|--------------------|---------------|------------------------------|---------------|
| [1] - Copertura | 2.94 | 1.60 | 14.91 | 39.51 | 48.87 | 15.13 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi | 7.7 | 11.60 | 18.08 | 42.21 | 43.24 | 27.68 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | | | | | | | | | | | | | | |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose mediamente consistenti | 19.51 | 13.80 | 30.13 | 58.44 | 60.54 | 50.5 | | | | | | | | |

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 | Owasa ki & Iwasaki |
|---|-------|------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------------------|-------------------------|---|---------------------------|----------|--------------------|
| [1] - Copertura | 2.94 | 1.60 | 2.94 | 27.84 | 20.84 | 28.82 | 31.17 | 30.79 | 0 | <30 | 21.64 | 27.88 | 22.59 | 22.67 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.7 | 11.60 | 7.7 | 29.2 | 22.2 | 30.16 | 27.9 | 32.77 | 0 | <30 | 25.75 | 29.31 | 22.16 | 27.41 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose mediamente consistenti | 19.51 | 13.80 | 19.51 | 32.57 | 25.57 | 33.46 | 28.51 | 36.92 | 36.18 | 30-32 | 32.11 | 32.85 | 23.35 | 34.75 |

Modulo di Young (Kg/cm²)

| | 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] - Copertura | 2.94 | 1.60 | 2.94 | --- | 23.52 | --- | --- | --- |
| [2] - | 7.7 | 11.60 | 7.7 | --- | 61.60 | --- | --- | --- |

| | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | | | | | | | | |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose mediamente consistenti | 19.51 | 13.80 | 19.51 | 315.28 | 156.08 | 230.92 | 326.33 | 172.55 |

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

| 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] - Copertura | 2.94 | 1.60 | 2.94 | --- | 33.50 | 20.87 | 51.11 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.7 | 11.60 | 7.7 | --- | 43.28 | 54.67 | 72.34 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose mediamente consistenti | 19.51 | 13.80 | 19.51 | 117.06 | 67.54 | 138.52 | 125.01 |

Classificazione AGI

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Classificazione AGI |
|---|-------|------------------|----------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| [1] - Copertura | 2.94 | 1.60 | 2.94 | Classificazione A.G.I | SCIOLTO |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.7 | 11.60 | 7.7 | Classificazione A.G.I | POCO ADDENSATO |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose mediamente consistenti | 19.51 | 13.80 | 19.51 | Classificazione A.G.I | MODERATAMENTE ADDENSATO |

Peso unita' di volume

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Peso Unità' di Volume |
|--|------|------------------|----------------------------------|--------------|-----------------------|
|--|------|------------------|----------------------------------|--------------|-----------------------|

| | | | | | (t/m ³) |
|---|-------|-------|-------|-----------------------|---------------------|
| [1] - Copertura | 2.94 | 1.60 | 2.94 | Terzaghi-Peck 1948 | 1.38 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.7 | 11.60 | 7.7 | Terzaghi-Peck 1948 | 1.45 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose mediamente consistenti | 19.51 | 13.80 | 19.51 | Terzaghi-Peck 1948 | 1.59 |

Peso unita' di volume saturo

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Peso Unita' Volume Saturo (t/m ³) |
|---|-------|------------------|----------------------------------|-----------------------|---|
| [1] - Copertura | 2.94 | 1.60 | 2.94 | Terzaghi-Peck 1948 | 1.86 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.7 | 11.60 | 7.7 | Terzaghi-Peck 1948 | 1.90 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose mediamente consistenti | 19.51 | 13.80 | 19.51 | Terzaghi-Peck 1948 | 1.99 |

Modulo di Poisson

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Poisson |
|---|-------|------------------|----------------------------------|--------------|---------|
| [1] - Copertura | 2.94 | 1.60 | 2.94 | (A.G.I.) | 0.35 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.7 | 11.60 | 7.7 | (A.G.I.) | 0.34 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose mediamente consistenti | 19.51 | 13.80 | 19.51 | (A.G.I.) | 0.32 |

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Ohsaki (Sabbie pulite) | Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) |
|---|------|------------------|----------------------------------|------------------------|--|
| [1] - Copertura | 2.94 | 1.60 | 2.94 | 179.13 | 241.59 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.7 | 11.60 | 7.7 | 442.81 | 435.07 |

| | | | | | |
|---|-------|-------|-------|---------|--------|
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose mediamente consistenti | 19.51 | 13.80 | 19.51 | 1061.10 | 767.82 |
|---|-------|-------|-------|---------|--------|

Velocita' onde di taglio

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Velocita' onde di taglio (m/s) |
|---|-------|------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| [1] - Copertura | 2.94 | 1.60 | 2.94 | Ohta & Goto (1978) Limi | 78.97 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.7 | 11.60 | 7.7 | Ohta & Goto (1978) Limi | 140.17 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose mediamente consistenti | 19.51 | 13.80 | 19.51 | Ohta & Goto (1978) Limi | 186.8 |

Coefficiente spinta a Riposo

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | K0 |
|---|-------|------------------|----------------------------------|------------------|------|
| [1] - Copertura | 2.94 | 1.60 | 2.94 | Navfac 1971-1982 | 0.50 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.7 | 11.60 | 7.7 | Navfac 1971-1982 | 1.60 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose mediamente consistenti | 19.51 | 13.80 | 19.51 | Navfac 1971-1982 | 3.96 |

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Qc (Kg/cm ²) |
|---|-------|------------------|----------------------------------|----------------|--------------------------|
| [1] - Copertura | 2.94 | 1.60 | 2.94 | Robertson 1983 | 5.88 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.7 | 11.60 | 7.7 | Robertson 1983 | 15.40 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose mediamente consistenti | 19.51 | 13.80 | 19.51 | Robertson 1983 | 39.02 |

PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI
 Prova eseguita in data 28/11/2022
 Profondita' prova 13.80 mt
 Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

| Profondita' (m) | Nr. Colpi | Calcolo coeff. riduzione sonda Chi | Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²) | Res. dinamica (Kg/cm ²) | Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²) | Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²) |
|-----------------|-----------|------------------------------------|---|-------------------------------------|--|--|
| 0.20 | 1 | 0.855 | 8.98 | 10.51 | 0.45 | 0.53 |
| 0.40 | 1 | 0.851 | 8.94 | 10.51 | 0.45 | 0.53 |
| 0.60 | 4 | 0.847 | 32.67 | 38.57 | 1.63 | 1.93 |
| 0.80 | 2 | 0.843 | 16.27 | 19.29 | 0.81 | 0.96 |
| 1.00 | 3 | 0.840 | 24.29 | 28.93 | 1.21 | 1.45 |
| 1.20 | 2 | 0.836 | 16.13 | 19.29 | 0.81 | 0.96 |
| 1.40 | 2 | 0.833 | 16.06 | 19.29 | 0.80 | 0.96 |
| 1.60 | 2 | 0.830 | 14.78 | 17.82 | 0.74 | 0.89 |
| 1.80 | 4 | 0.826 | 29.45 | 35.64 | 1.47 | 1.78 |
| 2.00 | 6 | 0.823 | 44.01 | 53.47 | 2.20 | 2.67 |
| 2.20 | 6 | 0.820 | 43.85 | 53.47 | 2.19 | 2.67 |
| 2.40 | 5 | 0.817 | 36.41 | 44.55 | 1.82 | 2.23 |
| 2.60 | 6 | 0.814 | 40.46 | 49.69 | 2.02 | 2.48 |
| 2.80 | 6 | 0.811 | 40.32 | 49.69 | 2.02 | 2.48 |
| 3.00 | 8 | 0.809 | 53.58 | 66.25 | 2.68 | 3.31 |
| 3.20 | 2 | 0.806 | 13.35 | 16.56 | 0.67 | 0.83 |
| 3.40 | 2 | 0.803 | 13.31 | 16.56 | 0.67 | 0.83 |
| 3.60 | 2 | 0.801 | 12.39 | 15.47 | 0.62 | 0.77 |
| 3.80 | 1 | 0.798 | 6.18 | 7.74 | 0.31 | 0.39 |
| 4.00 | 2 | 0.796 | 12.32 | 15.47 | 0.62 | 0.77 |
| 4.20 | 6 | 0.794 | 36.84 | 46.41 | 1.84 | 2.32 |
| 4.40 | 6 | 0.791 | 36.73 | 46.41 | 1.84 | 2.32 |
| 4.60 | 4 | 0.789 | 22.91 | 29.03 | 1.15 | 1.45 |
| 4.80 | 6 | 0.787 | 34.27 | 43.54 | 1.71 | 2.18 |
| 5.00 | 6 | 0.785 | 34.18 | 43.54 | 1.71 | 2.18 |
| 5.20 | 5 | 0.783 | 28.41 | 36.28 | 1.42 | 1.81 |
| 5.40 | 8 | 0.781 | 45.34 | 58.06 | 2.27 | 2.90 |
| 5.60 | 6 | 0.779 | 31.95 | 41.00 | 1.60 | 2.05 |
| 5.80 | 3 | 0.777 | 15.94 | 20.50 | 0.80 | 1.03 |
| 6.00 | 2 | 0.775 | 10.60 | 13.67 | 0.53 | 0.68 |
| 6.20 | 4 | 0.774 | 21.15 | 27.34 | 1.06 | 1.37 |
| 6.40 | 3 | 0.772 | 15.83 | 20.50 | 0.79 | 1.03 |
| 6.60 | 2 | 0.770 | 9.95 | 12.92 | 0.50 | 0.65 |
| 6.80 | 3 | 0.769 | 14.89 | 19.37 | 0.74 | 0.97 |
| 7.00 | 8 | 0.767 | 39.63 | 51.66 | 1.98 | 2.58 |
| 7.20 | 7 | 0.766 | 34.61 | 45.20 | 1.73 | 2.26 |
| 7.40 | 7 | 0.764 | 34.54 | 45.20 | 1.73 | 2.26 |
| 7.60 | 6 | 0.763 | 28.01 | 36.73 | 1.40 | 1.84 |
| 7.80 | 8 | 0.761 | 37.28 | 48.97 | 1.86 | 2.45 |
| 8.00 | 7 | 0.760 | 32.56 | 42.85 | 1.63 | 2.14 |
| 8.20 | 5 | 0.759 | 23.22 | 30.60 | 1.16 | 1.53 |

| | | | | | | |
|-------|----|-------|-------|--------|------|------|
| 8.40 | 6 | 0.757 | 27.81 | 36.73 | 1.39 | 1.84 |
| 8.60 | 3 | 0.756 | 13.19 | 17.45 | 0.66 | 0.87 |
| 8.80 | 2 | 0.755 | 8.78 | 11.63 | 0.44 | 0.58 |
| 9.00 | 3 | 0.753 | 13.15 | 17.45 | 0.66 | 0.87 |
| 9.20 | 4 | 0.752 | 17.51 | 23.27 | 0.88 | 1.16 |
| 9.40 | 3 | 0.751 | 13.11 | 17.45 | 0.66 | 0.87 |
| 9.60 | 7 | 0.750 | 29.10 | 38.80 | 1.45 | 1.94 |
| 9.80 | 7 | 0.749 | 29.05 | 38.80 | 1.45 | 1.94 |
| 10.00 | 6 | 0.748 | 24.86 | 33.25 | 1.24 | 1.66 |
| 10.20 | 6 | 0.747 | 24.83 | 33.25 | 1.24 | 1.66 |
| 10.40 | 7 | 0.746 | 28.92 | 38.80 | 1.45 | 1.94 |
| 10.60 | 8 | 0.744 | 31.52 | 42.34 | 1.58 | 2.12 |
| 10.80 | 4 | 0.743 | 15.74 | 21.17 | 0.79 | 1.06 |
| 11.00 | 6 | 0.742 | 23.57 | 31.75 | 1.18 | 1.59 |
| 11.20 | 4 | 0.741 | 15.69 | 21.17 | 0.78 | 1.06 |
| 11.40 | 6 | 0.740 | 23.51 | 31.75 | 1.18 | 1.59 |
| 11.60 | 5 | 0.739 | 18.72 | 25.32 | 0.94 | 1.27 |
| 11.80 | 6 | 0.738 | 22.43 | 30.38 | 1.12 | 1.52 |
| 12.00 | 14 | 0.687 | 48.72 | 70.89 | 2.44 | 3.54 |
| 12.20 | 14 | 0.686 | 48.65 | 70.89 | 2.43 | 3.54 |
| 12.40 | 11 | 0.735 | 40.95 | 55.70 | 2.05 | 2.79 |
| 12.60 | 14 | 0.684 | 46.50 | 67.96 | 2.32 | 3.40 |
| 12.80 | 14 | 0.683 | 46.43 | 67.96 | 2.32 | 3.40 |
| 13.00 | 15 | 0.682 | 49.67 | 72.81 | 2.48 | 3.64 |
| 13.20 | 18 | 0.681 | 59.51 | 87.38 | 2.98 | 4.37 |
| 13.40 | 14 | 0.680 | 46.21 | 67.96 | 2.31 | 3.40 |
| 13.60 | 14 | 0.679 | 44.31 | 65.26 | 2.22 | 3.26 |
| 13.80 | 22 | 0.628 | 64.39 | 102.55 | 3.22 | 5.13 |

| Prof. Strato (m) | NPDM | Rd (Kg/cm ²) | Tipo | Clay Fraction (%) | Peso unita' di volume (t/m ³) | Peso unita' di volume saturo (t/m ³) | Tensione efficace (Kg/cm ²) | Coeff. di correlaz. con Nspt | NSPT | Descrizione |
|------------------|------|--------------------------|----------------------|-------------------|---|--|---|------------------------------|-------|---|
| 1.6 | 2.12 | 20.53 | Incoerente - coesivo | 0 | 1.64 | 1.86 | 0.13 | 1.47 | 3.12 | Copertura |
| 11.8 | 5 | 33.24 | Incoerente - coesivo | 0 | 1.87 | 1.9 | 1.22 | 1.47 | 7.35 | Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti |
| 13.8 | 15 | 72.94 | Incoerente - coesivo | 0 | 2.11 | 2.14 | 1.8 | 1.47 | 22.05 | Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimentate consistenti |

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

| | 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] - Copertura | 3.12 | 1.60 | 0.20 | 0.39 | 0.15 - 0.25 | 0.13 | 0.30 | 0.62 | 0.28 | 0.67 | 0.16 | 0.37 | 0.39 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.35 | 11.80 | 0.46 | 0.92 | 0.25 - 0.50 | 0.30 | 0.72 | 1.00 | 0.66 | 0.99 | 0.37 | 0.00 | 0.92 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimemente consistenti | 22.05 | 13.80 | 1.49 | 2.76 | 1.00 - 2.00 | 0.85 | 2.18 | 2.19 | 1.85 | 2.28 | 1.10 | 1.86 | 2.76 |

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Qc (Kg/cm ²) |
|---|-------|------------------|------------------|--------------------------|
| [1] - Copertura | 3.12 | 1.60 | Robertson (1983) | 6.24 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.35 | 11.80 | Robertson (1983) | 14.70 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimemente consistenti | 22.05 | 13.80 | Robertson (1983) | 44.10 |

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Stroud e Butler (1975) | Vesic (1970) | Trofimenkov (1974), Mitchell | Buisman-Sanglerat |
|--|------|------------------|------------------------|--------------|------------------------------|-------------------|
| | | | | | | |

| | | | | | e Gardner | |
|---|-------|-------|--------|-------|-----------|--------|
| [1] - Copertura | 3.12 | 1.60 | 14.32 | 46.80 | 33.61 | 39.00 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.35 | 11.80 | 33.72 | -- | 76.76 | 91.88 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimente consistenti | 22.05 | 13.80 | 101.17 | -- | 226.69 | 220.50 |

Modulo di Young (Kg/cm²)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Schultze | Apollonia |
|---|-------|------------------|----------|-----------|
| [1] - Copertura | 3.12 | 1.60 | 15.48 | 31.20 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.35 | 11.80 | 64.13 | 73.50 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimente consistenti | 22.05 | 13.80 | 233.18 | 220.50 |

Classificazione AGI

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione |
|---|-------|------------------|---------------|----------------------|
| [1] - Copertura | 3.12 | 1.60 | A.G.I. (1977) | POCO CONSISTENTE |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.35 | 11.80 | A.G.I. (1977) | MODERAT. CONSISTENTE |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimente consistenti | 22.05 | 13.80 | A.G.I. (1977) | MOLTO CONSISTENTE |

Peso unita' di volume

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Peso unita' di volume (t/m ³) |
|---|-------|------------------|--------------|---|
| [1] - Copertura | 3.12 | 1.60 | Meyerhof | 1.64 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.35 | 11.80 | Meyerhof | 1.87 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimente consistenti | 22.05 | 13.80 | Meyerhof | 2.11 |

Peso unita' di volume saturo

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Peso unita' di volume saturo (t/m ³) |
|--|------|------------------|--------------|--|
|--|------|------------------|--------------|--|

| | | | | |
|---|-------|-------|----------|------|
| [1] - Copertura | 3.12 | 1.60 | Meyerhof | 1.86 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.35 | 11.80 | Meyerhof | 1.90 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimente consistenti | 22.05 | 13.80 | Meyerhof | 2.14 |

Velocita' onde di taglio

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Correlazione | Velocita' onde di taglio (m/s) |
|---|-------|------------------|----------------------------|--------------------------------|
| [1] - Copertura | 3.12 | 1.60 | Ohta & Goto (1978) Limi | 79.78 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.35 | 11.80 | Ohta & Goto (1978) Limi | 139.45 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimente consistenti | 22.05 | 13.80 | Ohta & Goto (1978) Limi | 185.41 |

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Gibbs & Holtz 1957 | Meyerhof 1957 | Schultze & Menzenbach (1961) | Skempton 1986 |
|---|-------|------------------|--------------------|---------------|------------------------------|---------------|
| [1] - Copertura | 3.12 | 1.60 | 15.89 | 40.69 | 50.2 | 15.65 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.35 | 11.80 | 17.19 | 41.13 | 42.19 | 26.83 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimente consistenti | 22.05 | 13.80 | 29.27 | 57.18 | 59.24 | 48.98 |

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 | Owaski & Iwasaki |
|-----------------|------|------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------------------|-------------------------|---|---------------------------|----------|------------------|
| [1] - Copertura | 3.12 | 1.60 | 3.12 | 27.89 | 20.89 | 28.87 | 31.25 | 30.87 | 0 | <30 | 21.84 | 27.94 | 22.82 | 22.9 |
| [2] - | 7.35 | 11.80 | 7.35 | 29.1 | 22.1 | 30.06 | 27.81 | 32.63 | 0 | <30 | 25.5 | 29.2 | 21.94 | 27.12 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | | | | | | | | | | | | | | |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimamente consistenti | 22.05 | 13.80 | 18.525 | 32.29 | 25.29 | 33.19 | 28.45 | 36.62 | 36.01 | 30-32 | 31.67 | 32.56 | 23.23 | 34.25 |

Modulo di Young (Kg/cm²)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Terzaghi | Schmertman (1978) (Sabbie) | Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa) | D'Appolloni ed altri 1970 (Sabbia) | Bowles (1982) Sabbia Media |
|---|-------|------------------|----------------------------------|----------|----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| [1] - Copertura | 3.12 | 1.60 | 3.12 | --- | 24.96 | --- | --- | --- |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.35 | 11.80 | 7.35 | --- | 58.80 | --- | --- | --- |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimamente consistenti | 22.05 | 13.80 | 18.525 | 307.22 | 148.20 | 219.29 | 318.94 | 167.62 |

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

| | 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] - Copertura | 3.12 | 1.60 | 3.12 | --- | 33.87 | 22.15 | 51.92 |

| | | | | | | | |
|---|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.35 | 11.80 | 7.35 | --- | 42.56 | 52.18 | 70.78 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimente consistenti | 22.05 | 13.80 | 18.525 | 111.15 | 65.52 | 131.53 | 120.62 |

Classificazione AGI

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Classificazione AGI |
|---|-------|------------------|----------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| [1] - Copertura | 3.12 | 1.60 | 3.12 | Classificazione A.G.I | SCIOLTO |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.35 | 11.80 | 7.35 | Classificazione A.G.I | POCO ADDENSATO |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimente consistenti | 22.05 | 13.80 | 18.525 | Classificazione A.G.I | MODERATAMENTE ADDENSATO |

Peso unita' di volume

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Peso Unita' di Volume (t/m ³) |
|---|-------|------------------|----------------------------------|--------------------|---|
| [1] - Copertura | 3.12 | 1.60 | 3.12 | Terzaghi-Peck 1948 | 1.39 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.35 | 11.80 | 7.35 | Terzaghi-Peck 1948 | 1.44 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimente consistenti | 22.05 | 13.80 | 18.525 | Terzaghi-Peck 1948 | 1.58 |

Peso unita' di volume saturo

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Peso Unita' Volume Saturo (t/m ³) |
|---|------|------------------|----------------------------------|--------------------|---|
| [1] - Copertura | 3.12 | 1.60 | 3.12 | Terzaghi-Peck 1948 | 1.86 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco | 7.35 | 11.80 | 7.35 | Terzaghi-Peck 1948 | 1.90 |

| | | | | | |
|--|-------|-------|--------|--------------------|------|
| consistenti | | | | | |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimente consistenti | 22.05 | 13.80 | 18.525 | Terzaghi-Peck 1948 | 1.98 |

Modulo di Poisson

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Poisson |
|---|-------|------------------|----------------------------------|--------------|---------|
| [1] - Copertura | 3.12 | 1.60 | 3.12 | (A.G.I.) | 0.35 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.35 | 11.80 | 7.35 | (A.G.I.) | 0.34 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimente consistenti | 22.05 | 13.80 | 18.525 | (A.G.I.) | 0.32 |

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Ohsaki (Sabbie pulite) | Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) |
|---|-------|------------------|----------------------------------|------------------------|--|
| [1] - Copertura | 3.12 | 1.60 | 3.12 | 189.42 | 250.52 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.35 | 11.80 | 7.35 | 423.86 | 422.87 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimente consistenti | 22.05 | 13.80 | 18.525 | 1010.66 | 743.89 |

Velocita' onde di taglio

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Velocita' onde di taglio (m/s) |
|---|-------|------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| [1] - Copertura | 3.12 | 1.60 | 3.12 | Ohta & Goto (1978) Limi | 79.78 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.35 | 11.80 | 7.35 | Ohta & Goto (1978) Limi | 139.45 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimente consistenti | 22.05 | 13.80 | 18.525 | Ohta & Goto (1978) Limi | 185.41 |

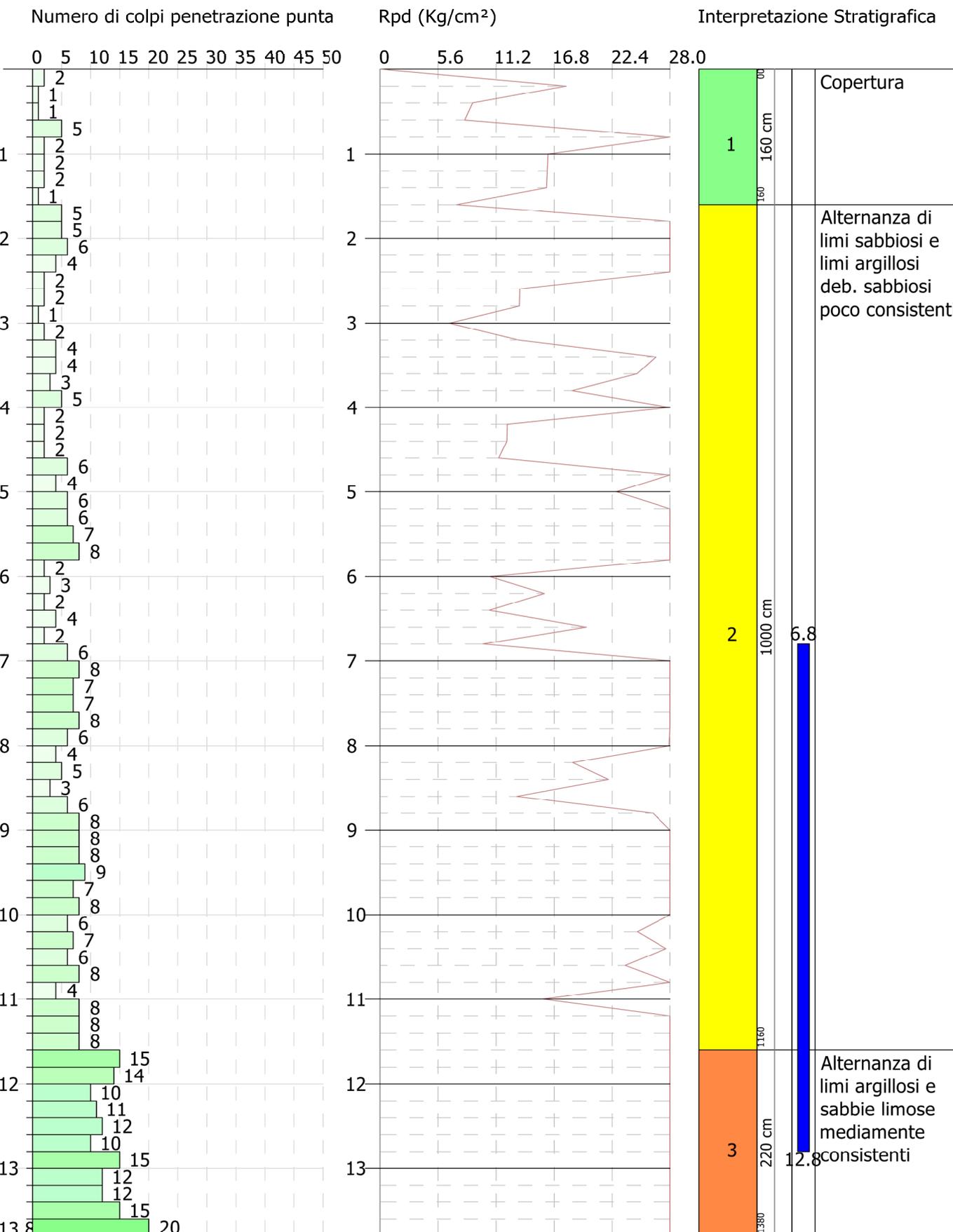
Liquefazione

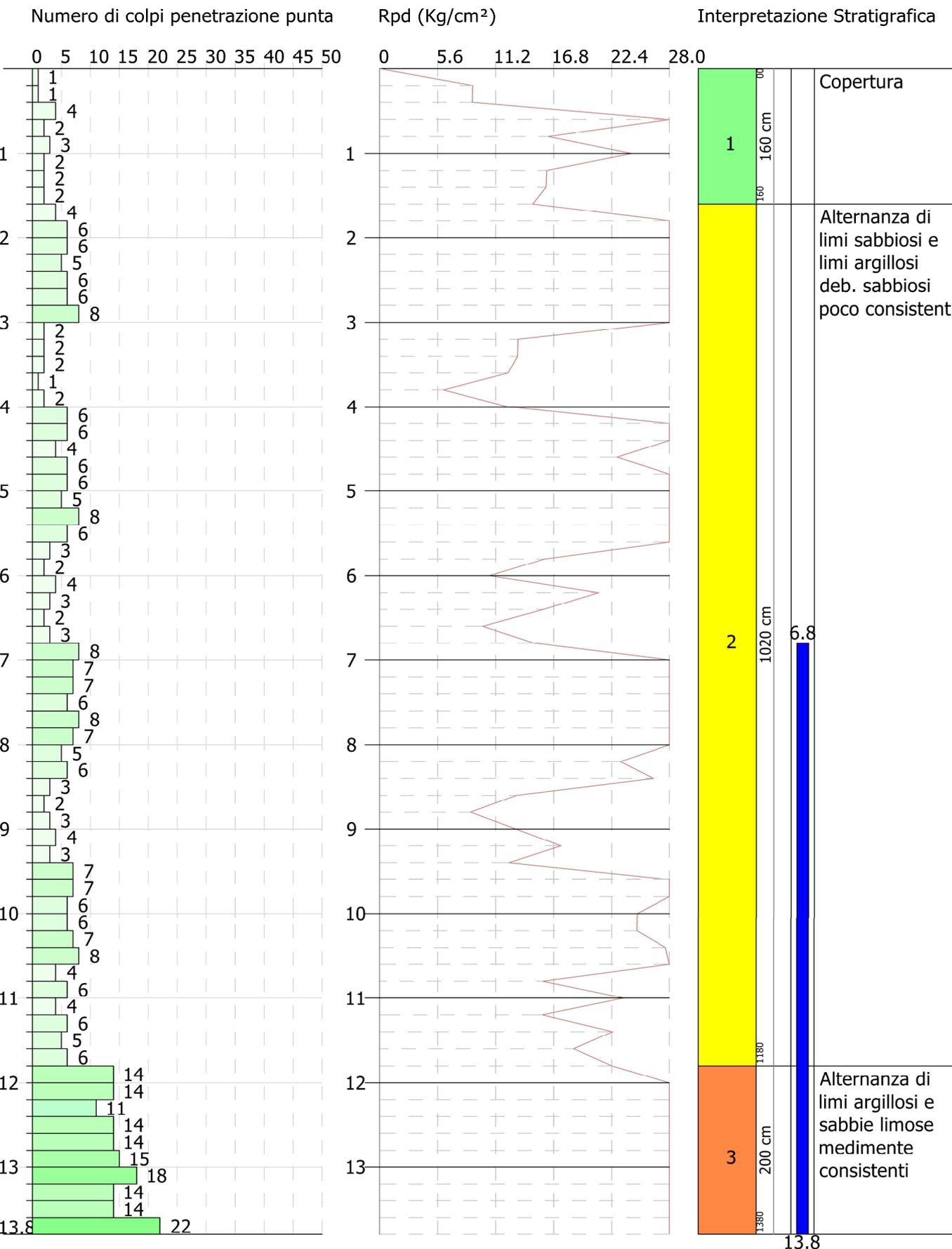
Coefficiente spinta a Riposo

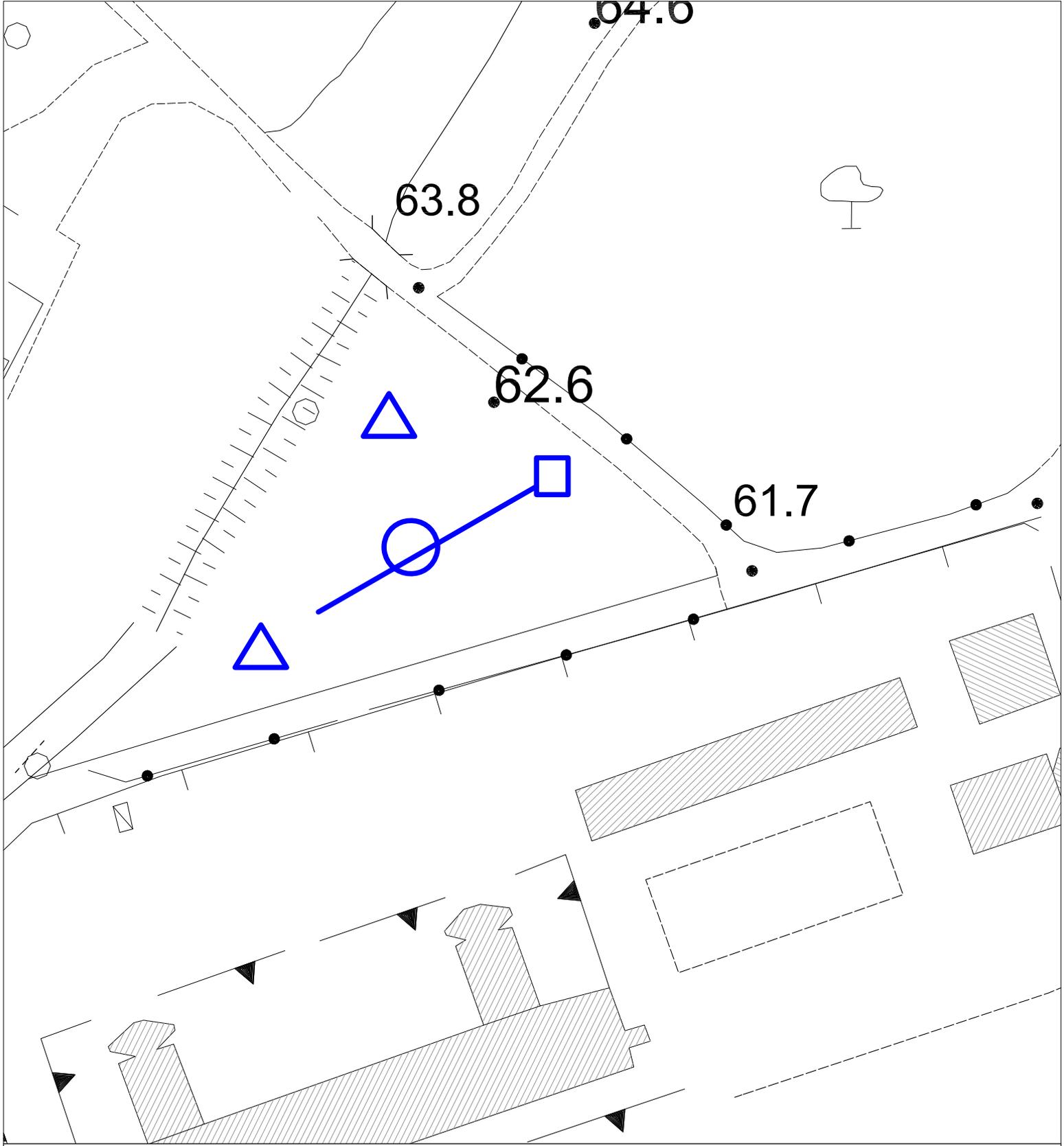
| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | K0 |
|---|-------|---------------------|-------------------------------------|------------------|------|
| [1] - Copertura | 3.12 | 1.60 | 3.12 | Navfac 1971-1982 | 0.54 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.35 | 11.80 | 7.35 | Navfac 1971-1982 | 1.52 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimente consistenti | 22.05 | 13.80 | 18.525 | Navfac 1971-1982 | 3.79 |

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

| | NSPT | Prof. Strato (m) | Nspt corretto per presenza falda | Correlazione | Qc (Kg/cm ²) |
|---|-------|---------------------|-------------------------------------|----------------|-----------------------------|
| [1] - Copertura | 3.12 | 1.60 | 3.12 | Robertson 1983 | 6.24 |
| [2] - Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi deb. sabbiosi poco consistenti | 7.35 | 11.80 | 7.35 | Robertson 1983 | 14.70 |
| [3] - Alternanza di limi argillosi e sabbie limose medimente consistenti | 22.05 | 13.80 | 18.525 | Robertson 1983 | 37.05 |







CARTA UBICAZIONI INDAGINI GEOGNOSTICHE
 Scala 1:1.000



- | | | | |
|--|---------------------------------|---|----------------------------|
|  | Sondaggio a carotaggio continuo |  | Sondaggio a penetrometrico |
|  | MASW |  | HVSr |