

CITTA' METROPOLITANA DI REGGIO CALABRIA

SETTORE DIFESA DEL SUOLO E SALVAGUARDIA DELLE COSTE
EDILIZIA E IMPIANTISTICA SPORTIVA
AMBIENTE ENERGIA E DEMANIO IDRICO E FLUVIALE

DIFESA COSTIERA SUL LITORALE DEL COMUNE DI CAULONIA (RC)

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

INDAGINI GEOGNOSTICHE

Tavola N.

G.2.3

Reggio Calabria, Aprile 2017

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

arch. Giuseppe Bencivinni

PROGETTISTI

ing. Francesco Galluccio

geol. Pasquale Iacopino



PROVINCIA DI REGGIO CALABRIA

**RELAZIONE INDAGINI GEOTECNICHE
SONDAGGI PENETROMETRICI DINAMICI
CONTINUI SUPER PESANTI (D.P.S.H.)
standard UNI EN ISO 22476-2; 2005**

“Lavori di difesa costiera a Caulonia (RC)”



Committente: dott. geol. Iacopino Pasquale
per conto della Provincia di Reggio Calabria

Località: Arenile, Caulonia Marina (RC)

Data: Marzo 2017

Per presa visione
dott. geol. Iacopino Pasquale

Il Tecnico Prospettore:
dott. Stefano SGRO'

GeoSGRO' di Stefano Sgrò
Via Ariella, 70; 89038 Marina di Palizzi (RC)
P.IVA: 02214640803 - REA RC N. 176219

GeoSGRO'
SERVIZI PER LA GEOLOGIA

dott. Stefano Sgrò
Via Ariella, 70;
89038 Marina di Palizzi (RC)
Tel/Fax: 0965 763587
cell. 347 9623327

C.F.: SGRSFN73C21H224Q
Partita IVA: 02214640803
Iscrizione REA N. 176219
Albo Imprese Artigiane N. 46984
www.geosgro.it - geosgro@gmail.com

1. PREMESSA

A seguito dell'incarico conferito dal dott. geol. Iacopino Pasquale, per conto della Provincia di Reggio Calabria, la GeoSGRO' di Stefano Sgrò ha condotto una campagna d'indagine geognostica attraverso l'esecuzione di N. 1 prova penetrometrica dinamica continua super pesante (DPSH). Tale campagna d'indagine è stata eseguita il giorno 13 marzo 2017 in località Caulonia Marina (RC) nell'ambito del Progetto: "Lavori di difesa costiera a Caulonia (RC)".

L'ubicazione e la profondità di spinta delle prove penetrometriche sono state disposte dal tecnico cui è stata affidata la progettazione e la Direzione Lavori delle indagini geognostiche.

La campagna d'indagine geognostica è stata condotta nel rispetto di quanto prescritto dalla Norma Tecnica UNI EN ISO 22476-2:2005 "Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 2: Dynamic probing", che specifica i requisiti per le indagini indirette dei terreni mediante prova di penetrazione dinamica quale parte delle indagini e prove geotecniche previste dall'Eurocodice 7.

2. DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE

La strumentazione per eseguire la prova è una sonda penetrometrica costruita dalla ditta Pagani di Calendasco (Pc). Tale sonda, date le sue caratteristiche tecniche e in riferimento alla Norma Tecnica UNI EN ISO 22476-2:2005 "Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 2: Dynamic probing" (Table 1, pag. 9), rientra tra i Penetrometri Dinamici Super Pesanti (D.P.S.H.).

CARATTERISTICHE TECNICHE PENETROMETRO PAGANI TG63-100KN (DPSH)	
MATRICOLA	P001362
TIPO	DPSH
NORMA DI RIFERIMENTO	UNI EN ISO 22476-2:2005
MASSA BATTENTE	63,5 kg
ALTEZZA DI CADUTA	750 mm
DIAMETRO PUNTA CONICA	50,5 mm
APERTURA PUNTA CONICA	90°
AREA DI BASE PUNTA CONICA	20 cm ²
LUNGH. PARTE CILINDRICA PUNTA CONICA	51 mm
ALTEZZA PARTE CONICA PUNTA CONICA	25,3 mm
LUNGHEZZA ASTE	1 m
PESO ASTE	6 kg
AVANZAMENTO PUNTA	200 mm
NUMERO COLPI PER PUNTA	N ₂₀
COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE CON N _{SPT}	1,515
LAVORO SPECIFICO / COLPO	238 KJ/m ²

3. MODALITA' ESECUTIVE DELLA PROVA E ACQUISIZIONE DATI

VERIFICHE E TARATURE DELLE ATTREZZATURE

Date le caratteristiche tecniche, il Penetrometro Pagani TG63-100KN rientra tra i Penetrometri Dinamici Super Pesanti normalizzati dalle seguenti norme:

- Norma Tecnica UNI EN ISO 22476-2:2005 "*Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 2: Dynamic probing (Tabella 1, pagina 9)*" (DPSH-B);
- ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing (1988) (oggi IMSSGE) "*Dynamic Probing (DP): International Reference Test Procedure. Proc. ISOPT-I, Orlando (USA)*" (DPSH);
- A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana (1977) "*Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche*" (DPSH);

La rettilineità delle aste viene verificata all'inizio di ciascuna campagna di prove e anche alla fine di ciascuna verticale di prova. In cantiere si verifica che i vari elementi di prova, la velocità di battuta, l'altezza di caduta libera del maglio, le condizioni della testa di battuta e del sistema di sganciamento del maglio, siano soddisfacenti per tutta la serie di prove.

PREPARAZIONE DELLA PROVA

Le prove penetrometriche continue vengono eseguite, in generale, a partire dal piano di campagna. Il penetrometro ha una posizione verticale tale da impedire il verificarsi di movimenti durante la battitura. L'inclinazione del dispositivo di battitura e delle aste, proiettato al piano di campagna non deve superare il 2% rispetto alla verticale.

ESECUZIONE DELLA PROVA

La batteria delle aste e la punta conica vengono infisse verticalmente e senza flessioni nel tratto che sporge dal piano di campagna. Nessun carico viene applicato alla testa di battuta o alle aste durante il sollevamento del maglio. La prova è continua e la velocità di battuta viene mantenuta entro i limiti di 15 ÷ 30 colpi al minuto primo. Dato il tipo di prova, DPSH, il numero di colpi viene annotato dopo la penetrazione di ciascun tratto di 200 mm.

MISURA DEL LIVELLO DELLA FALDA

A conclusione di ogni singola prova, entro il foro di sondaggio verrà misurato il livello della falda attraverso l'utilizzo del Freatimetro PASI SERIE BFK (100 m). Tale freatimetro è costituito da cavo tondo (diam. 4.7 mm) a quattro conduttori, interno in PVC stampato, anima in kevlar e guaina esterna di protezione graduazione ogni centimetro (stampata sul cavo e protetta dalla guaina esterna in poliuretano antigraffio trasparente). Diametro sonda: 10 mm. Segnalatore acustico e visivo di raggiungimento livello.

4. MODALITA' DI ELABORAZIONE DATI

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software s.a.s.* (Licenza d'uso n°: 4964 – Geosgrò di Stefano Sgrò). 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 per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche. L'interpretazione stratigrafica è stata valutata e definita dal tecnico geologo incaricato dalla committenza.

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 rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = \beta_t N$$

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}

Formula 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.

5. CORRELAZIONI GEOTECNICHE PER TERRENI INCOERENTI

Correzione N_{SPT} in presenza di falda

$$N_{SPT} \text{ corretto} = 15 + 0.5 \times (N_{SPT} - 15)$$

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 profondità < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. Correlazione storica molto usata, valevole per profondità < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq) $\phi' = 27.2 + 0.28 N_{SPT}$
- 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 (condizioni ottimali per profondità < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq. $\phi' = 28 + 0,28 N_{SPT}$
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38°. $\phi' = 19 - 0.38 \sigma'_{vo} + 8.73 \log(N_{SPT})$
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (condizioni ottimali per profondità > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°). $\phi' = 20 - 5 \log(\sigma'_{vo}) + 3.73 \log(N_{SPT})$
- Schmertmann 1977 - Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.
 $\phi' = 28 + 0.14 D_r$ per sabbia fine uniforme
 $\phi' = 31.5 + 0.115 D_r$ per sabbia media uniforme - Sabbia fine ben gradata
 $\phi' = 34.5 + 0.10 D_r$ per sabbia grossa uniforme - Sabbia media ben gradata
 $\phi' = 38 + 0.08 D_r$ per ghiaietto uniforme - Sabbie e ghiaie poco limose
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose. $\phi' = 0.3 N_{SPT} + 27$
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (condizioni ottimali per profondità di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq. $\phi' = (15 N_{SPT})^{0.5} + 15$
- Owasaki & Iwasaki (1959) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie-sabbie medie e grossolane-ghiaiose (condizioni ottimali per profondità > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq. $\phi' = (20 N_{SPT})^{0.5} + 15$
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
 $\phi' = 29.47 + 0.46 N_{SPT} - 0.004 N_{SPT}^2$ con limo < 5%
 $\phi' = 23.70 + 0.57 N_{SPT} - 0.006 N_{SPT}^2$ con limo > 5%
- 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.

$$Dr = 21 \sqrt{\frac{N_{SPT}}{0.7 + \sigma'_{vo}}}$$

- 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.

$$Dr = 100 \sqrt{\frac{N_{60}}{32 + 0.288 \sigma'_{vo}}}$$

- 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.

$$\ln(Dr) = 0,478 \ln(N_{SPT}) - 0,262 \ln(\sigma'_{vo}) + 2,84$$

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici.

$$E_Y = 8 N_{SPT} \quad \text{per sabbia fine}$$

$$E_Y = 12 N_{SPT} \quad \text{per sabbia media}$$

$$E_Y = 20 N_{SPT} \quad \text{per sabbia grossolana}$$

- Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici.

$$E_Y = C_1 + C_2 N_{SPT} \pm S_E \quad \text{dove } C_1 \text{ e } C_2 \text{ dipendono dal tipo di terreno e } S_E \text{ è la deviazione standard}$$

$$C_1 = 52, C_2 = 3.3, S_E = 19.3 \quad \text{per sabbia fine}$$

$$C_1 = 39, C_2 = 4.5, S_E = 36.4 \quad \text{per sabbia media}$$

$$C_1 = 24, C_2 = 5.3, S_E = 21.1 \quad \text{per sabbia limosa}$$

$$C_1 = 12, C_2 = 5.8, S_E = 9.0 \quad \text{per limo siltoso e sabbia limosa}$$

$$C_1 = 43, C_2 = 11.8, S_E = 42.3 \quad \text{per sabbia ghiaiosa}$$

$$C_1 = 38, C_2 = 10.5, S_E = 93.2 \quad \text{per sabbia e ghiaia}$$

- D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia

$$E_Y = 191 + 7.71 N_{SPT} \quad \text{per sabbia e ghiaia NC}$$

$$E_Y = 375 + 10.63 N_{SPT} \quad \text{per sabbia SC}$$

- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

$$E_Y = 3.2 (N_{SPT} + 15) \quad \text{per sabbia argillosa}$$

$$E_Y = 3.0 (N_{SPT} + 6) \quad \text{per sabbia limosa, limo sabbioso}$$

$$E_Y = 5.0 (N_{SPT} + 15) \quad \text{per sabbia media}$$

$$E_Y = 12.0 (N_{SPT} + 6) \quad \text{per sabbia ghiaiosa e ghiaia}$$

Modulo Edometrico (E_d)

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

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

$$E_d = 6 N_{SPT} \quad \text{per sabbie}$$

$$E_d = 8 N_{SPT} \quad \text{per sabbie argillose}$$

- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale dati). $E_d = 7.1 N_{SPT}$

- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

$$E_d = 3.54 N_{SPT} + 38 \quad \text{per sabbia fine}$$

$$E_d = 4.46 N_{SPT} + 38 \quad \text{per sabbia media}$$

$$E_d = 10.46 N_{SPT} + 38 \quad \text{per sabbia e ghiaia}$$

$$E_d = 11.84 N_{SPT} + 38 \quad \text{per sabbia ghiaiosa}$$

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di volume secco

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

Peso di volume saturo

- Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa $\gamma = 2,65 \text{ t/mc}$ e per peso di volume secco variabile da 1,33 ($N_{SPT} = 0$) a 1,99 ($N_{SPT} = 95$)

Nspt -> Y (PESO DI VOLUME) (Terreni coesivi)											
Ysat[t/m³]= peso di volume saturo Yd[t/m³]= peso di volume secco W = umidità % e = indice vuoti											
TERRENI GRANULARI (Terzaghi-Peck 1948/1967) [e,max = 1 e,min = 1/3 G = 2,65]											
Nspt	Ysat	Yd	Nspt	Ysat	Yd	Nspt	Ysat	Yd	Nspt	Ysat	Yd
0	1,83	1,33	25	2,02	1,64	50	2,15	1,85	75	2,20	1,93
5	1,88	1,41	30	2,05	1,69	55	2,16	1,87	80	2,21	1,95
10	1,93	1,50	35	2,08	1,73	60	2,17	1,88	85	2,23	1,97
15	1,96	1,54	40	2,10	1,77	65	2,18	1,90	90	2,24	1,99
20	1,99	1,59	45	2,13	1,81	70	2,19	1,92	95	2,24	1,99

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.

$$G = 650 N_{SPT}^{0.94} \quad \text{per sabbie pulite}$$

$$G = 1182 N_{SPT}^{0.76} \quad \text{per sabbie con fine plastico}$$

- 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.

$$G = 125 N_{SPT}^{0.611}$$

Modulo di reazione (Ko)

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

6. CORRELAZIONI GEOTECNICHE PER TERRENI COESIVI

Coazione 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.
- Sanglerat, da dati Penetrometro 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.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Schmertmann 1975 C_u (Kg/cm^q) (v. medi), valida per argille-limi argillosi con $N_c=20$ e $Q_c/N_{SPT}=2$.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u min-max (in kg/cm²).

$0 \div 2$	$0.00 \div 0.15$
$2 \div 4$	$0.15 \div 0.25$
$4 \div 8$	$0.25 \div 0.50$
$8 \div 15$	$0.50 \div 1.00$
$15 \div 30$	$1.00 \div 2.00$
> 30	> 2.00
- 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 Coazione 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/cm^q) (valori minimi), valida per argille NC.
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago). Coazione non drenata C_u (Kg/cm^q), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Shioi-Fukuni 1982, valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Qc)

- Robertson 1983 Q_c

$Q_c = 1.5 N_{SPT}$	per argilla limosa o sabbiosa (valore minimo)
$Q_c = 2.0 N_{SPT}$	per argilla limosa o sabbiosa (valore medio)

Modulo Edometrico-Confinato (Mo)

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

$$E_Y = C_1 + C_2 N_{SPT} \pm S_E$$
dove C_1 e C_2 valgono rispettivamente 4 e 11.5, mentre S_E , la deviazione standard, è pari a 24.4
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di volume secco

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

Peso di volume saturo

- Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa $G=2,70$ (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 ($N_{SPT}=0$) a 0,545 ($N_{SPT}=28$).

N _{spt} -> Y (PESO DI VOLUME) (Terreni coesivi)											
Y _{sat} [t/m ³]= peso di volume saturo Y _d [t/m ³]= peso di volume secco W = umidità % e = indice vuoti											
TERRENI GRANULARI (Terzaghi-Peck 1948/1967) [e.max = 1 e.min = 1/3 G = 2.65]											
N _{spt}	Y _{sat}	Y _d	N _{spt}	Y _{sat}	Y _d	N _{spt}	Y _{sat}	Y _d	N _{spt}	Y _{sat}	Y _d
0	1,83	1,33	25	2,02	1,64	50	2,15	1,85	75	2,20	1,93
5	1,88	1,41	30	2,05	1,69	55	2,16	1,87	80	2,21	1,95
10	1,93	1,50	35	2,08	1,73	60	2,17	1,88	85	2,23	1,97
15	1,96	1,54	40	2,10	1,77	65	2,18	1,90	90	2,24	1,99
20	1,99	1,59	45	2,13	1,81	70	2,19	1,92	95	2,24	1,99

7. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



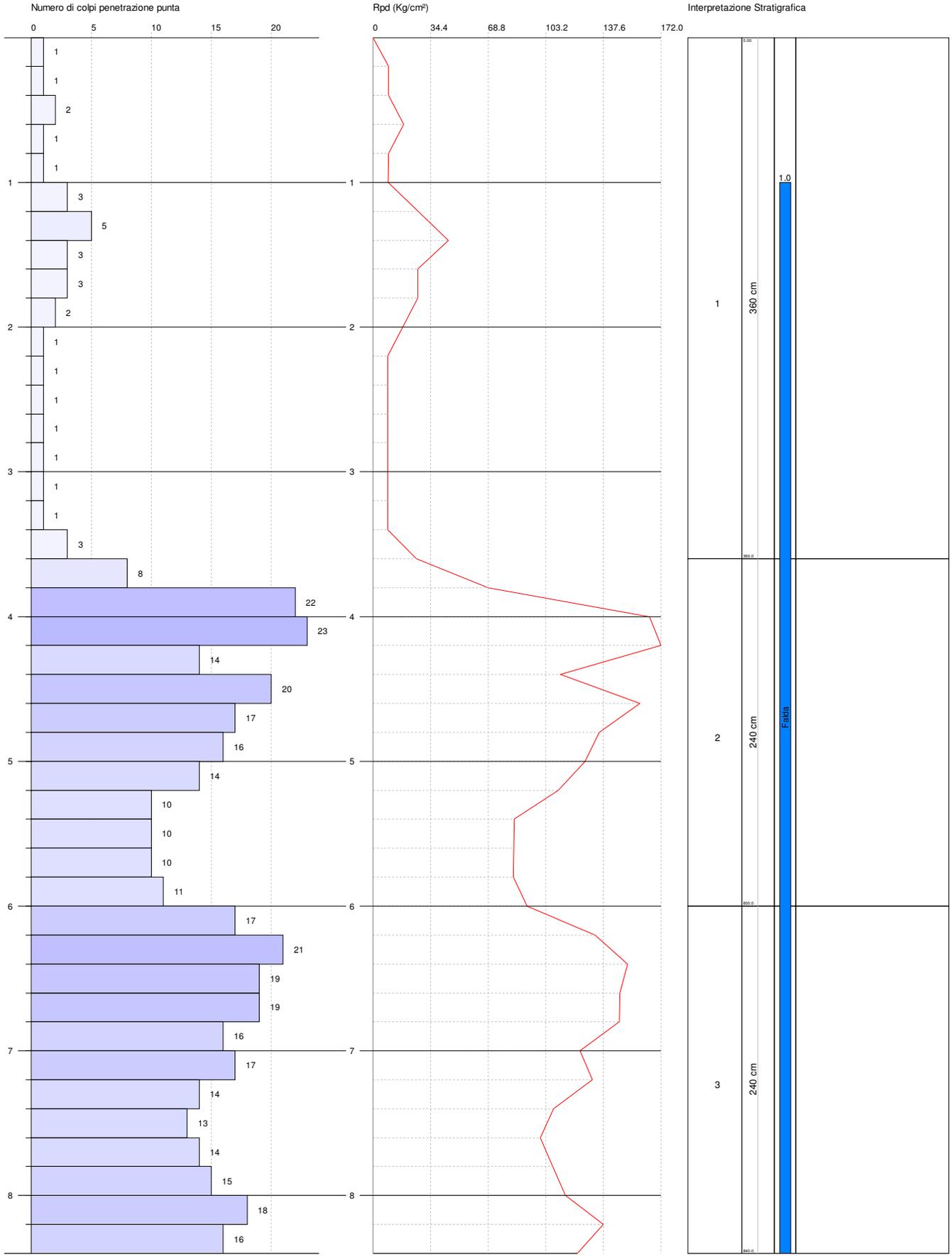
Posizionamento Prova N. 1

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N. 1
 Strumento utilizzato... PENETROMETRO PAGANI TG 63-100 DPSH-B (Standard: UNI EN ISO 22476-2:2005)

Committente: dott. geol. Iacopino Pasquale per conto della Provincia di Reggio Calabria
 Cantiere: "Lavori di difesa costiera a Caulonia (RC)"
 Località: Arenile, Caulonia Marina (RC)

Data: 13/03/2017

Scala 1:37



PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...PENETROMETRO PAGANI TG 63-100 DPSH-B (Standard: UNI EN ISO 22476-2:2005)

Prova eseguita in data

13/03/2017

Profondità prova

8.40 mt

Falda rilevata

Profondità (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	9.21	10.78	0.46	0.54
0.40	1	0.851	9.17	10.78	0.46	0.54
0.60	2	0.847	18.26	21.56	0.91	1.08
0.80	1	0.843	9.09	10.78	0.45	0.54
1.00	1	0.840	9.05	10.78	0.45	0.54
1.20	3	0.836	27.05	32.34	1.35	1.62
1.40	5	0.833	44.89	53.90	2.24	2.70
1.60	3	0.830	26.83	32.34	1.34	1.62
1.80	3	0.826	26.73	32.34	1.34	1.62
2.00	2	0.823	17.75	21.56	0.89	1.08
2.20	1	0.820	8.84	10.78	0.44	0.54
2.40	1	0.817	8.81	10.78	0.44	0.54
2.60	1	0.814	8.78	10.78	0.44	0.54
2.80	1	0.811	8.75	10.78	0.44	0.54
3.00	1	0.809	8.72	10.78	0.44	0.54
3.20	1	0.806	8.69	10.78	0.43	0.54
3.40	1	0.803	8.66	10.78	0.43	0.54
3.60	3	0.801	25.90	32.34	1.30	1.62
3.80	8	0.798	68.86	86.25	3.44	4.31
4.00	22	0.696	165.08	237.17	8.25	11.86
4.20	23	0.694	172.01	247.95	8.60	12.40
4.40	14	0.741	111.90	150.93	5.60	7.55
4.60	20	0.739	159.39	215.61	7.97	10.78
4.80	17	0.737	135.09	183.27	6.75	9.16
5.00	16	0.735	126.78	172.49	6.34	8.62
5.20	14	0.733	110.63	150.93	5.53	7.55
5.40	10	0.781	84.20	107.81	4.21	5.39
5.60	10	0.779	84.00	107.81	4.20	5.39
5.80	10	0.777	83.80	107.81	4.19	5.39
6.00	11	0.775	91.96	118.59	4.60	5.93
6.20	17	0.724	132.64	183.27	6.63	9.16
6.40	21	0.672	152.14	226.39	7.61	11.32
6.60	19	0.720	147.55	204.83	7.38	10.24
6.80	19	0.719	147.22	204.83	7.36	10.24
7.00	16	0.717	123.71	172.49	6.19	8.62
7.20	17	0.716	131.16	183.27	6.56	9.16
7.40	14	0.714	107.79	150.93	5.39	7.55
7.60	13	0.713	99.88	140.15	4.99	7.01
7.80	14	0.711	107.35	150.93	5.37	7.55
8.00	15	0.710	114.80	161.71	5.74	8.09
8.20	18	0.709	137.50	194.05	6.87	9.70
8.40	16	0.707	121.99	172.49	6.10	8.62

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA N. 1**TERRENI COESIVI****Coesione non drenata (Kg/cm²)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948) Cu min max	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] -	2.7	3.60	0.17	0.34	0.15 - 0.25	0.11	0.26	0.58	0.25	0.64	0.14	0.48	0.34
[2] -	22.09	6.00	1.49	2.76	1.00 - 2.00	0.85	2.19	4.72	1.86	2.28	1.11	3.95	2.76
[3] -	25.12	8.40	1.70	3.14	1.00 - 2.00	0.96	2.49	5.36	2.08	2.58	1.26	3.29	3.14

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] -	2.7	3.60	Robertson (1983)	5.40
[2] -	22.09	6.00	Robertson (1983)	44.18
[3] -	25.12	8.40	Robertson (1983)	50.24

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] -	2.7	3.60	12.39	40.50	29.33	33.75
[2] -	22.09	6.00	101.35	--	227.10	220.90
[3] -	25.12	8.40	115.25	--	258.00	251.20

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] -	2.7	3.60	10.65	27.00
[2] -	22.09	6.00	233.64	220.90
[3] -	25.12	8.40	268.48	251.20

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] -	2.7	3.60	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
[2] -	22.09	6.00	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
[3] -	25.12	8.40	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] -	2.7	3.60	Meyerhof	1.61
[2] -	22.09	6.00	Meyerhof	2.11
[3] -	25.12	8.40	Meyerhof	2.12

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] -	2.7	3.60	Meyerhof	1.86
[2] -	22.09	6.00	Meyerhof	2.15
[3] -	25.12	8.40	Meyerhof	2.23

TERRENI INCOERENTI**Densità relativa**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	2.7	3.60	17.65	43.82	0	14.44
[2] -	22.09	6.00	72.96	100	0	49.01
[3] -	25.12	8.40	73.82	100	0	51.32

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson - Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof of (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof of (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasa ki & Iwasaki
[1] -	2.7	3.60	2.7	27.77	20.77	28.76	26.61	30.68	0	<30	21.36	27.81	27.98	22.35
[2] -	22.09	6.00	18.545	32.3	25.3	33.19	29.73	36.63	42	30-32	31.68	32.56	45.94	34.26
[3] -	25.12	8.40	20.06	32.73	25.73	33.62	29.86	37.09	42	30-32	32.35	33.02	46.53	35.03

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] -	2.7	3.60	2.7	---	21.60	---	---	---
[2] -	22.09	6.00	18.545	307.39	148.36	219.53	319.09	167.73
[3] -	25.12	8.40	20.06	319.70	160.48	237.41	330.45	175.30

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] -	2.7	3.60	2.7	---	33.01	19.17	50.04
[2] -	22.09	6.00	18.545	111.27	65.56	131.67	120.71
[3] -	25.12	8.40	20.06	120.36	68.67	142.43	127.47

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] -	2.7	3.60	2.7	Classificazione A.G.I.	SCIOLTO
[2] -	22.09	6.00	18.545	Classificazione A.G.I.	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] -	25.12	8.40	20.06	Classificazione A.G.I.	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
[1] -	2.7	3.60	2.7	Meyerhof ed altri	1.38
[2] -	22.09	6.00	18.545	Meyerhof ed altri	1.58
[3] -	25.12	8.40	20.06	Meyerhof ed altri	1.60

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[1] -	2.7	3.60	2.7	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.86
[2] -	22.09	6.00	18.545	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.98
[3] -	25.12	8.40	20.06	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.99

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] -	2.7	3.60	2.7	(A.G.I.)	0.35
[2] -	22.09	6.00	18.545	(A.G.I.)	0.32
[3] -	25.12	8.40	20.06	(A.G.I.)	0.31

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] -	2.7	3.60	2.7	165.35	229.34
[2] -	22.09	6.00	18.545	1011.69	744.38
[3] -	25.12	8.40	20.06	1089.19	780.97

Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] -	2.7	3.60	2.7	Navfac 1971-1982	0.44
[2] -	22.09	6.00	18.545	Navfac 1971-1982	3.79
[3] -	25.12	8.40	20.06	Navfac 1971-1982	4.06

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
[1] -	2.7	3.60	2.7	Robertson 1983	5.40
[2] -	22.09	6.00	18.545	Robertson 1983	37.09
[3] -	25.12	8.40	20.06	Robertson 1983	40.12

Marina di Palizzi (RC), Marzo 2017

Il Tecnico Prospettore - dott. Stefano Sgrò

GeoSGRO' di Stefano Sgrò
 Via Aiella, 70; 89038 Marina di Palizzi (RC)
 P.IVA. 02214640803 - REA RC n. 176219





PROVINCIA DI REGGIO CALABRIA

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

PROSPEZIONE SISMICA MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

“Lavori di difesa costiera a Caulonia (RC)”



Committente: dott. geol. Iacopino Pasquale
per conto della Provincia di Reggio Calabria

Località: Arenile, Caulonia Marina (RC)

Data: Marzo 2017

Per presa visione
dott. geol. Iacopino Pasquale

Il Tecnico Prospettore:
dott. Stefano SGRO'

GeoSGRO' di Stefano Sgrò
Via Ariella, 70; 89038 Marina di Palizzi (RC)
P.IVA: 02214640803 - REA RC N. 176219

GeoSGRO'
SERVIZI PER LA GEOLOGIA

dott. Stefano Sgrò
Via Ariella, 70;
89038 Marina di Palizzi (RC)
Tel/Fax: 0965 763587
cell. 347 9623327

C.F.: SGRSFN73C21H224Q
Partita IVA: 02214640803
Iscrizione REA N. 176219
Albo Imprese Artigiane N. 46984
www.geosgro.it - geosgro@gmail.com

1. PREMESSA

A seguito dell'incarico conferito dal dott. geol. Iacopino Pasquale, per conto della Provincia di Reggio Calabria, la GeoSGRO' di Stefano Sgrò ha condotto una campagna d'indagine geognostica attraverso l'esecuzione di N. 1 prospezione sismica Masw (Multichannel Analysis of Surface Waves). Tale campagna d'indagine è stata eseguita il giorno 13 marzo 2017 in località Caulonia Marina (RC) nell'ambito del Progetto: *“Lavori di difesa costiera a Caulonia (RC)”*.

L'ubicazione della base sismica è stata disposta dal tecnico cui è stata affidata la progettazione e la Direzione Lavori delle indagini geognostiche.

La campagna d'indagine geofisica, condotta nel rispetto dello stato dell'arte e delle linee guida dettate dalla letteratura scientifica, è conforme alla vigente normativa sismica e in particolare ai contenuti dell'O.P.C.M. n. 3274/2003 *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”* e s.m.i., al D.M. 14 gennaio 2008 *“Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”* e alla Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, contenente le Istruzioni per l'applicazione delle *“Nuove norme tecniche per le costruzioni”* di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

2. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Vista ubicazione base sismica MASW

3. PROSPEZIONI SISMICHE BASATE SULL'ANALISI DELLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde 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 rispetto alla direzione di propagazione delle onde che vengono generate.

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione. In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda. La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).

La determinazione della velocità delle onde di taglio V_s tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).

I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione innanzitutto della V_s , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dalle recenti normative antisismiche (D.M. 14.01.2008 "Norme tecniche per le Costruzioni").

La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle V_s , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati.

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione.

Le tecniche di analisi delle onde di Rayleigh vengono realizzate con procedure operative poco onerose ed hanno un grado di incertezza nella determinazione delle V_s <15%.

La modellazione del sottosuolo mediante l'impiego di comuni geofoni verticali a 4.5Hz e l'analisi delle onde superficiali di Rayleigh viene ottenuta con le seguenti metodologie: ReMi (Refraction Microtremor), FTAN (Frequency Time ANalysis), SASW (Spectral Analysis of Surface Waves), MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

4. PROSPEZIONI SISMICHE MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Il metodo MASW (Park et al., 1999), sviluppato in parte per superare le difficoltà dell'applicazione del SASW in ambienti rumorosi, è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde S. Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale.

L'analisi delle onde S, mediante tecnica MASW, viene eseguita attraverso la trattazione spettrale del sismogramma, a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale. In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale. L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione, ed è caratteristico di questo tipo di onde. La registrazione simultanea di 24 canali, separati da 0,5m a 10m, 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 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 Vs 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 deve essere considerata una interpretazione, e per questo i migliori software di analisi di dati MASW consentono di modificare anche manualmente la curva di dispersione per soddisfare le esigenze che derivano dal contesto geologico locale. 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, e indipendentemente dal software usato, può anch'essa avvenire in maniera automatica e/o manuale. 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 geologicamente migliore.

5. DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE

Il sismografo DoReMi a 24 canali della SARA electronic instruments s.r.l., ha le seguenti caratteristiche strumentali:

Campionamento	
Memoria:	64 kByte (>30000 campioni)
Frequenze in Hz:	200,300,400,500,800,1000,2000,3000,4000,8000,10000,20000
pari ad intervalli in ms di:	5, 3.33, 2.5, 2, 1,25, 1, 0.5, 0.33, 0.25, 0.125, 0.1, 0.05
Dinamica del sistema	
Risoluzione con guadagno 10x:	7.600 μ V
Risoluzione con guadagno 1000x:	0.076 μ V
Dinamica di base:	96dB (16 bit)
Dinamica massima del preamplificatore:	80dB
Signal to Noise Ratio RMS fra 0.5 e 30Hz:	>90dB
Full range a 10x:	0.5V p-p
Risoluzione RMS a 1000x e 4000SPS:	0.0000002V p-p
Dinamica totale teorica:	155dB
Dinamica totale senza postprocessing:	> 127dB (a qualsiasi frequenza di campionamento)
Dinamica totale in postprocessing:	>140dB
Convertitore A/D	
Tipologia:	SAR
Risoluzione:	16 bit
Dinamica:	96 dB
Preamplificatore	
Tipologia:	ultra-low noise con ingresso differenziale
Filtri:	3Hz passa alto 1 polo, 200Hz passa basso 4 poli
Guadagni:	da 10x a 8000x
Reiezione di modo comune:	>80dB
Impedenza d'ingresso:	>100k Ω

6. MODALITA' ESECUTIVE DELLA PROVA E ACQUISIZIONE DATI

La prospezione sismica Masw è stata condotta con uno stendimento geofonico di 48m (Figura 1). Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con offset di 2.00m (x). Come sorgente sismica è stata utilizzata una mazza da 8kg che impatta verticalmente su una piastra circolare in alluminio. Al fine di avere più *dataset*, sono state eseguite più acquisizioni con diversi *offset minimi* (2X; 4X; ...).

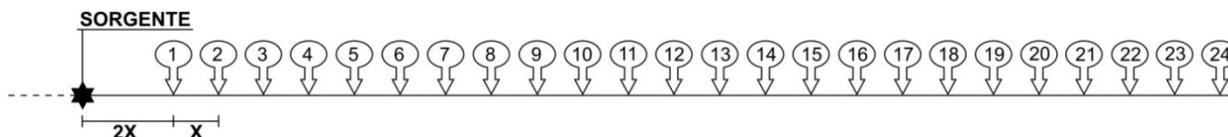


Figura 1: schema stendimento base sismica MASW

7. ELABORAZIONE DATI

L'intero processo di elaborazione dei dati e dell'inversione delle curve di dispersione è stato effettuato con il programma winMASW 5.2 PRO della Eliosoft (licenza d'uso: Geosgrò di Stefano Sgrò). Gli elaborati relativi alla prova effettuata sono riportati di seguito (Figura 2 - 4):

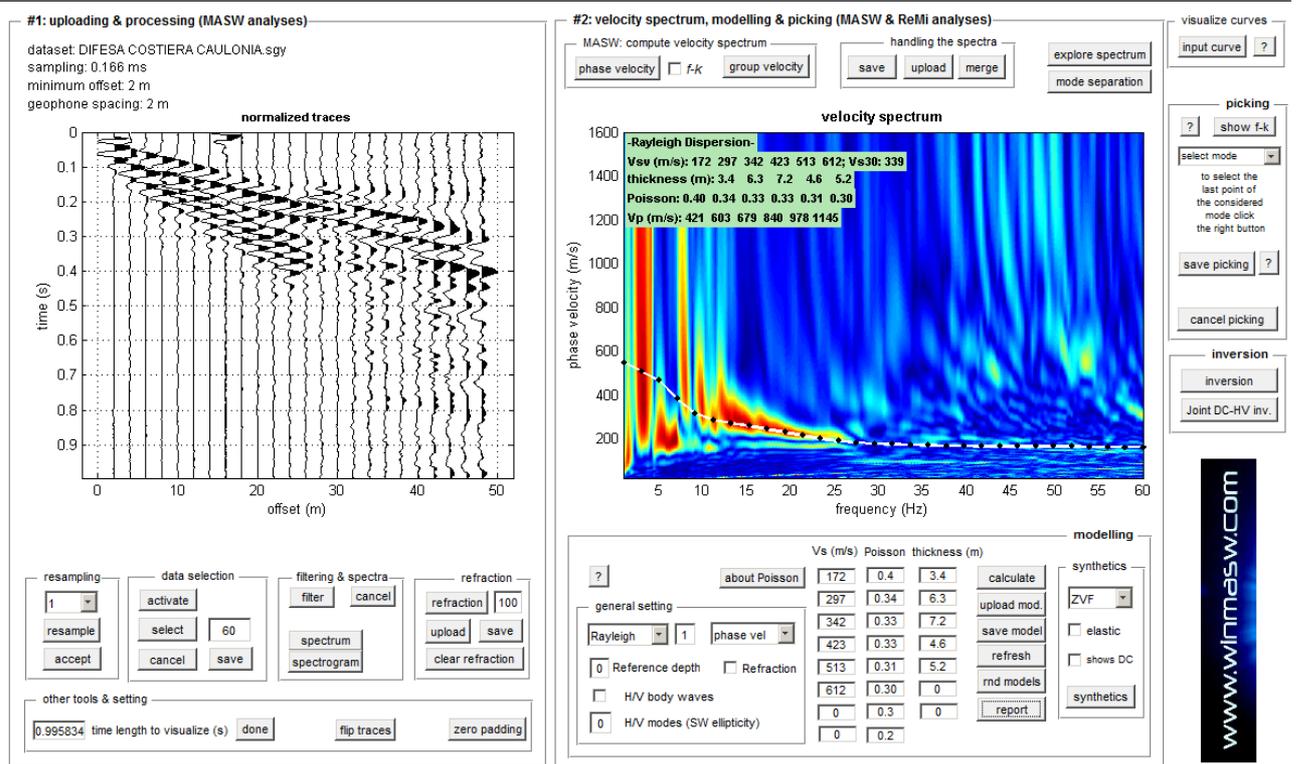


Figura 2: Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato

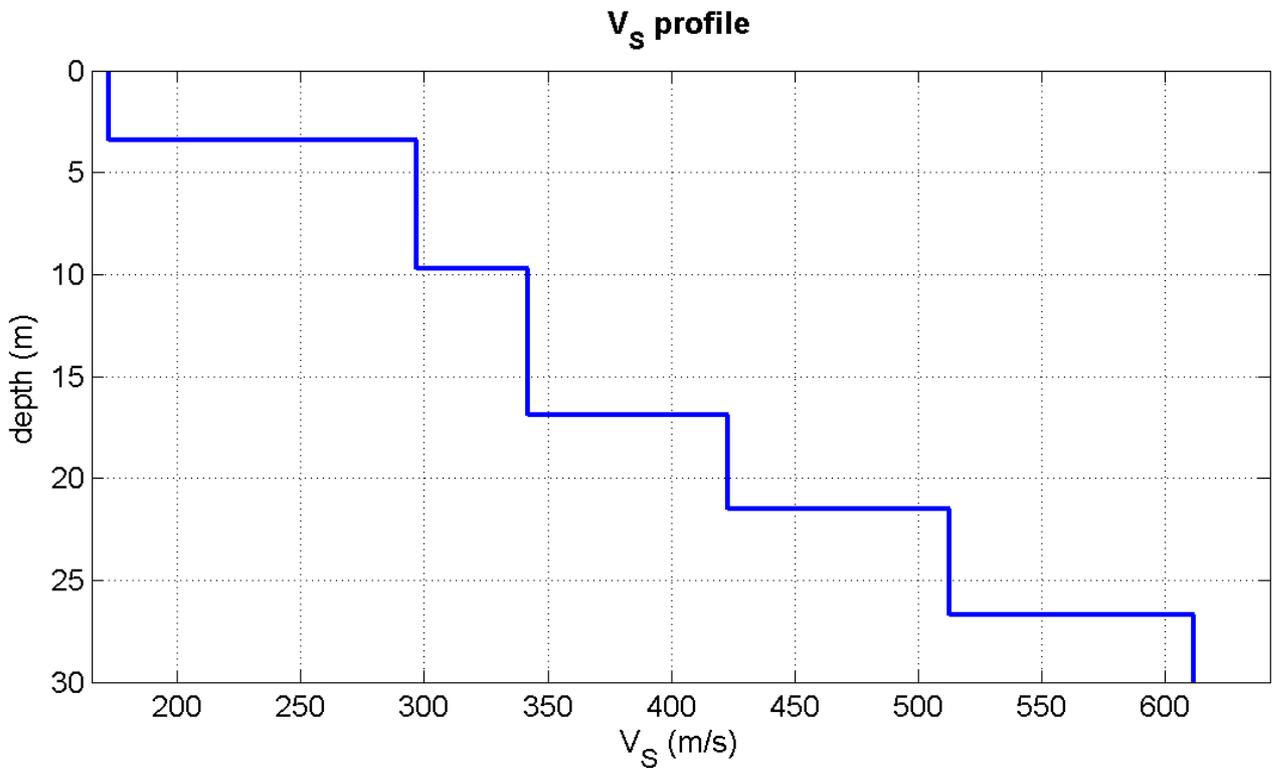


Figura 3: Profilo verticale Vs identificato

8. SISMOSTRATIGRAFIA

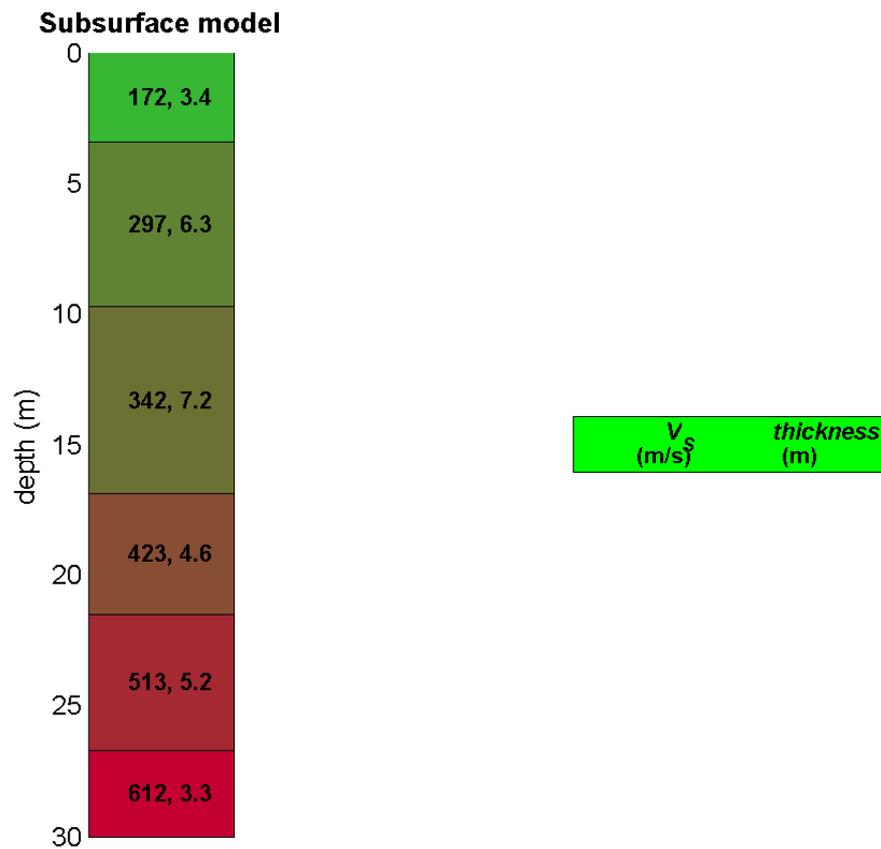


Figura 4: Sismostratigrafia a partire dal piano campagna.

9. CALCOLO Vs30 (D.M. 14/01/2008 N.T.C.)

La velocità media equivalente di propagazione, entro 30 m di profondità, delle onde di taglio viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ m/s}$$

dove: h_i = spessore dell' i -esimo strato nei primi 30 m;

$V_{s,i}$ = velocità delle onde S nell' i -esimo strato;

N = numero di strati nei primi 30 m di profondità;

Il valore della velocità media equivalente delle onde di taglio (V_{s30}), ottenuto dal Modello Medio dell'elaborazione dei dati acquisiti attraverso la base sismica, è risultato essere in riferimento al piano campagna:

$$\mathbf{V_{s,30} (0.00 - 30.00) = 339 \text{ m/s}}$$

Se si considerano diverse profondità per il piano fondazionale, il parametro V_{s30} di cui sopra diventa:

- al piano fondazionale posto a -1.00m dal p.c.: **$V_{s,30} (1.00 - 31.00) = 356 \text{ m/s}$**
- al piano fondazionale posto a -1.50m dal p.c.: **$V_{s,30} (1.50 - 31.50) = 365 \text{ m/s}$**
- al piano fondazionale posto a -2.00m dal p.c.: **$V_{s,30} (2.00 - 32.00) = 375 \text{ m/s}$**
- al piano fondazionale posto a -2.50m dal p.c.: **$V_{s,30} (2.50 - 32.50) = 385 \text{ m/s}$**
- al piano fondazionale posto a -3.00m dal p.c.: **$V_{s,30} (3.00 - 33.00) = 395 \text{ m/s}$**

Marina di Palizzi (RC), Marzo 2017

Il Tecnico Prospettore - dott. Stefano Sgrò

GeoSGRO' di Stefano Sgrò
Via A. della, 70: 89038 Marina di Palizzi (RC)
P.IVA. 02214540803 - REA RC N. 176219





PROVINCIA DI REGGIO CALABRIA

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE
TOMOGRAFIA SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P

“Lavori di difesa costiera a Caulonia (RC)”



Committente: dott. geol. Iacopino Pasquale
per conto della Provincia di Reggio Calabria

Località: Arenile, Caulonia Marina (RC)

Data: Marzo 2017

Per presa visione
dott. geol. Iacopino Pasquale

Il Tecnico Prospettore:
dott. Stefano SGRO'

GeoSGRO' di Stefano Sgrò
Via Ariella, 70; 89038 Marina di Palizzi (RC)
P.IVA 02214540803 - REA RC N. 176219

GeoSGRO'
SERVIZI PER LA GEOLOGIA

dott. Stefano Sgrò
Via Ariella, 70;
89038 Marina di Palizzi (RC)
Tel/Fax: 0965 763587
cell. 347 9623327

C.F.: SGRSFN73C21H224Q
Partita IVA: 02214640803
Iscrizione REA N. 176219
Albo Imprese Artigiane N. 46984
www.geosgro.it - geosgro@gmail.com

1. PREMESSA

A seguito dell'incarico conferito dal dott. geol. Iacopino Pasquale, per conto della Provincia di Reggio Calabria, la GeoSGRO' di Stefano Sgrò ha condotto una campagna d'indagine geofisica attraverso l'esecuzione di N. 1 Tomografia sismica a Rifrazione in Onde P. Tale campagna d'indagine è stata eseguita il giorno 13 marzo 2017 in località Caulonia Marina (RC) nell'ambito del Progetto: *“Lavori di difesa costiera a Caulonia (RC)”*.

L'ubicazione delle basi sismiche è stata disposta dal tecnico cui è stata affidata la progettazione e la Direzione Lavori delle indagini geognostiche.

La campagna d'indagine geofisica, condotta nel rispetto dello stato dell'arte e delle linee guida dettate dalla letteratura scientifica, è conforme alla vigente normativa sismica e in particolare ai contenuti dell'O.P.C.M. n. 3274/2003 *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”* e s.m.i., al D.M. 14 gennaio 2008 *“Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”* e alla Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, contenente le Istruzioni per l'applicazione delle *“Nuove norme tecniche per le costruzioni”* di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

2. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Vista ubicazione BASE SISMICA A RIFRAZIONE

3. IL METODO SISMICO A RIFRAZIONE

La sismica a rifrazione utilizza le onde acustiche nei corpi solidi. La generazione delle onde acustiche avviene utilizzando come energizzazione un martello percussore, una massa battente oppure una piccola carica esplosiva. Le onde sismiche (sonore) viaggiano nel sottosuolo a diverse velocità a seconda dei litotipi attraversati e subiscono lungo le superfici di discontinuità geologica i fenomeni della riflessione, rifrazione e diffrazione.

Le superfici di confine degli strati geologici, caratterizzati da una differenza di velocità tra lo strato superiore (V_1) e lo strato ad esso sottostante (V_2), producono dei raggi rifratti che viaggeranno parallelamente alla superficie di discontinuità (con la stessa velocità dello strato "più veloce") rifrangendo continuamente verso l'alto (quindi verso lo strato "più lento") energia elastica.

Una delle condizioni principali per l'applicazione del metodo della sismica a rifrazione è che la velocità di propagazione delle onde sismiche aumenti con la profondità ($V_1 < V_2$). Un altro requisito indispensabile per il buon funzionamento di questa metodologia è che gli strati posseggano uno spessore sufficiente per essere rilevati; in caso contrario occorre aumentare il numero di geofoni e diminuirne la spaziatura.

L'energia rifratta che ritorna alla superficie viene misurata utilizzando dei geofoni.

Attraverso lo studio dei tempi di percorso e quindi delle velocità si può risalire alla disposizione geometrica ed alle caratteristiche meccanico-elastiche dei litotipi presenti nella zona di indagine.

È buona norma commisurare l'intensità dell'energizzazione alla lunghezza dello stendimento e, quando possibile utilizzare le opzioni di controllo automatico del guadagno. Diversamente i primi arrivi potrebbero essere difficili da riconoscere sia per l'eccessiva debolezza del segnale (geofoni lontani dal punto di scoppio) sia per la possibile saturazione dei geofoni più vicini.

4. IL COMPORTAMENTO SISMICO DELLE ONDE P

Le onde P sono anche chiamate Onde Primarie in quanto si propagano nel mezzo attraversato con maggiore velocità rispetto alle altre onde. Nelle onde P, le particelle che costituiscono il mezzo attraversato vengono spostate nello stesso senso di propagazione dell'onda, in questo caso, in senso radiale. Quindi, il materiale si estende e si comprime con il propagarsi dell'onda. Le onde P viaggiano attraverso il terreno in modo analogo a quello delle onde sonore attraverso l'aria.

La velocità con la quale le onde P si propagano in un mezzo dipende dalle proprietà fisiche (cioè rigidità, densità, saturazione) e dal grado di omogeneità del terreno. Dalla sorgente di energizzazione viene emanato un "treno d'onde" i cui segnali saranno rilevati dalle stazioni riceventi ad intervalli di tempo dipendenti dalle caratteristiche elastiche del terreno. La registrazione grafica del treno d'onda in arrivo è chiamata "sismogramma". I fronti d'onda possono essere superfici sferiche o di forma qualsiasi. La propagazione di onde può quindi essere interpretata come una continua generazione di onde circolari che interferendo fra loro danno luogo a un'onda risultante osservabile macroscopicamente.

Le semirette normali ai fronti d'onda sono chiamate "raggi sismici" ed indicano la direzione di propagazione dell'onda elastica.

Per l'analisi dei dati ottenuti tramite la sismica a rifrazione, è usuale considerare sia le immagini delle onde sismiche sia i percorsi dei raggi sismici. Questi ultimi possono sostituire i fronti d'onda con buona approssimazione, permettendo di trattare soltanto i tempi di percorso delle onde elastiche e non tutte le altre grandezze tipiche di un fenomeno ondulatorio quali ampiezza, frequenza e fase.

Quando un raggio incontra un'eterogeneità sul percorso, per esempio un contatto litologico con un altro materiale, il raggio incidente si trasforma in diversi nuovi raggi. Gli angoli che il raggio incidente, i raggi riflessi ed i raggi rifratti formano con la normale alla superficie di contatto tra i due materiali sono legati fra loro ed alle velocità di propagazione da alcune relazioni note come "leggi di SNELL".

5. DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE

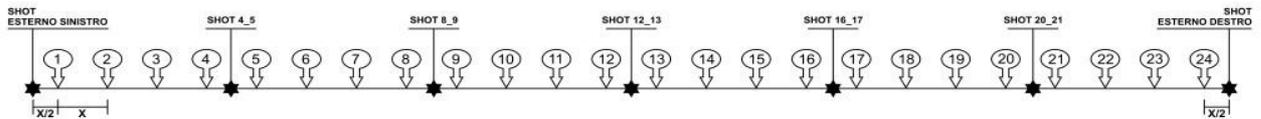
Il sismografo DoReMi a 24 canali della SARA electronic instruments s.r.l., ha le seguenti caratteristiche strumentali:

Campionamento	
Memoria:	64 kByte (>30000 campioni)
Frequenze in Hz:	200,300,400,500,800,1000,2000,3000,4000,8000,10000,20000
pari ad intervalli in ms di:	5, 3.33, 2.5, 2, 1,25, 1, 0.5, 0.33, 0.25, 0.125, 0.1, 0.05
Dinamica del sistema	
Risoluzione con guadagno 10x:	7.600 μ V
Risoluzione con guadagno 1000x:	0.076 μ V
Dinamica di base:	96dB (16 bit)
Dinamica massima del preamplificatore:	80dB
Signal to Noise Ratio RMS fra 0.5 e 30Hz:	>90dB
Full range a 10x:	0.5V p-p
Risoluzione RMS a 1000x e 4000SPS:	0.0000002V p-p
Dinamica totale teorica:	155dB
Dinamica totale senza postprocessing:	> 127dB (a qualsiasi frequenza di campionamento)
Dinamica totale in postprocessing:	>140dB
Convertitore A/D	
Tipologia:	SAR
Risoluzione:	16 bit
Dinamica:	96 dB
Preamplificatore	
Tipologia:	ultra-low noise con ingresso differenziale
Filtri:	3Hz passa alto 1 polo, 200Hz passa basso 4 poli
Guadagni:	da 10x a 8000x
Reiezione di modo comune:	>80dB
Impedenza d'ingresso:	>100k Ω

6. MODALITA' ESECUTIVE DELLA PROVA E ACQUISIZIONE DATI

La prospezione sismica a rifrazione è stata condotta con uno stendimento geofonico di 48m. Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali (Geospace) posizionati lungo il profilo di indagine con offset di 2.00m. Come sorgente sismica è stata utilizzata una mazza da 8kg che impatta verticalmente su una piastra circolare in alluminio.

Per la disposizione dei geofoni, è stato definito un allineamento mantenendo una equidistanza ripetitiva lungo tutta la tratta della base sismica, come evidenziato nello schema sottostante.



Per quanto riguarda l'inizio della registrazione è stato utilizzato un geofono "starter" posizionato in aderenza alla piastra di battuta e collegato allo strumento in modo da garantire uno scarto di errore sul "Tempo Zero" non superiore a 1msec.

Per la base sismica sono stati effettuati N. 7 punti di energizzazione (tiri o shot) lungo lo stendimento sismico:

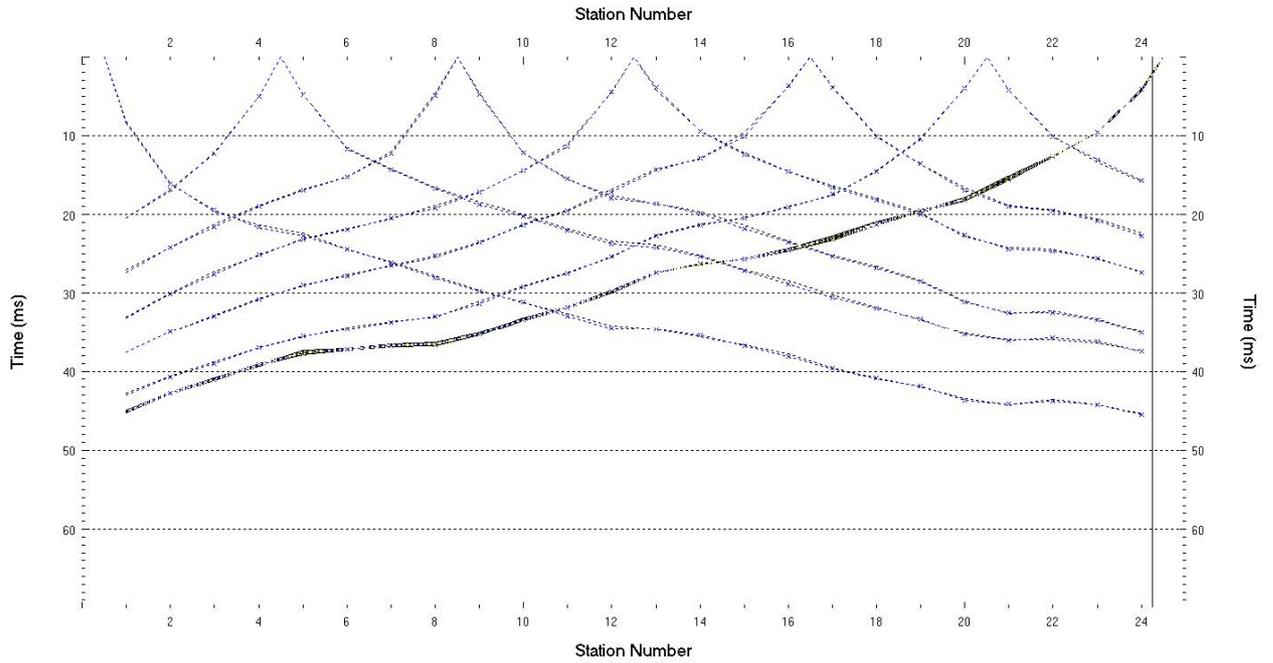
- energizzazione posta a $X/2$ verso l'esterno rispetto al geofono N. 1 (shot estremo sinistro)
- energizzazione posta tra i geofoni N. 4 e N. 5 (shot 4_5)
- energizzazione posta tra i geofoni N. 8 e N. 9 (shot 8_9)
- energizzazione posta tra i geofoni N. 12 e N. 13 (shot 12_13)
- energizzazione posta tra i geofoni N. 16 e N. 17 (shot 16_17)
- energizzazione posta tra i geofoni N. 20 e N. 21 (shot 20_21)
- energizzazione posta a $X/2$ verso l'esterno rispetto al geofono N. 24 (shot estremo destro)

I segnali sismici sono stati acquisiti in formato digitale e successivamente trasferimenti verso il software di elaborazione.

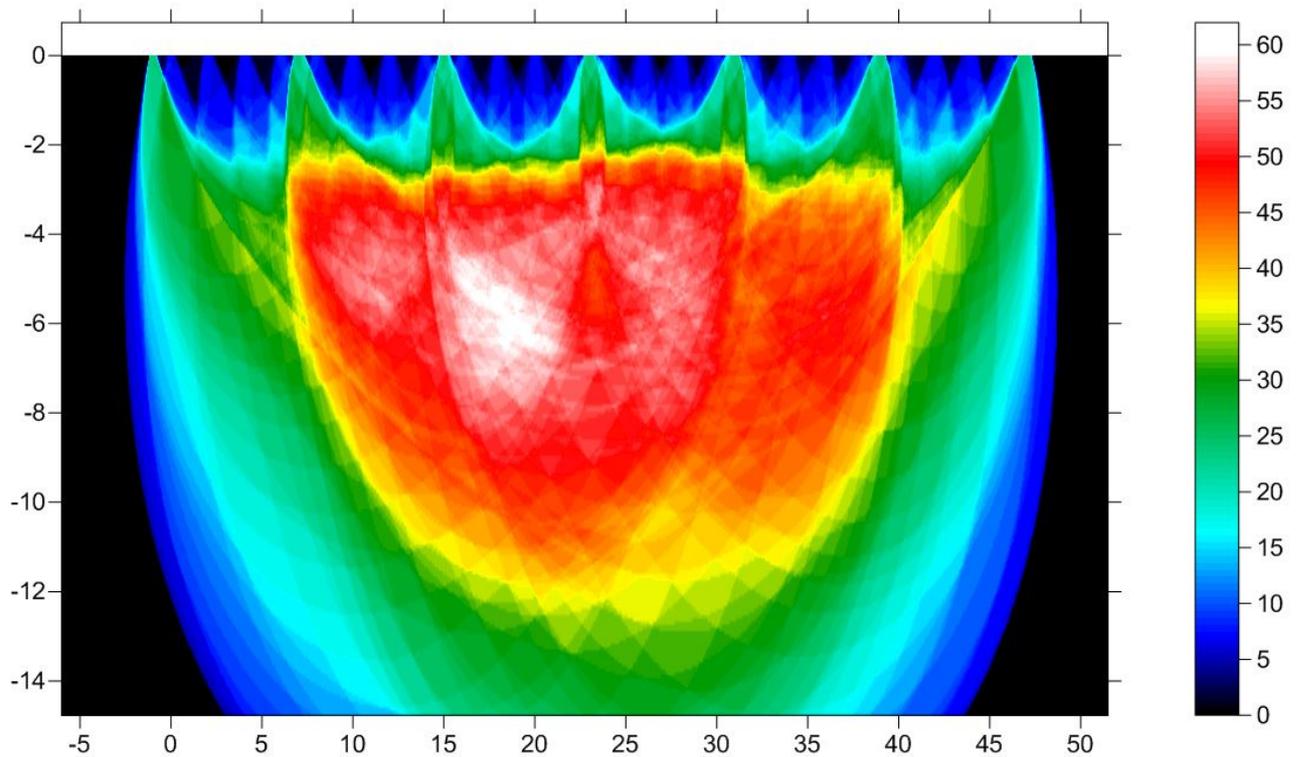
7. ELABORAZIONE DATI

L'intero processo di elaborazione dei dati è stato effettuato con il programma *RAYFRACT* della *Intelligent Resources Inc.* (licenza d'uso Geosgrò di Stefano Sgrò). La successiva fase di imaging è stata eseguita con il programma *SURFER 11* della *Golden Software Inc.* (licenza d'uso Geosgrò di Stefano Sgrò). Gli elaborati relativi alla prova eseguita sono riportati di seguito:

DROMOCRONE

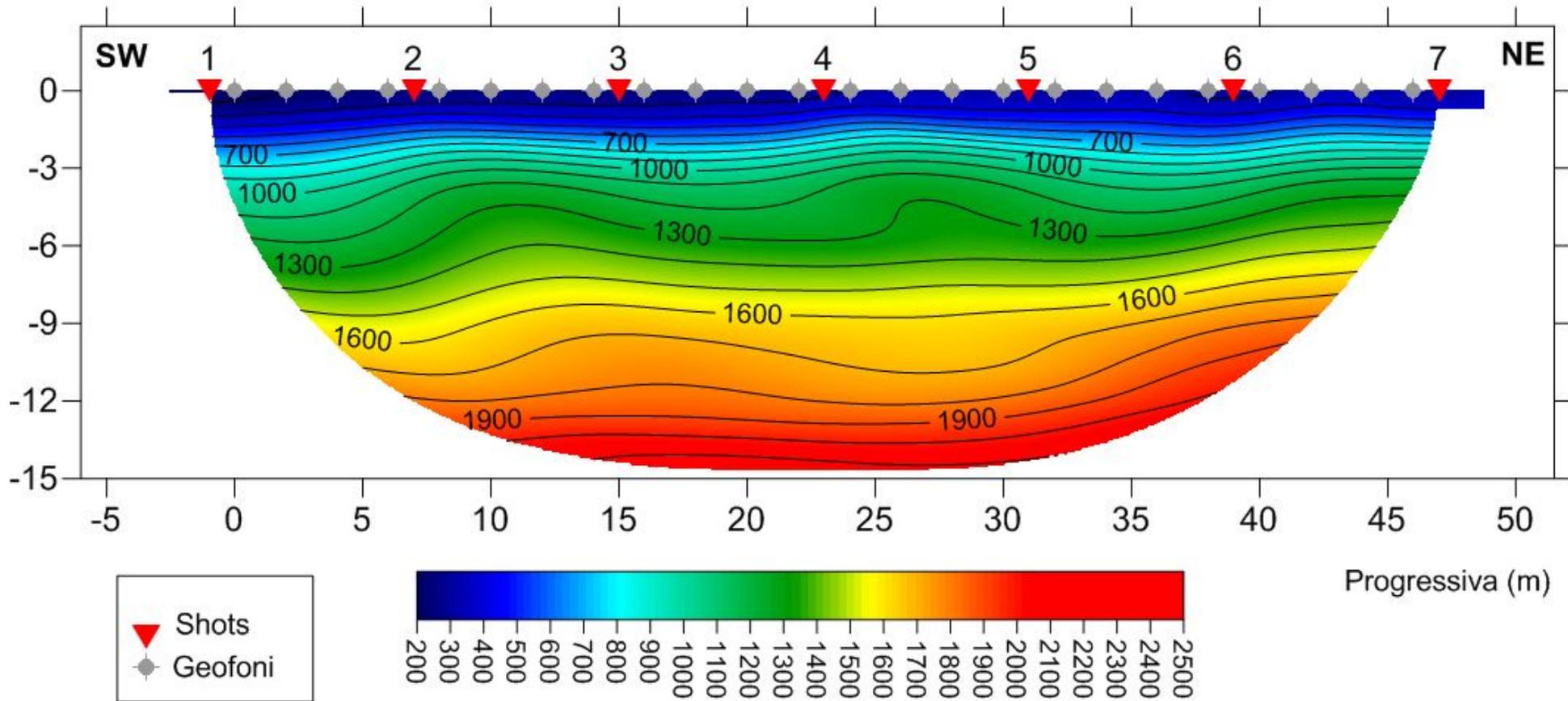


PERCORSO DEI RAGGI SISMICI



Località: Arenile - Caulonia Marina (RC)
Data: Marzo 2017

Sezione Tomografica



Marina di Palizzi, Marzo 2017

Il tecnico prospektore: dott. Stefano SGRO'

GeoSGRO' di Stefano Sgrò
Via Anella, 70: 89038 Marina di Palizzi (RC)
P.IVA. 02214340803 - REA RC N. 176219
Stefano Sgrò