

---

**COMUNE DI PROCIDA**  
Provincia di Napoli

**RELAZIONE GEOLOGICA**  
**LAVORI PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL**  
**COSTONE CORRICELLA**

**Committente:** Amministrazione Comunale

Luglio 2019

Il Geologo  
**Dott. Nicola Polzone**

## INDICE

1. Premessa e metodologie di studio .....	2
2. Inquadramento geologico generale .....	4
3. Geomorfologia e Idrogeologia .....	8
4. Stratigrafia di dettaglio e caratteristiche tecniche dei terreni .....	11
5. Sismicità dell'area .....	16
6. Conclusioni.....	20

### Allegati

1. Stralcio aerofotogrammetrico con ubicazione sito oggetto di intervento;
2. Sezione topografica;
3. Ubicazione indagini eseguite;
4. Tabulati prova penetrometrica dinamica DPSH;
5. Certificati prove di laboratorio;
6. Risultati prova sismica MASW;
7. Copia del documento d'identità.

## **1. PREMESSA E METODOLOGIE DI STUDIO**

La presente relazione geologica, redatta su incarico dell'Amministrazione Comunale di Procida è il risultato di un'accurata indagine di natura geomorfologica, geologico-tecnica e sismica di un'area ubicata in via Libertà nel territorio comunale di Procida (NA), dove è in progetto la "LAVORI PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL COSTONE CORRICELLA".

In base alla tipologia di opera da realizzare, tenendo conto di quanto disposto dalla normativa vigente (D.M. 2018), è stata predisposta un'apposita campagna d'indagini geognostiche, caratterizzata dall'esecuzione di una prova penetrometrica dinamica DPSH spinta sino alla profondità di rifiuto ed un'indagine sismica MASW.

Il lavoro pertanto, allo scopo di valutare le condizioni di stabilità, definire le caratteristiche stratigrafiche, geologico-tecniche, sismiche del sito, è stato svolto secondo il seguente programma d'indagini:

- \* studio della bibliografia esistente e di lavori già effettuati in zone limitrofe;
- \* rilevamento geologico di dettaglio ed analisi geomorfologica del sito e delle aree limitrofe, tendente ad evidenziare le forme e gli indizi di eventuali dissesti superficiali e profondi, in atto o potenziali; nonché lo studio delle carte del rischio dell'ex Autorità di Bacino Regionale della Campania Centrale;
- \* esecuzione di n. 1 prova penetrometrica dinamica DPSH spinta sino alla profondità di rifiuto; tale prova è stata realizzata con

l'ausilio di un penetrometro superpesante dal laboratorio Geo Consultlab S.r.l.;

- \* Prove di laboratorio su campione di terreno eseguito dal laboratorio Geo Consultlab S.r.l.;
- \* Esecuzione di n. 1 prova sismica di tipo MASW eseguita dal laboratorio Geo Consultlab S.r.l..

Per quanto riguarda la campagna d'indagini, è stata realizzata proprio ai fini della caratterizzazione geotecnica e sismica del sito, i cui risultati, come già affermato in precedenza, ad oggi sono stati elaborati ottemperando alla normativa vigente (D.M. 2018).

Lo studio è stato esteso alle aree limitrofe per evidenziare se vi sono forme di dissesto a grande scala o condizioni di instabilità tali da influenzare la solidità del sito d'indagine.

Particolare attenzione è stata dedicata alle caratteristiche stratigrafiche del terreno determinando, le caratteristiche geomeccaniche, al fine di fornire al tecnico progettista gli elementi necessari per effettuare le scelte progettuali più valide.

## **2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE**

L'isola di Procida si trova, posta a circa Sud-Ovest della città di Napoli, ha una superficie di 4,1 km<sup>2</sup> e sorge sulla parte interna della piattaforma continentale.

Il vulcanismo dell'isola di Procida si inquadra nella storia geologica recente dell'area tirrenica. Circa 10 milioni di anni fa le aree che oggi rappresentano la penisola italiana e le isole di Corsica, Sardegna e Sicilia, erano unite. Da allora, una lenta rotazione verso Est ha portato la penisola nella posizione attuale e ha dato luogo alla formazione del bacino del Mar Tirreno. Questo movimento, tutt'ora in corso, ha provocato lo stiramento della crosta terrestre e la formazione di profonde fratture che hanno favorito la risalita di magmi verso la superficie.

L'attività vulcanica che ha accompagnato il processo di lacerazione crostale ha subito una migrazione verso Sud-Est e ha lasciato una catena di vulcani progressivamente più giovani, che vanno dagli apparati sommersi nei fondali del Tirreno, ai vulcani della costa occidentale toscana e laziale, fino ai vulcani ancora attivi dell'area napoletana (Campi Flegrei e Vesuvio).

L'attività vulcanica che ha poi formato l'isola di Procida, occorsa tra 70.000 e 18.000 anni fa, è da attribuire geneticamente a quella dei Campi Flegrei.

L'inizio dell'attività vulcanica in quest'area è ancora incerto, con un limite superiore a circa 70mila anni fa. Tre edifici vulcanici rappresentano i prodotti delle più vecchie manifestazioni vulcaniche

dell'isola: gli anelli di tufo di Vivara e Pozzo Vecchio (che ha prodotto anche una fase effusiva) e il cono di tufo di Terra Murata. Questi vulcani sono mantellati da nove depositi pomicei da caduta che rappresentano la facies distale di prodotti eruttati a Ischia e dispersi verso Est. Un altro anello di tufo, Fiumicello, testimonia di una nuova fase esplosiva a Procida, tra 77 e 55mila anni fa. L'attività successiva è caratterizzata dalla messa in posto di correnti piroclastiche provenienti sia da Ischia che dai Campi Flegrei. Nei successivi 16mila anni si sono accumulati sull'isola solo sottili livelli di ceneri da caduta.

L'eruzione dell'Ignimbrite Campana, manifestatasi 39.000 anni fa, cambia completamente la topografia del campo vulcanico dei (paleo)flegrei. Nelle aree prossimali, inclusa Procida, si accumula una spessa successione di depositi saldati e brecce litiche. Questa successione tende a riempire le depressioni topografiche fra i vecchi edifici vulcanici. Se si escludono sottili livelli cineritici, l'eruzione dell'Ignimbrite Campana è seguita da un lungo periodo di quiescenza di circa 20mila anni. L'attività successiva avviene circa 19/17mila anni fa con la costruzione del vulcano di Solchiaro, che rappresenta l'ultima attività vulcanica di Procida. Dopo la deposizione di altre sottili ceneri distali circa 15 mila anni fa i prodotti di una nuova grande eruzione, quella del Tufo Giallo Napoletano, seppelliscono una vasta area intorno i Campi Flegrei e producono una seconda caldera. Successivamente a queste fasi costruttive per accumulo di prodotti vulcanici una profonda erosione subaerea e marina incide le successioni vulcaniche dell'isola e rimobilizza una grande quantità di materiale piroclastico.

Il territorio comunale di Procida (NA), e quindi il territorio in esame, rientra nel Foglio della Carta Geologica d'Italia n°183-184 "Napoli-Isola di Ischia", scala 1:100000, nonché nel foglio CARG n°465 "Isola di Procida", in scala 1:50.000, di cui si riporta uno stralcio di seguito.



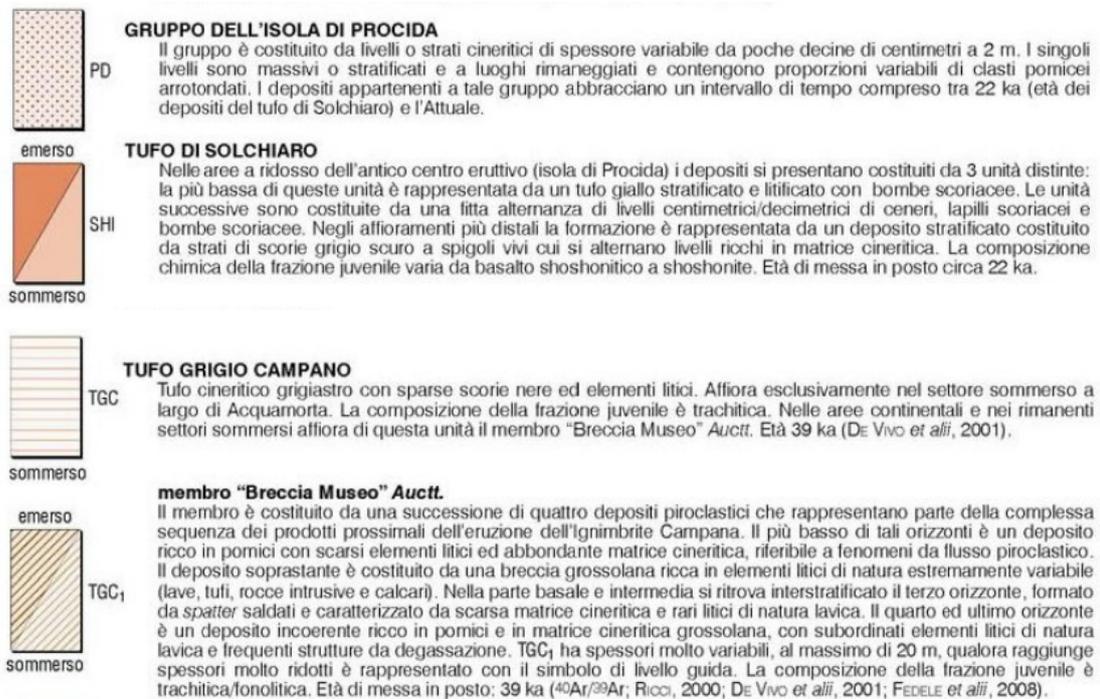
Stralcio del foglio n°465 "Isola di Procida" del CARG, in scala 1:50.000, con ubicazione del sito d'interesse.

## LEGENDA CARG



### DEPOSITO DI SPIAGGIA

Sabbie vulcanoclastiche da fini a grossolane, costituite principalmente da pomici, scorie, frammenti lavici e cristalli sciolti di feldspato alcalino e clinopirosseno.  
**OLOCENE SUP. - ATTUALE**



Oltre che dall'analisi della carta geologica, per accertare le caratteristiche geologiche e strutturali dei terreni interessati, ed inquadrarli nel contesto della geologia regionale, è stato eseguito un rilevamento di superficie esteso anche alle aree circostanti, nonché una campagna d'indagini apposite.

I dati ottenuti, integrati con altre indagini già effettuate in zone limitrofe, hanno permesso di accertare che il territorio in esame è caratterizzato principalmente da prodotti di origine vulcanica, ovvero da depositi piroclastici sciolti cineritici di spessori che variano da 2 a 10 m, posti al di sopra di cineriti litificate.

### **3. GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA**

Lo studio dei caratteri geomorfologici è stato condotto su un'area sufficientemente ampia e tale da mettere in evidenza i processi morfoevolutivi sia a grande che a piccola scala. A tal proposito, il territorio in esame si presenta direttamente connesso alle vicissitudini tettoniche presenti a scala regionale.

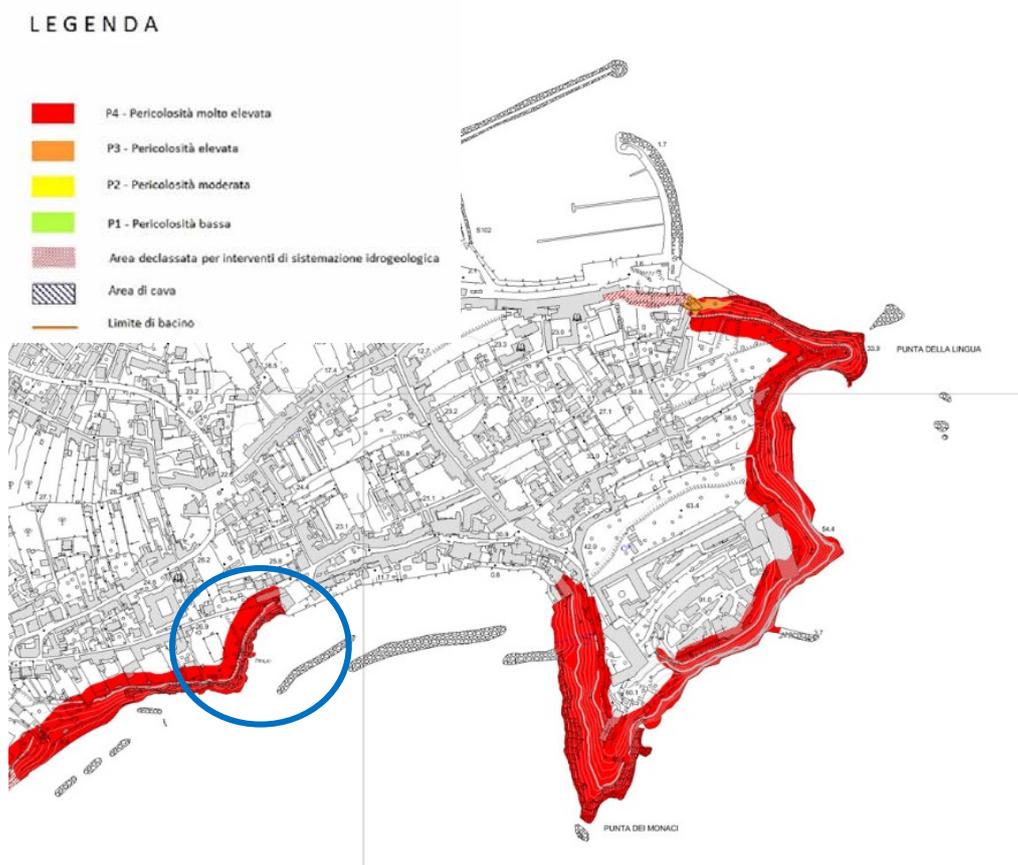
Dal punto di vista morfologico l'isola di Procida ha un andamento mediamente pianeggiante, interrotto da falesie e paleofalesie subverticali.

Dalla sezione topografica ottenuta si denota che il tratto di costone considerato (tratto sezione A – B) è caratterizzato da una falesia con pendenze molto elevate, ovvero pari a circa 68° (vedi sezione topografica allegata); tale caratteristica, assieme a quelle prettamente geolitologiche, rende il versante analizzato predisponente a fenomeni di dissesto.

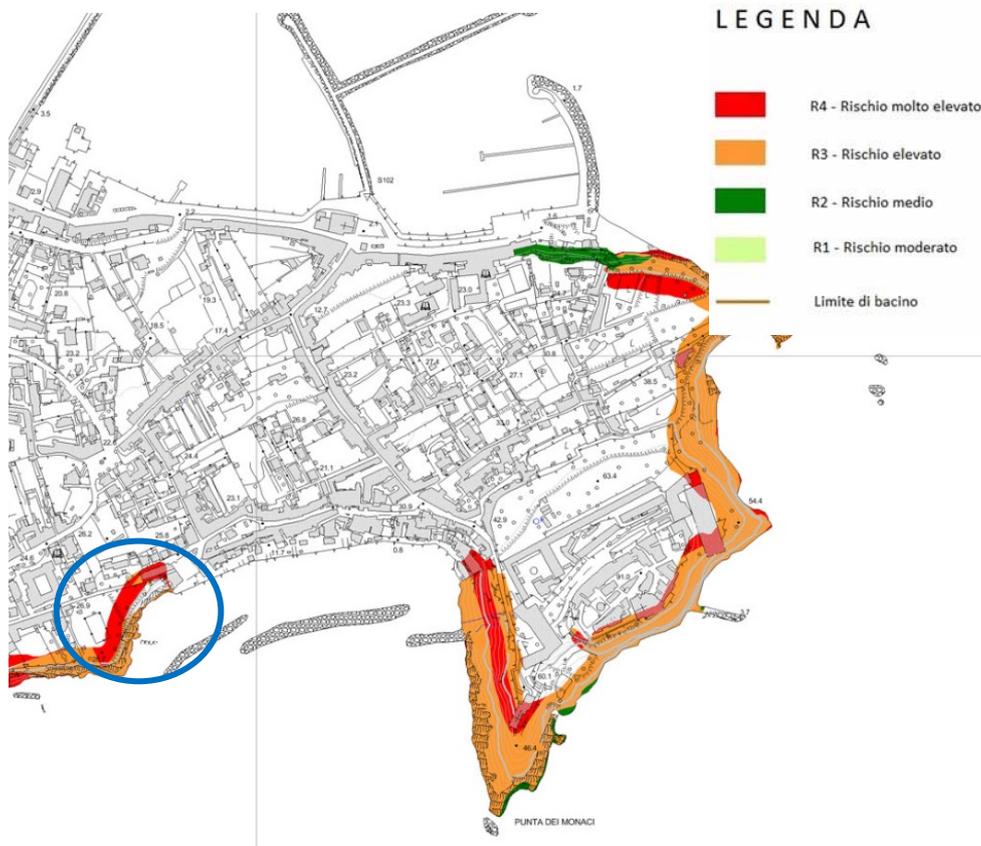
Un altro fattore predisponente ai fenomeni di dissesto del costone Corricella è sicuramente da attribuire all'azione erosiva dovuta allo scalzamento al piede della falesia da parte delle correnti marine, le quali vanno ad erodere maggiormente la falesia, che si ricorda è composta da materiale facilmente erodibile, soprattutto in concomitanza degli eventi di forte mareggiata con provenienza da SSO. Tutto ciò è causa di un forte arretramento dell'intero costone analizzato il quale pertanto necessita di interventi di messa in sicurezza.

La predisponenza all'instabilità del costone analizzato è confermata anche dall'analisi delle carte della pericolosità e del rischio dell'ex Autorità di Bacino Regionale della Campania Centrale, ad oggi facente parte del

Distretto dell'Appennino Meridionale, nel cui ambito rientra tutto il territorio comunale di Procida (NA). In effetti, secondo il PSAI vigente, l'intero costone in questione ricade in una fascia a pericolosità e a rischio da frana elevato (P4 e R4). Di seguito si riportano lo stralcio della Carta della Pericolosità ed del Rischio frana dell'ex Autorità di Bacino Regionale della Campania Centrale (Scala 1:5.000) con ubicazione dell'area in esame.



Stralcio della Carta della Pericolosità Frane dell'ex Autorità di Bacino della Campania Centrale  
(Scala 1:5.000)



Stralcio della Carta del Rischio Frane dell'ex Autorità di Bacino della Campania Centrale  
(Scala 1:5.000)

Dal punto di vista idrogeologico, tramite le informazioni desunte dalle indagini geognostiche effettuate, nell'area d'esame non si è riscontrata la presenza di una falda superficiale.

#### **4. STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO E CARATTERISTICHE TECNICHE DEI TERRENI**

Come già detto, per accertare le caratteristiche geologiche e strutturali dei terreni interessati è stato eseguito un rilevamento di superficie esteso anche alle aree circostanti. Tali dati sono stati integrati con i risultati riportati nella diffusa bibliografia esistente circa l'area d'interesse; inoltre per accertare le caratteristiche geotecniche dei litotipi presenti e dei loro relativi spessori è stata eseguita una prova penetrometrica dinamica DPSH, spinta sino alla profondità di rifiuto.

I dati ottenuti dall'indagine DPSH hanno permesso di accertare che, l'area in esame, è caratterizzata dalla presenza, dall'alto verso il basso, di litotipi con diversa resistenza alla penetrazione.

La prova in questione (P2) è stata spinta sino alla profondità di "rifiuto", ovvero sino a valori di N20(DPSH) pari a 50, indicando la presenza di litologie molto più resistenti all'infissione. Nel caso specifico il rifiuto è stato registrato ad una profondità di 6,6 m dal p.c..

Dal grafico relativo alla prova penetrometrica eseguita si evince la presenza di un secondo strato litologico più resistente rispetto alle litologie affioranti, dovute proprio al rifiuto della prova stessa.

L'aumento della resistenza nella prova DPSH in questione ad ogni modo si denota a partire già da circa 5,40 m di profondità dal p.c. (vedi allegati). In base a tali caratteristiche, sino alla profondità investigata, è possibile suddividere il sottosuolo in un primo strato costituito da terreno vegetale, spesso 1 metro, e poi cineriti sciolte sino alla profondità di rifiuto della prova.

Al fine di determinare i principali parametri geomeccanici per ciascun

livello sono state calcolate in primis le dovute correlazioni tra i colpi  $N_{20DPSH}$  ed i colpi  $N_{SPT}$ , poiché proprio attraverso quest'ultimi, tramite le diverse correlazioni empiriche conosciute in letteratura, è possibile ottenere i differenti parametri geomeccanici.

Quella applicata nel presente lavoro consiste essenzialmente nella correlazione tra il numero di colpi misurati con la DPSH ed il numero di colpi  $N_{spt}$ . La relazione empirica tra i dati DPSH ed SPT, dipendente principalmente dalle caratteristiche della strumentazione utilizzata, è la seguente:

$$N_{spt} = \beta_t N_{20\text{ DPSH}}$$

dove  $\beta_t$  rappresenta il coefficiente di correlazione, tipico per ciascuna tipologia di strumentazione, pari in questo caso ad 1,47 (vedi allegati).

**Tab. 1 - Prova Penetrometrica Dinamica (DPSH)**

Prof.(m)	N° Colpi $N_{20DPSH}$ (Valore medio)	N° Colpi $N_{SPT}$ (Valore medio)
0,00 – 1,00	1,6	2,4
1,00 – 6,40	8,0	11,8

Si riportano nella pagina successiva a titolo esemplificativo le tabelle relative alle correlazioni tra numero di colpi e parametri geotecnici per terreni sabbiosi.

TABELLA– Nspt e proprietà delle SABBIE<sup>1</sup>

	Molto sciolta	Sciolta	Med. densa	Densa	Molto densa
Nspt	4	4-10	10-30	30-50	>50
q <sub>c</sub> (Mpa)	5	5-10	10-15	15-20	>20
Densità relativa %	15	15-35	35-65	65-85	85-100
γ <sub>d</sub> (KN/mc)	14	14-16	16-18	18-20	>20
φ	30	30-32	32-35	35-38	>38

Dalla tabella soprastante si evince che il primo litostrato, ovvero il terreno vegetale, si può definire molto sciolto, mentre quello sottostante, sino alla profondità di rifiuto della prova, è composto da terreni mediamente addensati.

In base ai calcoli effettuati tramite l'utilizzo dei valori medi dei colpi N<sub>SPT</sub> ricavati, esposti nelle tabelle precedenti, è stato possibile ricavare anche i parametri geotecnici relativi a ciascun livello litologico investigato; a tal proposito bisogna specificare che per il valore del peso di volume bisogna tener conto che le tabelle restituiscono il valore del "γ<sub>d</sub>", e non di quello naturale "γ". Tali parametri si possono sintetizzare nel modo seguente:

**1° LITOSTRATO (Terreno vegetale):**

$$\gamma = 15,0 \text{ KN/m}^3$$

Peso di volume

$$C' = 0,0 \text{ KN/m}^2$$

Coesione drenata

$$\phi = 30^\circ$$

Angolo di attrito interno

<sup>1</sup> Mario Casadio & Carlo Elmi - IL MANUALE DEL GEOLOGO - Pitagora editrice Bologna, 1995

**II° LITOSTRATO (Cinerite):**

$\gamma = 21,0 \text{ KN/m}^3$	Peso di volume
$C' = 0,0 \text{ KN/m}^2$	Coesione drenata
$\phi = 34^\circ$	Angolo di attrito interno

Oltre a tener conto dei risultati restituiti dalla prova penetrometrica DPSH (P2), per codesto studio è stato prelevato, durante l'esecuzione della stessa prova, un campione di terreno indisturbato sul quale sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio:

- Apertura campione;
- Caratteristiche fisiche;
- Analisi granulometrica;
- Prova di taglio diretto.

Dai risultati delle prove di laboratorio, sicuramente più attendibili e precisi, di quelli ricavati indirettamente dalla prova penetrometrica dinamica, i principali parametri geomeccanici relativi alla cinerite (II° Litostrato) sono i seguenti:

**II° LITOSTRATO (Cinerite):**

$\gamma = 17,47 \text{ KN/m}^3$	Peso di volume
$C' = 6,7 \text{ KN/m}^2$	Coesione drenata
$\phi = 34^\circ$	Angolo di attrito interno

I risultati della prova di taglio testimoniano uno stato di pseudo addensamento dei terreni investigati, stato che però è molto variabile lungo la verticale, come testimoniato dal grafico della DPSH eseguita.

Infine per il livello litologico che ha portato a rifiuto la prova non è stato possibile elaborare i dati. Da informazioni ottenute dalla letteratura questo terzo ed ultimo strato può essere rappresentato dai seguenti valori dei principali parametri geomeccanici:

**III° LITOSTRATO (Cinerite litificata grigia):**

$\gamma = 22,00 \text{ KN/m}^3$	Peso di volume
$C' = 300 \text{ KN/m}^2$	Coesione drenata
$\phi = 40^\circ$	Angolo di attrito interno

Da quanto esposto sinora e dalle osservazioni dirette degli affioramenti componenti il sito oggetto d'intervento, la stratigrafia lungo la verticale si può sintetizzare nel modo seguente:

- 0,00 – 1,00: terreno vegetale;
- 1,00 – 6,50: sabbia con limo e pomici pseudo-addensata;
- > 6,50 : strati di cinerite grigia litificati.

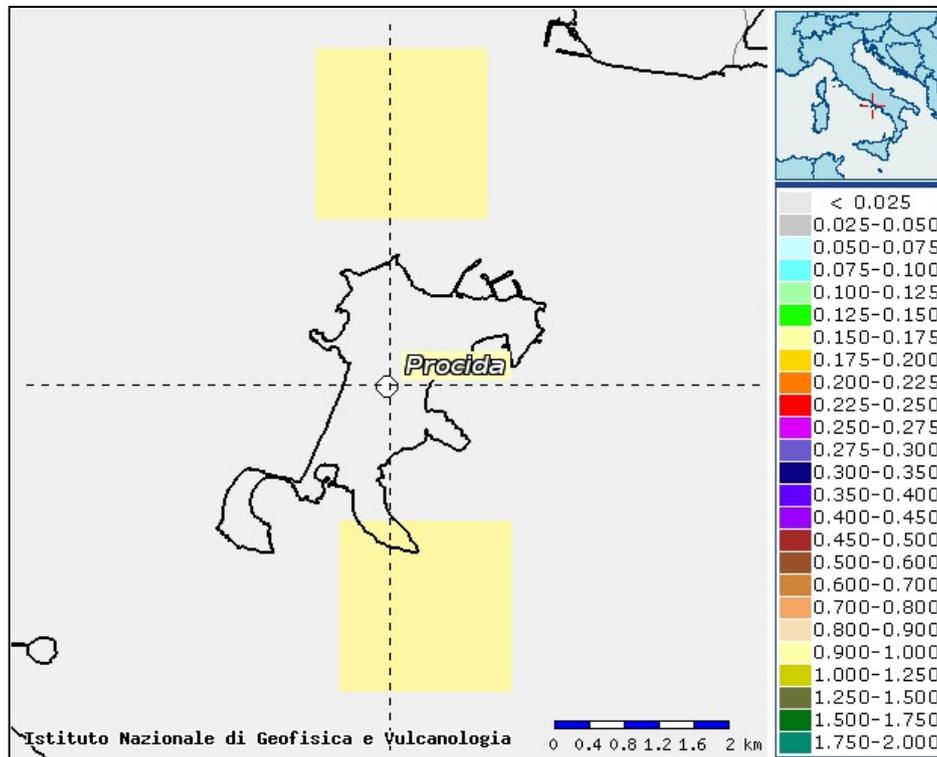
## 5. SISMICITÀ DELL'AREA

L'Ordinanza dell'O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 e succ. mod. ed int., coerente con l'EuroCodice 8, ha definito il grado di sismicità con riferimento ai valori delle accelerazioni al suolo. Pertanto, il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone, in relazione ai valori delle accelerazioni di picco (o accelerazione di massima) del suolo, con probabilità di un superamento del 10% in 50 anni, così come indicato nel seguente schema:

<b>ZONE</b>	<b>Accelerazione con probabilità pari al 10% in 50 anni <math>a_g</math></b>	<b>Accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (norme tecniche) <math>a_g</math></b>
1	> 0,25 g	0,35 g
2	<b>0,15 – 0,25 g</b>	<b>0,25 g</b>
3	0,05 – 0,15 g	0,15 g
4	< 0,05 g	0,05 g

**Nell'allegato A della stessa ordinanza il territorio del comune di Procida (NA) è iscritto tra quelli appartenenti alla Zona 2.**

Inoltre con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni, approvate con **Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17 gennaio 2018**, assume particolare importanza, invece, la definizione del modello geologico, geotecnico e sismico sulla verticale del sito fino alla profondità del substrato sismico (bedrock con  $V_s > 800$  m/s) dal piano di sedime.



**Mapa di pericolosità sismica del comune di Procida (NA) redatta a cura dell'INGV di Milano - Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento  $a_g$ ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.**

La mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica, disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, redatta secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17/01/2018), indica che il territorio comunale di Procida (NA) rientra nelle celle contraddistinte da valori di  $a_g$  di riferimento compresi tra 0.150 e 0.175 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento  $a_g$ ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).

**Categoria sismica del sottosuolo.** Il D.M. 17 gennaio 2018, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, prevede la valutazione dell'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, le NTC prevedono che per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II).

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>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.</i>

Per la classificazione del sottosuolo si fa riferimento ai valori della velocità equivalente  $V_{S,eq}$  di propagazione delle onde di taglio ( $V_S$ ) nei primi 30 m di profondità.

La velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dall'espressione

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

Nella precedente espressione si indica con:

**$h_i$** : spessore (in metri) dell' $i$ -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

**$V_s$** : velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

**$N$** : numero di strati;

**$H$** : profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

***Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Tale condizione è quella che si è presentata nel caso in questione, in quanto il bedrock sismico è posto a profondità ben superiori di 30 m. Pertanto per l'individuazione della categoria di sottosuolo nel caso specifico è stata calcolata la  $V_{S,30}$  (vedi allegati).***

Esattamente per tali ragioni è stato possibile utilizzare i dati restituiti dall'indagine sismica MASW effettuata, la quale ha permesso di definire la categoria del sottosuolo di fondazione, i cui risultati dei valori delle  $V_{s30}$ , hanno consentito di classificare sempre il sottosuolo di fondazione alla categoria "C" (vedi tabella pagina precedente).

## **6. CONCLUSIONI**

La presente relazione geologica, redatta su incarico dell'Amministrazione Comunale di Procida è il risultato di un'accurata indagine di natura geomorfologica, geologico-tecnica e sismica di un'area ubicata in via Libertà nel territorio comunale di Procida (NA), dove è in progetto la "LAVORI PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL COSTONE CORRICELLA".

A tal fine è stata volta particolare attenzione alle caratteristiche stratigrafiche geotecniche e sismiche dei terreni, mediante lo studio della bibliografia esistente, un rilevamento geologico di dettaglio ed analisi geomorfologica del sito, l'esecuzione di una prova penetrometrica dinamica DPSH. I risultati sono riportati in sintesi nel paragrafo 4 e più nel dettaglio in allegato.

Nella zona d'interesse affiorano estesamente depositi piroclastici sciolti cineritici di spessori che variano da 2 a 10 m, posti al di sopra di cineriti litificate.

Un fattore predisponente ai fenomeni di dissesto del costone Corricella è sicuramente da attribuire all'azione erosiva dovuta allo scalzamento al piede della falesia da parte delle correnti marine, le quali vanno ad erodere maggiormente la falesia, che si ricorda è composta da materiale facilmente erodibile, soprattutto in concomitanza degli eventi di forte mareggiata con provenienza da SSO. Tutto ciò è causa di un forte arretramento dell'intero costone analizzato, il quale pertanto necessita di interventi di messa in sicurezza.

**Dall'analisi delle carte del PSAI dell'ex Autorità di Bacino della Campania Centrale** nel cui ambito ricade questa porzione del territorio comunale di Procida (NA), si evince che **l'area in esame risulta geomorfologicamente instabile**, essendo caratterizzata da pericolosità e rischio da frana molto elevati (**P4 ed R4**).

Inoltre si ricorda che i dati ottenuti dalla prova sismica MASW hanno permesso di classificare **il suolo di fondazione alla categoria "C"**.

Alla luce di quanto finora esposto, tutte le valutazioni riportate dovranno essere puntualmente verificate e strettamente commisurate all'opera che dovrà essere realizzata.

In corso d'opera sarà cura del progettista avvertire lo scrivente per rendere possibile ulteriori verifiche.

Si raccomanda, di contattare lo scrivente per eventuali chiarimenti.

Manocalzati (AV), Luglio 2019

**Il Geologo**

Dott. Nicola Polzone

# STRALCIO AEROFOTOGRAMMETRICO

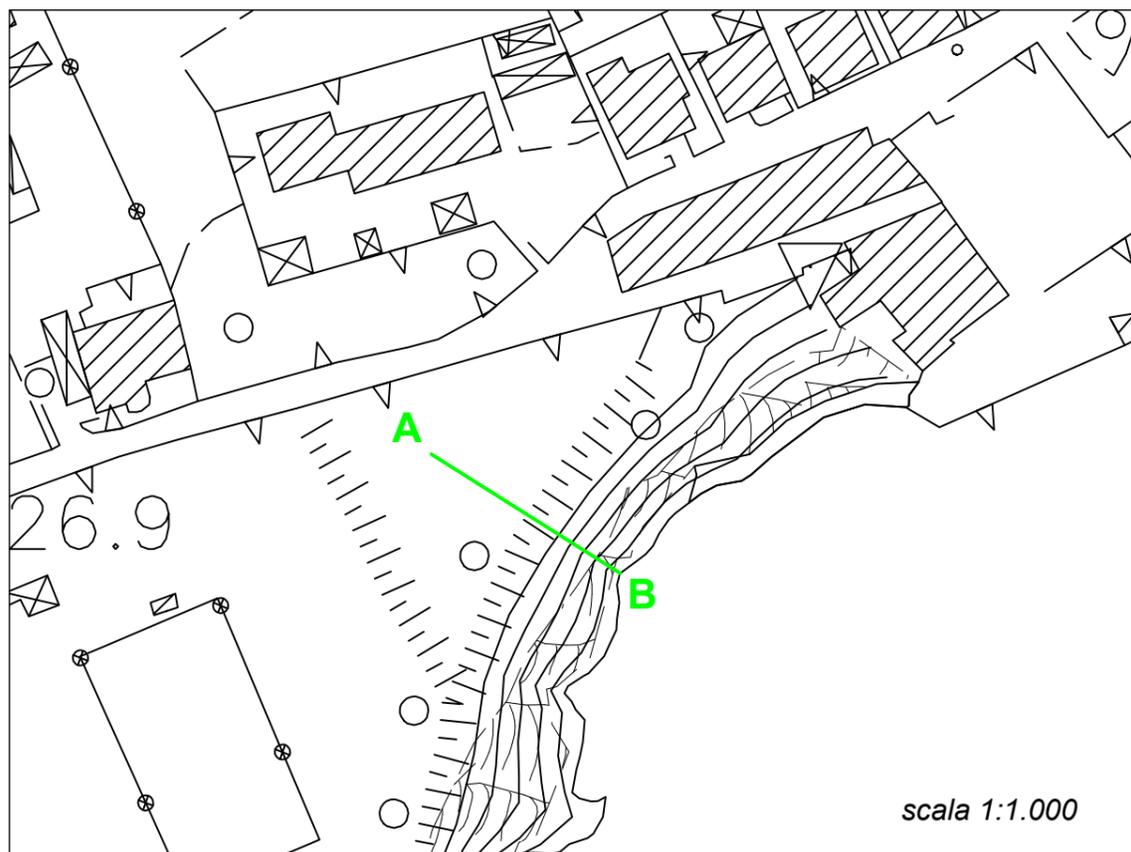
LEGENDA

 Ubicazione sito oggetto d'intervento



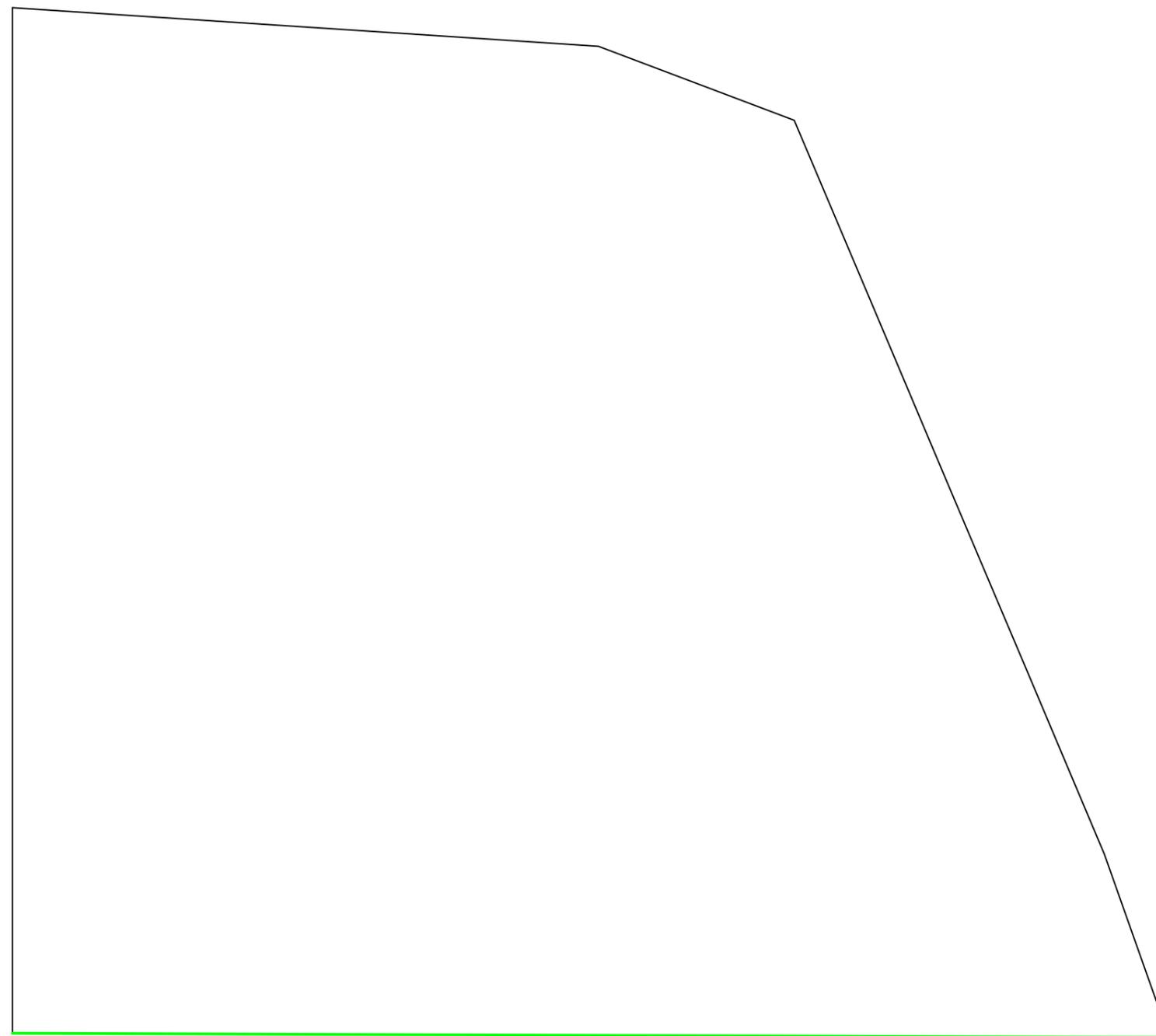
scala 1:5.000

# SEZIONE TOPOGRAFICA



*Pendenza media costone  $\approx 68^\circ$*

28 m s.l.m.



**A**

**B**

scala 1:150

# UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

## LEGENDA

 Prova penetrometrica dinamica DPSH eseguita

 Prova sismica passiva di tipo M.A.S.W. eseguita



scala 1:500



# Lavoro: Messa in sicurezza del costone Corricella

Località: Procida (NA)

*Conversione dei dati N20 in N<sub>spt</sub> - DPSH2*

$$\beta_t = 1,47$$

depth (m)	N20	N <sub>spt</sub>
0,2	3	4
0,4	1	1
0,6	1	1
0,8	2	3
1	1	1
1,2	5	7
1,4	6	9
1,6	6	9
1,8	10	15
2	12	18
2,2	2	3
2,4	0	0
2,6	3	4
2,8	4	6
3	7	10
3,2	3	4
3,4	5	7
3,6	6	9
3,8	2	3
4	6	9
4,2	7	10
4,4	6	9
4,6	7	10
4,8	9	13
5	6	9
5,2	6	9
5,4	10	15
5,6	12	18
5,8	14	21
6	14	21
6,2	18	26
6,4	31	46
6,6	50	74



Autorizzazione Legge 1086/71 - D.M. n° 11957 del 23/11/2012

**Committente : Amministrazione Comunale di Procida NA**
**Campione : S1 C1**
**Data di Prova : Luglio 2019**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO (ASTM D 3080-79)													
Tipo:		CONSOLIDATA/DRENATA			RAPIDA		NO						
								Peso Specifico dei Grani (Gt*), in kN/mc:		26,450			
DETERMINAZIONI		PRIMA		DOPO		PRIMA		DOPO		PRIMA		DOPO	
PROVINO, n.		1				2				3			
Contenitore, n.		A				L				K			
Massa Contenitore, gr		21,20				21,20				21,20			
Massa Cont+Terra Umida, gr		72,85				74,68				75,72			
Massa Cont+Terra Secca, gr		60,08				61,43				62,19			
Contenuto in Acqua, %		32,83				32,94				33,02			
Umidità Media, %		32,83				32,94				33,02			
Peso di Volume Naturale, kN/mc		17,44		17,86 0,42		17,51		17,81 0,30		17,47		17,88 0,41	
Peso di Volume Secco, kN/mc		13,13		13,45 0,32		13,17		13,40 0,23		13,13		13,44 0,31	
Indice dei Vuoti		1,015		0,967 -0,047		1,008		0,974 -0,034		1,014		0,968 -0,046	
Altezza Solidi, cm		1,156				0,266				0,266			
RIEPILOGO		Contenuto in Acqua, %		32,93		Peso Volume Naturale, kN/mc		17,47		Peso Volume Secco, kN/mc		13,14	
Valori Medi		Provini		SFORZI, kN/mq		Dati Regressione Lineare				Angolo Attrito, °DEG		34	
		Normali		di Taglio		Coefficiente di Correlazione		0,978		Coesione, kN/mq		6,7	
		1		100,0		Coefficiente Angolare		0,675		Lo Sperimentatore			
		2		200,0		Ordinata all' Origine		6,67					
		3		300,0									



Autorizzazione Legge 1086/71 - D.M. n° 11957 del 23/11/2012

**Committente : Amministrazione Comunale di Procida NA**
**Campione : S1 C1**
**Data di Prova : Luglio 2019**
**ESITI SCATOLA di TAGLIO**

PROVINO n.	1											
	SFORZO NORMALE, kN/mq: <b>100,0</b>											
	Lato fustella, cm						Altezza fustella, cm					
	6,000						3,000					
	Portaprovinci n.						<b>B</b>					
	Massa Anello+Campione, gr						Massa Anello, gr					
	322,65						138,52					
	Massa Campione, gr						2,880					
	184,13						Consolidazione %:					
	0,061						2,12					
	dopo h: 24											
	Altezza Finale Campione, cm											
	2,911											
	Consolidazione %:											
	3,06											
	0,5	1	2	4	8	15	30	60	120	150	160	
	0,013	0,025	0,050	0,100	0,200	0,375	0,750	1,500	3,000	3,750	4,000	
	9,0	19,0	32,0	42,0	57,0	92,0	132,0	191,0	208,0	203,0	200,0	
	0,13	0,14	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,28	0,29	0,30	
	<b>1,9</b>	<b>11,6</b>	<b>14,8</b>	<b>21,4</b>	<b>30,0</b>	<b>38,7</b>	<b>47,4</b>	<b>59,3</b>	<b>72,0</b>	<b>80,0</b>	<b>70,8</b>	
	Velocità di taglio, mm/mn: <b>0,025</b>											
	Massa Anello+Campione, gr											
	322,65											
	Massa Anello, gr											
	138,52											
	Massa Campione, gr											
	184,13											
	dopo h: 24											
	Altezza Finale Campione, cm											
	2,911											
	Consolidazione %:											
	3,06											
	0,5	1	2	4	8	15	30	60	120	180	205	215
	0,013	0,025	0,050	0,100	0,200	0,375	0,750	1,500	3,000	4,500	5,125	5,375
	16,0	56,0	98,0	135,0	197,0	264,0	345,0	426,0	453,0	478,0	473,0	473,0
	0,42	0,43	0,44	0,46	0,48	0,49	0,52	0,55	0,58	0,59	0,60	0,60
	<b>5,2</b>	<b>25,6</b>	<b>29,8</b>	<b>36,3</b>	<b>45,0</b>	<b>54,5</b>	<b>72,6</b>	<b>84,1</b>	<b>105,8</b>	<b>121,7</b>	<b>130,0</b>	<b>118,3</b>

PROVINO n.	2											
	SFORZO NORMALE, kN/mq: <b>200,0</b>											
	Lato fustella, cm						Altezza fustella, cm					
	6,000						3,000					
	Portaprovinci n.						<b>B</b>					
	Massa Anello+Campione, gr						Massa Anello, gr					
	329,95						133,03					
	Massa Campione, gr						2,911					
	196,92						Consolidazione %:					
	0,089						3,06					
	dopo h: 24											
	Altezza Finale Campione, cm											
	2,911											
	Consolidazione %:											
	3,06											
	0,5	1	2	4	8	15	30	60	120	180	205	215
	0,013	0,025	0,050	0,100	0,200	0,375	0,750	1,500	3,000	4,500	5,125	5,375
	16,0	56,0	98,0	135,0	197,0	264,0	345,0	426,0	453,0	478,0	473,0	473,0
	0,42	0,43	0,44	0,46	0,48	0,49	0,52	0,55	0,58	0,59	0,60	0,60
	<b>5,2</b>	<b>25,6</b>	<b>29,8</b>	<b>36,3</b>	<b>45,0</b>	<b>54,5</b>	<b>72,6</b>	<b>84,1</b>	<b>105,8</b>	<b>121,7</b>	<b>130,0</b>	<b>118,3</b>
	Velocità di taglio, mm/mn: <b>0,025</b>											
	Massa Anello+Campione, gr											
	329,95											
	Massa Anello, gr											
	133,03											
	Massa Campione, gr											
	196,92											
	dopo h: 24											
	Altezza Finale Campione, cm											
	2,911											
	Consolidazione %:											
	3,06											
	0,5	1	2	4	8	15	30	60	120	180	240	250
	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,8	1,5	3,0	4,5	6,0	6,3
	56,0	103,0	186,0	258,0	326,0	413,0	483,0	564,0	622,0	641,0	637,0	633,0
	0,71	0,72	0,73	0,75	0,76	0,78	0,81	0,83	0,85	0,88	0,90	0,91
	<b>10,2</b>	<b>54,3</b>	<b>66,2</b>	<b>88,7</b>	<b>97,6</b>	<b>105,0</b>	<b>129,2</b>	<b>149,2</b>	<b>167,5</b>	<b>185,8</b>	<b>195,0</b>	<b>182,5</b>

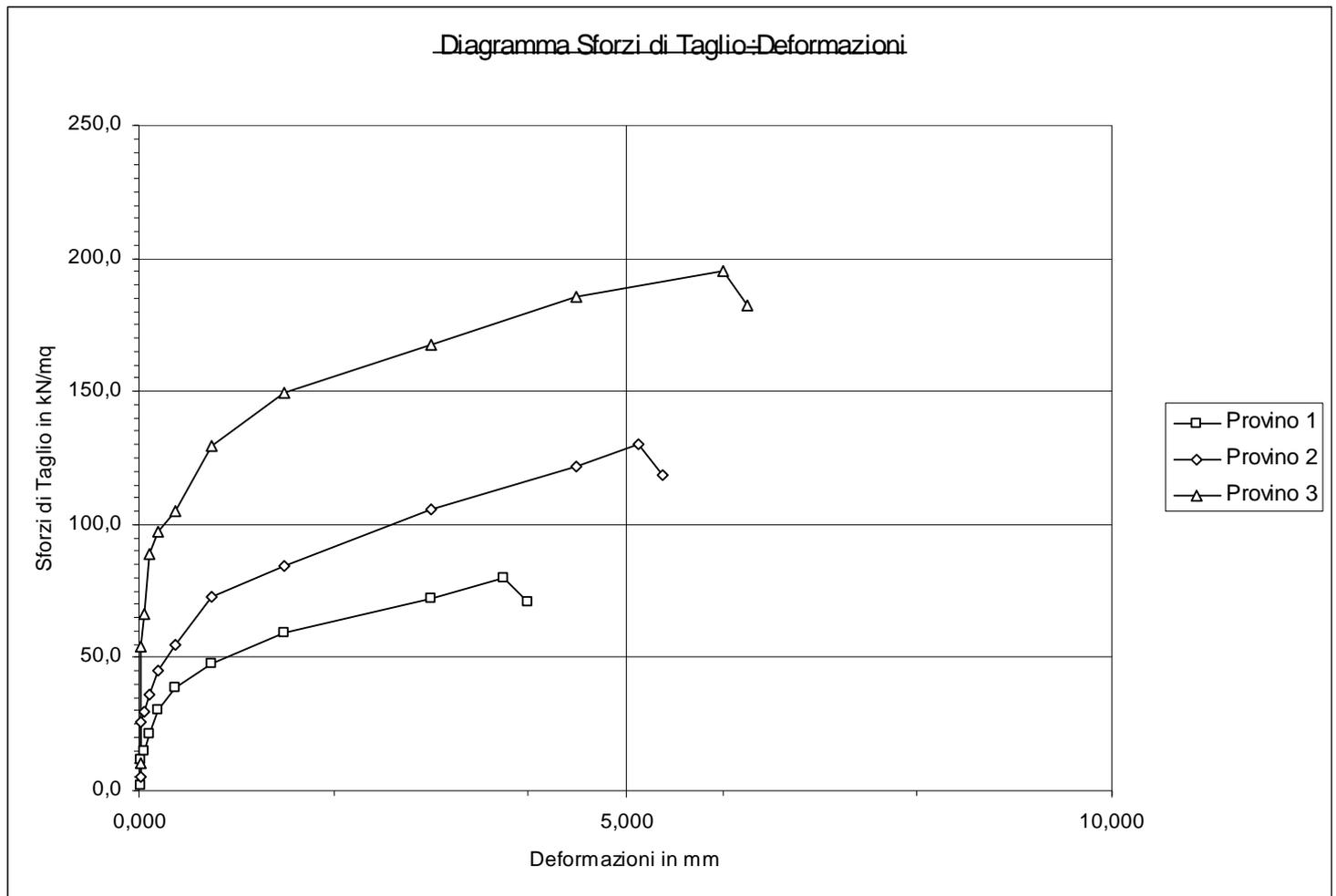
PROVINO n.	3											
	SFORZO NORMALE, kN/mq: <b>300,0</b>											
	Lato fustella, cm						Altezza fustella, cm					
	6,000						3,000					
	Portaprovinci n.						<b>C</b>					
	Massa Anello+Campione, gr						Massa Anello, gr					
	327,12						133,17					
	Massa Campione, gr						1,844					
	193,95						Consolidazione %:					
	1,156						62,69					
	dopo h: 24											
	Altezza Finale Campione, cm											
	1,844											
	Consolidazione %:											
	62,69											
	0,5	1	2	4	8	15	30	60	120	180	240	250
	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,8	1,5	3,0	4,5	6,0	6,3
	56,0	103,0	186,0	258,0	326,0	413,0	483,0	564,0	622,0	641,0	637,0	633,0
	0,71	0,72	0,73	0,75	0,76	0,78	0,81	0,83	0,85	0,88	0,90	0,91
	<b>10,2</b>	<b>54,3</b>	<b>66,2</b>	<b>88,7</b>	<b>97,6</b>	<b>105,0</b>	<b>129,2</b>	<b>149,2</b>	<b>167,5</b>	<b>185,8</b>	<b>195,0</b>	<b>182,5</b>
	Velocità di taglio, mm/mn: <b>0,025</b>											
	Massa Anello+Campione, gr											
	327,12											
	Massa Anello, gr											
	133,17											
	Massa Campione, gr											
	193,95											
	dopo h: 24											
	Altezza Finale Campione, cm											
	1,844											
	Consolidazione %:											
	62,69											
	0,5	1	2	4	8	15	30	60	120	180	240	250
	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,8	1,5	3,0	4,5	6,0	6,3
	56,0	103,0	186,0	258,0	326,0	413,0	483,0	564,0	622,0	641,0	637,0	633,0
	0,71	0,72	0,73	0,75	0,76	0,78	0,81	0,83	0,85	0,88	0,90	0,91
	<b>10,2</b>	<b>54,3</b>	<b>66,2</b>	<b>88,7</b>	<b>97,6</b>	<b>105,0</b>	<b>129,2</b>	<b>149,2</b>	<b>167,5</b>	<b>185,8</b>	<b>195,0</b>	<b>182,5</b>

Autorizzazione Legge 1086/71 - D.M. n° 11957 del 23/11/2012

**Committente : Amministrazione Comunale di Procida NA**

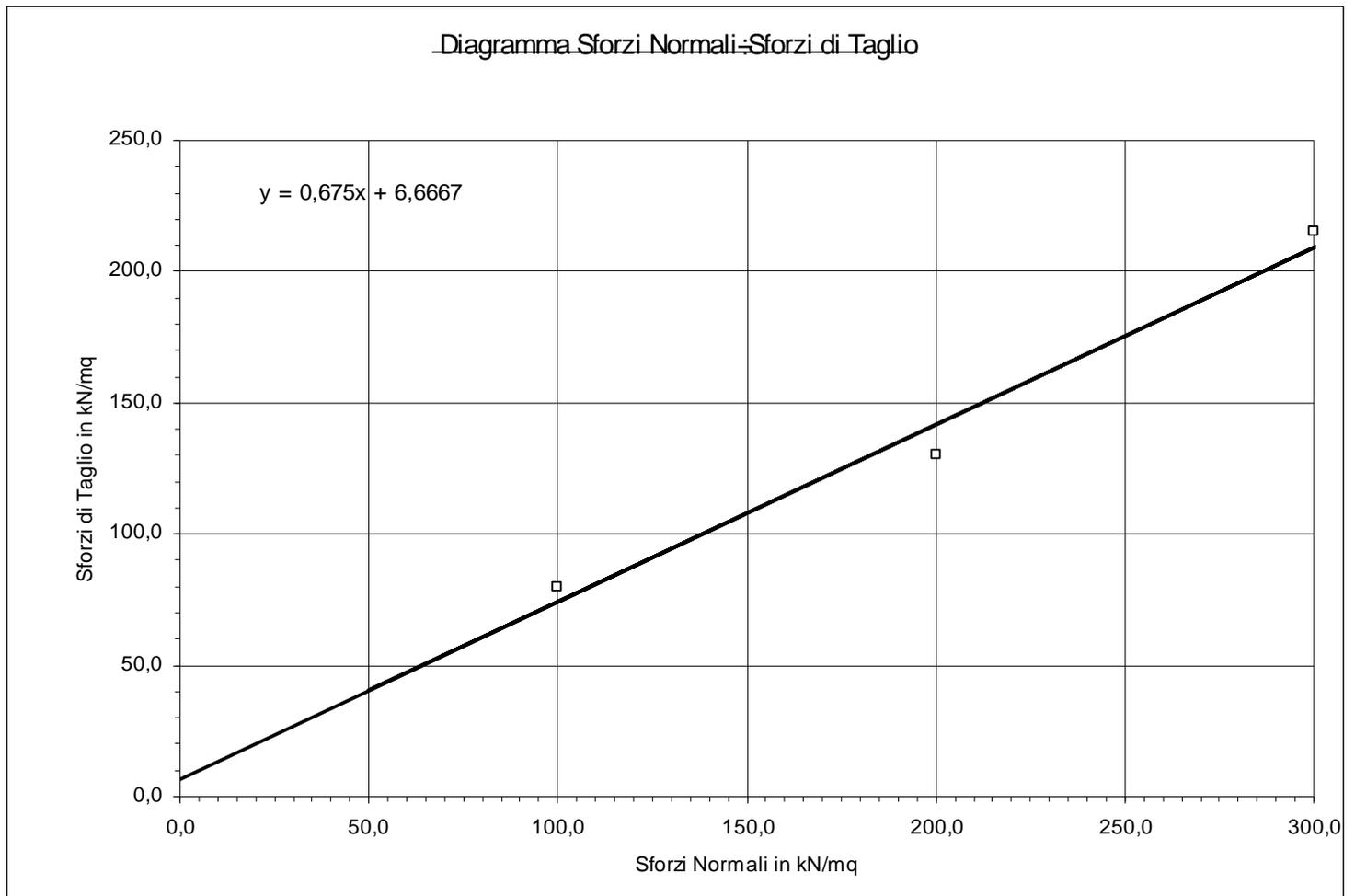
**Campione : S1 C1**

**Data di Prova : Luglio 2019**



Autorizzazione Legge 1086/71 - D.M. n° 11957 del 23/11/2012

**Committente : Amministrazione Comunale di Procida NA**  
**Campione : S1 C1**  
**Data di Prova : Luglio 2019**





AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITA' CERTIFICATO SECONDO LA NORMA UNI EN 9001:2008



*Laboratorio Prove su materiali da costruzione  
Prove di collaudo strutture  
Prove non distruttive  
Indagini Geognostiche e Geofisiche  
Laboratorio Geotecnico  
Laboratorio Chimico*

*Autorizzazione Legge 1086/71 - D.M. n° 11957 del 23/11/2012*

## Indagini in situ

**DATA DI PROVA : GIUGNO 2019**

**COMMITTENTE : AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI PROCIDA (NA)**

**CANTIERE : MESSA IN SICUREZZA COSTONE CORRICELLA -LOCALITA' CORRICELLA - PROCIDA NA**

**OGGETTO : INDAGINE SISMICA MASW**

**Lo Sperimentatore  
Dott. Nicola Polzone**

### Premessa

**Abbiamo avuto incarico dalla AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI PROCIDA di eseguire una indagine nell'area sita in LOC. CORRICELLA – MESSA IN SICUREZZA DEL COSTONE - PROCIDA NA**

**L'indagine si è articolata in una prospezione di sismica passiva tipo "MASW" per la determinazione del  $V_{Sequivalente}$  eseguita in data GIUGNO 2019**

## INDAGINE SISMICA

### **Introduzione**

Nell'ambito del progetto di indagini sono state eseguite delle misure sismiche per la stima della velocità delle onde di taglio dall'analisi ed inversione della dispersione delle onde di Rayleigh e Love.

Le onde di superficie possono essere utilizzate per determinare la velocità delle onde di taglio dei suoli non consolidati e dei materiali più rigidi come le rocce. Queste onde in genere si propagano con velocità tipiche dei materiali superficiali e ultimamente sono sempre più utilizzate nella definizione delle proprietà elastiche ed anelastiche dei terreni e per determinare la rigidità dei materiali.

I metodi che utilizzano le onde di superficie hanno il vantaggio di considerare un'area del sito abbastanza vasta e soggetta a livelli di deformazione, principalmente dovuti alle onde sismiche che si propagano nel mezzo, molto bassi. La rigidità del terreno dipende essenzialmente dal livello di deformazione. Nelle prove di laboratorio (i.e. prove triassiali) i livelli di deformazione utilizzati per stimare la rigidità dei campioni sono molto più alti di quelli normalmente presenti nel terreno quando si propagano onde sismiche .

Si è anche osservato che la rigidità aumenta al decrescere del livello di deformazione ed è ormai generalmente accettato il fatto che le deformazioni del terreno associate con la maggior parte dei problemi connessi all'interazione suolo-struttura hanno bassi valori percentuali (0.1%). Per questo motivo la classificazione dei suoli sulla base dei metodi che utilizzano le onde di superficie rappresenta oramai lo stato dell'arte.



## Acquisizione dei dati

Per la misura della velocità delle onde  $S$ , la tecnica utilizzata in questo studio impiega l'analisi delle onde di superficie su registrazioni effettuate lungo uno stendimento di 24 stazioni sismiche ad ampia dinamica (24 bit) collegate da canali di trasmissione dati. Per ogni stazione sismica sono utilizzati sensori a 4.5 Hz. I sensori sono posti a distanze di 2 m l'uno dall'altro. I punti di scoppio sono stati posizionati ad una delle estremità del profilo a distanze di 2-5 m dal geofono n° 1. La scelta dei due scoppi è stata effettuata per avere la certezza di generare la dispersione delle onde superficiali a prescindere dai differenti litotipi presenti nel sottosuolo dell'area investigata.

## METODOLOGIA INTERPRETATIVA

Il software consente di analizzare dati sismici (common-shot gathers acquisiti in campagna) in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della  $V_s$  (velocità delle onde di taglio). Tale risultato è ottenuto tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh, determinate tramite la tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves).

La procedura si sviluppa in due operazioni svolte in successione:

- 1) determinazione dello spettro di velocità
- 2) inversione della curva di dispersione attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici

Gli algoritmi evolutivi rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (o anche global-search methods o soft computing).

Rispetto ai comuni metodi di inversione lineare basati su metodi del gradiente (matrice Jacobiana), queste tecniche di inversione offrono un'affidabilità del risultato di gran lunga superiore per precisione e completezza.

I comuni metodi lineari forniscono infatti soluzioni che dipendono pesantemente dal modello iniziale di partenza che l'utente deve necessariamente fornire. Per la natura del problema (inversione delle curve di dispersione), la grande quantità di minimi locali porta necessariamente ad attrarre il modello iniziale verso un minimo locale che può essere significativamente diverso da quello reale (o globale).

In altre parole, i metodi lineari richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicinissimo alla soluzione reale. In caso contrario il rischio è quello di fornire soluzioni erranee.

Gli algoritmi evolutivi offrono invece un'esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni. A differenza dei metodi lineari non è necessario fornire alcun modello di partenza. E' invece



necessario definire uno "spazio di ricerca" (search space) all'interno del quale vengono valutate diverse possibili soluzioni.

Quella finale viene infine proposta con anche una stima della sua attendibilità (deviazioni standard) attenuata grazie all'impiego di tecniche statistiche.

### **Procedura di inversione**

Per il sito considerato abbiamo invertito simultaneamente la velocità di fase del modo fondamentale delle onde di Rayleigh e di Love utilizzando una tecnica derivata da Nolet, (1981) e Herrmann (2002).

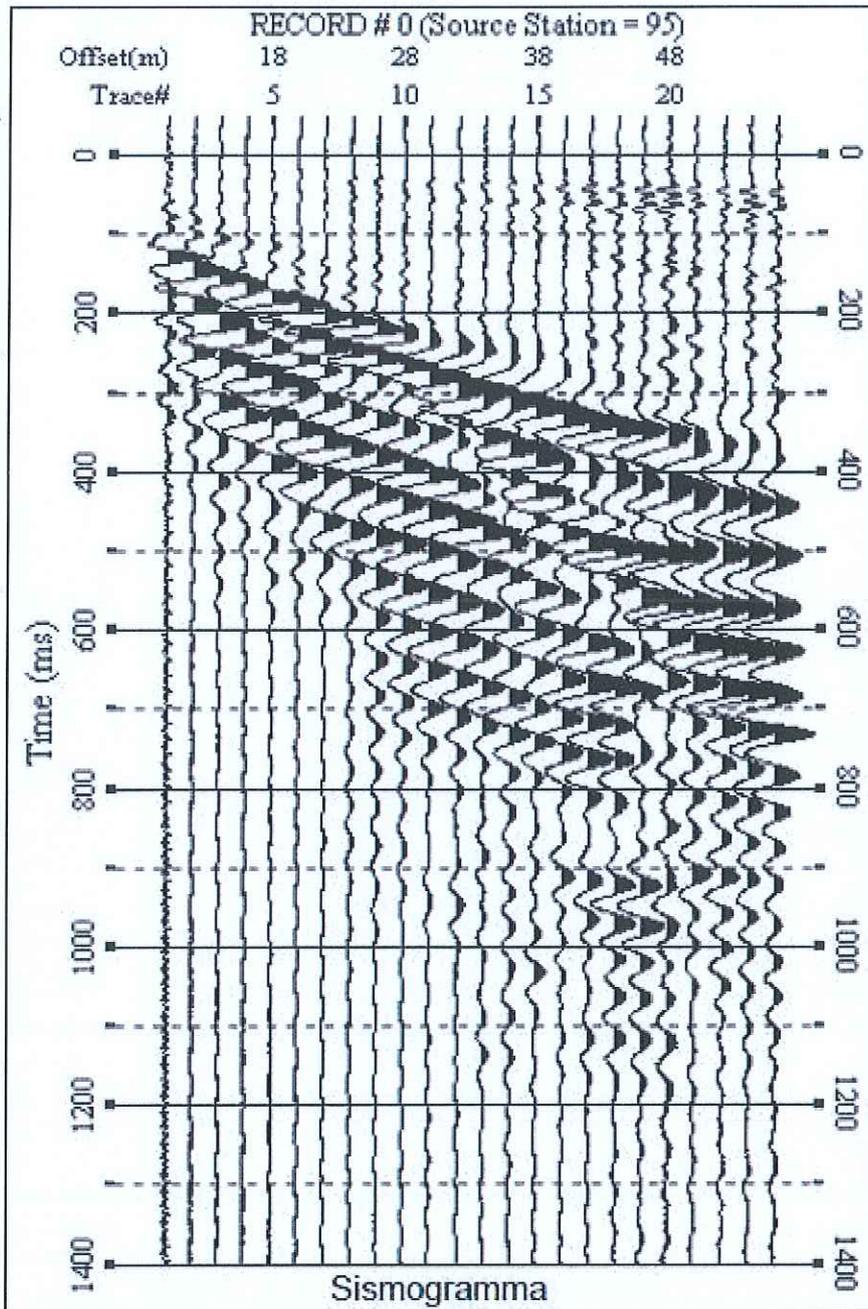
Come modello di partenza nell'inversione abbiamo usato i dati relativi all'analisi semplificata di sismica a rifrazione S effettuata sulla componente trasversale del moto. Abbiamo utilizzato una tecnica lineare di inversione generando però con diverse parametrizzazioni della struttura di partenza diverse soluzioni (profili di velocità S) in grado di produrre curve di dispersione molto simili a quelle osservate. E' importante sottolineare che l'inversione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh e Love non restituisce un unico modello di velocità. I metodi come quello qui utilizzato hanno lo svantaggio di convergere verso un unico minimo relativo (metodo ai minimi quadrati). Per ovviare a questo in genere si utilizzano diversi modelli di partenza e si scelgono solitamente i modelli finali più semplici, dove esiste in genere un aumento della velocità con la profondità. Esiste comunque una certa ambiguità perché le soluzioni possono essere molteplici e diverse tra loro.

Per scegliere quindi i modelli finali che di seguito saranno presentati abbiamo scartato tutti i modelli che non erano in grado di generare le frequenze di risonanza osservate nei rapporti spettrali H/V del rumore ambientale. Nel nostro studio i profili di velocità S ottenuti dall'inversione delle proprietà di dispersione delle onde di Rayleigh e Love sono in accordo con i dati con i rapporti spettrali H/V misurati nel sito interessato. Questo rende più attendibile la soluzione ottenuta attraverso il processo di inversione in quanto si riesce ad eliminare ogni ambiguità relativa ai problemi di "tradeoff" tra profondità e velocità che sono ben conosciuti quando si utilizzano solamente le onde di superficie. Utilizzando i tempi di arrivo S e la frequenza di risonanza fondamentale si riesce in questo modo a vincolare la profondità dove esista un contrasto di velocità.



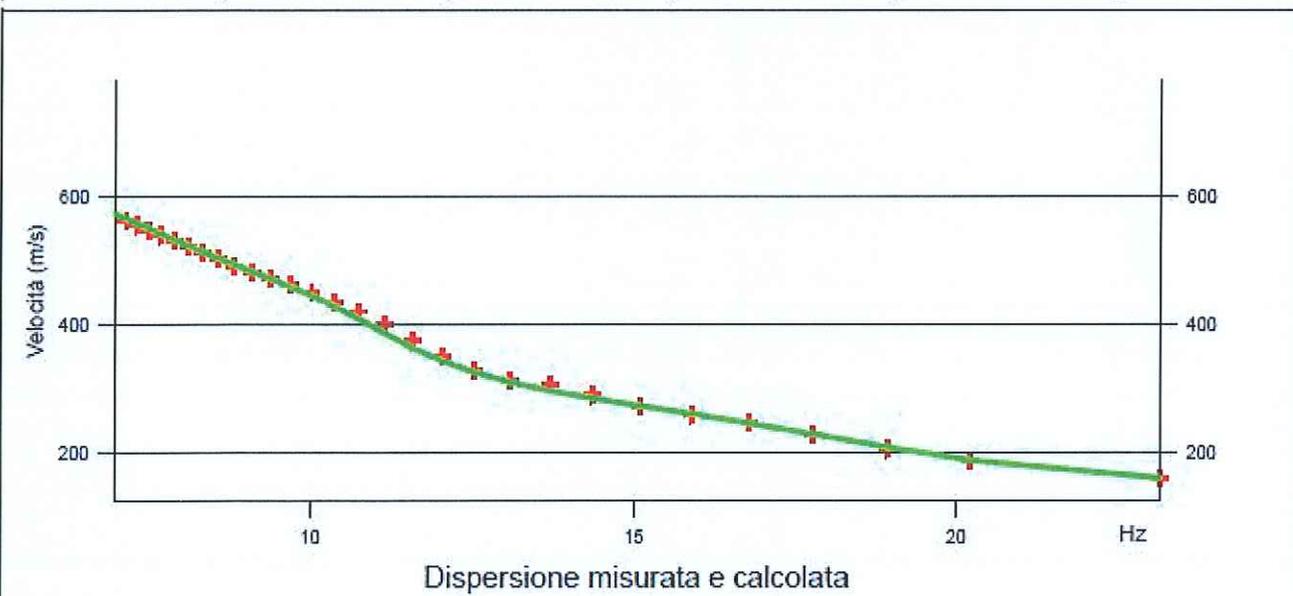
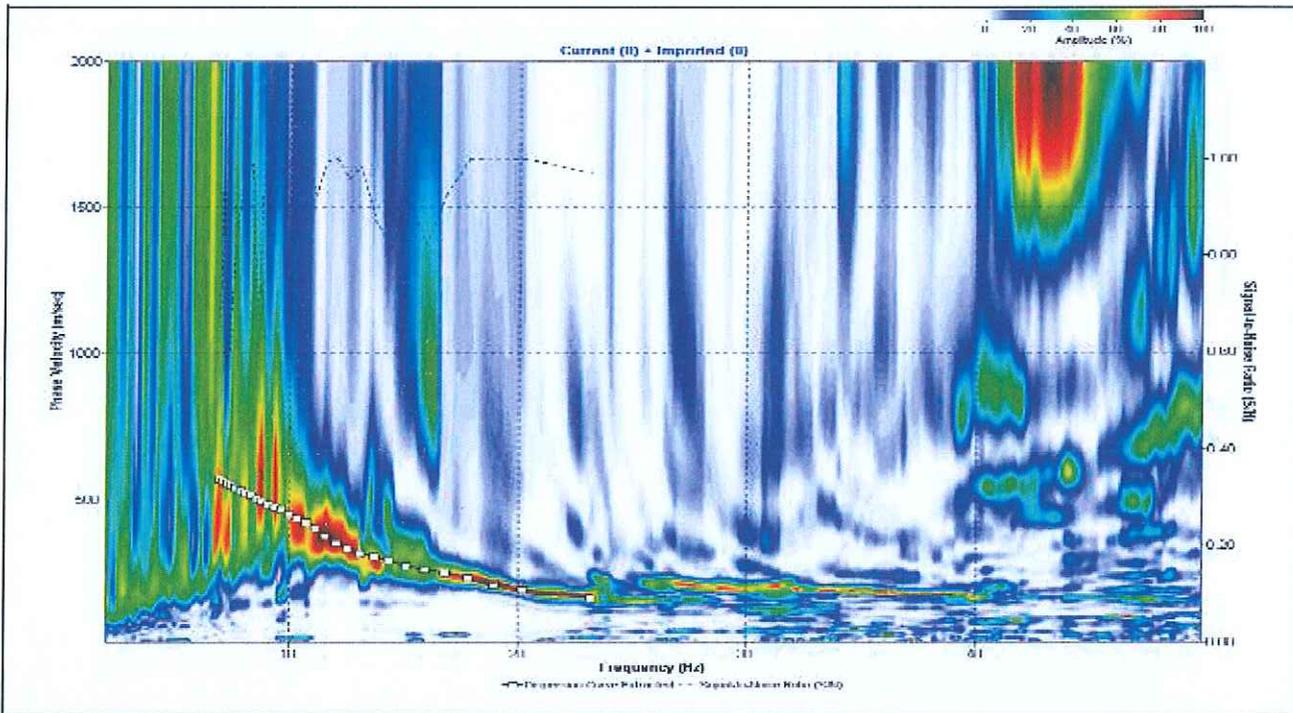
RISULTATI DELLE PROVE

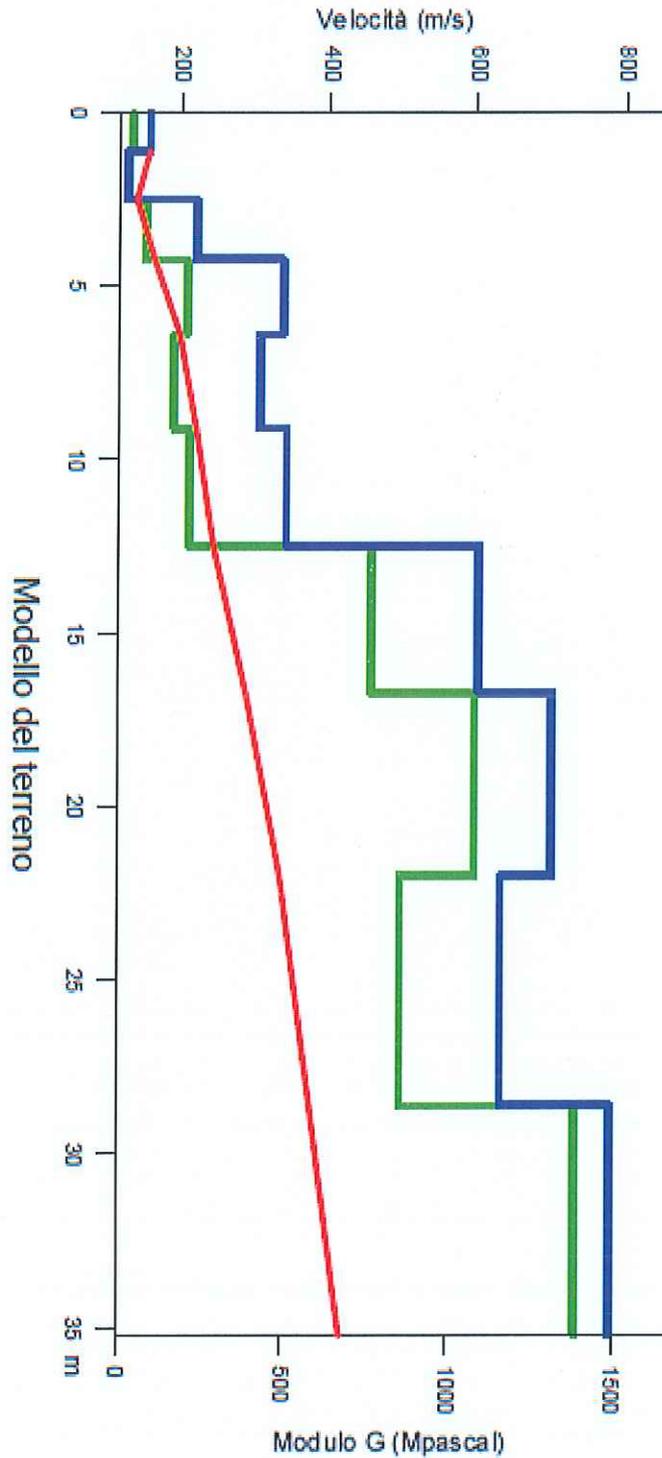
MASW





Autorizzazione Legge 1086/71 - D.M. n° 11957 del 23/11/2012







Autorizzazione Legge 1086/71 - D.M. n° 11957 del 23/11/2012

Strato	Spessore mt	Vs m/sec	Y Densità KN/mc	Coeffic. di Poisson	Modulo Taglio Go Mpa	Frequenza Strato f	Periodo Strato s
1,00	2,50	120,000	15,00	0,40	22,02	12,0	0,08
2,00	2,00	220,000	16,00	0,35	78,94	27,5	0,04
3,00	9,00	320,000	17,00	0,30	177,45	8,9	0,11
4,00	16,50	605,000	17,00	0,30	634,29	9,2	0,11

Strato	Spessore m	RIGIDITA' Vs*Y
1	2,50	0,18
2	2,00	0,35
3	9,00	0,54
4	16,50	1,03

**RIGIDITA' SISMICA RIFERITA ALLO SPESSORE DI TERRENO CONSIDERATO**

R= 0,94

Metodi di calcolo delle $V_{S30}$	Valori in metri al secondo	Categoria suolo di fondazione
$V_{S30}$ (misurato in sito con indagini dirette)	351,61	C



AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITA' CERTIFICATO SECONDO LA NORMA UNI EN 9001:2008



*Laboratorio Prove su materiali da costruzione  
Prove di collaudo strutture  
Prove non distruttive  
Indagini Geognostiche e Geofisiche  
Laboratorio Geotecnico  
Laboratorio Chimico*

Autorizzazione Legge 1086/71 - D.M. n° 11957 del 23/11/2012

## Indagini in situ

**DATA DI PROVA : GIUGNO 2019**

**COMMITTENTE : AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI PROCIDA (NA)**

**CANTIERE : MESSA IN SICUREZZA COSTONE CORRICELLA -LOCALITA' CORRICELLA - PROCIDA NA**

**OGGETTO : INDAGINE SISMICA MASW**

**Lo Sperimentatore  
Dott. Nicola Polzone**

### Premessa

**Abbiamo avuto incarico dalla AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI PROCIDA di eseguire una indagine nell'area sita in LOC. CORRICELLA – MESSA IN SICUREZZA DEL COSTONE - PROCIDA NA**

**L'indagine si è articolata in una prospezione di sismica passiva tipo "MASW" per la determinazione del  $V_{S_{equivalente}}$  eseguita in data GIUGNO 2019**

## INDAGINE SISMICA

### Introduzione

Nell'ambito del progetto di indagini sono state eseguite delle misure sismiche per la stima della velocità delle onde di taglio dall'analisi ed inversione della dispersione delle onde di Rayleigh e Love.

Le onde di superficie possono essere utilizzate per determinare la velocità delle onde di taglio dei suoli non consolidati e dei materiali più rigidi come le rocce. Queste onde in genere si propagano con velocità tipiche dei materiali superficiali e ultimamente sono sempre più utilizzate nella definizione delle proprietà elastiche ed anelastiche dei terreni e per determinare la rigidità dei materiali.

I metodi che utilizzano le onde di superficie hanno il vantaggio di considerare un'area del sito abbastanza vasta e soggetta a livelli di deformazione, principalmente dovuti alle onde sismiche che si propagano nel mezzo, molto bassi. La rigidità del terreno dipende essenzialmente dal livello di deformazione. Nelle prove di laboratorio (i.e. prove triassiali) i livelli di deformazione utilizzati per stimare la rigidità dei campioni sono molto più alti di quelli normalmente presenti nel terreno quando si propagano onde sismiche .

Si è anche osservato che la rigidità aumenta al decrescere del livello di deformazione ed è ormai generalmente accettato il fatto che le deformazioni del terreno associate con la maggior parte dei problemi connessi all'interazione suolo-struttura hanno bassi valori percentuali (0.1%). Per questo motivo la classificazione dei suoli sulla base dei metodi che utilizzano le onde di superficie rappresenta oramai lo stato dell'arte.



## Acquisizione dei dati

Per la misura della velocità delle onde S, la tecnica utilizzata in questo studio impiega l'analisi delle onde di superficie su registrazioni effettuate lungo uno stendimento di 24 stazioni sismiche ad ampia dinamica (24 bit) collegate da canali di trasmissione dati. Per ogni stazione sismica sono utilizzati sensori a 4.5 Hz. I sensori sono posti a distanze di 2 m l'uno dall'altro. I punti di scoppio sono stati posizionati ad una delle estremità del profilo a distanze di 2-5 m dal geofono n° 1. La scelta dei due scoppi è stata effettuata per avere la certezza di generare la dispersione delle onde superficiali a prescindere dai differenti litotipi presenti nel sottosuolo dell'area investigata.

## METODOLOGIA INTERPRETATIVA

Il software consente di analizzare dati sismici (common-shot gathers acquisiti in campagna) in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della Vs (velocità delle onde di taglio). Tale risultato è ottenuto tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh, determinate tramite la tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves).

La procedura si sviluppa in due operazioni svolte in successione:

- 1) determinazione dello spettro di velocità
- 2) inversione della curva di dispersione attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici

Gli algoritmi evolutivi rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (o anche global-search methods o soft computing).

Rispetto ai comuni metodi di inversione lineare basati su metodi del gradiente (matrice Jacobiana), queste tecniche di inversione offrono un'affidabilità del risultato di gran lunga superiore per precisione e completezza.

I comuni metodi lineari forniscono infatti soluzioni che dipendono pesantemente dal modello iniziale di partenza che l'utente deve necessariamente fornire. Per la natura del problema (inversione delle curve di dispersione), la grande quantità di minimi locali porta necessariamente ad attrarre il modello iniziale verso un minimo locale che può essere significativamente diverso da quello reale (o globale).

In altre parole, i metodi lineari richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicinissimo alla soluzione reale. In caso contrario il rischio è quello di fornire soluzioni erranee.

Gli algoritmi evolutivi offrono invece un'esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni. A differenza dei metodi lineari non è necessario fornire alcun modello di partenza. E' invece

necessario definire uno "spazio di ricerca" (search space) all'interno del quale vengono valutate diverse possibili soluzioni.

Quella finale viene infine proposta con anche una stima della sua attendibilità (deviazioni standard) attenuata grazie all'impiego di tecniche statistiche.

### **Procedura di inversione**

Per il sito considerato abbiamo invertito simultaneamente la velocità di fase del modo fondamentale delle onde di Rayleigh e di Love utilizzando una tecnica derivata da Nolet, (1981) e Herrmann (2002).

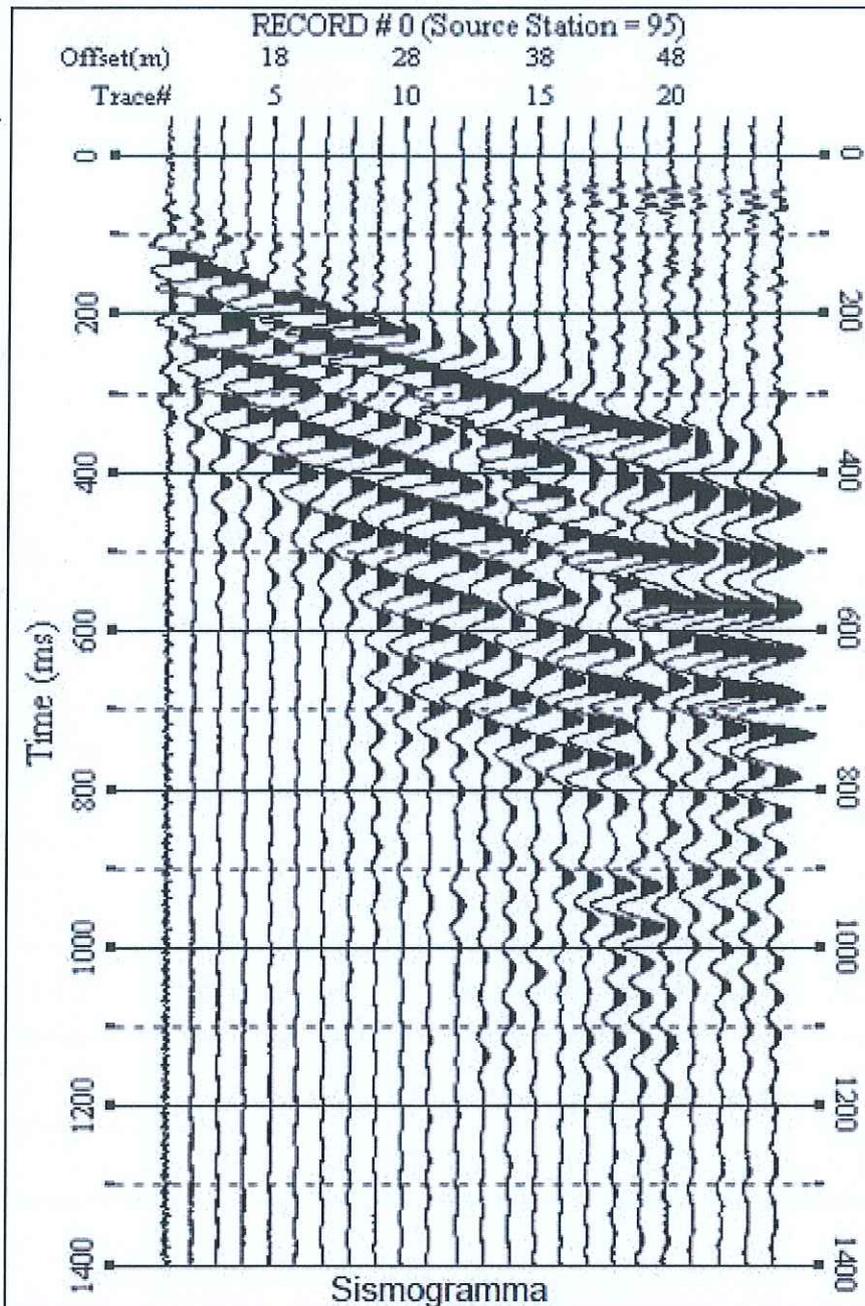
Come modello di partenza nell'inversione abbiamo usato i dati relativi all'analisi semplificata di sismica a rifrazione S effettuata sulla componente trasversale del moto. Abbiamo utilizzato una tecnica lineare di inversione generando però con diverse parametrizzazioni della struttura di partenza diverse soluzioni (profili di velocità S) in grado di produrre curve di dispersione molto simili a quelle osservate. E' importante sottolineare che l'inversione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh e Love non restituisce un unico modello di velocità. I metodi come quello qui utilizzato hanno lo svantaggio di convergere verso un unico minimo relativo (metodo ai minimi quadrati). Per ovviare a questo in genere si utilizzano diversi modelli di partenza e si scelgono solitamente i modelli finali più semplici, dove esiste in genere un aumento della velocità con la profondità. Esiste comunque una certa ambiguità perché le soluzioni possono essere molteplici e diverse tra loro.

Per scegliere quindi i modelli finali che di seguito saranno presentati abbiamo scartato tutti i modelli che non erano in grado di generare le frequenze di risonanza osservate nei rapporti spettrali H/V del rumore ambientale. Nel nostro studio i profili di velocità S ottenuti dall'inversione delle proprietà di dispersione delle onde di Rayleigh e Love sono in accordo con i dati con i rapporti spettrali H/V misurati nel sito interessato. Questo rende più attendibile la soluzione ottenuta attraverso il processo di inversione in quanto si riesce ad eliminare ogni ambiguità relativa ai problemi di "tradeoff" tra profondità e velocità che sono ben conosciuti quando si utilizzano solamente le onde di superficie. Utilizzando i tempi di arrivo S e la frequenza di risonanza fondamentale si riesce in questo modo a vincolare la profondità dove esista un contrasto di velocità.



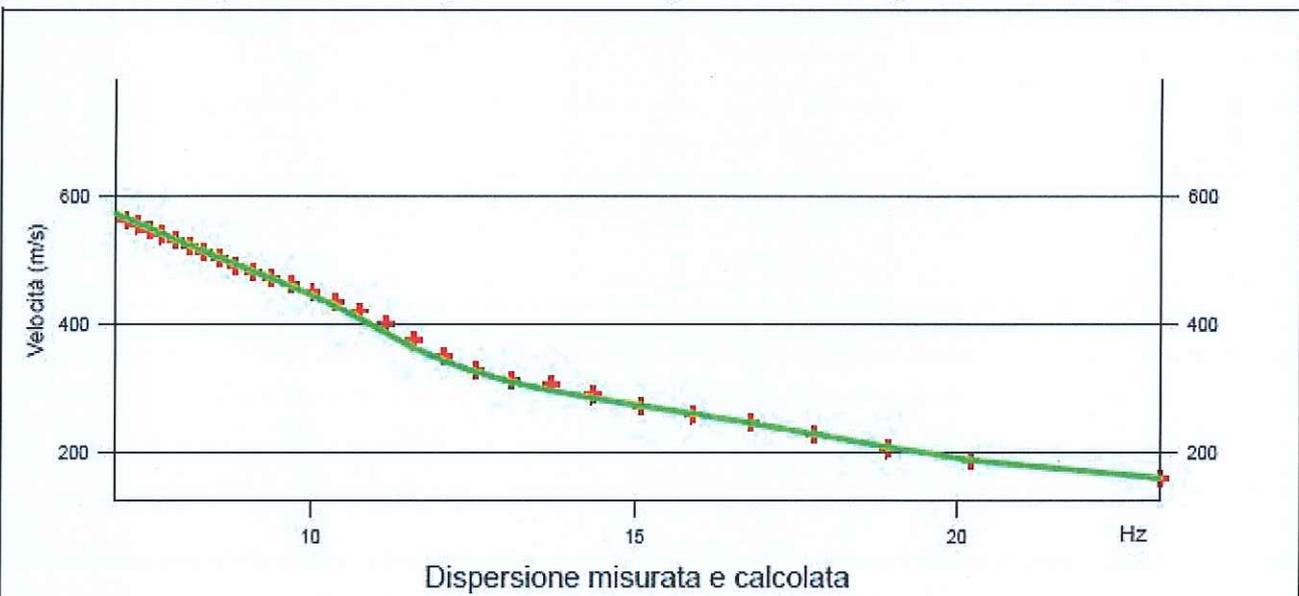
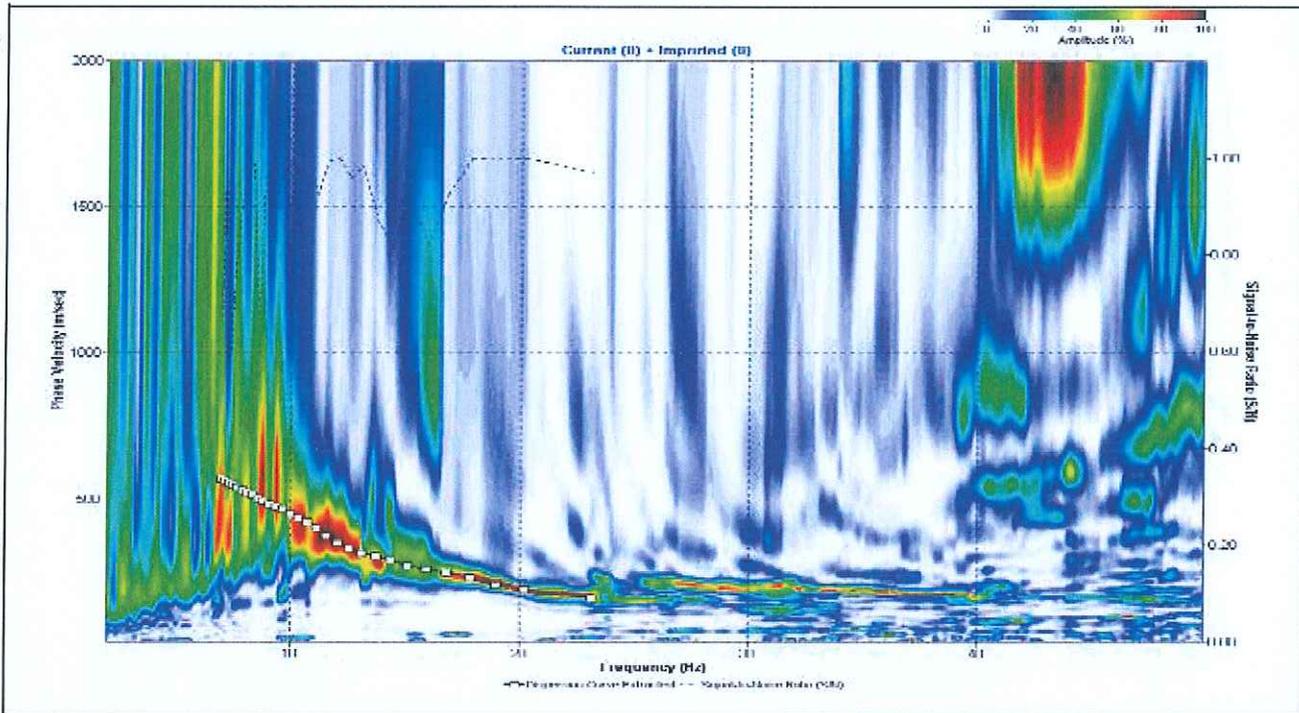
### RISULTATI DELLE PROVE

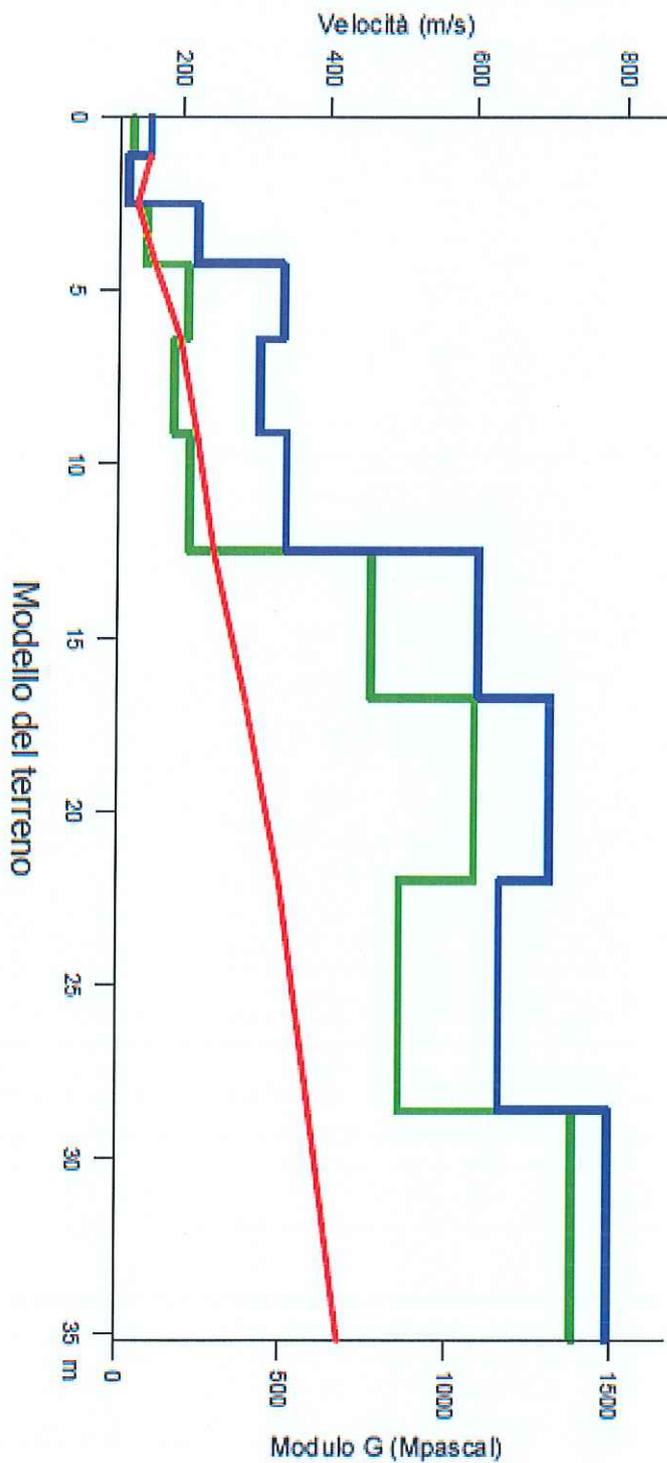
#### MASW





Autorizzazione Legge 1086/71 - D.M. n° 11957 del 23/11/2012







Autorizzazione Legge 1086/71 - D.M. n° 11957 del 23/11/2012

Strato	Spessore mt	Vs m/sec	Y Densità KN/mc	Coeffic. di Poisson	Modulo Taglio Go Mpa	Frequenza Strato f	Periodo Strato s
1,00	2,50	120,000	15,00	0,40	22,02	12,0	0,08
2,00	2,00	220,000	16,00	0,35	78,94	27,5	0,04
3,00	9,00	320,000	17,00	0,30	177,45	8,9	0,11
4,00	16,50	605,000	17,00	0,30	634,29	9,2	0,11

Strato	Spessore m	RIGIDITA' Vs*Y
1	2,50	0,18
2	2,00	0,35
3	9,00	0,54
4	16,50	1,03

**RIGIDITA' SISMICA RIFERITA ALLO SPESSORE DI TERRENO CONSIDERATO****R= 0,94**

Metodi di calcolo delle $V_{S30}$	Valori in metri al secondo	Categoria suolo di fondazione
$V_{S30}$ (misurato in sito con indagini dirette)	351,61	C