

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

### U.O. GEOLOGIA, GESTIONE TERRE E BONIFICHE

### PROGETTO DEFINITIVO

## RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO

### INDAGINI GEOFISICHE

CROSS-HOLE E DOWN-HOLE Località Taormina

SCALA:

-
---

COMMESSA   LOTTO   FASE   ENTE   TIPO DOC.   OPERA/DISCIPLINA   PROGR.   REV.

RS2S   00   D   69   IG   GE0005   002   A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorità
A	Emissione Esecutiva	P. Chiara	ago. 2017	F. Romano	ago. 2017	P. Carlesimo	gen. 2018	ITALFERR S.p.A. Dott. Geologo Francesco MARCOISE UO GEOLOGIA, GESTIONE TERRE E BONIFICHE Ordine Geologi Lazio n. 79 US

## INDICE

1. GENERALITÀ E OBIETTIVO DELLO STUDIO.....	3
2. METODOLOGIE IMPIEGATE .....	5
2.1 MISURE DI VERTICALITÀ O DEVIOMETRICHE DEI FORI.....	5
2.2 INDAGINI SISMICHE IN FORO CROSS HOLE (CH) PER ONDE P E S.....	7
2.2.1 Principi teorici .....	9
2.2.2 Modalità esecutive delle indagini CH ed elaborazione dati.....	10
2.3 INDAGINE SISMICA DOWN HOLE TEST (DHT).....	12
2.3.1 Principi di funzionamento e cenni sul metodo.....	12
2.3.2 Metodologia di misura e strumentazione utilizzata .....	12
3. RISULTATI.....	15
3.1 PREMESSA.....	15
3.2 RISULTATI DELLA PROVE CROSS HOLE E DOWN HOLE.....	15
3.2.1 Parametri dinamici dinamici e Vs30 calcolati sul foro DH S13D e S13Dch .....	16
4. BIBLIOGRAFIA .....	18
5. ALLEGATO GRAFICO 1 – TAVOLE DALLA 1 ALLA 2.....	19
6. ALLEGATO GRAFICO 2 – TAVOLA 1.....	22
7. ALLEGATO GRAFICO 3 – TAVOLE DALLA 1 ALLA 3.....	24

## 1. GENERALITÀ E OBIETTIVO DELLO STUDIO

Il presente Rapporto Tecnico descrive i risultati della campagna d'indagini geofisiche non invasive condotte con metodologie sismiche in foro di tipo Cross Hole, per Onde di compressione P e di taglio S, nel volume di geomateriali compresi tra i due fori geotecnici (S13D e S13Dch), opportunamente attrezzati, e di tipo Down Hole, all'interno dei medesimi fori di sondaggio, eseguite all'interno del progetto definitivo per il raddoppio della tratta Fiumefreddo-Giampileri nel collegamento Messina-Catania, sulla direttrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo.

Nella figura 1 seguente è mostrata la foto aerea relativa alla collocazione dei citati fori di sondaggio S13D e S13Dch.



*Figura 1: Ubicazione delle indagini sismiche in foro di tipo Cross-Hole e Down Hole, all'interno dei fori S13D – S13Dch, nella zona di Taormina (CT).*

L'impiego delle prospezioni con metodologie sismiche di tipo Cross hole e Down-hole, è volto alla ricostruzione di dettaglio dei profili di velocità delle onde di compressione P e di taglio S nei terreni attraversati dai sondaggi sopra indicati, fino alla profondità di 50m dal piano di calpestio, con lo scopo di estrapolare, attraverso la conoscenza dei parametri dinamici relativi, una caratterizzazione di elevata risoluzione e di approfondimento ai fini geotecnici e geomeccanici dei terreni di fondazione.

Preventivamente alle indagini geofisiche, sulle verticali dei due fori d'indagine, sono stati realizzati dei rilievi inclinometrici (prove di verticalità o deviazione, indicate anche come

misure deviometriche) atte a verificare l'assetto geometrico reciproco dei fori in oggetto e valutare, con la precisione necessaria, la loro distanza reciproca rispetto alla profondità e misurare esattamente i tempi di volo per la corretta interpretazione delle indagini sismiche Cross hole.

Le coordinate geografiche e le quote delle teste tubo, indicate dagli esecutori dei sondaggi e le lunghezze relative utili dei fori (riscontrate in sede di indagine geofisica) sono le seguenti:

– Gauss Boaga Roma 40		Sistema di Coordinate WGS84-GMS				
	Nord ROMA40	Est ROMA40	H geoid.	Latitudine	Longitudine	H Ellissoide
S13D	4190407,276	2545709,135	55,127	37°51'38.78804"N	15°17'32.09740"E	95,503
S13D_ch	4190405,088	2545710,232	55,126	37°51'38,71693"N	15°17'32,14204"E	95,502

- S13D – Lunghezza = 49m
- S13Dch – Lunghezza = 50m

Il presente documento contiene una breve descrizione delle metodologie geofisiche di tipo Cross hole e Down Hole utilizzate e riporta le evidenze dei risultati emersi dalla campagna di acquisizione dati condotte in sito nel mese di agosto 2017.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FIUMEFREDDO – GIAMPILIERI</b> INDAGINI GEOFISICHE CROSS-HOLE E DOWN-HOLE Località Taormina					
	RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE	PROGETTO RS2S	LOTTO 00 D 69	TIPO DOC. IG	OPERA/DISCIPLINA GE0005 001	REV. A

## 2. METODOLOGIE IMPIEGATE

### 2.1 MISURE DI VERTICALITÀ O DEVIOMETRICHE DEI FORI

Per “deviazione” del foro ad una certa profondità, s’intende la misura dello spostamento orizzontale del centro foro dall’asse verticale passante per il centro in superficie. Lo spostamento è rappresentato da un vettore orizzontale, orientato in senso orario rispetto al Nord magnetico.

Le misure di deviazione condotte su fori tubati sub-verticali hanno lo scopo di determinarne il reale assetto geometrico alle diverse profondità.

Per fare questo viene calata nelle coppie di fori, all’interno dei quali sarà realizzata l’indagine geofisica di tipo Cross-hole, un’apposita strumentazione: i risultati delle misure, opportunamente elaborati secondo la procedura che sarà di seguito descritta, forniscono una tabella con il valore della distanza orizzontale tra livelli posti alle stesse profondità. Questa sarà la distanza reciproca tra i due fori d’indagine utilizzata per il trattamento dati delle misure geofisiche cross hole, al fine di ottenere una corretta misura dei tempi di percorrenza tra sistema di energizzazione e i ricevitori triassiali.

Le specifiche di dettaglio delle indagini deviometriche realizzate tra i due fori impiegati per le indagini cross hole è riportato nella tabella seguente:

FORO DI SONDAGGIO N°	PROFONDITÀ FORO [m]	DISTANZA FRA FORI (IN SUPERFICIE)	INTERVALLO DI MISURA [m]
S13D	49	S13D-S13Dch 2.45 m	1
S13Dch	50		1

*Tabella 2.1.1*

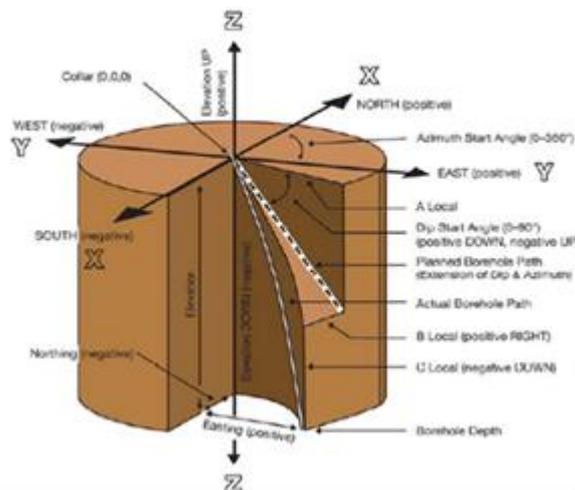
La strumentazione impiegata per il rilievo della verticalità e distanza tra i fori (Deviometro), è riassunta di seguito

STRUMENTAZIONE	QUANTITÀ
Deviometro Ambrogeo- Unità di alimentazione e lettura	1
Corpo Sensori inclinometrici biassiali amagnetico	1
Bussola elettronica fluxgate	1
<u>Cavo multipolare</u>	<u>1</u>

*Tabella 2.1.2*

Nel corpo sensori sono inseriti: un inclinometro verticale a due sensori ortogonali, che misura l'inclinazione locale con risoluzione di 1/100 di grado, ed una bussola elettronica fluxgate, che misura l'orientazione dell'inclinometro rispetto al Nord.

Misurata la distanza tra le due boccafori al piano campagna (nel nostro caso 2,45 m) e l'Azimuth, rappresentato dall'angolo tra la congiungente le due boccafori citate e il Nord magnetico (nel nostro caso 320°), sono stati acquisiti in fase di misura consecutivamente, per ogni metro in profondità lungo la verticale di ciascuno dei fori, i due valori di inclinazione (convenzionalmente denominati Pitch  $-X$  e Roll  $-Y$ ) ed il relativo valore di azimuth magnetico.



*Schema 2.1.1: Schema delle convenzioni di orientamento nelle misure di verticalità*

Nelle usuali perforazioni di tipo geognostico, lunghe qualche decina di metri, lo spostamento aumenta blandamente con la profondità, e può dipendere sia dalla tecnica di perforazione (assetto iniziale della batteria di perforazione, senso di rotazione dell'utensile, usura degli scalpelli o del carotiere, etc.) che dall'assetto litologico attraversato (pendenza degli strati, presenza di trovanti o corpi metallici, anisotropia meccanica dei materiali incontrati, etc).

In queste perforazioni lo spostamento si manifesta generalmente con un andamento curvilineo e giace solitamente su un piano: lo si approssima pertanto con un grafico bidimensionale (grafico delle risultanti).

In altre classi di perforazioni, di maggiore complessità e sviluppo (p.es. pozzi profondi per acqua, geotermici o petroliferi), l'andamento assume frequentemente un andamento tridimensionale, che frequentemente si presenta spiralato destrorso.

Nella figura seguente è mostrato il deviometro impiegato per le misure di verticalità nel presente lavoro:

## BOREHOLE DEVIATION PROBE



-Length probe:100cm.  
-Diameter probe: 5cm.  
-Weigth probe:1,5kg.  
-Cable length: 50-100mt.  
-Sensor: X-Y-1/100°  
-Electronic compass

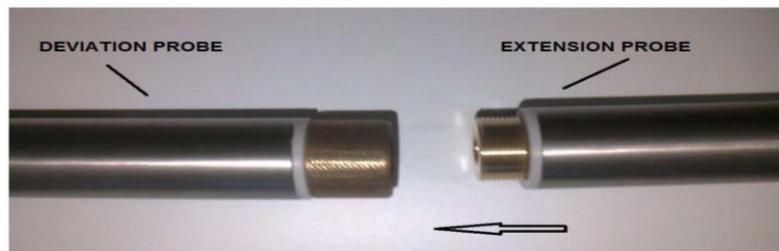


Figura 2 – Sistema di misura verticalità fori – Deviometro Ambrogeo

I risultati delle misure di deviazione nei due fori d'indagine, sono visualizzati nell'Allegato grafico 1.

## 2.2 INDAGINI SISMICHE IN FORO CROSS HOLE (CH) PER ONDE P e S

La prova sismica CH consente di determinare i profili di velocità delle onde di volume in un deposito di terreno, attraverso la misurazione dei tempi di percorrenza di tali onde lungo percorsi sub-orizzontali compresi tra due fori di sondaggio paralleli.

In genere si valutano le variazioni della velocità associate ai cambiamenti della litologia nel materiale compreso tra le verticali dei sondaggi di prova.

I fori di sondaggio, S13D ed S13Dch, all'interno dei quali condurre le prove, sono stati eseguiti rispettivamente a carotaggio continuo e a distruzione e successivamente preparati per le prove sismiche, sono stati completati con un rivestimento cementato riempito di acqua all'interno al fine di condurre la prova. Essi sono stati realizzati in un piazzale disposto su versante a forte pendenza Nord ed Est; tale piazzale, di superficie piuttosto limitata e con una pavimentazione composta da autobloccanti su fondo in cemento, è delimitato a Nord e ad Est da un imponente muro di contenimento in cemento armato. Uno dei due fori è utilizzato come sorgente di eccitazione attraverso l'impiego di sorgenti capaci di generare segnali per onde di compressione P polarizzate nel piano orizzontale e di Taglio polarizzate nel piano verticale.

Le indagini Cross hole si eseguono al fine di determinare le velocità di propagazione delle onde  $V_p$ - $V_s$ , con lo scopo di calcolare i valori dinamici medi relativi ai parametri geotecnici definiti rispettivamente come coefficiente di Poisson, modulo di Young e modulo di taglio delle porzioni di terreno indagate.

L'importante caratteristica di tale metodo è quella di studiare i parametri di stato e di comportamento attraverso misure capaci di dare valori medi e non puntuali dei parametri geotecnici dei geomateriali, riferendoli a volumi di terreno rappresentativi dei caratteri megastutturali dei depositi. I metodi sismici impiegati consentono altresì, a partire dai valori di velocità di propagazione delle onde di compressione e di taglio, la determinazione dei parametri di deformabilità riferendoli a valori molto bassi dei livelli di deformazione ( $<10^{-5}$ ), al di sotto della soglia di deformazione lineare ciclica.

Gli standard di riferimento adottati sono in accordo alla norma ASTM D 4428..



4a



4b

Figura 4a e 4b – immagini delle posizioni reciproche dei due Fori 13D e 13Dch, durante le fasi di acquisizione dati.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FIUMEFREDDO – GIAMPILIERI</b> INDAGINI GEOFISICHE CROSS-HOLE E DOWN-HOLE Località Taormina					
	RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE	PROGETTO RS2S	LOTTO 00 D 69	TIPO DOC. IG	OPERA/DISCIPLINA GE0005 001	REV. A

Le misure sismiche Cross-Hole sono state eseguite introducendo un geofono triassiale all'interno del foro S13Dch ed un energizzatore per onde di compressione e di taglio, munito di sensore starter, nel foro S13D. Spostando i due sensori in parallelo dalla massima profondità comune dei fori (49 m) fino alla superficie, per ogni metro sono state effettuate le varie registrazioni.

Il sismografo utilizzato per le misure sismiche Cross hole è uno strumento a 48 canali espandibile a 96, con tecnologia Delta Sigma, dotato di convertitore analogico digitale a 24bit (mostrato nella Figura 6 alle pagine seguenti).

Le sorgenti sismiche utilizzate nel presente lavoro hanno consentito un'adeguata generazione di energia specifica degli impulsi trasmessi ad elevata ripetibilità, sia per onde di compressione sia per onde di taglio. I ricevitori da foro utilizzati sono dotati di terne triassiali costituite da geofoni tridimensionale della Geospace (USA) a frequenza propria di 10Hz.

L'accoppiamento meccanico tra le pareti dei fori, i ricevitori triassiali e le sorgenti di energia ("energizzatore") all'interno dei fori di sondaggio, nell'indagine in oggetto, è stato reso possibile con appositi sistemi di ancoraggio pneumatico a tre pistoni; il sistema pneumatico di alimentazione è rappresentato da un compressore portatile da campo ad alto rendimento collegato ad un gruppo elettrogeno autotrasportabile (si veda le figure 4a e 4b alla pagina precedente).

### **2.2.1 Principi teorici**

In linea teorica nell'analisi di dati sismici cross-hole è necessario appoggiarsi all'ipotesi che il geomateriale indagato sia un mezzo omogeneo, elastico ed isotropo. Nel nostro caso, come per la maggior parte, tale assunzione risulta un'approssimazione. Questo tipo di ipotesi però consente, nelle fasi successive di valutazione geotecnica (muovendo da valori calcolati e assegnati di densità dei materiali presenti tra i fori di indagine), di elaborare i dati al fine di determinare i moduli dinamici a partire dalla distribuzione di velocità delle onde di compressione P e di taglio S.

Nel nostro caso, come per la maggior parte, tale assunzione risulta un'approssimazione.

In ogni caso, facendo riferimento alle supposizioni introdotte, è possibile risalire al coefficiente di Poisson (in tale contesto denominato con  $\sigma$  in altri comunemente definito con  $\nu$ ), tramite la seguente relazione <sup>◇</sup>

---

$$\sigma = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left[\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1\right]} \quad \diamond$$

e al modulo di Young tramite la  $\diamond$

$$E = \frac{(1-2\sigma)(1+\sigma)}{(1-\sigma)} \rho V_p^2 \quad \diamond$$

I valori dinamici calcolati con tali tecniche possono risultare differenti dai valori provenienti da prove di tipo statico puntuali, specie in tipologie di materiali quali quelli in oggetto.

Sono inoltre esprimibili come funzioni dalle costanti elastiche dinamiche  $E$  e  $\sigma$ , la compressibilità  $\beta$  e di conseguenza il *Bulk modulus* ( $k = 1/\beta$ ) (Milton B. et alii, 1988), cioè come relazione tra le costanti di dilatazione cubica, risultanti dalla combinazione degli sforzi lineari di compressione e di taglio in dipendenza delle relative costanti:

$$k = \frac{E}{3(1-2\sigma)}$$

e il modulo di rigidità o di taglio  $\mu$  (altrimenti indicato con la lettera  $G$ ) :

$$\mu = \frac{E}{2(1+\sigma)}$$

Il valore di densità geofisica  $\gamma$  adottato, dipende dal valore di velocità di propagazione delle onde di compressione  $P$  e deriva dalla seguente formula empirica

$$\gamma = V_p \cdot 0.002 + 16$$

ed è espresso nel Sistema Internazionale - SI in  $\text{kN/m}^3$ . Tutti i valori dei moduli dinamici (ovviamente escluso Poisson) calcolati sono espressi in MPa.

### **2.2.2 Modalità esecutive delle indagini CH ed elaborazione dati**

La sorgente e i ricevitori all'interno dei due fori di sondaggio sono posizionati alla stessa profondità all'interno dei due fori, in modo tale che la velocità di propagazione delle onde di volume caratteristica dei vari strati di terreno possa essere misurata lungo percorsi

$\diamond$  Milton B. Dobrin, Carl H. Savit, 1988, Introduction to Geophysical Prospecting, fourth Edition, McGraw-Hill International Editions e R.E. Goodman, 1989, Introduction to Rock Mechanics, second Edition, John Wiley & Sons

orizzontali. Spostando la sorgente e i ricevitori a diverse profondità è possibile ottenere un dettagliato profilo di velocità delle onde S e P.

Le prove sismiche sono state condotte eseguendo le misure lungo i fori di sondaggio per le porzioni di materiale comprese tra ciascuna delle coppie di fori medesimi, con una frequenza pari ad una misura ogni 1 metro.

Il riconoscimento e perciò l'identificazione degli istanti di arrivo delle onde P ed S, oltre ad appoggiarsi su un adeguata generazione di energia specifica degli impulsi trasmessi, è stato supportato con tecniche di trattamento e di riconoscimento, laddove necessarie, anche con tecniche basate sulla cross-correlazione dei segnali. A tal scopo, al fine di avere un ulteriore strumento di conoscenza per il riconoscimento dei primi arrivi relativi alle onde S e della fase dei segnali, le acquisizioni cross-hole sono state affiancate da due acquisizioni con metodo Down-Hole per intervalli e misure con *tecnica diretta* (tale modalità di elaborazione dati sarà esposta nel seguito nel successivo paragrafo §2.3.1).

Al fine di poter depurare dai ritardi di misura ed operare un corretto riconoscimento dei primi arrivi, in fase di acquisizione dati un canale è dedicato alla registrazione dell'istante di "trigger" e predisposto a livello digitale un periodo di registrazione di "pretriggering" pari a 5ms; pertanto nelle successive fase di analisi degli oscillogrammi e di elaborazioni dei tempi di primo arrivo delle onde P e S è sempre possibile eseguire una correzione degli eventuali ritardi di misura all'avvio delle registrazioni.

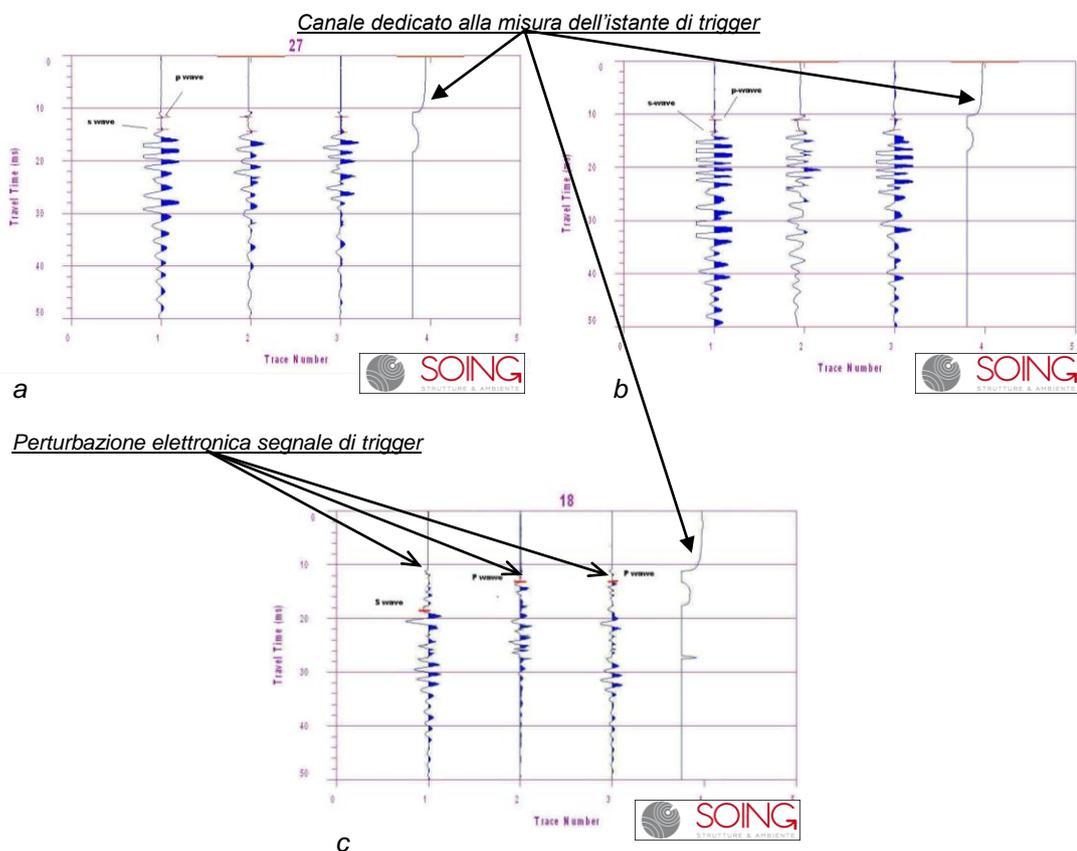


Figure 5a, 5b e 5c: Esempi di riconoscimento arrivi P e S su oscillogrammi tipo

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FIUMEFREDDO – GIAMPILIERI</b> INDAGINI GEOFISICHE CROSS-HOLE E DOWN-HOLE Località Taormina					
	RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE	PROGETTO RS2S	LOTTO 00 D 69	TIPO DOC. IG	OPERA/DISCIPLINA GE0005 001	REV. A

Per il processing dei dati è stato utilizzato il software GeoTomCG col modulo Tom-Time (GeoTom – USA) affiancato dal modulo software Geogiga Front End (Canada) e dal modulo elaborazione pre-processing di SWAN (Italia), basati su piattaforma Windows (32-64 bit), impiegabili sia con acquisizioni per onde di compressione P che di taglio S in foro, per scopi geologici, geotecnico-ingegneristici, ambientali, nonché per l'esplorazione nel campo delle georisorse.

I risultati grafici che rappresentano la distribuzione delle velocità delle onde di compressione (Vp) e di taglio (Vs), del coefficiente di Poisson dinamico, dei moduli dinamici di Young (elastico) di Taglio e del Bulk Modulus ovvero della Compressibilità dinamiche nei terreni indagati, sono visualizzati nell'Allegato 2 (espressi nelle unità di misura del Sistema Internazionale SI).

## **2.3 INDAGINE SISMICA DOWN HOLE TEST (DHT)**

### **2.3.1 Principi di funzionamento e cenni sul metodo**

La prova sismica DHT è un metodo di indagine sismica finalizzato alla determinazione dei profili di velocità delle onde di taglio SH e di compressione P di depositi di terreno.

I profili di velocità ottenuti dalle misure DHT rappresentano valori di velocità medi sullo spessore degli strati poiché sono calcolati lungo percorsi dei raggi sismici inclinati. Tali percorsi sono poi corretti in fase di elaborazione dati, per essere riportati ad un percorso rettilineo lungo la verticale.

L'importante particolarità di tale metodo, come già indicato in per il metodo Cross Hole nel precedente §2.2, è quella di studiare i parametri di stato e di comportamento riferendoli a valori molto bassi dei livelli di deformazione ( $<10^{-5}m$ ), al di sotto della soglia di deformazione lineare ciclica.

Per l'interpretazione dei dati è stata usata la tecnica diretta, che rappresenta un metodo nel quale le velocità delle onde SH (e P) sono calcolate dalle pendenze dei tratti di dromocrone generate in dipendenza delle posizioni consecutive dei sensori alle diverse quote di spostamento lungo il foro. Nel nostro caso le misurazioni sono state eseguite ogni metro.

### **2.3.2 Metodologia di misura e strumentazione utilizzata**

La sorgente del segnale sismico per onde SH è costituita da barre in teflon, di circa 2m di lunghezza complessiva, assicurate al terreno applicando un carico verticale adeguato. Lo sforzo di taglio è trasmesso colpendo orizzontalmente con una massa battente la barra, alternativamente sui due lati, oppure, attraverso la realizzazione di un scasso nel terreno ove alloggiare verticalmente una piastra in alluminio per generare gli sforzi di taglio su due direzioni opposte (con lo scopo di trasmettere impulsi a polarità invertite).

Lo sforzo di compressione è invece trasmesso attraverso una massa battente verticale su di una piastra in alluminio; i sistemi di energizzazione sono posizionati, in prossimità del boccaforo.

I ricevitori, all'interno del foro di sondaggio, sono stati posti in modo tale che la velocità di propagazione delle onde di volume, caratteristica dei vari strati di terreno, potesse essere misurata ogni metro. Spostando i ricevitori (geofoni triassiali solidali da foro) a diverse profondità, è possibile ottenere un dettagliato profilo di velocità delle onde SH e P.

L'accoppiamento meccanico tra le pareti del "casing" del foro e i ricevitori all'interno del foro stesso, nell'indagine in oggetto, è stato reso possibile con appositi sistemi di ancoraggio pneumatico.

I ricevitori utilizzati sono costituiti da un sistema tridimensionale composto da tre geofoni, a frequenza propria di 10Hz, della Geospace (USA), orientati nelle tre dimensioni dello spazio.



a)



b)

Figura 5 : a) configurazione per le indagini DHT presso DH S13D b) configurazione per le indagini DHT presso DH S13Dch

Il sismografo utilizzato per le misure sismiche Down Hole è il medesimo impiegato per le acquisizioni Cross hole trattate nei precedenti paragrafi. Si tratta, come anticipato in

precedenza, di uno strumento con possibilità di acquisizione su 48 canali contemporanei e dotato di convertitore analogico digitale a 24bit.



*Figura 6: Sismografo digitale a 24 bit.*

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FIUMEFREDDO – GIAMPILIERI</b> INDAGINI GEOFISICHE CROSS-HOLE E DOWN-HOLE Località Taormina					
	RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE	PROGETTO RS2S	LOTTO 00 D 69	TIPO DOC. IG	OPERA/DISCIPLINA GE0005 001	REV. A

### 3. RISULTATI

#### 3.1 PREMESSA

L'ubicazione dei fori di indagine su immagini satellitari e le misure deviometriche sono riportate nell'Allegato 1: esso è composto da 2 Tavole in formato A3; la prima, come anticipato in precedenza, contiene le foto satellitari in due diversi ingrandimenti del sito di indagine, entrambi orientati verso Nord. La seconda riporta i dati deviometrici ed i risultati interpretati per la definizione delle distanze reciproche tra i fori S13D ed S13Dch.

L'Allegato 2 è composto da una unica Tavola in formato A2, che riassume i risultati dell'indagine Cross-Hole e Down Hole, con la definizione di dettaglio, con frequenza di 1 metro lungo le verticali dei due fori, della variazione dei valori di Velocità delle Onde di compressione P e di Taglio S, i valori dinamici di densità, Coefficienti di Poisson, moduli Elastici, di Taglio, Compressibilità (ovvero Bulk), desunti come illustrato nel precedente paragrafo §2.2.1.

Infine l'Allegato 3, composto da tre Tavole in formato A3, oltre ad illustrare nuovamente in Tavola 1, con riferimento alla Tecnica Down Hole, l'ubicazione dei fori di indagine, dedica due Tavole in cui, oltre ad elencare i tempi osservati e corretti di primo arrivo delle Onde di Taglio SH, riporta i grafici nei quali, per ogni strato di spessore 1m, le velocità delle onde di taglio ricavate dal Down Hole sono diagrammate e confrontate con le velocità delle onde compressionali ottenute dal Cross-Hole, in due profili Onde P-S rispettivamente per il foro S13D (Tav. 2) ed il foro S13Dch (Tav. 3).

#### 3.2 RISULTATI DELLA PROVE CROSS HOLE E DOWN HOLE

##### 3.2.1 Analisi Velocità delle Onde di compressione e Taglio e Parametri dinamici

La scelta di eseguire una indagine sismica in doppia tecnica, Cross hole su fori affiancati e subparalleli e Down hole su ciascuno dei fori citati, deriva dalla necessità di valutare con certezza la risposta sismostratigrafica dei terreni indagati in termini di velocità di propagazione delle onde di Taglio e di compressione, ovviando e superando (attraverso il loro impiego congiunto) ai limiti intrinseci di ciascuna delle due tecniche sismiche, impiegate, nel presente caso di studio, in un contesto complicato sia dal punto di vista geologico e geomeccanico e sia dal lato prettamente logistico legato alla posizione ed urbanizzazione del sito.

Mentre infatti il contesto geologico appare caratterizzato da una marcata anisotropia in termini di risposta sismostratigrafica, a seconda che si valuti la risposta per Onde P rispetto alle onde S, queste ultime anche in dipendenza della loro polarizzazione, come già anticipato nel paragrafo §2.2, il piazzale sul quale sono stati realizzati i due fori di sondaggio, oltre alle condizioni di pendenza, si trova incastonato e delimitato, a Nord e ad Est, da un imponente muro di contenimento in cemento armato, che introduce disturbi e comportamenti anomali nell'analisi dei tempi di volo (primi arrivi) delle onde di Taglio nella Tecnica Cross-hole, specie a partire da profondità superiori ai 9-12m dal piano campagna (di seguito indicato con p.c.).

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FIUMEFREDDO – GIAMPILIERI</b> INDAGINI GEOFISICHE CROSS-HOLE E DOWN-HOLE Località Taormina					
	RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE	PROGETTO RS2S	LOTTO 00 D 69	TIPO DOC. IG	OPERA/DISCIPLINA GE0005 001	REV. A

Per superare i problemi sopra descritti, all'interno di ogni foro, è stata eseguita una prova sismica di tipo Down Hole. Tali prove, energizzando su postazioni a distanza di 2 m da ciascuna delle bocca foro, hanno consentito di ottenere n. 2 profili di velocità per onde di taglio, coerenti sia tra loro che con la stratigrafia locale fornita dal Log stratigrafico proveniente dal carotaggio S13D.

Differentemente dalla tecnica Cross-hole, nell'indagine Down Hole, sono le Onde di compressione P a creare problemi, poiché i dati ottenuti sono risultati di difficile elaborazione, in particolare nuovamente a partire da profondità superiori ai 9-12 metri dal piano campagna.

Sembrerebbe infatti che, superati i 9 m dal p.c nel caso del foro S13Dch ed gli 11-12 m nel foro S13D, l'energia prodotta (in dipendenza della polarizzazione del segnale e dell'anisotropia dei materiali) rimanga intrappolata (per semplificare il concetto) tra la pavimentazione/soletta superficiale, l'imponente manufatto di contenimento laterale e l'interfaccia di separazione tra le litologie sabbie limose, limi argilloso sabbiosi superficiali e quelle sottostanti.

Pertanto, i parametri dinamici relativi alle varie litologie attraversate, forniti nella Tavola 1 dell'Allegato 2, sono stati ottenuti e/o corretti, facendo un uso congiunto delle due tecniche sismiche impiegate, al fine di ottimizzarne il risultato finale. I risultati contenuti nella Tavola citata in precedenza, sono stati ottenuti, quindi, attraverso le correlazioni classiche tra i valori di velocità delle onde P ricavati dalla prova Cross-Hole ed i valori di velocità delle onde di taglio ottenuti come media dei profili S dei due Down Hole.

### **3.2.2 Parametri $V_{s30}$ calcolati sui fori DH S13D e S13Dch**

Per ciascuna dei profili di Onde S ricavato sui due fori mediante tecnica Down Hole, è stato calcolato il parametro  $V_{s30}$ , reperibile nelle due Tavole 2 e 3 dell'Allegato 3.

Ricordiamo brevemente che il parametro  $V_{s30}$  citato, è stato calcolato come sommatoria (nei 30 metri di spessore del sottosuolo, nel nostro caso a partire dalla quota boccaforo, al piano campagna) dei valori delle velocità di intervallo, pesati rispetto agli spessori associati alla stratificazione dei materiali:

$$V_{s30} = 30 \frac{1}{\sum_1^N \frac{h_i}{V_i}}$$

Dal valore del parametro  $V_{s30}$  è possibile risalire alla categoria di suolo secondo il D.M. 14 Gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", dal quale sono tratte le successive tabelle.

**Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo**

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; N_{SPT,30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u,30} &lt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con <math>V_s &gt; 800</math> m/s).</i>

**Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo.**

Categoria	Descrizione
<b>S1</b>	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
<b>S2</b>	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$  nei primi 30 m di profondità, è possibile determinare una velocità equivalente  $V_{s30}$  rappresentativa del sito in esame. Secondo la normativa italiana in materia di progettazione antisismica “O.P.C.M. n° 3274/2003” e sue modifiche e le Norme Tecniche di Costruzione (D.M. 14/01/2008) e sue modifiche e, ancora, secondo la normativa europea Eurocodice 8, il valore calcolato di  $V_{s30}$  per il foro DH S13D è pari a

$$V_{s30} = 698 \text{ m/s.}$$

Si può assimilare la categoria di suolo di fondazione di riferimento al suolo “B”.

Tale valore risulta coerente con quello analogo calcolato per il foro DH S13Dch, risultato pari a

$$V_{s30} = 643 \text{ m/s.}$$

Per il quale, ovviamente, si può assimilare la categoria di suolo di fondazione di riferimento al suolo “B”.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FIUMEFREDDO – GIAMPILIERI</b> INDAGINI GEOFISICHE CROSS-HOLE E DOWN-HOLE Località Taormina					
	RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE	PROGETTO RS2S	LOTTO 00 D 69	TIPO DOC. IG	OPERA/DISCIPLINA GE0005 001	REV. A

#### 4. BIBLIOGRAFIA

Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, 29, 665–666.

ASTM Designation: D7400 – 08, Standard Test Method for Crosshole Seismic Testing, ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

ASTM Designation: D4428/D 4428M – 00, Standard Test Method for Downhole Seismic Testing, ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

Auld, B., “Cross-Hole and Down-Hole Vs by Mechanical Impulse,” *Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol 103, GT12, December 1977, pp. 1381–1398.

Ben-Menahem A. E SINGH S.J., 1981. *Seismic Waves and Sources*, Springer-Verlag, New York.

Burnham, G. F. and Hawke, P. J., Smart solution to a sticky problem: in-mine clay mapping using high-resolution geophysics. (In Press).

Butler, Dwain K., and Curro, Joseph R., Jr., “Crosshole Seismic Testing—Procedures and Pitfalls,” *Geophysics*, Vol 46, No. 1, January 1981, pp. 23–29.

Coffeen, J.A., 1978. “Seismic exploration fundamentals”. Pubb. Co.;

Dobrin, M.B., 1976. “Introduction to Geophysical prospecting”. McGraw-Hill Book Co.;

Cavinato, G. P., Di Luzio, E., Moscatelli, M., Vallone, R., Averardi, M., Valente, A., and Papale, S. [2006] The new Col di Tenda tunnel between Italy and France: Integrated geological investigations and geophysical prospections for preliminary studies on the Italian side. *Engineering Geology* 88, 90-109.

Kim, D.S., Bang, E.S., Kim, W.C., “Evaluation of Various Downhole Data Reduction Methods for Obtaining Reliable Vs Profiles,” *Geo-technical Testing Journal, ASTM*, Vol. 27, No. 6, November 2004, pp. 1-13.

Mcmechan G.A., Yedlin M.J., 1981, Analysis of dispersive wave by wave field transformation, *Geophysics*, 46, 869-874;

Milton B. Dobrin, Carl H. Savit, 1988, *Introduction to Geophysical Prospecting*, fourth Edition, McGraw-Hill International Editions e R.E. Goodman, 1989, *Introduction to Rock Mechanics*, second Edition, John Wiley & Sons.

Ogata, J., *Discrete Process Control*, Cambridge University Press, 1987, pp. 343-344.

Stokoe, K. H., II, and Hoar, R. J., “Variables Affecting In Situ Seismic Measurements”, *Proceedings of the ASCE Geotechnical Engineering Division Specialty Conference on Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, ASCE, Vol II, 19–21 June 1978, pp. 919–939.

Woods, R. D., “Measurement of Dynamic Soil Properties,” *Proceedings of the ASCE Geotechnical Engineering Division Specialty Conference on Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, ASCE, Vol I, 19–21 June 1978, pp. 91–178.



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO**  
**RADDOPPIO DELLA TRATTA FIUMEFREDDO – GIAMPILIERI**  
INDAGINI GEOFISICHE  
CROSS-HOLE E DOWN-HOLE Località Taormina

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

PROGETTO	LOTTO	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	REV.	FOGLIO
RS2S	00 D 69	IG	GE0005 001	A	19 di 27

## 5. ALLEGATO GRAFICO 1 – TAVOLE DALLA 1 ALLA 2

# INDAGINI SISMICHE: UBICAZIONE SONDAGGI S13D-S13Dch



TAVOLA

1

## OGGETTO

Indagine sismica  
DEVIOMETRO  
SONDAGGI  
S13D-S13Dch

Progetto Definitivo  
Direttrice ferroviaria  
Messina-Catania-  
Palermo  
Nuovo collegamento  
Catania-Messina

Raddoppio Tratta  
Fiumefreddo -  
Giampileri



ISO 9001  
ISO 14001  
OHSAS 18001  
BUREAU VERITAS  
Certification



Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente S.r.l

ELAB G. Luciani

VERIFICA A. Morelli

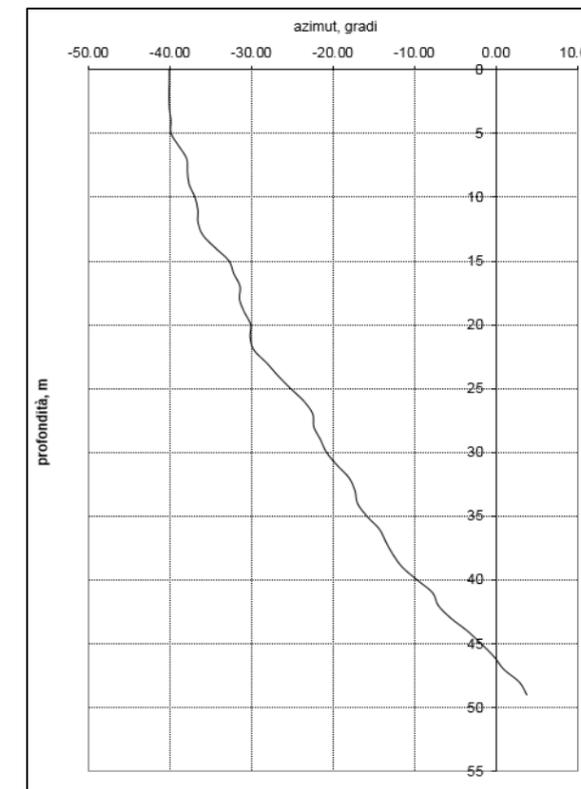
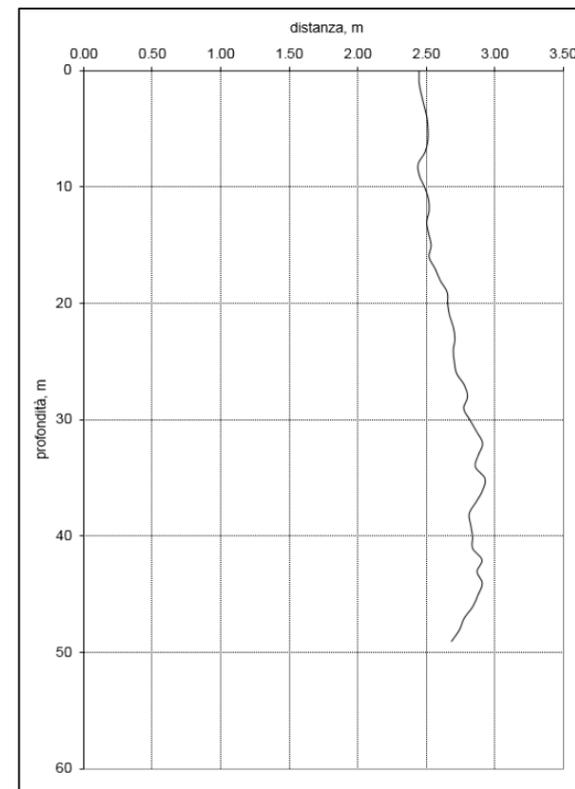
APPROV. P. Chiara

# INDAGINI SISMICHE: DEVIOMETRO SONDAGGI S13D-S13Dch

D <sub>0</sub>	2.45	Topographical distance between the two borehole expressed in meters												
g <sub>0</sub>	320	Azimut from first borehole to second borehole expressed in degrees												
D <sub>EST</sub>	-1.5748	A_B												
D <sub>NORD</sub>	1.8768													
depth m	EST a1 m	NORD b1 m	EST a2 m	NORD b2 m	EST a1 mm	NORD b1 mm	EST a2 mm	NORD b2 mm	D, m	difference	g degrees	EST x, m	NORD y, m	g radiant
0									2.45	0.00	-40.00	-1.57	1.88	-0.70
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	2.45	0.00	-40.00	-1.57	1.88	-0.70
2	-0.010	-0.005	-0.022	0.005	-9.61	-5.42	-22.01	5.49	2.47	0.02	-40.06	-1.59	1.89	-0.70
3	-0.024	-0.023	-0.048	0.005	-24.38	-22.65	-48.25	5.40	2.49	0.04	-40.01	-1.60	1.90	-0.70
4	-0.017	-0.033	-0.048	0.017	-17.38	-32.65	-47.99	16.58	2.51	0.06	-39.81	-1.61	1.93	-0.69
5	-0.017	-0.033	-0.053	0.023	-17.38	-32.65	-52.62	22.86	2.52	0.07	-39.80	-1.61	1.93	-0.69
6	-0.034	-0.052	-0.036	0.029	-34.18	-52.19	-36.22	28.82	2.51	0.06	-38.85	-1.58	1.96	-0.68
7	-0.048	-0.073	-0.004	0.018	-48.37	-72.98	-3.73	17.61	2.49	0.04	-37.87	-1.53	1.97	-0.66
8	-0.065	-0.078	0.013	-0.024	-64.96	-78.37	12.75	-24.30	2.44	-0.01	-37.79	-1.50	1.93	-0.66
9	-0.065	-0.078	0.014	-0.012	-64.96	-78.37	14.09	-11.66	2.45	0.00	-37.58	-1.50	1.94	-0.66
10	-0.064	-0.106	0.016	0.009	-64.48	-106.29	15.76	9.36	2.49	0.04	-36.87	-1.49	1.99	-0.64
11	-0.082	-0.135	-0.005	0.013	-81.81	-134.50	-5.28	12.69	2.52	0.07	-36.51	-1.50	2.02	-0.64
12	-0.096	-0.159	-0.022	-0.007	-95.82	-158.90	-21.70	-7.40	2.52	0.07	-36.50	-1.50	2.03	-0.64
13	-0.115	-0.187	-0.008	-0.034	-114.55	-186.93	-7.86	-33.69	2.51	0.06	-35.87	-1.47	2.03	-0.63
14	-0.135	-0.218	0.019	-0.014	-134.53	-218.04	18.78	-14.03	2.52	0.07	-34.34	-1.42	2.08	-0.60
15	-0.156	-0.249	0.048	0.009	-155.65	-249.13	48.30	9.37	2.54	0.09	-32.70	-1.37	2.14	-0.57
16	-0.174	-0.281	0.060	-0.020	-174.03	-280.59	60.12	-20.46	2.52	0.07	-32.10	-1.34	2.14	-0.56
17	-0.187	-0.320	0.053	-0.005	-186.97	-320.42	52.74	-4.64	2.57	0.12	-31.34	-1.34	2.19	-0.55
18	-0.179	-0.351	0.039	-0.006	-178.67	-350.76	39.14	-5.55	2.60	0.15	-31.41	-1.36	2.22	-0.55
19	-0.169	-0.378	0.046	0.024	-169.15	-377.75	45.87	24.18	2.65	0.20	-30.83	-1.36	2.28	-0.54
20	-0.160	-0.405	0.085	0.019	-160.10	-404.91	84.73	18.91	2.66	0.21	-30.03	-1.33	2.30	-0.52
21	-0.157	-0.447	0.078	-0.013	-157.18	-446.68	77.84	-12.81	2.67	0.22	-30.11	-1.34	2.31	-0.53
22	-0.180	-0.475	0.061	-0.006	-179.70	-474.52	61.30	-5.81	2.70	0.25	-29.63	-1.33	2.35	-0.52
23	-0.200	-0.504	0.099	0.011	-200.25	-503.84	99.29	10.81	2.71	0.26	-28.07	-1.28	2.39	-0.49
24	-0.218	-0.536	0.145	-0.003	-217.85	-536.17	145.05	-2.52	2.70	0.25	-26.69	-1.21	2.41	-0.47
25	-0.232	-0.573	0.193	0.000	-231.73	-572.85	193.26	-0.39	2.71	0.26	-25.15	-1.15	2.45	-0.44
26	-0.252	-0.608	0.237	0.012	-251.64	-608.39	237.43	12.07	2.72	0.27	-23.50	-1.09	2.50	-0.41
27	-0.264	-0.650	0.251	0.042	-263.78	-649.56	250.92	42.36	2.78	0.33	-22.43	-1.06	2.57	-0.39
28	-0.283	-0.686	0.228	0.029	-282.97	-685.62	228.39	29.49	2.80	0.35	-22.31	-1.06	2.59	-0.39
29	-0.303	-0.711	0.256	-0.007	-302.62	-711.46	256.31	-7.15	2.77	0.32	-21.48	-1.02	2.58	-0.37
30	-0.323	-0.739	0.253	0.021	-322.59	-739.49	253.31	20.83	2.82	0.37	-20.75	-1.00	2.64	-0.36
31	-0.343	-0.777	0.276	0.050	-343.30	-777.41	276.03	50.05	2.87	0.42	-19.46	-0.96	2.70	-0.34
32	-0.361	-0.820	0.315	0.073	-360.81	-819.59	315.31	72.73	2.91	0.46	-17.98	-0.90	2.77	-0.31
33	-0.382	-0.852	0.339	0.021	-381.72	-851.70	338.86	21.03	2.88	0.43	-17.26	-0.85	2.75	-0.30
34	-0.405	-0.877	0.337	-0.020	-404.70	-877.26	336.95	-20.29	2.86	0.41	-16.95	-0.83	2.73	-0.30
35	-0.415	-0.930	0.363	0.010	-414.88	-929.80	362.74	10.45	2.93	0.48	-15.80	-0.80	2.82	-0.28
36	-0.434	-0.951	0.422	-0.006	-434.12	-950.70	422.29	-6.18	2.91	0.46	-14.29	-0.72	2.82	-0.25
37	-0.454	-0.969	0.453	-0.060	-453.74	-968.80	453.13	-59.60	2.86	0.41	-13.48	-0.67	2.79	-0.24
38	-0.457	-0.969	0.503	-0.101	-457.17	-969.47	503.38	-100.71	2.81	0.36	-12.61	-0.61	2.75	-0.22
39	-0.459	-1.031	0.555	-0.140	-459.18	-1031.11	555.03	-140.05	2.82	0.37	-11.45	-0.56	2.77	-0.20
40	-0.485	-1.068	0.614	-0.147	-485.35	-1067.75	614.39	-146.59	2.84	0.39	-9.64	-0.48	2.80	-0.17
41	-0.513	-1.094	0.680	-0.158	-512.83	-1093.64	679.73	-158.49	2.84	0.39	-7.74	-0.38	2.81	-0.14
42	-0.539	-1.138	0.679	-0.131	-539.01	-1137.78	679.24	-130.57	2.91	0.46	-7.05	-0.36	2.88	-0.12
43	-0.570	-1.167	0.730	-0.186	-569.55	-1166.97	730.37	-186.45	2.87	0.42	-5.50	-0.27	2.86	-0.10
44	-0.596	-1.209	0.804	-0.183	-595.71	-1208.82	803.51	-182.61	2.91	0.46	-3.46	-0.18	2.90	-0.06
45	-0.615	-1.219	0.870	-0.219	-615.45	-1218.70	869.83	-219.32	2.88	0.43	-1.78	-0.09	2.88	-0.03
46	-0.643	-1.243	0.921	-0.280	-643.29	-1242.60	920.65	-279.65	2.84	0.39	-0.22	-0.01	2.84	0.00
47	-0.663	-1.253	0.959	-0.353	-662.86	-1252.81	959.26	-352.72	2.78	0.33	0.98	0.05	2.78	0.02
48	-0.683	-1.260	1.030	-0.398	-683.35	-1260.43	1029.65	-397.79	2.74	0.29	2.89	0.14	2.74	0.05
49	-0.704	-1.272	1.048	-0.470	-704.13	-1271.90	1048.20	-469.96	2.68	0.23	3.79	0.18	2.68	0.07



Installazione deviometro



OGGETTO

Indagine sismica  
DEVIOMETRO  
SONDAGGI  
S13D-S13Dch

Progetto Definitivo  
Direttrice ferroviaria  
Messina-Catania-  
Palermo  
Nuovo collegamento  
Catania-Messina

Raddoppio Tratta  
Fiumefreddo -  
Giampileri



Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente S.r.l

ELAB G. Luciani

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO**  
**RADDOPPIO DELLA TRATTA FIUMEFREDDO – GIAMPILIERI**  
INDAGINI GEOFISICHE  
CROSS-HOLE E DOWN-HOLE Località Taormina

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

PROGETTO	LOTTO	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	REV.	FOGLIO
RS2S	00 D 69	IG	GE0005 001	A	22 di 27

## 6. ALLEGATO GRAFICO 2 – TAVOLA 1

**Indagine Cross-Hole per l'individuazione della velocità di propagazione delle onde Vp e Vs**

Cantiere: ITALFERR - TAORMINA (CT)  
FORI S13D-S13Dch FORO ENERGIZZAZIONE S13D

Data misure: 01/08/2017

Lunghezza utile foro S13D=49m

Lunghezza utile foro S13Dch=50m

Profondità [m]	Distanza Fori [m]
-1	2.45
-2	2.47
-3	2.49
-4	2.51
-5	2.52
-6	2.51
-7	2.49
-8	2.44
-9	2.45
-10	2.49
-11	2.52
-12	2.52
-13	2.51
-14	2.52
-15	2.54
-16	2.52
-17	2.57
-18	2.60
-19	2.65
-20	2.66
-21	2.67
-22	2.70
-23	2.71
-24	2.70
-25	2.71
-26	2.72
-27	2.78
-28	2.80
-29	2.77
-30	2.82
-31	2.87
-32	2.91
-33	2.88
-34	2.86
-35	2.93
-36	2.91
-37	2.86
-38	2.81
-39	2.82
-40	2.84
-41	2.84
-42	2.91
-43	2.87
-44	2.91
-45	2.88
-46	2.84
-47	2.78
-48	2.74
-49	2.68

tempi [s] Vp	tempi [s] Vs
0.00250	0.00659
0.00250	0.00584
0.00250	0.00519
0.00250	0.00551
0.00250	0.00537
0.00250	0.00511
0.00250	0.00498
0.00250	0.00482
0.00220	0.00457
0.00220	0.00399
0.00210	0.00351
0.00210	0.00337
0.00190	0.00324
0.00190	0.00334
0.00160	0.00314
0.00160	0.00308
0.00160	0.00309
0.00160	0.00314
0.00160	0.00309
0.00160	0.00311
0.00160	0.00317
0.00160	0.00330
0.00150	0.00334
0.00140	0.00305
0.00140	0.00320
0.00130	0.00335
0.00130	0.00307
0.00130	0.00282
0.00140	0.00279
0.00140	0.00282
0.00140	0.00279
0.00140	0.00273
0.00130	0.00266
0.00130	0.00260
0.00130	0.00263
0.00130	0.00258
0.00130	0.00265
0.00140	0.00261
0.00140	0.00255
0.00140	0.00265
0.00140	0.00262
0.00140	0.00269
0.00130	0.00259
0.00130	0.00255
0.00140	0.00259
0.00130	0.00249
0.00130	0.00257
0.00115	0.00250
0.00110	0.00226

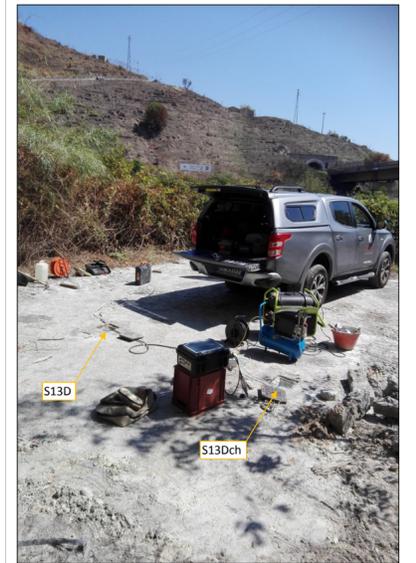
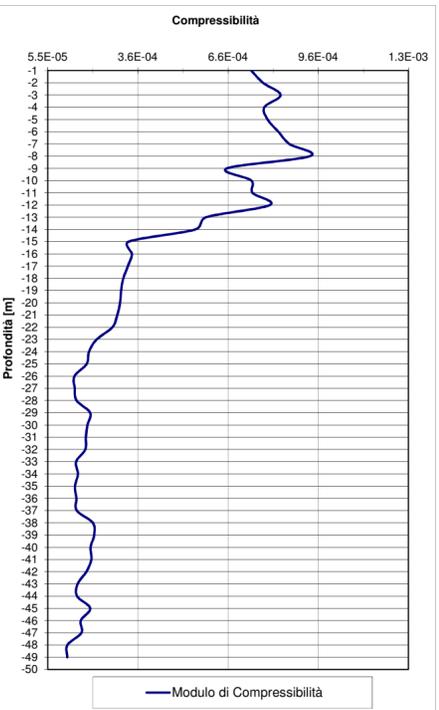
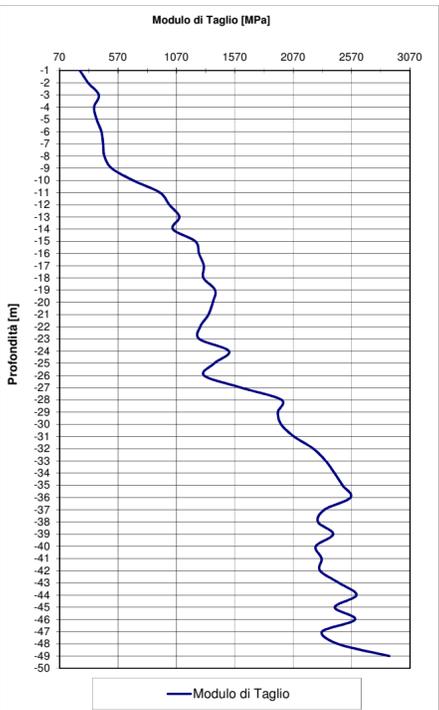
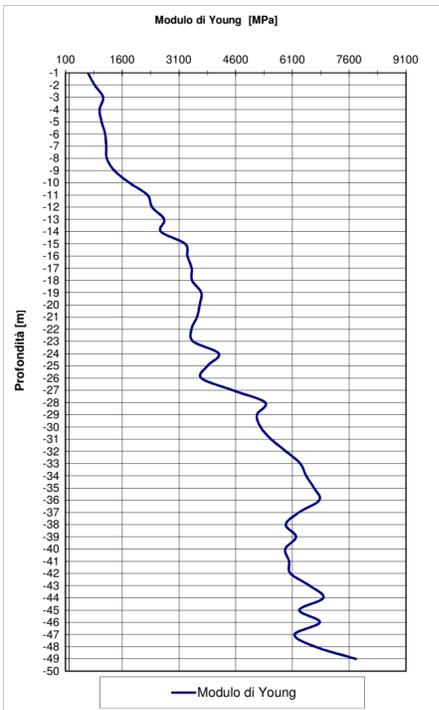
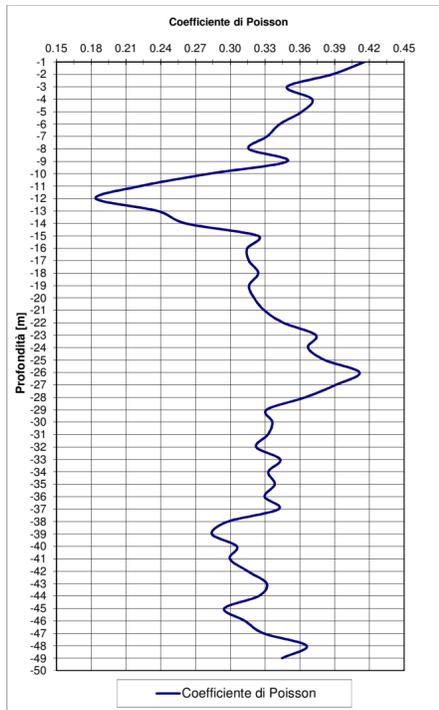
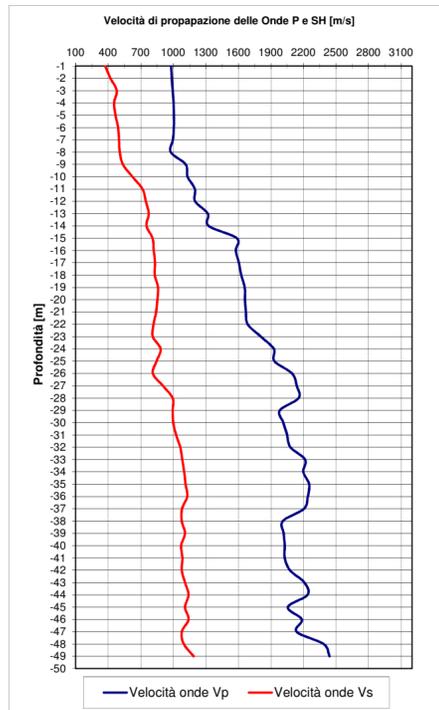
Densità [kN/m³]
17.96
17.97
17.99
18.01
18.01
18.01
17.99
17.95
18.23
18.26
18.40
18.40
18.64
18.65
19.17
19.15
19.21
19.25
19.32
19.32
19.34
19.37
19.61
19.85
19.87
20.19
20.28
20.31
19.96
20.03
20.10
20.16
20.43
20.40
20.50
20.48
20.41
20.02
20.03
20.05
20.05
20.15
20.42
20.47
20.11
20.37
20.27
20.77
20.88

Vp [m/s]	Vs [m/s]
980	372
987	422
995	479
1003	455
1006	468
1006	492
997	500
977	507
1115	537
1132	624
1199	717
1201	748
1319	774
1326	754
1586	809
1577	820
1604	832
1627	830
1659	860
1661	854
1669	842
1686	819
1807	811
1927	883
1933	846
2095	812
2138	904
2155	995
1981	995
2014	1000
2049	1026
2080	1065
2215	1083
2198	1101
2252	1113
2240	1129
2204	1081
2010	1078
2017	1108
2027	1073
2027	1084
2076	1079
2208	1109
2237	1140
2055	1109
2184	1141
2136	1079
2385	1097
2441	1188

TAVOLA 1	Rif.SOING: Attivazione 15 -Commissa 013_17	A.Q. n°200001040 del 10.03.2017
	Commissa ITALFERR: RS27.1D01.A01.E165.E.R08	Pag.: 1 di 1
Progetto Definitivo:	Linea Messina-Catania - Raddoppio Fiumefreddo-Giampileri	
Attività:	ITALFERR - U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche Esecuzione di prospezioni geofisiche con metodologie sismiche Cross-hole per la progettazione definitiva nella zona di Taormina del Raddoppio Fiumefreddo-Giampileri	

(Vp/Vs)²
6.94
5.47
4.31
4.86
4.62
4.18
3.97
3.71
4.32
3.29
2.80
2.58
2.90
3.10
3.84
3.70
3.72
3.84
3.72
3.79
3.93
4.24
4.96
4.76
5.22
6.65
5.59
4.70
3.97
4.05
3.98
3.81
4.19
3.99
4.09
3.93
4.16
3.48
3.31
3.57
3.49
3.70
3.97
3.85
3.44
3.67
3.92
4.73
4.22

Poisson (σ)	Young [MPa] (E)	Taglio [MPa] (μ)	Bulk Mod. [MPa] (κ)	Compressibilità (1/κ)
0.42	690.4	243.80	1366.48	0.000732
0.39	871	313.86	1296.95	0.000771
0.35	1093	405.17	1205.42	0.000830
0.37	1001	365.13	1289.43	0.000776
0.36	1055	387.21	1271.67	0.000786
0.34	1147	427.09	1216.52	0.000822
0.33	1177	441.86	1164.80	0.000859
0.32	1191	452.73	1078.16	0.000928
0.35	1389	514.67	1535.38	0.000651
0.28	1788	697.38	1365.97	0.000732
0.22	2266	927.02	1358.50	0.000736
0.18	2389	1009.16	1259.74	0.000794
0.24	2709	1094.60	1718.27	0.000582
0.26	2622	1039.20	1832.30	0.000546
0.32	3261	1231.68	3086.65	0.000324
0.31	3321	1263.35	2984.89	0.000335
0.32	3433	1304.30	3110.13	0.000322
0.32	3446	1301.35	3264.98	0.000306
0.32	3687	1400.62	3343.35	0.000299
0.32	3647	1380.88	3385.78	0.000295
0.33	3575	1344.75	3492.29	0.000286
0.35	3428	1273.59	3705.03	0.000270
0.37	3477	1265.35	4592.33	0.000218
0.37	4154	1519.49	5205.10	0.000192
0.38	3852	1394.09	5418.06	0.000185
0.41	3689	1306.78	6945.00	0.000144
0.39	4524	1626.31	6917.11	0.000145
0.36	5377	1970.15	6623.78	0.000151
0.33	5161	1938.21	5100.92	0.000196
0.34	5253	1965.65	5348.34	0.000187
0.33	5533	2076.22	5503.55	0.000182
0.32	5929	2241.94	5559.85	0.000180
0.34	6306	2347.78	6697.03	0.000149
0.33	6459	2423.37	6436.12	0.000155
0.34	6670	2491.94	6875.82	0.000145
0.33	6809	2560.82	6658.25	0.000150
0.34	6272	2337.42	6603.60	0.000151
0.30	5923	2281.50	4886.58	0.000205
0.28	6194	2412.17	4778.42	0.000209
0.31	5908	2262.62	5065.00	0.000197
0.30	6011	2312.55	4997.26	0.000200
0.32	6048	2299.43	5448.63	0.000184
0.33	6554	2461.06	6480.58	0.000154
0.32	6917	2611.30	6567.61	0.000152
0.29	6280	2425.38	5098.30	0.000196
0.31	6823	2599.01	6066.48	0.000165
0.33	6154	2315.79	5986.29	0.000167
0.37	6697	2451.71	8318.99	0.000120
0.34	7777	2892.03	8341.24	0.000120



Fase di acquisizione della prova sismica Cross-Hole



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO**  
**RADDOPPIO DELLA TRATTA FIUMEFREDDO – GIAMPILIERI**  
INDAGINI GEOFISICHE  
CROSS-HOLE E DOWN-HOLE Località Taormina

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

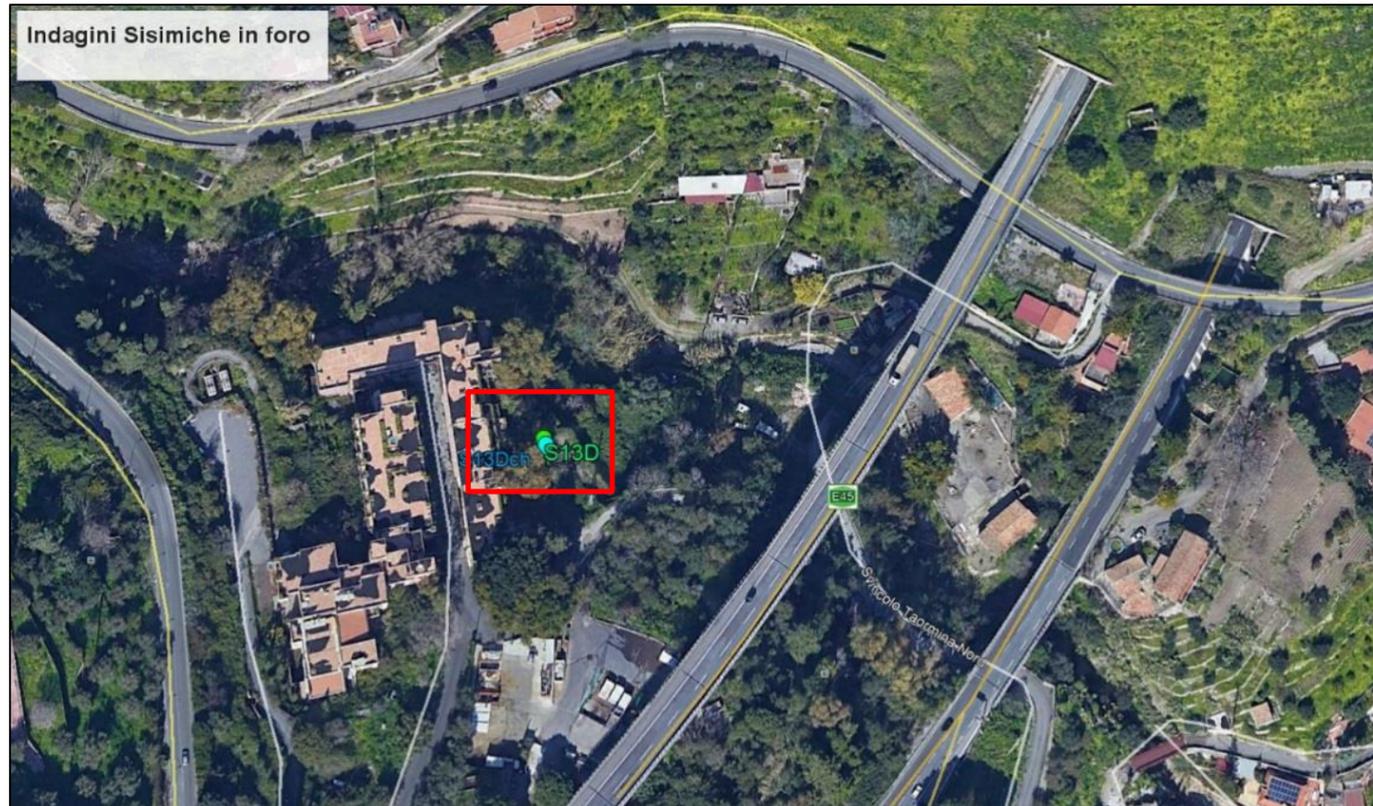
PROGETTO	LOTTO	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	REV.	FOGLIO
RS2S	00 D 69	IG	GE0005 001	A	24 di 27

## 7. ALLEGATO GRAFICO 3 – TAVOLE DALLA 1 ALLA 3

# INDAGINI SISMICHE DOWN HOLE S13D e S13Dch

TAVOLA

1



## OGGETTO

Indagine sismica  
DOWN HOLE  
S13D e S13Dch

Progetto Definitivo  
Direttrice ferroviaria  
Messina-Catania-  
Palermo  
Nuovo collegamento  
Catania-Messina

Raddoppio Tratta  
Fiumefreddo -  
Giampileri



Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente S.r.l

ELAB G. Luciani

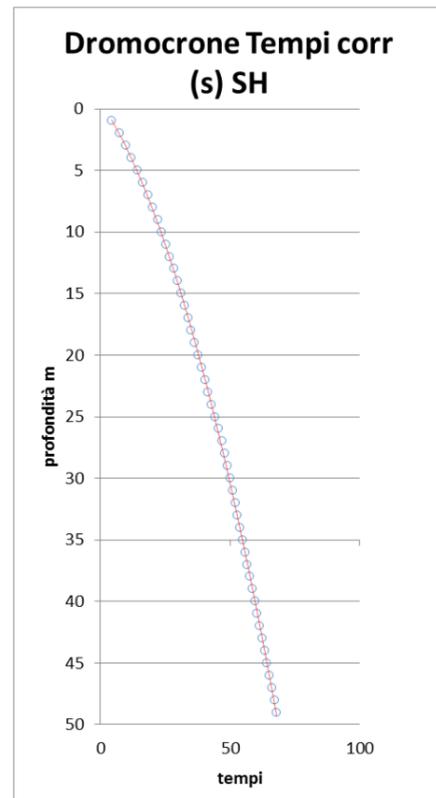
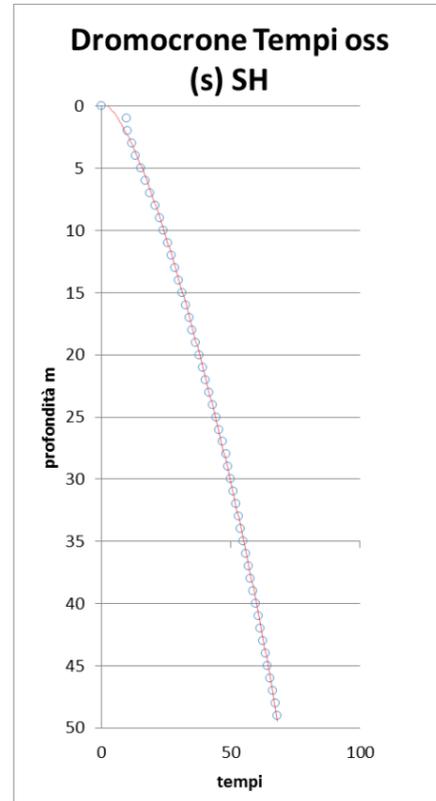
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

# INDAGINI SISMICHE DOWN HOLE S13D

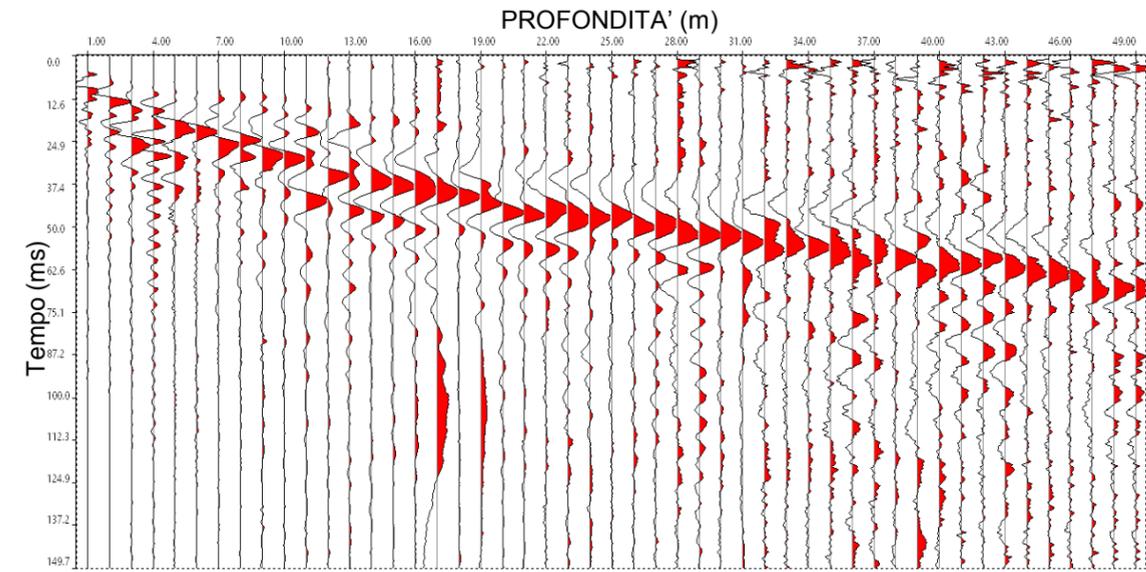
Profondità (m)	Tempi oss (ms)	Tempi corr (ms)
	S	S
0	0	
1	10.00	4.47
2	10.34	7.31
3	11.78	9.80
4	13.46	12.04
5	15.30	14.21
6	17.20	16.32
7	19.00	18.27
8	20.80	20.18
9	22.59	22.06
10	24.20	23.73
11	25.80	25.38
12	27.20	26.83
13	28.60	28.27
14	30.00	29.70
15	31.40	31.12
16	32.70	32.45
17	34.00	33.77
18	35.30	35.08
19	36.60	36.40
20	37.90	37.71
21	39.22	39.04
22	40.50	40.33
23	41.80	41.64
24	43.15	43.00
25	44.40	44.26
26	45.65	45.52
27	47.00	46.87
28	48.20	48.08
29	49.20	49.08
30	50.20	50.09
31	51.19	51.08
32	52.15	52.05
33	53.10	53.00
34	54.04	53.95
35	55.00	54.91
36	55.95	55.86
37	56.88	56.80
38	57.85	57.77
39	58.80	58.72
40	59.72	59.65
41	60.66	60.59
42	61.60	61.53
43	62.55	62.48
44	63.50	63.43
45	64.42	64.36
46	65.40	65.34
47	66.35	66.29
48	67.30	67.24
49	68.22	68.16

Tabella dei tempi osservati e corretti Onde S

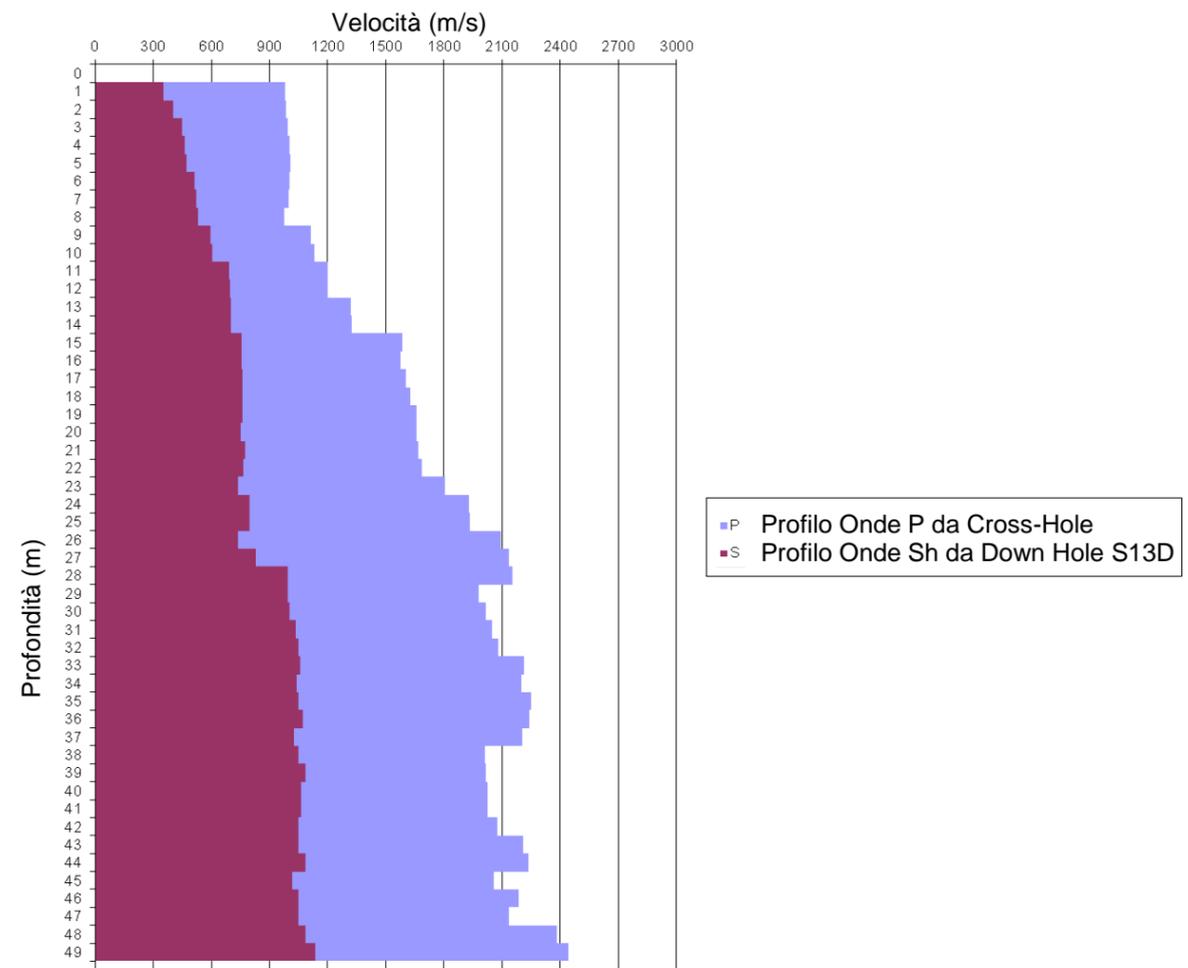


Dromocrone

**Vs30 = 698 m/s  
Suolo Tipo B**



Sismogramma onde SH



■ P Profilo Onde P da Cross-Hole  
■ S Profilo Onde Sh da Down Hole S13D

Profili di velocità

**OGGETTO**

Indagine sismica  
DOWN HOLE  
S13D

Progetto Definitivo  
Direttrice ferroviaria  
Messina-Catania-  
Palermo  
Nuovo collegamento  
Catania-Messina

Raddoppio Tratta  
Fiumefreddo -  
Giampileri

**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente S.r.l**

ELAB G. Luciani

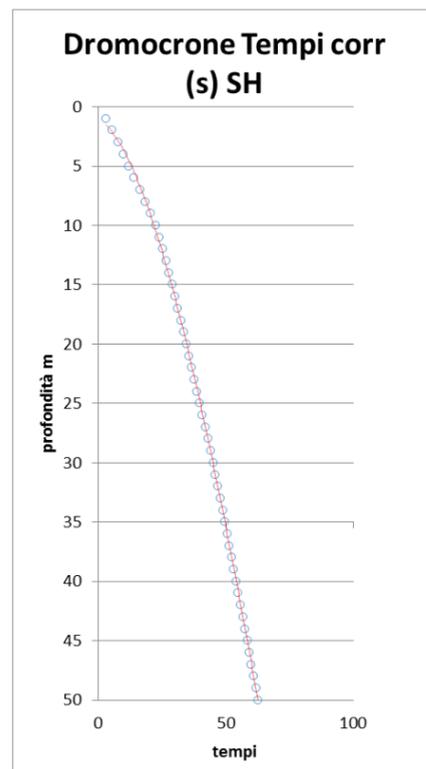
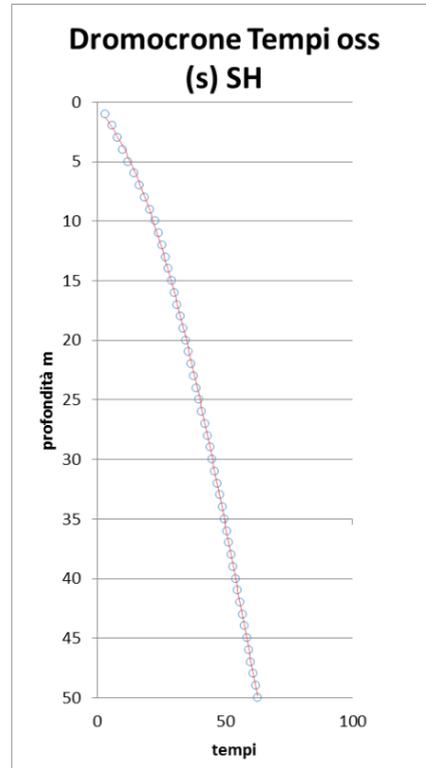
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

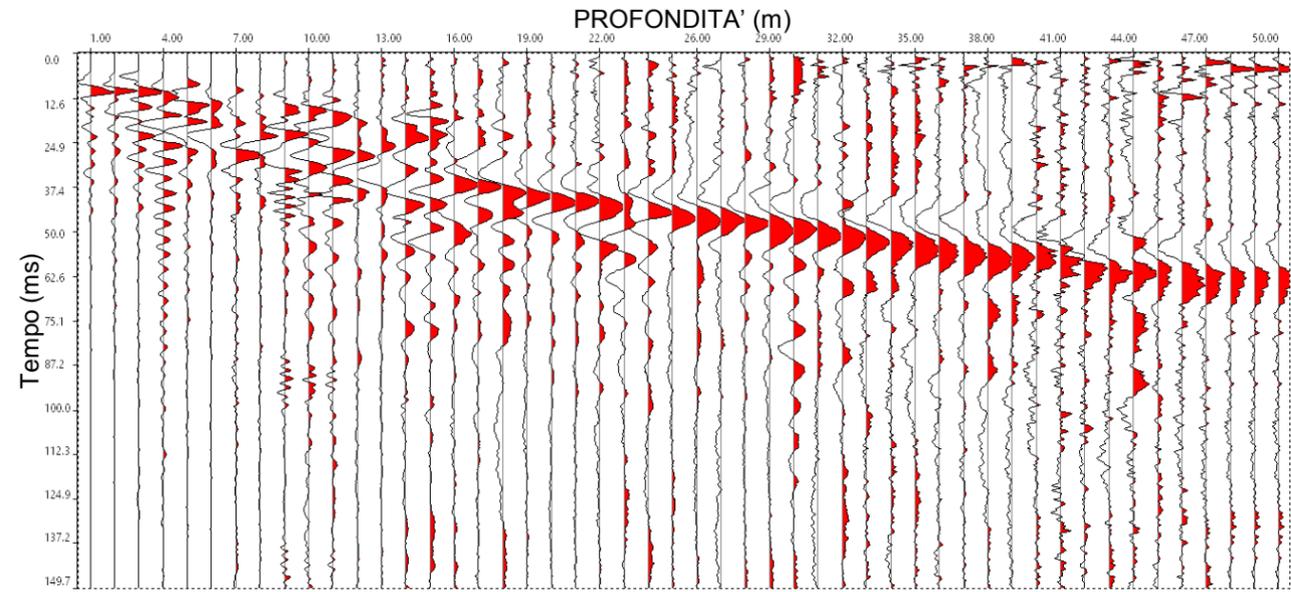
# INDAGINI SISMICHE DOWN HOLE S13Dch

Profondità (m)	Tempi oss (ms)	Tempi corr (ms)
	S	S
0	0	
1	6.97	3.12
2	8.00	5.66
3	9.50	7.90
4	11.00	9.84
5	13.00	12.07
6	15.00	14.23
7	17.00	16.35
8	19.00	18.43
9	21.00	20.50
10	23.00	22.55
11	24.50	24.10
12	25.80	25.45
13	27.00	26.69
14	28.12	27.84
15	29.32	29.07
16	30.45	30.21
17	31.55	31.33
18	32.62	32.42
19	33.70	33.51
20	34.70	34.53
21	35.70	35.54
22	36.78	36.62
23	37.90	37.76
24	39.00	38.87
25	40.00	39.87
26	41.10	40.98
27	42.20	42.08
28	43.20	43.09
29	44.20	44.10
30	45.20	45.10
31	46.20	46.10
32	47.18	47.09
33	48.10	48.01
34	49.00	48.92
35	49.85	49.77
36	50.69	50.61
37	51.53	51.45
38	52.40	52.33
39	53.30	53.23
40	54.18	54.11
41	55.10	55.03
42	56.00	55.94
43	56.90	56.84
44	57.75	57.69
45	58.58	58.52
46	59.40	59.34
47	60.20	60.15
48	61.10	61.05
49	62.00	61.95
50	62.80	62.75

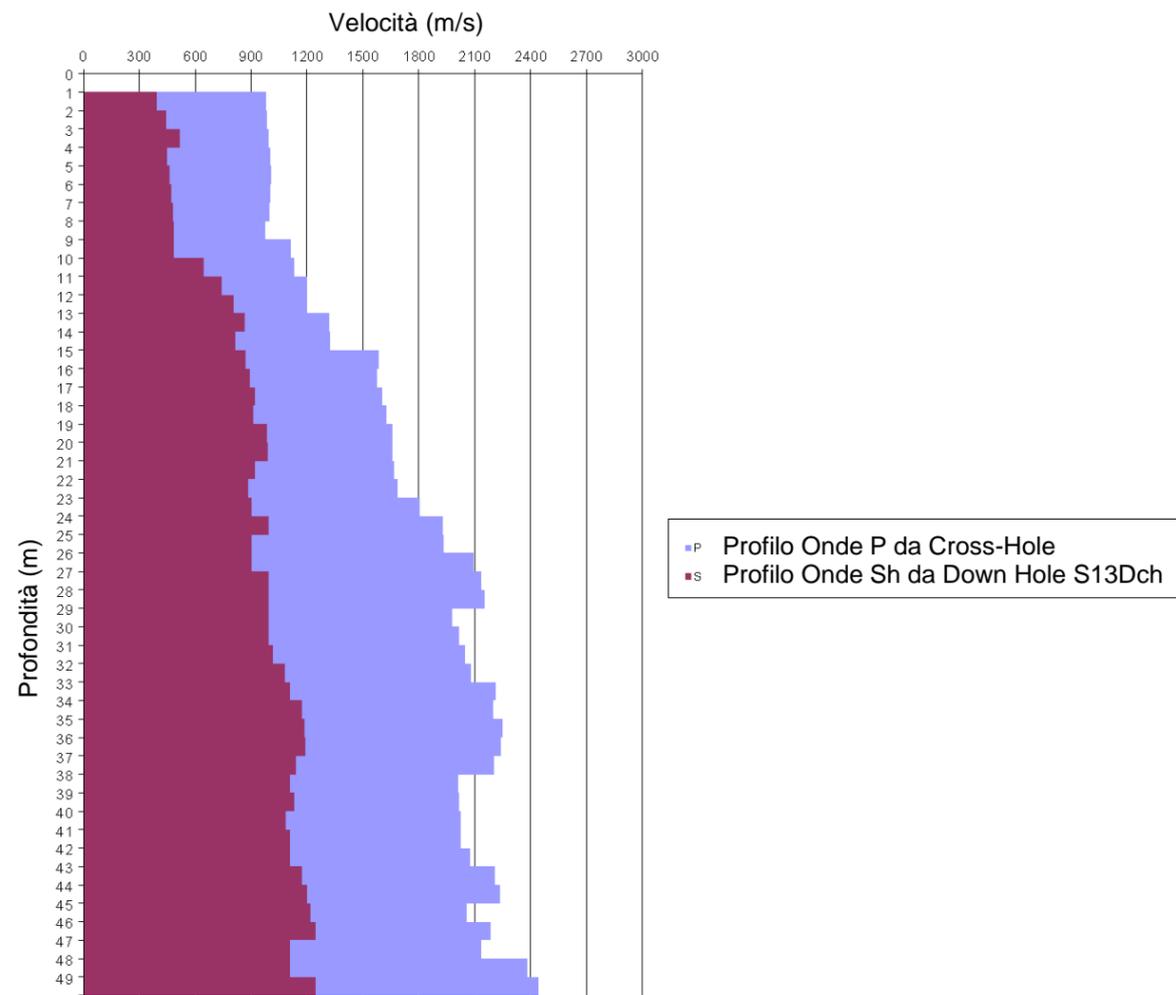
Tabella dei tempi osservati e corretti Onde S



Dromocrone



Sismogramma onde SH



Profili di velocità

**Vs30 = 643 m/s  
Suolo Tipo B**

**OGGETTO**

Indagine sismica  
DOWN HOLE  
S13Dch

Progetto Definitivo  
Direttrice ferroviaria  
Messina-Catania-  
Palermo  
Nuovo collegamento  
Catania-Messina

Raddoppio Tratta  
Fiumefreddo -  
Giampileri

**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente S.r.l**

**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

**APPROV.** P. Chiara