

**INTERVENTI DI ADEGUAMENTO DELLA DIGA DI GIUDEA
A GELLO NEL COMUNE DI PISTOIA (PT)**



PROGETTO DEFINITIVO

Tavola/Elaborato: ET.04h	Nome Elaborato: INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE: PROVE SISMICHE IN FORO (DOWN-HOLE)	Scala: -
		Data: 01/04/2022

Settore:  Sede Firenze Via de Sanctis, 49 Cod. Fiscale e P.I. 06111950488 <small>Organizzazione dotata di Sistema di Gestione Integrata certificato in conformità alla normativa ISO9001 - ISO14001 - OHSAS18001 - SA8000</small>	
PROGETTAZIONE: PROGETTISTA - PROJECT MANAGER: GEOLOGO: ESPROPRI:	 ING. GIOVANNI SIMONELLI DOTT. GEOL. FILIPPO LANDINI GEOM. ANDREA PATRIARCHI
COLLABORATORI: DOTT. GEOL. CARLO FERRI GEOM. MATTEO MASI	
CONSULENTI TECNICI:  ING. DAVID SETTESOLDI  DOTT. GEOL. SIMONE FIASCHI	COMMESSA I.T.: INGT-TPLPD-PBAAC252
 ING. GIOVANNI CANNATA	RESPONSABILE COMMITTENTE: ING. CRISTIANO AGOSTINI
DIRETTORE TECNICO INGEGNERIE TOSCANES: ING. ANDREA DE CATERINI	RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO: ING. LEONARDO ROSSI

Rev.	Data	Descrizione / Motivo della revisione	Redatto	Controllato / Approvato
03	01/04/2022	Terza Emissione	Fiaschi / Ferri	Settesoldi
02	09/09/2020	Seconda Emissione	Fiaschi / Ferri	Settesoldi
01	27/12/2019	Prima Emissione	Fiaschi / Ferri	Settesoldi

Proprietà riservata. Vietata la riproduzione e la diffusione

PROVE SISMICHE IN FORO (DOWN-HOLE) – CAMPAGNA 2007

Committente:

GEOLOGIA e AMBIENTE s.n.c.

Cliente:

CONSORZIO OMBRONE BISENZIO

Indagini sismiche down-hole

Sito: Bacino della Giudea - Località Gello - Pistoia

RELAZIONE TECNICA

Ns. Rif.: COM 005/07-OFF_004/07_Geologia e Ambiente_R01

REV	DATA	REDAZIONE	REVISIONE	APPROVAZIONE	DESCRIZIONE
Ø	31/01/07	Dott. Giacomo Luciani	Geol. Enrico Benvenuti	Ing. Paolo Chiara	Emissione

INDICE

1. PREMESSA.....	1
2. SCOPO DEL LAVORO	1
3. INDAGINI SISMICHE DOWN-HOLE (DOWN-HOLE TEST, DHT).	2
3.1 Introduzione	2
3.2 Down-hole Test (DHT).....	2
3.2.1 <u>Premessa</u>	2
3.2.2 <u>Metodologia di misura, strumentazione e piattaforma software impiegati</u>	3
3.2.3 <u>Principi teorici</u>	3
3.3 Risultati delle prove sismiche	5
3.3.1 <u>Introduzione</u>	5
3.3.2 <u>Prova Down-hole</u>	5
4. BIBLIOGRAFIA.....	7

INDICE ALLEGATI

- ALLEGATO 1 – *Indagini geofisiche: misure sismiche*

1. PREMESSA

Secondo le modalità previste nell'offerta "004_07_Geo-Amb-Pistoia_rev00" la scrivente SO.IN.G. Strutture e Ambiente S.r.l. ha ricevuto dalla ditta Geologia e Ambiente s.n.c. l'incarico di condurre la caratterizzazione geofisica con metodologie sismiche down-hole sui terreni in corrispondenza del Bacino della Giudea, in Loc. Gello nel Comune di Pistoia (PT).

I contenuti del presente documento si basano quindi sui risultati emersi dalle attività di acquisizione dati svolte in sito il 26.01.2007. Nel particolare il presente documento si deve intendere basato sui risultati relativi alle seguenti azioni tecniche condotte;

1. Conduzione di prove geofisiche con metodologia sismica down-hole sul foro denominato S1 di profondità pari a 30m.

Tutte le operazioni condotte sono quindi state realizzate secondo gli standard qualitativi richiesti dalla Committenza.

2. SCOPO DEL LAVORO

Lo scopo delle indagini è quello di caratterizzare geodinamicamente i terreni nel sito di indagine. Nel particolare la Committenza ha richiesto il raggiungimento dei seguenti risultati:

- Caratterizzazione delle Velocità di propagazione delle Onde di Compressione e di Taglio delle porzioni di sottosuolo nell'intorno del sondaggio S1, alla base del Bacino idrico della Giudea, fino alla profondità utile del foro pari a 30m;
- caratterizzazione dei principali parametri dinamici relativi al terreno interessato dalla medesima perforazione geotecnica;
- valutazione del parametro Vs30.

3. INDAGINI SISMICHE DOWN-HOLE (DOWN-HOLE TEST, DHT).

3.1 Introduzione

Le indagini DHT sono state condotte con lo scopo di determinare le velocità di propagazione delle onde Vp-Vs e al fine di calcolare i valori dinamici medi relativi ai parametri geotecnici definiti rispettivamente come coefficiente di Poisson, modulo di Young, di Taglio e Compressibilità delle porzioni di terreno indagate. La prova down-hole permette la descrizione del profilo di velocità delle Onde SH lungo i fori di sondaggio, consentendo pertanto di fornire, per fori di lunghezza pari a 30m, le informazioni necessarie al calcolo del parametro Vs30, come stabilito dalla normativa tecnica in materia di progettazione antisismica contenuta nell'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 2003.

3.2 Down-hole Test (DHT)

3.2.1 Premessa

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.

L'importante particolarità di tale metodo è quella di studiare i parametri di stato e di comportamento riferendoli a volumi di terreno rappresentativi dei caratteri megastrutturali dei depositi attraverso misure capaci di dare valori medi e non puntuali dei parametri geotecnici dei geomateriali.

Caratteristica essenziale del metodo sismico utilizzato è quella di consentire la determinazione dei parametri di deformabilità 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 "pseudo-interval", che rappresenta un metodo per intervalli nel quale la velocità delle onde P e SH è calcolata come rapporto tra la distanza di due successive posizioni di ricevitori triassiali e la differenza tra i corrispondenti tempi di percorrenza acquisita su posizioni consecutive dei sensori alle diverse quote di spostamento lungo il foro. Nel nostro caso le misurazioni sono state eseguite ogni metro.

I parametri calcolabili con l'ausilio del metodo DHT sono:

- il Coefficiente di Poisson dinamico,
- il modulo di elasticità dinamico (o di Young),
- il modulo di taglio dinamico (o modulo di rigidità),
- il Bulk modulus (modulo di incompressibilità) e pertanto

- il modulo di compressibilità dinamico.

Le prove sono state eseguite secondo le istruzioni tecniche e le modalità esecutive contenute nelle Istruzioni tecniche fornite dalla Committenza.

I valori dinamici calcolati con tali tecniche possono risultare differenti dai valori provenienti da prove di tipo statico puntuali (normalmente anche di un ordine di grandezza), specie in tipologie di materiali quali quelli in oggetto.

3.2.2 Metodologia di misura, strumentazione e piattaforma software impiegati

La sorgente del segnale sismico per onde SH è costituita da una barra in legno di circa 2m di lunghezza con una carico verticale applicato di circa 750 Kg. Lo sforzo di taglio è trasmesso colpendo orizzontalmente con una massa battente la barra, alternativamente sui due lati (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 stati posizionati a 1.2m dalla 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.

Il sismografo utilizzato per le misure sismiche è un SUMMIT Compact™, uno strumento della DMT (Germania) con convertitore analogico digitale a 24bit.

I dati sono stati processati su una piattaforma Windows Xp Professional usando il pacchetto software Reflex™ (Germania).

3.2.3 Principi teorici

Per la determinazione dei moduli dinamici a partire dalla distribuzione di velocità delle onde di compressione P e di taglio SH, occorre assumere che il geomateriale indagato sia un mezzo omogeneo, elastico ed isotropo. 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 σ , in altri comunemente definito con ν), tramite la seguente relazione \diamond

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

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 (normalmente anche di un ordine di grandezza), specie in tipologie di materiali quali quelli in oggetto.

Sono inoltre esprimibili come funzioni dalle costanti elastiche dinamiche E e σ la compressibilità β 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 μ (altrimenti indicato con la lettera G) :

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

\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

\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

3.3 Risultati delle prove sismiche

3.3.1 Introduzione

La prova Down-Hole è stata condotta sul foro geotecnico S1 posto alla base della Giudea, nel Comune di Pistoia, in Loc. Gello. Di tale foro S1, eseguito a carotaggio, la stratigrafia essenziale è consultabile negli elaborati forniti dalla Geologia e Ambiente s.n.c..

La profondità disponibile nel foro ai fini dell'esecuzione della prova è stata pari a 30m.

I Risultati completi della prova e l'interpretazione degli stessi, sono reperibili nell'Allegato 1, alle Tavole 1, 2 e 3.

Nelle tavole e nei grafici relativi sono riportati, alle diverse profondità nel sottosuolo indagato, i valori delle velocità delle onde P ed S, i valori del Coefficiente di Poisson (qui indicato col simbolo σ), del Modulo di Young dinamico (E), del Modulo di Rigidità o di Taglio (μ) e la Compressibilità β calcolati così come descritto nel §3.2.3. Nella Tavola 2 sono inoltre state schematizzate le velocità intervallari medie per la lunghezza del foro indagato e i sismogrammi assemblati delle Onde P e SH secondo l'interpretazione corretta per tempi verticali; nella Tavola 3 sono rappresentate le dromocrone relative ai sismogrammi assemblati delle onde P e SH corrette per tempi verticali.

È stato possibile produrre misure efficaci fino a -1m dal piano campagna.

I valori del modulo di elasticità (o di Young) E si riferiscono ad un modulo cosiddetto "dinamico", e sono stati ottenuti facendo riferimento ad un valore medio di densità per le formazioni attraversate così comprese:

Foro S1:

- tra 0m e 6m di profondità da boccaforo è stato utilizzato un valore medio di densità pari a 1900 kg/m³; tra -7m e -18m da boccaforo, pari a 2200 kg/m³; tra -19m e -30m, pari a 2300 kg/m³.

I valori di densità utilizzati scaturiscono da dati di letteratura su medesimi materiali e dall'esperienza della scrivente su valori di campioni reperiti in zona e messi a disposizione dalla Committente.

Come già riferito nei precedenti paragrafi, la prova sismica Down-hole è stata condotta eseguendo le misure lungo il foro di sondaggio, con una frequenza pari ad una lettura ogni 1 metro.

3.3.2 Prova Down-hole

L'analisi dei campi di velocità delle onde di compressione P, (Tavole 1, 2 e 3, Allegato1), delinea valori compresi tra circa 600 m/s e 2980 m/s; i valori delle onde di taglio SH variano in un rango compreso tra circa 250 m/s e 890 m/s.

Foro S1

Si individuano 3 intervalli di velocità medie intervallari a partire dalla quota a -30m dal p.c. fino alla quota -1m dalla boccaforo. Tali intervalli sono caratterizzati dalle seguenti profondità e velocità delle onde P e SH medie:

- Per i terreni compresi tra -30m e -19m, il valore medio di velocità intervallare delle onde P (V_p) è di 2774 m/s, quello delle onde SH (V_s) è di 800 m/s;
- tra -18m e -7m circa, il valore medio di velocità delle onde P (V_p) è di 2511 m/s, quello delle onde SH (V_s) è di 523 m/s;
- tra -6m e -1m circa, il valore medio di velocità delle onde P (V_p) è di 926 m/s, quello delle onde SH (V_s) è di 282 m/s;

I valori medi dei moduli dinamici calcolati con la metodologia Down-hole, (Allegato 1, Tavola 1), permettono di osservare una buona corrispondenza tra l'andamento di questi ultimi e la distribuzione stratigrafica dei materiali ricostruita per mezzo delle carote recuperate dal sondaggio S1 e consultabili negli allegati Geologia e Ambiente s.n.c..

Il parametro V_{s30} , introdotto dalla normativa tecnica in materia di progettazione antisismica "D.P.C.M. n° 3274/2003", calcolato rispetto ai valori medi delle velocità di intervallo al di sotto del piano campagna, è ottenuto mediante l'espressione

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

Il valore calcolato del parametro V_{s30} è pari a 506m/s, riconducibile ad un suolo di tipo B.

SO.IN.G. Strutture e Ambiente S.r.l.

Livorno, 31.01.2007

4. BIBLIOGRAFIA

COFFEEN, J.A., 1978. "Seismic exploration fundamentals". Pubb. Co.

DOBRIN, M.B., 1976. "Introduction to Geophysical prospecting". McGraw-Hill Book Co.

GOODMAN R.E., (1989). "Introduction to Rock Mechanics", second Edition, John Wiley & Sons.

MILTON B. DOBRIN, CARL H. SAVIT, (1998). "Introduction to Geophysical Prospecting", fourth Edition, McGraw-Hill International Editions.

NOLET, G., 1987. "Seismic wave propagation and seismic tomography". In Seismic Tomography. G.Nolet (ed.), 1-23. D.Reidel Pub. Co.

TELFORD, W.M., GELDART, P.P, SHERIFF, R.E., KEYS, D.A., 1976: "Applied Geophysics". Cambridge University Press.

YILMAZ, O., 1988. "Seismic data processing". SEG, Society of Exploration Geophysicists.

ALLEGATO 1

Indagini geofisiche: misure sismiche

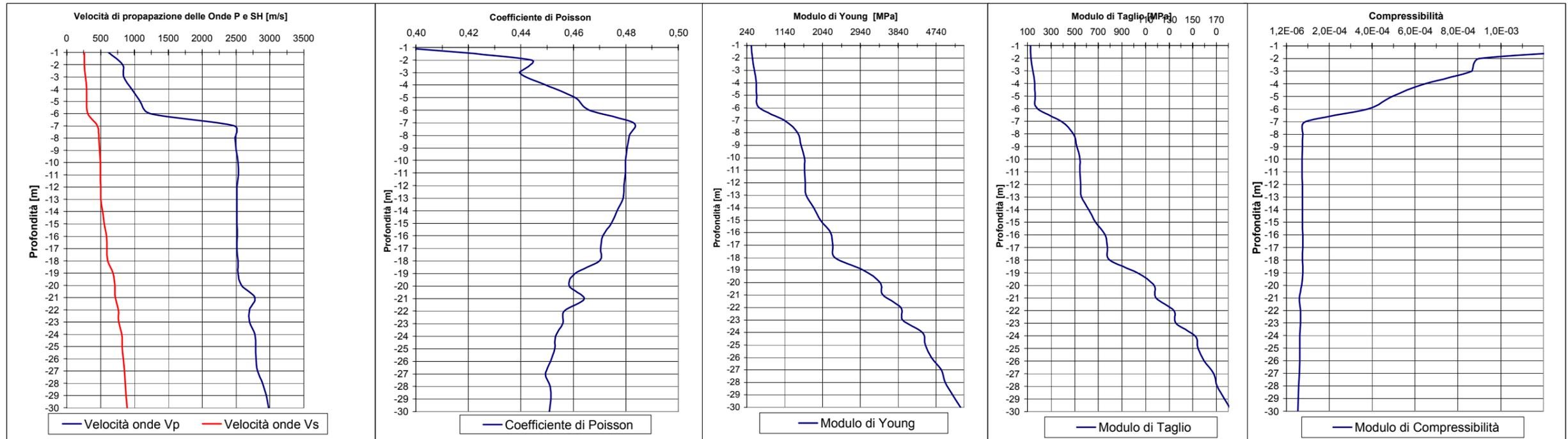
Cantiere: Geologia e Ambiente Snc - Consorzio Ombrone Bisenzio - Loc. Gello Pistoia (PT)

Data misure: 26/01/2007
TAVOLA 1

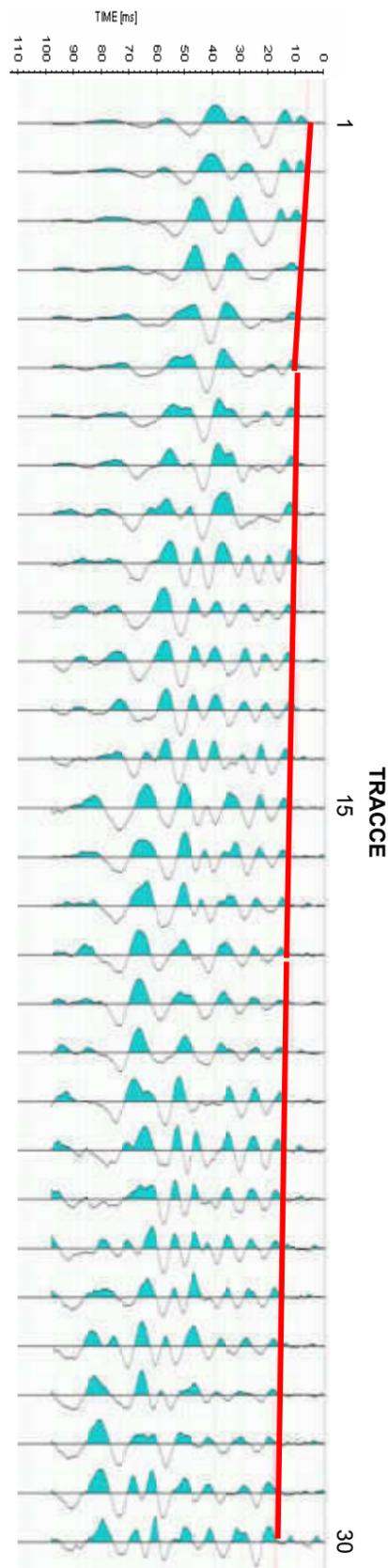
FORO S 1

Lunghezza utile per 30m

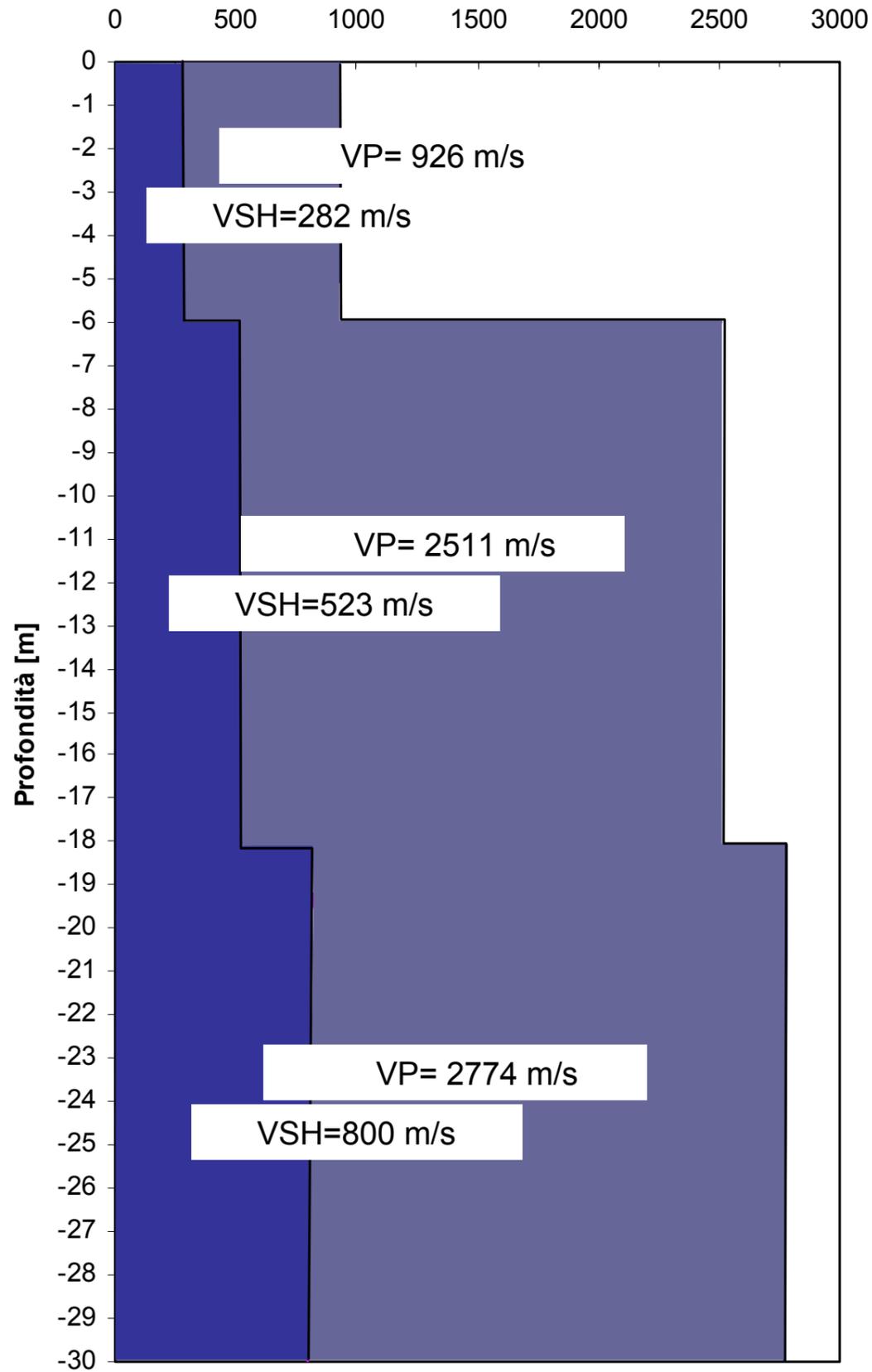
Profondità [m]	Distanza Δx [m]	tempi [s] Vp	tempi [s] Vs	Densità [kg/m3]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	(Vp/Vs) ²	Poisson (σ)	Young [MPa] (E)	Taglio [MPa] (μ)	Bulk Modulus [MPa] (κ)	Compressibilità (1/κ)
-30	1	0.016190000	0.0571400	2300	2983	892	11.18	0,45	5314	1831	18029	0,000055
-29	1	0.015855000	0.0560200	2300	2948	877	11,31	0,45	5131	1768	17632	0,000057
-28	1	0.015516000	0.0548800	2300	2888	861	11,24	0,45	4954	1707	16911	0,000059
-27	1	0.015170000	0.0537200	2300	2819	854	10,89	0,45	4864	1678	16039	0,000062
-26	1	0.014815500	0.0525500	2300	2795	833	11,27	0,45	4629	1595	15842	0,000063
-25	1	0.014458000	0.0513500	2300	2791	819	11,61	0,45	4483	1543	15859	0,000063
-24	1	0.014100000	0.0501300	2300	2775	812	11,67	0,45	4410	1518	15691	0,000064
-23	1	0.013740000	0.0489000	2300	2700	768	12,36	0,46	3949	1356	14959	0,000067
-22	1	0.013370000	0.0475990	2300	2699	763	12,51	0,46	3902	1339	14969	0,000067
-21	1	0.012999000	0.0462900	2300	2775	719	14,92	0,46	3477	1188	16131	0,000062
-20	1	0.012640000	0.0449000	2300	2577	713	13,05	0,46	3414	1170	13717	0,000073
-19	1	0.012282500	0.0436000	2300	2531	684	13,70	0,46	3006	1029	12723	0,000079
-18	1	0.011858000	0.0424800	2200	2528	601	17,66	0,47	2340	796	12993	0,000077
-17	1	0.011463000	0.0413800	2200	2514	594	17,91	0,47	2284	777	12872	0,000078
-16	1	0.011066000	0.0415000	2200	2520	587	18,43	0,47	2231	758	12960	0,000077
-15	1	0.010670000	0.0398000	2200	2513	554	20,56	0,47	1993	676	12991	0,000077
-14	1	0.010273000	0.0380000	2200	2512	530	22,43	0,48	1828	619	13057	0,000077
-13	1	0.009876000	0.0361200	2200	2511	503	24,87	0,48	1649	558	13126	0,000076
-12	1	0.009479000	0.0341400	2200	2509	501	25,13	0,48	1631	551	13118	0,000076
-11	1	0.009082000	0.0321500	2200	2533	498	25,90	0,48	1613	545	13389	0,000075
-10	1	0.008689000	0.0301500	2200	2531	497	25,90	0,48	1610	544	13362	0,000075
-9	1	0.008296000	0.0281500	2200	2502	484	26,66	0,48	1529	516	13079	0,000076
-8	1	0.007899000	0.0261000	2200	2484	472	27,70	0,48	1452	490	12923	0,000077
-7	1	0.007500000	0.0240000	2200	2471	449	30,25	0,48	1137	383	11088	0,000090
-6	1	0.007100000	0.0218000	1900	1230	310	15,70	0,47	536	183	2629	0,000380
-5	1	0.006300000	0.0186300	1900	1084	293	13,69	0,46	477	163	2016	0,000496
-4	1	0.005400000	0.0153000	1900	961	291	10,89	0,45	291	161	1539	0,000650
-3	1	0.004400000	0.0120000	1900	842	276	9,27	0,44	418	145	1153	0,000867
-2	1	0.003300000	0.0086500	1900	822	261	9,92	0,44	374	129	1111	0,000900
-1	1	0.002300000	0.0055000	1900	615	257	5,72	0,39	350	126	551	0,001815



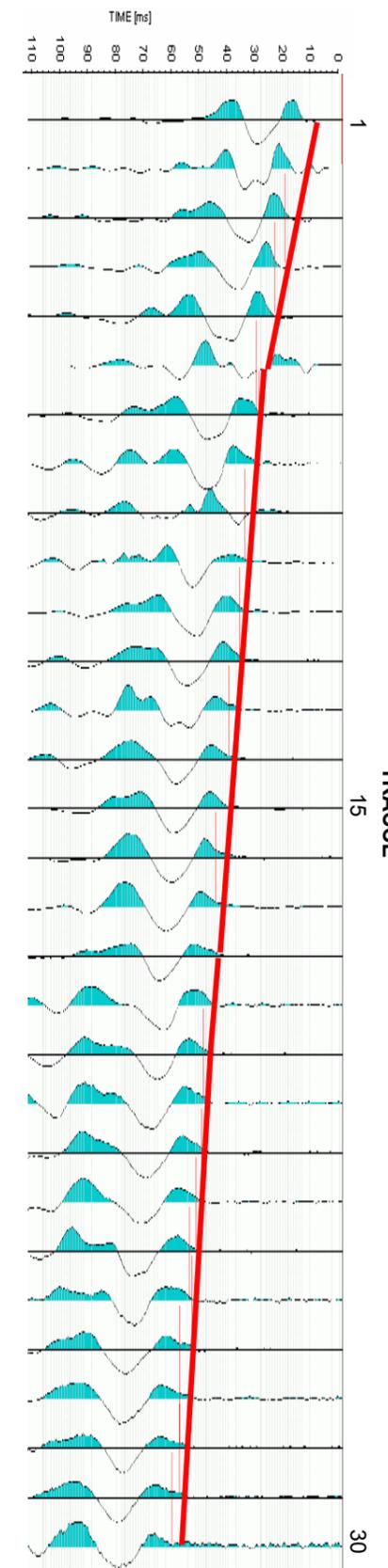
Onde P – Interpretazione



Velocità Intervallari medie – [m/s]



Onde SH – Interpretazione



SO.IN.G. Strutture e Ambiente srl
Via Aiaccia 16° - 57017 Livorno
www.soing.it



PROGETTO

TEST DI CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO CON METODOLOGIE SISMICHE DOWN HOLE

SITO

CONSORZIO OMBRONE BISENZIO
Loc. GELLO (PISTOIA)
BACINO DELLA GIUDEA

CLIENTE

CONSORZIO OMBRONE BISENZIO

COMMITTENTE

Geologia e Ambiente s.n.c.

RIFERIMENTI INTERNI

COMM005_07 – OFF.004/07

OGGETTO

Indagini sismiche Down-hole (DH)

Sismogrammi Onde P e SH
Interpretazione Tempi Verticali

Interpretazione e
Rappresentazione Velocità
intervallari medie

Pag. 2 di 3

TAVOLA 2

EMISSIONE	DATA	31/01/2007
-----------	------	------------

ELABORAZIONE	G. LUCIANI
VERIFICA	E. BENVENUTI
APPROVAZIONE	P. CHIARA

REVISIONE	N°	00
-----------	----	----

PROGETTO

TEST DI CARATTERIZZAZIONE DEL
SOTTOSUOLO CON METODOLOGIE
SISMICHE DOWN HOLE

SITO

CONSORZIO OMBRONE BISENZIO
Loc. GELLO (PISTOIA)
BACINO DELLA GIUDEA

CLIENTE

CONSORZIO OMBRONE BISENZIO

COMMITTENTE

Geologia e Ambiente s.n.c.

RIFERIMENTI INTERNI

COMM005_07 – OFF.004/07

OGGETTO

Indagini sismiche Down-hole (DH)

Dromocrone Onde P e SH
Interpretazione Tempi Verticali

Interpretazione e
Rappresentazione Velocità
intervallari medie

Pag. 3 di 3

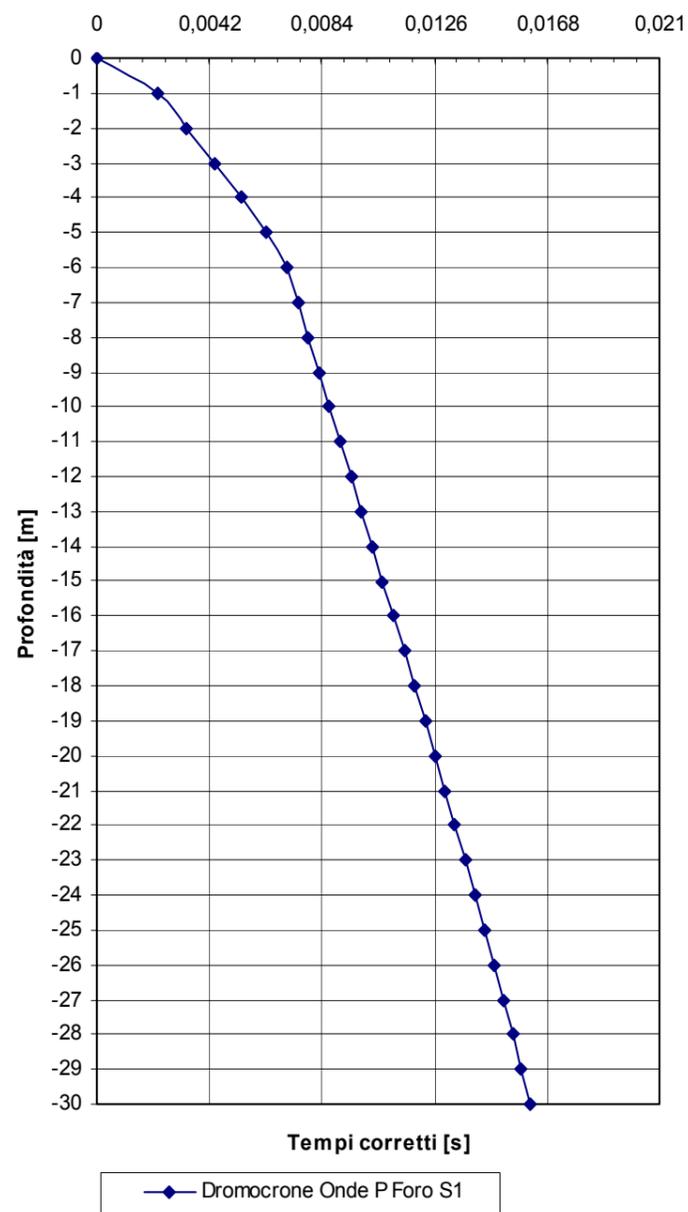
TAVOLA 3

EMISSIONE DATA 31/01/2007

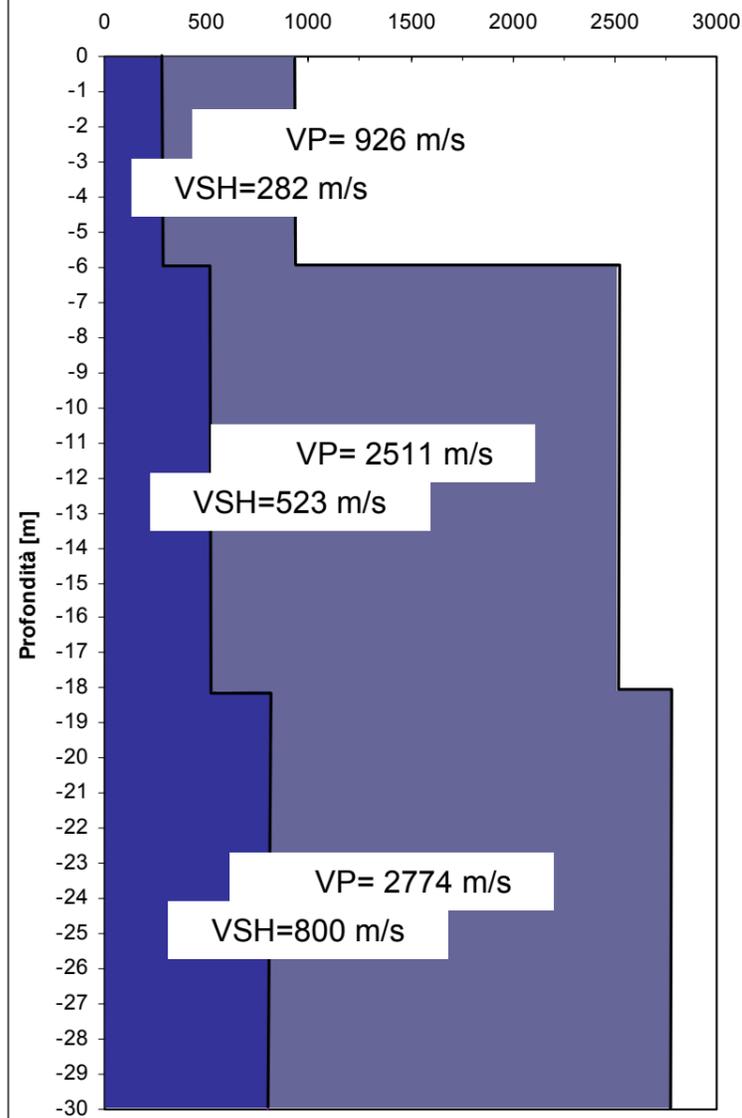
ELABORAZIONE G. LUCIANI
VERIFICA E. BENVENUTI
APPROVAZIONE P. CHIARA

REVISIONE N° 00

Onde P – Interpretazione



Velocità Intervallari medie – [m/s]



Onde SH – Interpretazione

