



CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

Istituto per l'Ambiente Marino Costiero

Calata porta di Massa, 80133 Napoli

MODELLO SISMICO DEL SOTTOSUOLO ATTRAVERSO PROVE DOWN-HOLE

Piazza Leonardo (NA)

A cura di

*Antimo Angelino, Vincenzo Di Fiore, Vittorio Gargiulo, Antimo
Guarino, Michele Iavarone, Salvatore Losanno, Nicola Pelosi,
Paolo Scotto di Vettimo, Daniela Tarallo*

Ottobre 2011

1. Premessa	3
2. Modello Sismico del sottosuolo	4
3. Prove Sismiche In Foro	5
4. Prova Down-Hole.....	6
5. Procedure per l'esecuzione di una prova DH	7
6. Elaborazione del Segnale.....	8
7. Determinazioni della Categoria di Suolo e condizioni topografiche del sito secondo la normativa sismica D.M. 14.01.2008	22
Calcolo della V_{S30}	22
Condizioni topografiche	23
8. Conclusioni	

1. Premessa

Il presente lavoro è teso a riportare le attività relative alle indagini in foro Down Hole volte al fine di identificare la risposta sismica e le velocità di propagazione delle onde sismiche P ed S nel sottosuolo di P.zza Leonardo sita nel Comune di Napoli.

Il gruppo di geofisica coordinato dal dr. Antimo Angelino e con la supervisione scientifica del dr. Vincenzo Di Fiore, ha eseguito la raccolta dati nel periodo aprile-maggio 2011 e la sua elaborazione.

L'attività è stata svolta nell'ambito della convenzione intercorsa tra la Edil G. Re. M. srl e l'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero del CNR con sede in Napoli, Calata Porta di Massa, 80133 Napoli, in riferimento al progetto relativo alla predisposizione e costruzione di parcheggi interrati. Le indagini in foro Down Hole permettono di caratterizzare dal punto di vista sismico i terreni costituenti il sottosuolo dell'area di indagine, verificando la conformità dell'intervento in oggetto con quanto previsto dall'OPCM 20/03/2003 n. 3274, dall'art. 11 e seguenti della L.R. 9/83, dal D.M. 14/09/2005 e dal D.M. 14/01/2008.

Di seguito, il team dei partecipanti:

Componente	Qualifica
Dott. Angelino Antimo	Responsabile del progetto
Dott. Di Fiore Vincenzo	Responsabile scientifico
Dott. Tarallo Daniela	Geofisica
Dott. Antimo Guarino	Geofisica e geologia
Dott. Nicola Pelosi	Geofisica
Gargiulo Vittorio	Geofisica
Scotto di Vettimo Paolo	Geofisica
Iavarone Michele	Geofisica
Losanno Salvatore	Geofisica

2. Modello Sismico del sottosuolo

Il D.M. 14.01.2008, ex Ordinanza 3274 del 20/03/03 del Presidente del Consiglio dei Ministri ha introdotto la nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica. Tra le importanti novità relative alle metodologie di calcolo delle strutture è stato introdotto l'uso di coefficienti per la determinazione dello spettro elastico di risposta che dipendono dalla classificazione dei suoli, per la definizione dell'azione sismica di progetto, in 5 categorie principali (dalla A alla E) a cui ne sono aggiunte altre 2 (S1 ed S2 per le quali sono richiesti studi speciali per definire l'azione sismica da considerare), distinte sulla base del parametro $V_{s,30}$, o in alternativa del valore di NSPT o C_u .

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

Il parametro $V_{s,30}$, rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S entro 30m di profondità (al di sotto del piano di fondazione) ed è calcolato mediante la seguente espressione:

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

dove:

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

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

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

Le tecniche investigative per l'acquisizione di questo parametro sono varie e possono essere distinte in tre tipologie così sintetizzabili:

- 1) Prove in foro di sondaggio opportunamente attrezzato (down hole e cross hole)
- 2) Profili sismici (riflessione o rifrazione) con geofoni orizzontali ed energizzatori di onde SH.
- 3) Modellazione del sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh (SASW, MASW, Refraction Microtremor, SPAC e FTAN) e l'impiego di geofoni verticali.

Relativamente alla modellazione del sottosuolo dell'area in oggetto, sono state effettuate n° 2 prove sismiche in foro (Down hole)

3. Prove Sismiche In Foro

Le prove in foro sono classificate in ragione della posizione della sorgente e dei ricevitori. Possono essere distinte in indagini Down-Hole (DH), Up-Hole (UH) e Cross-Hole (CH). Nelle prove DH la sorgente rimane in superficie e i geofoni vengono immessi nel perforo. Nella prova UP la sorgente si inverte con i ricevitori mentre nella CH sia le sorgenti che i ricevitori sono immessi nei fori.

Una delle più importanti fasi per effettuare una prova in foro è il condizionamento del foro stesso. Per condizionamento di un foro si intende un processo di opere necessario per garantire il giusto accoppiamento tra il tubo di rivestimento ed il profilo verticale di terreno incassante.

Per effettuare una prova sismica in foro, in generale nel foro dove vanno alloggiati i sensori o le sorgenti non distruttive, è necessario predisporre il foro di sondaggio verticale eseguendo un rivestimento del perforo con tubazione in PVC od altro materiale ad alta impedenza alle vibrazioni; il diametro interno del tubo deve essere compreso fra mm 80 e mm 125 e lo spessore fra mm 5 e mm 10. Nello spazio anulare in corrispondenza tra le pareti del foro ed il tubo di rivestimento, va effettuata una cementazione dal basso fino al rifluimento della miscela cementizia in superficie, utilizzando valvola di fondo foro e qualora non sia possibile, utilizzare un tubo calato nell'intercapedine fino a fondo foro. E' compreso quanto altro occorre per dare la predisposizione completa ad esclusione del pozzetto protettivo. Ovviamente è necessario accertarsi che la cementazione occupi tutto lo spazio disponibile e che la prova venga eseguita dopo non meno di 25-30 giorni di stagionatura della miscela di cemento.

4. Prova Down-Hole

Nella tecnica di indagine Down-Hole, (DH), si installa in superficie una sorgente ad impulsi verticali e/o orizzontali e nel foro di misura con uno o più ricevitori a distanza nota ed opportunamente orientati, il tempo di arrivo delle varie fasi P od S mediante diverse tecniche di analisi (figura 1A).

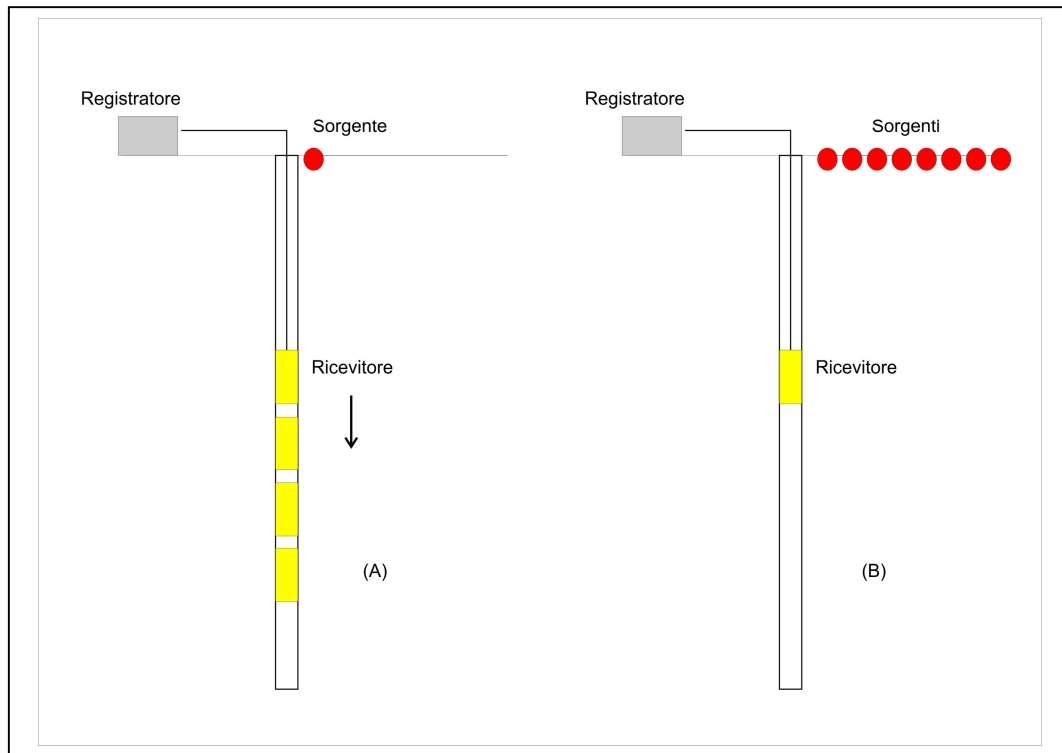


Figura 1 – Schema di acquisizione nell'indagine Down-Hole

E' possibile spostare la sorgente dalla verticale del foro di 3-5 metri per attenuare l'effetto delle onde di tubo (Figura 1B).

L'impulso alla sorgente produce lungo la direzione di propagazione verticale prevalentemente onde longitudinali P se la battuta è effettuata verticalmente sulla piastra mentre produce impulsi prevalentemente orizzontali e quindi onde di taglio polarizzate orizzontalmente (le cosiddette onde SH) se vengono effettuate battute parallele al terreno di superficie. L'arrivo è registrato dai geofoni, alle diverse profondità in cui sono posizionati. I geofoni vengono bloccati nel foro mediante sistemi ad aria compressa o idraulici.

La velocità delle onde P, ovvero il rapporto tra il tempo di arrivo delle onde al geofono e la distanza di che separa la sorgente dal ricevitore, si rileva mediante il picking del primo arrivo.

Quindi la misurazione dei tempi di arrivo delle onde P è relativamente semplice. Per le onde di taglio (SH), invece, la situazione è abbastanza diversa in quanto essendo più lente delle onde di

compressione P, la loro rilevazione deve essere fatta mediante l'ausilio di procedure che prevedono già dalla fase di acquisizione particolari accorgimenti.

Le procedure di interpretazione convenzionali permettono di determinare la velocità delle onde di taglio V_s dalla conoscenza della lunghezza e del tempo di percorrenza del percorso sorgente-ricevitore o del percorso tra coppie di ricevitori. In generale, le onde di taglio viaggiano attraverso strati di terreno di diversa rigidità. Il tempo di viaggio misurato è quello necessario per attraversare l'insieme dei diversi strati, ognuno caratterizzato dalla propria velocità di propagazione. A rigore anche la lunghezza del percorso di propagazione è influenzata dalla presenza di strati con rigidità diversa.

5. Procedure per l'esecuzione di una prova DH

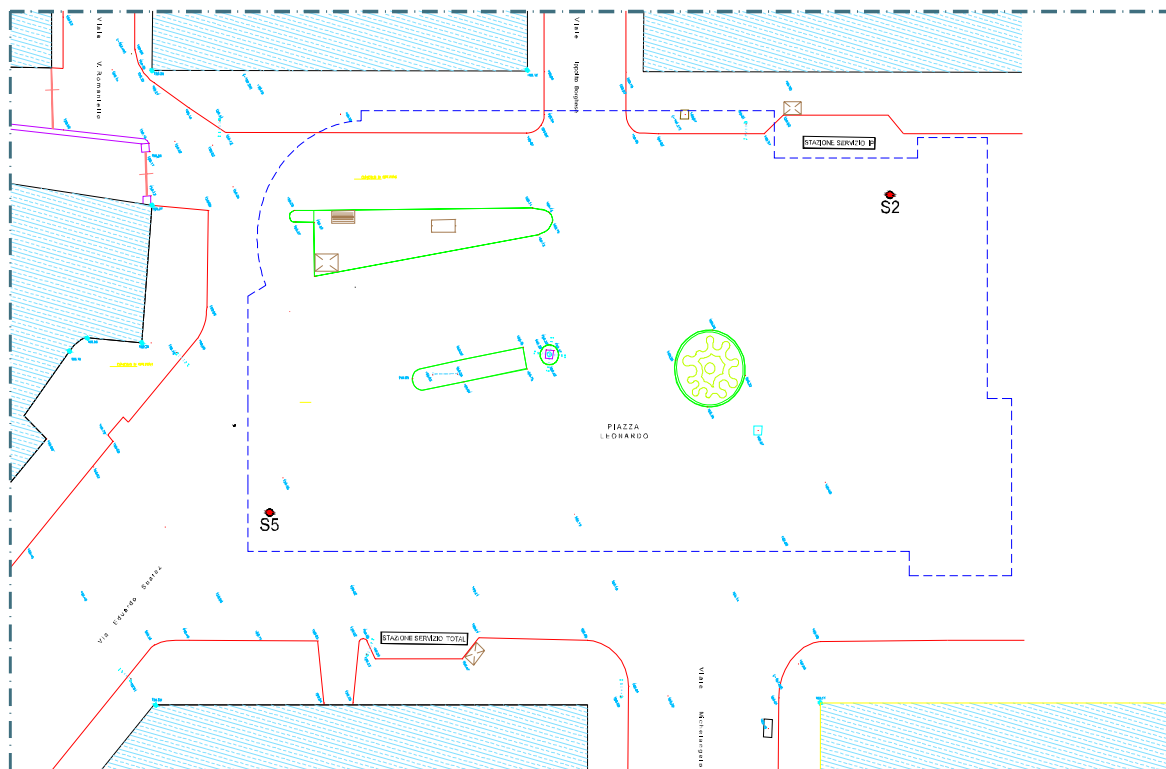
Le prove vengono eseguite mediante l'acquisizione di battute verticali su piastra metallica ed orizzontali su sistema per la generazione prevalentemente di onde SH.

L'elaborazione dei dati, per la determinazione delle velocità delle onde P ed S, deve essere condotta o con il metodo delle dromocrone o quello delle velocità medie per intervallo di profondità, a partire dall'analisi visuale e dallo studio dei correlogrammi nei casi di più difficile interpretazione. Per ogni registrazione si effettuano un minimo tre battute per ciascuna profondità e per ciascun tipo di energizzazione, e questo sia per aumentare il rapporto S/N ma anche per minimizzare eventuale errore di localizzazione dei primi arrivi.

Bisogna poi effettuare dei test per verificare gli eventuali ritardi o anticipi indotti dal sistema trigger (causati da un'imprecisione di chiusura dello starter nel sistema trigger) durante le fasi di energizzazione sulle fasi P ed S, e per tale motivo è utile inserire durante l'acquisizione dati dei geofoni esterni, di cui uno a componente verticale ed uno a componente orizzontale.

Nella fase di acquisizione oltre a registrare il segnale ad intervalli di 1-2 o più metri a partire dal piano campagna e fino a fondo foro, la procedura per ulteriore verifica di bontà del segnale, deve prevedere la registrazione di dati anche in fase di risalita dal fondo foro del geofono con intervalli di profondità magari doppi rispetto ai precedenti.

Di seguito è riportata la mappa con l'ubicazione delle due prove Down-Hole effettuate



• Down-Hole

6. Elaborazione del Segnale

L'elaborazione sostanzialmente si è concretizzata nelle seguenti fasi:

- valutazione visuale in campagna ed analisi di Fourier per valutare la presenza di eventuale rumore coerente nei dati;
- valutazione della necessità di applicare un filtro passa banda oppure di aumentare il numero di energizzazione per aumentare il rapporto S/N;
- equalizzazione spettrale dinamica per l'equiparazione energetica di battuta se non c'è controllo sull'energia di impatto;
- studio polarizzazione dell'onda SH mediante la tecnica dell'inversione di fase delle onde SH;
- visualizzazione delle cross-correlazioni e delle coppie di registrazioni corrispondenti, per la determinazione degli arrivi delle onde SH.

Parametri di acquisizione utilizzati per le prove DH:

Sismografo: 24 canali a 24 bit per canale;

Sorgente: massa battente 10 Kg

Geofono: 5D a 10 Hz (5D una componente verticale, quattro componenti orizzontali disposte a 45°) con dispositivo di bloccaggio al foro mediante pistoncini ad aria compressa;

Trigger: Chiusura di circuito tramite blaster e controllo dei ritardi o anticipi mediante geofoni esterni

Intervallo di campionamento: 0.250 ms;

Finestra temporale di acquisizione: 1 s;

Distanza intergeofonica: 2.00 m;

Distanza bocca pozzo: 2.00 m

Stack (numero di colpi in sommatoria sincrona): variabile da 3

Per correggere il tempo di arrivo dell'effetto dovuto dall'eccentricità della sorgente rispetto al bocca-pozzo si può applicare con buona approssimazione e per certi valori di profondità la seguente formula:

$$T_{corr} = \frac{z}{r} t_{oss};$$

dove z è la profondità del geofono nel foro; r è la distanza geofono-sorgente e t_{oss} è il tempo letto sui sismogrammi.

PROVA DOWNHOLE DH01

Profondità	Vp	Vs	Vp/Vs	Poisson	Dtp	Dts	Tp	Ts
1,00-2,00	472	147	3,22	0,45	2,12	6,82	2,12	6,82
					2,12	6,82	2,12	6,82
2,00-3,00	457	155	2,95	0,44	2,19	6,45	4,31	13,28
					2,19	6,45	4,31	13,28
3,00-4,00	472	168	2,81	0,43	2,12	5,95	6,42	19,22
					2,12	5,95	6,42	19,22
4,00-5,00	461	160	2,88	0,43	2,17	6,24	8,59	25,47
					2,17	6,24	8,59	25,47
5,00-6,00	360	116	3,10	0,44	2,78	8,62	11,37	34,08
					2,78	8,62	11,37	34,08
6,00-7,00	329	111	2,97	0,44	3,04	9,02	14,41	43,10
					3,04	9,02	14,41	43,10
7,00-8,00	375	124	3,02	0,44	2,66	8,05	17,07	51,15
					2,66	8,05	17,07	51,15
8,00-9,00	372	122	3,05	0,44	2,69	8,19	19,76	59,35
					2,69	8,19	19,76	59,35
9,00-10,00	316	104	3,05	0,44	3,17	9,65	22,92	69,00
					3,17	9,65	22,92	69,00
10,00-11,00	510	174	2,94	0,43	1,96	5,76	24,88	74,76
					1,96	5,76	24,88	74,76
11,00-12,00	632	219	2,89	0,43	1,58	4,57	26,47	79,34
					1,58	4,57	26,47	79,34
12,00-	1202	395	3,04	0,44	0,83	2,53	27,30	81,86

13,00									
						0,83	2,53	27,30	81,86
13,00-14,00	828	275	3,01	0,44	1,21	3,64	28,51	85,50	
					1,21	3,64	28,51	85,50	
14,00-15,00	714	245	2,92	0,43	1,40	4,09	29,91	89,59	
					1,40	4,09	29,91	89,59	
15,00-16,00	683	231	2,96	0,44	1,46	4,34	31,37	93,92	
					1,46	4,34	31,37	93,92	
16,00-17,00	811	275	2,95	0,44	1,23	3,64	32,60	97,56	
					1,23	3,64	32,60	97,56	
17,00-18,00	885	273	3,24	0,45	1,13	3,66	33,73	101,22	
					1,13	3,66	33,73	101,22	
18,00-19,00	1113	349	3,19	0,45	0,90	2,87	34,63	104,09	
					0,90	2,87	34,63	104,09	
19,00-20,00	1617	586	2,76	0,42	0,62	1,71	35,25	105,80	
					0,62	1,71	35,25	105,80	
20,00-21,00	1706	599	2,85	0,43	0,59	1,67	35,84	107,47	
					0,59	1,67	35,84	107,47	
21,00-22,00	1712	607	2,82	0,43	0,58	1,65	36,42	109,11	
					0,58	1,65	36,42	109,11	
22,00-23,00	1842	631	2,92	0,43	0,54	1,59	36,96	110,70	
					0,54	1,59	36,96	110,70	
23,00-24,00	1720	589	2,92	0,43	0,58	1,70	37,55	112,40	
					0,58	1,70	37,55	112,40	
24,00-25,00	1723	629	2,74	0,42	0,58	1,59	38,13	113,99	
					0,58	1,59	38,13	113,99	
25,00-26,00	1726	630	2,74	0,42	0,58	1,59	38,71	115,57	
					0,58	1,59	38,71	115,57	
26,00-27,00	1728	611	2,83	0,43	0,58	1,64	39,28	117,21	
					0,58	1,64	39,28	117,21	
27,00-28,00	1731	653	2,65	0,42	0,58	1,53	39,86	118,74	
					0,58	1,53	39,86	118,74	
28,00-29,00	1733	646	2,68	0,42	0,58	1,55	40,44	120,29	
					0,58	1,55	40,44	120,29	

29,00- 30,00	1734	670	2,59	0,41	0,58	1,49	41,02	121,78
-----------------	-------------	------------	------	------	------	------	-------	--------

Vp – Velocità delle onde P nell'intervallo di profondità indicato (m/s)

Vs – Velocità delle onde S nell'intervallo di profondità indicato (m/s)

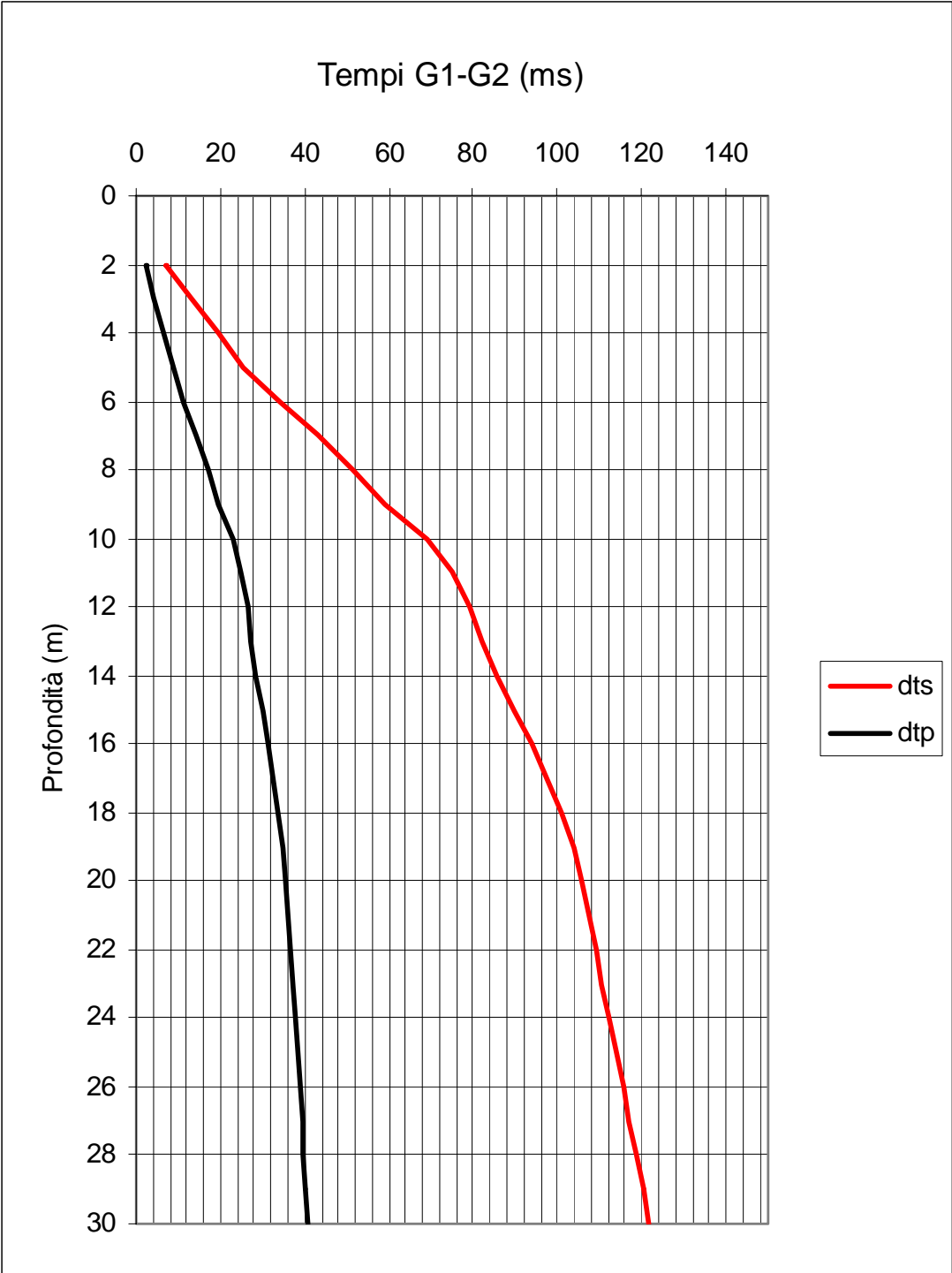
Dtp – Intervallo di tempo misurato tra i due geofoni riferito alla componente Z (ms)

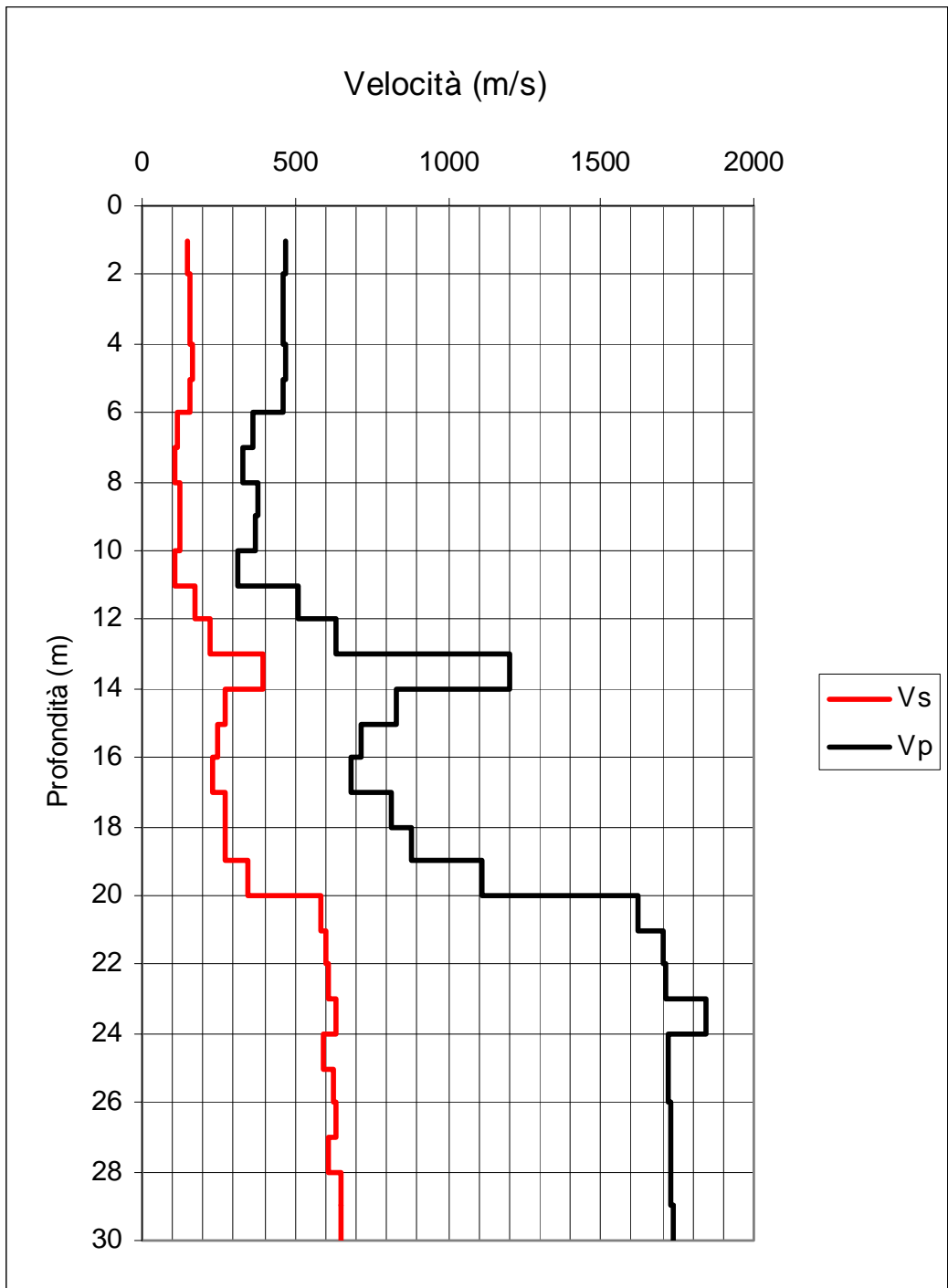
Dts – Intervallo di tempo misurato tra i due geofoni riferito alla componente X (ms)

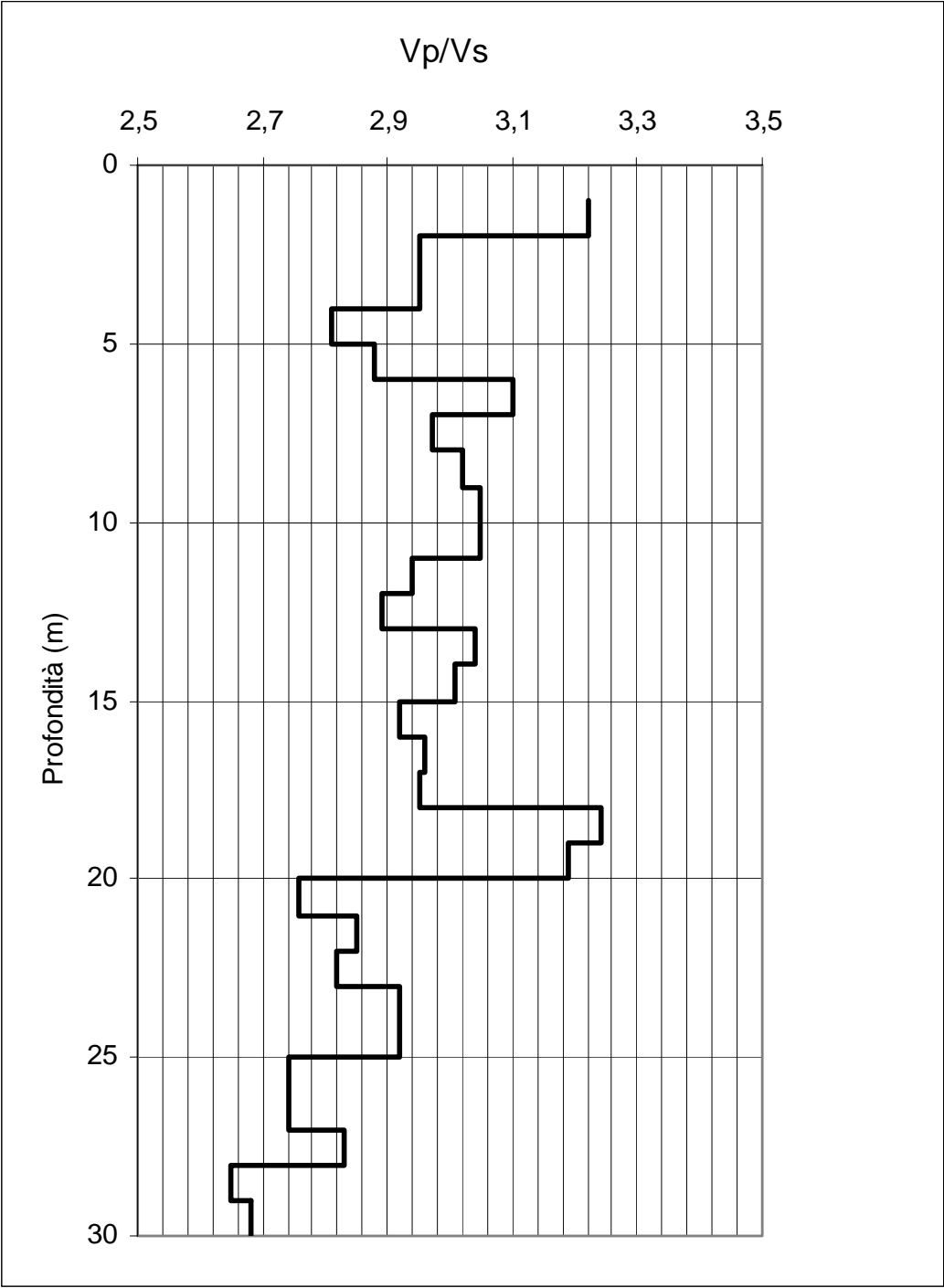
Tp – tempo cumulativo dei diversi intervalli con la profondità riferito alle onde P (ms)

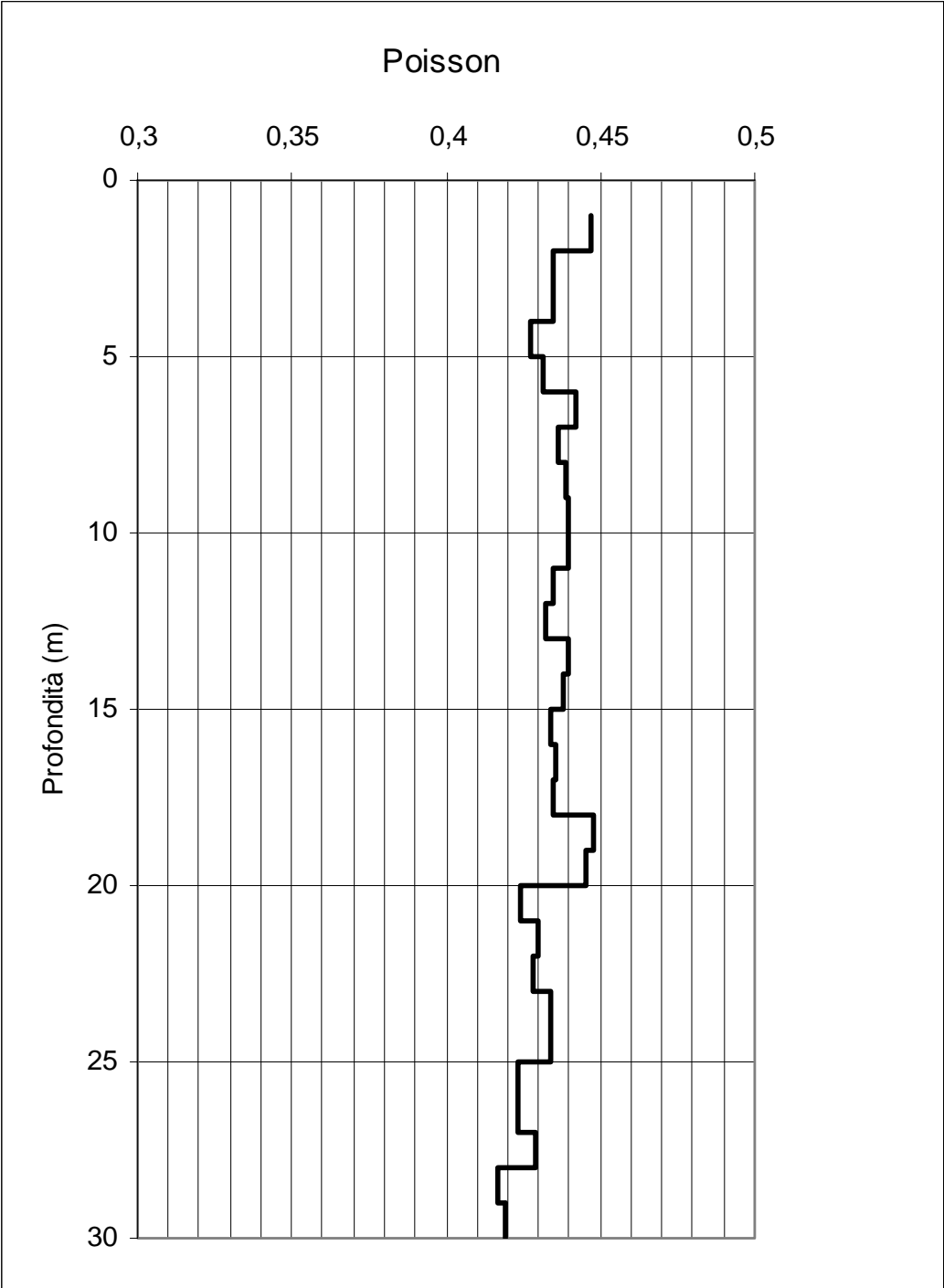
Ts – tempo cumulativo dei diversi intervalli con la profondità riferito alle onde S (ms)

Vs30= 246 m/s









PROVA DOWNHOLE DH02

Profondità	Vp	Vs	Vp/Vs	Poisson	Dtp	Dts	Tp	Ts
1,00-2,00	454	141	3,23	0,45	2,20	7,12	2,20	7,12
					2,20	7,12	2,20	7,12
2,00-3,00	650	215	3,02	0,44	1,54	4,64	3,74	11,76
					1,54	4,64	3,74	11,76
3,00-4,00	463	154	3,01	0,44	2,16	6,50	5,90	18,26
					2,16	6,50	5,90	18,26
4,00-5,00	491	164	2,99	0,44	2,04	6,09	7,94	24,35
					2,04	6,09	7,94	24,35
5,00-6,00	432	144	3,00	0,44	2,31	6,94	10,25	31,29
					2,31	6,94	10,25	31,29
6,00-7,00	287	96	2,98	0,44	3,49	10,39	13,74	41,68
					3,49	10,39	13,74	41,68
7,00-8,00	307	102	3,00	0,44	3,25	9,76	16,99	51,44
					3,25	9,76	16,99	51,44
8,00-9,00	313	105	2,98	0,44	3,19	9,52	20,18	60,96
					3,19	9,52	20,18	60,96
9,00-10,00	400	139	2,88	0,43	2,50	7,20	22,68	68,16
					2,50	7,20	22,68	68,16
10,00-11,00	484	161	3,01	0,44	2,07	6,22	24,75	74,38
					2,07	6,22	24,75	74,38
11,00-12,00	1133	387	2,93	0,43	0,88	2,59	25,63	76,97
					0,88	2,59	25,63	76,97
12,00-13,00	1001	338	2,96	0,44	1,00	2,96	26,63	79,92
					1,00	2,96	26,63	79,92
13,00-14,00	591	198	2,98	0,44	1,69	5,04	28,32	84,96
					1,69	5,04	28,32	84,96
14,00-15,00	825	277	2,98	0,44	1,21	3,61	29,54	88,57
					1,21	3,61	29,54	88,57
15,00-16,00	1585	535	2,96	0,44	0,63	1,87	30,17	90,44
					0,63	1,87	30,17	90,44
16,00-17,00	1438	487	2,95	0,44	0,70	2,05	30,86	92,49
					0,70	2,05	30,86	92,49
17,00-18,00	1296	429	3,02	0,44	0,77	2,33	31,63	94,82
					0,77	2,33	31,63	94,82
18,00-19,00	1888	682	2,77	0,43	0,53	1,47	32,16	96,29
					0,53	1,47	32,16	96,29

19,00-20,00	1595	580	2,75	0,42	0,63	1,72	32,79	98,02
					0,63	1,72	32,79	98,02
20,00-21,00	1601	602	2,66	0,42	0,62	1,66	33,42	99,68
					0,62	1,66	33,42	99,68
21,00-22,00	1605	655	2,45	0,40	0,62	1,53	34,04	101,20
					0,62	1,53	34,04	101,20
22,00-23,00	1608	612	2,63	0,42	0,62	1,64	34,66	102,84
					0,62	1,64	34,66	102,84
23,00-24,00	1612	613	2,63	0,42	0,62	1,63	35,28	104,47
					0,62	1,63	35,28	104,47
24,00-25,00	1614	589	2,74	0,42	0,62	1,70	35,90	106,17
					0,62	1,70	35,90	106,17
25,00-26,00	1617	590	2,74	0,42	0,62	1,69	36,52	107,86
					0,62	1,69	36,52	107,86
26,00-27,00	1792	695	2,58	0,41	0,56	1,44	37,08	109,30
					0,56	1,44	37,08	109,30
27,00-28,00	1794	682	2,63	0,42	0,56	1,47	37,63	110,77
					0,56	1,47	37,63	110,77
28,00-29,00	1796	665	2,70	0,42	0,56	1,50	38,19	112,27
					0,56	1,50	38,19	112,27
29,00-30,00	1865	731	2,55	0,41	0,54	1,37	38,73	113,64

Vp – Velocità delle onde P nell'intervallo di profondità indicato (m/s)

Vs – Velocità delle onde S nell'intervallo di profondità indicato (m/s)

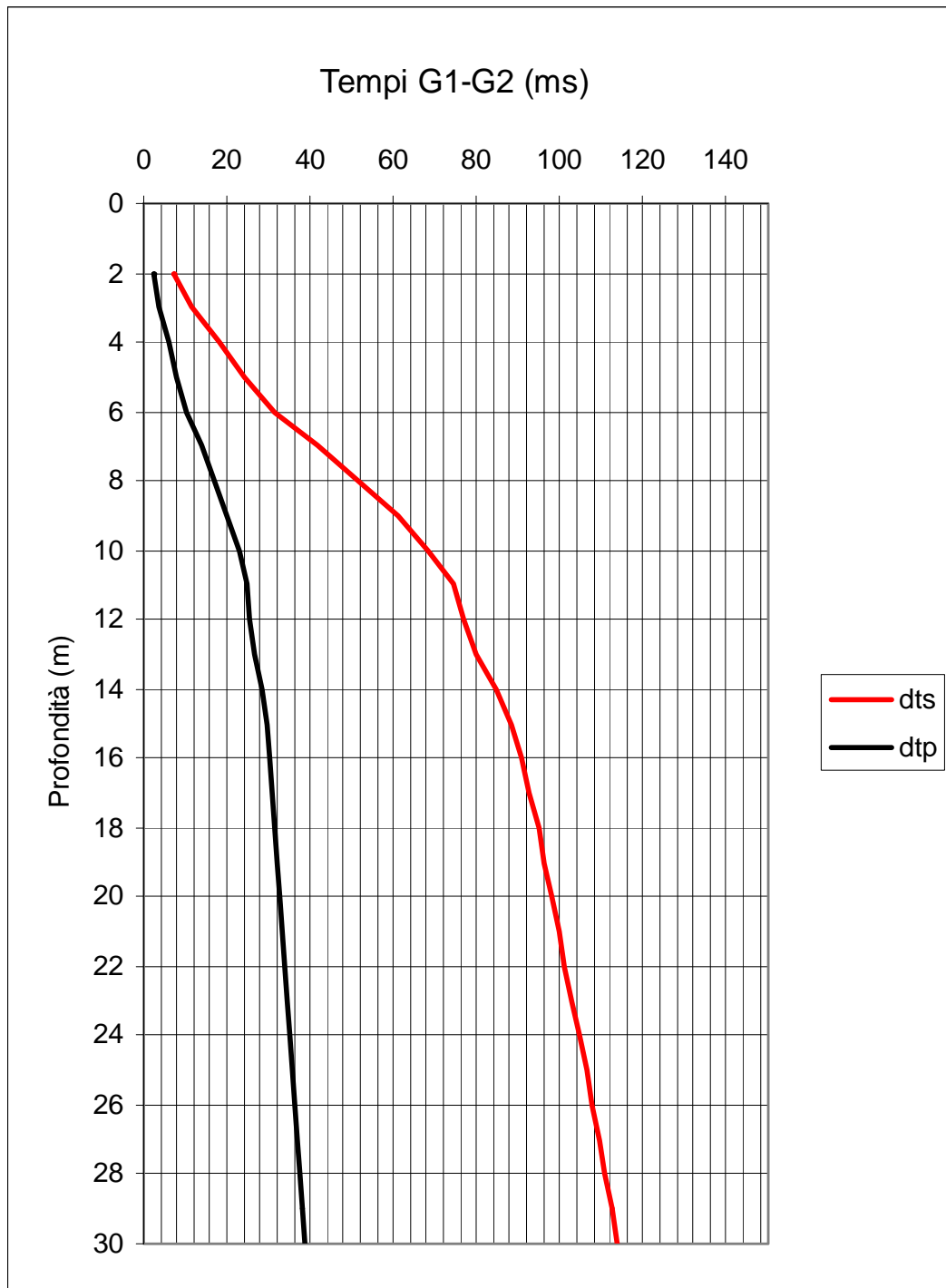
Dtp – Intervallo di tempo misurato tra i due geofoni riferito alla componente Z (ms)

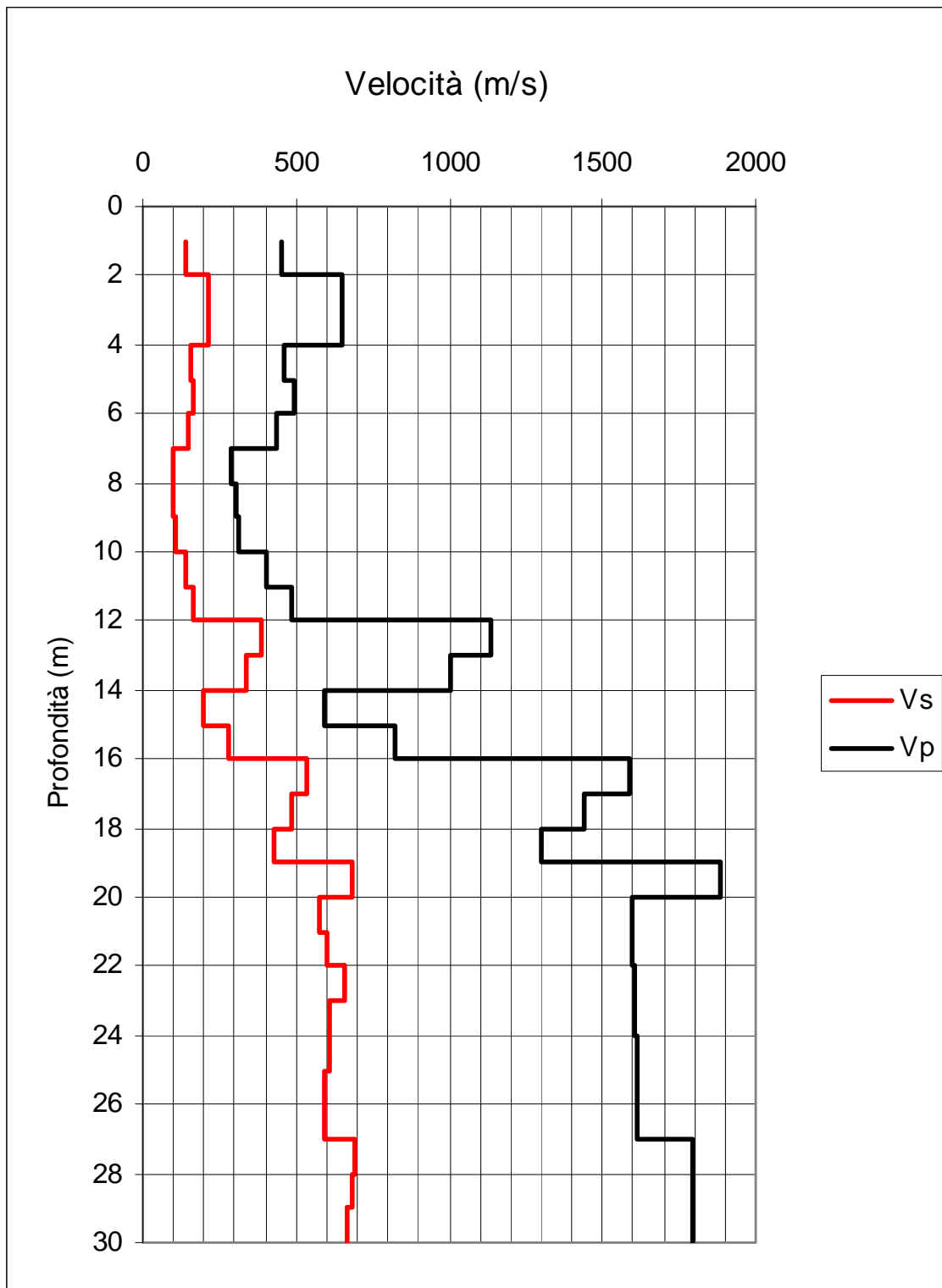
Dts – Intervallo di tempo misurato tra i due geofoni riferito alla componente X (ms)

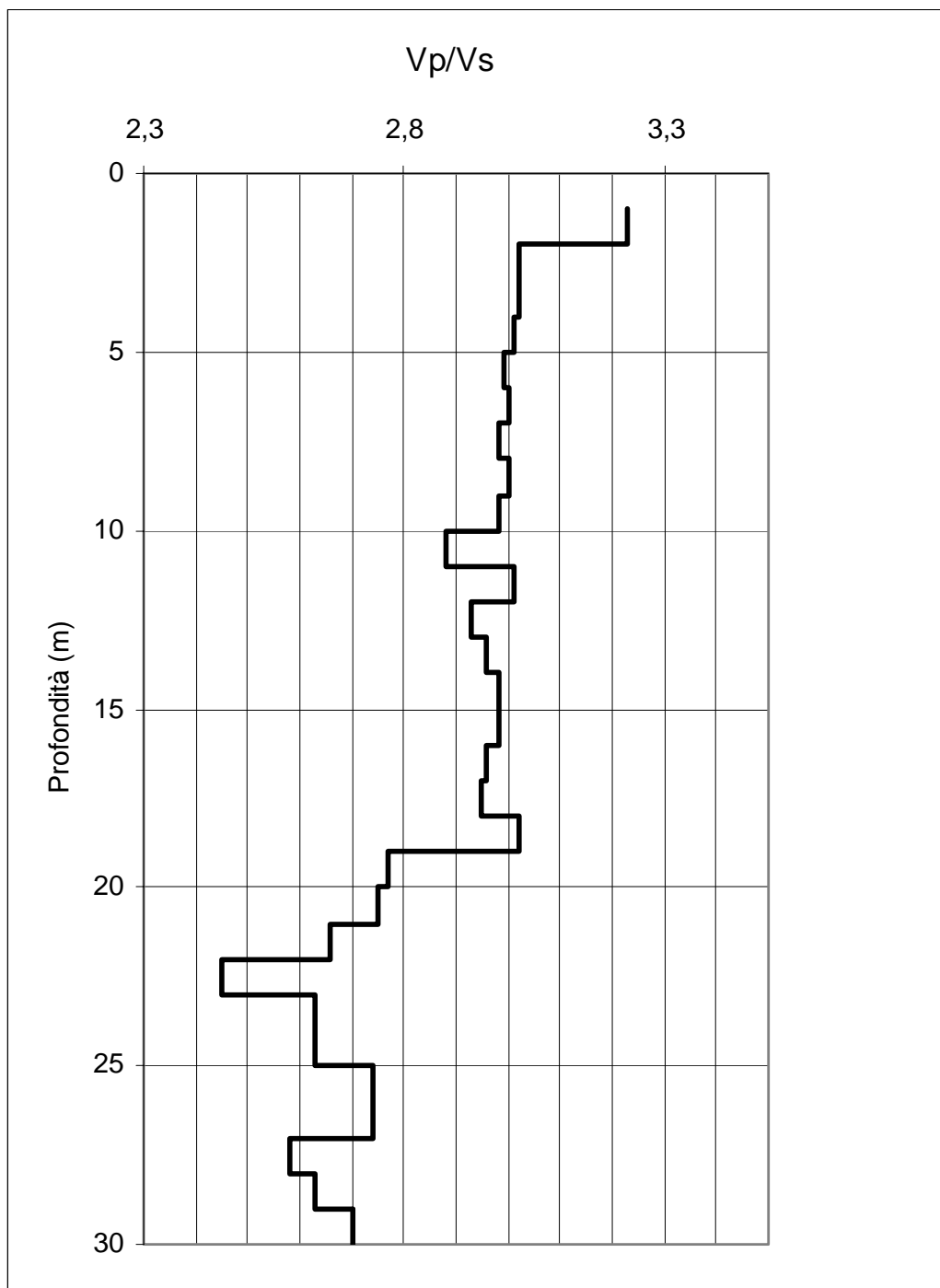
Tp – tempo cumulativo dei diversi intervalli con la profondità riferito alle onde P (ms)

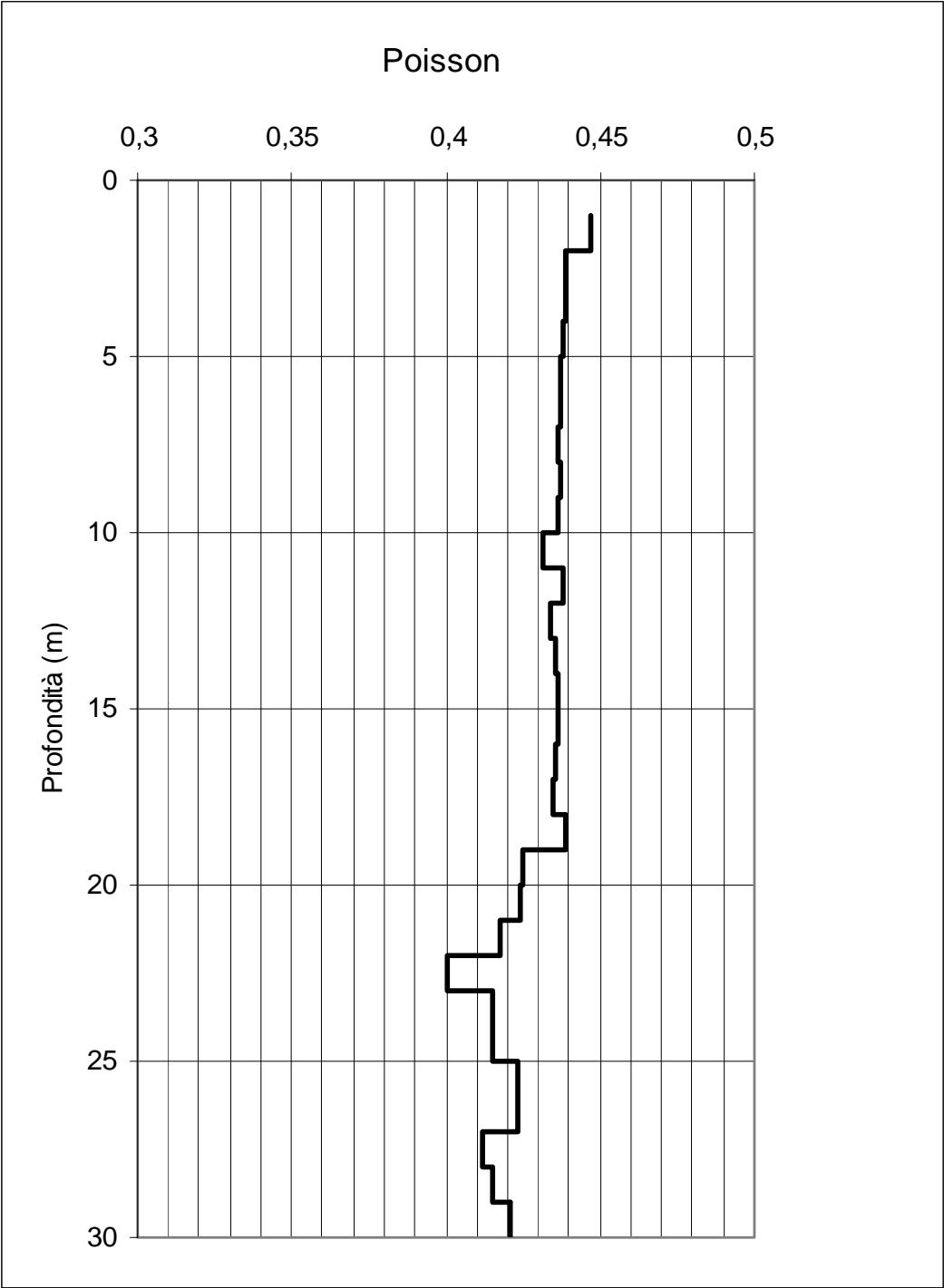
Ts – tempo cumulativo dei diversi intervalli con la profondità riferito alle onde S (ms)

Vs30=263 m/s









7. Determinazioni della Categoria di Suolo e condizioni topografiche del sito secondo la normativa sismica D.M. 14.01.2008

Calcolo della V_{s30}

Ai fini della classificazione della categoria di suolo come definito nella nuova normativa sismica D.M. 14.01.2008 ex Ordinanza 3274/2000, viene determinata la velocità media ponderata per i primi 30 m di suolo a partire dalla superficie.

Di seguito si riporta la tabella di classificazione delle categorie di suolo secondo il DM 14.01.2008.

A - Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
B - Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $NSPT > 50$, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa).
C - Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < NSPT < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa).
D - Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($NSPT < 15$, $c_u < 70$ kPa).
E - Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s. In aggiunta a queste categorie, per le quali nel punto 3.2 vengono definite le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:
S1 - Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s ($10 < c_u < 20$ kPa)
S2 - Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti

In base al valore della V_{s30} ottenuto per il sito, variabile tra **246 e 263 m/s**, viene associato la **categoria di suolo di fondazione di tipo C** ovvero: "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 $V_{s,30}$

compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT, 30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu, 30 < 250$ kPa nei terreni a grana fina)''

Condizioni topografiche

Il D.M. 14.01.2008 prevede che per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici, come nel nostro caso, si può adottare la seguente classificazione:

Tabella – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica	S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4

S_T : coefficiente di amplificazione topografica

Le esposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Sulla scorta dei sopralluoghi effettuati e dei calcoli eseguiti, l'area in esame ricade nella categoria "T1".