



Fig.1a

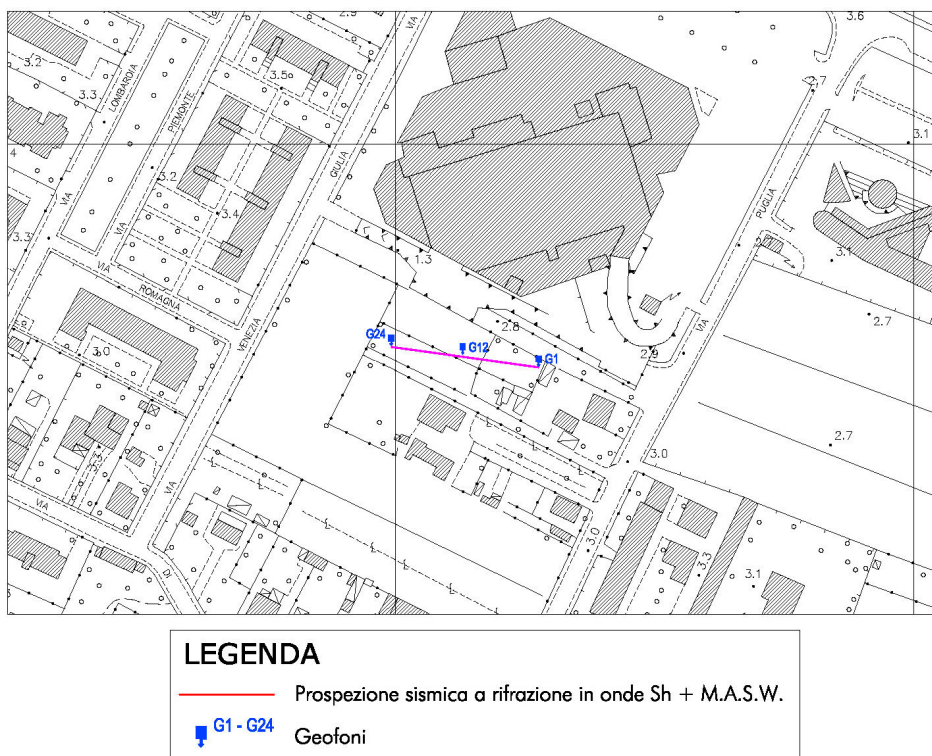


Fig. 1b

allo spessore dello strato. Ciò è quanto riportato nelle sezioni al di sotto della superficie topografica. L'involuppo dato da questi cerchi è una buona approssimazione della forma e posizione del rifrattore.

Sulla base di valutazioni incrociate sull'attendibilità dei risultati ottenuti dalle ricostruzioni sismiche è possibile scegliere il modello ritenuto più conforme alla situazione litostratigrafica presente nell'area e di cui è sempre preferibile avere a disposizione informazioni dirette di tipo geologico, geotecnico e/o idrogeologico: nel nostro caso la sezione litostratigrafica interpretativa, ottenuta con il metodo di elaborazione GRM, è stata ricostruita utilizzando come taratura sia due prove penetrometriche che un sondaggio a carotaggio continuo. Si ricorda infine che i modelli ottenuti sono utilizzabili ai fini di valutazioni semiquantitative della risposta sismica locale, ricordando che per approssimare il più possibile gli andamenti dei rifrattori individuati con quelli reali sarebbe necessario eseguire più stendimenti disposti tra loro ortogonalmente. Di seguito si riportano i parametri di configurazione dello stendimento e il tempo dei primi arrivi individuati su ciascun ricevitore per ogni punto di scoppio.

Schema dettagliato della linea sismica a rifrazione SH

POSIZIONE DEGLI SPARI

Ascissa [m]	Quota [m]
0.00	2.60
16.25	2.60
31.25	2.60
46.25	2.60
62.50	2.60

POSIZIONE DEI GEOFONI E PRIMI ARRIVI

N.	Ascissa [m]	Quota [m]	FBP da 0 [ms]	FBP da 16.25 [ms]	FBP da 31.25 [ms]	FBP da 46.25 [ms]	FBP da 62.5 [ms]
1	2.50	2.60	8.50	18.70	59.20	77.90	116.00
2	5.00	2.60	14.50	16.90	57.50	76.10	114.20
3	7.50	2.60	21.10	15.70	53.90	72.50	111.80
4	10.00	2.60	24.80	10.30	49.50	70.70	111.20
5	12.50	2.60	42.90	7.20	45.90	66.50	109.30
6	15.00	2.60	46.50	2.40	41.10	62.20	106.30
7	17.50	2.65	53.20	6.70	35.60	60.40	100.00
8	20.00	2.60	56.30	10.30	30.80	56.20	95.10
9	22.50	2.60	59.90	12.70	26.00	52.00	90.30
10	25.00	2.60	65.20	18.10	20.50	48.30	87.60
11	27.50	2.60	70.70	26.50	10.90	44.70	81.10
12	30.00	2.60	76.10	32.70	5.40	40.50	76.70
13	32.50	2.60	82.80	38.70	3.60	38.10	68.90
14	35.00	2.60	91.90	42.30	9.10	32.60	67.20
15	37.50	2.60	100.30	46.50	14.50	28.40	65.60
16	40.00	2.60	103.90	50.10	24.80	21.10	60.70
17	42.50	2.60	109.30	60.40	30.80	13.90	59.10
18	45.00	2.60	114.10	63.40	37.50	7.90	55.90
19	47.50	2.60	116.60	65.20	41.70	2.00	50.80
20	50.00	2.60	119.00	69.50	46.50	4.80	43.50
21	52.50	2.60	120.80	74.90	49.50	8.50	34.40
22	55.00	2.60	122.60	77.30	52.60	11.50	26.50
23	57.50	2.60	125.10	80.90	54.40	13.30	16.30
24	60.00	2.60	127.50	83.40	57.40	15.10	9.10

Riportando su un grafico spazio-tempo i tempi di arrivo rilevati in corrispondenza di ciascun geofono si ottiene il cosiddetto *grafico delle dromocrone* (Fig. 2).

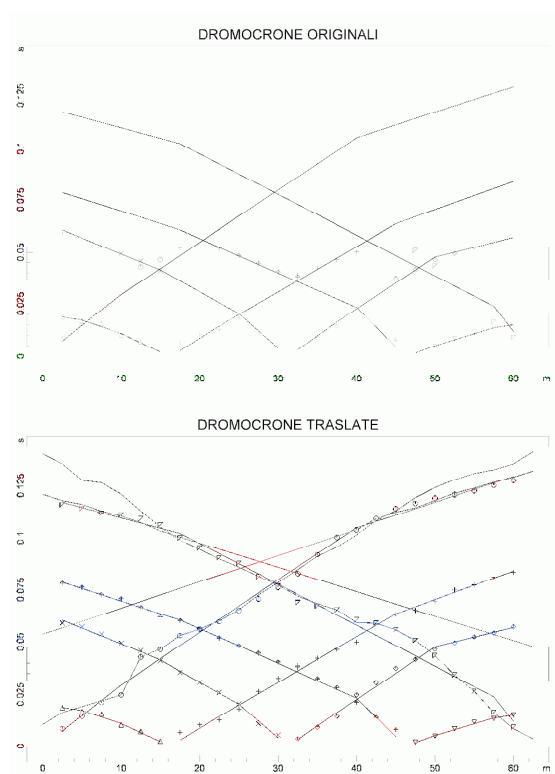


Fig. 2 - Dromocrone

L'interpretazione delle dromocrone, nel nostro caso elaborata attraverso il software *Intersism*, ha permesso di individuare, al di sotto di ciascun punto di scoppio (shot), le profondità dei rifrattori presenti e di ricostruire la sezione sismostratigrafica interpretativa del sottosuolo, così come riportato nella sottostante Fig. 3.

6 - INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA

Dall'indagine eseguita attraverso lo stendimento sismico sono stati riconosciuti, nell'area oggetto di studio, n. 3 sismostrati a velocità VSH delle onde sismiche crescenti con la profondità:

$$V1 = 138 - 135 - 139 \text{ m/s}$$

$$V2 = 150 - 152 - 149 \text{ m/s}$$

$$V3 = 178 - 181 - 184 \text{ m/s}$$

Il primo orizzonte sismico è caratterizzato da velocità VSH mediamente di 137 m/s: ha uno spessore medio di circa 2.5 m.

Il secondo orizzonte sismico è caratterizzato da velocità Vsh mediamente di 150 m/s: ha uno

spessore medio di 3.5 m.

Il terzo orizzonte sismico è caratterizzato da velocità Vsh mediamente di 181 m/s.

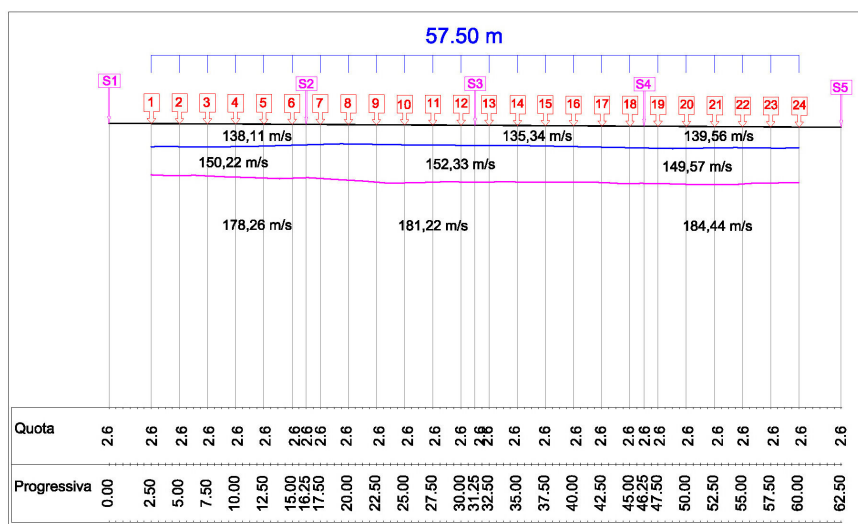


Fig. 3 - Sezione sismostratigrafica interpretativa del sottosuolo

7 - INDAGINE GEOFISICA M.A.S.W.

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama *dispersione*.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

Il metodo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato, come prima accennato, dalle

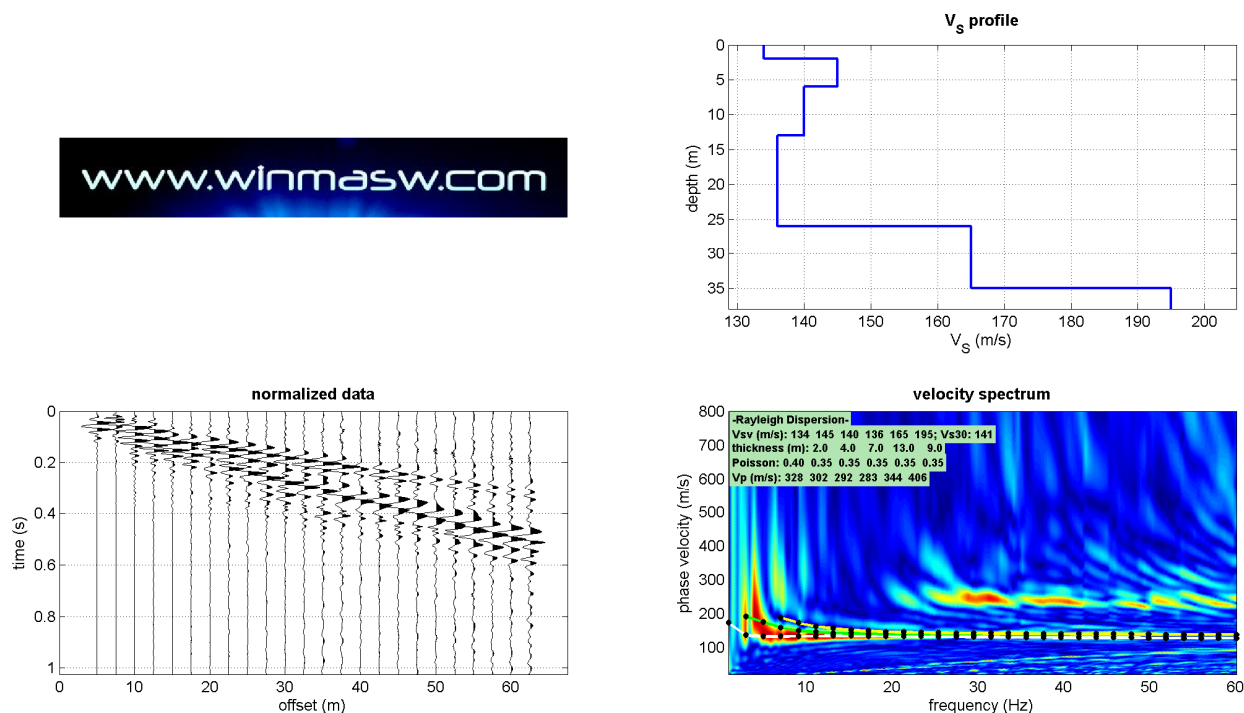


Fig. 4

Nella tabella seguente si riporta il profilo verticale delle onde S ricavato mediante elaborazione dei dati di campagna:

PROFONDITA' DELLA BASE DELLO STRATO [m]	SPESSORE DELLO STRATO [m]				Vs [m/sec]	
2.0	2.0				134	
6.0	4.0				145	
13.0	7.0				140	
26.0	13.0				136	
35	9.0				165	
					195	
MEAN MODEL						
Approximate values for Vp, density, Shear modulus						
Vp (m/s)	328	302	292	283	344	406
Density (gr/cm3)	1.78	1.76	1.76	1.75	1.80	1.84
Shear modulus (MPa)	32	37	34	32	49	70

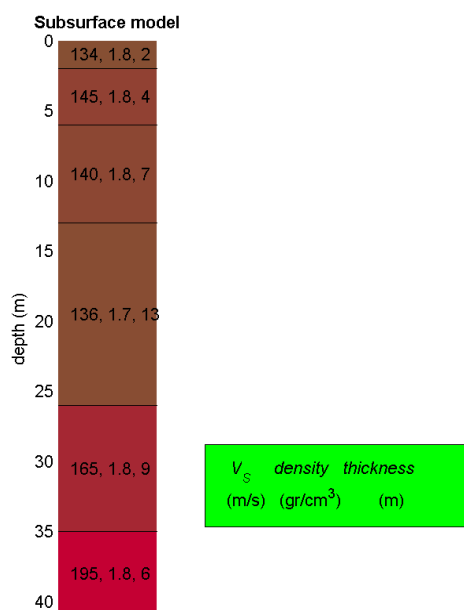


Fig. 5

10 - CALCOLO DEL PARAMETRO V_{s30} (D.M. 14/01/2008)

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato nei capitoli precedenti è possibile calcolare il valore delle V_{s30} , che rappresenta la “velocità equivalente” di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008), coerentemente con quanto indicato nell’Eurocodice 8, propongono l’adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del sottosuolo, mediante cinque tipologie di suoli (A - B - C - D - E più altri due speciali: S1 e S2), da individuare attraverso la stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio, ovvero sul numero di colpi N_{spt} ottenuti in una prova penetrometrica dinamica, ovvero sulla coesione non drenata media C_u .

Dal punto di vista strettamente normativo si fa riferimento al punto 3.2.2 del D.M. 14/01/2008 (Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche).

In base alle grandezze sopra definite, la normativa identifica le seguenti Categorie di Sottosuolo:

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m.
B	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 V_{s30} 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	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_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt, 30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 \text{ kPa} < C_{u, 30} < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina)
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di 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_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt, 30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $C_{u, 30} < 70 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fine)
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800 \text{ m/s}$).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 \text{ kPa} < C_{u, 30} < 20 \text{ kPa}$), 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
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 3.2.II (NTC) – Categorie di sottosuolo

In base ai risultati delle indagini sismiche eseguite è stato calcolato il parametro **Vs30** attraverso la seguente formula (D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008: “Norme Tecniche per le Costruzioni”):

$$V_{s30} = 30 / \sum_{i=1,N} (h_i/V_i)$$

Dalla prospezione sismica a rifrazione con onde SH, visti gli spazi ridotti a disposizione per lo stendimento sismico (circa 57 m), sono stati riconosciuti, nell'area oggetto di studio, 3 sismostrati a velocità VSH delle onde sismiche decrescenti con la profondità:

V1 = 137 m/s (profondità media di 2.5 m)

V2 = 150 m/s (profondità media di 3.5 m)

V3 = 181 m/s (“estrapolando” il 3° sismostrato fino a 30 m).

Il valore medio di Vs30 calcolato è di **172.65 m/sec**

Spessori strati	Litotipo	Spessore strato in metri	Velocità onda P misurata in sito (m/s)	Velocità onda S misurata in sito (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S misurata)
h_1	Argille limose preconsolidate	2.5		137,67	h_1/V_1	0,018
h_2	Argille debolmente limose	3.5		150,70	h_2/V_2	0,023
h_3	Argille organiche molli	24		181,30	h_3/V_3	0,132
h_{totale}		30			$\sum h_i/V_i$	0,174

$V_{s30} \text{ (misurata)}$	=	30 /	0,174	=	172,65	m/s
------------------------------	---	------	-------	---	--------	-----

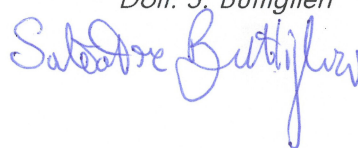
Per affinare il dato di Vs30 è stato ritenuto necessario eseguire anche un profilo sismico con metodologia M.A.S.W da cui è risultato un valore medio di Vs30 pari a **141 m/sec.**

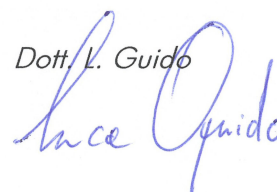
Tale parametro dovrà essere accuratamente definito, oltre che sulla base dei dati contenuti nel presente rapporto, sulla scorta di ulteriori informazioni, ed in particolare delle caratteristiche geometriche delle opere di fondazione in progetto (piano di posa delle fondazioni), così da potere determinare l'effettiva categoria di sottosuolo. A tale proposito, si ritiene opportuno ricordare quanto sia necessario avere a disposizione altre informazioni complementari sulla natura e sul comportamento geotecnico del suolo, prima di poter procedere alla classificazione sismica nel caso si sospetti la presenza di suoli di tipo S1 o S2.

Concludendo si ribadisce che i modelli ottenuti dai risultati geofisici non invasivi, in generale, sono utilizzabili ai fini di valutazioni semiquantitative della risposta sismica locale e devono essere accertati mediante indagini dirette di tipo geologico, geotecnico e/o idrogeologico; infatti, le indagini geofisiche non invasive devono considerarsi conoscitive e non esaustive per la definizione della reale situazione litostratigrafica del sottosuolo. In ragione di ciò, la S.I.S.M.A. geo declina ogni responsabilità relativamente alle attività che si basano esclusivamente sui risultati geofisici e poste in essere dal committente o da terzi incaricati sui luoghi oggetto dell'indagine.

Pisa, ottobre 2013

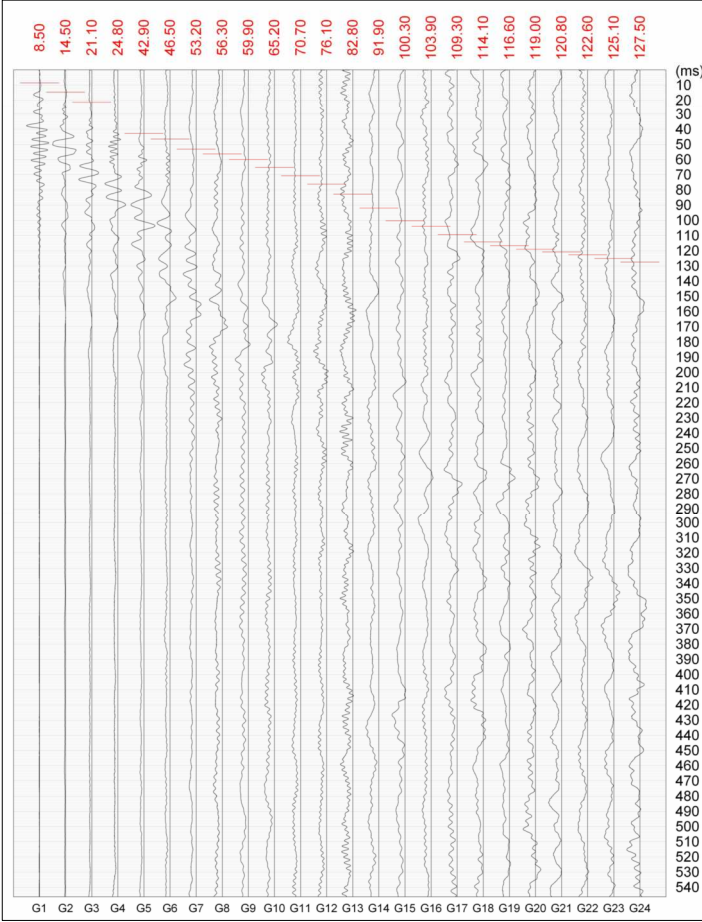
S.I.S.M.A. geo
PROSPEZIONI SISMICHE
Studio Associato: via Novelli, 5 - 56124 Pisa
P. IVA: 01961590500

Dott. S. Buttiglieri


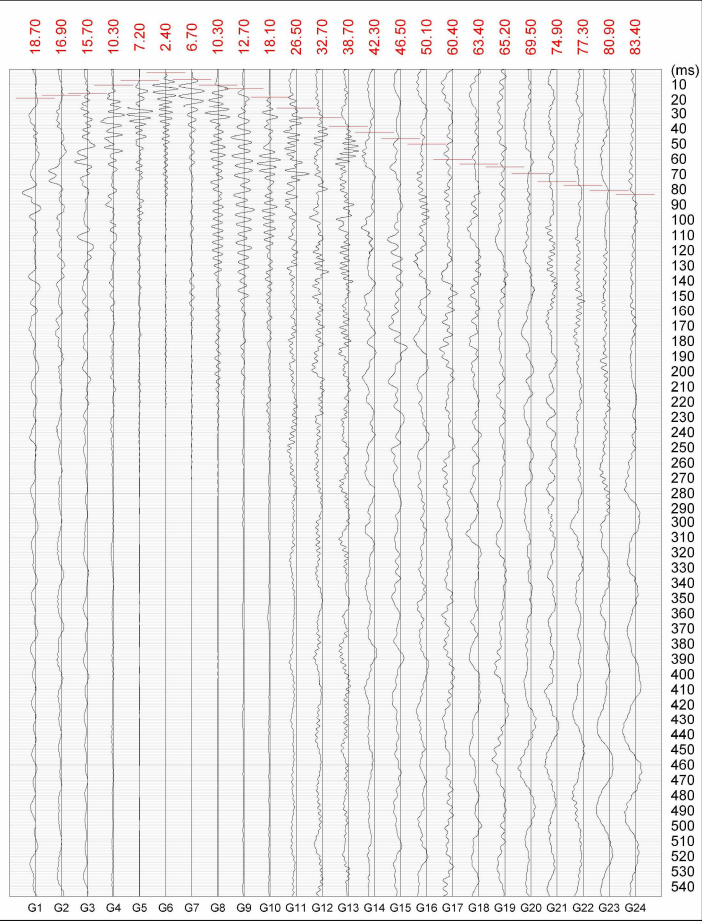
Dott. L. Guido


ALLEGATO A
DETERMINAZIONE PRIMI ARRIVI ONDE SH DEI SISMOGRAMMI
RELATIVI ALLE 5 ENERGIZZAZIONI DEL PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE

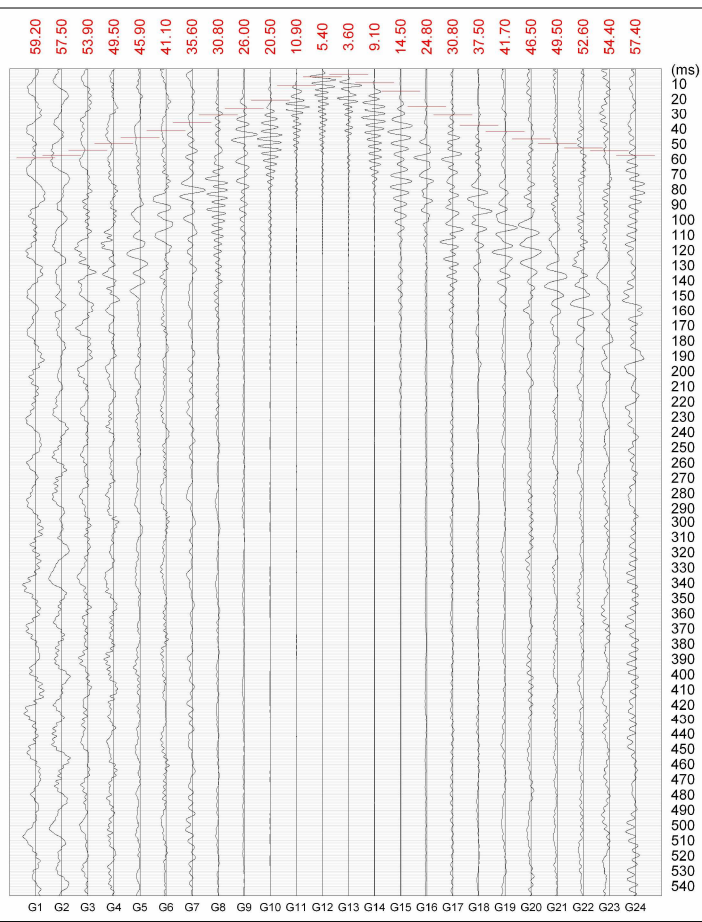
shot 1



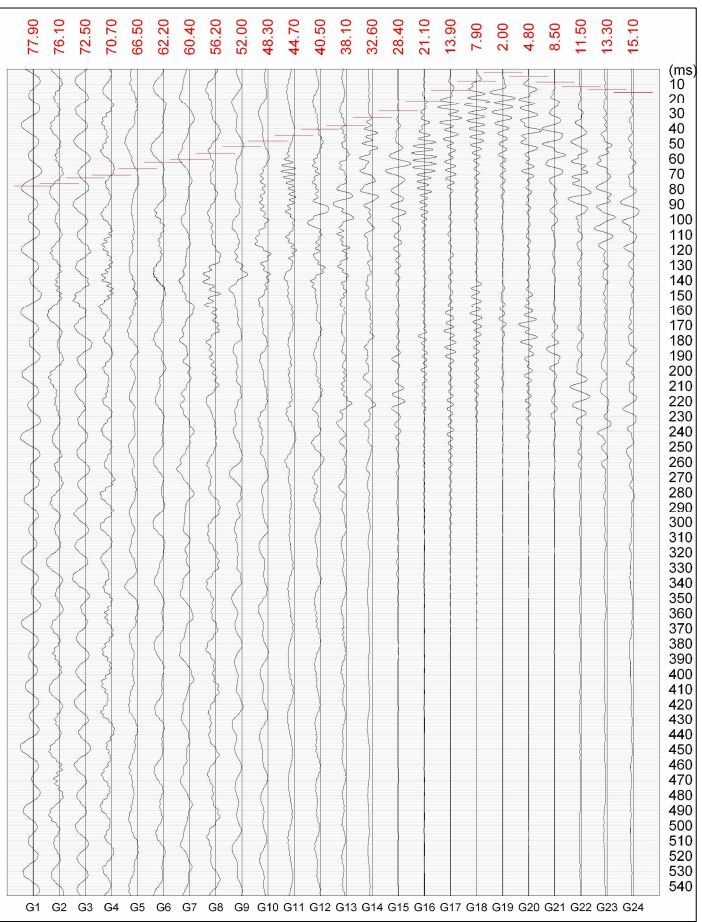
shot 2



shot 3



shot 4



ALLEGATO A

DETERMINAZIONE PRIMI ARRIVI ONDE SH DEI SISMOGRAMMI
RELATIVI ALLE 5 ENERGIZZAZIONI DEL PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE

shot 5

