

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
CIVILE EDILE E AMBIENTALE



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

“Risultati delle prove geofisiche in foro di tipo Cross-Hole (CH)”
Sede INGV - Via di Vigna Murata 605 (RM)

RELAZIONE FINALE

Responsabile Scientifico: prof.ing. Michele Cercato

Team scientifico:
prof.ing. Michele Cercato,
ing. Francesco Saverio Desideri, sig. Francesco Pugliese

Realizzata per:



INGV

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata, 605
00143 Roma

25 novembre 2018

Università degli Studi di Roma “La Sapienza”
CF 80209930587 PI 02133771002
D.I.C.E.A. – Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale
Via Eudossiana 18, 00184 Roma
T (+39) 06 44585089 F (+39) 06 44585091
<http://www.dicea.uniroma1.it>



“Risultati delle prove geofisiche in foro di tipo Cross-Hole (CH)”
Sede INGV - Via di Vigna Murata 605 (RM)

PREMESSA	3
1. MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLA PROVA	3
Strumentazione	3
Misure preliminari ed impostazione dei parametri di acquisizione	5
Geometria del rilievo e modalità d’interpretazione dei risultati	6
2. ANALISI e INTERPRETAZIONE DATI	7
Processing dei sismogrammi	7
Individuazione dei tempi di arrivo delle onde P e delle onde S	8
Allegato A. Risultati della prova crosshole	10



PREMESSA

La campagna d’indagine geofisica oggetto della presente relazione consiste in una prova sismica crosshole per la determinazione dei profili di velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P) e delle onde di taglio (onde S) presso la sede centrale dell’Istituto di Geofisica e Vulcanologia (INGV), via di Vigna Murata 605, Roma. La prova è eseguita in foro di sondaggio opportunamente condizionato, ovvero attrezzato con tubo di rivestimento in PVC. La cementazione dell’intercapedine foro-tubo garantisce la continuità del contatto terreno-tubazione su tutta la verticale di sondaggio.

1. MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLA PROVA

In questa sezione, si forniscono sinteticamente le caratteristiche della strumentazione utilizzata, nonché la geometria e i parametri di acquisizione impiegati per il rilievo crosshole.

Strumentazione

La strumentazione utilizzata è costituita da tre componenti principali: la sorgente, i ricevitori e l’acquisitore digitale (sismografo).

Le caratteristiche delle sorgenti da impiegare sono principalmente legate al tipo di perturbazione sismica che si vuole generare. Generalmente, è necessario impiegare tipologie differenti a seconda che si vogliano generare principalmente onde P (longitudinali) o onde S (onde di taglio).

Per generare gli impulsi sismici in foro si è impiegata la sorgente di tipo sparker SBS42/SH66 Geotomographie[®], la quale è costituita da moduli componibili in grado di generare prevalentemente onde P o onde SH a seconda del tipo di indagine richiesta. Nel caso in esame, alla luce degli obiettivi dell’indagine, si è eseguita la sola indagine per la misura della velocità delle onde di taglio e pertanto è stata adoperata la sorgente sparker configurata per massimizzare la generazione delle onde di taglio (SH).

Rispetto alla sonda usata per la generazione delle onde P (da impiegarsi in sospensione in un foro riempito d’acqua, ed in grado di emettere un’onda sferica), la sonda per la generazione delle onde SH si compone di un ulteriore modulo, la cui parte principale è un’armatura in acciaio inossidabile che agisce come massa inerziale. In questo caso, un packer pneumatico viene utilizzato per serrare la sorgente sulle pareti del sondaggio. In estrema sintesi, la presenza di questa armatura consente l’espansione del fronte d’onda generato dallo sparker in una sola direzione, permettendo una polarizzazione del lobo di emissione (Fig. 1).



“Risultati delle prove geofisiche in foro di tipo Cross-Hole (CH)”
Sede INGV - Via di Vigna Murata 605 (RM)

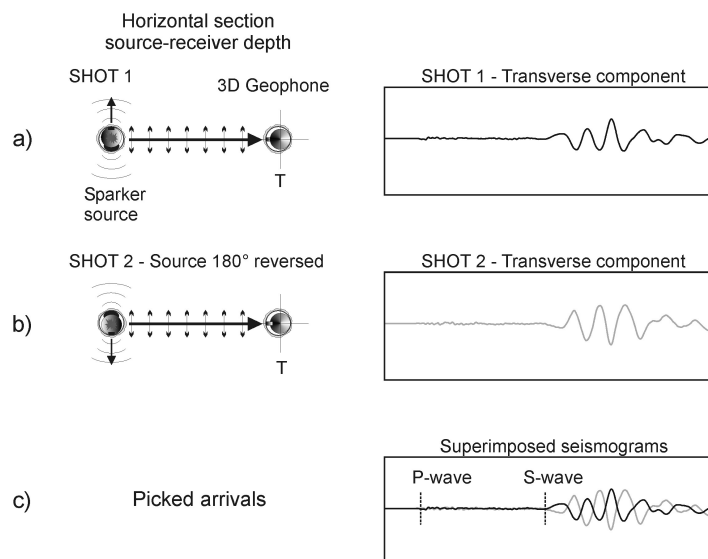


Figura 1: Identificazione dell'arrivo dell'onda di taglio sul sismogramma relativo alla componente trasversale del geofono da foro. La direzione di scoppio è normale alla congiungente i due fori. a) Viene eseguita la prima energizzazione (Shot 1). b) La sorgente viene ruotata di 180° rispetto alla direzione del primo scoppio e viene eseguita una nuova energizzazione. c) Identificazione del tempo di arrivo dell'onda S per opposizione di fase sovrapponendo i sismogrammi registrati per ciascun verso di scoppio (da Cercato et al. 2010).

La Fig.2a mostra l'assemblaggio della sorgente e la procedura di orientamento precedente alla calata in foro (Fig. 2b).

Oltre alla sonda modulare, la sorgente sismica è costituita da un banco di condensatori da 1 kJ e da un'unità di controllo remoto. Gli impulsi dello sparker possono essere rilasciati sia in modalità continua che manuale: in tal modo si ha la possibilità di sommare i singoli impulsi al fine di migliorare il rapporto segnale rumore (*stacking*). Alla scarica del banco di condensatori è associata l'emissione del segnale di trigger, la cui precisione è stimata nell'ordine dei 5 μ s.

La presenza di una bussola magnetica accoppiata alla sonda permette l'orientamento in foro, con lettura in tempo reale dell'orientazione in superficie tramite display, con una precisione stimata nell'ordine dei 5°.

Tale sorgente è caratterizzata quindi da eccellenti caratteristiche di direzionabilità, reversibilità e ripetibilità, oltre ad una buona potenza di emissione.

Per l'acquisizione e la registrazione dei dati si è impiegato il sismografo digitale a 24 canali ES-3000 Geode[®] di Geometrics Inc., con intervallo di campionamento minimo pari a 31,25 μ s e massimo numero di campioni registrabili pari a 16.384.

Il sismografo si interfaccia con un laptop su cui è possibile visualizzare in tempo reale il dato acquisito e nello stesso tempo monitorare il livello del rumore ambientale.



*“Risultati delle prove geofisiche in foro di tipo Cross-Hole (CH)”
Sede INGV - Via di Vigna Murata 605 (RM)*

Completa la strumentazione il Geofono tridirezionale BHG-2 Geostuff® (Frequenza nominale 14 Hz), il quale viene ancorato alla parete del foro tramite meccanismo di serraggio elettrico in metallo, controllato tramite un'unità remota. Tale geofono, a tre componenti (una verticale e due orizzontali ortogonali), è dotato di bussola per l'orientamento in foro. La lunghezza del corpo del geofono (che garantisce l'alloggio della bussola e del meccanismo di serraggio), è pari circa a 80 cm.



Figura 2: a) Assemblaggio della Sonda sparker SH-66 per la generazione di onde SH. b) Procedura di orientamento precedente alla calata in foro

Misure preliminari ed impostazione dei parametri di acquisizione

Preliminarmente all'installazione della strumentazione, si è proceduto alla calibrazione delle bussole per l'orientazione di sorgente e sensori rispetto al sito in esame, nonché all'orientazione in foro della sorgente e del ricevitore secondo lo schema di Fig. 3.

Individuato il nord magnetico tramite una bussola ausiliaria, si determina l'angolo α_1 tra il Nord e la retta normale alla congiungente i due fori. Tale angolo indica il primo verso di energizzazione e la direzione in cui deve essere posta la componente trasversale (T) del geofono affinché su di essa sia massimizzata la ricezione dell'onda di taglio SH.

L'angolo $\alpha_2 = (\alpha_1 + 180^\circ)$ individua il secondo verso di energizzazione per l'emissione di onde di tipo SH, la cui polarizzazione è opposta rispetto a quelle emesse con la sorgente disposta secondo l'angolo α_1 . La doppia energizzazione è effettuata al fine di consentire una precisa individuazione del tempo di arrivo dell'onda SH per opposizione di fase, secondo quanto schematizzato in Fig.1.



“Risultati delle prove geofisiche in foro di tipo Cross-Hole (CH)”
Sede INGV - Via di Vigna Murata 605 (RM)

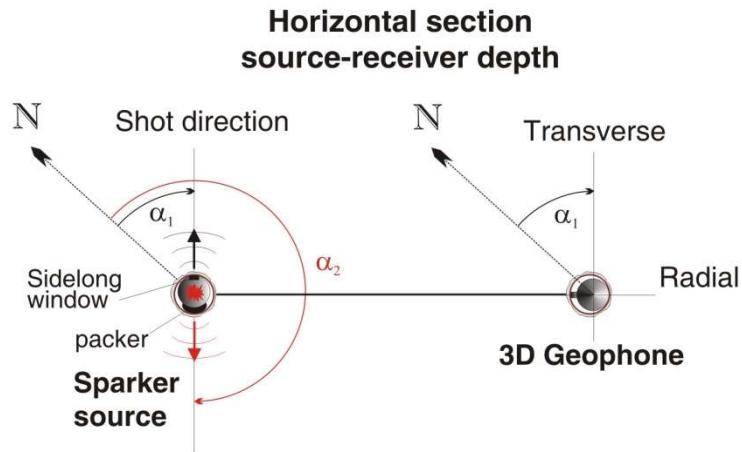


Figura 3: Schema di orientazione della sorgente e del geofono. Sulla base della posizione dell'asse congiungente i due fori rispetto al Nord magnetico, vengono individuate le due direzioni di scoppio in corrispondenza degli angoli α_1 ed α_2 .

A seguito di alcune misure preliminari, sono stati selezionati i seguenti parametri di acquisizione:

- Intervallo di campionamento: $\Delta t = 31.25 \mu s$
- Lunghezza della traccia: $T_1 = 0.512$ s
- Filtri in acquisizione: NO
- Salvataggio: manuale
- Energizzazione: azionamento manuale
- Stacking: SI
- Formato file: SEG2 (Pullan 1990)
- Acquisizione rilievo onde SH.

Tabella 1. Parametri di acquisizione indagine downhole.

Geometria del rilievo e modalità d'interpretazione dei risultati

I dati sono stati acquisiti posizionando la sorgente nel foro S1 ed il geofono nel foro S2, alla stessa profondità rispetto al piano campagna. Le stazioni di misura sono state poste ad intervalli di un metro lungo la verticale del foro e, per ogni stazione di misura, si sono eseguite un minimo di due registrazioni, invertendo almeno una volta l'orientazione della sorgente. Per ciascuna stazione di misura il numero di energizzazioni ripetute (*stacking*) ed il numero di registrazioni è stato scelto sulla base della stima in tempo reale del rapporto segnale-rumore.



**“Risultati delle prove geofisiche in foro di tipo Cross-Hole (CH)”
Sede INGV - Via di Vigna Murata 605 (RM)**

In linea di principio, le letture sono da effettuarsi individuando i tempi di arrivo dal verso opposto della partenza dell'onda S (ASTM 2000) sulla componente trasversale di sismogrammi registrati alla stessa profondità e relativi alle due direzioni di energizzazione (disposte a 180°), come mostrato in Fig. 1c.

I valori così ottenuti, sono utilizzati per il calcolo delle velocità, note le distanze tra i fori per ciascuna profondità, utilizzando la semplice equazione:

$$V_S(z) = \frac{\Delta x(z)}{t_S(z)} \quad (2)$$

dove z è la profondità di sorgente e ricevitori, $\Delta x(z)$ è la distanza orizzontale interfero effettiva (come risultante dalle misure di deviazione di verticalità), mentre $t_S(z)$ e $V_S(z)$ sono rispettivamente il tempo di arrivo e la velocità sismica dell'onda S.

I valori di velocità vengono infine riportati in un diagramma per restituire il profilo di velocità delle onde S con la profondità.

Per quanto riguarda l'onda P, i relativi tempi di arrivo $t_P(z)$ (*first breaks*) sono individuati sulla componente verticale come tempi di primo arrivo dell'onda sismica. I valori delle relative velocità $V_P(z)$ si ottengono analogamente all'eq.ne (1) tramite la:

$$V_P(z) = \frac{\Delta x(z)}{t_P(z)} \quad (2)$$

2. ANALISI e INTERPRETAZIONE DATI

Processing dei sismogrammi

Pur mantenendo la prova crosshole la caratteristica di misura sismica semi-diretta, che non richiede dunque un particolare tipo di processing, alcune operazioni possono rendersi necessarie ai fini della restituzione dei sismogrammi per l'individuazione dei tempi di arrivo dell'onda S.

In primo luogo, tutti i sismogrammi registrati vengono ispezionati visivamente.

Alcune analisi possono essere d'ausilio per le operazioni successive, come il calcolo dello spettro di Ampiezza (*Amplitude Fourier spectrum*) o lo spettro frequenza-tempo (*Gabor spectrum*) al fine di individuare le frequenze caratteristiche dei segnali presenti sul sismogramma, nonché per guidare eventuali operazioni di filtraggio in frequenza.

Nel caso in cui siano presenti più sismogrammi per assegnati profondità e verso di energizzazione, si decide, in dipendenza dal rapporto segnale rumore, se eseguire la somma delle singole registrazioni, ovvero si individua un solo file da utilizzare per la successiva operazione di lettura dei tempi (*picking*).



“Risultati delle prove geofisiche in foro di tipo Cross-Hole (CH)”
Sede INGV - Via di Vigna Murata 605 (RM)

Al termine di questa prima fase, per ciascuna profondità di misura si hanno a disposizione due registrazioni, una per ogni direzione di energizzazione.

La prima operazione consiste nell’inserimento su ciascun file delle informazioni sulla geometria, quali profondità di sorgente e ricevitore, angolo di scoppio etc.

Si procede quindi ad estrarre, per ogni file, la sola componente trasversale della registrazione.

Per ciascun verso di energizzazione, si costruisce un pannello sintetico delle tracce relative alla componente trasversale per tutte le profondità di misura.

Al termine di questa fase, il set di dati è costituito da due file sismici, relativi alle due direzioni di energizzazione opposte, riportanti le tracce (trasversali) registrate per ciascuna profondità di misura (ogni metro, lungo la verticale di sondaggio).

Nel caso in cui si riconosca la presenza di rumore al di fuori della banda di frequenza del segnale, le tracce sismiche possono essere filtrate. In questo caso si è applicato un filtro “taglia alto”, con frequenza di taglio pari a 4000 Hz, per eliminare il rumore elettrico ad alta frequenza. Altre operazioni accessorie hanno riguardato l’operazione di *muting* della parte iniziale di alcuni sismogrammi, dove era troppo evidente il disturbo elettrico indotto dall’apertura del circuito di registrazione.

Individuazione dei tempi di arrivo delle onde P e delle onde S

Per ciascun verso di energizzazione, si compone un pannello sismico costituito dalla componente d’interesse per tutte le profondità di misura.

Per le onde P si ha a disposizione una traccia per ciascuna profondità. Su ciascuna traccia, il primo arrivo costituisce il tempo individuato per l’arrivo dell’onda P (Fig. 3). Per le onde P è stata considerata la componente verticale del geofono 3C.

Nei rilievi ad onde S il set di dati da interpretare è costituito da due file sismici, relativi alle due direzioni di energizzazione opposte della sorgente ad onde S, ottenuti riportando la componente trasversale del geofono per ciascuna profondità di misura (ogni metro, lungo la verticale di sondaggio).

Tali file vengono generalmente rappresentati come sovrapposti per evidenziare l’arrivo dell’onda S.

L’arrivo del segnale viene individuato sulla base delle seguenti osservazioni:

- presenza di impulsi speculari nelle componenti orizzontali delle registrazioni effettuate con energizzazioni di verso opposto.
- variazione di frequenza del treno d’onda.

Il *picking* degli arrivi delle onde S è effettuato manualmente confrontando, per ogni profondità di stazione, le due polarizzazioni opposte dell’onda di taglio SH (realizzate in campagna tramite energizzazioni in direzione opposta (180°)).



**“Risultati delle prove geofisiche in foro di tipo Cross-Hole (CH)”
Sede INGV - Via di Vigna Murata 605 (RM)**

In caso di problemi di lettura, che rendono difficile l'individuazione del tempo di arrivo, si integra l'analisi con le letture dei primi massimi.

I profili ottenuti dall'applicazione della (1) sono poi messi a confronto con la stratigrafia del sito per evidenziare la corrispondenza delle velocità con i litotipi individuati.

3. ELENCO DEGLI ALLEGATI

I risultati della prova sono riportati e sinteticamente commentati nell'allegato A alla presente relazione.

Il Responsabile Scientifico

4. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Cercato M., Cara F., Cardarelli E., Di Filippo G., Di Giulio G and Milana G. 2010. Shear-wave velocity profiling at sites with high stiffness contrasts: a comparison between invasive and non-invasive methods. *Near Surface Geophysics* **8**, 75-94

ASTM D4428M-00 Standard Test Methods for Crosshole Seismic Testing. ASTM International, March 2000.

Pullan, S. E., 1990, Recommended standard for seismic/radar files in the personal computer environment: *Geophysics* **55**, 1260-1271.



**“Risultati delle prove geofisiche in foro di tipo Cross-Hole (CH)”
Sede INGV - Via di Vigna Murata 605 (RM)**

Allegato A. Risultati della prova crosshole



(a)

(b)

Località:

INGV – Sede di Roma
Via di Vigna Murata 605
00143 Roma

Ubicazione ED50:

N 41,82970 ; E 12,51565

Profondità di perforazione: 80 m

**Profondità raggiunta dall'indagine
crosshole: 74 m (fondo foro)**

Figura A.1: a) Layout della strumentazione durante il rilievo. b) Informazioni sulla prova downhole.

Nella Fig.A.2 e nella Fig.A.3 sono rappresentati i pannelli di sintesi con i tempi di picking, rispettivamente per le onde P e per le onde S.

Nelle Figg. A.4 e A.5 il pannello rappresentato in Fig.A.3 viene suddiviso in due pannelli, rispettivamente relativi alle profondità 1-39m (Fig.A.4) e 40-74m (Fig.A.5) per migliorare la leggibilità del picking delle onde S.

Le Tab.A.1 e A.2 riportano i valori numerici del modello risultante dal processo di interpretazione dati.

La Fig. A.6 riporta i profili di velocità (sia per le onde P che per le onde S), messi a confronto con una stratigrafia semplificata del sito d'indagine.

L'andamento delle velocità ben si rapporta alle variazioni stratigrafiche principali.

Si osserva in generale una buona corrispondenza tra litotipi e variazioni di velocità, anche se l'indagine ha evidenziato una marcata eterogeneità in termini di velocità delle onde sismiche all'interno delle piroclastiti, come per esempio il sismostrato compreso tra 14 m e 20 m di profondità dal p.c., caratterizzato da elevati valori di velocità (superiori a 1000 m/s per le V_s).

Lungo il profilo si rileva anche una eterogeneità nei depositi alluvionali al di sotto delle piroclastiti.

I valori delle argille marnose a profondità maggiori di 64m dal p.c. sono dell'ordine dei 850-900 m/s.



“Risultati delle prove geofisiche in foro di tipo Cross-Hole (CH)”
Sede INGV - Via di Vigna Murata 605 (RM)

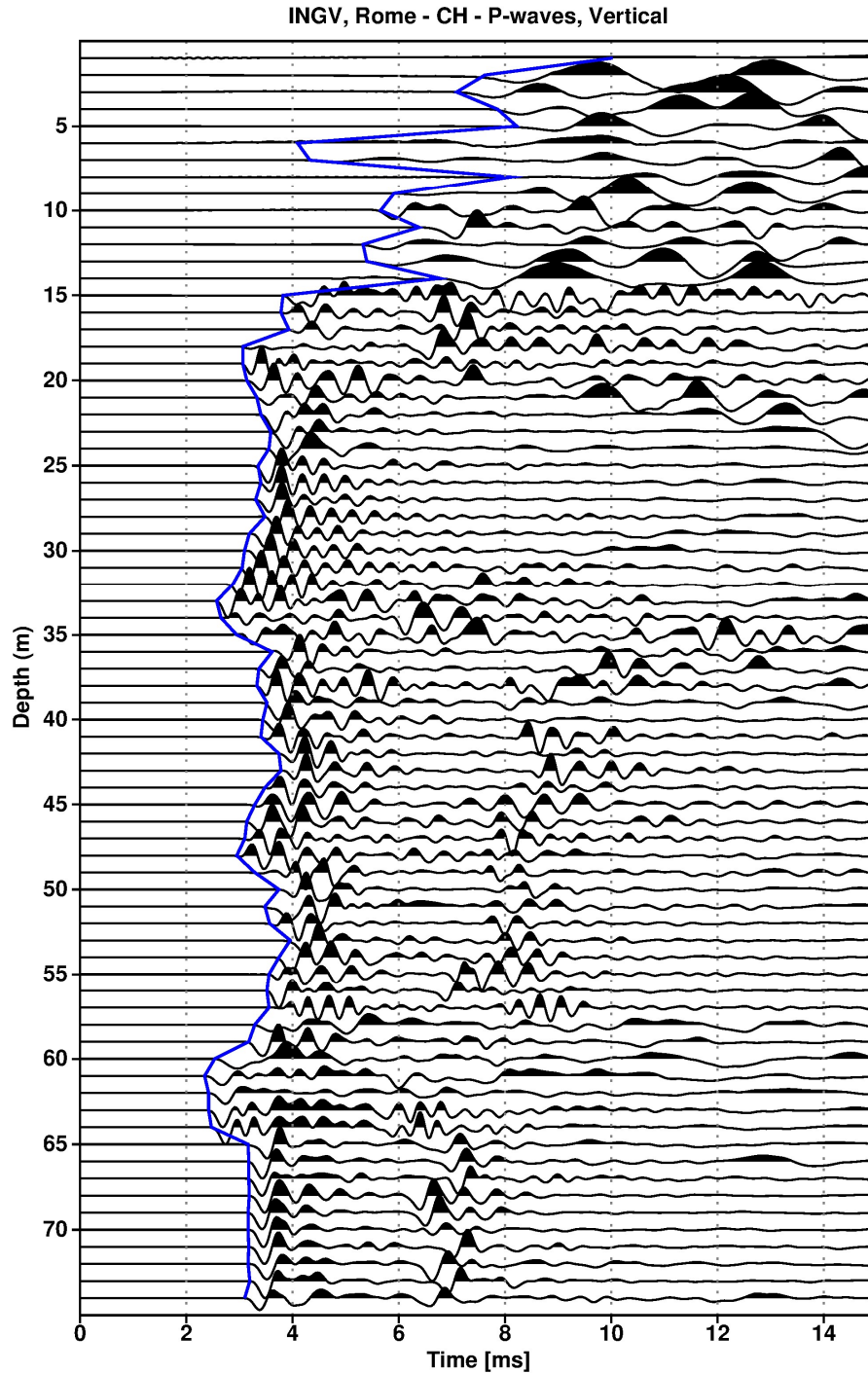


Figura A.2. Onde P, componente verticale. La linea blu individua i tempi di primo arrivo.



“Risultati delle prove geofisiche in foro di tipo Cross-Hole (CH)”
Sede INGV - Via di Vigna Murata 605 (RM)

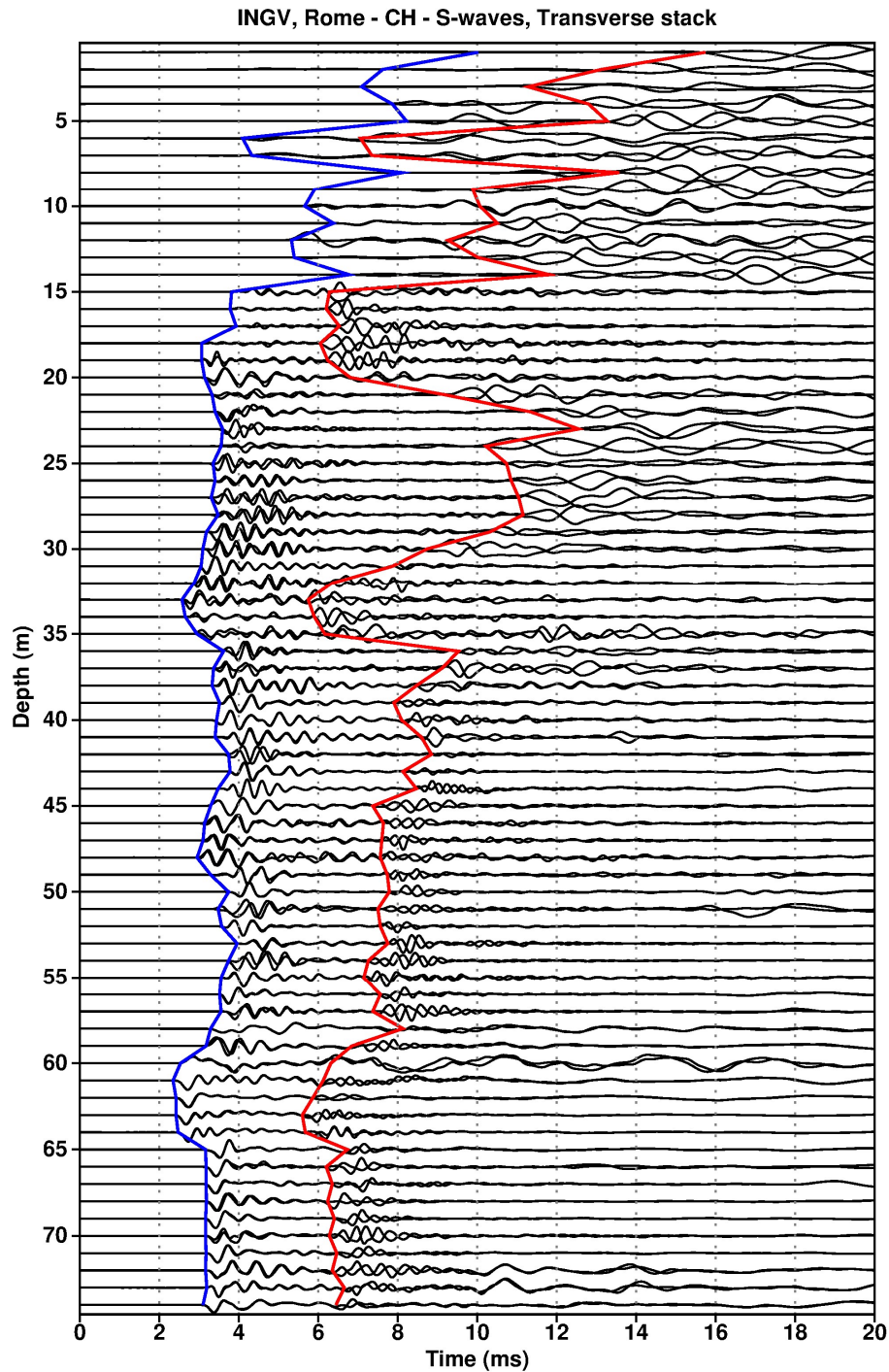


Figura A.3. Onde S, pannello della componente trasversale relativa ai due versi opposti di energizzazione. La linea rossa individua i tempi di arrivo dell'onda S, mentre la linea blu riporta i tempi di primo arrivo individuati per le onde P (vedi figura A2).



“Risultati delle prove geofisiche in foro di tipo Cross-Hole (CH)”
Sede INGV - Via di Vigna Murata 605 (RM)

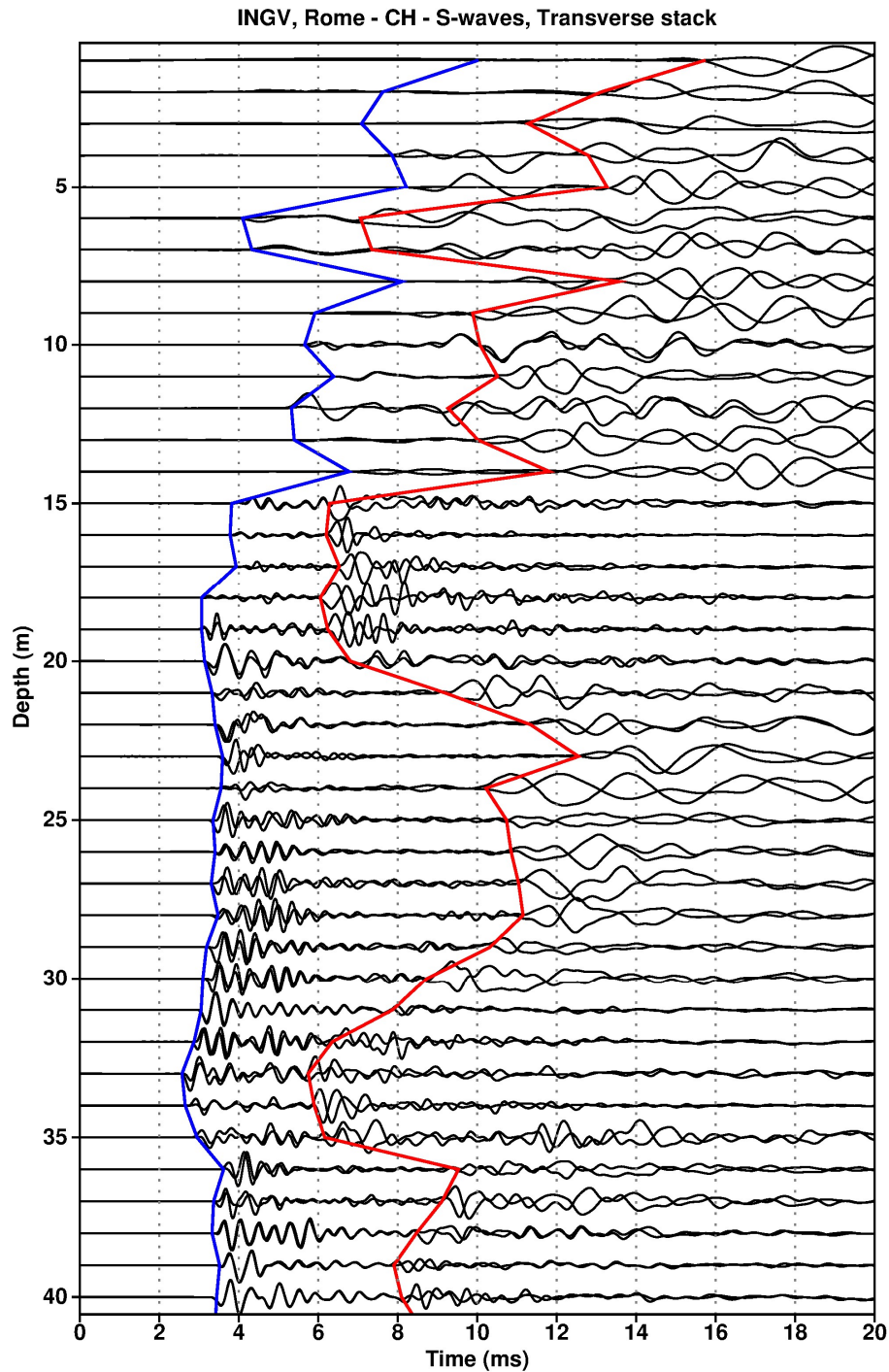


Figura A.4. Onde S, pannello della componente trasversale relativa ai due versi opposti di energizzazione (profondità 1-39m). La linea rossa individua i tempi di arrivo dell'onda S, mentre la linea blu riporta i tempi di primo arrivo individuati per le onde P (vedi figura A2).



“Risultati delle prove geofisiche in foro di tipo Cross-Hole (CH)”
Sede INGV - Via di Vigna Murata 605 (RM)

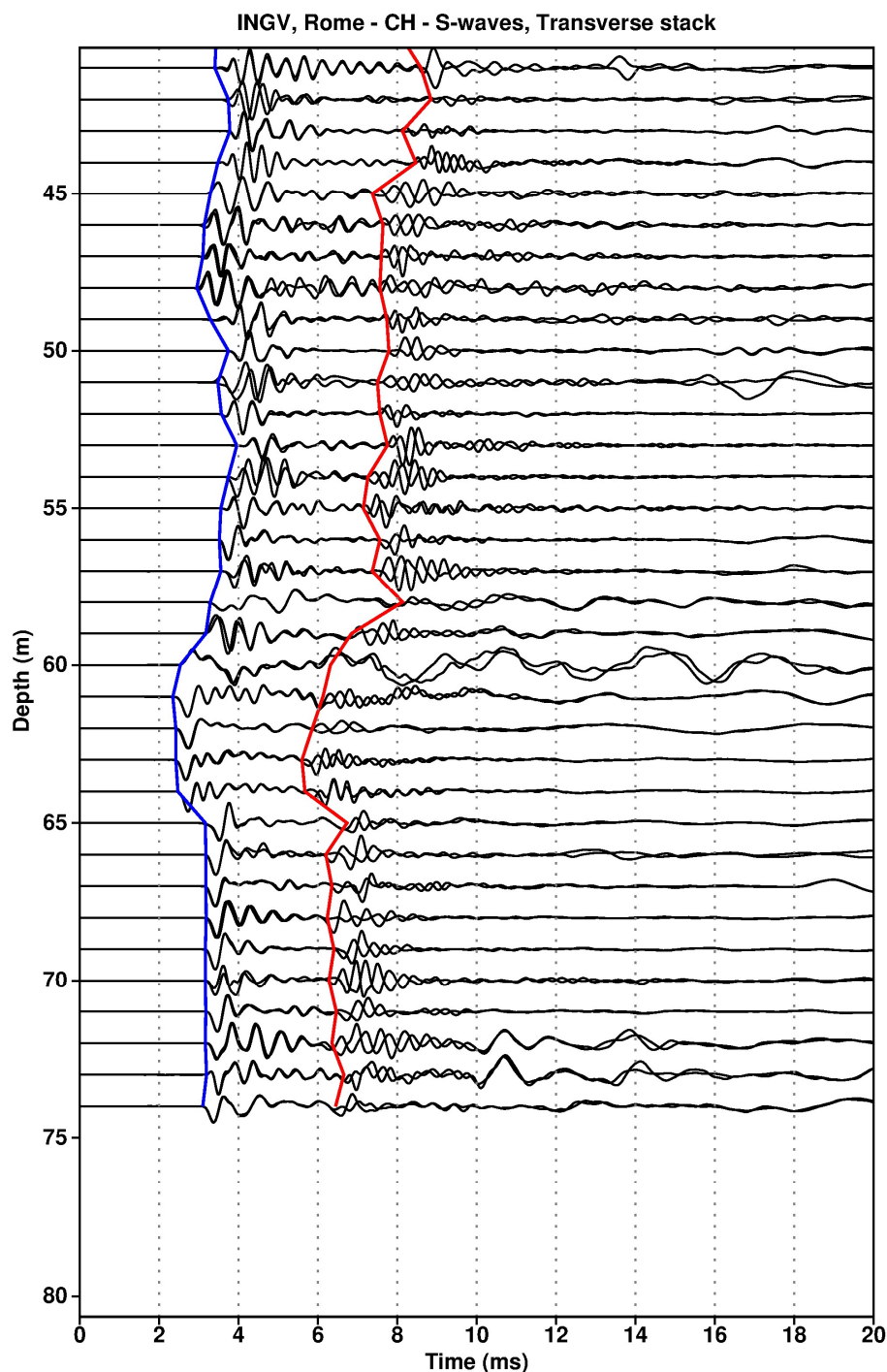


Figura A.5. Onde S, pannello della componente trasversale relativa ai due versi opposti di energizzazione (profondità 40-74m). La linea rossa individua i tempi di arrivo dell'onda S, mentre la linea blu riporta i tempi di primo arrivo individuati per le onde P (vedi figura A2).



“Risultati delle prove geofisiche in foro di tipo Cross-Hole (CH)”
Sede INGV - Via di Vigna Murata 605 (RM)

Profondità (m)	Interdistanza (m)	T_P (ms)	V_P (m/s)	T_S (ms)	V_S (m/s)	ν
1.0	6.138	10.0	614	15.7	391	0.16
2.0	6.146	7.6	809	13.1	470	0.25
3.0	6.153	7.1	870	11.3	547	0.17
4.0	6.159	7.9	786	12.8	483	0.20
5.0	6.160	8.2	751	13.3	465	0.19
6.0	6.162	4.1	1509	7.1	875	0.25
7.0	6.162	4.3	1427	7.3	841	0.23
8.0	6.160	8.1	762	13.6	455	0.22
9.0	6.159	5.9	1045	9.9	625	0.22
10.0	6.160	5.7	1092	10.1	614	0.27
11.0	6.158	6.4	967	10.5	587	0.21
12.0	6.146	5.3	1157	9.3	665	0.25
13.0	6.131	5.4	1139	10.0	614	0.30
14.0	6.113	6.8	905	11.8	518	0.26
15.0	6.091	3.8	1599	6.3	973	0.21
16.0	6.070	3.8	1610	6.2	982	0.20
17.0	6.048	3.9	1542	6.5	929	0.22
18.0	6.024	3.1	1972	6.0	998	0.33
19.0	6.000	3.1	1964	6.2	964	0.34
20.0	5.978	3.1	1910	6.8	881	0.36
21.0	5.953	3.3	1794	9.2	650	0.42
22.0	5.929	3.4	1747	11.3	524	0.45
23.0	5.903	3.6	1648	12.6	472	0.46
24.0	5.871	3.6	1657	10.2	576	0.43
25.0	5.859	3.4	1753	10.7	547	0.45
26.0	5.853	3.4	1725	10.9	541	0.45
27.0	5.846	3.3	1774	11.0	531	0.45
28.0	5.837	3.5	1683	11.2	525	0.45
29.0	5.829	3.2	1835	10.3	566	0.45
30.0	5.817	3.1	1885	8.7	668	0.43
31.0	5.801	3.1	1906	7.9	740	0.41
32.0	5.790	2.9	2021	6.4	914	0.37
33.0	5.784	2.6	2256	5.7	1010	0.37
34.0	5.778	2.7	2185	5.9	982	0.37
35.0	5.771	2.9	1962	6.2	939	0.35
36.0	5.767	3.6	1599	9.5	607	0.42
37.0	5.766	3.4	1718	9.1	635	0.42
38.0	5.769	3.3	1739	8.5	683	0.41
39.0	5.776	3.5	1648	7.9	733	0.38

Tabella A.1. Modello sismo-stratigrafico risultante dall'indagine crosshole (profondità 1-39m). Con ν è indicato il coefficiente di Poisson.



“Risultati delle prove geofisiche in foro di tipo Cross-Hole (CH)”
Sede INGV - Via di Vigna Murata 605 (RM)

Profondità (m)	Interdistanza (m)	T_P (ms)	V_P (m/s)	T_S (ms)	V_S (m/s)	ν
40.0	5.798	3.5	1648	7.9	733	0.38
41.0	5.794	3.4	1685	8.1	717	0.39
42.0	5.784	3.4	1703	8.6	674	0.41
43.0	5.773	3.7	1545	8.8	654	0.39
44.0	5.766	3.8	1527	8.1	710	0.36
45.0	5.766	3.5	1658	8.5	681	0.40
46.0	5.770	3.3	1753	7.4	782	0.38
47.0	5.775	3.1	1839	7.6	756	0.40
48.0	5.777	3.1	1863	7.6	760	0.40
49.0	5.779	2.9	1959	7.6	764	0.41
50.0	5.778	3.3	1757	7.7	747	0.39
51.0	5.766	3.7	1544	7.8	742	0.35
52.0	5.751	3.5	1658	7.5	769	0.36
53.0	5.736	3.6	1612	7.6	761	0.36
54.0	5.727	4.0	1450	7.8	740	0.32
55.0	5.718	3.7	1530	7.3	789	0.32
56.0	5.709	3.6	1609	7.1	800	0.34
57.0	5.696	3.5	1624	7.6	755	0.36
58.0	5.682	3.6	1603	7.4	773	0.35
59.0	5.678	3.3	1727	8.1	699	0.40
60.0	5.672	3.2	1788	6.8	830	0.36
61.0	5.667	2.5	2239	6.3	899	0.40
62.0	5.668	2.3	2418	6.1	925	0.41
63.0	5.671	2.4	2342	5.9	967	0.40
64.0	5.675	2.4	2344	5.6	1013	0.39
65.0	5.680	2.5	2297	5.7	1001	0.38
66.0	5.683	3.2	1796	6.7	844	0.36
67.0	5.689	3.2	1789	6.2	917	0.32
68.0	5.700	3.2	1791	6.4	896	0.33
69.0	5.715	3.2	1790	6.2	914	0.32
70.0	5.729	3.2	1806	6.4	893	0.34
71.0	5.739	3.2	1811	6.3	913	0.33
72.0	5.751	3.2	1808	6.5	888	0.34
73.0	5.763	3.2	1818	6.4	905	0.34
74.0	5.772	3.2	1805	6.7	866	0.35

Tabella A.2. Modello sismo-stratigrafico risultante dall'indagine crosshole(40-74m) . Con ν è indicato il coefficiente di Poisson.



“Risultati delle prove geofisiche in foro di tipo Cross-Hole (CH)”
Sede INGV - Via di Vigna Murata 605 (RM)

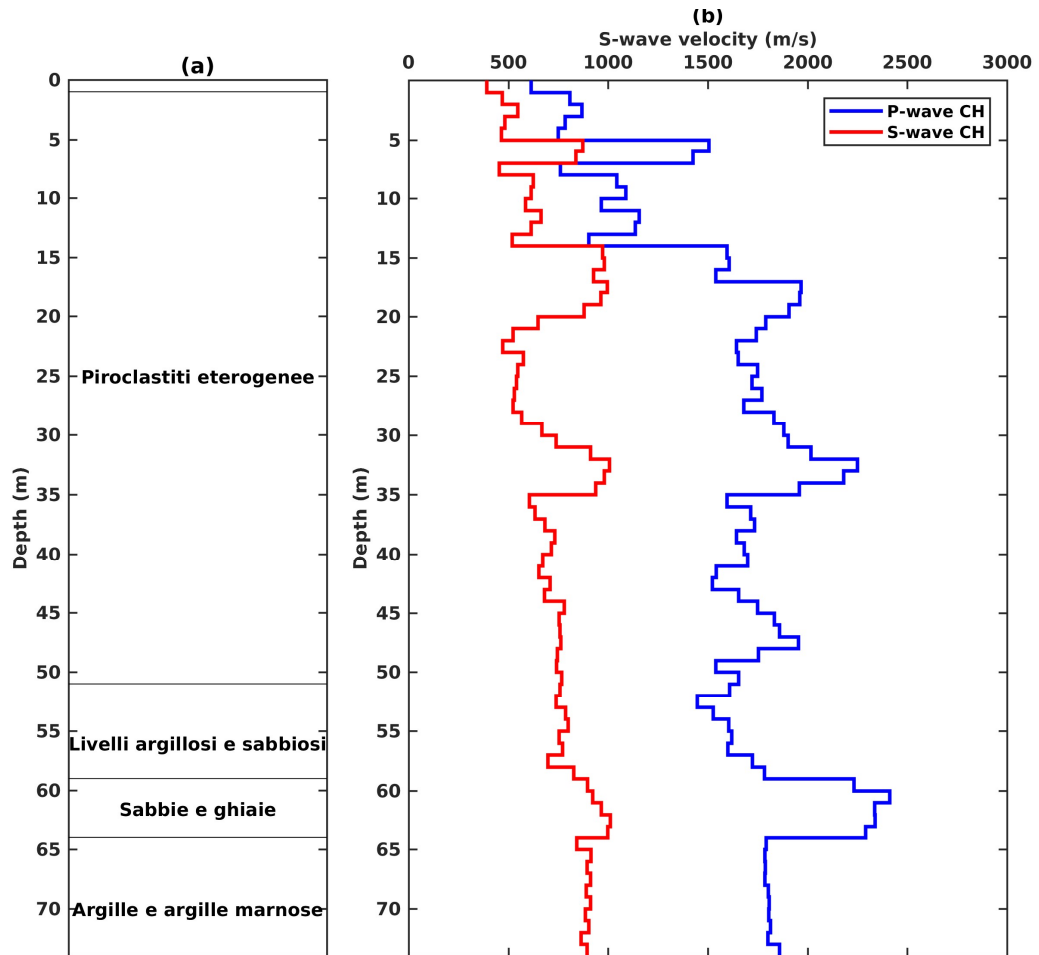


Figura A.6. (a) Colonna stratigrafica semplificata. (b) Andamento delle velocità con la profondità, come da Tabelle A.1 e A.2.