

REGIONE



TOSCANA

**STUDI ED INDAGINI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1
NEI COMUNI DI PALAIA - CAPANNOLI - PONTEDERA**



RAPPORTO SULLE INDAGINI

**D1 - SISMICA A RIFRAZIONE
RELAZIONE MONOGRAFIE E REPORTS**

RTP incaricata:

Dott. Geol. Fabio Mezzetti

Dott. Geol. Andrea Casella

Dott. Geol. Alessandro Fontanelli

Dott. Geol. Benedetta Polverosi

Dott. Geol. Giorgio Della Croce

Studio associato Geol. Applicata di Benedetti e Carmignani

Arch. Maria Rosaria De Vita

Settembre 2018

UNIONE VALDERA - Indagini sismiche a rifrazione in onde S .

1) PREMESSE

La presente relazione illustra i risultati di una prospezione articolata su 4 linee a rifrazione in onde S, nelle aree indicate nelle allegate cartografie, e precisamente:

- profilo 1 : loc. Forcoli (Palaia) - Via Nilde Iotti
- profilo 2 : loc. "I Fabbri" (Pontedera) - Via delle Colline per Legoli
- profilo 3 : Capannoli - Via San Francesco
- profilo 4 : Pontedera – Via di Montevisi .

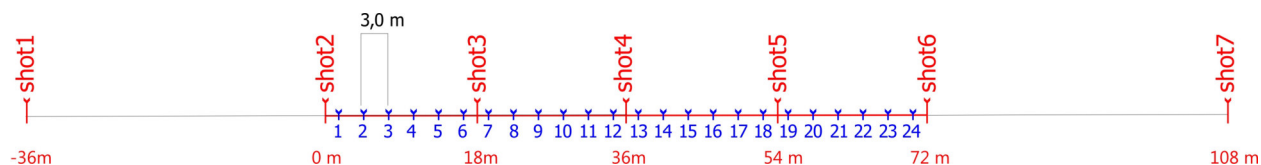
Per l'indagine in oggetto è stata impiegata un'attrezzatura *AMBROGEO "ECHO 12-24/2002 Sismic Unit"*, 16 bit, 24 canali.

Il software di acquisizione dati è "ECHO"; l'attrezzatura è completata da 2 cavi sismici a 12 *takes out* con connettori cannon, montati su rullo, geofoni orizzontali da 4,5 Hz, mazza di battuta da 8 Kg con interruttore starter, trave di battuta per energizzazione in onde S, cavo trigger montato su rullo.

I tempi di acquisizione sono stati da 400 a 1000 ms, il "sampling" di 0,131 ms.

2) INDAGINE GEOSISMICA A RIFRAZIONE

Tutte le linee a rifrazione si sono articolate su 7 "shots" e 24 geofoni, secondo il seguente schema :



- n. geofoni: 24 - spaziatura fra i geofoni: 3,0 m - n. shots: 7, di cui:

shot 1 (off 1):	(coord. = -36,0 m)
shot 2 (end 1):	(coord. = 0,0 m)
shot 3 (central 6-7)	(coord. = 18,0 m)
shot 4 (central 12-13)	(coord. = 36,0 m)
shot 5 (central 18-19)	(coord. = 54,0 m).
shot 6 (end 24)	(coord. = 72,0 m).
shot 7 (off 24)	(coord. = 108,0 m).

In ogni caso si tratta di aree assimilabili a pianeggianti, per cui i dislivelli di quota fra gli shots e fra gli elettrodi sono trascurabili.

GENERALITÀ SULLE PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE

Le indagini sismiche a rifrazione si basano sulla misurazione del tempo necessario perché la perturbazione elastica causata nel terreno da una sorgente di energia pervenga a una serie di

strumentazioni di ricezione (geofoni) dopo aver percorso uno strato superficiale di terreno (onde dirette) e superfici di separazione fra strati a velocità crescente verso il basso (mediante onde rifratte).

Le apparecchiature di misurazione, di solito in numero di 12 o 24, sono spaziate regolarmente lungo un allineamento; viene registrato il tempo di arrivo delle onde ad ogni geofono, a costituire un diagramma, detto *sismogramma*. Il sismogramma registra:

- le onde dirette : che rappresentano la perturbazione che attraversando il solo primo strato va al geofono dalla sorgente di energia;
- le onde riflesse : che vengono riflesse dalle superfici di discontinuità;
- le onde rifratte : date dal raggio che subisce la rifrazione totale e percorre la superficie di discontinuità a velocità pari a quella dello strato più veloce; l'angolo critico di incidenza dipende dal rapporto delle velocità di propagazione delle onde sismiche nei due materiali, secondo la legge di *Snell*:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{V_1}{V_2}$$

Si ha l'angolo critico quando $\sin \alpha = V_1/V_2$, cioè $\beta = 90^\circ$.

Le spezzate diagrammate in un sistema di riferimento tempi/distanze relativamente ai tempi di primo arrivo sono le *dromocrone* (*travel-time curves*). In ogni dromocrona si hanno punti che possono essere relativi alle onde dirette e alle onde rifratte.

I primi tempi di arrivo sono quelli relativi ai raggi diretti attraverso il primo strato, e la pendenza della linea che passa per tali punti è il reciproco della velocità di questo strato.

A partire da una certa distanza dal punto di energizzazione (detta distanza critica) il tempo impiegato per arrivare al geofono dai raggi che percorrono il tetto dello strato sottostante (più veloce) risulta inferiore a quello degli arrivi diretti. I punti relativi a questi arrivi si allineeranno secondo una retta avente la pendenza di $1/V_2$, e così via per gli strati inferiori.

Il tempo che corrisponde all'intersezione di ciascun segmento di retta con l'asse dei tempi è detto *intercept time*. Questi valori, come quelli della distanza critica, dipendono direttamente dalla velocità dei materiali e dallo spessore degli strati, e possono quindi essere utilizzati per determinare le profondità dei tetti degli strati stessi.

In sostanza, una volta determinate le varie velocità, vi sono infatti due metodi per determinare le profondità dei vari strati sotto i punti di energizzazione: il metodo dell'intercetta e quello della distanza critica. Una volta note queste entità è poi possibile calcolare la profondità dei vari strati in corrispondenza di ogni geofono, con il metodo **ABC** (*delay times*) o con il **GRM** (*generalized Reciprocal Method*).

POSSIBILITÀ E LIMITI DEL METODO SISMICO A RIFRAZIONE

Come è noto, le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo. Nella prospezione sismica a rifrazione si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione"), che sono le più veloci fra le diverse onde elastiche, o trasversali (onde S o "di taglio") per determinare spessori e andamenti dei livelli presenti.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti; per lo stesso litotipo di roccia essa diminuisce col grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione. Aumenta di

solito, per contro, con la profondità e l'età geologica; sensibili differenze si possono avere, in rocce stratificate, tra le velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. La velocità delle onde compressionali, diversamente da quelle trasversali, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione.

Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali (ad esempio roccia fortemente fratturata e materiale detritico saturo con velocità V_p dell'ordine di 1400-1700 m/sec), per cui non necessariamente l'interpretazione sismo-stratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico-stratigrafica.

Il metodo sismico a rifrazione è soggetto inoltre alle seguenti limitazioni:

- un livello potrà essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde in esso risulterà superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);
- un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;
- un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato dagli "arrivi" dello strato sottostante (effetto dello strato nascosto e "zona oscura");
- aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione ma può ovviamente ridursi la precisione della determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati. In presenza di successioni di livelli con velocità (crescenti) di poco differenti tra loro, orizzonti a velocità intermedia con potenza fino anche a 1/3 del passo adottato possono non essere evidenziati. Il limite tra due orizzonti può quindi in realtà passare "attraverso" un terzo intermedio non evidenziabile;
- analogamente, incrementi gradualmente di velocità con la profondità danno origine a dromocrone che consentono più schemi interpretativi. Il possibile errore può essere contenuto potendo disporre di sondaggi di taratura e "cercando" sulle dromocrone delle basi sismiche i livelli che abbiano velocità il più possibile simili a quelle ottenute con le tarature.

Per contro i moderni metodi di elaborazione del dato sismico consentono di ricostruire la morfologia sepolta di più rifrattori sovrapposti, variamente accidentati e con velocità variabili lungo il profilo, anche in presenza di morfologie di superficie non piane: la buona precisione raggiungibile, specie se si dispone di sondaggi di taratura, consente talora di elevare la prospezione sismica da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

INTERPRETAZIONE DEI DATI

Sono allegati alla presente relazione:

- i sismogrammi in onde S relativi ai diversi shots ;
- le dromocrone relative ai primi arrivi ai 7 shots ;
- il profilo ricostruito con il metodo ABC (*delay method*).

Con il metodo dell'intercetta (IT) si sono ottenute le seguenti sismostratigrafie al di sotto degli shots 2,3,4,5,6 :

profilo 1 - Forcoli - sismostratigrafia onde S da metodo IT							
SHOT 2		SHOT 3		SHOT 4		SHOT 5	SHOT 6
258		255		264		266	278
	2,33 m		2,24 m		1,70 m		1,48 m
352		369		350		322	350
	7,64 m		8,18 m		9,10 m		5,91 m
406		406		406		406	406

profilo 2 - I Fabbri - sismostratigrafia onde S da metodo IT							
SHOT 2		SHOT 3		SHOT 4		SHOT 5	SHOT 6
200		211		225		217	203
	1,96 m		2,21 m		4,26 m		2,84 m
253		240		283		250	285
	7,77 m		5,82 m				9,20 m
484		484				484	484

profilo 3 - Capannoli - sismostratigrafia onde S da metodo IT							
SHOT 2		SHOT 3		SHOT 4		SHOT 5	SHOT 6
140		155		152		166	160
	3,82 m		3,14 m		4,77 m		3,85 m
213		212		200		186	216
	12,20 m		11,42 m				13,6 m
316		316		406		316	316

profilo 4 - Pontedera - sismostratigrafia onde S da metodo IT							
SHOT 2		SHOT 3		SHOT 4		SHOT 5	SHOT 6
54		89		82		44	61
	0,45 m		0,14 m		0,71 m		0,48 m
122		125		149		148	156
	4,55 m		3,93 m		5,12 m		5,39 m
186		180		179		183	180
	8,59 m						9,83 m
198							198

La ricostruzione dell'andamento del passaggio al substrato più veloce, con gli spessori dei vari sismo-strati sotto ogni geofono con il *delay method* (ABC), fornisce un risultato più articolato (vedere i profili allegati).

ALLEGATI :

- profilo n. 1 - ubicazione su fotosat
- profilo n. 2 - ubicazione su fotosat
- profilo n. 3 - ubicazione su fotosat
- profilo n. 4 - ubicazione su fotosat

- profilo n. 1 - documentazione fotografica
- profilo n. 2 - documentazione fotografica
- profilo n. 3 - documentazione fotografica
- profilo n. 4 - documentazione fotografica

- profilo n. 1 - sismogramma e dromocrone primi arrivi onde S
- profilo n. 2 - sismogramma e dromocrone primi arrivi onde S
- profilo n. 3 - sismogramma e dromocrone primi arrivi onde S
- profilo n. 4 - sismogramma e dromocrone primi arrivi onde S

- profilo n. 1 – profilo sismostratigrafico in onde S
- profilo n. 2 – profilo sismostratigrafico in onde S
- profilo n. 3 – profilo sismostratigrafico in onde S
- profilo n. 4 – profilo sismostratigrafico in onde S

Settembre 2018



sismica a rifrazione n. 01 loc. Forcoli - ubicazione scala 1:2.000



sismica a rifrazione n. 02 loc. I Fabbri - ubicazione scala 1:2.000



sismica a rifrazione n. 03 loc. Capannoli - ubicazione scala 1:2.000



sismica a rifrazione n. 04 loc. Pontedera - ubicazione scala 1:2.000



linea geosismica a rifrazione in onde S loc. Forcoli - documentazione fotografica



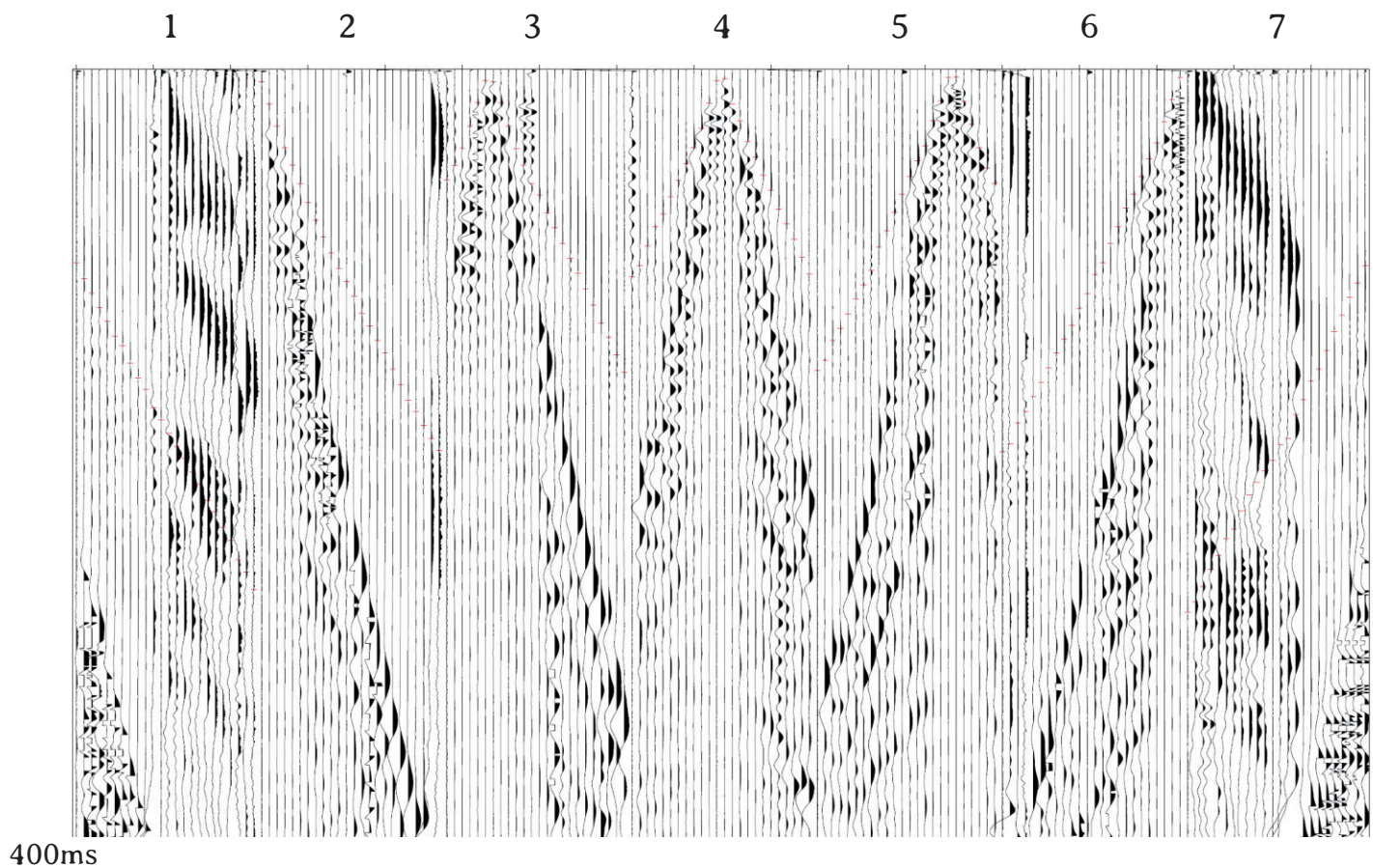
linea geosismica a rifrazione in onde S loc. I Fabbri - documentazione fotografica



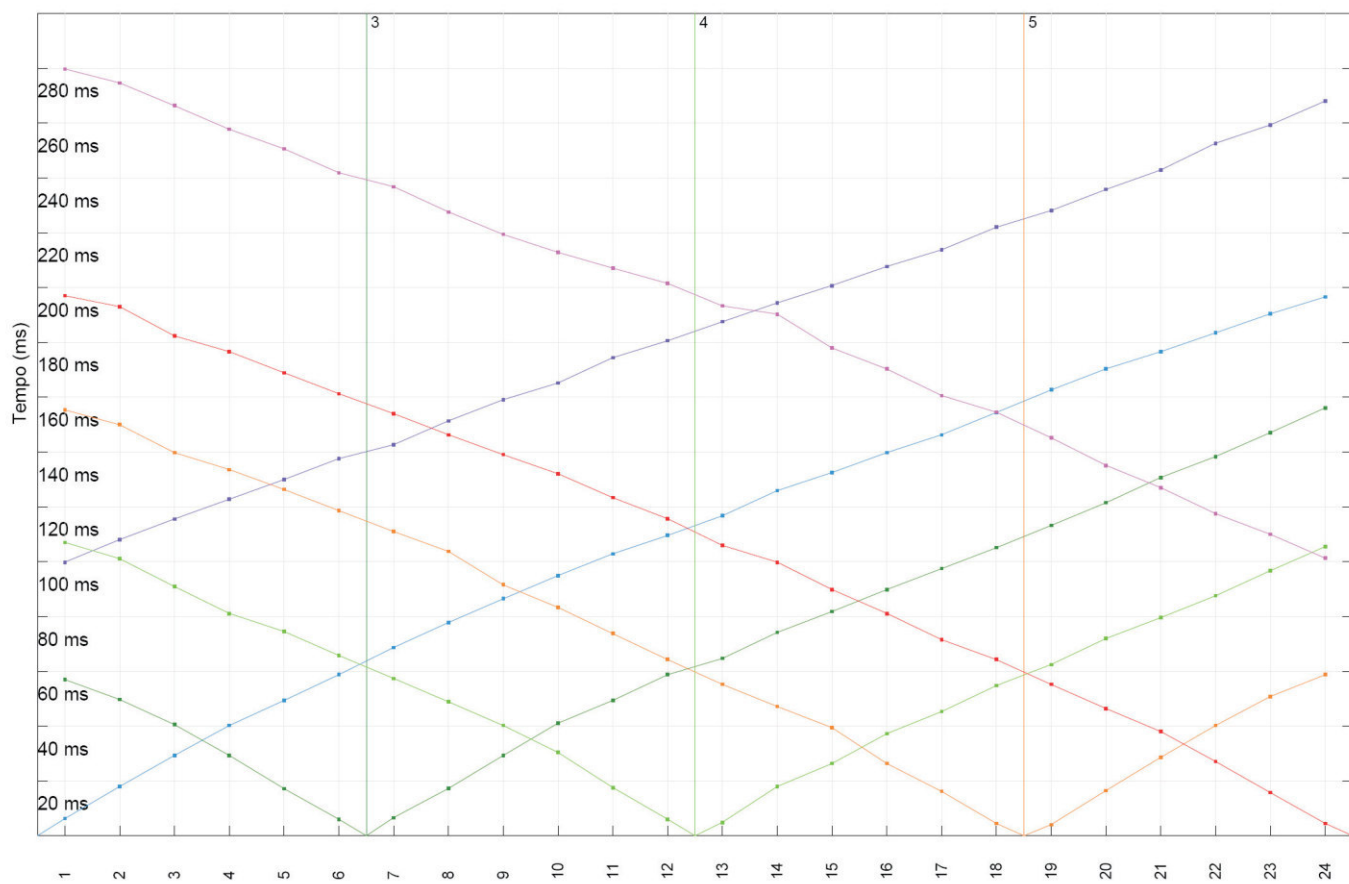
linea geosismica a rifrazione in onde S loc. Capannoli - documentazione fotografica



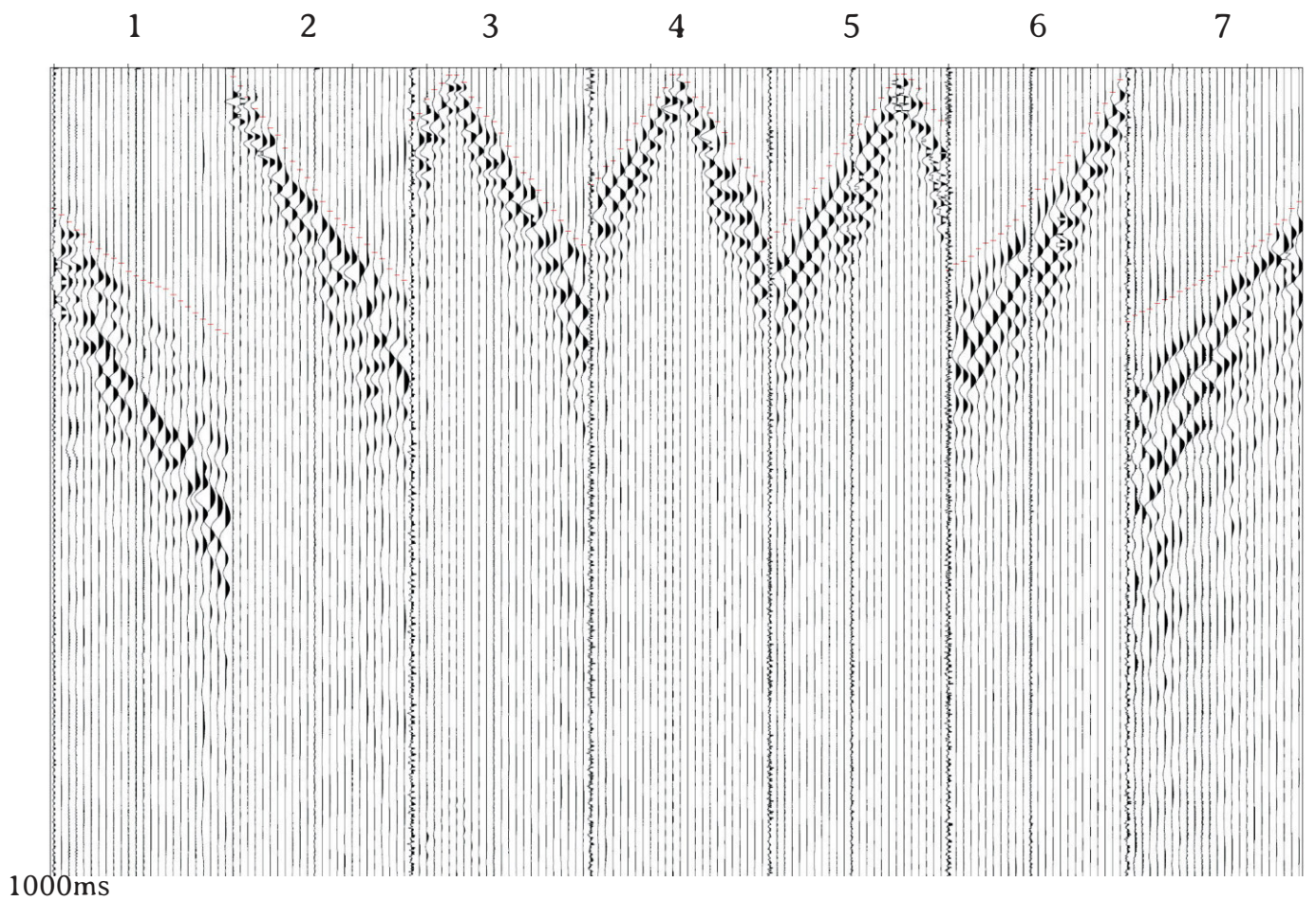
linea geosismica a rifrazione in onde S loc. Pontedera - documentazione fotografica



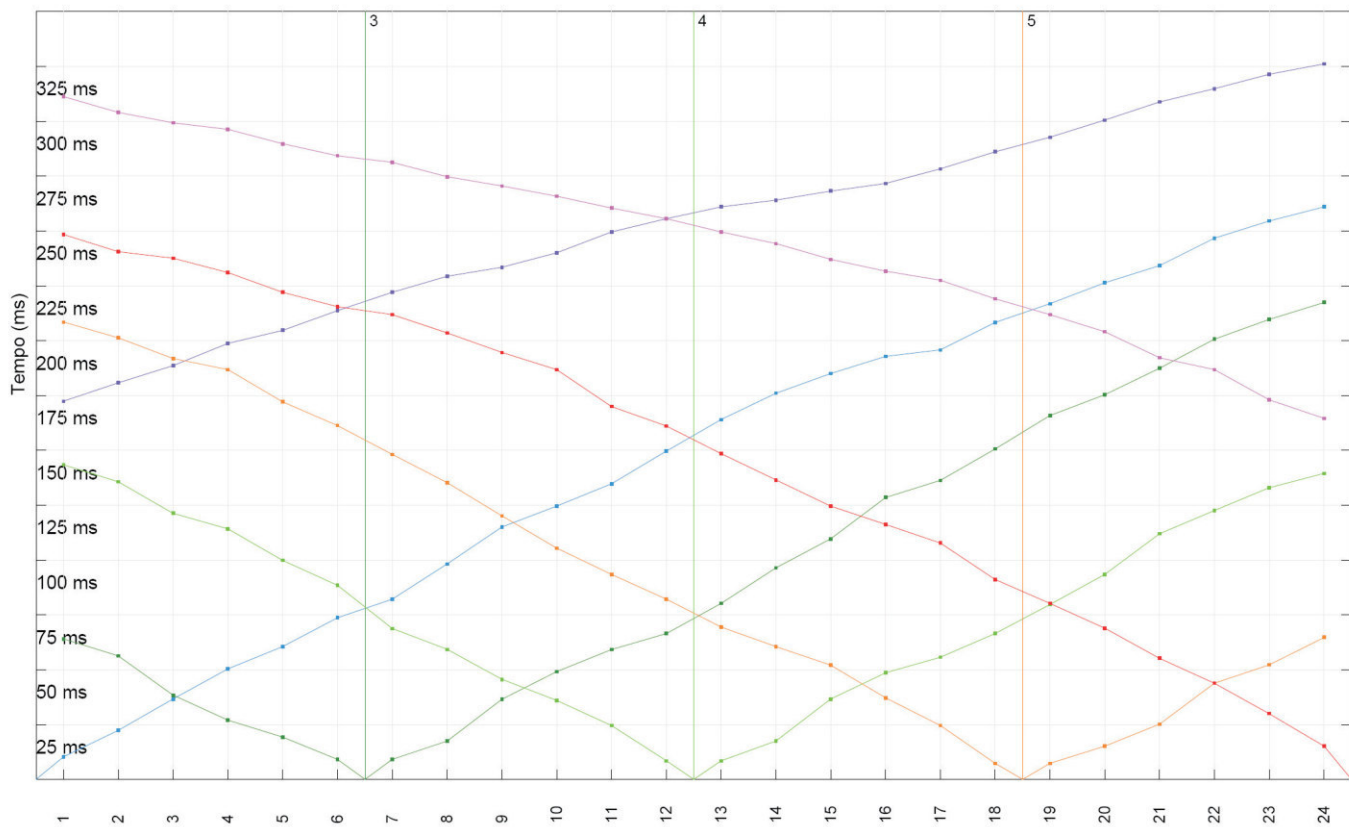
profilo n. 1 - loc. Forcoli - sismogrammi



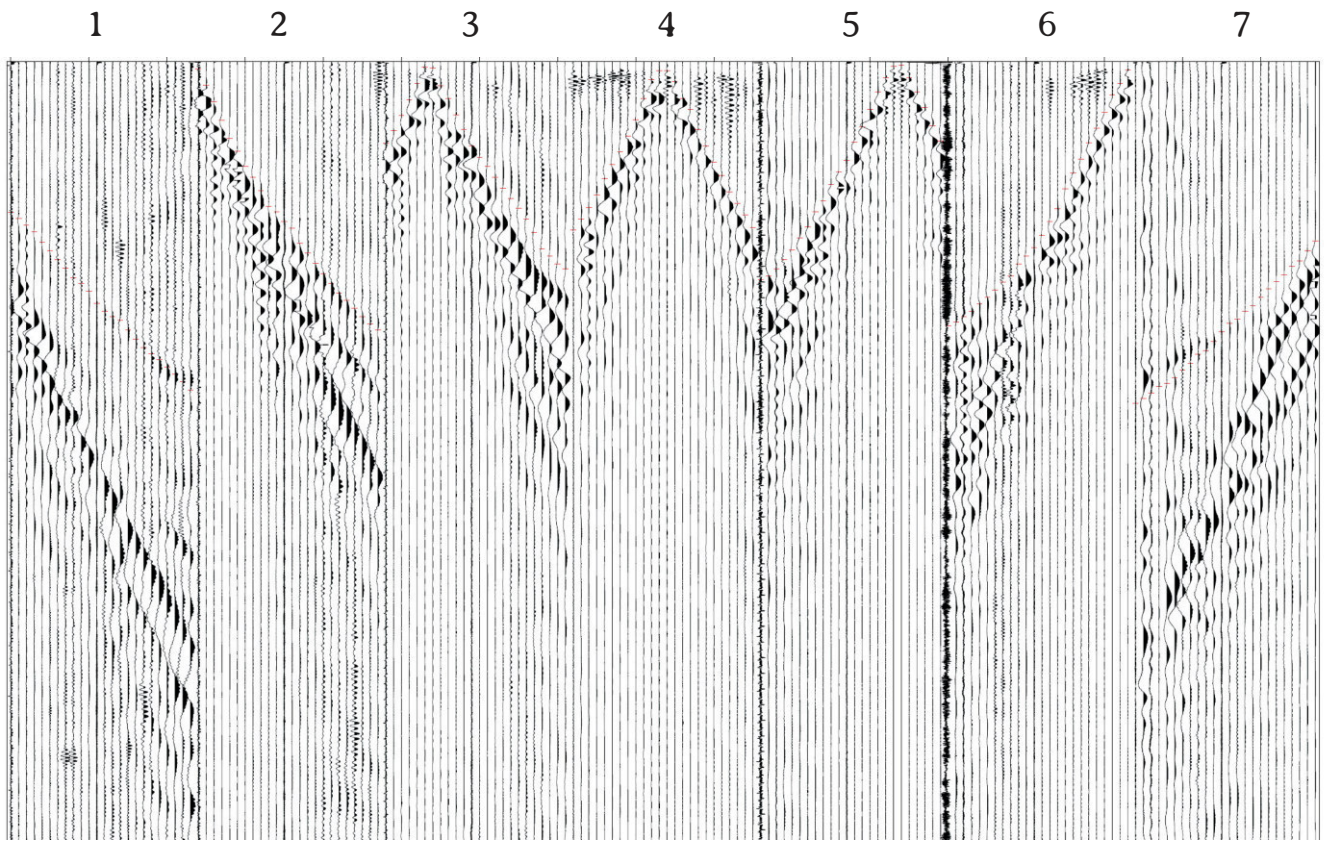
profilo n. 1 - loc. Forcoli - dromocrone primi arrivi onde S



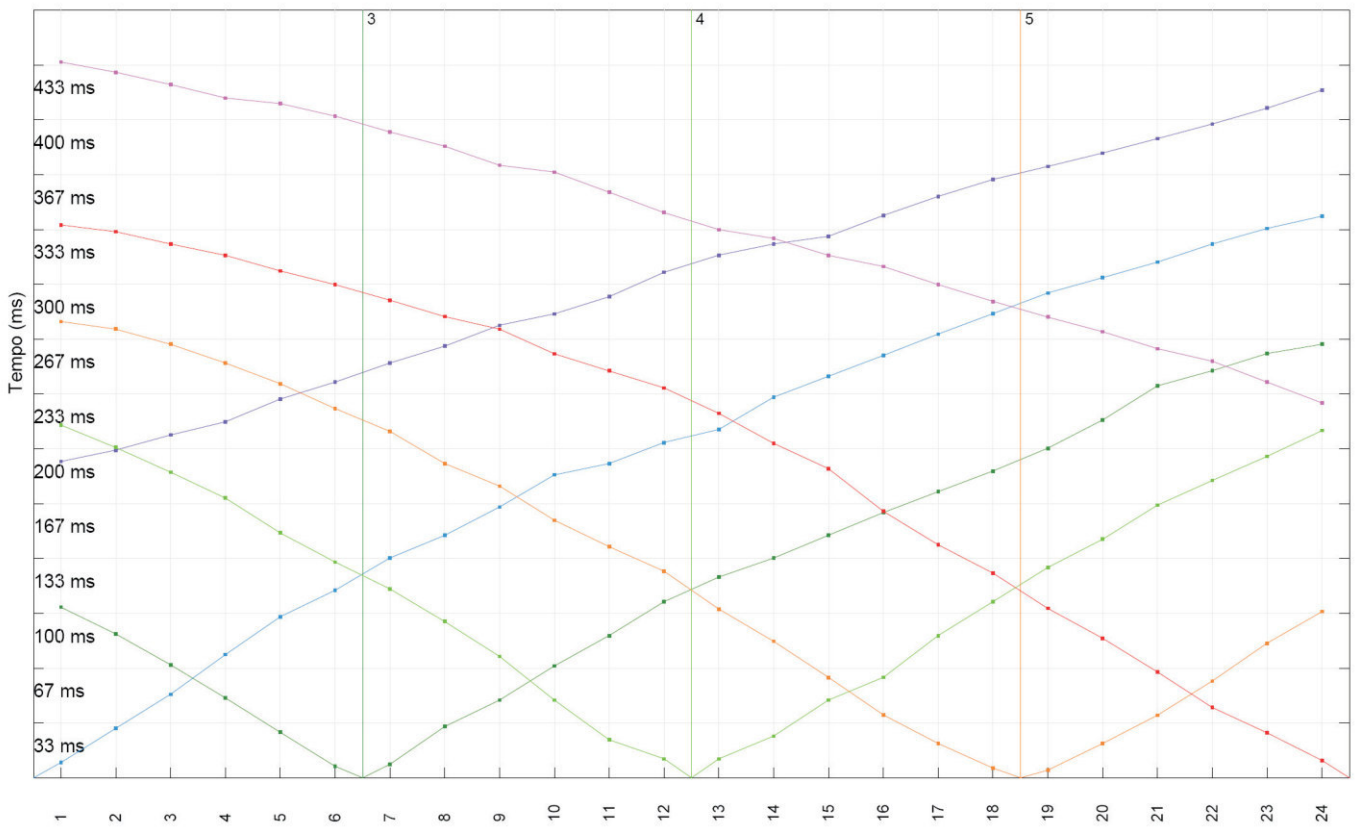
profilo n. 2 - loc. I Fabbri - sismogrammi



profilo n. 2 - loc. I Fabbri - dromocrone primi arrivi onde S

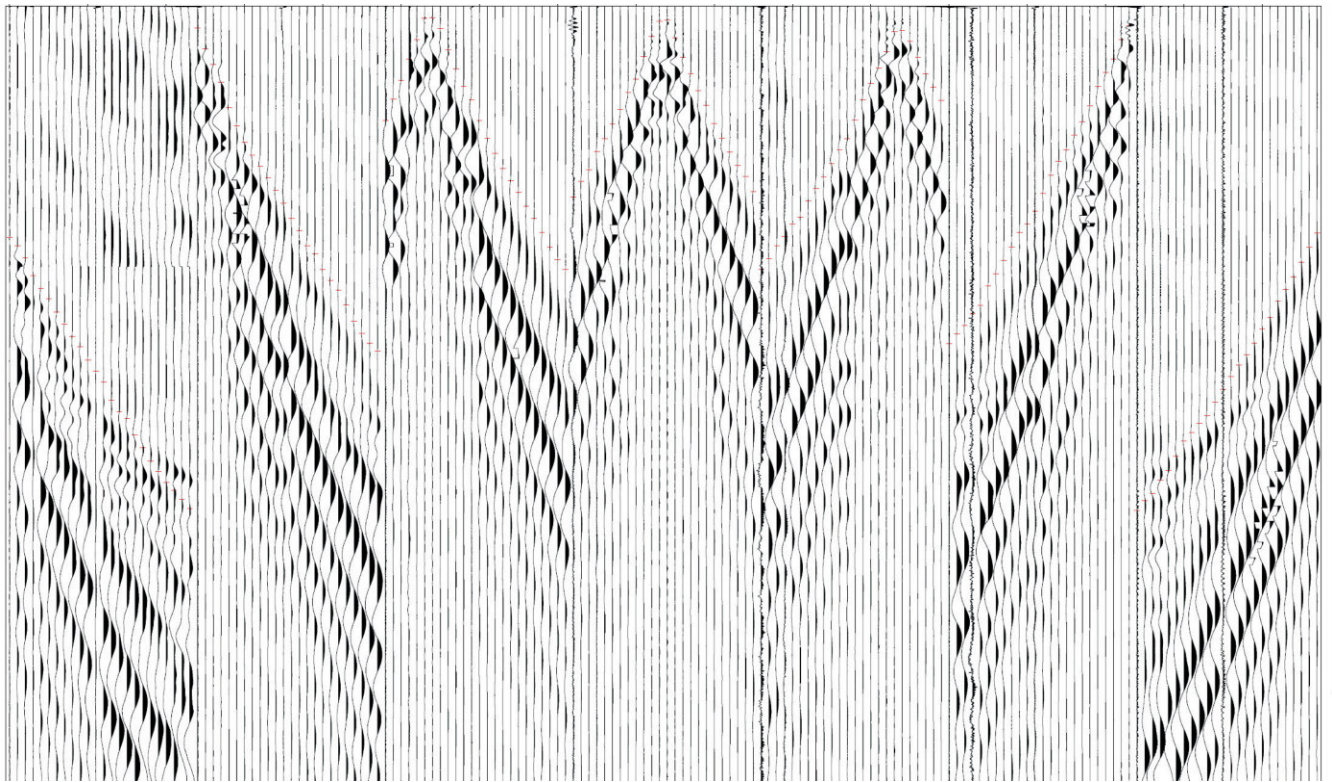


profilo n. 3 - loc. Capannoli - sismogrammi



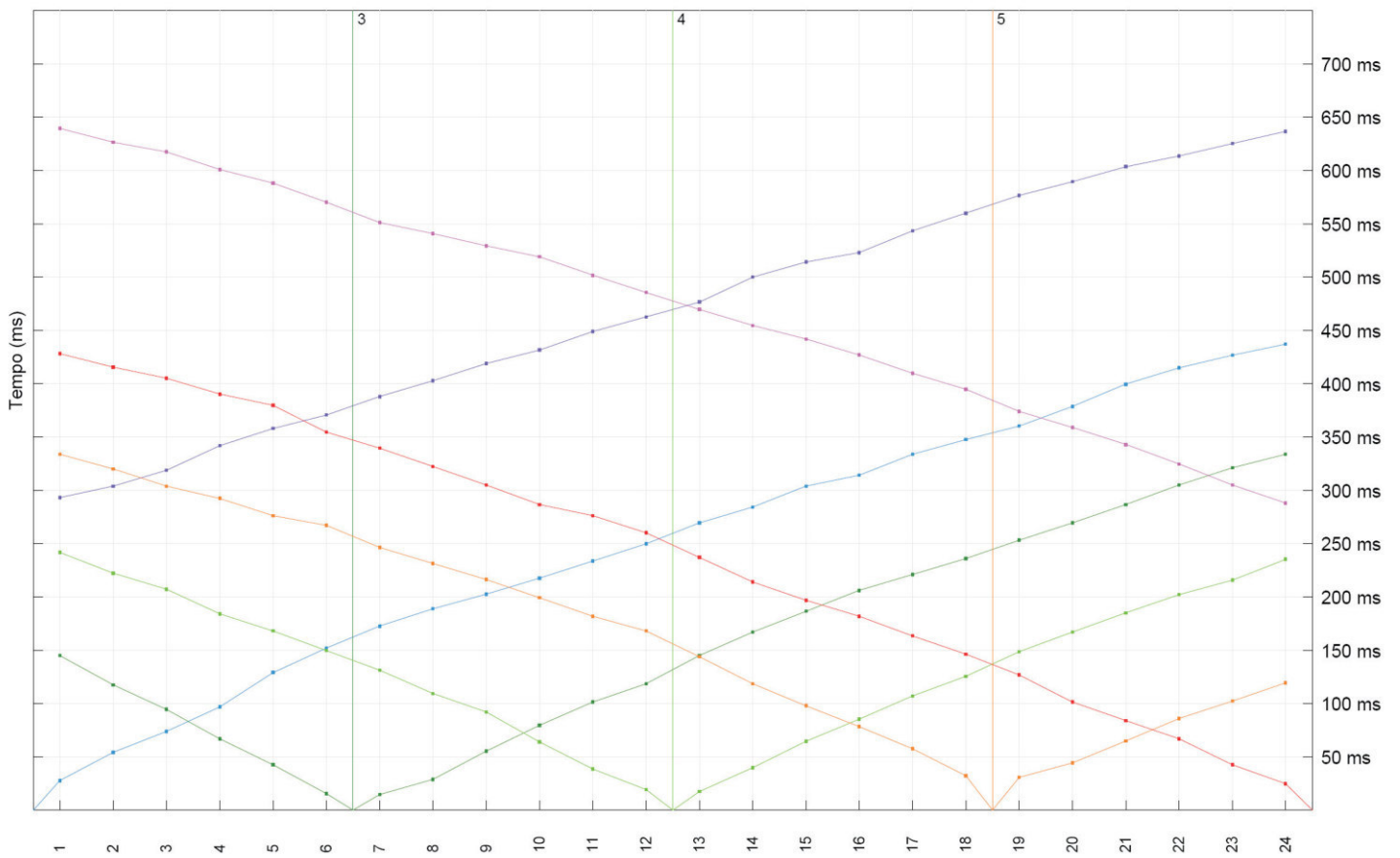
profilo n. 3 - loc. Capannoli - dromocrone primi arrivi onde S

1 2 3 4 5 6 7

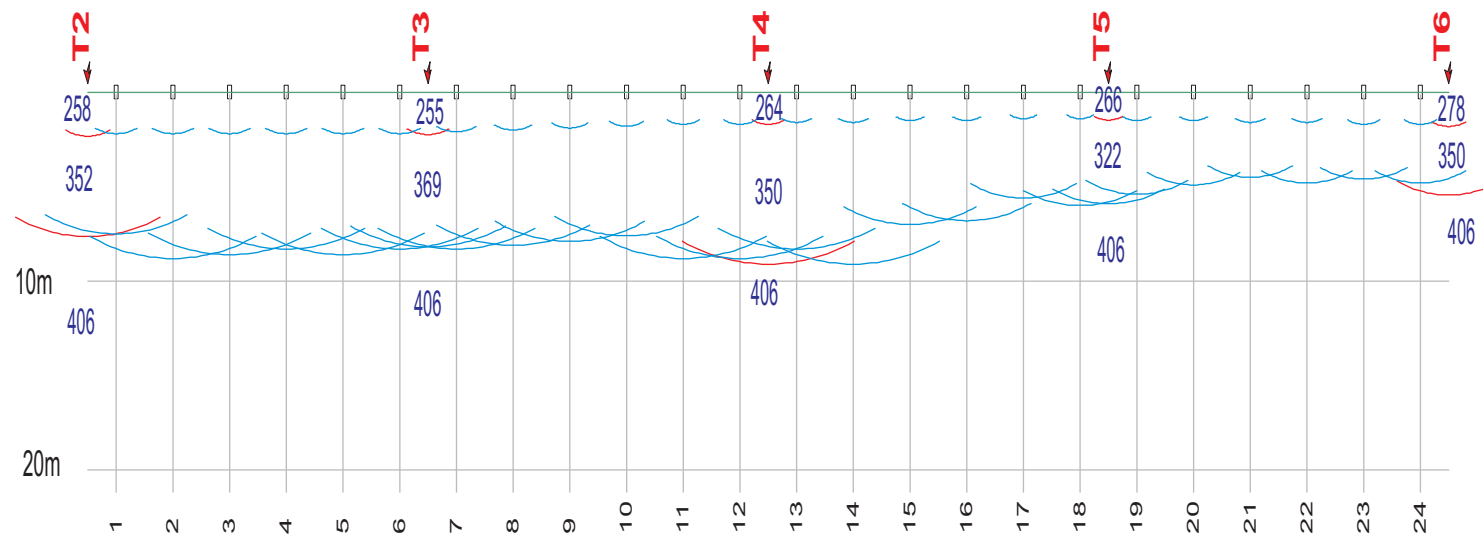


1000ms

profilo n. 4 - loc. Pontedera - sismogrammi



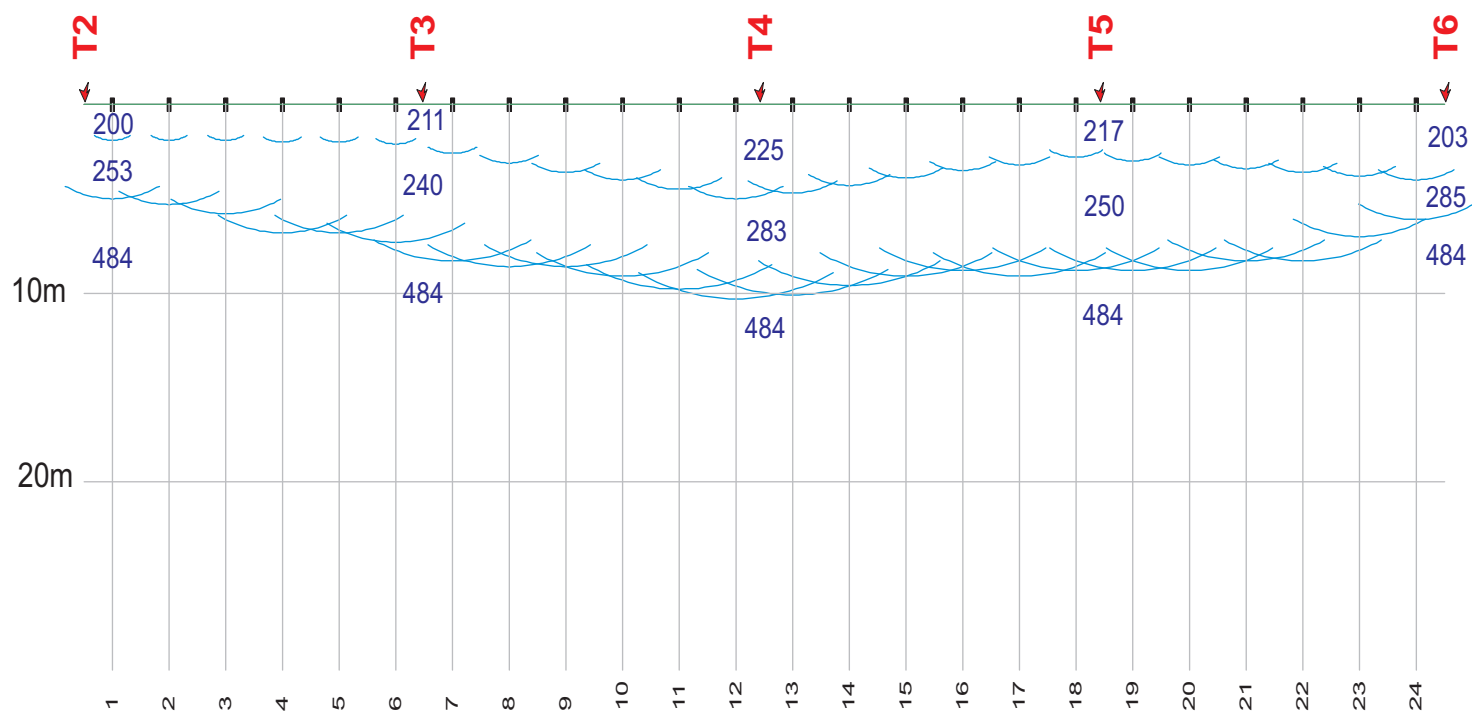
profilo n. 4 - loc. Pontedera - dromocrone primi arrivi onde S



Forcoli - ABC depth computation

geofono	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
distanze	1.5	4.5	7.5	10.5	13.5	16.5	19.5	22.5	25.5	28.5	31.5	34.5	37.5	40.5	43.5	46.5	49.5	52.5	55.5	58.5	61.5	64.5	67.5	70.5	
spess. Strato 1	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2	1.9	1.8	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8
prof. Bedrock	7.5	8.8	8.7	8.4	8.7	8.3	8.4	8.1	7.9	7.7	8.9	8.9	8.3	9.2	7.1	6.8	5.7	6.1	5.4	4.9	4.6	4.8	4.7	4.8	

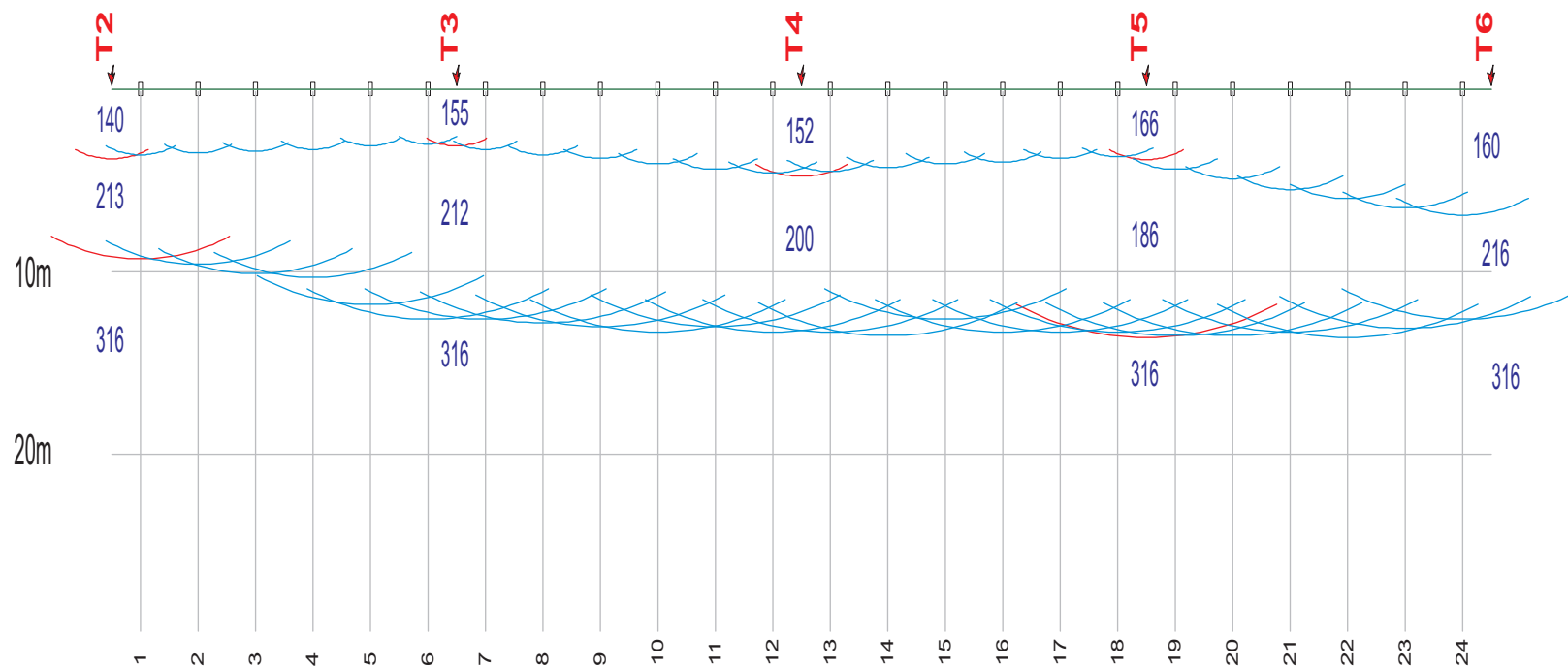
profilo n. 1 loc. Forcoli - profilo sismostratigrafico



profilo loc. I Fabbri - ABC depth computation

geofono	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
distanze	1.5	4.5	7.5	10.5	13.5	16.5	19.5	22.5	25.5	28.5	31.5	34.5	37.5	40.5	43.5	46.5	49.5	52.5	55.5	58.5	61.5	64.5	67.5	70.5
prof. Bedrock	5.1	5.3	5.8	6.8	6.8	7.3	8.3	8.6	8.7	9.2	9.9	10.3	10.1	9.7	9.2	8.8	9.1	8.9	8.8	8.9	8.3	8.3	7	6.2

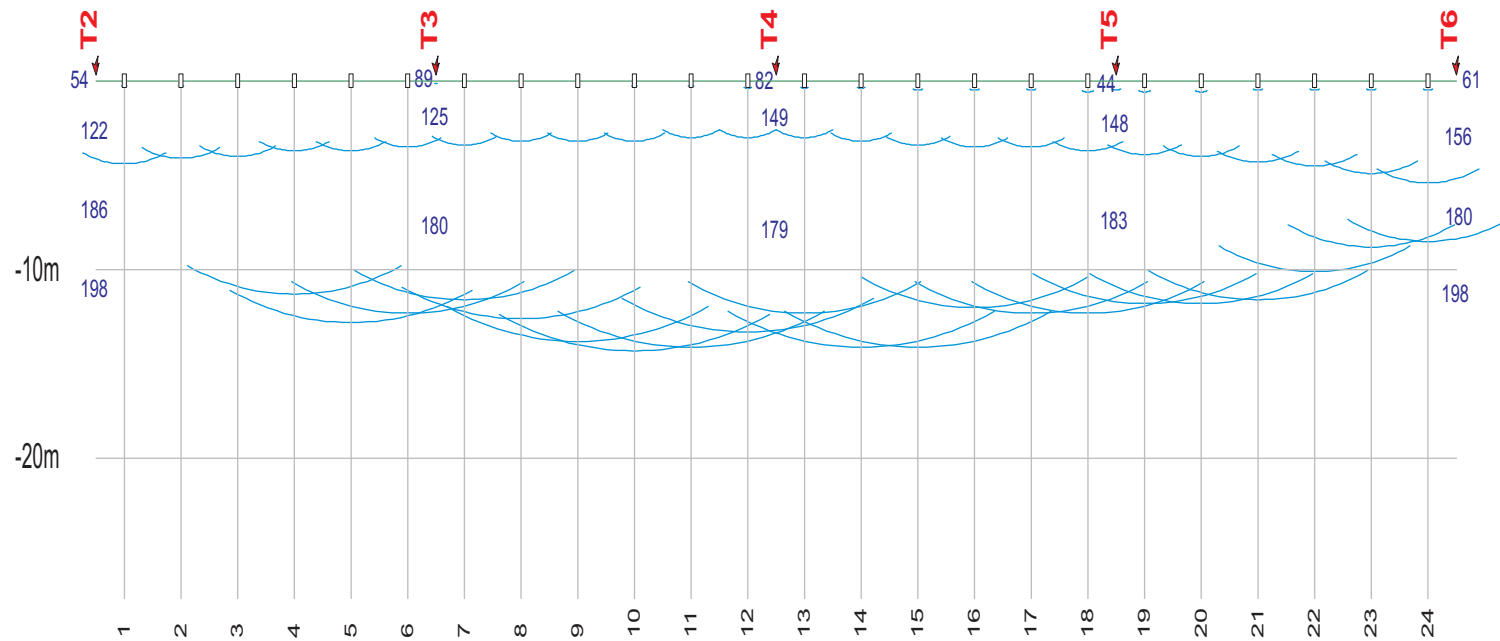
profilo n. 2 loc. I Fabbri - profilo sismostratigrafico



profilo Capannoli - ABC depth computation

geofono	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
distanze	1.5	4.5	7.5	10.5	13.5	16.5	19.5	22.5	25.5	28.5	31.5	34.5	37.5	40.5	43.5	46.5	49.5	52.5	55.5	58.5	61.5	64.5	67.5	70.5
spess. Strato 1	3.7	3.5	3.4	3.3	3.2	3.0	3.4	3.6	3.9	4.2	4.4	4.7	4.5	4.4	4.2	4.0	3.9	3.8	4.4	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
prof. Bedrock	9.3	9.6	10.1	10.3	11.9	12.6	12.7	12.9	13.0	13.3	13.0	13.3	13.3	13.5	12.7	13.4	13.4	13.4	13.5	13.5	13.4	13.6	13.1	12.6

profilo n. 3 loc. Capannoli - profilo sismostratigrafico



profilo Pontedera - ABC depth computation

geofono	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
distanze	1.5	4.5	7.5	10.5	13.5	16.5	19.5	22.5	25.5	28.5	31.5	34.5	37.5	40.5	43.5	46.5	49.5	52.5	55.5	58.5	61.5	64.5	67.5	70.5
spess. Strato 1	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
spess. Strato 2	4.4	4.2	4.0	3.8	3.7	3.5	3.4	3.3	3.3	3.2	3.1	3.0	3.1	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.9	5.4
prof. Bedrock	6.0	6.4	8.6	11.3	12.8	12.3	11.6	12.6	13.8	14.3	14.1	13.3	12.3	14.1	14.1	12.0	12.3	12.3	11.8	11.8	11.6	10.1	8.8	8.5

profilo n. 4 loc. Pontedera - profilo sismostratigrafico