

# - COMUNE DI MASSA -

Indagine geofisica consistente in una prova sismica in foro tipo down-hole con onde P e SH, eseguita in Piazza Aranci nel centro cittadino di Massa

Committente: **Amministrazione Comunale di Massa**

<sup>4</sup>  
**DITTA INCARICATA:**

*Geognostica Apuana Snc  
Via Tinelli n. 25/A  
54100 Massa  
e-mail: geognostica.apuana@gmail.com*

---



*Relazione sulla prova down-hole*

## **INDICE**

<b>PREMESSA</b>	pag. 2
<b>PROSPEZIONE SISMICA IN FORO TIPO DOWN-HOLE</b>	pag. 3
1.1 Generalità	pag. 3
1.2 Sorgenti e strumentazione	pag. 3
1.3 Schema di acquisizione di campagna	pag. 4
1.4 Modalità di esecuzione della prova	pag. 4
1.5 Descrizione delle fasi di acquisizione	pag. 5
1.6 Programma di interpretazione ed elaborazione dei risultati	pag. 6
1.7 Risultati dell'indagine	pag. 7

## PREMESSA

Su incarico dell'**Amministrazione Comunale di Massa**, è stata eseguita, in Piazza Aranci, nel centro cittadino di Massa, una prospezione sismica in foro tipo down-hole.

L'indagine è stata eseguita nell'ambito delle "Indagini di Microzonazione Sismica di 1° Livello", che il Comune di Massa sta eseguendo all'interno del territorio comunale.

I risultati di questi studi sono propedeutici e parte integrante del Regolamento Urbanistico comunale, ai sensi del D.P.G.R. 53/R del 25 ottobre 2001.

La prospezione sismica, denominata **DHS7**, è stata realizzata all'interno di un foro di sondaggio, denominato **S7**, della profondità di **36 metri**.

L'acquisizione dei segnali e le modalità di restituzione dei risultati sono state effettuate seguendo quanto prescritto dalle Istruzioni Tecniche, predisposte dal Settore Servizio Sismico della Regione Toscana.

Di seguito vengono riportate le cartografie e gli elaborati utilizzati per giungere alla definizione del profilo di velocità ottenuto come elaborato di sintesi della prospezione.

La relazione è corredata dalle seguenti documentazioni che ne costituiscono parte integrante:

Nella relazione:

- Inquadramento geografico (Scala 1:5.000)
- Ubicazione down-hole (Scala 1:1.000)
- Schema dettagliato della verticale di acquisizione (Scala 1:200)
- Registrazioni di campagna
- Assemblaggio onde P
- Assemblaggio onde SH
- Tempi di propagazione delle onde P ed SH osservati ai geofoni e corretti in funzione della distanza
- Diagramma tempi di arrivo corretti - profondità ("dromocrone sismiche")
- Istogramma degli strati individuati e relative velocità sismiche
- Documentazione fotografica

## PROSPEZIONE SISMICA IN FORO TIPO DOWN-HOLE

### 1.1 Generalità

La prova downhole consiste nel produrre sulla superficie del terreno una sollecitazione mediante una sorgente meccanica e nello studiare i treni d'onda **P** e **SH**, che si muovono all'interno del terreno alle varie profondità in direzione verticale, con vibrazioni polarizzate nella direzione di propagazione (onde **P**), e dirette perpendicolarmente alla direzione di propagazione, polarizzate su un piano orizzontale (onde **SH**).

Mediante due ricevitori (*geofoni tridimensionali*) disposti nel terreno, a profondità note, viene valutato l'istante di arrivo del treno di onde **P** e **SH**, rispetto all'istante in cui vengono indotte le sollecitazioni alla sorgente.

Successivamente dividendo per tali valori la distanza (nota) tra sorgente e ricevitori, si può ricavare la velocità delle onde **P** e **SH**.

**N.B.** Per le caratteristiche del foro, della tubazione di rivestimento e della cementazione, si rimanda alla relazione tecnica dell'Impresa esecutrice del sondaggio e del Professionista incaricato dell'assistenza allo stesso.

### 1.2 Sorgenti e strumentazione

Per la creazione di **onde P** è stata utilizzata una mazza da 5 kg con piattello di battuta in alluminio.

Per la creazione di onde di **taglio SH**, polarizzate orizzontalmente, è stata utilizzata una tavola in legno della lunghezza di circa 1m che è stata percossa alternativamente a destra e a sinistra con la mazza ricordata in precedenza.

Dopo aver predisposto un opportuno piano di appoggio, costituito da un "letto" in terra, la tavola è stata gravata con il peso di un mezzo fuoristrada.

La tavola è stata disposta ortogonalmente al raggio uscente dal foro di sondaggio e parallelamente alla direzione di vibrazione di uno dei geofoni orizzontali.

In questo modo si creano vibrazioni di tipo **SH** di notevole contenuto energetico, uniformi sia nella direzione di propagazione sia nella polarizzazione, dirette perpendicolarmente all'asse della sorgente e polarizzate sul piano orizzontale con ampiezza massima nella direzione della forza **SH**.

Tutte le registrazioni sono state effettuate con Metodo Cross-over, ossia facendo la differenza tra un ugual numero di battute a destra ed a sinistra (bilanciamento energetico): in tal modo viene esaltato l'istante di primo arrivo delle onde **SH**, mentre vengono abbattute le eventuali onde **P** spurie.

Durante le energizzazioni è stato curato in modo particolare l'accoppiamento della tavola con il terreno, assicurando continuamente la perfetta disposizione e la presenza di un adeguato "allettamento" di materiale a granulometria fine.

Le sorgenti (onde P ed onde SH) sono state disposte perpendicolarmente ad un raggio uscente dal foro di sondaggio, ad una distanza di 3.0m.

Il **sistema di ricezione** è costituito da una coppia di geofoni tridimensionali (distanza intergeofonica  $i = 1.00$  m) rigidamente collegati tra loro da una barra in p.v.c. dotata di uno smorzatore intermedio in gomma che evita qualsiasi interazione sismica tra i due sensori.

L'accoppiamento del sistema con le pareti del foro è garantito da 4 stantuffi pneumatici comandati dall'esterno, con pressione regolabile fino a 10 atm.

L'orientazione assoluta del sistema viene mantenuta costante lungo tutto il foro mediante una batteria di aste in alluminio.

Il **sistema di acquisizione** è costituito da un sismografo digitale a 24 canali mod. Geometrics SMARTSEIS S24, acquisizione dati a 16 bit, cumulabilità degli impulsi a 32 bit, filtri in acquisizione ed in uscita, intervallo di campionamento selezionabile tra 31.25 e 500  $\mu$ sec, durata di registrazione selezionabile da 64 a 1024 msec, funzione inversione di polarità, stoccaggio dati su HD o su floppy 3.5".

### **1.3 Schema di acquisizione di campagna**

In tutte le registrazioni effettuate la disposizione dei canali è stata la seguente:

- **Canale n° 13** – trasduttore verticale (componente z) del primo geofono (ONDE P)
- **Canale n° 14**: – trasduttore orizzontale (componente y) del primo geofono (ONDE SH)
- **Canale n° 15**: – trasduttore orizzontale (componente x) del primo geofono (ONDE SH)
- **Canale n° 16** – trasduttore verticale (componente z) del secondo geofono (ONDE P)
- **Canale n° 17**: – trasduttore orizzontale (componente y) del secondo geofono (ONDE SH)
- **Canale n° 18**: – trasduttore orizzontale (componente x) del secondo geofono (ONDE SH)

### **1.4 Modalità di esecuzione della prova**

Dopo aver predisposto un opportuno piano di appoggio la tavola energizzante ed il piattello di battuta sono stati posti ad una distanza, dal centro del foro, di 3.0 metri.

Conoscendo la disposizione dei due geofoni orizzontali, presenti in ciascuna terna, il sistema dei trasduttori è stato orientato dalla superficie in modo tale che uno di questi fos-

se orientato parallelamente all'asse della sorgente e quindi alla direzione di polarizzazione delle onde SH in modo da massimizzarne l'ampiezza di ricezione ai ricevitori.

In particolare il geofono da pozzo è stato disposto in modo che la tavola fosse parallela alla direzione di propagazione del secondo trasduttore orizzontale di ciascuna terna.

A questo punto i ricevitori sono stati fissati, tramite gli appositi pistoncini pneumatici, alle pareti del tubo.

Mediante un sistema di aste quadrate in alluminio è stata mantenuta costante l'orientazione assoluta e sono iniziate le registrazioni.

Per prime sono state registrate le onde P e successivamente le onde S.

Le registrazioni sono state eseguite dall'alto verso il fondo foro, con abbassamenti costanti dei ricevitori di 1 metro.

**N.B.** *Alla voce "shot location", di ciascuna registrazione, è stata indicata la profondità alla quale si trovava il primo ricevitore.*

## **1.5 Descrizione delle fasi di acquisizione**

L'indagine è stata eseguita all'interno del foro di sondaggio S7.

Giunti sul posto è stata sistemata, ad una distanza di 3.0m dal centro del foro di sondaggio, la tavola per eseguire le energizzazioni in onde SH ed il piattello di battuta necessario per le energizzazioni in onde P.

Una volta posizionate le sorgenti di energizzazione è stato calato, nel foro di sondaggio, il geofono da pozzo costituito da una doppia tripletta di ricevitori distanziati tra loro di un metro.

Conoscendo la disposizione dei due trasduttori orizzontali, presenti in ciascuna terna, il sistema è stato orientato dalla superficie in modo tale che uno di essi fosse orientato parallelamente all'asse della sorgente e quindi alla direzione di polarizzazione delle onde SH, in modo da massimizzarne l'ampiezza di ricezione.

In particolare il geofono da pozzo è stato disposto in modo che la tavola fosse parallela alla direzione di propagazione del secondo trasduttore orizzontale di ciascuna terna.

A questo punto il geofono da pozzo è stato fissato, tramite gli appositi pistoncini pneumatici, alle pareti del tubo.

Mediante un sistema di aste quadrate in alluminio è stata mantenuta costante l'orientazione assoluta e sono iniziate le registrazioni che si sono succedute alternativamente cominciando sempre con le onde P.

Le registrazioni sono state eseguite dall'alto verso il basso con abbassamenti costanti dei ricevitori di 1 metro.

Le registrazioni dispari sono quindi relative alle onde P, mentre le registrazioni pari alle onde SH.

## **1.6 Programma di interpretazione ed elaborazione dei risultati**

Per quanto riguarda l'interpretazione dei tracciati e la determinazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche, si è proceduto con **un'analisi visuale** delle registrazioni, individuando la traccia con la migliore accuratezza e definizione complessiva, sia per le onde P che per le onde SH.

Si è quindi proceduto ad un **assemblaggio** di queste tracce con il programma *Win-Downhole* della *W-Geosoft* secondo la profondità ed al picking manuale del tempo di primo arrivo direttamente su ciascuna traccia.

Poiché le onde sismiche prodotte dalla sorgente non si propagano esattamente in direzione verticale rispetto ai ricevitori, data la posizione della sorgente, è necessario correggere i tempi di arrivo stimati per tenere conto dell'inclinazione del percorso effettivo.

Mediante un'applicazione su foglio elettronico Excel (vedi tabulati allegati), i tempi letti sono stati corretti in funzione della geometria del sistema (posizione della sorgente rispetto al foro ed alla profondità di acquisizione) attraverso la formula:

$$t^* = \frac{z}{d} t = \frac{z}{\sqrt{z^2 + R^2}} t$$

dove  $z$  è la profondità del ricevitore,  $d$  è la distanza effettiva tra sorgente e ricevitore,  $R$  la distanza superficiale tra sorgente e centro del foro,  $t$  il tempo determinato dalle tracce di registrazione e  $t^*$  il tempo corretto.

Le velocità dei vari strati sono state quindi determinate con la funzione di regressione lineare relativa a ciascuno degli intervalli rettilinei del diagramma tempi di arrivo-profondità.

## 1.7 Risultati dell'indagine

### Comune di MASSA Località: Centro Cittadino PIAZZA ARANCI

#### Prospezione sismica in foro "DHS7"

L'osservazione dei tempi, corretti in funzione della profondità, ha consentito di distinguere le seguenti velocità.

#### Velocità calcolate

<b>Intervallo di profondità (m)</b>	<b>Vp (m/sec)</b>	<b>Vs (m/sec)</b>	<b>Vp/Vs</b>	<b>Coefficiente di Poisson <math>\nu</math></b>
0.0 – 2.0	440	220	2.0	0.33
2.0 – 10.0	710	320	2.2	0.37
10.0 – 22.0	1110	480	2.3	0.38
22.0 – 36.0	1970	600	3.3	0.44

Sulla base dell'interpretazione del sondaggio a carotaggio continuo le diverse velocità riscontrate potrebbero essere attribuite ai seguenti sismostrati:

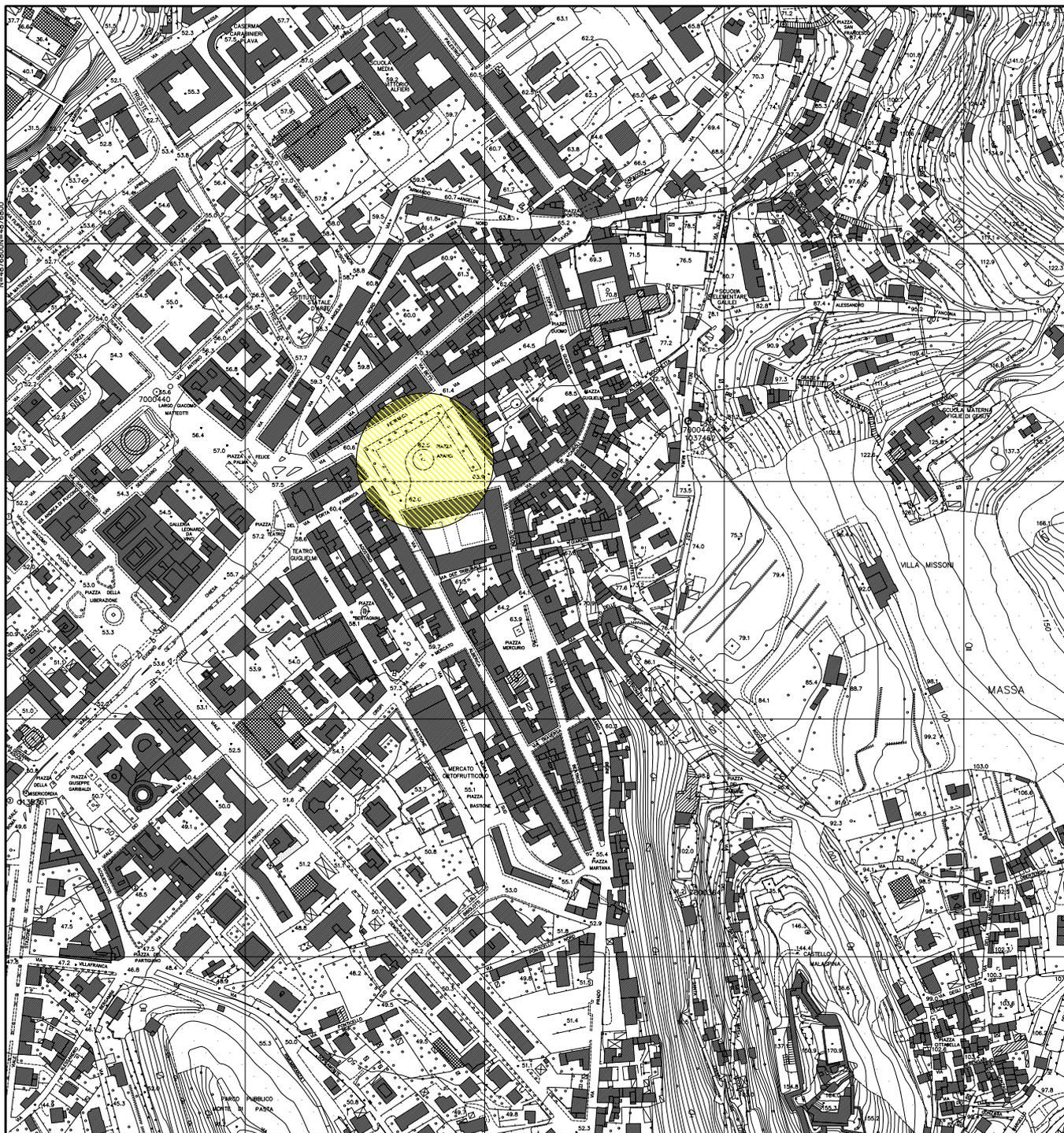
- dal piano campagna fino a circa 2.0 metri di profondità è presente asfalto, terreno di riporto e limo sabbioso, con frammenti di laterizi; in questo livello la velocità delle onde SH è risultata pari a 220m/sec, mentre quella delle onde P pari a 440m/sec;
- da 2.0 a 10.0 metri di profondità è presente un deposito eterogeneo, in parte antropico, costituito da ghiaia e ciottoli in matrice limo sabbiosa e limi argillosi debolmente sabbiosi; in questo livello la velocità delle onde SH è risultata pari a 320m/sec, mentre quella delle onde P pari a 710m/sec;
- da 10.0 a 22.0 metri il terreno è costituito da un deposito eterogranulare e poligenico, costituito da ghiaie e ciottoli, prevalentemente di marmo, in matrice sabbio limosa e/o limo sabbiosa (deposito alluvionale del F. Frigido); in questo livello la velocità delle onde SH è risultata pari a 480m/sec, mentre quella delle onde P pari a 1110m/sec;
- da 22.0 a 36.0 metri il terreno è costituito da un deposito eterogranulare e poligenico, costituito da ghiaie e ciottoli, prevalentemente appartenenti a formazioni di natura scistoso-filladica, in matrice sabbio limosa e/o limo sabbiosa (deposito alluvionale pedecollinare del Canale della Bocchetta); in questo livello la velocità delle onde SH è risultata pari a 600m/sec, mentre quella delle onde P pari a 1970m/sec.

Massa, 21/05/2013

*Per la Geognostica Apuana s.n.c.*

Dott. Geol. Francesco Giusti

# INQUADRAMENTO GEOGRAFICO



Scala 1:5.000

Località: PIAZZA ARANCI



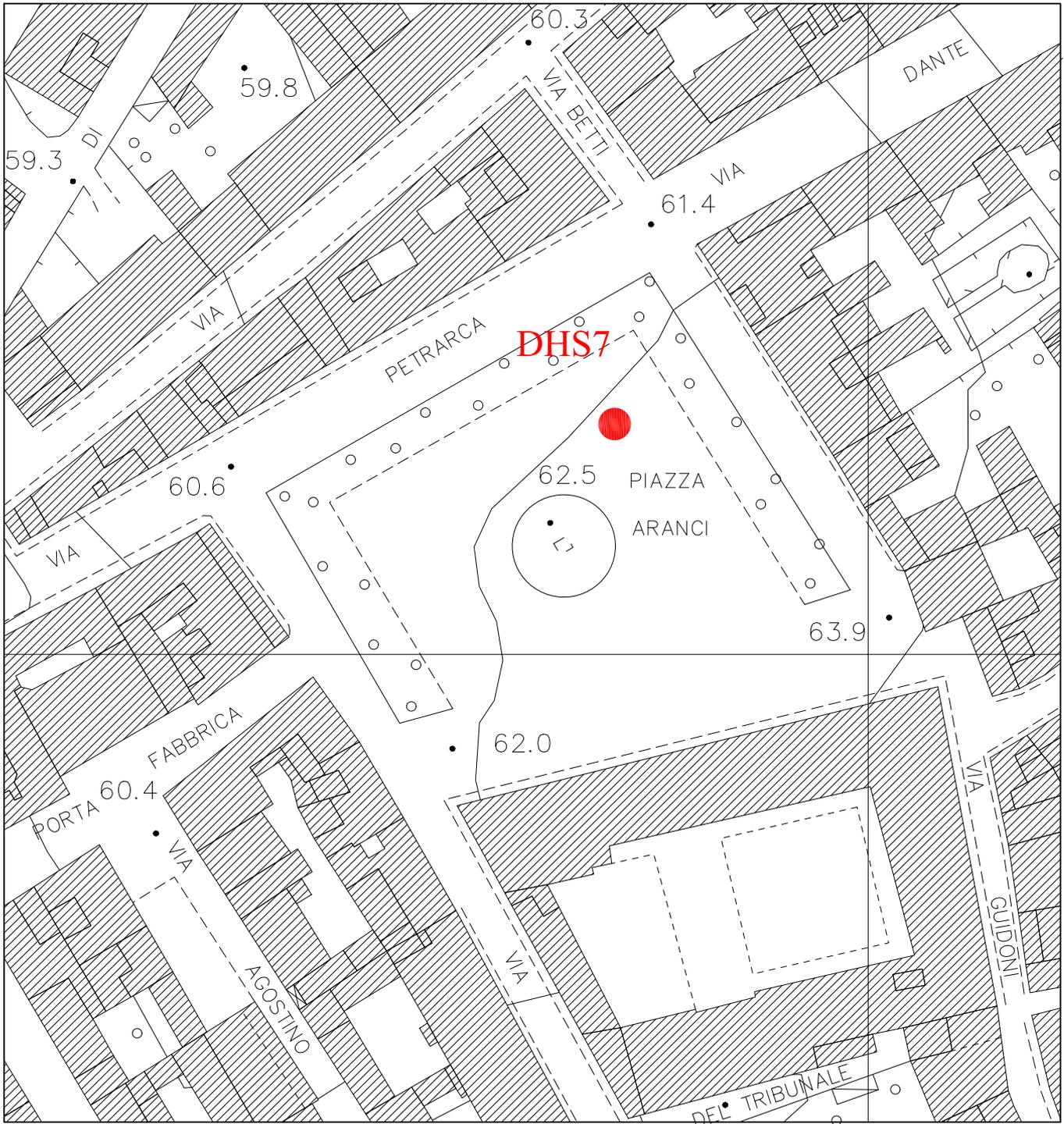
Tavola n. 1

## LEGENDA



Area in oggetto

# UBICAZIONE DOWN-HOLE



Scala 1:1.000

Località: PIAZZA ARANCI



Tavola n. 2

LEGENDA



Prospezione sismica in foro DHS7

# PROSPEZIONE SISMICA IN FORO TIPO DOWN-HOLE

## DHS7



Eseguita nel foro di sondaggio **S7**

“Prova eseguita nell’ambito delle indagini  
di **microzonazione sismica di 1° Livello**”

*Comune:* **MASSA**

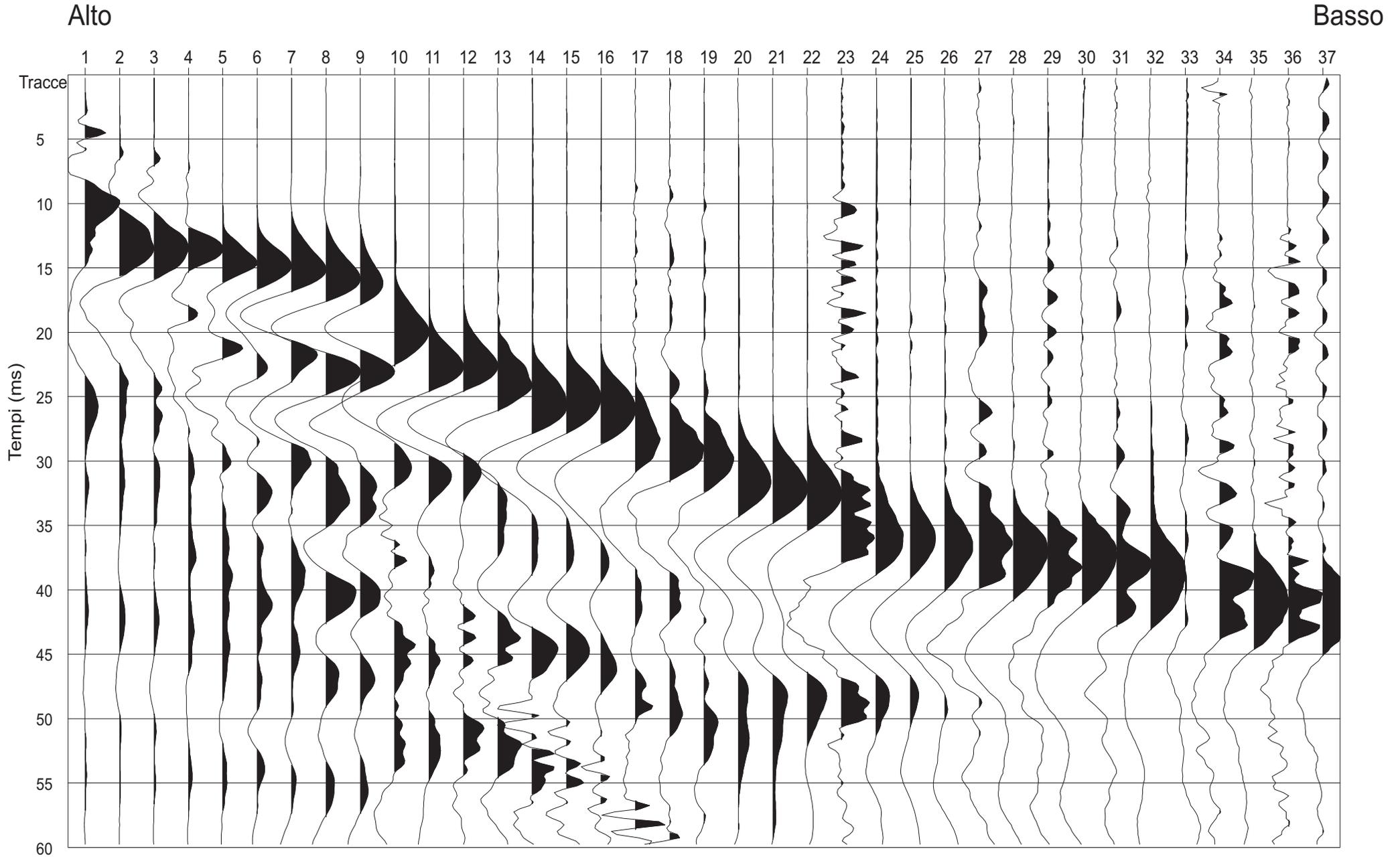
**“PIAZZA ARANCI”**

**TABELLE E GRAFICI**

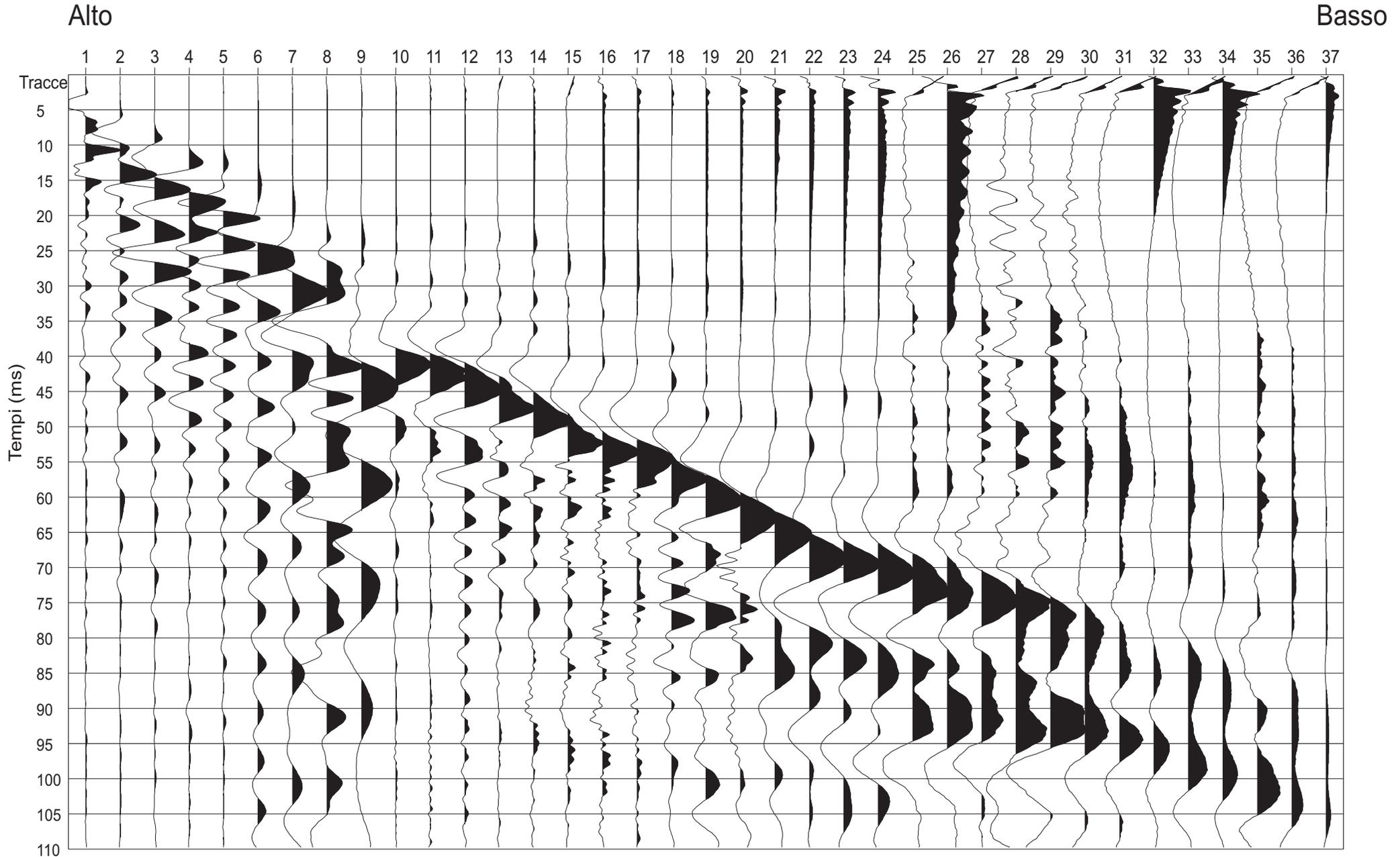
**Comune di MASSA – Località: MASSA CENTRO****PIAZZA ARANCI Down-hole: DHS7****Registrazioni di campagna**

Profondità	Terna superiore		Terna inferiore	
	Onde P	Onde SH	Onde P	OndeSH
0	01.DAT	02.DAT	-	-
1	03.DAT	04.DAT	01.DAT	02.DAT
2	05.DAT	06.DAT	03.DAT	04.DAT
3	07.DAT	08.DAT	05.DAT	06.DAT
4	09.DAT	10.DAT	07.DAT	08.DAT
5	11.DAT	12.DAT	09.DAT	10.DAT
6	13.DAT	14.DAT	11.DAT	12.DAT
7	15.DAT	16.DAT	13.DAT	14.DAT
8	17.DAT	18.DAT	15.DAT	16.DAT
9	19.DAT	20.DAT	17.DAT	18.DAT
10	21.DAT	22.DAT	19.DAT	20.DAT
11	23.DAT	24.DAT	21.DAT	22.DAT
12	25.DAT	26.DAT	23.DAT	24.DAT
13	27.DAT	28.DAT	25.DAT	26.DAT
14	29.DAT	30.DAT	27.DAT	28.DAT
15	31.DAT	32.DAT	29.DAT	30.DAT
16	33.DAT	34.DAT	31.DAT	32.DAT
17	35.DAT	36.DAT	33.DAT	34.DAT
18	37.DAT	38.DAT	35.DAT	36.DAT
19	39.DAT	40.DAT	37.DAT	38.DAT
20	41.DAT	42.DAT	39.DAT	40.DAT
21	43.DAT	44.DAT	41.DAT	42.DAT
22	45.DAT	46.DAT	43.DAT	44.DAT
23	47.DAT	48.DAT	45.DAT	46.DAT
24	49.DAT	50.DAT	47.DAT	48.DAT
25	51.DAT	52.DAT	49.DAT	50.DAT
26	53.DAT	54.DAT	51.DAT	52.DAT
27	55.DAT	56.DAT	53.DAT	54.DAT
28	57.DAT	58.DAT	55.DAT	56.DAT
29	59.DAT	60.DAT	57.DAT	58.DAT
30	61.DAT	62.DAT	59.DAT	60.DAT
31	63.DAT	64.DAT	61.DAT	62.DAT
32	65.DAT	66.DAT	63.DAT	64.DAT
33	67.DAT	68.DAT	65.DAT	66.DAT
34	69.DAT	70.DAT	67.DAT	68.DAT
35	71.DAT	72.DAT	69.DAT	70.DAT
36	-	-	71.DAT	72.DAT

### ASSEMBLAGGIO ONDE P



# ASSEMBLAGGIO ONDE SH



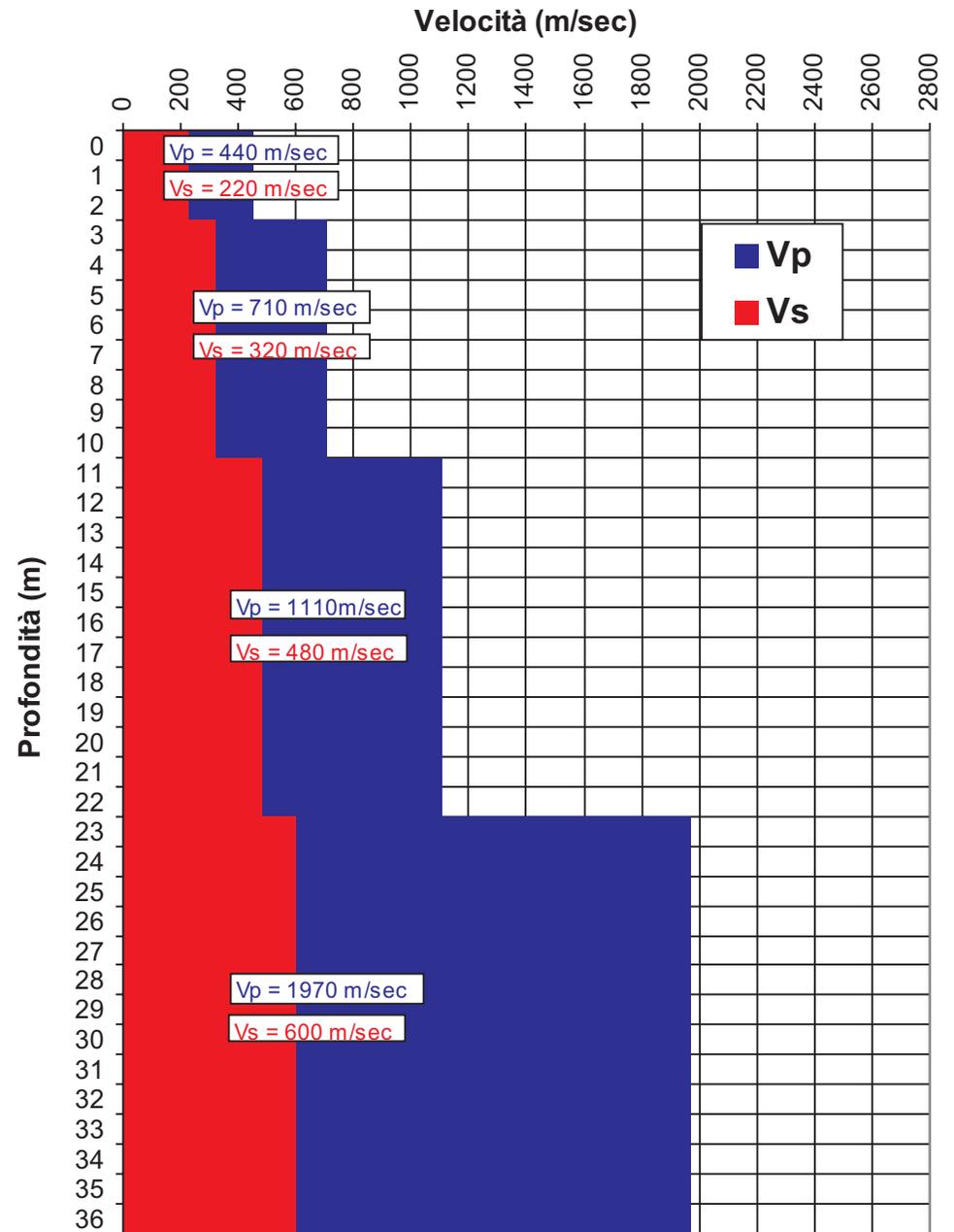
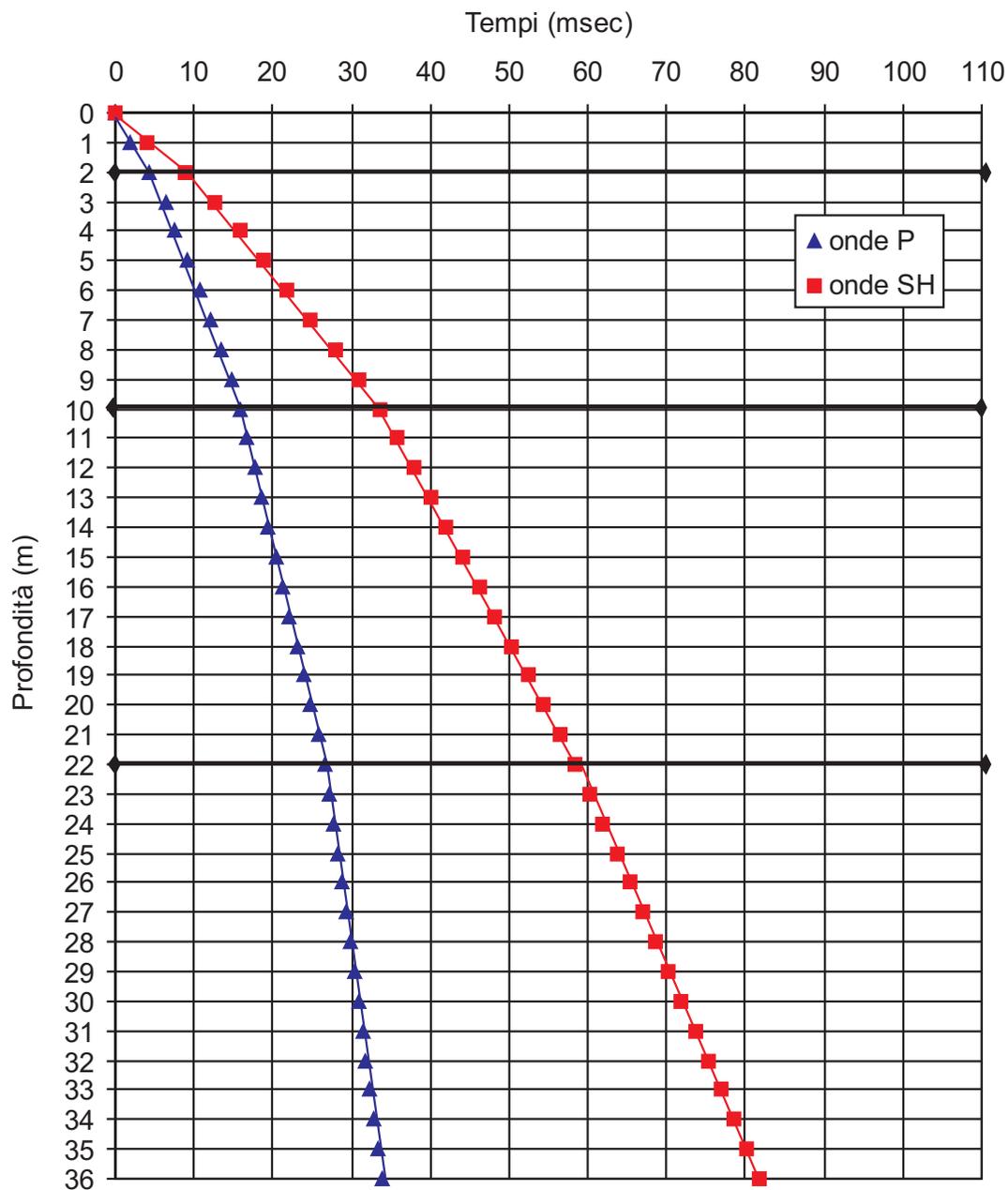
**Comune di MASSA – Località: MASSA CENTRO****PIAZZA ARANCI Down-hole: DHS7****TABELLA DEI TEMPI****ONDE P**

		Tempi letti sulle tracce	Tempi corretti in funzione della distanza
Registrazione	Profondità	tempo di arrivo	tempo di arrivo corretto
n°	(metri)	(msec)	(msec)
1	0.0	5.20	0.00
2	1.0	6.00	1.90
3	2.0	8.00	4.44
4	3.0	9.00	6.36
5	4.0	9.50	7.60
6	5.0	10.80	9.26
7	6.0	11.90	10.64
8	7.0	13.30	12.22
9	8.0	14.40	13.48
10	9.0	15.50	14.70
11	10.0	16.50	15.80
12	11.0	17.35	16.74
13	12.0	18.20	17.66
14	13.0	19.05	18.56
15	14.0	19.90	19.46
16	15.0	20.75	20.35
17	16.0	21.60	21.23
18	17.0	22.40	22.06
19	18.0	23.35	23.03
20	19.0	24.20	23.90
21	20.0	25.10	24.82
22	21.0	26.00	25.74
23	22.0	27.00	26.75
24	23.0	27.50	27.27
25	24.0	28.00	27.78
26	25.0	28.50	28.30
27	26.0	29.00	28.81
28	27.0	29.50	29.32
29	28.0	30.00	29.83
30	29.0	30.50	30.34
31	30.0	31.00	30.85
32	31.0	31.50	31.35
33	32.0	32.00	31.86
34	33.0	32.50	32.37
35	34.0	33.00	32.87
36	35.0	33.50	33.38
37	36.0	34.00	33.88

**Comune di MASSA – Località: MASSA CENTRO****PIAZZA ARANCI Down-hole: DHS7****TABELLA DEI TEMPI****ONDE SH**

		Tempi letti sulle tracce	Tempi corretti in funzione della distanza
Registrazione	Profondità	tempo di arrivo	tempo di arrivo corretto
n°	(metri)	(msec)	(msec)
1	0.0	10.00	0.00
2	1.0	13.00	4.11
3	2.0	16.00	8.88
4	3.0	18.00	12.73
5	4.0	20.00	16.00
6	5.0	22.00	18.86
7	6.0	24.50	21.91
8	7.0	27.00	24.82
9	8.0	30.00	28.09
10	9.0	32.50	30.83
11	10.0	35.00	33.52
12	11.0	37.00	35.70
13	12.0	39.00	37.84
14	13.0	41.00	39.95
15	14.0	43.00	42.05
16	15.0	45.00	44.13
17	16.0	47.00	46.19
18	17.0	49.00	48.25
19	18.0	51.00	50.31
20	19.0	53.00	52.35
21	20.0	55.00	54.39
22	21.0	57.00	56.43
23	22.0	59.00	58.46
24	23.0	60.70	60.19
25	24.0	62.40	61.92
26	25.0	64.10	63.64
27	26.0	65.80	65.37
28	27.0	67.40	66.99
29	28.0	69.00	68.61
30	29.0	70.60	70.23
31	30.0	72.30	71.94
32	31.0	74.00	73.66
33	32.0	75.60	75.27
34	33.0	77.20	76.88
35	34.0	78.90	78.59
36	35.0	80.50	80.21
37	36.0	82.10	81.82

# COMUNE DI MASSA - MASSA CENTRO - PIAZZA ARANCI - DOWN-HOLE: DHS7



# Documentazione fotografica

## **PROVA SISMICA IN FORO TIPO DOWN-HOLE**

*Comune:* **MASSA**

*Località:* **CENTRO**

*Cantiere:* **PIAZZA ARANCI**



**Foto 1** esecuzione della prova sismica in foro tipo down-hole.