

INDAGINI GEOLOGICHE E GEOFISICHE  
PER LA CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA E SISMICA  
DEI TERRENI PRESENTI IN VIA MONTE D'AGO DI ANCONA

RAPPORTO TECNICO

## INDICE

1. PREMESSA
2. INDAGINI E PROVE GEOTECNICHE IN SITO
  - 2.1. SONDAGGIO GEOTECNICO
    - 2.1.1. ATTREZZATURE DI PERFORAZIONE
    - 2.1.2. UTENSILI DI PERFORAZIONE
  - 2.3. PROVE GEOTECNICHE IN FORO DI SONDAGGIO
    - 2.3.1. PROVE SPT (STANDARD PENETRATION TEST)
3. METODO MASW
  - 3.1. CENNI TEORICI
  - 3.2. CURVA DI DISPERSIONE APPARENTE SPERIMENTALE
  - 3.3. STRUMENTAZIONE METODOLOGIA ED INTERPRETAZIONE
4. STRUMENTAZIONE METODOLOGIA ED INTERPRETAZIONE
5. RISULTATI CALCOLO  $V_{s30}$

## TAVOLE

Tav. 1 - PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI

Tav. 2 - RISULTATI INDAGINE MASW

## APPENDICE INDAGINI GEOGNOSTICHE

ELABORATI STRATIGRAFICI E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

## 1. PREMESSA

Le indagini sono consistite nell'esecuzione di un sondaggio e di misure geofisiche tipo MASW, aventi come scopo la determinazione del parametro VS30 necessario per la classificazione sismica in accordo al D.M. 14/01/2008 (Nuove norme tecniche per le costruzioni).

La compagna di indagine è stata svolta secondo il seguente programma:

- esecuzione di n° 2 sondaggi meccanici realizzati a carotaggio continuo come indicato nella tabella seguente:

Sondaggio	Tipo di perforazione	Profondità (m)
S1	CC	7,50
S2	CC	9,00

- esecuzione di n° 2 prove "SPT" a punta chiusa così suddivise:

Sondaggio	SPT	Profondità (m)	N° colpi
S1	S.P.T.1	1,50-1,95	11-23-35
S1	S.P.T.2	5,00-5,41	17-48 Rif 11 cm
S2	S.P.T.1	1,00-1,45	12-20-32
S2	S.P.T.2	7,00-7,45	20-40-42

Le carote di terreno prelevate durante l'esecuzione dei sondaggi sono state riposte in apposite cassette catalogatrici a scomparti, delle quali è stato eseguito un rapporto fotografico (in appendice).

- esecuzione di n° 1 prova sismica di tipo MASW.

## 2. INDAGINI E PROVE GEOTECNICHE IN SITO

### 2.1 SONDAGGIO GEOTECNICO

Il sondaggio geotecnico a "carotaggio continuo" consiste nella perforazione a rotazione in terreno e nella descrizione della stratigrafia con modalità ed osservazioni tali da consentire una caratterizzazione geotecnica dei terreni attraversati.

Si definisce sondaggio geotecnico una perforazione caratterizzata dalle seguenti modalità esecutive:

- carotaggio continuo e rappresentativo del terreno attraversato;
- descrizione stratigrafica a carattere geotecnico dei terreni attraversati;
- prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno;
- esecuzione di prove geotecniche o geomeccaniche in foro;
- determinazione del livello piezometrico della falda, se presente;
- annotazione di osservazioni atte alla caratterizzazione geotecnica del terreno.

#### 2.1.1. ATTREZZATURE DI PERFORAZIONE

Per l'esecuzione dei sondaggi è stata utilizzata una sonda a rotazione ATLAS COPCO MUSTANG A52 carrocingolata, avente le seguenti caratteristiche:



## 2.1.2. UTENSILI DI PERFORAZIONE

La perforazione è stata eseguita a rotazione a "carotaggio continuo" con aste e carotiere utilizzando carotieri semplici del diametro di 101 mm e rivestimenti del diametro di 127 mm.

## 2.3. PROVE GEOTECNICHE IN FORO DI SONDAGGIO

### 2.3.1. PROVE "SPT" (STANDARD PENETRATION TEST)

Nel corso dei sondaggi sono state inoltre eseguite n° 4 prove di resistenza alla penetrazione "SPT" utilizzando una attrezzatura standard secondo le modalità di esecuzione indicate dalle "Raccomandazioni dell'Associazione Geotecnica Italiana" del 1977.

Tali prove si eseguono preferibilmente in terreni granulari (sabbie e ghiaie fini), tuttavia si possono eseguire in qualsiasi terreno sciolto e su alcune rocce tenere allo scopo di determinare grado di addensamento / consistenza / resistenza.

Si riassumono brevemente le caratteristiche tecniche della prova "SPT".

Campionatore:

- Raymond di diametro esterno 51 mm, diametro interno 35 mm. lunghezza minima 457 mm, con scarpa standard a punta aperta come utensile di penetrazione,
- punta conica chiusa di diametro esterno 51 mm e angolo di 60°,
- aste collegate al campionatore di diametro esterno 50 mm e peso di 7,5 kg al metro lineare,

Dispositivo di battuta, avente peso non superiore a 115 kg, comprende:

- testa di battuta in acciaio avvitata all'estremità della batteria di aste,
- massa battente a maglio di 63,5 kg,
- dispositivo di guida e rilascio del maglio, a sganciamento automatico, che assicura una corsa a caduta libera di 76 cm

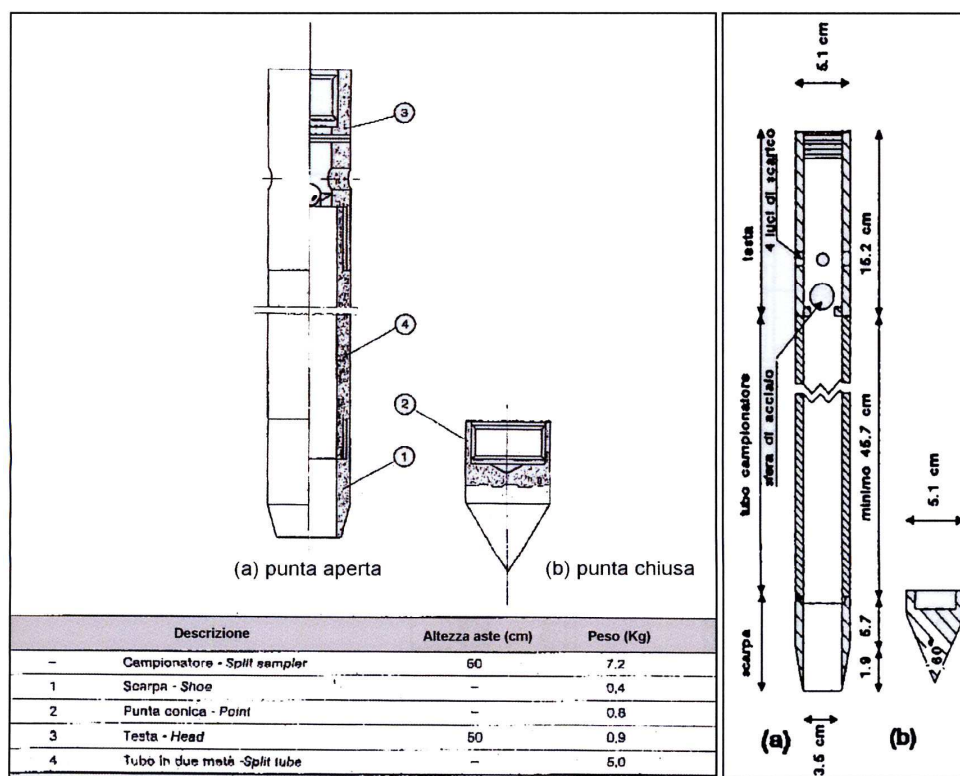


Fig.2 – Campionatore a punta aperta (a) - a punta chiusa (b)

Ogni determinazione di prova è stata preceduta dalla pulizia del fondo foro con verifica della coincidenza della quota di attestazione della punta con profondità misurata dopo la pulizia del foro (tolleranza di  $\pm 7$  cm): la prova consiste nel fare penetrare campionatore posato al fondo foro per tre tratti successivi di 15 cm registrando ogni volta il numero dei colpi necessari (N1, N2, N3).

Con il primo tratto, detto avviamento, si intende superare la zona di terreno rimaneggiato in fase di perforazione. Nel caso di un terreno molto addensato con  $N1 = 50$  ed avanzamento minore di 15 cm l'infissione deve essere sospesa: la prova dichiarata conclusa in base alle raccomandazioni AGI 1977 e si annota la relativa penetrazione.

Se il tratto di avviamento viene superato si conteggiano N2 e N3 (da 15 a 30 e da 30 a 45 cm) fino ad un limite complessivo di 100 colpi ( $N2+N3$ ) raggiunto il quale si sospende la prova annotando l'avanzamento ottenuto.

Pertanto il parametro caratteristico della prova, prescindendo da casi particolari di rifiuto, è:

$$N_{spt} = N2 + N3$$

che esprime il numero di colpi caratteristico per 30 cm utili di perforazione.

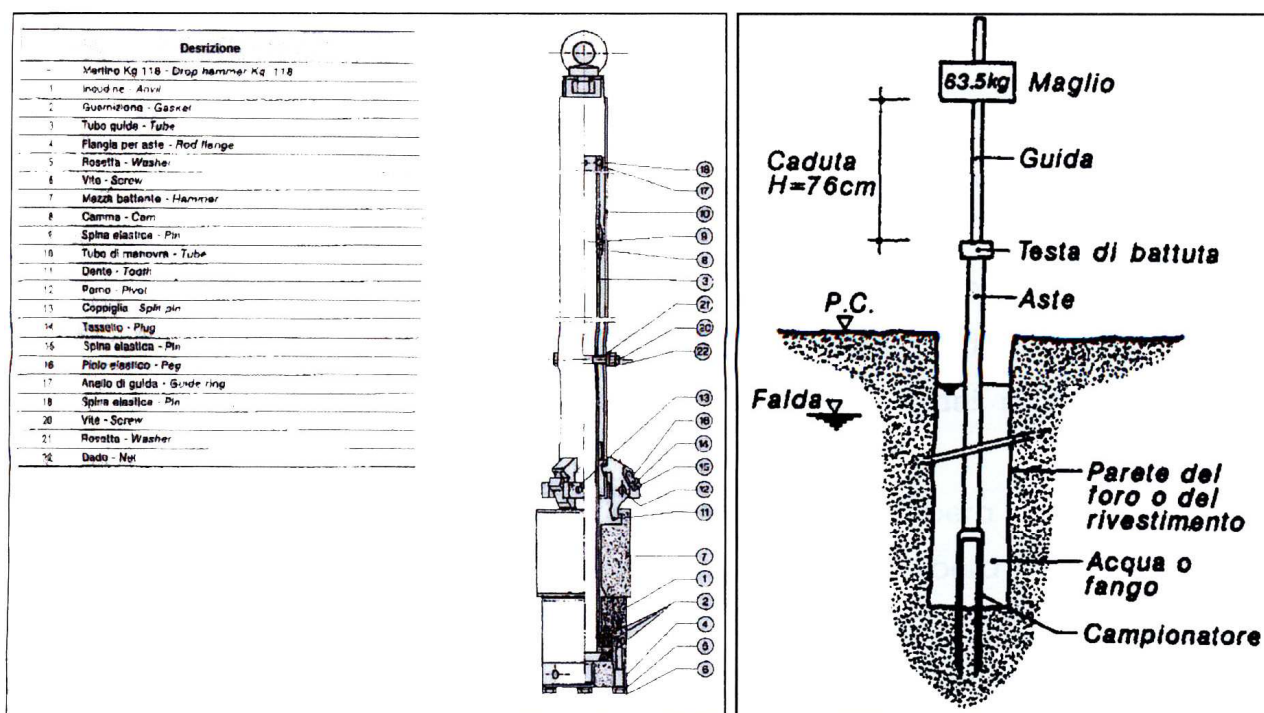


Fig.3 – Penetrometro dinamico SPT

### 3. METODO MASW

#### 3.1. CENNI TEORICI

Il metodo MASW si basa sulla misurazione e sull'analisi delle onde di Rayleigh in un semispazio stratificato.

L'esistenza delle onde di Rayleigh in un semispazio stratificato è stata studiata nel corso degli anni attraverso diverse metodologie. I metodi più conosciuti sono i *propagator matrix methods* (Kennett, 1983, Aki and Richards, 1980) e il *method of reflection and transmission coefficients* (Kennet, 1974, Aki and Richards, 1980). I *transfer matrix methods* (Thomson, 1950, Haskell, 1953] e il *dynamic stiffness matrix method* (Kausel and Roesset, 1981) appartengono alla categoria dei *propagator matrix methods*.

Quando si energizza il sito in un punto della sua superficie libera si generano diversi tipi di onde. Se la sorgente è perpendicolare alla superficie libera si generano onde appartenenti al piano



verticale: onde P, onde SV, onde Rayleigh, onde rifratte.

Nel metodo MASW proposto si usano le sole onde di Rayleigh e si trascurano gli effetti dovuti alle onde P e SV. Sebbene una sorgente puntiforme verticale generi anche le onde P e le onde S oltre alle onde Rayleigh (figura 6), intervengono due aspetti che rendono il contributo delle onde di Rayleigh prevalente sul contributo delle onde P e SV. Il primo aspetto è che le onde Rayleigh trasportano circa i due terzi dell'energia generata dalla sorgente. Il secondo aspetto è che allontanandosi dalla sorgente le onde di Rayleigh subiscono una attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P e SV, perché le onde Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, invece le onde P e SV si propagano secondo fronti d'onda sferici.

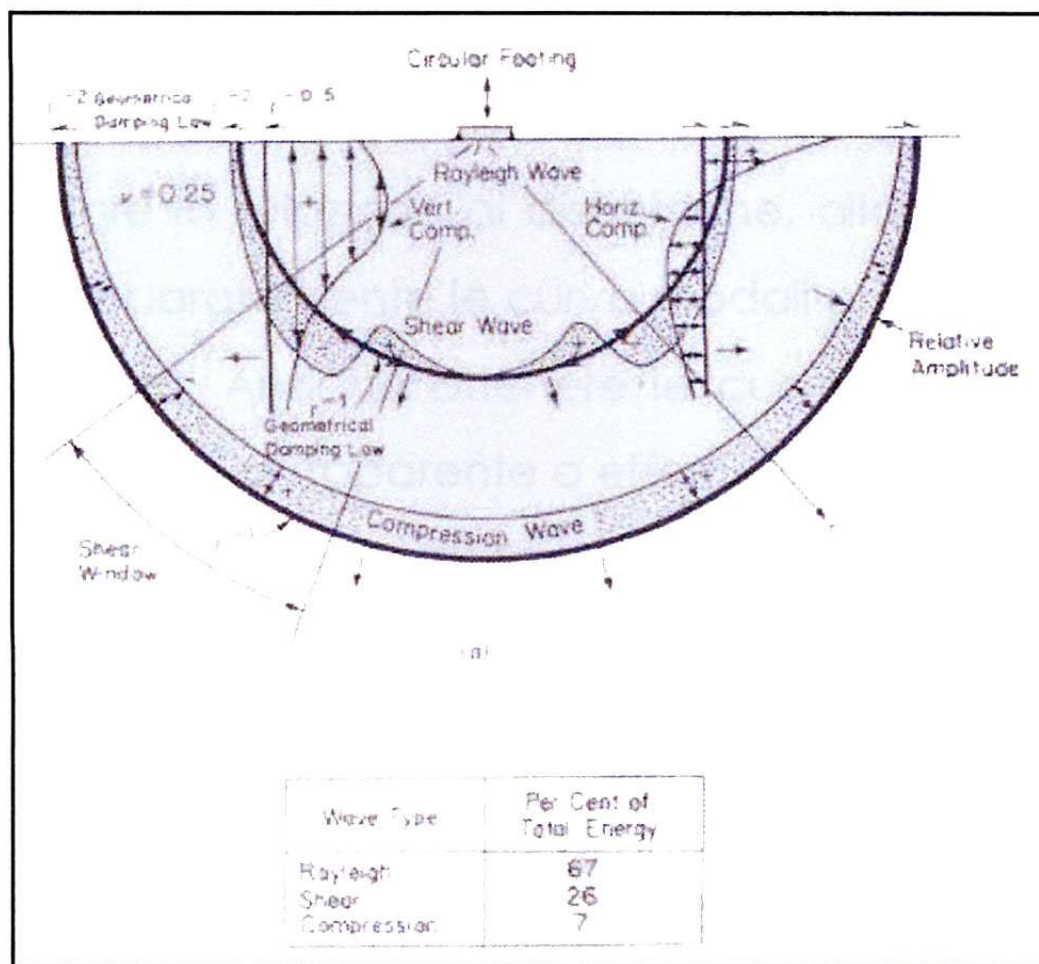


Fig. 4 - Onde generate da una sorgente armonica verticale sulla superficie libera di un semispazio omogeneo e ripartizione dell'energia tra onde P, S e Rayleigh per coefficiente di Poisson  $\sigma = 0,25$  (Richart et al., 1970).

La prova MASW fornisce il profilo di velocità  $V_s$  monodimensionale, assumendo un valore medio di velocità lungo lo stendimento dei ricevitori. La lunghezza dello stendimento dipende sia dal numero di ricevitori utilizzabili, sia dallo spazio disponibile. Normalmente si dispongono i ricevitori ad interasse costante compreso tra 0,50 m e 3,00 m. A parità di numero di ricevitori un interasse di 3,00 m consente di avere uno stendimento di ricevitori più lungo e quindi una maggiore risoluzione della curva di dispersione. Viceversa un interasse piccolo può essere necessario in piccoli spazi e consente un intervallo più ampio di numeri d'onda, ma comporta una minore risoluzione della curva di dispersione.

### **3.2. CURVA DI DISPERSIONE APPARENTE SPERIMENTALE**

Quando si misurano le onde superficiali lungo uno stendimento di ricevitori sulla superficie di un sito energizzato in un punto, si dispone del campo di moto, spostamenti o velocità o accelerazioni, nel dominio spazio-tempo. La perturbazione generata dalla energizzazione contiene al suo interno tutti i diversi modi o onde di Rayleigh (le onde P e SV si attenuano a pochi metri dalla sorgente), che formano un unico treno d'onda e non si sono ancora separati o dispersi. Affinché il fenomeno di dispersione dei diversi modi di Rayleigh abbia luogo occorre porsi ad una distanza sufficiente dalla sorgente (superiore a circa 100 m nella pratica).

Quando si trasforma il campo di moto dal dominio spazio-tempo al dominio frequenza numero d'onda, oppure in maniera equivalente al dominio velocità di fase frequenza per rappresentare la relazione di dispersione, allora si scopre che non è in genere possibile misurare separatamente le curve modali previste dalla teoria, come è stato mostrato in precedenza. Anziché ottenere le curve modali separate si ottiene una unica curva denominata curva apparente o effettiva.

La curva apparente o effettiva che si ottiene dalle tracce misurate in sito è il risultato dell'interazione tra tutti i modi di Rayleigh e lo stesso sistema di misura costituito dai ricevitori. La configurazione dei ricevitori nello stendimento può influenzare il valore che la curva di dispersione apparente assume a certe frequenze.

Indipendentemente dal disturbo apportato dal sistema di misura, la curva apparente è comunque data dall'interazione dei diversi modi di Rayleigh. In funzione delle caratteristiche geometriche (spessori) e meccaniche ( $\sqrt{s}$ ,  $V_p$ , densità di massa) degli strati di terreno alcuni modi di Rayleigh possono risultare predominanti rispetto agli altri modi in certi intervalli di frequenza. Generalmente quando la rigidità degli strati aumenta gradualmente con la profondità il modo fondamentale di Rayleigh risulta predominante a tutte le frequenze.

Tuttavia esistono diverse stratigrafie, con strati rigidi compresi tra strati soffici o strati soffici compresi tra strati rigidi o con variazioni brusche di rigidità con la profondità, in cui i modi di Rayleigh superiori al primo diventano predominanti in certi intervalli di frequenza. Può verificarsi che esistano alcune frequenze di transizione in cui non sussiste una netta predominanza di un modo rispetto agli altri, ma che vi siano due o più modi vicini che trasportano all'incirca la stessa quantità di energia. In queste situazioni la curva apparente potrebbe non coincidere con nessun modo, ma risulterebbe la combinazione di due o più modi.

### **3.3. STRUMENTAZIONE METODOLOGIA ED INTERPRETAZIONE**

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo a 24 canali a cumulabilità di impulsi dello DMT SUMMIT mod. COMPACT con registrazione degli eventi in forma digitale.

I sensori sono costituiti da catene di 24 geofoni componente verticale con frequenza di 4,5 Hz.

Si è utilizzata una distanza intergeofonica di 1,5-2,0 m; l'acquisizione è stata eseguita con un passo di campionamento di 1 ms per una lunghezza di registrazione di 2048 ms.

L'energizzazione è avvenuta utilizzando una massa battente del peso di 10 kg, fatta cadere su di una piastra in ferro da un'altezza di 1,5 m circa.

L'istante di tempo zero, ovvero il segnale di inizio registrazione, viene inviato allo strumento da un interruttore (Hammer switch) posto direttamente sulla massa battente.

Nel caso specifico si sono eseguite n. 4 registrazioni con punti di scoppio posti ai due lati dello stendimento ed a distanze differenti in modo da selezionare, nella successiva fase di processing, la registrazione con migliore risoluzione.

L'interpretazione è avvenuta utilizzando il software denominato "MASW 2007".



## **5. RISULTATI CALCOLO Vs30**

Dal profilo di velocità ottenuto e visualizzato nel paragrafo precedente, è stato calcolato il parametro Vs30 (velocità media di propagazione entro 30 metri di profondità delle onde di taglio), parametro necessario per la definizione delle categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto.

Sulla base dei dati descritti si ottiene un valore di **Vs30 = 358** m/s.

**La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente finale, che ne deve valutare la tipologia sulla base delle informazioni geologiche, della normativa e del profilo verticale Vs30.**

TAVOLE



LEGENDA:

- |    |       |                             |
|----|-------|-----------------------------|
| S1 | ●     | SONDAGGIO GEOGNOSTICO<br>S1 |
| S2 | ●     | SONDAGGIO GEOGNOSTICO<br>S2 |
|    | ○     | AREA DI STUDIO              |
|    | ┌───┐ | PROVA SISMICA MASW          |

Tav. 1 - Ubicazione indagini



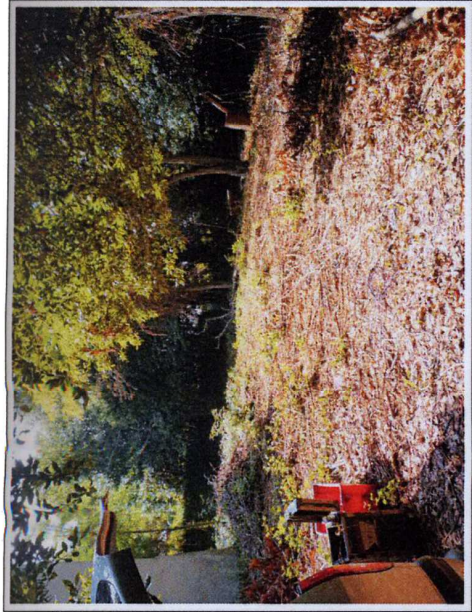
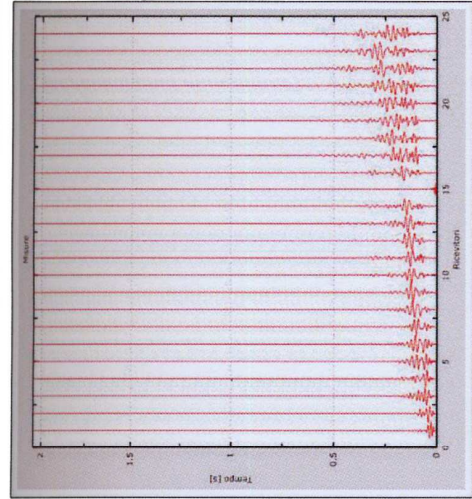
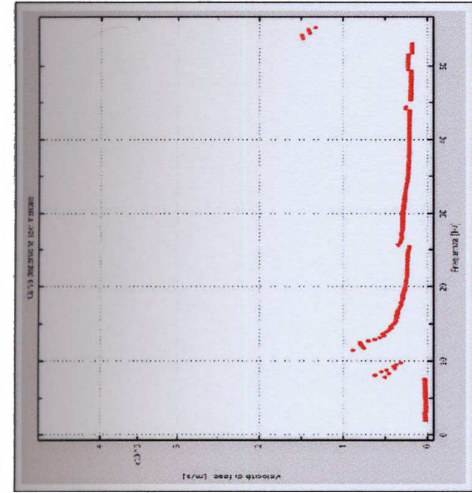


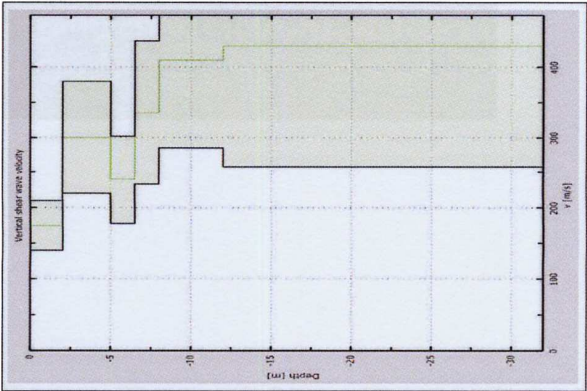
Foto ubicazione prova Masw



Registrazione di campagna



Curva dispersione sperimentale



Profilo Vs finale

Strato (n°)	Spessore (m)	Profondità (m)	Velocità onde S (m/sec)
1	2.0	-2.0	175
2	3.0	-5.0	300
3	1.5	-6.5	240
4	1.5	-8.0	335
5	4.0	-12.0	410
Semispaio	0	∞	430

$V_{s30}$  finale: 358 m/s

INDAGINI GEOGNOSTICHE

# SONDAGGIO S1

[illegible]



# Postazione Sondaggio S1

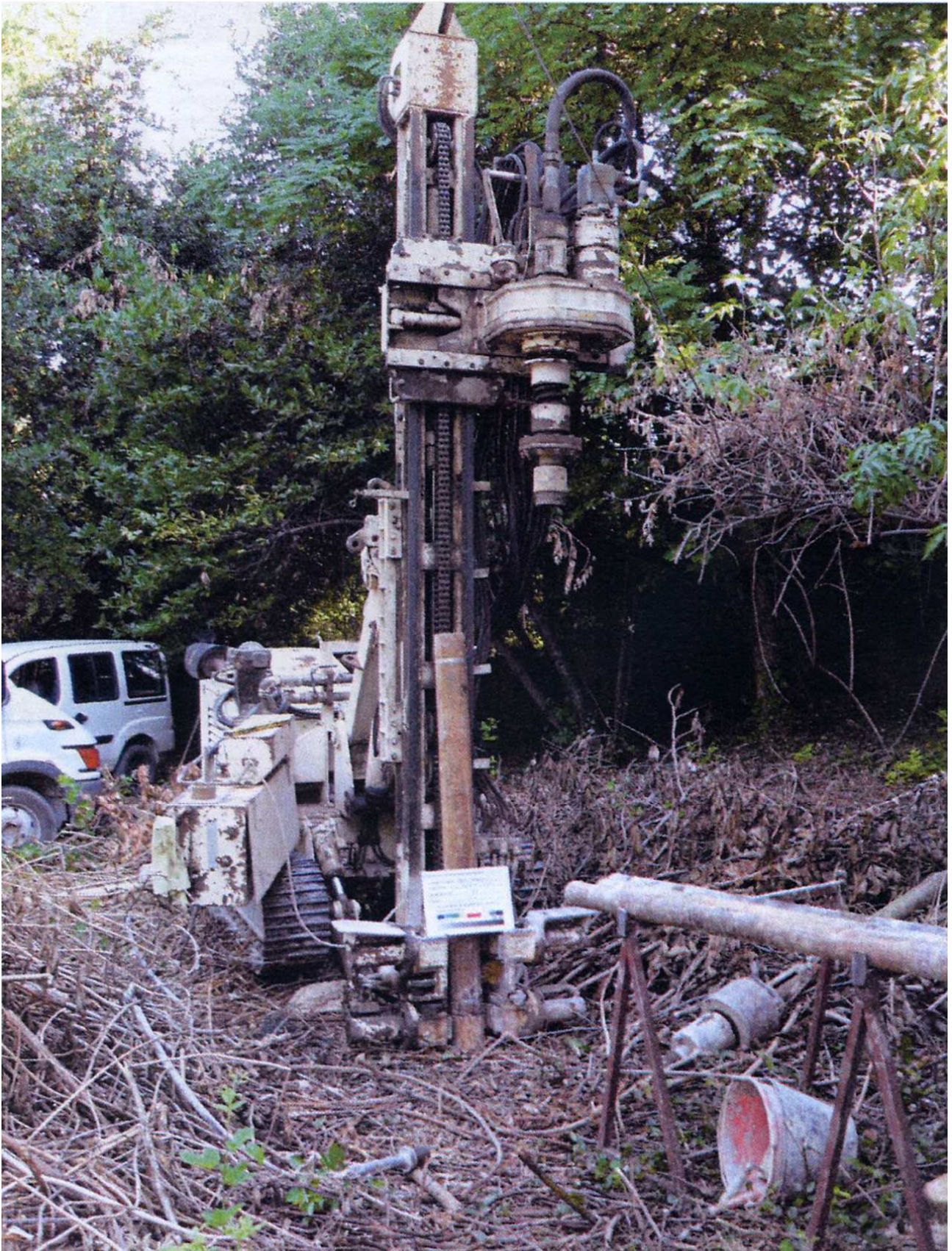




Foto cassa 1 (0.00-5.00 ml)



Foto cassa 2 (5.00-9.00 ml)



Note:

# SONDAGGIO S2

[illegible]



## Postazione sondaggio S2

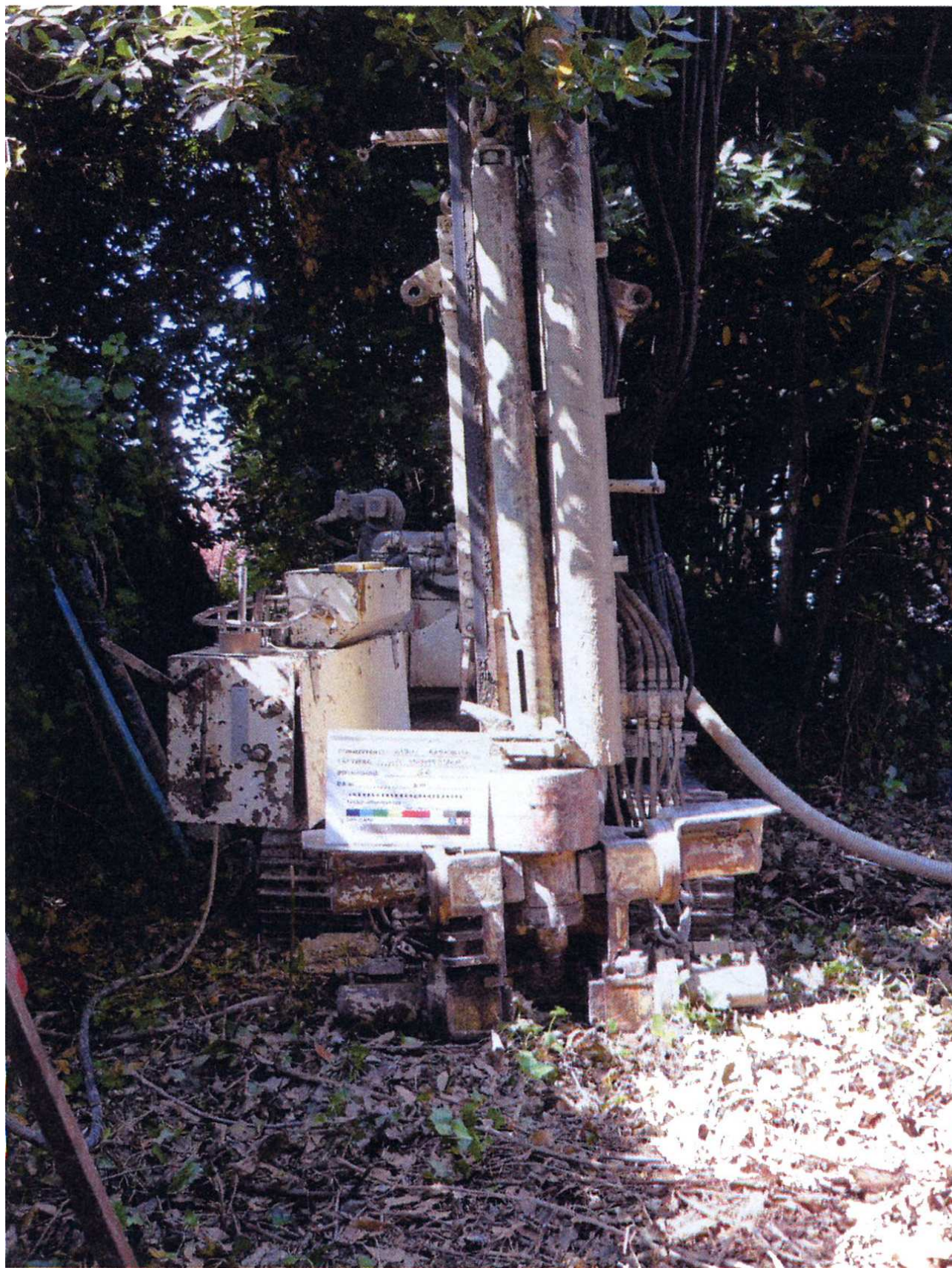




Foto cassa 1 (0.00-5.00 ml)



Foto cassa 2 (5.00-10.00 ml)

