

Completamento della Tangenziale di Vicenza
1° Stralcio Completamento

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTAZIONE: ANAS DPRL

I PROGETTISTI:

ing. Vincenzo Marzi
Ordine Ing. di Bari n.3594

ing. ACHILLE DEVITOFRANCESCHI
Ordine Ing. di Roma n. 19116

IL GEOLOGO:

geol. Serena Majetta
Ordine Geol. del Lazio n.928

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

geom. FABIO QUONDAM

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO :

ing. Anna Maria Nosari

PROTOCOLLO

DATA

GEOLOGIA

Documentazione indagini geofisiche

CODICE PROGETTO			NOME FILE				REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00GEO0GEORE06_A					
DPVE08	D	1401	CODICE ELAB. T00GEO0GEORE06				A	
C								
B								
A	EMISSIONE				Ottobre 2019			
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO		

INDICE

1	PREMESSA	2
2	INDAGINE DOWN-HOLE	3
2.1	DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA ED ELABORAZIONE DATI	3
2.2	DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	6
2.3	DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE	8
2.4	RISULTANZE DELL'INDAGINE DOWN-HOLE	11
3	INDAGINE M.A.S.W.	18
3.1	DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA ED ELABORAZIONE DATI	18
3.2	DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	21
3.3	DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE	21
3.4	RISULTANZE DELL'INDAGINE MASW	22
3.4.1	MASW 2	27
3.4.2	MASW 3	31
3.5	IDENTIFICAZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO. D. M. 17 GENNAIO 2018 "NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI"	35
4	INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA	37
4.1	DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA	37
4.2	DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	38
4.3	DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE	39
4.4	DESCRIZIONE DELL'ELABORAZIONE DEI DATI	41
4.5	RISULTANZE DELL'INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA	42

1 PREMESSA

La presente relazione geofisica fa parte della documentazione allegata al Progetto Definitivo denominato “Completamento della tangenziale di Vicenza 1° stralcio”, tra i comuni di Vicenza e Costabissara per una lunghezza di 5,3 km.

Nell’ambito dei lavori summenzionati, è stata eseguita n.1 prova sismica in foro tipo down-hole, n.2 prove sismiche di superficie con metodologia M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) e n.1 indagine sismica a rifrazione tomografica.

Le prove sismiche di superficie con metodologia M.A.S.W. sono state finalizzate al calcolo della velocità equivalente delle onde di taglio ($V_{s, 30}$) per definire la categoria sismica del suolo nei primi 30 metri di profondità dal piano campagna.

La provincia in cui ricade l’opera è Vicenza (VI).

Le indagini in oggetto sono state effettuate nel mese di aprile 2018.

2 INDAGINE DOWN-HOLE

2.1 DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA ED ELABORAZIONE DATI

Il metodo sismico in foro down-hole consente di determinare il tempo di propagazione delle onde elastiche di compressione e di taglio, P ed S , generate in superficie mediante l'uso di una massa battente, all'interno delle varie unità litologiche che si incontrano lungo una perforazione. In fase esecutiva, per il rilievo delle onde elastiche, si utilizza un sistema di ricezione costituito da geofoni opportunamente assemblati (geofono da pozzo), che viene fissato a profondità man mano crescenti contro le pareti di un perforo, opportunamente condizionato, mediante un sistema pneumatico (Fig. 2.1).

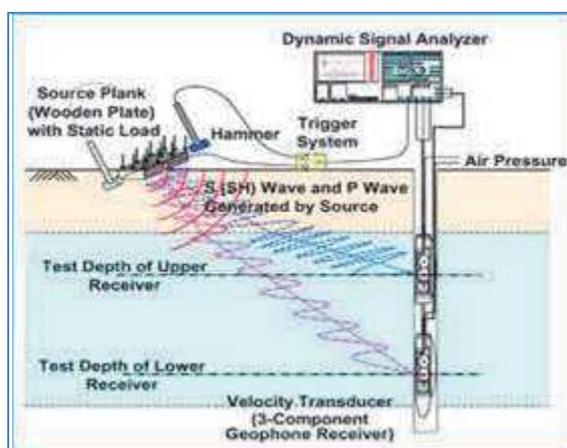


Fig. 2.1 – Schema di sistema di acquisizione per prove sismiche in foro tipo down-hole.

La rilevazione delle onde P e delle onde S , nota la profondità dell'apparato di misurazione, permette di determinare le relative velocità di propagazione e di calcolare i moduli elastici dinamici dei litotipi, assunti i valori dei pesi di volume che li caratterizzano.

A differenza della sismica a rifrazione, che misura i tempi di arrivo delle onde sismiche dopo che queste hanno subito fenomeni di rifrazione e/o di riflessione, il metodo down-hole, misurando il tempo di arrivo delle onde elastiche man mano che queste penetrano negli strati più profondi, ha il vantaggio di non avere come condizione necessaria l'aumento della velocità con la profondità; pertanto è sempre possibile valutare eventuali inversioni di velocità nel pacco di litotipi attraversati dall'indagine.

Se la sorgente energizzante è molto prossima all'asse del perforo e le superfici di discontinuità sono perpendicolari a tale asse, il raggio sismico che dalla sorgente si muove verso i geofoni, non subirà alcuna deviazione nell'attraversare le suddette discontinuità.

Se, invece, sia per motivi logistici sia per evitare che l'onda elastica si trasmetta lungo il materiale di condizionamento, la sorgente energizzante viene a trovarsi ad una certa distanza dall'asse del perforo, i tempi di arrivo delle onde devono essere corretti in modo da riportarli ai valori che si sarebbero riscontrati qualora il raggio avesse viaggiato secondo un tragitto verticale.

In fase di elaborazione, per una prima valutazione del grado di disomogeneità delle litologie lungo il profilo verticale, si usa determinare la “*velocità intervallo*”, ovvero la velocità con cui viaggerebbe il fronte d’onda lungo l’asse verticale tra due posizioni consecutive del ricevitore, intervallate da un determinato spessore, rappresentate mediante un diagramma del tipo *step plot*. Successivamente, si determina il profilo di velocità reale lungo la verticale per il pozzo, sia per le onde *P* che per le onde *S*, nell’ipotesi che il sottosuolo sia localmente stratificato. In tal modo, sono costruiti diagrammi “*tempi di arrivo corretti - profondità*” per procedere all’individuazione di *dromocrone*, laddove ciascuno dei segmenti individua un intervallo di profondità entro cui la velocità dell’onda sismica è costante.

Infine, dalla conoscenza dei valori di velocità di propagazione delle onde *P* ed *S*, in ogni strato, e noti i valori del peso di volume naturale, è possibile determinare i valori dei moduli elastici dinamici tra cui i principali sono il *modulo di Poisson* (ν), *modulo di Taglio* *G* ed il *modulo di Elasticità* o *modulo di Young* (*E*) ed il *modulo di Compressibilità* (*K*).

modulo di Poisson	$\nu = \frac{0.5 * (V_p/V_s)^2 - 1}{(V_p/V_s)^2 - 1}$	(1)
modulo di Taglio	$G = \gamma \cdot V_s^2$	(2)
modulo di Elasticità	$E = V_s^2 \cdot \gamma \frac{(3V_p^2 - 4V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)}$	(3)
modulo di Compressibilità	$K = \gamma \left(V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)$	(4)

Al termine della prova si è proceduto all'elaborazione dei dati avvalendosi dei seguenti software specialistici:

- IXSeg2Segy per la visualizzazione dei segnali acquisiti;
- GEOSTRU – Software down-hole per la lettura dei tempi di arrivo ed il calcolo delle velocità intervallo.

L'interpretazione della prospezione down-hole è avvenuta seguendo l'iter descritto:

- analisi dei segnali nel dominio delle frequenze e filtraggio del segnale stesso (se necessario);
- lettura dei tempi di arrivo delle onde P ed S per le singole registrazioni.

Per quanto concerne le registrazioni ottenute da energizzazione applicata in verticale, è stato determinato il primo arrivo in onde P come mostrato nella figura seguente (Fig. 2.2), in cui, si osserva distintamente il primo arrivo dell'onda di compressione.



Fig. 2.2 - Esempio di onda P e di lettura del primo tempo di arrivo.

Nelle registrazioni ottenute energizzando con percussione orizzontale, per ciascuna profondità d'indagine, sono state sovrapposte le misure conseguenti alla "battuta diretta o destra" (SH-A) e alla "battuta coniugata o inversa o sinistra" (SH-B).

Tale metodica ha consentito, tramite l'inversione di fase dell'onda SH, di identificare con maggiore facilità l'onda di taglio e di determinare, con maggior esattezza, il tempo di arrivo (Fig. 2.3).

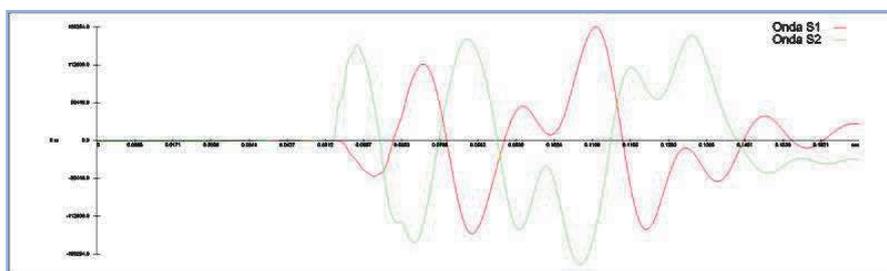


Fig. 2.3 - Esempio di onda S e dell'inversione di fase necessaria per l'individuazione del tempo di arrivo dell'onda di taglio (onda S).

Inoltre, le suddette battute sono state tra loro sottratte in modo da esaltare l'onda di taglio. Con tale metodica le onde di compressione, provocate durante l'energizzazione, con la differenza "battuta diretta-

battuta coniugata”, si riducono in ampiezza laddove le onde SH (che invertono in polarità a seconda della direzione di battuta) tenderanno, invece, a sommarsi aumentando così d’ampiezza. In definitiva, le metodologie descritte, hanno consentito di individuare più agevolmente il tempo di arrivo delle onde S.

2.2 DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Di seguito sono riportate le specifiche della strumentazione utilizzata per la prova down-hole:

- Geofono da pozzo modello “3D Twin Borehole Geophone” della **AMBROGEO**, costituito da una coppia di sensori tridimensionali, distanziati tra loro 1 metro, ciascuno dei quali è composto da una terna di trasduttori di velocità (geofoni) da 10 Hz, orientati secondo una terna cartesiana ortonormale, di cui n.1 sensore verticale (per la rilevazione delle onde P) e n.2 orizzontali (per la rilevazione delle onde SH), questi ultimi due disposti a 90° l’uno con l’altro.
- Trigger, costituito da un dispositivo, collegato al sistema di acquisizione, che permette di avviare la registrazione del segnale sismico acquisito dai geofoni nell’istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica. Il sistema di “innesco” è stato realizzato mediante un geofono di superficie posizionato in prossimità della sorgente e attivato dall’impatto, nell’istante in cui la massa battente colpisce la sorgente.
- Sistema di energizzazione, costituito da una sorgente impattiva. Per la generazione delle onde di compressione è stato utilizzato un martello da 10 kg e un piattello metallico posto al suolo, mentre per la generazione delle onde di taglio è stata utilizzata una trave di legno, sollecitata alle due estremità dalla massa battente (martello), resa solidale con il terreno mediante un carico verticale. Tale sistema è in grado di produrre onde di taglio polarizzate nel piano orizzontale.

I segnali sismici, sono stati acquisiti mediante un sismografo **MAE X610S** a 24 bits, di cui sono riportate le caratteristiche principali:

- Convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta
- Range dinamico: 144 dB (teorico)
- Distorsione massima: +/-0.0010%
- Banda passante: 2Hz-30KHz
- Common mode rejection: 110 dB a 60 Hz
- Diafonia: -120dB a 20 Hz
- Soglia di rumore dell'amplificatore programmabile: 27nV
- Precisione del trigger: 1/30 del tempo di campionatura
- Guadagno di preamplificazione: 24 e 36 dB
- Delay: da 0 a 100 sec ad intervalli di 1 campione a passo
- Tipo di guadagno: Automatico (AGC)
- Range massimo segnale in ingresso: +/-5V
- Impedenza di ingresso a 1000 campioni /secondo 20Mohm
- Livelli di amplificazione: 0 dB, 6 dB, 12 dB, 18 dB, 24 dB, 30 dB, 36 dB impostabili singolarmente per ogni canale o per gruppi di canali liberamente organizzabili
- Filtro anti-alias: -3dB,80% della frequenza di Nyquist,-80dB
- Intervalli di campionamento: 1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms
- Numero di campioni per evento: impostabile da 1024 a 21800 con incrementi di 512
- Interfacce disponibili: LAN, USB, VGA
- Canali: configurazioni da 24, 48 o 72. Possibilità di utilizzare da 1 al numero massimo di canali installati per ogni acquisizione
- Auto-calibrazione interna dei convertitori prima di ogni acquisizione
- Filtri digitali: selezionati automaticamente in base alla frequenza di campionatura
- Test geofoni: verifica automatica per individuare interruzioni dei cavi oppure geofoni rotti o in corto.

2.3 DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE

La prospezione in oggetto, denominata **S1-DH**, è stata compiuta presso il perforo **S1**, acquisendo, sino alla profondità di 20 m dal piano campagna, i segnali relativi ad onde elastiche, mediante un sistema di rilevamento composto da 2 triplete di geofoni, distanziate di 1 metro, ognuna equipaggiata con un geofono a componente verticale (per la rilevazione delle onde *P*) e 2 geofoni a componente orizzontale (per la rilevazione delle onde *S*). Questi ultimi risultano disposti, all'interno del dispositivo, in maniera da formare un angolo di 90°. Tale disposizione, consente l'acquisizione e, successivamente, la corretta determinazione delle onde *S*, a prescindere dall'orientamento nel foro del sistema di rilevamento rispetto al punto di battuta.

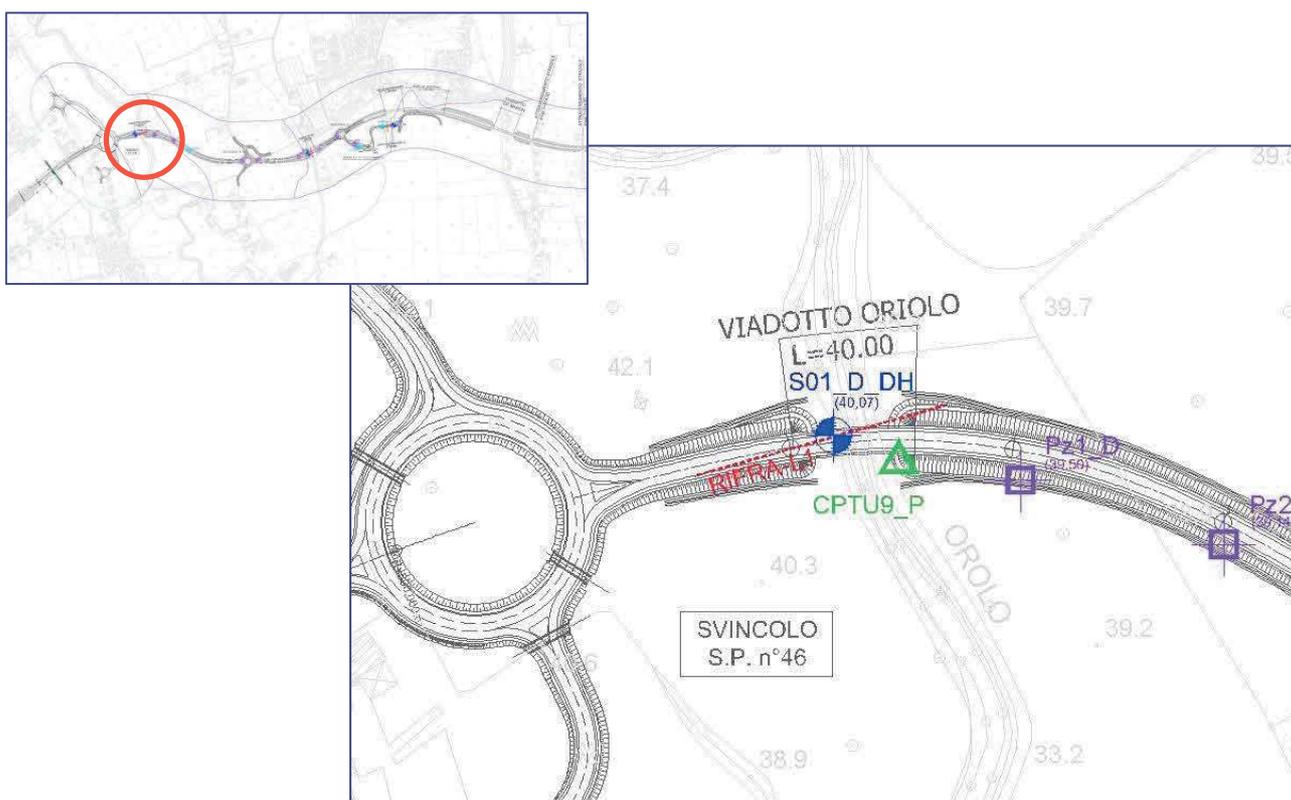
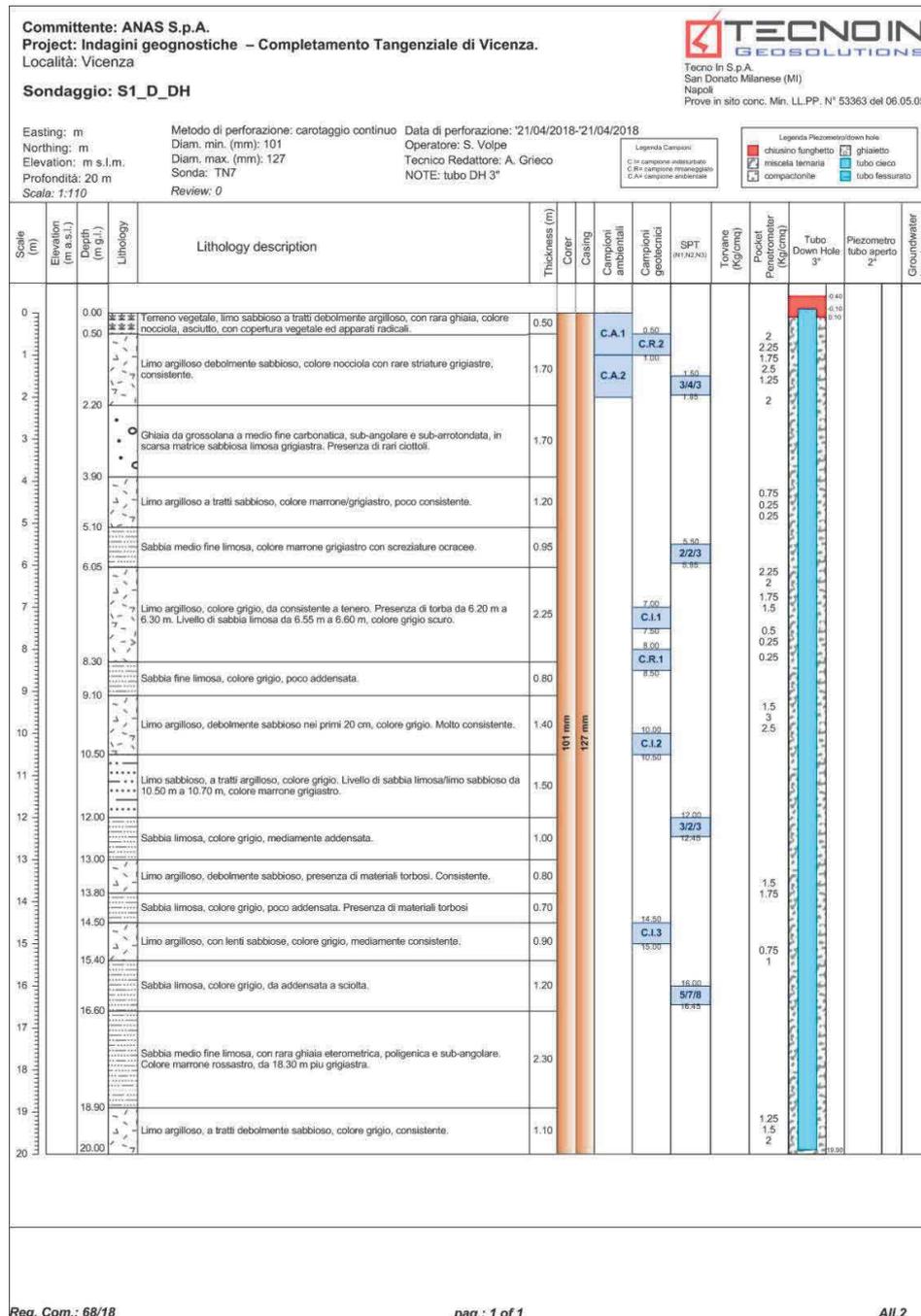


Fig. 2.4 – Vicenza. Ubicazione indagine down-hole S1-DH.

Di seguito, si riporta la stratigrafia del perforo S1-D-DH all'interno del quale è stata eseguita la prospezione.



Reg. Com.: 68/18

pag: 1 of 1

All.2

Fig. 2.5 – Vicenza (VI). Stratigrafia del sondaggio S1_D_DH.



Fig. 2.6 - Vicenza (VI) . Indagine down-hole. Fase di acquisizione dati.



Fig. 2.7 - Vicenza (VI). Indagine down-hole. Fase di energizzazione.

2.4 RISULTANZE DELL'INDAGINE DOWN-HOLE

Per la prova in oggetto, sono stati visualizzati i singoli sismogrammi per la determinazione dei tempi di arrivo delle onde "P" ed "SH" (picking) e, al termine del processo di lettura, nota la profondità dei sensori, sono state calcolate le velocità di propagazione delle onde elastiche, per ogni intervallo di profondità.

Si è, quindi, proceduto all'elaborazione dei dati secondo il duplice criterio descritto nei paragrafi precedenti, ossia adottando il metodo diretto ed il metodo intervallo, riportando, nel primo caso, i diagrammi "tempi di arrivo verticale (o corretti) – profondità" ovvero le dromocrone, in cui i valori di velocità "media" sono stati determinati in base al coefficiente angolare dei singoli tratti "congruenti" di dromocrona.

Secondo il metodo intervallo, è stata stimata la velocità intervallo delle onde sismiche, riportando in grafico il diagramma "velocità intervallo – profondità".

Di seguito, oltre ai citati diagrammi, si riportano le tabelle numeriche riepilogative contenenti: 1) i valori dei tempi letti e corretti misurati; 2) le velocità calcolate, per ciascun intervallo di profondità, sia delle onde P che delle onde S; 3) la profondità, la distanza e le altre caratteristiche geometriche del sistema di ricezione.

La prospezione down-hole in oggetto è stata eseguita sino a 20 metri di profondità dal piano campagna.

I siti di energizzazione sono stati posizionati a 2.0 metri dal perforo e i segnali sismici sono stati acquisiti posizionando il geofono da pozzo a passi di un metro e vincolando lo stesso alle pareti del perforo mediante espansione di un sistema di pistoni.

Nelle figure seguenti, si riportano le tracce sismiche delle onde P ed S registrate alle diverse quote stazione.

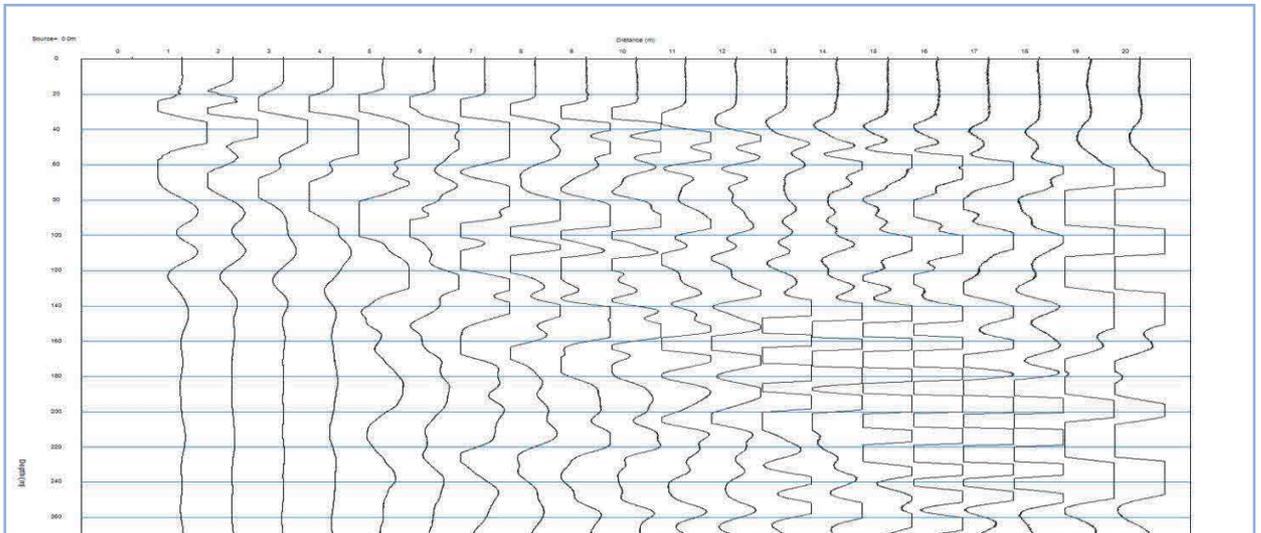


Fig. 2.8 - Sismogramma onde P

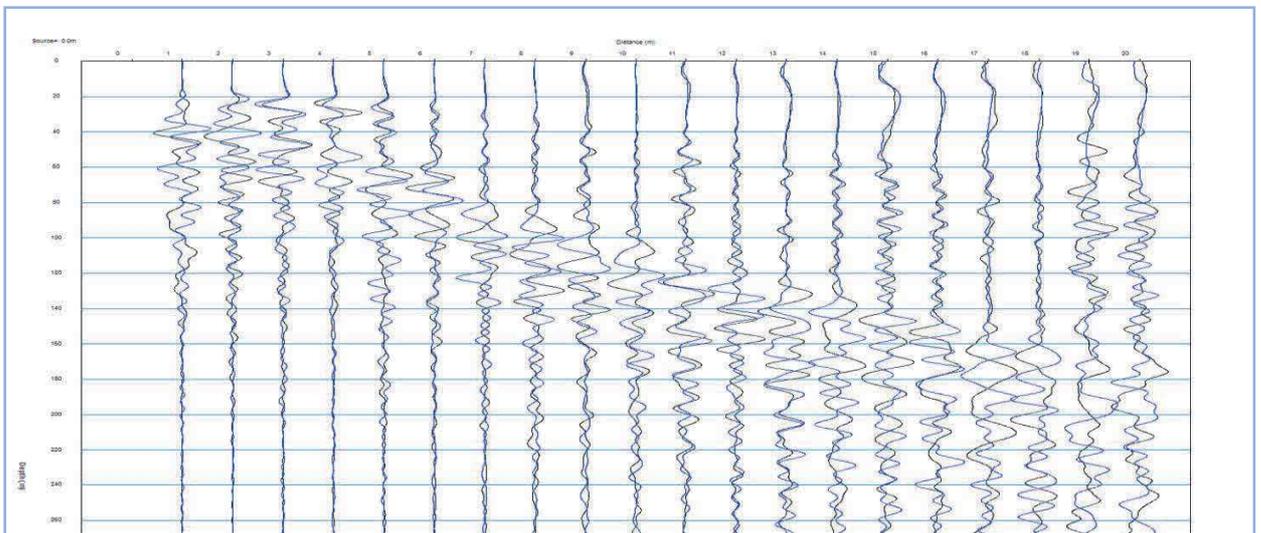


Fig. 2.9 - Sismogramma onde SHA ed SHB

Come riportato in precedenza, l'analisi dei singoli sismogrammi ha consentito di determinare i tempi di arrivo delle onde P ed S (Fig. 2.10).

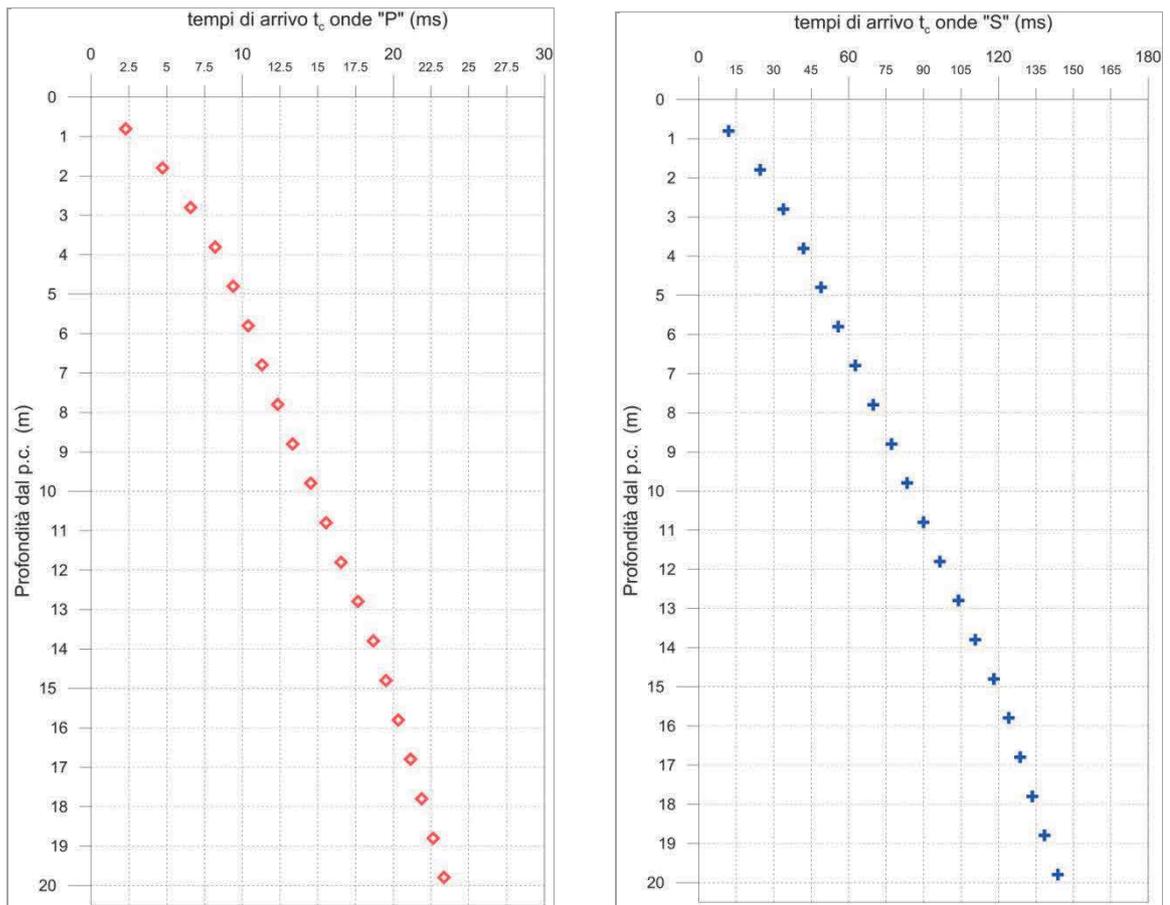


Fig. 2.10 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

Al termine del processo di elaborazione, noti i tempi di arrivo delle onde elastiche ed il posizionamento del geofono da pozzo, sono state calcolate le velocità di propagazione delle onde *P* ed *S*, per ogni metro di profondità, come riportato nelle immagini seguenti (Fig. 2.11).

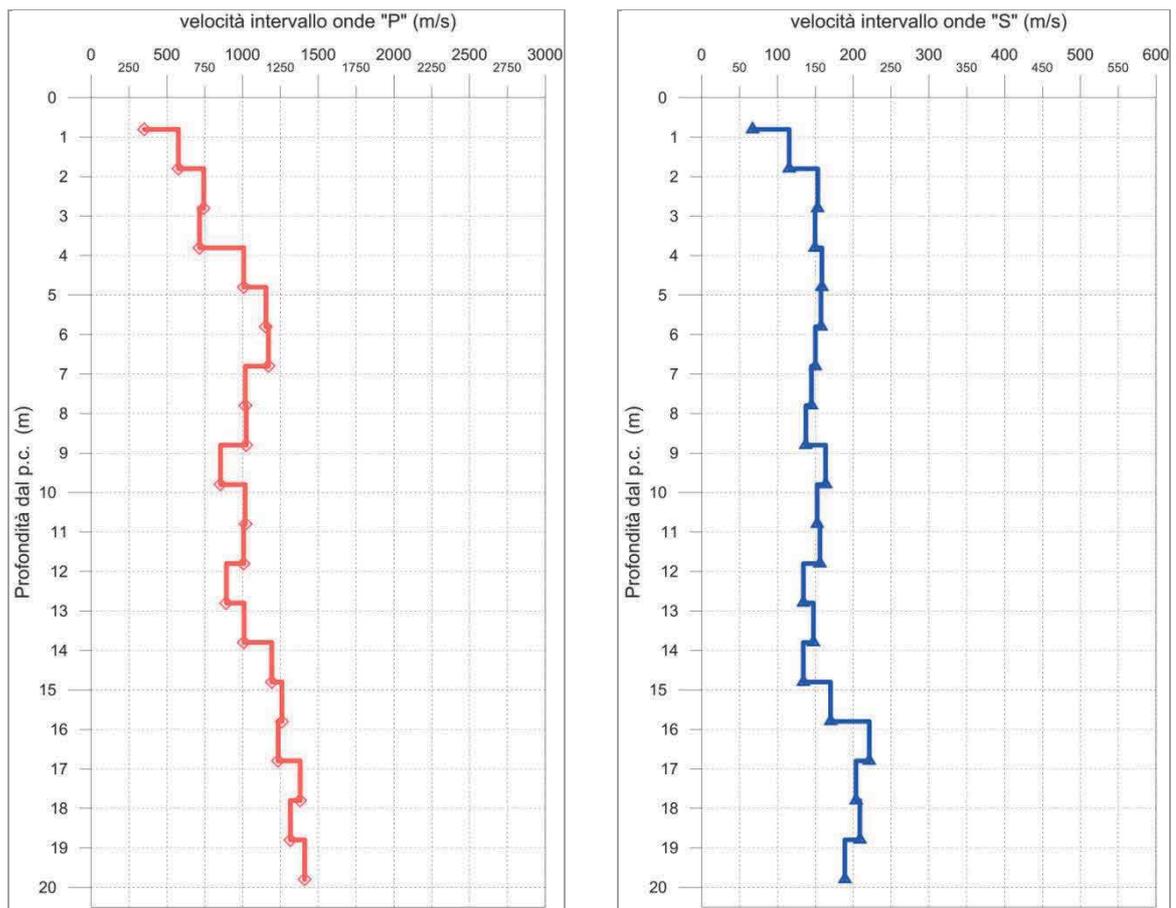


Fig. 2.11 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

Inserendo i valori di velocità di propagazione delle onde elastiche nelle formule (1) (2), (3) e (4), sono stati determinati i valori dei moduli elastici ovvero del coefficiente di Poisson (ν) e dei parametri elastici G, E, K (Tab. 2.1).

Profondità (m dal p.c.)	tempi osservati t_0 "P" (ms)	tempi osservati t_0 "S" (ms)	tempi corretti t_c "P" (ms)	tempi corretti t_c "S" (ms)	velocità intervallo V_p (m/s)	velocità intervallo V_s (m/s)	V_p/V_s	Poisson (ν)	γ_n gamma NATURALE	G Mpa	E Mpa	K Mpa
0.8	6.14	32.15	2.28	11.94	351	67	5.2	0.48	1.80	8	24	211
1.8	7.07	36.80	4.73	24.62	577	115	5.0	0.48	1.90	25	75	599
2.8	8.08	41.70	6.57	33.93	743	153	4.9	0.48	1.90	45	132	989
3.8	9.27	47.40	8.20	41.95	716	150	4.8	0.48	1.70	38	113	821
4.8	10.17	53.11	9.39	49.02	1008	159	6.4	0.49	1.70	43	127	1671
5.8	10.98	59.05	10.38	55.82	1154	157	7.3	0.49	1.70	42	126	2210
6.8	11.79	65.40	11.31	62.74	1171	150	7.8	0.49	1.72	39	116	2309
7.8	12.74	72.06	12.34	69.80	1019	145	7.0	0.49	1.75	37	109	1767
8.8	13.69	79.12	13.35	77.16	1023	138	7.4	0.49	1.79	34	101	1829
9.8	14.83	85.10	14.53	83.38	855	164	5.2	0.48	1.80	48	143	1251
10.8	15.80	91.54	15.53	90.01	1018	152	6.7	0.49	1.85	43	128	1861
11.8	16.78	97.85	16.54	96.47	1007	156	6.5	0.49	1.85	45	134	1816
12.8	17.88	105.20	17.67	103.94	893	134	6.7	0.49	1.90	34	102	1470
13.8	18.86	111.90	18.66	110.74	1009	148	6.8	0.49	1.95	42	127	1930
14.8	19.69	119.28	19.51	118.21	1194	134	8.9	0.49	2.00	36	107	2801
15.8	20.48	125.11	20.31	124.12	1260	170	7.4	0.49	1.90	55	164	2945
16.8	21.28	129.60	21.13	128.69	1235	221	5.6	0.48	1.80	88	261	2629
17.8	22.00	134.47	21.86	133.63	1381	204	6.8	0.49	1.80	75	223	3331
18.8	22.75	139.24	22.63	138.45	1316	209	6.3	0.49	1.70	74	221	2846
19.8	23.46	144.50	23.34	143.77	1410	189	7.5	0.49	1.70	61	181	3301

Tab. 2.1 – Vicenza (VI). Indagine down-hole S1-DH. Riepilogo dei tempi di arrivo delle onde P ed S, dei valori delle velocità intervallo delle onde P ed S e dei moduli dinamici¹.

¹ I valore dei pesi di volume (o gamma naturale), è stato attribuito in base a prove di laboratorio.

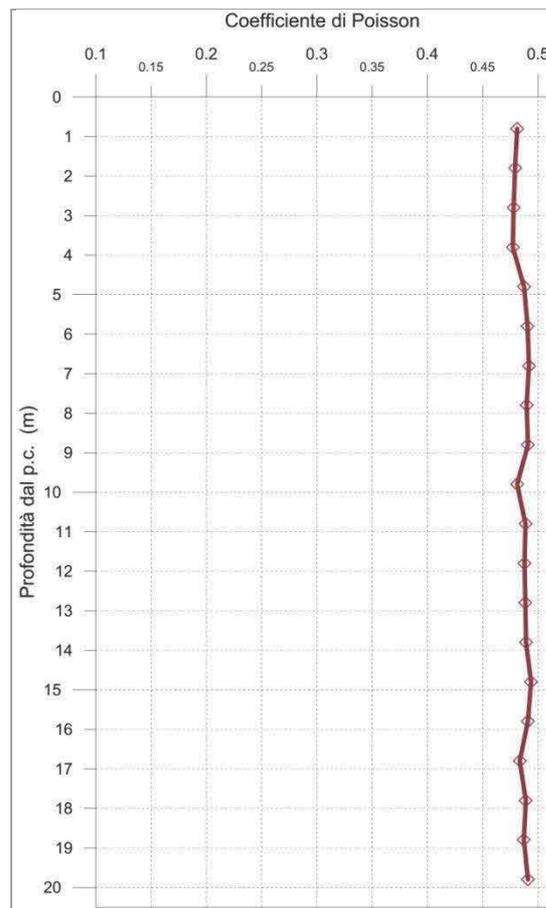


Fig. 2.12 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c.

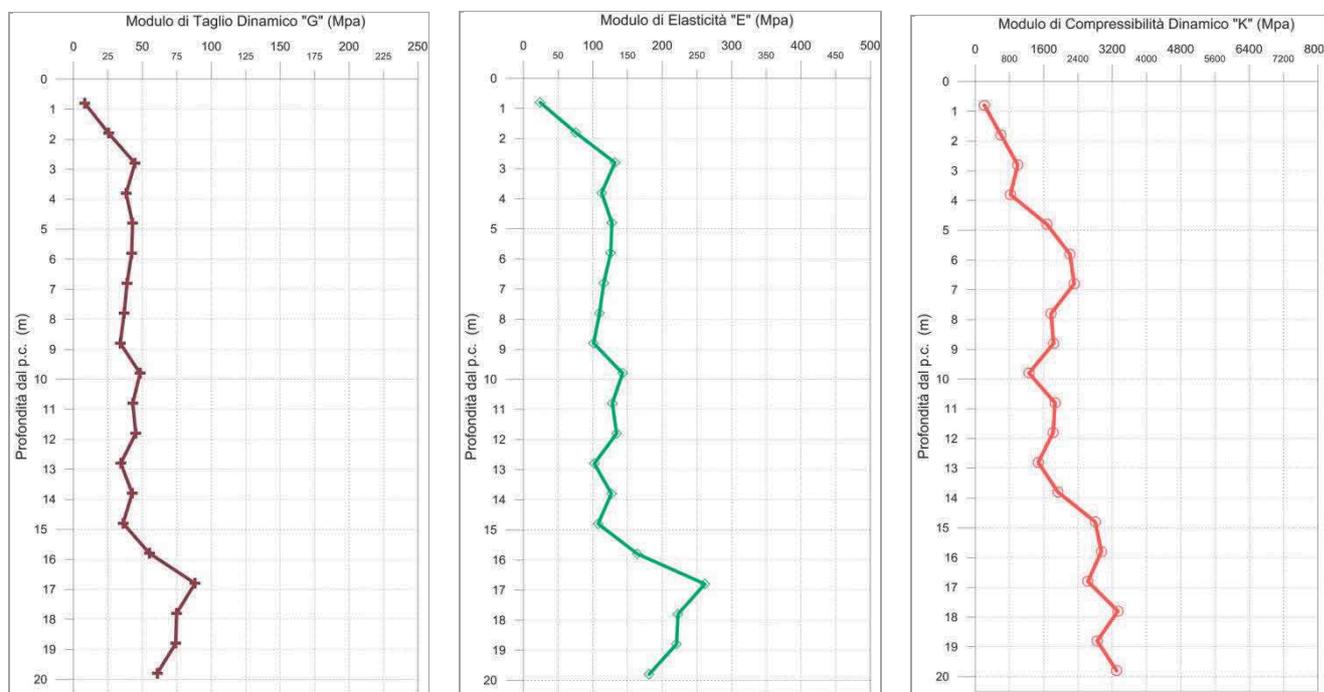


Fig. 2.13 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c. Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione della profondità dal p.c.

L'elaborazione della prospezione down-hole ha permesso di suddividere il sottosuolo in n.3 sismostrati aventi le seguenti caratteristiche (Tab. 2.2):

Sismostrato	Profondità dal p.c. (m)		V _P m/s	V _S m/s
	da	a		
1°	0.0	2.1	358	69
2°	2.1	15.1	936	146
3°	15.1	20.0	1.317	197

Tab. 2.2 – Vicenza (VI). Indagine down-hole S1-DH. Suddivisione del sottosuolo in sismostrati.

3 INDAGINE M.A.S.W.

3.1 DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA ED ELABORAZIONE DATI

La tecnica MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*), rappresenta una tipologia d'indagine sismica non invasiva che consente di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali, fatta in corrispondenza di uno stendimento di sensori multipli (geofoni), disposti sulla superficie libera del terreno. Quando si energizza in un punto della sua superficie libera del terreno, si generano diversi tipi di onde. Se la sorgente è perpendicolare alla superficie, hanno origine onde appartenenti al piano verticale: onde P, onde SV, onde Rayleigh, onde rifratte. Se la sorgente è parallela alla superficie libera, si generano onde appartenenti al piano orizzontale: onde SH, onde di Love.

Nel metodo MASW di seguito descritto, si usano le onde di superficiali di Rayleigh e si trascurano gli effetti dovuti alle onde di volume, alle riflesse o alle rifratte. Sebbene una sorgente puntiforme verticale generi anche onde P ed S, oltre alle onde superficiali, intervengono due aspetti che rendono il contributo di dette onde prevalente sul contributo delle onde di volume. 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 un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P e SV, perché esse si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, mentre le onde P e SV si propagano secondo fronti d'onda sferici.

In sintesi, il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato, le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo ovvero la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza, con lunghezza d'onda corta, si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, mentre onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo. Il metodo d'indagine MASW, descritto nella presente nota, è del tipo attivo ovvero le onde superficiali sono indotte o generate artificialmente mediante l'impatto di un grave sulla superficie del suolo e misurate ad uno stendimento lineare di sensori.

Uno tipico schema di acquisizione di indagine MASW è mostrato in Fig. 3.1.

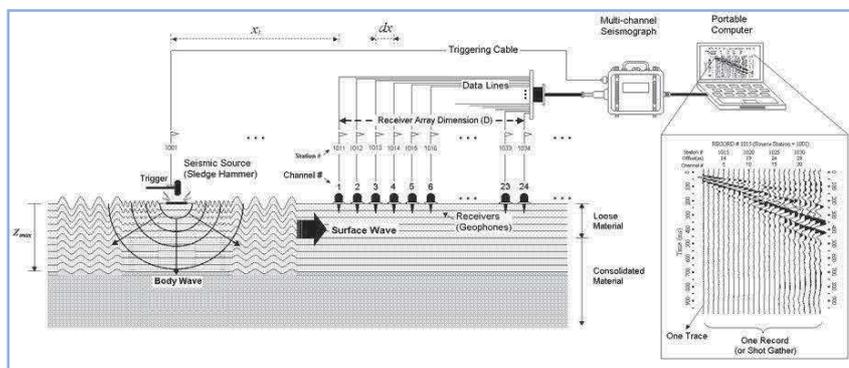


Fig. 3.1 - Esempio configurazione sorgente-ricevitori per l'esecuzione di un rilievo MASW.

Questo consente di ottenere uno spettro delle velocità di fase (ovvero una curva di dispersione) sperimentale apparente, generalmente nel range di frequenze compreso tra 4.5÷100 Hz; il metodo, pertanto, permette di ottenere informazioni indirette sulla parte del sottosuolo compresa (di norma) entro i primi 30÷50 metri circa dal piano campagna, in funzione della rigidità o rigidità sismica dei litotipi costituenti il sottosuolo e della lunghezza dell'allineamento di sensori.

Il processo che viene usato per produrre profili di velocità delle onde S a partire dalle onde di Rayleigh, con la tecnica MASW, richiede tre passi descritti di seguito:

1. Dopo aver visionato i files d'interesse ed impostate le caratteristiche geometriche del profilo, in primo luogo viene calcolata la velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale, mediante un processo di elaborazione che consente di estrarre la suddetta curva dallo spettro nel dominio frequenza-numero d'onda applicando una doppia trasformata di Fourier al campo di moto misurato originariamente nel dominio spazio-tempo.
2. Successivamente, viene calcolata la velocità di fase (o curva di dispersione) apparente numerica mediante modellazione del sottosuolo in termini di velocità delle onde P ed S, intervallo dei valori del coefficiente di Poisson e densità dei terreni.
3. La terza fase consiste, infine, nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore degli orizzonti litologici e la densità fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase sperimentale e quella numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

L'analisi multicanale delle onde di superficie può essere applicata in due differenti modi: attiva o passiva. La differenza tra le due tecniche, oltre al fatto che nella passiva non si prevedono energizzazioni artificiali, è essenzialmente legata alla possibilità di avere sorgenti naturali che possono fornire l'energia sufficiente per ottenere curve di dispersioni di buona qualità. Il sistema di indagine attiva consiste nell'usare una sorgente sismica ed una serie di ricevitori posti su una linea retta.

Dopo aver determinato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_S , si procede al calcolo della velocità equivalente nei primi 30 metri di profondità ($V_{S,30}$) ed all'individuazione della categoria sismica del suolo.

L'algoritmo di inversione della curva di dispersione del modo fondamentale delle onde di Rayleigh, utilizzato per i dati acquisiti, è quello proposto da Xia et al., 1999, caratterizzato da un metodo iterativo basato sul gradiente. Tale metodo utilizza un modello di sottosuolo iniziale stratificato, caratterizzato dai seguenti parametri: velocità delle onde S (V_S), velocità delle onde P (V_P), densità (ρ), spessore (h) e coefficiente di Poisson (Fig. 3.2). Con questa serie di parametri, l'algoritmo di inversione cerca una soluzione in modo iterativo. Il modello iniziale di velocità delle onde S (V_S) è approssimato dalla misura della curva di dispersione mentre il modello iniziale di velocità delle onde P (V_P) è individuato utilizzando V_S e il coefficiente di Poisson.

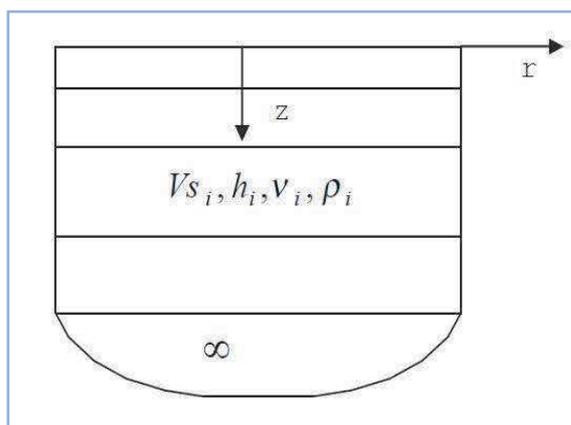


Fig. 3.2 - Modello di semispazio semplificato.

Viene poi definita una funzione obiettivo ed una matrice di pesi e, successivamente, minimizzata la funzione obiettivo con il metodo di Levenberg – Marquardt (Levenberg, 1944; Marquardt, 1963).

Si individua così il nuovo valore di V_S (Xia et al., 1999).

L'inversione della curva di dispersione permette di ricavare un profilo di velocità delle onde S, che è posizionato in corrispondenza della metà della stesa dei geofoni.

L'elaborazione dei dati è avvenuta avvalendosi dei seguenti software specialistici:

- IXSeg2Segy software per la visualizzazione dei segnali acquisiti;
- SURFSEIS 3.0 sviluppato dal Kansas Geological Survey – University of Kansas.

Mediante i programmi descritti, è stato possibile ottenere il profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo e, di conseguenza, calcolare la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,30}$ e definire la categoria sismica del suolo.

3.2 DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Di seguito sono riportate le specifiche della strumentazione utilizzata per la prova MASW:

- Geofoni, 24 velocimetri a componente verticale, con frequenza pari a 4,5 Hz della **OYO GEOSPACE**.
- Trigger, costituito da un dispositivo, collegato al sistema di acquisizione, che permette di avviare la registrazione del segnale sismico acquisito dai geofoni nell'istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica. Il sistema di "innesco" è stato realizzato mediante un geofono di superficie posizionato in prossimità della sorgente e attivato dall'impatto, nell'istante in cui la massa battente colpisce la sorgente.
- Sistema di energizzazione, costituito da una sorgente impattiva. Per la generazione delle onde di compressione è stato utilizzato un martello da 10 kg e un piattello metallico posto al suolo.

I segnali sismici, sono stati acquisiti mediante un sismografo **MAE X610S** a 24 bits, le cui caratteristiche sono state riportate in precedenza.

3.3 DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE

Per l'esecuzione del profilo MASW sono posizionati i geofoni sul terreno. Essi sono collegati con appositi morsetti al cavo multipolare che viene connesso al sismografo. Ultimata l'installazione sono effettuati alcuni tiri di prova per tarare i parametri di acquisizione del sismografo stesso.

Effettuate le operazioni di verifica e taratura della strumentazione, si procede all'acquisizione dei segnali su ciascun punto prestabilito, esternamente al profilo stesso, ed alla memorizzazione dei dati sia sulla memoria di massa del sismografo sia sul pen drive.

3.4 RISULTANZE DELL'INDAGINE MASW

Ognuno dei due profili MASW ha lunghezza pari a 46 metri, ottenuto mediante l'utilizzo di 24 geofoni equispaziati di 2 metri.

I segnali sono stati acquisiti con un campionamento pari a 2.000 c/s operando con differenti setup.

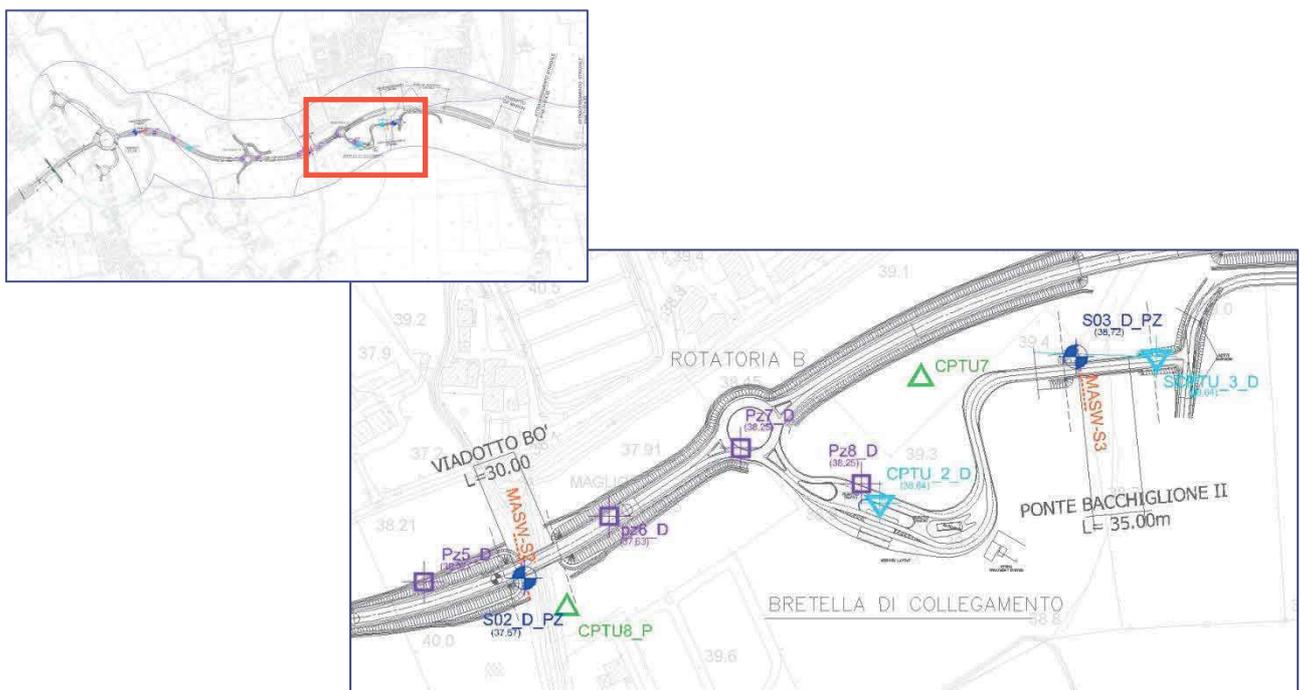


Fig. 3.3 – Vicenza. Ubicazione indagine down-hole S1-DH.

Di seguito, si riportano le stratigrafie dei sondaggi S2_D_PZ ed S3_D_PZ in prossimità dei quali sono state eseguite le prove sismiche di superficie MASW.

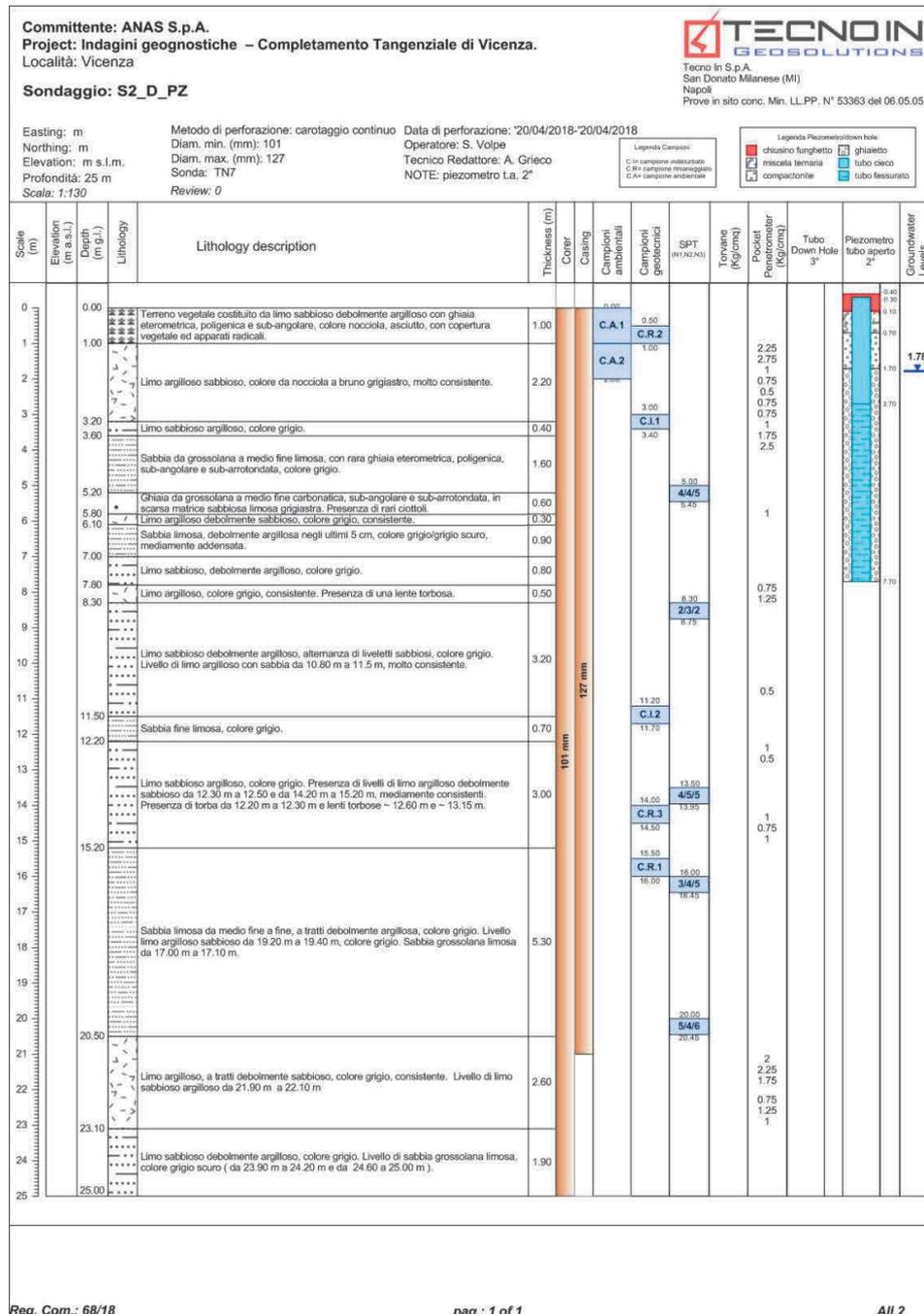


Fig. 3.4 – Vicenza (VI). Stratigrafia del sondaggio S2_D_PZ.

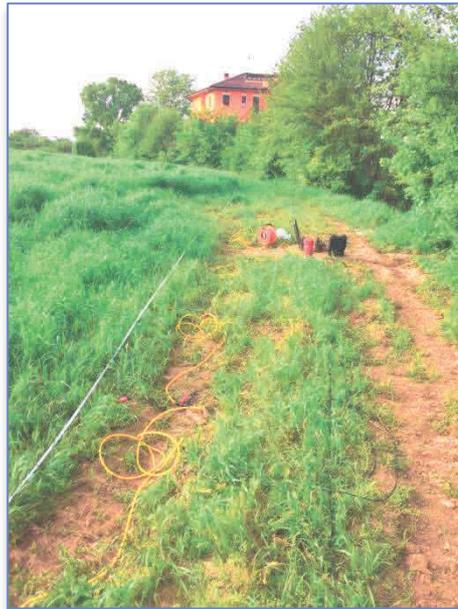


Fig. 3.6 - Vicenza (VI) . Indagine MASW-2. Fase di acquisizione dati.

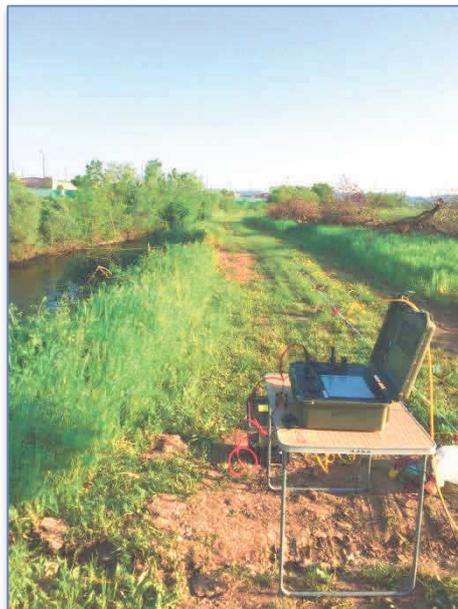


Fig. 3.7 - Vicenza (VI) . Indagine MASW-3. Fase di acquisizione dati.

Di seguito, sono riportate le risultanze delle prospezioni sismiche MASW, riepilogate tramite i seguenti elaborati prodotti per ciascuno dei due profili:

- Sismogramma originale, in cui sono riportate le tracce registrate sull'intero array di geofoni costituenti lo stendimento.
- Diagramma della trasformata bidimensionale del campo d'onda (nel sistema velocità di fase - frequenza f-k) con i massimi spettrali evidenziati.
- Diagramma di confronto tra la curva di dispersione stimata e quella sintetica generata a partire dal modello finale di V_s .
- Profilo verticale dell'andamento della velocità delle onde S, in funzione della profondità, e confronto tra il profilo V_s di primo tentativo con quello finale, risultante del processo di inversione dei dati.
- Tabella con i parametri calcolati (V_s , V_p , profondità e spessore dei sismostrati, modulo di Poisson e densità).

Infine, a seguito del processo di elaborazione esposto nei paragrafi precedenti, è stato ricavato il valore di velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$ atto a definire la categoria sismica del suolo.

3.4.1 MASW 2

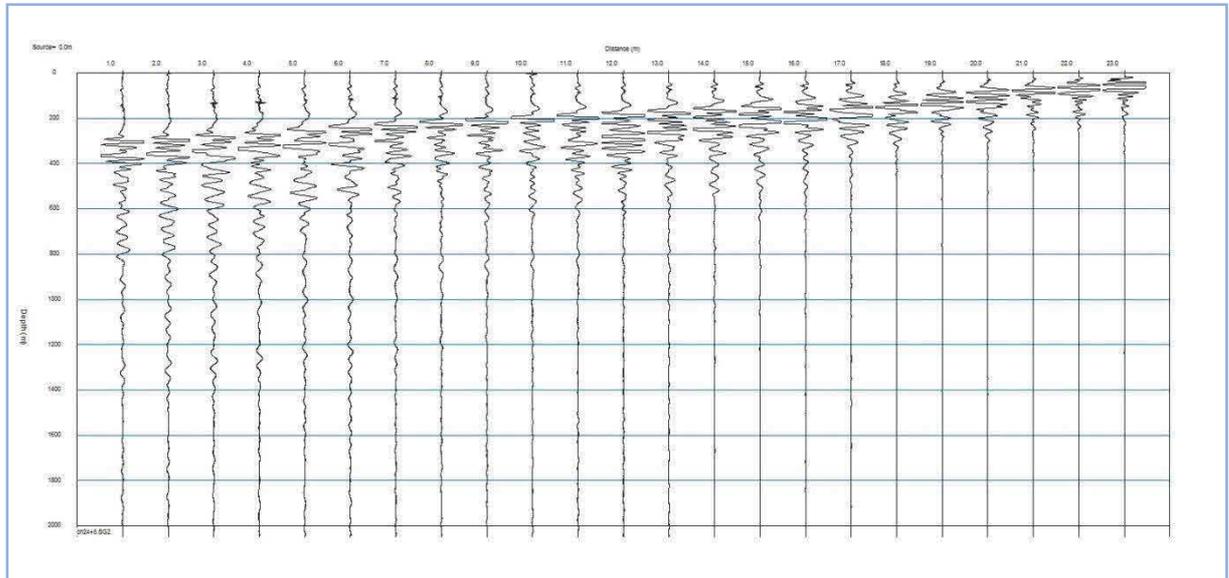


Fig. 3.8 - Indagine MASW 2. Sismogramma relativo alla prova.

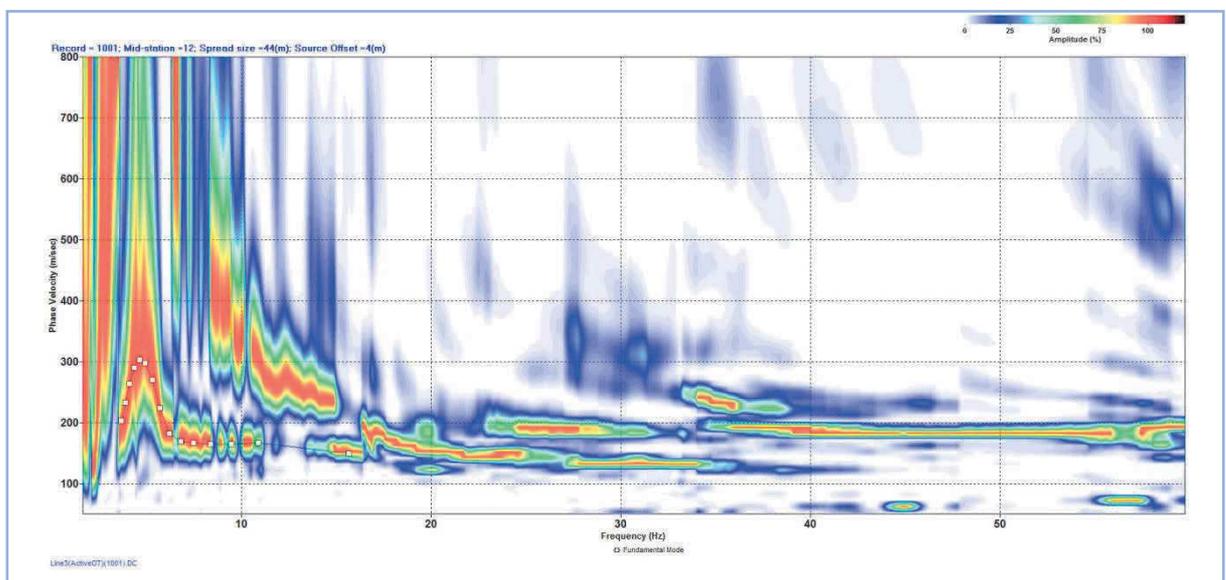


Fig. 3.9 - Indagine MASW 2. Curva di dispersione con evidenza del picking dei massimi spettrali.

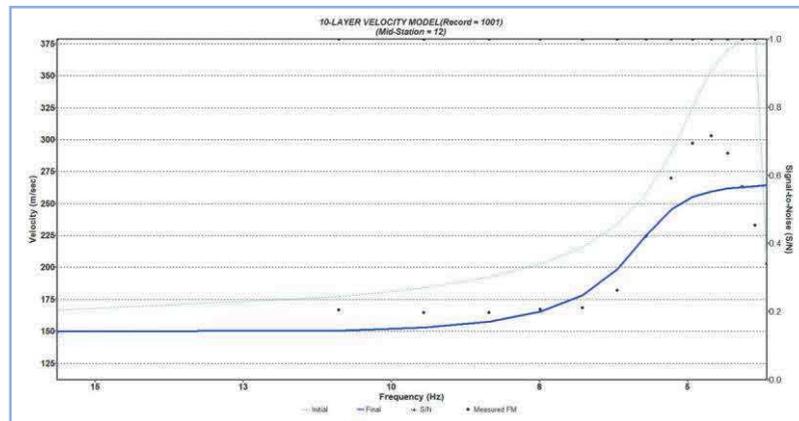


Fig. 3.10 - Indagine MASW 2. Confronto tra la curva di dispersione stimata e quella sintetica generata dal modello finale di V_s .

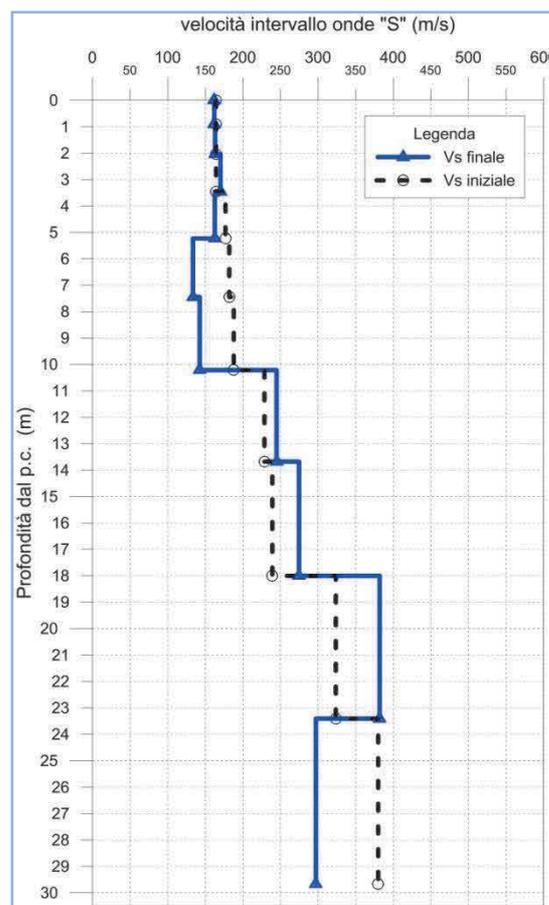


Fig. 3.11 - Indagine MASW 2. Profilo verticale della velocità delle onde S, in funzione della profondità, e confronto tra il profilo V_s iniziale con quello finale.

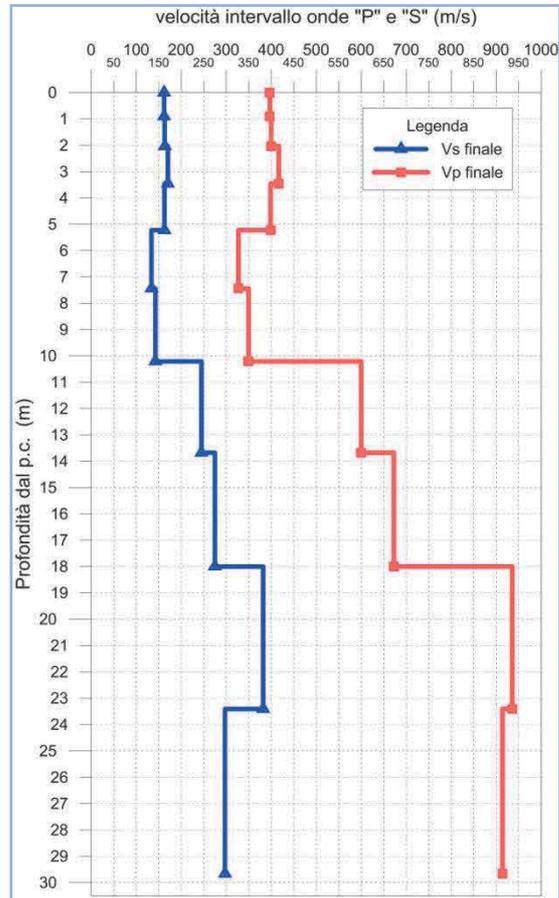


Fig. 3.12 - Indagine MASW 2. Profilo verticale della velocità delle onde S finale e profilo delle onde P finale, in funzione della profondità..

Numero di Strati	Profondità (m dal p.c)	Vs iniziale (m/s)	Vp iniziale (m/s)	Spessore (h)	Vp/Vs iniziale	Poisson
1	0.9	164	402	0.9	2.4	0.4
2	2.0	164	402	1.1	2.4	0.4
3	3.5	164	403	1.4	2.4	0.4
4	5.2	177	433	1.8	2.4	0.4
5	7.4	182	445	2.2	2.4	0.4
6	10.2	188	460	2.8	2.4	0.4
7	13.7	229	560	3.5	2.4	0.4
8	18.0	239	586	4.3	2.4	0.4
9	23.4	324	793	5.4	2.4	0.4
10	29.7	380	1169	6.3	3.1	0.4

Tab. 3.1 - Indagine MASW-2. Riepilogo dei parametri assunti a priori.

Numero di Strati	Profondità (m dal p.c)	Vs finale (m/s)	Vp finale (m/s)	Spessore (h)	Densità
1	0.9	162	397	0.9	1.6
2	2.0	163	399	1.1	1.6
3	3.5	170	417	1.4	1.7
4	5.2	163	398	1.8	1.7
5	7.4	134	327	2.2	1.8
6	10.2	143	349	2.8	1.8
7	13.7	245	600	3.5	1.9
8	18.0	275	673	4.3	1.9
9	23.4	382	935	5.4	2.0
10	29.7	297	914	6.3	2.0

Tab. 3.2 – Indagine MASW 2. Riepilogo dei parametri calcolati.

3.4.2 MASW 3

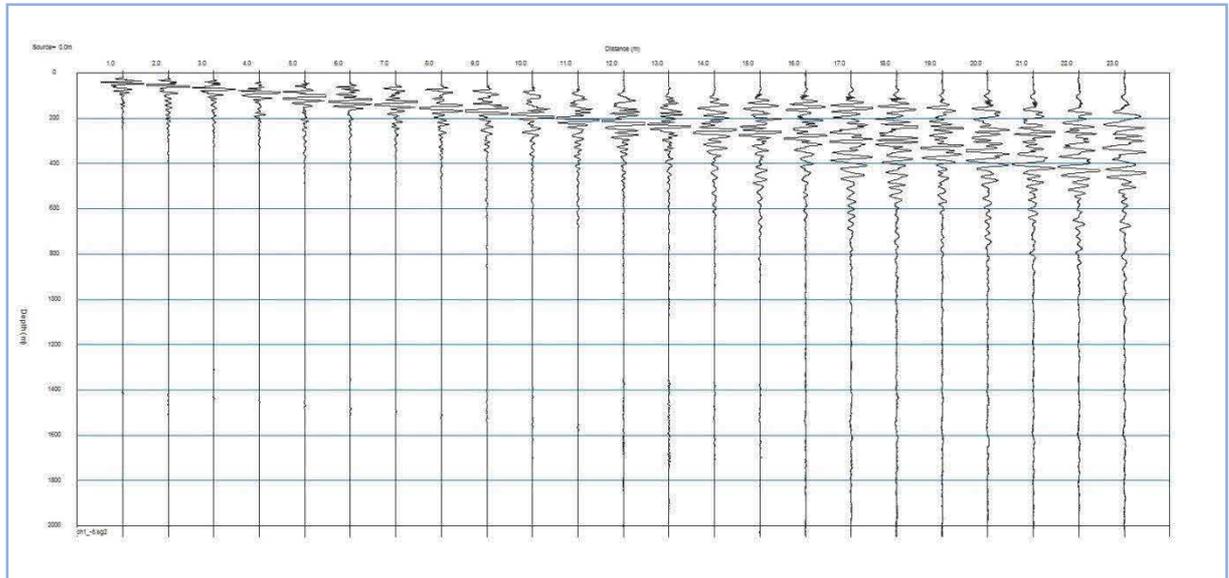


Fig. 3.13 - Indagine MASW 3. Sismogramma relativo alla prova.

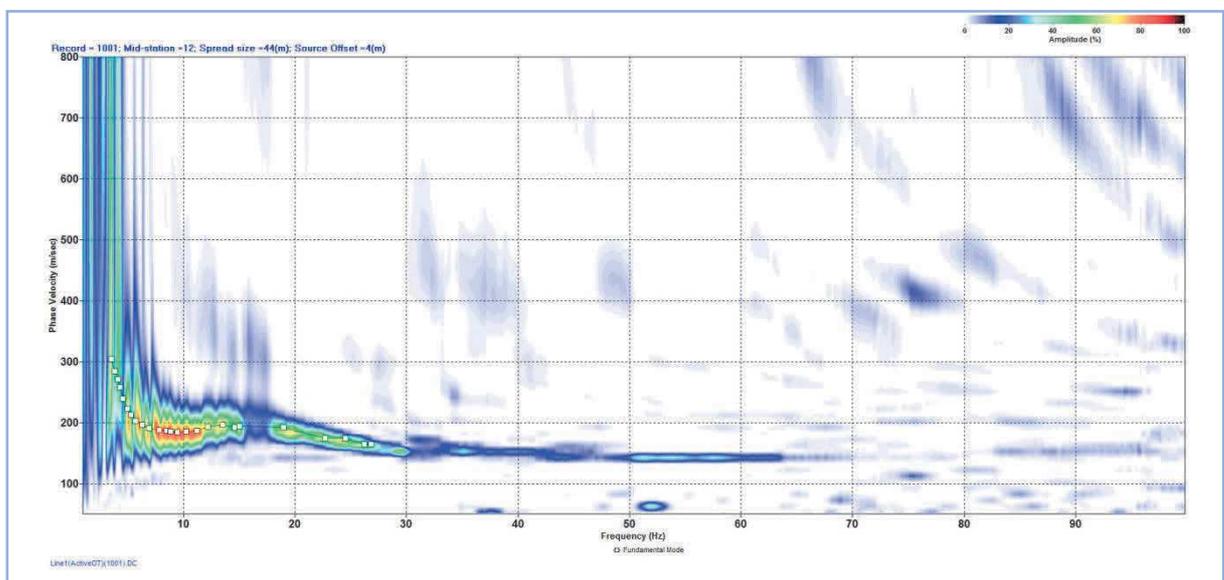


Fig. 3.14 - Indagine MASW 3. Curva di dispersione con evidenza del picking dei massimi spettrali.

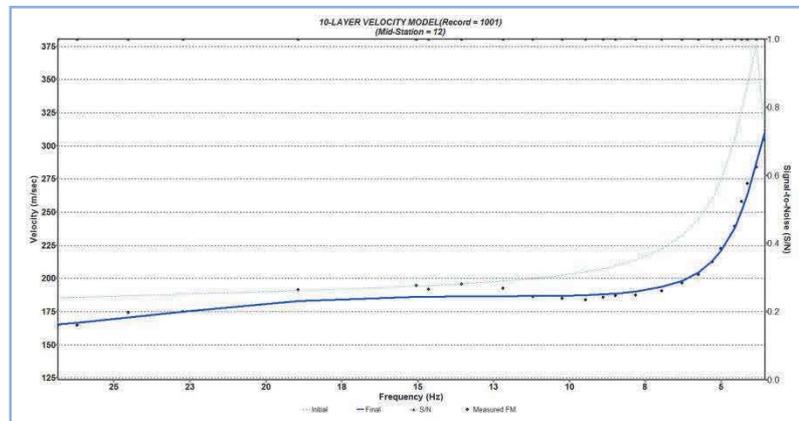


Fig. 3.15 - Indagine MASW 3. Confronto tra la curva di dispersione stimata e quella sintetica generata dal modello finale di V_s .

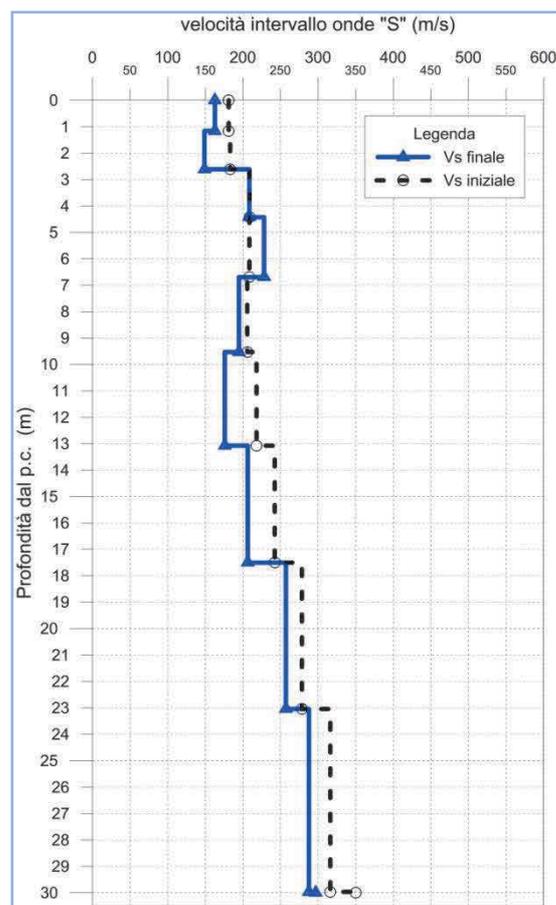


Fig. 3.16 - Indagine MASW 3. Profilo verticale della velocità delle onde S, in funzione della profondità, e confronto tra il profilo V_s iniziale con quello finale.

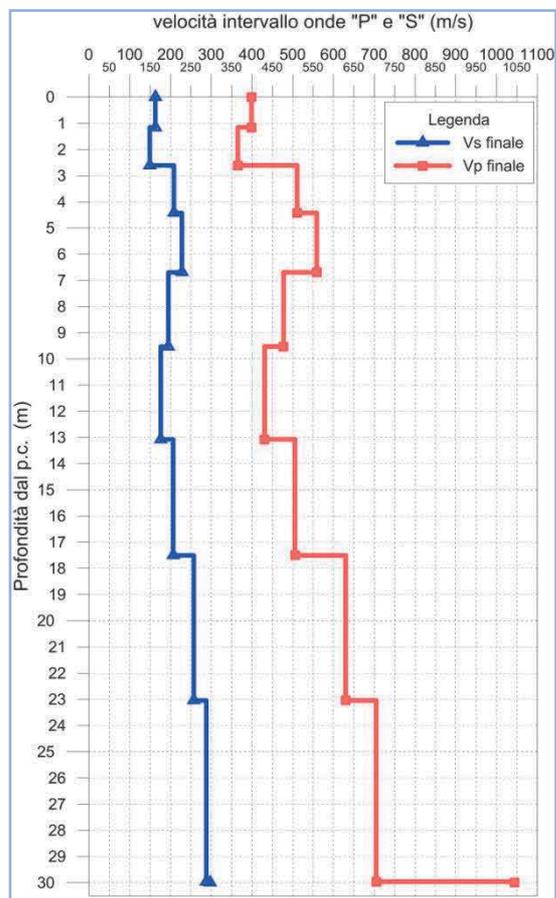


Fig. 3.17 - Indagine MASW 3. Profilo verticale della velocità delle onde S finale e profilo delle onde P finale, in funzione della profondità.

Numero di Strati	Profondità (m dal p.c)	Vs iniziale (m/s)	Vp iniziale (m/s)	Spessore (h)	Vp/Vs iniziale	Poisson
1	1.2	181	444	1.2	2.4	0.4
2	2.6	183	448	1.5	2.4	0.4
3	4.4	209	511	1.8	2.4	0.4
4	6.7	209	511	2.3	2.4	0.4
5	9.5	206	504	2.8	2.4	0.4
6	13.1	218	534	3.5	2.4	0.4
7	17.5	242	594	4.4	2.4	0.4
8	23.0	278	682	5.5	2.4	0.4
9	30.0	316	775	6.9	2.4	0.4
10	30.0	350	1230	0.0	3.5	0.5

Tab. 3.3 – Indagine MASW 3. Riepilogo dei parametri assunti a priori.

Numero di Strati	Profondità (m dal p.c)	Vs finale (m/s)	Vp finale (m/s)	Spessore (h)	Densità
1	1.2	162	399	1.2	1.6
2	2.6	163	365	1.5	1.6
3	4.4	170	511	1.8	1.7
4	6.7	163	559	2.3	1.7
5	9.5	134	477	2.8	1.8
6	13.1	143	431	3.5	1.8
7	17.5	245	505	4.4	1.9
8	23.0	275	630	5.5	1.9
9	30.0	382	705	6.9	2.0
10	30.0	297	1044	0.0	2.0

Tab. 3.4 – Indagine MASW 3. Riepilogo dei parametri calcolati.

3.5 IDENTIFICAZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO. D. M. 17 GENNAIO 2018 “NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI”

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 delle “Norme Tecniche per le Costruzioni, approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018”. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella successiva tabella, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella tabella seguente (Tab. 3.5):

Categoria	Caratteristiche del sottosuolo
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti 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, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tab. 3.5 – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le *azioni sismiche* sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle NTC 2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Mediante le risultanze scaturite dalle prospezioni MASW descritte nel presente elaborato, l'elaborazione dei dati ha permesso di calcolare i seguenti valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,30}$:

MASW-2 = 223 m/s.

MASW-3 = 218 m/s.

Pertanto, il suolo di fondazione può essere attribuito alla **Categoria di tipo "C"**.

4 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA

4.1 DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

Il metodo sismico a rifrazione è un metodo non invasivo che si basa sulla misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche (P o S) generate in superficie da una sorgente sismica e captate da ricevitori, anch'essi in superficie, disposti su un allineamento a diverse distanze dalla sorgente. Le onde elastiche sono, quindi, rilevate da un array di geofoni, infissi al suolo, con spaziatura regolare.

I tempi di primo arrivo, correlati alle diverse distanze sorgente-ricevitore, permettono la stima (calcolo) delle geometrie del sottosuolo (disposizione morfologica delle interfacce) e delle velocità di propagazione delle onde sismiche.

La generazione delle onde elastiche avviene presso una base sismica (Fig. 4.1), operando con energizzazioni ripetute in modo da ottenere un segnale caratterizzato da un rapporto segnale-rumore soddisfacente. Tale geometria è necessaria per l'utilizzo successivo dell'algoritmo tomografico.

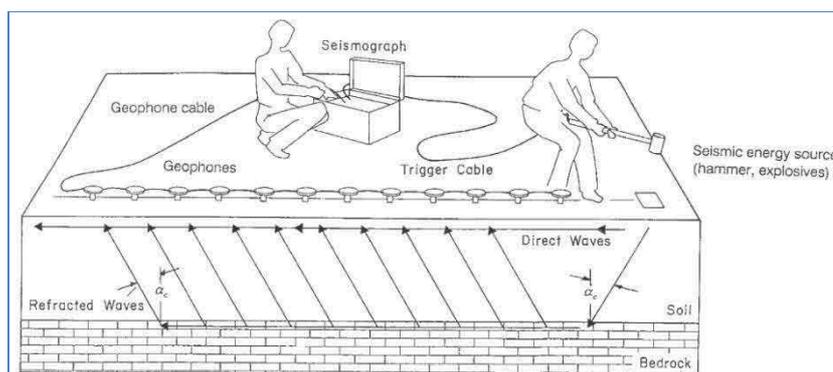


Fig. 4.1 - Schema esecutivo della sismica a rifrazione (fonte norma ASTM D 5777 - 00).

Come riportato nella figura seguente, l'indagine eseguita con la metodologia della tomografia sismica a rifrazione necessita di un numero non inferiore a sette tiri di cui n.4 esterni alla base e n.3 interni alla base stessa (Fig. 4.2).

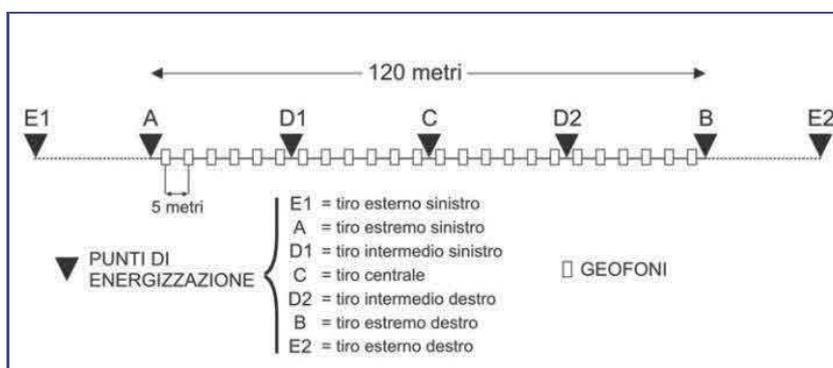


Fig. 4.2 - Tomografia sismica. Disposizione siti di energizzazione.

I sistemi energizzanti (sia per la generazione delle onde P sia delle onde SH) devono essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali.

Per la generazione in onde P, la sorgente è generalmente costituita da un cannoncino industriale (tipo "minibang") ed eventualmente la mazza sismica.

Il sistema sorgente per le onde SH è generalmente costituito da un parallelepipedo di forma tale da poter essere colpito lateralmente ad entrambe le estremità con una massa pesante. In fase d'installazione, il parallelepipedo è gravato di un carico statico addizionale in modo che possa rimanere aderente al terreno sia al momento in cui viene colpita sia successivamente, affinché l'energia prodotta non venga in parte dispersa. Con questo dispositivo è possibile generare essenzialmente delle onde elastiche di taglio polarizzate orizzontalmente, con uniformità sia nella direzione di propagazione che nella polarizzazione e con una generazione di onde P trascurabile.

4.2 DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Di seguito sono riportate le specifiche della strumentazione utilizzata per l'esecuzione dell'indagine sismica a rifrazione:

Geofoni, a componente verticale, con frequenza pari a 14 Hz, ed a componente orizzontale, con frequenza pari a 10 Hz, della **OYO GEOSPACE**.

Trigger, costituito da un dispositivo, collegato al sistema di acquisizione, che permette di avviare la registrazione del segnale sismico acquisito dai geofoni nell'istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica. Il sistema di "innesco" è stato realizzato mediante un geofono di superficie posizionato in prossimità della sorgente e attivato dall'impatto, nell'istante in cui la massa battente colpisce la sorgente.

Sistema di energizzazione, costituito, per la generazione delle onde P, da un energizzatore per sismica da superficie **ISOTTA** equipaggiato con munizioni industriali calibro 8 della **EUROCOMM MUNIZIONI** oppure, per i tiri interni al profilo, da una sorgente impattiva costituita da un martello da 10 kg e un piattello metallico posto al suolo.

Per le onde SH, è stato adoperato un parallelepipedo di legno contrastato mediante appropriata zavorra ed utilizzata la massa battente descritta in precedenza.

I segnali sismici, sono stati acquisiti mediante un sismografo **MAE X610S** a 24 bits, le cui sono state riportate in precedenza.

4.3 DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE

Le modalità esecutive per effettuare l'elaborazione tomografica più di dettaglio differiscono dalla sismica convenzionale per il maggior numero di registrazioni che sono realizzate al fine di coprire in maniera omogenea l'intera sezione sismica in tutti i settori e fino alle profondità adeguate senza lasciare tratti scoperti o disomogenei.

Posizionati i geofoni sul terreno, essi sono collegati con appositi morsetti al cavo multipolare che viene connesso al sismografo. Ultimata l'installazione sono effettuati alcuni tiri di prova per tarare i parametri di acquisizione del sismografo stesso.

Effettuate le operazioni di verifica e taratura della strumentazione, si procede all'acquisizione dei segnali su ciascun punto prestabilito ed alla memorizzazione dei dati sia sulla memoria di massa del sismografo sia sul pen drive.



Fig. 4.3 - Vicenza. Tomografia sismica in onde P. Fase di acquisizione dati.



Fig. 4.4 - Vicenza. Tomografia sismica in onde S. Fase di acquisizione dati.

4.4 DESCRIZIONE DELL'ELABORAZIONE DEI DATI

I dati acquisiti in campo sono stati sottoposti ad una fase di pre-processing avvalendosi del software **IXSeg2Segy** della **INTERPEX**. Tale fase è consistita nell'applicazione del DC removal, di filtraggio passa-banda e nell'ottimizzazione del guadagno.

Ultimata questa fase, si è proceduto con la determinazione dei primi tempi d'arrivo (*first break peak - F.B.P.*) sia delle onde P sia delle onde SH. Per ciascun file dati acquisito in campo, è stato creato un file txt contenente i tempi d'arrivo espressi in millisecondi (ms). Tutti i file relativi ai tempi d'arrivo sono confluiti in un foglio di calcolo al fine di poter restituire le cosiddette *dromocrone* ovvero la rappresentazione dei diagrammi *tempi-distanze* della sezione sismica.

Al fine di eseguire l'elaborazione, in termini di velocità di propagazione delle onde elastiche, sono stati ricavati tre file ascii relativi, rispettivamente, al numero e disposizione delle sorgenti (file *source*), al numero e disposizione dei geofoni (file *receiver*) ed ai tempi d'arrivo (file *observations*). Tali file costituiscono l'input per il software tomografico utilizzato **SeisOpt@2D** della **Optim™ software & data solutions**.

Il metodo tomografico utilizzato, si basa su un metodo di ottimizzazione non-lineare, noto come metodo di ottimizzazione numerica simulata (*simulated annealing*), utilizzato per ricavare un modello di velocità delle onde sismiche, ad elevata risoluzione, dalla misurazione dei tempi di arrivo delle onde P ed SH.

Il metodo citato è un processo basato sul metodo di Monte-Carlo che può combinare i tempi di arrivo delle onde in un modello di velocità. Tale modello può essere considerato superiore ai più sofisticati metodi d'inversione non-lineare. L'algoritmo compie un'elaborazione impostando un modello con una variazione casuale del parametro d'interesse, sino a che il modello sismico sintetico dei tempi di arrivo delle onde sismiche calcolate non collima con i tempi di arrivo osservati.

Processi iterativi fanno in modo di far convergere la soluzione riducendo, ad ogni iterazione, lo scarto eliminando quelle soluzioni i cui errori oltrepassano l'errore totale ammesso dall'algoritmo di calcolo.

In definitiva, il processo di ottimizzazione adottato troverà la soluzione testando diverse migliaia di soluzioni possibili prima di arrivare alla soluzione ottimale proposta che è quella, come detto in precedenza, in cui i tempi di arrivo calcolati coincidono, a meno di uno scarto ridotto, con quelli osservati.

In pratica, i software adottati, che si basano sul principio del *simulated annealing*, pervengono ad un modello ottimizzato delle velocità utilizzando, in input, i soli tempi di primo arrivo delle onde sismiche e la geometria dell'array (distanze e variazioni di quota) non richiedendo informazioni preliminari sulla geometria della struttura sotterranea. L'algoritmo, come già accennato in precedenza, esegue ripetute modellizzazioni dirette laddove un nuovo modello proposto è accettato o rigettato in base ad un criterio di probabilità tenendo in considerazione l'andamento globale dei tempi di arrivo.

4.5 RISULTANZE DELL'INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA

La prospezione in oggetto, denominata **RIFRA-L1**, è stata compiuta posizionando al suolo una base sismica a 24 canali, lunga 155 m, con i geofoni equispaziati ogni 5 m.

Poiché l'ubicazione del profilo sismico ha attraversato il torrente Orolo non è stato possibile connettere il geofono n.16 per la presenza dello stesso corso d'acqua.

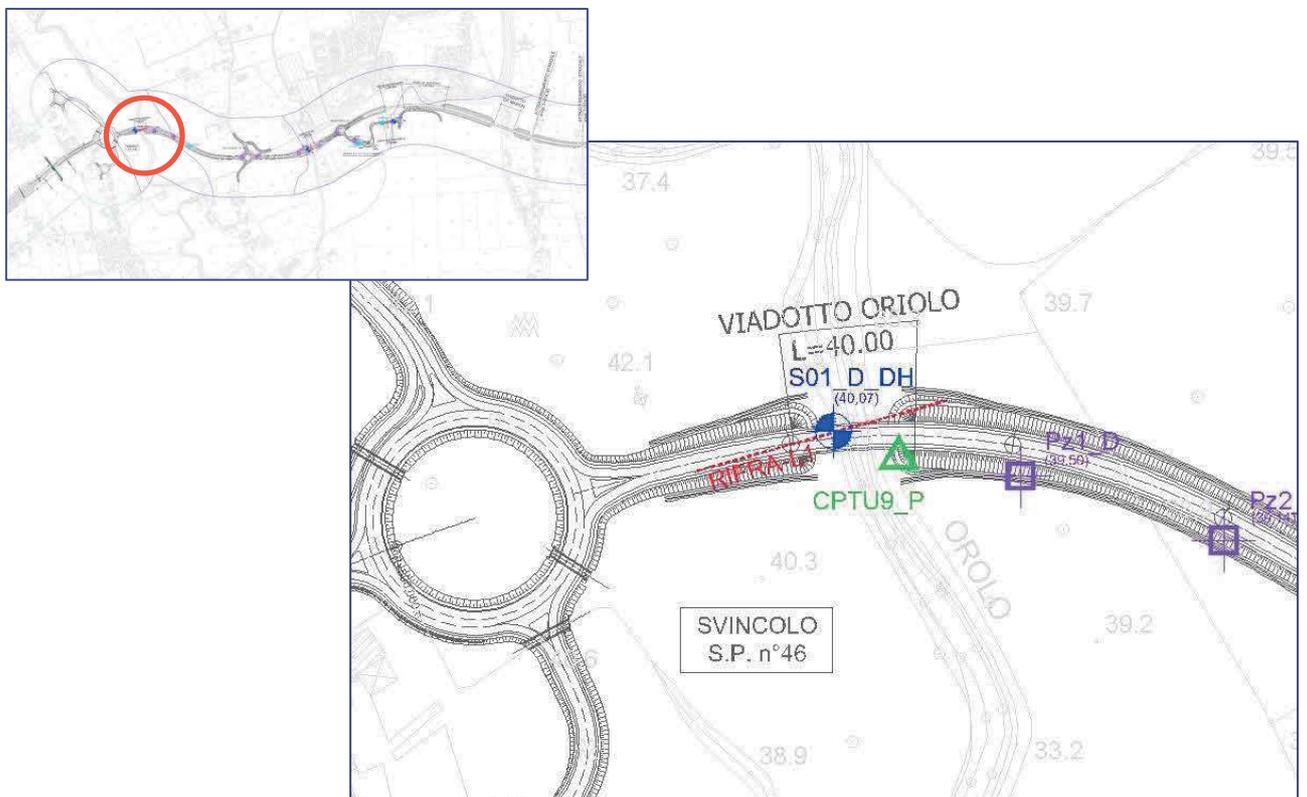


Fig. 4.5 – Vicenza. Ubicazione indagine tomografia sismica RIFRA_L1.

I dati sono stati acquisiti energizzando con la seguente geometria: shot1 posto a esternamente al profilo a -20 m dal ch1; shot2 posto esternamente al profilo a -2,5 m dal ch.1; shot 3 posto internamente al profilo tra ch.6 e ch.7; shot4 posto internamente al profilo tra ch.12 e ch.13; shot5 posto internamente al profilo tra ch.18 e ch.19; shot6 posto esternamente al profilo a +2,5 m dal ch.4; shot7 posto esternamente al profilo a +20 m dal ch.24.

Di seguito, si riportano le dromocrone ottenute dalla lettura dei primi tempi d'arrivo delle onde P ed SH.

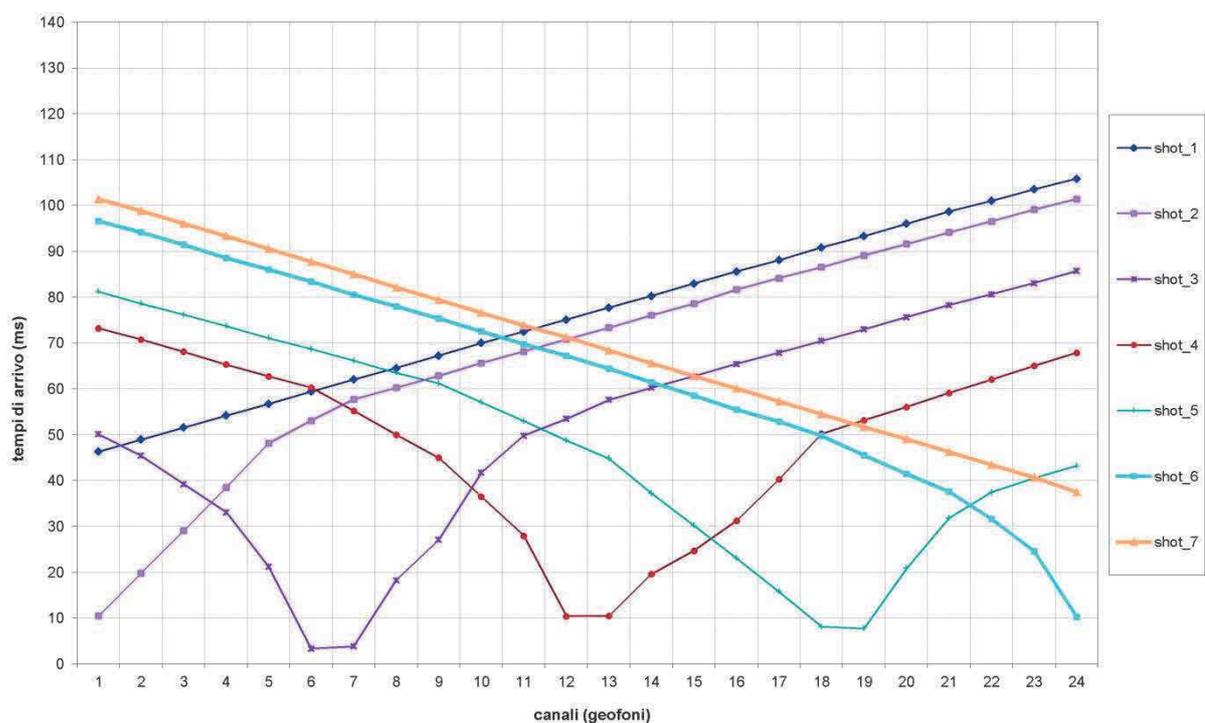


Fig. 4.6 – Vicenza. Tomografia sismica in onde P. Profilo RIFRA_L1. Dromocrone.

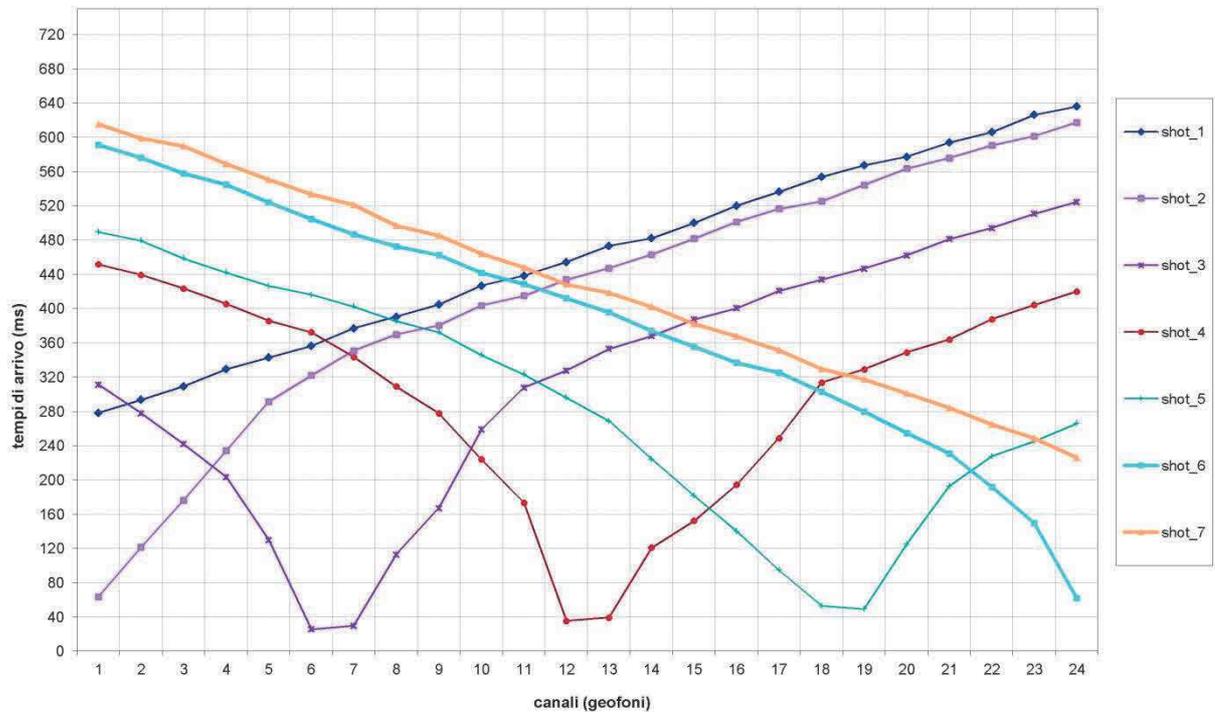


Fig. 4.7 – Vicenza. Tomografia sismica in onde S. Profilo RIFRA_L1. Dromocrone.

Come accennato in precedenza, i tempi di arrivo delle onde P ed SH sono stati adoperati quale input (assieme alla geometria dei tiri di energizzazione e dei geofoni) nel software di elaborazione tomografica per ottenere le relative pseudosezioni sismiche.

Queste sono riportate esprimendo i dati di velocità delle onde di compressione e di taglio calcolati mediante isolinee e campitura a falsi colori.

Effettuando l'analisi dei dati in velocità di propagazione delle onde elastiche in termini di gradiente geosismico, sono state rilevate due interfacce significative che conducono alla determinazione di tre sismostrati.

Il primo sismostrato è posto dal piano campagna sino alla prima interfaccia che si colloca sino ad una profondità variabile sino a 4,5 m dal p.c. circa. Esso è posto a separazione di un materiale afferente alla coltre superficiale (terreno vegetale, limo e ghiaia grossolana). Il sismostrato in oggetto è caratterizzato da una velocità delle onde S compresa tra 0,06 e 0,1 km/s.

Il secondo sismostrato è compreso tra la citata prima interfaccia e la seconda interfaccia, posta ad una profondità pari a circa 15 m dal p.c.. Esso è costituito da un'alternanza di limo argilloso e sabbia limosa ed è caratterizzato da una velocità delle onde S compresa tra 0,12 e 0,15 km/s.

La seconda interfaccia, caratterizzata da una V_s pari a 0,20 m/s, segna il passaggio a terreni relativamente più consistenti rispetto a quelli sovrastanti ma, comunque, caratterizzati da una velocità delle onde di taglio ben inferiore a 360 m/s.

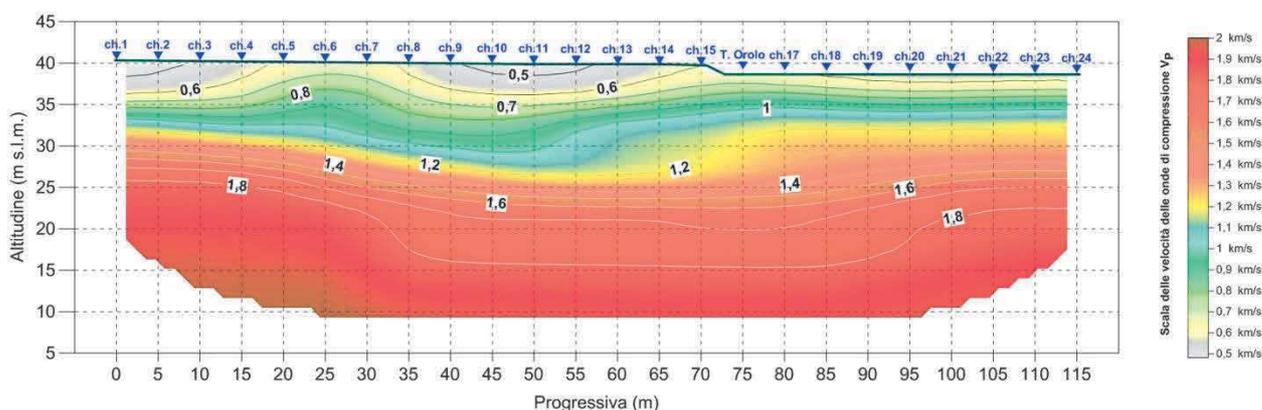


Fig. 4.8 – Vicenza. Tomografia sismica in onde P. Pseudosezione sismica tomografica.

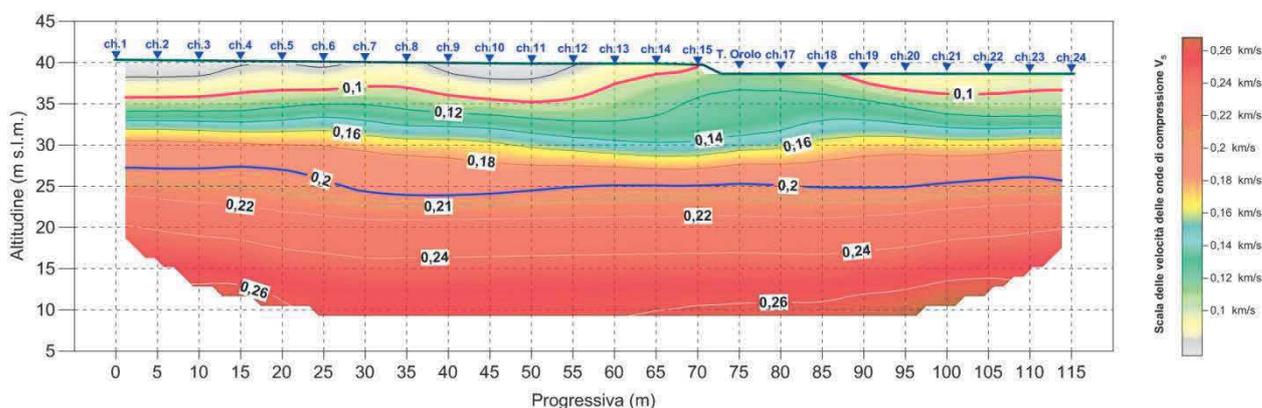


Fig. 4.9 – Vicenza. Tomografia sismica in onde S. Pseudosezione sismica tomografica.

Per quanto riguarda l'analisi di dettaglio, si rimanda alle singole sezioni sopra riportate.