

HUB PORTUALE ravenna



Autorità di Sistema Portuale
del Mare Adriatico centro settentrionale



APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA,
ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI,
NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E
RIUTILIZZO MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE
AL P.R.P VIGENTE 2007 - I FASE - PORTO DI RAVENNA

PROGETTO ESECUTIVO

oggetto STUDI PER LA CONOSCENZA DEL CONTESTO
INDAGINI GEOGNOSTICHE
ALLEGATO 3 - INDAGINI GEOFISICHE

file
1114-E-SIN-GEO-AL-13-1.doc

codice
1114-E-SIN-GEO-AL-13-1

scala
-

Revisione	data	causale	redatto	verificato	approvato
0	08/03/2021	Emissione	Anfibia S.r.l.	P. Smorgon	L. de Angelis
1	18/03/2021	Emissione per approvazione	Anfibia S.r.l.	P. Smorgon	L. de Angelis

responsabile delle Integrazioni Specialistiche: **Ing. Lucia de Angelis**

responsabile del Procedimento: **Ing. Matteo Graziani**

committente



Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Centro Settentrionale
Via Antico Squero, 31
48122 Ravenna

contraente generale



Consorzio Stabile Grandi Lavori Scrl
Piazza del Popolo 18
00187 Roma



DEME - Dredging International NV
Haven 1025 - Schiededijk 30
2070 Zwijndrecht - Belgium

progettisti



Technital S.p.A.
Via Carlo Cattaneo, 20
37121 Verona

Direttore Tecnico
Dott. Ing. Filippo Busola



F&M Ingegneria SpA
Via Belvedere 8/10
30035 Mirano (VE)

Direttore Tecnico
Dott. Ing. Tommaso Tassi



SISPI srl
Via Filangieri 11
80121 Napoli

Direttore Tecnico
Dott. Ing. Marco Di Stefano

HUB PORTUALE ravenna

committente

Autorità di Sistema Portuale
del Mare Adriatico centro settentrionale
Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Centro Settentrionale
Via Andrea Squarzi, 51
48122 Ravenna

contraente generale

**Consorzio Stabile
Grandi Lavori S.r.l.**
Consorzio Stabile Grandi Lavori Scrl
Piazza del Popolo 18
00187 Roma

**Dredging
International**
DIME - Dredging International NV
Haven 1025 - Gravenhage 302
3270 Zwijndrecht - Belgium

progettisti

TECINTAL
Tecnital S.p.A.
Via Carlo Cattaneo, 20
37121 Verona
Direttore Tecnico
Dott. Ing. Filippo Bazzola

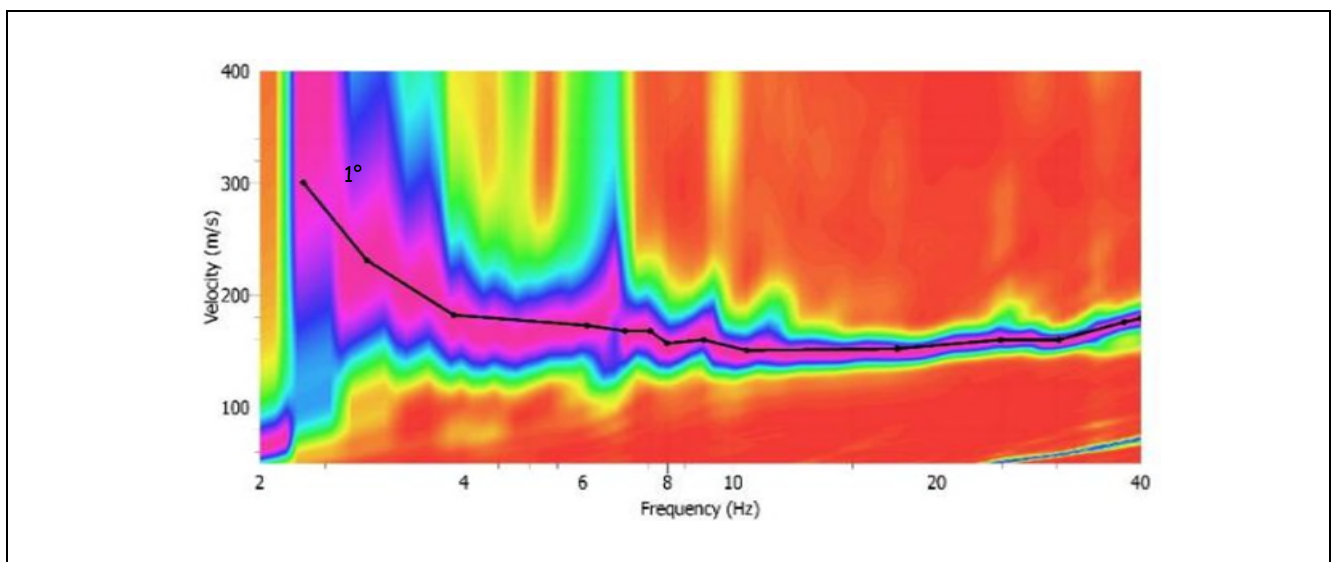
**F&M
Ingegneria**
F&M Ingegneria SpA
Via Baldo degli Ubaldi 8/10
30035 Mirano (VE)
Direttore Tecnico
Dott. Ing. Tommaso Tesi

SISPI
SISPI srl
Via Frangani 11
80121 Napoli
Direttore Tecnico
Dott. Ing. Marco Di Stefano

Approfondimento canali Candiano e Baiona, adeguamento banchine operative esistenti, nuovo terminal in penisola Trattaroli e riutilizzo del materiale estratto in attuazione del P.R.P. vigente 2007 - Fase I

Rilievi topo-batimetrici e indagini inerenti alla Progettazione Esecutiva e realizzazione dei lavori denominati HUB PORTUALE DI RAVENNA

Relazione indagini sismiche



anfibia
srl

codice commessa
responsabile commessa
nome documento
versione
data

an20196
andrea zamariolo
relazione tecnica
01
16/03/2021



sommario

1.	PREMESSA.....	4
2.	METODOLOGIA	5
2.1.	TEORIA	5
2.2.	METODOLOGIA ATTIVA MASW.....	6
2.3.	METODOLOGIA PASSIVA REMI	9
2.4.	EQUIPAGGIAMENTO	11
3.	RISULTATI.....	12
3.1.	BANCHINA BUNGE	12
3.2.	BANCHINA ITALTERMINAL.....	16
3.3.	BANCHINA TRATTAROLI SUD	20
3.4.	BANCHINA DOCKS PIOMBONI NORD	24
3.5.	BANCHINA NUOVO TERMINAL CONTAINER	28

1. Premessa

La presente relazione tecnica descrive le indagini geofisiche effettuate in corrispondenza delle banchine nell'ambito della progettazione esecutiva e dei lavori dell'HUB Portuale di Ravenna - "Approfondimento canali Candiano e Baiona, adeguamento banchine operative esistenti, nuovo terminal in penisola Trattaroli e riutilizzo del materiale estratto in attuazione del P.R.P. vigente 2007 - Fase I".

Nella prima parte della relazione (capitolo 2) è la metodologia d'indagine adottate: ne sono stati definiti i principali fondamenti teorici e descritto l'equipaggiamento impiegato.

Nella seconda parte della relazione (capitolo 3) sono descritti i risultati e le interpretazioni delle indagini geofisiche relative alle singole banchine

2. Metodologia

2.1. Teoria

Secondo le NTC vigenti nell'ambito progettuale (NTC'18), oltre alla caratterizzazione dei terreni dal punto di vista geotecnico, è prevista la caratterizzazione dei terreni mediante la determinazione del parametro $V_{s,eq}$ tramite l'impiego di diverse metodologie geofisiche dirette ed indirette, che è così definito:

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

con

h_i = spessore dello stato i -esimo

$V_{s,i}$ = 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/sec

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 (per es. i terreni di Ravenna), 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.

Di seguito si riporta la tabella di riferimento (Figura 1):

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>Depositati 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.</i>
D	<i>Depositati 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.</i>
E	<i>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.</i>

Figura 1: classificazione sismica dei suoli

A ciascuna categoria di suolo è associato un coefficiente di amplificazione stratigrafica S che moltiplica l'azione sismica di riferimento, quindi l'identificazione della categoria è determinante a livello progettuale.

Gli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” del 2008 (e ss. Integrazioni 2011) hanno definito i tre livelli di approfondimento per la ricostruzione del sottosuolo, esplicitando l’integrazione fra dati geotecnici e geofisici. Fra questi ultimi quelli utili a definire la velocità di propagazione delle onde sismiche all’interno dei terreni e la geometria delle unità litotecniche sono i seguenti metodi: sismica a rifrazione, in foro, microtremori, MASW, SASW, ReMi, geoelettrica, ecc.

2.2. Metodologia attiva MASW

Il metodo di indagine MASW consente la classificazione sismica dei suoli in quanto fornisce il profilo di velocità entro i primi 30 metri di profondità. Questa tecnica è da considerarsi metodo attivo in quanto le onde che vengono registrate sono prodotte dall’operatore.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla dispersione delle onde superficiali generate da una sorgente (mazza) e registrate in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo e inviate al sismografo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh e di Love (le prime hanno direzione di movimento verticale e radiale mentre le seconde si muovono solo sul piano orizzontale), che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. A seconda del tipo di materiale e delle interfacce, possono prevalere le Rayleigh o le Love, queste in particolare in un mezzo stratificato con altro contrasto di impedenza. Per assicurarsi una maggior possibilità di analisi spettrale completa, in genere è bene registrare più set di dati per es. acquisendo la componente verticale delle onde di Rayleigh (energizzazione verticale e geofoni verticali), e la componente orizzontale delle onde di Love (energizzazione orizzontale e geofoni orizzontali con asse perpendicolare allo stendimento).

Questo metodo generalmente consente di ottenere una distribuzione delle velocità in funzione della frequenza, cioè la curva di dispersione di cui vedasi qualche esempio nelle immagini sottostanti. La dispersione è una deformazione di un treno d’onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza e come regola generale le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore (Figura 2).

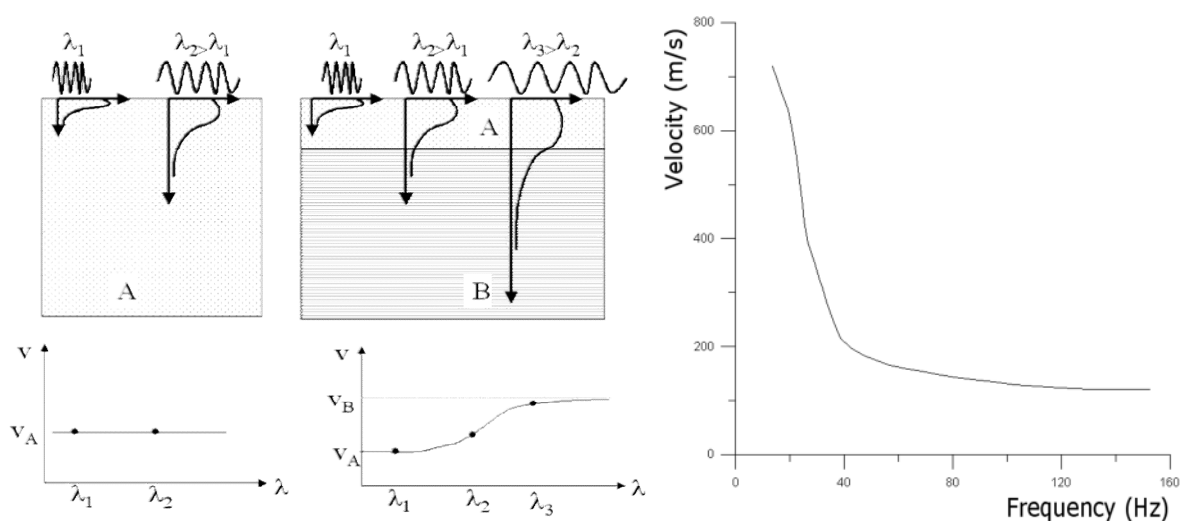


Figura 2 curve di dispersione in funzione di lunghezza d’onda e frequenza – caso A mezzo non stratificato – caso B mezzo stratificato

In pratica l'ondina sismica, inizialmente compatta, durante la sua propagazione in un mezzo stratificato si disperde perdendo la sua compattezza. Il segnale "si spalma" in profondità in quanto talune componenti viaggiano a velocità superiori ad altre. Nelle indagini MASW e ReMi le velocità che si vanno a definire e ad analizzare si riferiscono a precise frequenze e vengono dette velocità di fase.

Queste considerazioni sono vere fino a circa un valore pari a $\lambda/3$ (*STEADY STATE APPROXIMATION*), ed è il motivo per il quale vengono utilizzate le onde di superficie, poiché esiste entro questa profondità un'analogia fra onde di superficie e onde di taglio, più complesse da registrare, e per la quale le loro velocità sono molto simili ($V_r=0.9V_s$).

Il calcolo del profilo delle velocità-profondità da cui calcolare la V_s equivalente delle onde Rayleigh (o di Love), può essere convertito dal rapporto Velocità/frequenza mediante opportuni software e diversi approcci impiegando la relazione:

$$f_s = V_s/4H$$

con f =frequenza, V_s =velocità onde S (o di Rayleigh/Love, H =spessore dello strato).

È bene considerare che la frequenza è funzione sia della velocità del terreno sia della lunghezza d'onda secondo la relazione $\lambda = V/f$, e che per avere penetrazione almeno fino a 30m in terreni con Velocità di fase pari a 200m/s occorre avere frequenze minori di 2Hz. Di conseguenza è buona prassi fare stendimenti medio lunghi o prove con tecniche diverse, ad esempio REMI, ESAC o HVSR che consentono di analizzare frequenze minori per arrivare in profondità poiché analizzano microtremori il cui contenuto di frequenza contempla generalmente frequenze più basse rispetto a quelle prodotte dalla mazza.

Nell'approccio classico, l'elaborazione del dato di onde di superficie, consiste sostanzialmente in tre fasi:

- 1) la prima fase prevede il calcolo dello spettro della velocità di fase apparente sperimentale che si estrae dallo spettro nel dominio frequenza-numero d'onda; per ogni prefissata frequenza f si cerca il numero d'onda k per il quale lo spettro raggiunge un massimo; la corrispondente velocità di fase apparente è data dalla formula:

$$V(\omega) = 2\pi f/k_{\max}$$

I massimi dello spettro f - k determinano quindi lo spettro di velocità nel grafico velocità di fase-frequenza, sul quale verrà effettuato il picking per determinare la curva di dispersione sperimentale.

- 2) la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica, applicando la trasformata di Fourier alla Funzione di Green o Funzione di Trasferimento del semispazio stratificato, nota in forma analitica (Aki, K. And Richards, P. G., 1980) nel dominio spazio-frequenza;
- 3) la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente il numero, lo spessore h , il coefficiente di Poisson degli strati che costituiscono il modello di sottosuolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

In genere, quando l'errore relativo tra curva sperimentale e curva numerica è compreso tra il 5% e il 10% si ha un soddisfacente accordo tra le due curve e il profilo di velocità delle onde di taglio V_s e quindi il tipo di suolo sismico rappresentano una soluzione valida da un punto di vista ingegneristico.

La curva di dispersione sperimentale non è però quasi mai univoca, ma l'energia si distribuisce diversamente alle varie frequenze, ossia il terreno presenta più "modi" di vibrare oltre quello fondamentale (Figura 3 e Figura 4).

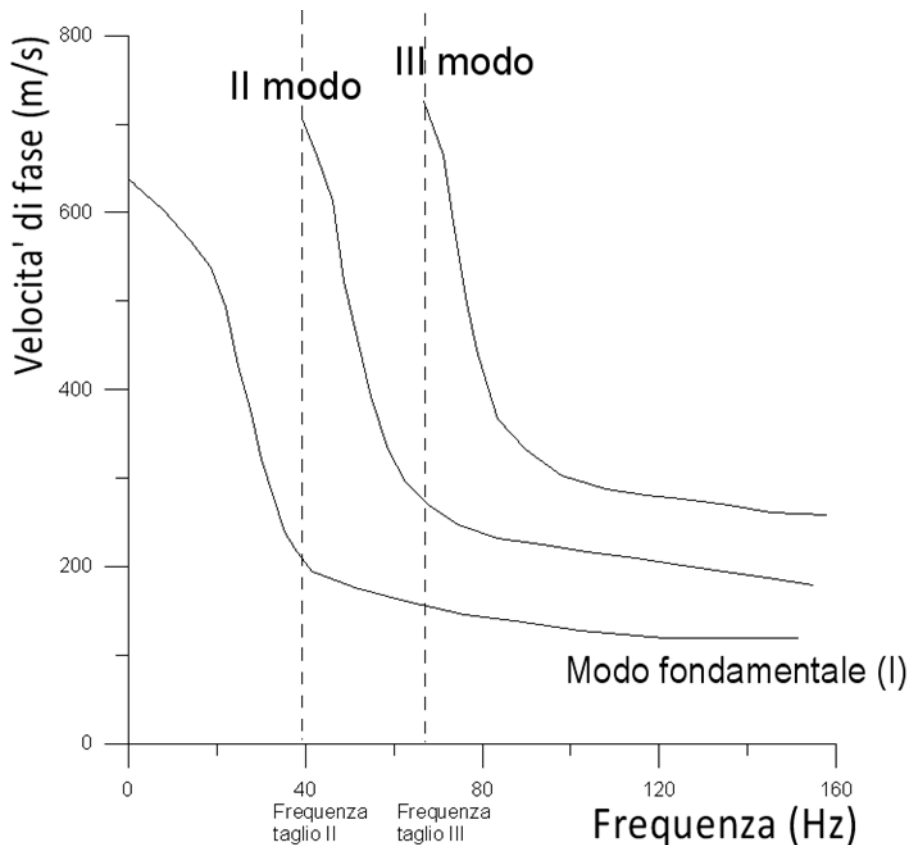


Figura 3 curve di dispersione dei vari modi di vibrazione del terreno

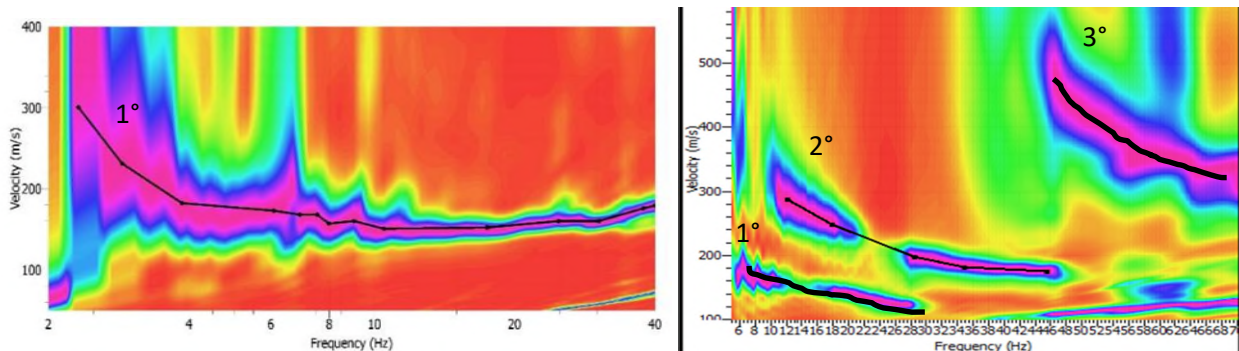


Figura 4 spettri di velocità sperimentali in cui domina nella prima immagine il modo fondamentale e nella seconda sono presenti anche i modi superiori

In genere la difficoltà sta nell' eseguire il "picking" della curva di dispersione del modo fondamentale e non nei modi superiori (che forniscono velocità più elevate) poiché non sempre è ben visibile in particolare in profondità. Non è ancora stato ben chiarito dalla comunità scientifica se in effetti l'energia si distribuisce nel modo fondamentale o anche nei modi superiori quindi esistono più approcci per l'analisi dei dati.

L'approccio impiegato nel presente studio è il FVS (Full Velocity Spectrum) che analizza l'intero spettro di velocità senza basarsi sull'interpretazione delle curve modali (Dal Moro, 2019).

Il metodo si divide in tre fasi (Figura 5):

- calcolo delle tracce sintetiche per un certo modello;
- determinazione degli spettri di velocità corrispondenti alle tracce sintetiche;
- calcolo del "misfit" fra spettro sintetico e di campagna, e relativa minimizzazione andando a identificare un modello di sottosuolo che abbia uno spettro di risposta simile a quello dei dati reali (Figura 6).

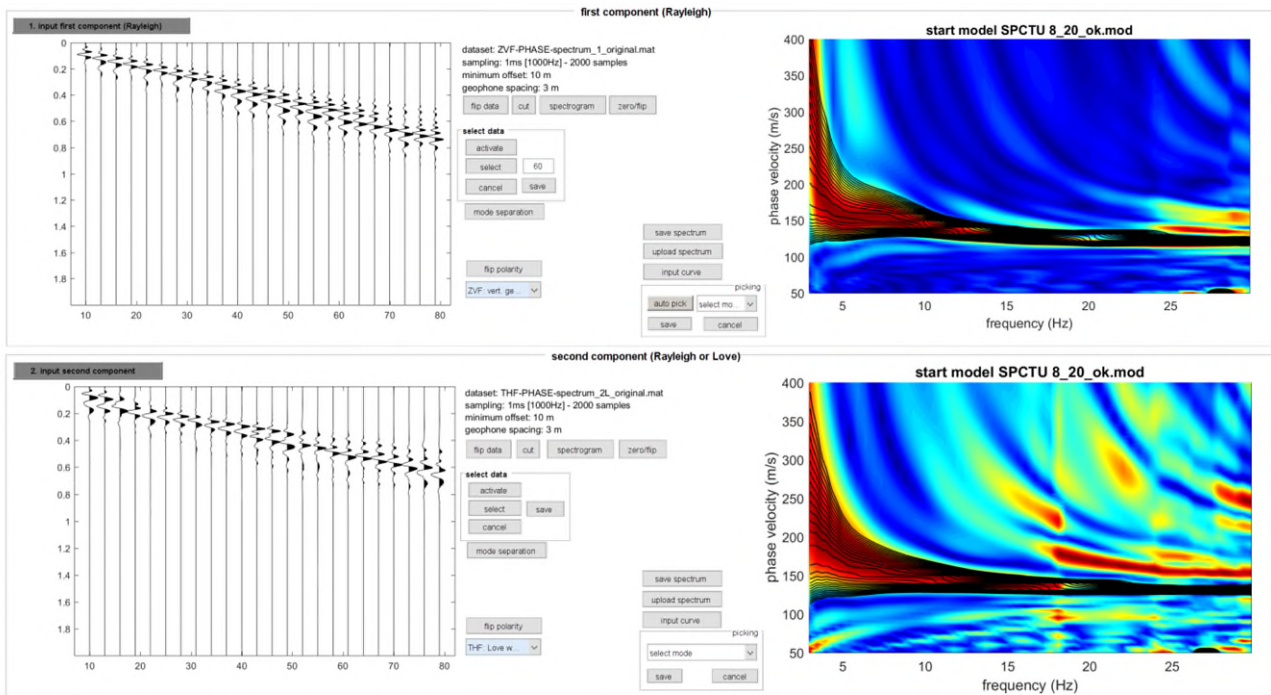


Figura 5 tracce sismiche reali sulla sinistra (Rayleigh in alto e Love in basso) ed esempio di sovrapposizione sulla destra fra spettri sintetici (in nero) e spettro di campagna (a colori)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	100	0.3000	0.3000
2	115	0.7000	1
3	135	1.5000	2.5000
4	141	4	6.5000
5	191	6	12.5000
6	169	5	17.5000
7	188	4	21.5000
8	203	4	25.5000
9	218	2	27.5000
10	251	6	33.5000
11	282	0	0

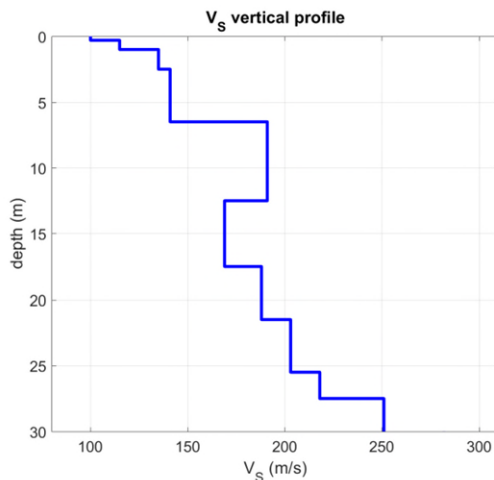


Figura 6 esempio di conversione dallo spettro frequenza-velocità al profilo velocità-profondità

2.3. Metodologia passiva ReMi

I metodi sismici passivi (per es. ReMi Refraction Microtremors) si basano sull'analisi di registrazioni di microtremori ambientali. Il metodo è analogo al metodo descritto nel precedente capitolo MASW e fornisce un profilo di velocità delle onde di taglio in profondità, e permette di determinare il parametro Vs30.

Il tremore sismico esiste ovunque sulla superficie della Terra ed è costituito principalmente da onde superficiali, anche se nella realtà, la vera natura del fenomeno non è perfettamente chiara. È prodotto essenzialmente dal vento e dalle onde marine ma anche l'attività industriale o il traffico stradale generano questo tipo di tremore la cui frequenza si attenua allontanandosi dalla sorgente. Esiste uno spettro caratteristico per il cosiddetto "rumore di fondo" legato al moto ondoso oceanico i cui effetti si propagano per migliaia di km a cui si aggiungono gli effetti locali dovuti a sorgenti di natura artificiale. L'aspetto più interessante è che il tremore o rumore sismico agisce come sorgente di eccitazione per la risonanza del sottosuolo e degli edifici.

Per rumore sismico di fondo si intende quindi una sollecitazione il cui spettro è ugualmente ricco in tutte le frequenze. Un'amplificazione di una determinata frequenza dovrebbe quindi essere legata ad un effetto di sito. Tale frequenza è da considerarsi come la frequenza di oscillazione predominante di quel terreno, che, per evitare pericolosi fenomeni di risonanza, dovrebbe essere sufficientemente diversa da quella delle strutture. E' infatti noto che il verificarsi di fenomeni di risonanza può causare un incremento dei danni subiti dalle strutture. La possibilità di utilizzare i microtremori per predire la risposta sismica in un sito in caso di sisma non è ancora ben definita ed oggetto di dibattiti scientifici.

Il metodo dei microtremori (Kanai e Tanaka, 1961; Iwasaki e Sukamoto, 1977) si basa sull'assunto che in ogni sito la curva di distribuzione dei periodi dei microtremori mostra una buona correlazione con quella ottenuta da registrazioni di terremoti effettuate nello stesso sito. Secondo questa ipotesi, è sufficiente registrare il rumore sismico di fondo presente in un sito per predire la forma dello spettro di un terremoto distruttivo; in particolare il periodo predominante di un terremoto dovrebbe essere strettamente connesso con quello dei microtremori.

Dal punto di vista analitico si ha che: se in una certa area il rumore ambientale è costante, cioè, non vi sono sorgenti di rumore antropico localizzato e predominante, $N(w)$ rappresenta lo spettro di tale rumore quale verrebbe misurato direttamente al bedrock.

In superficie si avrà nei diversi punti 1, 2, ..., k:

$$N_1(w) = N(w) * H_1(w), N_2(w) = N(w) * H_2(w), \dots, N_k(w) = N(w) * H_k(w)$$

dove $H_1(w), H_2(w), \dots, H_k(w)$ sono le funzioni di trasferimento (caratteristica del terreno) dei siti 1, 2, ..., k. Supponendo che nei precedenti siti incidano le onde sismiche generate da un terremoto a distanza notevolmente maggiore rispetto alla distanza tra i punti di osservazione ed essendo $A(w)$ lo spettro del terremoto al bedrock (indifferentemente accelerazione, velocità o spostamento), in superficie si otterrà:

$$A_1(w) = A(w) * H_1(w), A_2(w) = A(w) * H_2(w), \dots, A_k(w) = A(w) * H_k(w)$$

Ipotizzando che $H_1(w), H_2(w), \dots, H_k(w)$ siano le stesse in caso di debole o di forte movimento del suolo, si ha:

$$A_1(w)/N_1(w) = A_2(w)/N_2(w) = \dots = A_k(w)/N_k(w) \text{ e di conseguenza } A_2(w)/A_1(w) = N_2(w)/N_1(w) = H_2(w)/H_1(w)$$

In pratica ciò significa che il rapporto spettrale tra due siti è uguale sia per registrazioni del rumore di fondo che per sollecitazioni prodotte da forti terremoti. Quindi, si può ricavare la risposta di un generico sito k-esimo ad un evento sismico, noto lo spettro dei microtremori nei siti 1 e k, che sarà data da:

$$A_k(w) = N_k(w) * (A_1(w)/N_1(w)).$$

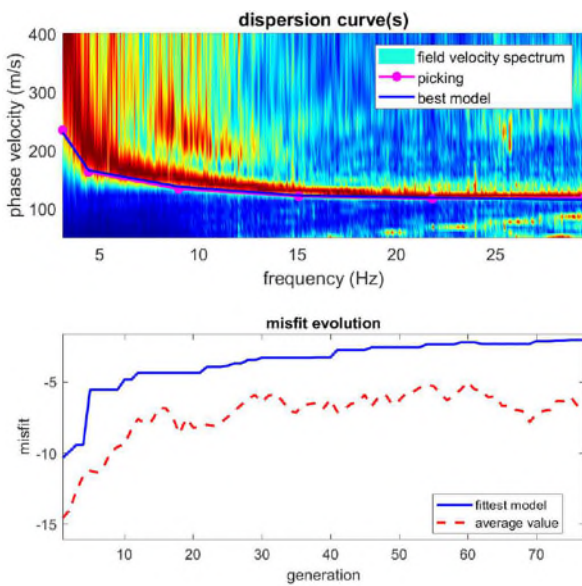
Da notare che la stabilità temporale nello spettro del microtremore è quindi la condizione necessaria per l'applicabilità di tale metodo ai fini della determinazione del periodo proprio dei terreni superficiali del sito in prospettiva di protezione sismica.

Con la metodologia ReMi (Refraction Microtremors), si acquisiscono i segnali dei microtremori rifratti ambientali e si ricostruisce il profilo verticale delle velocità delle onde sismiche di taglio (V_s) con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde relative ai rumori sismici locali, rifratte alla superficie.

Come per il metodo MASW vengono usate le onde superficiali di Rayleigh per la determinazione dei parametri di comportamento meccanico dei terreni a bassi livelli di deformazione, modulo di taglio e coefficiente di smorzamento, e il metodo si basa sulle proprietà dispersive che queste onde subiscono durante l'attraversamento di tali terreni.

La metodologia permette di raggiungere livelli di profondità generalmente compresi fra 1/4 e 1/3 della lunghezza dello stendimento dei geofoni poiché registrando microtremori in generale lo spettro è caratterizzato meglio alle basse frequenze rispetto alle MASW. Inoltre, lo studio analitico del metodo ReMi consente di operare favorevolmente in ambienti fortemente inquinati da rumori urbani e/o industriali.

L'elaborazione dei dati ReMi si basa invece sul primo approccio che prevede il picking dello spettro nel punto di transizione fra minima e massima energia e l'inversione nella creazione della curva di dispersione (Figura 7).



www.winmasw.com

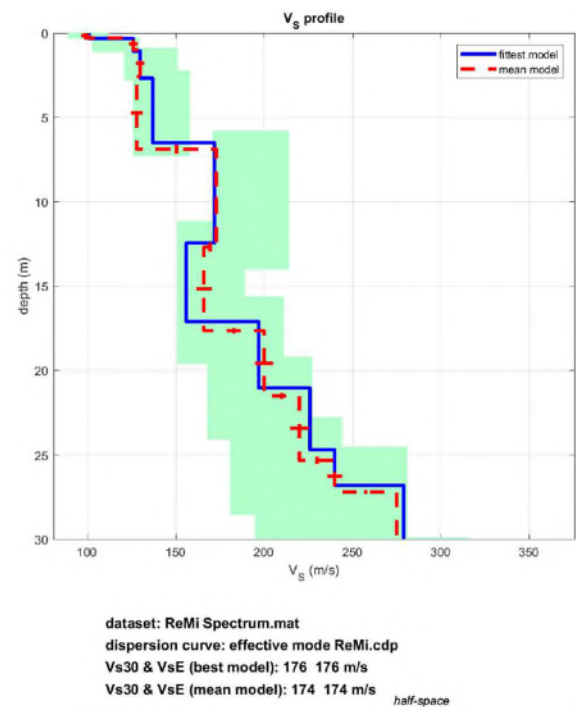


Figura 7 esempio di conversione dalla curva di dispersione “piccata” sullo spettro frequenza-velocità al profilo velocità-profondità

2.4. Equipaggiamento

Lo strumento impiegato per i rilievi sismici è il “GEODE - Geometrics” a 24 canali, alimentato con batterie esterne da 12 Volt, guidato da una unità di controllo esterna (PC portatile).

Le caratteristiche principali dello strumento sono le seguenti:

- 24 bit di risoluzione
- Larghezza di banda: 1.75 Hz – 20000 Hz
- Intervalli di campionamento da 0.02 ms. (50000 campioni/secondo) a 16 ms.
- Range dinamico di sistema 144 dB (110 dB misurato, a 2 ms.)
- Distorsione: 0.0005%
- Consumo: 7 Watts/12 canali
- Tenuta stagna a prova di immersione
- Accuratezza del trigger: 1/32 del passo di campionamento
- Software per l’acquisizione e per l’interpretazione di dati a rifrazione e a riflessione incluso nel sistema operativo (SGOS), guidato dal Seismodule controller software caricato su PC portatile

L’energia viene inviata al terreno con una massa battente (mazza) di kg 10, collegata da un cavo al GEODE. Sul manico della mazza è montato un dispositivo che invia allo strumento il segnale che dà inizio alla registrazione. La funzione di trigger è data da un circuito elettrico che si chiude quando la massa battente colpisce la piastra, permettendo al sistema di iniziare la registrazione. Lo strumento di registrazione permette di sommare i segnali provenienti da più battute successive, al fine di massimizzare il rapporto segnale/rumore.

Le onde di Rayleigh vengono generate da una sorgente ad impatto verticale (la classica martellata) e registrate tramite comuni geofoni a componente verticale (con frequenza propria di 4.5 Hz, configurazione ZVF). Le onde di Love vengono generate invece con una sorgente di taglio e registrate tramite geofoni orizzontali, in questo caso però con asse allineato ortogonalmente alla direzione di stendimento ((con frequenza propria di 4.5 Hz, configurazione THF).

La posizione degli stendimenti viene tracciata mediante l’utilizzo di un rover GNSS RTK.

3. Risultati

3.1. Banchina Bunge

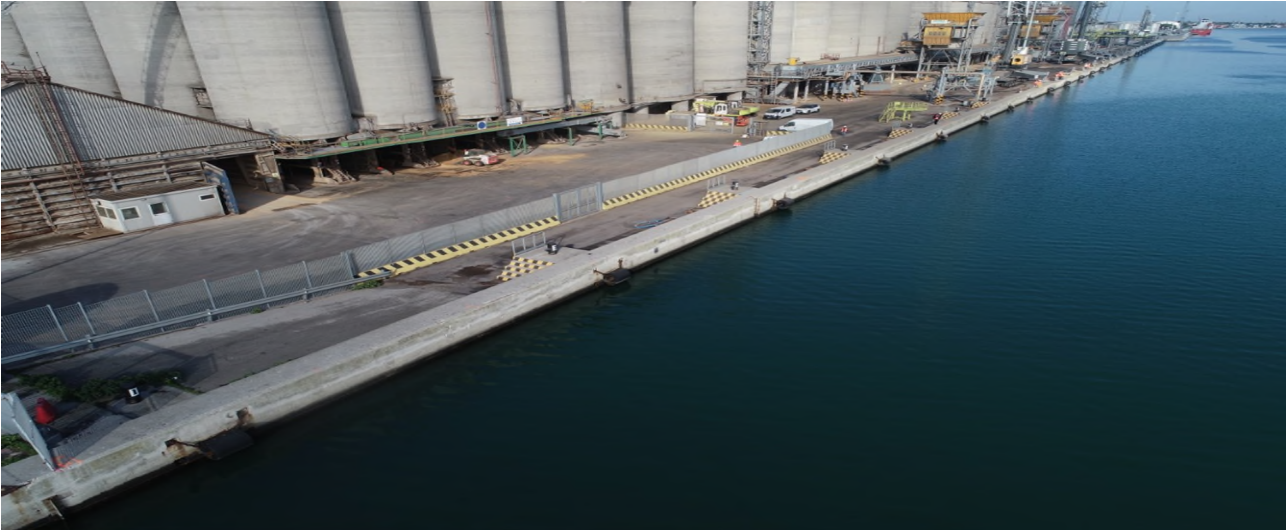


Figura 8: ubicazione della linea sismica SMA1

Essendo presente la pavimentazione asfaltata sulla banchina, i geofoni sono stati posizionati su apposita basetta metallica (Figura 10).

Lo stendimento utilizzato per l'analisi della dispersione delle onde di superficie SMA1, realizzato il 30 novembre 2020, di cui l'ubicazione in Figura 9, sul quale sono state effettuate registrazioni MASW e ReMi di onde di Rayleigh e Love con metodo MASW, presenta le seguenti caratteristiche:

- 24 geofoni verticali 4.5Hz;
- Lunghezza = 69m;
- Distanza intergeofonica = 3m;
- Energizzazioni mediante mazza: -10m, 79m.

Il periodo di campionamento adottato è stato di 1ms e la lunghezza della registrazione di 2s per la MASW e rispettivamente $T_c=2ms$ e $t=30s$ per la ReMi.

Per la generazione delle onde di Rayleigh nella MASW è stata utilizzata una piastra di battuta metallica (configurazione ZVF, Dal Moro & Ferigo, 2011) mentre per le onde di Love una traversina di legno (configurazione THF, Dal Moro & Ferigo, 2011). Per attenuare il rumore incoerente, per ogni punto di energizzazione, è stato effettuato uno stacking verticale con un numero di battute maggiore di 5.



Figura 9: ubicazione della linea sismica SMA1

Essendo presente la pavimentazione asfaltata sulla banchina, i geofoni sono stati posizionati su apposita basetta metallica (Figura 10).



Figura 10: geofono su basetta metallica

Un'immagine dell'acquisizione dati viene mostrata nella foto seguente (Figura 11).



Figura 11: stendimento SMA4

Di seguito viene riportato il quaderno di campagna con l'elenco dei file acquisiti (Figura 12).

CANTIERE HUB Candiano								DATA 30/11/2020	OPERATORE Zambrini
LINEA	FILE	TIPO ACQ.	LUNG. STEND. (m)	GEOFONI	N° GEOFONI	DIREZIONE SORGENTE	TIPO DI SORGENTE	ATTACCO TIME-BREAK	POSIZIONE STRUM. (m)
SMA1	1	MASW RAY ZVF	69	VERTICALI	24	VERTICALE SU PIASTRA APP. AL TERRENO	MAZZA	79m	69m
SMA1	2	MASW RAY ZVF	69	VERTICALI	24	VERTICALE SU PIASTRA APP. AL TERRENO	MAZZA	-10	69m
SMA1	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA1	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA1	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA1	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA1	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA1	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA1	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA1	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA1	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA1	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA1	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA1	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA1	1L	MASW LOVE THF	69	ORIZZONTALI	24	ORIZZONTALE SU PIASTRA TRASVERSALE	MAZZA	-10	69m
SMA1	2L	MASW LOVE THF	69	ORIZZONTALI	24	ORIZZONTALE SU PIASTRA TRASVERSALE	MAZZA	79m	69m

Figura 12: quaderno di campagna indagine sismica

Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software WinMASW Academy della Eliosoft.

È stata effettuata una modellazione a partire dalle conoscenze stratigrafiche (CPT eseguite sul lotto), cercando la maggiore coerenza possibile tra la distribuzione di energia nello spettro di velocità e le curve di dispersione teoriche del modello generato.

Il rilievo di SMA 1 è stato realizzato su terreno non naturale, in un contesto "rumoroso" a causa delle inevitabili attività di cantiere, molto prossime al luogo di acquisizione. Questo aspetto ha influenzato i risultati in una duplice maniera essendo il rumore prevalente su certe componenti in bassa frequenza dei microtremori:

- 1) non è stato possibile utilizzare il dataset relativo alle onde di Love (componente THF dell'acquisizione MASW);
- 2) la presenza in superficie di uno spessore plurimetrico di materiale rimaneggiato, non naturale, ha giocato forza ridotto lo spessore originario dei terreni fini scarsamente consistenti; considerando il maggior grado di addensamento dei primi rispetto ai secondi, ne consegue che i valori di Vs30 risultano, a partire dal piano campagna, superiori ai 180 m/s.

I dati MASW e ReMi relativi alle tracce sperimentali e agli spettri di velocità delle onde di Rayleigh e delle onde di Love sono stati rappresentati su file word formato A4 riportanti i seguenti elementi:

- Spettri MASW onde di Rayleigh e di Love
- Spettri ReMi onde di Rayleigh
- Spettro MASW (Rayleigh) interpretato con metodo FVS
- Spettro ReMi onde di Rayleigh con picking
- Modello ottenuto dal FVS della MASW e Vs30
- Modello ottenuto dal picking delle ReMi, Vs30 e Curva di dispersione

La modellazione dello spettro della componente ZVF ha fornito una stratigrafia che evidenzia la prevalenza di terreni a grana fina (limi e argille) scarsamente consistenti ($V_s < 180$ m/s) fino alla profondità di circa 21-22m dal piano campagna; a partire da questa quota, i valori di V_s incrementano in maniera più rapida e testimoniano il passaggio a terreni a grana grossa mediamente addensati o a terreni a grana fine mediamente consistenti (limi sabbiosi, sabbie limose, sabbie con $V_s > 180$ m/s).

Nella SMA1 il valore V_{sE} (= V_{s30}) il valore V_{sE} (= V_{s30}) per entrambe le analisi è risultato compreso tra un minimo di 198m/s e un massimo di 203m/s; si ritiene pertanto di poter assegnare la categoria C secondo le nuove NTC 2018. Va ad ogni modo sottolineato che l'elevata velocità dei primi 7 metri (oltre 200m/s), costituiti da materiale di riporto e una spessa soletta armata come mostrato dal segnale georadar, fanno inevitabilmente incrementare il valore di V_{s30} complessivo. Ipotizzando la presenza invece di terreno naturale con velocità tipiche della zona intorno a 100-120m/s (come nell'area FUTURO TERMINAL), la classificazione del terreno si porrebbe in una zona di transizione fra C e D.

3.2. Banchina Italterminal



Figura 13: Foto Banchina Italterminal

Lo stendimento utilizzato per l'analisi della dispersione delle onde di superficie SMA1, realizzato il 22 novembre 2020, di cui l'ubicazione in Figura 9, sul quale sono state effettuate registrazioni MASW e ReMi di onde di Rayleigh e Love con metodo MASW, presenta le seguenti caratteristiche:

- 24 geofoni verticali 4.5Hz;
- Lunghezza = 69m;
- Distanza intergefonica = 3m;
- Energizzazioni mediante mazza: -10m, 79m.

Il periodo di campionamento adottato è stato di 1ms e la lunghezza della registrazione di 2s per la MASW e rispettivamente $T_c=2ms$ e $t=30s$ per la ReMi.

Per la generazione delle onde di Rayleigh nella MASW è stata utilizzata una piastra di battuta metallica (configurazione ZVF, Dal Moro & Ferigo, 2011) mentre per le onde di Love una traversina di legno (configurazione THF, Dal Moro & Ferigo, 2011). Per attenuare il rumore incoerente, per ogni punto di energizzazione, è stato effettuato uno stacking verticale con un numero di battute maggiore di 5.



Figura 14: ubicazione della linea sismica SMA2

Essendo presente la pavimentazione asfaltata sulla banchina, i geofoni sono stati posizionati su apposita basetta metallica (Figura 10).



Figura 15: geofono su basetta metallica

Un'immagine dell'acquisizione dati viene mostrata nella foto seguente (Figura 11).



Figura 16: stendimento SMA2

Di seguito viene riportato il quaderno di campagna con l'elenco dei file acquisiti (Figura 12).

CANTIERE HUB Candiano								DATA 22/11/2020	OPERATORE Zambrini
LINEA	FILE	TIPO ACQ.	LUNG. STEND. (m)	GEOFONI	N° GEOFONI	DIREZIONE SORGENTE	TIPO DI SORGENTE	ATTACCO TIME-BREAK	POSIZIONE STRUM. (m)
SMA2	1	MASW RAY ZVF	69	VERTICALI	24	VERTICALE SU PIASTRA APP. AL TERRENO	MAZZA	79m	69m
SMA2	2	MASW RAY ZVF	69	VERTICALI	24	VERTICALE SU PIASTRA APP. AL TERRENO	MAZZA	-10	69m
SMA2	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA2	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA2	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA2	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA2	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA2	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA2	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA2	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA2	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA2	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA2	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA2	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA2	1L	MASW LOVE THF	69	ORIZZONTALI	24	ORIZZONTALE SU PIASTRA TRASVERSALE	MAZZA	-10	69m
SMA2	2L	MASW LOVE THF	69	ORIZZONTALI	24	ORIZZONTALE SU PIASTRA TRASVERSALE	MAZZA	79m	69m

Figura 17: quaderno di campagna indagine sismica

Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software WinMASW Academy della Eliosoft.

È stata effettuata una modellazione a partire dalle conoscenze stratigrafiche (CPT eseguite sul lotto), cercando la maggiore coerenza possibile tra la distribuzione di energia nello spettro di velocità e le curve di dispersione teoriche del modello generato.

Il rilievo di SMA 2 è stato realizzato su terreno non naturale, in un contesto "rumoroso" a causa delle inevitabili attività di cantiere, molto prossime al luogo di acquisizione. Questo aspetto ha influenzato i risultati in una duplice maniera essendo il rumore prevalente su certe componenti in bassa frequenza dei microtremori:

- 1) non è stato possibile utilizzare il dataset relativo alle onde di Love (componente THF dell'acquisizione MASW);
- 2) la presenza in superficie di uno spessore plurimetrico di materiale rimaneggiato, non naturale, ha giocoforza ridotto lo spessore originario dei terreni fini scarsamente consistenti; considerando il maggior grado di addensamento dei primi rispetto ai secondi, ne consegue che i valori di Vs30 risultano, a partire dal piano campagna, superiori ai 180 m/s.

I dati MASW e ReMi relativi alle tracce sperimentali e agli spettri di velocità delle onde di Rayleigh e delle onde di Love sono stati rappresentati su file word formato A4 riportanti i seguenti elementi:

- Spettri MASW onde di Rayleigh e di Love
- Spettri ReMi onde di Rayleigh
- Spettro MASW (Rayleigh) interpretato con metodo FVS
- Spettro MASW (Rayleigh) con picking
- Spettro ReMi onde di Rayleigh con picking
- Modello ottenuto dal FVS della MASW e Vs30
- Modello ottenuto dalla MASW piccata e Vs30
- Modello ottenuto dal picking delle ReMi, Vs30 e Curva di dispersione

La modellazione degli spettri MASW e ReMi ha fornito una stratigrafia che evidenzia la prevalenza di terreni a grana fina (limi e argille) scarsamente consistenti ($V_s < 180$ m/s) fino alla profondità di circa 21-22m dal piano campagna; a partire da questa quota, i valori di V_s incrementano in maniera più rapida e testimoniano il passaggio a terreni a grana grossa mediamente addensati o a terreni a grana fine mediamente consistenti (limi sabbiosi, sabbie limose, sabbie con $V_s > 180$ m/s).

Nella SMA2 il valore V_{sE} (= V_{s30}) per entrambe le analisi è risultato compreso tra un minimo di 190m/s e un massimo di 201m/s; si ritiene pertanto di poter assegnare la categoria C secondo le nuove NTC 2018.

Va ad ogni modo sottolineato che l'elevata velocità dei primi due o tre metri (oltre 200m/s), costituiti da materiale di riporto e pavimentazione asfaltata, fanno inevitabilmente incrementare il valore di V_{s30} complessivo. Ipotizzando la presenza invece di terreno naturale con velocità tipiche della zona intorno a 100-120m/s (come nell'area FUTURO TERMINAL), la classificazione del terreno si porrebbe in una zona di transizione fra C e D.

3.3. Banchina Trattaroli Sud



Figura 18: Foto Banchina Trattaroli Sud T&C

Lo stendimento utilizzato per l'analisi della dispersione delle onde di superficie SMA1, realizzato il 13 dicembre 2020, di cui l'ubicazione in Figura 9, sul quale sono state effettuate registrazioni MASW e ReMi di onde di Rayleigh e Love con metodo MASW, presenta le seguenti caratteristiche:

- 24 geofoni verticali 4.5Hz;

- Lunghezza = 69m;
- Distanza intergeofonica = 3m;
- Energizzazioni mediante mazza: -10m, 79m.

Il periodo di campionamento adottato è stato di 1ms e la lunghezza della registrazione di 2s per la MASW e rispettivamente $T_c=2\text{ms}$ e $t=30\text{s}$ per la ReMi.

Per la generazione delle onde di Rayleigh nella MASW è stata utilizzata una piastra di battuta metallica (configurazione ZVF, Dal Moro & Ferigo, 2011) mentre per le onde di Love una traversina di legno (configurazione THF, Dal Moro & Ferigo, 2011). Per attenuare il rumore incoerente, per ogni punto di energizzazione, è stato effettuato uno stacking verticale con un numero di battute maggiore di 5.



Figura 19: ubicazione della linea sismica SMA3

Essendo presente la pavimentazione asfaltata sulla banchina, i geofoni sono stati posizionati su apposita basetta metallica (Figura 10).



Figura 20: geofono su basetta metallica

Un'immagine dell'acquisizione dati viene mostrata nella foto seguente (Figura 11).



Figura 21: stendimento SMA3

Di seguito viene riportato il quaderno di campagna con l'elenco dei file acquisiti (Figura 12).

CANTIERE HUB Candiano								DATA 13/12/2020	OPERATORE Zambrini
LINEA	FILE	TIPO ACQ.	LUNG. STEND. (m)	GEOFONI	N° GEOFONI	DIREZIONE SORGENTE	TIPO DI SORGENTE	ATTACCO TIME-BREAK	POSIZIONE STRUM. (m)
SMA3	1	MASW RAY ZVF	69	VERTICALI	24	VERTICALE SU PIASTRA APP. AL TERRENO	MAZZA	79m	69m
SMA3	2	MASW RAY ZVF	69	VERTICALI	24	VERTICALE SU PIASTRA APP. AL TERRENO	MAZZA	-10	69m
SMA3	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA3	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA3	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA3	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA3	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA3	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA3	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA3	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA3	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA3	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA3	1L	MASW LOVE THF	69	ORIZZONTALI	24	ORIZZONTALE SU PIASTRA TRASVERSALE	MAZZA	-10	69m
SMA3	2L	MASW LOVE THF	69	ORIZZONTALI	24	ORIZZONTALE SU PIASTRA TRASVERSALE	MAZZA	79m	69m

Figura 22: quaderno di campagna indagine sismica

Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software WinMASW Academy della Eliosoft.

È stata effettuata una modellazione a partire dalle conoscenze stratigrafiche (CPT eseguite sul lotto), cercando la maggiore coerenza possibile tra la distribuzione di energia nello spettro di velocità e le curve di dispersione teoriche del modello generato.

Il rilievo di SMA 3 è stato realizzato su terreno non naturale, in un contesto "rumoroso" a causa delle inevitabili attività di cantiere, molto prossime al luogo di acquisizione. Questo aspetto ha influenzato i risultati in una duplice maniera essendo il rumore prevalente su certe componenti in bassa frequenza dei microtremori:

- 1) non è stato possibile utilizzare il dataset relativo alle onde di Love (componente THF dell'acquisizione MASW);
- 2) la presenza in superficie di uno spessore plurimetrico di materiale rimaneggiato, non naturale, ha giocato forza ridotto lo spessore originario dei terreni fini scarsamente consistenti; considerando il maggior grado di addensamento dei primi rispetto ai secondi, ne consegue che i valori di Vs30 risultano, a partire dal piano campagna, superiori ai 180 m/s.

I dati MASW e ReMi relativi alle tracce sperimentali e agli spettri di velocità delle onde di Rayleigh e delle onde di Love sono stati rappresentati su file word formato A4 riportanti i seguenti elementi:

- Spettri MASW onde di Rayleigh e di Love

- Spettri ReMi onde di Rayleigh
- Spettro MASW (Rayleigh) interpretato con metodo FVS
- Spettro MASW (Rayleigh) con picking
- Spettro ReMi onde di Rayleigh con picking
- Modello ottenuto dal FVS della MASW e Vs30
- Modello ottenuto dalla MASW piccata e Vs30
- Modello ottenuto dal picking delle ReMi, Vs30 e Curva di dispersione

La modellazione degli spettri MASW e ReMi ha fornito una stratigrafia che evidenzia la prevalenza di terreni a grana fina (limi e argille) scarsamente consistenti ($V_s < 180$ m/s) fino alla profondità di circa 17m dal piano campagna; a partire da questa quota, i valori di V_s incrementano in maniera più rapida e testimoniano il passaggio a terreni a grana grossa mediamente addensati o a terreni a grana fine mediamente consistenti (limi sabbiosi, sabbie limose, sabbie con $V_s > 180$ m/s).

Nella SMA3 il valore V_{sE} (= V_{s30}) per entrambe le analisi è risultato compreso tra un minimo di 198m/s e un massimo di 217m/s; si ritiene pertanto di poter assegnare la categoria C secondo le nuove NTC 2018.

Va ad ogni modo sottolineato che l'elevata velocità dei primi due o tre metri (oltre 200m/s), costituiti da materiale di riporto e pavimentazione asfaltata, fanno inevitabilmente incrementare il valore di V_{s30} complessivo. Ipotizzando la presenza invece di terreno naturale con velocità tipiche della zona intorno a 100-120m/s (come nell'area FUTURO TERMINAL), la classificazione del terreno si porrebbe in una zona di transizione fra C e D.

3.4. Banchina Docks Piomboni nord

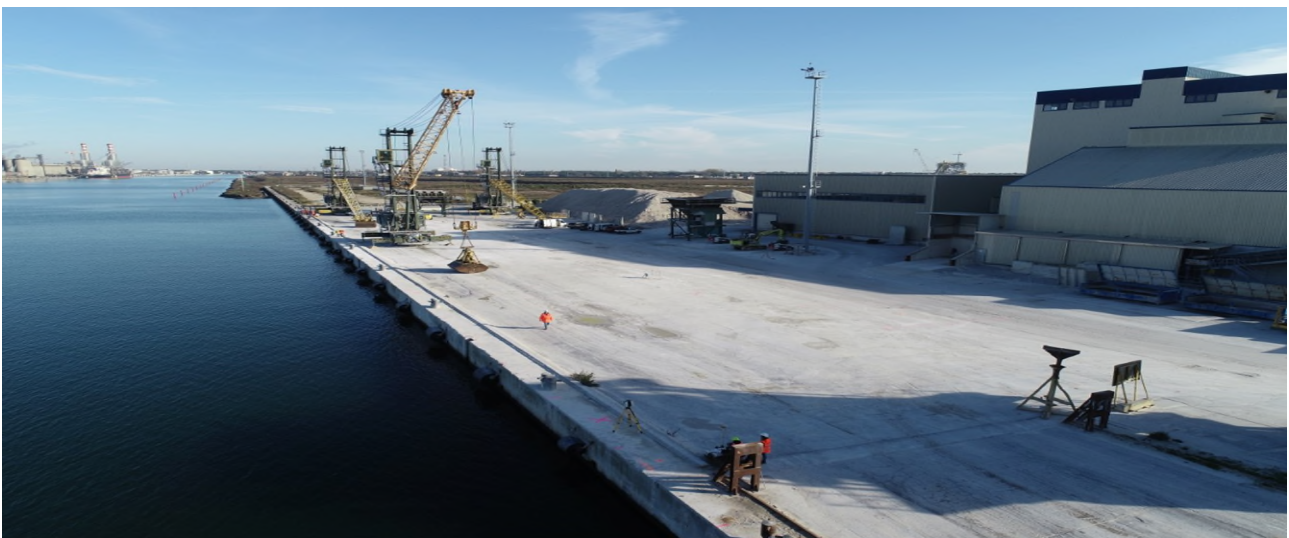


Figura 23: Foto Banchina Docks Piomboni Nord

Lo stendimento utilizzato per l'analisi della dispersione delle onde di superficie SMA1, realizzato il 23 novembre 2020, di cui l'ubicazione in Figura 9, sul quale sono state effettuate registrazioni MASW e ReMi di onde di Rayleigh e Love con metodo MASW, presenta le seguenti caratteristiche:

- 24 geofoni verticali 4.5Hz;
- Lunghezza = 69m;
- Distanza intergeofonica = 3m;
- Energizzazioni mediante mazza: -10m, 79m.

Il periodo di campionamento adottato è stato di 1ms e la lunghezza della registrazione di 2s per la MASW e rispettivamente $T_c=2\text{ms}$ e $t=30\text{s}$ per la ReMi.

Per la generazione delle onde di Rayleigh nella MASW è stata utilizzata una piastra di battuta metallica (configurazione ZVF, Dal Moro & Ferigo, 2011) mentre per le onde di Love una traversina di legno (configurazione THF, Dal Moro & Ferigo, 2011). Per attenuare il rumore incoerente, per ogni punto di energizzazione, è stato effettuato uno stacking verticale con un numero di battute maggiore di 5.



Figura 24: ubicazione della linea sismica SMA4

Essendo presente la pavimentazione asfaltata sulla banchina, i geofoni sono stati posizionati su apposita basetta metallica (Figura 10).



Figura 25: geofono su bassetta metallica

Un'immagine dell'acquisizione dati viene mostrata nella foto seguente (Figura 11).

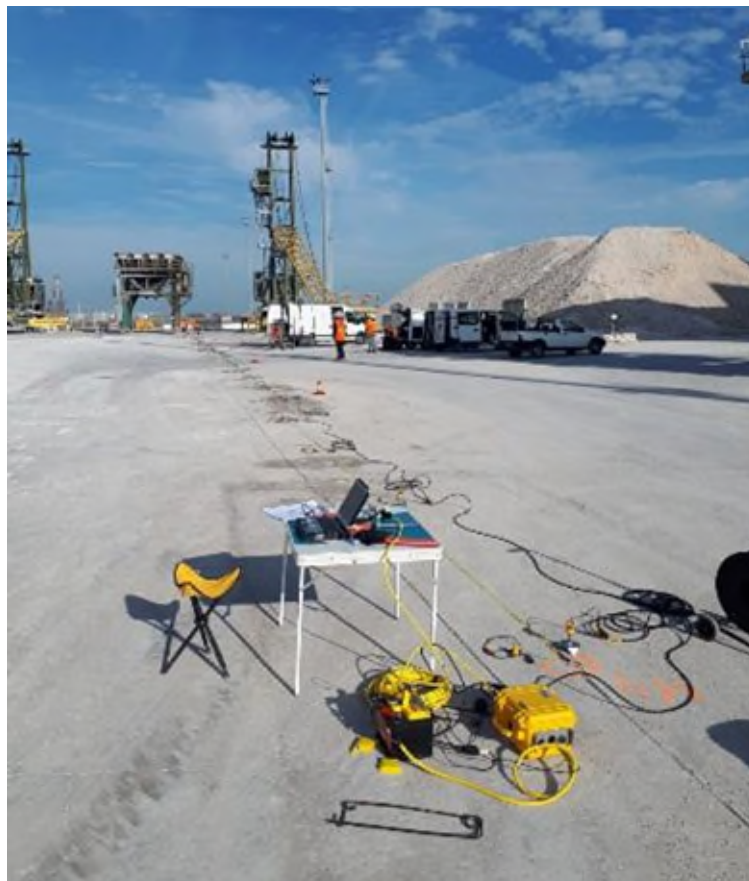


Figura 26: stendimento SMA3

Di seguito viene riportato il quaderno di campagna con l'elenco dei file acquisiti (Figura 12).

CANTIERE HUB Candiano								DATA 23/11/2020	OPERATORE Zambrini
LINEA	FILE	TIPO ACQ.	LUNG. STEND. (m)	GEOFONI	N° GEOFONI	DIREZIONE SORGENTE	TIPO DI SORGENTE	ATTACCO TIME-BREAK	POSIZIONE STRUM. (m)
SMA4	1	MASW RAY ZVF	69	VERTICALI	24	VERTICALE SU PIASTRA APP. AL TERRENO	MAZZA	79m	69m
SMA4	2	MASW RAY ZVF	69	VERTICALI	24	VERTICALE SU PIASTRA APP. AL TERRENO	MAZZA	-10	69m
SMA4	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA4	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA4	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA4	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA4	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA4	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA4	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA4	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA4	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA4	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA4	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA4	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA4	1L	MASW LOVE THF	69	ORIZZONTALI	24	ORIZZONTALE SU PIASTRA TRASVERSALE	MAZZA	-10	69m
SMA4	2L	MASW LOVE THF	69	ORIZZONTALI	24	ORIZZONTALE SU PIASTRA TRASVERSALE	MAZZA	79m	69m

Figura 27: quaderno di campagna indagine sismica

Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software WinMASW Academy della Eliosoft.

È stata effettuata una modellazione a partire dalle conoscenze stratigrafiche (CPT eseguite sul lotto), cercando la maggiore coerenza possibile tra la distribuzione di energia nello spettro di velocità e le curve di dispersione teoriche del modello generato.

Il rilievo di SMA 4 è stato realizzato su terreno non naturale, in un contesto "rumoroso" a causa delle inevitabili attività di cantiere, molto prossime al luogo di acquisizione. Questo aspetto ha influenzato i risultati in una duplice maniera essendo il rumore prevalente su certe componenti in bassa frequenza dei microtremori:

1) è stato possibile utilizzare un solo dataset, ovvero quello acquisito secondo la configurazione in grado di conferire maggiore energia al sottosuolo in fase di energizzazione (componente ZVF dell'acquisizione MASW);

2) la presenza in superficie di uno spessore plurimetrico di materiale rimaneggiato, non naturale, ha giocato forza ridotto lo spessore originario dei terreni fini scarsamente consistenti; considerando il maggior grado di addensamento dei primi rispetto ai secondi, ne consegue che i valori di Vs30 risultano, a partire dal piano campagna, superiori ai 180 m/s.

I dati MASW e ReMi relativi alle tracce sperimentali e agli spettri di velocità delle onde di Rayleigh e delle onde di Love sono stati rappresentati su file word formato A4 riportanti i seguenti elementi:

- Spettri MASW onde di Rayleigh e di Love
- Spettri ReMi onde di Rayleigh
- Spettro MASW (Rayleigh) interpretato con metodo FVS
- Modello ottenuto dal FVS della MASW e Vs30

La modellazione dello spettro della componente ZVF ha fornito una stratigrafia che evidenzia la prevalenza di terreni a grana fina (limi e argille) scarsamente consistenti ($V_s < 180$ m/s) fino alla profondità di circa 18-19m dal piano campagna; a partire da questa quota, i valori di V_s incrementano in maniera più rapida e testimoniano il passaggio a terreni a grana grossa mediamente addensati o a terreni a grana fine mediamente consistenti (limi sabbiosi, sabbie limose, sabbie con $V_s > 180$ m/s).

Nella SMA4 il valore V_{sE} (= V_{s30}) è risultato pari a 206m/s quindi classificato come categoria C secondo le nuove NTC 2018. Va ad ogni modo sottolineato che l'elevata velocità dei primi due o tre metri (oltre 200m/s), costituiti da materiale di riporto e pavimentazione asfaltata, fanno inevitabilmente incrementare il valore di V_{s30} complessivo. Ipotizzando la presenza invece di terreno naturale con velocità tipiche della zona intorno a 100-120m/s (come nell'area FUTURO TERMINAL), la classificazione del terreno si porrebbe in una zona di transizione fra C e D.

3.5. Banchina Nuovo Terminal Container



Figura 28: Foto Banchina Nuovo terminal container

Lo stendimento utilizzato per l'analisi della dispersione delle onde di superficie SMA1, realizzato il 19 novembre 2020, di cui l'ubicazione in Figura 9, sul quale sono state effettuate registrazioni MASW e ReMi di onde di Rayleigh e Love con metodo MASW, presenta le seguenti caratteristiche:

- 24 geofoni verticali 4.5Hz;
- Lunghezza = 69m;
- Distanza intergeofonica = 3m;
- Energizzazioni mediante mazza: -10m, 79m.

Il periodo di campionamento adottato è stato di 1ms e la lunghezza della registrazione di 2s per la MASW e rispettivamente $T_c=2$ ms e $t=30$ s per la ReMi.

Per la generazione delle onde di Rayleigh nella MASW è stata utilizzata una piastra di battuta metallica (configurazione ZVF, Dal Moro & Ferigo, 2011) mentre per le onde di Love una traversina di legno (configurazione THF, Dal Moro & Ferigo, 2011). Per attenuare il rumore incoerente, per ogni punto di energizzazione, è stato effettuato uno stacking verticale con un numero di battute maggiore di 5.



Figura 29: ubicazione della linea sismica SMA5 e SMA6

Fasi dell'acquisizione dati vengono mostrate nelle foto seguenti (Figura 11).



Figura 30: stendimento SMA5 e SMA6

Di seguito viene riportato il quaderno di campagna con l'elenco dei file acquisiti (Figura 12).

CANTIERE HUB Candiano								DATA 19/11/2020	OPERATORE Zambrini
LINEA	FILE	TIPO ACQ.	LUNG. STEND. (m)	GEOFONI	N° GEOFONI	DIREZIONE SORGENTE	TIPO DI SORGENTE	ATTACCO TIME-BREAK	POSIZIONE STRUM. (m)
SMA5	1	MASW RAY ZVF	69	VERTICALI	24	VERTICALE SU PIASTRA APP. AL TERRENO	MAZZA	79m	69m
SMA5	2	MASW RAY ZVF	69	VERTICALI	24	VERTICALE SU PIASTRA APP. AL TERRENO	MAZZA	-10	69m
SMA5	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA5	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA5	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA5	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA5	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA5	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA5	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA5	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA5	1R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA5	2R	REMI	69	VERTICALI	24			-	69m
SMA5	1L	MASW LOVE THF	69	ORIZZONTALI	24	ORIZZONTALE SU PIASTRA TRASVERSALE	MAZZA	-10	69m
SMA5	2L	MASW LOVE THF	69	ORIZZONTALI	24	ORIZZONTALE SU PIASTRA TRASVERSALE	MAZZA	79m	69m
SMA6	1	MASW RAY ZVF	69	VERTICALI	24	VERTICALE SU PIASTRA APP. AL TERRENO	MAZZA	79m	69m
SMA6	2	MASW RAY ZVF	69	VERTICALI	24	VERTICALE SU PIASTRA APP. AL TERRENO	MAZZA	-10	69m
SMA6	1R	REMI	69	VERTICALI	24				69m
SMA6	2R	REMI	69	VERTICALI	24				69m
SMA6	1R	REMI	69	VERTICALI	24				69m
SMA6	2R	REMI	69	VERTICALI	24				69m
SMA6	1R	REMI	69	VERTICALI	24				69m
SMA6	2R	REMI	69	VERTICALI	24				69m
SMA6	1R	REMI	69	VERTICALI	24				69m
SMA6	2R	REMI	69	VERTICALI	24				69m
SMA6	1R	REMI	69	VERTICALI	24				69m
SMA6	2R	REMI	69	VERTICALI	24				69m
SMA6	1L	MASW LOVE THF	69	ORIZZONTALI	24	ORIZZONTALE SU PIASTRA TRASVERSALE	MAZZA	-10	69m
SMA6	2L	MASW LOVE THF	69	ORIZZONTALI	24	ORIZZONTALE SU PIASTRA TRASVERSALE	MAZZA	79m	69m

Figura 31: quaderno di campagna indagine sismica

Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software WinMASW Academy della EliaSoft.

È stata effettuata una modellazione a partire dalle conoscenze stratigrafiche (CPT eseguite sul lotto), cercando la maggiore coerenza possibile tra la distribuzione di energia nello spettro di velocità e le curve di dispersione teoriche del modello generato. Inoltre, in generale la modellazione degli spettri MASW e ReMi è stata effettuata in modalità integrata poiché quelli MASW sono più rappresentativi dei primi 15-20 fino a 4-5Hz mentre i ReMi hanno uno spettro meglio definito alle frequenze più basse.

La situazione geologica "naturale" del sito (cioè privo di solette o asfalto) emerge chiaramente dai risultati delle indagini condotte in SMA5 e SMA6; i dataset delle acquisizioni mediante tecnica MASW e ReMi evidenziano degli spettri di velocità ben definiti fino alle basse frequenze.

I dati MASW e ReMi relativi alle tracce sperimentali e agli spettri di velocità delle onde di Rayleigh e delle onde di Love sono stati rappresentati su file word formato A4 riportanti i seguenti elementi:

- Spettri MASW onde di Rayleigh e di Love
- Spettri MASW interpretati con metodo FVS
- Modello ottenuto dal FVS delle MASW e Vs30
- Spettri ReMi onde di Rayleigh
- Spettro ReMi onde di Rayleigh con picking
- Modello ottenuto dal picking delle ReMi, Vs30 e Curva di dispersione

La modellazione degli spettri di entrambe le componenti (ZVF e THF) ha fornito una stratigrafia che, per entrambi i siti, evidenzia la prevalenza di terreni a grana fina (limi e argille) scarsamente consistenti ($V_s < 180$ m/s) fino alla profondità di circa 17-18m dal piano campagna; a partire da questa quota, i valori di V_s incrementano in maniera più rapida e testimoniano il passaggio a terreni a grana grossa mediamente addensati o a terreni a grana fine mediamente consistenti (limi sabbiosi, sabbie limose, sabbie con $V_s > 180$ m/s).

Nella SMA5 e nella SMA6 il valore V_{sE} (= V_{s30}) per entrambe le analisi è risultato compreso tra un minimo di 167m/s e un massimo 177m/s; si ritiene pertanto di poter assegnare ad entrambi i siti la categoria D secondo le nuove NTC 2018.