

COMUNE DI
BENEVENTO
 PROVINCIA DI BENEVENTO

OGGETTO

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO - AMBITO N. 7 - COMPARTO TU45D2

COMMITTENTE: **CONSORZIO SAN VITO**

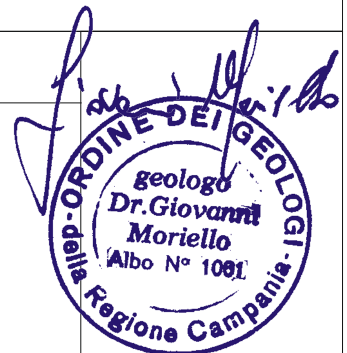
TAVOLA

STUDIO GEOLOGICO

ELABORATO:

**GEO
3**

**PROVA SISMICA MASW 2016
PER IL P.U.A.**



Geologo

SCALA
1:/....

DATA

Febbraio 2016

Giovanni MORIELLO



Studio Associato: di Corradino & D'Agostino
Via L. Piccinato 21
82100 Benevento
Cell. 3286070575 - PEC: giudagos@epap.sicurezzapostale.it

COMUNE DI BENEVENTO
PROVINCIA DI BENEVENTO

RAPPORTO DI PROVA INDAGINI GEOFISICHE IN ARRAY LINEARE

*"Piano Urbanistico Attuativo (PUA) di iniziativa privata, relativo
al comparto edificatorio TU45D2 - Consorzio San Vito"*

COMMITTENTE:

Dott. Geol. Giovanni Moriello

Data di Acquisizione: 03/02/2016



Il Responsabile dell'indagine:

Dott. Giuseppe D'Agostino



Generalità sulle tecniche di indagine utilizzate

E' stata eseguita una indagine MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) al fine di determinare il parametro V_{s30} , nel rispetto delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, di cui al D.M. 14-01-08.

Nelle prospezioni sismiche per le quali si utilizzano le onde di tipo **P**, la maggior parte dell'energia sismica totale generata si propaga come onde superficiali di tipo **Rayleigh**. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente in frequenza di queste onde è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) e quindi da una diversa lunghezza d'onda. Questa proprietà si chiama *dispersione*. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di volume (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (**Vs**), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di **Rayleigh** è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Per ottenere un profilo verticale di velocità **Vs** bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di *dispersione*, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a rifrazione.

La tecnica MASW può essere efficace anche con solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni verticali a bassa frequenza (4.5 Hz).

Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde **S** (**Vs**) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:



- acquisizione dei dati sperimentali;
- estrazione della curva di dispersione;
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s (profilo 1-D), che descrive la variazione di V_s con la profondità.

L'elaborazione del MASW con software specifico ha consentito di determinare il profilo verticale delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio, il valore del parametro V_{s30} e la relativa classe di terreno, nonché la frequenza di risonanza caratteristica del sito.

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008 (ex DM 14/09/2005).

Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (V_s).

L'analisi dei dati ha consentito di definire i valori del profilo verticale V_s (quindi del parametro V_{s30}) e, successivamente, ottenere una stima della *frequenza di risonanza* di sito in relazione all'amplificazione litologica.

La classificazione dei terreni è stata svolta sulla base del valore della V_{s30} (il valore *medio* della V_s nei primi 30m di profondità) definita dalla relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}} \quad \text{eq. (1)}$$

in cui V_{s_i} e h_i sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio e lo spessore dell' i -esimo strato.

Acquisizione ed elaborazione dati

Strumentazione impiegata

Lo strumento adoperato per l'indagine in oggetto è il DOREMI, prodotto dalla "Sara Electronic Instruments" di Perugia; si tratta di un sismografo a trasmissione digitale del segnale, concepito per garantire la massima flessibilità di utilizzo in tutte le indagini geofisiche ed è costituito da unità miniaturizzate e indipendenti che distribuiscono l'elettronica lungo tutto lo stendimento. È uno strumento adatto ai seguenti tipi di indagine: rifrazione; rifrazione e Microtremori (ReMi); M.A.S.W.; S.A.S.W.; riflessione; down-hole, crosshole; up-hole. L'architettura innovativa del sismografo DoReMi offre una eccezionale silenziosità ed immunità ai rumori raggiungendo una dinamica totale di 155dB la quale permette, ad esempio in una indagine per rifrazione, il superamento dei 70 metri energizzando con una mazza da un solo Kg.

I geofoni adoperati sono i geofoni Geospace GS11D 4.5Hz 4k Ω .

Nel caso specifico in esame, l'acquisizione è stata eseguita posizionando 21 geofoni da 4.5 Hz lungo un profilo lineare con le seguenti caratteristiche:

- distanza intergeofonica: 2.0 m;
- offset sorgente: 5.0 m;
- durata acquisizione: 1000 ms;
- intervallo di campionamento: 0.5 ms.

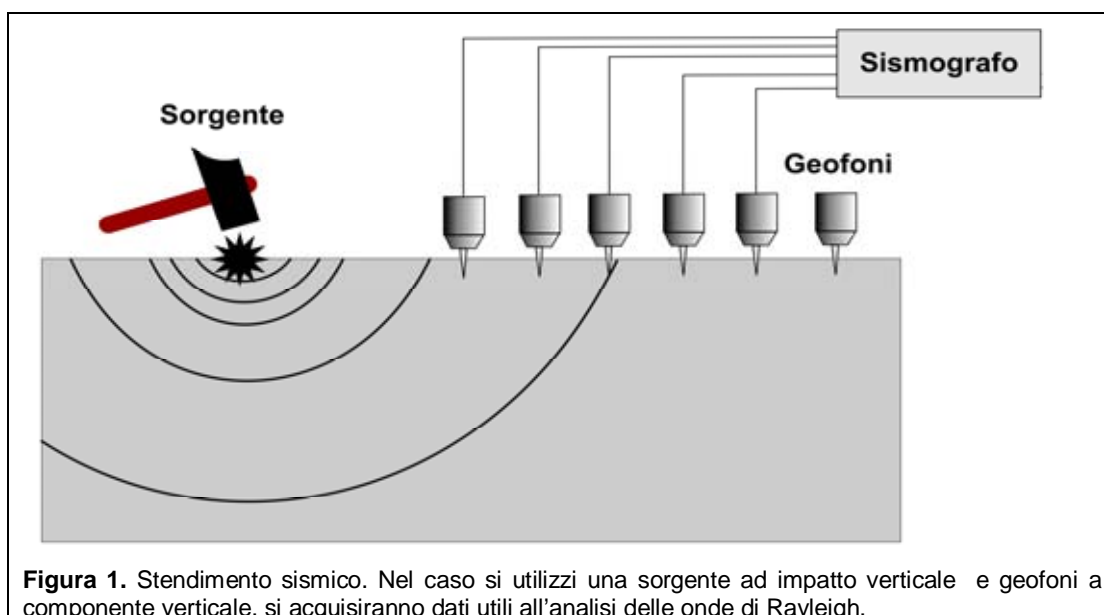


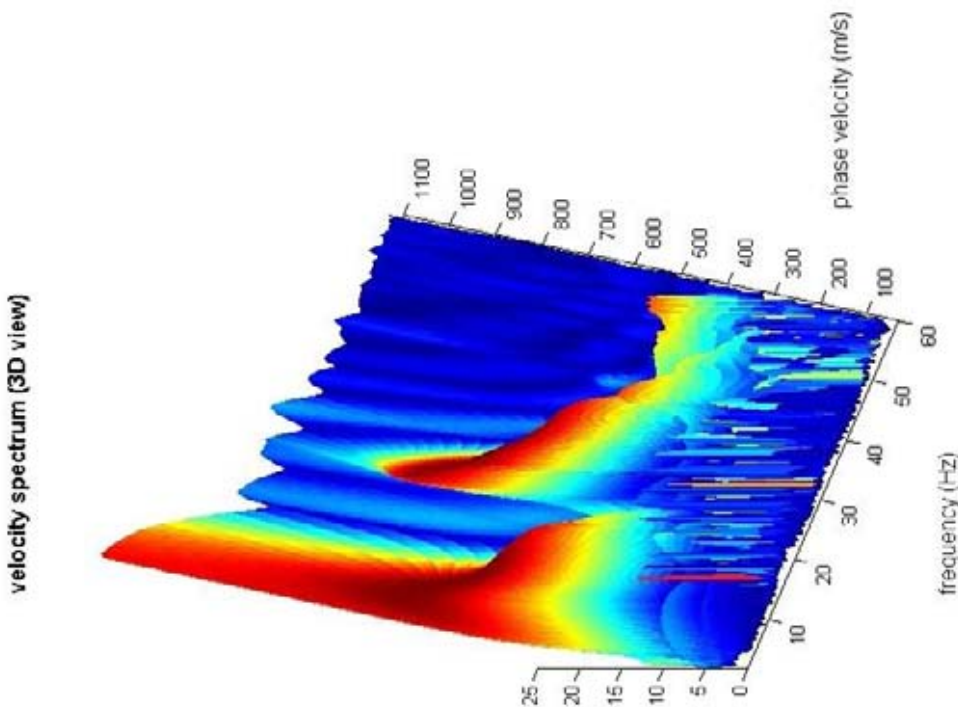
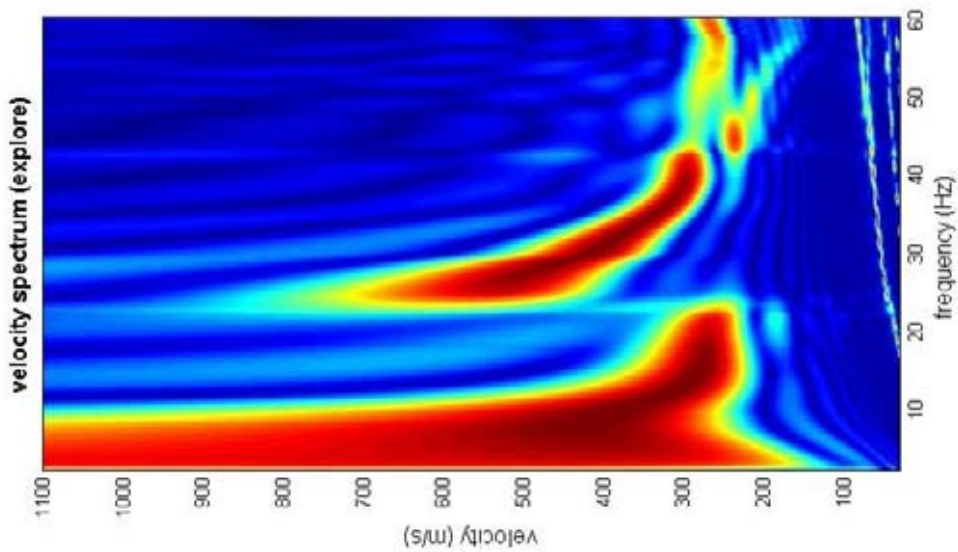
Figura 1. Stendimento sismico. Nel caso si utilizzi una sorgente ad impatto verticale e geofoni a componente verticale, si acquisiranno dati utili all'analisi delle onde di Rayleigh.



Elaborazione

Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software **WinMASW 5.1 Academy della Eliosoft**.

I dati **MASW** sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (V_s).



spettro 3D frequenza/velocità di fase

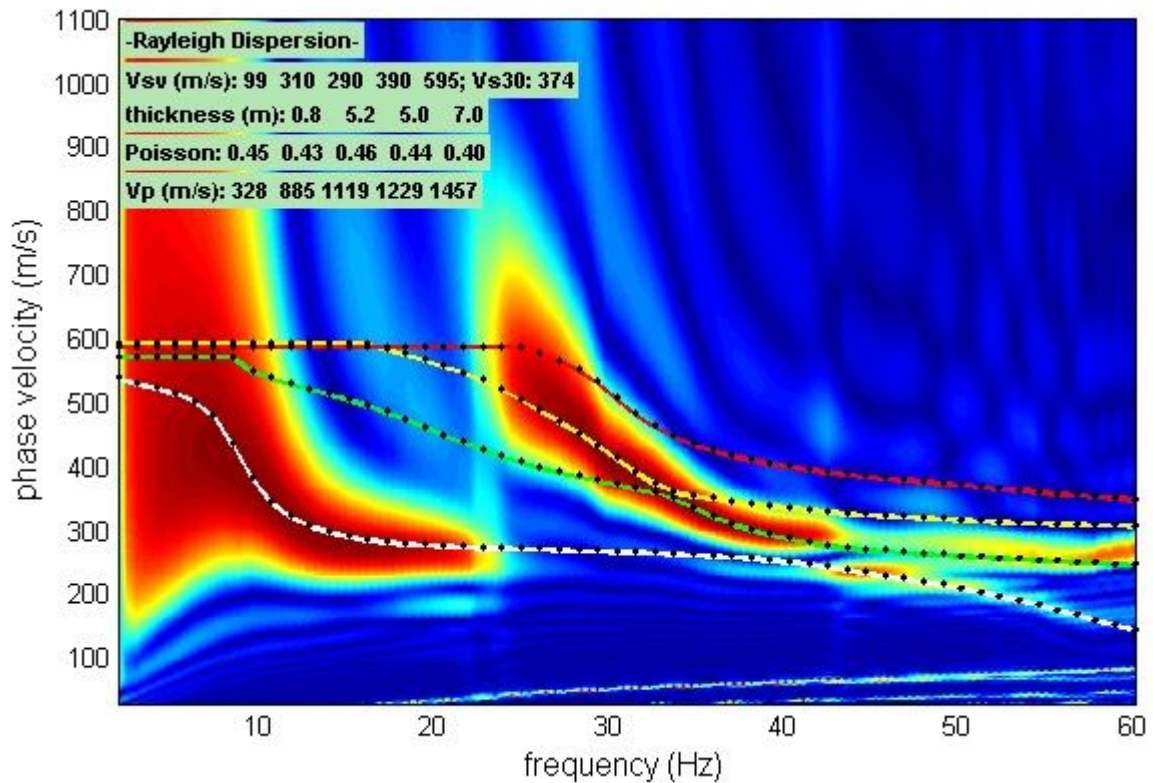
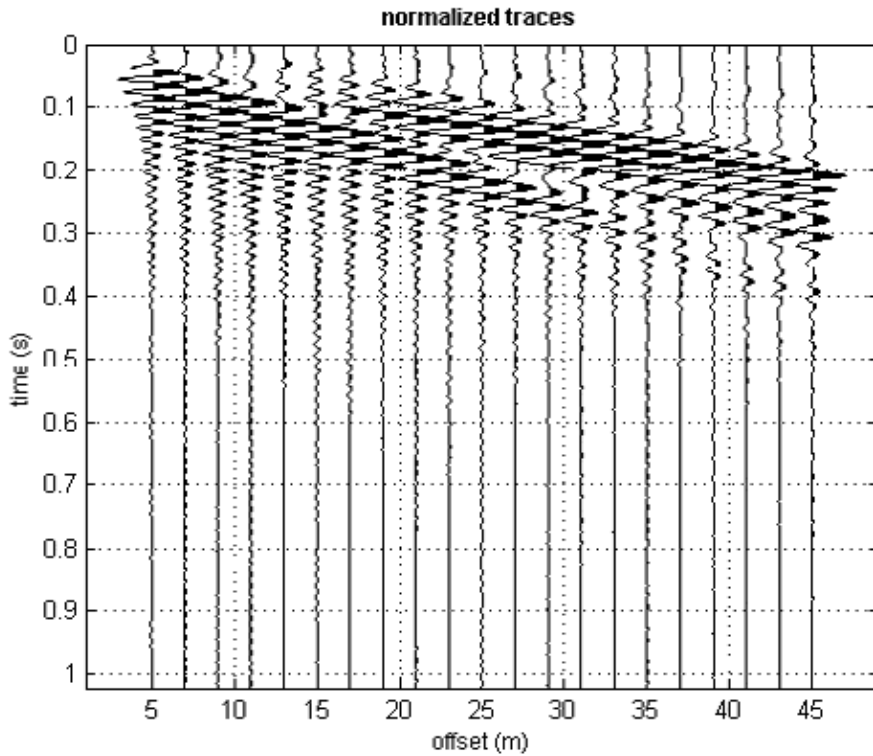


dataset: 2016-02-03_15-15-01_02000_0100_21_A_cquis.sgy

sampling: 0.5 ms

minimum offset: 5 m

geophone spacing: 2 m



Sismogramma del dataset e curve di dispersione del modello elaborato

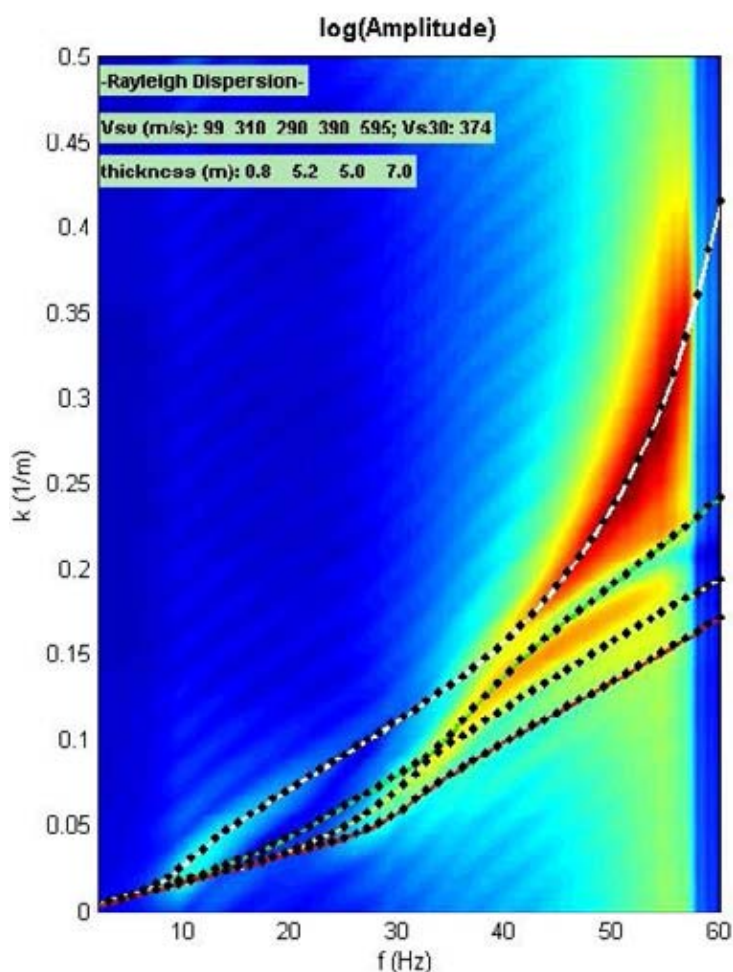


Tabella riepilogativa con stima dei principali moduli elastici dinamici (*)

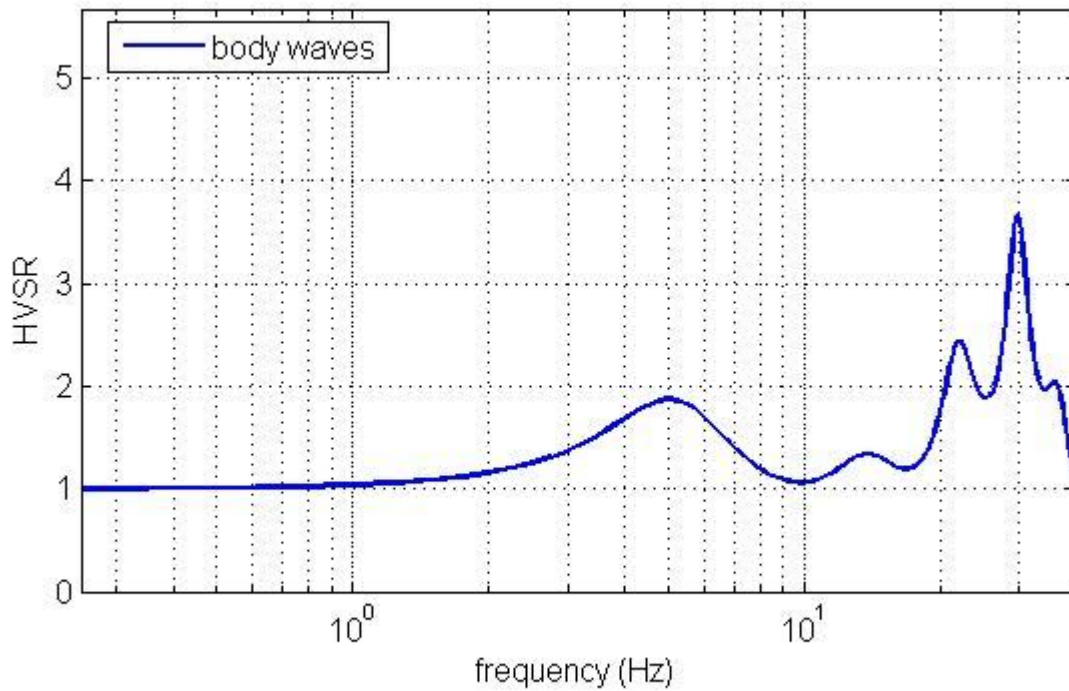
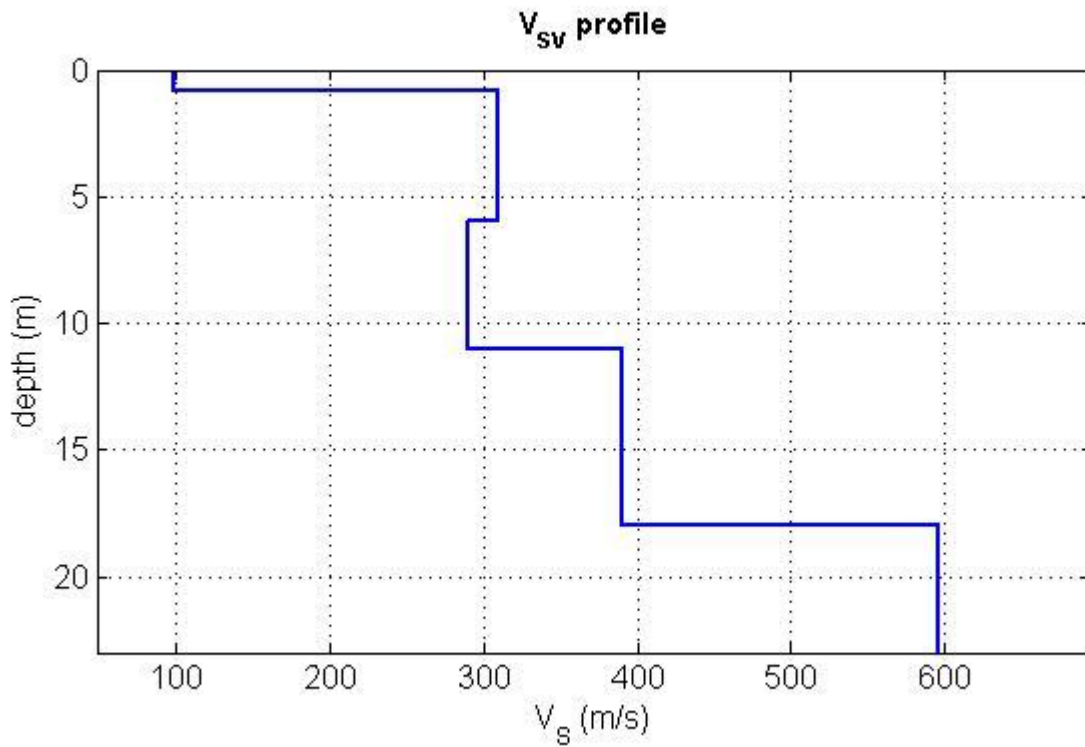
Strato	Profondità dello strato dal p.c.	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Modulo di Young (MPa)	Modulo di Taglio (MPa)	Poisson
1	0,00 - 0,80 m	328	99	50	17	0.45
2	0,80 - 6,00 m	885	310	495	173	0.43
3	6,00 - 11,00 m	1119	290	456	156	0.46
4	11,00 - 18,00 m	1229	390	812	281	0.44
5	18,00 - 30,00 m	1457	595	1883	673	0.40

$V_{s30} = 374$ m/sec (al piano campagna)

Categoria Suolo di Fondazione: **B**



Spettro f/k (frequenza/numero d'onda) del dataset acquisito, con curve di dispersione del modello elaborato



profilo verticale di V_S (in alto) e Curva HV sintetica, relativa al modello elastico determinato (frequenza di risonanza = 30.0 Hz)



La Normativa Italiana prevede una classificazione del sito in funzione sia della velocità delle onde S nella copertura, che dello spessore della stessa. Vengono identificate, in tal modo, 5 classi, ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

Classe	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione di spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi a grana grossa molto addensati o a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi fra 360 m/s e 800 m/s ($N_{spt} > 50$ o coesione non drenata > 250 kPa).
C	Depositi a grana grossa mediamente addensati o a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi fra 180 e 360 m/s ($15 < N_{spt} < 50$, $70 < cu < 250$ kPa).
D	Depositi a grana grossa scarsamente addensati o a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} < 180 m/s ($N_{spt} < 15$, $cu < 70$ kPa).
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali non litoidi (granulari o coesivi), con valori di V_{s30} simili a quelli delle classi C o D e spessore non superiore a 20 m, giacenti su un substrato più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s.

In generale il fenomeno dell'amplificazione sismica diventa più accentuato passando dalla classe A alla classe E. Alle cinque categorie descritte se ne aggiungono altre due per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare.

Classe	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s ($10 < cu < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 metri di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 metri di torba o argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria non rientrante nelle classi precedenti.



In riferimento ai dati della campagna di indagini geofisiche che lo scrivente ha eseguito e di cui ai paragrafi precedenti, il sito in esame può essere classificato come appartenente alla **Categoria Suolo di Fondazione B.**

Benevento, 03/02/2016



Lo sperimentatore,
Dott. Giuseppe D'Agostino



(*) non esiste alcuna relazione tra i moduli elastici statici e dinamici, in quanto, pur appartenendo alla medesima curva sforzi-deformazioni, dipendono da valori delle deformazioni molto diversi tra loro, tipicamente dell'ordine dello 0.0001-0.01% in campo dinamico e dell'1-2% in campo statico.

I moduli elastici dinamici sono misurati per piccole deformazioni ($< 10^{-4}$) e si osserva che i loro valori decrescono con l'aumentare delle deformazioni. I moduli elastici statici misurati in laboratorio sono, pertanto, più piccoli di quelli misurati in sito; alcune correlazioni empiriche permettono di ottenerli partendo da quelli elastici dinamici. Nelle misure di laboratorio il rapporto E_d/E_s (E_d modulo di young o elastico dinamico – E_s modulo di young o elastico statico) è comunemente 2.0 [Cheng and Johnston, 1981], ma per misure in sito questo rapporto varia fra 1.5 e 9.1 [Gudmundsson, 1990; Link, 1968].

Le correlazioni empiriche proposte, vanno comunque sempre provate.

In linea di massima, si può far riferimento alla relazione di Rzhovsky e Novic (1971):

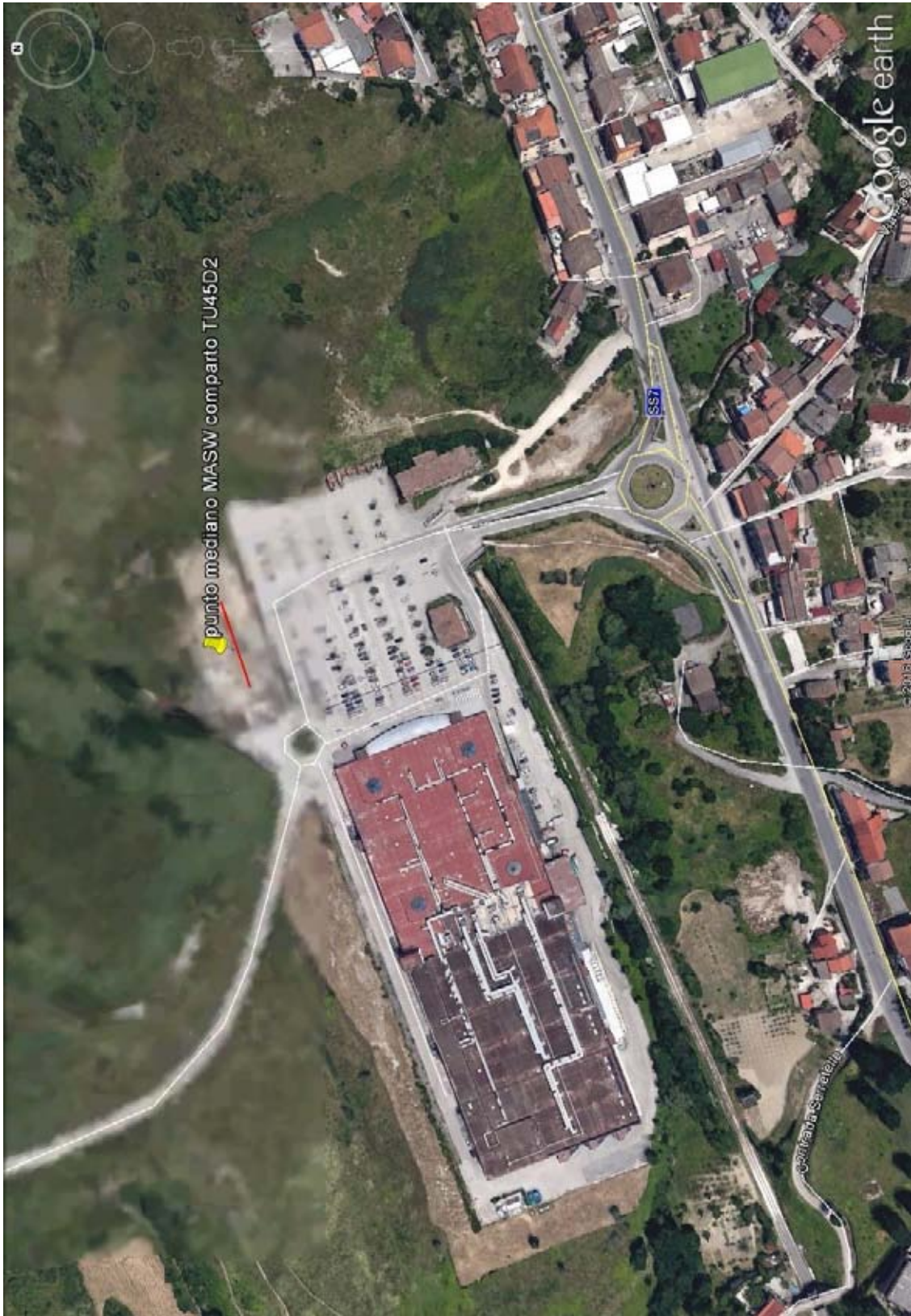
$$E_{din} = 8.3 E_{stat} + 0.97 \quad \underline{E_{stat} = (E_{din} - 0.97) / 8.3}$$



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Panoramica dai due estremi dell'array



Planimetria con ubicazione dell'array sismico.

Coordinate del punto mediano: 41° 7'10.17"N, 14° 45'29.60"E