Dott. Gianpiero Monti
Geologo
Via del Municipio, 16 - 83053 S. Andrea di C. (AV)
Tel./fax: 0827/35.426 - cell. 329/0728.890
email: gianpiero.monti@alice.it

COMUNE DI MONTORO INFERIORE

Provincia di Avellino

COMMITTENTE: DOTT.GEOL. VINCENZO SESSA

OGGETTO: PROSPEZIONE GEOFISICA MASW IN AREA PIP LOC. QUERCE PER CONTO DI ENNE DUE S.r.L.

RELAZIONE GEOFISICA

Il Geologo
Dott. Gianpiero Monti

DATA: luglio2010

1) PREMESSA

Il sottoscritto dott. Geologo Gianpiero Monti, iscritto all'Ordine dei Geologi della Campania al n°935, su incarico del dott. Geologo Vincenzo , ha eseguito una campagna di prospezioni sismiche con tecnica MASW per conto della Enne Due S.r.l. nel Comune di Montoro Inferiore (Av), nell'ambito delle indagini geognostiche nell'area PIP in loc. Querce.

Il fine dello studio è stato quello di determinare la velocità equivalente delle onde di taglio V_{S30}, definita così come indicato nel § 3.2.2 delle N.T.C. 14/01/2008.

A tale scopo, è stata programmata ed eseguita la seguente campagna d'indagini:

- n°1 prospezione sismica con tecnica MASW.

La strumentazione adoperata in campagna per effettuare le indagini richieste consiste in un sismografo M.A.E. modello A3000-S/16, il quale possiede le seguenti caratteristiche tecniche:

- Dispositivo pluritraccia a sedici canali per l'acquisizione contemporanea del segnale sismico;
- Gestione di tutte le funzioni attuata per mezzo di microprocessore (CPU NS Geode GXLV 233 Mhz);
- Monitoraggio Hardware Winbond W83781D;
- Controller Fast Ethernet Intel 82559ER 10/100 Base – T;
- Hard Disk da 64 Mb su Compact Flash Disk Udma/33;
- Display LCD 6,4" Tft a colori, touch screen;
- Memoria RAM 128 Mb PC100 Mhz;
- Amplificatore d'ingresso con guadagno totale massimo pari a 90 dB;
- Numero di campioni per traccia: 2048; frequenza di campionamento 250/500/1000/2000/5000/10.000 camp./sec.;
- Risoluzione a 12 bit (4096 livelli);
- Dispositivo d'incremento automatico del segnale in ingresso, con algoritmo di sommaria; possibilità di verifica e registrazione del rumore di fondo generato da sorgenti esterne (vento, echi lontani, traffico stradale, rumori d'origine naturale, ecc.)
- Registrazione dei dati su *disk on key USB*;
- Accumulatore per sismografo da 12 V e 24 A;
- Geofono tridimensionale da pozzo ad ancoraggio pneumatico;

- Geofoni "Oyo" per sismica a rifrazione e MASW(4.5Hz;10 - 14 Hz);
- Geofono "Sensor" utilizzato come trigger per il rilevamento del tempo T_0;
- Sistema di energizzazione a massa battente per caduta (maglio da 18 kg; altezza di caduta circa 1.50 m) e piastra per originare onde di compressione;
- Martello da 6 kg e piastra di battuta.

2) GENERALITA' SULLE INDAGINI SISMICHE

2.1) Analisi del fenomeno

Allorquando le particelle di un corpo vengono sollecitate da uno sforzo impulsivo di piccola energia, esse oscillano attorno alla loro posizione di equilibrio, seguendo la legge di Hooke (**d** = k**F**) e generano onde sismiche.

Per reazione elastica, il moto di oscillazione viene trasmesso da una particella a tutte quelle circostanti, con un ritardo causato dall'inerzia di queste ultime ad abbandonare la loro posizione di equilibrio.

Pertanto, se una porzione di terreno è eccitata meccanicamente (colpendo lo stesso con una massa battente o generando in esso uno scoppio), la conseguente perturbazione genererà in tutte le direzioni onde che, nel caso ideale di mezzo isotropo ed omogeneo, possono essere rappresentate da superfici sferiche.

Le onde sismiche, quindi, non sono caratterizzate da trasporto di materia, ma trasportano energia e quantità di moto anche a distanze considerevoli.

La velocità con cui si propagano tali onde (o meglio, treni d'onda) è funzione diretta delle caratteristiche fisiche del mezzo che attraversano, come l'omogeneità, l'isotropia e rigidità del mezzo, la presenza di falda acquifera, rumore di fondo, ecc..

In generale si può ritenere che il tempo necessario affinchè i treni d'onda siano captati dai dispositivi di registrazione è sicuramente funzione della natura e disposizione dei vari litotipi.

La finalità delle indagini sismiche è, appunto, quella di riconoscere le strutture geologiche utilizzando opportunamente i valori relativi a tali ritardi.

2.2) Tipi d'onda

Uno sforzo impulsivo (eccitazione) è costituito da due componenti: normale e tangenziale. La teoria dell'elasticità prevede che, a seguito dell'eccitazione, si generino due tipi di onde che viaggiano nel mezzo con velocità differenti; esse sono le onde longitudinali (generate dalla reazione elastica che si oppone alle variazioni di volume e/o di lunghezza del corpo e di cui sono responsabili le componenti normali dello sforzo) e le onde trasversali (generate dalla reazione elastica che si oppone a variazioni di forma, di cui sono responsabili le componenti tangenziali dello sforzo).

Fig.1. Deformazioni subite della *iesima* particella di terreno interessata dal passaggio dell'onda P.

Esse si generano contemporaneamente in seguito ad uno sforzo impulsivo, ma viaggiano con velocità di propagazione differenti, essendo V_s (velocità delle onde trasversali) pari a 1/3 ÷ 1/2 di V_p (velocità delle onde longitudinali).

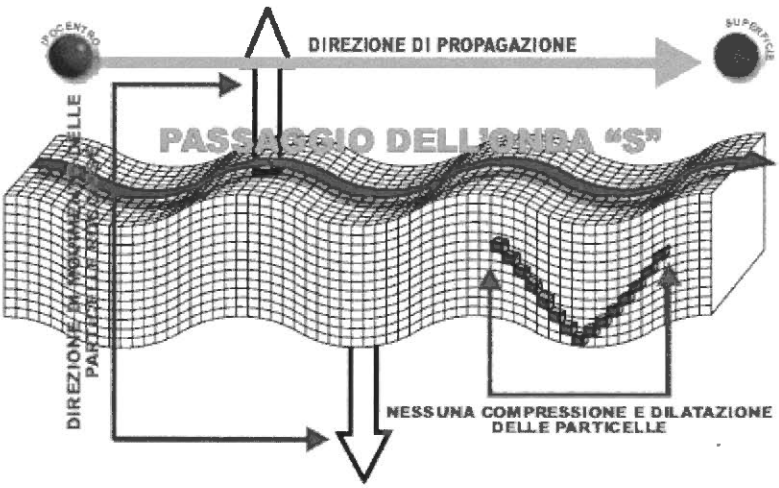

Fig.2. Deformazioni subite della *iesima* particella di terreno interessata dal passaggio dell'onda SH.

Per completezza, in conseguenza di un'eccitazione, anche lungo la superficie topografica si producono due tipi differenti di treni d'onda: le onde di Love e le onde di Rayleigh (dette anche onde superficiali). Esse sono generate dalla combinazione delle onde longitudinali e trasversali. La loro velocità è di gran lunga inferiore alle onde P ed S (dette anche onde di volume).

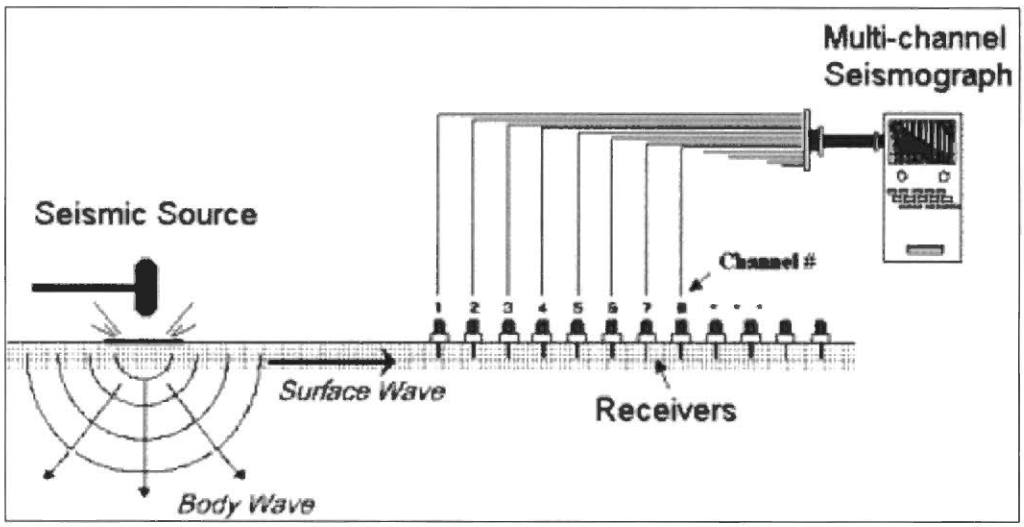

Fig. 3. *Array schematico per l'acquisizione dei segnali sismici con tecnica MASW*

3) PROSPEZIONI SISMICHE BASATE SULL'ANALISI DELLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH

Uno sforzo impulsivo (eccitazione), come già precedentemente illustrato, è costituito da due componenti: normale e tangenziale. La teoria dell'elasticità prevede che si generino due tipi di onde (longitudinali e trasversali) che viaggiano nel mezzo con velocità differenti.

In conseguenza di un'eccitazione, si producono lungo la superficie topografica altri due tipi differenti di treni d'onda: le onde di Love e le onde di Rayleigh, dette anche onde superficiali. Esse sono generate dalla combinazione delle onde longitudinali e trasversali (vedi Figura 4 in testo).

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale e, per questo tipo di onde, le particelle di terreno descrivono un movimento di tipo ellittico, la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le

particelle di terreno compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado, rispetto alla direzione di propagazione dell'onda generata.

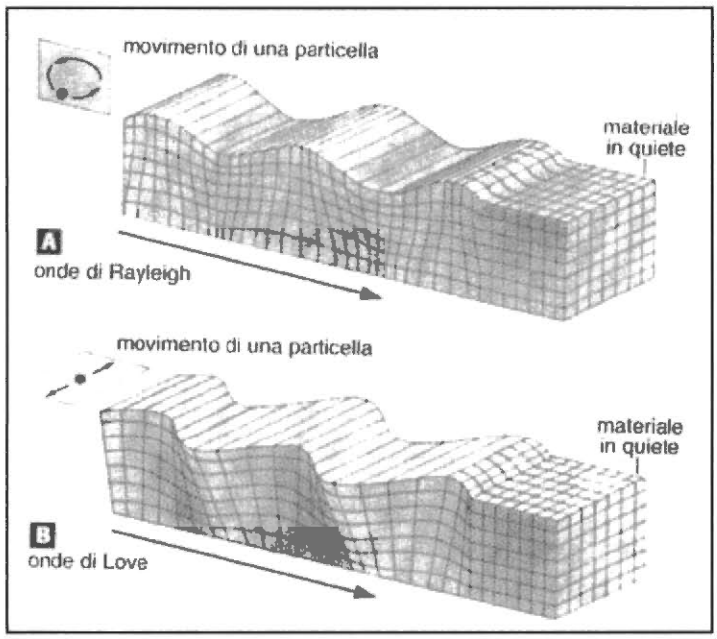

Fig. 4. *Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali (Love e Rayleigh)*

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è pari a $0.92V_S$. In un mezzo disomogeneo, come l'interno della Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda, intorno all'intervallo 0 e $0.92V_S$. La teoria della propagazione delle onde superficiali è stata descritta dettagliatamente da Ewing et Al. (1957) ed a tale lavoro si rimanda per tutti gli eventuali approfondimenti, che esulano dalla presente trattazione.

La determinazione della velocità delle onde di taglio V_S, utilizzando la misura delle onde superficiali di Rayleigh è particolarmente indicata per i suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi, poiché la percentuale d'energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (circa ol 67%), rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde *P* (7%) ed *S* (26%).

I metodi di analisi basati sulla propagazione delle onde superficiali di Rayleigh restituiscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di strati caratterizzati da inversioni di velocità in profondità. Inoltre, la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla V_P e dalla densità, è funzione, innanzitutto, delle V_S, parametro di fondamentale importanza per la

caratterizzazione geotecnica di un sito, secondo quanto previsto dalla Normativa Tecnica vigente (§ 3.2.2 delle NTC 14/01/2008).

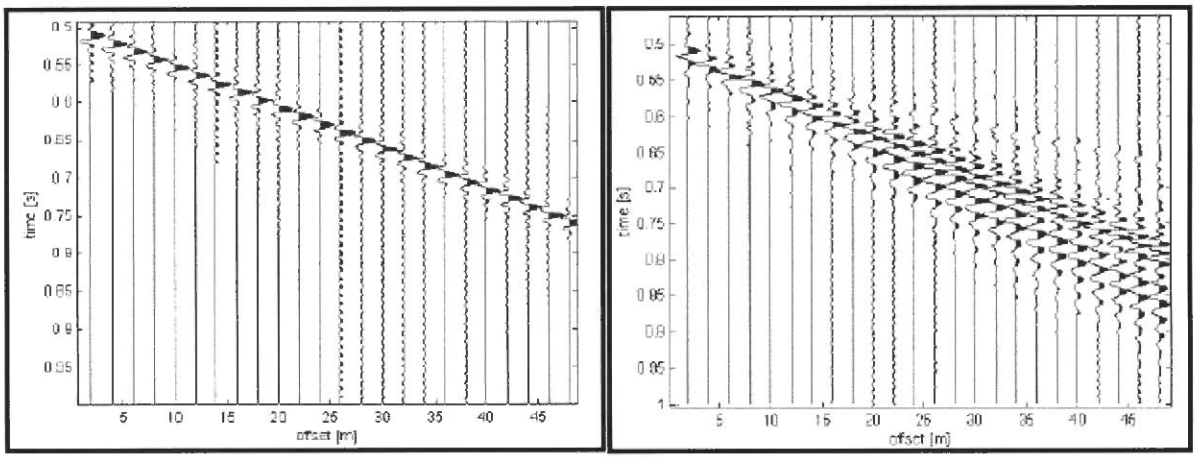

Fig. 5. *Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo non stratificato (a sinistra) ed in un mezzo statificato (a destra). E' evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo statificato.*

Inoltre, mentre la velocità delle onde *P* misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde *S* è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde *P*, risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno.

La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle V_S, è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati (vedi Figura 5 in testo).

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione delle onde di taglio con la profondità tramite il processo d'inversione.

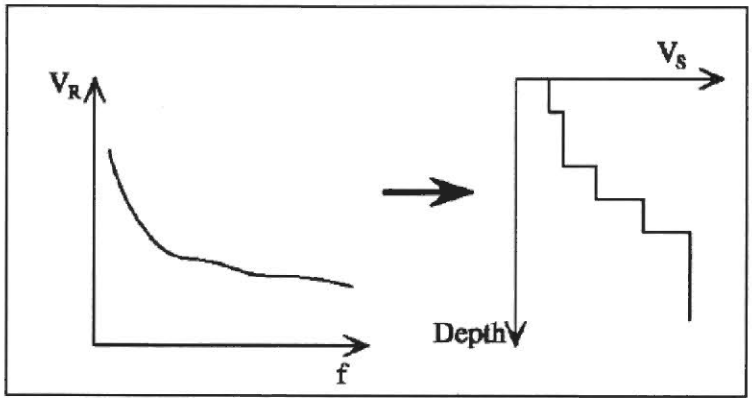

Fig. 6. *Velocità delle onde superficiali di Rayleigh in funzione delle frequenza (a sinistra) e profilo di velocità delle onde di taglio in funzione dellla profondità (a destra) ricavato tramite processo d'inversione.*

La velocità delle onde di Rayleigh (V_R) è pari a circa il 90% delle onde di taglio (V_S). Le tecniche di analisi delle onde di Rayleigh vengono realizzate con procedure operative meno complesse, rispetto alla sismica a rifrazione ed in foro e presentano un grado di incertezza nella determinazione delle $V_S < 15\%$.

La modellazione del sottosuolo, mediante l'utilizzo di comuni geofoni verticali a 4.5 Hz e l'analisi delle onde superficiali di Rayleigh è stata ottenuta con il metodo M.A.S.W. (acronimo di *Multichannel Analysis of Surface Waves*), il quale consente una dettagliatissima ricostruzione delle velocità delle onde S nel sottosuolo.

Per le procedure di analisi dei dati di campagna è stato utilizzato il software *Masw2007* prodotto dall'Ing. V.A. Roma.

3.1) Prospezioni sismiche MASW

Al fine di caratterizzare sismicamente il suolo, è stata eseguita n°1 prospezione sismica MASW, caratterizzata da uno stendimento geofonico pari a 26.00 m.

Le oscillazioni del suolo sono state rilevate utilizzando 12 geofoni verticali con frequenza di 4.5*Hz*, posizionati lungo il profilo di indagine, con offset pari a 2.00 m e distanza intergeofonica pari a 2.00 m.

La lunghezza complessiva dello stendimento è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia 1D dei terreni presenti nell' area investigata fino alla profondità di 30 m dal p.c..

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati utilizzando il programma *MASW 2007*.

3.2) Acquisizione ed elaborazione dei dati

Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale $T = 4.094\ s$, sono state effettuate con passo di campionamento $dt = 2\ ms$. La frequenza di campionamento è data da: $f_{campionamento} = 1/dt = 500Hz$. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da: $f_{Nyquist} = 1/2dt = 250Hz$. La frequenza minima dei segnali è data da: $f_{min} = 1/T = 0.244Hz$.

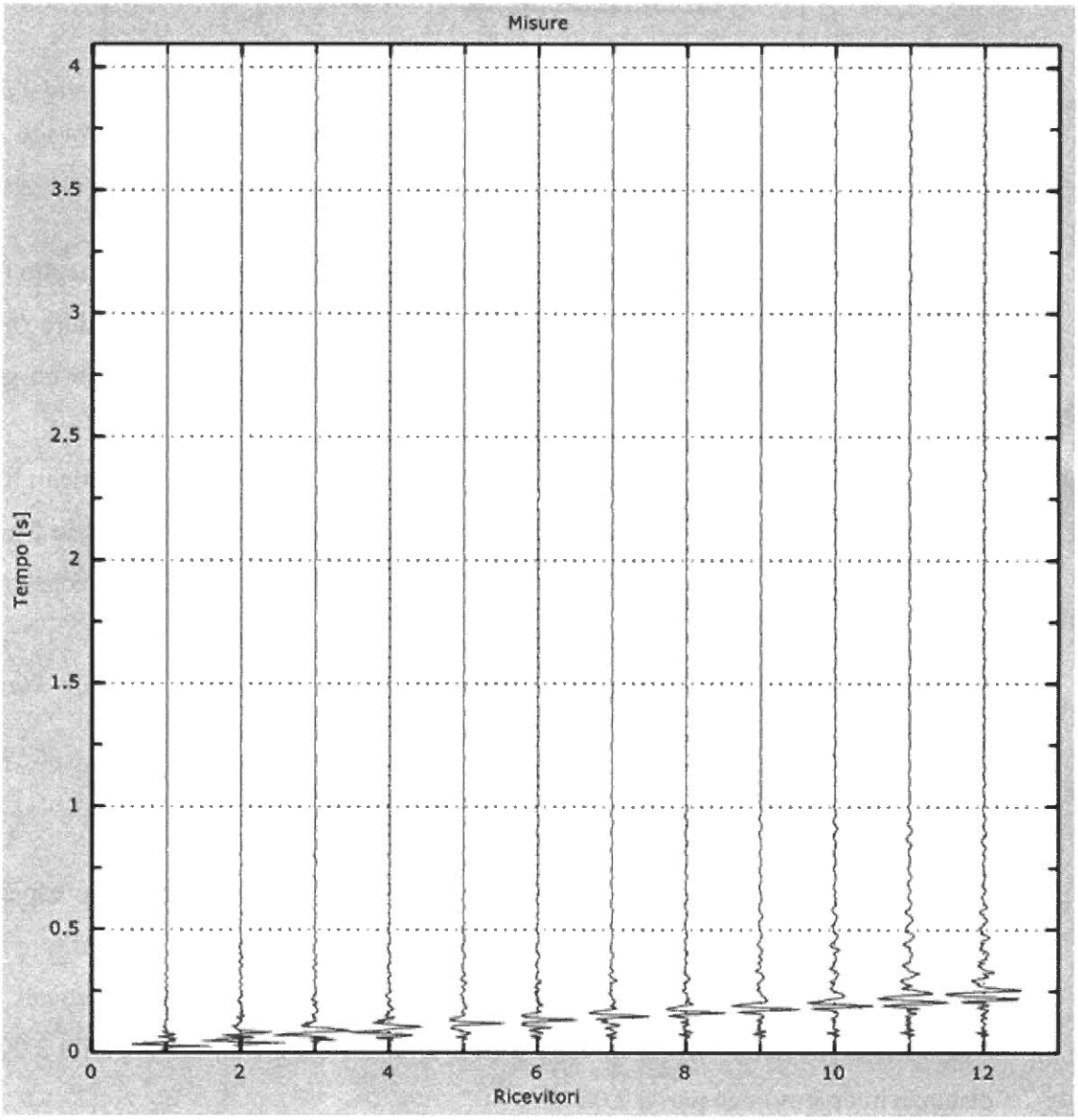

Fig. 7. *Sismogrammi sperimentali.*

L'elaborazione dei dati e l'inversione delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh sono state effettuate con il software *MASW 2007*, che ha permesso di eseguire l'intero processo di elaborazione di una sezione

sismostratigrafica 1D delle V_S. Gli elaborati relativi alla prova effettuata sono riportati nelle figure seguenti.

Frequenza finale 70Hz
Frequenza iniziale 2Hz

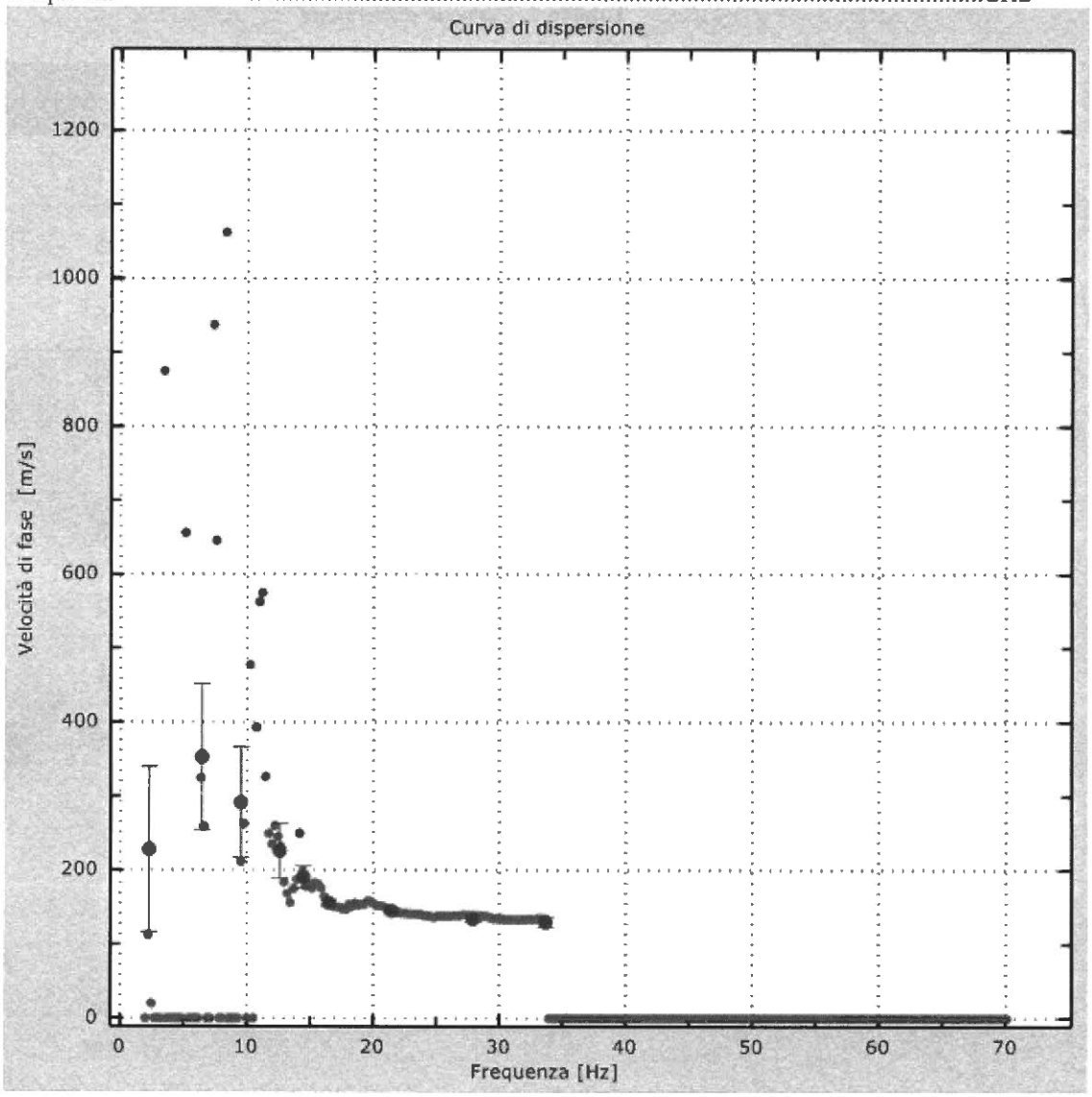

Fig. 8. *Curva di dispersione sperimentale.*

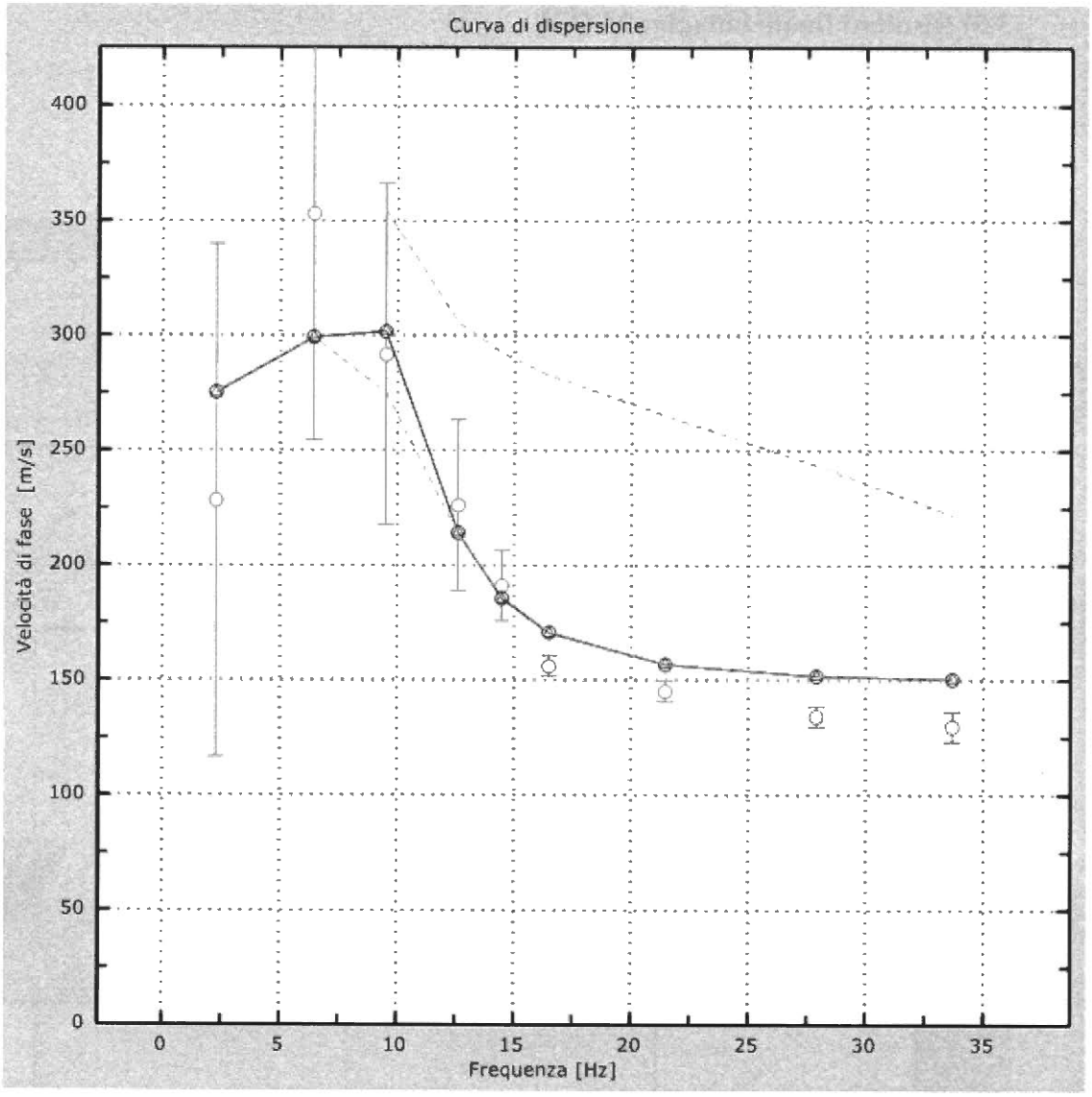

Fig. 9. *Velocità numeriche - punti sperimentali - modi di Rayleigh,- curva apparente, curva numerica*

4) CONCLUSIONI

I dati complessivi desunti nel corso delle indagini sismiche effettuate nel Comune di Montoro Inf.(Av), nell'ambito delle indagini geognostiche in loc. Querce, hanno consentito la parametrizzazione sismica dei terreni.

Tale caratterizzazione è stata effettuata in base a quanto indicato nelle vigenti Norme Tecniche (D.M. del 14.01.08 T.U. "Norme Tecniche per le Costruzioni"), quantizzando i seguenti parametri:

- Velocità equivalente delle onde di taglio, definita come alle NTC 2008 § 3.2.2, e data da:

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S,i}}} \text{ [m/s]}.$$

- Categoria del suolo di fondazione (Tab. 3.2.II delle NTC 2008);

L'indagine eseguita ha stabilito che la velocità equivalente delle onde di taglio è pari a:

$$\mathbf{V_{S30} = 290\ msec^{-1}}.$$

Pertanto, in base a quanto contenuto nella Tab. 3.2.II delle NTC 2008, la categoria di suolo di fondazione individuata è la categoria C - *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT30 < 50 nei terreni agrana grossa e 70 < cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).*

Infine, si sono stimati i moduli elasto-dinamici , nonché le frequenze e i periodi tipici di ogni singolo strato individuato con l'indagine MASW

MODULI ELASTO-DINAMICI STIMATI

Strati Masw	Spessore medio strato (m)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Peso volume naturale (kN/m3)	Modulo di Poisson (adim.)	Modulo di Young (Mpa)	Modulo di Bulk (MPa)	Modulo di Rigidità (MPa)	Frequenza (Hz)	Periodo (Sec)
1	5,00	389,25	158,91	15,20	0,400	107	179	38	7,946	0,126
2	3,00	615,61	251,32	17,16	0,400	304	506	108	20,943	0,048
3	8,00	737,1	324,28	16,67	0,380	484	672	175	10,134	0,099
4	16,00	838,92	392,37	16,67	0,360	698	831	257	6,1308	0,163
5	indef.	576,78	253,75	17,65	0,380	314	436	114	n.d	n.d

Tanto dovevasi.

Sant'Andrea di Conza: luglio 2010

Il Geofisico
Dott. Geol. Gianpiero Monti

ORDINE DEI GEOLOGI della Regione Campania
Geologo Dr. Gianpiero Monti Albo N° 935