



COMUNE DI LOCRI
PROVINCIA DI REGGIO CALABRIA
AREA URBANISTICA - GESTIONE DEL TERRITORIO
SPORTELLO UNICO



**PIANO
DI
SPIAGGIA**

MICROZONAZIONE SISMICA

(Legge Urbanistica Regione Calabria n. 19/2002 e s.m.i. - L.R. n. 35 del 19 ottobre 2009 e s.m.i.)

RELAZIONE SULLE INDAGINI

Elaborato:

MS 04

Scala:

Data:

Ottobre 2013

Professionista Incaricato:

Dott. Geol.
Angelo Alberto STAMILE

Dott. Geol.
Nicola GALLO

SPAZIO RISERVATO PER LE APPROVAZIONI

COMUNE DI LOCRI
Provincia di Reggio Calabria

*INDAGINI
GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE*

SONDAGGIO CON PRELIEVO DI CAMPIONE ED SPT IN FORO
TRINCEA ESPLORATIVA

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (Dpsh)

SISMICA SUPERFICIALE ATTIVA CON TECNICA MULTICHANNEL
ANALYSIS OF SURFACE WAVES (Masw)

SISMICA SUPERFICIALE PASSIVA (microtremori) CON TECNICA
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (Hvsr)

PRELIEVO DI CAMPIONI PER ANALISI GRANULOMETRICHE

PROGETTO:

Microzonazione sismica ai fini dell'adeguamento del
Piano Spiaggia

Committente:

Comune di Locri

Data: Ottobre 2013

Il Tecnico

Dott. Geol. Angelo Alberto STAMILE

Dott. Geol. Nicola GALLO

PREMESSA

A corredo dello Studio di Microzonazione sismica ai fini dell'adeguamento del Piano Spiaggia del Comune di Locri (RC), su incarico del Comune di Locri., è stata eseguita una campagna d'indagine geognostica, a mezzo penetrometro dinamico pesante (Dpsh), sismica superficiale attiva di tipo Multichannel Analysis of Surface Waves (Masw), sismica superficiale passiva (microtremori) con tecnica Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Hvsr), prelievo di campioni per analisi granulometriche (C) e reperimento di indagini già eseguite nell'area (Trincea esplorativa (Tr), Sondaggi con prelievo di campioni e prove SPT in foro (S)) per come prescrivono: il **D.M. 11/03/1988** "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce e successive modificazioni"; la **Circolare del Min. LL.PP. n.°30483 del 24/09/88** (L. 02/02/74 n.° 64, art. 1 D.M. 11/03/88) "Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"; l'**O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003** e successive **integrazioni e modificazioni** "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"; **D.M. del 14/01/2008** "Norme tecniche per le costruzioni".









MASW 02
C 02s

Coordinate Wgs84:
lat. 38.2393; lat. 16.2724



Figure - Ubicazione indagini Piano di Spiaggia del Comune di Locri (RC) -- Immagine Google Heart.

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE MEDIE E/O PESANTI (DPM - DPSH)

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari. La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica. La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

CARATTERISTICHE TECNICHE E STRUMENTALI DELLE SONDE			
	DPM SUNDA (DL 030)	DPSH PAGANI TG 63-100	
Rif. Norme	DIN 4094	DIN 4094	
Peso Massa battente	30 Kg	63.5 Kg	
Altezza di caduta libera	0,20 mt	0.75 m	
Peso sistema di battuta	18 Kg	0.63 Kg	
Diametro punta conica	35,68 mm	50.46 mm	
Area di base punta	10 cm ²	20 cm ²	
Lunghezza delle aste	1 mt	1 m	
Peso aste a metro	2,4 Kg/m	6 Kg/m	
Profondità giunzione prima asta	0,90 mt	0.80 m	
Avanzamento punta	0,10 mt	0.20 m	
Numero colpi per punta	N (10)	N(20)	
Coeff. Correlazione	0,761	1.515	
Rivestimento/fanghi	No	No	
Angolo d'apertura punta	60°	90°	

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di riportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt}. Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = \beta_t N$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT. L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{spt}} \quad Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui: M = peso massa battente; M' = peso aste; H = altezza di caduta; A = area base punta conica; δ = passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Mediante la formula degli Olandesi si determina la resistenza dinamica alla punta (R_{pd}) che è un parametro caratteristico dei terreni attraversati:

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

R_{pd} = resistenza dinamica punta (area A); e = infissione media per colpo (δ / N); M = peso massa battente (altezza caduta H); P = peso totale aste e sistema battuta.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della **GeoStru Software**.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT), tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche. In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici;
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche;
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e della resistenza alla punta.

Elaborazioni statistiche

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media + s

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media - s

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $s_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 mt. ed immersione $d = 1$ mt..

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq).
- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argilloso-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda) $\square > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\square > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose .
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Modulo Di Young (E_v)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa $\square = 2,65$ t/mc e per peso di volume secco variabile da 1,33 (Nspt = 0) a 1,99 (Nspt = 95)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con Nspt < 8 , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). Cu min-max.
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5, per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (Cu-Nspt-grado di plasticità).
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per argille e limi argillosi con Nc=20 e Qc/Nspt=2.
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .

- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata C_u (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità .
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni 1982 , valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt}=6-12$).

Modulo Di Young (E_Y)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa $G=2,70$ (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 ($N_{spt}=0$) a 0,545 ($N_{spt}=28$)

INDAGINE SISMICA SUPERFICIALE ATTIVA: PRINCIPI DEL METODO, TECNICHE DI PROSPEZIONE, STRUMENTAZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI, PARAMETRI ELASTODINAMICI RILEVABILI

Il principale obiettivo dei metodi sismici è quello di individuare le strutture geologiche presenti nel sottosuolo, di ricostruire l'andamento delle discontinuità legate a variazioni delle proprietà elastiche delle rocce, determinare le caratteristiche elasto-dinamiche dei litotipi. In particolare l'indagine sismica a rifrazione consiste nel determinare direttamente la velocità di propagazione, all'interno del mezzo in esame, delle onde di compressione (onde P), di taglio (onde S) e/o delle onde di superficie (onde di Rayleigh, Love) ed indirettamente, utilizzando i valori delle velocità acquisite (V_p , V_s , V_r e V_l), le proprietà elasto-dinamiche (moduli dinamici) delle litologie investigate. La sismica di superficie si fonda sul fenomeno fisico secondo cui una perturbazione, prodotta artificialmente mediante cariche esplosive, vibratori o masse battenti, si propaga in un mezzo in modo tale che esista, in ogni suo punto, una dipendenza reciproca tra la posizione e il tempo. La perturbazione potrà identificarsi come lo spostamento, all'interno del mezzo, di una superficie ipotetica (*fronte d'onda*) che abbia in tutti i punti, in un determinato istante, lo stesso valore di fase. Quando uno sforzo è improvvisamente applicato ad un corpo elastico (per es. viene colpito con una massa battente) e quando lo sforzo viene improvvisamente rilasciato, all'interno del corpo stesso si generano delle piccole deformazioni sotto forma di onde elastiche che si propagano in tutte le direzioni. Le onde elastiche in natura sono di due tipi: le *onde di volume* (onde P ed S) *fig. 2*, che si propagano all'interno del corpo interessato dalla perturbazione, e le *onde superficiali* (onde di Rayleigh e di Love), che si propagano solo lungo la superficie.

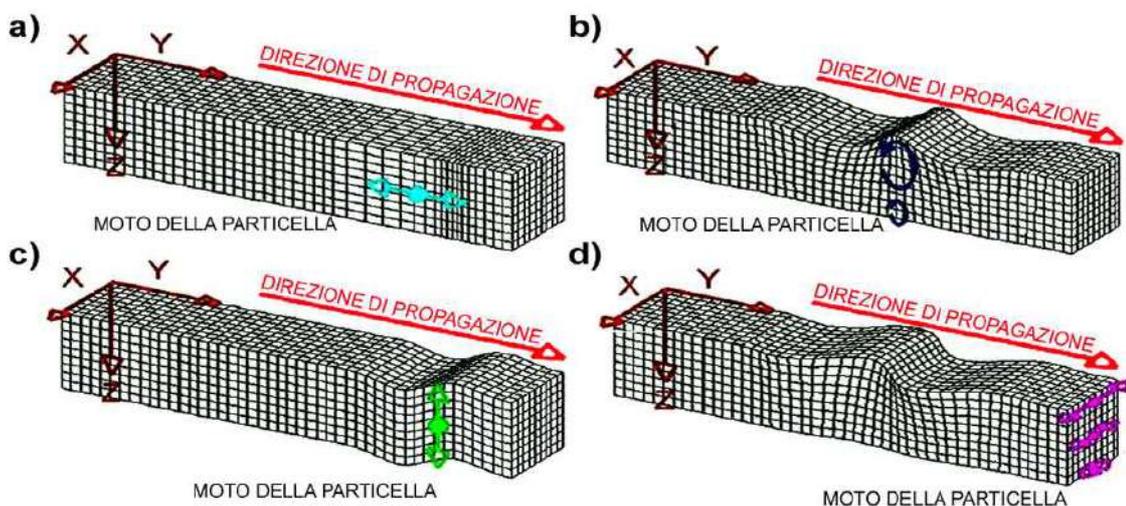


Fig. 2 - Rappresentazione grafica delle direzioni di oscillazione delle particelle che costituiscono il mezzo nel caso della propagazione di **a)** *Onde longitudinali P* (direzione di oscillazione coincidente con quella di propagazione dell'onda); **c)** *Onde di taglio S* (direzione di oscillazione perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda); **b)** *Onde di Raleigh R* (moto ellissoidale retrogrado delle particelle nel piano verticale dell'onda); **d)** *Onde di Love L* (moto nel piano orizzontale ortogonale alla direzione di propagazione dell'onda).

Le **onde P** (*di compressione o longitudinali*) si propagano mediante oscillazioni delle particelle che costituiscono il mezzo attraversato nella stessa direzione della propagazione dell'onda. Di conseguenza, il mezzo sarà soggetto principalmente a sforzi di compressione e dilatazione e la velocità dell'onda sarà anche funzione del modulo di incompressibilità (k), che esprime la resistenza del mezzo a questo tipo di sforzo, oltre che del modulo di rigidità (μ) e della densità (ρ).

Le **onde S** (*trasversali o di taglio*) si propagano mediante oscillazioni delle particelle del mezzo perpendicolarmente alla direzione di propagazione dell'onda. Di conseguenza, il mezzo sarà soggetto a sforzi di taglio e la velocità delle onde sarà funzione della resistenza del mezzo a questo tipo di sforzo, che è espressa dal modulo di rigidità (μ) detto anche modulo di Taglio (G).

Le onde sismiche non sono caratterizzate da un trasporto di materia, ma da un trasferimento di energia. Tenendo presente che lo sforzo impulsivo può ripartirsi in componenti normali e tangenziali, si deduce che le onde longitudinali possono anche essere chiamate onde di compressione in quanto generate dalla reazione elastica che si oppone a variazioni di volume e/o di lunghezza del corpo e di cui sono responsabili le componenti normali dello sforzo. Le onde trasversali sono anche dette onde di taglio in quanto generate da reazione elastica che si oppone a variazioni di forma del corpo e di cui sono responsabili le componenti tangenziali dello sforzo. Logicamente, onde di compressione e di taglio si generano contemporaneamente in seguito ad uno sforzo impulsivo, ma sono caratterizzate da differenti velocità di propagazione. Attraverso lo studio dei tempi di propagazione delle onde di compressione e di taglio, attraverso le leggi fondamentali dell'ottica, si possono calcolare le velocità di propagazione delle onde sismiche, che, a loro volta, rappresentano la base per la

determinazione della natura, disposizione geometrica (profondità ed inclinazione degli strati, detti anche *sismostrati* o *rifrattori*), caratteristiche elasto-dinamiche dei litotipi presenti nell'area di indagine. Se il mezzo ha una superficie libera e viene sollecitato acusticamente, oltre alle onde di volume (longitudinali e di taglio) si creano anche delle onde superficiali tra cui le onde di Rayleigh e di Love.

Nelle **onde R di Raleigh** le particelle 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 compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado alla direzione di propagazione delle onde che vengono così generate. La velocità delle onde di Rayleigh, come si sa, è inferiore a quella delle onde di volume ed in particolare $V_r = 0,9 V_s$.

Nelle **onde L di Love** sono generate quando le onde S incontrano la superficie libera del terreno, il movimento delle particelle elementari è perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione e decresce con la distanza dalla superficie libera. Le onde di Love sono le onde superficiali più veloci.

Tenuto conto che per sottosuoli naturali, a causa della rapidità delle azioni e del fatto che essi si trovano per gran parte sotto falda e quindi in condizioni di drenaggio impedito, il fenomeno sismico produce deformazioni volumetriche trascurabili, rispetto a quelle distorsionali. Per questo appare giustificato ricondurre la modellazione meccanica di un fenomeno sismico all'analisi degli effetti prodotti da un insieme di onde S, che si propagano dal substrato alla superficie, con un campo di spostamenti del terreno praticamente orizzontale. L'assunzione è oltretutto validata dal fatto che, da un punto di vista ingegneristico, il moto più significativo ai fini della verifica sismica dei manufatti è quello orizzontale. In tal senso, a livelli di deformazione bassi, è assunta l'ipotesi che il terreno in esame presenti un comportamento tensione-deformazione di tipo elastico lineare (deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$)

INDAGINE SISMICA ATTIVA SUPERFICIALE A RIFRAZIONE IN ONDE P ED S

Le prospezioni sismiche a rifrazione, le più diffuse tra le indagini geofisiche, consistono, dunque, nel determinare i tempi di arrivo, mediante un sismografo, delle onde elastiche **longitudinali** e/o **trasversali** rifratte, generate da una sorgente di energia. L'energia prodotta dalla sorgente artificiale si propaga nel sottosuolo sotto forma di onde sferiche che, nel loro cammino, subiranno riflessioni (*onde riflesse*) o rifrazioni (*onde rifratte*) in funzione delle caratteristiche elastiche e delle discontinuità presenti nelle rocce attraversate (fig. 3).

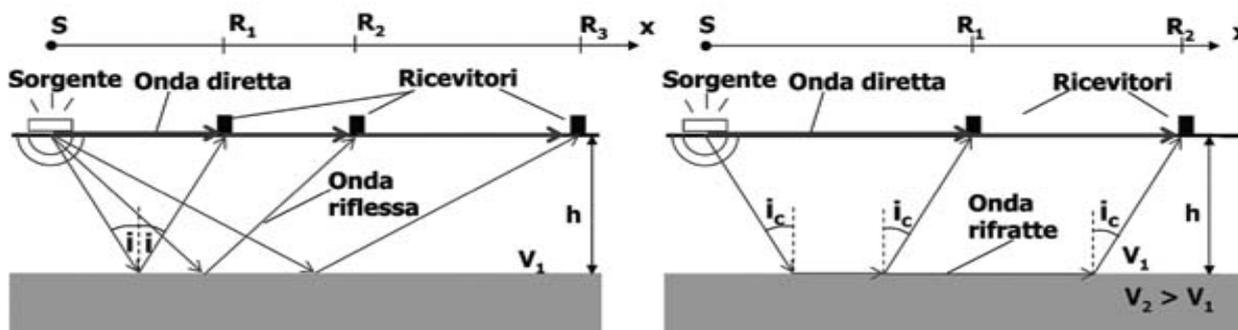


Fig. 3 - Geometria dei percorsi delle onde sismiche riflesse e rifratte nel sottosuolo

Una volta raggiunta la superficie, le onde vengono rilevate da una serie di geofoni posti lungo una linea retta sul terreno, detta "*stendimento sismico*", a distanza crescente dalla sorgente di energia. I geofoni, trasformati gli impulsi d'urto di ritorno in energia elettrica, inviano i segnali elettrici al sismografo registratore che, a sua volta, li restituisce sotto forma numerica e grafica (*sismogramma*). Il sismogramma è composto da un insieme di linee o tracce che riproducono graficamente il progressivo arrivo in superficie delle onde sismiche riflesse o rifratte. Il numero di tracce corrisponde al numero di geofoni utilizzati per la prova. Lo studio delle tracce del sismogramma consente il calcolo dell'intervallo di tempo tra un'energizzazione e l'arrivo delle onde sismiche ai geofoni. I tempi di arrivo Δt (sec) delle onde sismiche registrate ai geofoni posti a distanze Δx (m) dalla sorgente costituiranno le coppie di valori base da utilizzare per l'elaborazione del modello interpretativo del sottosuolo. Ogni coppia di valori Δt e Δx individuerà un punto sul diagramma spazio-temporale. Interpolando tutti questi punti si otterrà una polilinea o "*dromocrona*", caratterizzata da segmenti di retta corrispondenti a percorsi effettuati con uguale velocità delle onde sismiche; in pratica ciascun segmento rettilineo rappresenta uno spessore di terreno caratterizzato da un valore medio della velocità delle onde P o delle onde S, il cui valore assoluto è espresso dal reciproco della pendenza della relativa dromocrona. Dallo studio della dromocrona diretta e reciproca, ottenuta invertendo la posizione del punto di energizzazione dello stendimento, e calcolando sperimentalmente le velocità di ciascun segmento della dromocrona, si potrà ricostruire la profondità, lo spessore, la pendenza e la litologia degli orizzonti sismici presenti nel sottosuolo.

A titolo indicativo, si forniscono nella seguente tabella (tab. 1) alcuni valori di velocità per le onde longitudinali. La tabella mostra che il campo di variazione per uno stesso litotipo è ampio, in quanto la velocità

dipende dai parametri elastici intrinseci di ciascun litotipo che possono essere influenzati da numerosi fattori quali, ad esempio: la compattezza o il grado di litificazione, la porosità, la tessitura il contenuto di fluidi, ecc.

Tipo di roccia	Vp (Km/sec)	Tipo di roccia	Vs (Km/sec)
<i>Sedimenti non consolidati</i>		<i>Rocce molto dure</i>	
Argilla	1,0 – 2,5	Rocce metamorfiche poco o per niente fratturate	1,40 – 3,20
Sabbia asciutta	0,2 – 1,0		
Sabbia satura	1,5 – 2,0	<i>Rocce dure</i>	
<i>Rocce sedimentarie</i>		Rocce sedimentarie ignee, tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia	0,70 – 1,40
Calcere tipo chalk	2,1 – 4,5		
Dolomia	4,0 – 7,0	<i>Suoli ghiaiosi e rocce da tenere a dure</i>	0,37 – 0,70
Calcere	3,9 – 6,2		
Argilla	2,0 – 5,5	<i>Argille compatte e suoli sabbiosi</i>	
Arenaria	2,0 – 5,0	Sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose	0,20 – 0,37
<i>Rocce ignee e metamorfiche</i>		<i>Terreni teneri</i>	
Basalto	5,3 – 6,5	terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere	0,10 – 0,20
Granito	4,7 – 6,0		
Gabbro	6,5 – 7,0		
Ardesia	3,5 – 4,4		
Rocce ultrabasiche	7,5 – 8,5		
<i>Altri materiali</i>			
Aria	0,3		
Acqua	1,4 – 1,5		
Ghiaccio	3,4		

Tab. 1 - Velocità sismiche P ed S nelle rocce (*Esplorazione del sottosuolo – Zanichelli 2003 e Borchardt, 1994*)

Da un'attenta interpretazione delle dromocrone che si ottengono nei grafici in cui sono riportati, per i diversi geofoni, i tempi di arrivo delle onde sismiche e le rispettive distanze dal punto di energizzazione, è possibile ricostruire l'andamento in profondità dei differenti orizzonti rifrattori. Tale ricostruzione è stata realizzata utilizzando il metodo di elaborazione GRM (Metodo Reciproco Generalizzato; Palmer, 1980) che, rispetto ai comuni metodi di interpretazione consente di ricavare la profondità dal p.c. dei vari rifrattori al di sotto di ogni singolo geofono, fornendo così con estremo dettaglio l'andamento geometrico dei vari orizzonti rifrattori indagati, anche alla presenza di situazioni geologiche complesse ed articolate.

INDAGINE SISMICA SUPERFICIALE ATTIVA DI TIPO MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde di taglio S in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh. Il metodo di indagine MASW si distingue in "attivo" e "passivo" (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006). Nel "metodo attivo" le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica). Nel "metodo passivo" lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche "microtremore") prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali). 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 o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione, cioè sono onde la cui velocità dipende dalla frequenza. Le due tecniche indagano bande spettrali differenti: mentre il metodo attivo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo), il metodo passivo consente di determinare una curva di dispersione nella banda di frequenza tra 5 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi (generalmente al di sotto dei 30 m). La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo nella banda di frequenza comprese tra 5 e 40 Hz e permette una dettagliata ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 35-40 m di profondità (sempre in funzione della rigidità degli strati).

STRUMENTAZIONE E TIPO DI ELABORAZIONE DEI DATI PER SISMICA SUPERFICIALE ATTIVA (SR). (MASW)

L'indagine superficiale attiva viene eseguita mediante l'utilizzo di un sismografo Echo 24/2002, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione) che ha le seguenti caratteristiche:

Number of channels	24	Frequency response	7-950 Hz, filter at 950 Hz
Sampler interval	0,296 msec	Dynamic range	93 dB
A/D Conversion	16 bit	Noise	0,66 uV rms, gain = 55 dB
Amplifiers		Crosstalk	52 dB, gain = 55 dB
Input impedance	1 KOhm	Power	12 V
Gain	10 dB - 100 dB, step 1 dB	Seismic Unit -- Echo 24/2002	
Saturation tension	+/- 2,3 V		
Saturation level	100 dB		
Distorsion	0,01%		
Sampler	25 msec (191 points)		
	50 msec (383 points)		
	100 msec (756 points)		
	200 msec (1530 points)		
	400 msec (3060 points)		
800 msec (6121 points)			
Sampling	130 micro/sec		
Record lenght	25-50 -100 -200 -400-800 millisec		
Filter low pass	from 50 to 950 Hz, step1 Hz		
Digital Filter (Fir) low pass	1000-900-800-700-600-500-400-300-200-100-50 Hz		
Digital Filter (Fir) high pass	0-25-50-75-100-125-150-175-200-225-250 Hz		

L'elevata dinamica unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo sia per tecniche di tipo a rifrazione (Sr), sia per tecniche di indagine di tipo non convenzionale: Re.Mi. (Refraction Microtremor) - M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) - S.A.S.W. (Spectral Analysis of Surface Waves). Tali indagini risultano particolarmente adatte in aree fortemente antropizzate (aree urbane e industriali) con notevole presenza di rumore di fondo (noise). La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dal fatto che utilizza per l'acquisizione ed il salvataggio dei record un computer portatile in modo da sfruttare tutte le potenzialità del computer. L'ambiente operativo è quello di Microsoft Windows XP. Lo strumento è in grado di effettuare misure a rifrazione (onde P ed S), con l'utilizzo di 12 o 24 geofoni collegati a cavi con attacchi equidistanti di 5 metri, o misere MASW e ReMi con 24 geofoni verticali con frequenza di 4,5 Hz. La sorgente sismica è costituita da una massa battente, mazza dal peso di 8kg che funge contemporaneamente da starter poichè collegato a mezzo di trigger al sismografo, che batte su una piastra metallica o da un fucile sismico.

Nella sismica a rifrazione le oscillazioni del suolo sono rilevate da 12 o 24 geofoni (Verticali a 10 Hz ed orizzontali a 14 Hz) posizionati lungo un profilo sismico di 55 o 120m con offset di 5m che consentono sufficientemente l'identificazione dei sismostrati fino a profondità di 20-30 metri dal p.c. Lungo lo stendimento vengono eseguite energizzazioni variabili da cinque a sette (stendimento con 12 o 24 geofoni) con battute variabili da quattro esterne ed una centrale a quattro esterne, due interne ed una centrale (energizzazioni dirette, centrale e inverse). Al fine di ridurre il noise e migliorare i segnali acquisiti viene usata la funzione iterazione per somma e vengono eseguiti amplificazioni dei guadagni (gain) in ingresso dei geofoni posti in posizione più lontana dalle energizzazioni. I segnali sismici acquisiti sono successivamente elaborati analiticamente con calcolo automatico utilizzando un Computer portatile Compaq Presario ed il software **InterSism 2.0** della **Geo&soft** che permettono di determinare la stratigrafia del sottosuolo. Infatti il modello sismico a rifrazione permette la costruzione di dromocrone (tempi verso distanze) dalle quali è possibile calcolare velocità e profondità di interfacce profonde. I tempi rifratti si riferiscono ad onde sismiche che incidono con "angolo critico" le superfici di separazione di due mezzi a velocità differenti (ad esempio V2 e V1 con V2>V1). Queste onde possono propagarsi lungo tale interfaccia e tornare in superficie fornendo informazioni sugli spessori, variazioni degli stessi, sulle velocità dei due mezzi e sulla pendenza dell'interfaccia.

Nella prova MASW l'analisi delle onde superficiali è eseguita utilizzando la strumentazione classica della prospezione sismica a rifrazione. La geometria di acquisizione consiste nel disporre sul terreno uno stendimento di almeno 12 (consigliati 24) geofoni verticali da 4,5 Hz con spaziatura di 1-5 metri (data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze tipicamente anche al di sotto dei 20 Hz). L'energizzazione

viene eseguita con massa battente di 8 Kg ad una distanza (offset) di 2-10 m dal primo geofono (Optimum Field Parameters of an MASW Survey”, Park et al., 2005; Dal Moro, 2008). La registrazione simultanea di 12 o più canali fornisce una ridondanza statistica delle misure di velocità di fase e ne avvalorata la veridicità. Il salvataggio delle tracce nel dominio temporale, previsto dal metodo, permette inoltre di distinguere e evidenziare, durante l’analisi, le onde di Rayleigh presenti nel record che, normalmente, sono caratterizzate da un’elevata ampiezza di segnale (circa il 60% dell’energia prodotta dalla sorgente artificiale si distribuisce in onde di superficie). Una particolare analisi spettrale, permette di distinguere il modo fondamentale delle onde di superficie da cui ricavare la curva di dispersione ed il profilo delle Vs per successiva inversione 1-D. La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell’onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente posa sui massimi del valore assoluto dello spettro. La curva di dispersione in realtà può non essere così facile da estrarre, questo perché dipende molto dalla pulizia dei dati e da quanto disturbano gli altri segnali presenti nel sismogramma. Ecco perché questa fase in realtà è la vera e propria interpretazione, e per questo i migliori software di analisi di dati MASW-SASW e REMI consentono di modificare anche manualmente la curva di dispersione per soddisfare le esigenze dell’utente più esperto. A questo punto la curva di dispersione sperimentale deve essere confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente alterato in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenere un modello sintetico a cui è associata una curva di dispersione sperimentale approssimativamente coincidente con la curva sperimentale. Questa delicata seconda fase di interpretazione è comunemente detta fase di inversione. Entrambe le due fasi di interpretazione, per quanto debbano seguire le linee guida dettate dalla teoria, devono rigorosamente essere controllate accuratamente dall’utente poiché non è possibile affidarsi completamente ad un sistema automatico che lavora alla ricerca della soluzione matematicamente migliore, infatti quasi mai questa coincide con la soluzione realmente migliore. Nel decidere la posizione e spaziatura dell’array sismico è da tenere presente che la teoria da cui nasce la metodologia MASW-SASW e REMI impone che il sito investigato non abbia variazione stratigrafica lungo l’array, infatti, durante la fase di inversione, il modello del terreno è considerato a strati piani e paralleli (di estensione infinita).

Per quanto riguarda le caratteristiche del segnale da acquisire essendo la parte interessante del segnale acquisito contenuta sotto i 100Hz, è sconsigliato (Teorema di Nyquist) abbassare la frequenza di campionamento sotto i 200Hz., ovvero è bene usare sempre un intervallo di campionamento non superiore a 5ms. La durata (lunghezza temporale) del segnale registrato deve essere sufficiente per consentire all’impulso emesso dalla sorgente, di propagarsi da un estremo all’altro dell’array, ed inoltre per consentire la naturale attenuazione del segnale su tutti i ricevitori. Di norma basta una lunghezza temporale di 1-3 secondi ma si consiglia di eseguire uno scoppio ed osservare se l’intera traccia è contenuta nel sismogramma registrato e quindi scegliere di conseguenza il tempo di registrazione sufficiente per lo scopo. Per quanto riguarda il guadagno da attribuire ai diversi geofoni se non bisogna fare studi sull’attenuazione del segnale sismico non ci sono problemi, altrettanto dicasi della sommatoria di più scoppi per aumentare il rapporto segnale/rumore di fondo.

I dati sperimentali, acquisiti in formato DTA, vengono successivamente convertiti in un formato compatibile (KGS format file) per l’interpretazione attraverso l’utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (WinMASW 4.1 della Eliosoft).

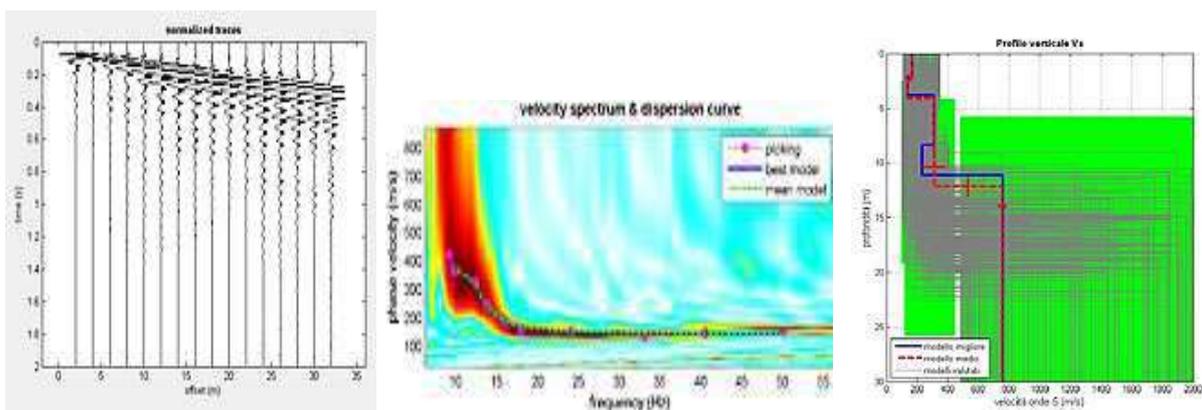


Fig. 4 – Interpretazione indagine MASW: Fase 1 acquisizione dei dati; Fase 2 calcolo della curva di dispersione dallo spettro di velocità; Fase 3: restituzione del modello sismo – stratigrafico del sottosuolo.

L’analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale “phase velocity-frequency (c-f)” che analizza l’energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. Sullo spettro bidimensionale ottenuto dalle registrazioni è possibile distinguere il “modo fondamentale” delle onde di superficie (Raleigh), in quanto presentano un carattere marcatamente dispersivo a differenza di altri tipi di onde (riflesse, rifratte, multiple). Sullo spettro di frequenza viene eseguito un “picking” attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze. Tali valori vengono

successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo. Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali. L'analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio V_s in funzione della profondità. Dall'inversione della curva di dispersione, si ottiene il modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità rappresentativo dell'area investigata

PARAMETRI ELASTO-DINAMICI RICAVABILI

Le onde di volume P ed S, che attraversano un mezzo omogeneo e isotropo (condizioni ideali) hanno ben definite equazioni di moto. Note le velocità V_p e V_s che vengono ottenute tramite misure dirette e nota la densità ρ , possono essere ricavate alcune proprietà meccaniche, quali il *Modulo di Young dinamico* o *Modulo elastico* E_d , il *Modulo di rigidezza al taglio* G_0 , il *Coefficiente di Poisson* ν , e il *Modulo di bulk* o di *rigidità volumetrica* K . Le relative equazioni sono le seguenti:

$$\nu = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \left\{ 1 - \left[\frac{V_s^2}{(V_p^2 - V_s^2)} \right] \right\}; \quad E_d = \frac{\rho V_p^2 (1 - 2\nu)(1 + \nu)}{1 - \nu}; \quad G_0 = \frac{E_d}{2(1 + \nu)}; \quad \rho = \frac{G_0}{V_s^2}; \quad K = \frac{E_d}{3(1 - 2\nu)}$$

Poiché nei fluidi $V_s=0$, ν risulta uguale a 0.5. Nei solidi, il valore ν varia generalmente da 0.25 a circa 0.35. Pertanto, valori più elevati di ν possono essere indicativi della presenza di frazioni di liquido nel mezzo attraversato.

INDAGINE SISMICA SUPERFICIALE PASSIVA (MICROTREMORI): PRINCIPI DEL METODO, TECNICHE DI PROSPEZIONE, STRUMENTAZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI, PARAMETRI ELASTODINAMICI RILEVABILI

Il principale obiettivo del metodo sismico di misura dei microtremori è, principalmente, quello di individuare le frequenze di risonanza del sito. In linea di principio, visto che il suolo è assimilabile ad un corpo viscoelastico, è possibile misurarne le frequenze proprie di oscillazione in ogni punto. Queste frequenze vengono determinate dalle proprietà meccaniche e dalla morfologia attorno al punto di misura. Nella prassi ingegneristica la misura delle frequenze di risonanza avviene applicando ad un corpo una sollecitazione nota, solitamente un impulso singolo oppure una sollecitazione sinusoidale, e misurando poi la risposta del corpo in termini di spostamenti o accelerazioni. La risposta del suolo può essere studiata in questa maniera utilizzando come funzione di eccitazione le onde di un terremoto o di una sorgente artificiale. Esiste un'alternativa, allo stesso tempo efficace, assolutamente non invasiva e gratuita: l'utilizzo del rumore sismico di fondo come funzione di eccitazione. Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro. Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in Figura 5, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo 'minimo di riferimento mentre la curva verde rappresenta il 'massimo' di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono prodotti delle onde oceaniche sulle coste.

Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda (fenomeno per cui un campo di onde tende a rimanere confinato entro un canale es. un tubo o una fibra in ottica a causa delle riflessioni delle onde con l'interfaccia di confinamento. In sismica il fenomeno si verifica nei mezzi stratificati ed è l'origine delle onde di Rayleigh e di Love). A questo rumore di fondo, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S (vedi ad es. Lachet e Bard, 1994), il che spiega la

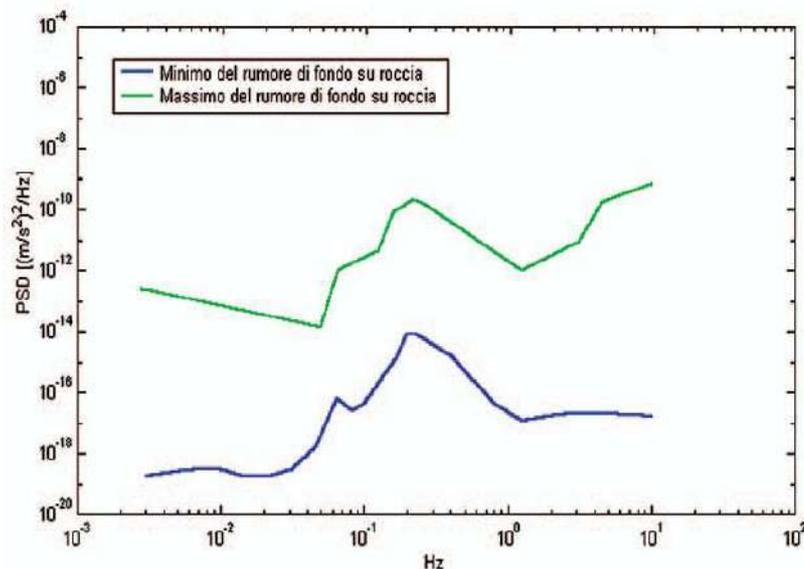


Fig. 5 - Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra (secondo USGS). Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime. Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V*), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo (11 Hz nell'esempio di Figura 6, Field e Jacob, 1993; Lachet e Bard, 1994; Lermo e Chavez-Garcia, 1993, 1994; Bard, 1998; Ibs-von Seht e Wohlenberg, 1999; Fah et al., 2001; solo per citarne alcune). Inizialmente, alcuni ricercatori, trasportati dall'entusiasmo, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco ($H/V = 9$ nell'esempio di Figura 6) come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione. Purtroppo, esiste abbondante letteratura comprovante il fatto che l'ampiezza del picco H/V , pur essendo legata all'entità del contrasto di impedenza tra strati, non è correlabile all'amplificazione sismica in modo semplice (cfr. Mucciarelli e Gallipoli, 2001; SESAME, 2005 e referenze ivi contenute). Le basi teoriche dell' H/V sono relativamente facili da comprendere in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D). Consideriamo il sistema di Figura 7 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2).

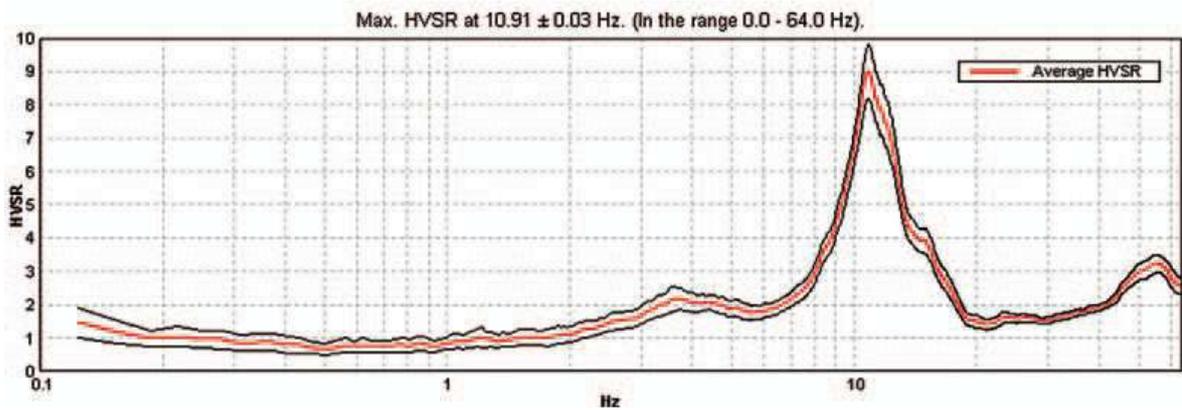


Fig. 6 - Curva H/V relativa ad un sito con substrato roccioso compatto (calcare) a 5 m di profondità. Il picco a 11 Hz indica la frequenza di risonanza dei depositi sedimentari sovrastanti il bedrock. E' riconoscibile un secondo picco a 3.5 Hz che indica una discontinuità all'interno della roccia.

Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S è pari a

$$f_r = \frac{V_{s1}}{4H} \quad [1]$$

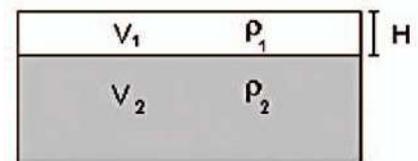


Fig. 7 - Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità ρ e velocità di propagazione delle onde sismiche V .

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1]. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto. La situazione, nel caso di un suolo reale, è spesso più complessa. Innanzitutto il modello di strato piano al di sopra del bedrock si applica molto raramente. Poi, la velocità aumenta con la profondità, possono esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere piana. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini (per le basi teoriche si veda ad es. Aki, 1964; Ben-Menahem e Singh, 1981; Arai e Tokimatsu, 2004), figura 8.

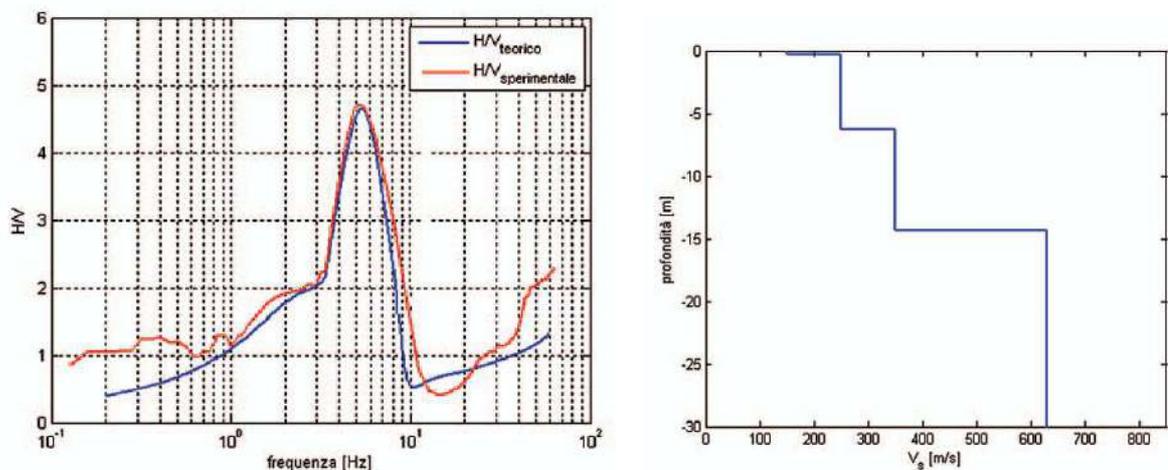


Fig. 8 - Confronto tra curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (azzurro) ottenuta per il modello di sottosuolo in figura.

L'applicabilità pratica della semplice formula [1] per il calcolo delle frequenze fondamentali di risonanza dei suoli è stata dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico (per un riassunto cfr. Gallipoli et al., 2000; Castellano et al., 2005). Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (es. Pratt - Vale la pena sottolineare che nel caso degli edifici l'H/V coincide con la risposta delle componenti orizzontali, in quanto si assume, per lo meno negli edifici moderni, che la risposta spettrale alle sollecitazioni verticali sia pressoché piatta).

$$freq. naturale edificio \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani.} \quad [2]$$

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura ad essere particolarmente pericolosa, perché dà luogo alla massima amplificazione.

$$freq. naturale edificio \approx freq. naturale coperture \quad [3]$$

La combinazione della [1], [2] e della [3] porta alla

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx V_s / (4H), \quad [4]$$

da cui si può ricavare una relazione di prima approssimazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso che possono determinare situazioni pericolose e devono quindi essere oggetto di studi approfonditi. Se consideriamo, ad esempio, una fascia di velocità delle onde di taglio tipica dei terreni alluvionali medio-fini (200-300 m/s), possiamo riscrivere la [4] come:

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx 200-300 \text{ m/s} / (4H). \quad [5]$$

ottenendo la relazione illustrata in Figura 9.

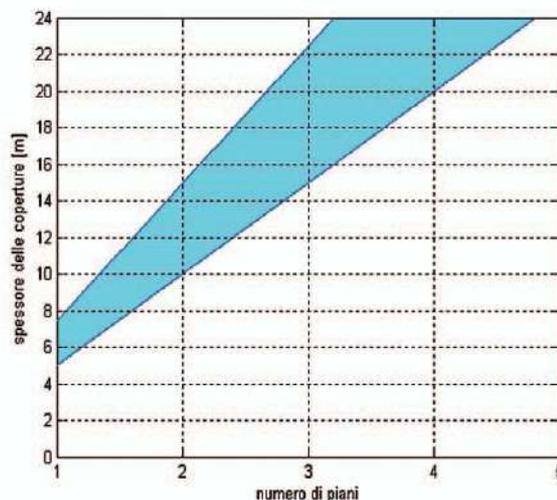


Fig. 9 - La fascia azzurra del grafico illustra la relazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso per cui, per una zona con V_s caratteristiche delle coperture di 200-300 m/s. sarebbero possibili fenomeni di doppia risonanza.

STRUMENTAZIONE E TIPO DI ELABORAZIONE DEI DATI PER SISMICA SUPERFICIALE PASSIVA (HVSR)

L'indagine superficiale passiva viene eseguita mediante l'utilizzo di un tromografo "GeoBox" della Sara Electronics Instruments s.r.l., strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire misure di microtremori e che ha le seguenti caratteristiche:

Alimentazione	10-16 Vdc 180mA (max) @12V	<p style="text-align: center;">Tromografo – GeoBox</p> 
Orologio		
Sincronizzazione	Tramite ricevitore GPS	
Errore massimo del PPS	10 microsecondi (60 microsecondi del calendario dell'A/D)	
Oscillatore al quarzo	11.0592Mhz +/-10ppm from -10/+60°C	
Calibrazione di fabbrica	Eseguita 20-25°C di temperatura ambiente, maggiore di 1ppm	
Convertitore A/D - SR04 MT		
Risoluzione	24 bit	
Freq. di campionamento	10, 20, 25, 50, 100, 200 SPS	
Campionamento	Simultaneo sui 3 canali pilotato dal microprocessore	
Filtro anti-alias	1 pole 8.8 Hz standards (personalizzabile)	
Modi di ingresso segnale	Differenziale (standards); single ended (selezionabile con jumpers)	
Range di ingresso	2V peak-to-peak (+/-1V) standard; 1.25 peak-to-peak (+/-0.625V) pe rMT (microtremori)	
Impedenza di ingresso	>300kOhm	
Soglia di rumore	<= -124dB @ 100SPS	
Sensori	1 sensore 3D (velocimetro ad alta risoluzione)	

Lo strumento, tramite una porta seriale (RS232), registra direttamente in digitale su computer tramite l'interfaccia costituita dal software Seismolog-MT della suite SeismoWin. L'ambiente operativo è quello di Microsoft Windows XP. Il programma Seismolog-MT permette di avere il controllo in tempo reale della misura in corso. Infatti è possibile valutare la presenza di segnali di disturbo nei sondaggi di tipo HVSR esaminando il particle motion del segnale dei sensori orizzontali. La funzione FFT dotata di correzione strumentale permette di restituire uno spettro del segnale sia in accelerazione che velocità con una stima assoluta delle ampiezze di segnale alle varie frequenze. Una agevole gestione delle registrazioni manuali e automatiche consente di eseguire registrazioni singole e/o multiple con acquisizioni sincronizzate col tempo UTC (strumento equipaggiato con ricevitore GPS). L'output dei file di registrazione permette la scelta fra quattro formati e cioè: PSN TEXT Formato ASCII standard supportato da WinQuake; GSE2 CM6 Direttamente compatibile con il formato GSE2.0 con compressione dati CM6; SAF SESAME Formato ASCII compatibile con Geopsy; RAW ASCII Formato ASCII semplice, con un breve header e l'elenco dei campioni.

La tecnica HVSR, come già detto, permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_{s30} attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi operative di seguito illustrate. Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti. Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce. Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione. Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee (es. Konno & Ohmachi, triangolare proporzionale, ecc.) Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea. Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing. Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di

vibrazione del sito. L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo V_{s30} . L'affidabilità della curva H/V e del picco è soddisfacente se vengono soddisfatti i criteri SESAME. Le operazioni di interpretazione ed inversione suddette sono eseguite tramite il software **EasyHVSR** della **GeoStru Software**, Figura 10.

Verifica SESAME	Esito
Affidabilità curva H/V	
$f_0 > 10/l_w$	OK
$n_c(f_0) > 200$	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	OK
Affidabilità picco	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	OK
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	OK
$A_0 > 2$	OK
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	OK

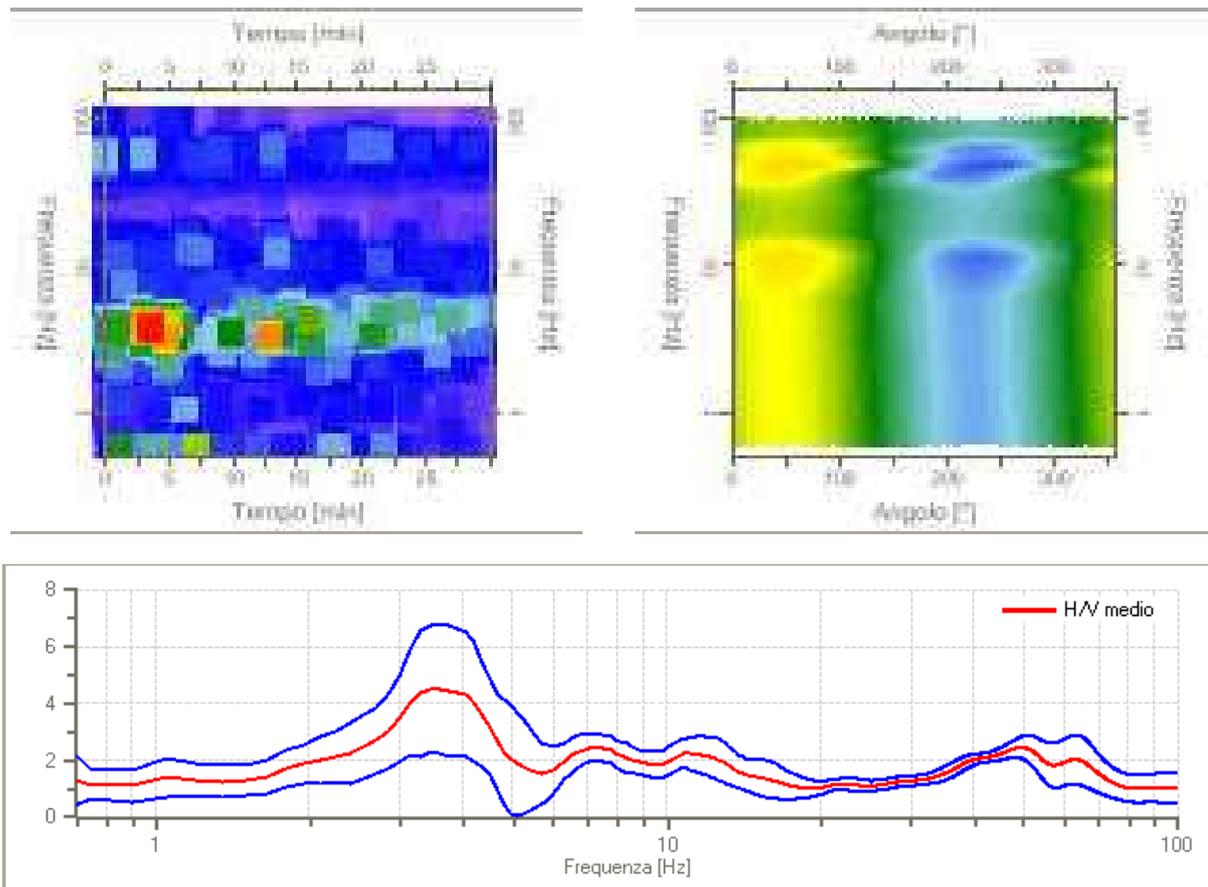


Fig. 10 - Mappa della stazionarietà e della direzionalità degli spettri; Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia.

PARAMETRI RICAVABILI

Il primo parametro ricavabile è la frequenza di picco del sito, inoltre se da misure dirette è nota la profondità H del bedrock o bedrock-like, è immediato calcolare il V_{s30} attraverso misure di fr. Se $H > 30$ m, il valore V_{s30} viene calcolato direttamente dalla [1]. Se invece $H \leq 30$ m, allora

$$V_{s30} = \frac{30}{t_H + t_{30-H}} = \frac{30}{\frac{1}{4f_r} + \frac{(30-H)}{V_B}}$$

dove V_B è la velocità delle onde S nel bedrock o bedrock-like. Per il bedrock, volendo seguire in maniera letterale la normativa italiana, si può semplicemente usare $V_B = 800$ m/s. In alternativa si possono usare i valori di Tabella 1. Nel caso di bedrock-like si useranno invece sempre i valori di Tabella 1, che riprende essenzialmente i valori tabulati da Borchardt (1992; 1994) assieme a quelli ottenuti sperimentalmente in diversi ambienti sedimentari da altri autori (Budny, 1984; Ibs von Seht e Wohlenberg, 1999; Delgado et al., 2000 a, b; Parolai et al., 2002; Scherbaum et al., 2003; D'Amico et al., 2004, 2006; Hinzen et al., 2004).

Tabella 1.
Velocità caratteristiche delle onde S nei vari tipi di suolo [Borchardt, 1994]

TIPO DI SUOLO	VS min [m/s]	VS media [m/s]	VS max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE - (es. rocce metamorfiche molto poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE - (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturati)	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE - (es. rocce sedimentarie ignee, tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI - (es. sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
TERRENI TENERI - (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere).	100	150	200

Le stime di V_{s30} ottenibili con quest'ultima procedura sono, ovviamente, approssimate. Ciononostante, è estremamente difficile che il loro utilizzo comporti un reale degrado dell'affidabilità delle stime fatte secondo la normativa vigente.

VS30 E CATEGORIA STRATIGRAFICA DEL SUOLO SECONDO L'O.P.C.M. 3274 ED IL D.M. 14/01/2008 NTC

La normativa sismica, **O.P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003**, oltre a ridefinire la macrozonazione sismica nazionale, classifica i terreni con classi di amplificazione legate alla stratigrafia. Con il **D.M. del 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni"** si ha una ulteriore chiarificazione sulla classificazione stratigrafica dei terreni finalizzata alla valutazione dell'amplificazione sismica del sito. Parametro necessario per poter operare questa classificazione è la velocità sismica media delle onde di taglio relativa ai primi 30 metri di profondità **Vs30**. La stima della velocità delle onde di taglio Vs dei vari sismostrati può essere eseguita con la tecnica MASW che fornisce la stratigrafia e le velocità delle onde di taglio, o con indagini sismiche a rifrazione, dove è possibile misurare direttamente le onde di taglio S mediante geofoni orizzontali, o in alternativa misurando la velocità delle onde P e successivamente stimando la velocità delle onde S (Vs) mediante la formula che lega il modulo di Poisson (ν) alle velocità delle onde sismiche di compressione (Vp): $V_s = V_p \cdot \text{Rad}Q[(1-2\nu)/(2-2\nu)]$.

Una volta acquisiti gli spessori degli strati e le relative velocità delle onde S si calcola la velocità media relativa ai primi trenta metri di sottosuolo. La formula adoperata è la seguente:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} h_i / V_i}$$

dove **hi** e **Vi** indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $< 10^{-6}$) dello strato i-esimo, per un totale di **n** presenti nei primi 30 metri di profondità.

La classificazione del sito, deve interessare i terreni compresi tra il piano di imposta delle fondazioni degli edifici ed un substrato roccioso rigido di riferimento (bedrock), Si effettua sul valore delle velocità medie delle onde di taglio nei primi trenta metri di profondità Vs30 secondo la tabella 2.

Classe	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, 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 con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o 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 con valori di 15 < NSPT30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (NSPT30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m , posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).
S1	Depositati di terreni caratterizzati da valori di Vs30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tab. 2 - "Range" della Vs30 da normativa D.M. del 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni".

Dalla tabella si evince il moto sismico al bedrock non subisce variazioni sostanziali propagandosi in superficie per un suolo di tipo A cioè roccia affiorante o suolo omogeneo molto rigido. In presenza di suoli di tipo B, C, D E, S1, S2 il moto sismico in superficie in genere risulta modificato rispetto al moto sismico al bedrock, in funzione dell'intensità e del contenuto in frequenza dell'input sismico e delle caratteristiche geotecniche sismiche e dello spessore del suolo attraversato dalle onde sismiche per giungere in superficie. In assenza di una specifica analisi di amplificazione sismica locale per il suolo in esame, per valutare l'accelerazione sismica spettrale in presenza di suoli di tipo B, C, D E la normativa introduce un fattore di amplificazione Ss ed i parametri ag, F0, Tc*, Cc, St che servono per calcolare i parametri che definiscono lo spettro di risposta di un oscillatore semplice con smorzamento pari al 5%. In presenza di suoli speciali di tipo S1 e S2 la normativa impone uno studio specifico per determinare gli effetti di amplificazione sismica locale. La classificazione del suolo è convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30m di profondità.

TIPOLOGIA E NUMERO DI INDAGINI

Per la caratterizzazione stratigrafica e per la stima dei parametri elasto-dinamici del sito oggetto d'intervento, sono state eseguite numero 4 indagini dinamica pesante (Dpsh01, Dpsh02, Dpsh03, Dpsh05), numero 5 prelievi di campioni per le analisi granulometriche (C01d, C01s, C02s, C03d, C03s), numero 5 indagine sismica superficiale attiva di tipo Multichannel Analysis of Surface Waves (Masw01, Masw02, Masw03, Masw04, Masw05) e numero 2 indagine sismica superficiale passiva di tipo Horizontal to Vertical Spectrl Ratio (Hvsr01, Hvsr06). L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di un penetrometro dinamico Pesante PAGANI TG 63-100, un sismografo Seismic Unit Echo 24/2002 della Ambrogeo srl ed un tromografo GeoBox della Sara Electronics Instruments s.r.l.. Inoltre sono stati reperiti i risultati di una campagna geognostica per il progetto di realizzazione del porto n. 2 sondaggi con prelievo di campioni e prove SPT in foro (S01, S02) ed i risultati di una trincea esplorativa eseguita con escavatore meccanico (Tr01).

Le profondità raggiunte dall'indagine penetrometrica è la seguente:

Dpsh01 – Quota 3.00 metri slm., profondità raggiunta dal p.c. -5,40 mt.; falda -4.40 metri dal p.c.;

Dpsh02 – Quota 5.00 metri slm., profondità raggiunta dal p.c. -4,40 mt., falda non rilevata.;

Dpsh03 – Quota 2.50 metri slm., profondità raggiunta dal p.c. -4,20 mt.; falda -3.80 metri dal p.c.;

Dpsh05 – Quota 5.00 metri slm., profondità raggiunta dal p.c. -7,40 mt.; falda -4.80 metri dal p.c.;

L'elaborazione dei dati è stata effettuata con il programma Dynamic Probing della GeoStru.

Per determinare la granulometria dei depositi, sono stati prelevati superficialmente alcuni campioni all'interno dell'area di spiaggia (s) e nella fascia posta più a monte e caratterizzata da dune e/o depositi di origine eolica (d). Il materiale prelevato è stato deposto in sacchetti di plastica di circa 2 Kg e denominato secondo i punti di prelievo.

C01d - Distanza dalla linea di riva circa 40 mt., profondità di prelievo dal p.c. -0,40 mt.;

C01s - Distanza dalla linea di riva circa 20 mt., profondità di prelievo dal p.c. -0,40 mt.;

C02s - Distanza dalla linea di riva circa 15 mt., profondità di prelievo dal p.c. -0,40 mt.;

C03d - Distanza dalla linea di riva circa 50 mt., profondità di prelievo dal p.c. -0,40 mt.;

C03s - Distanza dalla linea di riva circa 25 mt., profondità di prelievo dal p.c. -0,40 mt.;

In laboratorio, ai fini della valutazione granulometrica, è stata scelta la modalità di analisi per setacciatura, senza sedimentazione, essendovi assenza o scarsa presenza di frazione fine (<0,075mm). La norma di riferimento è la C.N.R. B.U. n° 23. L'attrezzatura utilizzata è una macchina vibrante (Tecnotest) con vagli compresi tra 2÷0,075 mm (2,0-1,0-0,425-0,180-0,075).

La profondità raggiunta dalla trincea esplorativa eseguita con escavatore meccanico è la seguente:

Tr01 – Quota 3.00 metri slm., profondità raggiunta dal p.c. -5,00 mt.; falda -1.50 metri dal p.c.;

Le profondità raggiunte dai sondaggi a carotaggio continuo e le prove SPT eseguite sono le seguenti:

S01 – Quota 2.60 metri slm., profondità raggiunta dal p.c. -5,25 mt.; falda -3.60 metri dal p.c.;

SPT01 – Profondità 4.80-5,25 mt.; N_{spt}: 4, 7, 14;

S02 – Quota 3.00 metri slm., profondità raggiunta dal p.c. -6,20 mt., falda -4.10 metri dal p.c.;

SPT02_1 – Profondità 5.10-5,55 mt.; N_{spt}: 16, 33, 42;

SPT02_2 – Profondità 5.55-6,00 mt.; N_{spt}: 21, 26, 28;

L'indagine sismica superficiale attiva di tipo Multichannel Analysis of Surface Waves (Masw) è stata eseguita con le seguenti caratteristiche geometriche e di acquisizione:

Masw01, Masw02, Masw03, Masw04 --> Onde R; Lunghezza stendimento 57.50 mt; geofoni verticali (4,5 Hz) n. 24 con off-set di 2.50 mt; Shot n. 2 esterni a distanza di metri: -5.0, -7.5 dal primo geofono; Energizzazione con mazza da 8 Kg su piastra metallica. Al fine di ridurre il *noise* e migliorare i segnali acquisiti è stata usata la funzione iterazione per somma e sono state eseguite amplificazioni dei guadagni (*gain*) in ingresso dei geofoni posti in posizione più lontana dalle energizzazioni. L'acquisizioni del segnale, di lunghezza temporale T=1000ms è stata effettuata con passo di campionamento dt=0,131ms. La frequenza di campionamento è data da: $f_{\text{campionamento}}=1/dt=7633$ Hz. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da: $f_{\text{nyquist}}=1/2dt=3817$ Hz. La frequenza minima dei segnali è data da: $f_{\text{min}}=1/T=1,0$ Hz. Dato che le acquisizioni sono risultate tutte della stessa qualità sono state elaborate, rispettivamente, le prove:

- *LocriMasw01PianoDiSpiaggia2013_500cmA250cmSh03.sgy*, energizzazione -5,0 metri dal primo geofono.
- *LocriMasw02PianoDiSpiaggia2013_750cmA250cmSh02.sgy*, energizzazione -7,5 metri dal primo geofono.
- *LocriMasw03PianoDiSpiaggia2013_500cmA250cmSh03.sgy*, energizzazione -5,0 metri dal primo geofono.
- *LocriMasw04PianoDiSpiaggia2013_500cmA250cmSh03.sgy*, energizzazione -5,0 metri dal primo geofono.

Masw05 --> Onde R; Lunghezza stendimento 23.00 mt; geofoni verticali (4,5 Hz) n. 24 con off-set di 1.00 mt; Shot n. 2 esterni a distanza di metri: -2.0, -4.0 dal primo geofono; Energizzazione con mazza da 8 Kg su piastra metallica. Al fine di ridurre il *noise* e migliorare i segnali acquisiti è stata usata la funzione iterazione per somma e sono state eseguite amplificazioni dei guadagni (*gain*) in ingresso dei geofoni posti in posizione più lontana dalle energizzazioni. L'acquisizioni del segnale, di lunghezza temporale $T=1000\text{ms}$ è stata effettuata con passo di campionamento $dt=0,131\text{ms}$. La frequenza di campionamento è data da: $f_{\text{campionamento}}=1/dt=7633\text{ Hz}$. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di *Nyquist*, è data da: $f_{\text{nyquist}}=1/2dt=3817\text{ Hz}$. La frequenza minima dei segnali è data da: $f_{\text{min}}=1/T=1,0\text{ Hz}$. Dato che le acquisizioni sono risultate tutte della stessa qualità è stata elaborata la prova: *aversazonalitoranealocri.sgy*, energizzazione -4,0 metri dal primo geofono.

L'elaborazione dei dati è stata effettuata con il programma WinMASW 4.31 della EliaSoft.

Le acquisizioni dei microtremori sono stati eseguiti con le seguenti caratteristiche di acquisizione:

Hvsr01 --> Numero tracce:3 (Verticale, Nord-Sud, Est-Ovest); Durata registrazione: 15870s; Frequenza di campionamento: 300,00 Hz; Numero campioni: 476100.

Hvsr06 --> Numero tracce:3 (Verticale, Nord-Sud, Est-Ovest); Durata registrazione: 1496s; Frequenza di campionamento: 400,00 Hz; Numero campioni: 598400.

L'elaborazione dei dati è stata effettuata con il programma EasyHVSR della GeoStru.

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUPERPESANTE DPSH

Prova DPSH 01

Strumento utilizzato...PENETROMETRO PAGANI TG 63-100 DPSH-B (Standard: UNI EN ISO 22476-2:2005)

Prova eseguita in data

29/09/2013

Profondità prova

5.40 mt

Quota

3.00 mt

Falda

4.40 mt

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	3	0.855	27.64	32.34	1.38	1.62
0.40	4	0.851	36.69	43.12	1.83	2.16
0.60	5	0.847	45.66	53.90	2.28	2.70
0.80	4	0.843	36.37	43.12	1.82	2.16
1.00	4	0.840	36.21	43.12	1.81	2.16
1.20	4	0.836	36.06	43.12	1.80	2.16
1.40	4	0.833	35.92	43.12	1.80	2.16
1.60	3	0.830	26.83	32.34	1.34	1.62
1.80	3	0.826	26.73	32.34	1.34	1.62
2.00	4	0.823	35.50	43.12	1.77	2.16
2.20	4	0.820	35.37	43.12	1.77	2.16
2.40	5	0.817	44.05	53.90	2.20	2.70
2.60	4	0.814	35.11	43.12	1.76	2.16
2.80	3	0.811	26.24	32.34	1.31	1.62
3.00	7	0.809	61.03	75.46	3.05	3.77
3.20	9	0.806	78.20	97.03	3.91	4.85
3.40	8	0.803	69.29	86.25	3.46	4.31
3.60	11	0.801	94.97	118.59	4.75	5.93
3.80	10	0.798	86.07	107.81	4.30	5.39
4.00	9	0.796	77.23	97.03	3.86	4.85
4.20	10	0.794	85.57	107.81	4.28	5.39
4.40	11	0.791	93.85	118.59	4.69	5.93
4.60	9	0.789	76.58	97.03	3.83	4.85
4.80	10	0.787	84.85	107.81	4.24	5.39
5.00	19	0.735	150.56	204.83	7.53	10.24
5.20	21	0.683	154.63	226.39	7.73	11.32
5.40	21	0.681	154.18	226.39	7.71	11.32

Prova DPSH 02

Strumento utilizzato...PENETROMETRO PAGANI TG 63-100 DPSH-B (Standard: UNI EN ISO 22476-2:2005)

Prova eseguita in data

29/09/2013

Profondità prova

4.40 mt

Quota

5.00 mt

Falda

assente

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	5	0.855	46.07	53.90	2.30	2.70
0.40	6	0.851	55.03	64.68	2.75	3.23
0.60	5	0.847	45.66	53.90	2.28	2.70
0.80	5	0.843	45.46	53.90	2.27	2.70
1.00	6	0.840	54.32	64.68	2.72	3.23
1.20	7	0.836	63.11	75.46	3.16	3.77
1.40	6	0.833	53.87	64.68	2.69	3.23
1.60	5	0.830	44.72	53.90	2.24	2.70
1.80	3	0.826	26.73	32.34	1.34	1.62
2.00	3	0.823	26.62	32.34	1.33	1.62
2.20	2	0.820	17.68	21.56	0.88	1.08
2.40	2	0.817	17.62	21.56	0.88	1.08
2.60	3	0.814	26.33	32.34	1.32	1.62
2.80	3	0.811	26.24	32.34	1.31	1.62
3.00	3	0.809	26.15	32.34	1.31	1.62

3.20	7	0.806	60.82	75.46	3.04	3.77
3.40	9	0.803	77.95	97.03	3.90	4.85
3.60	10	0.801	86.34	107.81	4.32	5.39
3.80	11	0.798	94.68	118.59	4.73	5.93
4.00	17	0.746	136.72	183.27	6.84	9.16
4.20	18	0.744	144.32	194.05	7.22	9.70
4.40	18	0.741	143.88	194.05	7.19	9.70

Prova DPSH 03

Strumento utilizzato...PENETROMETRO PAGANI TG 63-100 DPSH-B (Standard: UNI EN ISO 22476-2:2005)

Prova eseguita in data

29/09/2013

Profondità prova

4.20 mt

Quota

2.50 mt

Falda

3.80 mt

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	2	0.855	18.43	21.56	0.92	1.08
0.40	2	0.851	18.34	21.56	0.92	1.08
0.60	3	0.847	27.39	32.34	1.37	1.62
0.80	4	0.843	36.37	43.12	1.82	2.16
1.00	3	0.840	27.16	32.34	1.36	1.62
1.20	3	0.836	27.05	32.34	1.35	1.62
1.40	3	0.833	26.94	32.34	1.35	1.62
1.60	4	0.830	35.77	43.12	1.79	2.16
1.80	5	0.826	44.54	53.90	2.23	2.70
2.00	6	0.823	53.25	64.68	2.66	3.23
2.20	6	0.820	53.05	64.68	2.65	3.23
2.40	11	0.817	96.90	118.59	4.85	5.93
2.60	11	0.814	96.56	118.59	4.83	5.93
2.80	12	0.811	104.97	129.37	5.25	6.47
3.00	12	0.809	104.62	129.37	5.23	6.47
3.20	13	0.756	105.95	140.15	5.30	7.01
3.40	14	0.753	113.71	150.93	5.69	7.55
3.60	14	0.751	113.33	150.93	5.67	7.55
3.80	22	0.698	165.65	237.17	8.28	11.86
4.00	24	0.696	180.09	258.74	9.00	12.94
4.20	24	0.694	179.48	258.74	8.97	12.94

Prova DPSH 05

Strumento utilizzato...PENETROMETRO PAGANI TG 63-100 DPSH-B (Standard: UNI EN ISO 22476-2:2005)

Prova eseguita in data

29/09/2013

Profondità prova

7.40 mt

Quota

5.00 mt

Falda

4.80 mt

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	9	0.855	82.92	97.03	4.15	4.85
0.40	8	0.851	73.37	86.25	3.67	4.31
0.60	9	0.847	82.18	97.03	4.11	4.85
0.80	5	0.843	45.46	53.90	2.27	2.70
1.00	5	0.840	45.27	53.90	2.26	2.70
1.20	3	0.836	27.05	32.34	1.35	1.62
1.40	4	0.833	35.92	43.12	1.80	2.16
1.60	3	0.830	26.83	32.34	1.34	1.62
1.80	4	0.826	35.63	43.12	1.78	2.16
2.00	3	0.823	26.62	32.34	1.33	1.62
2.20	4	0.820	35.37	43.12	1.77	2.16

2.40	6	0.817	52.86	64.68	2.64	3.23
2.60	5	0.814	43.89	53.90	2.19	2.70
2.80	6	0.811	52.49	64.68	2.62	3.23
3.00	8	0.809	69.74	86.25	3.49	4.31
3.20	14	0.756	114.10	150.93	5.71	7.55
3.40	21	0.703	159.25	226.39	7.96	11.32
3.60	19	0.751	153.80	204.83	7.69	10.24
3.80	18	0.748	145.23	194.05	7.26	9.70
4.00	29	0.696	217.60	312.64	10.88	15.63
4.20	22	0.694	164.53	237.17	8.23	11.86
4.40	24	0.691	178.90	258.74	8.94	12.94
4.60	15	0.739	119.54	161.71	5.98	8.09
4.80	14	0.737	111.25	150.93	5.56	7.55
5.00	16	0.735	126.78	172.49	6.34	8.62
5.20	16	0.733	126.44	172.49	6.32	8.62
5.40	15	0.731	118.22	161.71	5.91	8.09
5.60	13	0.729	102.19	140.15	5.11	7.01
5.80	15	0.727	117.61	161.71	5.88	8.09
6.00	16	0.725	125.14	172.49	6.26	8.62
6.20	15	0.724	117.03	161.71	5.85	8.09
6.40	13	0.722	101.19	140.15	5.06	7.01
6.60	14	0.720	108.72	150.93	5.44	7.55
6.80	15	0.719	116.23	161.71	5.81	8.09
7.00	15	0.717	115.97	161.71	5.80	8.09
7.20	18	0.716	138.87	194.05	6.94	9.70
7.40	19	0.714	146.28	204.83	7.31	10.24

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 01

Strato	Prof. (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Gamma Saturo (t/m ³)	Fi (°)	c (Kg/cm ²)	Densità Relativa (%)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)
sabbia deb. ghiaiosa	2.8	5.83	Inc.	1.57	1.89	16.67	--	51.97	64.0	28.83
sabbia ghiaiosa	4.8	14.19	Inc.	1.86	1.94	31.97	--	66.62	186.43	93.79
ghiaia sabbiosa	5.4	30.70	Inc.	2.04	2.45	33.59	--	78.91	277.01	184.73

Liquefazione

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
sabbia deb. ghiaiosa	5.83	2.80	5.83	Seed e Idriss (1971)	---
sabbia ghiaiosa	14.19	4.80	14.19	Seed e Idriss (1971)	---
ghiaia sabbiosa	30.7	5.40	22.85	Seed e Idriss (1971)	2.745

Liquefazione Metodo di Shi-Ming (1982)

Strato	VII Nspt critico	VIII Nspt critico	IX Nspt critico	X Nspt critico	Condizione
sabbia deb. ghiaiosa	0	0	0	0	-----
sabbia ghiaiosa	7.8	13	20.8	31.2	Liquefazione possibile al IX° Mercalli
ghiaia sabbiosa	8.07	13.45	21.52	32.28	Liquefazione possibile al X° Mercalli

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 02

Strato	Prof. (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Gamma Saturo (t/m ³)	Fi (°)	c (Kg/cm ²)	Densità Relativa (%)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)
sabbia ghiaiosa	1.6	8.49	Inc.	1.68	1.91	17.43	--	66.99	126.81	90.1
sabbia deb. ghiaiosa	3.0	4.09	Inc.	1.50	1.88	16.17	--	40.98	56.24	21.01
sabbia ghiaiosa	3.8	13.97	Inc.	1.85	1.94	30.49	--	70.13	184.13	91.49
ghiaia sabbiosa	4.4	26.68	Inc.	2.10	2.50	34.64	--	92.01	317.07	224.94

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 03

Strato	Prof. (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Gamma Saturo (t/m ³)	Fi (°)	c (Kg/cm ²)	Densità Relativa (%)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)
sabbia deb. ghiaiosa	2.2	5.63	Inc.	1.57	1.89	16.61	--	53.34	63.11	27.94
sabbia ghiaiosa	3.6	18.77	Inc.	1.97	1.97	32.29	--	83.64	234.33	141.89
ghiaia sabbiosa	4.2	35.23	Inc.	2.18	2.50	36.33	--	100.00	406.51	314.71

Liquefazione

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
sabbia deb. ghiaiosa	5.63	2.20	5.63	Seed e Idriss (1971)	---
sabbia ghiaiosa	18.77	3.60	18.77	Seed e Idriss (1971)	---
ghiaia sabbiosa	35.23	4.20	35.23	Seed e Idriss (1971)	>10

Liquefazione Metodo di Shi-Ming (1982)

Strato	VII Nspt critico	VIII Nspt critico	IX Nspt critico	X Nspt critico	Condizione
sabbia deb. ghiaiosa	0	0	0	0	-----
sabbia ghiaiosa	0	0	0	0	-----
ghiaia sabbiosa	7.38	12.3	19.68	29.52	-----

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 05

Strato	Prof. (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Gamma Saturo (t/m ³)	Fi (°)	c (Kg/cm ²)	Densità Relativa (%)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)
sabbia deb. ghiaiosa	3.0	8.29	Inc.	1.67	1.91	17.37	--	62.02	74.97	39.9
ghiaia sabbiosa	4.4	31.82	Inc.	2.15	2.50	35.76	--	100.00	370.84	278.91
sabbia ghiaiosa	7.4	23.13	Inc.	2.05	2.46	33.67	--	76.46	279.94	187.66

Liquefazione

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
sabbia deb. ghiaiosa	8.29	3.00	8.29	Seed e Idriss (1971)	---
ghiaia sabbiosa	31.82	4.40	31.82	Seed e Idriss (1971)	---
sabbia ghiaiosa	23.13	7.40	23.13	Seed e Idriss (1971)	2.067

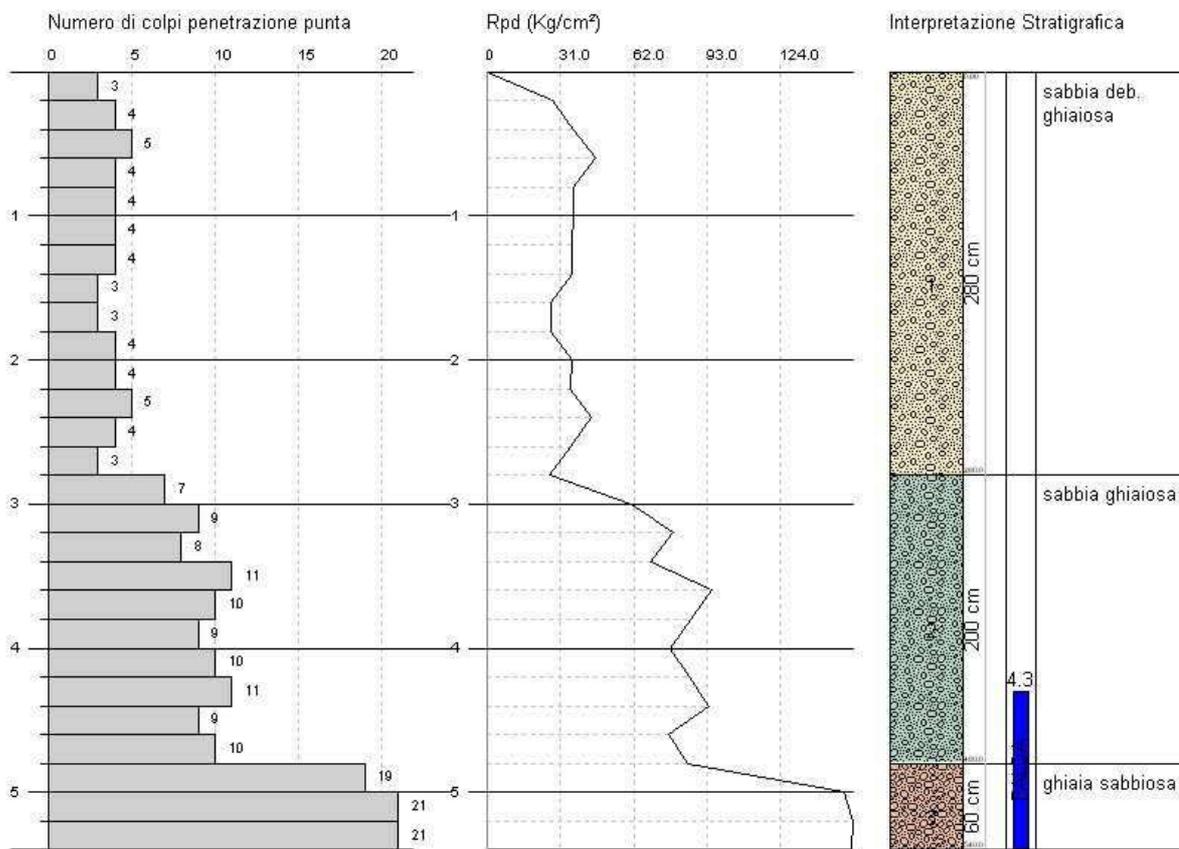
Liquefazione Metodo di Shi-Ming (1982)

Strato	VII Nspt critico	VIII Nspt critico	IX Nspt critico	X Nspt critico	Condizione
sabbia deb. ghiaiosa	0	0	0	0	-----
ghiaia sabbiosa	0	0	0	0	-----
sabbia ghiaiosa	9.12	15.2	24.32	36.48	Liquefazione possibile al IX° Mercalli

Committente:
 Cantiere: Piano Spiaggia
 Località: Locri (RC)

Data: 29/09/2013

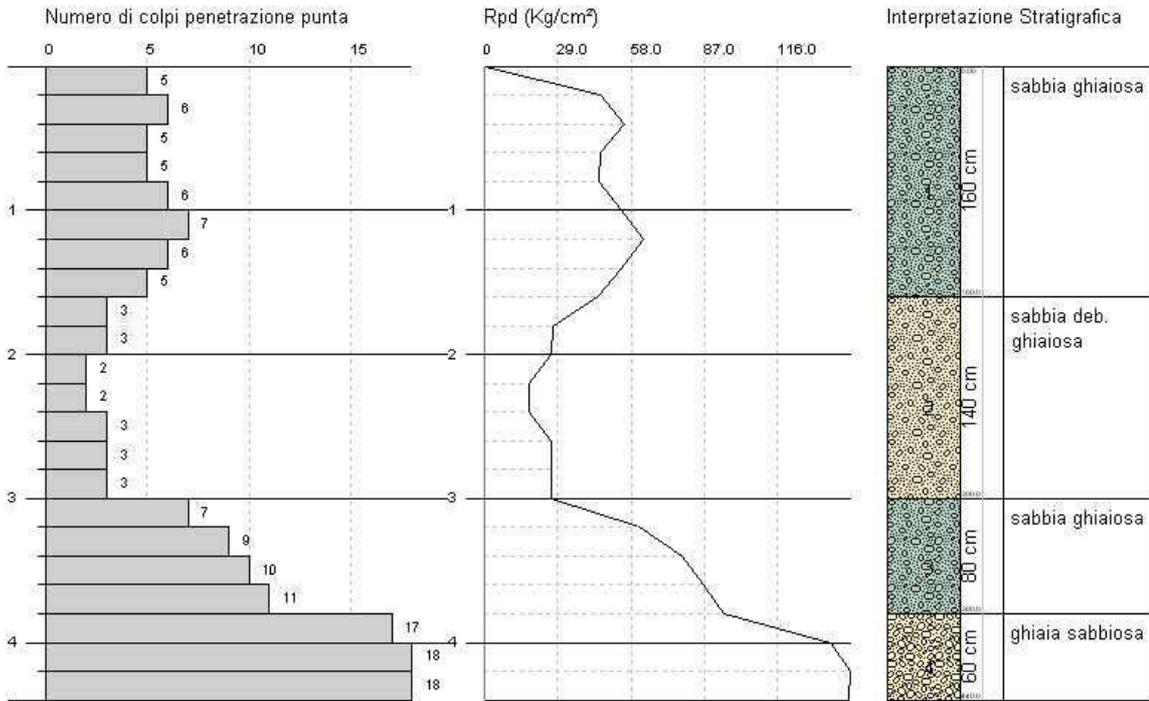
Scala 1:50



Committente:
 Cantiere: Piano Spiaggia
 Località: Locri (RC)

Data: 29/09/2013

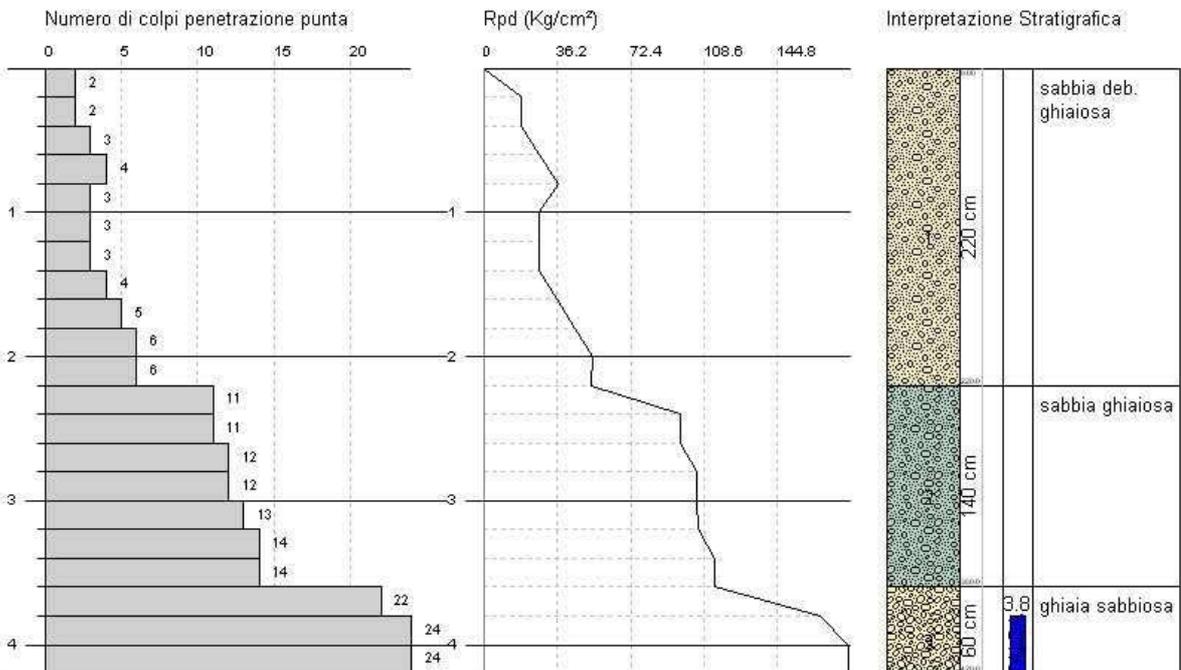
Scala 1:50



Committente:
 Cantiere: Piano Spiaggia
 Località: Locri (RC)

Data: 29/09/2013

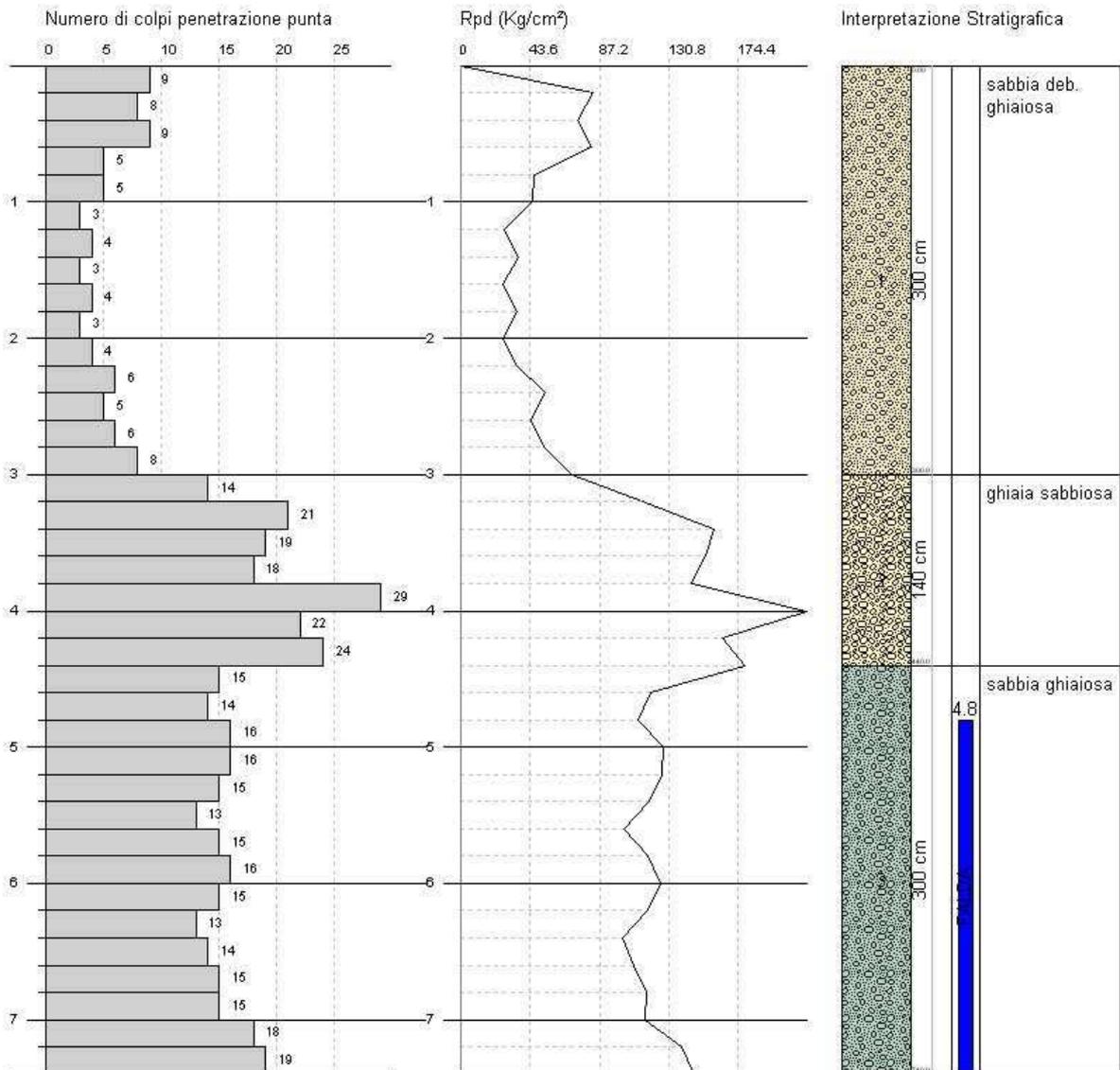
Scala 1:50



Committente:
 Cantiere: Piano Spiaggia
 Località: Locri (RC)

Data: 24/10/2013

Scala 1:50



ANALISI GRANULOMETRICHE SU CAMPIONE (C)

Identificazione documento: PIANO SPIAGGIA CAMPIONE -- C01d

Data di emissione: 20-set-13

Pagina: 1 di

1

Sigla rif. Interno: PIANO SPIAGGIA
CAMPIONE -- C01d

ANALISI GRANULOMETRICA (C.N.R. B.U. n°23)

Data prelievo: 20-set-13
Modalità di prelievo: a cura dei geologi incaricati
Note: Sabbie

Data Inizio prova: 20-set-13
Data Fine Prova: 22-set-13

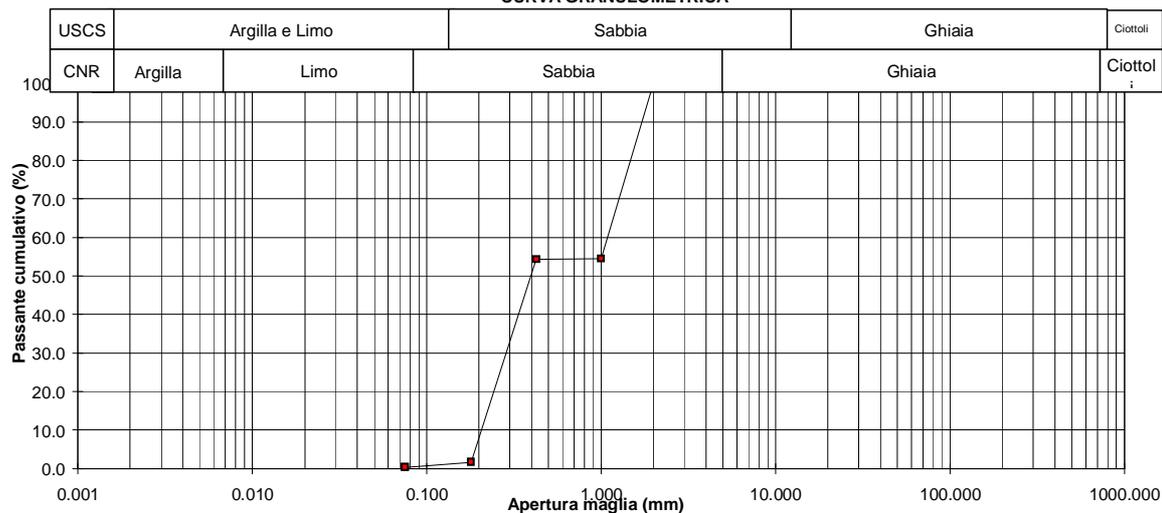
Peso iniziale (N): 18.2466

Peso del materiale passante al crivello 5 (N): -

Peso del materiale passante al crivello 5 dopo la riduzione (N): -

Vaglio o Setaccio		Apertura maglia (mm)	Peso ritenuto cumulativo (N)	Ritenuto cumulativo (%)	Passante cumulativo (%)
Serie	Numero				
UNI		300.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	100.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	71.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	50.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	30.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	25.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	20.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	10.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	5.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	2.000	0.0098	0.1	99.9
	2332	1.000	8.2993	45.5	54.5
	2332	0.425	8.3287	45.6	54.4
	2332	0.180	17.9523	98.4	1.6
	2332	0.075	18.1877	99.7	0.3
Fondo			18.2466	100.0	0.0

CURVA GRANULOMETRICA



ANALISI GRANULOMETRICA
(C.N.R. B.U. n°23)

Data prelievo: 20-set-13
Modalità di prelievo: a cura dei geologi incaricati
Note: Sabbie

Data Inizio prova: 20-set-13
Data Fine Prova: 22-set-13

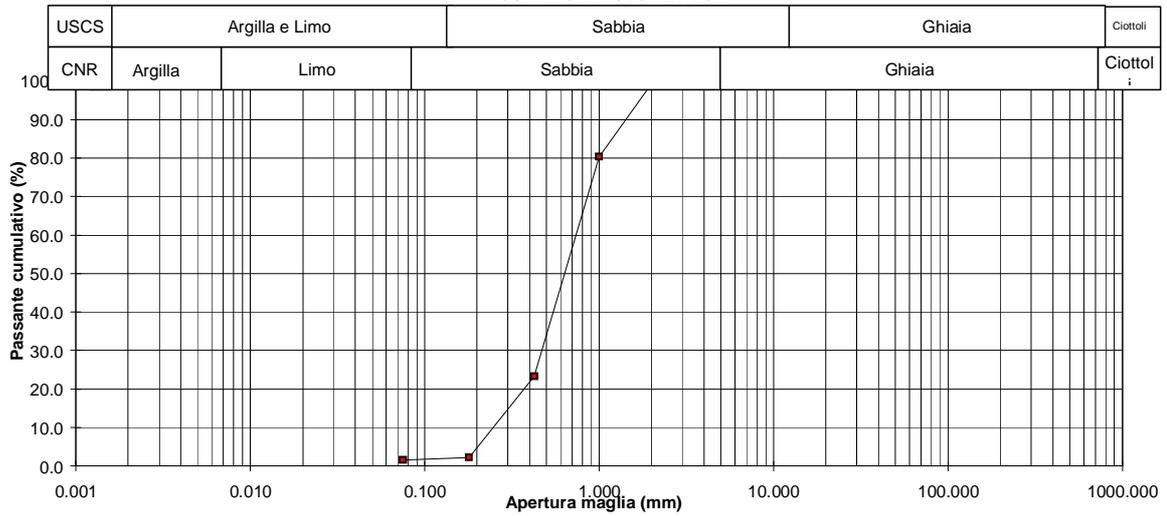
Peso iniziale (N): 16.7653

Peso del materiale passante al crivello 5 (N): -

Peso del materiale passante al crivello 5 dopo la riduzione (N): -

Vaglio o Setaccio		Apertura maglia (mm)	Peso ritenuto cumulativo (N)	Ritenuto cumulativo (%)	Passante cumulativo (%)
Serie	Numero				
UNI		300.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	100.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	71.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	50.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	30.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	25.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	20.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	10.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	5.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	2.000	0.1373	0.8	99.2
	2332	1.000	3.3060	19.7	80.3
	2332	0.425	12.8609	76.7	23.3
	2332	0.180	16.3925	97.8	2.2
	2332	0.075	16.5004	98.4	1.6
Fondo			16.7653	100.0	0.0

CURVA GRANULOMETRICA



Data di emissione: 20-set-13

Pagina: 1 di

1

Sigla rif. Interno: PIANO SPIAGGIA
CAMPIONE -- C02s

ANALISI GRANULOMETRICA (C.N.R. B.U. n°23)

Data prelievo: 20-set-13
Modalità di prelievo: a cura dei geologi incaricati
Note: Sabbie

Data Inizio prova: 20-set-13
Data Fine Prova: 22-set-13

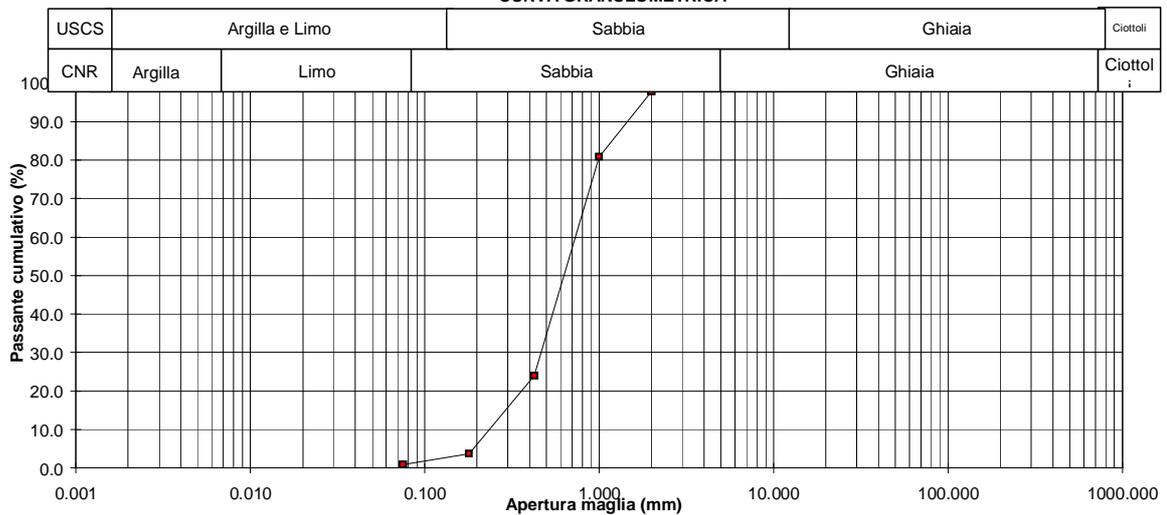
Peso iniziale (N): 17.4245

Peso del materiale passante al crivello 5 (N): -

Peso del materiale passante al crivello 5 dopo la riduzione (N): -

Vaglio o Setaccio		Apertura maglia (mm)	Peso ritenuto cumulativo (N)	Ritenuto cumulativo (%)	Passante cumulativo (%)
Serie	Numero				
UNI		300.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	100.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	71.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	50.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	30.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	25.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	20.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	10.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	5.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	2.000	0.4002	2.3	97.7
	2332	1.000	3.3374	19.2	80.8
	2332	0.425	13.2563	76.1	23.9
	2332	0.180	16.7869	96.3	3.7
	2332	0.075	17.2676	99.1	0.9
Fondo			17.4245	100.0	0.0

CURVA GRANULOMETRICA



ANALISI GRANULOMETRICA
(C.N.R. B.U. n°23)

Data prelievo: 20-set-13
Modalità di prelievo: a cura dei geologi incaricati
Note: Sabbie

Data Inizio prova: 20-set-13
Data Fine Prova: 22-set-13

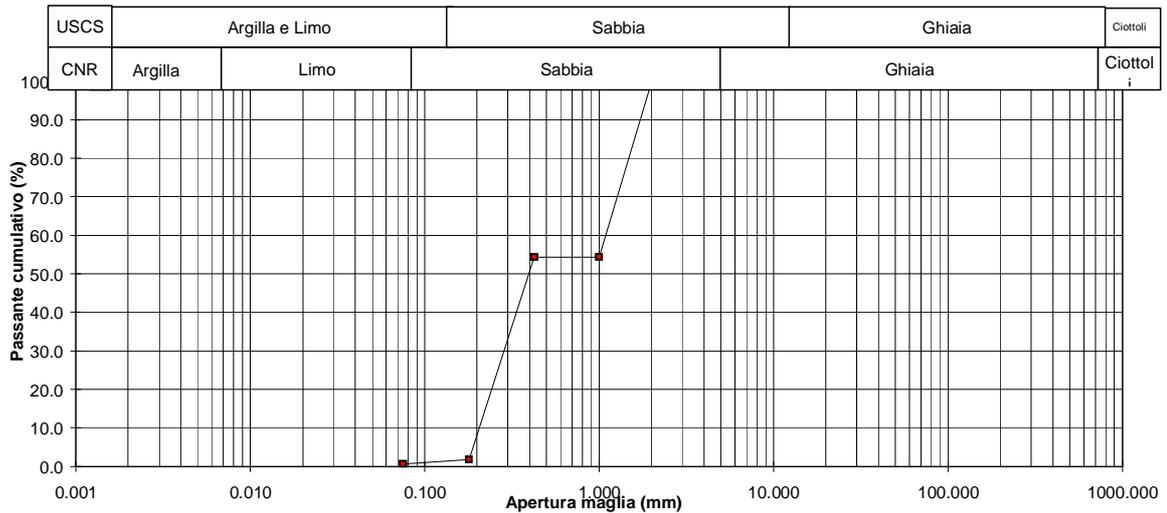
Peso iniziale (N): 18.3575

Peso del materiale passante al crivello 5 (N): -

Peso del materiale passante al crivello 5 dopo la riduzione (N): -

Vaglio o Setaccio		Apertura maglia (mm)	Peso ritenuto cumulativo (N)	Ritenuto cumulativo (%)	Passante cumulativo (%)
Serie	Numero				
UNI		300.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	100.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	71.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	50.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	30.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	25.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	20.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	10.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	5.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	2.000	0.0706	0.4	99.6
	2332	1.000	8.3836	45.7	54.3
	2332	0.425	8.3925	45.7	54.3
	2332	0.180	18.0259	98.2	1.8
	2332	0.075	18.2495	99.4	0.6
Fondo			18.3575	100.0	0.0

CURVA GRANULOMETRICA



Data di emissione: 20-set-13

Pagina: 2 di

2

Sigla rif. Interno: PIANO SPIAGGIA
CAMPIONE -- C03s

ANALISI GRANULOMETRICA (C.N.R. B.U. n° 23)

Data prelievo: 20-set-13
Modalità di prelievo: a cura dei geologi incaricati
Note: Sabbie

Data Inizio prova: 20-set-13
Data Fine Prova: 22-set-13

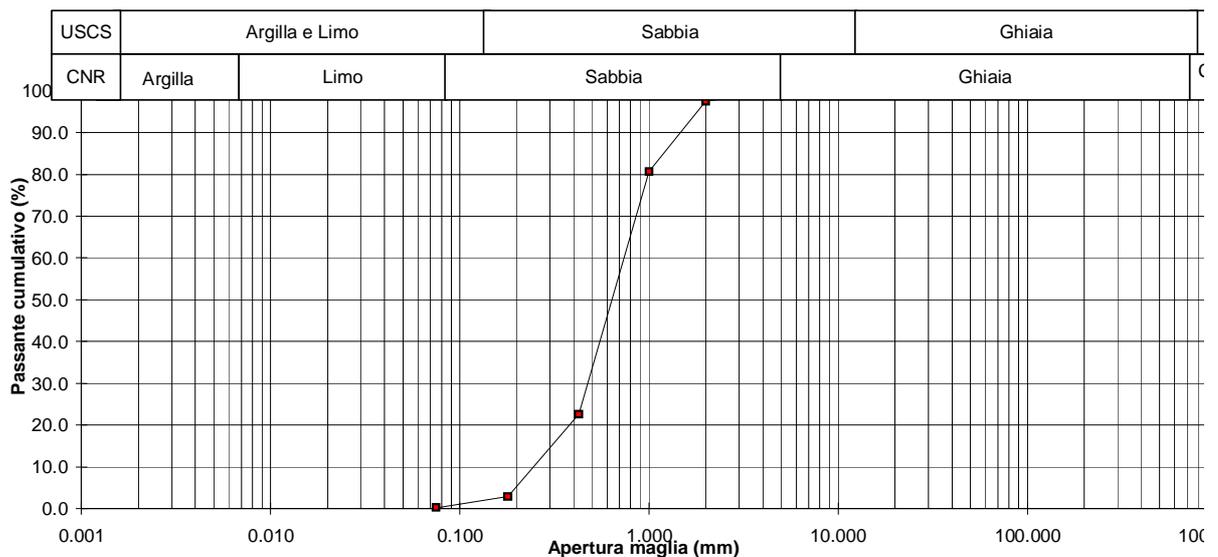
Peso iniziale (N): 16.9791

Peso del materiale passante al crivello 5 (N): -

Peso del materiale passante al crivello 5 dopo la riduzione (N): -

Vaglio o Setaccio		Apertura maglia (mm)	Peso ritenuto cumulativo (N)	Ritenuto cumulativo (%)	Passante cumulativo (%)
Serie	Numero				
UNI		300.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	100.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	71.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	50.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	30.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	25.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	20.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	10.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	5.000	0.0000	0.0	100.0
	2332	2.000	0.4267	2.5	97.5
	2332	1.000	3.2824	19.3	80.7
	2332	0.425	13.1464	77.4	22.6
	2332	0.180	16.4936	97.1	2.9
	2332	0.075	16.9487	99.8	0.2
Fondo			16.9791	100.0	0.0

CURVA GRANULOMETRICA



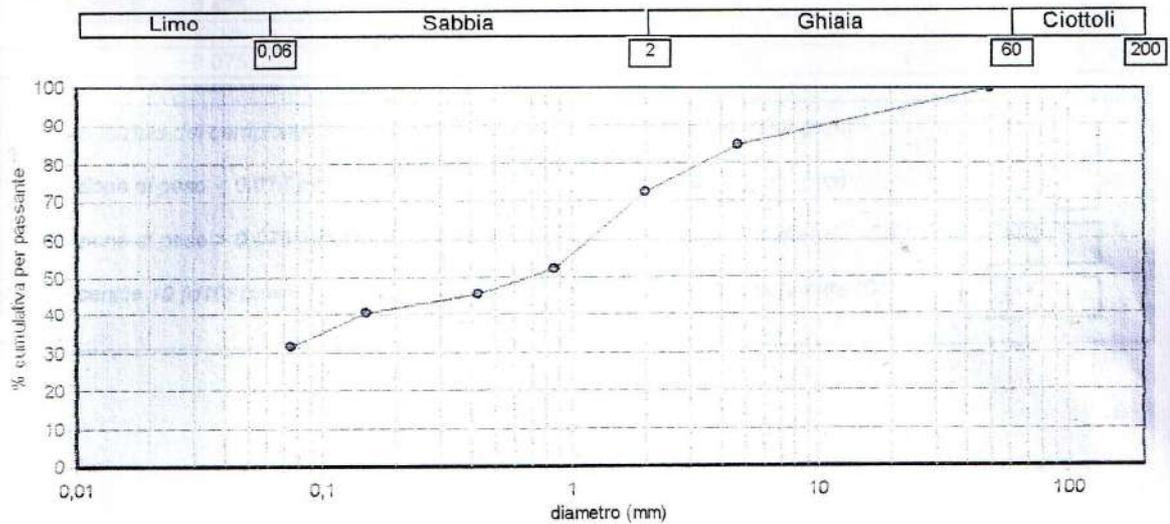
mittente: Comune di Locri

località: Porto Turistico di Locri

Descrizione:

ANALISI GRANULOMETRICA - Setacciatura (sec. Normativa ASTM D421 e D2217)

Setaccio	Diametro (mm)	% cumulativa per passante	Classe	% totale, gr.
n. 0	50	100		
n. 4	4,75	85,03		
n. 10	2	72,33	Ghiaia	27,67
n. 12	0,85	52,38		
n. 16	0,425	45,58		
n. 20	0,15	40,59		
200	0,075	31,52	Sabbia	72,33



Frzione di peso < 0,075 mm (N):	0,69	Frzione di peso > 0,075 mm (N):	1,51
Percentile 10 (d ₁₀) (mm):	N.C.	Percentile 30 (d ₃₀) (mm):	N.C.
Percentile 60 (d ₆₀) (mm):	1,29		
Coefficiente di curvatura (C _u):	N.C.	Coefficiente di uniformità (C _u):	N.C.
Descrizione sec. A.G.I.:	Sabbia con ghiaia		

certificato n.: Data certificato: Ottobre 2007

Verbale di Accettazione n.: Data Verbale:

Committente: Comune di Locri

Località: Porto Turistico di Locri

Descrizione:

Analisi granulometrica per setacciamento

Secondo la Normativa ASTM D421 e ASTM D2217

Setacci serie ASTM	Classe granulometrica (mm)	Peso trattenuto (N)	Aggregati %	Peso corretto (N)	% trattenuto	% cumulativo per passante
n. 0	50	0	0	0	0	100
n. 4	4,75	0,334	0	0,33	14,97	85,03
n. 10	2	0,275	0	0,28	12,7	72,33
n. 12	0,85	0,44	0	0,44	19,95	52,38
n. 16	0,425	0,154	0	0,15	6,8	45,58
n. 20	0,15	0,11	0	0,11	4,99	40,59
200	0,075	0,2	0	0,2	9,07	31,52

Peso iniziale del campione (N):

2,205

Percentile 30 (d30) (mm):

N.C.

Frazione di peso < 0,075 mm (N):

0,69

Percentile 60 (d60) (mm):

1,29

Frazione di peso > 0,075 mm (N):

1,51

Coefficiente di uniformità (Cu):

N.C.

Percentile 10 (d10) (mm):

N.C.

Coefficiente di curvatura (Cc):

N.C.

Certificato n.:

Data certificato: Ottobre 2007

Verbale di Accettazione n.:

Data Verbale:

SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO (S) E TRINCEA ESPLORATIVA (TR)

$q_a \approx 1,5 \text{ kg/cm}^2$. (ipotizzando una larghezza di fondazione $B = \text{mt } 1,30$)

SONDAGGIO N° 1
quota: 0,00 mt

PROFONDITÀ	DESCRIZIONE LITOLOGICA	SPT (n° colpi)
da mt 0 a mt 2,00	sabbie sciolte con intercalazioni ghiaiose	
da mt 2,00 a mt 2,90	ghiaie	
da mt 2,90 a mt 3,10	Sabbie fini	
da mt 3,10 a mt 3,90	sabbie con livelli di limi argillosi	
da mt 3,90 a mt 4,30	sabbie medie	
da mt 4,30 a mt 4,50	limi sabbiosi con inclusioni ciottolose	
da mt 4,50 a mt 4,80	sabbie	
da mt 4,80 a mt 4,95	sabbie limose	4
da mt 4,95 a mt 5,10	sabbie	7
da mt 5,10 a mt 5,25	ghiaie	14

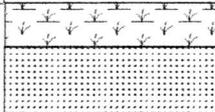
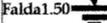
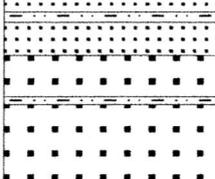
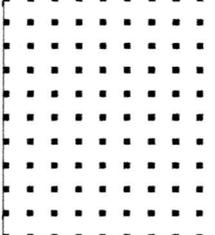
SONDAGGIO N° 2
quota: - 0,00 mt
(piezometrica mt 4,10)

PROFONDITÀ	DESCRIZIONE LITOLOGICA	SPT (n° colpi)
da mt 0 a mt 1,10	sabbie sciolte	
da mt 1,10 a mt 2,20	ciottoli e ghiaie	
da mt 2,20 a mt 3,00	sabbie-ghiaiose	
da mt 3,00 a mt 4,00	sabbie ghiaiose	
da mt 4,00 a mt 4,10	argilla	
da mt 4,10 a mt 4,50	sabbie e ghiaie con matrice argillosa	
da mt 4,50 a mt 5,10	sabbie ghiaiose	
PRIMA S.P.T.		
da mt 5,10 a mt 5,25	ghiaie	16
da mt 5,25 a mt 5,40	ghiaie	33
da mt 5,40 a mt 5,55	ghiaie	42
SECONDA S.P.T.		
da mt 5,55 a mt 5,70	ghiaie	21
da mt 5,70 a mt 5,85	ghiaie	26
da mt 5,85 a mt 6,00	ghiaie	28
da mt 6,00 a mt 6,20	ghiaie	

STRATIGRAFIA DEI TERRENI

Località: Laganuso
Comune di Locri

Scala 1:100

Profond.	Colonna stratigrafica	Descrizione della stratigrafia	
0.6		<i>Terreno di copertura sabbioso, frammisto a materia organica vegetale. Colore bruno-rossastro. (Olocene-Attuale)</i>	Sabbie eoliche
Falda 1.50		<i>Sabbie medie. Colore da giallastro a rossastro. (Olocene)</i>	
2.50		<i>Sabbie da fini a grossolane, con intercalazioni di livelli sabbioso-limosi e limo-argillosi. Colore da grigio scuro a brunastro. (Olocene)</i>	Depositi alluvionali
		<i>Sabbie da fini a grossolane, con ghiaia e ciottoli e, intercalazioni di livelli sabbioso-limosi e limo-argillosi centimetrici. Colore da grigio scuro a brunastro. (Olocene)</i>	

INDAGINE SISMICA MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW01)

winMASW 4.3 Standard - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

Main results

See "winMASW_report.txt" for further details.

Data: 19 10 2013 -- Ora: 14 32

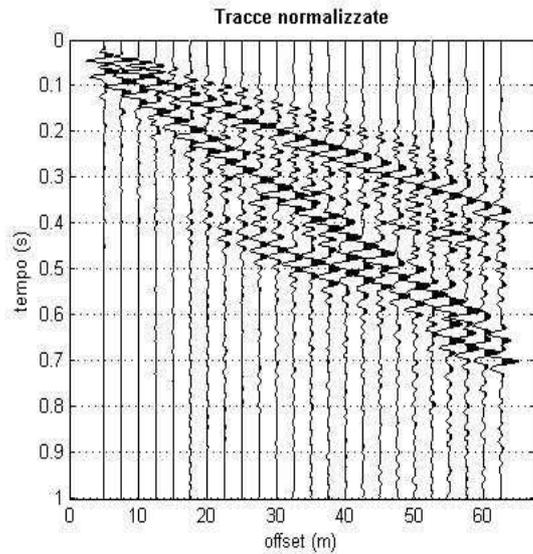
Dataset: LocriMasw01PianoDiSpiaggia2013_500cmA250cmSh03.sgy

Curva analizzata: LocriMasw01PianoDiSpiaggia2013Picking01.cdp

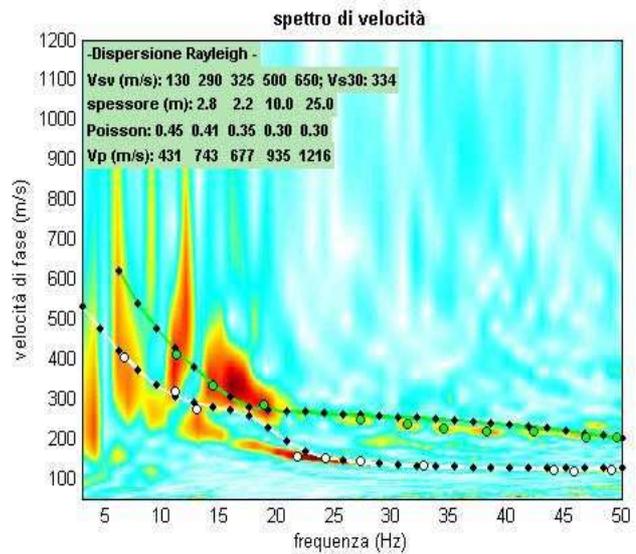
Primo: trattamento dati

dataset: LocriMasw01PianoDiSpiaggia2013_500cmA250cmSh03.sgy
 offset minimo: 5 m
 distanza intergeofonica: 2.5 m
 campionamento: 0.131 ms

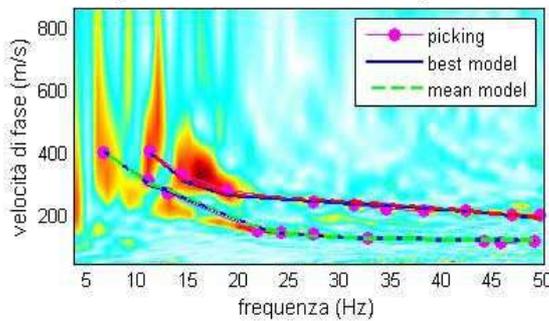
0-60Hz



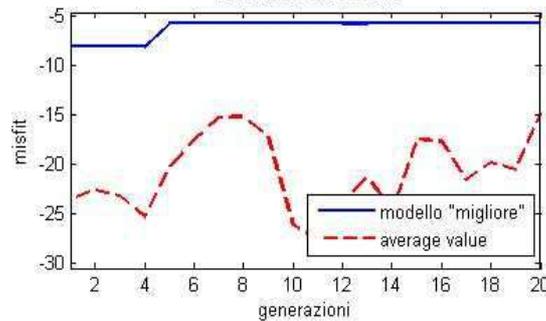
Secondo: determinazione spettro di velocità, modellazione e picking



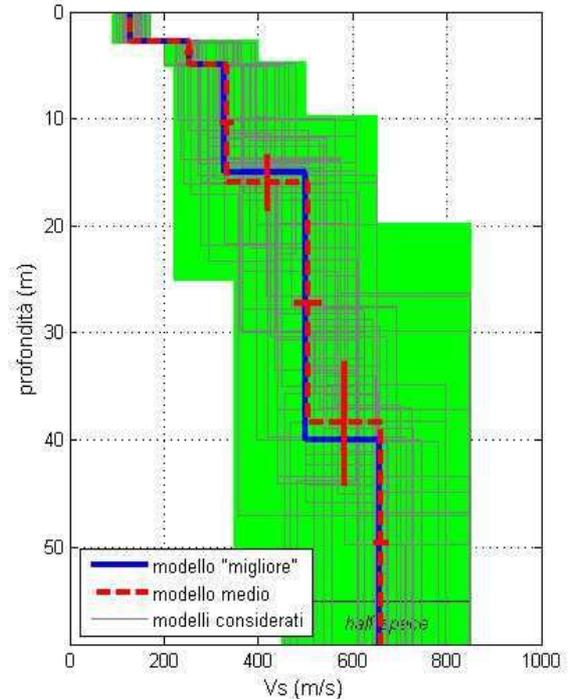
Spettro di velocità e curve di dispersione



evolution del misfit



Profilo Verticale Vs



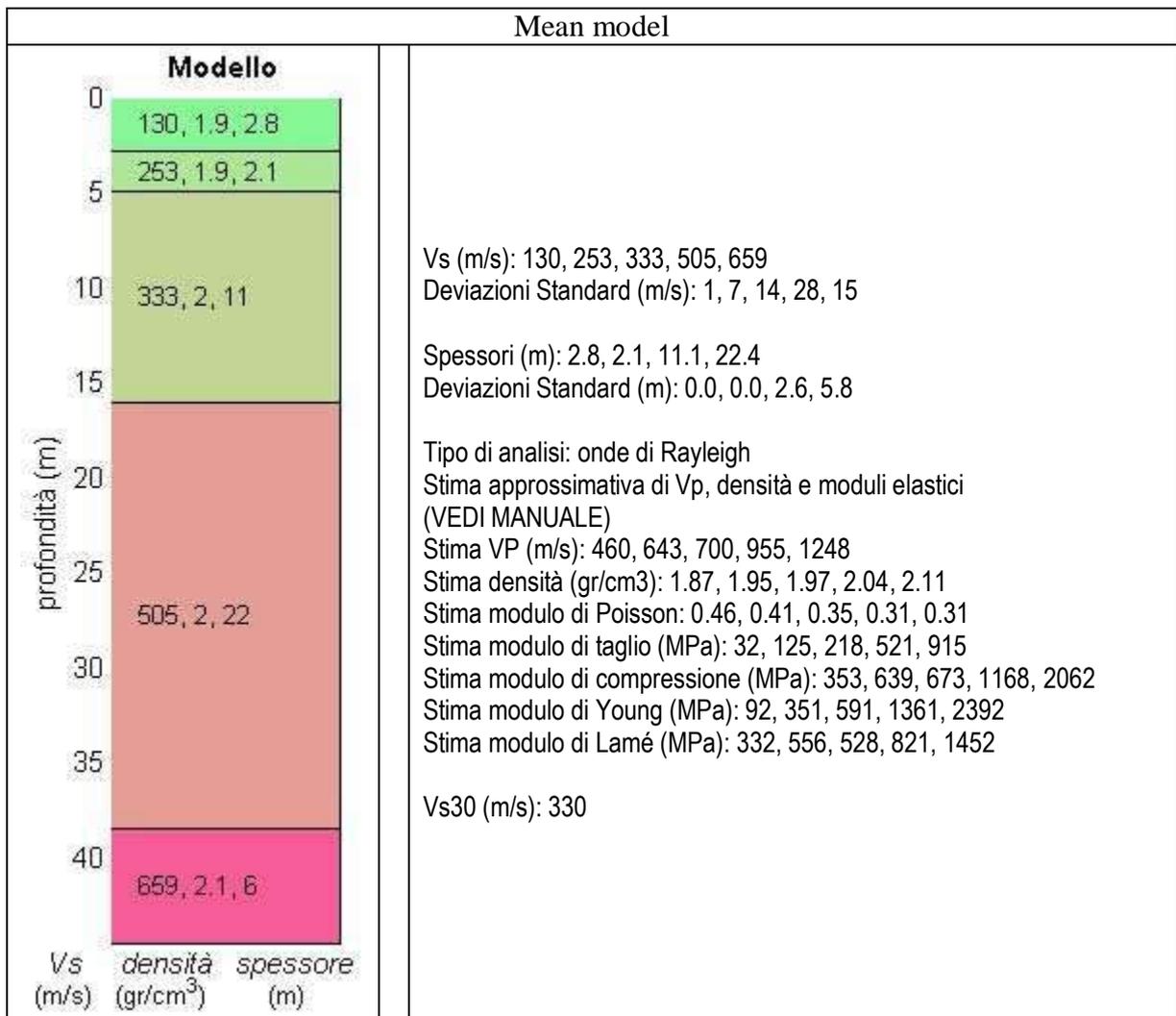
dataset: LocriMasw01PianoDiSpiaggia2013_500cmA250cmSh03.sgy

curve di dispersione: LocriMasw01PianoDiSpiaggia2013Picking01.cdp

VS30 (modello "migliore"): 331 m/s

VS30 (modello medio): 330 m/s





INDAGINE SISMICA MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW02)

winMASW 4.3 Standard - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

Main results

See "winMASW_report.txt" for further details.

Data: 24 10 2013 -- Ora: 20 28

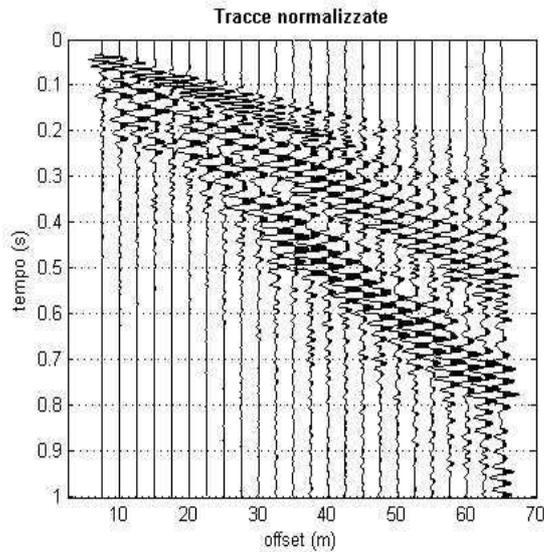
Dataset: LocriMasw02PianoDiSpiaggia2013_750cmA250cmSh02.sgy

Curva analizzata: LocriMasw02PianoDiSpiaggia2013Picking02.cdp

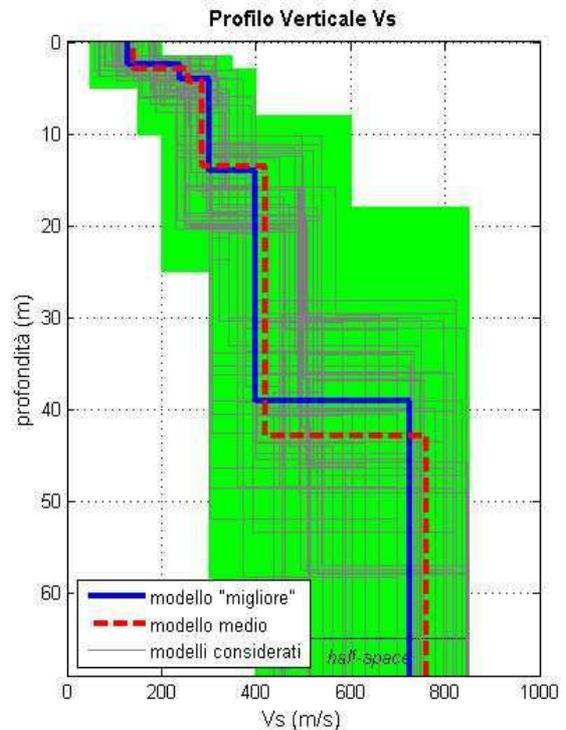
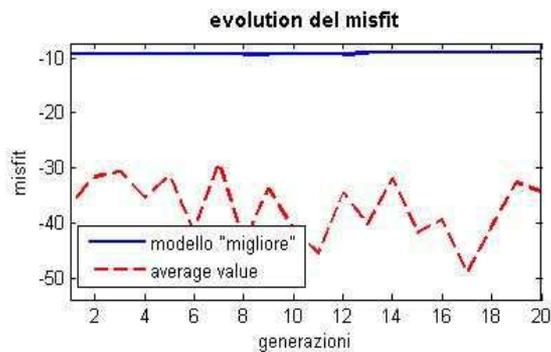
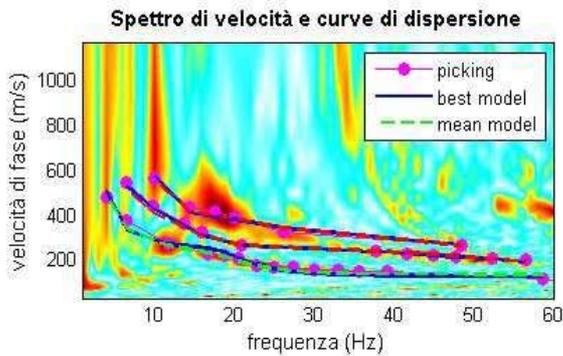
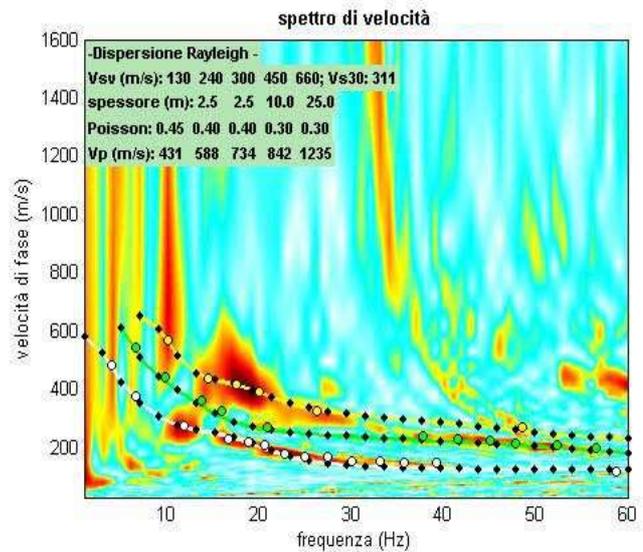
Primo: trattamento dati

dataset: LocriMasw02PianoDiSpiaggia2013_750cmA250cmSh02.sgy
 offset minimo: 7.5 m
 distanza intergeofonica: 2.5 m
 campionamento: 0.131 ms

0-60Hz



Secondo: determinazione spettro di velocità, modellazione e picking



dataset: LocriMasw02PianoDiSpiaggia2013_750cmA250cmSh02.sgy

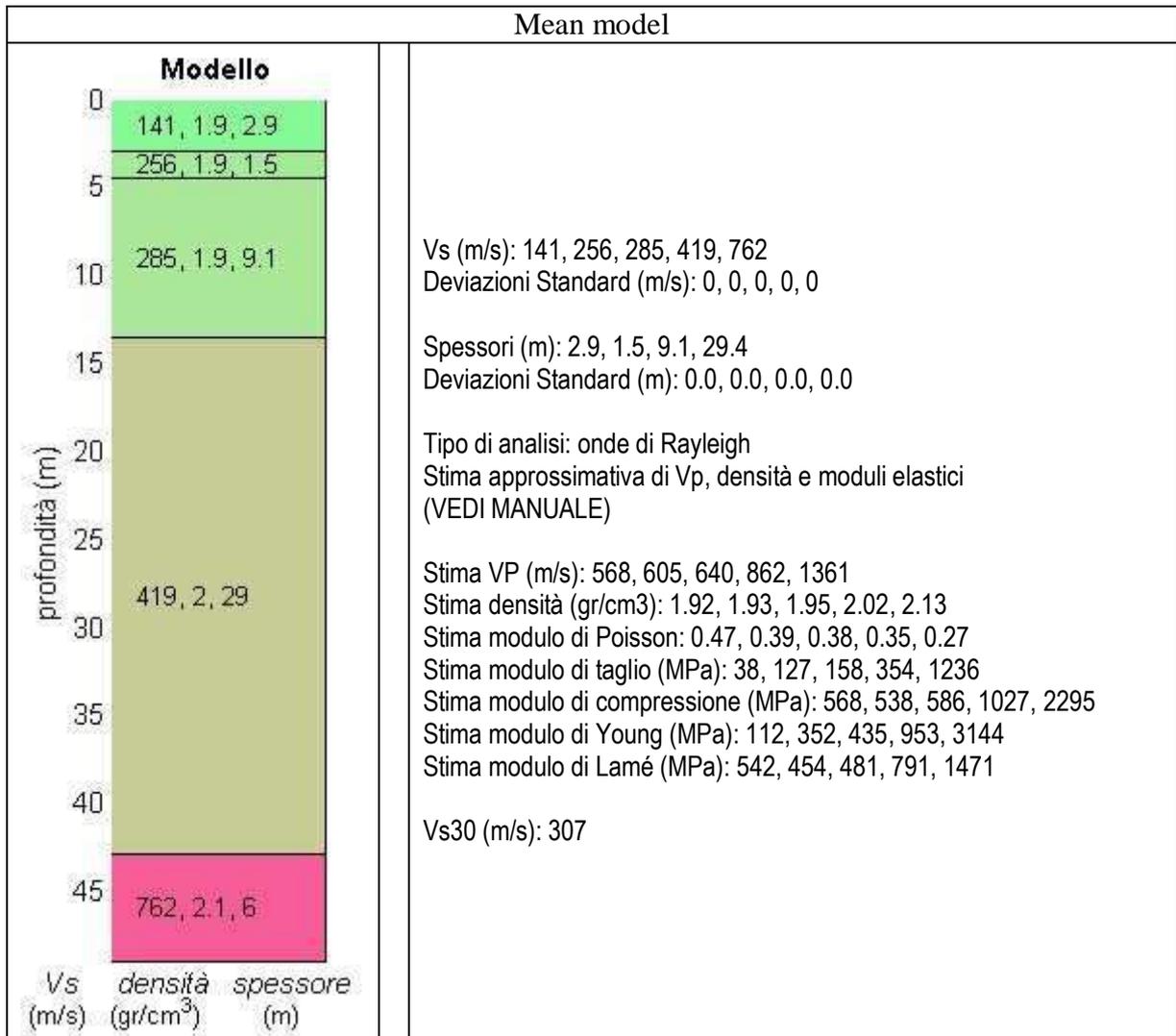
curve di dispersione: LocriMasw02PianoDiSpiaggia2013Picking02.cdp

V_{S30} (modello "migliore"): 303 m/s

V_{S30} (modello medio): 307 m/s



Mean model



INDAGINE SISMICA MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW03)

winMASW 4.3 Standard - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

Main results

See "winMASW_report.txt" for further details.

Data: 19 10 2013 -- Ora: 18 41

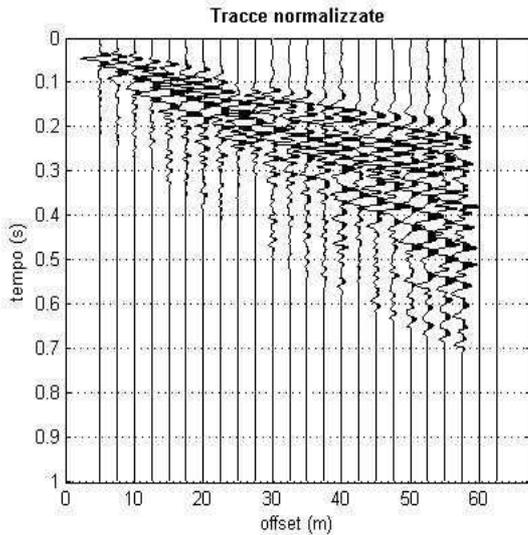
Dataset: LocriMasw03PianoDiSpiaggia2013_500cmA250cmSh03.sgy

Curva analizzata: LocriMasw03PianoDiSpiaggia2013Picking01.cdp

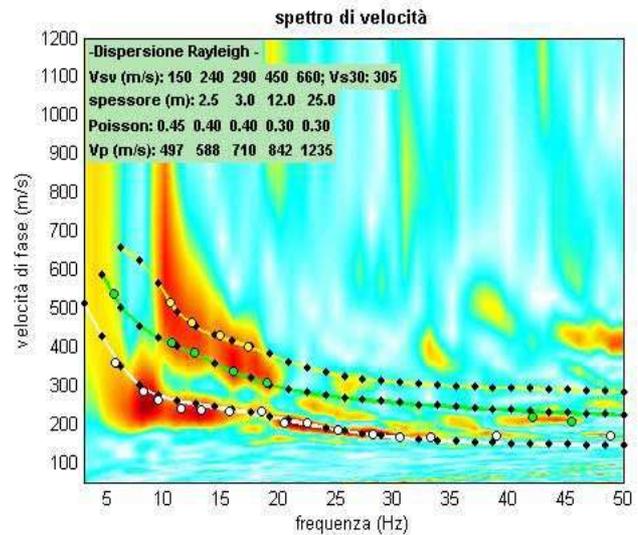
Primo: trattamento dati

dataset: LocriMasw03PianoDiSpiaggia2013_00cmA250cmSh03.sgy
 offset minimo: 5 m
 distanza intergeofonica: 2.5 m
 campionamento: 0.131 ms

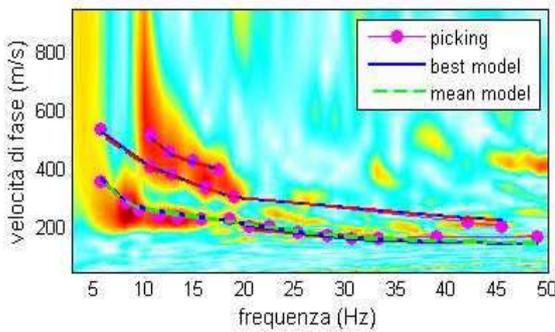
0-60Hz



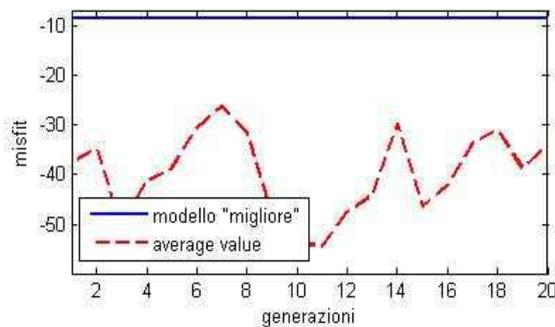
Secondo: determinazione spettro di velocità, modellazione e picking



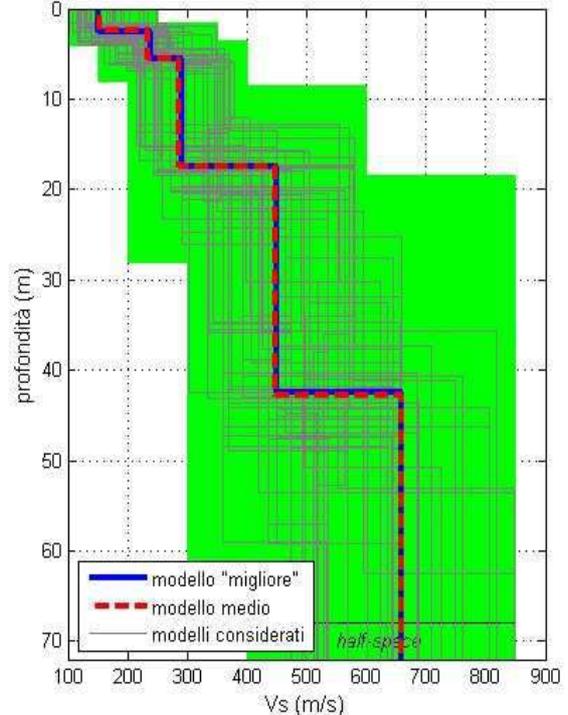
Spettro di velocità e curve di dispersione



evolution del misfit



Profilo Verticale Vs



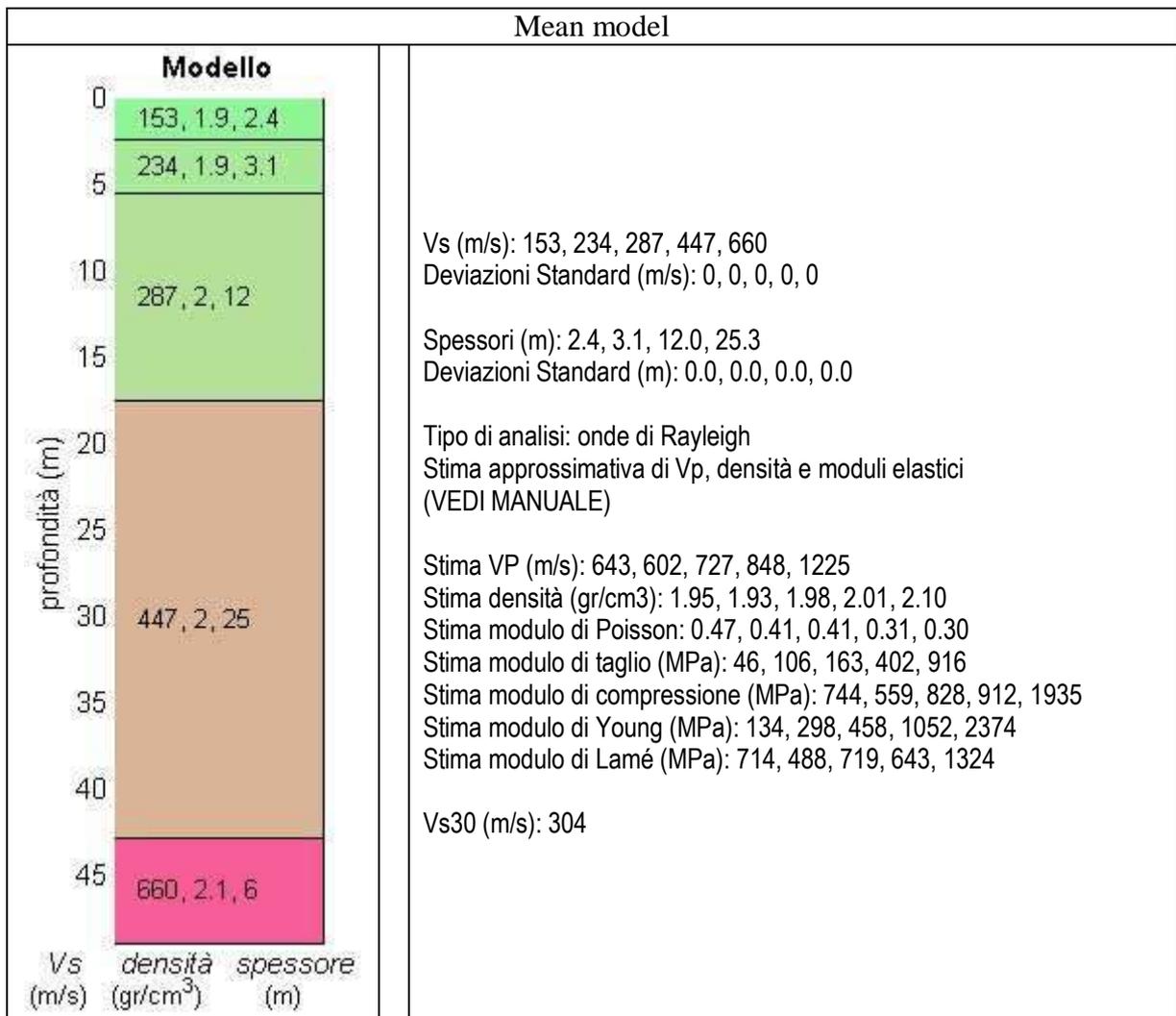
dataset: LocriMasw03PianoDiSpiaggia2013_00cmA250cmSh03.sgy

curve di dispersione: LocriMasw03PianoDiSpiaggia2013Picking01.cdp

VS30 (modello "migliore"): 305 m/s

VS30 (modello medio): 304 m/s





INDAGINE SISMICA MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW04)

winMASW 4.3 Standard - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

Main results

See "winMASW_report.txt" for further details.

Data: 24 10 2013 -- Ora: 20 58

Dataset: LocriMasw04PianoDiSpiaggia2013_500cmA250cmSh03.sgy

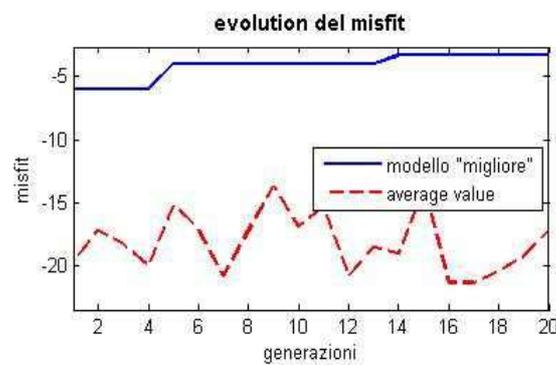
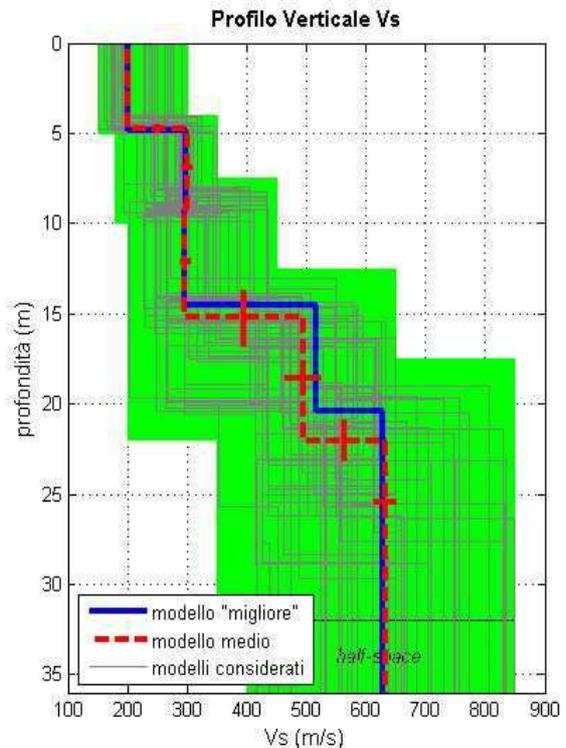
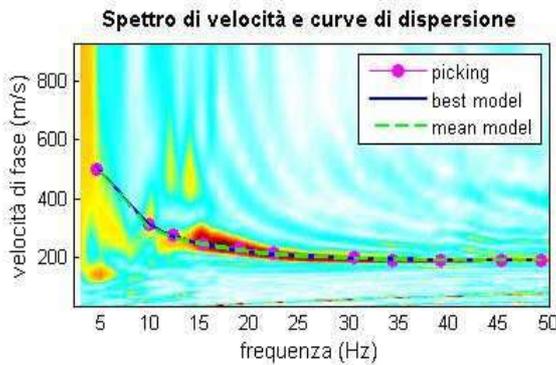
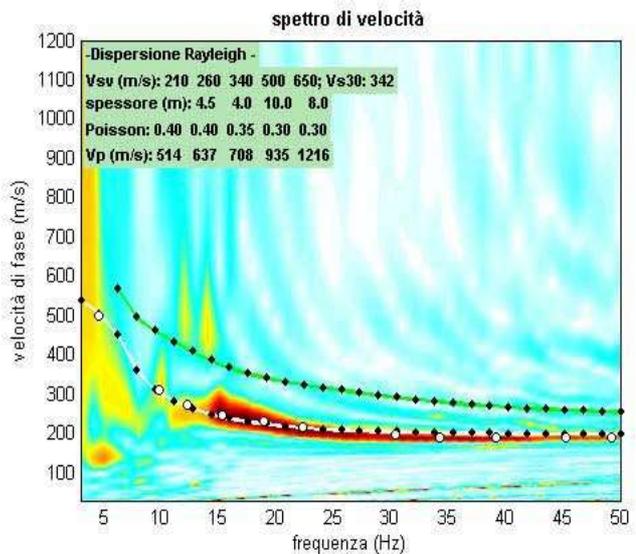
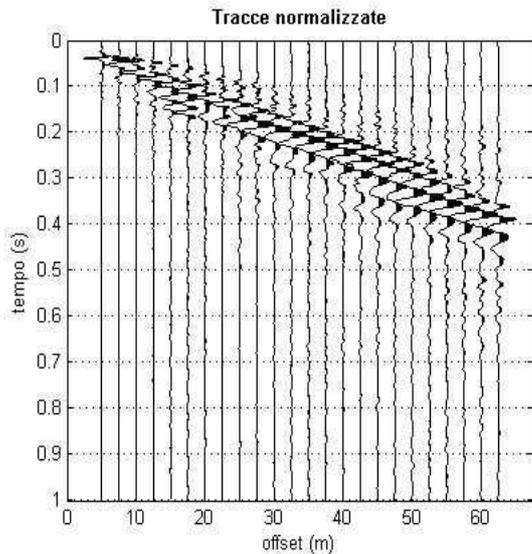
Curva analizzata: LocriMasw04PianoDiSpiaggia2013Picking01.cdp

Primo: trattamento dati

dataset: LocriMasw04PianoDiSpiaggia2013_500cmA250cmSh03.sgy
 offset minimo: 5 m
 distanza intergeofonica: 2.5 m
 campionamento: 0.131 ms

Filtraggio

Secondo: determinazione spettro di velocità, modellazione e picking



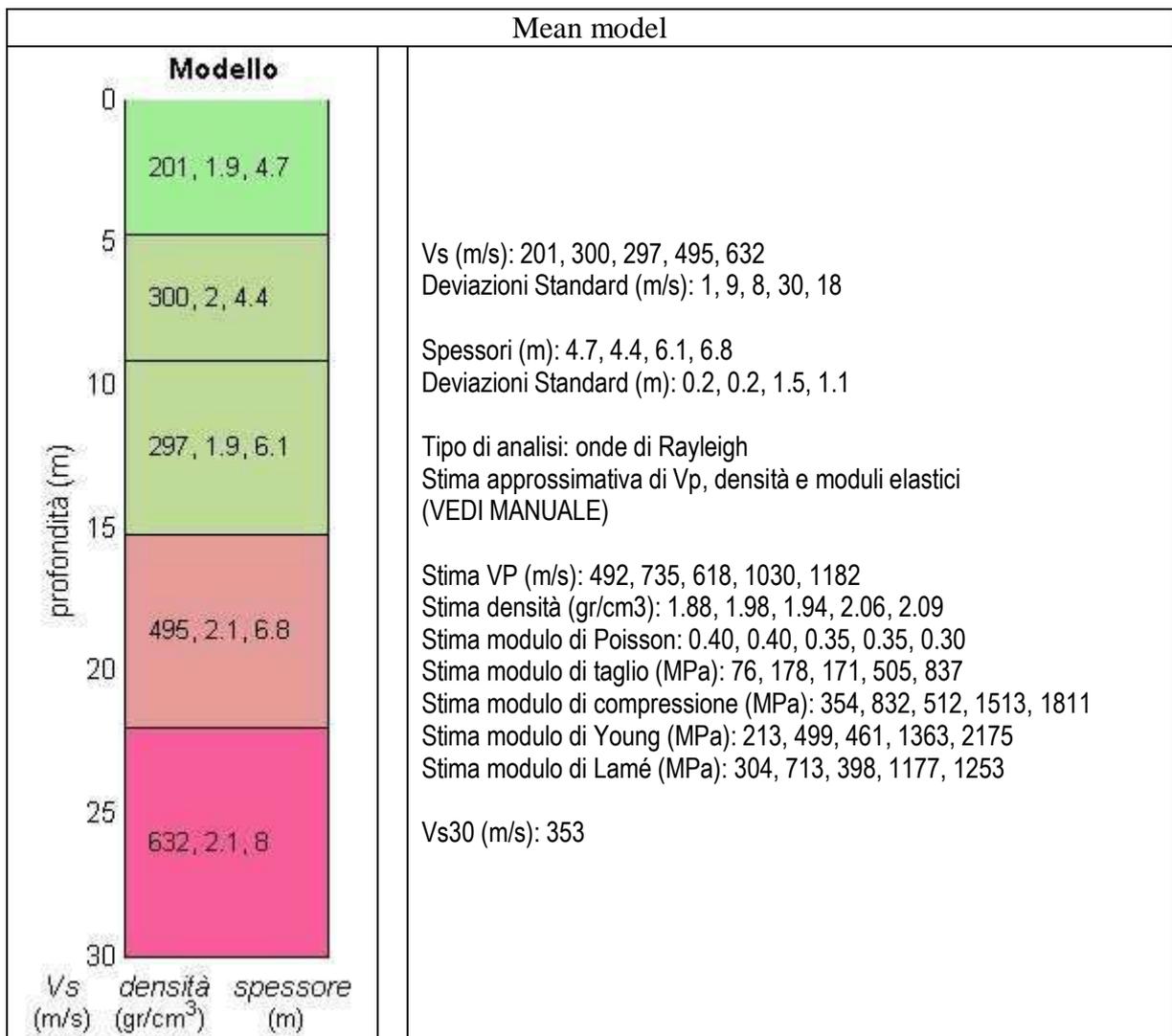
dataset: LocriMasw04PianoDiSpiaggia2013_00cmA250cmSh03.sgy

curve di dispersione: LocriMasw04PianoDiSpiaggia2013Picking01.cdp

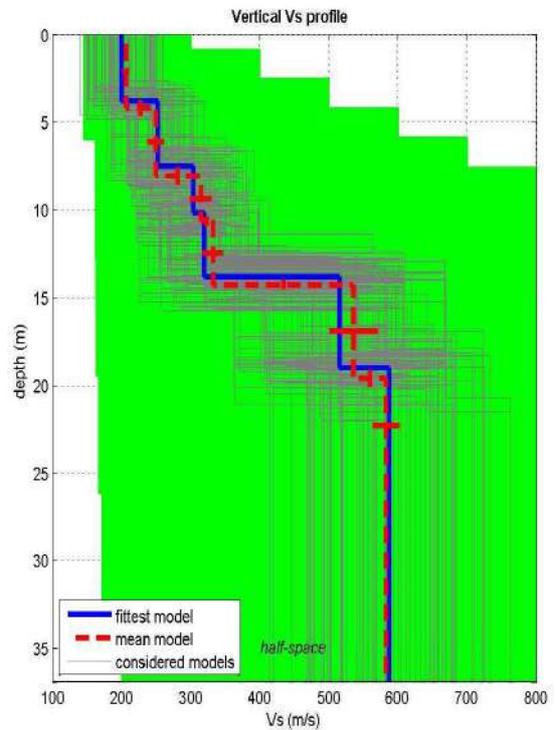
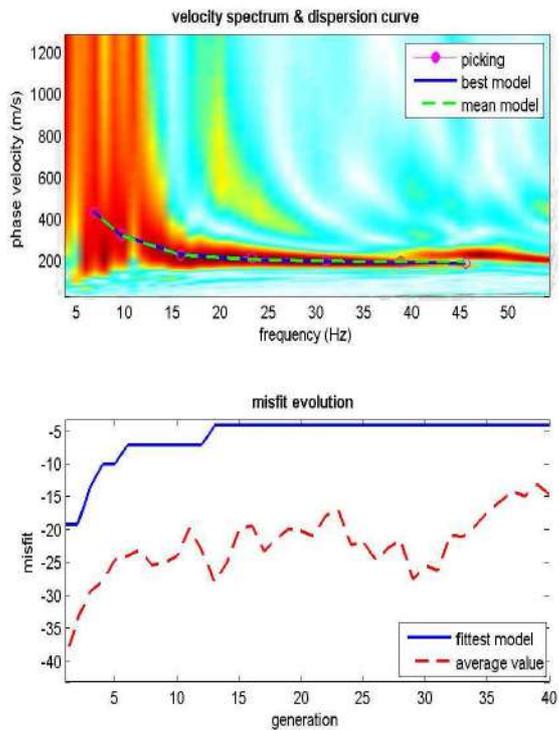
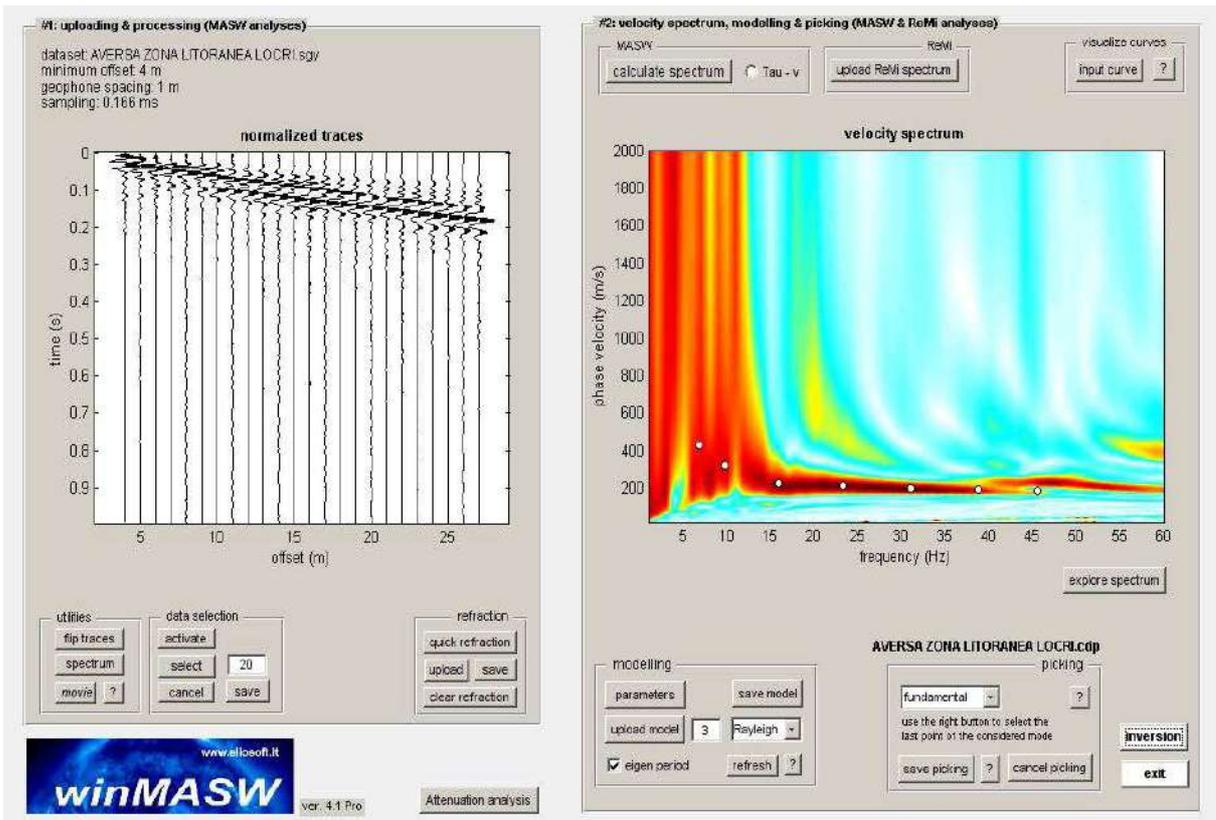
VS30 (modello "migliore"): 360 m/s

VS30 (modello medio): 353 m/s



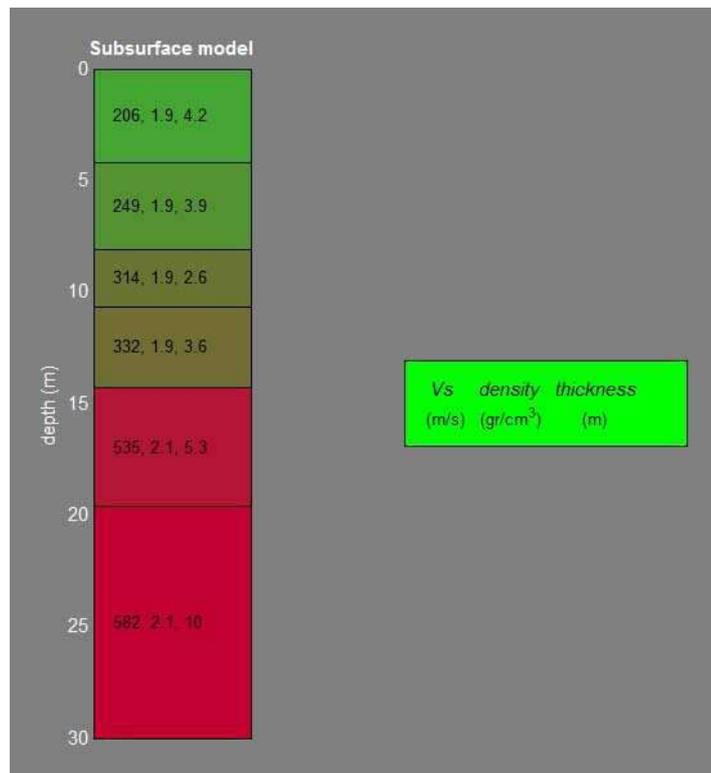


INDAGINE SISMICA MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW05)



dataset: AVERSA ZONA LITORANEA LOCRI.sgy
 dispersion curve: AVERSA ZONA LITORANEA LOCRI.cdp
 VS30 (best model): 362 m/s
 VS30 (mean model): 362 m/s





N. STRATO	SPESSORE (Thickness) (m)	Vs (m/s)	DENSITA' (gr/cm ³)	MODULO di TAGLIO (MPa)	Vp (m/s)	POISSON	MODULO di BULK (MPa)	MODULO di YOUNG (MPa)
1	4.2 ± 0.4	206 ± 4	1.85	79	439	0.36	253	214
2	3.9 ± 0.5	249 ± 12	1.89	117	518	0.35	352	317
3	2.6 ± 0.2	314 ± 15	1.94	192	632	0.34	521	512
4	3.6 ± 0.3	332 ± 15	1.95	215	647	0.32	529	568
5	5.3 ± 0.5	535 ± 35	2.07	593	1071	0.33	1585	1581
6	Semi-Spazio	582 ± 19	2.08	704	1105	0.31	1599	1841

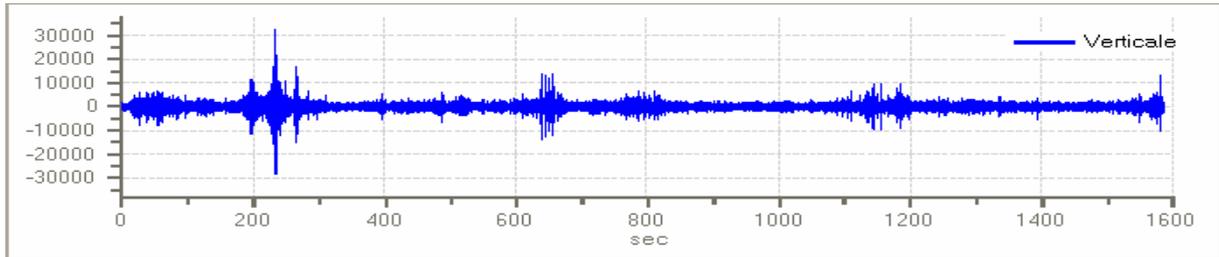
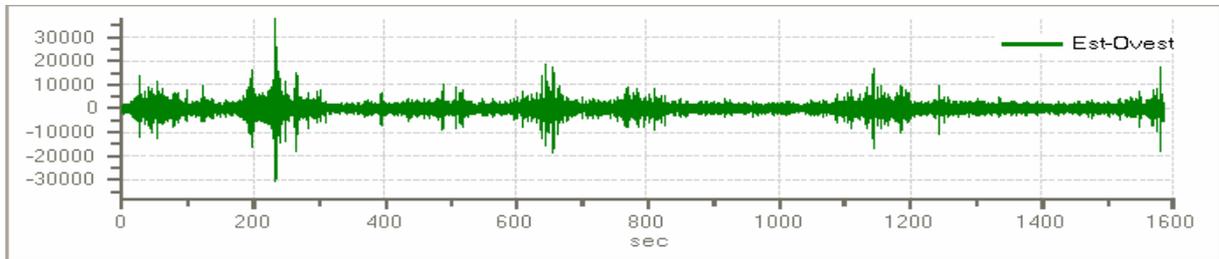
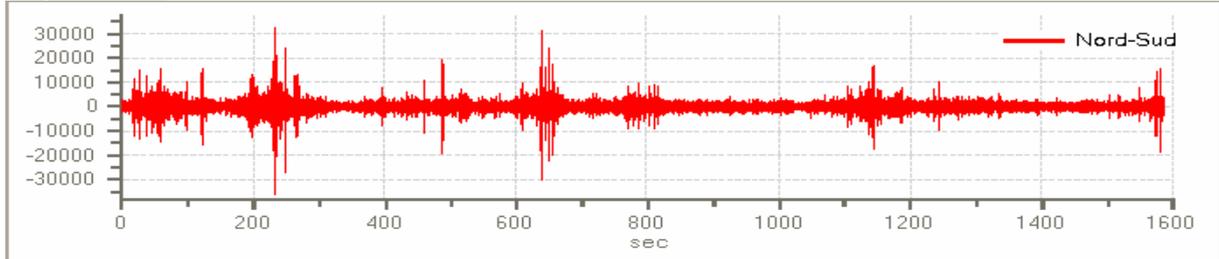
INDAGINE SISMICA HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSR01)

Tracce in Input

Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1587 s
Frequenza di campionamento: 300.00 Hz
Numero campioni: 476100
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici tracce:



Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

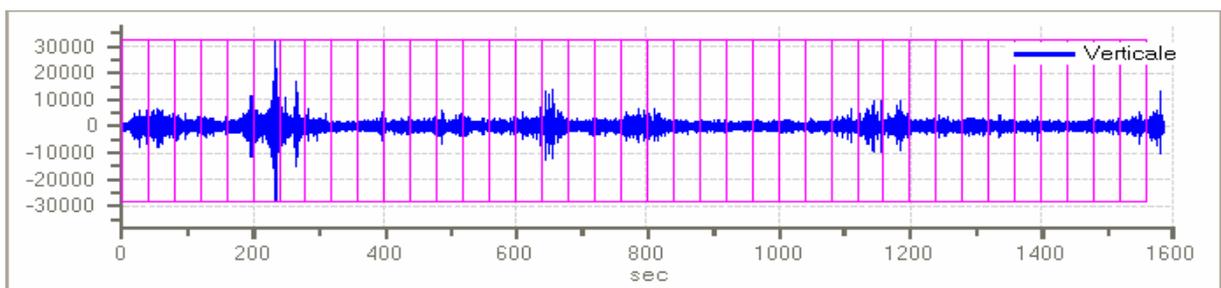
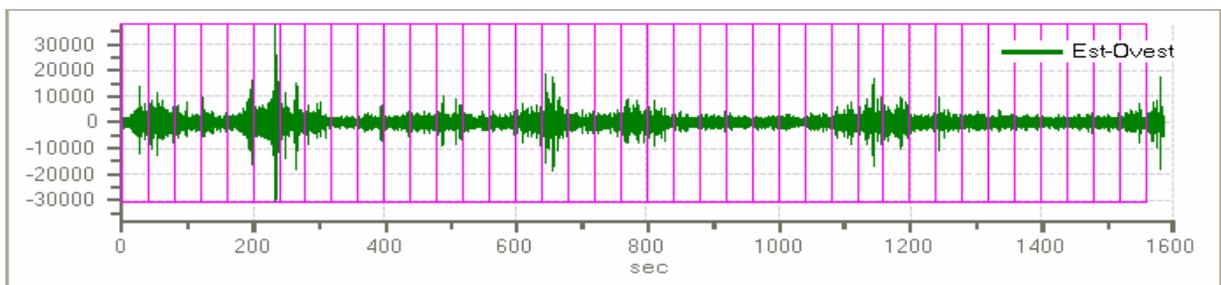
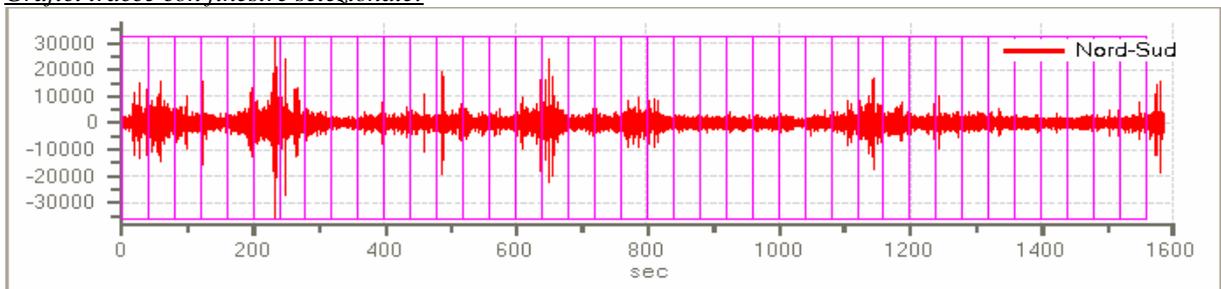
Numero totale finestre selezionate: 39
Numero finestre incluse nel calcolo: 32
Dimensione temporale finestre: 40.000 s
Tipo di lisciamo: Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamo: 10.00 %
Coefficiente di banda: 40.00

Tabella finestre:

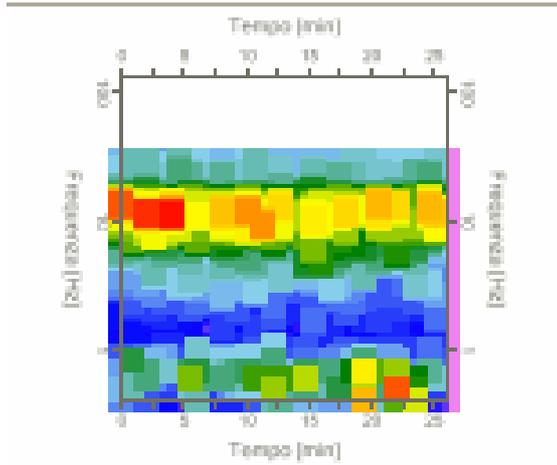
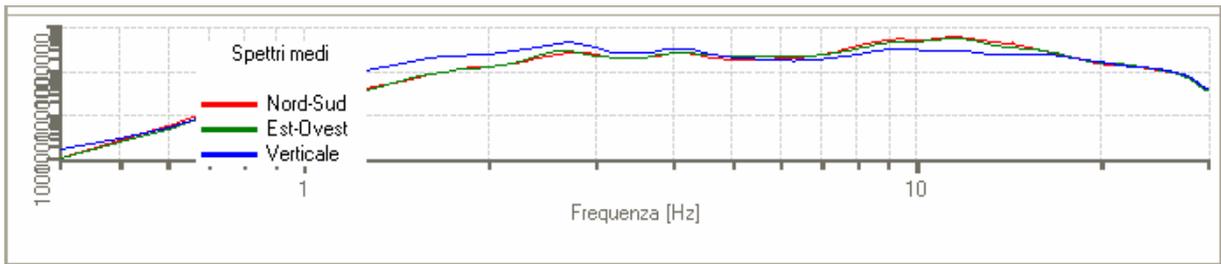
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	40	Inclusa
2	40	80	Inclusa
3	80	120	Esclusa
4	120	160	Inclusa
5	160	200	Inclusa
6	200	240	Inclusa
7	240	280	Inclusa
8	280	320	Inclusa
9	320	360	Inclusa
10	360	400	Inclusa
11	400	440	Esclusa

12	440	480	Esclusa
13	480	520	Inclusa
14	520	560	Inclusa
15	560	600	Inclusa
16	600	640	Inclusa
17	640	680	Inclusa
18	680	720	Inclusa
19	720	760	Inclusa
20	760	800	Inclusa
21	800	840	Esclusa
22	840	880	Esclusa
23	880	920	Inclusa
24	920	960	Inclusa
25	960	1000	Inclusa
26	1000	1040	Inclusa
27	1040	1080	Inclusa
28	1080	1120	Inclusa
29	1120	1160	Inclusa
30	1160	1200	Inclusa
31	1200	1240	Esclusa
32	1240	1280	Inclusa
33	1280	1320	Inclusa
34	1320	1360	Inclusa
35	1360	1400	Inclusa
36	1400	1440	Inclusa
37	1440	1480	Esclusa
38	1480	1520	Inclusa
39	1520	1560	Inclusa

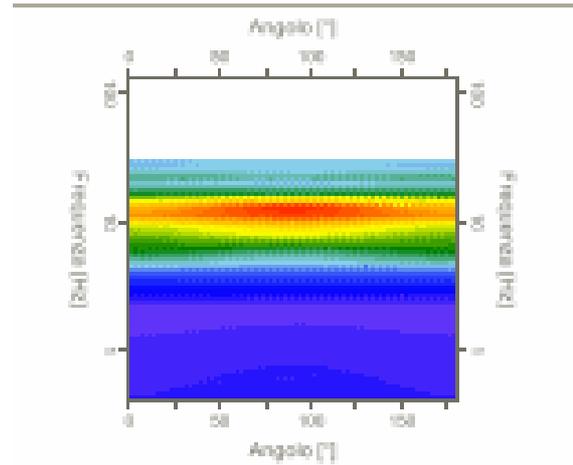
Grafici tracce con finestre selezionate:



Grafici degli spettri



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

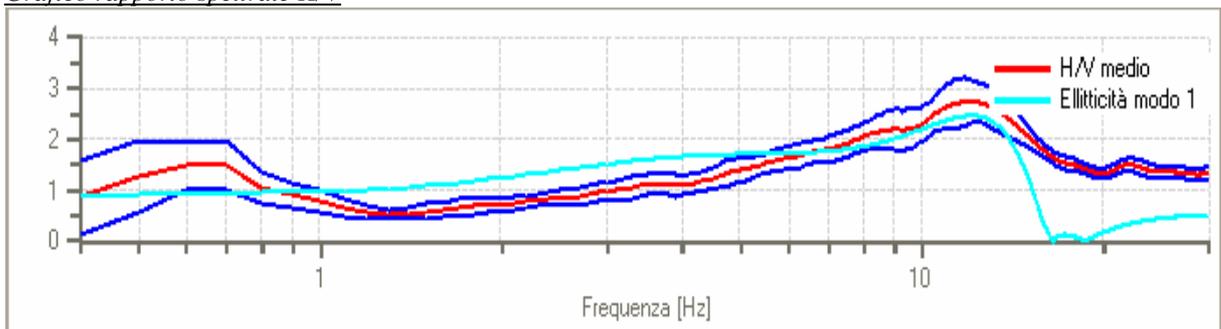
Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	30.00 Hz
Frequenza minima:	0.40 Hz
Passo frequenze:	0.10 Hz
Tipo lisciamiento::	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamiento:	10.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 12.10 Hz \pm 0.15 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Verifiche SESAME:

Verifica

Esito

$f_0 > 10/l_w$

OK

$n_c(f_0) > 200$

OK

$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$

OK

$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$

$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$

OK

$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$

OK

$A_0 > 2$

OK

$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$

OK

$\sigma_f < \varepsilon(f)$

OK

$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

OK

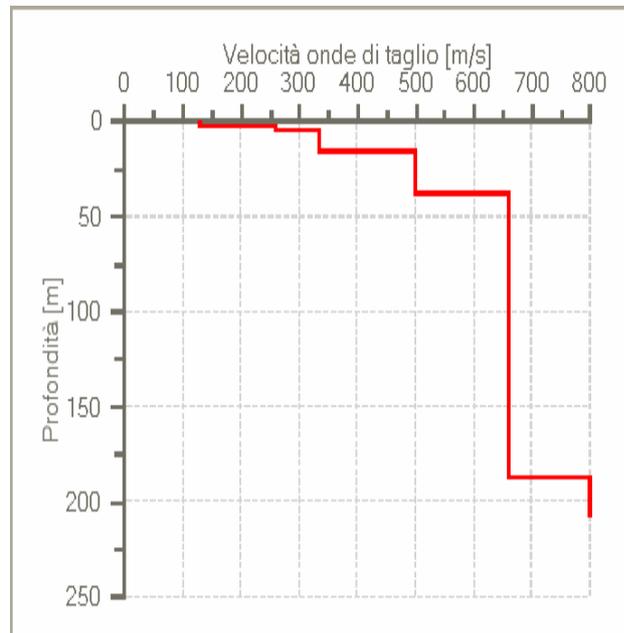
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati: 6
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 12.10 Hz
 Valore di disadattamento: -1.00
 Valore Vs30: 331.61 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità Onde di taglio [m/s]
1	0	2.8	18	0.46	130
2	2.8	2	19	0.41	260
3	4.8	11	19.5	0.35	335
4	15.8	22	21	0.31	500
5	37.8	150	21.5	0.31	660
6	187.8	20	22	0.25	800



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

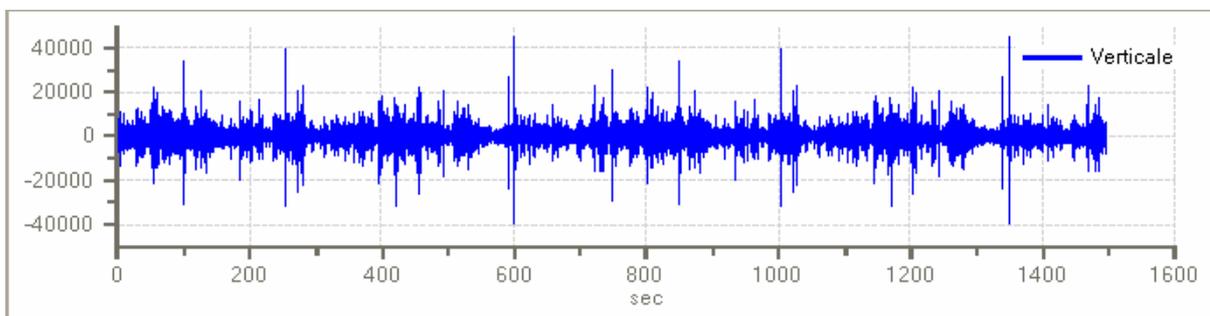
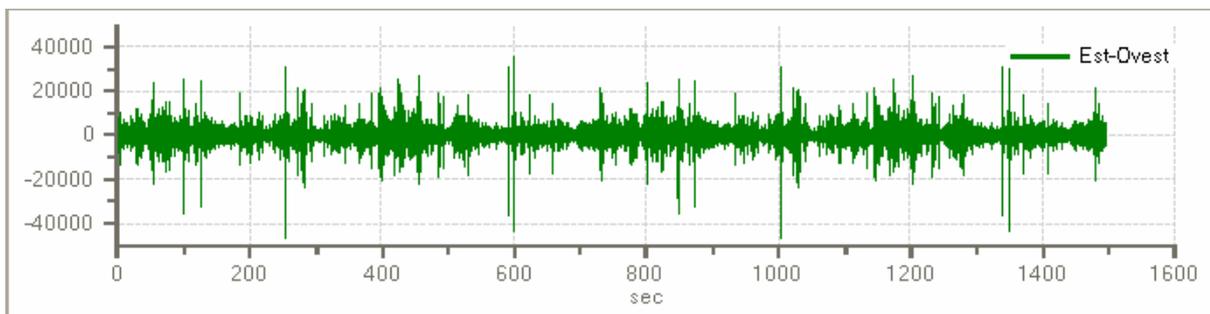
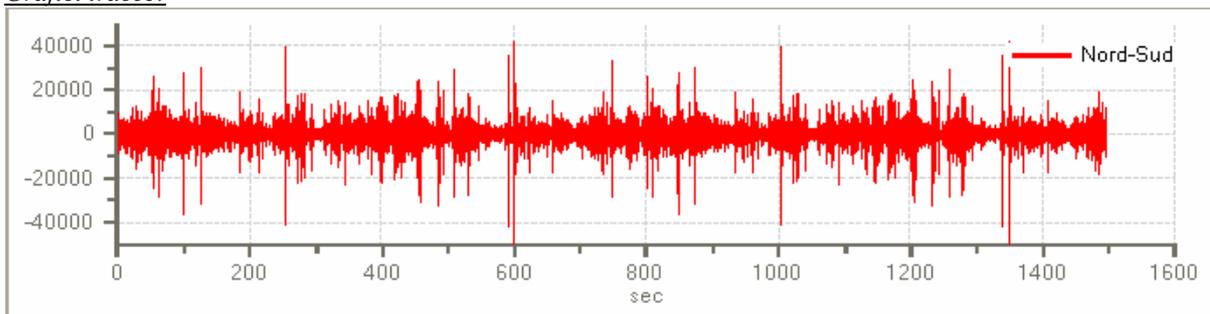
INDAGINE SISMICA HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSR06)

Tracce in Input

Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1496 s
Frequenza di campionamento: 400.00 Hz
Numero campioni: 598400
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici tracce:



Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

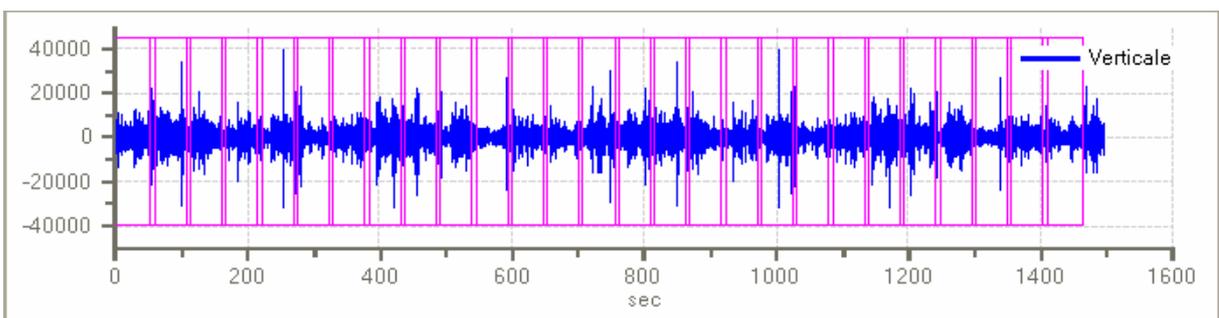
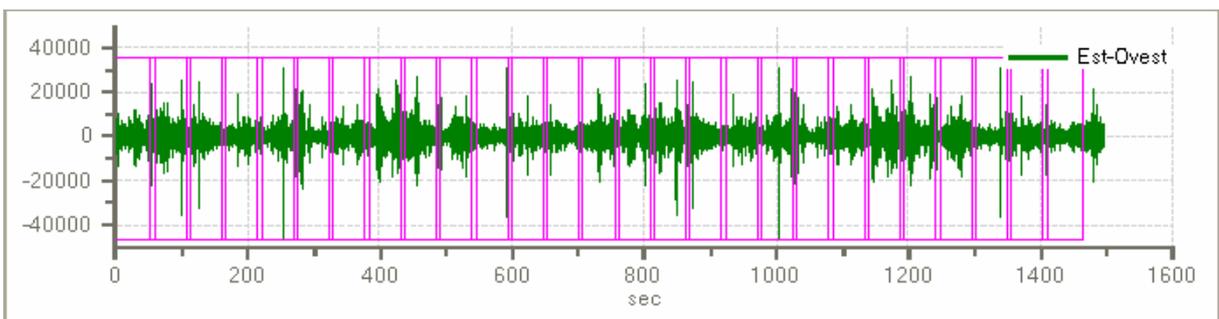
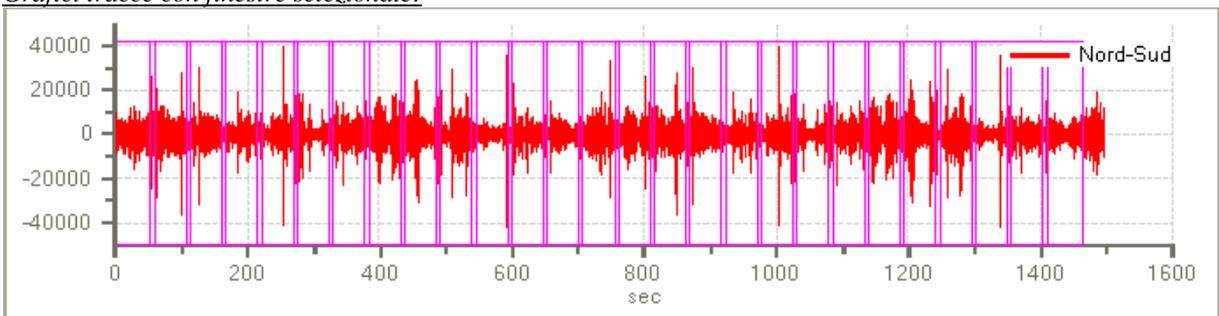
Numero totale finestre selezionate: 27
Numero finestre incluse nel calcolo: 24
Dimensione temporale finestre: 60.000 s
Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamiento: 20.00 %
Coefficiente di banda: 40.00

Tabella finestre:

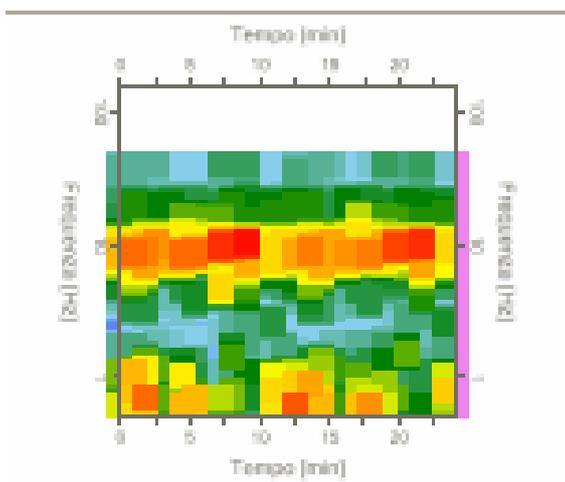
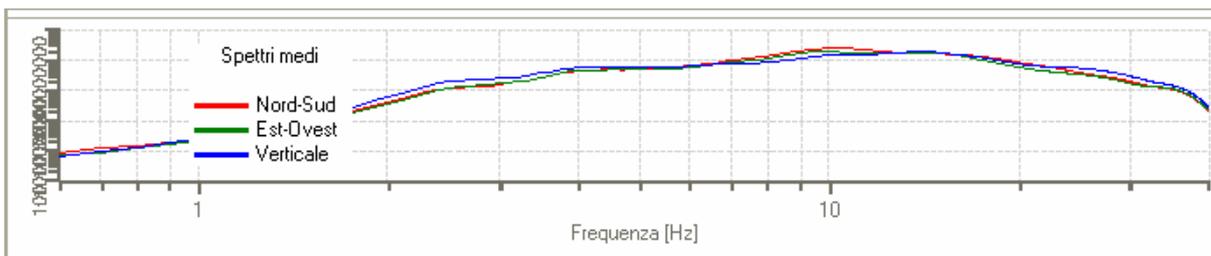
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	60	Inclusa
2	54	114	Inclusa
3	108	168	Inclusa
4	162	222	Inclusa

5	216	276	Inclusa
6	270	330	Inclusa
7	324	384	Inclusa
8	378	438	Esclusa
9	432	492	Inclusa
10	486	546	Inclusa
11	540	600	Inclusa
12	594	654	Esclusa
13	648	708	Inclusa
14	702	762	Inclusa
15	756	816	Inclusa
16	810	870	Inclusa
17	864	924	Inclusa
18	918	978	Inclusa
19	972	1032	Inclusa
20	1026	1086	Inclusa
21	1080	1140	Inclusa
22	1134	1194	Inclusa
23	1188	1248	Inclusa
24	1242	1302	Inclusa
25	1296	1356	Inclusa
26	1350	1410	Esclusa
27	1404	1464	Inclusa

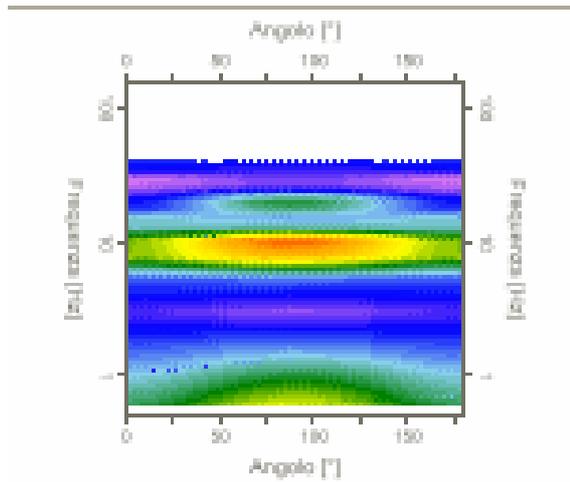
Grafici tracce con finestre selezionate:



Grafici degli spettri



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

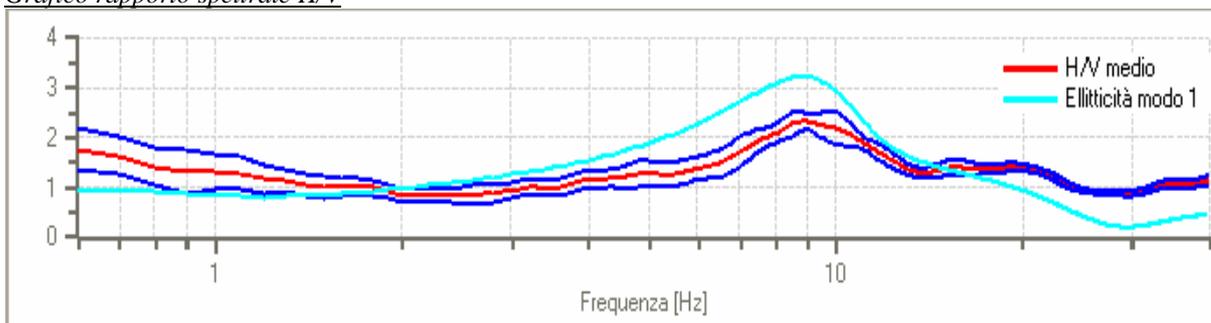
Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	40.00 Hz
Frequenza minima:	0.60 Hz
Passo frequenze:	0.10 Hz
Tipo lisciamo::	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamo:	20.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 8.90 Hz \pm 0.07 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Verifiche SESAME:

Verifica

Esito

$f_0 > 10/l_w$	OK
$n_c(f_0) > 200$	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	OK
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	OK
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	OK
$A_0 > 2$	OK
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	OK

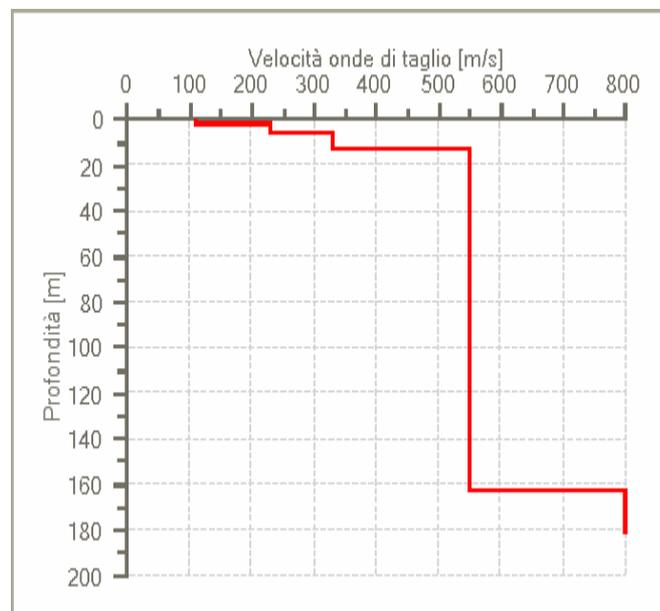
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati:	5
Frequenza del picco dell'ellitticità:	8.90 Hz
Valore di disadattamento:	-1.00
Valore Vs30:	356.90 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità Onde di taglio [m/s]
1	0	1.5	15.5	0.45	110
2	1.5	4	16.5	0.42	230
3	5.5	7	21.5	0.36	330
4	12.5	150	22	0.3	550
5	162.5	20	22.5	0.25	800



Profilo delle velocità delle onde di taglio.