

**ALLEGATO 2**

**INDAGINI GEOFISICHE  
IN LOCALITA'  
VISERBA  
(Comune di Rimini)**

**PROSPEZIONE GEOFISICA  
CROSS HOLE**

**RELAZIONE TECNICA**

Data: Dicembre 2010

Archivio 996

996-Relazione tecnica.Doc

Impresa esecutrice:



**PROGEO S.r.l.**  
Via Talete 10/8  
47100 Forlì  
tel. 0543 723580  
fax. 0543 721486  
Email: mail.progeo@gmail.com  
Web: www.progeo.info



Società certificata con sistema di Qualità UNI EN ISO 9001 - 2000 n° 2619-A

Il Direttore Tecnico per l'impresa:



## INDICE

<b>1. INDICAZIONI GENERALI</b>	<b>3</b>
<b>2. ELABORATI CARTOGRAFICI</b>	<b>4</b>
<b>3. PROSPEZIONE SISMICA TRA FORI CON TECNICA CROSS HOLE</b>	<b>5</b>
3.1. Generalità	5
3.2. Controllo della verticalità	5
3.3. Misure Cross Hole	5
3.3.1. Strumentazione	5
3.3.2. Elaborazione dati	7
3.4. Indicazioni generali sulla elasticità dei materiali	12
3.4.1. Generalità	13
3.4.2. Principi sulla Elasticità	13
3.4.2. Parametri elastici	14
<b>4. ANALISI SINTETICA DELLE RISULTANZE SISMICHE</b>	<b>17</b>

# REGIONE EMILIA ROMAGNA SERVIZIO GEOLOGICO

## INDAGINI CROSS-HOLE VISERBA (Rn)

### 1. INDICAZIONI GENERALI

Il presente rapporto viene emesso per documentare gli esiti della campagna di indagini geofisiche condotta dalla Progeo S.r.l. nell'ambito della caratterizzazione dinamica dei materiali in sito nella zona di Viserba (Rn).

La finalità delle indagini è la caratterizzazione dei materiali del sottosuolo fino ad una profondità di circa 100 metri dal piano campagna.

La campagna geofisica è stata svolta nel periodo Novembre – dicembre 2010.

Questa è consistita in una prospezione sismica tra fori con tecnica cross hole, finalizzata alla determinazione, della velocità delle onde di compressione e di taglio nonché dei principali moduli elastici dinamici fino alla massima profondità raggiungibile dalla strumentazione.

Seguono alcune immagini delle fasi di acquisizione dati in campagna.





### 3. PROSPEZIONE SISMICA TRA FORI CON TECNICA CROSS HOLE

#### 3.1. Generalità

Questo tipo di indagine viene eseguita per la caratterizzazione fisico-dinamica della porzione di terreno compresa tra due o più fori di sondaggio.

La tecnica si basa sulla misura dei tempi di tragitto delle onde elastiche tra la sorgente posta in un foro e il geofono/i posto in un altro foro/i alla stessa profondità.

Il cross hole si realizza ponendo all'interno di uno dei fori l'energizzatore sismico da foro e il geofono (o i geofoni) tridimensionali in un altro/i foro/i, atto/i a ricevere il segnale sismico in arrivo dalla sorgente alla stessa quota.

Da questa prova è possibile ricavare i moduli elastici e le attenuazioni del mezzo interposto ai fori.

Per l'esecuzione della prova si è provveduto alle seguenti misurazioni utilizzando le strumentazioni di cui si allegano schede tecniche:

1. controllo della verticalità;
2. misure cross hole;
3. processing dei dati.

#### 3.2. Controllo della verticalità

La prova cross hole deve utilizzare informazioni corrette relativamente alla distanza tra i fori di misura.

In questo caso specifico per le misure di verticalità e quindi di determinazione della distanza tra i fori, si sono utilizzati i dati forniti dalla sonda BHTV.

#### 3.3. Misure Cross Hole

La prova Cross Hole prevede l'emissione di un'impulso (shot) generato ad intervalli regolari (1.0 m) lungo l'intera profondità di un foro (definito di "shot"), con ricezione delle onde elastiche di compressione ( $P$ ) e di taglio ( $S$ ) in uno o più fori alla medesima quota.

##### 3.3.1. Strumentazione

I sistemi di energizzazione normalmente utilizzati sono stati di due tipi:

- sistema "Sparker" per la generazione delle sole onde di compressione il quale produce onde di volume non polarizzate;
- sistema "Elettrodinamico" per la generazione delle onde di taglio  $S_v$ . Questa viene effettuata con polarizzazione verso l'alto e verso il basso (generazione di onde  $S_v$ ) allo scopo di valutare e determinare con accuratezza l'arrivo delle onde di taglio.

Il sistema di energizzazione elettrodinamica, sviluppato dalla Progeo, è costituito da un generatore di onde P e Sv (immagine a fianco).

All'interno dello strumento sono alloggiati n° 2 sensori di cui uno di triggering ed uno accelerometrico di raccolta del segnale di input.

Per l'accoppiamento alla parete del foro è presente un sistema a molla ad espansione controllata da una centralina simile a quella la cui immagine è riportata di seguito la quale comanda il sistema di ricevitori 3D.

La registrazione dei dati avviene con l'utilizzo di una sonda 3D a frequenza variabile (da 10 Hz) disposti tridimensionalmente rispetto all'asse del foro, posizionati nel foro adiacente a quello di energizzazione alla stessa quota del punto di origine dell'energia oppure mediante sistemi idrofonici per la sola misura delle velocità delle onde di compressione.

La strumentazione di registrazione dei segnali deve possedere chiaramente un campionamento adeguato alla frequenza della sorgente di energia ed un campionamento tale da risolvere le frequenze caratteristiche dei segnali sismici del sito.

Nel caso in esame si è utilizzato n° 1 sismografo "Geode" della Geometrics collegato ad un p.c. portatile.

Per quanto riguarda i sensori, per misure differenziali, si utilizzano normalmente sonde 3D costituite da sensori Mark da 10 Hz di cui uno verticale e due orizzontali posizionati tridimensionalmente.

La sonda 3D utilizzata è provvista di un sistema elettromeccanico per l'espansione della molla per il contatto alla parete del foro, controllata da una centralina elettronica con la quale si gestiscono fino a 4 3D simultaneamente.



Altri sensori utilizzati sono stringhe di 12 idrofoni inderdistanti 1 m per la misure delle sole onde di compressione.

### **3.3.2. Elaborazione dati**

Gli aspetti elaborativi del procedimento analitico si possono sintetizzare in:

- display sismogrammi,
- fast fourier transform (F.F.T.),
- convoluzione,
- cross correlazione,
- lettura first break,
- processing dati in velocità lineare,
- processing dati in velocità tomografica,
- analisi delle varianze,
- analisi qualitative.

Vengono riportati qui di seguito i principali step dell'elaborazione.

#### **Prima fase**

In questa fase sono utilizzati programmi originali della Progeo per l'analisi delle tracce sismiche (Seisview) sia codici di calcolo tomografici per le analisi di velocità del cross hole.

#### **a) Traduzione tracce sismiche**

Questa fase di preprocessing permette di convertire il formato con cui i dati sismici sono registrati dal sismografo EG&G GEOMETRICS GEODE in quello dei programmi elaborativi.

#### **b) Analisi spettrale (F.F.T.)**

Vengono realizzate le analisi spettrali in frequenza (F.F.T.) di alcune tracce campione a finestre sia nei settori con rumore di fondo sia in quelli con segnale utile (onda P ed onda S). Note queste frequenze fondamentali si procede alla costruzione di appositi filtri digitali i quali operano nella riduzione del rumore di fondo e nell'esaltazione dei segnali utili.

#### **c) Analisi dei first break (primi arrivi) delle onde di compressione e taglio (Metodica visuale o mediante CROSS CORRELAZIONE)**

Per rilevare l'arrivo delle onde di taglio può essere impiegata una determinazione visuale oppure la tecnica della Cross Correlazione tra i canali fra loro ortogonali dei geofoni orizzontali associata all'analisi dell'ologramma prodotto dalle medesime tracce applicando la metodologia proposta da Willis e Toksoz (1983) per definire la polarità dell'onda stessa.

Questa consiste in una serie di passaggi di Cross Correlazione a finestre variabili tra le varie tracce allo scopo di individuare la massima rassomiglianza tra gli arrivi omologhi.

Individuata la massima verosimiglianza tra le tracce dei canali omologhi si procede all'analisi dell'hodogramma il quale valuta se tale tempo di arrivo è conforme ed appropriato.

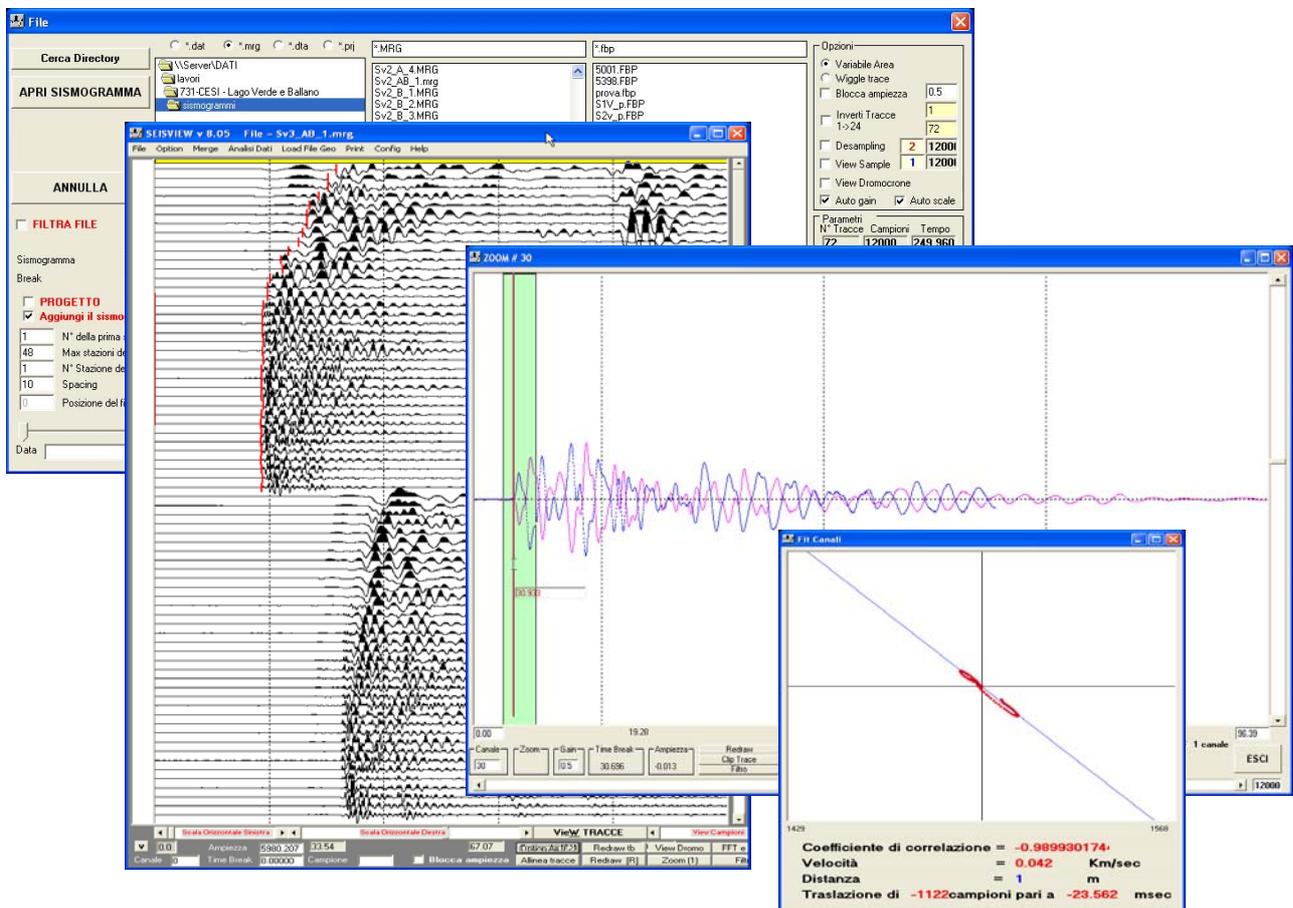
Oltre al sistema del Cross Correlazione, utilizzabile solo nel caso di prova su tre sondaggi in linea, è validamente impiegata, come in questo caso, l'analisi visuale dei break.

Mentre per la valutazione delle onde di compressione si fa riferimento al primo arrivo significativo dell'onda di compressione, per le onde di taglio, essendo presenti due serie di misure per ogni quota a polarità invertita si opera con la visualizzazione contemporanea dei segnali e con la valutazione del break mediante hodogramma.

Le clip sottostanti fanno riferimento ad un esempio di processing standard relativo alla lettura dei tempi delle onde di taglio Sv.

La procedura è rappresentata dalle clip sottostanti dove sono aperti contemporaneamente i record relativi alle registrazioni (onde S) sul foro di ricezione secondo una generazione Sv verso l'alto (prima serie) e verso il basso (seconda serie) dal generatore elettromagnetico.

L'analisi di Cross Correlazione tramite la visualizzazione "a farfalla" delle tracce coniugate porta a valutare (ultimo grafico in basso) il coefficiente di correlazione e definire il tempo di arrivo ottimizzando il fit.



Esempio di Software "Progeo" per analisi dei segnali da Cross Hole (Seisview)

### **e) Muting**

Operazione che attenua il segnale sismico dal tempo 0 al time-break letto sulle singole tracce al passo precedente e che accentua visivamente i primi arrivi.

Viene così ridotto il disturbo aleatorio costituito da rumore di fondo non eliminabile dall'operatore in fase di filtraggio in quanto caratterizzato dalle stesse frequenze del segnale utile.

### **f) Plot**

Eventuale stampa finale delle tracce sismiche relative alle onde di compressione e taglio per analisi visiva tra più set di dati.

## **Seconda fase**

Questa consiste nell'interpretazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione P e di taglio S.

Il procedimento di calcolo si sviluppa secondo i seguenti step.

### **g) Definizione della geometria della ricerca**

- posizionamento punti di shot in foro,
- posizionamento 3D nei fori,
- dimensionamento sezione cross hole.

### **h) Input tempi di arrivo onde P ed S**

Realizzazione dei file numerici dei tempi-distanze (dromocrone) rilevati per le analisi tra i fori stessi.

### **i) Input modello di velocità**

In base all'omogeneità dei dati delle varie tracce sismiche o alle conoscenze stratigrafiche del carotaggio, vengono definiti degli intervalli a velocità costante lungo l'asse del foro in funzione dei quali viene realizzato il calcolo automatico delle geometrie di tracciato dei raggi sismici (ray tracing).

### **j) Ray tracing**

Vengono create le traiettorie dei raggi sismici in base ai modelli di velocità lungo la sezione definiti allo step precedente.

Per il calcolo si sono utilizzati i seguenti parametri:

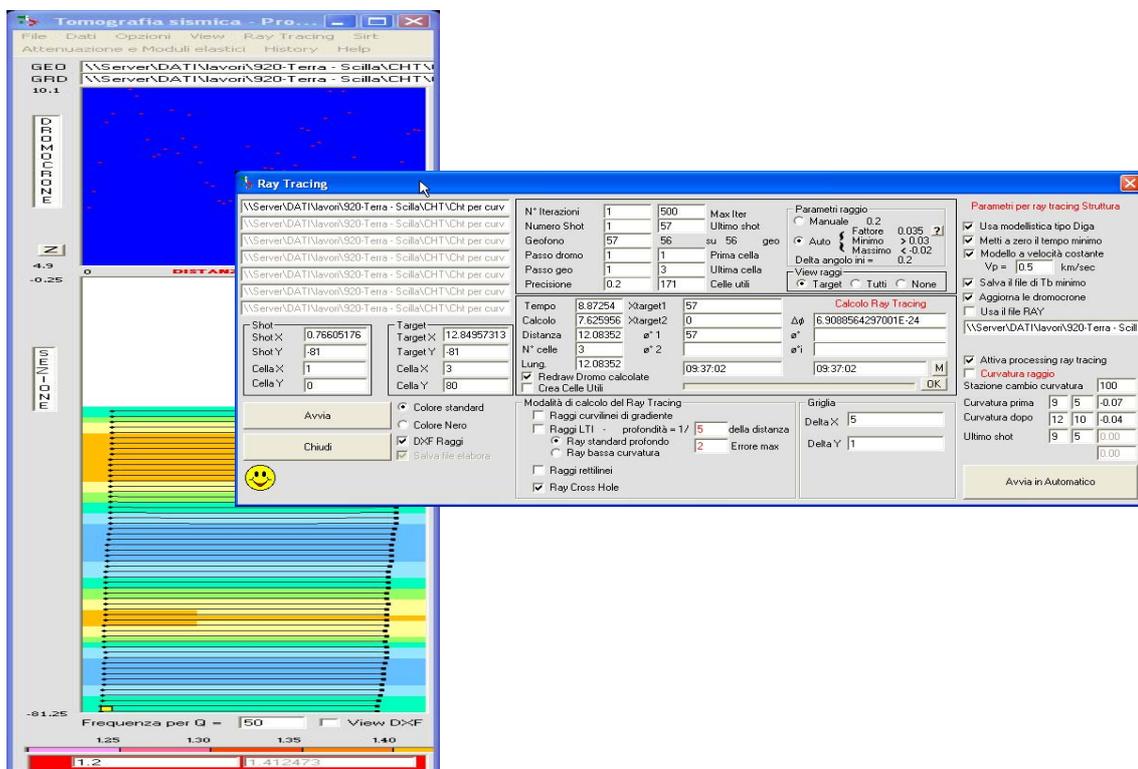
- anisotropia ellittica (gradiente principale di velocità in senso orizzontale)
- tolleranza lineare (.05%)
- tolleranza angolare (1")
- numero di iterazioni (50)
- multi pathing (on)
- plane layer (on)

### k) Definizione dei parametri di calcolo

Il programma necessita, per il successivo calcolo della sezione in velocità tra le verticali delle due coppie di fori dei seguenti parametri di calcolo:

- definizione tipo di griglia
- tipo di anisotropia del mezzo investigato (orizzontale)
- numero di iterazioni (mediamente 50)
- algoritmo di calcolo (S.I.R.T.)

L'algoritmo S.I.R.T. (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique) crea un'immagine di velocità apprezzabile, in particolare, quando i dati sperimentali dei tempi sono sufficientemente corretti.



Esempio di Clip di una sezione cross hole con tracciamento dei raggi curvilinei e la finestra relativa al calcolo di ray tracing.

### l) Analisi delle risultanze

Questa viene inizialmente valutata dal punto di vista statistico attraverso gli scarti quadratici e le varianze dei tempi calcolati rispetto a quelli definiti in input.

In base alla correttezza o meno dei valori ottenuti, possono essere modificati i parametri di calcolo per una migliore ottimizzazione e per ricavare un modello di velocità più adeguato e più simile ai valori di input.

Il calcolo riprende perciò dallo step i) con l'input del nuovo modello di velocità e si procede fino a quando gli scarti e le varianze divengono minimi.

### **m) Predisposizione di tabelle e grafici dei dati**

I dati calcolati al punto precedente vengono riportati in un foglio elettronico appositamente predisposto allo scopo di calcolare i moduli elastici relativi e graficizzare le risultanze.

### **n) Analisi delle varianze**

L'assunzione che le onde sismiche si propagano in linea retta tra lo shot ed il ricevitore è fondata sull'ipotesi di un terreno stratificato orizzontalmente.

Pur nell'ambito di validità di tale ipotesi può tuttavia accadere in situazioni stratigrafiche dove esistono forti contrasti di impedenza meccanica che si verifichi il fenomeno della rifrazione critica oppure la curva dell'onda.

E' ovvio che quando una sezione sismica presenta importanti gradienti sismici allora i raggi sono calamitati verso i settori a maggiore velocità curvando la loro traiettoria e allontanandosi da quella rettilinea.

Questa situazione risulta tanto più significativa quanto maggiore è il gradiente e la distanza tra i fori ed occorre quindi un processing tomografico a raggi curvilinei per stabilire quanto questo gradiente faccia incurvare i raggi e valutare con una maggiore approssimazione le velocità sismiche.

Una valutazione dello scostamento dalla linearità dei raggi e quindi un maggiore o minore avvicinamento dei dati ad un modello matematico più reale viene segnalata negli elaborati delle tabelle cross hole mediante analisi delle varianze i cui dati sono riportati in colonne sia per le onde P sia per le onde S con indicazione numerica dello scarto percentuale e dello scarto assoluto in m/sec tra le velocità tomografiche e quelle rettilinee.

### **o) Qualità del dato**

E' la sintesi finale del valore di velocità riportato in tabella che tiene conto della variabilità della lettura del punto di break: questo risulterà tanto meno variabile quanto più evidente e determinato è l'arrivo del segnale.

La presenza di rumore ambientale, di scattering per un non adeguato accoppiamento tubo-ammasso, di basse frequenze per attenuazione del segnale dovuto a fratturazione della roccia oppure a ridotto addensamento producono incertezza nella determinazione del break.

Procedendo a varie letture (almeno 3) variando filtri ed approcci visuali, si ottiene un set di dati tramite i quali, attraverso un'analisi statistica, si stabilisce la variabilità del break.

Tre sono gli intervalli ritenuti significativi:

Ottimo	$\varepsilon < 2\%$
Medio	$\varepsilon$ tra 2-4%
Ridotto	$\varepsilon$ tra 4 e 10%.

Questi intorno sono evidenziati con check colorati sulla tabella delle velocità e possono fornire un'utile indicazione sulle misure effettuate.

### **q) Rapporti**

I dati dei parametri elastici di una generica prova Cross Hole si riferiscono all'intervallo spaziale tra due o tre fori a parità di quota.

Dalla prova si ottengono quindi i valori medi dei parametri elastici tra i due punti di misura per cui se interviene un cambio di litologia tra i due sondaggi è ovvio che la misura non può riferirsi né ad un materiale né all'altro ma è comunque un indice di consistenza ed elasticità media che ha un valore locale.

Per l'analisi numerica dei cross hole si rimanda alle tabelle ed ai grafici riportati nelle figure presentate al termine della relazione dalla cui osservazione di dettaglio è possibile trarre informazioni relativamente alle caratteristiche geofisiche del terreno investigato.

Il rapporto conclusivo della prova cross hole è rappresentato dai seguenti elaborati.

Fig. 1 - Rilievo clinometrico della distanza tra tubi verticali.

Fig. 2 - Sismogrammi onde di compressione e onde di taglio.

Figg. 3-4 - Tabella parametri numerici Cross Hole; in questa tabella per ogni metro di profondità di ciascuna colonna i valori numerici si riferiscono ai seguenti parametri:

Prof misura	Quota della misura dal piano campagna;
Distanza fori rettilinea	Distanza relativa ottenuta dalle misure clinometriche;
Distanza fori tomografica	Distanza relativa ottenuta da processing tomografico;
$T_p$	Tempi di arrivo delle onde di compressione;
$T_s$	Tempi di arrivo delle onde di taglio;
$V_p$	Velocità onde di compressione tomografica;
$V_s$	Velocità onde di taglio tomografica;
$\nu$	Coefficiente di Poisson;
$\gamma$	Peso di volume;
$E_{din}$	Modulo di Elasticità;
$G_{din}$	Modulo di Taglio o Rigidità;
$K_{din}$	Modulo di Compressibilità.

Nella porzione intermedia dell'elaborato è altresì riportata la colonna stratigrafica sintetica estratta dal profilo geotecnico di progetto per analisi e correlazioni di massima litostratigrafiche e geosismiche.

I dati rilevati ad ogni metro di profondità sono poi stati indicativamente accorpati per livelli litostratigrafici omogenei ed i parametri medi di ciascun intervallo considerato sono riportati in ulteriori colonne distintive.

Da ultimo sono riportate le colonne relative all'analisi delle varianze delle onde di compressione e di taglio e la qualità del dato.

Fig. 5 – Log parametri cinematici e moduli elastici dinamici:

Velocità onde di compressione;
Velocità onde di taglio;
Coefficiente di Poisson;
Modulo di Elasticità dinamico $E_{din}$ ;
Modulo di Taglio dinamico $G_{din}$ o $G_0$ ;
Modulo di Compressibilità $K_{din}$ .

### 3.4. Indicazioni generali sulla elasticità dei materiali

### 3.4.1. Generalità

L'elasticità di un corpo dipende soprattutto da tre fattori: isotropia, omogeneità e continuità.

Per isotropia si intende uguaglianza delle proprietà vettoriali di un corpo in tutte le direzioni; per omogeneità si intende la distribuzione spaziale uniforme dei vari costituenti del materiale nella sua struttura interna; per continuità si intende l'assenza di interruzioni nei legami che uniscono tra loro i vari costituenti del materiale.

Da ciò si deduce che l'elasticità non può essere che una schematizzazione teorica perché nessun corpo reale può rispondere ai requisiti richiesti di isotropia, omogeneità e continuità.

Nei corpi reali ogni deformazione provoca nell'interno un assetamento strutturale che è irreversibile, per cui non ci può essere un recupero istantaneo e totale della deformazione al cessare della sollecitazione.

Tuttavia questa schematizzazione teorica può avere una sua validità reale se considerata entro certi limiti di intensità e durata dell'applicazione della sollecitazione.

Nel campo delle indagini sismiche con generazione di onde p ed s tutti i materiali rientrano nel campo delle deformazioni elastiche essendo sia l'intensità della forza applicata ed il tempo in cui questa agisce ridotta ad alcuni millisecondi.

Le onde sismiche si propagano nell'interno della terra con velocità, frequenza e ampiezza che dipendono dalle proprietà elastiche delle rocce.

### 3.4.2. Principi sulla Elasticità

Vengono qui di seguito richiamati alcuni principi sulla elasticità per comprendere le relazioni che legano le velocità delle onde sismiche alle caratteristiche elastiche dei materiali.

Si definisce come *sforzo*  $S$  il rapporto tra la forza applicata ad una piccola superficie e l'area di tale superficie.

Se la forza viene applicata normalmente all'area lo sforzo è di *trazione* o di *compressione* se in direzione opposta.

Quando invece la forza è parallela all'area lo sforzo è *tangenziale* o di *taglio*.

Lo sforzo di compressione provoca un accorciamento del corpo, quello di trazione un allungamento e quello di taglio una deformazione angolare.

La *deformazione longitudinale* ( $\epsilon_i$ ) è il rapporto tra l'allungamento (o l'accorciamento) e la lunghezza originale del corpo.

L'angolo di cui ruota il corpo in seguito ad uno sforzo di taglio è la *deformazione tangenziale* ( $\epsilon_\omega$ ).

Per piccole deformazioni, lo sforzo longitudinale è proporzionale alla deformazione  $\epsilon_i$ , e la costante di proporzionalità è il *Modulo di Young* o di *Elasticità normale*.

Lo stesso dicasi per lo sforzo di taglio la cui deformazione tangenziale è proporzionale al *Modulo di Taglio* o di *Rigidità*.

Se lo sforzo viene applicato tridimensionalmente (lungo tutti tre gli assi cartesiani) applicando una pressione idrostatica uniforme si avranno componenti dello sforzo uguali e la deformazione sarà rappresentata da una variazione di volume indicata numericamente dal coefficiente di compressibilità  $\sigma$ , inversamente, dal *Modulo di Compressibilità* o *Modulo di Volume*.

Da un punto di vista bidimensionale, uno sforzo di trazione o compressione, causa sia un allungamento o raccorciamento e contemporaneamente una contrazione o dilatazione; la costante che lega tali variazioni è il *coefficiente di Poisson*.

E' fondamentale comprendere che le velocità delle onde di compressione e di taglio sono parametri qualitativamente molto differenti in quanto hanno origine da una sollecitazione elastica decisamente diversa.

Le onde di compressione fanno riferimento ad un comportamento deformativo longitudinale, le relative onde sismiche si trasmettono mediante deformazioni di compressione ed estensione.

Le onde di taglio sono invece di origine distorsionale e le vibrazioni sono perpendicolari alla direzione di propagazione del moto.

E' ovvio quindi che le velocità delle onde di compressione forniscono indicazioni sulla compressibilità dei materiali mentre quelle di taglio sulla rigidità e deformabilità trasversale.

### 3.4.2. Parametri elastici

Per la caratterizzazione del sito e del terreno in esame, specialmente in termini di deformabilità dei materiali in associazione ai dati geotecnici ricavati dalle prove geomeccaniche, può essere opportuno fornire al Progettista altri parametri (oltre ai singoli valori di velocità sismica) contemporaneamente alla rilevazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche ( $V_p$  e  $V_s$ ) nel sottosuolo.

Si tratta dei Moduli elastici dinamici del terreno i quali possono contribuire ad una migliore definizione dei carichi e delle spinte da parte del manufatto sul terreno di fondazione.

Attraverso la determinazione sia delle velocità delle onde di compressione sia delle velocità delle onde di taglio è possibile ricavare vari parametri (per ulteriori dettagli si veda, tra i più recenti, "The rock physics handbook – tools for seismic analysis in porous media" di G. Mavko, T. Mukerji e J. Dvorkin, Cambridge University Press, UK, pp. 1-329, 1998);

- Coefficiente di Poisson	( $\nu$ )	
- Peso di volume	( $\gamma_{din}$ )	in $t/m^3$
- Modulo di Elasticità dinamico	( $E_{din}$ )	in $Kg/cm^2$
- Modulo di Taglio dinamico	( $G_{din}$ )	in $Kgcm^2$
- Modulo di Compressibilità dinamico	( $K_{din}$ )	in $Kgcm^2$

Il *Coefficiente di Poisson* ( $\nu$ ), noto come la costante che lega le deformazioni in un corpo, può essere collegato, da un punto di vista bidimensionale, ad uno sforzo di trazione, che causa nel corpo stesso un allungamento in una direzione e un raccorciamento nell'altra, o ad uno sforzo di compressione che, analogamente, determina una contrazione in una direzione e una dilatazione nella direzione opposta.

Tale parametro può presentare un range di variazione compreso tra un massimo di 0.5 ed un minimo di 0; il valore di 0.5 è caratteristico di materiali che si deformano senza cambiamenti di volume (es. acqua), valori leggermente inferiori (0.47 - 0.49) sono tipici di argille o materiali molto saturi; valori inferiori sono indicativi di materiali da poco consolidati a sovraconsolidati.

Per le rocce si presentano range di variazioni molto ampi collegati in particolare sia al grado di fratturazione sia alla presenza di cavità, stratificazioni e litologie e comunque tra (0.46 e 0.20).

In funzione di  $V_p$  e di  $V_s$  il parametro è definito dalla seguente relazione:

Coefficiente di Poisson

$$\nu = \frac{Vp^2 - 2 \cdot Vs^2}{2 \cdot (Vp^2 - Vs^2)}$$

Il *Peso di volume* ( $\gamma_{din}$ ) del terreno può essere indicativamente ricavato, in via empirica, anche dalla velocità delle onde di compressione sulla base della seguente relazione:

Peso di volume

$$\gamma_{din} = 0.51 \cdot Vp_{m/sec}^{0.19} \quad (\gamma_{din} \text{ in T/m}^3).$$

Da tale relazione si può ottenere anche la densità geofisica, intesa come:

Densità geofisica

$$\delta_{din} = \frac{\gamma}{g} \quad (g = 9.8 - \text{accelerazione di gravità m/sec}^2),$$

la quale viene utilizzata come parametro nelle formule per ricavare i moduli di elasticità e di taglio.

Il *Modulo di Young* o di *Elasticità normale*  $E_{din}$ , definisce la *deformazione longitudinale* di un corpo, intesa come il rapporto tra l'allungamento (o l'accorciamento) e la lunghezza originale del corpo stesso; in funzione dei valori della velocità delle onde di compressione  $Vp$ , della densità geofisica e del coefficiente di Poisson il parametro è definito dalla seguente relazione:

Modulo di Elasticità

$$E_{din} = Vp^2 \cdot \delta_{din} \cdot \frac{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \quad (E_{din} \text{ in Kg/cm}^2).$$

Il *Modulo di Taglio* o di *Rigidità*  $G_{din}$  definisce invece la *deformazione tangenziale* di un corpo, intesa come l'angolo di cui ruota il corpo stesso in seguito ad uno sforzo di taglio; in funzione dei valori della velocità delle onde di taglio  $Vs$  e della densità geofisica il parametro è definito dalla seguente relazione:

Modulo di Taglio

$$G_{din} = \delta_{din} \cdot Vs^2 \quad (G_{din} \text{ in Kg/cm}^2).$$

Infine, il *Modulo di Compressibilità* o *Modulo di Volume* è quel parametro ottenibile se lo sforzo viene applicato tridimensionalmente (lungo tutti i tre assi cartesiani) generando una pressione idrostatica uniforme con la quale si avranno componenti dello sforzo uguali e con deformazione rappresentata da una variazione di volume la quale può essere indicata numericamente dall'inverso del coefficiente di compressibilità; utilizzando i valori del modulo di elasticità e del coefficiente di Poisson il parametro è definito dalla seguente relazione:

Modulo di Compressibilità

$$K_{din} = \frac{E_{din}}{3 \cdot (1 - 2 \cdot \nu)} \quad (K_{din} \text{ in Kg/cm}^2).$$

I moduli dinamici così calcolati risultano comunque sempre più elevati di quelli statici forniti da prove di carico in situ in quanto gli impulsi sismici sono di breve durata e le sollecitazioni ad essi associate sono relativamente modeste e rientrano nel campo delle deformazioni istantanee.

Il modulo di taglio  $G_{din}$ , oltre ad essere utilizzato nel campo geotecnico per lo studio delle resistenze al taglio dei materiali detritici e lapidei, viene impiegato nello studio di microzonazioni sismiche in particolare nel calcolo delle seguenti relazioni relative alla valutazione dei parametri caratteristici sia di spessori (H) sia di interfacce stratigrafiche (nel qual caso vengono utilizzati i parametri elastici di  $G_{din}$  dei due strati):

Rigidità sismica	$R = \delta_{din} \sqrt{\frac{G_{din}}{\delta_{din}}}$	(R in t/(m <sup>2</sup> *sec))
Periodo proprio	$T = \frac{4H}{\sqrt{\frac{G_{din}}{\delta_{din}}}}$	(T in sec)
Rapporto di Impedenza	$\lambda = \frac{\delta_{din1} \cdot G_{din1}}{\delta_{din2} \cdot G_{din2}}$	( $\lambda$ adimensionale)

Il modulo di compressibilità  $K_{din}$  o di deformabilità volumetrica è confrontabile con quello ottenuto da prove di compressione idrostatica realizzabili mediante prove triassiali non drenate nella fase iniziale del carico (fase elastica) e quindi è comparabile al modulo idrostatico di compressibilità geotecnico B o, inversamente, al coefficiente o indice di compressibilità  $C_c$ .

#### 4. ANALISI SINTETICA DELLE RISULTANZE SISMICHE

In base all'analisi degli elaborati dell'indagine cross hole si possono distinguere 2 principali unità sismostratigrafiche.

Unità sismostratigrafica caratterizzata da terreni litologicamente medio fini (limi e argille con episodi sabbiosi) da poco a debolmente addensati.

Tali unità appaiono più estese nella porzione più superficiale (tra 0 e 21 m dal p.c.) e intermedia (da 40 a 60 m sal p.c.) mentre con minore potenza nella porzione più profonda (da 63 a 81 m dal p.c.).

Tali unità sono caratterizzate da velocità delle onde di compressione mediamente inferiori a 1.6 Km/sec e velocità delle onde di taglio inferiori a 0.27 Km/sec. In effetti la porzione più superficiale (0-21 m dal p.c.) presenta una Vs media decisamente inferiore a 0.20 km/sec

Unità sismostratigrafica caratterizzata da terreni litologicamente grossolani (sabbie e ghiaie) anche con considerevoli consistenze.

Tali unità sono predominanti nella porzione compresa fra 22 e 40 m dal p.c. e da 82 fino quasi a fondo foro. Sono caratterizzate da velocità delle onde di compressione mediamente superiori a 2.0 km/sec e velocità media delle onde di taglio generalmente maggiore di 0.5 km/sec.

Si rimanda per i dettagli all'osservazione diretta degli elaborati cartografici presentati per la prova cross hole (Figg.1-5).

#### PROGEO

Dott. Maurizio Furani

Dott. Gabriele Pulelli



Hanno collaborato:  
Dott. Stefano Tomidei  
Dott. Andrea Fabbri

# RILIEVO DELLA DISTANZA FRA TUBI VERTICALI



PROGEO s.r.l.  
Via Taleste 10/B  
47100 Forlì  
tel. 0543 723580  
fax. 0543 721456  
mail. proggeo@gmail.com  
www.proggeo.info

orientamento:



ver. 07/04/07

Committente..... Regione Emilia Romagna  
 ubicazione..... Viserba (Rn)  
 coppia / terna..... S1 - S2  
 scheda di elaborazione su.....  
 data del rilievo..... 17/11/2010  
 distanza tra le teste tubo ( metri @ piano campagna ) ..... 4.54  
 azimut della base tra i tubi ( angolo antiorario sul N magnetico ) ..... 230 °  
 quota di riferimento..... Testa Tubo  
 rilevatore ..... Progeo

note:

prof.	TUBO S1		TUBO S2		legenda:		Distanza fra la base dei tubi S1 - S2
	m	98.0	m	98.0	profondità max del tubo;		
	m	0	m	0	fuori terra della testa tubo;		
	m	/	m	/	quote assolute della T.T.;		

prof.	spostamento		spostamento		Distanza fra la base dei tubi S1 - S2		distanza
	NS	EW	NS	EW	NS	EW	
m	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
(1)	(2)	(2)	(2)	(2)	(3)	(3)	(4)
T.T	0	0	0	0	-292	348	454
2	-3.3	0.5	1.7	2.8	-287	350	453
4	-2.6	0.0	1.5	5.8	-288	354	456
6	-3.0	2.1	2.5	8.1	-286	354	455
8	0.0	0.9	6.6	8.9	-285	356	456
10	-2.5	-0.6	6.5	5.6	-283	354	453
12	-3.2	1.9	3.0	4.0	-286	350	452
14	-1.1	1.2	2.7	0.2	-288	347	451
16	-3.1	0.4	3.6	1.2	-285	349	450
18	-2.8	1.9	6.3	-0.2	-283	346	447
20	-5.3	0.4	4.2	-2.0	-282	345	446
22	-6.5	-1.8	3.8	-6.3	-282	343	444
24	-6.6	-2.8	5.1	-4.6	-280	346	445
26	-7.7	-0.3	7.8	-5.3	-276	343	440
28	-4.8	-1.4	10.3	-9.0	-277	340	439
30	-7.3	-2.9	11.0	-6.5	-274	344	440
32	-6.9	-0.3	12.0	-5.8	-273	342	438
34	-6.1	-2.9	13.1	-9.0	-273	342	437
36	-7.9	-2.1	14.3	-13.2	-270	337	431
38	-7.8	-4.5	15.3	-10.4	-269	342	435
40	-10.3	-6.0	18.1	-10.1	-263	344	433
42	-6.1	-10.3	21.2	-13.7	-265	344	434
44	-6.8	-14.1	20.8	-13.7	-264	348	437
46	-3.1	-10.0	23.6	-11.0	-265	347	437
48	2.7	-13.9	25.2	-14.5	-269	347	440
50	0.2	-15.5	24.7	-18.9	-267	344	436
52	3.6	-15.2	24.9	-18.4	-271	345	438
54	6.3	-18.3	27.8	-20.8	-270	345	439
56	7.8	-15.8	29.6	-27.5	-270	336	431
58	12.8	-17.9	28.1	-28.2	-277	338	436
60	10.4	-19.4	31.9	-28.5	-270	339	433
62	13.6	-18.4	36.1	-35.5	-269	331	426
64	16.1	-16.8	37.9	-38.1	-270	326	424
66	19.3	-16.5	38.1	-39.7	-273	325	424
68	22.2	-16.4	39.3	-41.9	-275	322	423
70	19.8	-17.9	43.1	-41.6	-268	324	421
72	19.9	-14.3	47.0	-45.1	-265	317	413
74	24.7	-13.5	46.8	-43.3	-270	318	417
76	25.6	-12.6	51.4	-42.3	-266	318	415
78	26.9	-9.9	55.0	-46.8	-264	311	408
80	24.4	-11.4	55.3	-53.5	-261	306	402
82	27.0	-11.8	56.4	-53.1	-262	307	404
84	30.3	-12.4	62.5	-57.6	-260	303	399
86	32.4	-9.2	68.0	-61.2	-256	296	391
88	36.3	-10.7	67.8	-60.5	-260	298	396
90	33.8	-12.2	69.2	-60.7	-256	299	394
92	37.0	-11.9	69.7	-64.1	-259	296	393
94	39.9	-11.0	68.3	-63.7	-264	295	396
96	42.5	-9.6	68.9	-61.8	-265	296	397
98	44.5	-7.0	70.2	-63.0	-266	292	395
100							

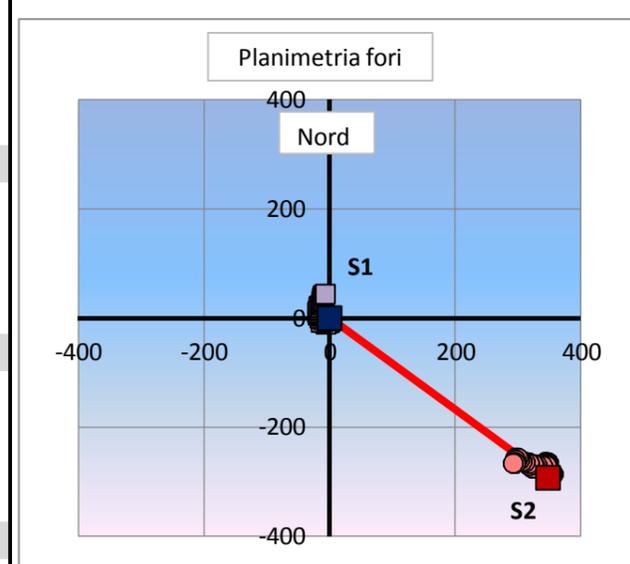
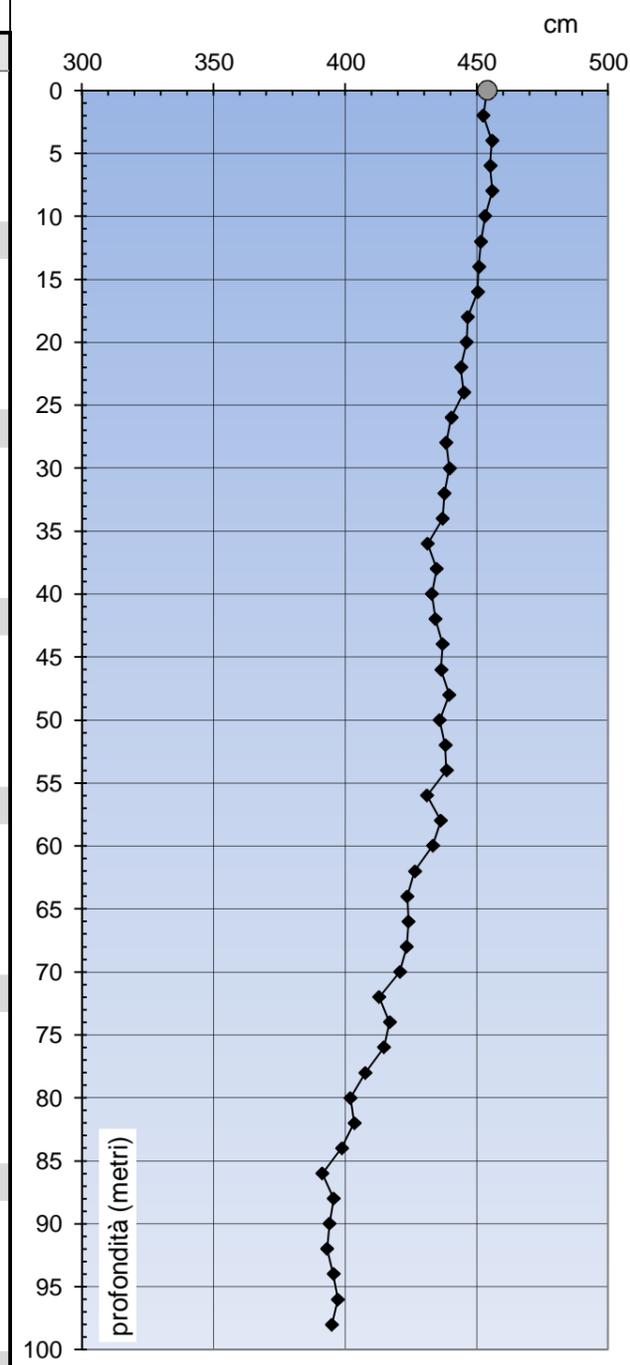


Fig. 1

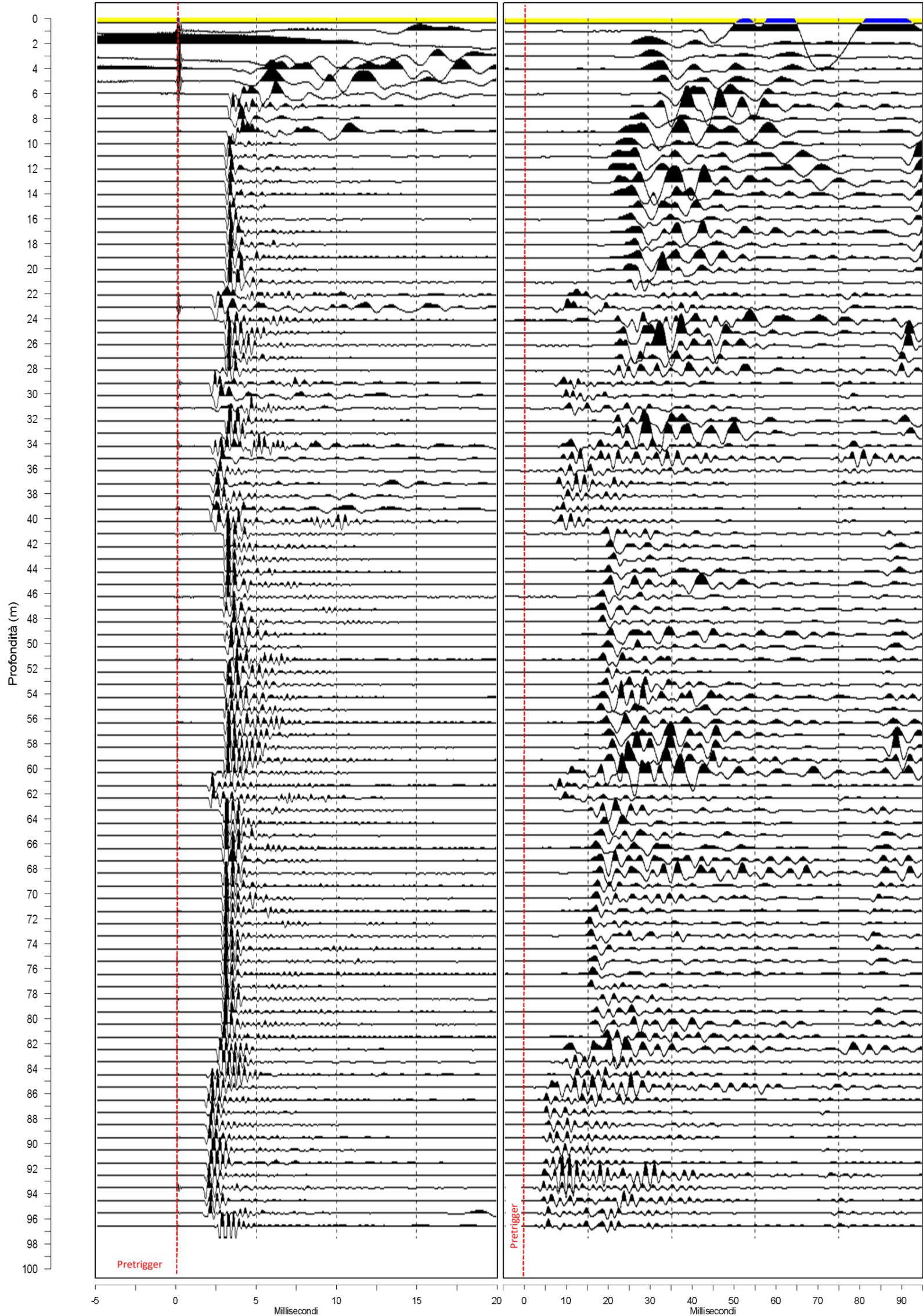
<b>COMMITTENTE</b>	<b>REGIONE EMILIA ROMAGNA - SERVIZIO GEOLOGICO</b>
<b>CROSS HOLE</b>	<b>S1 - S2</b>
<b>Località</b>	<b>VISERBA (Rn)</b>
<b>Data acquisizione</b>	<b>17 novembre 2010</b>
<b>Commessa</b>	<b>996/2010</b>



**Sismogrammi post-processing**

<b>Profondità misura</b>	<b>SISMOGRAMMI ONDE DI COMPRESSIONE (SHOT SPARKER)</b>	<b>SISMOGRAMMI ONDE DI TAGLIO (SHOT ELETTRODINAMICO)</b>
--------------------------	--------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------

Nota: Per i sismogrammi delle onde di taglio viene visualizzata una sola registrazione delle due acquisite



**Sismogrammi CROSS HOLE S1 - S2**

**COMMITTENTE**

**CROSS HOLE**

**Località**

**Data acquisizione**

**REGIONE EMILIA ROMAGNA - SERVIZIO GEOLOGICO**

**S1 - S2**

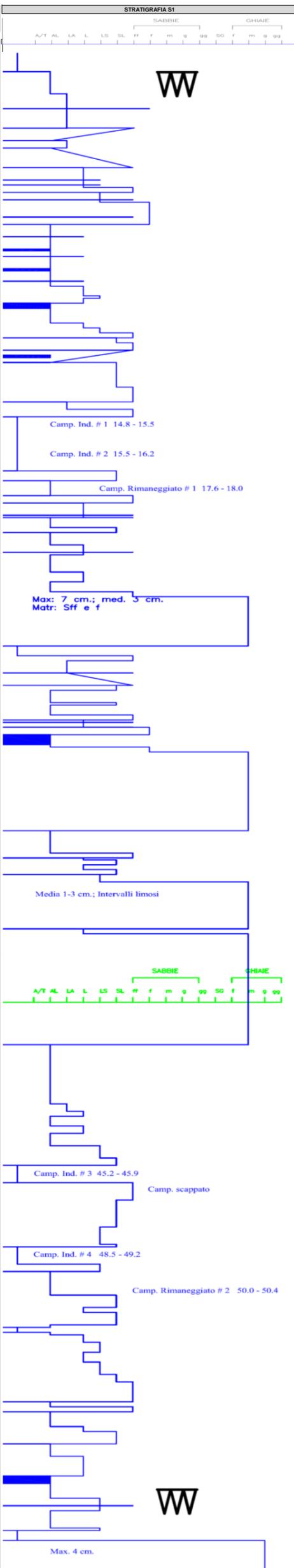
**VISERBA (Rn)**

**17 novembre 2010**

**Commissa** **996/2010**



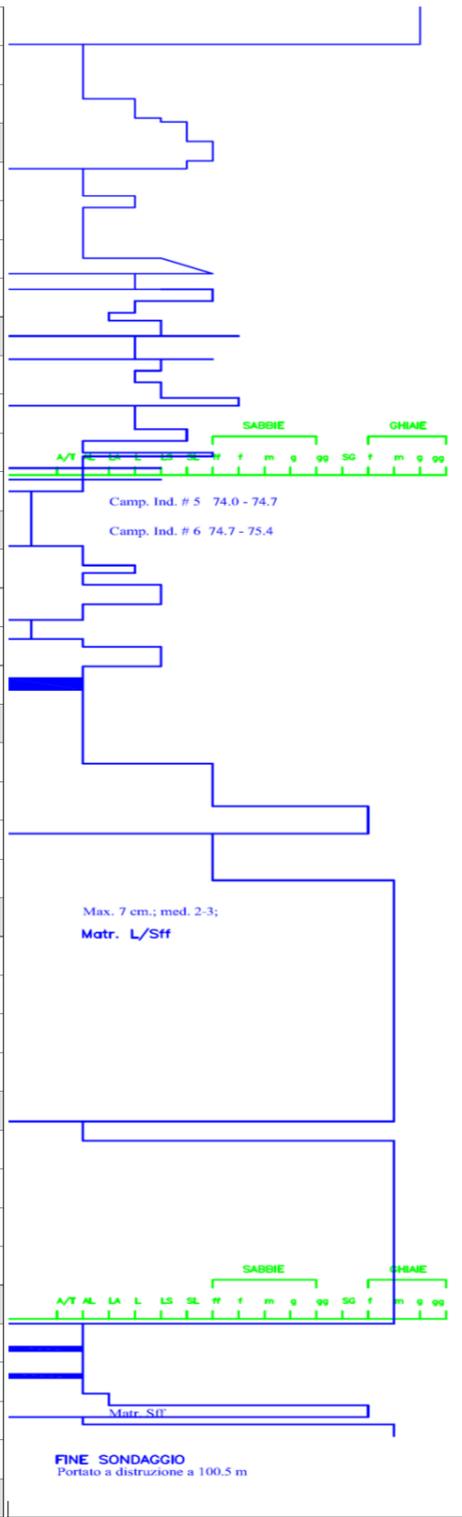
Profondità misura	Distanza fori			PARAMETRI INTERGEOFONICI RICALCATI DA PROCESSING CROSS HOLE TOMOGRAFICO			v			Edin Mpa	Gdin Mpa	Kdin Mpa
	Rettilinea m	Curvilineo m	Curvilineo m	Tp millisecc.	Ts millisecc.	Vp Km/sec	Vs Km/sec	v T/m²				
0	4.540											
1	4.530	4.561	4.663	12.13	43.24	0.376	0.108	0.46	1.57	55	19	206
2	4.530	4.942	4.535	11.39	25.22	0.434	0.180	0.40	1.62	152	54	244
3	4.540	4.575	4.540	4.33	27.08	1.057	0.168	0.49	1.91	166	56	2147
4	4.560	4.561	4.562	3.33	27.82	1.369	0.164	0.49	2.01	168	56	3840
5	4.560	4.563	4.561	3.40	30.48	1.344	0.150	0.49	2.00	139	47	3700
6	4.550	4.550	4.551	3.03	31.69	1.502	0.144	0.50	2.05	131	44	4740
7	4.560	4.560	4.568	3.01	30.06	1.515	0.152	0.49	2.05	147	49	4826
8	4.560	4.561	4.563	3.15	24.98	1.446	0.183	0.49	2.03	210	70	4323
9	4.550	4.550	4.551	2.98	22.77	1.525	0.200	0.49	2.05	254	85	4845
10	4.530	4.530	4.531	2.87	21.78	1.581	0.208	0.49	2.07	277	93	5245
11	4.520	4.520	4.520	2.83	20.69	1.598	0.219	0.49	2.07	306	103	5358
12	4.520	4.520	4.521	2.93	20.00	1.544	0.226	0.49	2.06	325	109	4954
13	4.510	4.510	4.510	2.87	21.39	1.571	0.211	0.49	2.06	284	95	5164
14	4.510	4.510	4.514	2.93	21.27	1.538	0.212	0.49	2.06	287	96	4928
15	4.510	4.510	4.514	2.96	24.80	1.524	0.182	0.49	2.05	211	71	4861
16	4.500	4.500	4.502	2.94	22.19	1.532	0.203	0.49	2.05	262	88	4897
17	4.480	4.480	4.480	2.97	23.99	1.507	0.187	0.49	2.05	222	74	4735
18	4.470	4.470	4.470	2.91	23.89	1.536	0.187	0.49	2.06	223	75	4943
19	4.460	4.460	4.460	2.91	23.59	1.533	0.189	0.49	2.06	228	76	4916
20	4.460	4.460	4.460	2.87	23.51	1.552	0.190	0.49	2.06	230	77	5056
21	4.450	4.476	4.868	2.83	25.50	1.579	0.191	0.49	2.07	234	78	5252
22	4.440	4.442	4.491	2.07	9.62	2.145	0.467	0.48	2.19	1462	496	9807
23	4.450	4.454	4.544	2.00	6.81	2.232	0.667	0.45	2.21	2959	1020	10069
24	4.450	4.456	4.451	2.35	21.17	1.898	0.210	0.49	2.14	294	98	7885
25	4.430	4.430	4.430	2.84	21.05	1.561	0.210	0.49	2.06	283	95	5094
26	4.400	4.400	4.400	2.82	21.37	1.560	0.206	0.49	2.06	271	91	5092
27	4.390	4.398	4.390	2.90	21.17	1.515	0.207	0.49	2.05	273	92	4766
28	4.390	4.406	5.362	2.43	25.20	1.810	0.213	0.49	2.12	298	100	7090
29	4.390	4.394	4.427	1.89	6.50	2.320	0.682	0.45	2.22	3118	1073	11008
30	4.400	4.400	4.403	2.07	8.84	2.121	0.498	0.47	2.19	1658	564	9464
31	4.390	4.405	4.452	2.09	9.35	2.104	0.476	0.47	2.18	1514	514	9357
32	4.380	4.387	4.382	2.89	20.68	1.520	0.212	0.49	2.05	285	96	4795
33	4.370	4.394	4.900	2.64	22.93	1.662	0.214	0.49	2.09	295	99	5855
34	4.370	4.375	4.378	1.96	7.80	2.234	0.561	0.47	2.21	2121	723	10485
35	4.340	4.342	4.341	2.15	8.30	2.017	0.523	0.46	2.16	1802	616	8328
36	4.310	4.311	4.311	1.99	7.78	2.171	0.554	0.47	2.20	2054	701	9819
37	4.330	4.330	4.333	1.88	7.30	2.305	0.593	0.46	2.22	2380	812	11174
38	4.350	4.350	4.368	1.94	8.35	2.238	0.523	0.47	2.21	1848	628	10652
39	4.340	4.342	4.340	1.87	6.37	2.326	0.682	0.45	2.22	3122	1074	11075
40	4.330	4.341	4.405	2.09	6.46	2.081	0.682	0.44	2.18	3027	1051	8394
41	4.340	4.341	4.382	2.74	16.51	1.584	0.265	0.49	2.07	450	151	5192
42	4.340	4.340	4.341	2.78	18.88	1.561	0.230	0.49	2.06	337	113	5067
43	4.360	4.360	4.360	2.84	19.56	1.534	0.223	0.49	2.06	316	106	4881
44	4.370	4.370	4.372	2.80	18.94	1.559	0.231	0.49	2.06	340	114	5053
45	4.370	4.370	4.371	2.77	17.03	1.578	0.257	0.49	2.07	420	141	5155
46	4.370	4.370	4.370	2.78	16.12	1.571	0.271	0.48	2.06	468	158	5088
47	4.380	4.380	4.380	2.74	16.80	1.599	0.261	0.49	2.07	435	146	5308
48	4.400	4.400	4.402	2.82	17.28	1.563	0.255	0.49	2.06	413	139	5048
49	4.380	4.380	4.381	2.82	18.97	1.552	0.231	0.49	2.06	340	114	5004
50	4.360	4.360	4.361	2.85	18.26	1.528	0.239	0.49	2.05	362	122	4818
51	4.370	4.370	4.372	2.92	16.87	1.498	0.259	0.48	2.05	424	143	4582
52	4.380	4.380	4.382	2.84	18.73	1.541	0.234	0.49	2.06	348	117	4923
53	4.380	4.380	4.381	2.81	17.09	1.557	0.256	0.49	2.06	418	141	5005
54	4.390	4.390	4.391	2.88	15.80	1.525	0.278	0.48	2.05	489	165	4738
55	4.350	4.350	4.352	2.79	16.65	1.561	0.261	0.49	2.06	435	146	5023
56	4.310	4.310	4.310	2.79	18.09	1.546	0.238	0.49	2.06	361	121	4953
57	4.340	4.340	4.340	2.84	18.04	1.529	0.241	0.49	2.05	368	124	4824
58	4.360	4.360	4.361	2.90	17.55	1.502	0.249	0.49	2.05	391	131	4625
59	4.350	4.370	4.479	2.81	19.32	1.553	0.232	0.49	2.06	342	115	5007
60	4.330	4.340	4.411	2.12	10.56	2.049	0.418	0.48	2.17	1164	394	8949
61	4.300	4.302	4.318	1.73	6.32	2.480	0.683	0.46	2.25	3186	1092	12934



Profondità m	PARAMETRI INTERVALLARI MEDI PER LIVELLI LITOLOGICI			Edin Mpa	Gdin Mpa	Kdin Mpa
	Vp Km/sec	Vs Km/sec	v T/m²			
0.00						
0.81	0.15	0.46	1.78	135	46	1609
1.42	0.15	0.49	2.03	135	45	4220
1.53	0.19	0.49	2.05	239	80	4919
1.54	0.21	0.49	2.06	277	93	4977
1.52	0.19	0.49	2.05	242	81	4816
1.55	0.19	0.49	2.06	229	77	5042
2.09	0.45	0.47	2.18	1572	538	9254
1.55	0.21	0.49	2.06	276	92	4984
2.09	0.47	0.47	2.18	1647	563	9230
1.59	0.21	0.49	2.07	290	97	5325
2.20	0.59	0.46	2.20	2336	801	9990
1.56	0.24	0.49	2.06	361	121	5048
1.55	0.25	0.49	2.06	414	139	4972
1.53	0.24	0.49	2.05	365	123	4853
2.28	0.54	0.47	2.22	2069	705	11132

ANALISI DELLE VARIANZE (Rettilineo - Curvilineo)				QUALITA' DEL DATO ONDE DI TAGLIO		
Vp	Vs			E-24%	E-24%	E-24%
	ΔVp (%)	ΔVp (m/sec)	ΔVs (%)			
0.68	-2.54	2.95	-3.09			<input checked="" type="checkbox"/>
9.09	-36.16	0.12	-0.21			<input checked="" type="checkbox"/>
0.77	-8.04	0.01	-0.01	<input checked="" type="checkbox"/>		
0.02	-0.25	0.03	-0.05	<input checked="" type="checkbox"/>		
0.06	-0.81	0.02	-0.03			<input checked="" type="checkbox"/>
0.00	-0.06	0.01	-0.02			<input checked="" type="checkbox"/>
0.01	-0.14	0.18	-0.27			<input checked="" type="checkbox"/>
0.01	-0.19	0.07	-0.13			<input checked="" type="checkbox"/>
0.01	-0.13	0.02	-0.03			<input checked="" type="checkbox"/>
0.00	-0.03	0.01	-0.02			<input checked="" type="checkbox"/>
0.00	-0.08	0.01	-0.02	<input checked="" type="checkbox"/>		
0.00	-0.04	0.02	-0.05			<input checked="" type="checkbox"/>
0.00	-0.03	0.00	0.00			<input checked="" type="checkbox"/>
0.00	-0.01	0.09	-0.19			<input checked="" type="checkbox"/>
0.00	0.00	0.08	-0.15	<input checked="" type="checkbox"/>		
0.00	-0.02	0.04	-0.07			<input checked="" type="checkbox"/>
0.00	-0.03	0.00	0.00			<input checked="" type="checkbox"/>
0.00	-0.01	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>		
0.00	-0.02	0.00	0.00			<input checked="" type="checkbox"/>
0.58	-9.04	9.38	-16.37	<input checked="" type="checkbox"/>		
0.05	-1.04	1.14	-5.27			<input checked="" type="checkbox"/>
0.10	-2.24	2.11	-13.76	<input checked="" type="checkbox"/>		
0.14	-2.69	0.01	-0.02			<input checked="" type="checkbox"/>
0.001	-0.010	0.002	-0.004	<input checked="" type="checkbox"/>		
0.004	-0.060	0.001	-0.002			<input checked="" type="checkbox"/>
0.174	-2.625	0.003	-0.006			<input checked="" type="checkbox"/>
0.362	-6.522	22.130	-38.545			<input checked="" type="checkbox"/>
0.086	-1.996	0.843	-5.699	<input checked="" type="checkbox"/>		
0.003	-0.071	0.074	-0.370			<input checked="" type="checkbox"/>
0.352	-7.376	1.403	-6.586			<input checked="" type="checkbox"/>
0.164	-2.492	0.047	-0.100	<input checked="" type="checkbox"/>		
0.543	-8.980	12.129	-23.112			<input checked="" type="checkbox"/>
0.114	-2.548	0.194	-1.087			<input checked="" type="checkbox"/>
0.038	-0.768	0.020	-0.105			<input checked="" type="checkbox"/>
0.020	-0.441	0.023	-0.128			<input checked="" type="checkbox"/>
0.008	-0.180	0.065	-0.384	<input checked="" type="checkbox"/>		
0.007	-0.161	0.423	-2.202	<input checked="" type="checkbox"/>		
0.051	-1.195	0.000	-0.002	<input checked="" type="checkbox"/>		
0.263	-5.452	1.723	-11.541	<input checked="" type="checkbox"/>		
0.022	-0.343	0.964	-2.533			<input checked="" type="checkbox"/>
0.001	-0.022	0.022	-0.050	<input checked="" type="checkbox"/>		
0.001	-0.020	0.006	-0.013			<input checked="" type="checkbox"/>

62	4.260	4.274	4.302	1.85	8.23	2.313	0.523	0.47	2.22	1858	630	11513
63	4.250	4.255	4.274	2.49	15.14	1.711	0.282	0.49	2.10	516	174	6150
64	4.240	4.240	4.243	2.68	17.52	1.583	0.242	0.49	2.07	375	126	5219
65	4.240	4.240	4.240	2.68	16.18	1.583	0.262	0.49	2.07	439	148	5185
66	4.240	4.240	4.240	2.69	15.77	1.577	0.269	0.49	2.07	461	155	5131
67	4.240	4.240	4.240	2.78	16.26	1.525	0.261	0.48	2.05	431	145	4765
68	4.230	4.230	4.230	2.68	16.47	1.580	0.257	0.49	2.07	421	142	5171
69	4.220	4.220	4.220	2.72	16.11	1.554	0.262	0.49	2.06	436	147	4974
70	4.210	4.210	4.210	2.69	15.72	1.563	0.268	0.48	2.06	457	154	5031
71	4.170	4.170	4.172	2.68	15.68	1.556	0.266	0.48	2.06	450	152	4981
72	4.130	4.130	4.130	2.63	14.20	1.572	0.291	0.48	2.06	539	182	5063
73	4.150	4.150	4.150	2.70	14.61	1.539	0.284	0.48	2.06	511	172	4830
74	4.170	4.170	4.170	2.70	15.44	1.543	0.270	0.48	2.06	463	156	4885
75	4.160	4.160	4.160	2.68	15.03	1.554	0.277	0.48	2.06	487	164	4949
76	4.150	4.150	4.150	2.66	15.06	1.559	0.276	0.48	2.06	483	163	4991
77	4.110	4.110	4.115	2.65	14.70	1.549	0.280	0.48	2.06	498	168	4911
78	4.080	4.080	4.084	2.73	17.46	1.492	0.234	0.49	2.04	346	116	4577
79	4.050	4.050	4.050	2.66	15.77	1.523	0.257	0.49	2.05	418	141	4759
80	4.020	4.021	4.024	2.67	15.31	1.506	0.263	0.48	2.05	436	147	4632
81	4.030	4.031	4.200	2.49	18.44	1.622	0.228	0.49	2.08	334	112	5526
82	4.040	4.040	4.048	2.36	9.25	1.715	0.438	0.47	2.10	1225	418	5858
83	4.010	4.048	4.020	2.43	8.52	1.666	0.472	0.46	2.09	1409	484	5376
84	3.990	3.992	4.309	1.67	11.83	2.393	0.364	0.49	2.24	917	308	12892
85	3.950	3.951	3.953	1.71	4.80	2.306	0.824	0.43	2.22	4470	1566	10187
86	3.910	3.911	3.910	1.56	4.63	2.502	0.845	0.44	2.26	4807	1674	12434
87	3.930	3.930	3.931	1.67	4.65	2.355	0.846	0.43	2.23	4728	1658	10644
88	3.960	3.961	3.964	1.68	4.33	2.352	0.916	0.41	2.23	5482	1943	10222
89	3.950	3.953	3.955	1.57	5.02	2.516	0.788	0.45	2.26	4213	1457	12908
90	3.940	3.942	3.951	1.79	5.87	2.201	0.673	0.45	2.20	2999	1035	9695
91	3.940	3.941	3.945	1.70	4.74	2.320	0.833	0.43	2.22	4569	1602	10304
92	3.930	3.930	3.955	1.58	4.25	2.487	0.931	0.42	2.25	5761	2031	11777
93	3.940	3.940	3.949	1.55	3.13	2.550	1.263	0.34	2.26	10035	3751	10297
94	3.960	3.961	3.967	1.61	3.83	2.461	1.037	0.39	2.25	6994	2512	10800
95	3.960	3.981	3.971	1.49	3.28	2.672	1.210	0.37	2.28	9522	3472	12314
96	3.970	4.170	4.170	2.30	4.53	1.814	0.921	0.33	2.12	4961	1870	4762
97	3.960											
98	3.950											
99												
100												



62.00												
63.00												
64.00												
65.00												
66.00												
67.00												
68.00	1.57	0.27	0.49	2.07	458	154	5115					
69.00												
70.00												
71.00												
72.00												
73.00												
74.00												
75.00												
76.00												
77.00	1.53	0.26	0.48	2.05	445	150	4803					
78.00												
79.00												
80.00												
81.00												
82.00												
83.00												
84.00												
85.00												
86.00												
87.00												
88.00	2.27	0.78	0.43	2.21	4498	1602	10082					
89.00												
90.00												
91.00												
92.00												
93.00												
94.00												
95.00												
96.00	1.81	0.92	0.33	2.12	4961	1870	4762					
97.00												
98.00												
99.00												
100.00												

0.318	-7.338	0.993	-5.136									
0.123	-2.108	0.569	-1.597									
0.000	-0.003	0.064	-0.156									
0.000	-0.001	0.009	-0.024									
0.005	-0.081	0.004	-0.011									
0.006	-0.094	0.002	-0.006									
0.003	-0.042	0.002	-0.005									
0.000	-0.007	0.002	-0.006									
0.000	-0.002	0.001	-0.002									
0.001	-0.008	0.042	-0.112									
0.002	-0.035	0.010	-0.029									
0.000	-0.005	0.011	-0.033									
0.000	-0.003	0.006	-0.016									
0.000	-0.002	0.000	-0.001									
0.000	-0.003	0.001	-0.003									
0.007	-0.101	0.132	-0.369									
0.004	-0.057	0.095	-0.221									
0.001	-0.017	0.010	-0.026									
0.029	-0.440	0.088	-0.232									
0.020	-0.330	4.221	-9.223									
0.008	-0.132	0.186	-0.815									
0.949	-15.658	0.261	-1.229									
0.055	-1.312	7.986	-26.932									
0.036	-0.836	0.073	-0.604									
0.023	-0.583	0.000	-0.001									
0.000	-0.011	0.035	-0.294									
0.025	-0.577	0.098	-0.899									
0.080	-1.999	0.120	-0.945									
0.040	-0.871	0.287	-1.923									
0.026	-0.610	0.115	-0.960									
0.009	-0.215	0.645	-5.967									
0.006	-0.159	0.238	-3.003									
0.037	-0.914	0.183	-1.897									
0.521	-13.844	0.288	-3.468									
5.038	-87.003	5.038	-44.173									

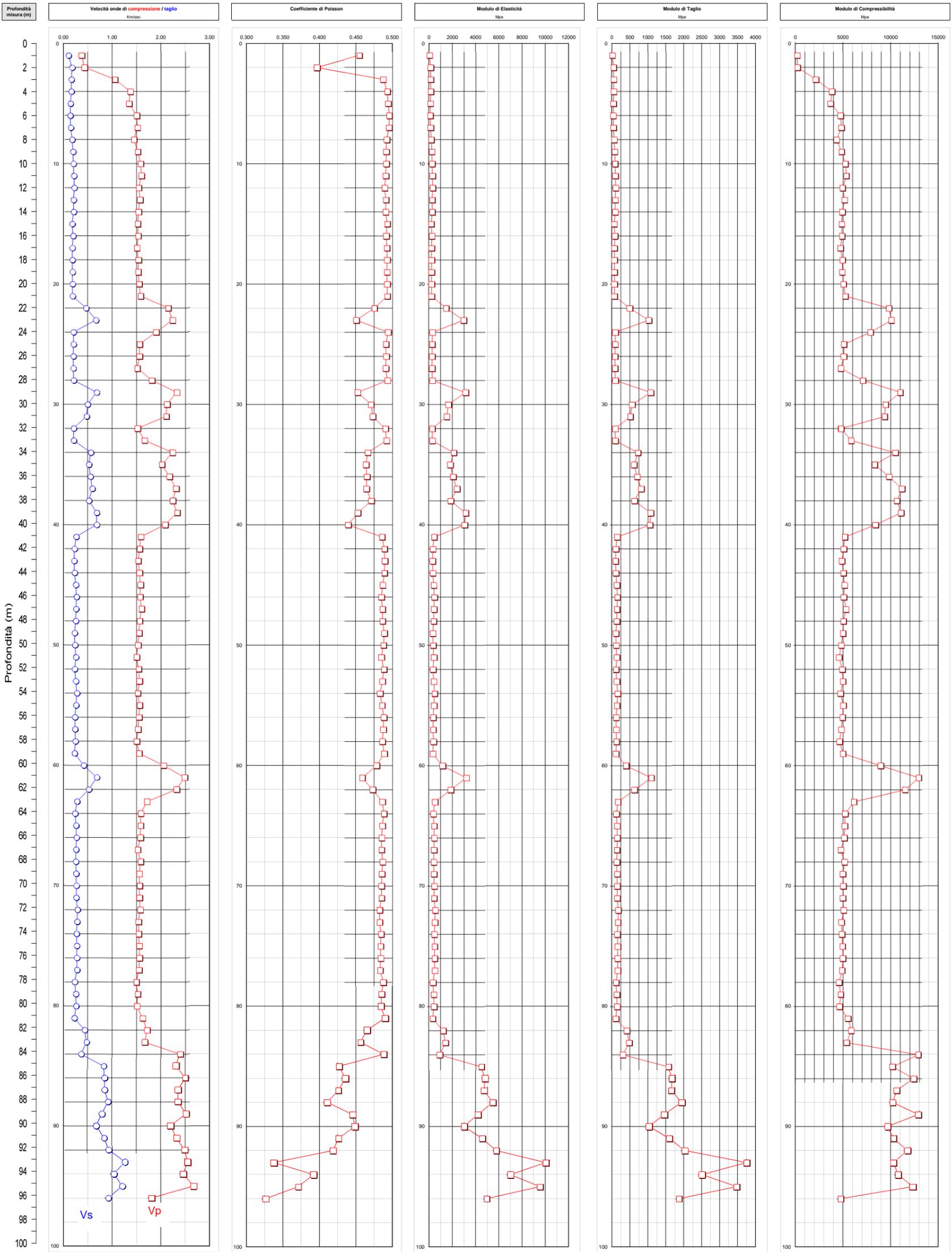
Legenda parametri dinamici					
<b>Tp</b>	Tempi onde di compressione	millisecondi	<b>γ</b>	Peso di volume	T/m³
<b>Ts</b>	Tempi onde di taglio	millisecondi	<b>Edin</b>	Modulo di Elasticità dinamico	Mpa
<b>Vp</b>	Velocità onde di compressione	Km/sec	<b>Gdin</b>	Modulo di Taglio dinamico	Mpa
<b>Vs</b>	Velocità onde di taglio	Km/sec	<b>Kdin</b>	Modulo di Compressibilità dinamico	Mpa
<b>v</b>	Coefficiente di Poisson	-			

**Nota per l'analisi della varianza**  
*L'analisi degli errori è realizzata sulla base del differenziale tra le velocità ricavate dal processing tomografico con ray tracing curvilineo e quelle relative a percorrenze rettilinee (in ordine scarto delle velocità in % ed in valore assoluto in m/sec)*

**Nota per la Qualità del dato**  
*Viene valutata sulla base del coefficiente di correlazione della fase del picco di break secondo tre partizioni (ε<2%, ε tra 2-4%, ε>4%<10%)*

Tabella CROSS HOLE S1 - S2

COMMITTENTE	REGIONE EMILIA ROMAGNA - SERVIZIO GEOLOGICO
CROSS HOLE	S1 - S2
Località	VISERBA (Rn)
Data acquisizione	17 novembre 2010
Commessa	996/2010



Log CROSS HOLE S1 - S2