

---

**Pro.Geo. s.r.l.**



**INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE**

**COMUNE DI BORGO A MOZZANO  
PROVINCIA DI LUCCA**

**INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE  
ESEGUITE LUNGO LA S.S. 12 DEL BRENNERO,  
IN LOCALITÀ ANCHIANO**

**- RELAZIONE TECNICA -**

Committente:  
Dott. Geol. MILIANA PIERONI

PRO.GEO. s.r.l.  
Dott. Geol. AMERINO PIERONI

DICEMBRE 2013

Rif. PG140\_2013

## INDICE

1. PREMESSA .....	2
2. PROVA PENETROMETRICA DINAMICA .....	3
3. PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P .....	4
3.1. La metodologia di indagine .....	4
3.2. Sistema di acquisizione .....	5
3.3. Elaborazione dei dati – Metodo tomografico .....	7
3.4. Schema di acquisizione .....	7
3.5. Risultati della prospezione sismica .....	8
4. ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI.....	9
4.1. La metodologia di indagine .....	9
4.2. Strumentazione.....	12
4.3. Vantaggi della registrazione multicanale .....	13
4.4. Descrizione generale della procedura MASW .....	14
4.5. Schema di acquisizione .....	14
4.6. Risultati della prova sismica MASW .....	15

## Allegati

- all. 1: Inquadramento topografico dell'area (scala 1:10.000)
- all. 2: Planimetria di ubicazione delle indagini geognostiche e geofisiche (scala 1:500)
- all. 3: Tabulati e grafici della prova penetrometrica dinamica P<sub>1</sub> (12.08.2010)
- all. 4: Prospezione sismica a rifrazione con onde P (sezione sismica ST1)
- all. 5: Prova sismica MASW (sezione sismica M1)
- all. 6: Documentazione fotografica

## 1. PREMESSA

La presente relazione tecnica riguarda le indagini geognostiche e geofisiche eseguite per della Dott. Geol. MILIANA PIERONI, in località Anchiano, nel Comune di Borgo a Mozzano (LU) (*all. 1*), allo scopo di ricostruire la successione stratigrafica <sup>(1)</sup> e valutare i parametri fisici e geotecnici dei terreni presenti.

Tali indagini, effettuate il giorno 18.12.2013, sono state svolte secondo il seguente programma (*all. 2*):

- esecuzione di n. 1 **prospezione sismica a rifrazione** con onde P, tramite stendimento di lunghezza pari a 46,0 metri (24 canali; interasse: 2,0 m) (*all. 4*);

- esecuzione di n. 1 **prova MASW** <sup>(2)</sup>, tramite stendimento di lunghezza pari a 46,0 metri (24 canali; interasse: 2,0 m) (*all. 5*); quest'ultima allo scopo di ottenere la stratigrafia di velocità delle onde trasversali ( $V_s$ ), dalla quale ricavare il parametro  $V_{s30}$  (velocità media delle onde sismiche trasversali nei primi trenta metri sotto la superficie del terreno).

A completamento delle suddette indagini vengono riportati i risultati di n. 1 **prova penetrometrica dinamica** superpesante (DPSH) eseguita in prossimità dell'area d'interesse, il giorno 12.08.2010 e spinta fino alla profondità di 5,6 m dal p.c. (*all. 3*).

Si evidenzia inoltre come la scelta della metodologia di indagine sismica eseguita (onde P e MASW), consegua direttamente alla morfologia dei luoghi ed alla loro ampiezza; risulta infatti impossibile localmente l'esecuzione di altri tipi di prove sismiche (in particolare onde SH) le quali richiedono, per indagare spessori di terreno tali da consentire il calcolo di  $V_{s30}$ , sviluppi lineari e rettilinei superficiali non disponibili nell'area di studio.

---

<sup>(1)</sup> Si ricorda che le classificazioni geologiche dei vari livelli individuati (ove proposte) sono puramente indicative. Le prove eseguite mirano infatti, unicamente, alla caratterizzazione geotecnica dei materiali attraversati.

<sup>(2)</sup> Multichannel Analysis of Surface Waves = Analisi Multicanale delle Onde Superficiali.

## 2. PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

### Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici

<i>Tipo</i>	<i>Sigla di riferimento</i>	<i>Peso massa battente M (Kg)</i>
Leggero	DPL (Light)	$M < 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 < M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M > 60$

Per l'esecuzione della prova penetrometrica è stato utilizzato un penetrometro dinamico superpesante (DPSH) (PAGANI mod. TG 63-200) le cui caratteristiche tecniche sono di seguito riportate:

Rif. Norme:	DIN 4094
Peso massa battente (maglio):	63,5 Kg
Altezza di caduta libera (volata):	0,75 m
Peso sistema di battuta (massa passiva):	0,63 Kg
Diametro punta conica:	51 mm
Area base punta conica:	20,43 cm <sup>2</sup>
Angolo apertura punta:	90°
Lunghezza singola asta:	1,0 m
Peso singola asta:	6,31 Kg
Profondità giunzione 1 <sup>a</sup> asta:	0,40 m
Avanzamento punta:	0,20 m
Numero di colpi punta:	N(20) (relativo all'avanzamento)
Rivestimento/Fanghi:	No
Coefficiente di correlazione:	1,472

Con la prova penetrometrica dinamica, i cui risultati sono esposti in dettaglio nei tabulati in allegato 3, sono stati attraversati terreni prevalentemente incoerenti, appartenenti ai depositi alluvionali terrazzati di fondovalle (*at*)<sup>(3)</sup> fino alla profondità di 5,6 m dal piano di campagna, dove si è verificato il rifiuto; tali depositi sono costituiti in prevalenza da sabbie sciolte o poco addensate nei livelli più superficiali e da ghiaie e ciottoli embricati in matrice sabbioso-limosa più profondità.

Di seguito viene riassunta la successione stratigrafica:

---

<sup>(3)</sup> Per la caratterizzazione litostratigrafica si è fatto riferimento alla cartografia geologica disponibile per l'area d'interesse, in particolare alla *Carta geologica e carta della franosità del bacino del Fiume Serchio* - AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME SERCHIO (agg. Dicembre 2010).

## ***Prova P1***

prof. dal p.c. (m):      litotipo:

- 0,00 – 1,20:              *Sabbie da sciolte a poco addensate con rari ciottoli (suolo e depositi alluvionali superficiali più fini).*
- 1,20 – 5,00:              *Sabbie poco addensate con livelli di ghiaie e ciottoli diffusi.*
- 5,00 – 5,60:              *Ghiaie e ciottoli embricati in matrice sabbiosa addensata.*

### *Assenza di Falda*

Nei tabulati e nei grafici allegati alla presente relazione, infine, viene riportata nel dettaglio l'elaborazione dei risultati ottenuti dalla prova penetrometrica (*all. 3*).

## **3. PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P**

### **3.1. La metodologia di indagine**

Nella prospezione sismica a rifrazione con onde P, si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (P) per determinare lo spessore e l'andamento dei diversi strati del terreno.

La prospezione consiste nel generare nel terreno un'onda sismica di compressione, attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo, ecc.) e nel misurare il tempo impiegato da questa a compiere il percorso nel sottosuolo, dal punto di energizzazione fino agli apparecchi di ricezione (*geofoni*), seguendo le leggi di rifrazione (Legge di Snell), cioè considerando le rifrazioni che l'onda stessa subisce in corrispondenza delle superfici di separazione tra due strati sovrapposti aventi densità (ovvero moduli di elasticità) crescenti con la profondità.

L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni è costituita da una serie di ricevitori (*geofoni*) che vengono spazati lungo un determinato allineamento (*base sismica*) e da un cronografo che registra l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono. Così, osservando i primi arrivi su punti posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo-distanza (*dromocrona*) rappresentante la variazione del minimo percorso in funzione del tempo.

Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali (*V<sub>p</sub>*), risalendo allo spessore dei terreni attraversati.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel sottosuolo dipende da diversi fattori; in uno stesso tipo di roccia, ad esempio, la velocità può diminuire od aumentare con la profondità in funzione del grado di alterazione e/o fratturazione.

Sensibili variazioni, inoltre, si possono avere nei terreni incoerenti saturi; la velocità delle onde P, infatti, è fortemente influenzata dalla presenza della falda e dal grado di saturazione.

Questo comporta che litotipi differenti possono avere uguali velocità delle onde P, per cui non necessariamente l'interpretazione sismostratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico-stratigrafica.

Per il metodo sismico a rifrazione, inoltre, valgono le seguenti considerazioni:

- un livello a velocità intermedia, interposto fra uno strato superiore caratterizzato da velocità minore ed uno inferiore caratterizzato da velocità assai più elevata, può risultare non rilevabile, poiché mascherato dagli "arrivi" dello strato sottostante (effetto dello strato nascosto e/o "zona oscura");

- un determinato orizzonte può non essere individuato se la velocità di trasmissione delle onde P al suo interno risulterà inferiore a quella dei livelli sovrastanti (effetto della inversione della velocità);

- un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni può non essere rilevabile;

- aumentando la spaziatura dei geofoni (e quindi la lunghezza della linea sismica), aumenta la profondità di investigazione, ma può ridursi la precisione nella determinazione della profondità e dello spessore dei vari orizzonti.

Il dato sismico può raggiungere una maggiore precisione ed una significatività più elevata se si dispone di sondaggi di taratura.

### **3.2. Sistema di acquisizione**

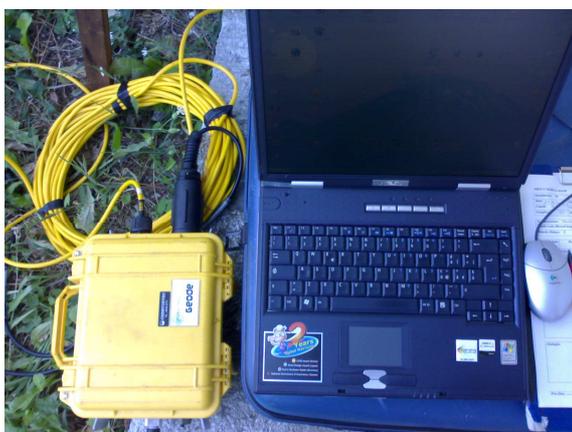
L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando la seguente strumentazione:

- sismografo;
- sorgente energizzante (cannoncino sismico);
- trigger;
- apparecchiatura di ricezione (24 geofoni verticali per onde P).

#### ***Sismografo***

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un sismografo GEOMETRICS GEODE a 24 canali, le cui caratteristiche tecniche sono di seguito riportate:

Registrazione:	Configurabile da 3 a 24 canali
Risoluzione:	24 bit
Larghezza di banda di ingresso:	1,75 Hz – 20.000 Hz
Intervalli di campionamento:	Selezionabili da 0,02 msec a 16 msec
Range dinamico di sistema:	144 dB (110 dB misurato a 2 msec)
Distorsione:	0,0005%
Accuratezza del trigger:	1/32 del passo di campionamento
Alimentazione:	Batterie esterne a 12 volt
Unità centrale di controllo:	Collegamento con PC notebook



Sismografo GEOMETRICS GEODE

### ***Sorgente energizzante***

Per la generazione delle onde P (longitudinali) è stato utilizzato un cannoncino sismico (calibro 8 industriale), la testa del quale viene inserita in un preforo verticale, curando che la testa del cannoncino stesso sia ben solidale con il terreno; il contrasto al rinculo è garantito da una piastra saldata allo stelo ed ancorata al suolo.

### ***Trigger***

Il trigger utilizzato consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un apparecchio starter (geofono starter) nell'istante in cui il sistema energizzante genera la perturbazione sismica, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso della durata di qualche secondo, che viene inviato al sensore collegato al sistema di acquisizione dati.

### ***Apparecchiatura di ricezione***

Per la ricezione delle onde P sono stati utilizzati 24 geofoni verticali GS-20DM con frequenza propria di 14 Hz.

Le quote dei geofoni sono state rilevate mediante apposita livellazione.

### 3.3. Elaborazione dei dati – Metodo tomografico

Il metodo della tomografia sismica permette di individuare anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un elevato potere risolutivo, offrendo la possibilità di ricostruire stratigraficamente situazioni complesse, non risolvibili con differenti tecniche di indagine. L'analisi del gradiente di velocità effettuata sulla sezione tomografica, permette di evidenziare i principali passaggi stratigrafici e/o di consistenza.

Questa tecnica fornisce l'immagine della distribuzione delle onde sismiche sotto la superficie, basata sui tempi di primo arrivo e sulla geometria di acquisizione, come nella normale sismica a rifrazione.

Partendo da un modello di velocità iniziale, questo viene migliorato attraverso successive iterazioni: la fase di calcolo si conclude quando si ha la migliore sovrapposizione, ovvero il minimo scarto, fra le dromocrone calcolate e quelle osservate.

L'elaborazione dei dati si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

1. determinazione dei primi arrivi (“picking”) attraverso il software interno del sismografo “Geode” e/o con il modulo “Pickwin” del programma *SeisImager/2D*, operata prima in automatico e successivamente con aggiustamenti manuali, con particolare attenzione alle fasi d'onda ed alla loro evoluzione.

2. inserimento dei dati ed interpretazione (“processing”) attraverso il modulo “Plotrefa” del programma *SeisImager/2D*; questo esegue l'inversione tomografica dei dati, che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (*raypath*) e genera il modello di velocità (*sezione tomografica*).

3. “output” dei tabulati:

- dati di scoppio (ascissa e quota dei geofoni, ascissa e quota dei punti di energizzazione, tempi di primo arrivo);
- velocità calcolate alle diverse profondità.

4. “output” grafico dei sismogrammi registrati, delle dromocrone sismiche (misurate e calcolate), del percorso dei raggi sismici, del modello tomografico di velocità sismiche dei terreni (sezione sismica tomografica) e della sezione sismostratigrafica interpretativa.

### 3.4. Schema di acquisizione

Per la prospezione sismica in questione, è stato effettuato un unico stendimento, denominato ST1, ubicato lungo il ciglio di monte della Strada Statale 12, così come riportato in planimetria allegata (*all. 2*); per lo stendimento è stato scelto un interasse tra i geofoni pari a 2,0 m, per una lunghezza complessiva di 46,0 metri (analogo a quello della prova MASW).

Sono state effettuate 7 registrazioni in onde P, con 7 punti di scoppio posizionati come segue:

- due tiri esterni, ubicati rispettivamente alla distanza di - 12,0 m dal geofono G1 e + 12,0 m dal geofono G24;
- due tiri in corrispondenza dei geofoni estremi G1 e G24;
- tre tiri intermedi, ubicati rispettivamente fra i geofoni G6 e G7, a metà dello stendimento (tra G12 e G13) e tra i geofoni G18 e G19.

La qualità delle registrazioni ottenute è stata generalmente buona e tale da consentire la sicura individuazione dei primi arrivi sui sismogrammi (*all. 4*).

### 3.5. Risultati della prospezione sismica

Nel dettaglio, con riferimento al *modello tomografico 2D* ricavato per le velocità sismiche dei terreni e alla *sezione sismostratigrafica* (*all. 4*), la successione stratigrafica dei terreni ed i diversi intervalli di velocità delle onde P registrate ( $V_p$ ) possono essere correlati, anche sulla base della prova penetrometrica eseguita, secondo lo schema seguente:

- **strato 1**: dalla superficie fino a profondità variabili da **2,0÷2,2** m dal p.c. verso l'estremo G24, a massimi di **3,0÷3,5** m sulla maggior parte della stesa, compresa tra i geofoni G1 e G16, è presente uno strato caratterizzato da velocità basse ( $V_p = 350÷600$  m/sec), correlabili con l'orizzonte più superficiale di *suolo e depositi alluvionali più fini*, costituiti in prevalenza da *sabbie sciolte/poco addensate con rari ciottoli*.

Tali terreni sono stati attraversati con la vicina prova penetrometrica  $P_1$ , eseguita all'esterno dell'estremo G24, fino alla profondità di 1,2 m dal p.c. (*all. 3*);

- **strato 2**: caratterizzato da velocità ( $V_p$ ) comprese tra 600 e 1.200 m/sec e correlabile con *depositi alluvionali da poco a mediamente addensati* costituiti da *sabbie con livelli di ghiaie e ciottoli eterometrici diffusi*; la base di tale orizzonte, attraversato con la vicina prova penetrometrica  $P_1$  fino alla profondità di circa 5,0 m dal p.c., si rinviene a profondità variabili da circa **5,5** m dal p.c. verso l'estremo G1 ad un massimo di **7,0** m verso l'opposto G24;

- **strato 3**: caratterizzato da velocità ( $V_p$ ) maggiori di 1.200 m/sec, correlabili con la presenza di *depositi alluvionali grossolani ben addensati (ghiaie e ciottoli eterometrici embricati in matrice sabbioso-limosa)* o, più in profondità, con un *substrato litoide* (bedrock sismico); tali terreni, in corrispondenza dei quali si è verificato il rifiuto della prova penetrometrica  $P_1$  (*all. 3*), si riscontrano a profondità superiori a **5,5** m dal p.c. verso l'estremo G1 e a **7,0** m verso l'opposto G24, in buon accordo con quanto ricavato dalla prova sismica MASW M1 (*cfr. § 4.6*).

La massima profondità indagata con la prospezione sismica in questione è stata di circa 16÷17 metri.

#### **4. ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI**

##### **4.1. La metodologia di indagine**

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga.

Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

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

Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi: l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$ .

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

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale  $V_s$  dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh, vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane.

Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni).

Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali.

Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento.

Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente.

Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza dipendentemente dalla distanza dalla sorgente.

La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione. La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale.

Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.

La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili ( $x$ ;  $y$ ), il cui legame costituisce la curva di dispersione.

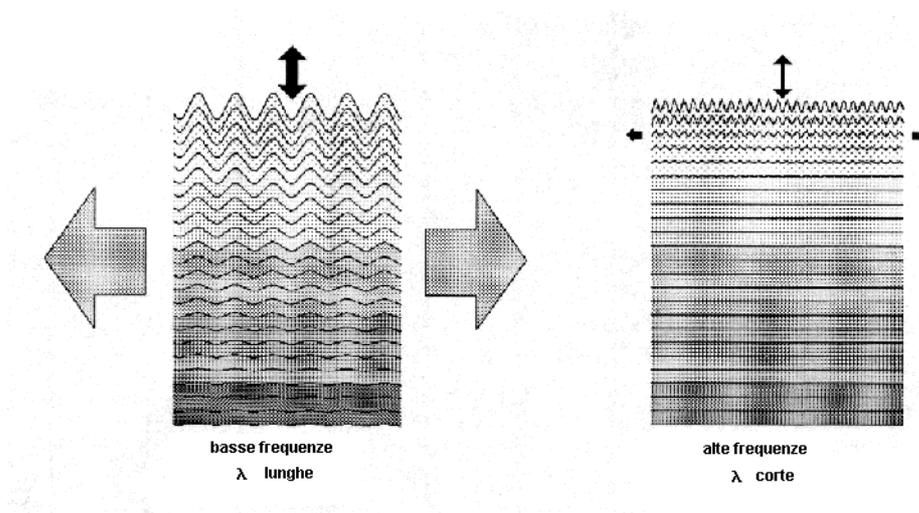
È anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso la MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N. Un buon rapporto S/N assicura

accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo  $V_s$  di inversione.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente o un cannoncino sismico.

La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Però alcune regole operative per MASW sono incompatibili con l'ottimizzazione della riflessione.

Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione. MASW può essere efficace con anche solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni singoli a bassa frequenza (<10Hz).



*Fig. 1. Proprietà di dispersione delle onde superficiali*

L'illustrazione di Fig. 1 mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale.

Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità.

La velocità delle onde S ( $V_s$ ) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

## 4.2. Strumentazione

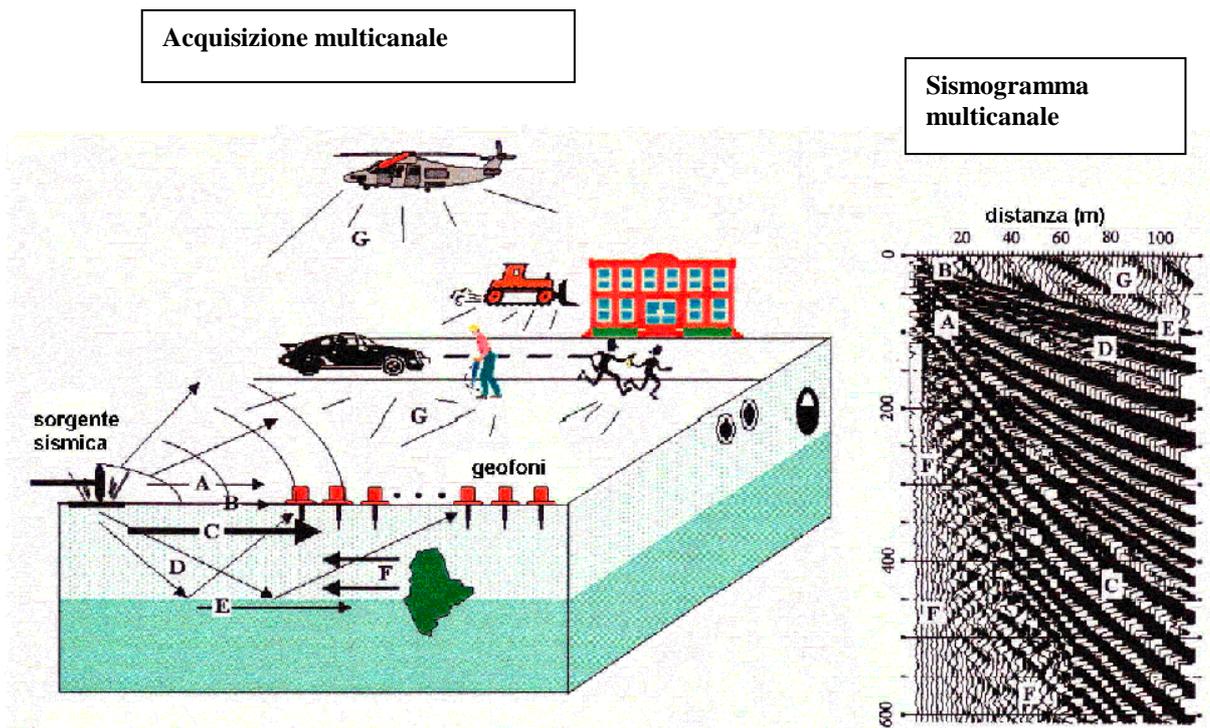
L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando la seguente strumentazione:

- sismografo GEOMETRICS GEODE a 24 canali, le cui caratteristiche tecniche sono riportate al paragrafo 3.2;
- sorgente energizzante (cannoncino sismico);
- trigger;
- apparecchiatura di ricezione (24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz).



*Fig. 2. Particolare di stesa con geofoni a 4,5 Hz per prova MASW*

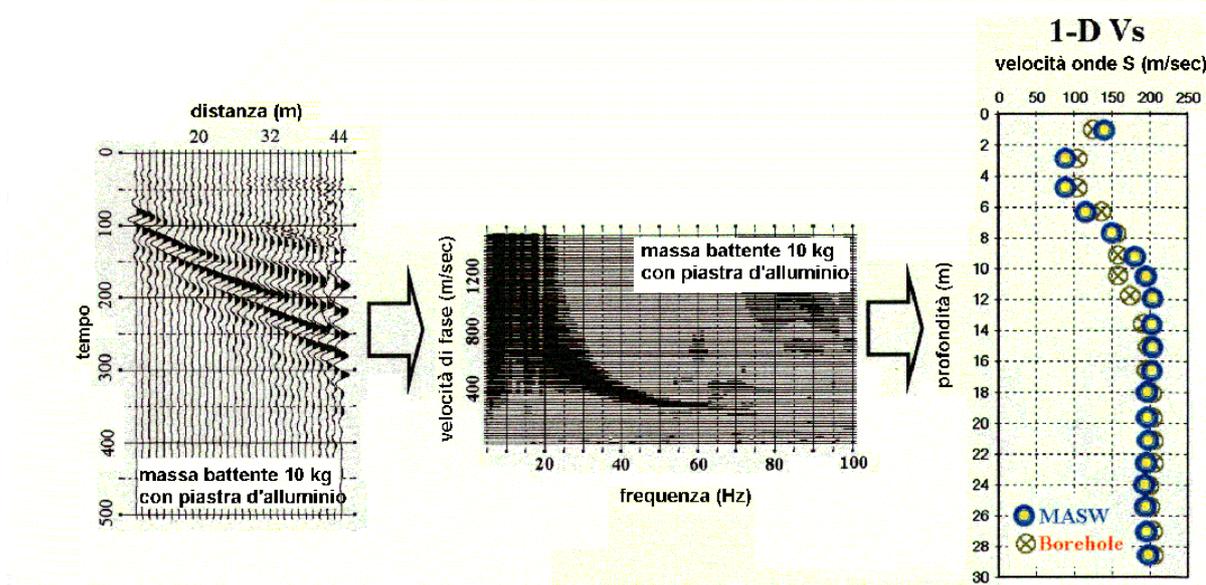
### 4.3. Vantaggi della registrazione multicanale



**Fig. 3**     A: onde in aria                     B: onde dirette                     C: onde di superficie  
                  D: onde riflesse                     E: onde rifratte                     F: onde riverberate  
                  G: rumore ambientale

Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno, tutte queste onde vengono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.

#### 4.4. Descrizione generale della procedura MASW



**Fig. 4**

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- 1- acquisizione dei dati di campo;
- 2- estrazione della curva di dispersione;
- 3- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità

#### 4.5. Schema di acquisizione

Per la prova MASW in questione è stato effettuato uno stendimento (M1), ubicato lungo il ciglio di monte della Strada Statale 12, come riportato in planimetria allegata (*all. 2*); per tale stendimento è stato scelto un interasse tra i geofoni pari a 2,0 m, per una lunghezza complessiva di 46,0 metri, analogo a quello eseguito per la rifrazione con onde P.

Sono state effettuate 4 registrazioni, con 4 punti di energizzazione posizionati secondo il seguente schema:

- due tiri esterni, ubicati rispettivamente alla distanza di - 10,0 m e - 5,0 m dal geofono G1;
- due tiri esterni, ubicati rispettivamente alla distanza di + 10,0 m e + 5,0 m dal geofono G24.

La qualità delle registrazioni ottenute è stata generalmente buona.

#### 4.6. Risultati della prova sismica MASW

In *allegato 5* sono riportati i risultati della prova MASW.

In particolare in *figura 1* viene mostrato lo spettro delle velocità e le curve di dispersione (di “picking”, di “best model” e di “mean model”), a centro pagina, in *figura 2*, è riportato il profilo verticale delle velocità, mentre a destra, in *figura 3*, sono riportati, in colonna stratigrafica, per ogni orizzonte definito, i valori di velocità delle onde trasversali ( $V_s$ ) e di densità dei materiali, nonché lo spessore dell’orizzonte stesso.

A centro pagina, in *figura 4*, viene riportato il sismogramma acquisito durante la prova di campagna ed in *figura 5* viene mostrata la documentazione fotografica di prova.

Nella tabella di fondo pagina, infine, vengono riportati, per ogni singolo orizzonte definito, i valori relativi a:

- quote di testa e di base dell’orizzonte sismico;
- spessore di ogni singolo orizzonte;
- valore di  $V_s$  relativo ad ogni singolo orizzonte sismico;
- valore di  $V_{s_x}$  calcolato alle diverse profondità ( $x$ );
- densità dei materiali costituenti ogni singolo orizzonte sismico;
- valore del Modulo di taglio stimato per ogni singolo orizzonte.

Il valore del parametro  $V_{s_x}$ , calcolato alle diverse profondità ( $x$ ), è ricavato utilizzando la stratigrafia di  $V_s$  e la seguente formula:

$$V_{s_x} = \frac{x}{\sum_{i=1, N} h_i / V_i}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti.

Sulla base delle specifiche indagini geofisiche eseguite (prova MASW) è stato possibile definire la categoria di sottosuolo propria del sito di intervento, in ottemperanza a quanto riportato dal **D.M. 14 gennaio 2008 - Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (capitolo 3 – comma 3.2.2)** e di seguito sintetizzato nella seguente tabella:

## Categorie di sottosuolo

**A** - *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di  $V_{S30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, 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  $V_{S30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $NSPT_{30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $cu_{30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).

**C** - *Depositi 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  $V_{S30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).

**D** - *Depositi 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  $V_{S30}$  inferiori a 180 m/s (ovvero  $NSPT_{30} < 15$  nei terreni a grana grossa e  $cu_{30} < 70$  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  $V_s > 800$  m/s).

Lo stendimento sismico MASW ha permesso di individuare, in buona corrispondenza con i risultati della sismica a rifrazione in onde P, orizzonti sismici sovrapposti, caratterizzati, nell'ambito dei 35 metri sotto il piano campagna, dalla seguente successione:

spessore orizzonte	velocità onde S	profondità progressiva dal piano di campagna
1,2 m	→ $V_s = 134$ m/sec	1,2 m
1,6 m	→ $V_s = 210$ m/sec	2,8 m
2,2 m	→ $V_s = 288$ m/sec	5,0 m
2,4 m	→ $V_s = 415$ m/sec	7,4 m
11,9 m	→ $V_s = 839$ m/sec	19,3 m
5,1 m	→ $V_s = 1007$ m/sec	24,4 m
10,6 m	→ $V_s = 1255$ m/sec	35,0 m

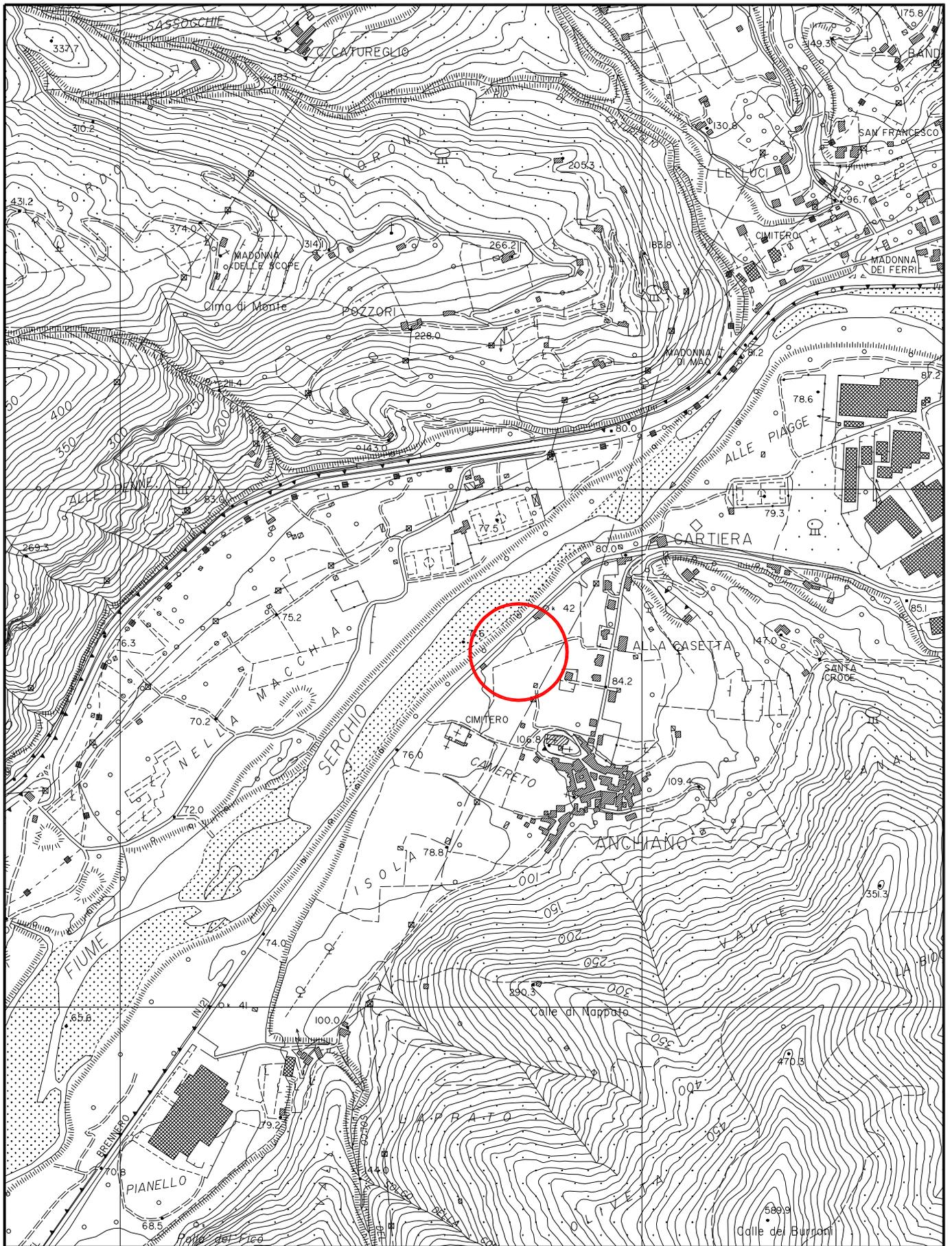
Il caso in esame vede la presenza di orizzonti di copertura di spessore complessivo pari a circa 7,4 m, caratterizzati da un valore di  $V_{S7,4}$  dell'ordine di **247** m/sec (sottosuolo di tipo C), al di sopra di orizzonti nettamente più addensati e compatti caratterizzati da velocità ( $V_s$ ) **> 800** m/s (substrato sismico di riferimento).

Sulla base di tali considerazioni, secondo quanto definito nelle NTC 2008, si assegna al sito d'interesse una **categoria di sottosuolo** di tipo **E**, corrispondente a: *terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore ai 20 m, posti sul substrato di riferimento (con  $V_s > 800$  m/s).*

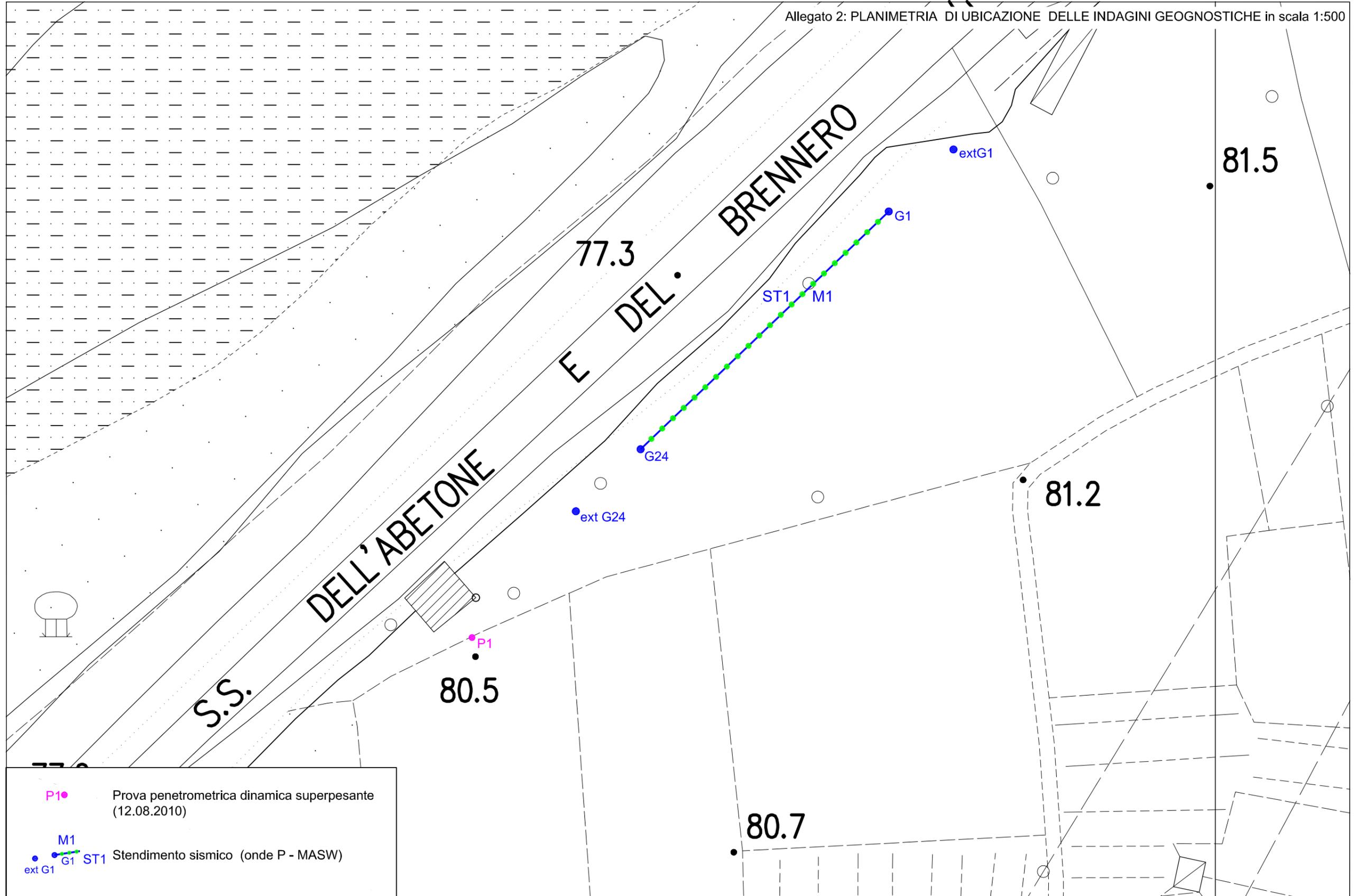
Castelnuovo di Garfagnana, Dicembre 2013

PRO.GEO. s.r.l.

Dott. Geol. AMERINO PIERONI



Allegato 1: INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO in scala 1:10000



---

## Allegato 3: PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Località: Anchiano (Borgo a Mozzano)

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	0,63 Kg
Diametro punta conica	51,00 mm
Area di base punta	20,43 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,40 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,47
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

PROVA ...P1

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI  
 Prova eseguita in data 12/08/2010  
 Profondità prova 5,60 mt  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	3	0,855	26,94	31,52	1,35	1,58
0,40	2	0,851	17,88	21,01	0,89	1,05
0,60	4	0,847	32,67	38,57	1,63	1,93
0,80	6	0,843	48,80	57,86	2,44	2,89
1,00	6	0,840	48,59	57,86	2,43	2,89
1,20	6	0,836	48,39	57,86	2,42	2,89
1,40	10	0,833	80,32	96,43	4,02	4,82
1,60	6	0,830	44,35	53,47	2,22	2,67
1,80	9	0,826	66,27	80,20	3,31	4,01
2,00	10	0,823	73,35	89,11	3,67	4,46
2,20	8	0,820	58,46	71,29	2,92	3,56
2,40	4	0,817	29,13	35,64	1,46	1,78
2,60	5	0,814	33,72	41,41	1,69	2,07
2,80	5	0,811	33,60	41,41	1,68	2,07
3,00	4	0,809	26,79	33,13	1,34	1,66
3,20	11	0,806	73,43	91,10	3,67	4,55
3,40	16	0,753	99,83	132,51	4,99	6,63
3,60	5	0,801	30,98	38,68	1,55	1,93
3,80	4	0,798	24,70	30,94	1,24	1,55
4,00	6	0,796	36,95	46,41	1,85	2,32
4,20	5	0,794	30,70	38,68	1,53	1,93
4,40	10	0,791	61,22	77,36	3,06	3,87
4,60	11	0,789	63,00	79,83	3,15	3,99
4,80	6	0,787	34,27	43,54	1,71	2,18
5,00	7	0,785	39,88	50,80	1,99	2,54
5,20	18	0,733	95,75	130,62	4,79	6,53
5,40	19	0,731	100,80	137,88	5,04	6,89
5,60	23	0,679	106,75	157,18	5,34	7,86

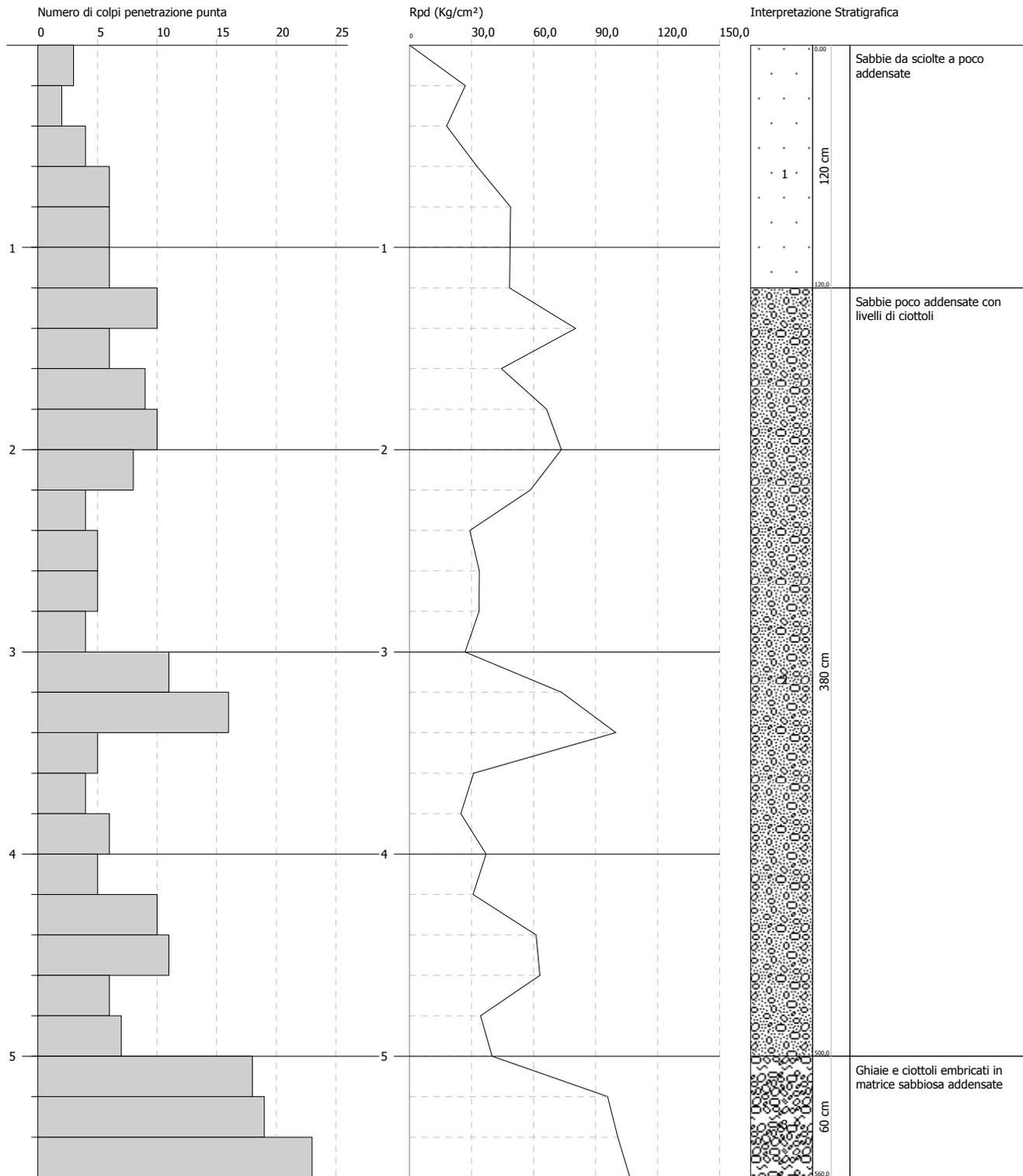
Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Strato
1,2	4,5	44,12	Incoerente	0	1,61	1,9	0,1	1,47	6,62	1
5	7,47	61,68	Incoerente	0	1,76	1,92	0,53	1,47	10,98	2
5,6	20	141,9	Incoerente	0	2,13	2,5	0,93	1,47	29,4	3

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P1  
 Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente:  
 Cantiere:  
 Località: Anchiano (Borgo a Mozzano)

Data: 12/08/2010

Scala 1:30



## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P1

### TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Sabbie da sciolte a poco addensate	6,62	1,20	6,62	Meyerhof 1957	60,54
[2] - Sabbie poco addensate con livelli di ciottoli	10,98	5,00	10,98	Meyerhof 1957	62,8
[3] - Ghiaie e ciottoli embricati in matrice sabbiosa addensate	29,4	5,60	29,4	Meyerhof 1957	89,3

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[Strato 1]	6,62	1,20	6,62	Sowers (1961)	29,85
[Strato 2]	10,98	5,00	10,98	Sowers (1961)	31,07
[Strato 3]	29,4	5,60	29,4	Sowers (1961)	36,23

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
[Strato 1]	6,62	1,20	6,62	Bowles (1982) Sabbia Media	---
[Strato 2]	10,98	5,00	10,98	Bowles (1982) Sabbia Media	129,90
[Strato 3]	29,4	5,60	29,4	Bowles (1982) Sabbia Media	222,00

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
[Strato 1]	6,62	1,20	6,62	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	41,06
[Strato 2]	10,98	5,00	10,98	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	50,02
[Strato 3]	29,4	5,60	29,4	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	87,85

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[Strato 1]	6,62	1,20	6,62	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[Strato 2]	10,98	5,00	10,98	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[Strato 3]	29,4	5,60	29,4	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
[Strato 1]	6,62	1,20	6,62	Meyerhof ed altri	1,61
[Strato 2]	10,98	5,00	10,98	Meyerhof ed altri	1,76
[Strato 3]	29,4	5,60	29,4	Meyerhof ed altri	2,13

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[Strato 1]	6,62	1,20	6,62	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,90
[Strato 2]	10,98	5,00	10,98	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,92
[Strato 3]	29,4	5,60	29,4	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,50

Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[Strato 1]	6,62	1,20	6,62	(A.G.I.)	0,34
[Strato 2]	10,98	5,00	10,98	(A.G.I.)	0,33
[Strato 3]	29,4	5,60	29,4	(A.G.I.)	0,3

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
[Strato 1]	6,62	1,20	6,62	Ohsaki (Sabbie pulite)	384,17
[Strato 2]	10,98	5,00	10,98	Ohsaki (Sabbie pulite)	618,13
[Strato 3]	29,4	5,60	29,4	Ohsaki (Sabbie pulite)	1560,13

Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[Strato 1]	6,62	1,20	6,62	Navfac 1971-1982	1,36
[Strato 2]	10,98	5,00	10,98	Navfac 1971-1982	2,31
[Strato 3]	29,4	5,60	29,4	Navfac 1971-1982	5,53

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[Strato 1]	6,62	1,20	6,62	Robertson 1983	13,24
[Strato 2]	10,98	5,00	10,98	Robertson 1983	21,96
[Strato 3]	29,4	5,60	29,4	Robertson 1983	58,80

## Allegato 4: PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P – ST1

Committente: Dott. Geol. Miliana Pieroni  
Località: ANCHIANO (BORGO A MOZZANO)  
Data di esecuzione: 18.12.13  
Linea sismica: ST1

### Sistema di acquisizione

SISMOGRAFO: Geometrics GEODE 24 canali

#### Caratteristiche tecniche

Registrazione: Configurabile da 3 a 24 canali  
Risoluzione: 24 bit  
Larghezza di banda di ingresso: 1,75 Hz – 20.000 Hz  
Intervalli di campionamento: Selezionabili da 0,02 msec a 16 msec  
Range dinamico di sistema: 144 dB (110 dB misurato a 2 msec)  
Distorsione: 0,0005%  
Accuratezza del trigger: 1/32 del passo di campionamento  
Alimentazione: Batterie esterne a 12 Volt  
Unità centrale di controllo: Collegamento con PC notebook

### Anchiano\_ST1 - TABELLA RISULTATI – modello tomografico

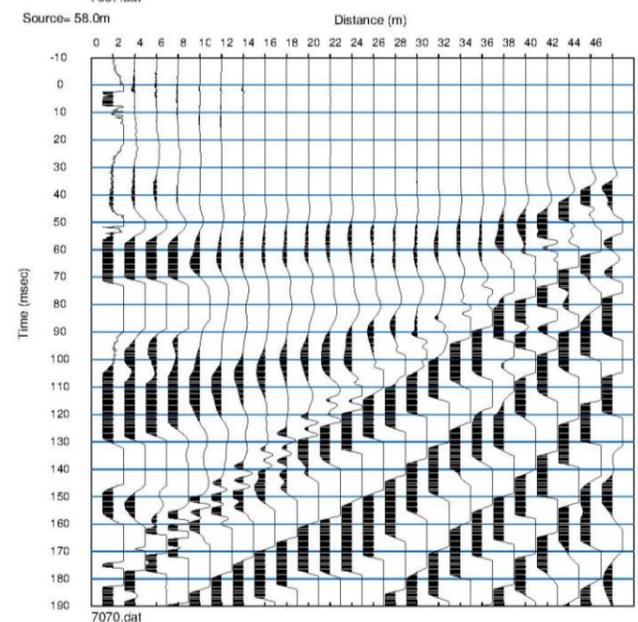
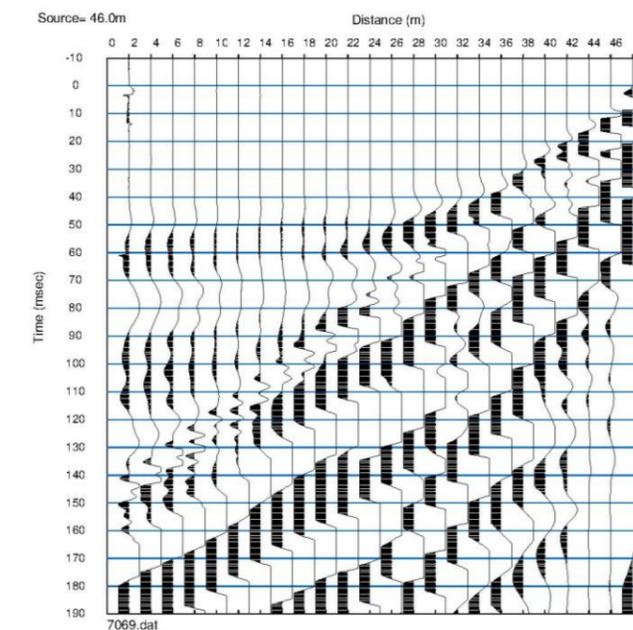
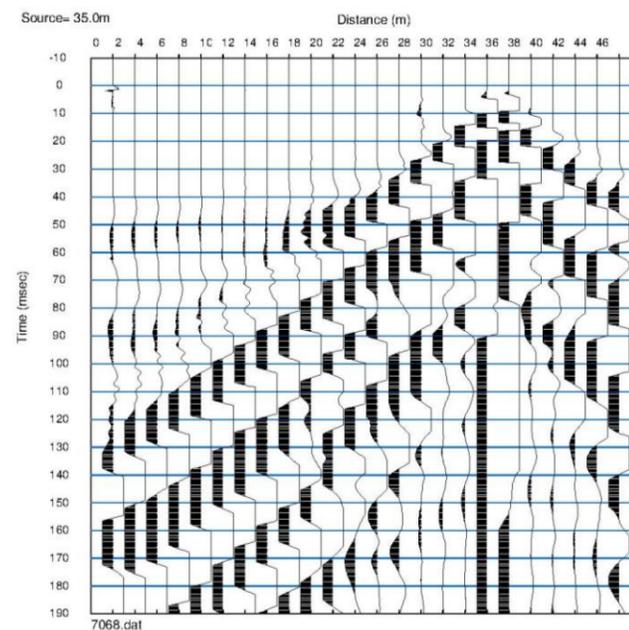
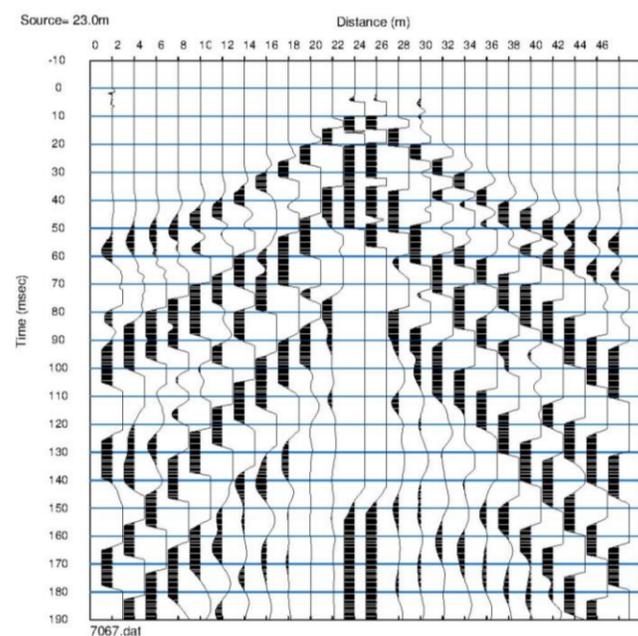
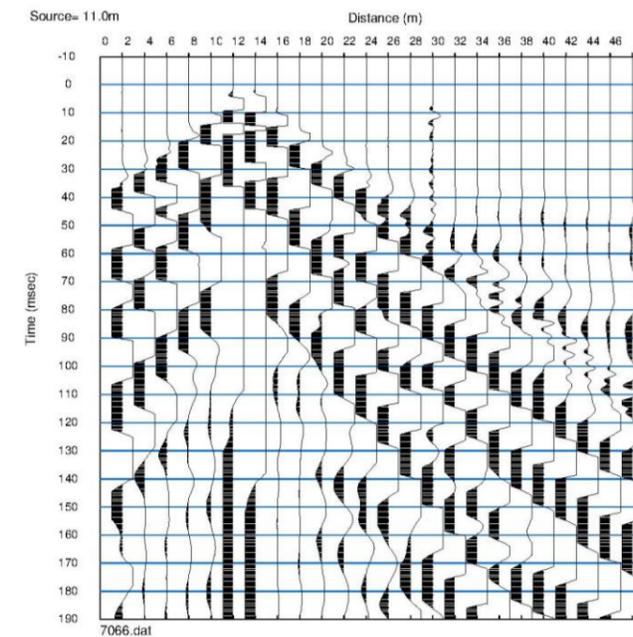
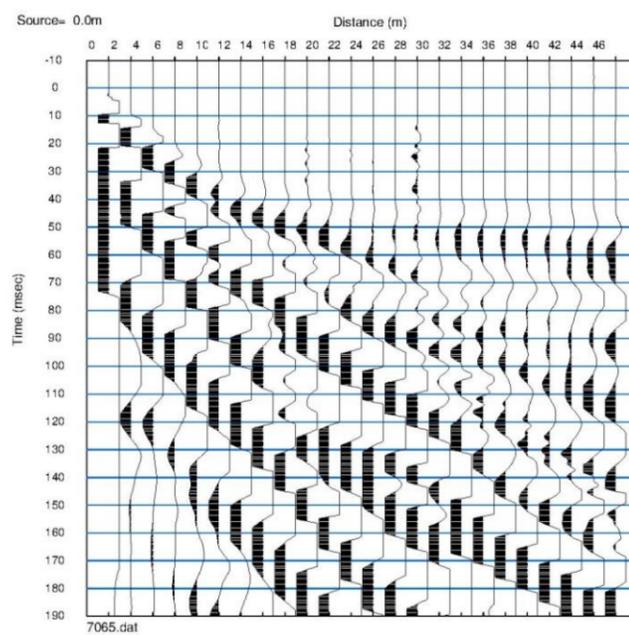
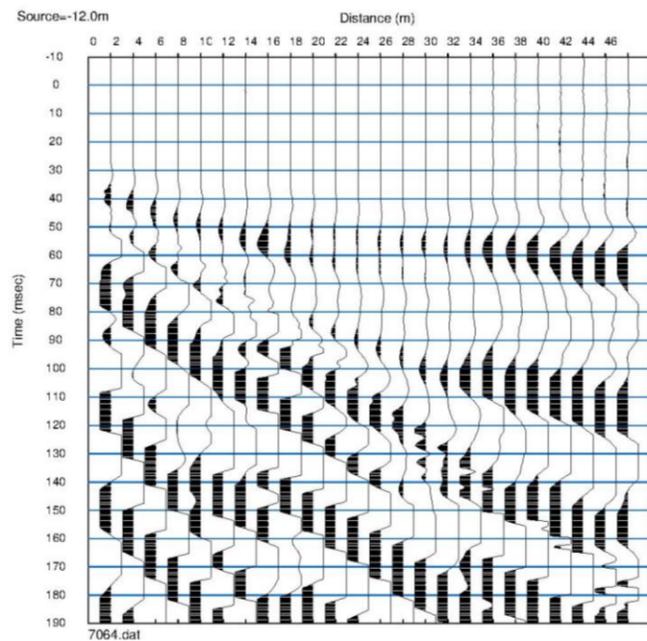
The spread contains 7 shotpoints and 24 geophones

SP	Elev	X-loc	Y-Loc	Depth
1	80.00	-12.00	0.00	0.00
2	80.00	0.00	0.00	0.00
3	80.00	11.00	0.00	0.00
4	80.00	23.00	0.00	0.00
5	80.00	35.00	0.00	0.00
6	80.00	46.00	0.00	0.00
7	80.00	58.00	0.00	0.00

Geo	Elev	X-loc	Y-Loc	SP 1	SP 2	SP 3	SP 4	SP 5	SP 6	SP 7
1	80.00	0.00	0.00	27.53 1	0.00 1	27.07 1	36.88 1	39.23 1	43.56 1	46.30 1
2	80.00	2.00	0.00	28.72 1	5.76 1	24.41 1	36.34 1	38.76 1	43.10 1	45.84 1
3	80.00	4.00	0.00	30.06 1	11.44 1	19.18 1	35.35 1	38.39 1	42.72 1	45.47 1
4	80.00	6.00	0.00	31.40 1	16.92 1	13.69 1	33.68 1	37.98 1	42.32 1	45.07 1
5	80.00	8.00	0.00	32.58 1	22.27 1	8.32 1	31.93 1	37.34 1	41.67 1	44.43 1
6	80.00	10.00	0.00	33.74 1	25.94 1	2.84 1	30.19 1	36.74 1	41.07 1	43.82 1
7	80.00	12.00	0.00	34.64 1	28.30 1	2.84 1	28.22 1	36.01 1	40.38 1	43.15 1
8	80.00	14.00	0.00	35.29 1	30.15 1	8.49 1	23.68 1	35.30 1	39.79 1	42.56 1
9	80.00	16.00	0.00	36.11 1	31.88 1	13.54 1	18.65 1	34.18 1	39.42 1	42.19 1
10	80.00	18.00	0.00	36.98 1	33.56 1	18.45 1	13.73 1	33.00 1	39.14 1	41.93 1
11	80.00	20.00	0.00	37.99 1	34.86 1	23.55 1	8.50 1	31.89 1	39.09 1	41.90 1
12	80.00	22.00	0.00	39.24 1	36.18 1	27.99 1	2.83 1	30.12 1	38.92 1	42.07 1
13	80.00	24.00	0.00	40.03 1	36.97 1	30.38 1	2.83 1	27.25 1	37.64 1	41.72 1
14	80.00	26.00	0.00	40.44 1	37.38 1	32.30 1	8.32 1	24.12 1	35.56 1	40.91 1
15	80.00	28.00	0.00	40.77 1	37.70 1	33.75 1	13.76 1	18.70 1	33.44 1	39.86 1
16	80.00	30.00	0.00	41.00 1	37.94 1	34.74 1	19.13 1	13.34 1	31.18 1	38.76 1
17	80.00	32.00	0.00	41.35 1	38.28 1	35.48 1	24.37 1	8.10 1	28.81 1	37.57 1
18	80.00	34.00	0.00	41.77 1	38.70 1	35.99 1	27.70 1	2.79 1	26.57 1	36.02 1
19	80.00	36.00	0.00	42.44 1	39.37 1	36.74 1	29.73 1	2.79 1	24.12 1	34.84 1
20	80.00	38.00	0.00	43.20 1	40.13 1	37.50 1	31.81 1	8.54 1	21.10 1	33.64 1
21	80.00	40.00	0.00	44.00 1	40.93 1	38.30 1	33.76 1	14.26 1	17.02 1	32.18 1
22	80.00	42.00	0.00	44.92 1	41.86 1	39.22 1	35.60 1	19.36 1	11.37 1	30.45 1
23	80.00	44.00	0.00	45.76 1	42.69 1	40.06 1	37.17 1	22.19 1	5.72 1	28.51 1
24	80.00	46.00	0.00	46.63 1	43.56 1	40.93 1	38.53 1	25.21 1	0.00 1	26.37 1

X (m)	Y (m)	V (m/s)	X (m)	Y (m)	V (m/s)	X (m)	Y (m)	V (m/s)
0,0	80,0	347,3	8,0	73,2	1337,0	18,0	79,7	395,9
0,0	79,7	352,5	8,0	71,7	1578,4	18,0	79,0	399,3
0,0	79,0	355,0	8,0	70,2	1828,6	18,0	78,3	400,3
0,0	78,3	373,9	8,0	68,6	2413,8	18,0	77,6	401,3
0,0	77,6	543,8	8,0	67,1	2863,7	18,0	76,9	572,9
0,0	77,0	667,1	8,0	65,6	3279,5	18,0	76,2	986,5
0,0	76,3	1176,2	8,0	64,1	3279,5	18,0	74,7	1142,2
0,0	74,8	1313,1	10,0	80,0	352,2	18,0	73,2	1344,5
0,0	73,3	1361,7	10,0	79,7	372,7	18,0	71,6	1570,7
0,0	71,7	1829,1	10,0	79,0	374,9	18,0	70,1	1648,2
0,0	70,2	2483,9	10,0	78,3	376,4	18,0	68,5	2592,0
0,0	68,7	2751,7	10,0	77,6	485,8	18,0	67,0	2955,0
0,0	67,2	3290,3	10,0	76,9	797,4	18,0	65,5	3242,5
0,0	65,7	3328,4	10,0	76,3	981,4	18,0	63,9	3256,9
0,0	64,2	3328,4	10,0	74,7	1169,8	20,0	80,0	351,8
2,0	80,0	351,8	10,0	73,2	1378,5	20,0	79,7	376,9
2,0	79,7	362,8	10,0	71,7	1609,3	20,0	79,0	381,2
2,0	79,0	366,4	10,0	70,1	1731,7	20,0	78,3	382,6
2,0	78,3	384,2	10,0	68,6	2467,3	20,0	77,6	387,1
2,0	77,6	596,7	10,0	67,1	2824,4	20,0	76,9	525,5
2,0	77,0	750,8	10,0	65,6	3251,4	20,0	76,2	955,6
2,0	76,3	1031,5	10,0	64,0	3268,9	20,0	74,7	1123,3
2,0	74,8	1204,0	12,0	80,0	353,4	20,0	73,1	1308,5
2,0	73,3	1317,0	12,0	79,7	387,3	20,0	71,6	1534,9
2,0	71,7	1700,2	12,0	79,0	390,2	20,0	70,1	1630,1
2,0	70,2	2174,5	12,0	78,3	391,5	20,0	68,5	2472,3
2,0	68,7	2465,5	12,0	77,6	448,2	20,0	67,0	2937,4
2,0	67,2	3179,1	12,0	76,9	753,9	20,0	65,4	3260,7
2,0	65,7	3328,4	12,0	76,3	994,7	20,0	63,9	3264,6
2,0	64,1	3328,4	12,0	74,7	1169,6	22,0	80,0	353,5
4,0	80,0	364,2	12,0	73,2	1399,4	22,0	79,7	365,3
4,0	79,7	371,0	12,0	71,7	1659,3	22,0	79,0	368,1
4,0	79,0	373,1	12,0	70,1	1704,1	22,0	78,3	369,8
4,0	78,3	385,7	12,0	68,6	2541,6	22,0	77,6	387,1
4,0	77,6	606,4	12,0	67,1	2832,9	22,0	76,9	511,3
4,0	77,0	823,1	12,0	65,5	3233,3	22,0	76,2	914,7
4,0	76,3	936,9	12,0	64,0	3268,9	22,0	74,7	1081,9
4,0	74,8	1122,7	14,0	80,0	368,0	22,0	73,1	1264,7
4,0	73,2	1298,8	14,0	79,7	401,9	22,0	71,6	1510,6
4,0	71,7	1631,8	14,0	79,0	403,8	22,0	70,0	1600,6
4,0	70,2	2034,7	14,0	78,3	404,8	22,0	68,5	2310,7
4,0	68,7	2380,4	14,0	77,6	425,1	22,0	66,9	2888,6
4,0	67,2	3048,7	14,0	76,9	696,8	22,0	65,4	3278,1
4,0	65,6	3324,2	14,0	76,2	998,2	22,0	63,9	3279,1
4,0	64,1	3324,2	14,0	74,7	1152,7	24,0	80,0	364,1
6,0	80,0	372,3	14,0	73,2	1383,9	24,0	79,7	367,2
6,0	79,7	373,8	14,0	71,6	1668,3	24,0	79,0	370,0
6,0	79,0	374,8	14,0	70,1	1696,0	24,0	78,3	371,3
6,0	78,3	379,6	14,0	68,6	2624,0	24,0	77,6	423,9
6,0	77,6	574,7	14,0	67,0	2869,2	24,0	76,9	547,2
6,0	77,0	847,4	14,0	65,5	3227,2	24,0	76,2	880,5
6,0	76,3	916,6	14,0	64,0	3266,8	24,0	74,7	1041,1
6,0	74,8	1104,5	16,0	80,0	374,9	24,0	73,1	1247,2
6,0	73,2	1305,8	16,0	79,7	405,6	24,0	71,6	1507,8
6,0	71,7	1589,8	16,0	79,0	407,2	24,0	70,0	1568,0
6,0	70,2	1952,7	16,0	78,3	408,2	24,0	68,5	2112,8
6,0	68,7	2377,3	16,0	77,6	412,8	24,0	66,9	2811,9
6,0	67,1	2945,0	16,0	76,9	633,0	24,0	65,4	3292,2
6,0	65,6	3307,6	16,0	76,2	998,4	24,0	63,8	3295,8
6,0	64,1	3307,6	16,0	74,7	1146,8	26,0	80,0	368,3
8,0	80,0	364,8	16,0	73,2	1362,1	26,0	79,7	369,7
8,0	79,7	370,6	16,0	71,6	1622,8	26,0	79,0	373,8
8,0	79,0	371,8	16,0	70,1	1674,1	26,0	78,3	374,8
8,0	78,3	373,0	16,0	68,6	2651,8	26,0	77,6	500,0
8,0	77,6	530,6	16,0	67,0	2922,2	26,0	76,9	626,4
8,0	76,9	829,2	16,0	65,5	3230,5	26,0	76,2	866,6
8,0	76,3	947,4	16,0	63,9	3260,5	26,0	74,7	1030,6
8,0	74,7	1135,4	18,0	80,0	364,8	26,0	73,1	1257,0

X (m)	Y (m)	V (m/s)	X (m)	Y (m)	V (m/s)	X (m)	Y (m)	V (m/s)
26,0	71,6	1520,3	36,0	78,3	552,7	44,0	66,7	2080,5
26,0	70,0	1564,0	36,0	77,6	790,4	44,0	65,1	3015,2
26,0	68,5	1930,1	36,0	76,9	822,0	44,0	63,6	3328,4
26,0	66,9	2698,4	36,0	76,2	904,1	46,0	80,0	347,3
26,0	65,4	3298,2	36,0	74,6	1128,2	46,0	79,6	347,3
26,0	63,8	3313,8	36,0	73,0	1359,4	46,0	78,9	347,3
28,0	80,0	373,3	36,0	71,5	1536,7	46,0	78,2	602,2
28,0	79,7	374,5	36,0	69,9	1612,3	46,0	77,5	686,5
28,0	79,0	377,0	36,0	68,4	1630,7	46,0	76,8	788,8
28,0	78,3	378,0	36,0	66,8	2190,3	46,0	76,1	889,7
28,0	77,6	593,7	36,0	65,2	3055,4	46,0	74,6	1070,1
28,0	76,9	727,1	36,0	63,7	3328,4	46,0	73,0	1276,1
28,0	76,2	878,3	38,0	80,0	350,0	46,0	71,4	1524,9
28,0	74,6	1044,8	38,0	79,7	355,2	46,0	69,8	1524,9
28,0	73,1	1285,4	38,0	79,0	355,6	46,0	68,3	1562,1
28,0	71,5	1527,1	38,0	78,3	610,5	46,0	66,7	2080,5
28,0	70,0	1584,5	38,0	77,6	762,5	46,0	65,1	3035,0
28,0	68,4	1809,9	38,0	76,9	782,2	46,0	63,5	3328,4
28,0	66,9	2588,6	38,0	76,2	874,4			
28,0	65,3	3278,2	38,0	74,6	1104,0			
28,0	63,8	3325,5	38,0	73,0	1378,5			
30,0	80,0	382,4	38,0	71,5	1529,2			
30,0	79,7	383,4	38,0	69,9	1565,2			
30,0	79,0	384,4	38,0	68,3	1594,3			
30,0	78,3	394,9	38,0	66,8	2123,8			
30,0	77,6	684,0	38,0	65,2	3023,9			
30,0	76,9	806,6	38,0	63,6	3328,4			
30,0	76,2	905,3	40,0	80,0	354,9			
30,0	74,6	1071,9	40,0	79,7	359,1			
30,0	73,1	1315,0	40,0	79,0	359,9			
30,0	71,5	1533,3	40,0	78,3	641,4			
30,0	70,0	1612,8	40,0	77,6	713,7			
30,0	68,4	1752,5	40,0	76,9	737,4			
30,0	66,9	2505,1	40,0	76,2	865,8			
30,0	65,3	3227,0	40,0	74,6	1088,2			
30,0	63,7	3328,4	40,0	73,0	1389,1			
32,0	80,0	377,5	40,0	71,5	1518,9			
32,0	79,7	381,9	40,0	69,9	1528,9			
32,0	79,0	382,8	40,0	68,3	1570,3			
32,0	78,3	432,1	40,0	66,7	2088,8			
32,0	77,6	756,1	40,0	65,2	3015,2			
32,0	76,9	837,3	40,0	63,6	3328,4			
32,0	76,2	929,3	42,0	80,0	354,6			
32,0	74,6	1105,7	42,0	79,7	355,9			
32,0	73,1	1327,9	42,0	79,0	356,6			
32,0	71,5	1544,7	42,0	78,3	633,7			
32,0	70,0	1645,3	42,0	77,6	675,2			
32,0	68,4	1724,6	42,0	76,9	723,7			
32,0	66,8	2406,0	42,0	76,2	882,3			
32,0	65,3	3165,2	42,0	74,6	1089,6			
32,0	63,7	3328,4	42,0	73,0	1378,1			
34,0	80,0	358,7	42,0	71,4	1507,2			
34,0	79,7	366,3	42,0	69,9	1507,2			
34,0	79,0	366,9	42,0	68,3	1562,1			
34,0	78,3	488,1	42,0	66,7	2080,5			
34,0	77,6	791,4	42,0	65,2	3015,2			
34,0	76,9	839,2	42,0	63,6	3328,4			
34,0	76,2	930,2	44,0	80,0	349,6			
34,0	74,6	1131,1	44,0	79,7	349,9			
34,0	73,1	1339,2	44,0	78,9	350,1			
34,0	71,5	1546,6	44,0	78,3	611,8			
34,0	69,9	1651,2	44,0	77,6	673,4			
34,0	68,4	1681,2	44,0	76,8	757,0			
34,0	66,8	2287,6	44,0	76,2	896,0			
34,0	65,3	3106,7	44,0	74,6	1086,2			
34,0	63,7	3328,4	44,0	73,0	1332,2			
36,0	80,0	348,1	44,0	71,4	1512,4			
36,0	79,7	353,9	44,0	69,8	1512,4			
36,0	79,0	354,2	44,0	68,3	1562,1			



## PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P

Località: Anchiano (Borgo a Mozzano)

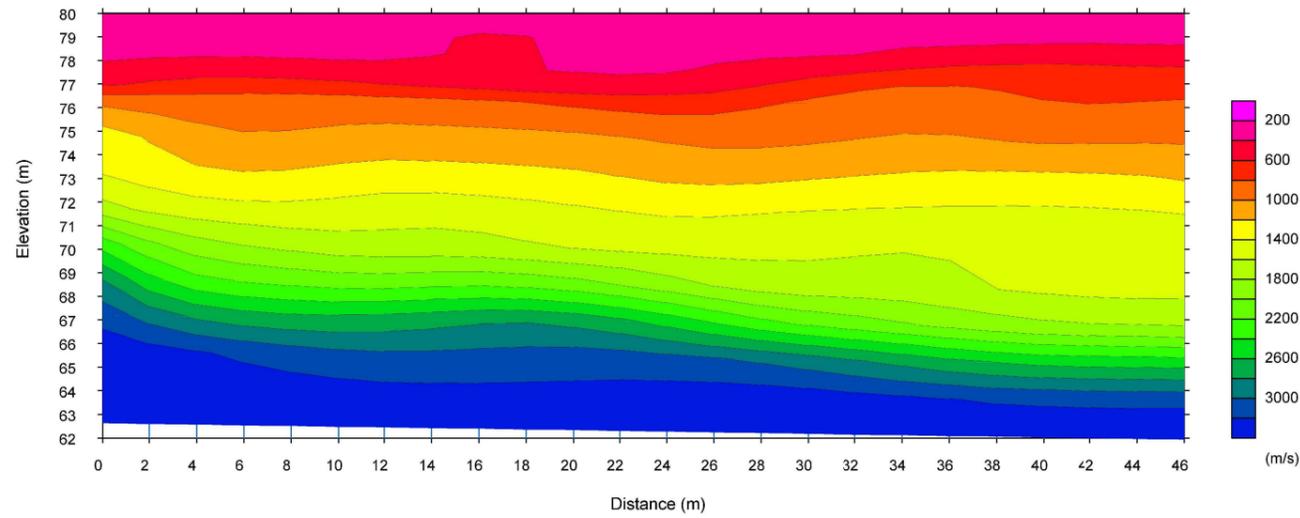
Committente: Geol. Pieroni Miliana

Cantiere: Intervento viabilità S.S. Brennero

### Sismogrammi

**All. 4**

Dicembre 2013



Modello tomografico 2D - Velocità sismiche dei terreni in scala 1:300

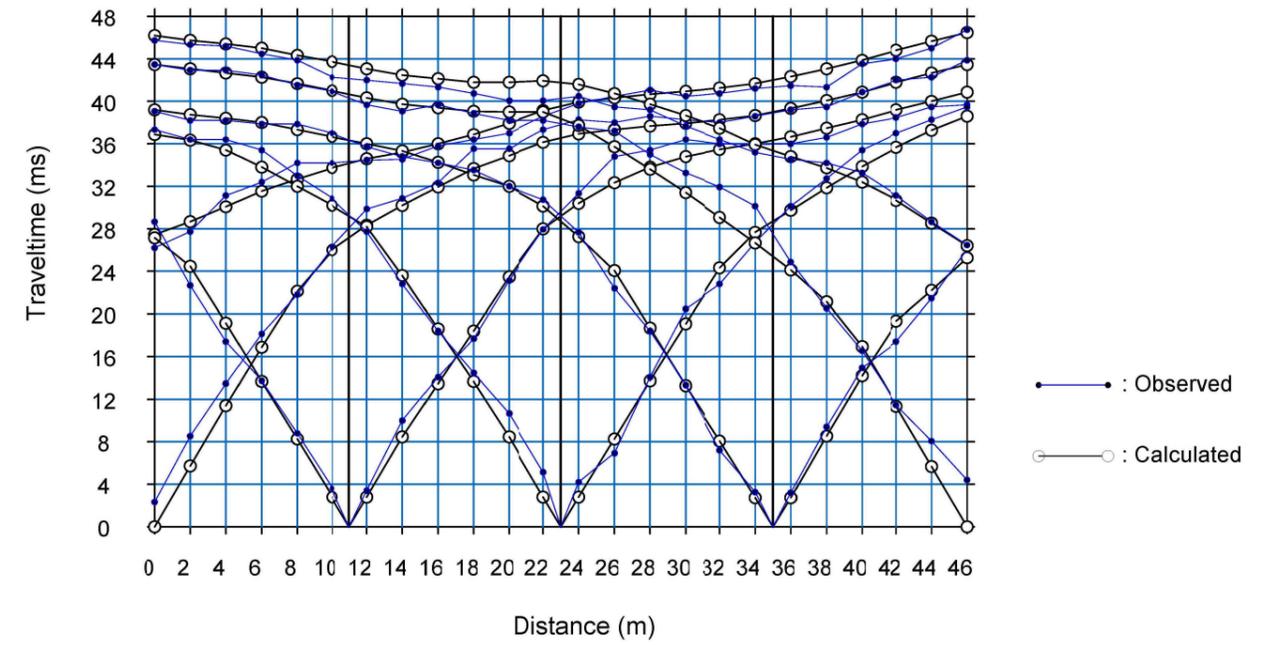
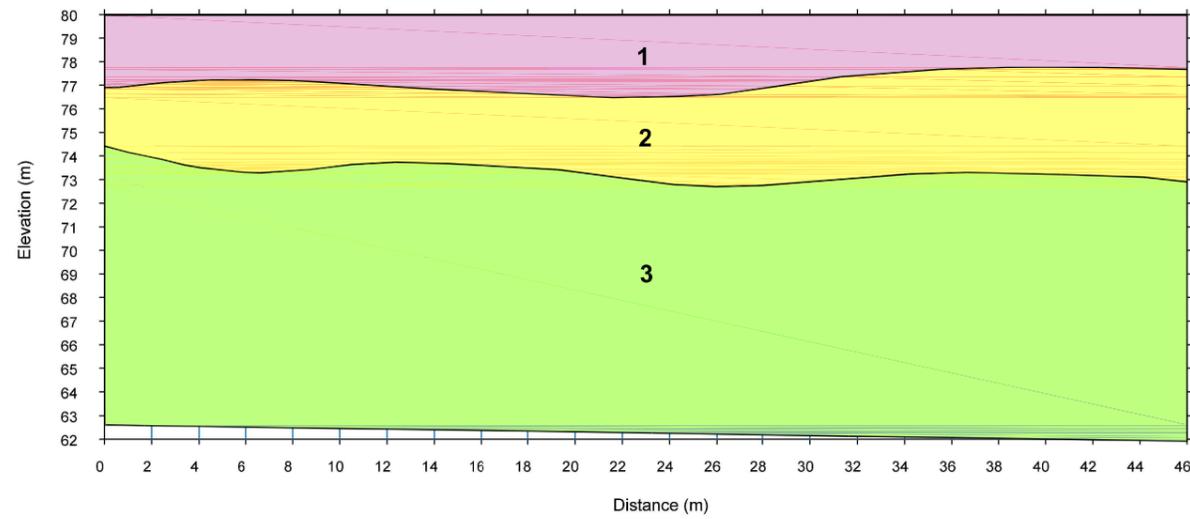
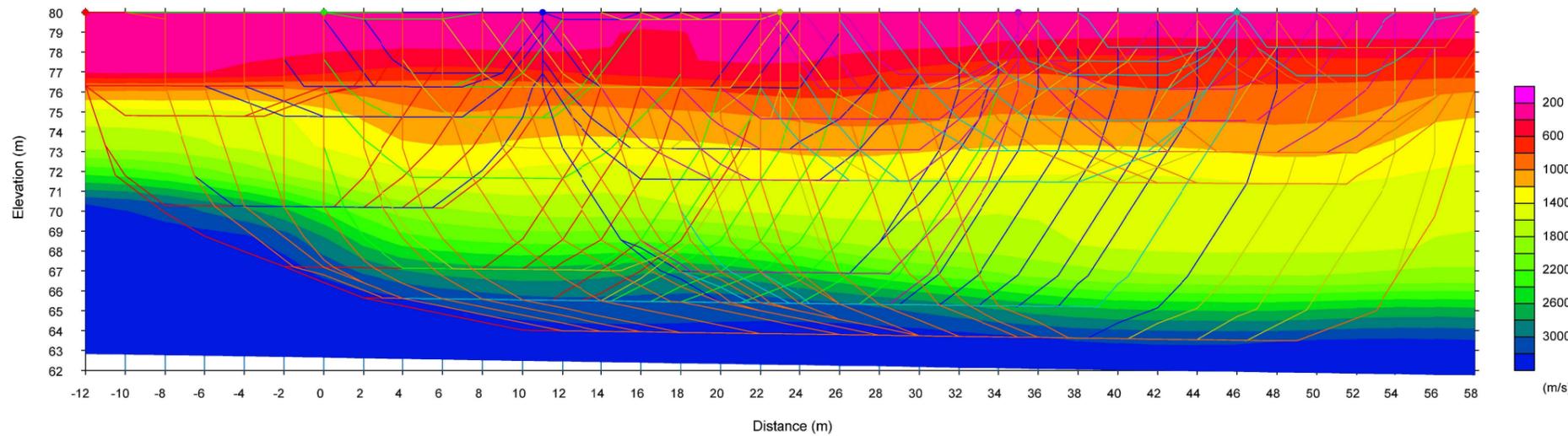


Grafico delle domocrone misurate e calcolate in scala 1:400



- 1** Suolo e depositi alluvionali più fini superficiali (sabbie sciolte/poco addensate con rari ciottoli)
- 2** Depositati alluvionali da poco a mediamente addensati (sabbie con livelli di ghiaie e ciottoli diffusi eterometrici)
- 3** Depositati alluvionali grossolani ben addensati (ghiaie e ciottoli eterometrici embricati in matrice sabbiosa-limoso) e/o substrato litoide in profondità

Sezione sismostratigrafica in scala 1:300



Modello tomografico esteso - Percorso dei raggi in scala 1:300

<b>PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P</b>	
Località: Anchiano (Borgo a Mozzano)	
Committente: Dott. Geol. Miliana Pieroni	
Cantiere: Intervento viabilità S.S. Brennero	
<b>SEZIONE SISMICA ST1</b>	
<b>AII. 4</b>	Dicembre 2013

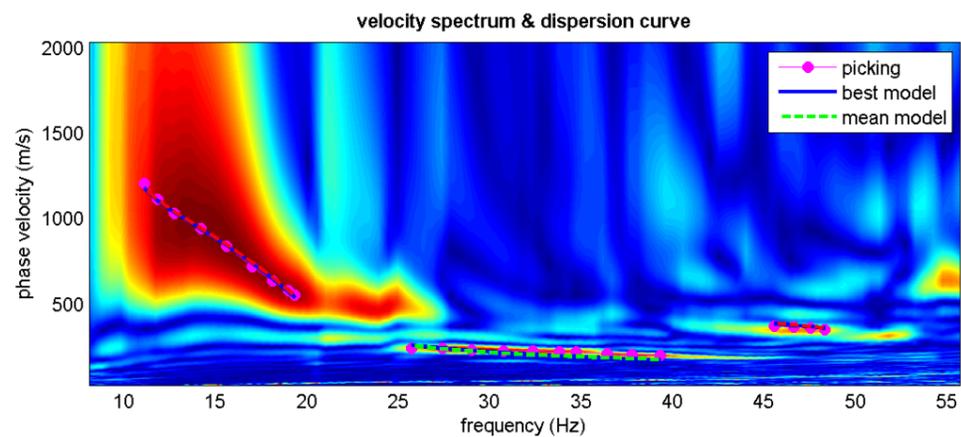


Figura 1 – Spettro di velocità calcolato

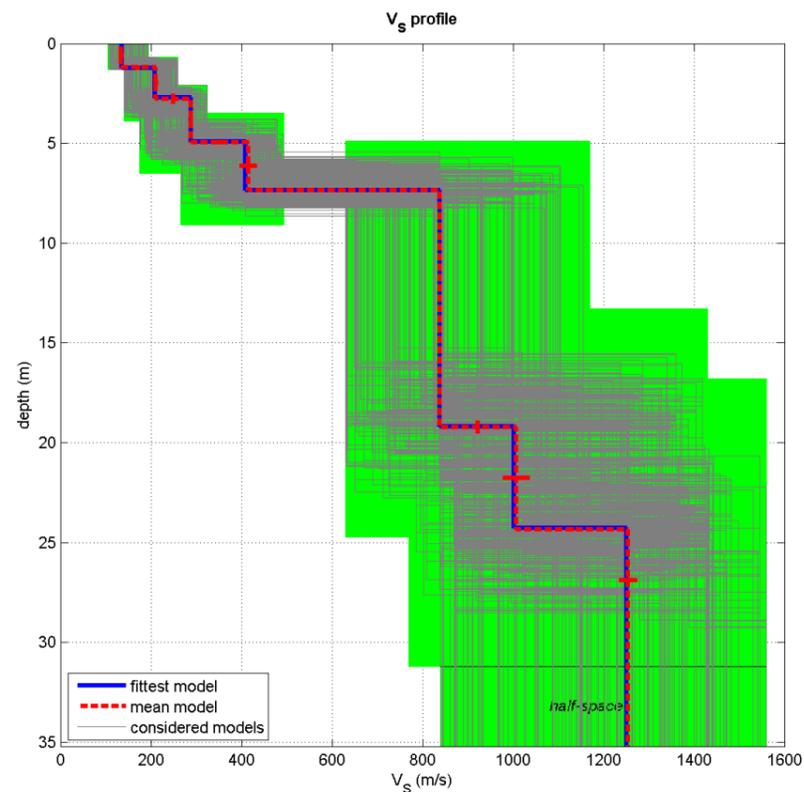


Figura 2 - Profilo verticale delle velocità

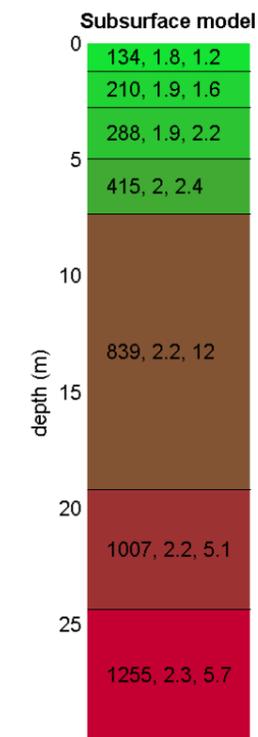


Figura 3 - Colonna stratigrafica:  
Vs (m/s) – densità (gr/cm<sup>3</sup>) – spessore (m)

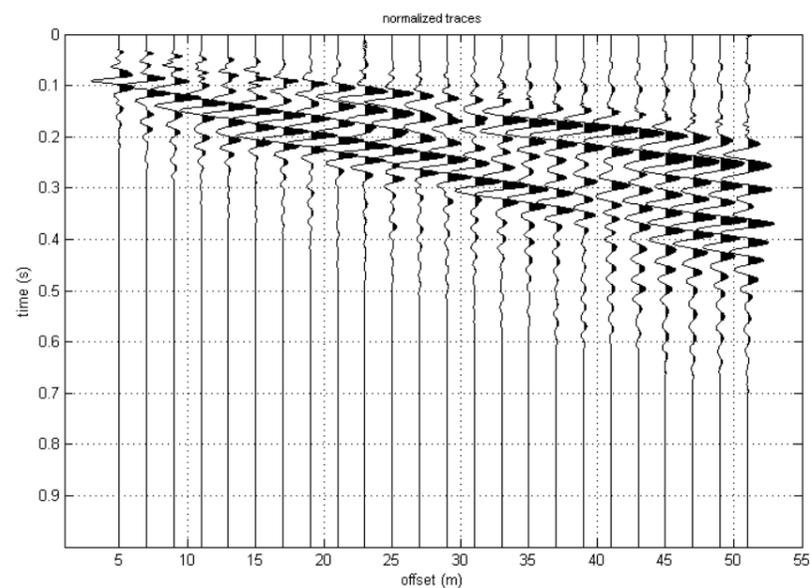


Figura 4 - Sismogramma



Figura 5 - Zona di esecuzione della prova sismica MASW

Da Prof. (m)	A Prof. (m)	Spessore (m)	Vs (m/sec)	Vs <sub>x</sub> (m/sec)	Densità (gr/cm <sup>3</sup> )	Modulo di taglio (MPa)
0.0	1.2	1.2	134	134	1.76	32
1.2	2.8	1.6	210	169	1.87	83
2.8	5.0	2.2	288	206	1.93	160
2.4	7.4	2.4	415	247	2.02	347
11.9	19.3	11.9	839	437	2.18	1535
5.1	24.4	5.1	1007	495	2.24	2268
10.6	35.0	10.6	1255	607	2.26	3566

## PROVA SISMICA MASW

Località: Anchiano (Borgo a Mozzano)

Committente: Dott. Geol. Miliana Pieroni

Cantiere: Intervento viabilità S.S.Brennero

## Sezione sismica M1

**All. 5**

Dicembre 2013

Allegato 6: Documentazione fotografica



**Figura 1** – Prova penetrometrica dinamica superpesante P1 (12.08.2010)



**Figura 2** – Stendimento sismico ST1 - M1