

STUDIO DI GEOLOGIA
DOTT. GIORGIO FRASSINETI
C.F. FRSGRG64P29D704G
P.I. 02313290401

47016, PREDAPPIO, VIALE MATTEOTTI, 57
CELL 348 2243077
E-mail frassinetigio@libero.it

COMUNE DI RAVENNA
PROVINCIA DI RAVENNA

RELAZIONE GEOLOGICA
RELATIVA AD UN'AREA FRA LE VIE DEL PINO,
CINQUANTASEI MARTIRI E DEI COTOGNI A SUD
DELL'ABITATO DI RAVENNA, IN LOCALITÀ
PONTENUOVO

MAGGIO 2009

LOCALITA': PONTENUOVO - RAVENNA



PREMESSA

La presente relazione è stata commissionata allo scrivente allo scopo di verificare, sulla scorta delle situazioni geologiche e geomorfologiche locali, le eventuali problematiche e limiti fisici connessi alla realizzazione di un edificio scolastico a Pontenuovo di Ravenna.

A tale fine è stata predisposta una campagna di indagini geognostiche finalizzata alla conoscenza delle caratteristiche meccaniche e stratigrafiche sottosuolo dell'area indagata. In particolare si sono eseguiti:

- un sondaggio a carotaggio continuo (S1) che è stato poi attrezzato per l'esecuzione di una prova Down-Hole.
- due prove penetrometriche statiche (CPTE1 e 2)
- una prova Down-Hole
- una indagine con tromografo sismico (TROMINO[®])

Durante l'esecuzione del sondaggio si è anche proceduto al prelievo di un campione indisturbato SHELBY da sottoporre ad analisi di laboratorio.

ALLEGATI

In coda alla relazione si trasmettono:

- Inquadramento corografico alla scala 1:25.000
- Inquadramento topografico alla scala 1:5.000
- Ortofotocarta alla scala 1:2.000 della Regione Emilia Romagna (AGEA 2008)
- Planimetria dell'area con ubicazione delle prove e traccia della sezione
- Sezione geologica
- Stratigrafia rilevata nel sondaggio S1
- Esiti delle prove penetrometriche
- Esiti delle prove di laboratorio
- Esito della prova eseguita con tromografo sismico

In allegato (esterno) alla presente si trasmette l'elaborato:

- "Esecuzione di n°1 prove Down Hole a 30 m per la valutazione della risposta sismica e la determinazione della Vs30"

recante gli esiti della prova eseguita nel sondaggio S1.

INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

L'area di intervento è individuabile nella porzione occidentale del centro abitato di Pontenuovo (Comune di Ravenna) ed è delimitata, verso ovest, nord ed est dalle vie Del Pino, 56 Martiri e dei Cotogni mentre, verso sud, confina con altre proprietà.



Ortofotocarta AGEA 2008 con individuazione dell'area di indagine – Fonte Regione Emilia-Romagna

Sulle cartografie ufficiali della Regione Emilia-Romagna la zona è individuabile sulla Tavoletta (alla scala 1:25.000) 223 NE e, ad una scala maggiore, sulla Sezione (scala 1:10.000) 223030 e sull'Elemento (1:5000) 223031.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area urbana di Pontenuovo è situata nel margine sud-orientale della Pianura Padana (bassa pianura emiliano-romagnola) nella porzione sud del centro urbano di Ravenna.

La morfologia del territorio è alquanto regolare e, se si eccettuano gli argini artificiali che si elevano per alcuni metri sui terreni circostanti, subpianeggiante con una lievissima pendenza verso mare.

I depositi che costituiscono la pianura padana sono il risultato dello riempimento del bacino di avanfossa plio-quadernaria compreso fra la catena appenninica e quella alpina.

I caratteri generali del sottosuolo della pianura e dei depositi presenti sono stati ampiamente studiati e documentati da indagini condotte dall'AGIP che hanno messo in evidenza come lo spessore delle unità quadernarie sia di 1000 – 1500 metri.

Nella carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000 (Foglio 223 – Ravenna) redatta nel 1999 è stato introdotto, per catalogare i depositi di pianura, il concetto di unità allostratigrafica, definita come *"corpo stratificato mappabile di rocce sedimentarie, definito e identificato sulla base delle discontinuità che lo limitano"*.

UNITÀ STRATIGRAFICHE		SEQUENZE DEPOSIZIONALI	ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE		
					GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO	SISTEMA ACQUIFERO
ALLOGRUPPO EMILIANO-ROMAGNOLA	ALLOFORMAZIONE EMILIANO-ROMAGNOLA SUPERIORE	Qc	~0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE-DIOCENE	A	A1	
						A2	
						A3	
						A4	
	ALLOFORMAZIONE EMILIANO-ROMAGNOLA INFERIORE	Qc ₁	~0.35-0.45	PLEISTOCENE MEDIO	B	B1	
			B2				
			B3				
			B4				
SABBIE DI IVOLA		Qm	~0.65		C	C1	
							C2
GRUPPO DEL SANTERNO			~0.6	PLEISTOCENE INFERIORE		C3	
			~1.0			C4	
			~2.2			C5	
			~3.3-3.6				
			~3.9				
				PLEISTOCENE MEDIO-SUPERIORE			
				PLEISTOCENE INFERIORE MIOCENE			
					ACQUEDOTTO BASALE		

Superficie di discontinuità principale

Superficie di discontinuità minore

Superficie di discontinuità principale

Superficie di discontinuità minore

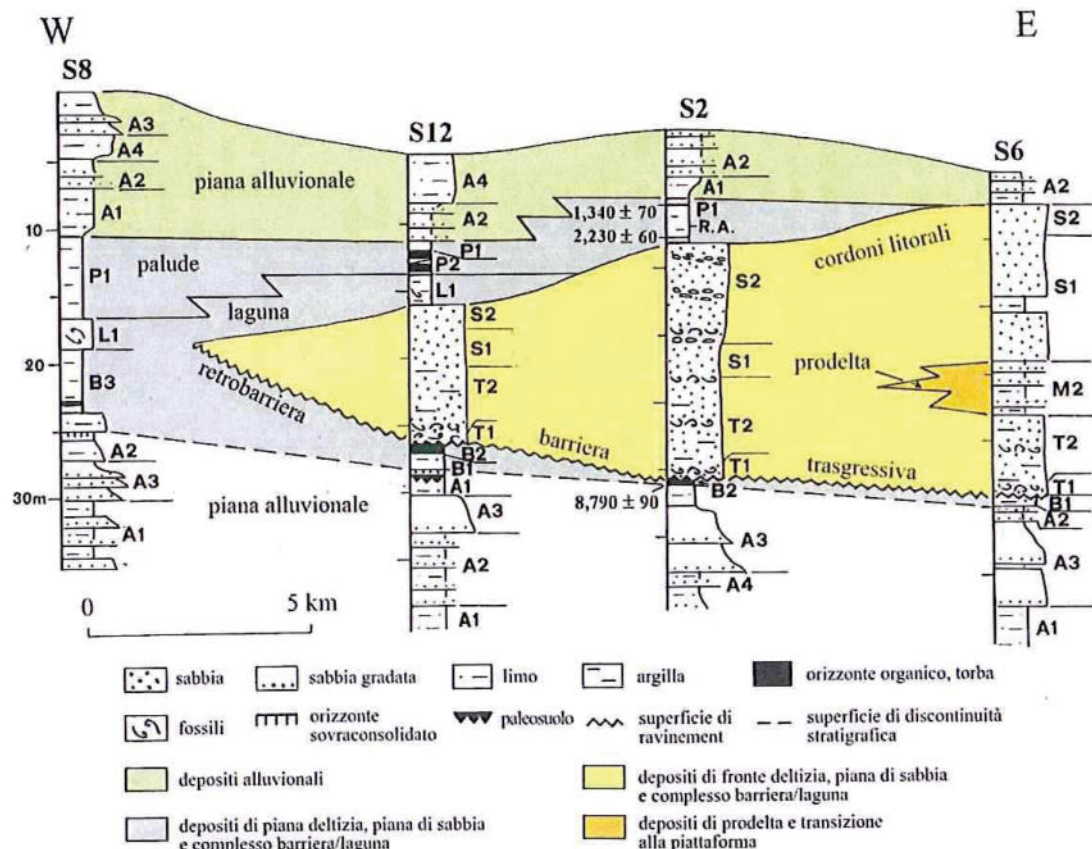
Schema stratigrafico dei depositi plio-quadernari del bacino padano

In questo contesto i depositi presenti in questo settore della pianura padana sono stati indicati come Allogrupo Emiliano – Romagnolo (ex ciclo Qc di Ricci Lucchi et al., 1982) e suddivisi in due distinte unità:

- *Alloformazione Emiliano Romagnola inferiore*
- *Alloformazione Emiliano Romagnola superiore.*

All'interno di quest'ultima sono presenti più cicli deposizionali di rango inferiore (*allounità*) caratterizzati da una alternanza continua di depositi marini e continentali.

Nell'area ravennate, anche a causa della mancanza di rilievo, si rinviene in affioramento solamente l'allomembro più recente (*Allomembro di Ravenna* di età olocenica) dell'Alloformazione Emiliano Romagnola superiore.



Stratigrafia dell'allomembro di Ravenna nel settore meridionale del Foglio 223 Ravenna. Servizio geologico d'Italia, Roma, 1999.

L'architettura deposizionale dell' Allomembro di Ravenna è stata descritta in dettaglio da Amorosi et al. (1999) che hanno individuato nell'ambito di questa unità differenti associazioni di *facies*. Le "unità" presenti nell'area di indagine, individuabili nella porzione orientale della sezione della pagina precedente (dintorni del sondaggio S2 in figura), sono brevemente descritte nel seguito.

Depositi di piana alluvionale (Associazione di facies A)

Corrispondono alla parte sommitale dell'allomembro di Ravenna per uno spessore compreso tra i 2 e gli 11 m. Sono rappresentati da 4 differenti *litofacies*:

- A1 - argille, argille limose e limi argillosi con abbondante materiale organico
- A2 – alternanza di limi e sabbie o limi e argille
- A3 – sabbie in sequenza positiva (*fining upward*)

- A4 – livelletti di sabbie in sequenza negativa (*coarsening upward*) e alternanze di sabbie e limi

Questi depositi, che corrispondono alla attuale piana alluvionale romagnola, sovrastano con contatto graduale depositi palustri (Associazione di *facies* P) o con contatto netto sabbie di cordone litorale (Associazione di *facies* S). Sulla base di analisi al radiocarbonio l'età di tali depositi è risultata successiva a 1235 anni B.P.

Depositi di palude salmastra (Associazione di facies P)

Unità caratterizzata da geometrie cuneiformi e lenticolari con spessore massimo di 8 m, nelle zone più interne del territorio, è costituita prevalentemente da argille con abbondanti frammenti di legno e resti vegetali (*litofacies* P1) o da argille nere e torbe con spessori medi di 1,5m (*litofacies* P2). Le associazioni di *facies* P presentano contatti transizionali sia con i sottostanti depositi di laguna (Associazione di *facies* L) che con i sovrastanti sedimenti di piana alluvionale (Associazione di *facies* A). Sempre sulla base di analisi al radiocarbonio l'età di tali depositi è compresa tra 1340 e 2230 anni B.P.

Depositi di laguna (Associazione di facies L)

Unità a geometria cuneiforme che chiude verso mare costituita da argille e argille limose fossilifere grigie prossimali (*litofacies* L1) o dall'alternanza di sottili strati di sabbie e argille grigie (*litofacies* L2). Questa associazione di *facies* sovrasta con contatto netto i depositi di cordone litorale (Associazione di *facies* S) e passa gradualmente, verso l'alto ai Depositi di palude salmastra (Associazione di *facies* P). Nelle zone più interne sovrasta direttamente altri depositi di laguna più antichi (Associazione di *facies* B).

Depositi di cordone litorale (Associazione di facies S)

Unità arealmente molto estesa di spessore di 5-15 m con geometria cuneiforme che chiude verso terra. L'unità è costituita sabbie fini e finissime fossilifere grigie (*litofacies* S1) sovrastata da sabbie da fini a grossolane con locale presenza di ghiaie (*litofacies* S2). Nelle aree interne sono presenti sabbie limose e limi sabbiosi con resti vegetali (*litofacies* S3).

Questa associazione di *facies* sovrasta con contatto graduale i depositi trasgressivi di barriera (Associazione di *facies* T) o le argille di prodelta (Associazione di *facies* M) mentre è sormontata con contatto netto dalle associazioni di *facies* A, P e L.

Depositi di barriera trasgressiva (Associazione di facies T)

Unità costituita da un orizzonte conchigliare di 5-30 cm di spessore dotato di una debole pendenza verso mare (*litofacies* T1) che passa verticalmente a sabbie fini o finissime fossilifere (di spessore di circa 2m) con locali intercalazioni argillose (*litofacies* T2).

Questa associazione di *facies* sovrasta con contatto netto ed erosivo i limi e le argille di retrobarra (Associazione di *facies* B) mentre è sormontata con contatto generalmente graduale da depositi di prodelta (Associazione di *facies* M) o di cordone litorale (Associazione di *facies* S).

Carta geologica dell'area di indagine – scala grafica – AES8a Subsistema emiliano romagnolo superiore, Unità di Modena

INDAGINI GEOGNOSTICHE

La stratigrafia e le principali caratteristiche geomeccaniche dei terreni presenti nel sottosuolo dell'ambito sono state investigate attraverso due prove penetrometriche statiche (CPTU 1 e 2) spinte rispettivamente a 19,6 e 30 metri dal p.c. ed un sondaggio a carotaggio continuo (n° 1) spinto fino a 30 metri di profondità.

Prove penetrometriche

Le prove CPTU sono state eseguite con un penetrometro con punta elettrica e piezocono, montato su un cingolato.

L'utilizzo di questo tipo di attrezzatura consente la misura "in continuo" (ogni 2 cm di profondità) delle resistenze all'avanzamento "di punta e laterale" (Q_c e f_s) offerte dal terreno nonché la misura delle pressioni interstiziali.

La stratigrafia dei terreni attraversati da una prova di questo tipo può essere ottenuta per mezzo delle relazioni sperimentali esistenti. Nel caso specifico la stratigrafia è interpretata con la metodologia proposta da Robertson (1990).

Per l'interpretazione della prova ci si è basati sul seguente diagramma bilogarithmico:

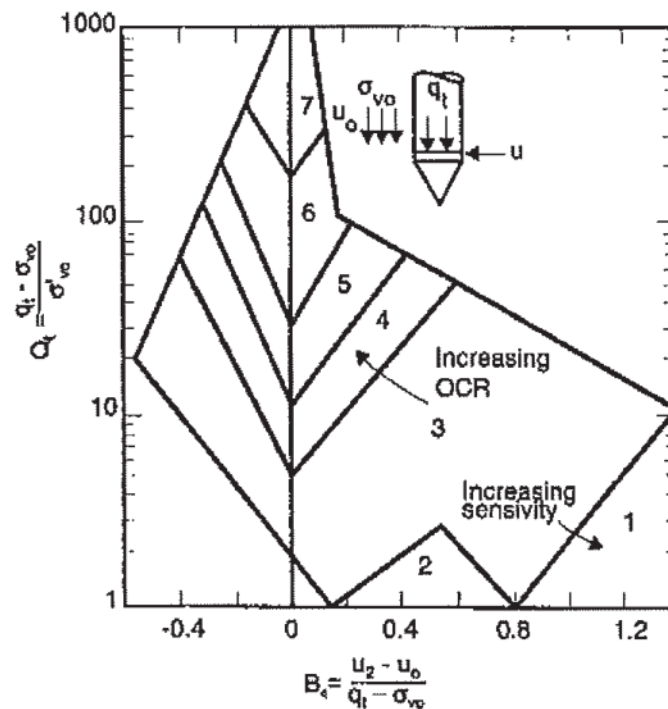


Grafico Q_c-B_q utilizzato per l'interpretazione della successione stratigrafica attraversata: 9=Terreni molto duri a grana fine, 8=Sabbia molto densa e sabbia argillosa, 7=Sabbia ghiaiosa - Sabbia densa, 6=Sabbia - Sabbia limosa, 5=Sabbia limosa - Limo sabbioso, 4=Limo argilloso - Argilla limosa, 3=Argilla limosa - Argilla, 2=Torba, 1=Terreni fini sensitivi.

Anche i principali parametri geotecnici dei terreni attraversati possono essere ottenuti attraverso varie correlazioni reperibili nella letteratura tecnica.

In particolare vengono stimati:

- la coesione non drenata (c_u) e il grado di sovraconsolidazione (OCR) per i livelli coesivi

- l'angolo di attrito (Φ°) e la densità relativa (D_r) per i livelli granulari.

Gli esiti delle prove eseguite, la successione stratigrafica corrispondente e le principali caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati sono trasmessi sugli elaborati in allegato.

La prova CPTU1 ha attraversato, dalla profondità di circa 15 metri dal p.c. fino ai 19,6 metri ai quali ha ceduto l'ancoraggio, un orizzonte di sabbie di cordone litorale estremamente addensate, e parzialmente cementate, caratterizzato da valori di R_p spesso superiori a 100 kg/cmq, talora superiori a 200 kg/cmq.

Sondaggio n°1

Il Sondaggio n°1 è stato eseguito in data 07/04/2009 con sonda CMV 420 MK in grado di montare un carotiere da 101 mm. Il sistema di perforazione è a rotazione con circolazione diretta di fluido di perforazione (acqua o, saltuariamente, per fornire un certo sostegno alle pareti del foro; acqua con aggiunta di polimeri).

L'avanzamento del carotiere è stato accompagnato da rivestimento da 127 mm. La perforazione ha raggiunto i 30 metri di profondità e dai 3,00 ai 3,50 m dal p.c. è stato prelevato un campione SHELBY.

Il materiale recuperato è stato posto all'interno di 6 cassette catalogatrici.

La successione stratigrafica rilevata è rappresentata sull'elaborato grafico allegato unitamente agli esiti delle prove eseguite con il Pocket Penetrometer.

Da segnalare il rinvenimento dai 3,5 ai 4,6 m dal p.c. di materiale fittile, frammisto a ghiaie e laterizi e resti conchigliari.

Al termine della perforazione si è proceduto al completamento del pozzo per l'esecuzione della prova *Down Hole* cementando, all'interno del foro di sondaggio, un tubo cieco in PVC.

L'installazione è stata protetta, in superficie con un chiusino lucchettabile in metallo.

Fra il completamento del pozzo e l'esecuzione della prova *Down Hole* è stato lasciato passare un certo periodo di tempo per consentire al terreno (in particolare nei livelli più argillosi) di "assestarsi" per meglio aderire all'insieme cemento- tubazione

L'ubicazione del sondaggio è riportata sulla planimetria allegata.



Cassetta catalogatrice sondaggio S1 da 1 a 5 metri



Cassetta catalogatrice sondaggio S1 da 5 a 10 metri



Cassetta catalogatrice sondaggio S1 da 10 a 15 metri



Cassetta catalogatrice sondaggio S1 da 15 a 20 metri



Cassetta catalogatrice sondaggio S1 da 20 a 25 metri



Cassetta catalogatrice sondaggio S1 da 25 a 30 metri

PROVE DI LABORATORIO

Le analisi di laboratorio sono state eseguite sul campione SHELBY prelevato, durante l'esecuzione del sondaggio n°1, dai 3,00 ai 3,50 m dal p.c.

Queste analisi hanno permesso di ottenere i valori delle caratteristiche fisico meccaniche dei terreni prelevati.

In allegato si riportano i risultati delle analisi effettuate che contengono, oltre alle proprietà indice di più immediata determinazione quali:

- Contenuto d'acqua
- Peso di volume umido
- Peso di volume secco
- Peso specifico
- Indice dei vuoti
- Grado di saturazione
- Limite liquido
- Limite plastico
- Indice di plasticità
- Indice di consistenza

anche i risultati di analisi granulometriche, prove edometriche e prove di taglio diretto (i cui elaborati sono riportati in allegato).

PROVE GEOFISICHE

Il sondaggio n°1 è stato attrezzato per l'esecuzione di una prova *Down Hole* eseguita in data 15/04/2009.

Attrezzatura, modalità di esecuzione ed esiti della prova sono trasmessi nell'allegato:

- "Esecuzione di n°1 prove *Down Hole* a 30 m per la valutazione della risposta sismica e la determinazione della V_{s30} ",

che ha consentito di stimare la V_{s30} pari a 173,4 m/s per cui il terreno di fondazione appartiene alla categoria D.

Nell'area, ubicato come da planimetria allegata, si è anche proceduto alla realizzazione di una prova con tromografo sismico (TROMINO) che sarà brevemente descritta (cenni teorici, procedimenti esecutivi e analitici, discussione dei risultati) nel relativo paragrafo.

STRATIGRAFIA MEDIA DELL'AMBITO

Le prove eseguite sono state ubicate con precisione nel corso del rilievo piano altimetrico dell'area (vedi planimetria 1:500 allegata).

In base agli esiti delle prove si è ricostruita la sezione geologica AA' (in allegato) che mostra la seguente stratigrafia media rappresentativa:

	Da m	A m	Descrizione	Phi°	Dr	Cu	OCR
Livello 1	p.c.	6,0	Argille molli caratterizzate da valori di resistenza alla punta estremamente contenuti (fino a minimi di circa 3 kg/cmq)	-	-	0,3-0,5	-
Livello 2	6,0	16,4	Limi argillosi e sabbiosi da sciolti a mediamente addensati caratterizzati da Rp maggiore di 20 kg/cmq fino a oltre 50 Kg/cmq	-	-	0,7 - 1,3	-
Livello 3	16,4	21,8	Sabbie da mediamente a molto addensate con, talora, presenza di livelli cementati. Deposito caratterizzato da valori di resistenza alla punta Rp spesso superiore a 100 (fino a 200) kg/cmq. Densità relativa maggiore in corrispondenza della prova CPTU 1 rispetto alla CPTU 2. In corrispondenza della CPTU 1 in tale livello si è giunti a rifiuto.	35°	32-70%	-	-
Livello 4	21,8	24,8	Argille compatte, generalmente sovra consolidate, caratterizzate da valori di resistenze alla punta di 15-20 kg/cmq	-	-	0,9-1,4	0,9 - 1,7
Livello 5	> 24,8		Argille compatte con livelli sabbiosi, argille sovra consolidate caratterizzate da Rp ≈ 20 kg/cmq, sabbie da mediamente addensate ad addensate con Rp > 50 kg/cmq	35°	31-50%	>1	>1

I valori di cu sono espressi in kg/cmq.

La falda idrica è stata rilevata nell'area ad una profondità di 1,8 m dal p.c. Non si esclude tuttavia che in condizioni di massimo ravvenamento essa possa trovarsi in posizioni più prossime alla superficie.

CAPACITA' PORTANTE E CARICO AMMISSIBILE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

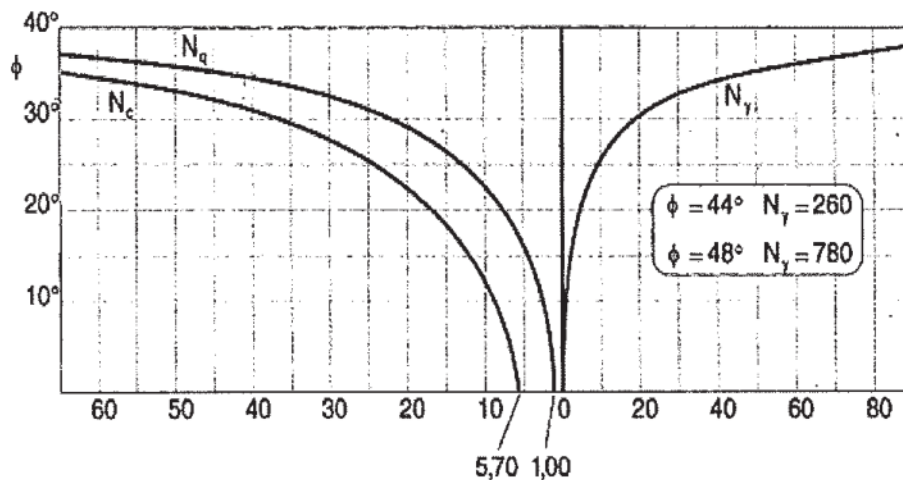
In mancanza dei dati progettuali la valutazione della capacità portante del terreno di fondazione è stata fatta seguendo l'ipotesi di una fondazione a trave rovescia larga 1,20 m ed impostata ad 1,50 m dall'attuale p.c.

La formula utilizzata per il calcolo è quella di Terzaghi (1943) che, per fondazioni superficiali assume la forma:

$$Q_d = c_u \times N_c \times s_c + q \times N_q + 0,5 \times \gamma \times B \times N_\gamma \times S_\gamma$$

in cui:

- c_u = coesione non drenata
- q = carico del terreno ai lati della fondazione
- γ = peso di volume del terreno sotto la fondazione
- B = larghezza della fondazione
- Sc e S_y = fattori di forma della fondazione
- N_c , N_q e N_γ = fattori di capacità portante funzione dell'angolo di attrito (Φ) ricavabili dal diagramma sulla pagina seguente.



Valori dei coefficienti di capacità portante in funzione dell'angolo di attrito

Il carico ammissibile Q_a si ottiene poi da Q_d imponendo un fattore di sicurezza pari a 3.

Nel caso in esame considerando cautelativamente una coesione non drenata pari a 0,5 kg/cmq e ignorando, a favore di sicurezza, il contributo del terreno posto ai lati delle opere fondali si ottiene, nel caso di trave rovescia a 1,5 m dal p.c.) una capacità portante pari a:

$$Q_d = c_u \times N_c = 5 \times 5,7 = 28,5 \text{ t/mq}$$

Da cui, imponendo un fattore di sicurezza pari a 3 si ottiene un carico ammissibile:

$$Q_a = Q_d / FS = 28,5 / 3 \approx 9,5 \text{ t/mq.}$$

La presenza di terreni molto compressibili individuata nel corso della caratterizzazione geologica lega tuttavia il carico ammissibile sul terreno più all'entità dei cedimenti attesi che alla capacità del terreno stesso di resistere a rottura. Il carico ammissibile sarà pertanto determinato in funzione dei cedimenti.

STIMA DEI CEDIMENTI (Fondazioni superficiali)

Il cedimento totale S di un pacco di strati soggetti ad un incremento di carico viene determinato mediante l'espressione:

$$S = \sum \Delta H = \sum H_{oi} \times \Delta \sigma_{vi} / E_i$$

dove:

- H_{oi} = spessore dello strato i -esimo
- $\Delta \sigma_{vi}$ = incremento di pressione calcolato in corrispondenza della metà dello strato i -esimo
- E_i = modulo edometrico dello strato i -esimo.

Difficile quantificare l'entità esatta dei cedimenti senza specifiche indagini in sito e in laboratorio. Una stima di massima è tuttavia possibile utilizzando il modulo edometrico desunto dalle prove CPT.

Nella letteratura sono disponibili diverse correlazioni che legano il modulo edometrico E ed i parametri di resistenza alla penetrazione misurati in prove penetrometriche statiche. Generalmente queste relazioni hanno la seguente forma:

$$E \text{ (kg/cm}^2\text{)} = \alpha \times R_p$$

dove R_p è la resistenza alla punta media dello strato e α è un coefficiente variabile in funzione del tipo di terreno (vedi tabella seguente, da Cestari, 1990).

$q_c < 0,7 \text{ MPa}$	$3 < \alpha < 8$	Argille di bassa plasticità CL
$0,7 < q_c < 2,0 \text{ MPa}$	$2 < \alpha < 5$	
$q_c > 2,0 \text{ MPa}$	$1 < \alpha < 2,5$	
$q_c > 2,0 \text{ MPa}$	$3 < \alpha < 6$	Limi di bassa plasticità ML
$q_c < 2,0 \text{ MPa}$	$1 < \alpha < 3$	
$q_c < 2,0 \text{ MPa}$	$2 < \alpha < 6$	Limi molto plastici e argille MH, CH
$q_c < 1,2 \text{ MPa}$	$2 < \alpha < 8$	Limi organici
$Q_c < 0,7 \text{ MPa}$		Torba e argille organiche OL, OH
$- 50 < w < 100$	$1,5 < \alpha < 4$	
$- 100 < w < 200$	$1 < \alpha < 1,5$	
$- w > 200$	$0,4 < \alpha < 1$	

I cedimenti assoluti, stimati con i carichi ammissibili calcolati in precedenza per una fondazione a trave rovescia larga 1,2 m e posata ad una profondità di 1,5 m dall'attuale p.c., sono risultati superiori ai 10 cm.

Valori più contenuti (sempre tuttavia superiori ai 5 centimetri) sono stati ottenuti ipotizzando un carico di 0,7 kg/cm².

I cedimenti differenziali sono risultati in entrambi i casi contenuti.

Nel caso di fondazioni superficiali continue si consiglia pertanto:

- di utilizzarle solo se la struttura sarà in grado di "assorbire" i cedimenti futuri
- di non superare il carico di 0,7 kg/cmq.

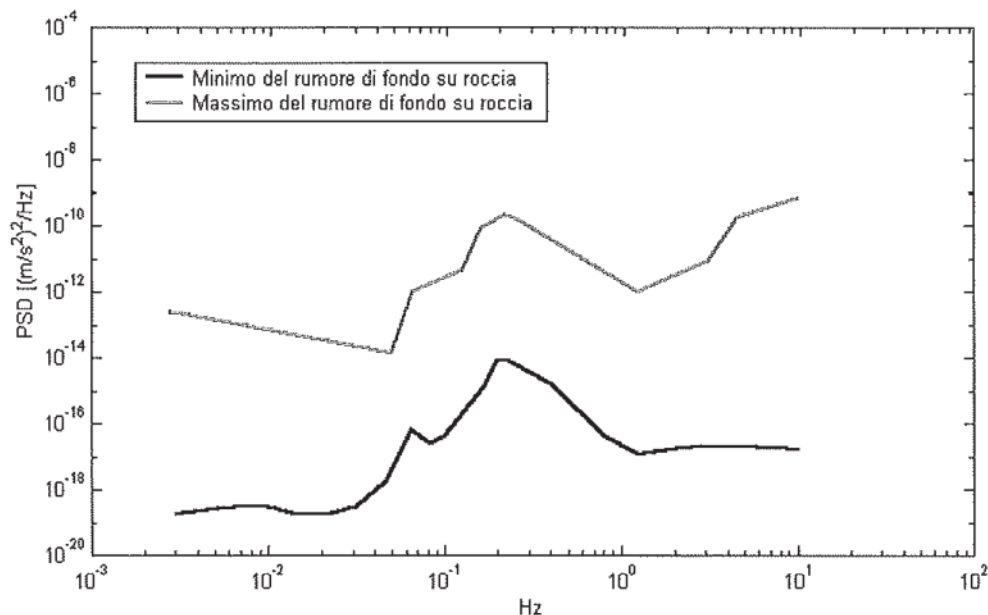
ANALISI TROMOGRAFICA

Oggetto delle misure in una analisi di questo tipo è il così detto "rumore sismico" ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, e generato, oltre che dall'attività dinamica terrestre, dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica.

Il "rumore sismico" si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono anche "passivi" in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio nel caso delle esplosioni della sismica attiva o della massa battente della MASW dei paragrafi precedenti.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale, in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso e pianeggiante presenta l'andamento illustrato nella figura della pagina seguente. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.



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

Numerosi studi (da Kanai, 1957 in poi) sono stati volti alla ricerca di metodi per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito.

Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata e accreditata è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e verticale

(Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970).

Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale.

Mentre sulla validità del metodo come strumento per la determinazione della risposta sismica locale non è ancora stato raggiunto un accordo fra gli studiosi è invece ampiamente riconosciuto che la curva H/V è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli e, tramite opportuna inversione, delle profondità dei substrati rocciosi sotto le coperture sedimentarie.

Studi recenti hanno inoltre dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso. Riconosciuta questa capacità è dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo H/V può essere usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un sistema bistrato del tipo sedimenti - bedrock in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). In questi casi la profondità h della discontinuità sismica viene ricavata tramite la formula semplice della risonanza $h = V / (4 f_r)$ o, al più, tramite la formula sottostante in cui V_0 è la velocità al tetto dello strato, x un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e f_r la frequenza fondamentale di risonanza (cf. ad esempio Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

$$h = \left[\frac{V_0(1-x)}{4f_r} + 1 \right]^{\frac{1}{1-x}} - 1$$

Nei sistemi multistrato, teoricamente l'effetto di risonanza è sommabile, ma in modo non lineare e senza una corrispondenza 1:1.

Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno degli strati attraversati, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione precedente.

L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per

- a) il contenuto in frequenza,
- b) la risposta strumentale
- c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

Nei casi reali, l'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, sfrutta la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli "sintetici", cioè con quelli calcolati relativamente ad un modello del sottosuolo. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini. I modelli sintetici di inversione impiegati in questo lavoro partono dalla modellizzazione del campo d'onde superficiali (onde di Rayleigh e Love) in sistemi multistrato (Aki, 1964; Ben-Menahem e Singh, 1981).

L'inversione delle curve H/V per ottenere un profilo di Vs è possibile a patto di disporre di un punto di taratura (es. penetrometria o sondaggio) che fornisca la profondità di un riflettore - anche molto superficiale - riconoscibile nella curva H/V oppure a patto di conoscere la Vs del primo strato a partire da tecniche indipendenti (Castellaro e Mulargia, 2008).

INDAGINE ESEGUITA

L'indagine sismica passiva a stazione singola è stata eseguita nell'area in parola in data 8 aprile 2009.

La calibrazione delle misure dei microtremori è stata eseguita in base alle indagini geognostiche eseguite sul sito di indagine.

La prova eseguita impiegando la metodologia dei microtremori ha evidenziato, utilizzando l'inversione H/V con il metodo proposto da Nakamura, secondo la teoria descritta da Aki (1964) e Ben-Menahem & Sing (1981), una $V_{s30} = 163$ m/s, in accordo con quanto ricavato dall'interpretazione del down hole, eseguito all'interno del sondaggio realizzato in prossimità dell'area di esecuzione della prova con il Tromino (down hole che aveva fornito $V_{s30} = 179$ m/s).

Nel caso specifico il grafico H/V ha evidenziato nella parte, tra circa 1.3 m e 3 m di profondità dal p.c., la presenza di infrastrutture antropiche rigide, pertanto è stata realizzata una curva di sintesi per la parte alta ed una per la parte bassa, quest'ultima significativa per l'interpretazione della V_{s30} .

Uno dei pregi assoluti dell'utilizzo del Tromino, abbastanza macchinoso per la valutazione del profilo di Vs, è quello di individuare le frequenze proprie di risonanza dei terreni presenti nei siti testati.

La frequenza (o le frequenze) di risonanza è quel particolare (o sono quei particolari) valori di frequenza in cui si assiste ai maggiori fenomeni di amplificazione del segnale sismico.

È evidente l'importanza di avere questa informazione anche se allo stato attuale la normativa non la richiede. La costruzione di un manufatto con frequenza propria simile a quella del terreno sottostante condurrebbe infatti a fenomeni di doppia risonanza con conseguenze che potrebbero essere catastrofiche sulle strutture ingegneristiche.

L'analisi delle frequenze fondamentali di amplificazione del sito evidenzia quindi l'amplificazione di risonanza tipica del terreno e, di conseguenza, l'altezza critica degli edifici che in caso di sisma possono entrare in risonanza con il terreno.

Nel caso specifico è possibile attribuire una frequenza propria del deposito esaminato pari a circa 0.7 Hz, periodo T=1.42 sec, *bedrock-like*, presente a circa 77 m dal p.c.

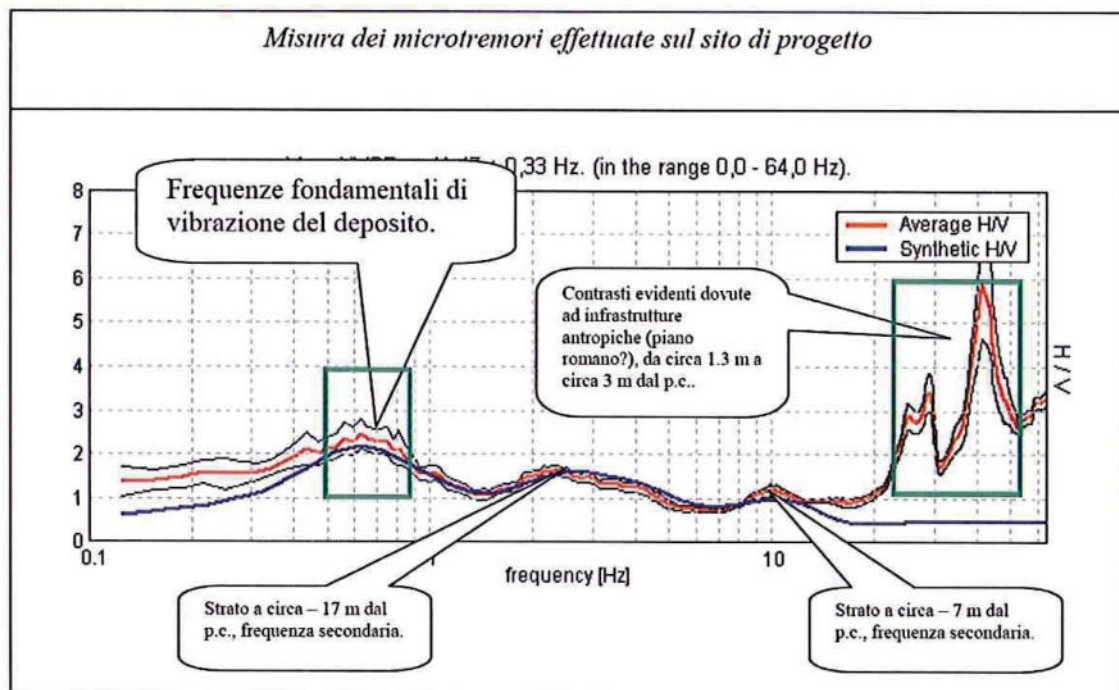
Da un punto di vista empirico è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere calcolata con la seguente formula

$$\text{Freq. Naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz/numero dei piani}$$

Pertanto, considerando solo la frequenza di risonanza più importante per le infrastrutture, il numero di piani critico per il sito oggetto di indagine sarà:

$$(10 \text{ Hz} / 0.7 \text{ Hz}) = 14 \text{ piani}$$

Quindi eventuali edifici con altezza corrispondente a circa 14÷15 piani presenteranno la massima criticità, potendo entrare in risonanza con le frequenze naturali del deposito che costituisce i terreni di fondazione.



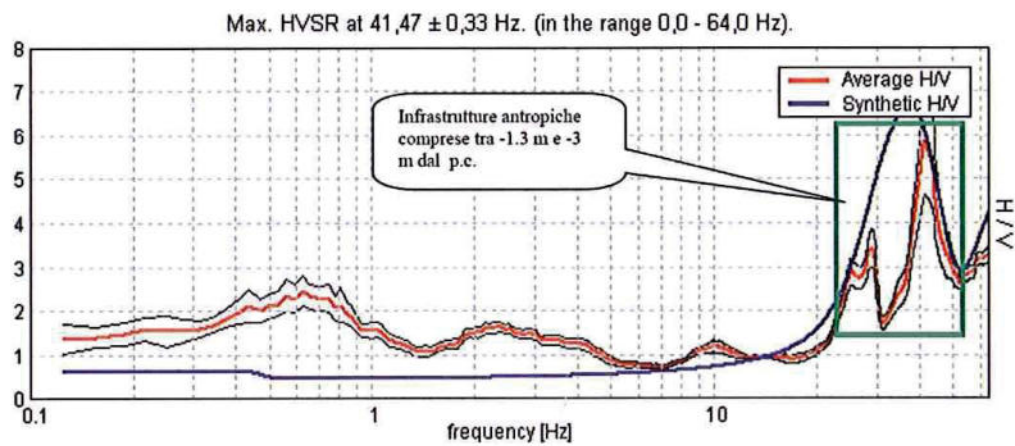
Altre due frequenze minori, quindi meno importanti, si osservano a 2.2 Hz ed a 10 Hz.

In questo caso applicando la suddetta relazione risulterebbe, rispettivamente

$$(10\text{Hz}/2.2\text{Hz}) = 4.5 \text{ piani e } (10\text{Hz}/10\text{Hz}) = 1 \text{ piano}$$

Pertanto edifici di 4÷5 piani ed 1 piano potrebbero eventualmente presentare (sebbene in misura minore) fenomeni di risonanza.

Misura dei microtremori effettuata sul sito di progetto: curva sintetica della parte alta per interpretare il contrasto dovuto alle infrastrutture antropiche



CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

In base alla vigente normativa per le costruzioni in zone sismiche è necessario definire il coefficiente sismico di fondazione ϵ . Tale coefficiente assume valori discreto di 1 o 1,3 a seconda delle condizioni geologiche del sito. In particolare la norma stabilisce che in zone sismiche in cui sono presenti spessori di depositi alluvionali e/o detritici compresi fra 5 e 20 m con rigidità notevolmente inferiore a quella del substrato si debba assumere un valore di ϵ pari ad 1,3.

Nel caso in esame il coefficiente di fondazione potrà quindi essere posto pari ad 1,0.

Sulla base della OPCM 3274/2003 (la cui entrata in vigore è stata nuovamente oggetto di proroga) il territorio comunale di Ravenna è attribuito alla zona sismica 3 con accelerazioni del suolo orizzontali massime paria 0,15g. In base a tale normativa per la caratterizzazione in chiave sismica del sito si deve determinare la categoria del suolo di fondazione presente in funzione della velocità media delle onde S nei primi 30 metri di sottosuolo (V_{s30}).

La velocità di propagazione delle onde S nel sito è stata investigata direttamente attraverso una prova Down Hole (allegato) e da un'analisi tomografica.

Sulla base degli esiti il sito è classificabile in CATEGORIA D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o 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.

RISCHIO DI LIQUEFAZIONE IN CONDIZIONI SISMICHE

Il termine liquefazione si riferisce alla perdita di resistenza al taglio, di un mezzo granulare sotto falda, determinata da un aumento della pressione dell'acqua all'interno dei pori. Tale incremento può essere dovuto a varie cause fra cui lo scuotimento del terreno durante un forte terremoto. Un terreno sabbioso in condizioni di liquefazione è privo di resistenza al taglio e si comporta come un fluido viscoso. Al termine del sisma, con la dissipazione delle sovrappressioni interstiziali e con il riassetamento dei grani in una struttura più addensata, possono originarsi estesi fenomeni di subsidenza che causano importanti cedimenti (assoluti e/o differenziali) con effetti che possono essere disastrosi sulle opere ingegneristiche. Perché in un dato sito possano avvenire fenomeni di liquefazione è però necessario che coesistano particolari condizioni geologiche, idrogeologiche (presenza di terreni granulari fini sotto falda) e sismiche (eventi di intensità $I > VIII$ MCS; picco di accelerazione $a_{max} > 0,10g$, durata maggiore di 15-20 s). I dati disponibili sulla sismicità dell'area indicano che sussistono le condizioni sismiche tali da provocare fenomeni di liquefazione tuttavia l'assenza di sabbie pulite sotto falda consente di escludere tale tipo di fenomeni.

CONCLUSIONI

La presente indagine, relativa ad un'area situata nella porzione meridionale del centro urbano di Ravenna - località Pontenuovo, è stata svolta per individuare i limiti fisici di natura geologica, idrogeologica e sismica, alla eventuale futura realizzazione in questo sito di edifici scolastici.

Le indagini svolte hanno messo in evidenza che nel primo sottosuolo dell'ambito (per uno spessore di circa 6 m) è presente un livello di argille molli caratterizzato da scadenti caratteristiche meccaniche.

Entro tale livello, dai 3,5 ai 4,6 m di profondità, si sono inoltre rinvenuti resti conchigliari, ghiaie, laterizi ed elementi fittili di probabile epoca romana.

La falda idrica nell'area è piuttosto superficiale pertanto, per una eventuale realizzazione di piani interrati, sarà necessario prevedere interventi di abbattimento della falda e opere di sostegno delle pareti di scavo.

Vista la prossimità della falda al p.c. si dovrà comunque prevedere una accurata impermeabilizzazione delle parti interrate dei fabbricati per evitare l'insorgere di problemi di umidità.

Nel caso di fondazioni superficiali (calcoli eseguiti nell'ipotesi di travi rovesce con $B=1,2$ m impostate a 1,5 m dal p.c.) anche in funzione dei cedimenti attesi (vista la presenza di argille molli nei primi metri di sottosuolo) si consiglia di non superare il carico ammissibile di 0,7 kg/cmq.

Anche ipotizzando questo (limitato) carico tuttavia i cedimenti assoluti attesi (lungo le due verticali di prova) sono risultati di circa 6 - 8 centimetri pur registrandosi cedimenti differenziali (fra le medesime verticali) piuttosto contenuti.

Nel caso in cui la struttura in progetto non fosse quindi in grado di sopportare "importanti" cedimenti si consiglia l'utilizzo di fondazioni profonde da impostare entro le sabbie dense di cordone litorale (indicativamente a 17,5 m dal p.c.).

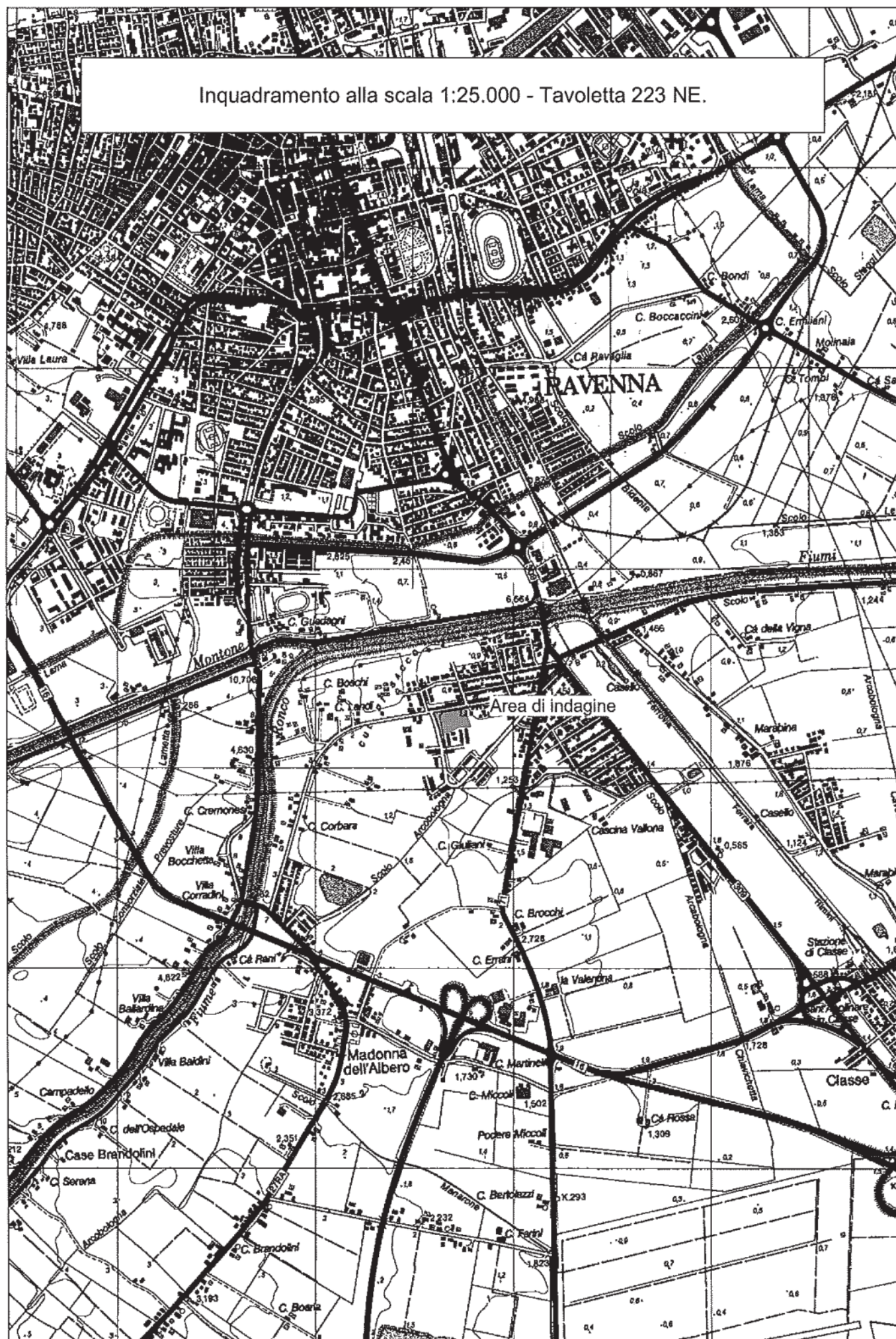
Dal punto di vista sismico l'indice del potenziale di liquefazione è risultato basso e il coefficiente di fondazione α potrà essere posto pari ad 1,0.

Sulla base degli esiti delle prove geofisiche (Down Hole e Analisi Tromografica) il sito, ai sensi della OPCM 3274/2003, è classificabile in CATEGORIA D - *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o 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.*

L'esecuzione della indagine con tromografo sismico ha inoltre permesso di individuare le frequenze proprie del deposito esaminato. La frequenza principale è stata individuata a circa 0.7 Hz, periodo $T=1.42$ sec, *bedrock-like*, presente a circa 77 m dal p.c. Altre due frequenze minori, quindi meno importanti, si sono osservate a 2.2 Hz ed a 10 Hz.

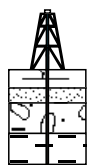
ALLEGATO – CARTE E SEZIONI

Inquadramento alla scala 1:25.000 - Tavoletta 223 NE.



Topographic map of a residential area in Arcabologna, showing streets, buildings, and elevation contours. The map includes labels for 'STRADA COMUNALE', 'FUMME', 'PINO', 'Scolo', 'C. Giuliani', and 'Arcabologna'. Elevation points are marked throughout the area.

C.G.A.



Studio Tecnico Associato
Laboratorio di geofisica

Studio Tecnico Associato Consulenze di Geologia e Ambiente del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa
Via E. Fermi n° 11/A - 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO)
Tel. 051 - 687.11.13 Fax 051 - 687.43.28

COMUNE di RAVENNA

Località: Ponte Nuovo

Committente: Dott. Geol. Giorgio Frassinetti
Via Matteotti, 57
47016 Predappio (FO)

Esecuzione di n° 1 prove Down Hole a 30 m per la valutazione della risposta sismica e la determinazione della V_{s30}

<i>PROGETTO:</i>	<i>CODIFICA:</i>	<i>REVISIONE:</i>	<i>NOTE:</i>
<i>A 544</i>	<i>GF 116 PNRA</i>	<i>0</i>	

I GEOLOGI

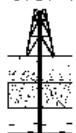
Dott. Geol. Filippo BARBIERI

Dott. Geol. Maurizio ROPA



20 aprile 2009

C.G.A.



Studio Tecnico associato

**Studio Tecnico Associato
Consulenze di Geologia e Ambiente**

del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa

Via E. Fermi n° 11/A - 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO)
Codice Fiscale e P. IVA 04112290376
Tel. 051 - 687.11.13 Fax 051 - 687.43.28
Web: <http://www.cgastudio.eu> E-mail: cgastudio@cgastudio.eu

COMUNE DI RAVENNA località PONTE NUOVO

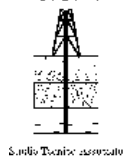
Esecuzione di n° 1 prova Down Hole a 30 m per la valutazione della risposta sismica e la determinazione della V_{s30} .

PROGETTO	CODIFICA	REV.	PAGINA
A 544	GF 116 PNRA	1	Pagina 1 di 10
M:\Lavori in corso\A 544 - GF 116 - Frassinetti - DH Ravenna\Ponte Nuovo\Relazione A 544 - GF 116 - frassinetti - Down Hole - Ponte Nuovo Ra.doc			

SOMMARIO

SOMMARIO	1
INTRODUZIONE	2
METODOLOGIA DI INDAGINE.....	3
INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA DOWN HOLE	3
<i>Modalità esecutive della prova</i>	3
<i>Specifiche Geofoni</i>	5
<i>Specifiche sismografo</i>	5
ELABORAZIONE DEI DATI	6
INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA DOWN HOLE	6
<i>Picking</i>	6
<i>Interpretazione</i>	6
PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	9
INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA DOWN HOLE	9
<i>Sondaggio S1</i>	9
 APPENDICE 1 – FIGURE ED ELABORATI GRAFICI	
 APPENDICE 2 – CERTIFICATI PROVE SISMICHE DOWN HOLE - sismogrammi e relative interpretazioni	

C.G.A.



**Studio Tecnico Associato
Consulenze di Geologia e Ambiente**

del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa

Via E. Fermi n° 11/A - 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO)
Codice Fiscale e P. IVA 04112290376
Tel. 051 - 687.11.13 Fax 051 - 687.43.28
Web: <http://www.cgastudio.eu> E-mail: cgastudio@cgastudio.eu

COMUNE DI RAVENNA località PONTE NUOVO

Esecuzione di n° 1 prova Down Hole a 30 m per la valutazione della risposta sismica e la determinazione della V_{s30} .

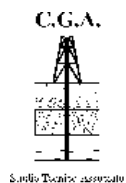
PROGETTO	CODIFICA	REV.	PAGINA
A 544	GF 116 PNRA	1	Pagina 2 di 10
M:\Lavori in corso\A 544 - GF 116 - Frassinetti - DH Ravenna\Ponte Nuovo\Relazione A 544 - GF 116 - frassinetti - Down Hole - Ponte Nuovo Ra.doc			

INTRODUZIONE

Su incarico Dott. Geol. Giorgio Frassinetti è stata eseguita una prova Down Hole per la valutazione della risposta sismica e la determinazione della V_{s30} , in un'area destinata alla realizzazione di un nuovo edificio scolastico.

La prova è stata eseguita sino alla profondità di 30 m dal piano di campagna.

L'area di indagine è situata nel Comune di Ravenna in località Ponte Nuovo e l'ubicazione della prova DH, effettuata su base fotoaerea 1 : 2.000, è riportata nella figura n° 1 (appendice n° 1).



**Studio Tecnico Associato
Consulenze di Geologia e Ambiente**

del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa

Via E. Fermi n° 11/A - 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO)
Codice Fiscale e P. IVA 04112290376
Tel. 051 - 687.11.13 Fax 051 - 687.43.28
Web: <http://www.cgastudio.eu> E-mail: cgastudio@cgastudio.eu

COMUNE DI RAVENNA località PONTE NUOVO

Esecuzione di n° 1 prova Down Hole a 30 m per la valutazione della risposta sismica e la determinazione della V_{s30} .

PROGETTO	CODIFICA	REV.	PAGINA
A 544	GF 116 PNRA	1	Pagina 3 di 10
M:\Lavori in corso\A 544 - GF 116 - Frassinetti - DH Ravenna\Ponte Nuovo\Relazione A 544 - GF 116 - frassinetti - Down Hole - Ponte Nuovo Ra.doc			

METODOLOGIA DI INDAGINE

INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA DOWN HOLE

Lo scopo della prova consiste nel determinare la velocità di propagazione delle onde di volume, di compressione (onde P) e di taglio (onde S), calcolando il tempo ad esse necessario per spostarsi dalla sorgente ai ricevitori, di cui è nota la distanza.

Si suppone che il volume di terreno, interessato dalle indagini sia stratificato orizzontalmente e che all'interno di ogni strato il comportamento del terreno si possa considerare elastico, omogeneo ed isotropo.

Modalità esecutive della prova

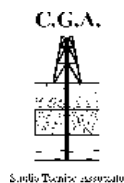
La prova consiste nel produrre, sulla superficie del terreno, sollecitazioni verticali (per la generazione di onde di compressione P) ed orizzontali (per onde di taglio polarizzate orizzontalmente SH) mediante una sorgente meccanica e nel registrare l'istante di primo arrivo del treno d'onde attraverso un sistema formato da un sensore a cinque componenti, alloggiato a profondità note all'interno del foro di sondaggio appositamente strumentato.

Conosciuta la distanza tra sorgente e ricevitori e determinato il tempo di propagazione, è possibile stimare in maniera accurata la distribuzione delle velocità sismiche (P ed SH) in corrispondenza della verticale di misura.

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prove si compone delle seguenti parti:

- sistema energizzante;
- sistema di ricezione;
- trigger;
- sistema di acquisizione dati.

I sistemi energizzanti (sia per la generazione delle onde P sia delle onde SH) devono essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali, ovvero con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione e/o di taglio polarizzate su piani orizzontali (ed eventualmente anche verticali).



**Studio Tecnico Associato
Consulenze di Geologia e Ambiente**

del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa

Via E. Fermi n° 11/A - 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO)
Codice Fiscale e P. IVA 04112290376
Tel. 051 - 687.11.13 Fax 051 - 687.43.28
Web: <http://www.cgastudio.eu> E-mail: cgastudio@cgastudio.eu

COMUNE DI RAVENNA località PONTE NUOVO

Esecuzione di n° 1 prova Down Hole a 30 m per la valutazione della risposta sismica e la determinazione della V_{s30} .

PROGETTO	CODIFICA	REV.	PAGINA
A 544	GF 116 PNRA	1	Pagina 4 di 10
M:\Lavori in corso\A 544 - GF 116 - Frassinetti - DH Ravenna\Ponte Nuovo\Relazione A 544 - GF 116 - frassinetti - Down Hole - Ponte Nuovo Ra.doc			

Per generare le onde di compressione P, è stato utilizzato l'impatto di una massa battente (martello) su un piatto di alluminio alloggiato sul suolo.

La sorgente per generare le onde SH è costituita da un parallelepipedo di legno armato alle estremità di piastre in alluminio.

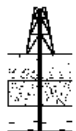
Il parallelepipedo è stato gravato di un carico statico addizionale in modo rimanere aderente al terreno sia al momento in cui viene colpito sia successivamente, affinché l'energia prodotta non venga in parte dispersa. Con questo dispositivo è stato possibile generare essenzialmente delle onde elastiche di taglio polarizzate orizzontalmente, con uniformità nella polarizzazione e con una generazione di onde P trascurabile. Inoltre, data l'entità di energia generalmente prodotta, le deformazioni indotte nel terreno in prossimità della superficie sono da considerarsi trascurabili.

Il sistema di ricezione è costituito da cinque componenti, ciascuno dei quali è costituito da un trasduttore di velocità orientato secondo gli assi di due terne cartesiane ortogonali aventi in comune l'origine e l'asse delle ordinate e ruotate rispetto all'origine di 45°. I trasduttori di velocità sono collocati all'interno di un unico contenitore impermeabile sino a 10 Bar di pressione.

E' stato adottato un sistema di ancoraggio pneumatico per garantire un buon accoppiamento in foro tra i ricevitori e le pareti di rivestimento.

Il trigger è costituito da un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la sorgente viene attivata, consentendo a un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato ad un sensore collegato al sistema di acquisizione dati; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica.

Il sistema di acquisizione dati è di tipo multicanale in grado di registrare su ciascun canale in forma digitale le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica minima a 24 bit. Esso è collegato a ciascuno dei geofoni in foro ed al sensore del trigger e consente quindi di registrare in forma numerica e visualizzare come tracce su un apposito monitor le vibrazioni a partire dall'impulso inviato dal trigger.

C.G.A.

Studio Tecnico associato

**Studio Tecnico Associato
Consulenze di Geologia e Ambiente**

del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa

Via E. Fermi n° 11/A - 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO)
Codice Fiscale e P. IVA 04112290376
Tel. 051 - 687.11.13 Fax 051 - 687.43.28
Web: <http://www.cgastudio.eu> E-mail: cgastudio@cgastudio.eu

COMUNE DI RAVENNA località PONTE NUOVO

Esecuzione di n° 1 prova Down Hole a 30 m per la
valutazione della risposta sismica e la determinazione della
 V_{s30} .

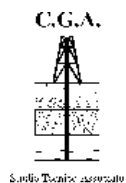
PROGETTO	CODIFICA	REV.	PAGINA
A 544	GF 116 PNRA	1	Pagina 5 di 10
M:\Lavori in corso\A 544 - GF 116 - Frassinetti - DH Ravenna\Ponte Nuovo\Relazione A 544 - GF 116 - frassinetti - Down Hole - Ponte Nuovo Ra.doc			

Specifiche Geofoni

GS-11D Specifications				
Natural Frequency	4.5 ± .75 Hz	8 ± .75 Hz	10 ± .75 Hz	14 ± .75 Hz
Coil Resistance @ 25°C ± 5%	—380 Ohms —			
Intrinsic Voltage Sensitivity with 380 Ohm Coil ± 10%	—.81 V/in/sec (.32 V/cm/sec) —			
Normalized Transduction Constant (V/in/sec)	—042 (sq.root of Rc) —			
Open Circuit Damping	34 ± 20%	39 ± 10%	.32 ± 10%	.23 ± 10%
Damping Constant with 380 Ohm Coil	762	602	482	344
Optional Coil Resistances ± 5%	—56,160 Ohms —			
Moving Mass ± 5%	23.6 g	16.8 g	16.8 g	16.8 g
Typical Case to Coil Motion P-P	.07 in	.07 in	.07 in	.07 in
	(.18 cm)	(.18 cm)	(.18 cm)	(.18 cm)
Harmonic Distortion with Driving Velocity of 0.7 in/sec (1.8 cm/sec) P-P	N/S	———0.2% or less ——		
		@ 12 Hz	@ 12 Hz	@ 12 Hz
Dimensions				
Height (less terminals*)	———1.32 in (3.35 cm) ——			
Diameter	———1.25 in (3.18 cm) ——			
Weight	———3.9 oz (111 g) ——			

Specifiche sismografo

Sismografo M.A.E. - A6000S
CPU NS Geode GXLV 233MHz
Memoria RAM 128 Mb PC100 Mhz
Hard Disk 512 Mb on Compact Flash Disk Udma/33
Batteria di riserva al Litio
Monitoraggio Hardware Winbond W83781D
Display LCD 10,5" Tft Transflective a colori, touch screen
Controller Fast Ethernet Intel 82559ER 10/100 Base-T
Alimentazione con alimentatore Switching 12 Volt 2Ah
Valigia in copolimeri di polypropylene antischiacciamento
Temperatura di funzionamento da 0 a 60°C
Dimensioni e peso L280 X H220 X P170 mm, 3 Kg



**Studio Tecnico Associato
Consulenze di Geologia e Ambiente**

del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa

Via E. Fermi n° 11/A - 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO)
Codice Fiscale e P. IVA 04112290376
Tel. 051 - 687.11.13 Fax 051 - 687.43.28
Web: <http://www.cgastudio.eu> E-mail: cgastudio@cgastudio.eu

COMUNE DI RAVENNA località PONTE NUOVO

Esecuzione di n° 1 prova Down Hole a 30 m per la valutazione della risposta sismica e la determinazione della V_{s30} .

PROGETTO	CODIFICA	REV.	PAGINA
A 544	GF 116 PNRA	1	Pagina 6 di 10
M:\Lavori in corso\A 544 - GF 116 - Frassinetti - DH Ravenna\Ponte Nuovo\Relazione A 544 - GF 116 - frassinetti - Down Hole - Ponte Nuovo Ra.doc			

ELABORAZIONE DEI DATI

INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA DOWN HOLE

Picking

La valutazione dei tempi dei primi arrivi, sia nel campo delle onde P che delle onde SH, viene effettuato utilizzando il software di picking TOM TIME, prodotto dalla Rimrock Geophisic Inc. in collaborazione con la Geo Tom LLC. Tale software permette sia di effettuare analisi di segnali così come rilevati in campagna sia di procedere a filtrazioni, amplificazioni e sovrapposizioni dei segnali stessi.

È importante sottolineare come, nel caso delle onde SH, si sia utilizzato il software per sovrapporre i segnali in opposizione di fase così da rendere più evidente gli arrivi del primo impulso polarizzato orizzontalmente.

Interpretazione

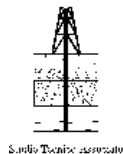
Poiché le onde sismiche prodotte dalla sorgente non si propagano esattamente in direzione verticale rispetto ai ricevitori, data la posizione della sorgente, è necessario correggere i tempi di arrivo stimati per tenere conto dell'inclinazione del percorso effettivo.

Indicata con z la profondità del ricevitore, con d la distanza effettiva tra sorgente e ricevitore e con R la distanza superficiale tra sorgente e centro del foro con t il tempo determinato dalle tracce di registrazione, il tempo corretto risulta:

$$t_v = \frac{z}{d} t = \frac{z}{\sqrt{z^2 + R^2}} t$$

Dividendo la profondità a cui viene collocato il ricevitore per il tempo corretto si ricavano i valori di velocità per ciascuno dei ricevitori, in corrispondenza di ciascuna delle profondità considerate.

C.G.A.



**Studio Tecnico Associato
Consulenze di Geologia e Ambiente**

del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa

Via E. Fermi n° 11/A - 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO)
Codice Fiscale e P. IVA 04112290376
Tel. 051 - 687.11.13 Fax 051 - 687.43.28
Web: <http://www.cgastudio.eu> E-mail: cgastudio@cgastudio.eu

COMUNE DI RAVENNA località PONTE NUOVO

Esecuzione di n° 1 prova Down Hole a 30 m per la valutazione della risposta sismica e la determinazione della V_{s30} .

PROGETTO	CODIFICA	REV.	PAGINA
A 544	GF 116 PNRA	1	Pagina 7 di 10
M:\Lavori in corso\A 544 - GF 116 - Frassinetti - DH Ravenna\Ponte Nuovo\Relazione A 544 - GF 116 - frassinetti - Down Hole - Ponte Nuovo Ra.doc			

Per quanto concerne il calcolo dei parametri elastici sono state utilizzate le seguenti formule:

Coefficiente di Poisson:

$$\mu = 0,5 \frac{(V_p / V_s)^2 - 2}{(V_p / V_s)^2 - 1}$$

Dove:

V_p = velocità onde di compressione;

V_s = velocità onde di taglio.

Modulo di taglio:

$$G_0 = \frac{\gamma V_s^2}{g}$$

Dove:

γ = densità del mezzo attraversato;

V_s = velocità onde di taglio;

g = accelerazione di gravità.

Modulo di Elasticità Longitudinale (modulo di Young):

$$E = 2\gamma V_s^2 (1 + \mu)$$

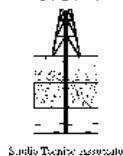
Dove:

γ = densità del mezzo attraversato;

V_s = velocità onde di taglio;

μ = Coefficiente di Poisson.

C.G.A.



**Studio Tecnico Associato
Consulenze di Geologia e Ambiente**

del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa

Via E. Fermi n° 11/A - 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO)
Codice Fiscale e P. IVA 04112290376
Tel. 051 - 687.11.13 Fax 051 - 687.43.28
Web: <http://www.cgastudio.eu> E-mail: cgastudio@cgastudio.eu

COMUNE DI RAVENNA località PONTE NUOVO

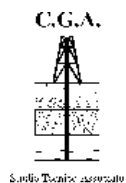
Esecuzione di n° 1 prova Down Hole a 30 m per la valutazione della risposta sismica e la determinazione della V_{s30} .

PROGETTO	CODIFICA	REV.	PAGINA
A 544	GF 116 PNRA	1	Pagina 8 di 10
M:\Lavori in corso\A 544 - GF 116 - Frassinetti - DH Ravenna\Ponte Nuovo\Relazione A 544 - GF 116 - frassinetti - Down Hole - Ponte Nuovo Ra.doc			

Le formule utilizzate per il calcolo dei parametri elastici si basano essenzialmente sulle proprietà sismiche dei terreni (V_p e V_s): i parametri elastici calcolati non sono pertanto sempre confrontabili con quelli ottenuti staticamente da prove in situ e di laboratorio.

E' inoltre opportuno ricordare che, nel caso di completa saturazione dei materiali attraversati dai treni d'onda la velocità di propagazione delle onde P misurata risulta essere quella caratteristica dell'acqua; ne consegue che il calcolo dei parametri elastici perde di significato.

In appendice 2 sono riportati i certificati delle prove svolte e le relative interpretazioni sia con il metodo diretto che con il metodo del pseudointervallo.



**Studio Tecnico Associato
Consulenze di Geologia e Ambiente**

del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa

Via E. Fermi n° 11/A - 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO)
Codice Fiscale e P. IVA 04112290376
Tel. 051 - 687.11.13 Fax 051 - 687.43.28
Web: <http://www.cgastudio.eu> E-mail: cgastudio@cgastudio.eu

COMUNE DI RAVENNA località PONTE NUOVO

Esecuzione di n° 1 prova Down Hole a 30 m per la valutazione della risposta sismica e la determinazione della V_{s30} .

PROGETTO	CODIFICA	REV.	PAGINA
A 544	GF 116 PNRA	1	Pagina 9 di 10
M:\Lavori in corso\A 544 - GF 116 - Frassinetti - DH Ravenna\Ponte Nuovo\Relazione A 544 - GF 116 - frassinetti - Down Hole - Ponte Nuovo Ra.doc			

PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA DOWN HOLE

Sondaggio S1

Determinazione della velocità delle onde sismiche nei primi 30 m (V_{s30})

Utilizzando le metodologie e le formule di cui al capitolo precedente, è possibile individuare la seguente sismostratigrafia di sintesi:

Strato	Spessore (m)	Vs (m/s)
1	7.00	103.47
2	9.00	177.86
3	9.00	259.64
4	5.00	249.70

Tabella n° 1 – Stratigrafia da prova sismica e velocità di propagazione dell'onda sismica (S1)

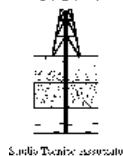
Seguendo le prescrizioni dell'OPCM 3274/2003 e del D.M. 14.01.2008 la determinazione della V_{s30} è stata ottenuta utilizzando la formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{\Delta n} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

dove:

h_i = spessore dello strato iesimo

V_{si0} = Velocità orrizontale dello strato iesimo



PROGETTO	CODIFICA	REV.	PAGINA
A 544	GF 116 PNRA	1	Pagina 10 di 10
M:\Lavori in corso\A 544 - GF 116 - Frassinetti - DH Ravenna\Ponte Nuovo\Relazione A 544 - GF 116 - frassinetti - Down Hole - Ponte Nuovo Ra.doc			

Sulla base di quanto esposto è pertanto possibile affermare quanto segue:

Down Hole	V_{s30} m/s
S1	173.47

Determinazione delle categorie di suolo di fondazione

Utilizzando le tabelle di seguito riportate, si è proceduto alla determinazione della Categoria di appartenenza del suolo di fondazione:

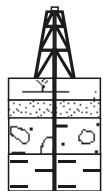
Categorie di suolo di fondazione:

A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 88 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> 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.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> 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.
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C e D e con spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s)
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$, che includono uno strato spesso almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche
S2	Depositi di terreno suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella n° 2 – Definizione dei profili stratigrafici

Da cui si evince che l'area indagata appartiene alla categoria D.

C.G.A.



Studio Tecnico Associato

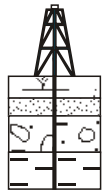
APPENDICE 1

- Figure ed elaborati grafici



Ubicazione prova sismica Down-Hole S1
Base fotoaerea

C.G.A.

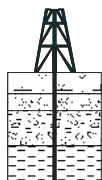


Studio Tecnico Associato

APPENDICE 2

- CERTIFICATI PROVE SISMICHE DOWN-HOLE
- Sismogrammi e relative interpretazioni

C.G.A.



Studio Tecnico Associato

CERTIFICATO DONW - HOLE

A 544 - GF 116 PNRA

COMMITTENTE:

Dott. Geol. Giorgio FRASSINETI
Via Matteotti, 57
47016 Predappio (FO)

LAVORO:

Esecuzione di n° 1 prova Down Hole a 30 m per la determinazione della V_{s30} per la realizzazione di un nuovo edificio scolastico.

DATA ESECUZIONE:

mercoledì 15 aprile 2009

LOCALITA' :

Ponte Nuovo (RA)

STRUMENTAZIONE:

Sismografo M.A.E. A6000S 24 con sensore DH a 5 componenti di produzione AMBROGEO.

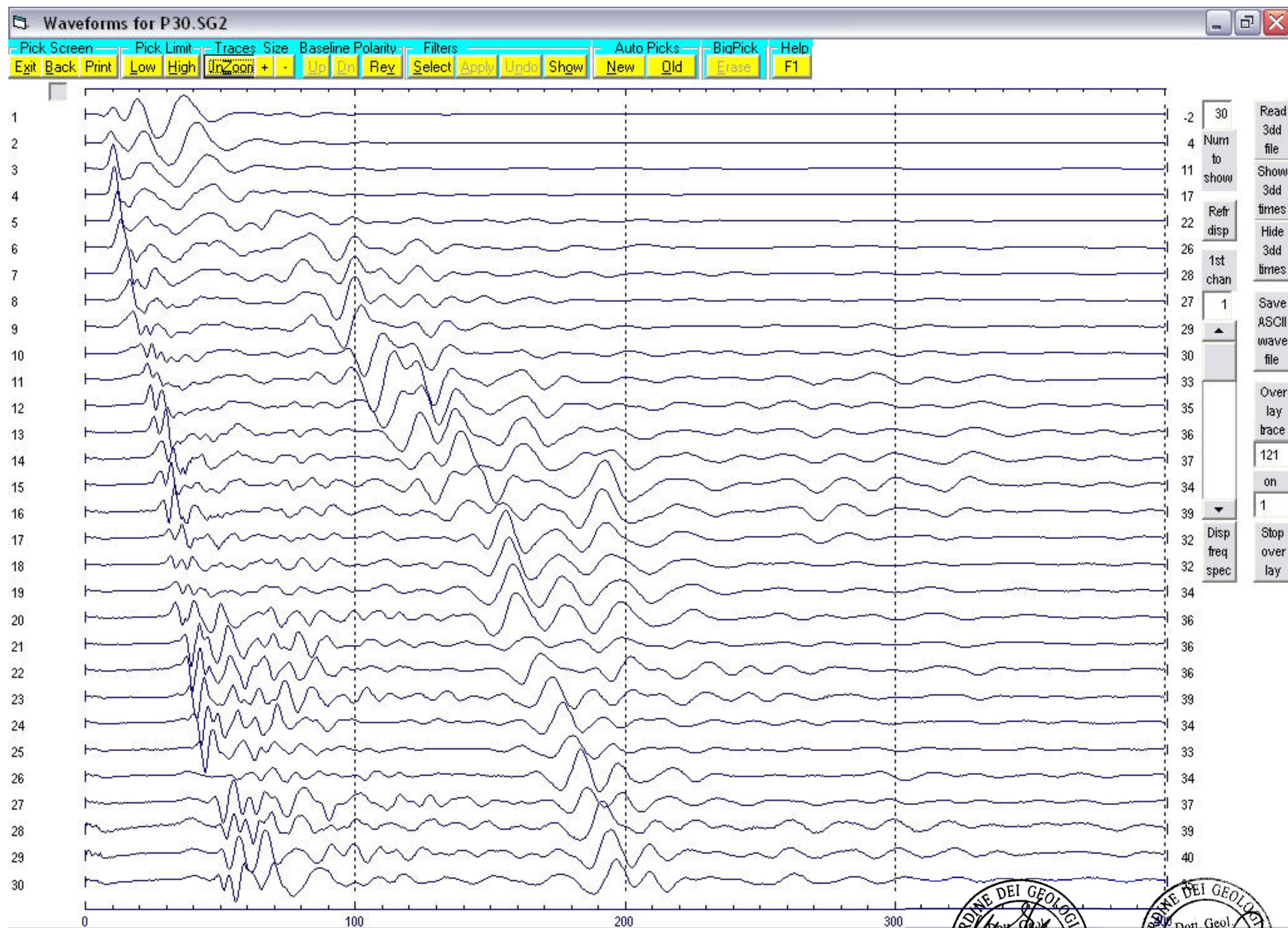
**DISTANZA
ENERGIZZATORI -
SONDAGGIO:**

m 1,00

NOTE:

COMUNE DI RAVENNA- PONTE NUOVO

Committente: Dott. Geol. G. Frassinetti - 15.04.2009 - Prova: DOWN HOLE - Onde P Certificato: A544 Gf116PNRA



	TP
1	4.50
2	5.50
3	6.00
4	7.50
5	8.00
6	8.50
7	10.50
8	11.00
9	13.50
10	15.00
11	17.00
12	19.00
13	20.50
14	21.00
15	23.50
16	24.50
17	25.50
18	26.50
19	27.50
20	29.50
21	31.00
22	33.00
23	34.00
24	36.50
25	39.50
26	41.50
27	43.50
28	45.00
29	47.00
30	49.00

Tempi di picking in ms

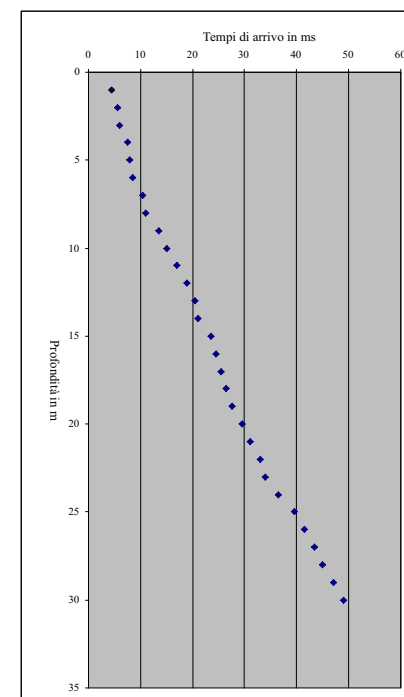
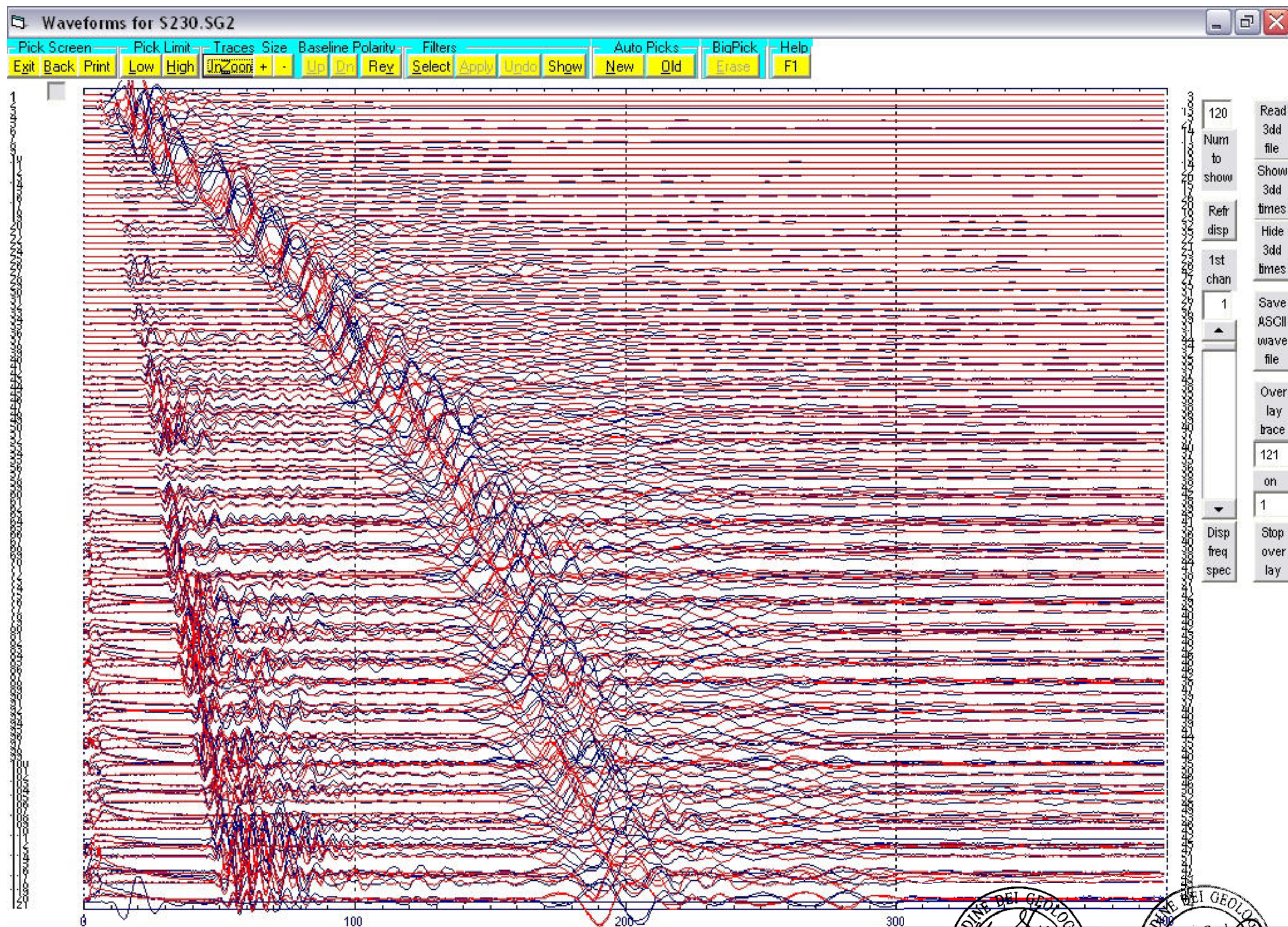


Diagramma di picking in ms



COMUNE DI RAVENNA- PONTE NUOVO

Committente: Dott. Geol. G. Frassinetti - 15.04.2009 - Prova: DOWN HOLE - Onde S Certificato: A544 Gf116PNRA



	Ts
1	8.00
2	16.50
3	24.00
4	33.00
5	44.00
6	54.50
7	63.50
8	71.00
9	76.50
10	82.00
11	87.50
12	93.00
13	99.00
14	104.50
15	110.00
16	115.50
17	118.50
18	122.00
19	127.00
20	131.50
21	134.50
22	138.00
23	141.00
24	145.00
25	150.00
26	154.00
27	158.00
28	162.00
29	166.00
30	170.00

Tempi di picking in ms

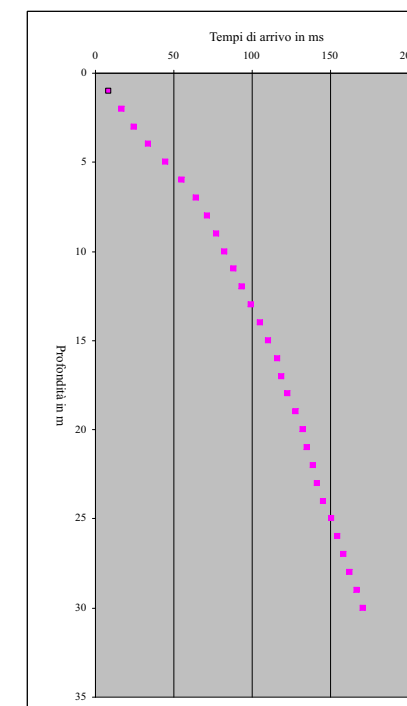
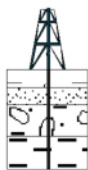


Diagramma di picking in ms



C.G.A.

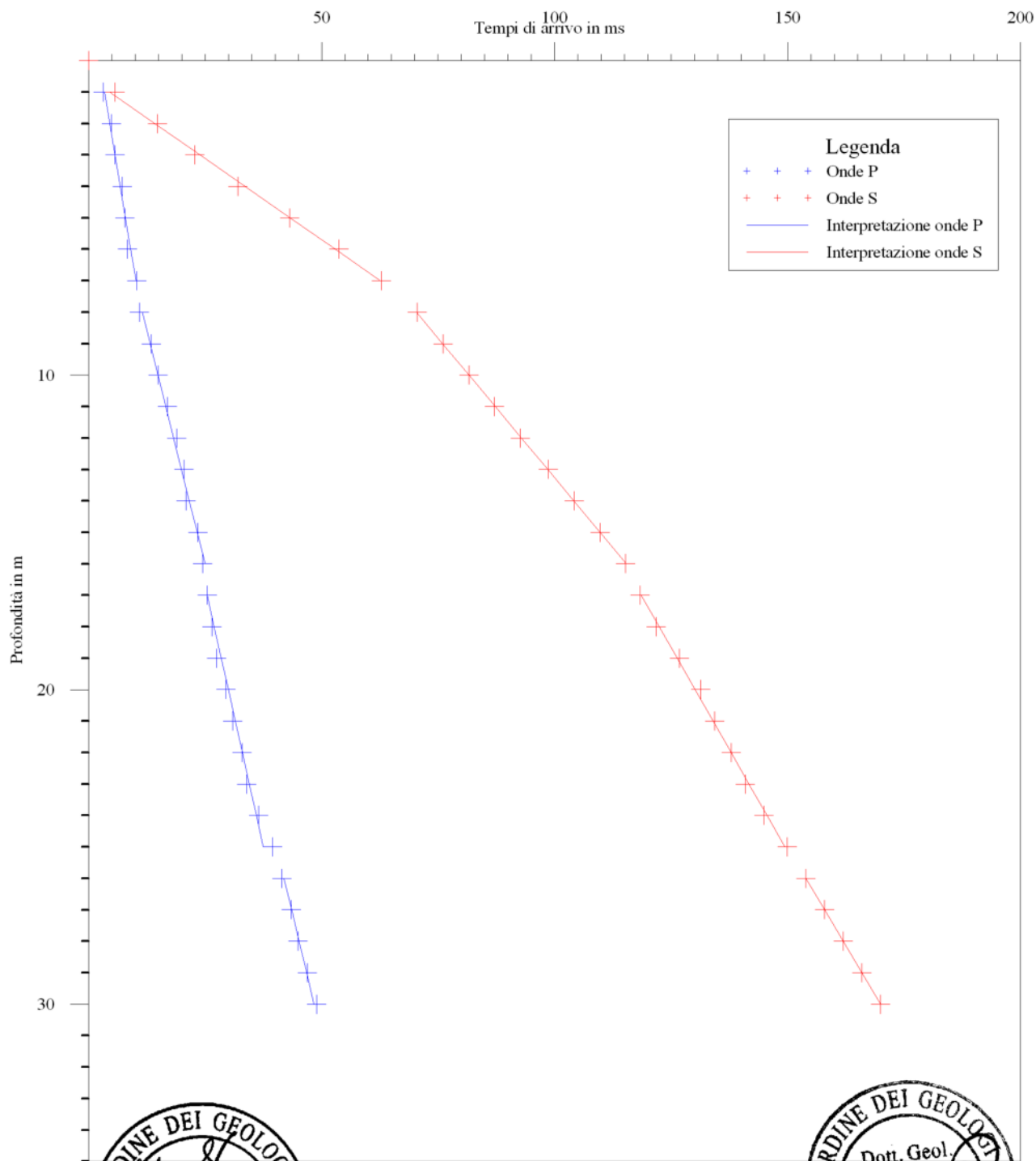


Laboratorio di geofisica

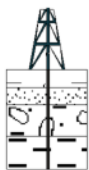
Committente: Dott. Geol. G. Frassinetti **Prova :** Down Hole
Località: Ponte Nuovo (RA) **Data:** 15/04/2009

Interpretazione con il metodo diretto

Certificato n° A 544 - GF 116 PNRAdro



C.G.A.

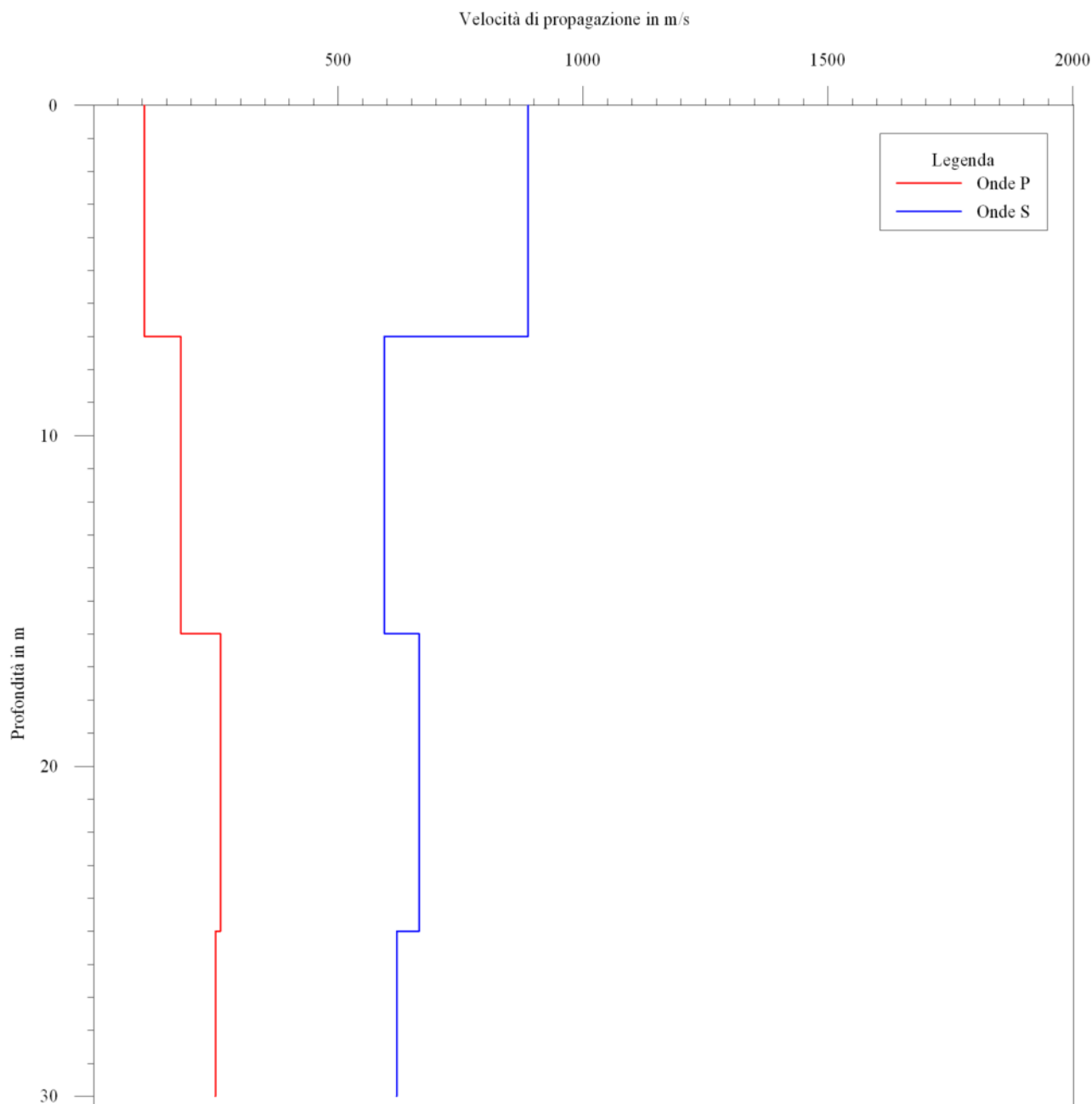


Laboratorio di geofisica

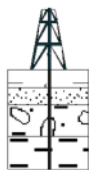
Committente: Dott. Geol. G. Frassinetti **Prova :** Down Hole
Località: Ponte Nuovo (RA) **Data:** 15/04/2009

Interpretazione con il metodo diretto

Certificato n° A 544 - GF 116 PNRAvstr



C.G.A.

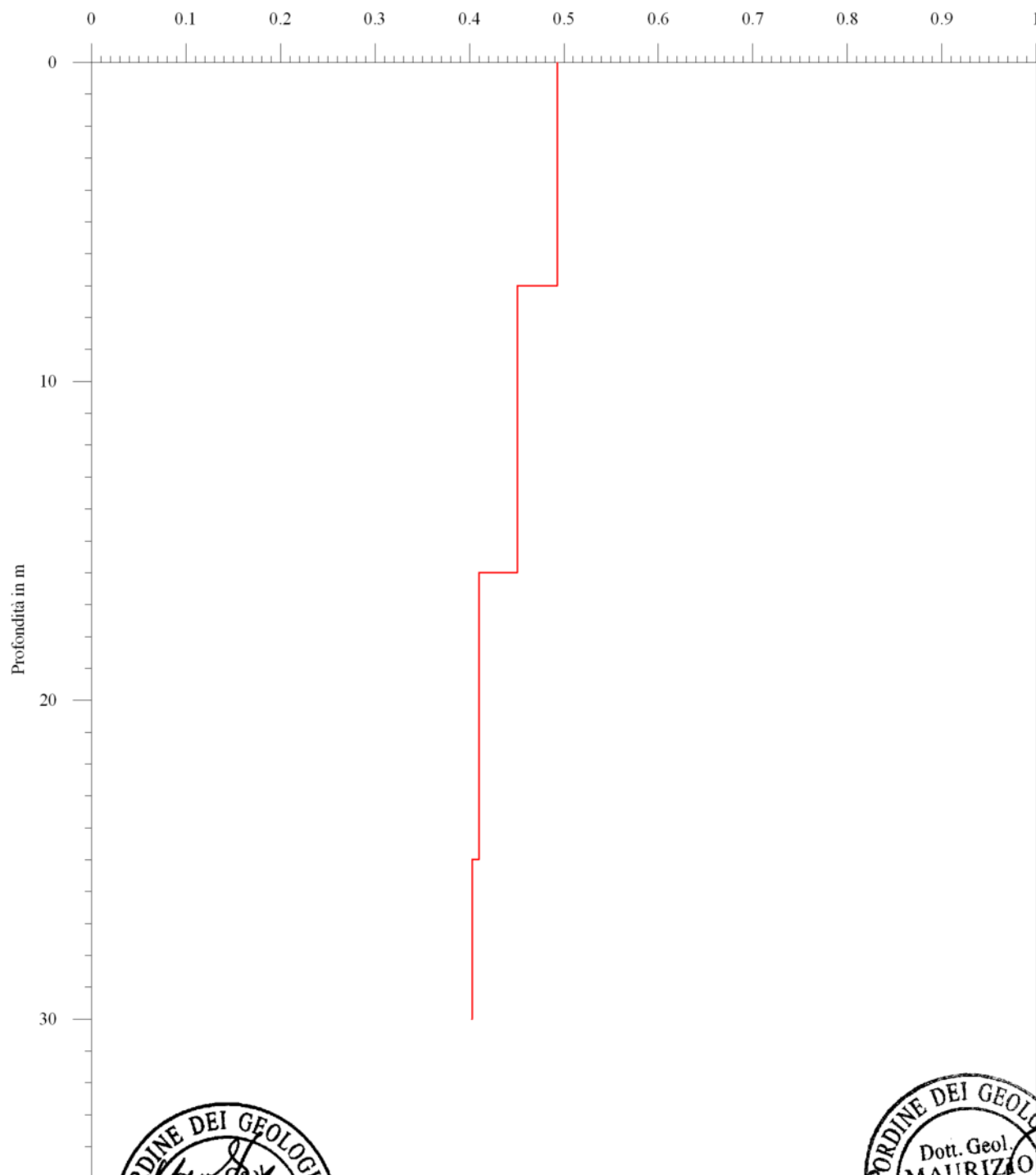


Laboratorio di geofisica

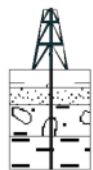
Committente: Dott. Geol. G. Frassinetti **Prova :** Down Hole
Località: Ponte Nuovo (RA) **Data:** 15/04/2009

Metodo diretto - Coefficiente di Poisson

Certificato n°A 544 - GF 116 PNRAdirpoi



C.G.A.

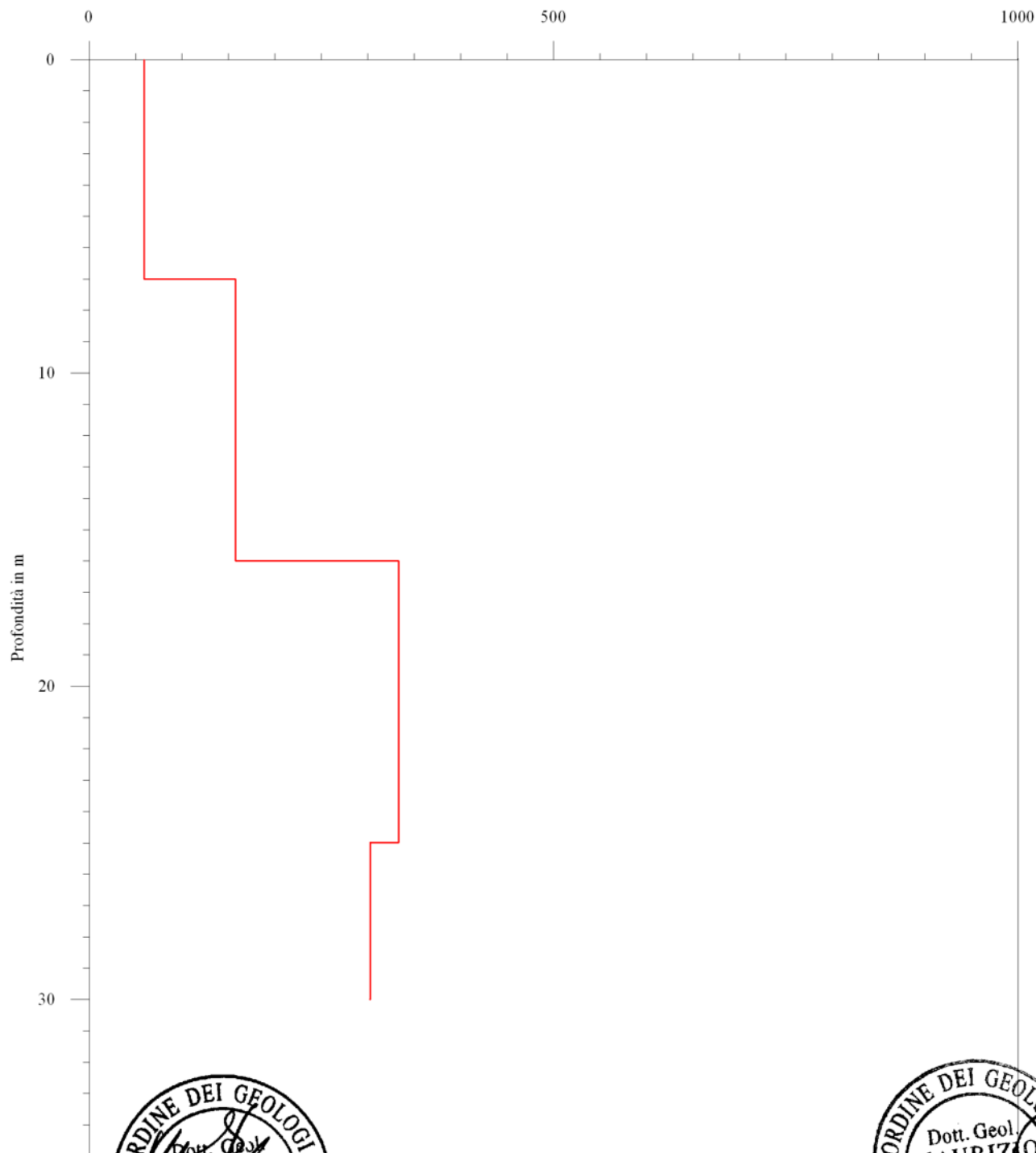


Laboratorio di geofisica

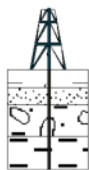
Committente: Dott. Geol. G. Frassinetti **Prova :** Down Hole
Località: Ponte Nuovo (RA) **Data:** 15/04/2009

Metodo diretto - Modulo di Young

Certificato n°A 544 - GF 116 PNRAdiryou



C.G.A.

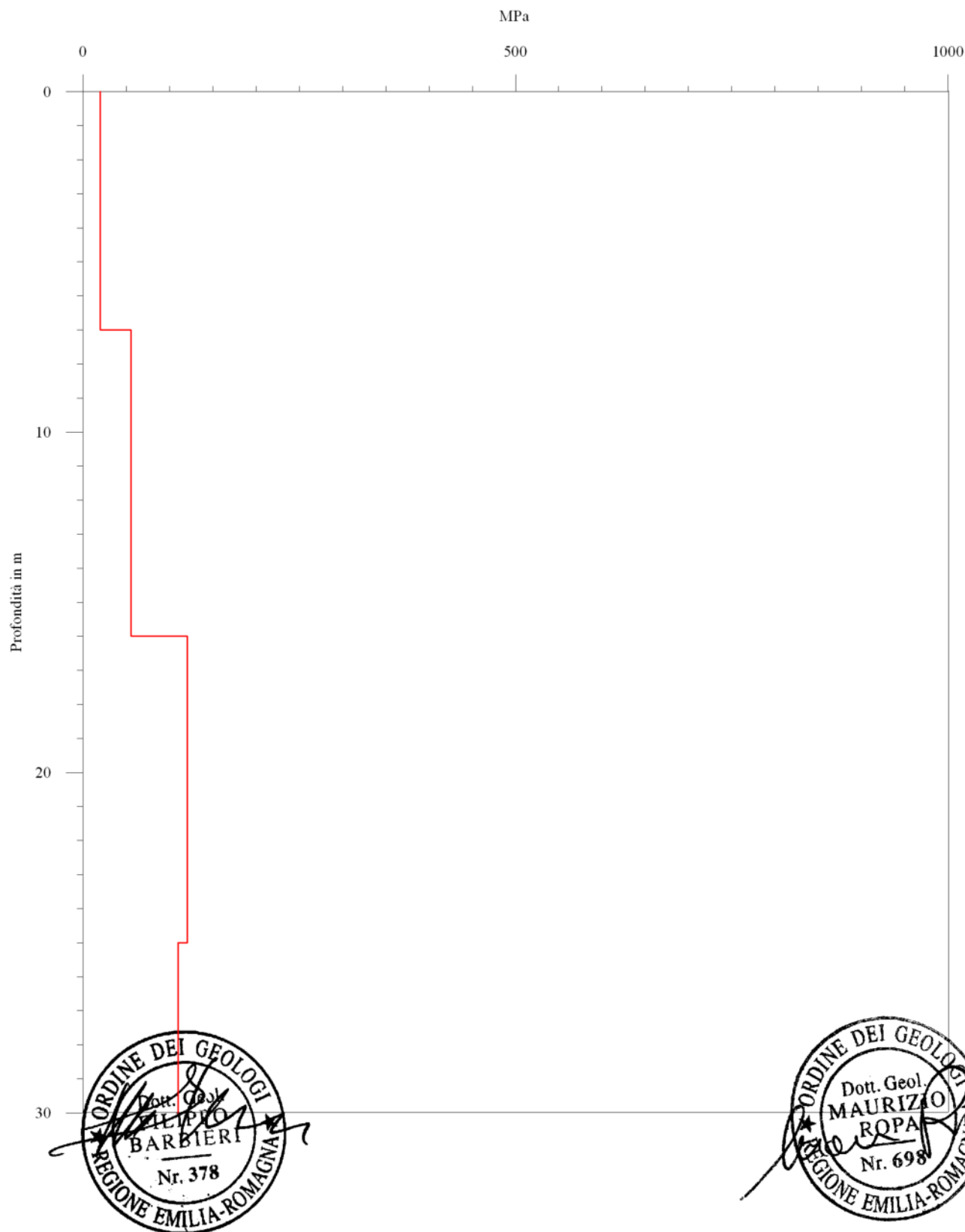


Laboratorio di geofisica

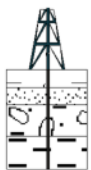
Committente: Dott. Geol. G. Frassinetti **Prova :** Down Hole
Località: Ponte Nuovo (RA) **Data:** 15/04/2009

Metodo diretto - Modulo di deformazione al taglio

Certificato n°A 544 - GF 116 PNRAdiryou



C.G.A.

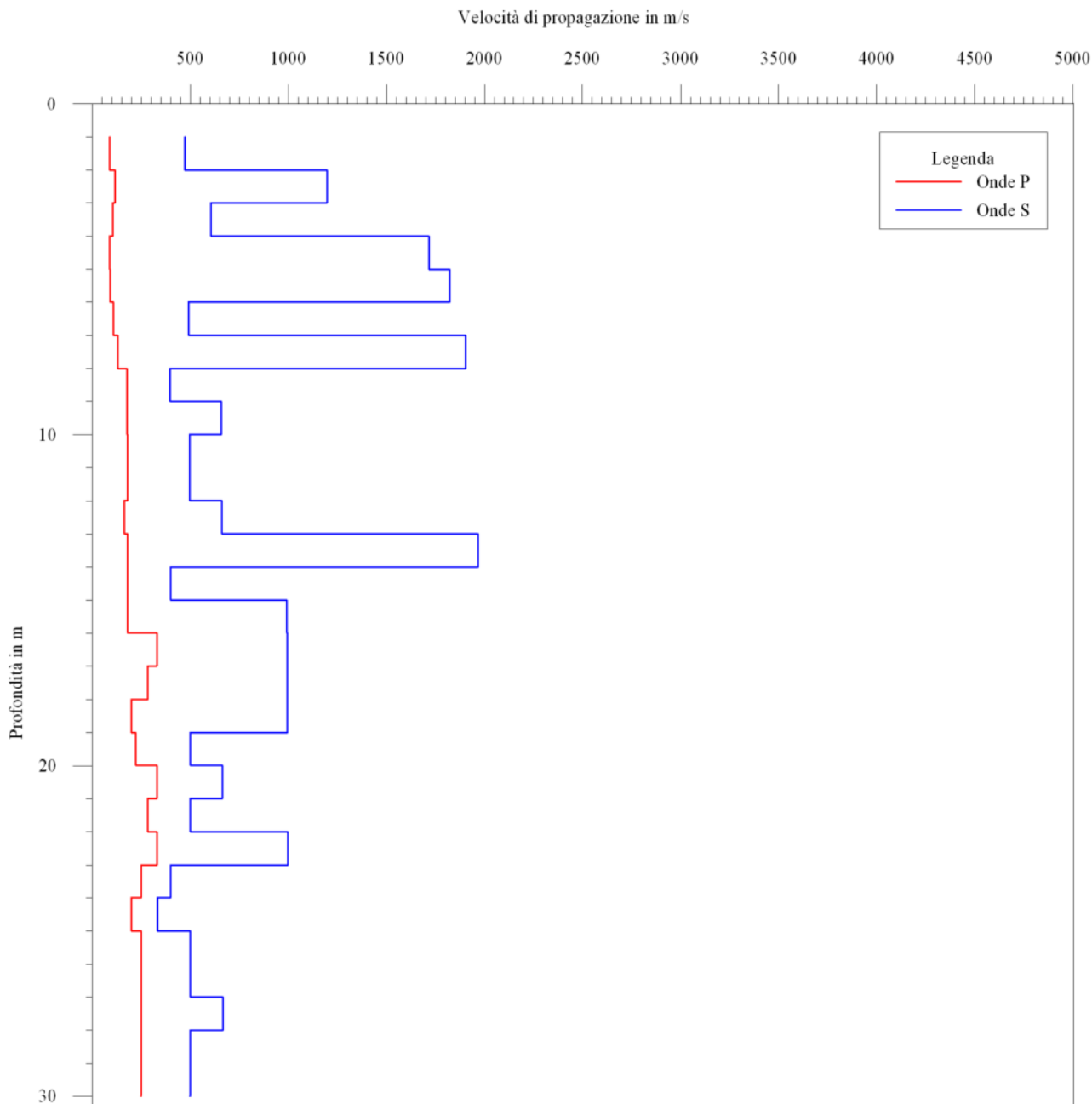


Laboratorio di geofisica

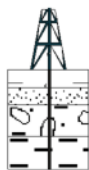
Committente: Dott. Geol. G. Frassinetti **Prova :** Down Hole
Località: Ponte Nuovo (RA) **Data:** 15/04/2009

Interpretazione con il metodo del pseudointervallo

Certificato n°A 544 - GF 116 PNRAvint



C.G.A.

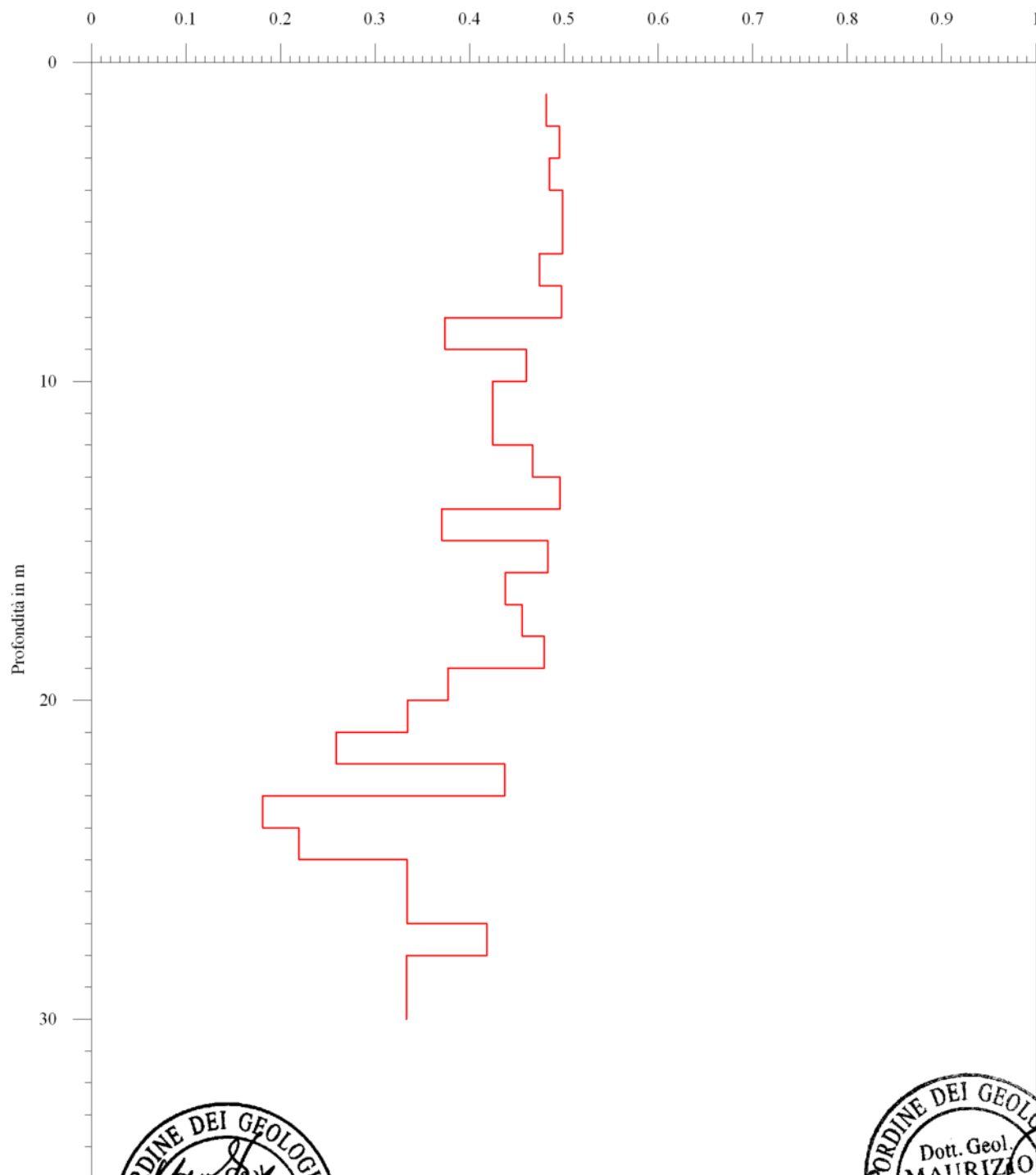


Laboratorio di geofisica

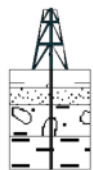
Committente: Dott. Geol. G. Frassinetti **Prova :** Down Hole
Località: Ponte Nuovo (RA) **Data:** 15/04/2009

Metodo pseudointervallo - Coefficiente di Poisson

Certificato n°A 544 - GF 116 PNRAintpoi



C.G.A.

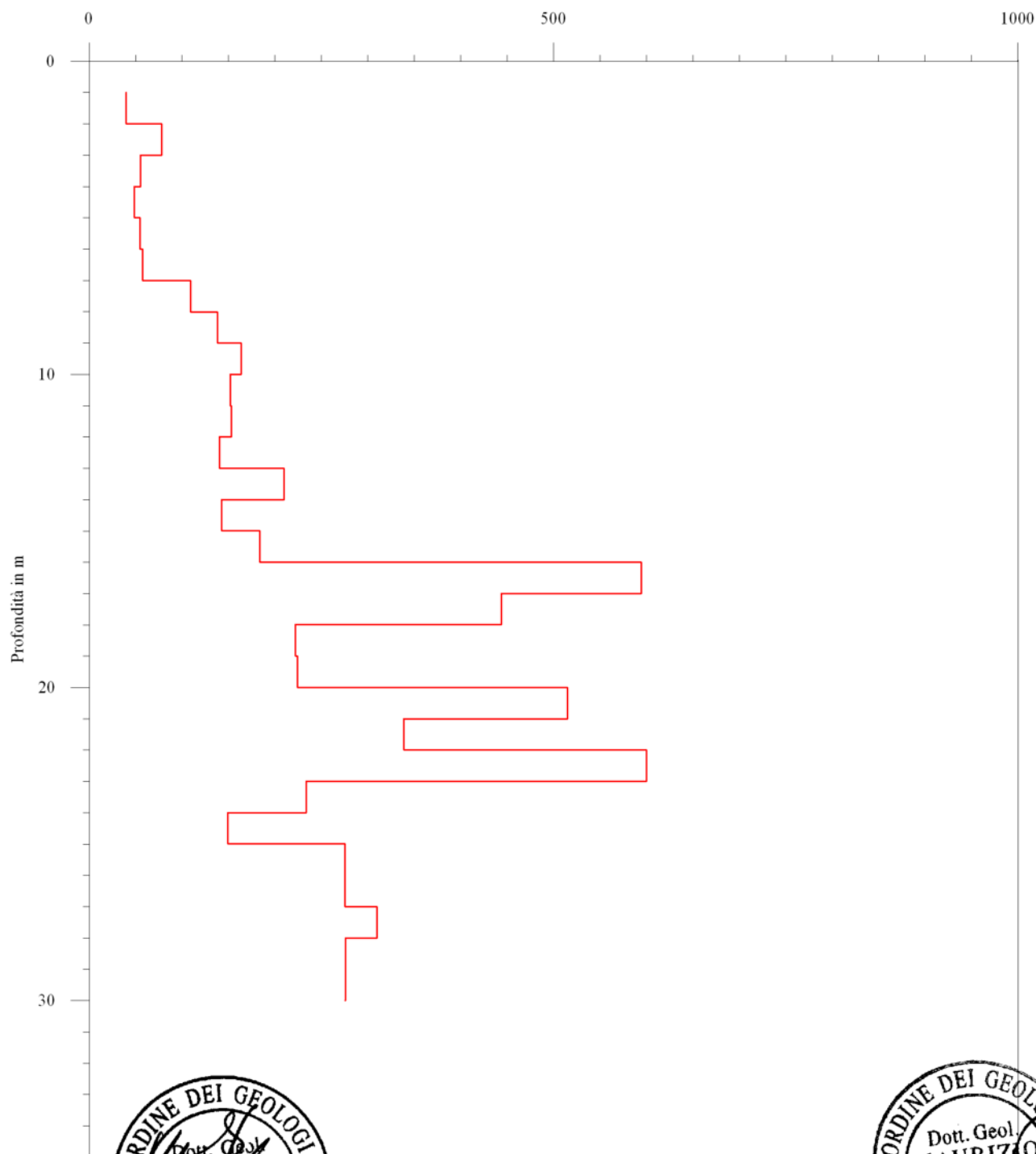


Laboratorio di geofisica

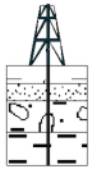
Committente: Dott. Geol. G. Frassinetti **Prova :** Down Hole
Località: Ponte Nuovo (RA) **Data:** 15/04/2009

Metodo pseudointervallo - Modulo di Young

Certificato n° A 544 - GF 116 PNRAintyou



C.G.A.

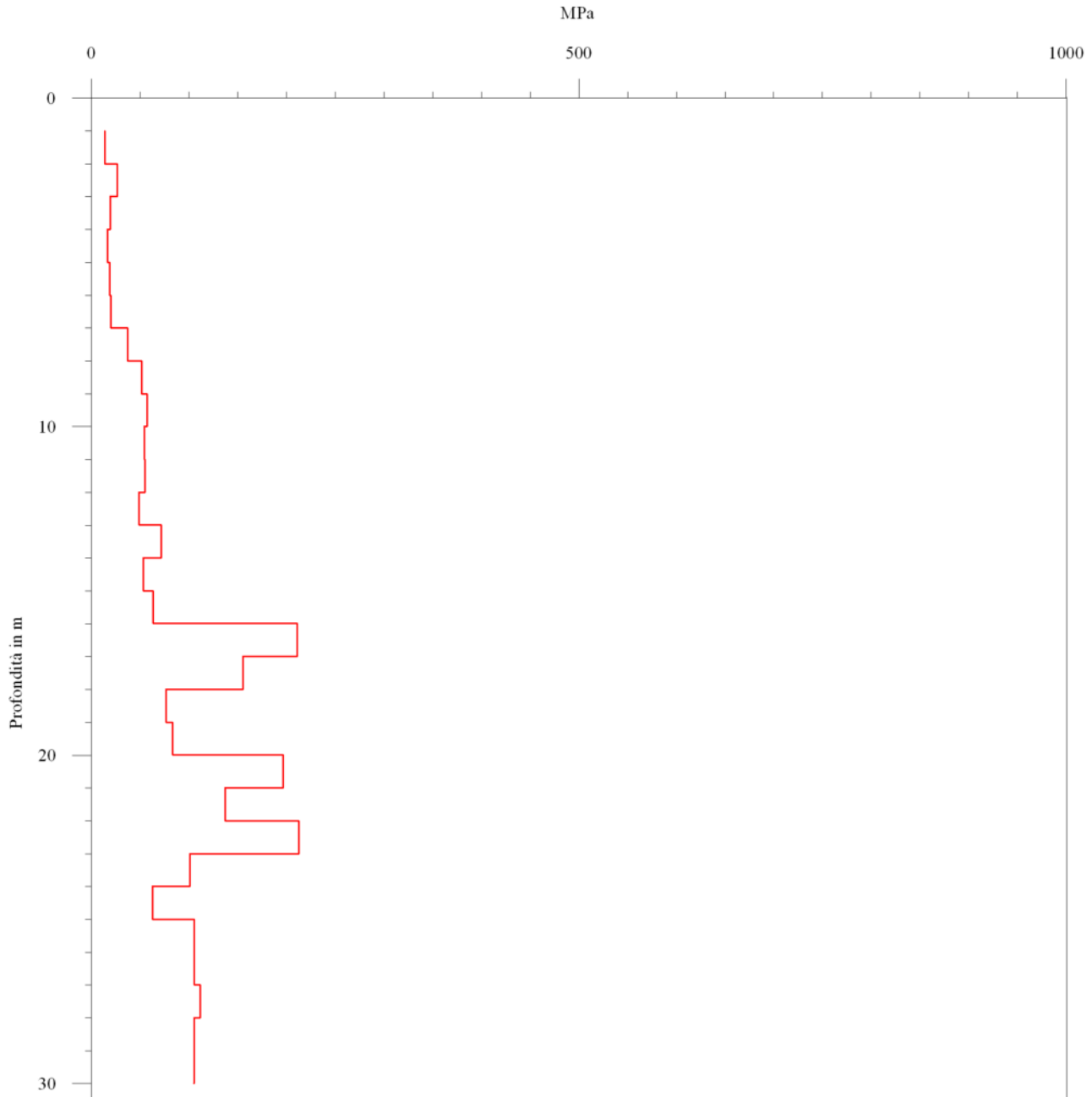


Laboratorio di geofisica

Committente: Dott. Geol. G. Frassinetti **Prova :** Down Hole
Località: Ponte Nuovo (RA) **Data:** 15/04/2009

Metodo pseudointervallo - Modulo di deformazione al taglio

Certificato n° A 544 - GF 116 PNRAinttag



Metodo diretto - Velocità e parametri calcolati						
Prof. (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	γ_{dinamico} (kN)	Coefficiente di Poisson	Modulo di Young (MPa)	G _o Modulo di taglio (MPa)
7.00	887.83	103.47	18.17	0.49	59.22	20.22
16.00	594.11	177.86	16.83	0.45	157.55	55.37
25.00	664.68	259.64	17.19	0.41	333.31	120.53
30.00	619.53	249.70	16.97	0.40	302.68	109.99

Metodo pseudointervallo - Velocità e parametri calcolati						
Prof. (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	γ_{dinamico} (kN)	Coefficiente di Poisson	Modulo di Young (MPa)	G _o Modulo di taglio (MPa)
2.00	473.05	90.30	16.12	0.48	39.70	13.67
3.00	1198.59	115.63	19.23	0.50	78.41	26.74
4.00	606.60	103.91	16.90	0.48	55.26	18.97
5.00	1716.42	87.68	20.59	0.50	48.38	16.46
6.00	1822.75	92.69	20.83	0.50	54.70	18.61
7.00	491.66	108.57	16.24	0.47	57.54	19.90
8.00	1903.99	130.59	21.00	0.50	109.39	37.24
9.00	396.87	177.97	15.59	0.37	138.38	51.34
10.00	659.42	178.83	17.17	0.46	163.53	57.09
11.00	496.59	179.44	16.27	0.42	152.22	54.47
12.00	497.08	179.89	16.27	0.42	152.98	54.75
13.00	662.22	165.32	17.18	0.47	140.47	48.83
14.00	1966.93	180.47	21.13	0.50	209.93	71.56
15.00	398.84	180.67	15.60	0.37	142.40	52.96
16.00	993.61	180.83	18.56	0.48	183.53	63.10
17.00	994.48	330.47	18.56	0.44	594.49	210.79
18.00	995.18	283.90	18.56	0.46	444.22	155.59
19.00	995.76	199.22	18.57	0.48	222.29	76.62
20.00	499.04	221.37	16.28	0.38	224.16	82.97
21.00	665.11	331.63	17.20	0.33	514.75	196.66
22.00	499.20	284.60	16.28	0.26	338.73	137.15
23.00	997.07	331.98	18.57	0.44	600.12	212.83
24.00	399.57	249.31	15.61	0.18	233.74	100.89
25.00	333.05	199.60	15.08	0.22	149.44	62.47
26.00	499.39	249.43	16.29	0.33	275.61	105.35
27.00	499.43	249.48	16.29	0.33	275.71	105.40
28.00	665.72	249.52	17.20	0.42	309.74	111.35
29.00	499.50	249.56	16.29	0.33	275.88	105.47
30.00	499.53	249.59	16.29	0.33	275.95	105.50