

Committente:



PROVINCIA  
DI REGGIO EMILIA



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU

## PROVINCIA REGGIO EMILIA SERVIZIO UNITA' SPECIALE PER L'EDILIZIA E LA SISMICA

Corso Garibaldi, 59 - 42121 Reggio Emilia

Il dirigente del Servizio: Ing. Azzio Gatti

Responsabile Unico del Procedimento: Arch. Ilaria Martini

Oggetto:

### AMPLIAMENTO DELL'ISTITUTO SUPERIORE "C. CATTANEO"

in Via Impastato 3 - CASTELNOVO NE' MONTI (RE)



Fase:

## PROGETTO DEFINITIVO

Progettista Incaricato:

Ing. Giuseppe Herman



Team di Progettazione:

Progetto Architettonico

ARCH **AP** ROGETTI  
STUDIO ASSOCIATO

Arch. Marco Valli - Ing. Chiara Benassi

Progetto Strutturale

Ing. Giuseppe Herman

Coordinatore Sicurezza in  
Fase di Progettazione

Ing. Giuseppe Herman

Progetto Impianti  
Meccanici



P. Ind. Sergio Cantoni

Progetto Impianti  
Elettrici



P. Ind. Claudio Villa

Progetto Antincendio

Arch. Mauro Iotti

Progetto Acustico



Ing. Emanuele Morlini  
Ing. Luca Parmeggiani

Elaborato: 06.1 - RELAZIONE GEOLOGICA

# D.ST 06

Scala:

Data:

Giugno 2022

Agg.:

**Dr. Roberto Farioli**  
*Geologo*  
Via Ippolito Nievo n. 9  
42123 Reggio Emilia  
*Cell. 338 1168699*

*PROVINCIA DI REGGIO EMILIA*

**Progetto di adeguamento sismico dell'edificio scolastico  
sede dell'istituto di istruzione superiore "C. Cattaneo – A. Dall'Aglio"  
sito in via Matilde di Canossa, 3  
nel Comune di Castelnovo ne' Monti (RE)**

**Relazione geologica**

*Dicembre 2018*

**Dr. Roberto Farioli**  
*Geologo*  
Via Ippolito Nievo n. 9  
42123 Reggio Emilia  
*Cell. 338 1168699*

*PROVINCIA DI REGGIO EMILIA*

**Progetto di adeguamento sismico dell'edificio scolastico  
sede dell'istituto di istruzione superiore "C. Cattaneo – A. Dall'Aglio"  
sito in via Matilde di Canossa, 3  
nel Comune di Castelnovo ne'Monti (RE)**

**Relazione geologica**

*Dicembre 2018*

**Indice**

1	PREMESSA .....	1
2	GEOLOGIA DEL COMPARTO E STUDI PREGRESSI .....	2
3	QUADRO SISMICO DI RIFERIMENTO .....	7
4	INDAGINI.....	8
4.1	Prove penetrometriche statiche (CPT 1 ÷ CPT 10) .....	9
4.2	Carotaggio S1/2018 .....	11
4.3	Pozzetti con escavatore (P1 – P2).....	12
4.4	Prospezioni sismiche .....	13
4.5	Prove di laboratorio .....	13
5	MODELLO GEOLOGICO.....	15
6	MODELLO GEOTECNICO .....	17
7	PARAMETRI DI RIFERIMENTO PER L'ANALISI SIMICA .....	19
8	STABILITÀ .....	19
8.1	Condizioni statiche .....	21
8.1.1	Blocco C .....	21
8.1.2	Blocco D .....	21
8.2	Condizioni dinamiche .....	22
8.2.1	Blocco C .....	22
8.2.2	Blocco D .....	23

**Dr. Roberto Farioli**  
*Geologo*  
Via Ippolito Nievo n. 9  
42123 Reggio Emilia  
*Cell. 338 1168699*

### **Tavole**

- |       |                                  |
|-------|----------------------------------|
| 1 - 5 | Diagrammi penetrometrici statici |
| 6     | Stratigrafia carotaggio S1/2018  |

### **Allegati**

- |   |                                                                        |
|---|------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Studio di fattibilità per nuovo edificio aule e palestra (Luglio 1987) |
| 2 | Prospezioni sismiche                                                   |
| 3 | Certificati di laboratorio                                             |
| 4 | Inputs e outputs delle verifiche di stabilità                          |



## 1 PREMESSA

Nell'ambito del progetto per l'adeguamento sismico dell'edificio scolastico "C. Cattaneo – A. Dall'Aglio" sito in Castelnovo ne' Monti (RE), d'intesa con CAIREPRO S.C. ho curato lo studio inerente la caratterizzazione del suolo.

Il settore d'interesse è evidenziato sulla foto satellitare di figura 1.



*Figura 1*

Nel presente rapporto espongo i risultati del lavoro, condotto in ottemperanza alle *Norme Tecniche per le Costruzioni* nella versione aggiornata del 2018.

## 2 GEOLOGIA DEL COMPARTO E STUDI PREGRESSI

Una tesina di rilevamento che effettuai nel 1982 con relatore Prof. Luigi Vernia dell'Università di Parma, comprese anche la zona su cui ora sorge il plesso scolastico di Via Matilde di Canossa; in figura 2 è l'estratto della mappa prodotta allora.

Le curve di livello riflettono la morfologia del versante antecedente la realizzazione dei corpi di fabbrica; il declivio si sviluppa tra 725 e 685 m s.l.m. afferendo al Rio Dorgola con pendenze variabili da 11° a 14° e forme dolcemente ondulate.

I tratteggi rossi identificano faglie che posi per segnalare un contatto tettonico presunto tra le Marne di Antognola (campite in azzurro e blu), e le arenarie di Ranzano (in tonalità marrone), litologie assai diffuse nel Capoluogo e di cui si leggerà a breve.

La carta di figura 3 riporta i primi edifici; l'istituto "C. Cattaneo – A. Dall'Aglio", portato a termine nei primi anni '80, è all'interno dell'ovale rosso<sup>1</sup>.

Sovrapponendo idealmente le due figure si noterà che l'edificio cade esattamente a cavallo della dislocazione NW-SE identificata a suo tempo.

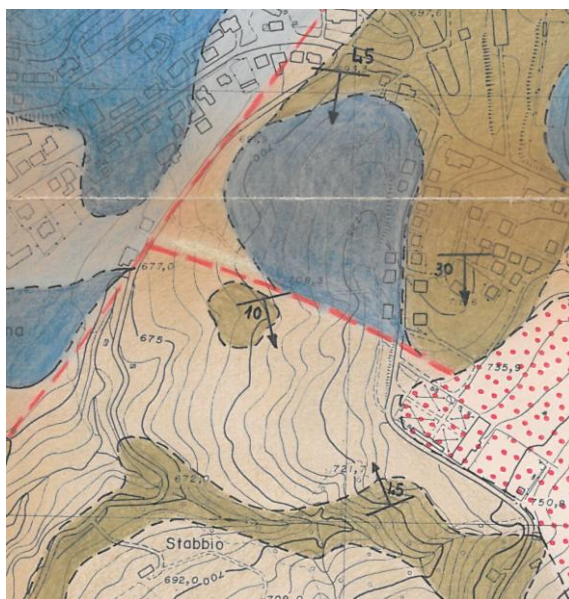


Figura 2

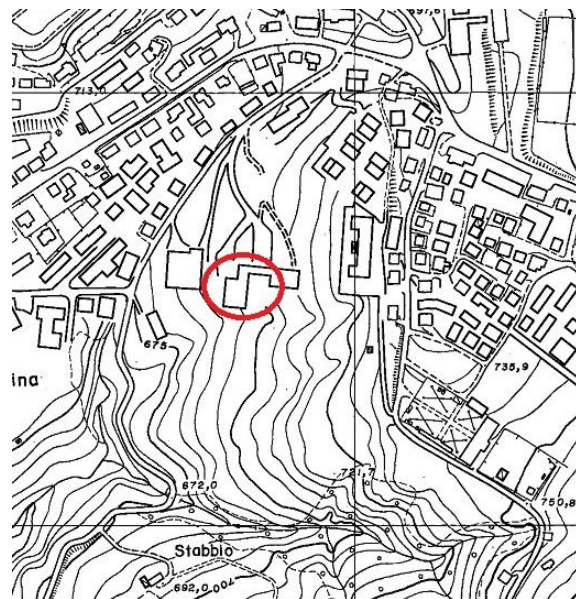
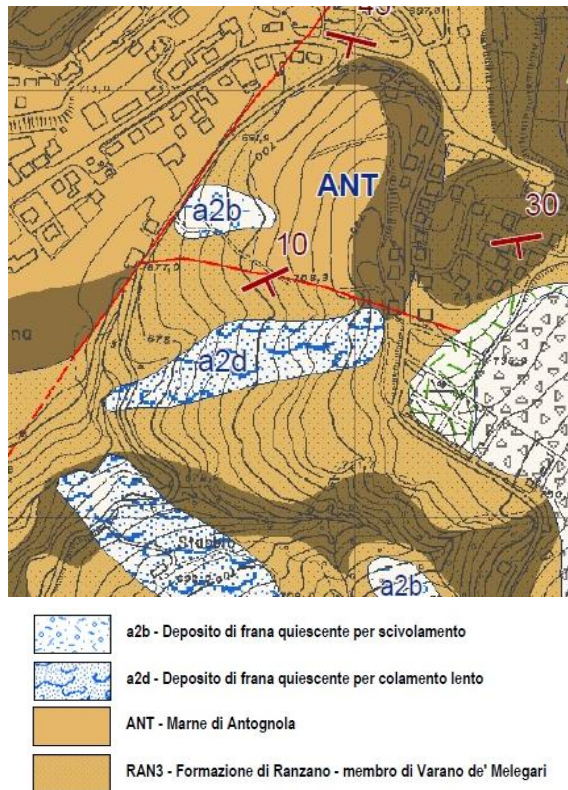


Figura 3

Dal rilievo del 1982 scaturì la Carta Geologica dell'Appennino Emiliano Romagnolo (edizione 1989), a sua volta supporto del più recente elaborato prodotto dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli RER, che in cascata, pur aggiungendo il dettaglio di qualche zona instabile, conserva i tratti fondamentali (figura 4).

<sup>1</sup> Il tentativo di recuperare la relazione geologica di supporto al disegno delle fondazioni si è rivelato infruttuoso (il progetto risale all'ottobre 1979); per lo studio in esame non si dispone dunque di informazioni stratigrafiche, geomeccaniche e sismiche.





#### **a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento**

Deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia, che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio.

#### **a2d - Deposito di frana quiescente per colamento lento**

Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più coesivi. I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili.

#### **ANT - Marne di Antognola**

Marne argillose e marne silteose verdognole o grigie con patine manganesifere. Stratificazione difficilmente percepibile. Sono presenti livelli torbiditici di arenarie vulcanoclastiche, arcose e quarzoso-feldspatiche, talora selciose. Localmente presente un orizzonte a slumping (sl). Localmente è stata distinta la litofacies arenacea (ANTA), caratterizzata dalla presenza di torbiditi arenaceo-pelitici con areniti medio-fini, in strati sottili e medi, e areniti grossolane in strati spessi. Il limite inferiore discordante su RAN, netto su LGR; unità in eteropia con MVT. La potenza totale della formazione varia da pochi metri a oltre 200 m.  
*Rupeliano terminale - Burdigaliano inf.*

#### **RAN3 - Formazione di Ranzano - membro di Varano de' Melegari**

Torbiditi arenaceo-pelitici con  $A/P < 1$ , in strati da sottili a spessi, tabulari o lenticolari; litareniti risedimentate fini o finissime, grigio verdastre, particolarmente ricche di frammenti di rocce carbonatiche, passanti a pelite e pelite marmosa scura. Le peliti possono localmente costituire anche l'intero strato. Nell'area del Foglio 218 sono frequenti gli intervalli caotici, sono presenti anche livelli ricchi di frammenti di serpentinoscisti e altre metamorfiti di alta pressione e strati sottili di vulcanoareniti feldspatiche di composizione andesitica. Passaggio inferiore netto su RAN2. Potenza massima di oltre 600 m.  
*Rupeliano medio - sup.*

Figura 4

Un'anticipazione sui fenomeni gravitativi locali fu resa nel Luglio del 1987 dal Dr. Mario Mambrini a seguito di indagini geologico-tecniche per la fattibilità di un progetto che prevedeva un nuovo edificio aule (primo accrescimento) e la palestra.

Il relativo rapporto è in allegato 1 insieme all'appendice che documenta l'esito di un accertamento finale relativo alla palestra.

Proprio quest'ultimo rivelò la presenza di *“una profonda e stretta depressione che affossa la roccia a quasi 10 m di profondità, lungo la mezzeria dell'edificio in progetto”*.

Una peculiarità che poteva giustificarsi solo mettendo in conto un'alterazione selettiva della formazione di base lungo un piano di faglia e che avrebbe determinato condizioni critiche in caso di sisma; ragione per la quale la palestra fu spostata.

Con l'ausilio di prove geognostiche (penetrometrie dinamiche e saggi con escavatore meccanico), si era probabilmente individuata la dislocazione segnata sulle carte geologiche qualche decina di metri più a Sud, un divario plausibile quando l'analisi deriva dall'osservazione di pochi lembi affioranti.

Costruita la palestra altrove, furono in seguito avviate indagini (1997 - 1999) per ulteriori espansioni (tra cui il secondo accrescimento); in tutto: quattro prospezioni sismiche a rifrazione (P1-P2-P3-P4), altrettanti carotaggi (S1/1997 - S1 - S2 - S3) e numerose prove di laboratorio sulle campionate.

La figura 5 richiama la posizione delle prove disponibili.

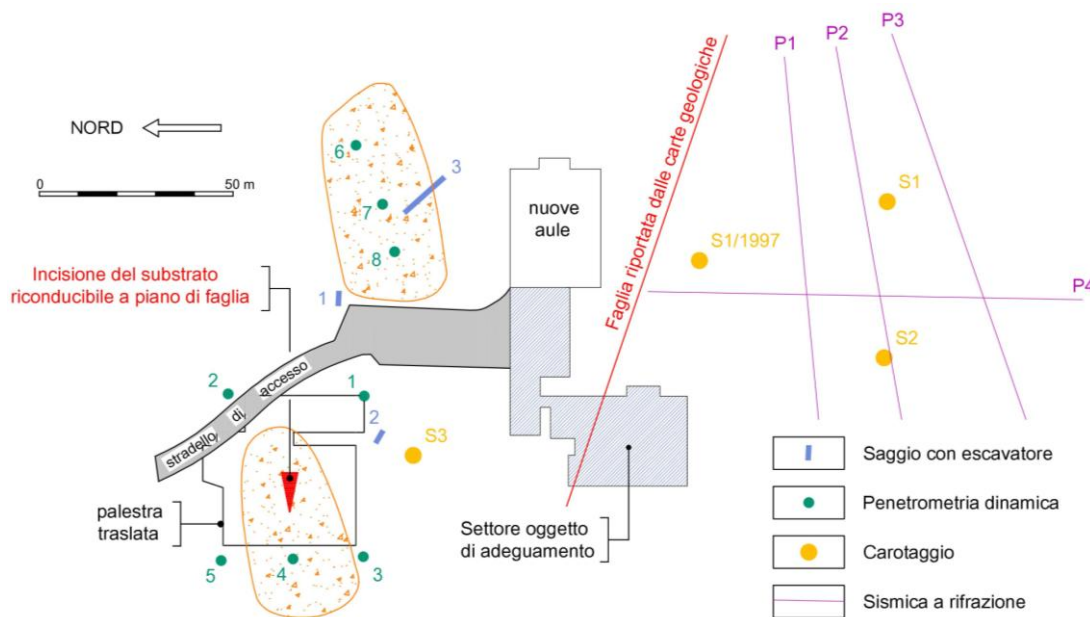


Figura 5

Dei carotaggi si occupò l'Impresa Montanari Perforazioni di Rivalta (RE), i rilievi sismici furono a carico della GE.IM.CO. S.r.l. di Bologna, che provvede anche alle analisi di laboratorio, all'elaborazione dei dati ed alle verifiche geotecniche.

Le stratigrafie delle prove più prossime al settore in esame sono riportate nelle figure 6, 7 e 8.

Dr. Roberto Farioli  
Geologo  
Via Ippolito Nievo n. 9  
42123 Reggio Emilia  
Cell. 338 1168699

5

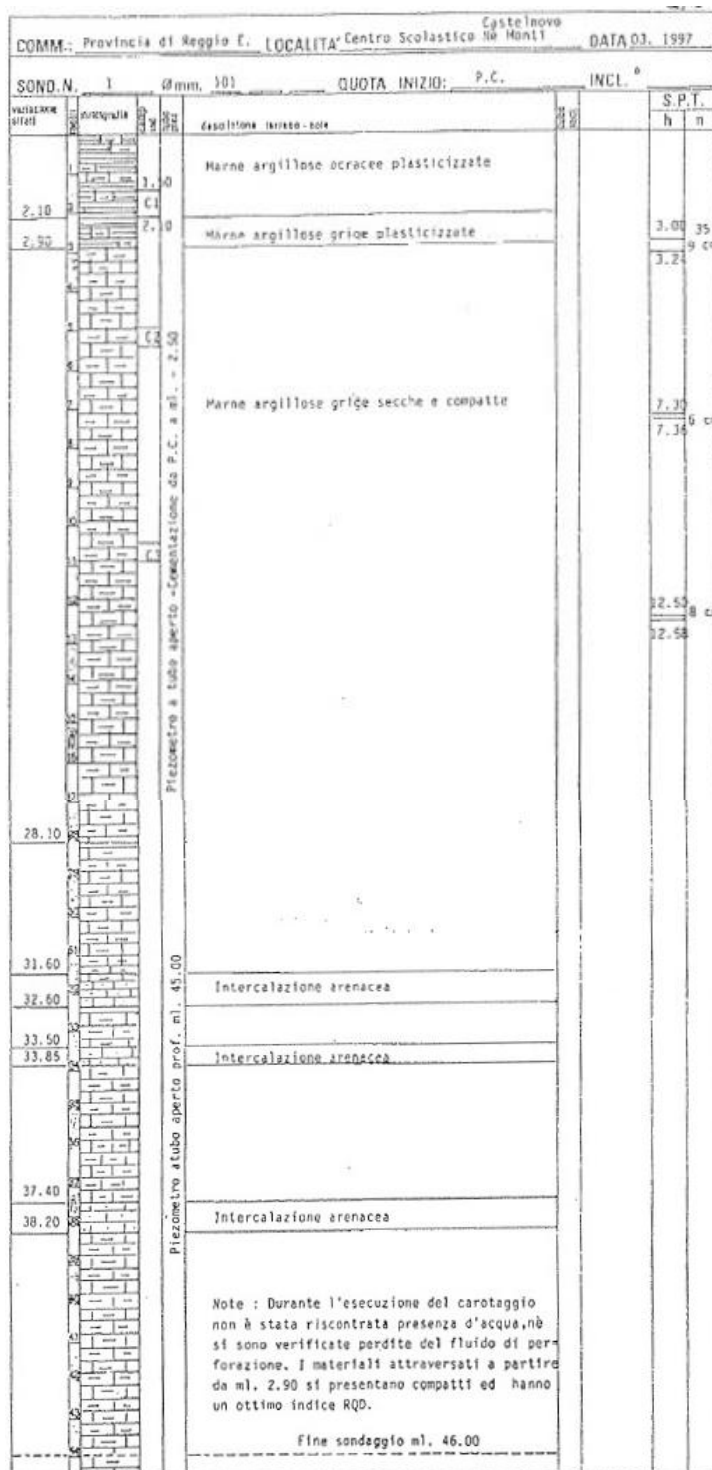


Figura 6 (omesso il tratto da -17 a -27 m)

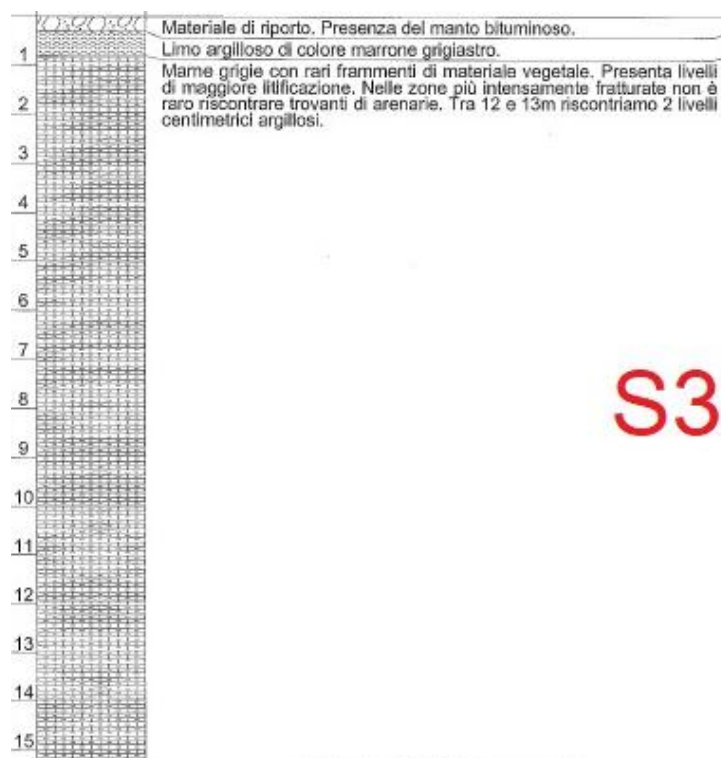
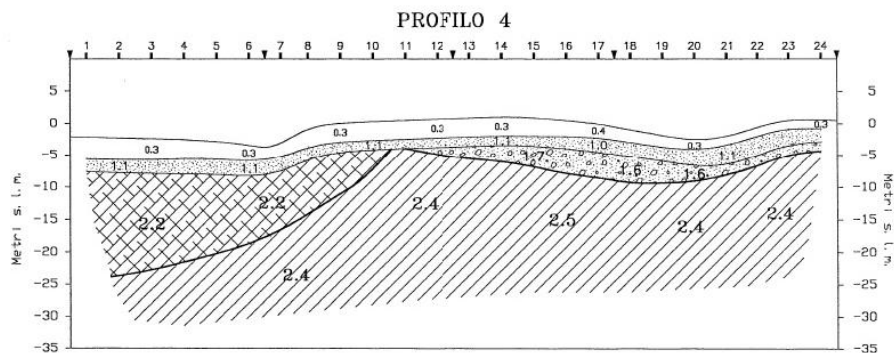


Figura 7



- strato aerato superficiale indicato da velocità di 0.3-0.4 Km/sec
- strato "instabile" indicato da velocità di 1.0-1.4 Km/sec
- accumuli di materiale sciolto localmente addensato (ma che in relazione a presenza di acqua può rimovimentarsi) individuati da velocità di 1.6-1.8Km/sec;
- substrato di fondo contraddistinto da velocità superiori a 2.0 Km /sec all'interno del quale si possono individuare porzioni più alterate e/o degradate (2.0-2.2 Km/sec) e invece porzioni più consistenti (2.3-2.5 Km/sec).

Figura 8

I livelli di arenaria riconosciuti nelle carote confermano la presenza della Formazione di Ranzano; l'indagine sismica, al di là delle opinabili corrispondenze tra la velocità di propagazione delle onde e l'attitudine al dissesto, mostra che verso l'istituto "C. Cattaneo – A. Dall'Aglio" (lato destro del profilo), il substrato tende alla superficie topografica.

### 3 QUADRO SISMICO DI RIFERIMENTO

Il Comune di Castelnovo ne' Monti risulta compreso tra le zone 2 secondo D.G.R. n. 1677 del 24/10/2005.

Da una ricerca sui data base *ISIDe* e *Catalogo parametrico dei terremoti italiani*, i principali eventi registrati in un raggio di 30 km a partire dal 1800 risultano quelli riportati in tabella 1.

Anno	Località	Magnitudo macrosismica
1818	Langhirano	5.57
1869	Serramazzoni	5.03
1873	Liguria orientale	5.52
1892	Carpineti	4.83
1898	Calestano	5.07
1904	Reggiano	5.13
1909	Carpineti	4.83
1913	Val di taro	4.85
1920	Garfagnana	6.48
1920	Piazza Serchio	4.64
1925	Frassinoro	4.65
1926	Reggiano	4.61
1927	Cervarezza	4.66
1930	Scandiano	4.83
1940	Corniglio	4.93
1957	Monchio	4.63
1965	Alta Val Secchia	5.01
1967	San Polo	4.83
1970	San Polo	4.80
1972	Calestano	4.66
2002	Serramazzoni	4.10
2007	Corniglio	4.10
2008	Neviano degli Ardunini	4.90
2008	Vetto	4.40
2008	Langhirano	4.00

*Tabella 1*

Occorre dunque attendersi terremoti con Magnitudo massima intorno a 6.5, dato riferito alla notoriamente critica Garfagnana.



La figura 9 (da Camassi e Stucchi, 1977) mostra gli epicentri, le intensità macrosismiche e le zone sismogenetiche (in grigio) dell'Italia centro-settentrionale.

Relativamente a queste ultime, il settore di progetto ricade al confine tra la 29 e la 30, che fanno parte della zolla padano-adriatico-ionica in via di subduzione sotto la catena appenninica.

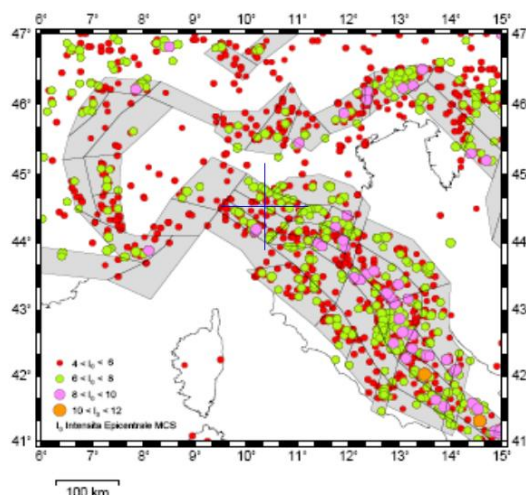


Figura 9

## 4 INDAGINI

La presenza sulla carta di un piano di faglia condiziona fortemente il programma delle indagini.

Nel caso in cui il volume significativo di terreno sia caratterizzato da situazioni stratigrafiche tipiche e ben definite, cui corrispondano anche prefissati campi di variazione delle velocità delle onde S, le Norme offrono la possibilità di studiare la risposta sismica locale con procedimento semplificato; questo permette di identificare uno spettro di risposta elastico sulla scorta dell'accelerazione massima su suolo rigido di riferimento e del coefficiente di amplificazione stratigrafica.

Nel caso contrario, occorre che l'analisi sia supportata da una conoscenza adeguata delle proprietà geotecniche dei terreni e delle relazioni sforzi-deformazioni in campo ciclico ottenute con specifiche indagini e prove.

Per questo motivo, la Committenza ha predisposto la seguente campagna d'indagine:

- n. 10 sondaggi penetrometrici statici (CPT) preliminari, opportunamente disposti all'intorno del fabbricato e nel tratto coperto;
- n. 1 carotaggio spinto a -15 m (da collocare nella zona dove le prove preliminari indicavano le condizioni più critiche) nel corso del quale effettuare prelievi di campioni e prove dinamiche in foro (SPT);



- prospezioni MASW intese a definire la velocità delle onde di taglio nel pacco d'interesse sismico e rifrazione sismica con metodo tomografico per rilevare avvallamenti ovvero consistenze anomale del substrato.

Quanto alle prove di laboratorio, oltre alle consuete determinazioni si sono richieste tre prove di colonna risonante da attuarsi in caso di marcate eterogeneità geomeccaniche tra i terreni a contatto con l'impianto fondale.

Come di prassi, alle indagini geotecniche è stata affiancata una campagna mediante escavatore per verificare la natura delle fondazioni.

Al termine delle operazioni in campo, la mappatura dei sondaggi e dei pozzetti esplorativi ha portato al disegno di figura 10.

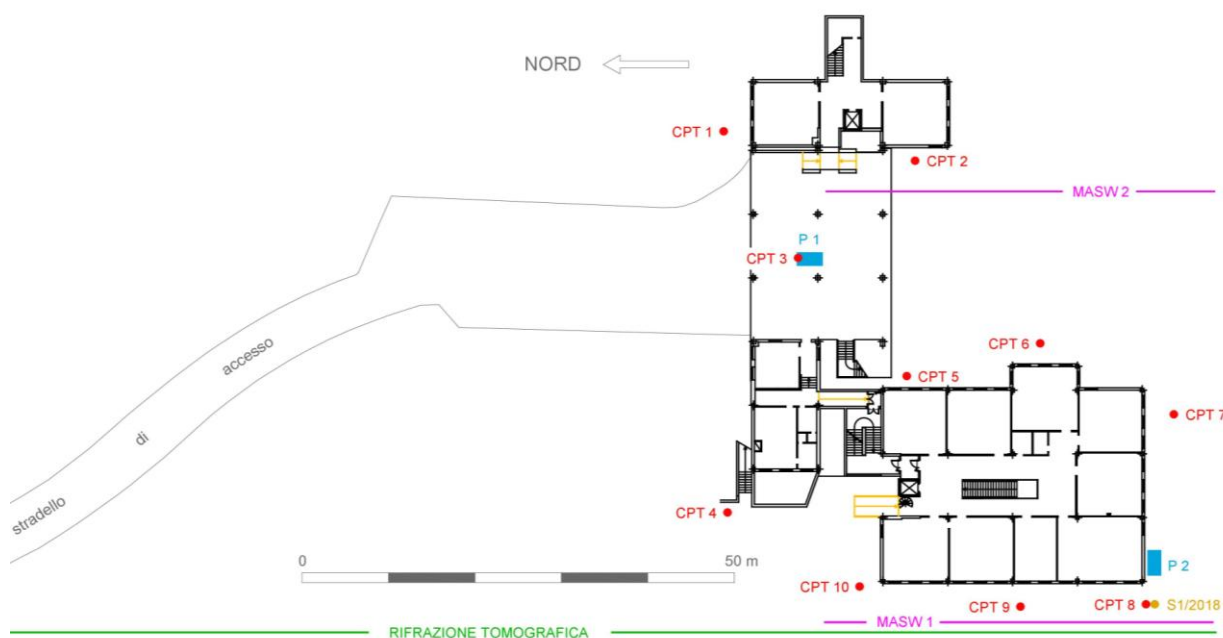


Figura 10

A seguire si riportano annotazioni relative alle varie tipologie d'indagine ed i risultati conseguiti.

#### 4.1 Prove penetrometriche statiche (CPT 1 ÷ CPT 10)

La campagna geognostica è stata condotta utilizzando un penetrometro di scuola olandese con spinta nominale pari a 20 t; le resistenze sono indicate da tre manometri a scale differenziate.

Una testa di rotazione abbinata alla sonda consente l'infissione dell'elica di ancoraggio e trivellazioni con carotieri di vario diametro, queste ultime davvero utili quando occorre rimuovere asfalti e relativi sottofondi disposti lungo le verticali prescelte.

In effetti, per la maggior parte dei sondaggi si è resa necessaria una trivellazione preliminare; solo CPT 5, CPT 6 e CPT 7 hanno avuto inizio da un prato<sup>2</sup>, CPT 3 ha invece sfruttato lo scasso effettuato per l'osservazione di un plinto.

Tutte le prove sono state spinte al limite strumentale, talora raggiunto dopo pochi passi d'infissione, vuoi per le elevate resistenze di punta, vuoi per lo sfilamento dell'elica che più di tanto non poteva avanzare nel substrato marnoso.

I risultati, cioè la resistenza statica alla punta  $q_c$ , la resistenza frizionale  $f_s$  ed il rapporto  $q_c/f_s$  sono diagrammati nelle tavole 1 ÷ 5 (i tratti iniziali privi di misure si riferiscono al puntale in corsa a vuoto all'interno del preforo).

Nel particolare contesto, le indicazioni sulla natura dei materiali attraversati possono trarsi direttamente dai valori di resistenza alla punta: la coltre che ricopre il substrato è relativamente morbida, mentre quest'ultimo risulta imperforabile, tanto che al repentino incremento di  $q_c$  segue l'arresto del sondaggio<sup>3</sup>; valori intermedi saranno invece attribuibili al substrato alterato.

Sempre  $q_c$  permette di valutare la resistenza a taglio in condizioni non drenate dei terreni coesivi.

Nel caso, si è considerata la relazione:

$$c_u = \lambda (q_c - \sigma_{v0}) / (q_c / 4 + 20)$$

con  $q_c$  = resistenza alla punta espressa in bar,  $\lambda$  compreso tra 1.00 e 1.25.

La figura 11 mostra i criteri di lettura dei diagrammi su due casi-tipo e la coesione non drenata calcolata per le diverse compagini.

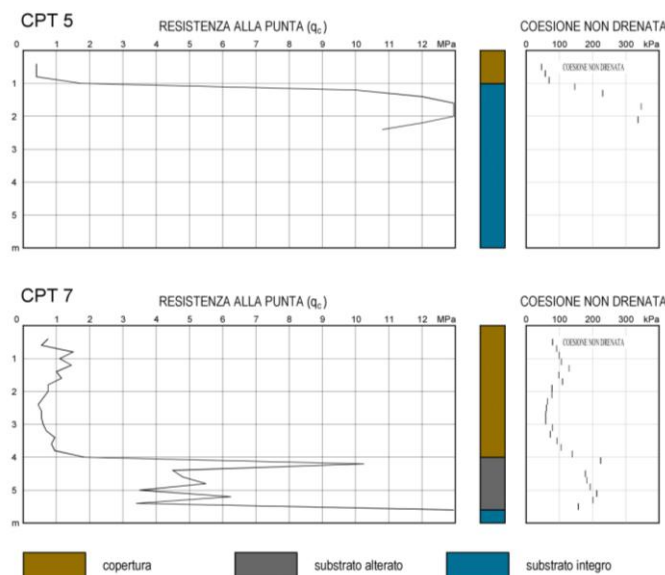


Figura 11

<sup>2</sup> La quota d'inizio del CPT 7 è rilevata di 1.17 m rispetto a quella del CPT 8

<sup>3</sup> Con ancoraggi efficaci, alcune prove hanno fatto registrare resistenze alla punta > 43 MPa

Il parametro  $c_u$  può dunque considerarsi:

- compreso tra 60 e 100 kPa per la copertura;
- compreso tra 180 e 220 kPa per il substrato alterato;
- superiore a 300 kPa per la formazione sana.

#### 4.2 Carotaggio S1/2018

Del sondaggio si è occupata l'impresa Montanari Perforazioni S.r.l. di Rivalta (RE) che ha messo a disposizione una sonda Mustang A65.

La verticale è a fianco del CPT 8, che in quella zona aveva evidenziato spessori di copertura importanti.

Gli avanzamenti sono stati protratti con carotiere semplice e sistematicamente a secco nei livelli teneri superficiali, la formazione in posto ha richiesto l'impiego del carotiere doppio.

Fin dove possibile si è provveduto ad effettuare prove speditive con Pocket Penetrometer, l'unico campione indisturbato è stato raccolto al passaggio tra la copertura ed il substrato alterato.

Le prove dinamiche in foro (SPT) hanno riguardato le marne e le arenarie sottostanti; alcuni spezzoni di queste sono stati poi conservati per le prove di laboratorio.

La stratigrafia, le descrizioni litologiche, i risultati delle prove in campo e le principali annotazioni sullo svolgimento del sondaggio sono argomento della tavola 6.

La documentazione fotografica è in figura 12.

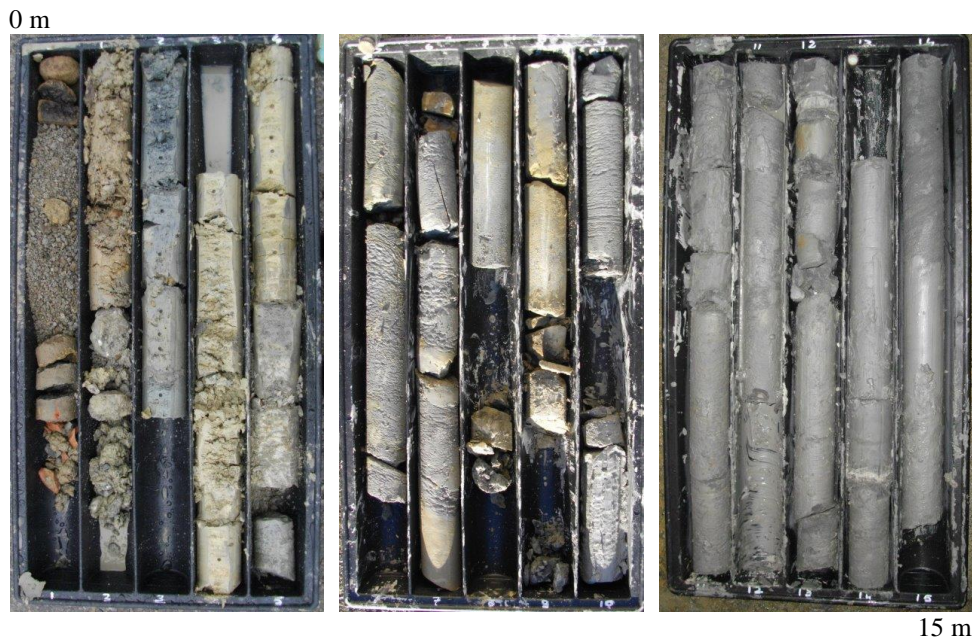


Figura 12

#### 4.3 Pozzetti con escavatore (P1 – P2)

Il primo scavo (P1) ha riguardato uno dei plinti a sostegno del settore uffici.

Al controllo della geometria fondale ha provveduto l'Ing. Michele Bellini; la verifica dei terreni fondali, ancorché ostacolata da abbondanti infiltrazioni idriche, conferma la presenza di marna alla base del plinto ed al suo intorno. Probabilmente gli appoggi furono realizzati entro sedi ricavate nel substrato.

P2 è stato condotto nel settore caratterizzato dal massimo spessore di copertura.

La figura 13 mostra la trincea da monte, lo schema “speculare” di figura 14 dettaglia le misure della trave; anche in questo caso si sono osservate venute d'acqua.



Figura 13



Figura 14

A conti fatti, la fondazione fu spinta 2.45 m sotto il piano asfalto ed alla sua base fu steso un magrone spesso almeno 0.15 m. Il criterio fu dunque quello di raggiungere ovunque il substrato stabile di buone caratteristiche meccaniche.

#### 4.4 Prospezioni sismiche

L'intervento è stato affidato allo Studio Tecnico Associato C.G.A. di San Giovanni in Persiceto (BO), specializzato in indagini del genere.

Le informazioni sulle diverse metodiche impiegate ed i riscontri ottenuti sono in allegato 2.

Richiamando in sintesi i risultati, le prospezioni MASW 1 (cert. A1311GF635L1MASW) e MASW 2 (cert. A1311GF635L2MASW) denotano buone caratteristiche del volume indagato e fissano la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  rispettivamente in 496.37 m/s e 668.97 m/s, valori che inquadrano i terreni in categoria B.

La rifrazione sismica con metodo tomografico (cert. A1131GF635L1) conferma nella sostanza le ipotesi iniziali e quanto emerso dai sondaggi meccanici, vale a dire la presenza di un substrato da affiorante a quasi affiorante su larga parte della sezione eccetto due tratti a bassa velocità, correlabili alla faglia individuata a Nord ed alla spessa coltre di alterazione presente sul lato meridionale dell'Istituto.

#### 4.5 Prove di laboratorio

La presenza di materiali d'imposta di buone caratteristiche meccaniche estesi all'intero impianto fondale, ha consentito di limitare le determinazioni inizialmente previste.

Lo specchietto di figura 15 specifica i campioni inviati al Laboratorio terre e le analisi richieste.

CAMPIONE	SH1	C2	C3	C5	C7
profondità (m)	2.70 3.20	5.80 6.10	7.40 7.67	9.40 9.70	13.00 13.28
Umidità naturale	●				
Limiti di Atterberg	●				
Analisi granulometrica	●				
Prova di taglio diretto CD	●				
Prova di compressione ELL e modulo elastico		●		●	●
Prova di compressione monoassiale con caratteristiche di deformazione			●		

Figura 15

Delle prove è occupata la ditta *ELLETIPI S.r.l.* di Ferrara, certificata dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti.



I responsi sono in allegato 3, di seguito compendio i risultati ed espongo alcune note di commento.

Una sola premessa: le determinazioni sul campione indisturbato sono state richieste nella sua parte bassa, rappresentativa del substrato alterato.

Le analisi di classificazione su SH1, hanno fornito i seguenti valori:

$W_n$	LL	LP	IP	$\gamma_{nat}$	$\gamma_{secco}$
%	%	%	-	Mg/m <sup>3</sup>	Mg/m <sup>3</sup>
17.4	59	30	29	2.13	1.81

I termini LL e IP collocano il materiale nel campo delle argille inorganiche ad alta plasticità (figura 16),

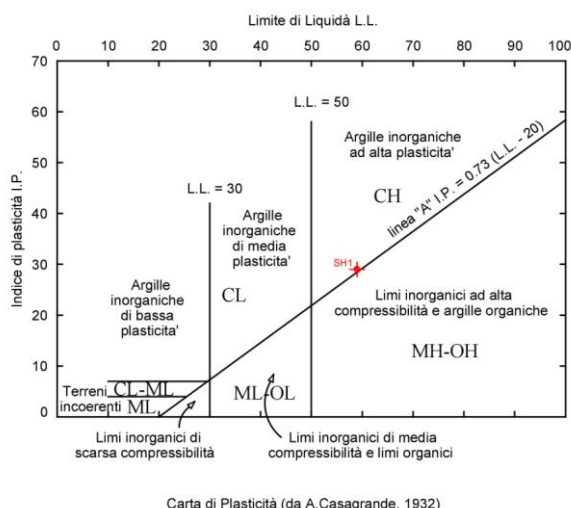


Figura 16

L'analisi granulometrica, con riferimento alla classificazione UNI, ha stimato il 60% di limo, circa il 37% di argilla e sabbia in subordine (~ 3%).

Dai risultati della prova di taglio, secondo l'elaborazione fornita dal Laboratorio, si giunge ad una coesione intercetta ( $c'$ ) di poco superiore a 96 kPa ed un angolo d'attrito  $\phi'$  intorno a 26°.

Se il calcolo è limitato ai primi due provini,  $c'$  e  $\phi'$  risultano rispettivamente pari a 112 kPa e 23°.

Considerati il carattere coesivo del deposito ed i valori fuori scala delle misure al pocket penetrometer effettuate in sito ed in laboratorio<sup>4</sup>, la seconda coppia di valori sembra più calzante.

<sup>4</sup> La parte bassa del campione ha opposto resistenze al P.P. > 600 kPa

Le compressioni sui provini del substrato integro hanno definito i seguenti parametri:

	$W_n$ %	$\gamma_{nat}$ Mg/m <sup>3</sup>	$C_0$ MPa	$M_{E,50}$ MPa
C2	9.20	2.38	2.915	169.88
C3	-	2.26	8.000	4666.00
C5	8.40	2.27	2.021	89.51
C7	9.60	2.52	4.327	173.71

dove  $C_0$  indica la massima tensione verticale (resistenza a compressione uniassiale),  $M_{E,50}$  il modulo secante al 50% della rottura.

## 5 MODELLO GEOLOGICO

La ricostruzione di figura 17 si presta per sintetizzare le condizioni geologiche locali segnatamente alla zona di valle.

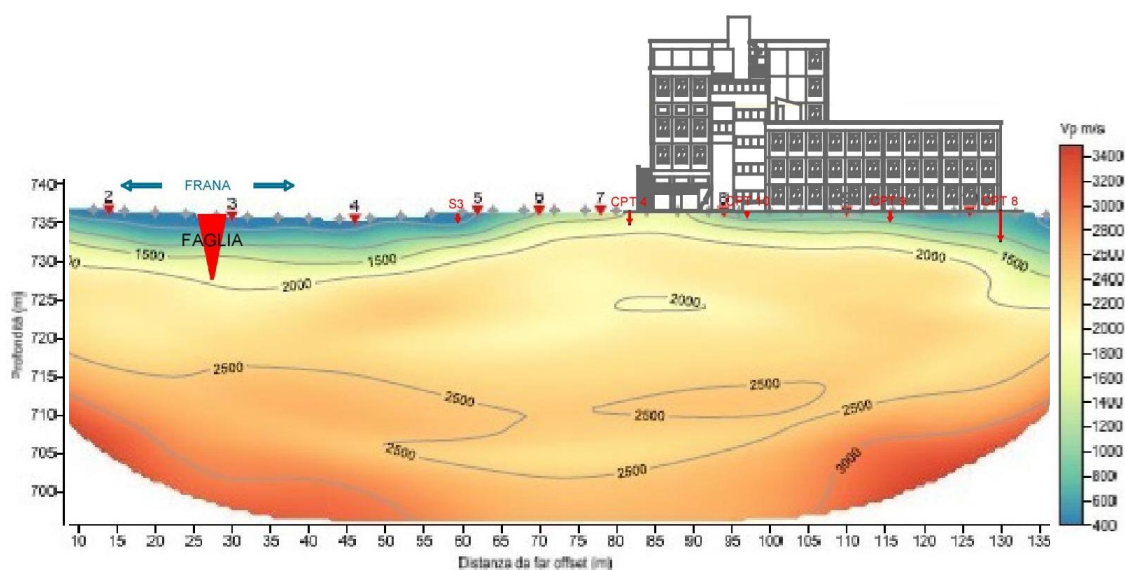


Figura 17

In primo luogo è certa l'assenza della faglia riportata nella cartografia ufficiale; in sezione, quel disturbo tettonico dovrebbe collocarsi infatti nei pressi del CPT 10, vale a dire in un settore caratterizzato da substrato affiorante di ottime caratteristiche meccaniche ed elevate velocità di propagazione delle onde sismiche.

Sulle mappe, la dislocazione dovrebbe quindi essere traslata a Nord, in seno alla frana, dove effettivamente è stata scoperta.

Non a caso la rifrazione sismica tomografica individua in quel settore un affossamento del substrato, sebbene non così marcato come l'incisione rilevata faceva supporre.

Un'accentuata immersione dell'interfaccia copertura-substrato si verifica anche poco oltre il lato meridionale del complesso scolastico, considerato che già in corrispondenza delle verticali S1/2018 e CPT 8, la base dei depositi colluviali si trova a quasi -3 m ed è separata dal substrato integro da circa un metro di marna alterata.

La ricostruzione di figura 18 mostra quanto ridotto debba essere l'eventuale spessore di quest'ultimo materiale (parte profonda del campione SH1) sotto la fondazione<sup>5</sup>.

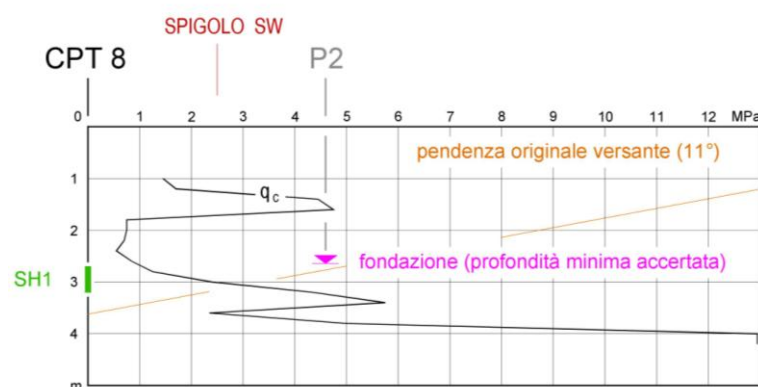


Figura 18

Ai fini dello studio, la potenza delle coltri alterate non riveste dunque alcun interesse; il criterio adottato nella posa delle fondazioni fu quello di spingere le medesime fino al bed rock sano.

Per quanto concerne il settore di monte, lo scarso approfondimento dei sondaggi CPT 1, CPT 2, CPT 3, CPT 5 e CPT 6, testimonia di un substrato assai prossimo alla superficie topografica ed esclude discontinuità per motivi tettonici.

Il modello geologico a cui riferirsi è dunque semplice: l'edificio poggia direttamente sulla Formazione di Ranzano, caratterizzata da marna e strati di arenaria in subordine.

All'interno della litologia descritta, una falda idrica intesa nel senso classico del termine sembra da escludersi.

L'acqua rinvenuta all'interno dei pozzetti esplorativi, con ogni probabilità è quella assorbita delle terre dei giardini ovvero raccolta nei sottofondi delle aree pavimentate a seguito di periodi piovosi.

<sup>5</sup> È ragionevole ritenere che la stessa situazione si ripeta nella porzione di monte della trave scoperta in P2, nonostante CPT 7 denoti un ulteriore affossamento del substrato; va infatti considerato che la verticale penetrometrica, al contrario di S1/2018 e CPT 8, non è allineata alla struttura fondale ma è distante alcuni metri (causa la presenza di sottoservizi interrati), sufficienti a giustificare i maggiori spessori di copertura.



## 6 MODELLO GEOTECNICO

Appurato che l'intero impianto fondale poggia sulla Formazione di Ranzano, si limita a tale compagine l'analisi delle proprietà geotecniche.

L'interesse precipuo è volto alle caratteristiche di resistenza a taglio, nella considerazione che la compressibilità del substrato è da considerarsi assai modesta<sup>6</sup> e che i relativi cedimenti devono essersi esauriti da tempo.

A giudicare dagli indici RQD riportati in tavola 6, il volume interagente con le fondazioni risulta compatto e solo a tratti debolmente fessurato. L'aspetto della marna è quasi litoide.

I valori  $N_{SPT}$  fuori scala e le resistenze misurate dai CPT confermano il quadro.

La determinazione del comportamento a taglio sarebbe dunque un problema da inquadrarsi nell'ambito della meccanica degli ammassi rocciosi.

D'altra parte, i risultati delle prove di laboratorio sul campione SH1 ed i responsi di alcune penetrometrie, consentono di seguire un approccio diverso.

I provini testati in scatola di Casagrande, come si è detto, derivano dalla porzione che ha fatto registrare valori al pocket penetrometer fuori scala, il che consente di associare quel materiale al substrato alterato.

Per tale compagine, si è stimata una coesione intercetta  $c' = 112$  kPa per  $\phi' = 23^\circ$ .

Le interpretazioni delle penetrometrie statiche collocano il valore della coesione non drenata  $c_u$  nel range 180 - 220 kPa.

Estrapolare i parametri testé indicati al substrato integro, che realmente interagisce con la fondazione dell'edificio, costituisce un'assunzione cautelativa.

Ai fini delle verifiche SLU in condizioni non drenate si può pertanto considerare:

$$c_{uk} = 180 \text{ kPa}$$

Per le condizioni efficaci valgono i termini:

$$c'_k = 112 \text{ kPa} \quad \phi'_k = 23^\circ$$

Il **peso di volume**, considerate le misure di laboratorio, è stimato  $2.2 \text{ Mg/m}^3$ .

Le tensioni a rottura registrate durante le prove di compressione confermano la bassissima compressibilità del materiale.

I certificati di prova indicano che il modulo elastico dei campioni, da 90 a 174 MPa per le marne e intorno a 4600 MPa per l'arenaria, varia in funzione della deformazione percentuale, compresa tra 0.9% e 1.3 % per le prime, prossima allo 0.2% per la roccia.

---

<sup>6</sup> Anche l'integrità delle strutture in elevazione conferma la scarsa deformabilità del materiale d'impasto

I valori  $M_E$  stimati dall'elaborazione delle prove MASW segnatamente allo spessore d'interesse geotecnico variano invece nel campo 1000 – 3800 MPa.

Giacché l'ambito è quello delle piccole deformazioni, anche per l'entità delle pressioni trasmesse dal manufatto, si ritiene più attendibile il parametro desunto dalle prove sismiche; al volume interagente si attribuisce pertanto:

$$M_E = 1000 \text{ MPa}$$

Il modulo edometrico  $M_{ED}$  può essere ricavato dal dato  $M_E$  mediante l'espressione:

$$M_{ED} = M_E \cdot (1 - \mu) / (1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu)$$

dove  $\mu$  = rapporto di Poisson

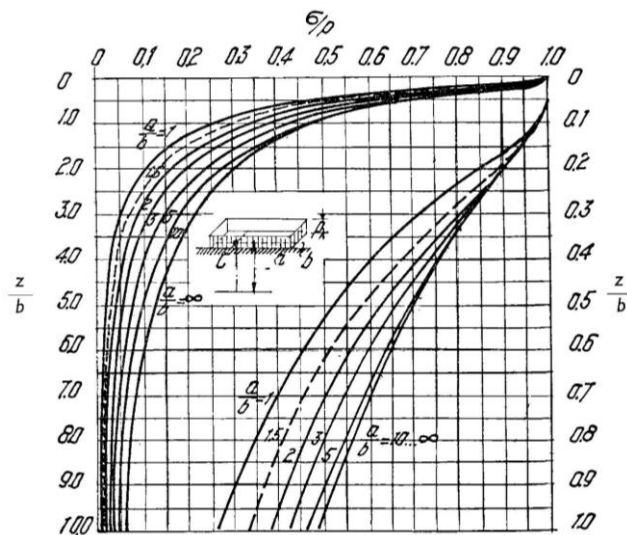
Assumendo prudenzialmente il valore  $\mu$  ricavato sul provino di arenaria, si ottiene:

$$M_{ED} = 1189 \text{ MPa}$$

Il cedimento  $\Delta h$  dello strato iesimo di spessore  $h$  può ora essere definito dalla relazione:

$$\Delta h = h \cdot \Delta \sigma / M_{ED}$$

Per quanto attiene al calcolo della sovratensione verticale  $\Delta \sigma$  condizionante il cedimento di una fondazione rigida, si sfrutta lo schema di Jelinek riportato in figura 19, dove  $z$  corrisponde alla distanza tra il piano di posa della fondazione e la mezzeria dello strato.



– Grafico per la determinazione delle tensioni verticali nel sottosuolo, prodotte da una superficie di carico rettangolare infinitamente rigida (Jelinek).

Figura 19

Se si considera una pressione pari a 0.4 MPa (combinazione GEO, approccio 2), per una trave larga 2 m intestata a -1.5 m, il cedimento riferito ad un pacco di 20 metri è di poco superiore al millimetro.

Lo schema di figura 20 permette di seguire il procedimento ( $E = M_{ED}$ ).

Profondità piano di posa della fondazione D (m):	1,5
Larghezza fondazione b (m):	2
Pressione trasmessa ai terreni P (kPa):	400
Peso di volume del terreno $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ):	22
Sovrappressione alla quota H: p (kPa):	367

N strato	Base strato (m)	z (m)	z/b	$\sigma/p$	$\sigma$ (kPa)	h (m)	E (MPa)	W (cm)
1	5,00	1,75	0,88	0,54	198,18	3,50	1189,00	0,058
2	10,00	6,00	3,00	0,25	91,75	5,00	1189,00	0,039
3	15,00	11,00	5,50	0,12	44,04	5,00	1189,00	0,019
4	20,00	16,00	8,00	0,07	25,69	5,00	1189,00	0,011
W <sub>Tot</sub> :								0,127

Figura 20

Il **modulo di reazione del terreno k**, cioè il rapporto tra i carico applicato P e l'abbassamento W che ne consegue, eccede di poco 30.

Il valore è riferito a tassi di lavoro imposti da tempo ed a cedimenti oramai esauriti, d'altra parte, in virtù della proporzionalità tra P e W, è da considerarsi grossomodo costante per ogni incremento di carico.

## 7 PARAMETRI DI RIFERIMENTO PER L'ANALISI SIMICA

Di seguito sintetizzo alcuni dati connessi agli aspetti litologici, sismici e morfologici, di ausilio al Progettista per tracciare gli spettri di risposta elastica relativi ai diversi stati limite contemplati dalle *Norme*.

L'ambito geologico esclude che possano verificarsi fenomeni di liquefazione; si ha infatti a che fare con un materiale di caratteristiche quasi litoidi, appartenente alla **classe sismica B**.

Le pendenze del versante portano a stimare una **categoria topografica T1**.

## 8 STABILITÀ

Le uniche verifiche sull'equilibrio del versante in corrispondenza delle aree attualmente edificate, stando ai documenti messi a disposizione dalla Provincia, sono quelle relative alle "*condizioni naturali di pre-intervento*" effettuate da GE.IM.CO. S.r.l. nel 1997 per il secondo accrescimento<sup>7</sup>.

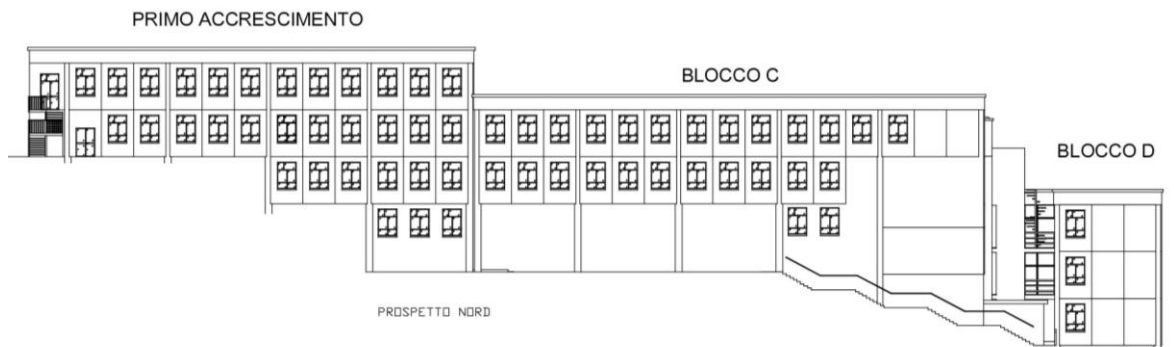
<sup>7</sup> L'analisi fu limitata al contesto naturale "a causa della mancanza di informazioni progettuali"

S'impongono dunque valutazioni riferite al caso specifico.

Le analisi sono svolte per entrambi i corpi (B e C) mettendo in conto le condizioni statiche prima, quindi, lo scenario che si genera in caso di sollecitazione sismica.

I parametri di resistenza a taglio sono ovviamente quelli del substrato, la falda idrica è prudenzialmente messa in conto, anche se quanto asserito nel modello geologico ne autorizzava l'omissione.

Il profilo è ricavato dal prospetto di figura 21, semplificato in diverse parti.



*Figura 21*

Le pressioni imposte dal peso degli edifici sono stimate a partire dai seguenti valori:

<b>blocco C</b>	<b>blocco D</b>
$G1_k = 28360 \text{ kN}$	$G1_k = 21905 \text{ kN}$
$G2_k = 3120 \text{ kN}$	$G2_k = 4405 \text{ kN}$
$A = 490 \text{ m}^2$	$A = 703 \text{ m}^2$

con  $G1$  = pesi propri,  $G2$  = permanenti portati,  $A$  = superficie

Per la verifica del blocco C, la relativa tensione è stata estesa al settore del primo accrescimento, così da simulare condizioni più realistiche.

Si è impiegato il metodo Bishop-Modificato imponendo superfici di potenziale rottura di forma circolare; il codice di calcolo è WinStabl (University of Wisconsin), una trasposizione in Windows del classico STABL (Purdue University – Indiana).

Per ogni verifica, l'elaborato di sintesi è rappresentato da un disegno che mostra le 10 superfici di rottura più critiche con evidenziato il piano di scorrimento a fattore minimo.

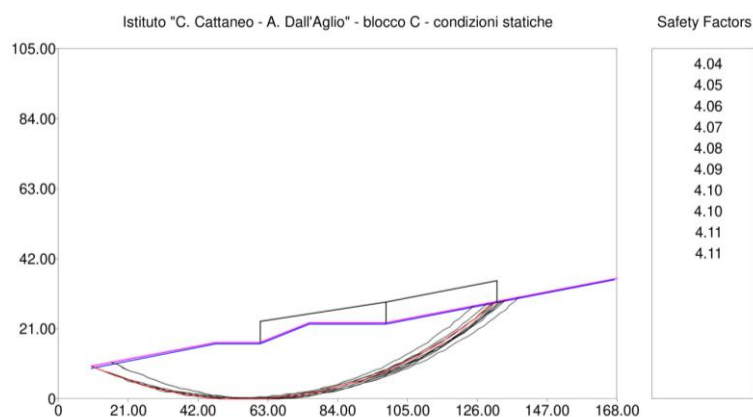
I valori numerici sono esposti in allegato 4.

## 8.1 Condizioni statiche

I calcoli sono stati effettuati ammettendo che il substrato risponda in condizioni drenate; i parametri di resistenza a taglio sono quelli caratteristici forniti nel modello geotecnico.

### 8.1.1 Blocco C

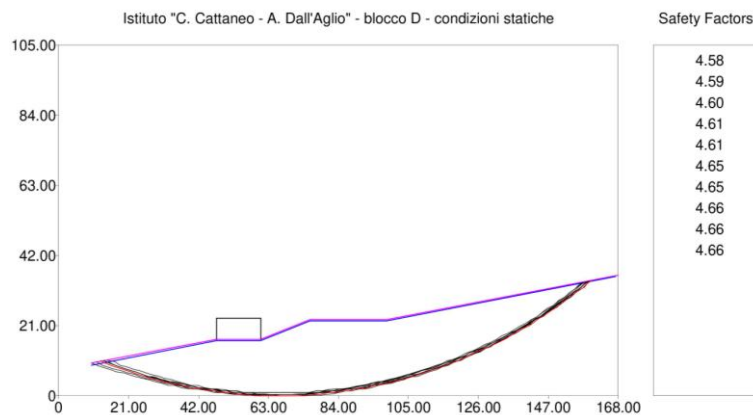
Nel caso in esame, il coefficiente di sicurezza  $F$  è di poco superiore a 4 (figura 22).



*Figura 22*

### 8.1.2 Blocco D

Il coefficiente di sicurezza  $F$  è circa 4.6 (figura 23).



*Figura 23*

## 8.2 Condizioni dinamiche

Occorre qui considerare che le terre rispondono a sollecitazioni rapide, dunque sarà mobilizzato il parametro di resistenza a taglio in condizioni non drenate.

L'azione sismica di progetto è calcolata a partire dall'accelerazione orizzontale massima attesa al sito, pari a 0.271 g.

In un approccio di tipo pseudo statico, le componenti orizzontale e verticale della sollecitazione sono espresse come  $F_h = W \cdot k_h$  ed  $F_v = W \cdot k_v$

dove

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max}/g$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

Per la categoria di suolo B, il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito  $\beta_s$  è pari a 0.28, quindi

$$k_h \approx 0.076$$

$$k_v = \pm 0.038$$

### 8.2.1 Blocco C

Il coefficiente di sicurezza  $F$  è di poco superiore a 2.6 nella combinazione più sfavorevole delle componenti orizzontale e verticale (figura 24).

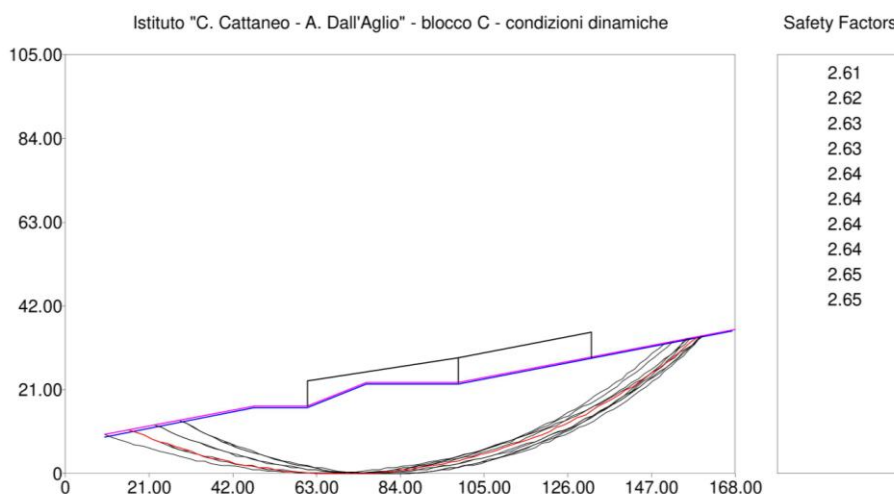


Figura 24

### 8.2.2 Blocco D

La figura 25 mostra quanto consegue sempre nel caso di combinazione meno vantaggiosa; circa 2.9 il coefficiente di sicurezza minimo.

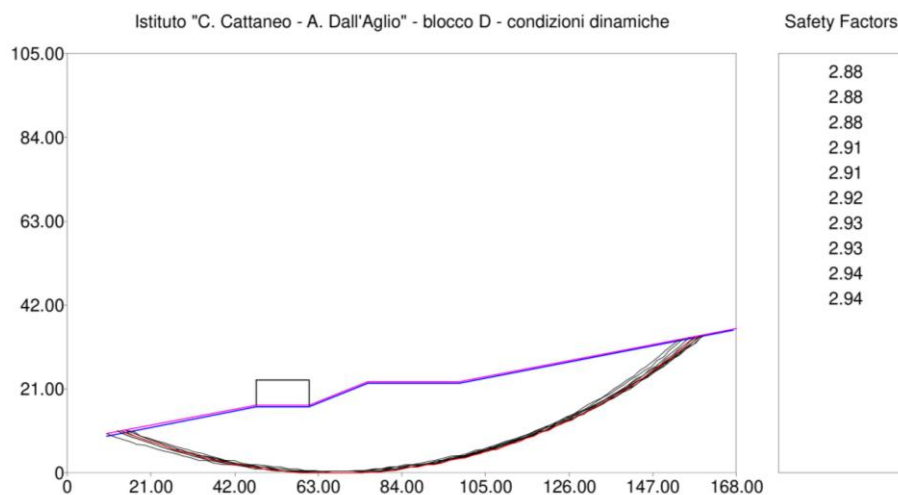
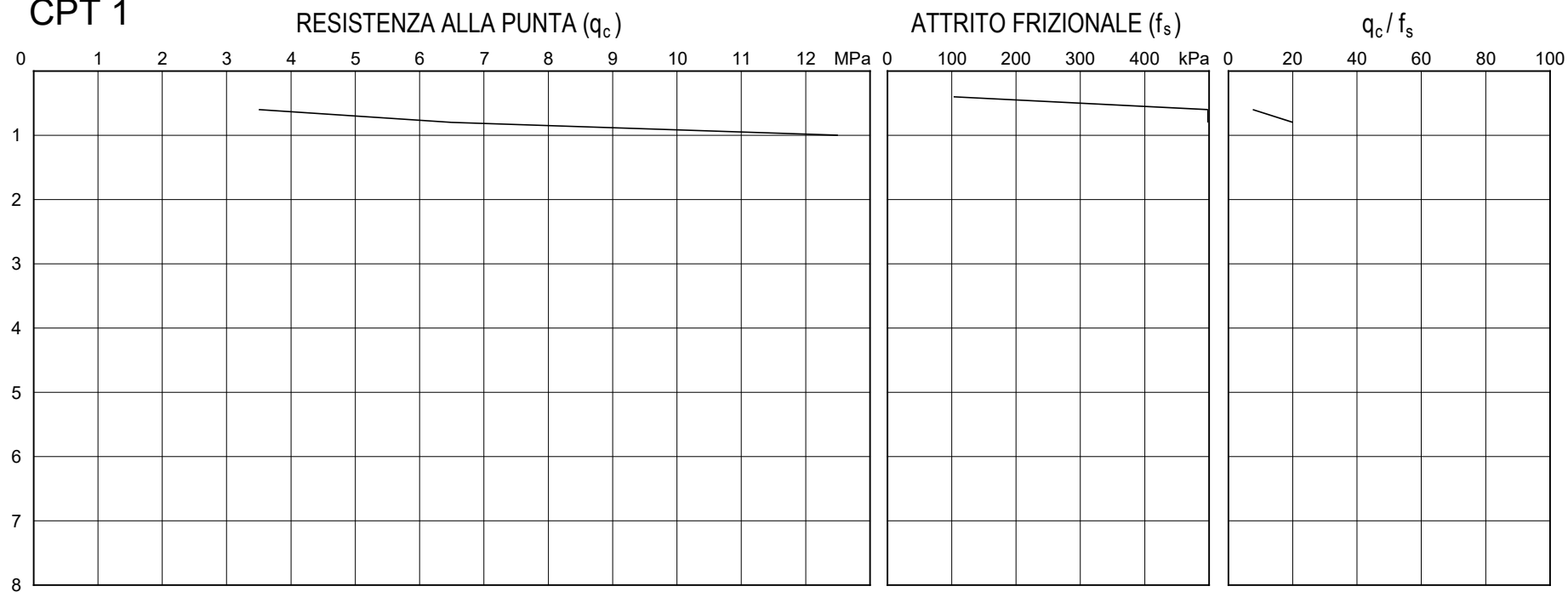


Figura 25

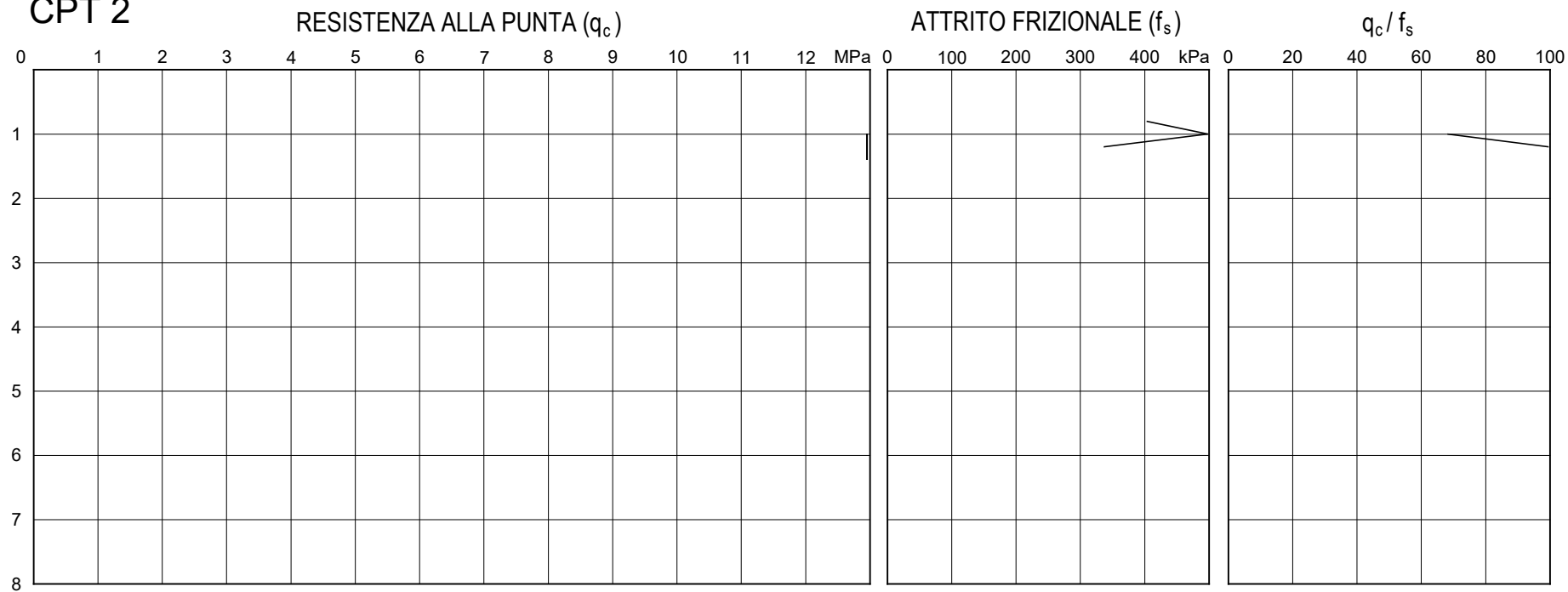
Tutti i casi presi in esame risultano verificati.

L'analisi di stabilità globale di un pendio edificato, richiede infatti il ricorso all'Approccio 1 in Combinazione 2, con  $\gamma_{R2} = 1.1$  come coefficiente parziale.

## CPT 1

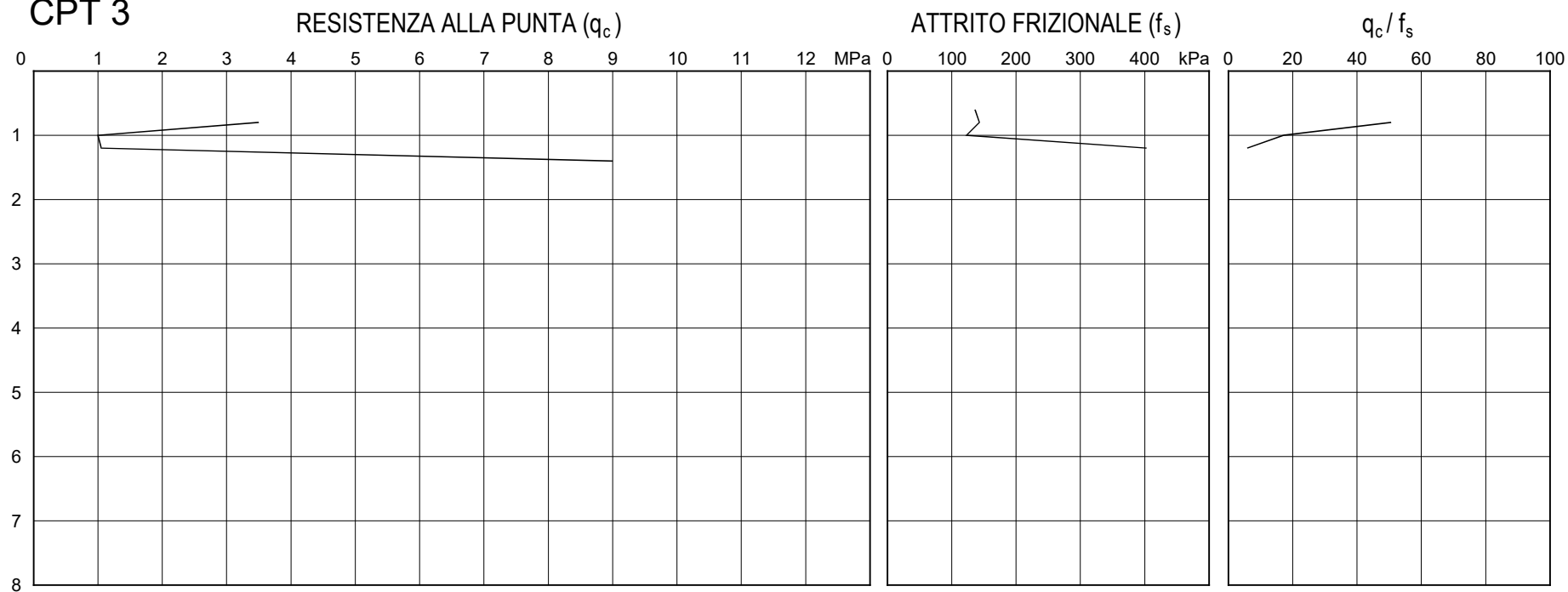


## CPT 2

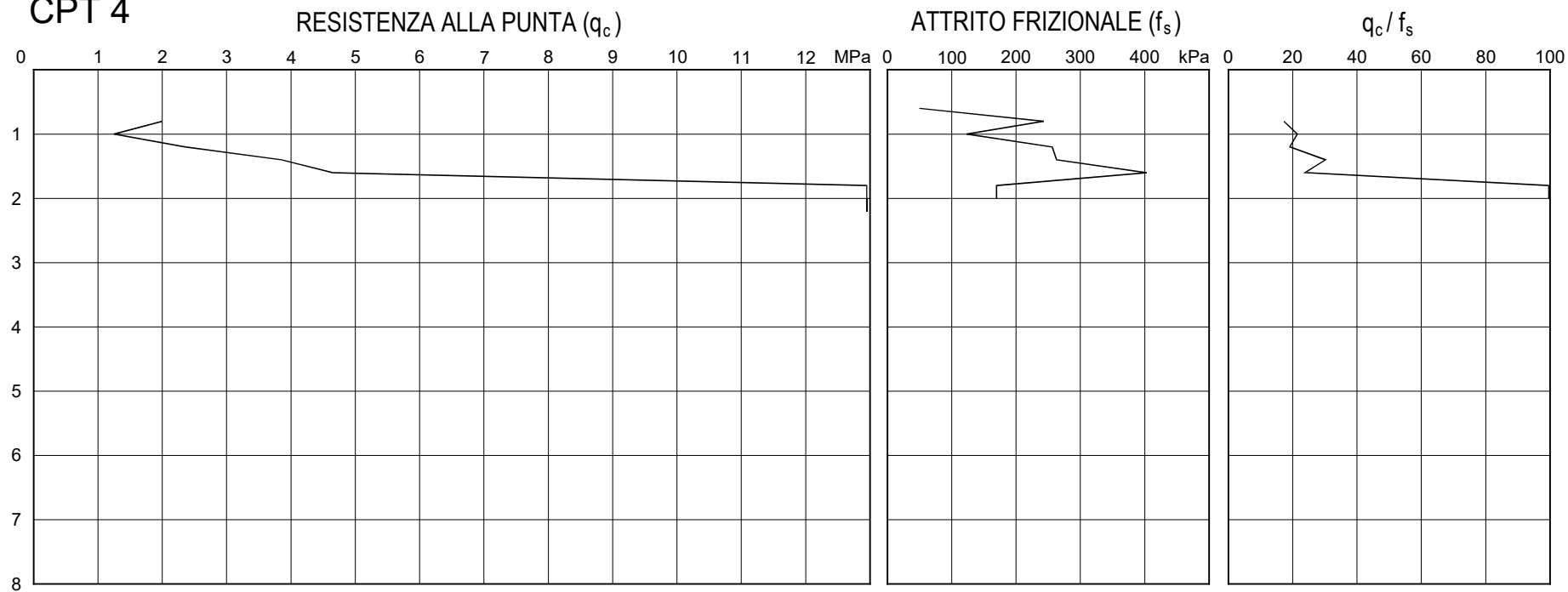




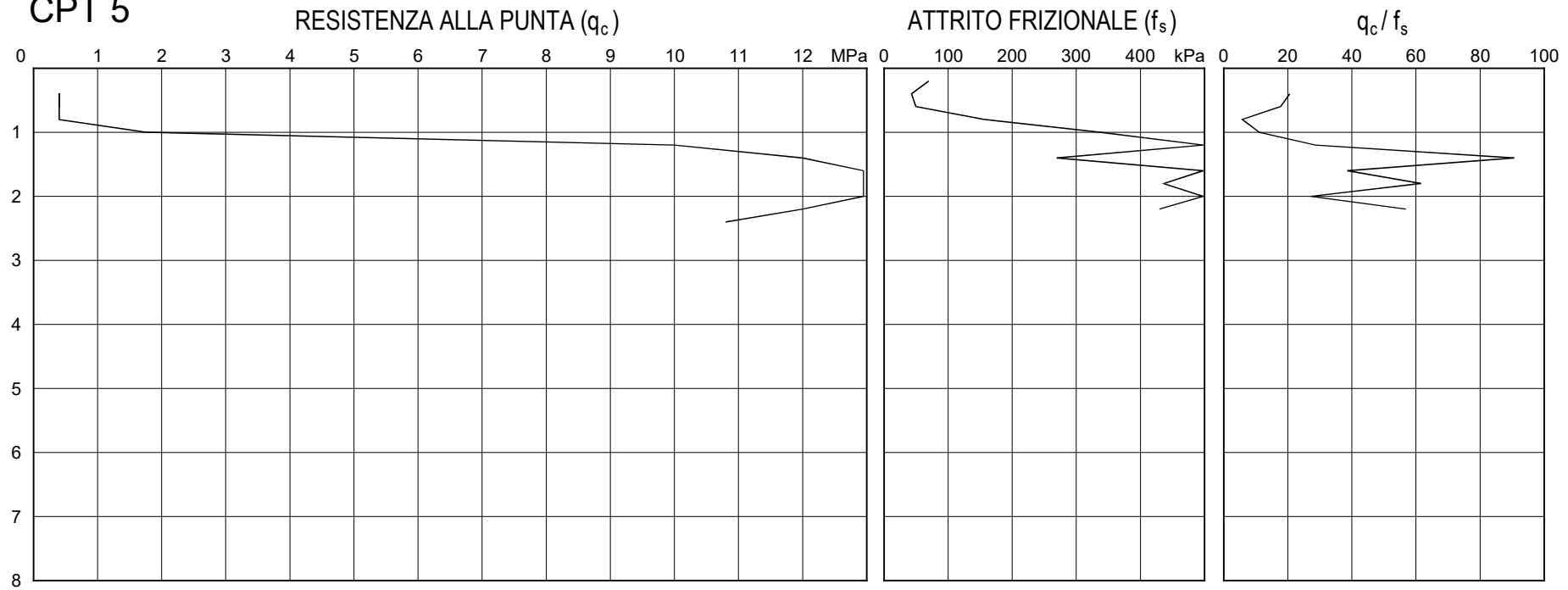
## CPT 3



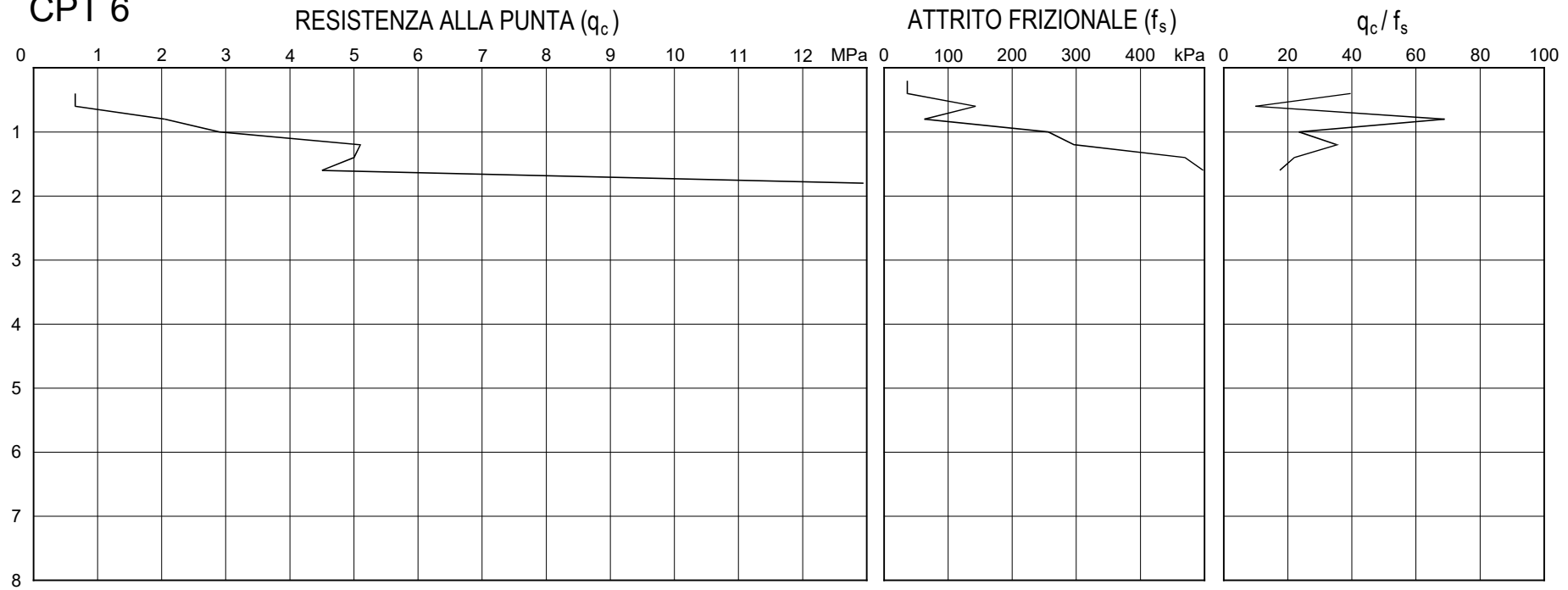
## CPT 4



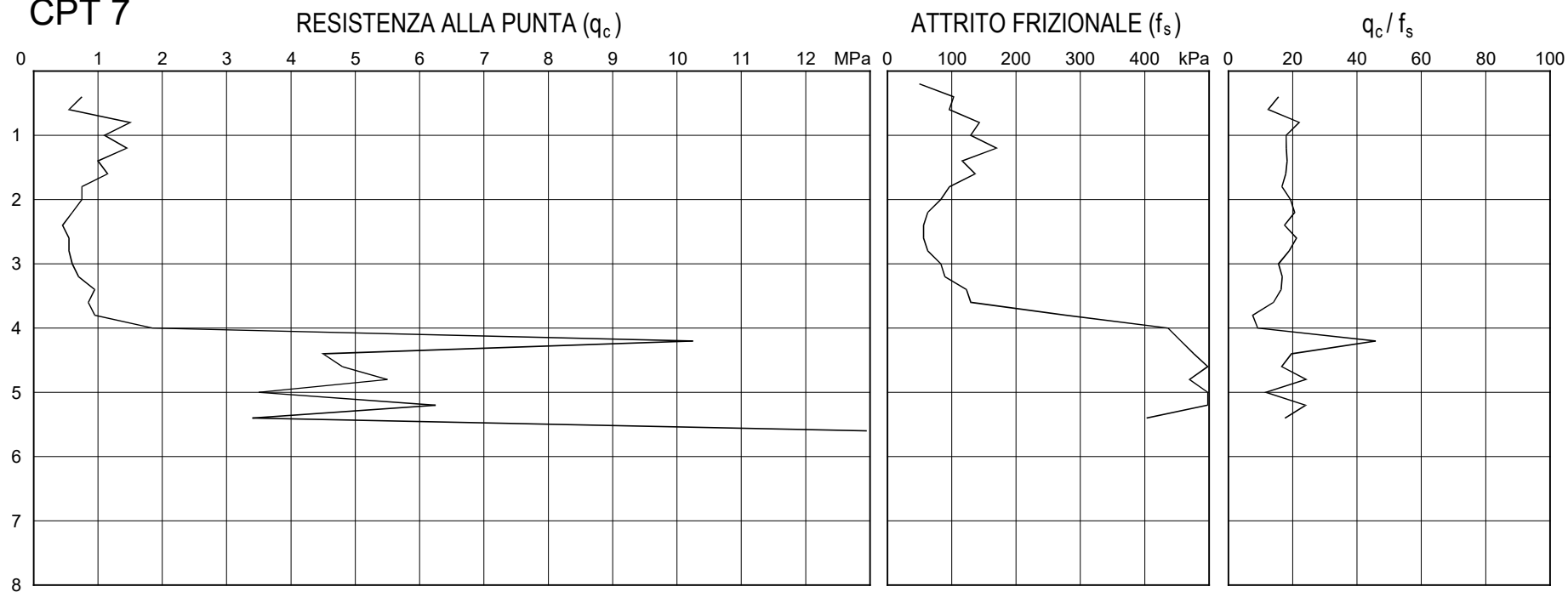
## CPT 5



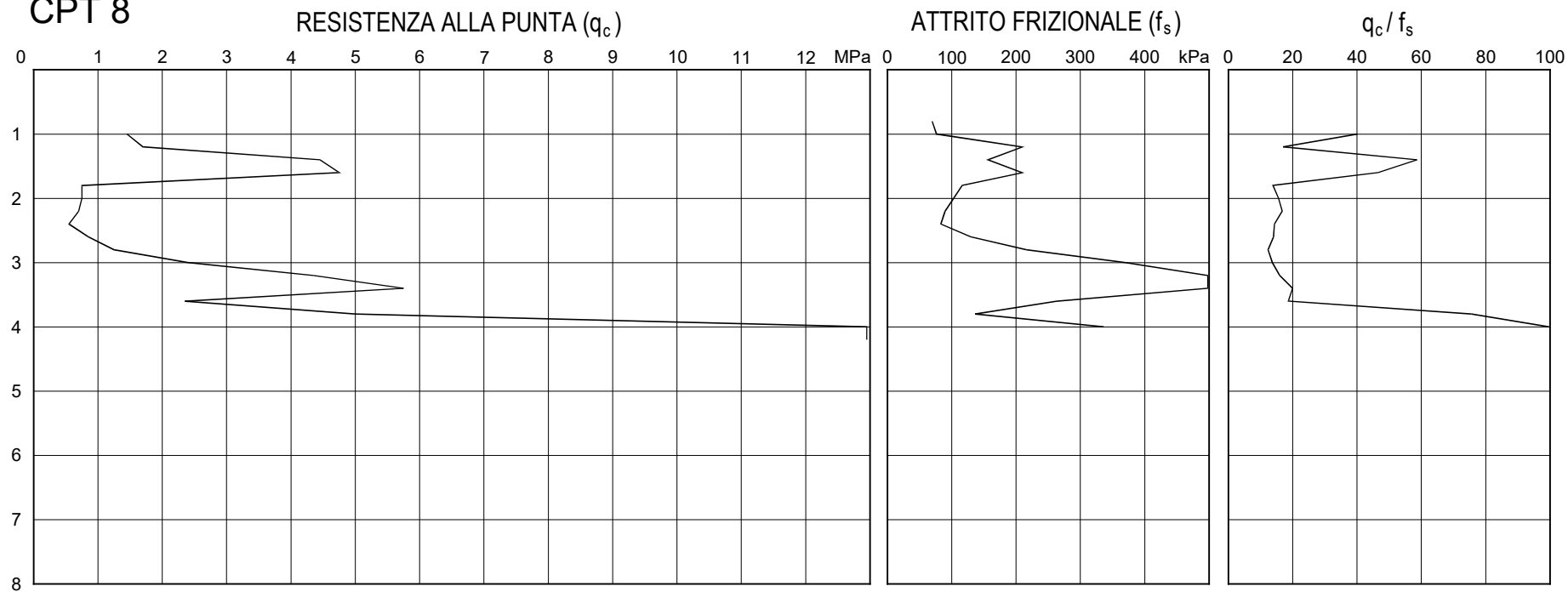
## CPT 6



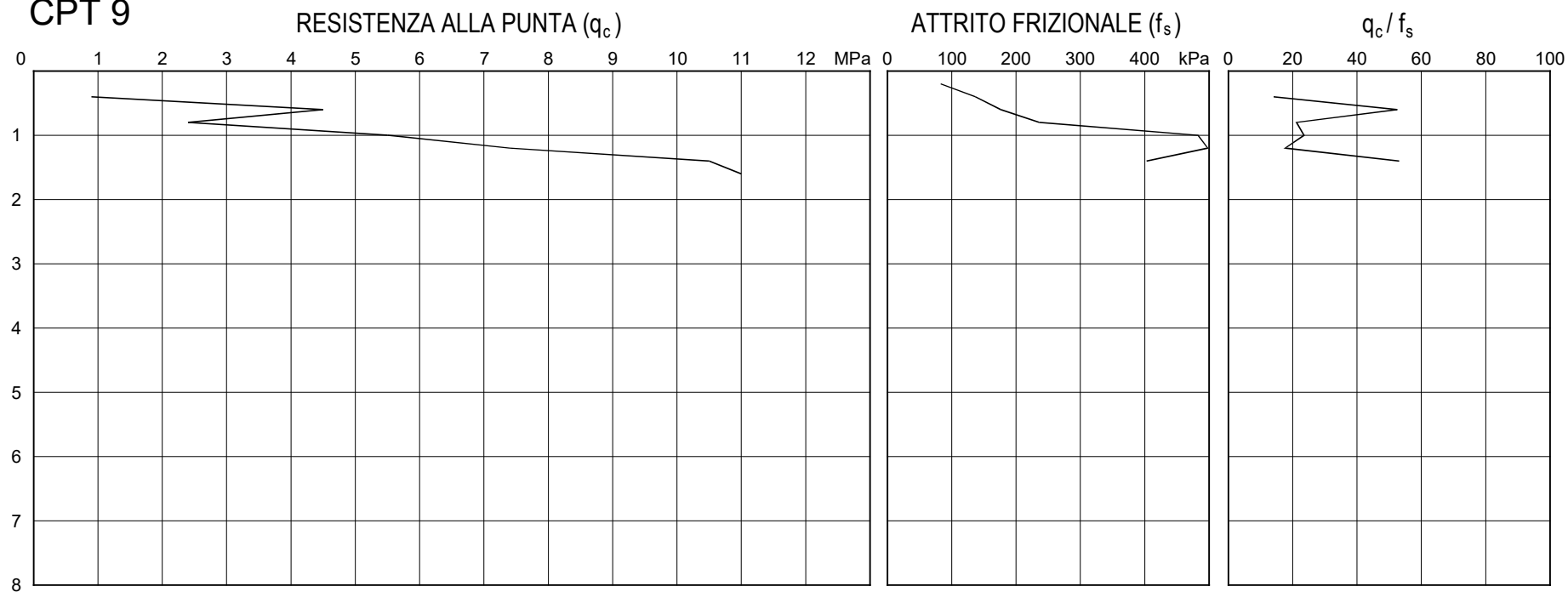
## CPT 7



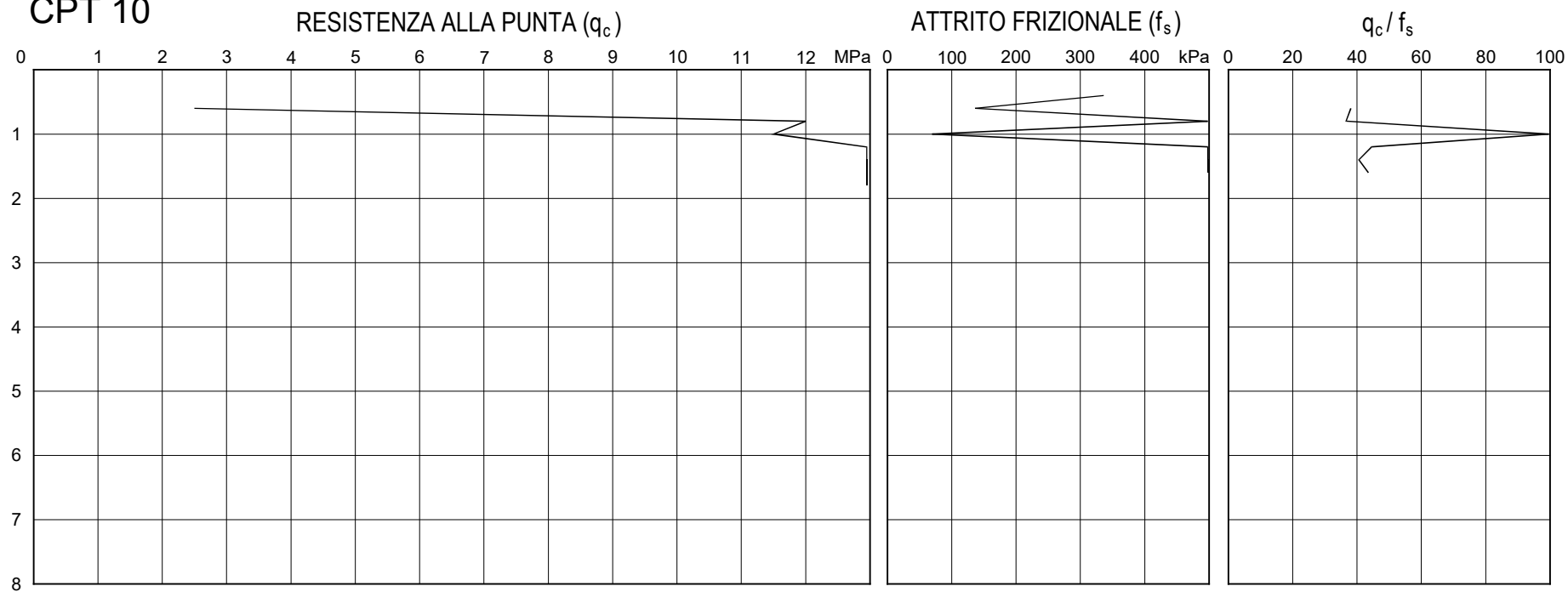
## CPT 8



## CPT 9



## CPT 10



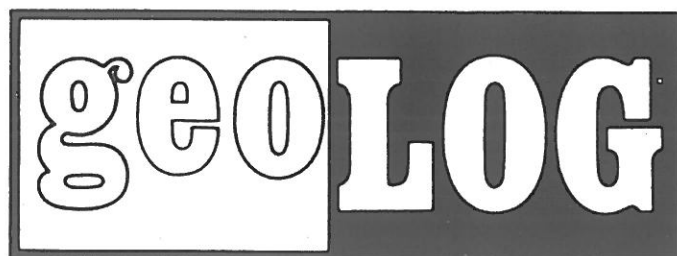




**ALLEGATO 1**

**Studio di fattibilità per nuovo edificio aule e palestra**

**(Luglio 1987)**



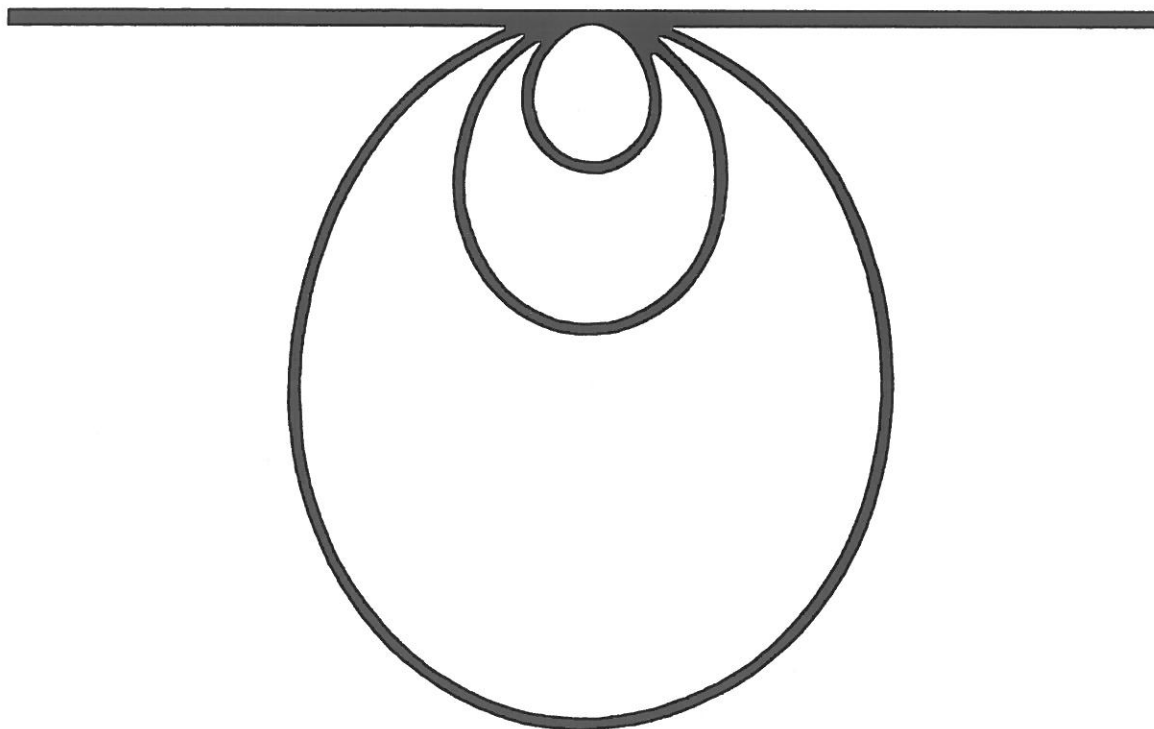
C.C.P.L. - Reggio Emilia

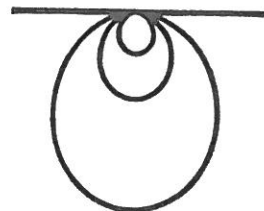
Amministrazione Provinciale di Reggio Emilia

Complesso Scolastico Polivalente a Castelnuovo nei Monti (RE)  
-nuovo edificio aule e palestra-

Indagini geologico-tecniche per la fattibilità

Luglio 1987





C.C.P.L. - Reggio Emilia

Amministrazione Provinciale di Reggio Emilia

Complesso scolastico polivalente a Castelnuovo nei Monti (RE)

- nuovo edificio aule e palestra -

Indagini geologico-tecniche per la fattibilità

Luglio 1987

---

INDICE

---

## GEOLOGIA APPLICATA

1. Generalità.....pag. 1

2. Inquadramento geomorfologico..... " 1

## GEOFISICA

3. Indagini di campo..... " 2

4. Rapporti tra coltre detritica e substrato marnoso..... " 2

5. Cenni di idrologia..... " 3

## GEOTECNICA

6. Indicazioni sulle caratteristiche meccaniche..... " 4

7. Fondazioni ed opere di contenimento..... " 4

IDROGEOLOGIA E  
IDROLOGIA

---

ALLEGATI

---

Tav. 1: Planimetria

## MODELLI MATEMATICI

Tavv. 2 - 9: Diagrammi penetrometrici



## 1. GENERALITA'.

Su incarico della C.C.P.L. di Reggio Emilia, chi scrive ha condotto una indagine geologico-tecnica per accertare la fattibilità di due edifici inseriti nel Complesso Scolastico Polivalente di Castelnuovo nei Monti - via Matilde di Canossa.

La realizzazione di tale progetto prese inizio alcuni anni orsono con un primo lotto sul lato sud dell'area edificabile; ora si considera di affiancare all'esistente una nuova ala per l'attività didattica e di costruire la palestra.

L'ubicazione degli edifici è riportata nella tav. 1.

## 2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.

Il comparto insiste sulla cosiddetta "Formazione di Antognola", costituita da marne grigie con subordinate arenarie; un affioramento della roccia "in posto" è visibile nella scarpata sul lato orientale dell'edificio esistente.

Qui la stratificazione è orientata a traverspoggio con modesta immersione sud; la fratturazione appare particolarmente spinta, con superfici di discontinuità ondulate ed orientate casualmente.

Altrove la formazione risulta coperta da un suolo argillo-siltoso nocciola, derivato verosimilmente dall'alterazione pedogenetica della marna.

Dal punto di vista morfologico, il comparto in argomento si sviluppa a mezza costa, abbracciando due displuvi ed il relativo impluvio intermedio.

L'edificio esistente è posto in corrispondenza del displuvio più meridionale, così come l'area di progetto del nuovo fabbricato ad aule; la palestra sorgerà tra l'asse dell'impluvio e la zona di passaggio al displuvio più settentrionale.

La fascia impluviale presenta dissesti con manifeste nicchie di distacco; non altrettanto evidenti le zone d'accumulo, delimitate da confini incerti, tanto da suscitare il sospetto di un unico fenomeno gravitativo da monte a valle, con alcuni richiami laterali.

Le terebrazioni hanno poi mostrato che in effetti i movimenti sono riconducibili a frane distinte, singolarmente di modesta dimensione; la situazione geostatica sembra pertanto assai meno compromessa di quanto appaia ad un semplice esame di superficie.

Nei paragrafi seguenti si avrà comunque modo di approfondire questo argomento.

### 3. INDAGINI DI CAMPO.

Al fine di determinare in alcuni punti significativi la profondità della formazione rocciosa rispetto alla superficie topografica, si sono eseguiti 8 sondaggi penetrometrici dinamici con uno strumento leggero (DINASTAR); l'ubicazione delle verticali è visibile in tav. 1; i risultati nelle tavv. 2 - 9; qui compaiono anche le principali caratteristiche della macchina.

In un secondo tempo si è provveduto ad eseguire 3 trincee esplorative mediante escavatore meccanico.

Le profondità alle quali si è intercettato il substrato marnoso sono riportate in tav. 1, sulla destra del simbolo identificativo della terebrazione.

Non si sono prelevati campioni, ritenendo di scarso interesse le usuali prove di laboratorio, almeno nell'attuale fase di studio.

### 4. RAPPORTI TRA COLTRE DETRITICA E SUBSTRATO MARNOSO.

La fattibilità delle opere in progetto e, più propriamente, la loro economicità, dipende per gran parte dalle condizioni geostatiche del versante, sembra quindi opportuno analizzare i dissesti pregressi al fine di trarre utili indicazioni sull'argomento.

Le terebrazioni in generale, e la trincea N.3 in particolare, hanno evidenziato che il terreno instabile è limitato alla sola coltre detritica superficiale e che le marne sottostanti, benché intensamente fratturate, non partecipano ai movimenti gravitativi.

Le alte resistenze ottenute nel sondaggio penetrometrico N.7, posto al centro della frana più a monte, e l'andamento a diedro della relativa nicchia di distacco, sembravano per la verità indicare il contrario e, conseguentemente, una problematica complessa; in effetti tale sondaggio è finito per caso in corrispondenza di un setto drenante eseguito a suo tempo per stabilizzare il dissesto, per cui i valori penetrometrici si riferiscono alla ghiaia sepolta piuttosto che a frammenti litoidi del substrato.

Le informazioni ottenute da chi ha partecipato ai lavori di sistemazione, oltre a confermare l'ubicazione del dreno, sono risultate utili per delimitare inferiormente la frana citata: è assodato infatti, che questa termina a monte del piazzale esistente, tant'è che si sviluppò proprio in seguito agli scavi per ricavare la sede dello stesso.

In questa particolare geometria, le basse resistenze registrate fino a -3,3 m nel sondaggio penetrometrico N.1 sono quindi da imputarsi a terreni detritici fermi e non tanto ad un ipotetico prolungamento a valle del corpo di frana.

Le trincee N. 1 e 2, dove si è intercettato il substrato a circa -1,5 m dalla superficie, confermano il quadro.

La frana presente sotto la strada d'accesso è avvenuta lungo una superficie di slittamento a forma di cucchiaino che, nel punto di massimo approfondimento, non dovrebbe superare i -3,5 m dal piano campagna: in pratica lo orizzonte di minima resistenza evidenziato nel sondaggio N.4

In tale verticale si nota che il passaggio al substrato è graduale entro uno spessore di circa 2 m, con un'evidente anomalia rispetto agli altri siti sondati, dove invece la resistenza aumenta bruscamente appena sotto la coltre superficiale.

La particolarità è imputabile ad un più comminuto stato di fratturazione del materiale, o ad un rilassamento dello stesso per filtrazione idrica persistente; non è escluso, tuttavia, che l'incremento di resistenza sotto i -3,5 m sia dovuto ad attrito laterale sulla batteria di sondaggio, causato dalla richiusura del foro sopra la punta, nel qual caso la superficie di scioglimento potrebbe risultare più profonda di quella indicata, pur nel limite dei -5,3 m dal piano campagna.

I sondaggi N. 2, 3 e 5 e la trincea N.2 denunciano che, al di fuori del corpo di frana, il substrato è assai prossimo alla superficie topografica.

## 5. CENNI DI IDROLOGIA.

Nei fori delle penetrometrie N. 6 e 8 si è ritrovata acqua libera rispettivamente alle profondità di -1,9 e 3,4 m, segno peraltro che il setto realizzato nelle vicinanze non svolge appieno la sua funzione di dreno.

Filtrazioni attraverso una frattura beante del substrato sono state individuate sul fondo della trincea N.2.

Tutti questi indizi portano alla considerazione che lungo la fascia impluviale sia in atto una circolazione idrica sotterranea favorita dallo spessore della coltre d'alterazione e dall'intensa fratturazione delle marne di fondo.

## 6. INDICAZIONI SULLE CARATTERISTICHE MECCANICHE.

La resistenza al taglio del substrato, inteso come ammasso, è di determinazione quanto mai problematica; la presenza di innumerevoli superfici di frattura sconsiglia di procedere alle consuete prove di laboratorio su campione; d'altra parte l'entità del progetto non è tale da richiedere tests specifici a grande scala, pertanto nel dimensionamento delle opere contro roccia si dovrà far leva sul buon senso e sulle osservazioni di cantiere, piuttosto che sul calcolo.

Occorre sottolineare che le superfici di discontinuità seguono di regola andamenti concoidi e comunque irregolari: i blocchi giustapposti risultano pertanto dotati di incastri reciproci di una certa efficacia, tanto che l'escavatore meccanico non è in grado di scalzare il materiale oltre la profondità di circa 1 m.

D'altra parte la marna, se esposta agli agenti meteorici, va soggetta ad un rapido disfacimento di carattere fisico, con la comparsa di un minuto reticolato di fratture che isola blocchetti prismatici di dimensione centimetrica.

Per la quantificazione della resistenza al taglio della coltre detritica di copertura, si è eseguita un'analisi inversa sul movimento franoso sovrastante il piazzale, ponendo la coesione  $c=0$  ed un fattore attuale di stabilità  $F=1$ ; il calcolo ha fornito un angolo d'attrito interno residuo compreso tra  $9^\circ$  e  $9,4^\circ$  a seconda che si metta in conto o meno la sottospinta idrostatica dovuta alla falda incontrata nei sondaggi.

Angoli di quest'ordine possono essere cautelativamente estrapolati allo intero strato argilloso superficiale, mosso o fermo che sia.

## 7. FONDAZIONI E OPERE DI CONTENIMENTO.

L'edificio ad aule troverà sede sul displuvio meridionale dove la formazione marnosa è assai prossima alla superficie, per cui non costituirà un problema intestare le strutture direttamente sulla roccia inalterata.

Il progetto prevede un piano di posa gradonato per adattarsi alla pendenza del versante; l'entità degli sbancamenti risulterà di conseguenza modesta, a tutto vantaggio della stabilità globale.

Sebbene manchi il conforto del calcolo, si ritiene che il substrato sia in grado di sopportare pressioni d'esercizio assai maggiori di quelle adottate in precedenza nell'area; queste ultime più adatte a terre sciolte di medio-crisi caratteristiche meccaniche: peraltro le difficoltà incontrate nell'appro-

fondire gli scavi confermano questa convinzione.

Ad avviso dello scrivente, nel disegno delle strutture fondali, piuttosto che prevedere ridotti tassi di lavoro e, di conseguenza, ampie superfici di appoggio, occorrerà ricercare buoni incastri nella marna di fondo, al di sotto della coltre detritica e dello spessore rilassato, tenendo conto ovviamente che l'inclinazione del versante e le gradonature hanno l'effetto di ridurre in qualche misura l'efficacia di tali incastri.

La citata regola costruttiva è anche tesa ad evitare che le fondazioni si trovino ad interagire con lo strato più sensibile alle variazioni meteorologiche stagionali.

Per quanto concerne la palestra, occorre tener presente che per ricavarne il piano di posa si dovrà procedere ad un notevole sbancamento che, sul lato monte, avrà un fronte di circa 35 x 7 m (lunghezza x altezza), per gran parte in roccia; grazie alla pendenza del versante, a valle il piano intercetterà la superficie topografica.

Nella particolare situazione geologica, si possono individuare problematiche geotecniche di rilievo in corrispondenza del fronte di scavo e della fondazione sul lato valle: nell'un caso per le difficoltà oggettive di determinare preliminarmente i parametri di resistenza al taglio dell'ammasso marnoso, nell'altro per la presenza del corpo di frana di cui si è detto.

Relativamente al primo argomento occorre sottolineare che la stabilità della roccia sul futuro fronte sarà condizionata più che altro dallo stato di fratturazione e dall'eventuale pressione idrostatica nelle fratture, così come la entità della spinta attiva, una volta realizzato il muro di contenimento.

Al momento attuale è perlomeno azzardato esprimere valutazioni sull'argomento, anche se la situazione non è tale da far sospettare soverchianti difficioltà di ordine geotecnico, così almeno indica il fronte di sbancamento aperto sul lato monte dell'edificio esistente, che appare intrinsecamente stabile, seppur privo da anni di protezione alcuna.

In fase esecutiva sarà opportuno procedere ad uno scavo campione di larghezza ridotta, così da consentire l'osservazione diretta del materiale, dei rapporti tra roccia e coltre detritica, nonchè per permettere il drenaggio di acque eventualmente contenute in fratture beanti.

Relativamente alla fondazione sul lato valle, occorre sottolineare la presenza locale di terreni detritici fortemente compressibili e potenzialmente instabili; sebbene lo sbancamento vada a determinare la decapitazione della



frana ( a tutto vantaggio della stabilità) è assolutamente sconsigliabile delegare carichi strutturali al detrito: con questo si vuol dire che sarà buona norma raggiungere comunque il substrato.

In questo modo si eviterà che, nel medesimo edificio, parte degli appoggi ricada su roccia e parte su terra, condizione questa assai critica in regime statico e generalmente disastrosa in caso di sisma.

Si potrà realizzare una palificata o, meglio, una fondazione diretta scaricante pressioni d'esercizio ragionevoli.

Per rendere stabile la pavimentazione, infine, si valuti l'opportunità di asportare il lembo residuo del corpo di frana compreso nel perimetro dello edificio e di eseguire un rinterro con materiale arido steso e compattato per strati.

Se si seguirà questa via, è consigliabile prevedere uno scarico efficiente del vespaio così realizzato.

Ordine Nazionale Geologi  
Dott. Mario Mambrini  
Iscritto all' Albo col N. 3019



- |                                                                                       |                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
|  | <b>edifici esistenti</b>       |
|  | <b>” in progetto</b>           |
|  | <b>frane</b>                   |
|  | <b>trincee</b>                 |
|  | <b>penetrometrie dinamiche</b> |

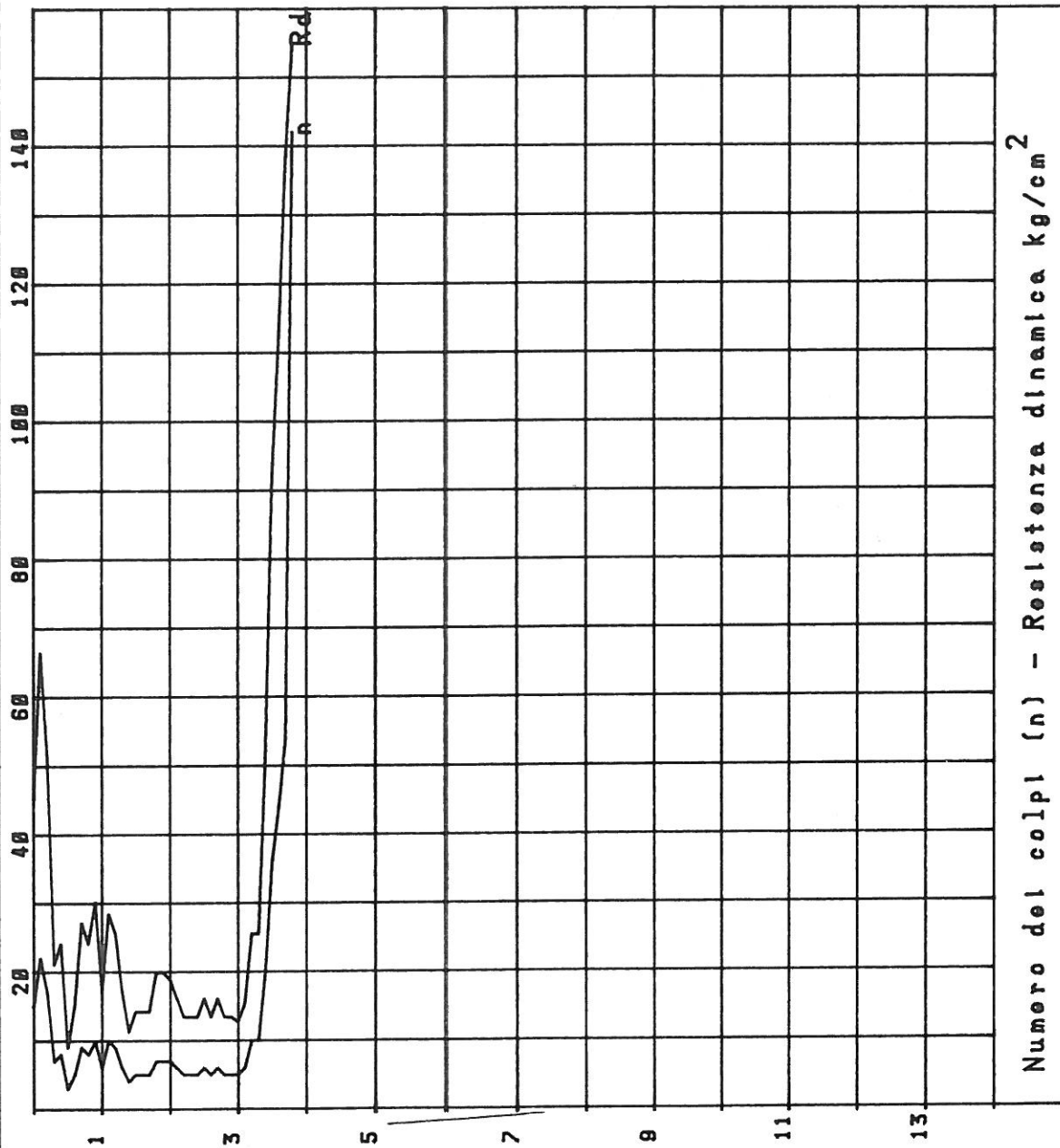
**geOLOG**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.1

TAV.2

LOC.:Castelnuovo M.

COMMITTENTE: C.C.P.L. di Reggio Emilia



PESO DEL MAGLIO= 30kg

ALTEZZA DI CADUTA= 20cm

PESO DELL'INCUDINE= 26kg

PESO ASTE= 3.6 kg/m

AREA PUNTA= 10cm<sup>2</sup>

Livello falda : --m



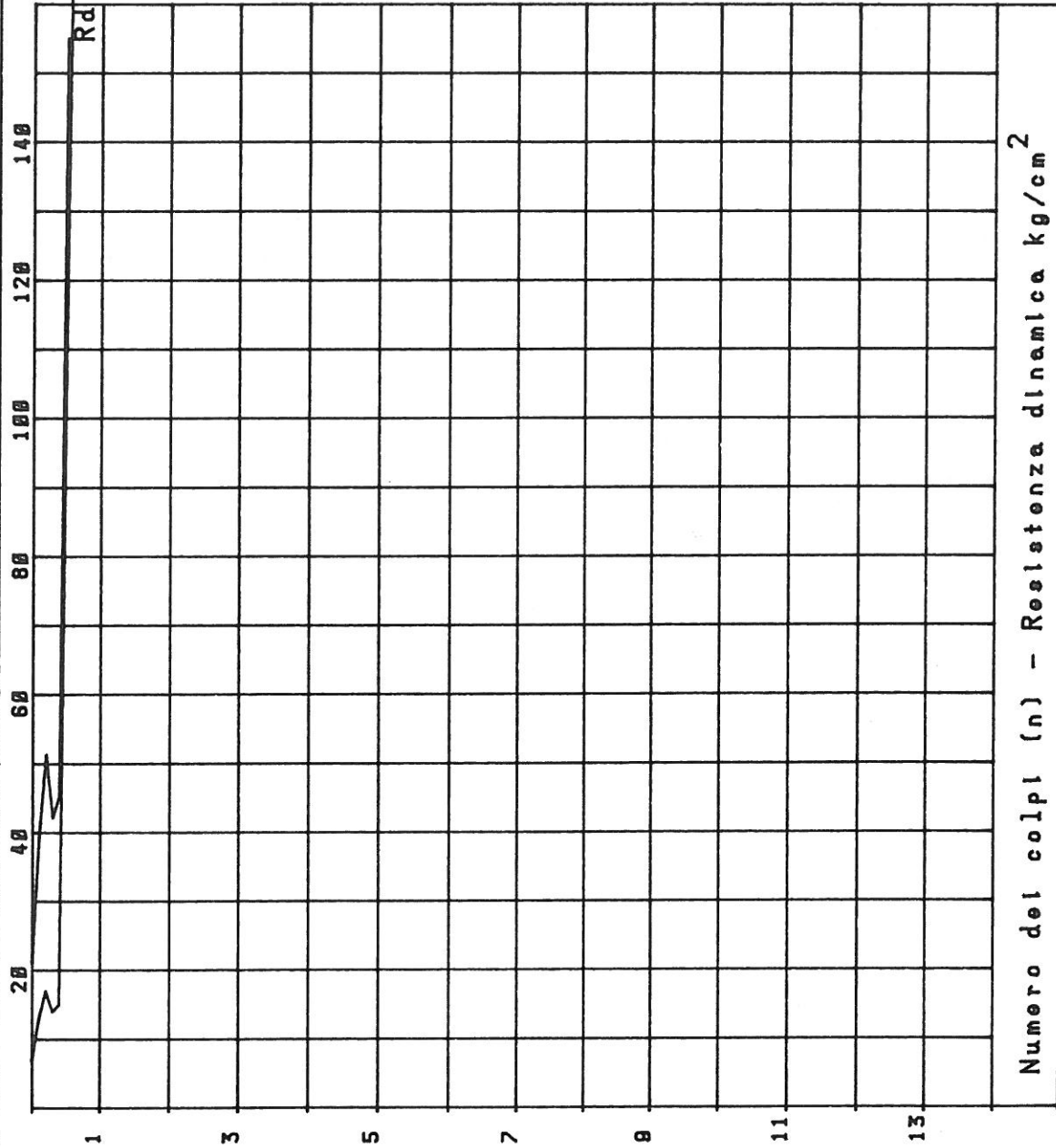
# GeOLOG

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.2

TAV.3

LOC.: Castelnuovo M.

COMMITTENTE: C.C.P.L. di Reggio Emilia



PESO DEL MAGLIO= 30kg

ALTEZZA DI CADUTA= 20cm

PESO DELL'INCUDINE= 26kg

PESO ASTE= 3.6 kg/m

AREA PUNTA= 10cm<sup>2</sup>

Livello falda : --m

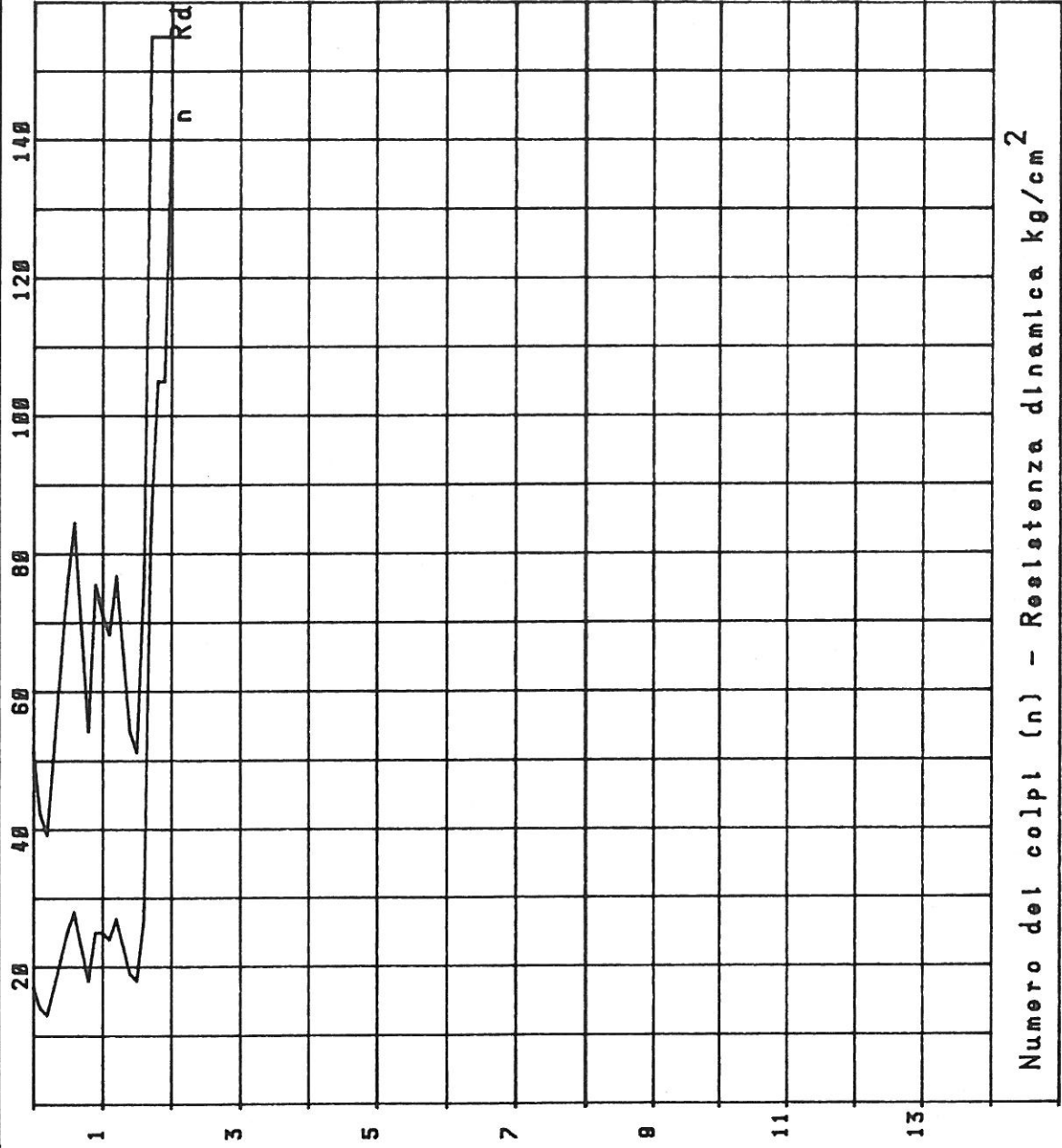
**geOLOG**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.3

TAV.4

LOC.:Castelnuovo M.

COMMITTENTE: C.C.P.L. di Reggio Emilia



PESO DEL MAGLIO= 30kg

ALTEZZA DI CADUTA= 20cm

PESO DELL'INCUDINE= 26kg

PESO ASTE= 3.6 kg/m

AREA PUNTA= 10cm<sup>2</sup>

Livello falda : --m

Numero dei colpi (n) - Resistenza dinamica kg/cm<sup>2</sup>

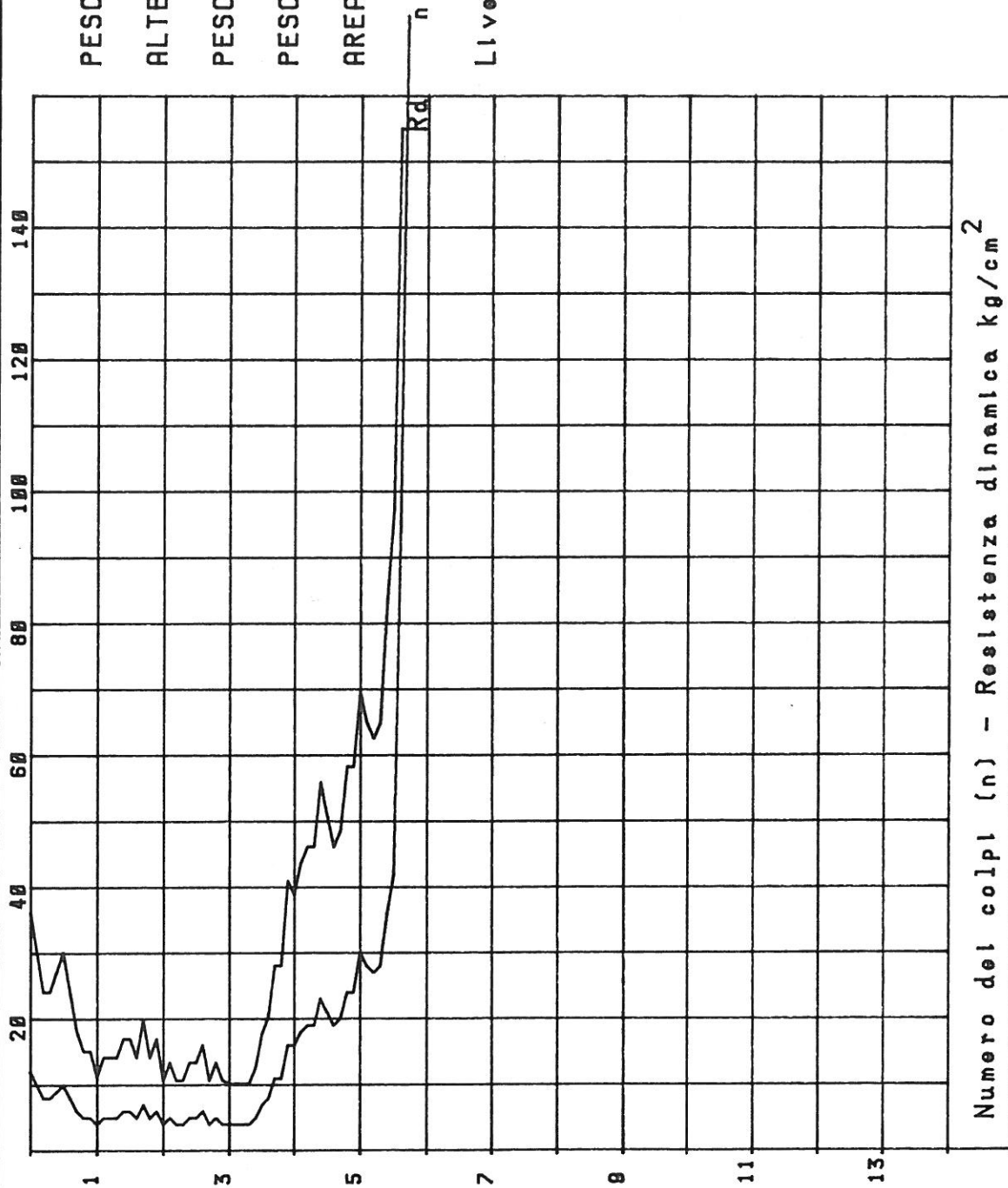
**GEOLOG**

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.4**

**TAV. 5**

LOC.: Castelnuovo M.

COMMITTENTE: C.C.P.L. di Reggio Emilia



PESO DEL MAGLIO= 30kg

ALTEZZA DI CADUTA= 20cm

PESO DELL'INCUDINE= 26kg

PESO ASTE= 3.6 kg/m

AREA PUNTA= 10cm<sup>2</sup>

Livello falda : --m

Numero del colpi (n) - Resistenza dinamica kg/cm<sup>2</sup>

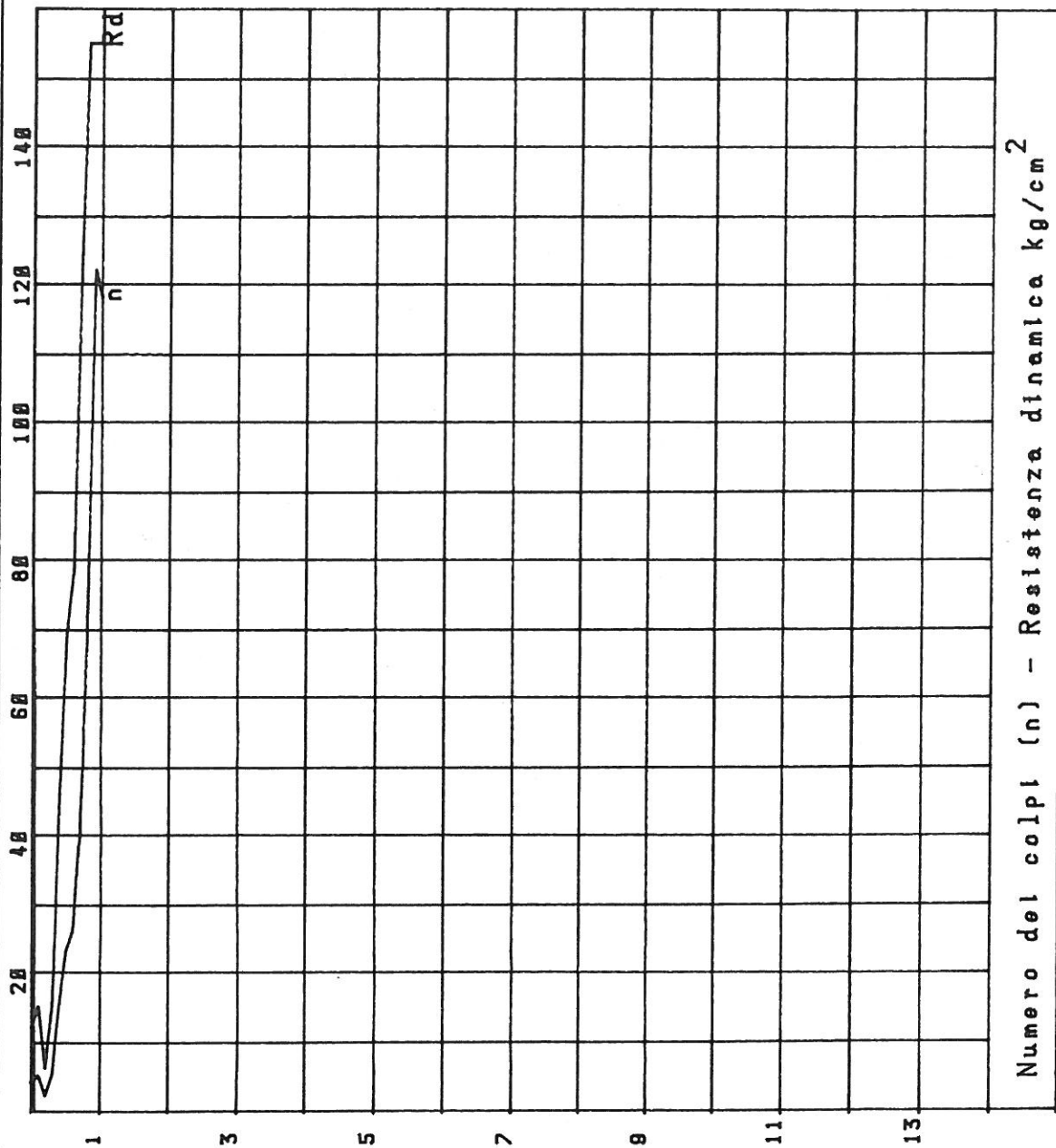
# GEOLOG

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.5

TAV.6

LOC.:Castelnuovo M.

COMMITTENTE:C.C.P.L. di Reggio Emilia



PESO DEL MAGLIO= 30kg

ALTEZZA DI CADUTA= 20cm

PESO DELL'INCUDINE= 26kg

PESO ASTE= 3.6 kg/m

AREA PUNTA= 10cm<sup>2</sup>

Livello falda : ---m

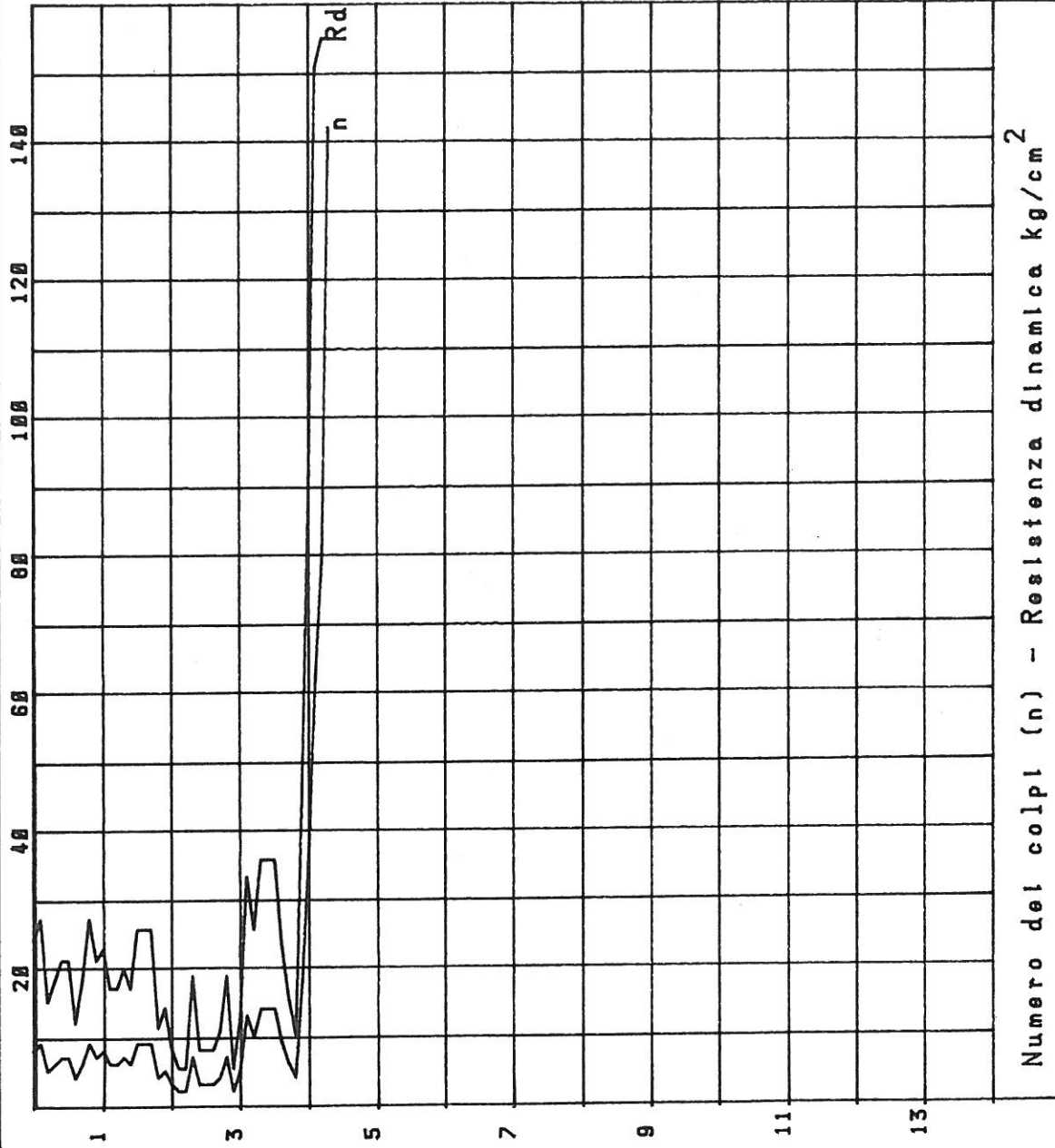
**GeOLOG**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.6

TAV.7

LOC.:Castelnuovo M.

COMMITTENTE: C.C.P.L. di Reggio Emilia



PESO DEL MAGLIO= 30kg

ALTEZZA DI CADUTA= 20cm

PESO DELL'INCUDINE= 26kg

PESO ASTE= 3.6 kg/m

AREA PUNTA= 10cm<sup>2</sup>

Livello falda : -1.9m

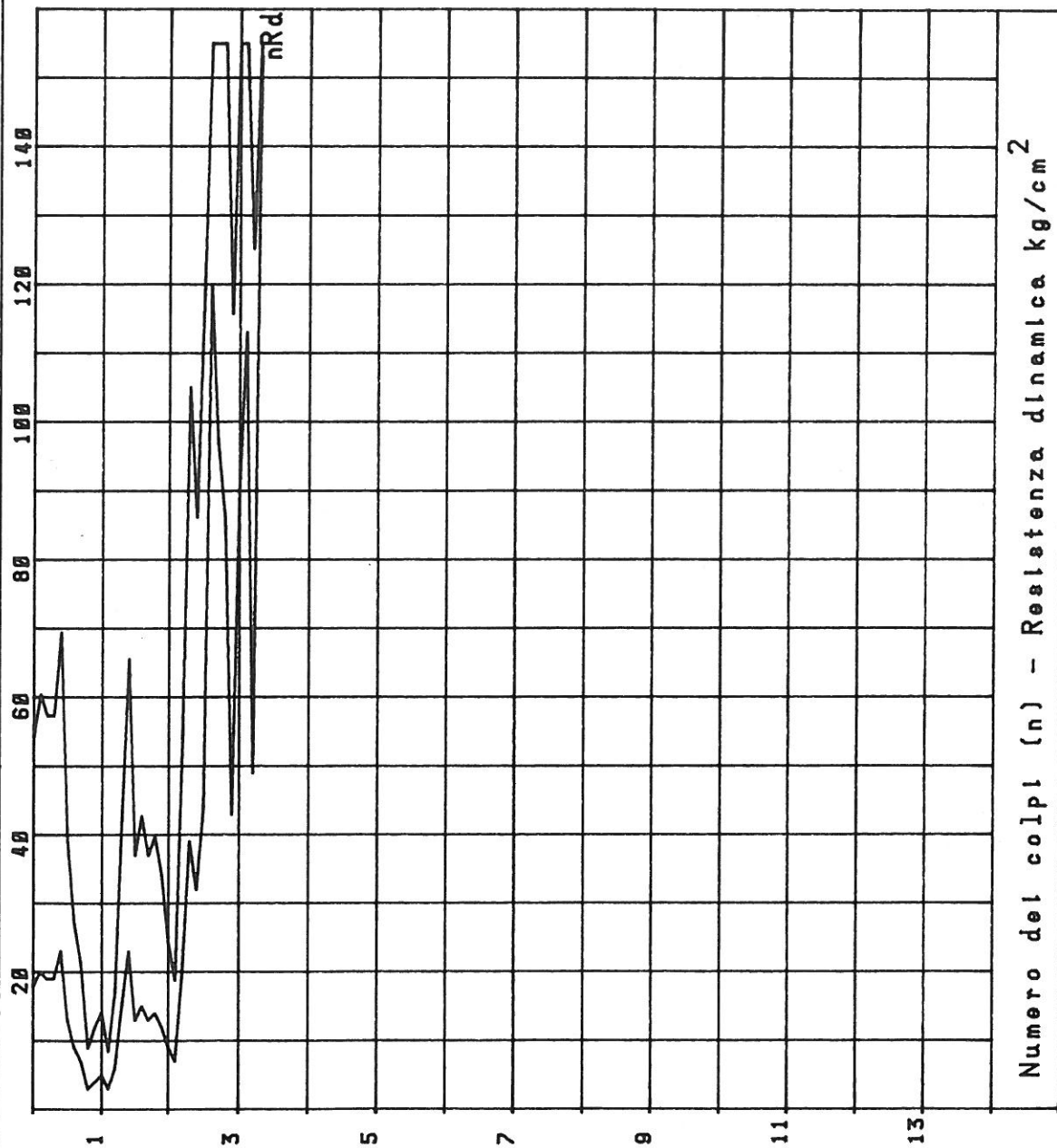
**GeOLOG**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.7

TAV.8

LOC.:Castelnuovo M.

COMMITTENTE: C.C.P.L. di Reggio Emilia



PESO DEL MAGLIO= 30kg

ALTEZZA DI CADUTA= 20cm

PESO DELL'INCUDINE= 26kg

PESO ASTE= 3.6 kg/m

AREA PUNTA= 10cm<sup>2</sup>

Livello falda : --m

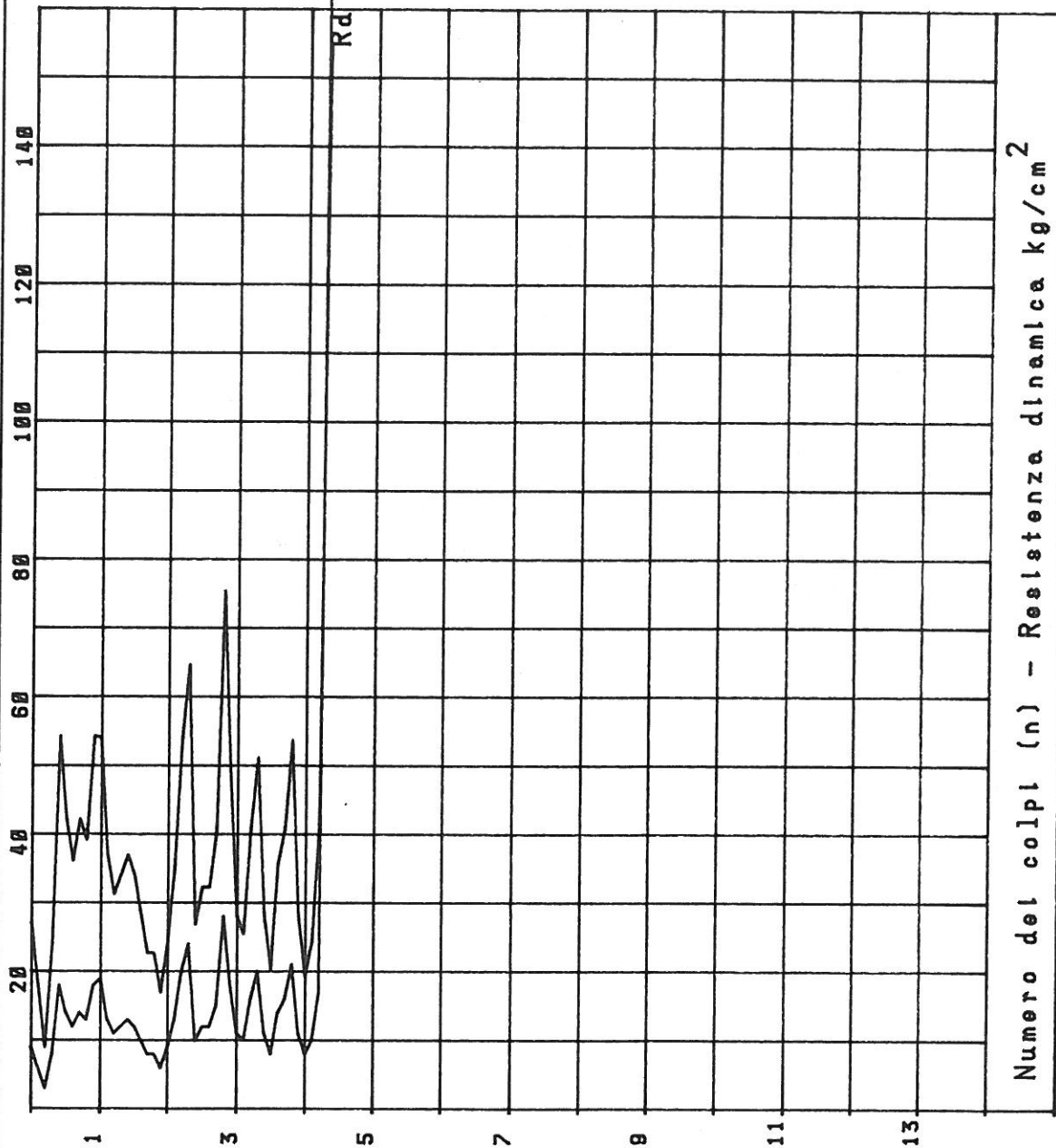
**GeOLOG**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.8

TAV. 9

LOC.: Castelnuovo M.

COMMITTENTE: C.C.P.L. di Reggio Emilia



PESO DEL MAGLIO= 30kg

ALTEZZA DI CADUTA= 20cm

PESO DELL'INCUDINE= 26kg

PESO ASTE= 3.6 kg/m

AREA PUNTA=  $10\text{cm}^2$

Livello falda : -3.4m





C. C. I. A. A. 232167

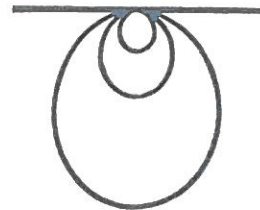
N. PARTITA I.V.A. 00896920378

SOCIETÀ COOP. A R. L.

40123 BOLOGNA - VIA D'AZEGLIO, 74 - ☎ 051/331209

42100 REGGIO EMILIA

VIALE MONTE S. MICHELE, 5 - ☎ 0522/32913



C.C.P.L. - Reggio Emilia

GEOLOGIA APPLICATA

Amministrazione Provinciale di Reggio Emilia

GEOFISICA

Complesso Scolastico Polivalente a Castelnuovo nei Monti (RE)  
Edificazione della Palestra

GEOTECNICA

APPENDICE AL RAPPORTO GEOLOGICO-TECNICO PER LA FATTIBILITA'

Gennaio 1989

IDROGEOLOGIA E  
IDROLOGIA

MODELLI MATEMATICI

## 1. PREMESSA.

Si evidenziano alcuni aspetti geologico-tecnici emersi nel corso dello scavo di prospezione eseguito di recente nell'area di progetto.

Si ricorda che l'opportunità di tale scavo fu indicata già nel rapporto di fattibilità geologica (luglio 1987) cui la presente fa seguito, per consentire l'osservazione diretta del materiale e dei rapporti tra roccia e coltre detritica; questo nonostante le condizioni al contorno apparissero sostanzialmente confortanti.

## 2. DESCRIZIONE DELLO SCAVO E RISULTATI.

La trincea esplorativa è stata orientata in direzione E-W, secondo l'asse mediano dell'area di sedime, con inizio tra i sondaggi penetrometrici 1 e 2, eseguiti a suo tempo sui vertici orientali, e con termine approssimativamente al centro dell'impronta.

La profondità massima raggiunta è di circa 10 ÷ 11 m con riferimento alla quota del piazzale prospiciente l'ingresso al complesso scolastico.

Contrariamente a quanto era dato prevedere estrapolando i dati dei sondaggi ubicati nelle vicinanze, nel comparto in esame l'interfaccia tra il substrato marnoso e il detrito eluviale argilloso mostra una profonda e stretta depressione che affossa la roccia a quasi 10 m di profondità, lungo la mezzeria dell'edificio in progetto.

Ulteriori e specifici saggi di controllo hanno poi confermato che, lungo i lati nord, sud e ovest, i rapporti tra marna e argilla sono sostanzialmente quelli indicati nella relazione di fattibilità.

La situazione, per molti versi singolare, non sembra riconducibile ad un fenomeno gravitativo, che aveva ben scarse possibilità di prodursi lungo una siffatta superficie a forma di diedro stretto; d'altra parte mancano le evidenze morfologiche caratterizzanti le frane.

Per restare nell'ambito dei fenomeni naturali, l'anomalia può spiegarsi solo ammettendo che il disfacimento della formazione marnosa avvenga in modo selettivo; vale a dire che tanto meno essa è resistente, tanto più l'alterazione meteorica aggredisce in profondità.

Il fattore differenziante può essere lo stato di fratturazione.

Un fatto almeno contribuisce a rendere credibile questa ipotesi: lungo il lato monte del piazzale, dove uno scavo di ampliamento ha scoperto la formazione marnosa, la stratificazione è facilmente riconoscibile nella sola porzione sud; a nord, cioè verso l'area in esame, la tessitura di diaclasi è tale da confondere le geometrie sedimentarie.

Manifestazioni del genere sono normalmente associate a disturbi tettonici (faglie o sistemi di fratture).

### 3. RISVOLTI TECNICI.

Le caratteristiche meccaniche di un terreno argilloso, quale quello scoperto nello scavo, devono considerarsi scadenti: i fronti sono risultati instabili già a breve termine, ovvero in condizioni non-drenate, quando il fattore di stabilità dovrebbe raggiungere il massimo consentito dalla resistenza al taglio.

In condizioni drenate, cioè a lungo termine, l'angolo d'attrito interno di picco non potrà risultare tanto più elevato di  $20^\circ$ , mentre l'angolo residuo sarà prossimo a quello calcolato mediante analisi inversa sulla frana presente a monte (circa  $10^\circ$ ).

Caratteristiche di quest'ordine subordinano la fattibilità dello sbancamento all'impiego di tecniche particolari; l'opera di sostegno, inoltre, dovrà risultare assai più impegnativa di quella prefigurabile su un fronte aperto nelle marne.

### 4. CONCLUSIONI.

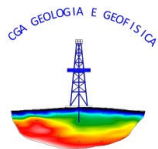
Analizzando le problematiche accennate dal solo punto di vista geologico, sembra il caso di sconsigliare la realizzazione del fabbricato nel luogo previsto e di scegliere un'ubicazione più a ridosso degli edifici esistenti, dove il substrato marnoso è prossimo alla superficie topografica.

Il comparto affetto dalla singolarità geologica sarebbe da evitarsi anche per ragioni sismiche; è noto infatti quanto critici risultino i passaggi tra terra e roccia al cimento dinamico.



## **ALLEGATO 2**

### **Prospezioni sismiche**



**Studio Tecnico Associato di 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. +39 051 6871113 FAX +39 051 6874328

C.F. e Partita IVA 04112290376

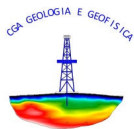
Email: cgastudio@cgastudio.eu

Committente:	Provincia di Reggio Emilia
Prova:	MASW 24 ch
Località:	Istituto Cattaneo - Castelnovo ne' Monti (RE)
Data:	28-nov-18
Certificato:	A1311GF635L1MASW



## SOMMARIO

<b>SOMMARIO .....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>METODOLOGIA D'INDAGINE .....</b>	<b>4</b>
INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW .....	4
MODALITÀ ESECUTIVE .....	4
<b>ELABORAZIONE DATI .....</b>	<b>6</b>
SISMICA CON METODOLOGIA MASW .....	6
<i>Analisi delle immagini di dispersione .....</i>	<i>6</i>
<i>Interpretazione .....</i>	<i>6</i>
Densità Dinamica: .....	7
Modulo di taglio: .....	7
Modulo di Young: .....	7
<b>PRESENTAZIONE DEI RISULTATI .....</b>	<b>8</b>
PROPRIETÀ GEOFISICHE DEI TERRENI .....	9
<b>APPENDICE 1 .....</b>	<b>10</b>



## INTRODUZIONE

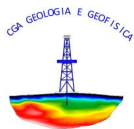
Su incarico di Provincia di Reggio Emilia è stato redatto questo rapporto di prova relativo all'esecuzione di una prova sismica MASW a uno shot preso l'Istituto Cattaneo - Castelnovo ne' Monti (RE).

L'ubicazione della zona di indagine è rappresentata in figura n° 1.

Lo studio ha seguito il seguente sviluppo:

- esecuzione di n° 1 prova sismica a shot singolo con metodo MASW;
- elaborazione dei dati raccolti.





## METODOLOGIA D'INDAGINE

### INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW

Il metodo MASW (*Multichannel Acquisition Surf Wave*) ha come obiettivo quello di ricostruire il profilo sismostratigrafico di un sito, valutando in particolare la distribuzione della velocità delle onde "S" sia per la ricostruzione del profilo del sottosuolo che per la definizione *in situ* della  $V_{s30}$ .

Al fine di migliorare il rapporto segnale disturbo per ogni punto di offset vengo eseguiti, in modalità iterativa, tre shots.

Il metodo MASW prevede la costruzione di una curva di dispersione per le onde di superficie, attraverso l'elaborazione di un'immagine di dispersione derivata dall'analisi della propagazione delle onde di Rayleigh e, quando necessario, delle onde di Love.

La tecnica di prospezione MASW utilizza quindi un'immagine rappresentativa delle frequenze delle onde superficiali, espressa in funzione della velocità di fase delle stesse. Nell'immagine di dispersione (*Over Tone Image*) viene inoltre enfatizzata cromaticamente l'ampiezza delle vibrazioni evidenziando così le aree corrispondenti al miglior rapporto segnale/disturbo.

Una volta individuata la sequenza di frequenze e velocità di fase corrispondenti alla più probabile distribuzione della dispersione nel sottosuolo esaminato (analisi della curva di dispersione) si procede alla ricostruzione delle stratigrafia rappresentativa della distribuzione delle velocità delle onde S tramite l'utilizzo di un algoritmo di inversione.

La tecnica di prospezione MASW può essere così schematizzata:

- acquisizione delle onde superficiali;
- costruzione delle curve di dispersione (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- inversione delle curve di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$ .

### MODALITÀ ESECUTIVE

Le indagini MASW vengono eseguite disponendo sul terreno almeno 24 sensori (geofoni), posti ad intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare.

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive ad alta frequenza in corrispondenza di un punto prestabilito lungo il profilo (*punto di scoppio*): nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (*trigger*). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con intervallo di campionamento pari a 0.25 ms e tempo di registrazione pari ad almeno 1 secondo.



Ogni scoppio ed ogni registrazione per ogni distanza di offset se necessario vengono ripetuti tre volte.

Lo strumento utilizzato è il sismografo digitale X610S-S di produzione M.A.E. s.r.l. ad acquisizione digitale con dinamica a 24 bit.

Gli impulsi sismici sono stati generati con l'utilizzo di una massa battente da 10.0 Kg.

Nel caso specifico la geometria dell'array di indagine è riassunta nella seguente tabella:

MASW	n° geofoni	Spacing [m]	Offset [m]	Lunghezza array [m]
L1	24	1.00	7.00	30.00

*Tabella n° 1 - Array dello stendimento MASW.*

Le caratteristiche del sismografo e dei geofoni utilizzati sono di seguito sinteticamente riassunte:

**SISMOGRAFO M.A.E. X610-S**

Convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta
Range dinamico: 144 dB (teorico)
Numero di campioni per evento: impostabile da 1024 a 21800 con incrementi di 512
Interfacce disponibili: LAN, USB, VGA
Auto-calibrazione interna dei convertitori prima di ogni acquisizione
Intervalli di campionamento: 1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms
Archiviazione dati: in memoria FLASH interna (fino a 3GB disponibili) e/o su USB pen-drive rimovibile
Alimentazione: 12V DC con assorbimento medio di 1.5A
Display: LCD 12.2" con touch-screen integrato optical bonding
Dimensioni e peso: 46x32,7x17 cm, 8 Kg (cavi e sensori esclusi)
Condizioni ambientali: -20/80°C

*Tabella n° 2 - Tabella delle caratteristiche del sismografo utilizzato.*

**GEOFONI GEOSPACE GS-11D**

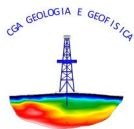
Natural Frequency	4,5 ± 0,75 Hz
Coil Resistance @ 25°C ± 5%	380 Ohms
Intrinsic Voltage Sensitivity with 380 Ohm Coil ± 10%	0,32 V/cm/s
Normalized Transduction Constant (V/in/sec)	0,42 (sq.root of Rc)
Open Circuit Damping	0,34 ± 20%
Damping Constant with 380 Ohm Coil	762
Optional Coil Resistances ± 5%	56,16 Ohms
Moving Mass ± 5%	23,6 g
Typical Case to Coil Motion P-P	0,18 cm
Harmonic Distortion with Driving Velocity of 0.7 in/sec (1.8 cm/sec) P-P	N/S

**Dimensioni**

Height (less terminals*)	3,35 cm
Diameter	3,18 cm
Weight	111 g

\* terminal height is 0,3429 cm

*Tabella n° 3 - Tabella delle caratteristiche dei geofoni utilizzati.*



## ELABORAZIONE DATI

### SISMICA CON METODOLOGIA MASW

#### ANALISI DELLE IMMAGINI DI DISPERSIONE

Le immagini di dispersione rappresentano, in forma grafica, lo spettro di dispersione delle onde di Rayleigh che si propagano nel sottosuolo dell'area indagata.

Le immagini illustrano la dispersione vera e propria intesa come variazione della velocità di fase in funzione delle frequenze dello spettro. Evidenziano inoltre l'ampiezza delle vibrazioni (energia associata) utilizzando variazioni di toni di colori.

L'obiettivo dell'analisi dell'immagine di dispersione è l'individuazione del "tono fondamentale" della vibrazione (fundamental mode), distinguendolo da tutti gli ipertoni associati (higher tone) e dai rumori di fondo (noise).

L'individuazione del "tono fondamentale" permette di giungere alla principale chiave di lettura della prospezione cioè all'individuazione della "curva di dispersione" e quindi, tramite inversione, alla ricostruzione della sequenza sismostratigrafica del sito indagato.

#### INTERPRETAZIONE

Il profilo delle  $V_s$  è determinato sulla base di un algoritmo iterativo di inversione che utilizza i dati ottenuti dallo studio della curva di dispersione. L'interpretazione è stata effettuata per entrambi i metodi di filtrazione adottati.

L'algoritmo si basa sulle seguenti considerazioni:

- la frequenza è direttamente legata alla profondità di indagine (basse frequenze alte profondità);
- la velocità di fase dipende essenzialmente dalle proprietà elastiche dei materiali interessati dal propagarsi della perturbazione.

L'algoritmo di inversione tiene inoltre conto della necessità di soddisfare la seguente relazione:

$$z_f = a \lambda_f$$

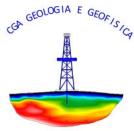
dove:

$z_f$  = profondità di propagazione della frequenza  $f$ ;

$a$  = coefficiente adimensionale;

$\lambda_f$  = lunghezza d'onda corrispondente alla frequenza  $f$ .

Le iterazioni necessarie per l'elaborazione in precedenza descritta avvengono tramite l'utilizzo di un programma di calcolo specifico (*Surfseis 6.7* del *Kansas Geological Survey*).



In Appendice 1 sono riportati sia i sismogrammi che le immagini di dispersione (*Over Tone Image*) relative alla somma di ogni shot effettuato, con relative curve di dispersione.

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

**Densità Dinamica:**

$$\gamma = 0.51V_p^{0.19}$$

Dove:

$\gamma$  = densità del mezzo attraversato;

$V_p$  = velocità onde di compressione;

**Modulo di taglio:**

$$G = \rho V_s^2$$

Dove:

$\rho$  = massa volumica ( $\gamma/g$ );

$\gamma$  = densità del mezzo attraversato;

$g$  = accelerazione di gravità;

$V_s$  = velocità onde di taglio;

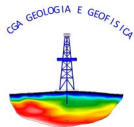
**Modulo di Young:**

$$E = 2G(1 + \nu)$$

Dove:

$G$  = modulo di taglio;

$\nu$  = Coefficiente di Poisson.



## PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

I certificati delle indagini sismiche MASW eseguite sono riportate in appendice 1.

La stratigrafia sismica delle singole prove è riportata nelle seguenti tabelle:

Strato	Spessore medio (m)	Vs (m/s)
1	1.50	440.71
2	1.88	436.10
3	2.35	419.70
4	2.94	440.62
5	3.67	483.08
6	4.59	524.33
7	5.73	546.05
8	7.17	540.09
9	8.96	509.91
10	9.69	640.56

Tabella n° 4 – Stratigrafia da prova sismica e velocità di propagazione dell'onda sismica Linea L1

Utilizzando le metodologie e le formule di cui al paragrafo relativo alla metodologia MASW e seguendo le prescrizioni del D.M. 17.01.2018 la determinazione della  $V_{seq}$  è stata ottenuta utilizzando la formula:

$$V_{seq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

$h_i$  = spessore dello strato  $i$ esimo;

$V_{s,i}$  = Velocità onde di taglio dello strato  $i$ esimo;

$N$  = numero degli strati;

$H$  = profondità del substrato ( $H = 30$  m nel caso di substrato a profondità maggiore di 30 m)

La  $V_{seq}$ , senza specifiche indicazioni dei progettisti, è calcolata per ogni shot di ogni linea sismica MASW eseguita a partire dal piano di campagna.

<b>Veq [m/s]</b>	<b>496.37</b>
------------------	---------------

Tabella n° 5 – Valore calcolato di  $V_{seq}$  Linea L1



## PROPRIETÀ GEOFISICHE DEI TERRENI

In Appendice 1 sono rappresentate graficamente le colonne sismostratigrafiche relative ai parametri geofisici, di seguito riassunti in forma tabellare:

Profondità	Vp (m/s)	Vs (m/s)	$\gamma_{din}$ (kN/m <sup>3</sup> )	E (Mpa)	G0 (Mpa)
0.00	1079.51	440.71	18.85	1045.55	373.41
1.50	1079.51	440.71	18.85	1045.55	373.41
3.38	1068.21	436.10	18.82	1021.73	364.90
5.73	1028.04	419.70	18.68	939.46	335.52
8.66	1079.29	440.62	18.85	1045.07	373.24
12.33	1183.29	483.08	19.19	1278.33	456.55
16.92	1284.35	524.33	19.49	1529.65	546.30
22.65	1337.54	546.05	19.64	1671.82	597.08
29.81	1322.93	540.09	19.60	1632.10	582.89
38.77	1249.03	509.91	19.38	1439.03	513.94
48.46	1569.05	640.56	20.24	2371.49	846.96

Tabella n° 6 – Parametri geofisici

San Giovanni in Persiceto, 28 novembre 2018

I Geologi :





## **APPENDICE 1**

Figure ed elaborati grafici





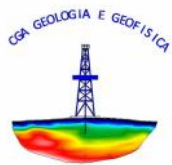
COMMITTENTE: Provincia di Reggio Emilia

CANTIERE: Istituto Cattaneo - Castelnovo ne' Monti (RE)

CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

UBICAZIONE PROVA A1311GF635L1MASW





COMMITTENTE: Provincia di Reggio Emilia

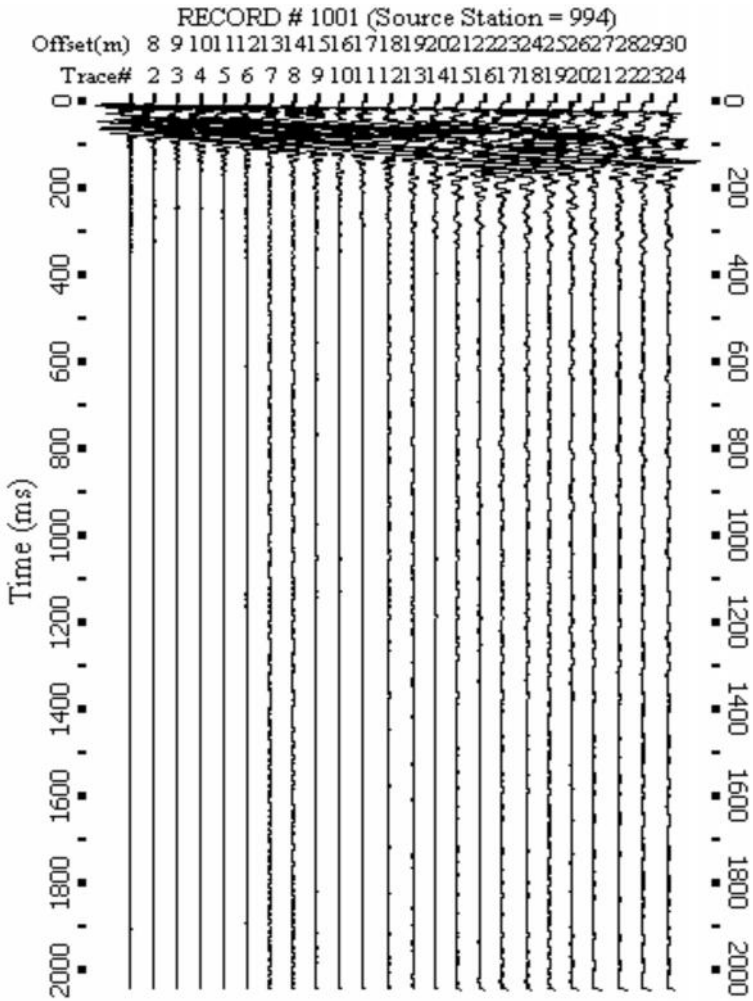
CANTIERE: Istituto Cattaneo - Castelnovo ne' Monti (RE)

PROVA: MASW a 1 Shot

CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

DATA DI ESECUZIONE: 28/11/2018

CERTIFICATO N°: A1311GF635L1MASW



Sismogramma A1311GF635L1MASW

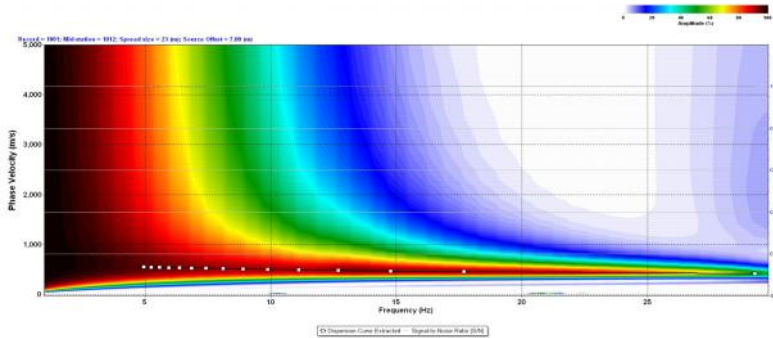
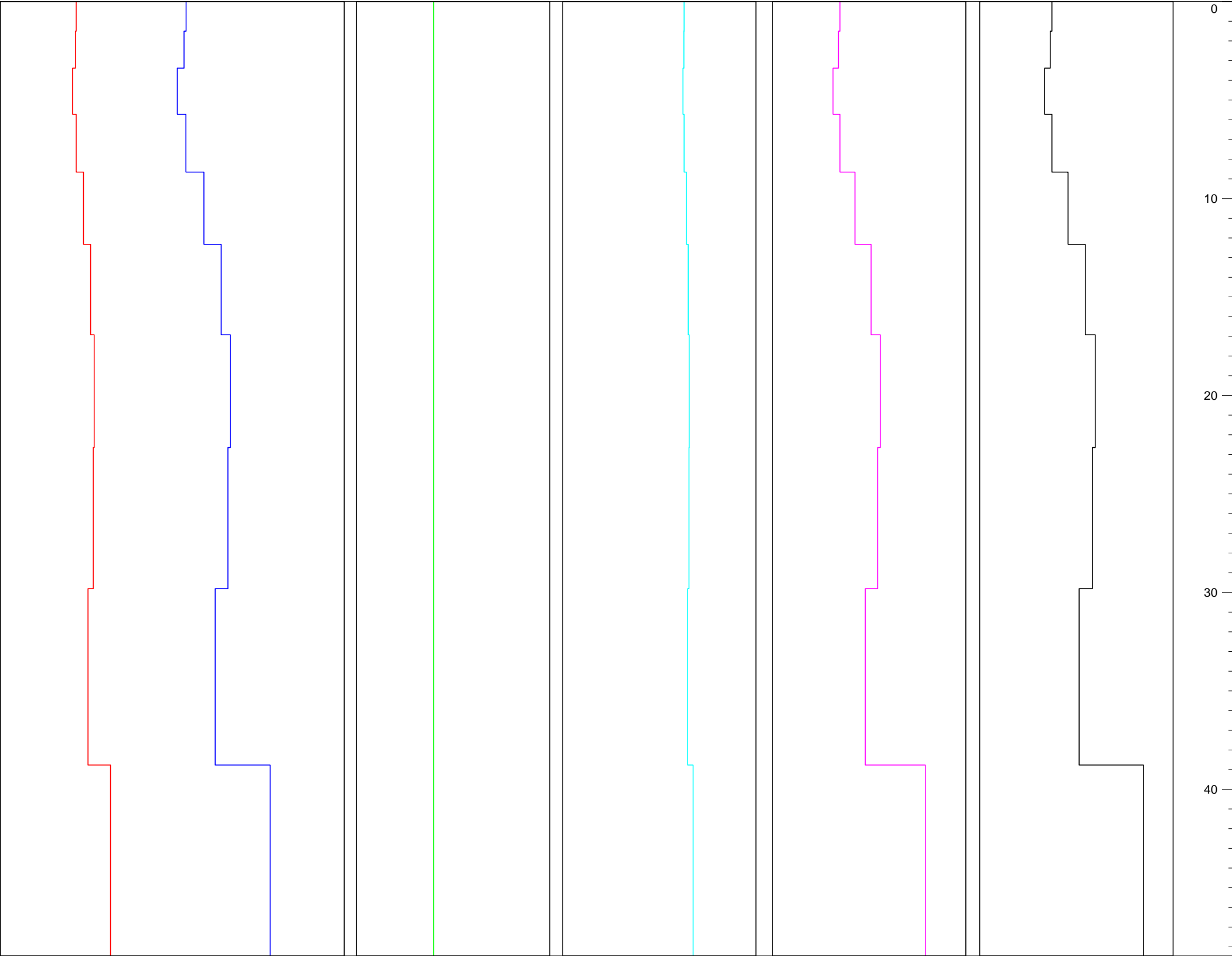


Immagine di dispersione A1311GF635L1MASW







COMMITTENTE: Provincia di Reggio Emilia

CANTIERE: Istituto Cattaneo - Castelnovo ne' Monti (RE)

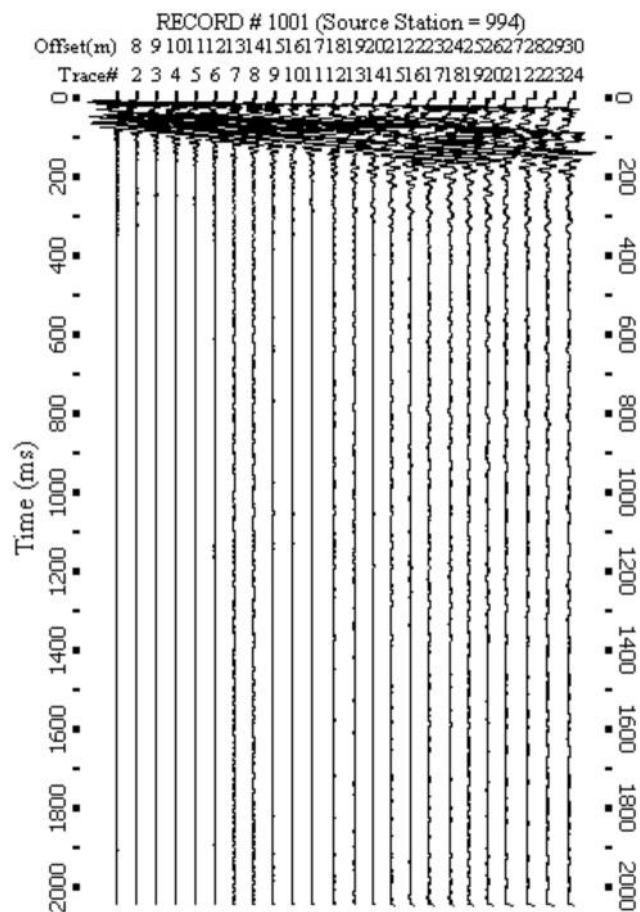
PROVA: MASW a 1 Shot

CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

DATA DI ESECUZIONE: 28/11/2018

CERTIFICATO N°: A1311GF635L1MASW

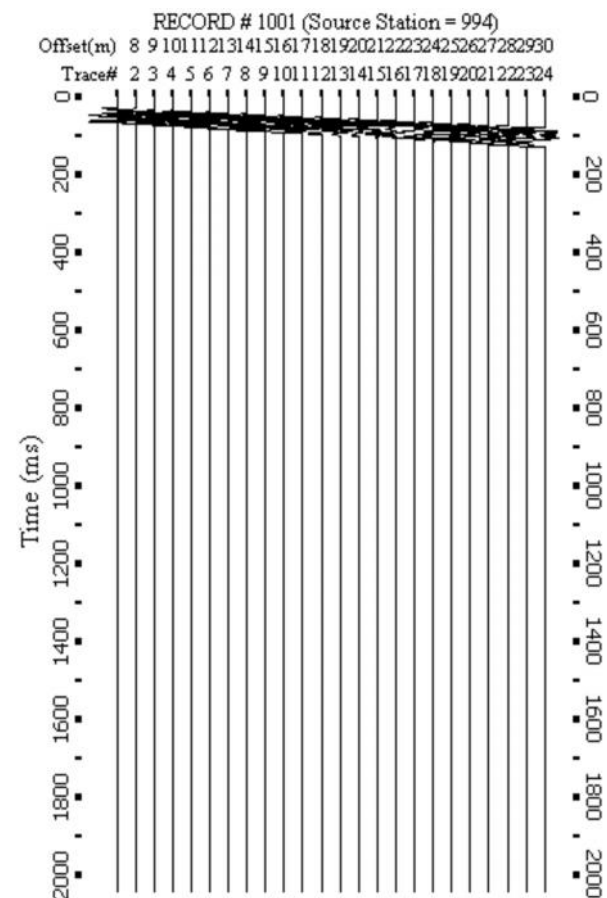
## RAPPORTO DI FILTRAZIONE



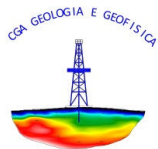
Sismogramma come acquisito

Mute Top (L:\2018\A 1311 - GF 635 - Provincia di Reggio Emilia  
Castelnuovo ne' Monti (RE)\A1311IntMASW1\Filtrazioni\F1\A1311Masw1.dat)  
Mute Velocity: 453 m/s  
Tapering (ms): 3.456  
Mute Start: Trace No.1 at time32.061 ms  
Mute End: Trace No.24 at time223.025 ms  
Mute Bottom (L:\2018\A 1311 - GF 635 - Provincia di Reggio Emilia  
Castelnovo ne' Monti (RE)\A1311IntMASW1\Filtrazioni\F1\A1311Masw1.dat)  
Mute Velocity: 365 m/s  
Tapering (ms): 3.456  
Mute Start: Trace No.1 at time64.725 ms  
Mute End: Trace No.24 at time301.903 ms

Filtro utilizzato



Sismogramma filtrato



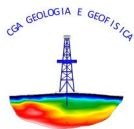
**Studio Tecnico Associato di Consulenze di Geologia e Ambiente del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa**

Via E. Fermi n° 11/A – 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO) Tel. +39 051 6871113 FAX +39 051 6874328

C.F. e Partita IVA 04112290376

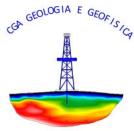
Email: cgastudio@cgastudio.eu

Committente:	Provincia di Reggio Emilia
Prova:	MASW 24 ch
Località:	Istituto Cattaneo - Castelnovo ne' Monti (RE)
Data:	28-nov-18
Certificato:	A1311GF635L2MASW



## SOMMARIO

<b>SOMMARIO .....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>METODOLOGIA D'INDAGINE .....</b>	<b>4</b>
INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW .....	4
MODALITÀ ESECUTIVE .....	4
<b>ELABORAZIONE DATI .....</b>	<b>6</b>
SISMICA CON METODOLOGIA MASW .....	6
<i>Analisi delle immagini di dispersione</i> .....	6
<i>Interpretazione</i> .....	6
Densità Dinamica: .....	7
Modulo di taglio: .....	7
Modulo di Young: .....	7
<b>PRESENTAZIONE DEI RISULTATI .....</b>	<b>8</b>
PROPRIETÀ GEOFISICHE DEI TERRENI .....	9
<b>APPENDICE 1 .....</b>	<b>10</b>



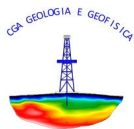
## INTRODUZIONE

Su incarico di Provincia di Reggio Emilia è stato redatto questo rapporto di prova relativo all'esecuzione di una prova sismica MASW a uno shot presso l'Istituto Cattaneo - Castelnovo ne' Monti (RE).

L'ubicazione della zona di indagine è rappresentata in figura n° 1.

Lo studio ha seguito il seguente sviluppo:

- esecuzione di n° 1 prova sismica a shot singolo con metodo MASW;
- elaborazione dei dati raccolti.



## METODOLOGIA D'INDAGINE

### INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW

Il metodo MASW (*Multichannel Acquisition Surf Wave*) ha come obiettivo quello di ricostruire il profilo sismostratigrafico di un sito, valutando in particolare la distribuzione della velocità delle onde "S" sia per la ricostruzione del profilo del sottosuolo che per la definizione *in situ* della  $V_{s30}$ .

Al fine di migliorare il rapporto segnale disturbo per ogni punto di offset vengo eseguiti, in modalità iterativa, tre shots.

Il metodo MASW prevede la costruzione di una curva di dispersione per le onde di superficie, attraverso l'elaborazione di un'immagine di dispersione derivata dall'analisi della propagazione delle onde di Rayleigh e, quando necessario, delle onde di Love.

La tecnica di prospezione MASW utilizza quindi un'immagine rappresentativa delle frequenze delle onde superficiali, espressa in funzione della velocità di fase delle stesse. Nell'immagine di dispersione (*Over Tone Image*) viene inoltre enfatizzata cromaticamente l'ampiezza delle vibrazioni evidenziando così le aree corrispondenti al miglior rapporto segnale/disturbo.

Una volta individuata la sequenza di frequenze e velocità di fase corrispondenti alla più probabile distribuzione della dispersione nel sottosuolo esaminato (analisi della curva di dispersione) si procede alla ricostruzione delle stratigrafia rappresentativa della distribuzione delle velocità delle onde S tramite l'utilizzo di un algoritmo di inversione.

La tecnica di prospezione MASW può essere così schematizzata:

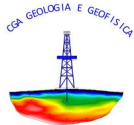
- acquisizione delle onde superficiali;
- costruzione delle curve di dispersione (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- inversione delle curve di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$ .

### MODALITÀ ESECUTIVE

Le indagini MASW vengono eseguite disponendo sul terreno almeno 24 sensori (geofoni), posti ad intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare.

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive ad alta frequenza in corrispondenza di un punto prestabilito lungo il profilo (*punto di scoppio*): nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (*trigger*). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con intervallo di campionamento pari a 0.25 ms e tempo di registrazione pari ad almeno 1 secondo.





Ogni scoppio ed ogni registrazione per ogni distanza di offset se necessario vengono ripetuti tre volte.

Lo strumento utilizzato è il sismografo digitale X610S-S di produzione M.A.E. s.r.l. ad acquisizione digitale con dinamica a 24 bit.

Gli impulsi sismici sono stati generati con l'utilizzo di una massa battente da 10.0 Kg.

Nel caso specifico la geometria dell'array di indagine è riassunta nella seguente tabella:

MASW	n° geofoni	Spacing [m]	Offset [m]	Lunghezza array [m]
L1	24	1.00	7.00	30.00

*Tabella n° 1 - Array dello stendimento MASW.*

Le caratteristiche del sismografo e dei geofoni utilizzati sono di seguito sinteticamente riassunte:

**SISMOGRAFO M.A.E. X610-S**

Convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta
Range dinamico: 144 dB (teorico)
Numero di campioni per evento: impostabile da 1024 a 21800 con incrementi di 512
Interfacce disponibili: LAN, USB, VGA
Auto-calibrazione interna dei convertitori prima di ogni acquisizione
Intervalli di campionamento: 1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms
Archiviazione dati: in memoria FLASH interna (fino a 3GB disponibili) e/o su USB pen-drive rimovibile
Alimentazione: 12V DC con assorbimento medio di 1.5A
Display: LCD 12.2" con touch-screen integrato optical bonding
Dimensioni e peso: 46x32,7x17 cm, 8 Kg (cavi e sensori esclusi)
Condizioni ambientali: -20/80°C

*Tabella n° 2 - Tabella delle caratteristiche del sismografo utilizzato.*

**GEOFONI GEOSPACE GS-11D**

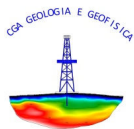
Natural Frequency	4,5 ± 0,75 Hz
Coil Resistance @ 25°C ± 5%	380 Ohms
Intrinsic Voltage Sensitivity with 380 Ohm Coil ± 10%	0,32 V/cm/s
Normalized Transduction Constant (V/in/sec)	0,42 (sq.root of Rc)
Open Circuit Damping	0,34 ± 20%
Damping Constant with 380 Ohm Coil	762
Optional Coil Resistances ± 5%	56,16 Ohms
Moving Mass ± 5%	23,6 g
Typical Case to Coil Motion P-P	0,18 cm
Harmonic Distortion with Driving Velocity of 0.7 in/sec (1.8 cm/sec) P-P	N/S

**Dimensioni**

Height (less terminals*)	3,35 cm
Diameter	3,18 cm
Weight	111 g

\* terminal height is 0,3429 cm

*Tabella n° 3 - Tabella delle caratteristiche dei geofoni utilizzati.*



## ELABORAZIONE DATI

### SISMICA CON METODOLOGIA MASW

#### ANALISI DELLE IMMAGINI DI DISPERSIONE

Le immagini di dispersione rappresentano, in forma grafica, lo spettro di dispersione delle onde di Rayleigh che si propagano nel sottosuolo dell'area indagata.

Le immagini illustrano la dispersione vera e propria intesa come variazione della velocità di fase in funzione delle frequenze dello spettro. Evidenziano inoltre l'ampiezza delle vibrazioni (energia associata) utilizzando variazioni di toni di colori.

L'obiettivo dell'analisi dell'immagine di dispersione è l'individuazione del "tono fondamentale" della vibrazione (fundamental mode), distinguendolo da tutti gli ipertoni associati (higher tone) e dai rumori di fondo (noise).

L'individuazione del "tono fondamentale" permette di giungere alla principale chiave di lettura della prospezione cioè all'individuazione della "curva di dispersione" e quindi, tramite inversione, alla ricostruzione della sequenza sismostratigrafica del sito indagato.

#### INTERPRETAZIONE

Il profilo delle  $V_s$  è determinato sulla base di un algoritmo iterativo di inversione che utilizza i dati ottenuti dallo studio della curva di dispersione. L'interpretazione è stata effettuata per entrambi i metodi di filtrazione adottati.

L'algoritmo si basa sulle seguenti considerazioni:

- la frequenza è direttamente legata alla profondità di indagine (basse frequenze alte profondità);
- la velocità di fase dipende essenzialmente dalle proprietà elastiche dei materiali interessati dal propagarsi della perturbazione.

L'algoritmo di inversione tiene inoltre conto della necessità di soddisfare la seguente relazione:

$$z_f = a \lambda_f$$

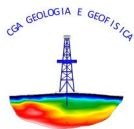
dove:

$z_f$  = profondità di propagazione della frequenza  $f$ ;

$a$  = coefficiente adimensionale;

$\lambda_f$  = lunghezza d'onda corrispondente alla frequenza  $f$ .

Le iterazioni necessarie per l'elaborazione in precedenza descritta avvengono tramite l'utilizzo di un programma di calcolo specifico (*Surfseis 6.7* del *Kansas Geological Survey*).



In Appendice 1 sono riportati sia i sismogrammi che le immagini di dispersione (*Over Tone Image*) relative alla somma di ogni shot effettuato, con relative curve di dispersione.

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

**Densità Dinamica:**

$$\gamma = 0.51V_p^{0.19}$$

Dove:

$\gamma$  = densità del mezzo attraversato;

$V_p$  = velocità onde di compressione;

**Modulo di taglio:**

$$G = \rho V_s^2$$

Dove:

$\rho$  = massa volumica ( $\gamma/g$ );

$\gamma$  = densità del mezzo attraversato;

$g$  = accelerazione di gravità;

$V_s$  = velocità onde di taglio;

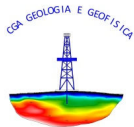
**Modulo di Young:**

$$E = 2G(1 + \nu)$$

Dove:

$G$  = modulo di taglio;

$\nu$  = Coefficiente di Poisson.



## PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

I certificati delle indagini sismiche MASW eseguite sono riportate in appendice 1.

La stratigrafia sismica delle singole prove è riportata nelle seguenti tabelle:

Strato	Spessore medio (m)	Vs (m/s)
<b>1</b>	1.27	576.95
<b>2</b>	1.59	774.44
<b>3</b>	1.99	756.27
<b>4</b>	2.48	318.01
<b>5</b>	3.10	523.50
<b>6</b>	3.88	903.49
<b>7</b>	4.85	795.21
<b>8</b>	6.06	769.90
<b>9</b>	7.58	800.87
<b>10</b>	8.20	1084.02

*Tabella n° 4 – Stratigrafia da prova sismica e velocità di propagazione dell'onda sismica Linea L1*

Utilizzando le metodologie e le formule di cui al paragrafo relativo alla metodologia MASW e seguendo le prescrizioni del D.M. 17.01.2018 la determinazione della  $V_{seq}$  è stata ottenuta utilizzando la formula:

$$V_{seq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

$h_i$  = spessore dello strato  $i$ esimo;

$V_{s,i}$  = Velocità onde di taglio dello strato  $i$ esimo;

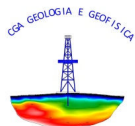
$N$  = numero degli strati;

$H$  = profondità del substrato ( $H = 30$  m nel caso di substrato a profondità maggiore di 30 m)

La  $V_{seq}$ , senza specifiche indicazioni dei progettisti, è calcolata per ogni shot di ogni linea sismica MASW eseguita a partire dal piano di campagna.

<b>Veq [m/s]</b>	<b>668.97</b>
------------------	---------------

*Tabella n° 5 – Valore calcolato di  $V_{seq}$  Linea L1*



## PROPRIETÀ GEOFISICHE DEI TERRENI

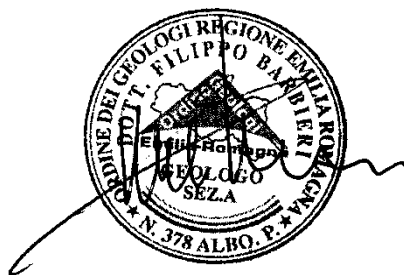
In Appendice 1 sono rappresentate graficamente le colonne sismostratigrafiche relative ai parametri geofisici, di seguito riassunti in forma tabellare:

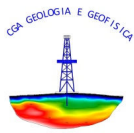
Profondità	Vp (m/s)	Vs (m/s)	$\gamma_{din}$ (kN/m <sup>3</sup> )	E (Mpa)	G0 (Mpa)
0.00	1413.23	576.95	19.84	1886.02	673.58
1.27	1413.23	576.95	19.84	1886.02	673.58
2.86	1896.99	774.44	20.99	3593.67	1283.45
4.85	1852.47	756.27	20.89	3411.56	1218.41
7.33	778.96	318.01	17.72	511.68	182.74
10.43	1282.30	523.50	19.48	1524.30	544.39
14.31	2213.08	903.49	21.61	5036.40	1798.72
19.16	1947.86	795.21	21.09	3808.11	1360.04
25.22	1885.86	769.90	20.96	3547.64	1267.02
32.79	1961.72	800.87	21.12	3867.71	1381.32
40.99	2655.30	1084.02	22.37	7505.61	2680.58

Tabella n° 6 – Parametri geofisici

San Giovanni in Persiceto, 28 novembre 2018

I Geologi :





## **APPENDICE 1**

Figure ed elaborati grafici





COMMITTENTE: Provincia di Reggio Emilia

CANTIERE: Istituto Cattaneo - Castenovo ne' Monti (RE)

CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

UBICAZIONE PROVA A1311GF635L2MASW







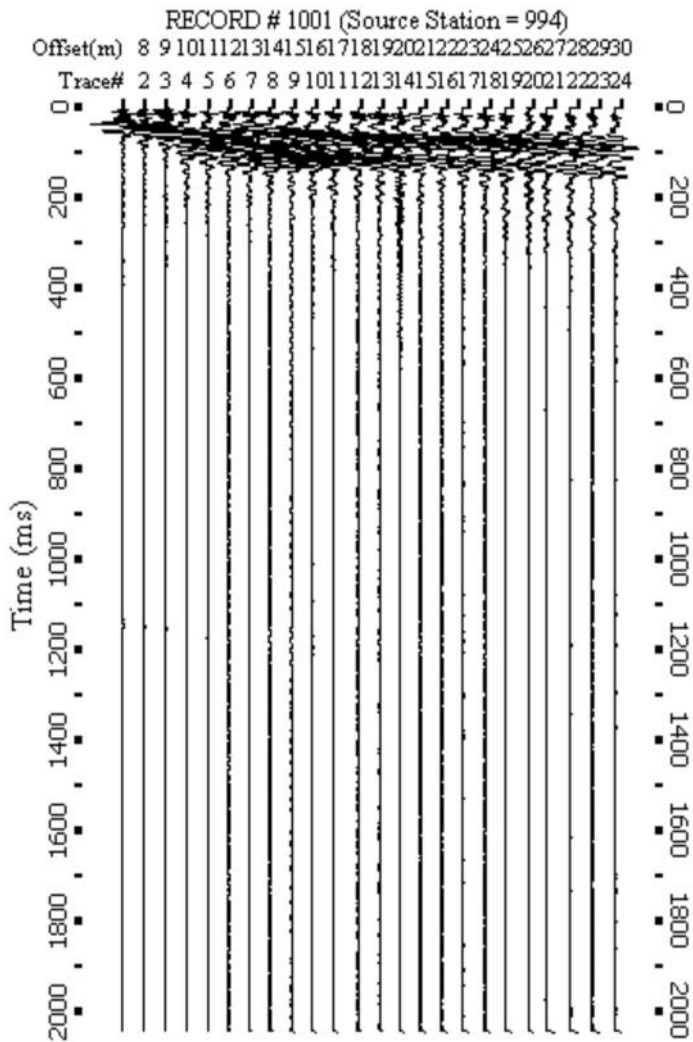
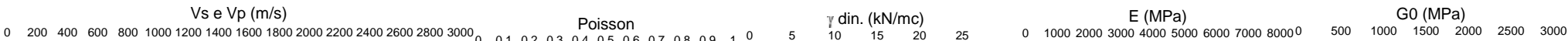
COMMITTENTE: Provincia di Reggio Emilia

CANTIERE: Istituto Cattaneo - Castelnovo ne' Monti (RE)

PROVA: MASW a 1 Shot    CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

DATA DI ESECUZIONE: 28/11/2018

CERTIFICATO N°: A1311GF635L2MASW



Sismogram    A1311GF635L2MASW

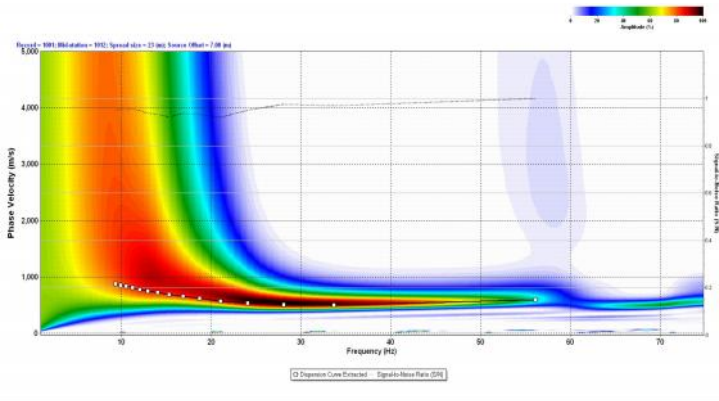
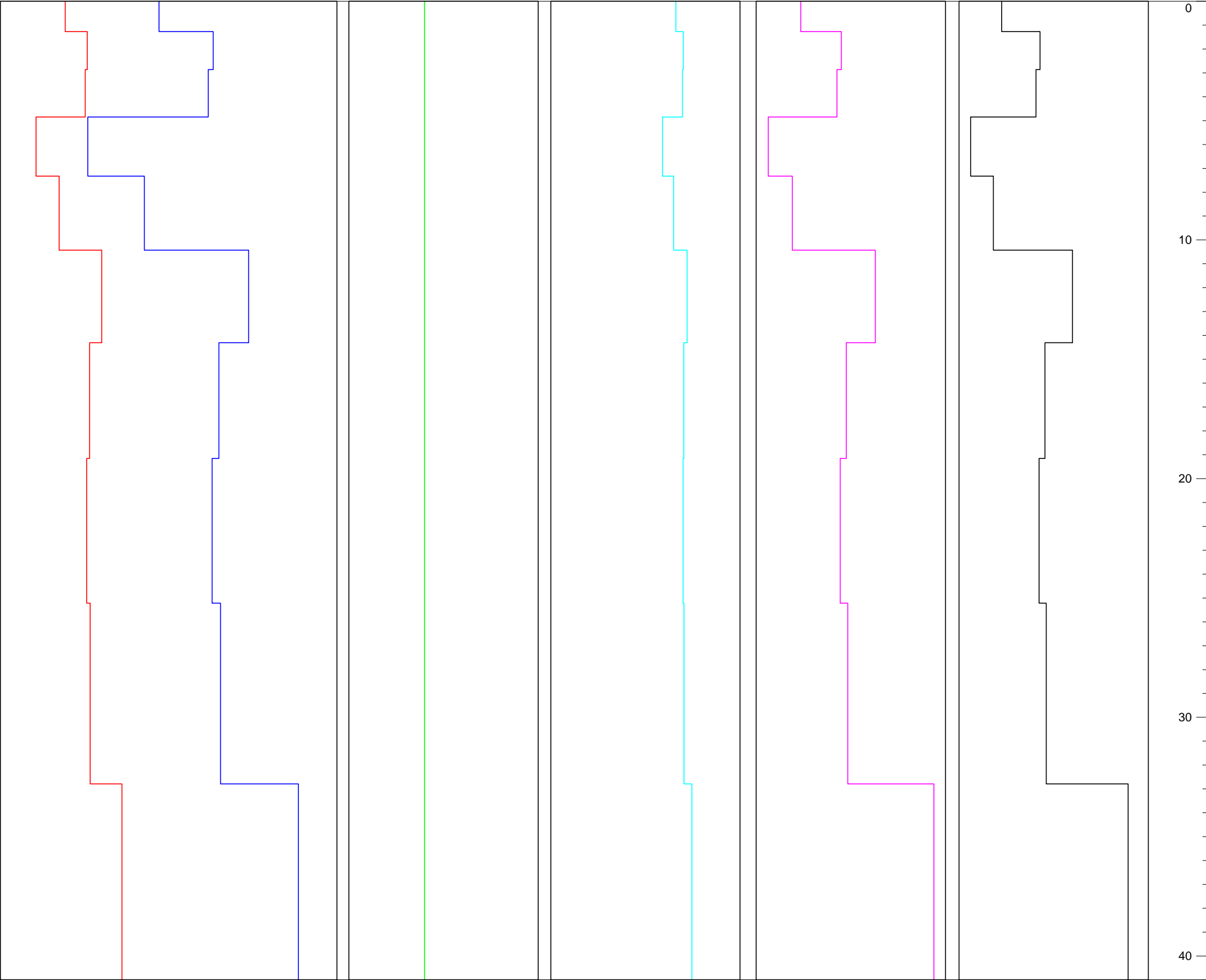


Immagine di dispersione A1311GF635L2MASW





COMMITTENTE: Provincia di Reggio Emilia

CANTIERE: Istituto Cattaneo - Castelnovo ne' Monti (RE)

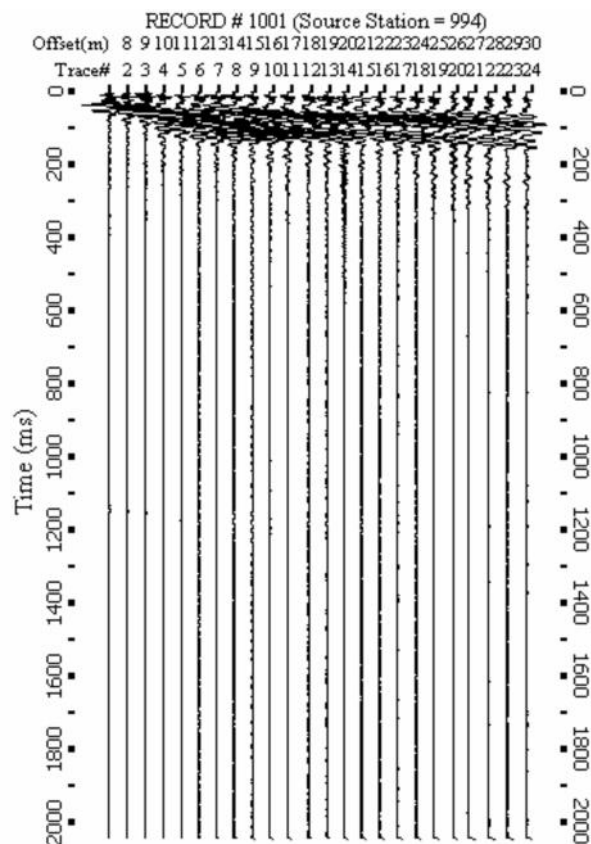
PROVA: MASW a 1 Shot

CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

DATA DI ESECUZIONE: 28/11/2018

CERTIFICATO N°: A1311GF635L2MASW

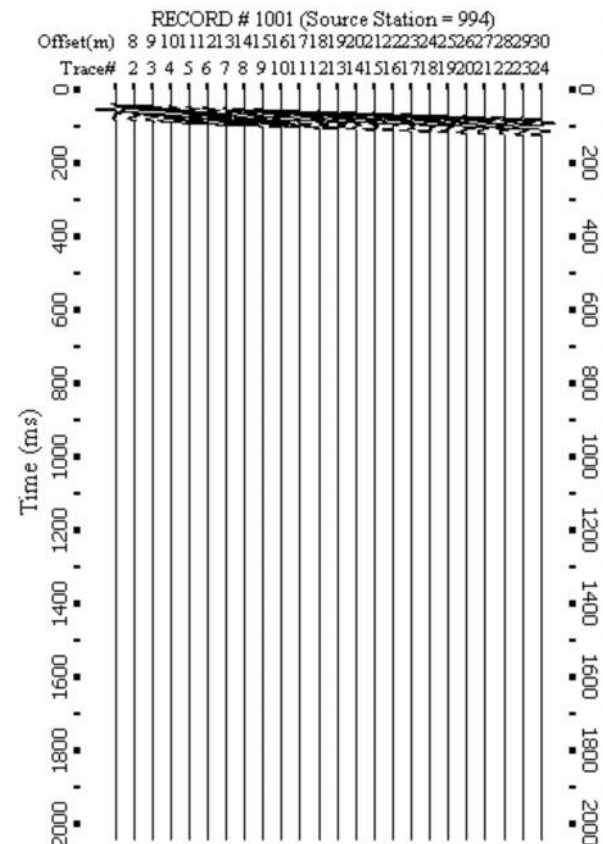
## RAPPORTO DI FILTRAZIONE



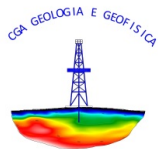
Sismogramma come acquisito

Mute Top (L:\2018\A 1311 - GF 635 - Provincia di Reggio Emilia  
Castelnovo ne Monti (RE)\A1311IntMASW2\Filtrazioni\F3\A1311Masw2.dat)  
Mute Velocity: 579 m/s  
Tapering (ms): 3.876  
Mute Start: Trace No.1 at time42.825 ms  
Mute End: Trace No.24 at time192.215 ms  
Mute Bottom (L:\2018\A 1311 - GF 635 - Provincia di Reggio Emilia  
Castelnovo ne Monti (RE)\A1311IntMASW2\Filtrazioni\F3\A1311Masw2.dat)  
Mute Velocity: 582 m/s  
Tapering (ms): 3.875  
Mute Start: Trace No.1 at time83.094 ms  
Mute End: Trace No.24 at time231.582 ms

Filtro utilizzato



Sismogramma filtrato



**Studio Tecnico Associato di 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. +39 051 6871113 FAX +39 051 6874328

C.F. e Partita IVA 04112290376

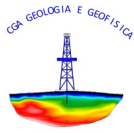
Email: cgastudio@cgastudio.eu

Committente:	Provincia di Reggio nell'Emilia
Prova:	L1 - Rifrazione tomografica 36 geofoni
Lavoro:	Ist. Cattaneo - Castenovo ne' Monti (RE)
Data:	28-nov-18
Certificato:	A1131GF635L1



## SOMMARIO

<b>SOMMARIO .....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>METODOLOGIA D'INDAGINE .....</b>	<b>4</b>
RIFRAZIONE SISMICA CON METODO TOMOGRAFICO.....	4
<i>Array di indagine e strumentazione utilizzata .....</i>	<i>4</i>
<b>ELABORAZIONE DATI .....</b>	<b>6</b>
RIFRAZIONE SISMICA CON METODO TOMOGRAFICO.....	6
<i>Picking dei segnali e determinazione del travel time .....</i>	<i>6</i>
<i>Elaborazione con metodologia TOMOGRAFICA .....</i>	<i>6</i>
<i>Costruzione del modello iniziale con i metodi Smooth inversion (Rayfract 3.32) e Plus Minus (Hagedoorn,1959) .....</i>	<i>7</i>
SMOOTH INVERSION(RAYFRACT 3.32).....	7
PLUS MINUS (HAGEDOORN,1959) .....	8
<i>Verifica del modello iniziale.....</i>	<i>8</i>
<i>WET inversion e costruzione del modello interpretato .....</i>	<i>9</i>
<b>PRESENTAZIONE DEI RISULTATI .....</b>	<b>10</b>
<b>APPENDICE 1 .....</b>	<b>11</b>



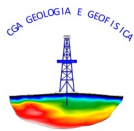
## INTRODUZIONE

Su incarico della PROVINCIA DI Reggio nell'Emilia è stato redatto questo rapporto di prova relativo all'esecuzione di una linea sismica a rifrazione tomografica in onde P (L1) presso l'Istituto Cattaneo, nel Comune di Castelnovo ne' Monti (RE).

Lo studio ha seguito il seguente sviluppo:

- a) esecuzione di una linea sismica a rifrazione tomografica in onde P;
- b) rilievo topografico con strumentazione GPS dei punti di scoppio e dei geofoni.

L'ubicazione delle prove è rappresentata in appendice 1.



## METODOLOGIA D'INDAGINE

### RIFRAZIONE SISMICA CON METODO TOMOGRAFICO

Tutte le procedure di cantiere, interpretazione e calcolo utilizzate in questo lavoro fanno riferimento alla norma ASTM D5777 - 00(2011)e1:

“Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation”.

#### ARRAY DI INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le indagini sismiche a rifrazione effettuate con modalità tomografica vengono eseguite sistemando sul terreno un numero di geofoni non inferiore a 12 ed eseguendo energizzazioni nel terreno ad intervalli di spazio regolari.

L'indagine sismica a rifrazione è stata effettuata utilizzando uno stendimento di 36 geofoni di frequenza pari a 10 Hz.

Di seguito un'illustrazione schematica degli array di indagine utilizzati:

Station n°	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	8.5	9.0	10.0	11.0	12.0	12.5	13.0	14.0	15.0	16.0	16.5	17.0	18.0	18.5	19.0	20.0	20.5	21.0	22.0	23.0	24.0	24.5	25.0	26.0	27.0	28.0	28.5	29.0	30.0	31.0	32.0	32.5	33.0	34.0	35.0	36.0	36.5
Shot/receiver	S1	G1	G2	G3	G4	S2	G5	G6	G7	G8	S3	G9	G10	G11	G12	S4	G13	G14	G15	G16	S5	G17	G18	S6	G19	G20	S7	G21	G22	G23	G24	S8	G25	G26	G27	G28	S9	G29	G30	G31	G32	S10	G33	G34	G35	G36	S11
Distanza da G1 (m)	2.00	4.00	8.00	12.00	16.00	18.00	20.00	24.00	28.00	32.00	34.00	36.00	40.00	44.00	48.00	50.00	52.00	56.00	60.00	64.00	66.00	68.00	72.00	74.00	76.00	80.00	82.00	84.00	88.00	92.00	96.00	98.00	100.00	104.00	108.00	112.00	114.00	116.00	120.00	124.00	128.00	130.00	132.00	136.00	140.00	144.00	146.00

Tabella n° 1 - Array dello stendimento L1

La distanza, che viene tenuta fissa, tra un geofono e l'altro definisce l'intera geometria dello stendimento, (nel caso specifico pari a 4 m.

Il posizionamento planoaltimetrico di tutti gli shots eseguiti e dei geofoni è stato effettuato attraverso l'esecuzione di un rilievo GPS con strumentazione Leica serie 1200 RX 1250.

I treni di onde P sono generati tramite l'uso di un cannoncino sismico in grado di fare esplodere cartucce per uso tecnico cal. 8 Kiln.

Le caratteristiche del sismografo e dei geofoni utilizzati sono di seguito sinteticamente riassunte:



#### SISMOGRAFO M.A.E. X610-S

Convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta
Range dinamico: 144 dB (teorico)
Numero di campioni per evento: impostabile da 1024 a 21800 con incrementi di 512
Interfacce disponibili: LAN, USB, VGA
Auto-calibrazione interna dei convertitori prima di ogni acquisizione
Intervalli di campionamento: 1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms
Archiviazione dati: in memoria FLASH interna (fino a 3GB disponibili) e/o su USB pen-drive rimovibile
Alimentazione: 12V DC con assorbimento medio di 1.5A
Display: LCD 12.2" con touch-screen integrato optical bonding
Dimensioni e peso: 46x32,7x17 cm, 8 Kg (cavi e sensori esclusi)
Condizioni ambientali: -20/80°C

#### GEOFONI GEOSPACE GS-11D

Natural Frequency	4,5 = 0,75 Hz
Coil Resistance @ 25°C = 5%	380 Ohms
Intrinsic Voltage Sensitivity with 380 Ohm Coil = 10%	0,32 V/cm/s
Normalized Transduction Constant (V.in/sec)	0,42 (sq.root of Rc)
Open Circuit Damping	0,34 = 20%
Damping Constant with 380 Ohm Coil	762
Optional Coil Resistances = 5%	56,16 Ohms
Moving Mass = 5%	23,6 g
Typical Case to Coil Motion P-P	0,18 cm
Harmonic Distortion with Driving Velocity of 0.7 in/sec (1.8 cm/sec) P-P	N/S

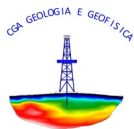
#### Dimensioni

Height (less terminals*)	3,35 cm
Diameter	3,18 cm
Weight	111 g

\* terminal height is 0,3429 cm

Tabella n° 2 - Tabella delle caratteristiche del sismografo e dei geofoni utilizzati.





## **ELABORAZIONE DATI**

### **RIFRAZIONE SISMICA CON METODO TOMOGRAFICO**

#### ***PICKING DEI SEGNALE E DETERMINAZIONE DEL TRAVEL TIME***

Al fine di procedere all'interpretazione utilizzando il software Rayfract 3.32 è necessario determinare il travelttime di ogni raggio d'onda, tale operazione viene fatta tramite la determinazione dei tempi dei primi arrivi delle onde rifratte (picking) e l'individuazione geometrica dei percorsi seguiti dai raggi stessi.

Per quanto concerne le onde P il picking è stato effettuato utilizzando il modulo apposito contenuto nel pacchetto software Rayfract 3.32.

#### ***ELABORAZIONE CON METODOLOGIA TOMOGRAFICA***

L'elaborazione tomografica si basa sul concetto che la propagazione di un'onda reale è influenzata non solo dalle variazioni delle proprietà del mezzo lungo il percorso del raggio ma anche dalle strutture che si trovano nella vicinanze (Zona di Fresnel).

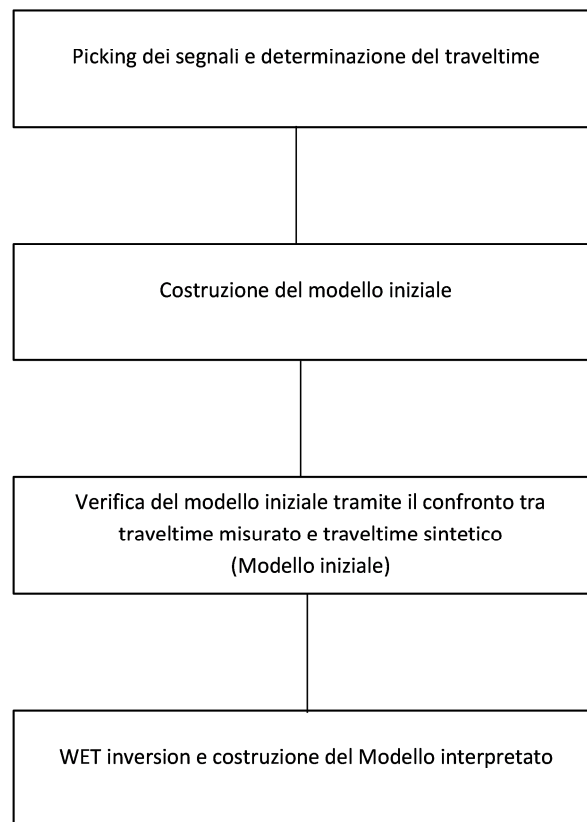
L'area di influenza sulla propagazione del raggio d'onda a determinata banda di frequenza è definita e controllata dalla frequenza dominante del segnale.

Il metodo più realistico di rappresentare la propagazione del raggio d'onda è quello di considerare il percorso del raggio non costituito da una linea ma come un fascio di spessore ben definito.

Tale metodo si basa sull'utilizzo del volume di Fresnel: il volume di Fresnel è l'insieme di tutti i raggi con un ritardo sul più breve travelttime minore di metà del periodo d'onda.

In pratica i raggi contenuti nel volume di Fresnel si sommano in modo costruttivo per formare il primo arrivo dei treni d'onda. L'inversione dei volumi di Fresnel definiti tramite la determinazione dei travelttime rappresenta l'immagine tomografica.

In estrema sintesi la rifrazione tomografica si basa sul seguente diagramma di flusso:



L'interpretazione è stata eseguita utilizzando il software Rayfract 3.32.

Partendo dai tempi di picking, ottenuti con la metodologia precedentemente descritta, si procede alla determinazione del modello iniziale.

### ***COSTRUZIONE DEL MODELLO INIZIALE CON I METODI SMOOTH INVERSION (RAYFRACT 3.32) E PLUS MINUS (HAGEDOORN, 1959)***

#### **SMOOTH INVERSION(RAYFRACT 3.32)**

La velocità di propagazione delle onde P all'interno dei rifrattori è determinata utilizzando l'algoritmo Smooth Inversion che crea automaticamente un modello monodimensionale basato sul codice di calcolo  $\Delta$ , t, V.

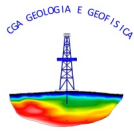
Il codice di calcolo  $\Delta$ , t, V necessita dei seguenti dati di ingresso:

i dati sismografici completati dalla geometria di acquisizione;

i tempi di picking (tempi dei primi arrivi).

Nel calcolo l'algoritmo prende in considerazione le seguenti grandezze:

$\Delta$  = offset verticale;



$t$  = travel time;

$V$  = velocità apparente.

Tali grandezze permettono di utilizzare le seguenti relazioni matematiche:

$$\Delta(V) = \frac{2}{a} \sqrt{V^2 - v_1^2}$$

$$t(V) = \frac{2}{a} \arccos\left(\frac{V}{v_1}\right)$$

Dove :

$$a = \frac{d_v}{d_z} \quad (\text{gradiente di velocità});$$

$v_1$  = velocità del primo strato.

Noti i valori di cui sopra è possibile determinare la profondità del primo strato utilizzando la seguente relazione:

$$Z(V) = \frac{\Delta}{2} \sqrt{\frac{V - v_1}{V + v_1}}$$

I calcoli vengono poi eseguiti per tutti i livelli successivi omogenei per velocità.

Sulla base del modello iniziale, il codice di calcolo determina i tempi di picking sintetici, cioè relativi ad un sottosuolo sismico come quello rappresentato nel modello iniziale.

### **PLUS MINUS (HAGEDOORN, 1959)**

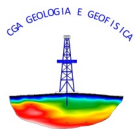
Noti i valori di velocità è possibile definire la profondità dei rifrattori al di sotto di ogni geofono, il metodo utilizzato si basa sulla determinazione dei “tempi intercetti” per le dromocrone delle onde rifratte e dei “tempi di ritardo” per ogni geofono dello stendimento.

L'applicazione del calcolo permette la definizione della morfologia dei rifrattori al di sotto di ogni geofono, ricostruendo quindi la geometria dell'intera sezione indagata.

### **VERIFICA DEL MODELLO INIZIALE**

La verifica del modello iniziale viene effettuata sia confrontando i tempi di picking osservati con quelli sintetici sia i travel time di campagna con quelli determinati sulla base del Modello Iniziale.

Il Modello iniziale viene accettato quando l'errore (RMS) è inferiore al 10%.



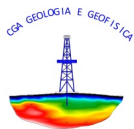
### **WET INVERSION E COSTRUZIONE DEL MODELLO INTERPRETATO**

La realizzazione della sezione tomografica, partendo dal modello iniziale precedentemente determinato, viene effettuata utilizzando il metodo WET tomography (Wavepath Eikonal Traveltime tomography).

Tale metodo di calcolo tomografico utilizza l'algoritmo di Eikonal e considera il fascio di onde determinato dal volume di Fresnel (Fat rays).

Dopo la determinazione del travelttime effettuata con il picking sui sismogrammi ( $t_{rs}^{obs}$ ) i procedimenti di calcolo possono essere così sintetizzati:

- costruzione di un modello iniziale della slowness ( $1/v$ ), e soluzione dell'equazione di Eikonal tramite il metodo delle differenze finite ottenendo  $t_{xs}$  e  $t_{xr}$  (Volume di Fresnel), calcolo del travelttime residuo  $\Delta t = t_{rs} - t_{rs}^{obs}$ ;
- sommatoria delle sorgenti di sparo e dei ricevitori così da generare un sistema virtuale a sorgenti e ricevitori multipli;
- aggiornare tramite iterazioni il modello slowness sino a raggiungere la convergenza.



## PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

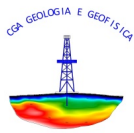
L'immagine tomografica evidenzia i seguenti aspetti:

- presenza di una zona superficiale (colore blu), caratterizzata da bassi valori di  $V_p$  (minori di 1000 m/s) con spessore di 2-3 m;
- presenza di un substrato litico inalterato (bedrock sismico) individuabile per velocità di propagazione delle onde P maggiori di 2500 m/s (colore rosso – giallo rosso) a profondità di circa 25/30 m del piano di campagna;
- presenza di una zona intermedia con  $V_p$  compresa fra 1000 m/s e 2000 m/s (colori dal giallo all'arancione), costituita da formazione detensionata.

San Giovanni in Persiceto, 7.12.2018

I Geologi :





## **APPENDICE 1**

Figure ed elaborati grafici





Tipo di prova: Tomografia sismica in onde P a 36 canali L1    Committente: Provincia di Reggio Emilia    Località: Ist. Cattaneo - Castelnovo ne' Monti (RE)    Data: 29 novembre 2018    D.L.: GEOLOG

## UBICAZIONE LINEE SISMICHE







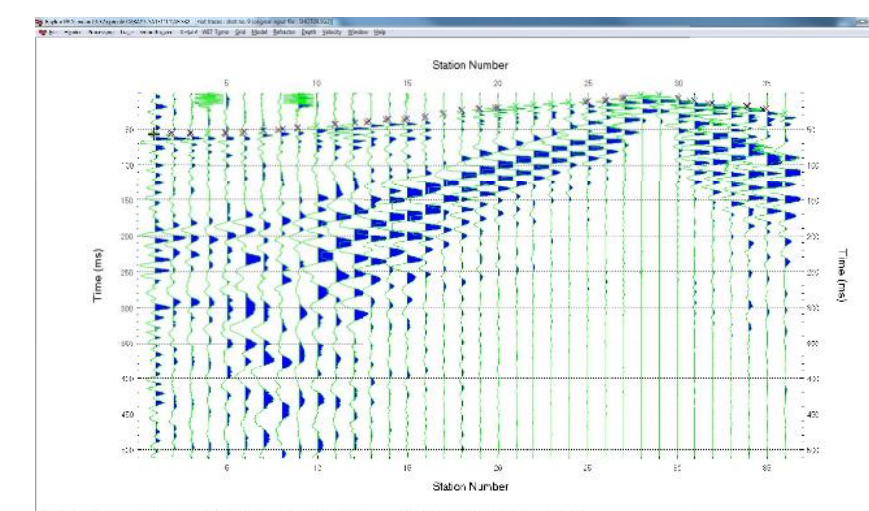
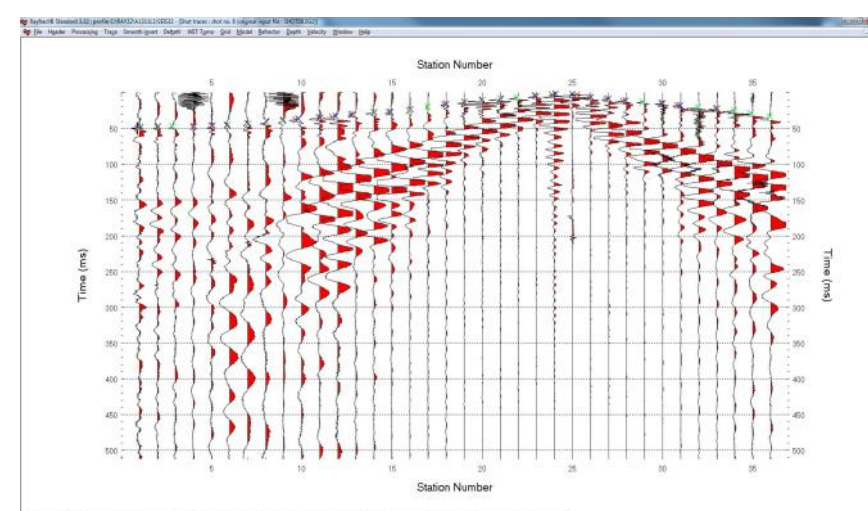
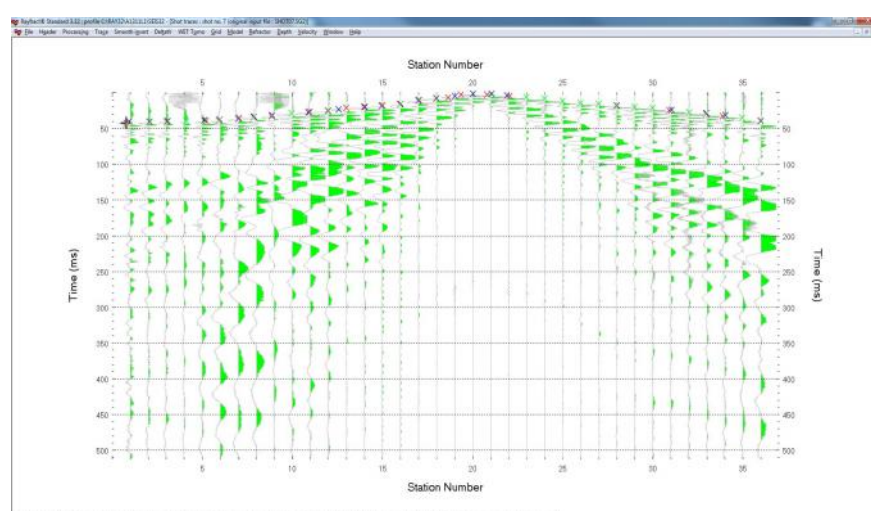
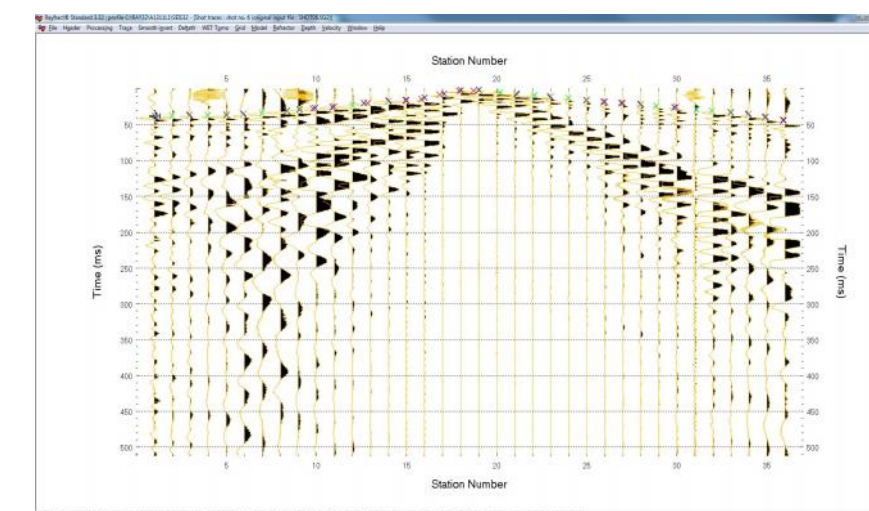
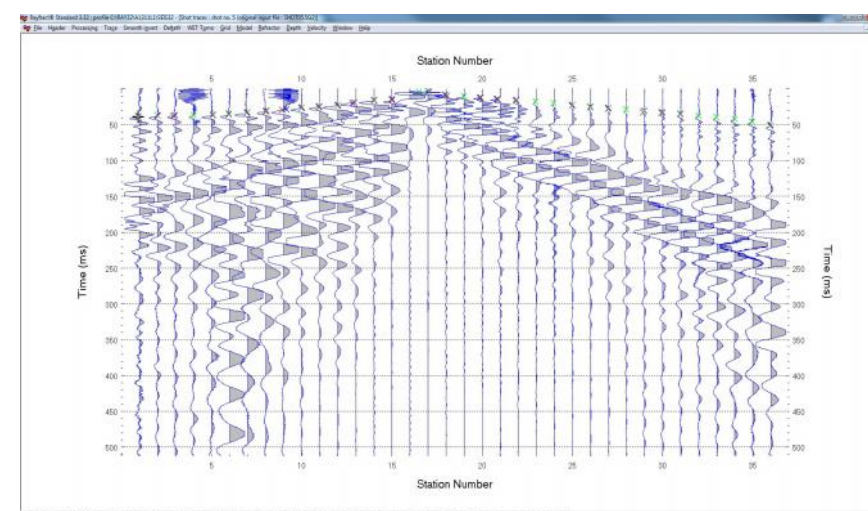
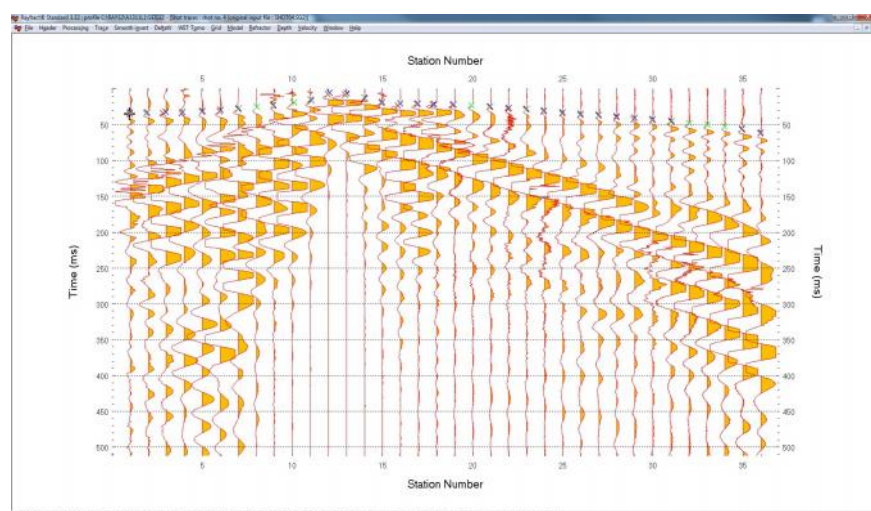
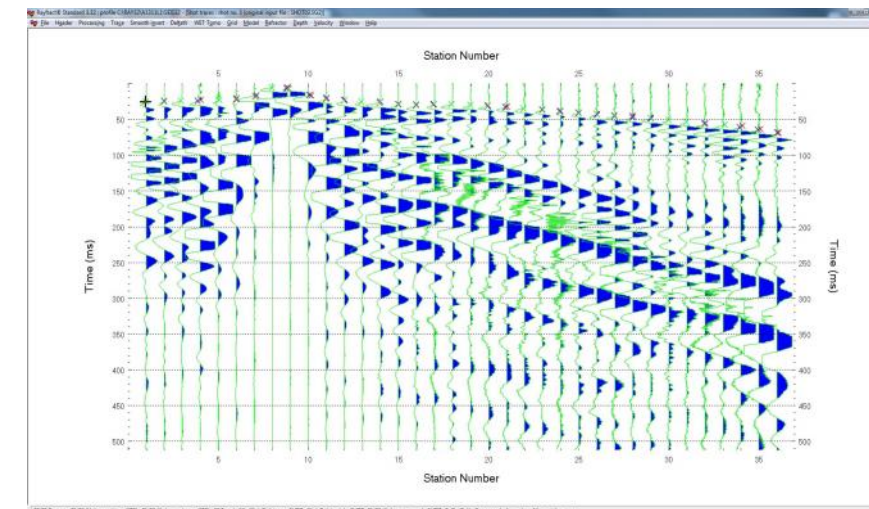
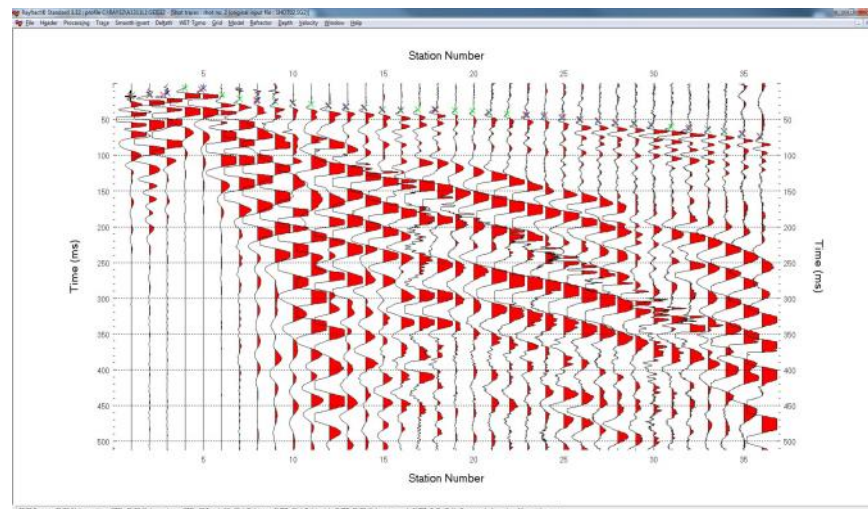
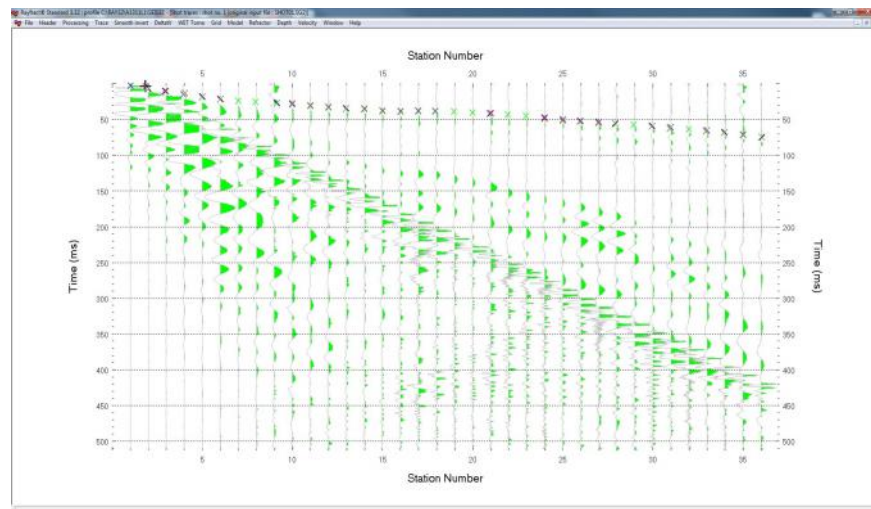
Tipo di prova: Tomografia sismica in onde P a 36 canali L1

Committente: Provincia di Reggio Emilia Località: Ist. Cattaneo - Castelnovo ne' Monti (RE)

Data: 29 novembre 2018

D.L.: GEOLOG

### SISMOGRAMMI LINEA SISMICA L1 da 1 a 9







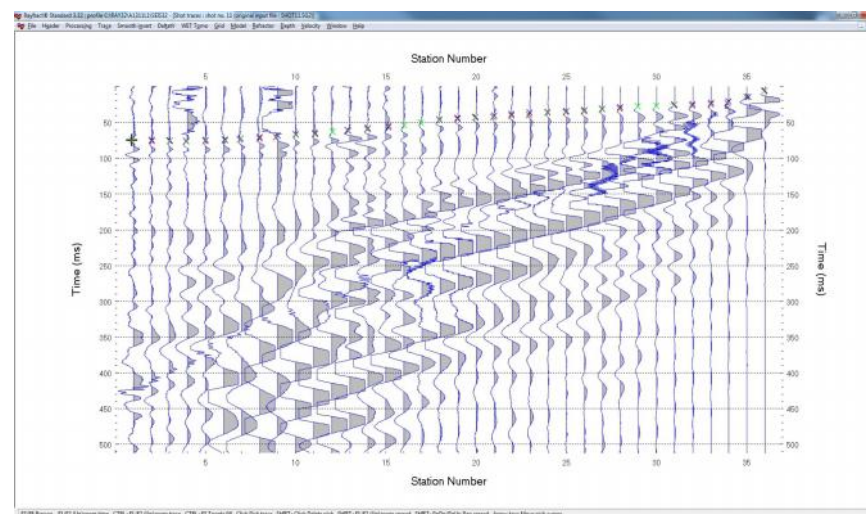
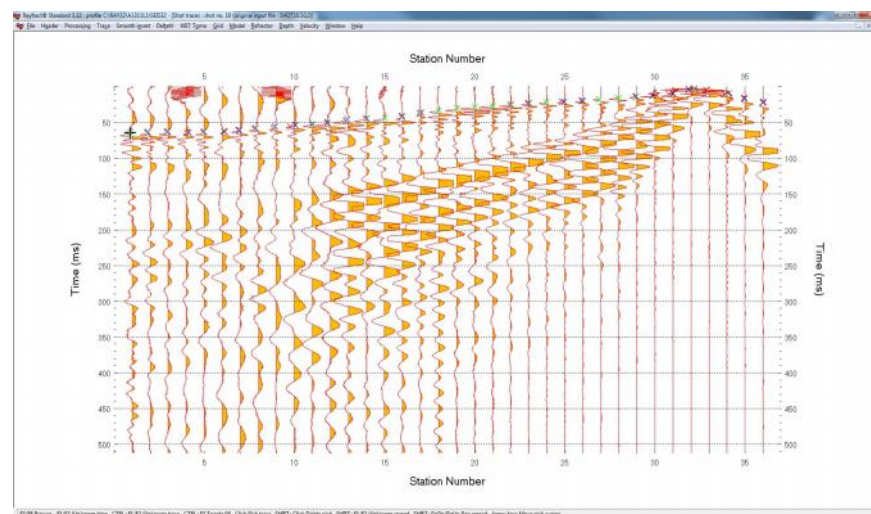
Tipo di prova: Tomografia sismica in onde P a 36 canali L1

Committente: Provincia di Reggio Emilia Località: Ist. Cattaneo - Castelnovo ne' Monti (RE)

Data:29 novembre 2018

D.L.:GEOLOG

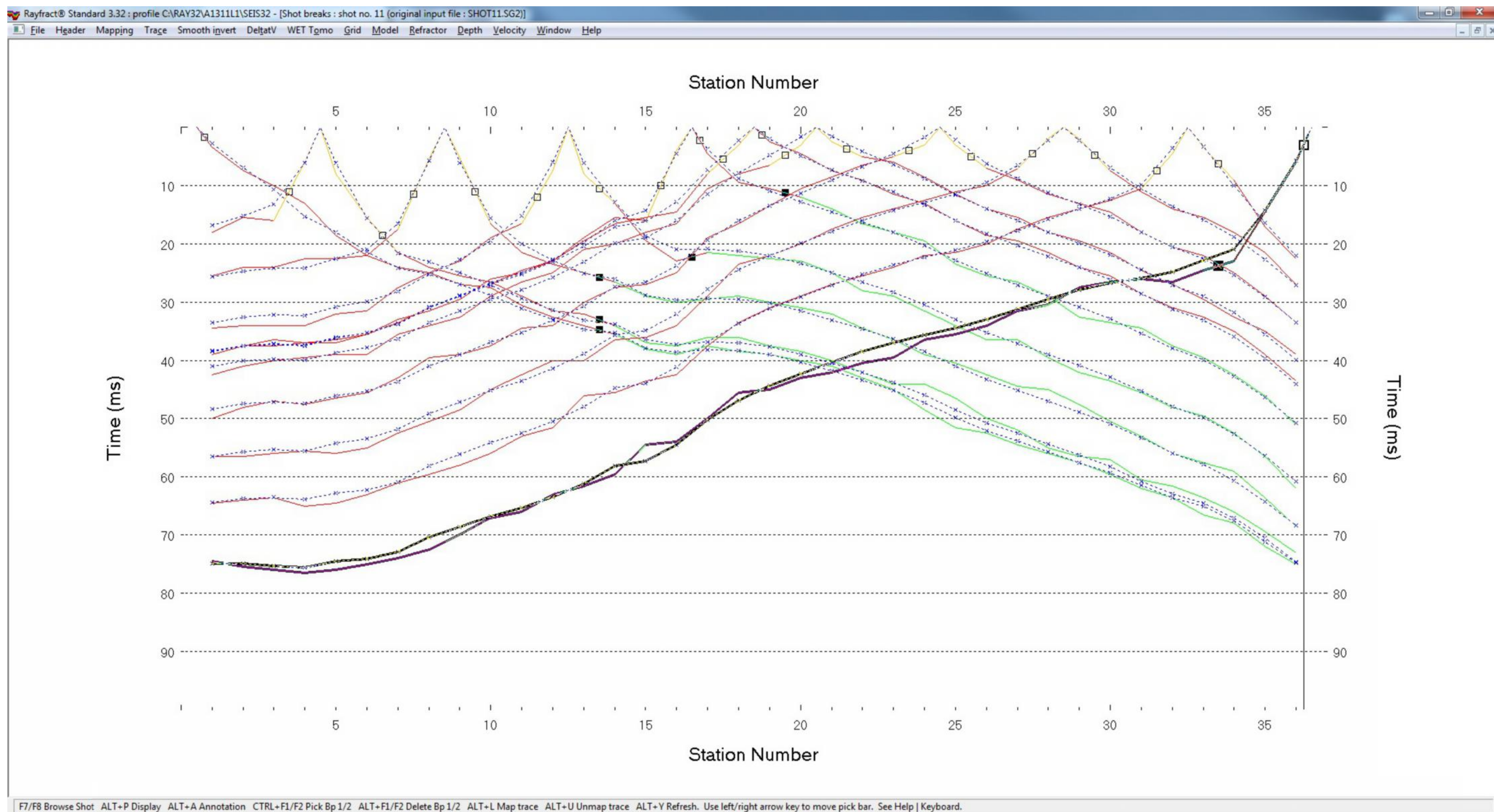
### SISMOGRAMMI LINEA SISMICA L1 da 10 a 11





Tipo di prova: Tomografia sismica in onde P a 36 canali L1 Committente: Provincia di Reggio Emilia Località: Ist. Cattaneo - Castelnovo ne' Monti (RE) Data: 29 novembre 2018 D.L.: GEOLOG

## DROMOCRONE LINEA SISMICA L1







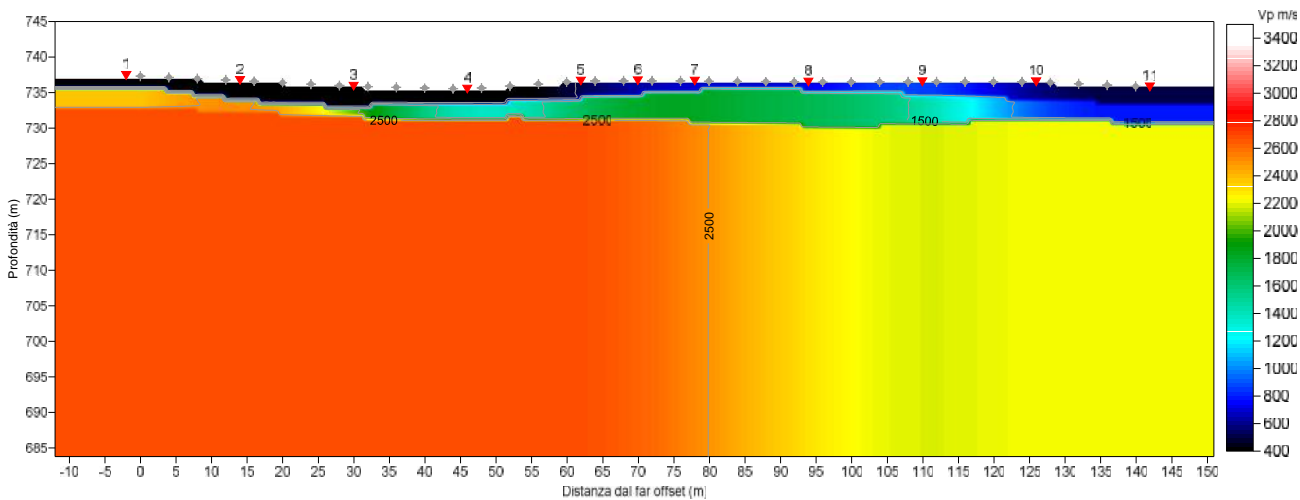
Tipo di prova: Tomografia sismica in onde P a 36 canali L1

Committente: Provincia di Reggio Emilia Località: Ist. Cattaneo - Castelnuovo ne' Monti (RE)

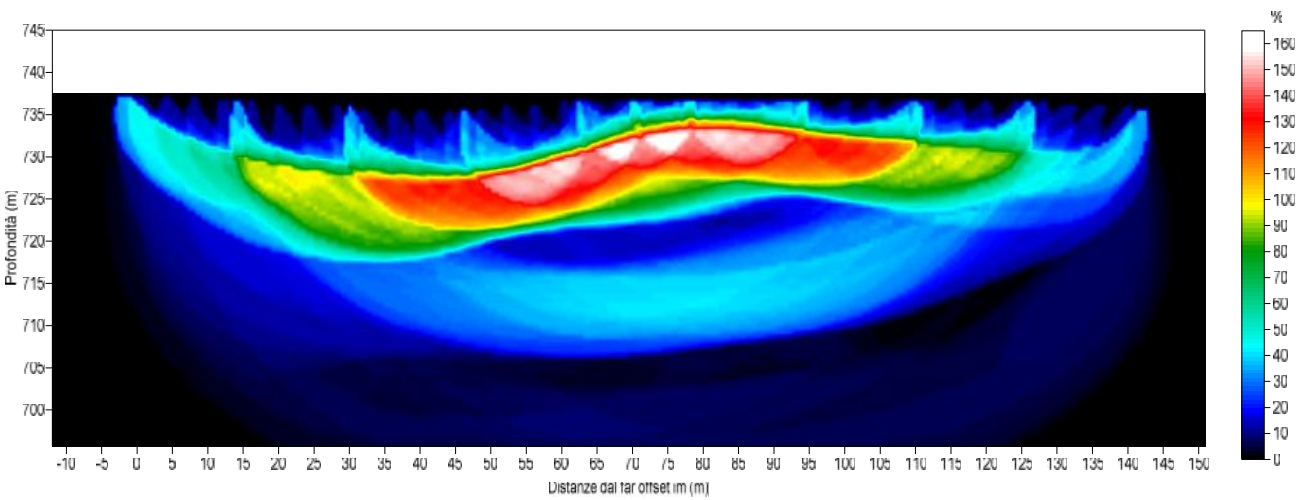
Data: 29 novembre 2018

D.L.:GEOLOG

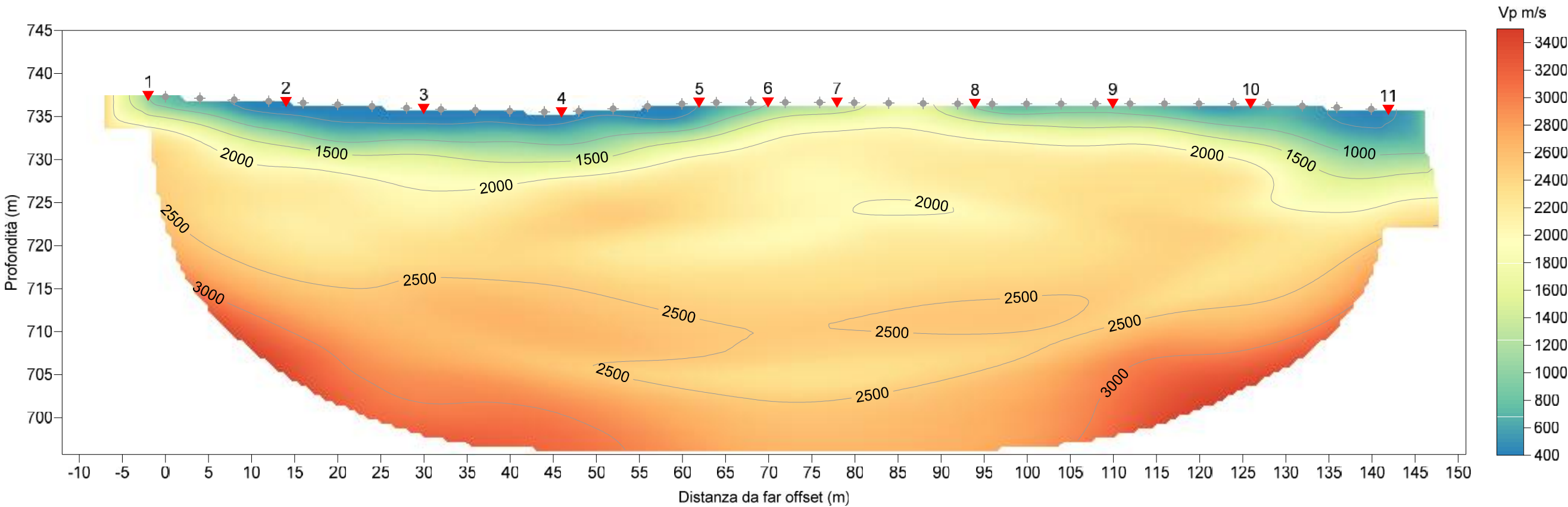
RESTITUZIONE TOMOGRAFICA LINEA SISMICA L1



A1311L1 - Modello iniziale - Metodo di calcolo "Plus minus" - Version 3.32



A1311L1 - Zone di Fresnel dei raggi rifratti - Percentuale di informazione - 100 WET iterations, RMS error 1.1 %, Version 3.32



A1311L1 - Sezione Tomografica - 100 WET iterations, RMS error 1.1 %, Version 3.32



## **ALLEGATO 3**

### **Certificati di laboratorio**



elletipi s.r.l.

Sede operativa ed amm.va: Via Annibale Zucchini, 89 - 44100 FERRARA

tel. 0532/56771; fax 0532/56119 e-mail: elletipi@libero.it sito: www.elletipi.it

P.IVA e Codice Fiscale n. 00174600387

Azienda con Sistemi di Gestione certificati da Certiquality  
Qualità Ambiente Sicurezza  
UNI EN ISO 9001:2008  
UNI EN ISO 14001:2004  
UNI EN ISO 18001:2007

② Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 8572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7518/STC

## SCHEDA GENERALE DEL CAMPIONE

COMMITTENTE: **Provincia di Reggio Emilia – Servizio Infrastrutture**

CANTIERE: **Istituto superiore Cattaneo – Dall'Aglio**

CAMPIONE: **S1SH1 m 2.70 - 3.20**

COMMESSA: **18593/18**

VERBALE ACC.: **812/18**

DATA CONSEGNA: **03/12/18**

Il campione è stato conservato in vasca umida termostatica

bilancia cod. 480 - stufa 557 - picnometro 545

alto 2.70	P.P. kPa	T.V. kPa	LUNGHEZZA (cm): 46 GRADO DI QUALITÀ: AGI Q5 EC 7-3 Q1
	175	72	DESCRIZIONE: Limo con argilla da grigio a grigio marrone
			W naturale (%) 17.4
			$\gamma$ naturale (Mg/m <sup>3</sup> ) 2.13
			$\gamma$ secco (Mg/m <sup>3</sup> ) 1.81
			$\gamma$ immerso (Mg/m <sup>3</sup> ) 1.14
			porosità (%) 33
			indice dei vuoti 0.49
			grado di saturazione (%) 96
			massa specifica (Mg/m <sup>3</sup> ) (stimato) 2.700
			PROVE ESEGUITE
	>600	>240	Umidità Naturale SI Trassiale UU -
			Limiti Atterberg SI Trassiale CIU -
			Gran. Setacciatura SI Edometria -
			Gran. Sedimentazione SI Taglio Diretto SI
			Peso di Volume - Espansione L.L. -
			Peso Specifico - Trassiale Cicl. + C.M. -
			Analisi Chimica - Colonna Risonante -
			Taglio Torsionale Cicl. -
			NOTE: -
3.20 basso			

Io Sperimentatore:  
dott. Roberto Bellanova

Il Direttore del Laboratorio terre:  
dott. geol. Massimo Romagnoli

## LIMITI DI ATTERBERG (norma UNI CEN ISO/TS 17892-12)

COMMITTENTE: **Provincia di Reggio Emilia – Servizio Infrastrutture**

CANTIERE: **Istituto superiore Cattaneo – Dall'Aglio**

CAMPIONE: **S1SH1 m 2.70 - 3.20**

COMMESSA: 18593/18 DURATA PROVE: 04 - 18/12/18

VERBALE ACC.: 812/18 DATA CONSEGNA: 03/12/18

GEO - CERT. n°: G1814026 rev.00 del: 21/12/18

il campione è stato conservato in vasca umida termostatica

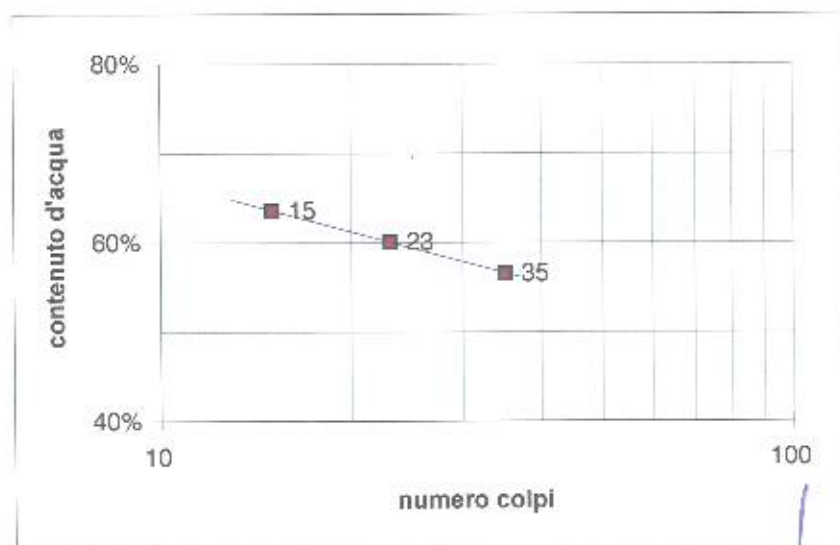
### ASPETTO MACROSCOPICO DEL CAMPIONE:

**Limo con argilla da grigio a grigio marrone**

codice cucchiaio: 344; codice bilancia: 480.

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		UMIDITA'
	1	2	3	1	2	
impasto						
N° colpi	35	23	15			
massa umida+ tara (g)	20.33	22.98	21.35	13.38	12.75	438.12
massa secca+ tara (g)	13.76	15.17	13.88	10.76	10.32	416.64
acqua contenuta (g)	6.57	7.81	7.47	2.62	2.43	21.48
tara (g)	2.14	2.17	2.13	2.13	2.24	292.89
peso secco (g)	11.62	13.00	11.75	8.63	8.08	123.75
contenuto d'acqua	56.5%	60.1%	63.6%	30.4%	30.1%	17.4%

Umidità Naturale	W <sub>n</sub> =	17%
Limite Liquido	LL =	59%
Limite Plastico	LP =	30%
Indice Plastico	IP =	29%



lo Sperimentatore:  
dott. Roberto Bellanova

Il Direttore del Laboratorio terre:  
dott. geol. Massimo Romagnoli



## ANALISI GRANULOMETRICA

(per setacciatura e sedimentazione) norma A.S.T.M. D 422

COMMITTENTE: Provincia di Reggio Emilia – Servizio Infrastrutture

CANTIERE: Istituto superiore Cattaneo – Dall'Aglio

CAMPIONE: S1SH1 m 2.70 - 3.20

COMMESSA: 18593/18 DURATA PROVE: 04 - 18/12/18

VERBALE ACC.: 812/18 DATA CONSEGNA: 03/12/18

GEO - CERT. n° G1814027 rev.00 del: 21/12/18

il campione è stato conservato in vasca umida termostatica. Codici strumentazione: bilancia 480, stufa 567, picnometro 151H, densimetro 346, mescolatore.

### ASPETTO MACROSCOPICO DEL CAMPIONE:

Limo con argilla da grigio a grigio marrone

codici	vaglio	trattenuto	trattenuto	cum. tratt.	passante
	(mm)	(g)	(%)	(%)	(%)
571	setaccio	63	0.00	0.00	100.00
572	setaccio	20	0.00	0.00	100.00
573	setaccio	6.3	0.00	0.00	100.00
290	setaccio	4.75	0.00	0.00	100.00
291	setaccio	2.0	0.08	0.06	99.94
292	setaccio	0.850	0.11	0.09	99.85
293	setaccio	0.425	0.11	0.24	99.76
282	setaccio	0.250	0.32	0.50	99.50
283	setaccio	0.125	0.35	0.78	99.22
286	setaccio	0.075	0.32	1.04	98.96
-	calcolato	0.0525	5.34	5.36	94.64
-	calcolato	0.0374	1.94	6.93	93.07
-	calcolato	0.0266	1.94	8.50	91.50
-	calcolato	0.0171	3.88	11.63	88.37
-	calcolato	0.0122	3.88	14.77	85.23
-	calcolato	0.0089	9.70	22.61	77.39
-	calcolato	0.0066	11.64	32.02	67.98
-	calcolato	0.0048	13.58	42.99	57.01
-	calcolato	0.0029	15.52	55.54	44.46
-	calcolato	0.0012	21.34	72.78	27.22
-	calcolato	0.0009	5.82	77.49	22.51
	fondo	27.86	22.51	100.00	0.00
TOTALE		123.75		φ max (mm) = 2.5	

Passante effettivo setaccio  
0.075 (g) in areometro 50.02

t° C	Tempo (s)	Lettura
21	30	33.5
21	60	33.0
21	120	32.5
21	300	31.5
21	600	30.5
21	1200	28.0
21	2400	25.0
21	4800	21.5
21	14400	17.5
21	86400	12.0
21	172800	10.5

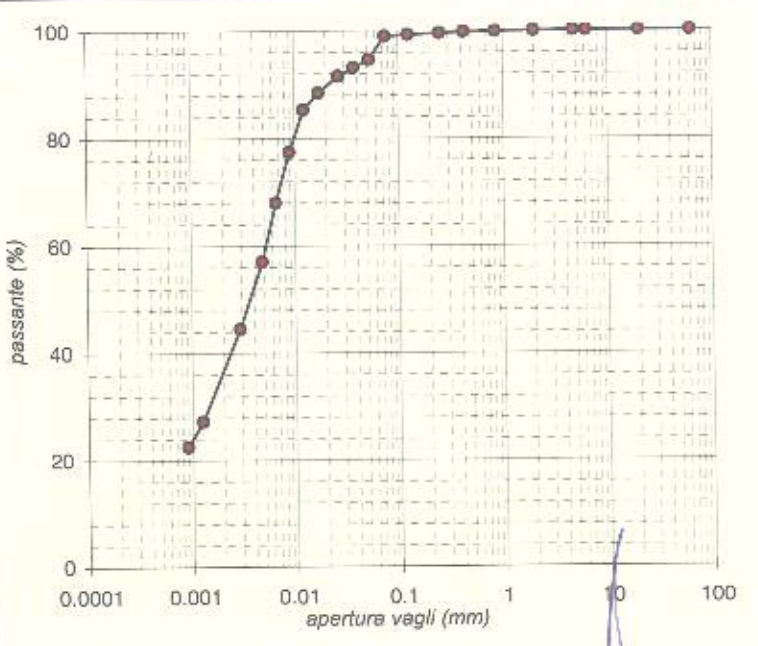
#### Rapporti granulometrici

	USCS	UNI
GHIAIA	> 4.75 mm	> 2.00 mm
	0.0%	0.1%
SABBIA	> 0.075 mm	> 0.063 mm
	1.0%	3.1%
LIMO	> 2 μ	> 2 μ
	62.1%	60.0%
ARGILLA	< 2 μ	< 2 μ
	36.9%	36.9%

Soluzione disciolta preparata al momento

Io Sperimentatore:  
dott. Roberto Bellanova

Il Direttore del Laboratorio:  
dott. geol. Massimo Romagnoli





elletipi s.r.l.

Sede legale ed operativa: Via Annibale Zucchini, 69 - 44100 FERRARA  
tel. 0532/56771; fax 0532/56119 e-mail: info@elletipi.it sito: www.elletipi.it  
P IVA e Codice Fiscale n. 00174600387

Azienda con Sistemi di Gestione certificati da Certquality  
Qualità Ambiente Sicurezza  
UNI EN ISO 9001:2008  
UNI EN ISO 14001:2004  
OS OHSAS 18001:2007

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO (norma UNI CEN ISO 17892-10)

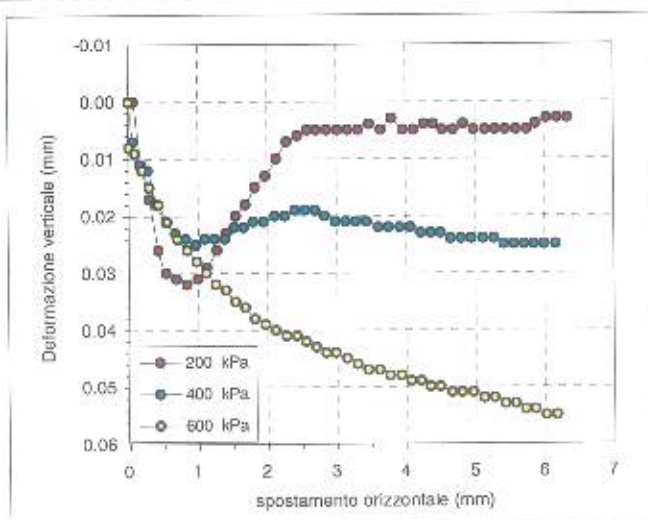
COMMITTENTE: Provincia di Reggio Emilia – Servizio Infrastrutture  
CANTIERE: Istituto superiore Cattaneo – Dall'Aglio  
CAMPIONE: S1SH1 m 2.70 - 3.20  
COMMESSA: 18593/18 DURATA PROVE: 04 - 18/12/18  
VERBALE ACC.: 812/18 DATA CONSEGNA: 03/12/18  
GEO - CERT. n°: G1814028 rev.00 del: 21/12/18

Il campione è stato conservato in vasca umidostatica

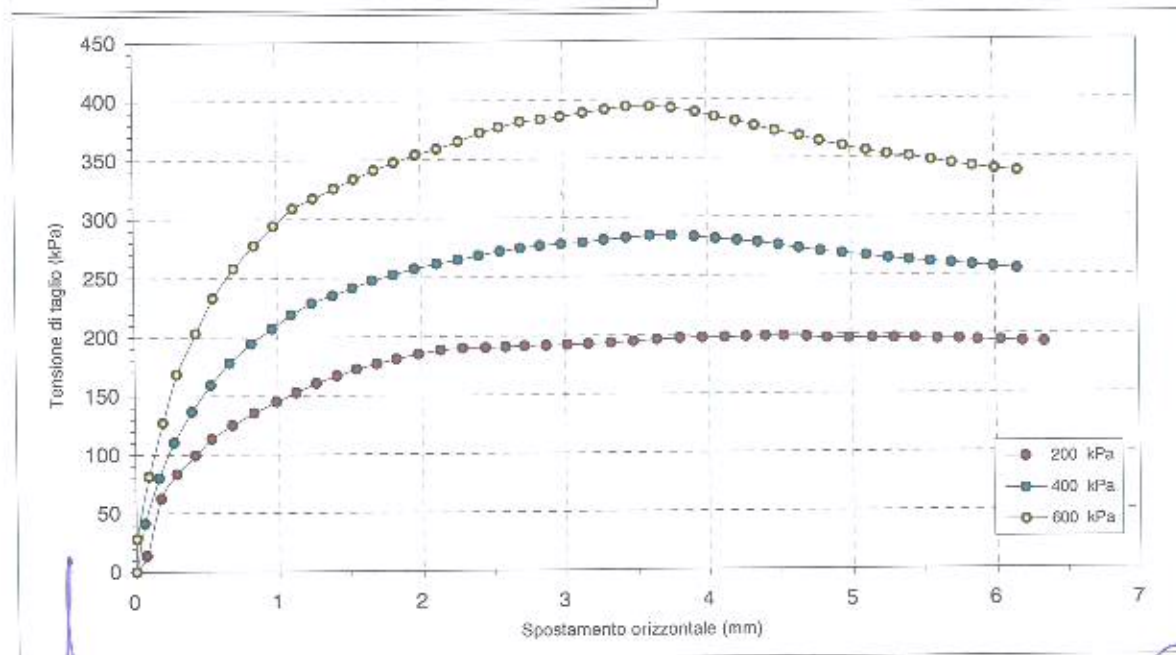
CODICI STRUMENTAZIONE: calibro 12; bilancia 480; trasduttori LVDT 540, 540, 543, 544; SG 539, 542.

Macchina: CONTROLS T206 Electronic/T207 Digital  
Prova: CONSOLIDATA DRENATA  
Dimensioni provino:  $\phi \times h = 60 \times 20$  mm  
Velocità prova: 0,004 mm/min

NATURA DEL CAMPIONE: Limo con argilla grigio marrone



	PROVINO 1	PROVINO 2	PROVINO 3
$\sigma_v$ (kPa)	200	400	600
W ini (%)	17.4	17.4	17.4
$\gamma$ ini (Mg/m <sup>3</sup> )	2.14	2.09	2.11
$\gamma_d$ ini (Mg/m <sup>3</sup> )	1.83	1.78	1.80
S ini (%)	98	91	93
W fin (%)	17.3	17.6	15.5
$\gamma$ fin (Mg/m <sup>3</sup> )	2.16	2.14	2.19
$\gamma_d$ fin (Mg/m <sup>3</sup> )	1.84	1.82	1.90
S fin (%)	100	98	100
G (Mg/m <sup>3</sup> )	2.700		
H line cons (mm)	19.904	19.673	19.351



Il Direttore del Laboratorio terre:  
dott.geol. Massimo Romagnoli

lo Sperimentatore:  
dott. Roberto Bellanova





**elletipi s.r.l.**

Sede legale ed operativa: Via Annibale Zucchini, 69 - 44100 FERRARA  
tel. 0532/56771; fax 0532/56119 e-mail: info@elletipi.it sito: www.elletipi.it  
P IVA e Codice Fiscale n. 00174600387

Azienda con Sistemi di Gestione certificati da Certiprofit  
Qualità Ambiente Sicurezza  
UNI EN ISO 9001:2008  
UNI EN ISO 14001:2004  
BS OHSAS 18001:2007

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 5672 del 07/10/2014, art. 53 del D.P.R. 360/2001. Circolari Ministeriali 7618/STC

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO (norma UNI CEN ISO 17892-10)

COMMITTENTE:	Provincia di Reggio Emilia - Servizio Infrastrutture		
CANTIERE:	Istituto superiore Cattaneo - Dall'Aglio		
CAMPIONE:	S1SH1 m 2.70 - 3.20		
COMMESSA:	18593/18	DURATA PROVE:	04 - 18/12/18
VERBALE ACC.:	812/18	DATA CONSEGNA:	03/12/18
GEO - CERT. n°:	G61814028	rev.00 del:	21/12/18

PROVINO 1 200 kPa			PROVINO 2 400 kPa			PROVINO 3 600 kPa		
Def.or. (mm)	Tensione (kPa)	Def.ver. (mm)	Def.or. (mm)	Tensione (kPa)	Def.ver. (mm)	Def.or. (mm)	Tensione (kPa)	Def.ver. (mm)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.070	13.793	0.000	0.059	41.274	0.007	0.006	26.153	0.008
0.176	62.495	0.011	0.161	80.072	0.011	0.091	81.310	0.009
0.286	83.326	0.017	0.271	110.135	0.012	0.192	126.064	0.012
0.419	99.100	0.026	0.397	136.307	0.018	0.293	168.279	0.015
0.535	113.106	0.030	0.531	159.084	0.021	0.427	202.869	0.018
0.681	124.777	0.031	0.665	177.793	0.023	0.553	232.826	0.021
0.834	135.458	0.032	0.818	194.204	0.024	0.698	257.901	0.024
0.991	144.760	0.031	0.964	206.795	0.025	0.842	277.424	0.026
1.128	152.718	0.029	1.098	218.678	0.024	0.979	294.047	0.026
1.271	160.392	0.026	1.242	228.404	0.024	1.116	309.078	0.030
1.413	166.698	0.023	1.387	235.069	0.024	1.256	317.263	0.032
1.549	172.311	0.020	1.525	241.278	0.022	1.402	325.807	0.033
1.690	176.766	0.018	1.662	247.291	0.022	1.540	333.623	0.035
1.827	180.800	0.015	1.806	252.313	0.021	1.680	341.227	0.036
1.960	184.655	0.013	1.956	257.477	0.021	1.820	347.594	0.038
2.135	187.944	0.010	2.112	261.509	0.020	1.970	354.031	0.039
2.267	189.677	0.007	2.260	264.656	0.020	2.120	358.982	0.040
2.447	189.924	0.006	2.406	266.335	0.019	2.269	365.277	0.041
2.586	190.384	0.005	2.553	271.501	0.019	2.422	372.492	0.041
2.717	191.233	0.005	2.685	274.524	0.019	2.554	377.090	0.042
2.870	191.622	0.005	2.832	276.292	0.020	2.701	381.794	0.043
3.019	192.117	0.005	2.981	277.742	0.021	2.847	383.627	0.044
3.165	192.612	0.005	3.134	278.639	0.021	2.984	385.720	0.044
3.323	193.320	0.005	3.281	280.890	0.021	3.142	389.045	0.045
3.479	194.345	0.004	3.435	282.411	0.021	3.296	391.662	0.046
3.645	195.795	0.005	3.602	284.215	0.022	3.445	394.067	0.047
3.803	196.963	0.003	3.752	284.073	0.022	3.606	393.996	0.047
3.960	197.281	0.005	3.913	283.048	0.022	3.759	392.652	0.048
4.119	197.422	0.005	4.061	281.365	0.022	3.927	389.186	0.048
4.266	197.596	0.004	4.212	279.829	0.023	4.061	385.296	0.049
4.403	198.236	0.004	4.355	278.096	0.023	4.206	381.440	0.049
4.530	198.236	0.005	4.499	275.726	0.023	4.341	377.232	0.050
4.689	197.635	0.005	4.641	273.180	0.024	4.481	373.025	0.050
4.833	196.715	0.004	4.792	270.634	0.024	4.652	368.637	0.051
4.983	196.432	0.005	4.943	268.653	0.024	4.792	364.216	0.051
5.147	196.644	0.005	5.111	266.614	0.024	4.953	360.184	0.051
5.297	196.503	0.005	5.265	264.409	0.024	5.117	356.011	0.052
5.444	196.078	0.005	5.409	262.617	0.025	5.263	352.863	0.052
5.600	195.406	0.005	5.556	261.296	0.025	5.416	350.741	0.053
5.752	195.194	0.005	5.704	259.740	0.025	5.568	347.558	0.053
5.878	194.133	0.004	5.847	258.113	0.025	5.712	344.587	0.054
6.027	193.650	0.003	5.992	256.557	0.025	5.854	342.253	0.054
6.190	192.895	0.003	6.158	254.753	0.025	6.010	339.613	0.055
6.342	192.225	0.003				6.166	337.867	0.055

Il Direttore del Laboratorio torre:  
dott.geol. Massimo Romagnoli

Lo Sperimentatore:  
dott. Roberto Belarova



**elletipi s.r.l.**

Sede legale ed operativa: Via Annibale Zucchini, 69 - 44100 FERRARA  
tel. 0532/56771; fax 0532/56119 e-mail: info@elletipi.it sito: www.elletipi.it  
P IVA e Codice Fiscale n. 00174600387

Azienda con Sistemi di Gestione certificati da Certquality  
Qualità Ambiente Sicurezza  
UNI EN ISO 9001:2008  
UNI EN ISO 14001:2004  
OS OHSAS 18001:2007

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 360/2001. Circolari Ministeriali 7618/STC

### PROVA DI TAGLIO DIRETTO (norma UNI CEN ISO 17892-10)

COMMITTENTE:	Provincia di Reggio Emilia - Servizio Infrastrutture		
CANTIERE:	Istituto superiore Cattaneo - Dall'Aglio		
CAMPIONE:	S1SH1	m 2.70 - 3.20	
COMMESSA:	18593/18	DURATA PROVE:	D4 - 18/12/18
VERBALE ACC.:	812/18	DATA CONSEGNA:	03/12/18
GEO - CERT. n°:	G4814028	rev.00 del:	21/12/18

#### Consolidazione Provino 1

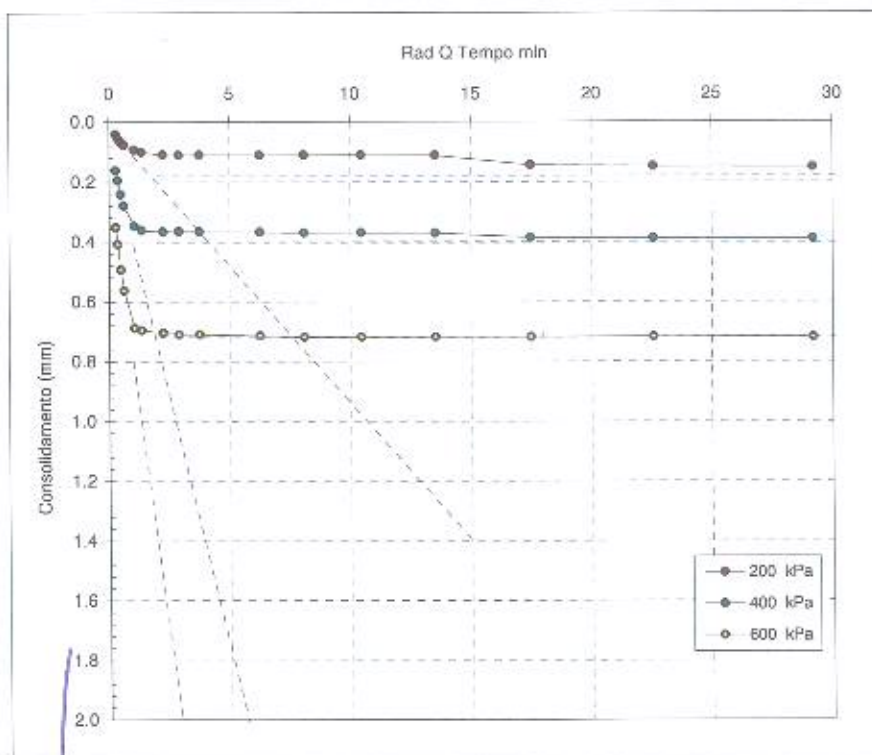
200 kPa	
Tempo (min)	Dh (mm)
H0	0.000
0.08	0.042
0.14	0.054
0.23	0.068
0.39	0.077
1.08	0.093
1.81	0.100
5.05	0.110
8.44	0.111
14.09	0.112
39.29	0.112
65.61	0.112
109.58	0.111
182.98	0.113
305.58	0.144
510.33	0.150
852.27	0.152

#### Consolidazione Provino 2

400 kPa	
Tempo (min)	Dh (mm)
H0	0.000
0.08	0.162
0.14	0.195
0.23	0.242
0.39	0.280
1.08	0.348
1.81	0.362
5.05	0.367
8.44	0.367
14.09	0.367
39.29	0.369
65.61	0.371
109.58	0.371
182.98	0.371
305.58	0.387
510.33	0.389
852.27	0.390

#### Consolidazione Provino 3

600 kPa	
Tempo (min)	Dh (mm)
H0	0.000
0.08	0.353
0.14	0.408
0.23	0.493
0.39	0.563
1.08	0.689
1.81	0.696
5.05	0.704
8.44	0.710
14.09	0.710
39.29	0.714
65.61	0.718
109.58	0.718
182.98	0.719
305.58	0.719
510.33	0.718
852.27	0.719



t<sub>100</sub> min  
(Bishop ed Henkel)

Provino 1

3.0

Provino 2

1.0

Provino 3

0.8

Il Direttore del Laboratorio terre:  
dott.geol. Massimo Romagnoli

lo Sperimentatore:  
dott. Roberto Belanova



**elletipi s.r.l.**

Sede operativa ed amm.va: Via Annibale Zucchini, 69 - 44100 FERRARA  
tel. 0532/56771; fax 0532/56119 e-mail: elletipi@libero.it sito: www.elletipi.it  
P IVA e Codice Fiscale n. 00174600387

Attestato con Sistemi di Gestione certificati da Certiqual  
Qualità Integrata Strutturale  
UNI EN ISO 9001:2008  
UNI EN ISO 14001:2004  
BS OHSAS 18001:2007

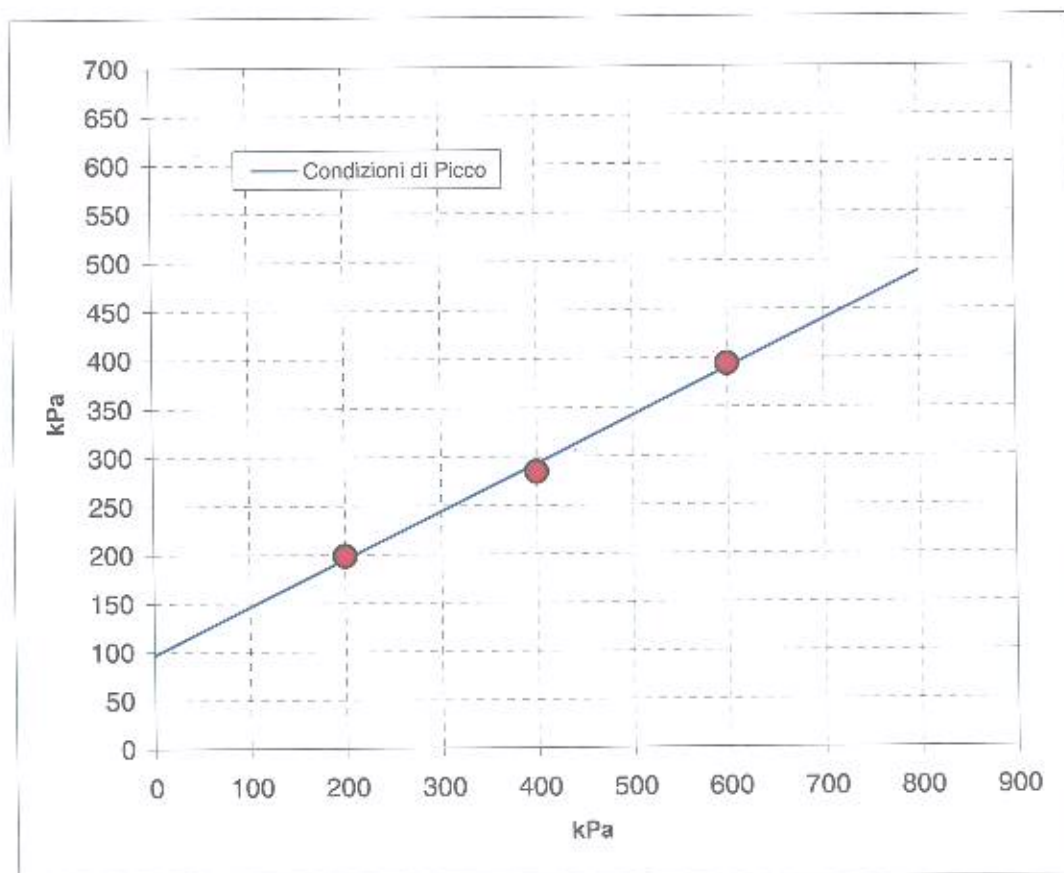
Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 9199 del 10/10/2011, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC e 7819/STC.

### PROVA DI TAGLIO DIRETTO (norma ASTM D 3080)

COMMITTENTE:	Provincia di Reggio Emilia – Servizio Infrastrutture		
CANTIERE:	Istituto superiore Cattaneo – Dall'Aglio		
CAMPIONE:	S1SH1		
COMMESSA:	18593/18	DURATA PROVE:	04 - 18/12/18
VERBALE ACC.:	812/18	DATA CONSEGNA:	03/12/18

*Il presente elaborato non è parte del certificato di prova cui è allegato, è solo un'interpretazione soggettiva dei risultati di prova.*

	PROVINO 1	PROVINO 2	PROVINO 3
Pressione verticale (kPa)	200	400	600
Tensione di taglio (kPa)	198.24	284.21	394.07
Condizioni di Picco	Coesione: 96.34 kPa		Angolo di attrito: 26°







elletipi s.r.l.

Via Annibale Zucchini, 69 - 44122 FERRARA tel. 0532/56771 - fax 0532/56119

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

e-mail: info@elletipi.it; segreteria@pec.elletipi.it

@ sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it

Azienda con Sistemi di Gestione certificati da Certignality

Qualità Ambiente Sicurezza

UNI EN ISO 9001:2015

UNI EN ISO 14001:2015

BS OHSAS 18001:2007

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STG

## SCHEDA GENERALE CAMPIONE

COMMITTENTE:	Provincia di Reggio Emilia - Servizio Infrastrutture		
CANTIERE:	Via Matilde di Canossa, 3 - Castelnuovo Monti (RE) - Ist. Sup. "C. Cattaneo - A. Dall' Aglio		
CAMPIONE:	S1C2 m. 5.80 - 6.10		
COMMESSA:	18593/18	DURATA PROVE:	11 - 12/12/18
VERBALE ACC.:	B12/18	DATA CONSEGNA:	03/12/18

cod.int.:419-738-1121-586-B15

ALTO	DESCRIZIONE MACROSCOPICA CAMPIONE	
5.80	Marna grigio	
	REAZIONE ALL' ACIDO CLORIDRICO	scarsa
	CARATTERISTICHE DIMENSIONALI	
	LUNGHEZZA (cm):	29.0
	DIAMETRO (cm):	77.7
	PROVE ESEGUITE	
	PROVA DI COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA E MODULO ELASTICO	
6.10		
BASSO		

Il Direttore del Laboratorio Terre  
dott.Geol.Massimo Romagnoli

Lo Sperimentatore  
dott. Roberto Bellanova



**elletipi s.r.l.**

Sede legale, operativa: amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

sito: [www.elletipi.it](http://www.elletipi.it) - email: [info@elletipi.it](mailto:info@elletipi.it)

Azienda con Sistemi di Gestione certificati da Certquality  
Qualità Ambiente Sicurezza  
UNI EN ISO 9001:2008  
UNI EN ISO 14001:2004  
BS OHSAS 18001:2007

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC

## PROVA DI COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA E MODULO ELASTICO norma ASTM D 2166-91

COMMITTENTE:	Provincia di Reggio Emilia – Servizio Infrastrutture		
CANTIERE:	Istituto superiore Cattaneo – Dall'Aglio		
CAMPIONE:	S1C2	m. 5.80 - 6.10	
COMMESSA:	18593/18	DURATA PROVE:	11 - 12/12/18
VERBALE ACC.:	812/18	DATA CONSEGNA:	03/12/18
GEO - CERT. n°:	G1814023	rev.0 del:	21/12/18

Codici strumentazione: 775 - 419 - 536 - 929 - 952 - 708

Il campione è stato conservato in vasca umida termostatica

NATURA DEL CAMPIONE: Marna grigio

Velocità della pressa: 1,6 mm/min

### CARATTERISTICHE DEL PROVINO

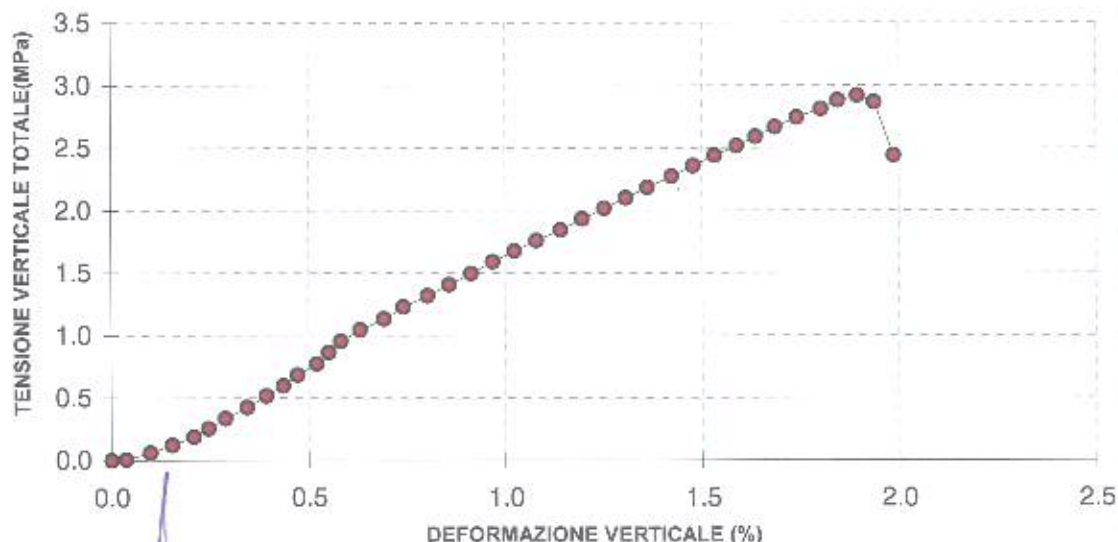
Dimensioni provino :	$h \times \phi = 77.7 \times 160.3 \text{ mm}$
Umidità naturale (%):	9.2
Massa volumica apparente umida ( $\text{Mg/m}^3$ ):	2.38
Massa volumica apparente secca ( $\text{Mg/m}^3$ ):	-

### CONDIZIONI A ROTTURA

Tensione verticale totale (MPa):	2.915
Deformazione a rottura (%)	2.181
Modulo secante al 50% della rottura (Mpa)	169.88



tens.vertic. (MPa)	def.vertic. (%)
0.000	0.000
0.007	0.037
0.062	0.098
0.121	0.153
0.189	0.209
0.255	0.245
0.336	0.288
0.424	0.343
0.515	0.393
0.598	0.436
0.684	0.472
0.772	0.521
0.864	0.552
0.952	0.583
1.043	0.632
1.133	0.693
1.229	0.742
1.319	0.804
1.408	0.859
1.497	0.914
1.589	0.969
1.676	1.024
1.761	1.080
1.845	1.141
1.934	1.196
2.017	1.251
2.101	1.307
2.184	1.362
2.273	1.423
2.357	1.478
2.438	1.533
2.514	1.589
2.589	1.638
2.665	1.687
2.741	1.742
2.810	1.803
2.877	1.846
2.915	1.895
2.863	1.938
2.439	1.987



Il Direttore del Laboratorio terre:  
dott. geol. Massimo Romagnoli

Lo Sperimentatore:  
dott. Roberto Bellanova





## PROVA DI COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA E MODULO ELASTICO norma ASTM D 2166-91

COMMITTENTE:	Provincia di Reggio Emilia – Servizio Infrastrutture		
CANTIERE:	Istituto superiore Cattaneo – Dall'Aglio		
CAMPIONE:	S1C5	m. 9.40 - 9.70	
COMMESSA:	18593/18	DURATA PROVE:	11 - 12/12/18
VERBALE ACC.:	812/18	DATA CONSEGNA:	03/12/18
GEO - CERT. n°:	G1814024	rev.0 del:	21/12/18

Codici strumentazione:

775 - 419 - 536 - 929 - 952 - 708

il campione è stato conservato in vasca umida termostatica

### NATURA DEL CAMPIONE: Marna grigio

Velocità della pressa:	1.6 mm/min
------------------------	------------

#### CARATTERISTICHE DEL PROVINO

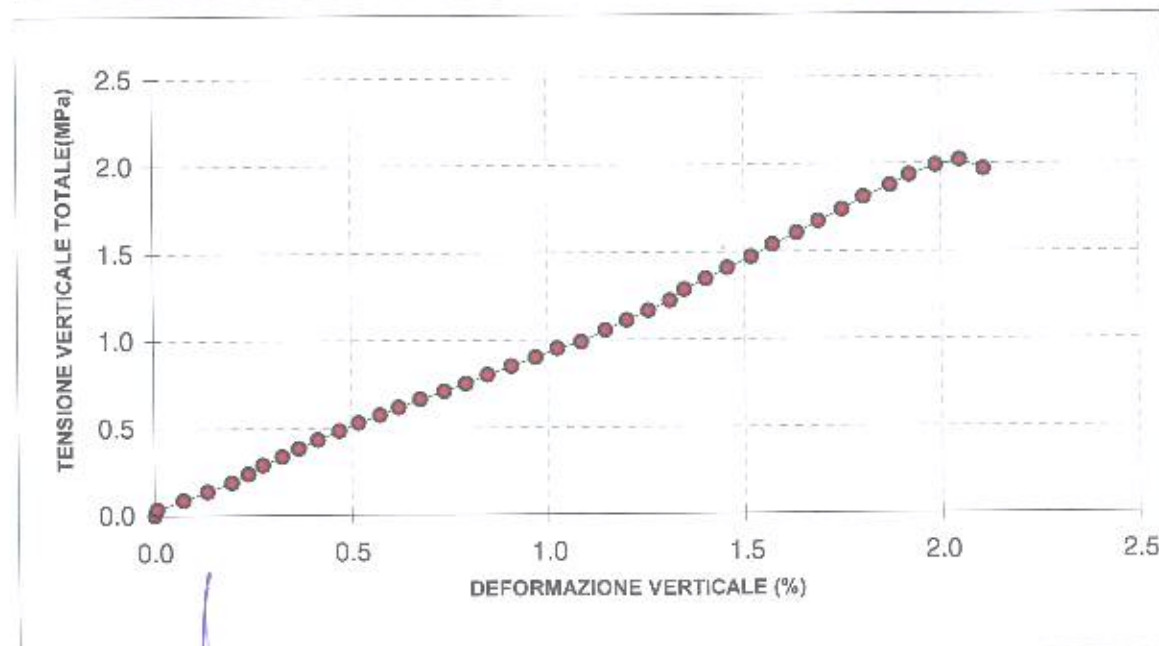
Dimensioni provino :	$h \times \phi = 75.7 \times 163.9 \text{ mm}$
Umidità naturale (%):	8.4
Massa volumica apparente umida ( $\text{Mg/m}^3$ ):	2.27
Massa volumica apparente secca ( $\text{Mg/m}^3$ ):	-

#### CONDIZIONI A ROTTURA

Tensione verticale totale (MPa):	2.021
Deformazione a rottura (%):	2.181
Modulo secante al 50% della rottura (Mpa)	89.51



tens.vertic. (MPa)	def.vertic. (%)
0.000	0.000
0.034	0.006
0.087	0.073
0.137	0.134
0.187	0.195
0.237	0.238
0.287	0.274
0.335	0.323
0.383	0.366
0.431	0.415
0.483	0.470
0.529	0.518
0.573	0.573
0.617	0.622
0.663	0.677
0.708	0.738
0.753	0.793
0.801	0.848
0.851	0.909
0.901	0.970
0.951	1.025
0.987	1.086
1.055	1.147
1.111	1.202
1.167	1.257
1.223	1.311
1.286	1.348
1.346	1.403
1.408	1.458
1.471	1.519
1.540	1.574
1.606	1.635
1.672	1.690
1.738	1.751
1.809	1.806
1.874	1.873
1.936	1.921
1.990	1.989
2.021	2.050
1.967	2.111


Il Direttore del Laboratorio terre:  
dott. geol. Massimo Romagnoli

Lo Sperimentatore:  
dott. Roberto Bellanova



**elletipi s.r.l.**

Via Annibale Zucchini, 69 - 44122 FERRARA tel. 0532/56771 - fax 0532/56119

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

e-mail: info@elletipi.it; segreteria@pec.elletipi.it

@ sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it

Azienda con Sistemi di Gestione certificati da Certiquality

Qualità Ambiente Sicurezza

UNI EN ISO 9001:2015

UNI EN ISO 14001:2015


BS OHSAS 18001:2007

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC

## SCHEDA GENERALE CAMPIONE

COMMITTENTE:	Provincia di Reggio Emilia - Servizio Infrastrutture		
CANTIERE:	Via Matilde di Canossa, 3 - Castelnuovo Monti (RE) - Ist. Sup. "C. Cattaneo - A. Dall' Aglio		
CAMPIONE:	S1C7 m. 13.00 - 13.28		
COMMESSA:	18593/18	DURATA PROVE:	11 - 12/12/18
VERBALE ACC.:	812/18	DATA CONSEGNA:	03/12/18

cod.int. 419-708-1121-586 815

ALTO	DESCRIZIONE MACROSCOPICA CAMPIONE	
13.00	Marna grigio	
	REAZIONE ALL' ACIDO CLORIDRICO	da scarsa ad assente
	CARATTERISTICHE DIMENSIONALI	
	LUNGHEZZA (cm):	28.0
	DIAMETRO (cm):	75.6
	PROVE ESEGUITE	
	PROVA DI COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA E MODULO ELASTICO	
13.28		
BASSO		

Il Direttore del Laboratorio Terre  
dott. Geol. Massimo Romagnoli

Lo Sperimentatore  
dott. Roberto Bellanova



## PROVA DI COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA E MODULO ELASTICO norma ASTM D 2166-91

COMMITTENTE:	Provincia di Reggio Emilia – Servizio Infrastrutture		
CANTIERE:	Istituto superiore Cattaneo – Dall'Aglio		
CAMPIONE:	S1C7	m. 13.00 - 13.28	
COMMESSA:	18593/18	DURATA PROVE:	11 - 12/12/18
VERBALE ACC.:	812/18	DATA CONSEGNA:	03/12/18
GEO - CERT. n°:	G1814025	rev.0 del:	21/12/18

Codici strumentazione: 775 - 419 - 536 - 929 - 952 - 708

il campione è stato conservato in vasca umida termostatica

NATURA DEL CAMPIONE: Marna grigio

Velocità della pressa:	1.6 mm/min
------------------------	------------

### CARATTERISTICHE DEL PROVINO

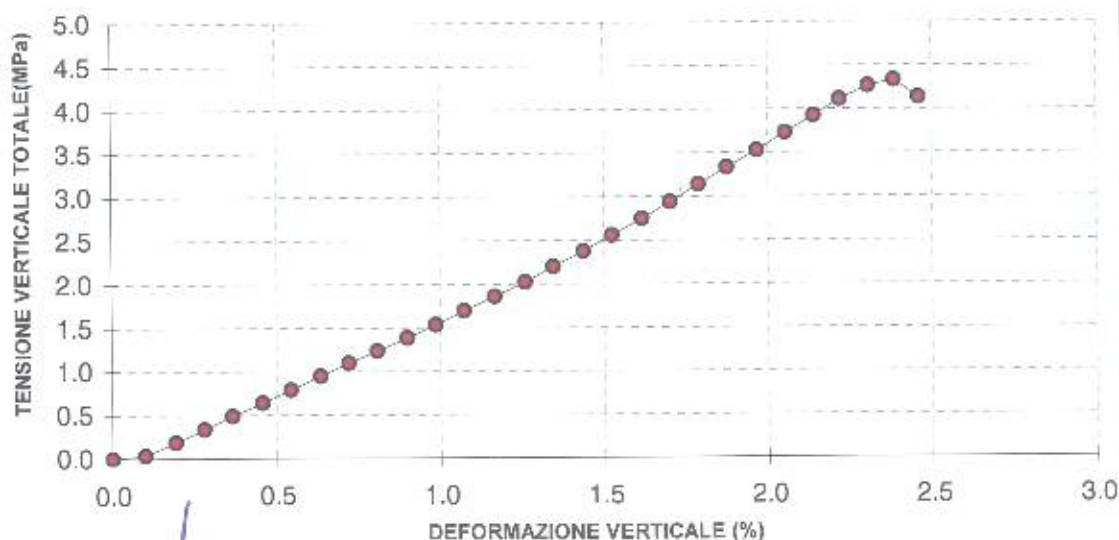
Dimensioni provino :	$h \times \phi = 75.7 \times 163.9 \text{ mm}$
Umidità naturale (%):	9.6
Massa volumica apparente umida ( $\text{Mg/m}^3$ ):	2.52
Massa volumica apparente secca ( $\text{Mg/m}^3$ ):	-

### CONDIZIONI A ROTTURA

Tensione verticale totale (MPa):	4.327
Deformazione a rottura (%):	2.181
Modulo secante al 50% della rottura (Mpa)	173.71



tens.vertic. (MPa)	def.vertic. (%)
0.000	0.000
0.035	0.099
0.186	0.191
0.337	0.278
0.488	0.364
0.639	0.457
0.790	0.543
0.946	0.635
1.098	0.722
1.237	0.808
1.386	0.901
1.535	0.987
1.696	1.073
1.856	1.166
2.021	1.259
2.200	1.345
2.377	1.437
2.557	1.524
2.749	1.616
2.938	1.703
3.138	1.789
3.332	1.875
3.528	1.968
3.730	2.054
3.922	2.141
4.109	2.221
4.262	2.307
4.327	2.387
4.131	2.461
4.131	2.461


Il Direttore del Laboratorio terre:  
dott. geol. Massimo Romagnoli

Lo Sperimentatore:  
dott. Roberto Bellanova



elletipi s.r.l.

Via Annibale Zucchini, 69 - 44122 FERARRA tel. 0532/56771 - fax 0532/56119

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600357

e-mail: info@elletipi.it, segreteria@pec.elletipi.it

☎ sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it

Azienda con Sistemi di Gestione certificati da Certiquality

Qualità Ambiente Sicurezza

UNI EN ISO 9001:2015

UNI EN ISO 14001:2015

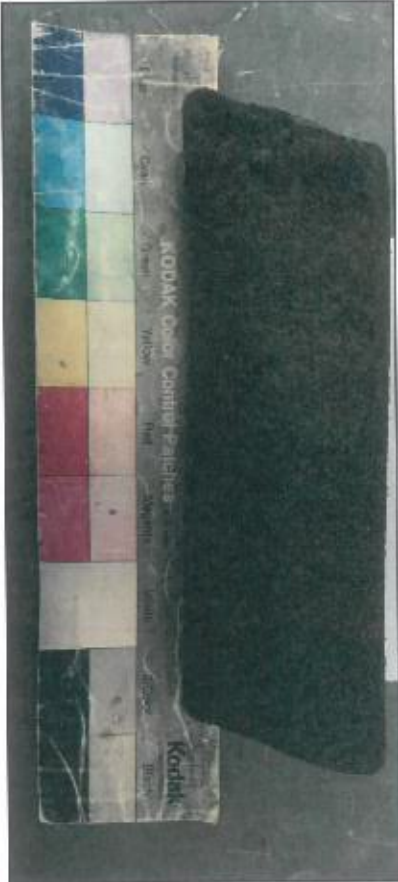
BS OHSAS 18001:2007

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 761B/STC

## SCHEDA GENERALE CAMPIONE

COMMITTENTE:	Provincia di Reggio Emilia - Servizio Infrastrutture		
CANTIERE:	Via Matilde di Canossa, 3 - Castelnuovo Monti (RE) - Ist. Sup. "C. Cattaneo - A. Dall' Aglio)		
CAMPIONE:	S1 C3 da 7,40 a 7,67 m del 27/11/18		
COMMESSA:	18593/18	DURATA PROVE:	10 - 12/12/18
VERBALE ACC.:	812/18	DATA CONSEGNA:	03/12/18
GEO - CERT. n°:	G1813449	rev.0 del:	12/12/18

cod.int. 419-708-1121-586-815

ALTO	DESCRIZIONE MACROSCOPICA CAMPIONE	
7.40	Arenaria da marrone chiaro a grigio a grana media. Presente strato centimetrico marnoso alla base	
	REAZIONE ALL' ACIDO CLORIDRICO	da scarsa ad assente
	CARATTERISTICHE DIMENSIONALI	
	LUNGHEZZA (cm):	26.5
	DIAMETRO (cm):	77.8
	PROVE ESEGUITE	
	Modulo elastico e coefficiente di Poisson	
7.67		
BASSO		

Il Direttore del Laboratorio Terre  
dott. Geol. Massimo Romagnoli

Lo Sperimentatore  
dott. Geol. Luciano Rossi



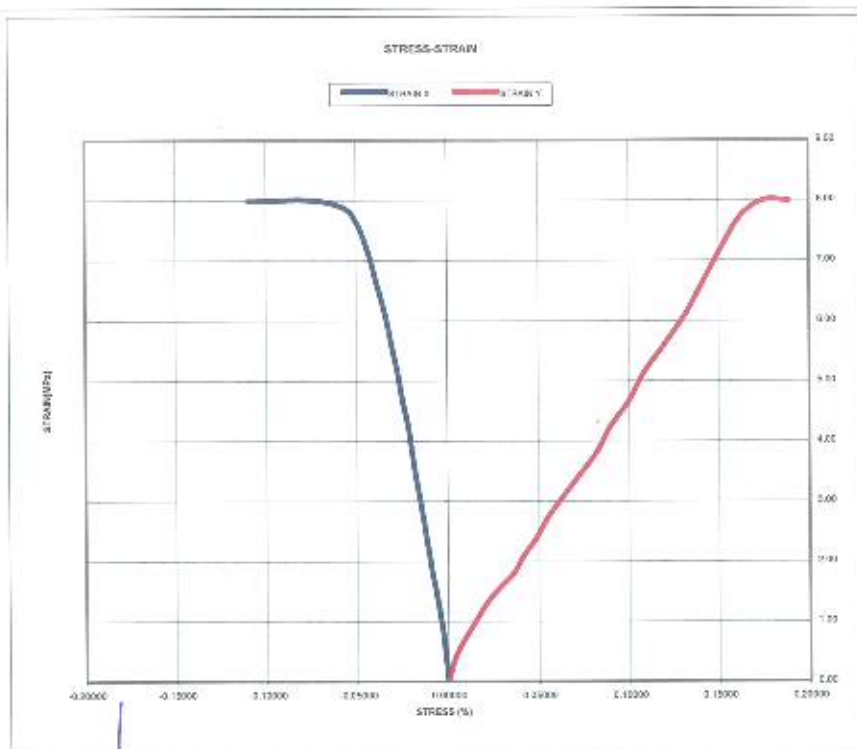
# **PROVA DI COMPRESSIONE MONOASSIALE CON CARATTERISTICHE DI DEFORMAZIONE**

## **Norma ASTM D 3148**

COMMITTENTE:	Provincia di Reggio Emilia - Servizio Infrastrutture		
CANTIERE:	Via Matilde di Canossa, 3 - Castelnuovo Monti (RE) - Ist. Sup. "C. Cattaneo - A. Dall' Aglio)		
CAMPIONE:	S1 C3 da 7,40 a 7,67 m del 27/11/18		
COMMESSA:	18593/18	DURATA PROVE:	10 - 12/12/18
VERBALE ACC.:	812/18	DATA CONSEGNA:	03/12/18
GEO - CERT. n°:	G1813450	rev.0 del:	12/12/18

cod. strumentazione: 708 - 419 - 596 - 1121 - 490 - 815 - 490

VEL. APP. CARICO	0.25 Mpa/s	<b>CONDIZIONI A ROTTURA:</b>	
STRAIN UTILIZZATI	rosetta 6 mm 120Ohm	Carico a rottura (MPa):	8.00
<b>CARATTERISTICHE PROVINO</b>		Deformazione assiale a rottura (%):	0.190
lunghezza (mm).	153.92	Rottura con fratture subverticali	
diametro (mm)	77.81	<b>YOUNG CALCOLATO e POISSON (al 50% della rottura):</b>	
Area prova (mm²)	4755	Modulo Elastico tangente (Mpa):	4782
Peso (g)	1655.61	Modulo Elastico secante (Mpa):	4666
Massa volumica (Mg/m³)	2.262	Poisson tangente:	0.309
Stato Provino	Provino testato allo stato secco	Poisson secante:	0.245


Il Direttore del Laboratorio Terre  
dott. Geol. Massimo Romagnoli

Lo Sperimentatore  
dott. Geol. Luciano Rossi

STRESS (Mpa)	STRAIN X (%)	STRAIN Y (%)
--------------	--------------	--------------

STRESS (Mpa)	STRAIN X (%)	STRAIN Y (%)
--------------	--------------	--------------







## **ALLEGATO 4**

### **Inputs e outputs delle verifiche di stabilità**

NOTA: alle grandezze pcf, psf e ft sono da sostituirsi rispettivamente  $\text{kN/m}^3$ , kPa, m

Restrictions Have Been Imposed Upon The Angle Of Initiation.  
The Angle Has Been Restricted Between The Angles Of -30.0  
And 10.0 deg.

Following Is Displayed The Most Critical Of The Trial  
Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical  
First.

\* \* Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method \* \*

Failure Surface Specified By 66 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	10.00	10.00
2	11.83	9.19
3	13.67	8.41
4	15.53	7.67
5	17.40	6.96
6	19.28	6.28
7	21.17	5.64
8	23.08	5.03
9	24.99	4.46
10	26.92	3.92
11	28.86	3.41
12	30.80	2.94
13	32.75	2.51
14	34.71	2.11
15	36.68	1.74
16	38.65	1.41
17	40.63	1.12
18	42.61	0.86
19	44.60	0.64
20	46.59	0.45
21	48.59	0.30
22	50.58	0.19
23	52.58	0.11
24	54.58	0.07
25	56.58	0.06
26	58.58	0.09
27	60.58	0.16
28	62.58	0.26
29	64.57	0.40
30	66.56	0.57
31	68.55	0.78
32	70.54	1.03
33	72.52	1.31
34	74.49	1.62
35	76.46	1.98
36	78.42	2.36
37	80.38	2.79
38	82.33	3.24
39	84.26	3.74
40	86.19	4.26
41	88.11	4.83
42	90.02	5.42
43	91.92	6.05
44	93.81	6.72
45	95.68	7.42
46	97.54	8.15
47	99.39	8.92
48	101.22	9.72
49	103.04	10.55
50	104.84	11.41
51	106.63	12.31
52	108.40	13.24
53	110.16	14.20
54	111.89	15.19
55	113.61	16.21
56	115.31	17.27
57	116.99	18.35
58	118.65	19.47
59	120.29	20.61
60	121.91	21.78
61	123.51	22.99
62	125.09	24.22
63	126.64	25.48
64	128.17	26.76
65	129.68	28.08
66	130.76	29.05

\*\*\* 4.042 \*\*\*

\*\* PCSTABL6 \*\*  
 by  
 Purdue University  
 modified by  
 Peter J. Bosscher  
 University of Wisconsin-Madison

--Slope Stability Analysis--  
 Simplified Janbu, Simplified Bishop  
 or Spencer's Method of Slices

PROBLEM DESCRIPTION Istituto "C. Cattaneo - A. Dall'Aglio" - blocco D - condizioni statiche

BOUNDARY COORDINATES  
 5 Top Boundaries  
 5 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	10.00	10.00	47.60	17.10	1
2	47.60	17.10	60.70	17.10	1
3	60.70	17.10	75.70	22.90	1
4	75.70	22.90	98.70	22.90	1
5	98.70	22.90	168.00	36.20	1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS  
 1 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	22.0	22.0	112.0	23.0	0.00	0.0	1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED  
 Unit Weight of Water = 9.81  
 Piezometric Surface No. 1 Specified by 6 Coordinate Points

Point No.	X-Water (ft)	Y-Water (ft)
1	10.00	9.50
2	47.60	16.60
3	60.70	16.60
4	75.70	22.40
5	98.70	22.40
6	167.10	35.70

BOUNDARY LOAD(S)  
 1 Load(s) Specified

Load No.	X-Left (ft)	X-Right (ft)	Intensity (lb/sqft)	Deflection (deg)
1	47.60	60.70	37.0	0.0

NOTE - Intensity Is Specified As A Uniformly Distributed  
 Force Acting On A Horizontally Projected Surface.

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random  
 Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

2500 Trial Surfaces Have Been Generated.  
 500 Surfaces Initiate From Each Of 5 Points Equally Spaced  
 Along The Ground Surface Between X = 10.00 ft.  
 and X = 15.00 ft.

Each Surface Terminates Between X = 60.00 ft.  
 and X = 160.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation  
 At Which A Surface Extends Is Y = 0.00 ft.

2.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Restrictions Have Been Imposed Upon The Angle Of Initiation.  
 The Angle Has Been Restricted Between The Angles Of -30.0  
 And 10.0 deg.

Following Is Displayed The Most Critical Of The Trial  
Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical  
First.

\* \* Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method \* \*

Failure Surface Specified By 80 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	12.50	10.47
2	14.36	9.75
3	16.24	9.05
4	18.12	8.37
5	20.01	7.72
6	21.91	7.10
7	23.82	6.50
8	25.74	5.93
9	27.66	5.39
10	29.60	4.87
11	31.53	4.38
12	33.48	3.92
13	35.43	3.48
14	37.39	3.08
15	39.35	2.69
16	41.32	2.34
17	43.29	2.01
18	45.27	1.71
19	47.25	1.44
20	49.24	1.19
21	51.23	0.97
22	53.22	0.78
23	55.21	0.62
24	57.21	0.48
25	59.20	0.37
26	61.20	0.29
27	63.20	0.24
28	65.20	0.21
29	67.20	0.22
30	69.20	0.25
31	71.20	0.30
32	73.20	0.39
33	75.19	0.50
34	77.19	0.64
35	79.18	0.81
36	81.17	1.00
37	83.16	1.23
38	85.14	1.48
39	87.12	1.75
40	89.10	2.06
41	91.07	2.39
42	93.04	2.75
43	95.00	3.13
44	96.96	3.55
45	98.91	3.99
46	100.86	4.46
47	102.79	4.95
48	104.73	5.47
49	106.65	6.02
50	108.57	6.59
51	110.47	7.19
52	112.37	7.82
53	114.26	8.47
54	116.14	9.15
55	118.02	9.85
56	119.88	10.58
57	121.73	11.34
58	123.57	12.12
59	125.40	12.93
60	127.22	13.76
61	129.03	14.62
62	130.82	15.50
63	132.60	16.40
64	134.37	17.33
65	136.13	18.29
66	137.88	19.27
67	139.61	20.27
68	141.32	21.30
69	143.02	22.35
70	144.71	23.43
71	146.38	24.52
72	148.04	25.64
73	149.68	26.79
74	151.30	27.95
75	152.91	29.14
76	154.51	30.35
77	156.08	31.58
78	157.64	32.84
79	159.18	34.11
80	159.78	34.62

\*\*\* 4.579 \*\*\*

\*\* PCSTABL6 \*\*

by  
Purdue University  
modified by  
Peter J. Bosscher  
University of Wisconsin-Madison

--Slope Stability Analysis--  
Simplified Janbu, Simplified Bishop  
or Spencer's Method of Slices

PROBLEM DESCRIPTION Istituto "C. Cattaneo - A. Dall'Aglio" - blocco C - condizioni dinamiche

BOUNDARY COORDINATES  
5 Top Boundaries  
5 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	10.00	10.00	47.60	17.10	1
2	47.60	17.10	60.70	17.10	1
3	60.70	17.10	75.70	22.90	1
4	75.70	22.90	98.70	22.90	1
5	98.70	22.90	168.00	36.20	1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS  
1 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	22.0	22.0	180.0	0.0	0.00	0.0	1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED  
Unit Weight of Water = 9.81  
Piezometric Surface No. 1 Specified by 6 Coordinate Points

Point No.	X-Water (ft)	Y-Water (ft)
1	10.00	9.50
2	47.60	16.60
3	60.70	16.60
4	75.70	22.40
5	98.70	22.40
6	167.10	35.70

A Horizontal Earthquake Loading Coefficient  
Of 0.080 Has Been Assigned  
A Vertical Earthquake Loading Coefficient  
Of -.040 Has Been Assigned  
Cavitation Pressure = 0.0 psf

BOUNDARY LOAD(S)  
2 Load(s) Specified

Load No.	X-Left (ft)	X-Right (ft)	Intensity (lb/sqft)	Deflection (deg)
1	60.70	98.70	64.0	0.0
2	98.70	131.90	64.0	0.0

NOTE - Intensity Is Specified As A Uniformly Distributed  
Force Acting On A Horizontally Projected Surface.

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random  
Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.  
2500 Trial Surfaces Have Been Generated.

500 Surfaces Initiate From Each Of 5 Points Equally Spaced  
Along The Ground Surface Between X = 10.00 ft.  
and X = 35.00 ft.

Each Surface Terminates Between X = 98.70 ft.  
and X = 160.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation  
At Which A Surface Extends Is Y = 0.00 ft.

2.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Restrictions Have Been Imposed Upon The Angle Of Initiation.  
The Angle Has Been Restricted Between The Angles Of -30.0  
And 10.0 deg.

Following Is Displayed The Most Critical Of The Trial  
Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical  
First.

\* \* Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method \* \*

Failure Surface Specified By 78 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	16.25	11.18
2	18.09	10.39
3	19.94	9.64
4	21.80	8.91
5	23.68	8.21
6	25.56	7.53
7	27.45	6.89
8	29.35	6.27
9	31.27	5.68
10	33.19	5.12
11	35.12	4.59
12	37.05	4.09
13	39.00	3.62
14	40.95	3.18
15	42.90	2.77
16	44.87	2.38
17	46.83	2.03
18	48.81	1.71
19	50.79	1.41
20	52.77	1.15
21	54.75	0.91
22	56.74	0.71
23	58.74	0.53
24	60.73	0.39
25	62.73	0.27
26	64.73	0.19
27	66.73	0.14
28	68.73	0.11
29	70.73	0.12
30	72.72	0.15
31	74.72	0.22
32	76.72	0.31
33	78.72	0.44
34	80.71	0.60
35	82.70	0.78
36	84.69	1.00
37	86.68	1.24
38	88.66	1.52
39	90.63	1.83
40	92.60	2.16
41	94.57	2.53
42	96.53	2.92
43	98.49	3.34
44	100.43	3.80
45	102.38	4.28
46	104.31	4.79
47	106.23	5.33
48	108.15	5.90
49	110.06	6.50
50	111.96	7.13
51	113.85	7.78
52	115.73	8.47
53	117.60	9.18
54	119.45	9.92
55	121.30	10.69
56	123.14	11.48
57	124.96	12.31
58	126.77	13.16
59	128.57	14.04
60	130.35	14.94
61	132.12	15.87
62	133.87	16.83
63	135.62	17.82
64	137.34	18.83
65	139.05	19.86
66	140.75	20.92
67	142.43	22.01
68	144.09	23.12
69	145.73	24.26
70	147.36	25.42
71	148.97	26.61
72	150.56	27.82
73	152.14	29.06
74	153.69	30.31
75	155.23	31.59
76	156.74	32.90
77	158.24	34.23
78	158.38	34.35

\*\*\* 2.605 \*\*\*



\*\* PCSTABL6 \*\*

by  
Purdue University

modified by  
Peter J. Bosscher  
University of Wisconsin-Madison

--Slope Stability Analysis--  
Simplified Janbu, Simplified Bishop  
or Spencer's Method of Slices

PROBLEM DESCRIPTION Istituto "C. Cattaneo - A. Dall'Aglio" - blocco D - condizioni dinamiche

BOUNDARY COORDINATES  
5 Top Boundaries  
5 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	10.00	10.00	47.60	17.10	1
2	47.60	17.10	60.70	17.10	1
3	60.70	17.10	75.70	22.90	1
4	75.70	22.90	98.70	22.90	1
5	98.70	22.90	168.00	36.20	1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS  
1 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	22.0	22.0	180.0	0.0	0.00	0.0	1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED  
Unit Weight of Water = 9.81  
Piezometric Surface No. 1 Specified by 6 Coordinate Points

Point No.	X-Water (ft)	Y-Water (ft)
1	10.00	9.50
2	47.60	16.60
3	60.70	16.60
4	75.70	22.40
5	98.70	22.40
6	167.10	35.70

A Horizontal Earthquake Loading Coefficient  
Of 0.080 Has Been Assigned  
A Vertical Earthquake Loading Coefficient  
Of -.040 Has Been Assigned  
Cavitation Pressure = 0.0 psf

BOUNDARY LOAD(S)  
1 Load(s) Specified

Load No.	X-Left (ft)	X-Right (ft)	Intensity (lb/sqft)	Deflection (deg)
1	47.60	60.70	37.0	0.0

NOTE - Intensity Is Specified As A Uniformly Distributed  
Force Acting On A Horizontally Projected Surface.

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random  
Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.  
2500 Trial Surfaces Have Been Generated.

500 Surfaces Initiate From Each Of 5 Points Equally Spaced  
Along The Ground Surface Between X = 10.00 ft.  
and X = 15.00 ft.

Each Surface Terminates Between X = 60.00 ft.  
and X = 160.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation  
At Which A Surface Extends Is Y = 0.00 ft.  
2.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Restrictions Have Been Imposed Upon The Angle Of Initiation.  
The Angle Has Been Restricted Between The Angles Of -30.0  
And 10.0 deg.

Following Is Displayed The Most Critical Of The Trial  
Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical  
First.

\* \* Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method \* \*

Failure Surface Specified By 79 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.75	10.71
2	15.60	9.95
3	17.46	9.22
4	19.34	8.52
5	21.22	7.84
6	23.11	7.19
7	25.01	6.57
8	26.92	5.98
9	28.84	5.41
10	30.77	4.88
11	32.70	4.37
12	34.64	3.88
13	36.59	3.43
14	38.54	3.00
15	40.50	2.61
16	42.47	2.24
17	44.44	1.90
18	46.42	1.59
19	48.40	1.30
20	50.38	1.05
21	52.37	0.82
22	54.36	0.63
23	56.35	0.46
24	58.34	0.32
25	60.34	0.21
26	62.34	0.13
27	64.34	0.07
28	66.34	0.05
29	68.34	0.05
30	70.34	0.09
31	72.34	0.15
32	74.34	0.24
33	76.33	0.36
34	78.33	0.51
35	80.32	0.69
36	82.31	0.90
37	84.29	1.14
38	86.28	1.40
39	88.25	1.69
40	90.23	2.02
41	92.20	2.37
42	94.16	2.75
43	96.12	3.15
44	98.07	3.59
45	100.02	4.05
46	101.95	4.55
47	103.89	5.07
48	105.81	5.61
49	107.73	6.19
50	109.63	6.79
51	111.53	7.42
52	113.42	8.08
53	115.30	8.77
54	117.17	9.48
55	119.02	10.22
56	120.87	10.99
57	122.71	11.78
58	124.53	12.60
59	126.34	13.44
60	128.14	14.32
61	129.93	15.21
62	131.71	16.14
63	133.47	17.09
64	135.21	18.06
65	136.94	19.06
66	138.66	20.09
67	140.36	21.14
68	142.05	22.21
69	143.72	23.31
70	145.38	24.43
71	147.02	25.58
72	148.64	26.75
73	150.24	27.94
74	151.83	29.16
75	153.40	30.39
76	154.95	31.66
77	156.49	32.94
78	158.00	34.25
79	158.05	34.29

\*\*\* 2.876 \*\*\*