



# CONSORZIO di BONIFICA dell' EMILIA CENTRALE

Corso Garibaldi n. 42 42121 Reggio Emilia - [www.emiliacentrale.it](http://www.emiliacentrale.it) - [direzione@emiliacentrale.it](mailto:direzione@emiliacentrale.it)  
Tel. 0522-443211 Fax. 0522-443254 C.F. 91149320359

M - PRG.  
18.01

Rev. 4  
del  
23.02.2021

Titolo: DM n. 517 del 16 dicembre 2021 - "Investimenti in infrastrutture idriche primarie per la sicurezza dell'approvvigionamento idrico" linea d'investimento M2C4 - I4.1 del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)"

## RIFUNZIONALIZZAZIONE DELLA TRAVERSA POSTA SUL TORRENTE ENZA IN LOCALITA' CEREZZOLA

Importo: € **12'376'800,00**

Ente Finanziatore: **MIMS**

Tipologia Progetto				Riferimento Legislativo	Comune
Fattibilità	Definitivo	Esecutivo	Contabilità		<b>Canossa (RE) Neviano degli Arduini (PR)</b>
	<b>X</b>				

### ALLEGATI:

Allegato n.	Titolo:
<b>1</b>	<b>RELAZIONI TECNICHE E SPECIALISTICHE</b>
Tavola:	Oggetto:
<b>1.6</b>	<b>RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA</b>
Scala:	

Il Progettista Generale:  
**Dott. Ing. Ada Francesconi**  
[afrancesconi@emiliacentrale.it](mailto:afrancesconi@emiliacentrale.it)

Tecnico Incaricato:  
**Dott. Geol. Fausto Campioli**

Collaboratori alla Progettazione:  
**Dott. Ing. Emanuele Barattini**  
**Dott.sa Ing. Elena Mocchi**  
**Dott. Ing. Stefano Corradi**  
**Dott. Geol. Alessandro Fontanesi**  
**Dott.sa Valentina Preti**  
**P.I. Mauro Bigliardi**

Il Responsabile del Procedimento:  
**Dott. Ing. Pietro Torri**  
[ptorri@emiliacentrale.it](mailto:ptorri@emiliacentrale.it)

Area Progettazione: <b>SLPP</b>	Codice Progetto: <b>221/19/00</b>	Codice CUP: <b>G83D21003240006</b>	Codice CIG:
------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	-------------

Redatto:	Verificato:	Nome File:	Note:

Data Progetto : **31/03/2022**

Data Aggiornamento:

UNI EN ISO 9001:2015

UNI EN ISO 14001:2015

UNI ISO 45001:2018

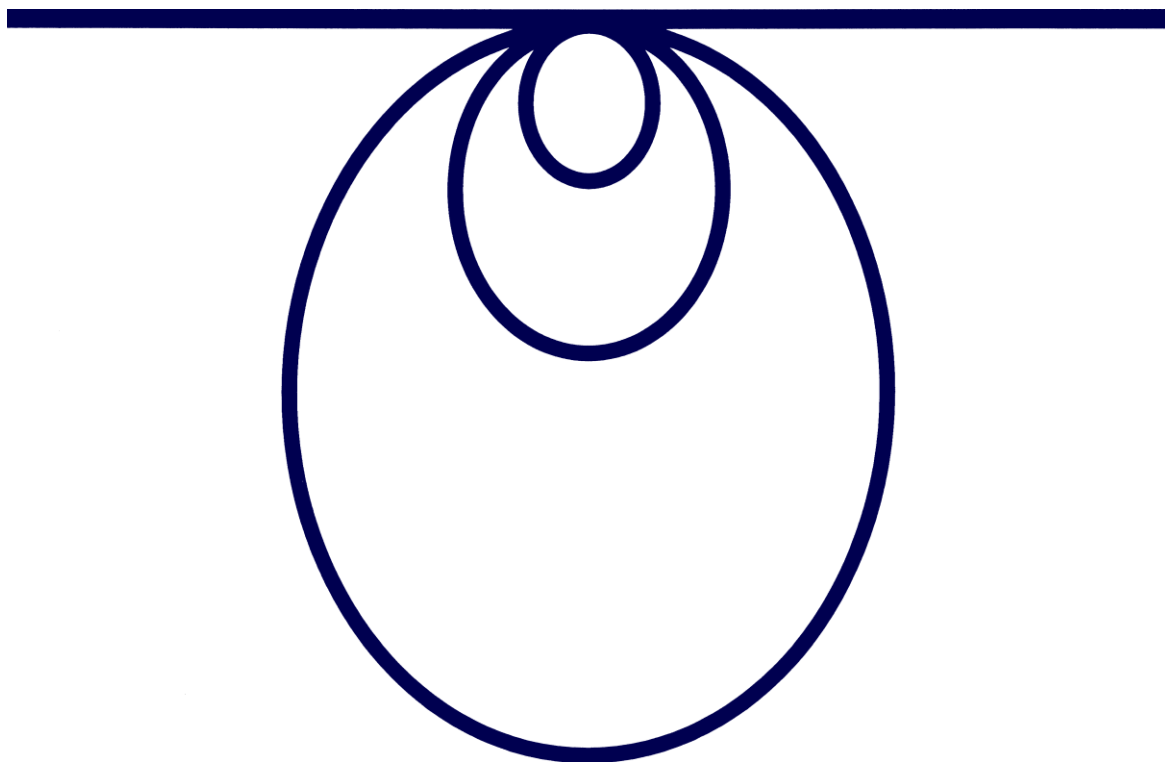




*Rifunzionalizzazione della Traversa  
posta sul Torrente Enza in località Cerezzola  
nei Comuni di Canossa (RE) e Neviano degli Arduini (PR)*

*Relazione geologica e sismica*

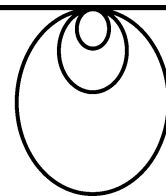
Gennaio 2020





STUDIO GEOLOGI ASSOCIATI

DI MAMBRINI – FARIOLI – CASSINADRI – CAMPIOLI - CASALI  
42124 REGGIO EMILIA – VIA EMILIA ALL'ANGELO, 14  
TELEFONO E FAX: 0522.934730  
E.MAIL: [GEOLOG@GEOLOG-SC.IT](mailto:GEOLOG@GEOLOG-SC.IT)  
P.IVA E C.F..02790320358



***Rifunzionalizzazione della Traversa  
Posta sul Torrente Enza in località Cerezzola  
Nei Comuni di Canossa (RE) e Neviano degli Arduini (PR)***

***Relazione geologica e sismica***

GEOLOGIA APPLICATA

Gennaio 2020

**Indice**

GEOFISICA

1	PREMESSA .....	2
2	SONDAGGI .....	2
3	INDAGINI SISMICHE .....	21
3.1	Prospezioni Down-Hole.....	21
3.2	Rifrazione sismica .....	24
4	PERICOLOSITÀ SISMICA .....	26
4.1	Sorgenti sismogenetiche .....	28
4.2	Faglie superficiali .....	30
4.3	Zonazione sismica .....	31
5	MODELLO STRATIGRAFICO .....	33
6	CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE .....	38
6.1	Ghiaie.....	38
6.1.1	<i>Alluvioni alla base della traversa di Cerezzola.....</i>	39
6.1.2	<i>Alluvioni a monte della traversa (c/o muro di sostegno in dx. idraulica) .....</i>	40
6.1.3	<i>Alluvioni presso la soglia in progetto .....</i>	40
6.2	Substrato .....	41
6.2.1	<i>Bed-rock alla base della traversa di Cerezzola.....</i>	42
6.2.2	<i>Bed-rock a monte della traversa (c/o muro di sostegno in dx. idraulica) .....</i>	44
6.2.3	<i>Bed-rock in corrispondenza della soglia in progetto .....</i>	45
6.3	Substrato – Approccio alternativo .....	46
7	CENNI DI IDROGEOLOGIA.....	48
8	ASPETTI DI GEOLOGIA TECNICA.....	52

GEOTECNICA

IDROGEOLOGIA E  
IDROLOGIA

MODELLI MATEMATICI

**Allegato**

1. Report indagini geofisiche



*Fausto Campioli*

## 1 PREMESSA

Il Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale ha intrapreso lavori di rifunzionalizzazione della traversa di derivazione irrigua (figura 1) posta sul Torrente Enza in località Cerezzola, tra i Comuni di Canossa (RE) e Neviano degli Arduini (PR).



*figura 1: panoramica della Traversa dalla sponda in sinistra idraulica*

Il progetto di massima prevede l'abbassamento della soglia attuale di circa 1 m, per poi rialzarla tramite uno sbarramento mobile di tipo gonfiabile, così da invasare un volume utile a vantaggio della derivazione esistente e per migliorare le condizioni di sicurezza idraulica del tratto d'asta.

Contestualmente s'asporterà un consistente spessore d'alluvioni sul fondo del bacino; il materiale verrà presumibilmente ricollocato nelle zone d'erosione a valle del manufatto.

Infine si prevede la realizzazione di una soglia all'inizio della zona oggetto di risagomatura, con funzione di mantenimento del profilo d'equilibrio e delle quote di fondo alveo nel tratto a monte.

In quest'ambito, mi è stato affidato l'incarico di coordinare e dirigere indagini geognostiche e sismiche e di elaborare i dati ottenuti in chiave geologica, idrogeologica e geomeccanica.

Il programma dello studio, descritto nel capitolo seguente, è stato concordato con i Tecnici del Consorzio.

Il presente documento espone i risultati dello studio.

## 2 SONDAGGI

Sono stati condotti 7 sondaggi a rotazione, secondo la modalità del carotaggio continuo; la figura 2 riporta l'ubicazione dei punti d'indagine.



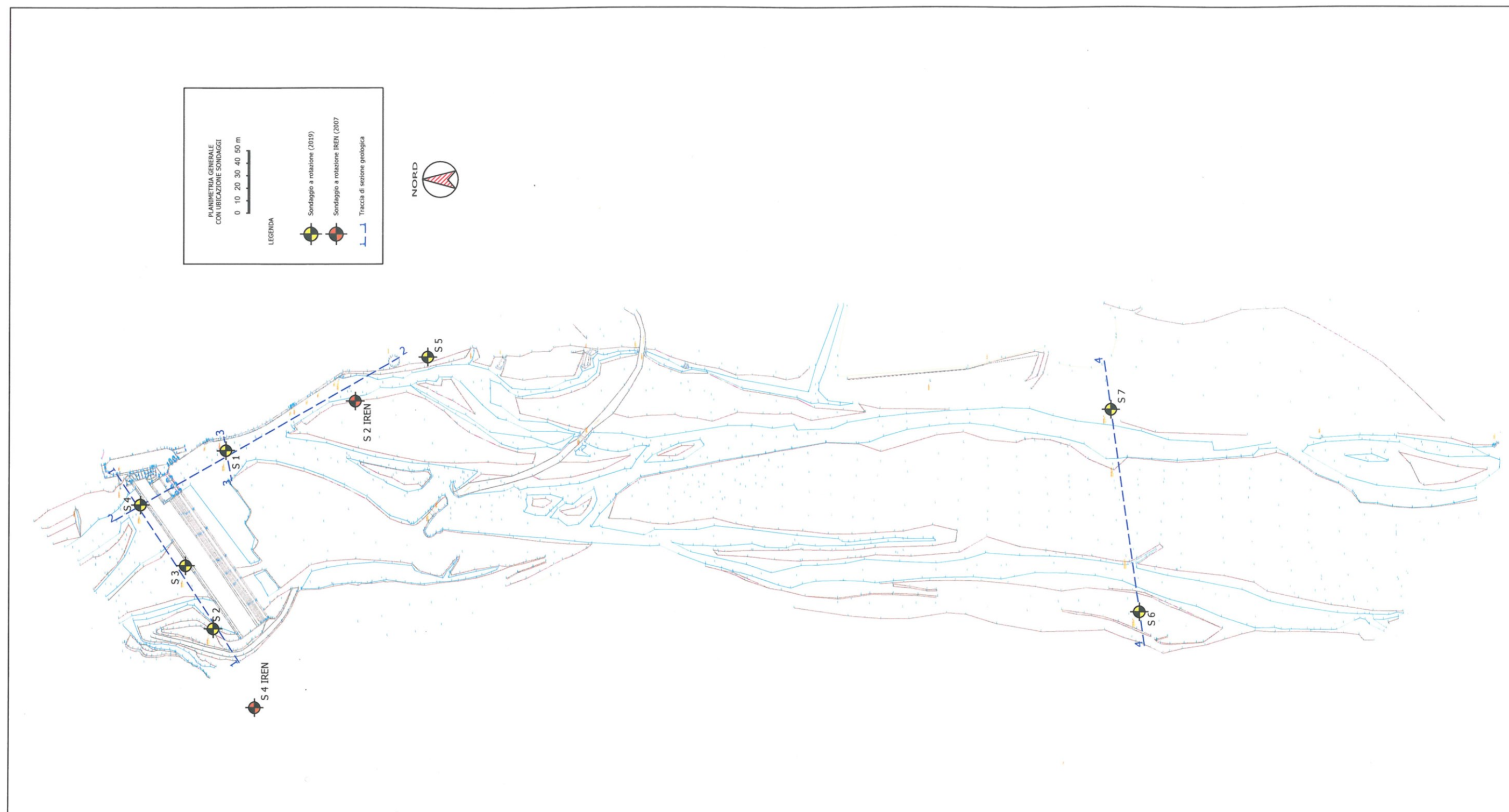


figura 2: ubicazione sondaggi geognostici

Tre di questi (S2÷S4), per questioni logistiche e di sicurezza, sono ricaduti alla base della traversa; di seguito sono riportate alcune riprese fotografiche dei sondaggi.



*figura 3: panoramiche sondaggio 2*



*figura 4: panoramiche sondaggio 3*





*figura 5: panoramiche sondaggio 4*

Due sondaggi (S1, S5) sono stati ubicati poco a monte dello sbarramento, in destra idraulica, in fregio alla strada provinciale; come mostrano le fotografie seguenti, i piani di lavoro sono costituiti rispettivamente dall'alveo e da un terrazzo alluvionale rilevato un paio di metri rispetto al talweg.



*figura 6: panoramica sondaggio 1*



*figura 7: panoramica sondaggio 5*

Le ultime due verticali (S6, S7) hanno riguardato il probabile settore d'imposta della nuova soglia di monte (foto panoramiche nelle figure 8÷9).



*figura 8: panoramica sondaggio 6*



*figura 9: panoramica sondaggio 7*

Tutti i carotaggi sono stati eseguiti dalla Ditta Montanari Perforazioni s.r.l. di Rivalta (RE); la macchina utilizzata è una sonda Rodag Black HM-1 munita di carotieri semplici 4", carotiere doppi T6 e casing metallico 5".

L'impiego del carotiere doppio è stato riservato agli avanzamenti nel substrato, per evitare la torsione del materiale, mentre nelle alluvioni ghiaiose si è fatto uso del carotiere semplice.

L'intento dei sondaggi era di verificare l'assetto stratigrafico e geomeccanico fino a - 20 m di profondità, riservando un ulteriore approfondimento a - 30 m a due soli fori (S3 e S7), condizione necessaria per attrezzare gli stessi e consentire l'esecuzione di prospezioni geofisiche Down-Hole.

Nel corso dei carotaggi sono state effettuate prove di penetrazione standard a fondo foro (SPT) sia nelle alluvioni ghiaiose sia nel substrato, prelevando anche spezzoni di roccia rappresentativi delle litologie attraversate, per le successive indagini di laboratorio.

Nel tratti in roccia dei sondaggi S3÷S4 si sono eseguite prove di permeabilità in situ (tipo Lugeon), in grado di fornire indicazioni anche sul grado di fratturazione del substrato.

Le figure 10÷23 comprendono le stratigrafie dei sondaggi e la sequenza delle carote estratte.



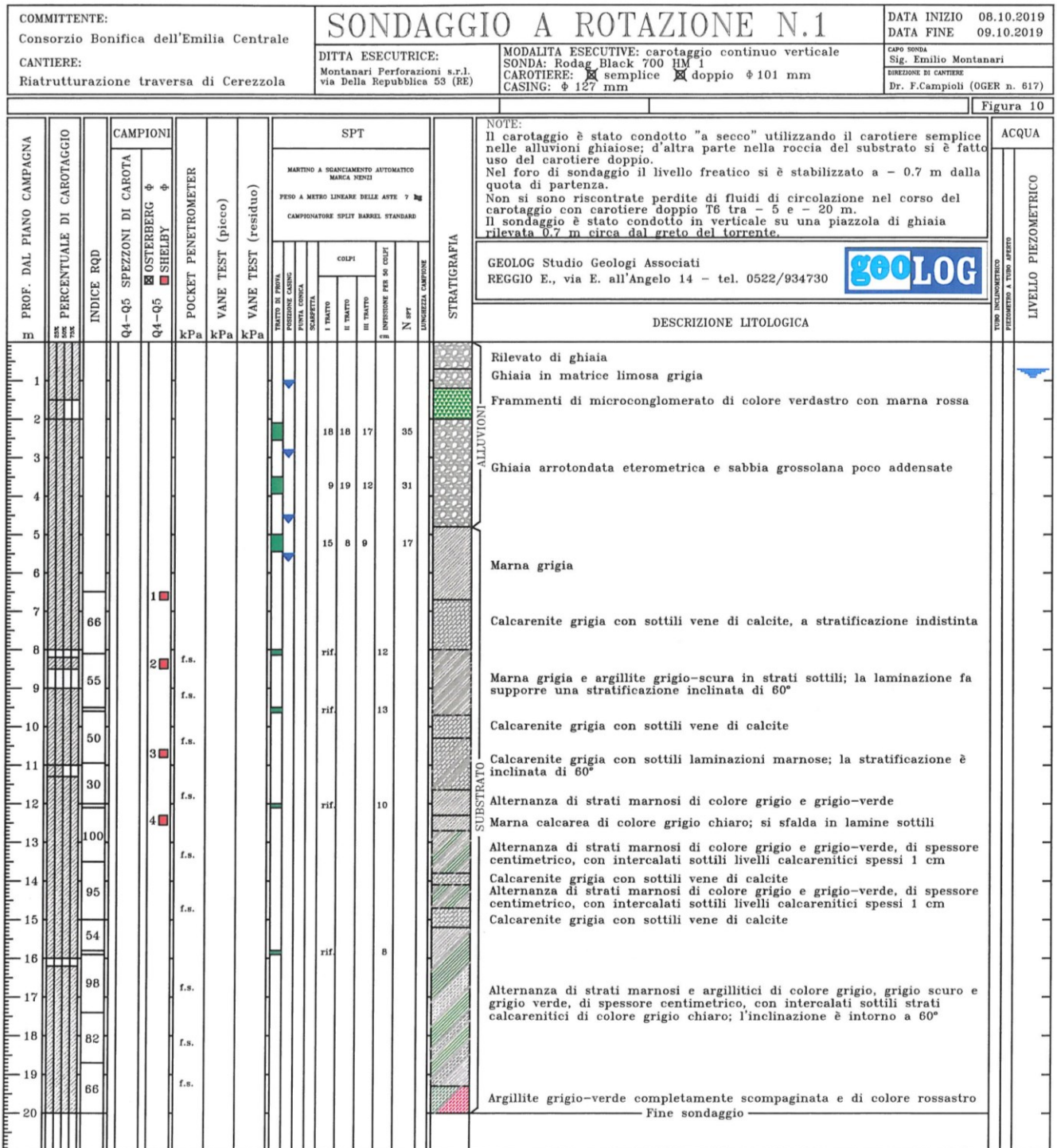
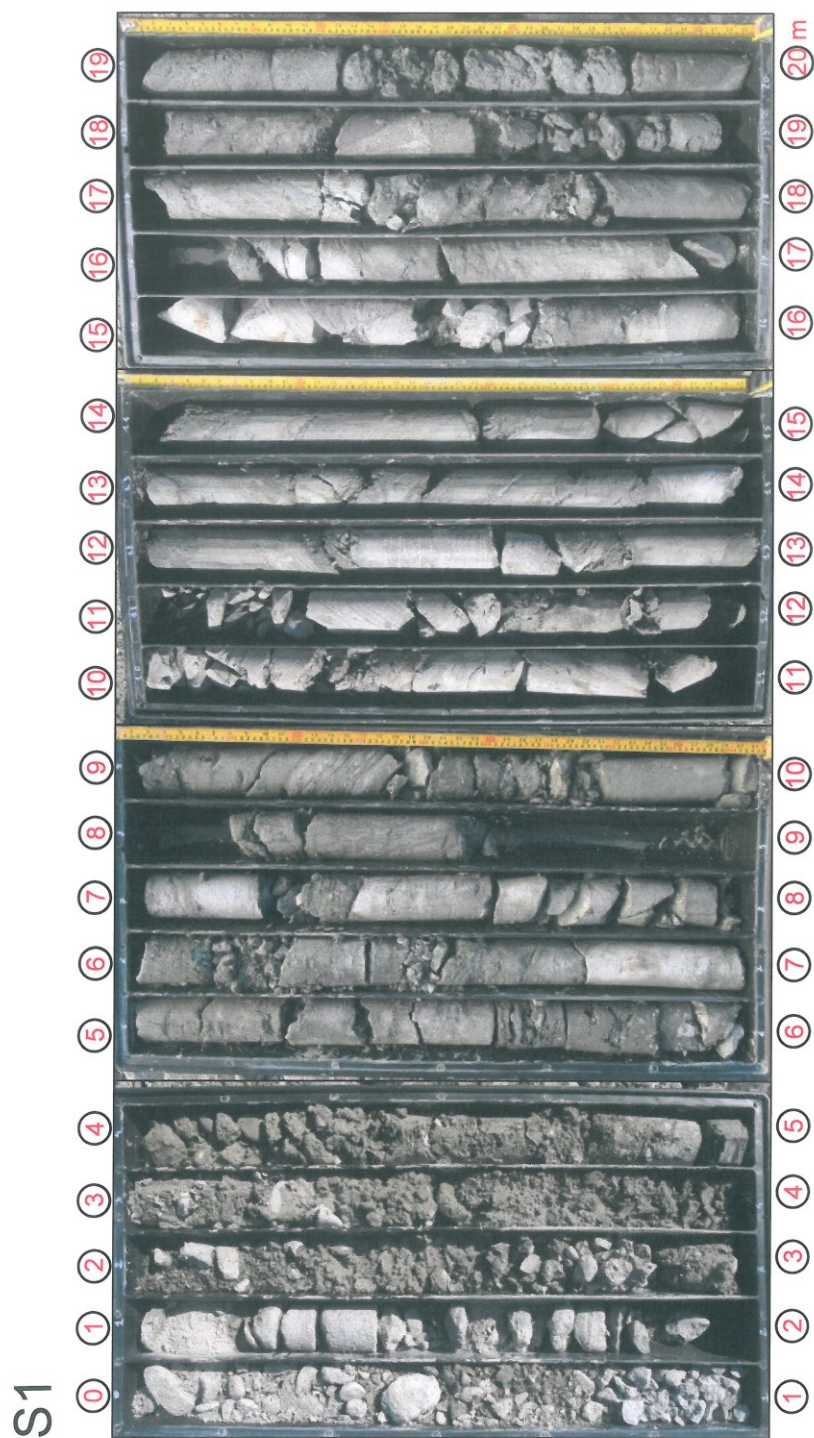


figura 10: stratigrafia sondaggio 1



*figura 11: raccolta fotografie cassette catalogatrici sondaggio 1*



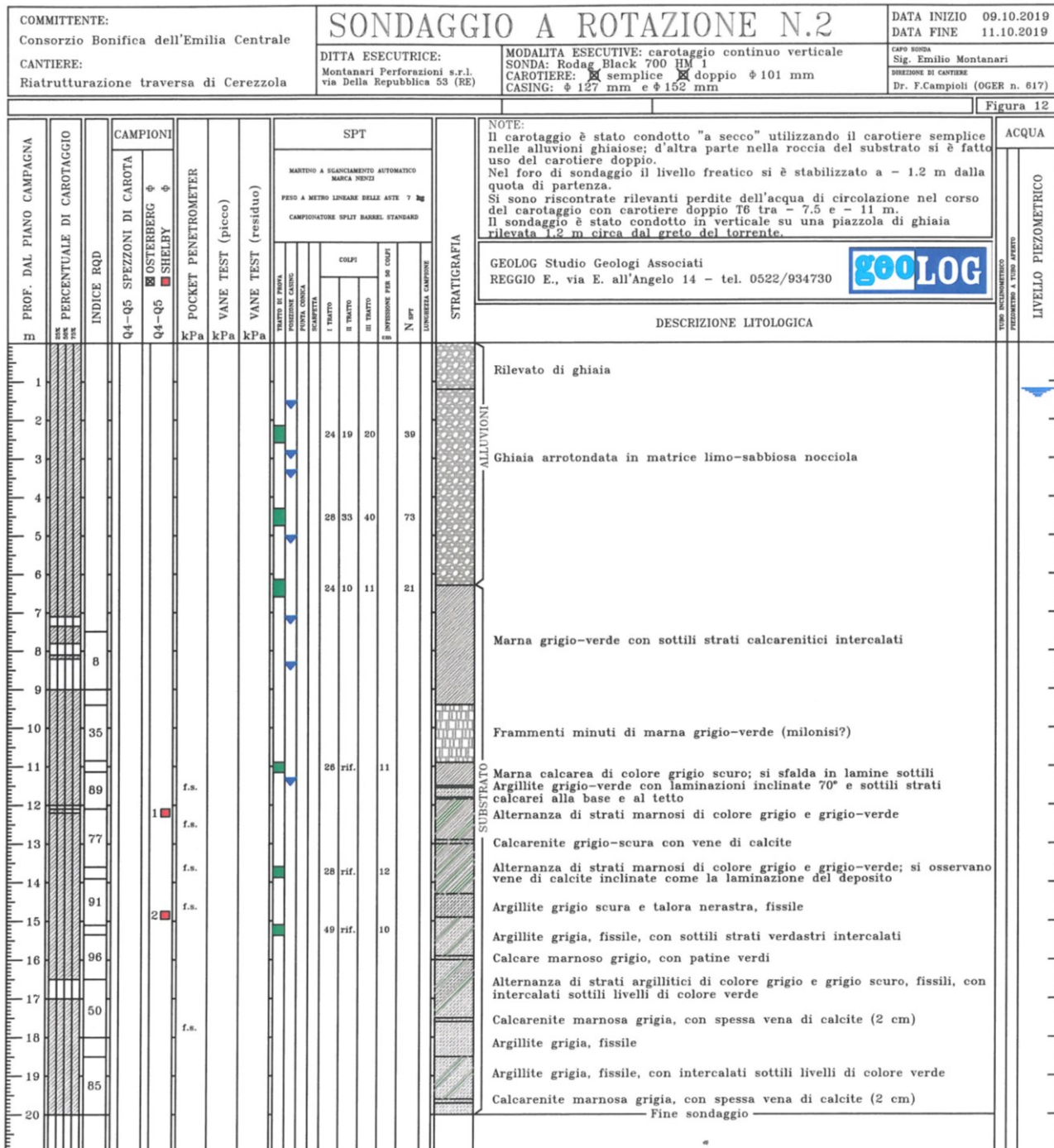


figura 12: stratigrafia sondaggio 2



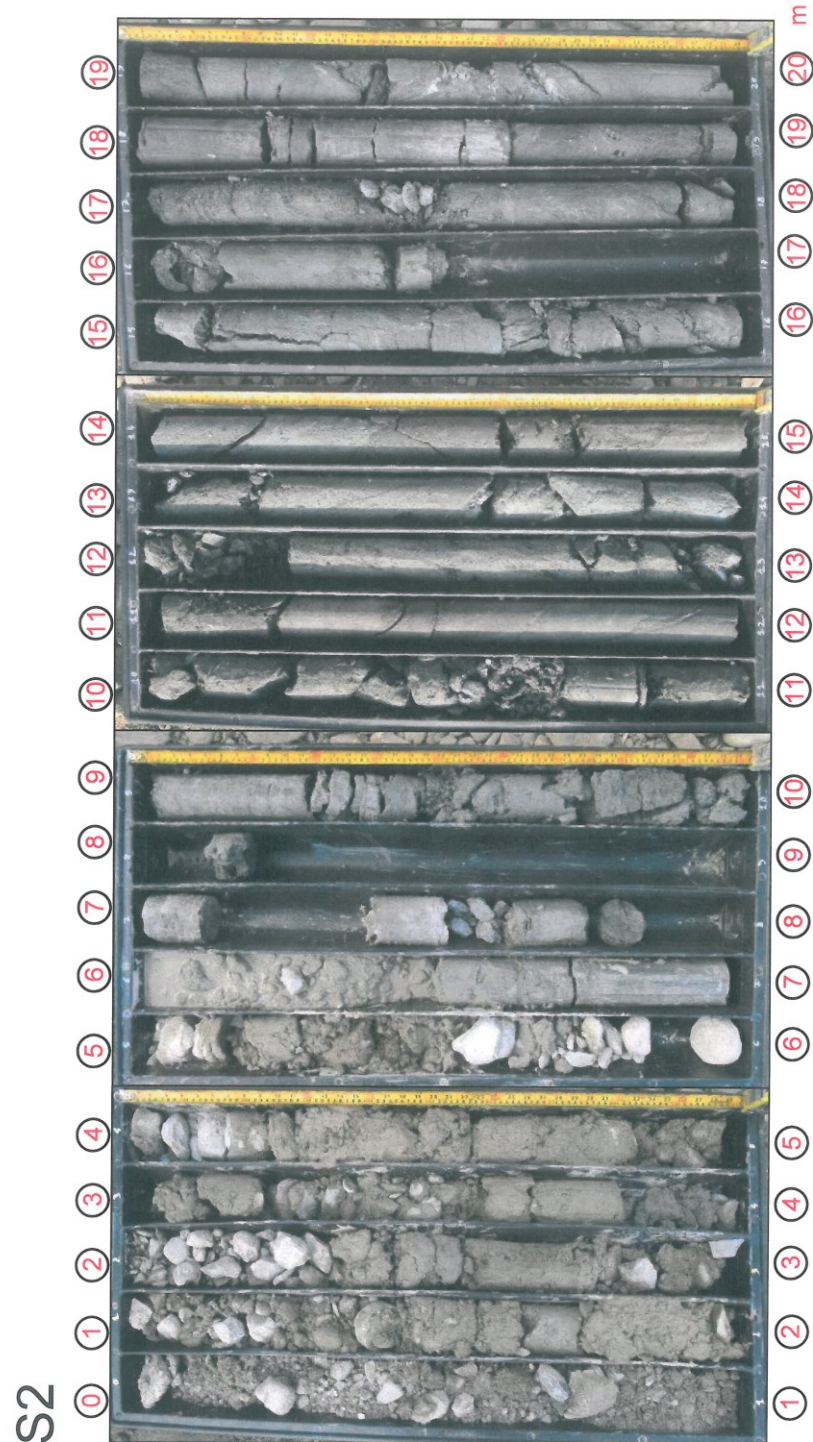


figura 13: raccolta fotografie cassette catalogatrici sondaggio 2



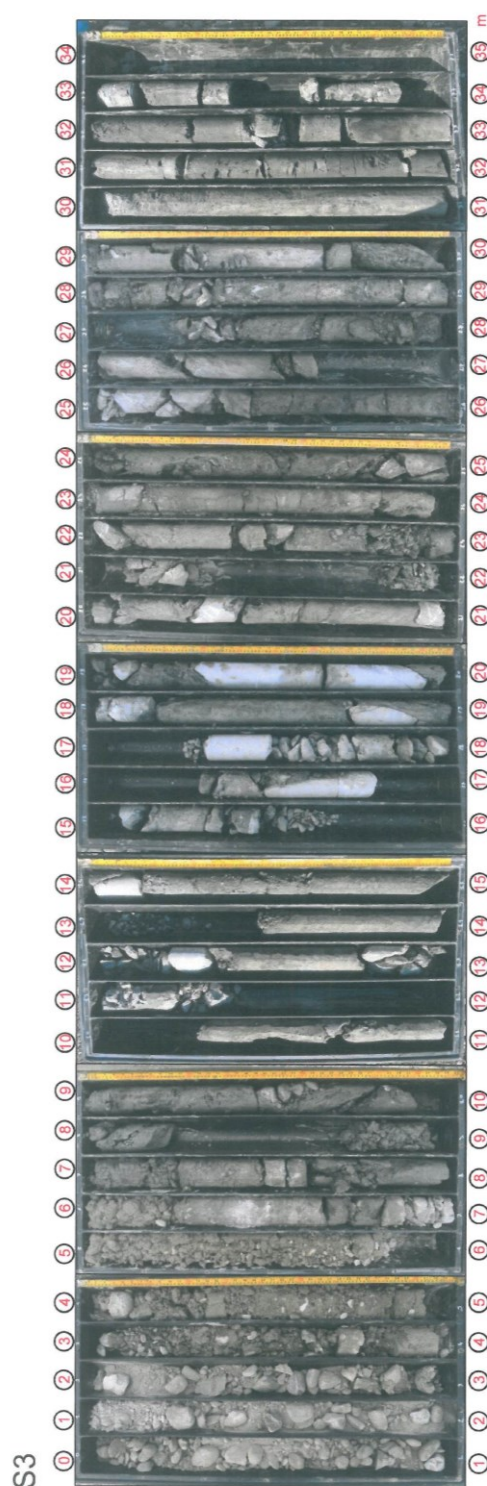


figura 15: raccolta fotografie cassette catalogatrici sondaggio 3



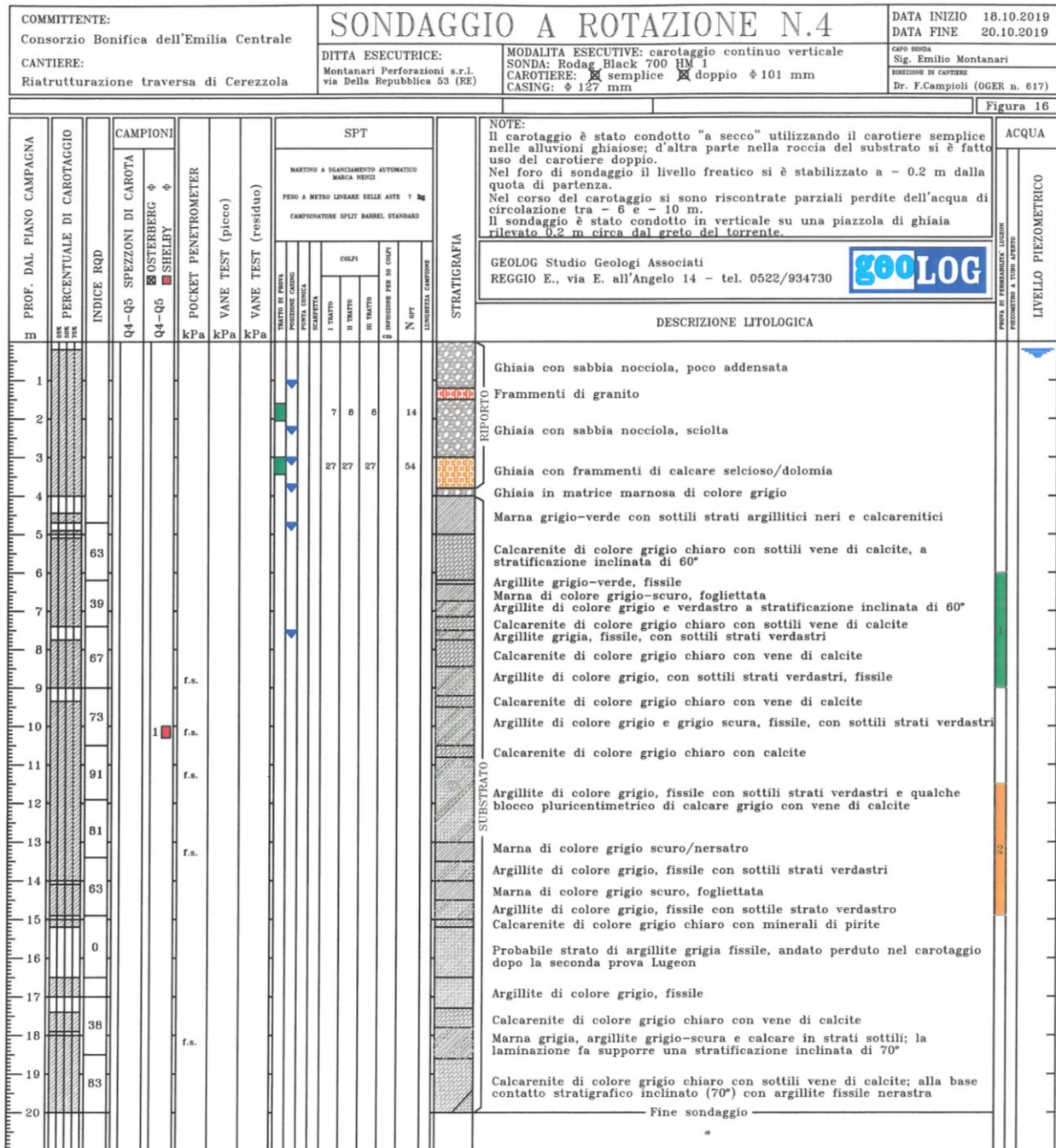


figura 16: stratigrafia sondaggio 4



figura 17: raccolta fotografie cassette catalogatrici sondaggio 4

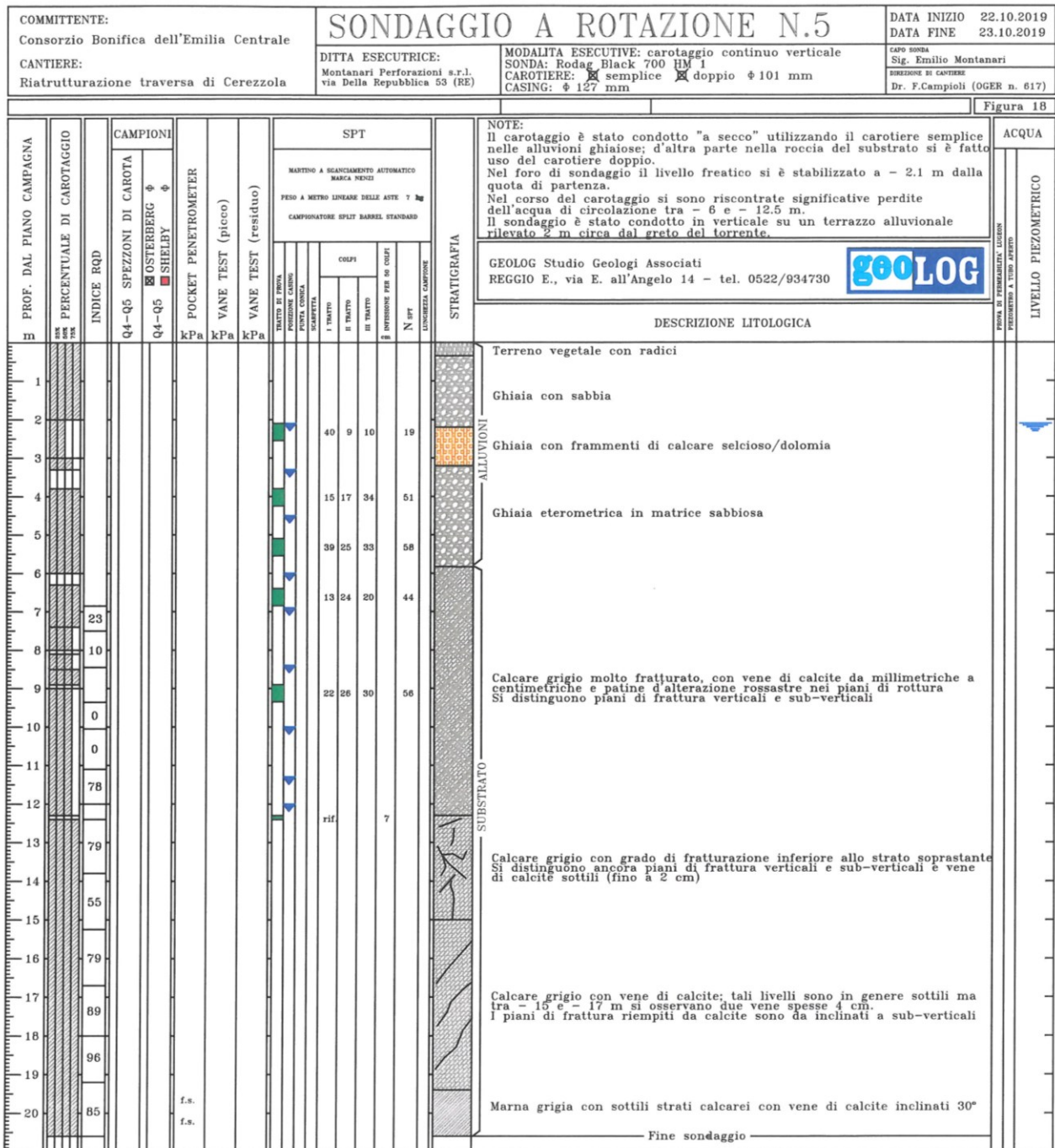


figura 18: stratigrafia sondaggio 5





figura 19: raccolta fotografie cassette catalogatrici sondaggio 5



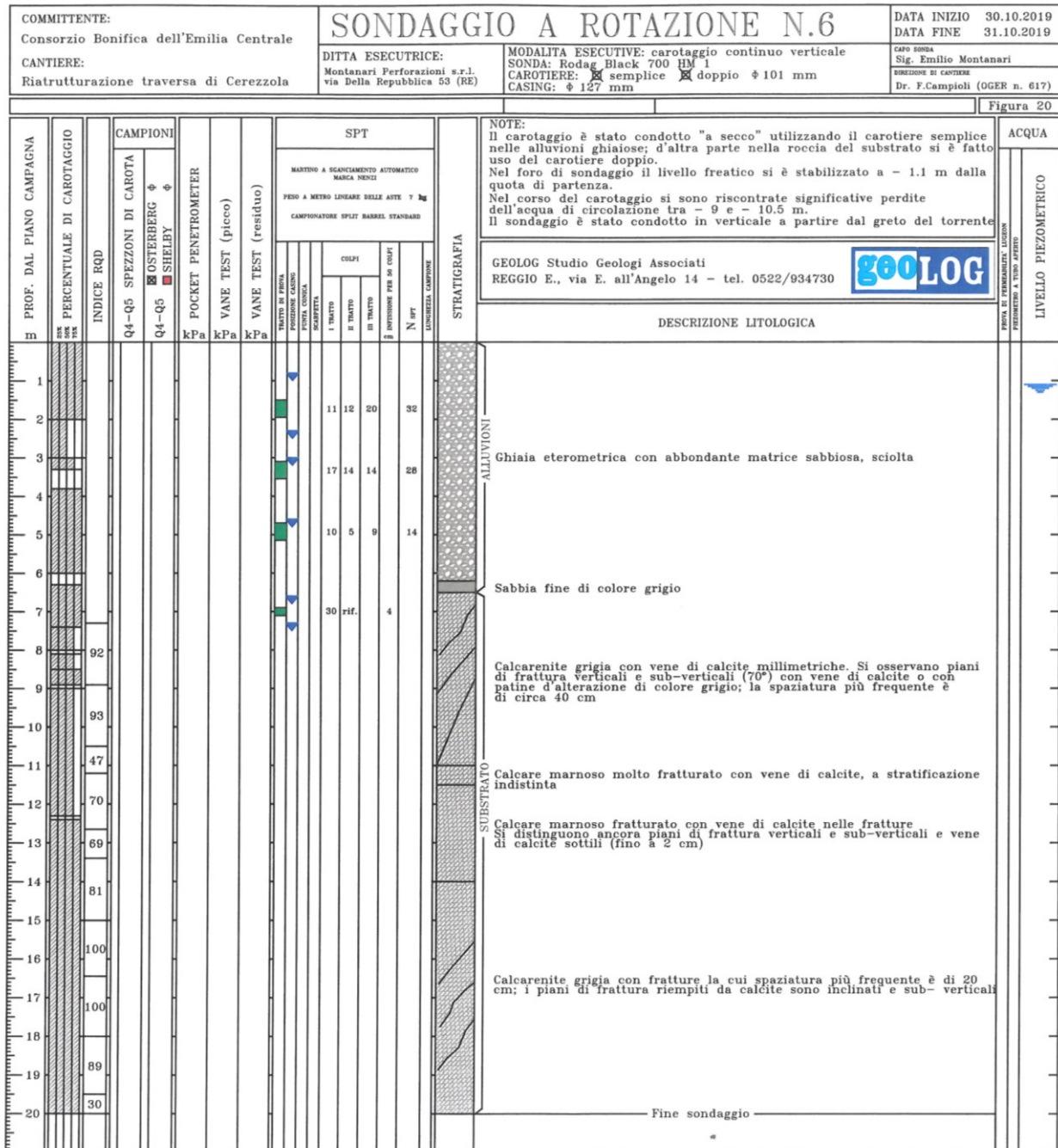


figura 20: stratigrafia sondaggio 6

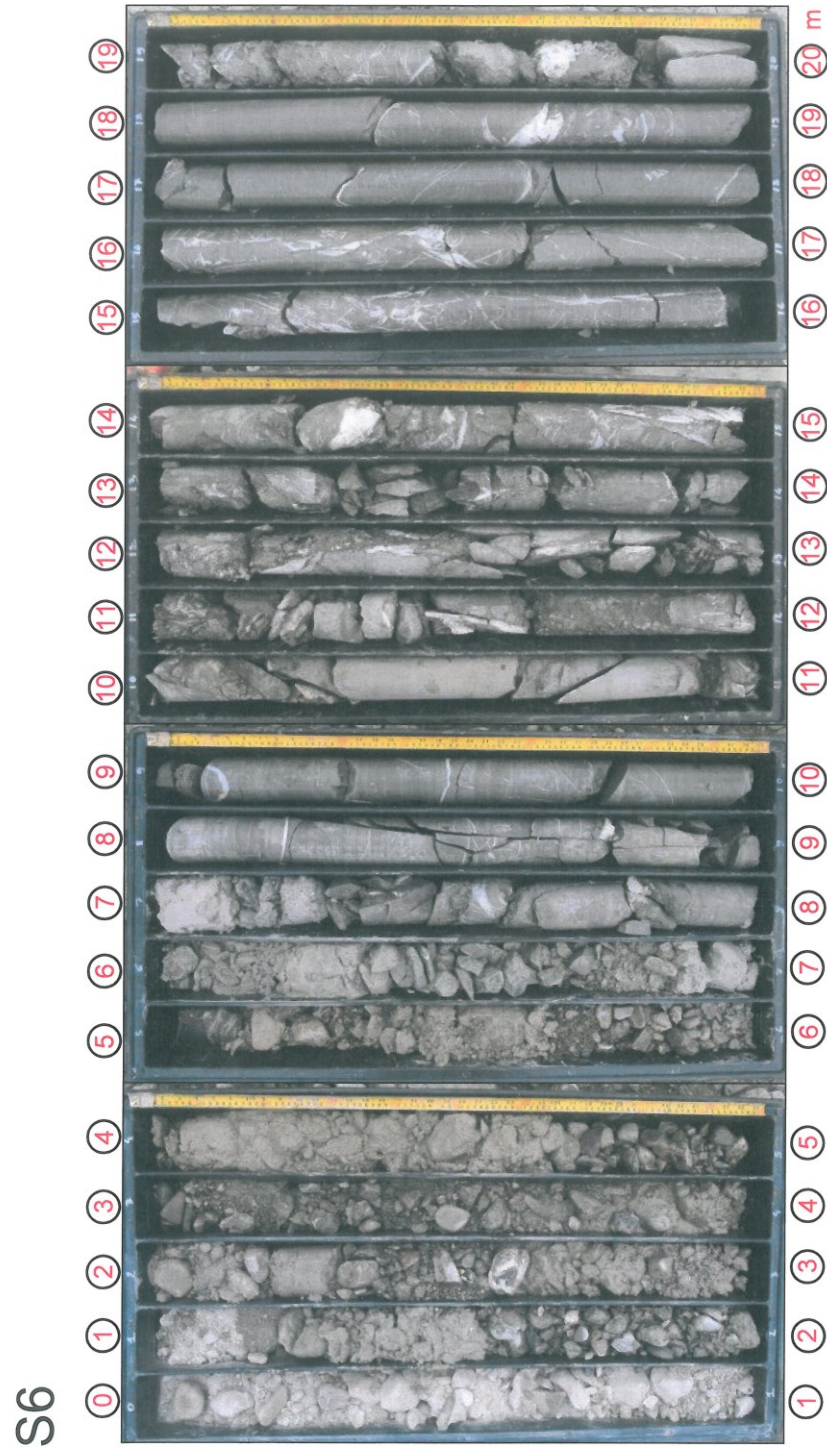


figura 21: raccolta fotografie cassette catalogatrici sondaggio 6

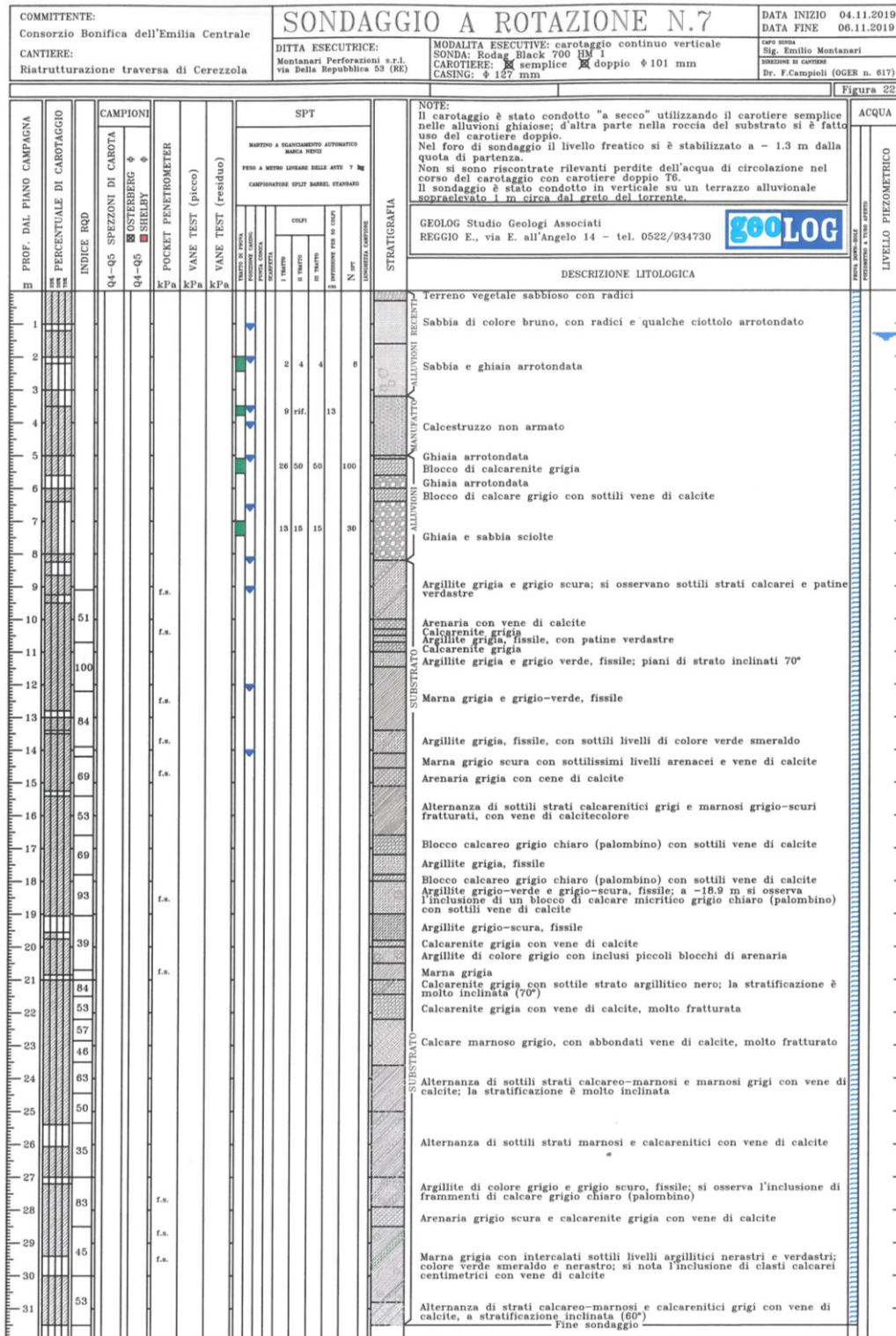


figura 22: stratigrafia sondaggio 7



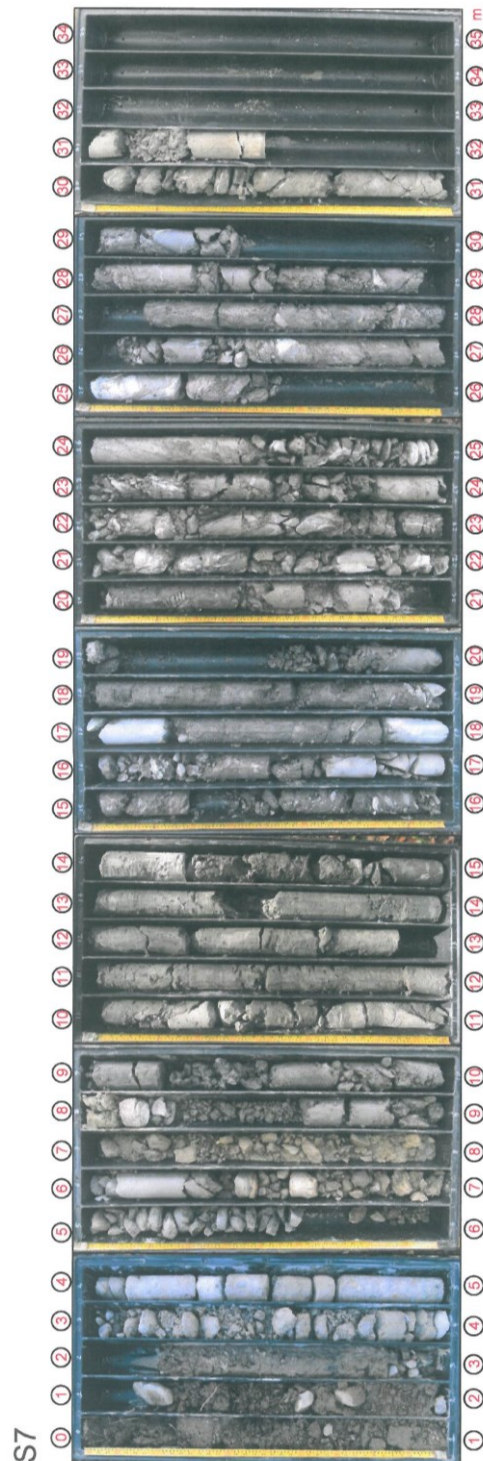


figura 23: raccolta fotografie cassette catalogatrici sondaggio 7

### 3 INDAGINI SISMICHE

#### 3.1 Prospezioni Down-Hole

Ai fini della valutazione semplificata della risposta sismica locale, le *NTC 2018* richiedono che la “categoria di sottosuolo” sia stabilita sulla base del profilo della velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$ .

Per la misura delle  $V_s$  nei volumi d’interesse della traversa e della soglia, si sono eseguite due prove Down Hole, rispettivamente nei fori di sondaggio S3 e S7 (gli output sono posti in allegato).

La Ditta chiamata a collaborare nelle operazioni in situ è lo Studio Tecnico Associato C.G.A. di San Giovanni in Persiceto (BO), specializzato in indagini geofisiche.

La metodica ed i risultati sono nell’allegata relazione specialistica; i valori medi di  $V_s$  dedotti secondo il *metodo diretto* sono sintetizzati nei diagrammi seguenti, assieme ad alcune fotografie dei test.

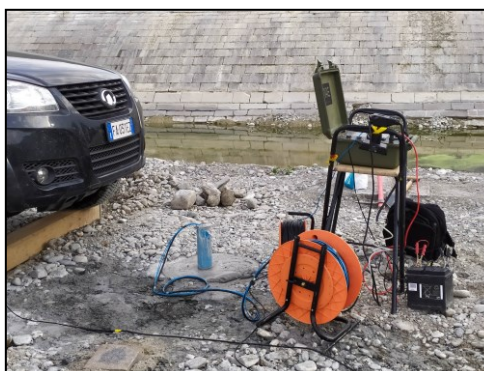
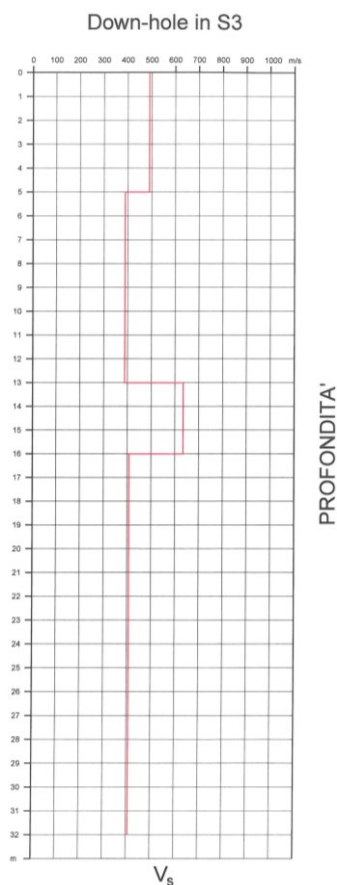


figura 24: Down-Hole in S3

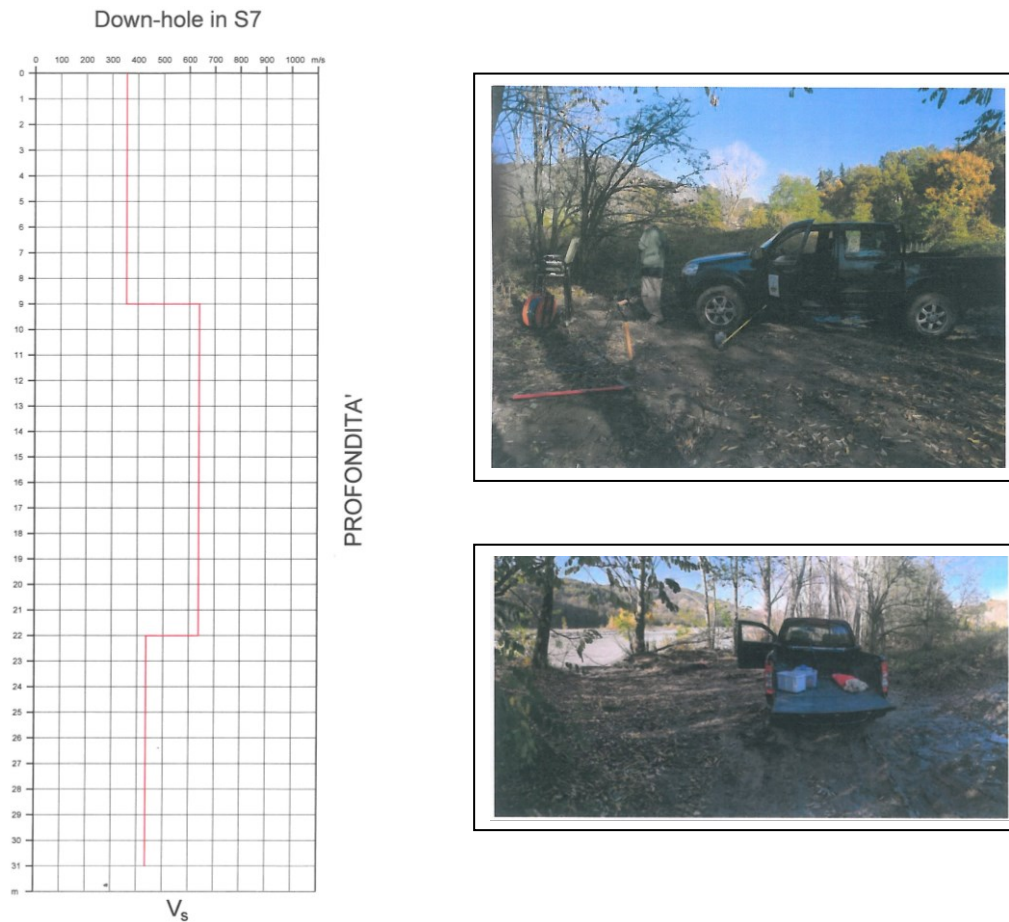


figura 25: Down-Hole in S7

Laddove la profondità del substrato sismico (inteso come quella formazione costituita da terreno rigido caratterizzato da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s) risulti superiore a 30 m, come nei casi in questione,  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ .

La media pesata dei valori nei primi 30 m di sottosuolo secondo le disposizioni normative fa stimare:

$$V_{s(30)\text{in } S3} = 30 / \sum_{i=1,N} (h_i / V_{s1}) = 422 \text{ m/s}$$

$$V_{s(30)\text{in } S7} = 30 / \sum_{i=1,N} (h_i / V_{s1}) = 468 \text{ m/s}$$

che classificano il sottosuolo nella **Categoria B**.

Come si vede, i valori  $V_s$  registrati sono di gran lunga inferiori al valore convenzionale (800 m/s) che apre il campo delle rocce per le quali è possibile trascurare il decadimento del modulo di taglio  $G$  e l'incremento del damping viscoso  $D$  nell'ambito deformativo proprio dei sismi.

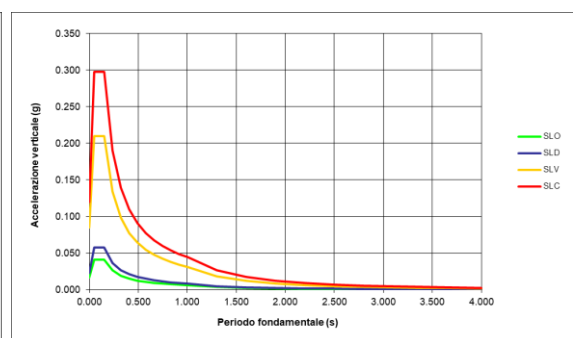
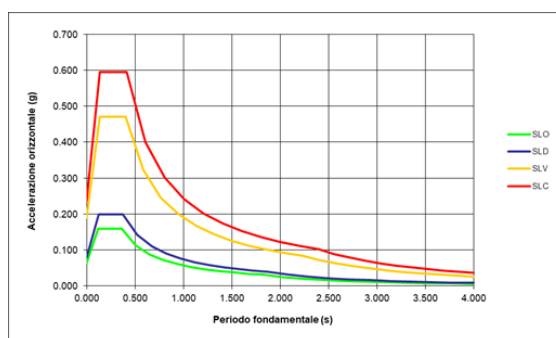
In quest'ambito il substrato argillitico indagato è da classificarsi poco più che una terra compatta o più precisamente come una roccia meccanicamente debole (weak rock).

Il problema fondamentale riguarda la profondità del bed rock sismico, che in entrambi in casi non coincide con quello stratigrafico, e la conseguente amplificazione del segnale sismico, da risolvere in termini d'accelerazione.

Note le coordinate geografiche, prendendo a riferimento il centro dei due sbarramenti (traversa: Lat. 44.5788, Long. 10.4031 – soglia in progetto: Lat. 44.5725, Long. 10.4030), la categoria di sottosuolo (**B**), la categoria topografica dei siti d'imposta (**T1**) e la classe d'uso dei manufatti (**II**), le *Norme tecniche per le costruzioni 2018* offrono la chiave per determinare i parametri d'accelerazione al suolo da mettere in conto.

Le figure 26 e 27 riportano i dati di *input* del procedimento normativo, gli spettri d'accelerazione calcolati (nella condizione di campo libero, per un fattore di struttura unitario e smorzamento viscoso convenzionale pari al 5%) e le accelerazioni attese al suolo per effetto dell'amplificazione stratigrafica.

Classe d'uso:	2	Categoria sottosuolo:	B	Numero decimali per : $T_R$ (anni)	0
Vita nominale:	50	Categoria topografica:	T1	$a_g$ (g)	4
Latitudine:	44.5788	Smorzamento viscoso % $\xi$ :	5	$F_0$	3
Longitudine:	10.4031			$T_C^*$ (s)	3
P <sub>VR</sub> %	SLO 81 SLD 63 SLV 10 SLC 5	Fattori di riduzione	4 1 1 1		
Punti della maglia di riferimento utilizzati					
	ID	Longitudine	Latitudine	Distanza (km)	Note:
Primo	16273	10.402	44.595	1.8	
Secondo	16495	10.405	44.545	3.76	
Terzo	16274	10.472	44.597	5.82	
Quarto	16496	10.475	44.547	6.71	
Risultati					
	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$	$T_C^*$ (s)	Spostamenti e velocità orizzontali del terreno
Stato limite operativo	30	0.0535	2.480	0.248	$T_R$ (anni) $d_g$ (cm) $V_g$ (cm/s)
Stato limite di danno	50	0.0666	2.490	0.260	SLO 30 1.05 0.37
Stato limite di salvaguardia della vita	475	0.1578	2.482	0.284	SLD 50 1.40 0.48
Stato limite di collasso	975	0.1985	2.493	0.292	SLV 475 4.24 1.22
					SLC 975 5.86 1.57



- stato limite operativo (SLO)
- stato limite di danno (SLD)
- **stato limite di salvaguardia della vita (SLV)**
- stato limite di collasso (SLC)

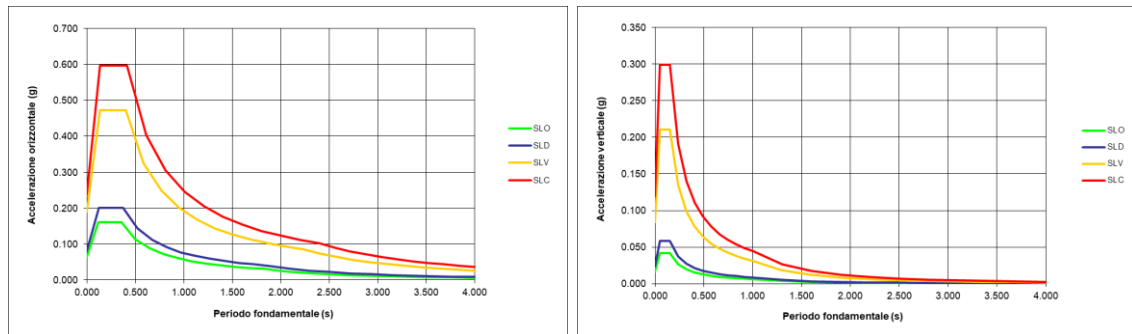
Orizzontali	Verticali
$a_{hmax} = 0.064 \text{ g}$	$a_{vmax} = 0.017 \text{ g}$
$a_{hmax} = 0.080 \text{ g}$	$a_{vmax} = 0.023 \text{ g}$
$a_{hmax} = \mathbf{0.189 \text{ g}}$	$a_{vmax} = \mathbf{0.085 \text{ g}}$
$a_{hmax} = 0.238 \text{ g}$	$a_{vmax} = 0.119 \text{ g}$

figura 26: spettri d'accelerazione – traversa di Cerezzola



Classe d'uso:	2	Categoria sottosuolo:	B	Numero decimali per : $T_R$ (anni)	0	
Vita nominale:	50	Categoria topografica:	T1		$a_g$ (g)	4
Latitudine:	44.5725	Smorzamento viscoso % $\xi$ :	5		$F_0$	3
Longitudine:	10.403				$T_C^*$ (s)	3
$P_{VR}$ %	SLO	81	1	Fattori di riduzione		
	SLD	63	1			
	SLV	10	1			
	SLC	5	1			
Punti della maglia di riferimento utilizzati						
	ID	Longitudine	Latitudine	Distanza (km)	Note:	
Primo	16273	10.402	44.595	2.5		
Secondo	16495	10.405	44.545	3.06		
Terzo	16272	10.332	44.593	6.07		
Quarto	16494	10.335	44.543	6.31		
Risultati						
		$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$	$T_C^*$ (s)	
Stato limite operativo		30	0.0539	2.480	0.244	
Stato limite di danno		50	0.0671	2.489	0.260	
Stato limite di salvaguardia della vita		475	0.1577	2.492	0.286	
Stato limite di collasso		975	0.1985	2.504	0.295	

Spostamenti e velocità orizzontali del terreno					
	$T_R$ (anni)	$d_g$ (cm)	$V_g$ (cm/s)		
SLO	30	1.04	0.37		
SLD	50	1.41	0.48		
SLV	475	4.27	1.22		
SLC	975	5.90	1.58		



- stato limite operativo (SLO)
- stato limite di danno (SLD)
- **stato limite di salvaguardia della vita (SLV)**
- stato limite di collasso (SLC)

Orizzontali	Verticali
$a_{hmax} = 0.065$ g	$a_{vmax} = 0.017$ g
$a_{hmax} = 0.081$ g	$a_{vmax} = 0.023$ g
<b><math>a_{hmax} = 0.189</math> g</b>	<b><math>a_{vmax} = 0.085</math> g</b>
$a_{hmax} = 0.238$ g	$a_{vmax} = 0.119$ g

figura 27: spettri d'accelerazione – nuova traversa di monte

### 3.2 Rifrazione sismica

Al fine di correlare i dati stratigrafici forniti dai sondaggi S6 e S7, eseguiti alle estremità della soglia di monte in progetto, si è condotto, al centro dell'alveo, un test sismico a rifrazione con metodo tomografico, utilizzando uno stendimento di 24 geofoni con interasse pari a 3 m, per una lunghezza complessiva di 70.5 m.

La figura 28 seguente mostra l'ubicazione del test; il documento prodotto dagli specialisti è in allegato.



figura 28

L'immagine tomografica risultante è la seguente.

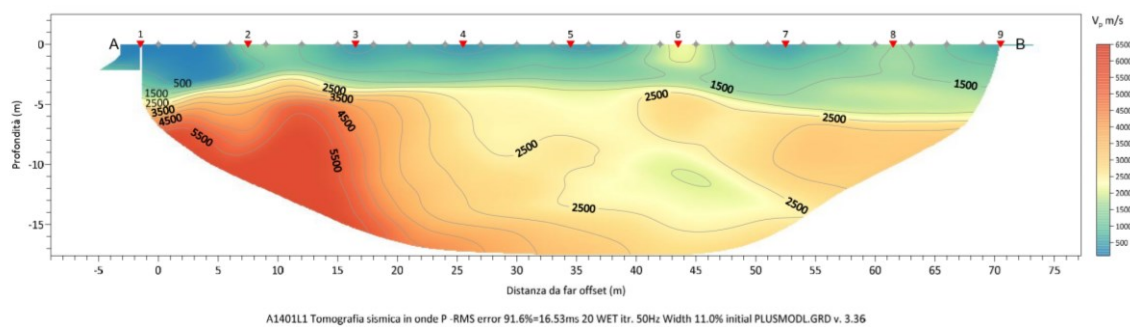


figura 29

L'interpretazione in chiave stratigrafica delle  $V_p$  (velocità di propagazione delle onde di volume longitudinali P, che determinano fenomeni di compressione ed estensione nella direzione di propagazione dell'onda) fornita è la seguente:

- in superficie, fino a 7÷8 m dal p.c., si trova un materasso di depositi alluvionali, caratterizzato da valori  $V_p$  inferiori a 2000 m/s (colori azzurro, blu e verde);
- più sotto si trova il substrato roccioso, che fa registrare valori  $V_p$  compresi tra 2500 e 5500 m/s (colori dall'arancione al rosso).

Di grande interesse è la zona al di sotto dello shot 6, costituente una discontinuità del substrato, caratterizzata da valori  $V_p$  inferiori a 2500 m/s (di colore giallo), interpretabile come una fascia meccanicamente più fragile.

Potrebbe trattarsi di una breccia di frizione, ascrivibile ad una faglia con inclinazione di circa 30° verso Ovest.

#### 4 PERICOLOSITÀ SISMICA

Come noto, la struttura della Catena Appenninica è caratterizzata da una serie di superfici di accavallamento dette “thrust”, con direzione NW-SE, immersione dei piani di scivolamento a SW e vergenza di propagazione a NE.

Nella planimetria di figura 30 si osserva la distribuzione in pianta di tali strutture.

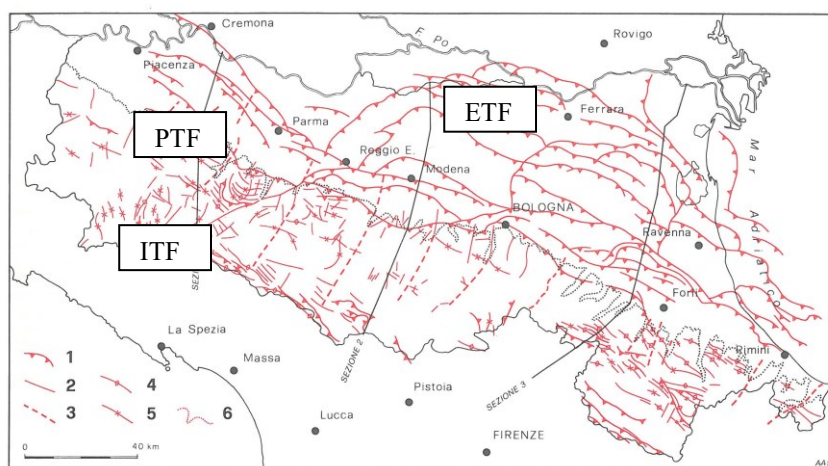


Fig. 7 Struttura tettonica semplificata dell'Appennino emiliano-romagnolo e dell'avanzossa padano-adriatica. 1-Principali accavallamenti; 2-Principali faglie dirette; 3-Principali faglie dirette trasversali al margine appenninico, con componente trascorrente certa o probabile; 4-Principali strutture anticlinali; 5-Principali strutture sinclinali; 6-Limita fra rilievo e pianura. (Modificato da Castellarin e altri, 1986).

figura 30

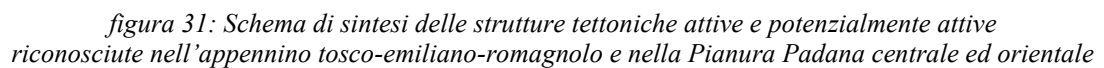
Da queste si evince che il fronte dell'Appennino settentrionale non coincide con il limite morfologico catena-pianura (margine appenninico-padano) ma si trova circa all'altezza del Po, dove sovrascorre verso Nord sulla piattaforma padano-veneta.

Lo schema tettonico classico distingue tre sistemi di thrust, allineati all'incirca con l'asse della catena, procedendo da SW a NE:

- un fronte di accavallamento più interno (ITF l'acronimo della letteratura specialistica), che riguarda perlopiù il crinale appenninico,
- un fronte intermedio (PTF), che riguarda la zona di passaggio tra la catena appenninica e la Pianura Padana, e che coinvolge la zona in esame
- un fronte esterno (ETF) che raggruppa i thrust sepolti sotto alla Pianura Padana, a cui sono correlati i sistemi di Pieghe Emiliane, Ferraresi ed Adriatiche.

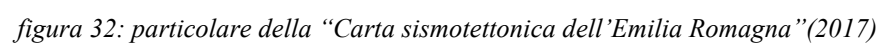
a cui sono associate altre dislocazioni trasversali.

Ovviamente non tutte le strutture risultano attive; in figura 31 si propone la nuova carta sismotettonica regionale (Martelli et al., 2017), in cui sono indicate le strutture in grado d'influencare la pericolosità sismica (la posizione della traversa è indicata dal circoletto nero).



---

posizione traversa



Si evince che la traversa non ricade in corrispondenza di strutture tettoniche attive.



#### 4.1 Sorgenti sismogenetiche

Altre informazioni utili per valutare la pericolosità sismica possono essere tratte dalla banca-dati DISS (acronimo di *Database of Italy's Seismogenic Sources*).

Le sorgenti censite nel DISS si basano su dati geologici e geofisici e sono suddivise in due categorie: le Sorgenti Sismogenetiche Individuali (*Individual Seismogenic Sources - ISS*), vale a dire le faglie responsabili di forti terremoti già avvenuti o che si ritiene possano ancora avvenire, e le Sorgenti Sismogenetiche Composite (*Composite Seismogenic Sources - CSS*), ideate per descrivere sistemi di faglia estesi, ancorché con un livello di dettaglio minore delle prime.

In figura 33 è rappresentata la distribuzione a grande scala lungo la penisola italiana.

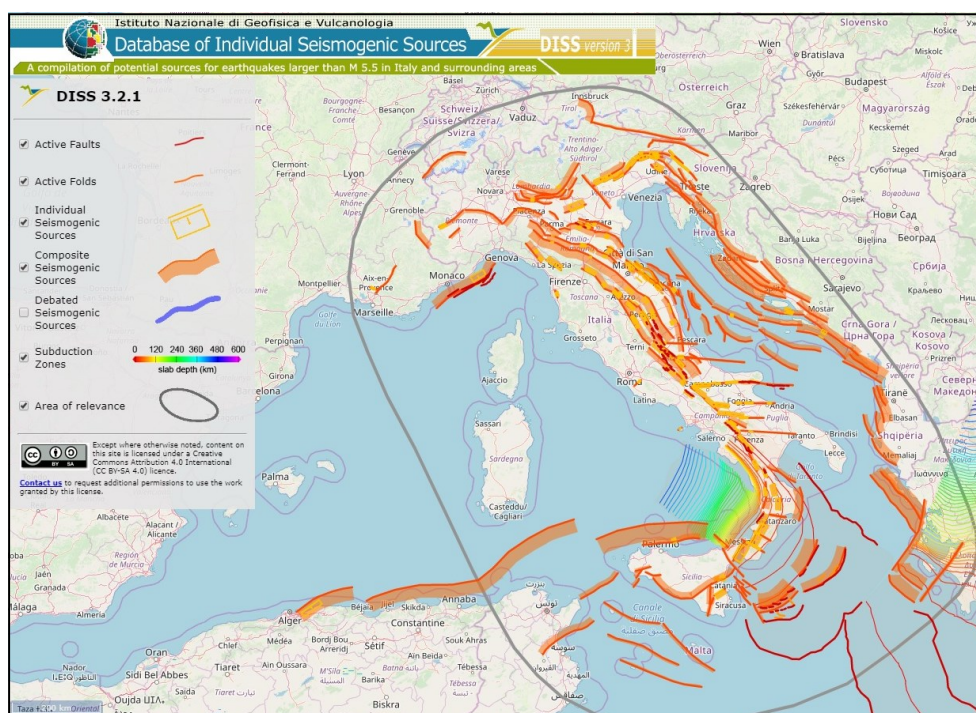


figura 33

Nelle figure 34÷35 sono evidenziate quelle significative per la zona d'interesse (indicata dal circoletto rosso).

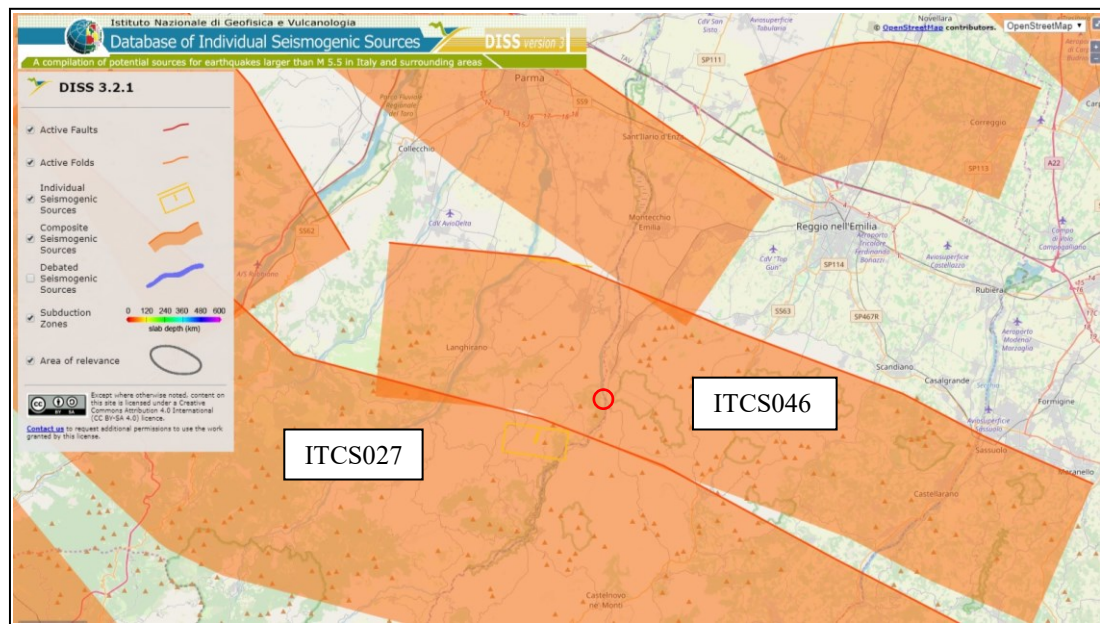


figura 34

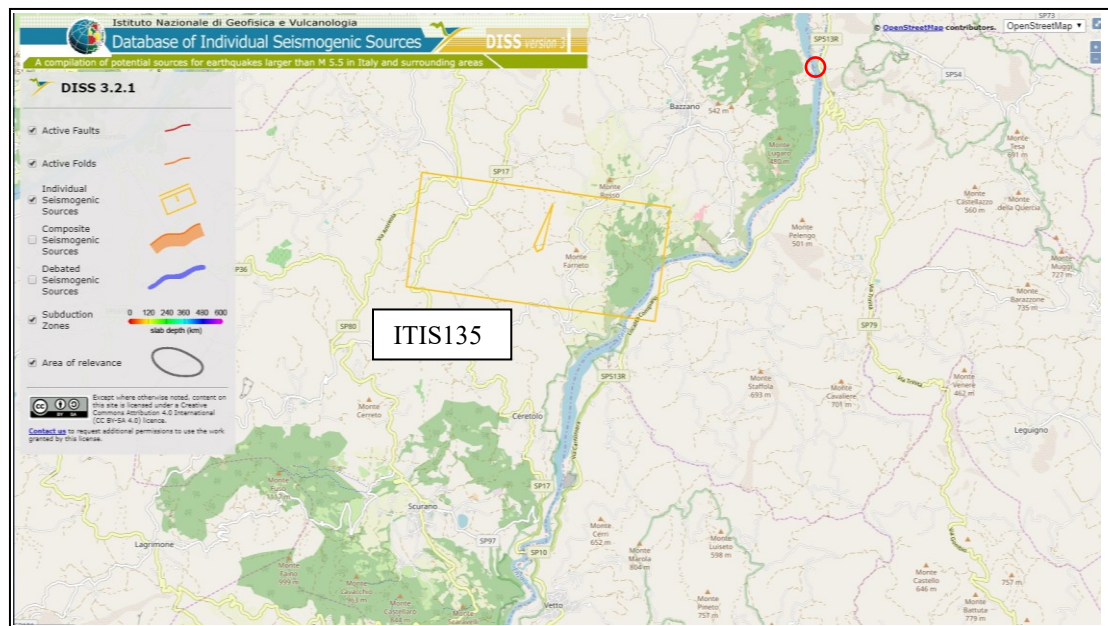


figura 35

Si tratta di due sorgenti composite (ITCS046 Langhirano-Sassuolo e ITCS027 Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga) e di una sorgente individuale (ITIS135 Neviano degli Arduini), le cui caratteristiche parametriche principali sono indicate in tabella 1.



ID	ID	Location	Length	Width	Min depth	Max depth	Strike min	Strike max	Dip min	Dip max	Rake min	Rake max	Slip Rate min	Slip Rate max	Recurrence min	Recurrence max	Magnitude Max
		lat/long	Km	Km	Km	Km	°	°	°	°	°	°	mm/y	mm/y	y	y	Mw
ITCS046	Langhirano-Sassuolo				2	8	95	120	20	40	80	100	0.24	0.63			5.9
ITCS027	Bore - Montefeltro				12	22	90	160	20	55	70	110	0.1	0.5			6.2
ITIS135	Neviano degli Arduini	44.55/10.33	4.9	3.9	18.5	21.7	98		55		79		0.1	0.5	600	3000	5.4

tabella 1

## 4.2 Faglie superficiali

Oltre al rischio di scuotimento sismico, che può essere affrontato in sede di progettazione esecutiva tenendo conto delle accelerazioni previste nei diversi Stati Limite, la valutazione della pericolosità sismica non può trascurare il rischio di fagliazione superficiale, considerate le possibili ripercussioni su una struttura rigida come uno sbarramento in c.a..

A questo scopo ho consultato il database del progetto ITHACA (ITaly HAzard from CAPable faults, Michetti et al., 2000; ITHACA 2015), che segnala le faglie cosiddette “capaci”, vale a dire quelle che potenzialmente possono creare deformazione in superficie (per le quali esiste uno studio, anche a livello minimo e quindi un riferimento bibliografico).

Queste strutture sono considerate come l’espressione superficiale delle strutture sismogenetiche profonde.

La figura 36 seguente mostra l’ubicazione delle strutture individuate nel settore d’interesse.

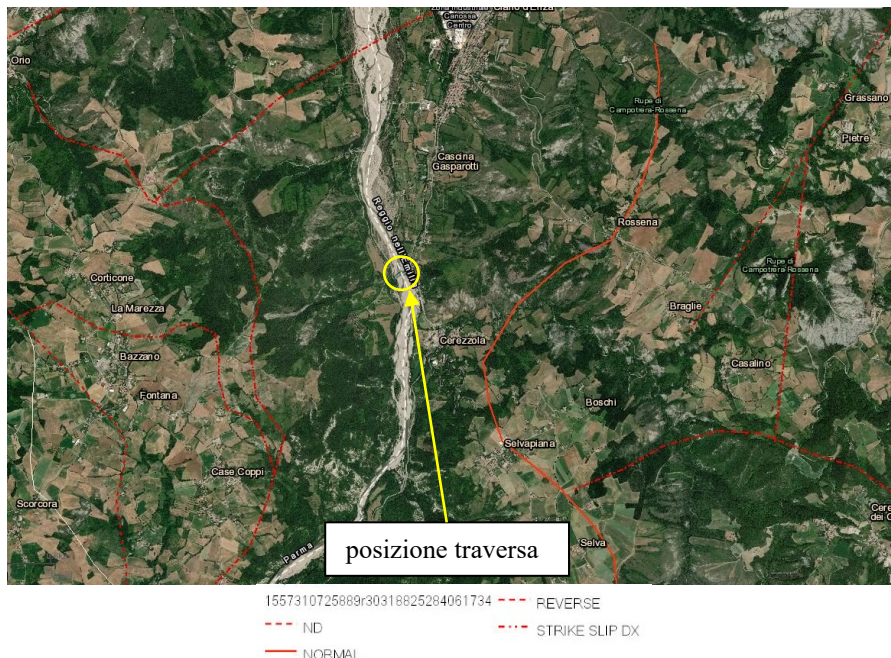


figura 36: ubicazione faglie capaci – database ITHACA (Servizio Geologico d’Italia - ISPRA)

Come si vede, la traversa non ricade nelle vicinanze di strutture di questo tipo.



### 4.3 Zonazione sismica

Gli studi più recenti (Meletti e Valensise, 2004, Meletti et al., 2008) hanno condotto ad una nuova zonazione (ZS9) che costituisce il riferimento per le più attendibili valutazioni della pericolosità sismica.

La figura 37 mostra le fasce sismogenetiche distinte nell'Appennino settentrionale.

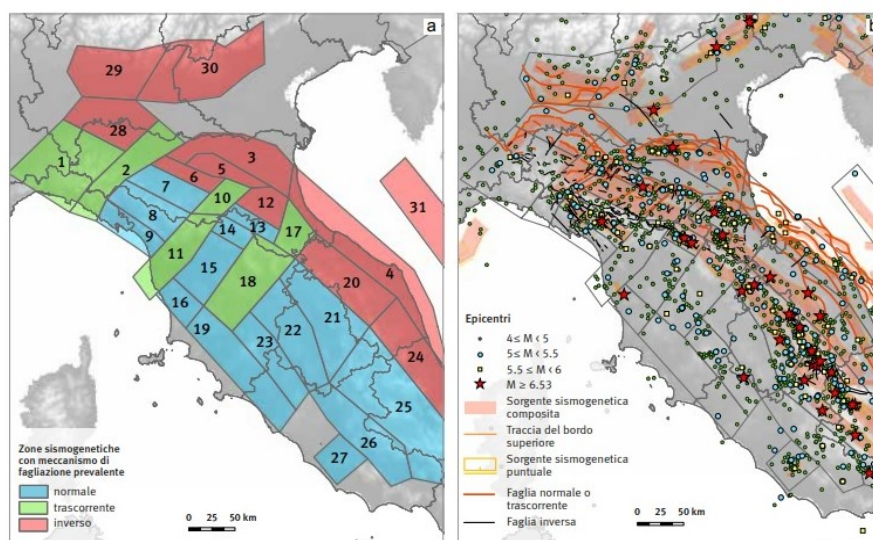


figura 37: la nuova zonazione sismogenetica dell'Appennino settentrionale (dati di riferimento a destra)

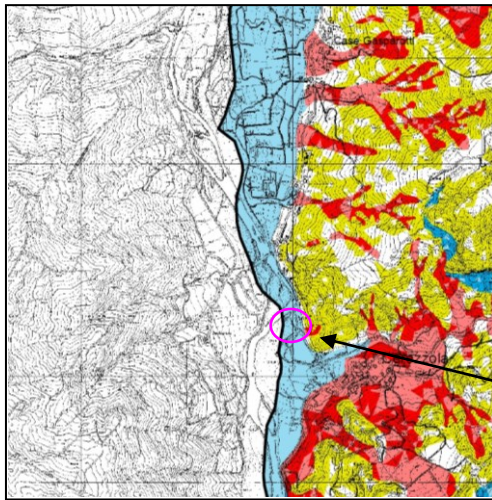
La traversa di Cerezzola ricade nella *Zona 7 Appennino Emiliano* (corrispondente al settore centro-meridionale della precedente zona 913), caratterizzata da sismicità medio-bassa. I terremoti attesi sono sia compressivi, con direzione circa N-S e profondità comprese tra 15 e 35 km, sia distensivi e meno profondi (< 15 km).

La magnitudo storica massima è  $M \approx 5.5$ .

Sotto il profilo normativo, i territori comunali coinvolti (Canossa e Neviano degli Arduini) sono classificati tra le zone 3 secondo D.G.R. n.1677 del 24/10/2005; dunque la pericolosità sotto questo profilo è da considerarsi medio-bassa anche se non trascurabile.

Riguardo agli eventi attesi in caso di sisma, il P.T.C.P. di Reggio Emilia segnala l'eventuale amplificazione stratigrafica e topografica ((vedi estratto dalla Tavola P9a 218NO in figura 38).

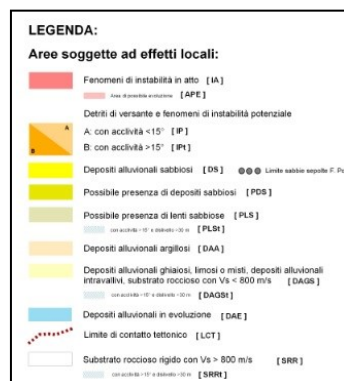
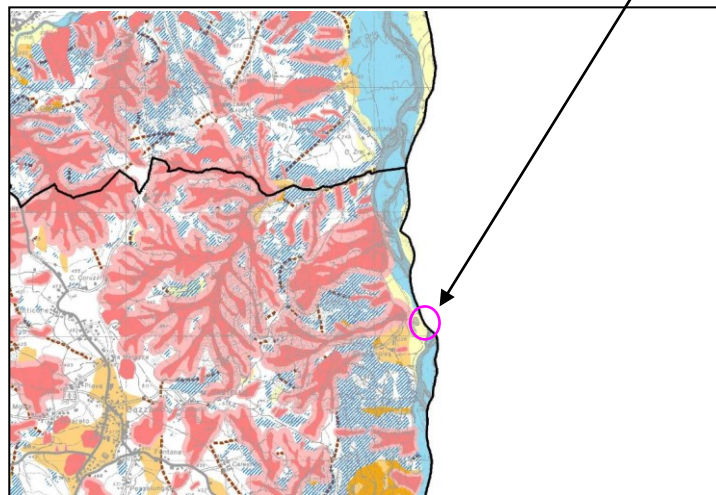
Gli stessi effetti potenziali sono segnalati dal P.T.C.P. di Parma (vedi estratti da Tavole 9 e 13 della "Variante di adeguamento alla normativa sismica regionale LR 19/2008" in figura 39).



CLASSI	EFFETTI ATTESI				
	AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA	AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA	INSTABILITÀ DI VERSANTE	CEDIMENTI	LIQUEFAZIONE
A	X				
B	X	X	X		
C	X				
D	X	X			
E		X			
F	X				X
G	X			X (potenziale)	
H					

posizione traversa

figura 38: estratto da P.T.C.P. Reggio Emilia



**Effetti attesi e indirizzi per la pianificazione comunale:**

CLASSE	Indirizzamento urbanistico	Indirizzamento urbanistico	Indirizzamento urbanistico	Indirizzamento urbanistico	Indirizzamento urbanistico	LIVELLI DI APPROFONDIMENTO
IA	X					II
APE	X					II
IP	X					II
IP4	X	X				II
DS	X					II
PDS	X					II
PLS	X					II
PLS4	X	X				II
DAA	X					II
DAGS	X					II
DAGS4	X	X				II
DAE	X					II
LCT	X					II
SRR						II
SRR4	X					II

figura 39: estratto da P.T.C.P. Parma

## 5 MODELLO STRATIGRAFICO

I risultati delle indagini sono sintetizzati nelle sezioni geologiche riportate nelle figure 41÷42, disegnate interpolando i dati dei carotaggi attuali con quelli di alcuni sondaggi condotti nel 2007 da IRETI, per il progetto di una galleria filtrante realizzata circa 200 m a monte della traversa.

Il modello geologico è articolato e per una sua corretta interpretazione occorre un breve inquadramento geomorfologico.

La traversa di Cerezzola è stata realizzata in corrispondenza dell'ultima strettoia della valle incisa dal Torrente Enza, prima del suo sbocco nell'Alta Pianura reggiana, all'apice del conoide di deiezione depositato in virtù del rallentamento delle acque correnti.

Qui, in epoche precedenti, il torrente ha eroso terreni d'origine marina, che la letteratura specialistica ascrive ai cosiddetti "Complessi di base" ed alle "Successioni flyscioidi" stratigraficamente sovrastanti.

I primi derivano da terre fini (argille) sedimentate per decantazione in bacini oceanici abissali, i secondi sono depositi dovuti a "correnti di torbida" conseguenti a frane sottomarine originatesi lungo la scarpata continentale.

In questo caso, si formano stratificazioni gradate, giacché il deposito della frazione sabbiosa precede i limi, per chiudere il singolo ciclo con le argille.

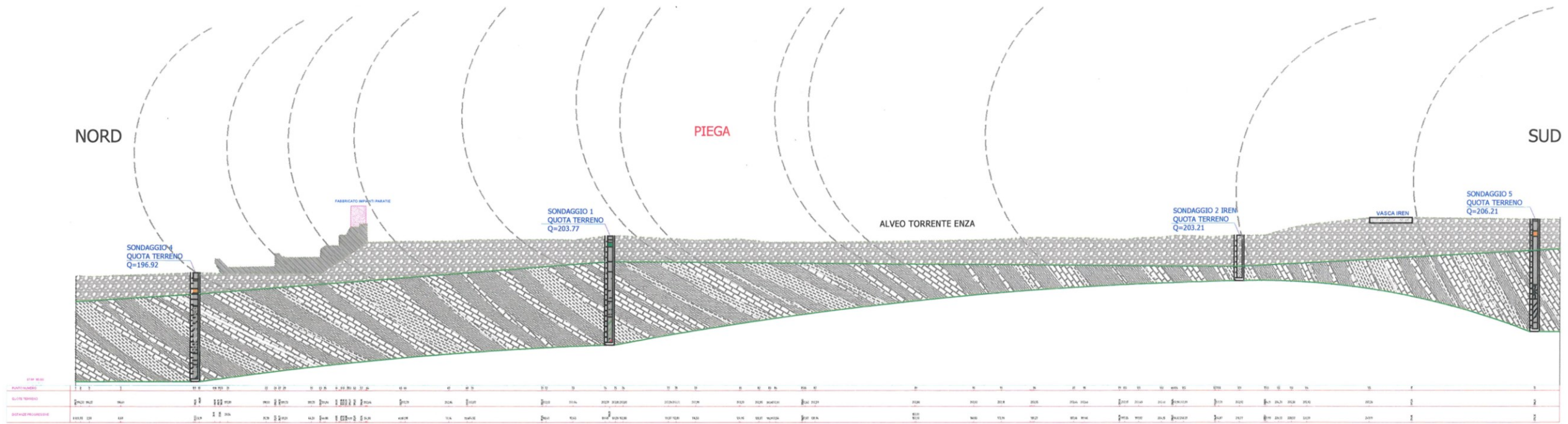
Ripetendosi tale meccanica ed a seguito della litificazione del tutto, si originano le serie ritmiche arenaria-calcare-argilla dei Flysch.

Da segnalare l'aspetto laminato o convoluto della arenarie, a causa dei flussi trattivi nel sedimento non ancora solidificato (figura 40).

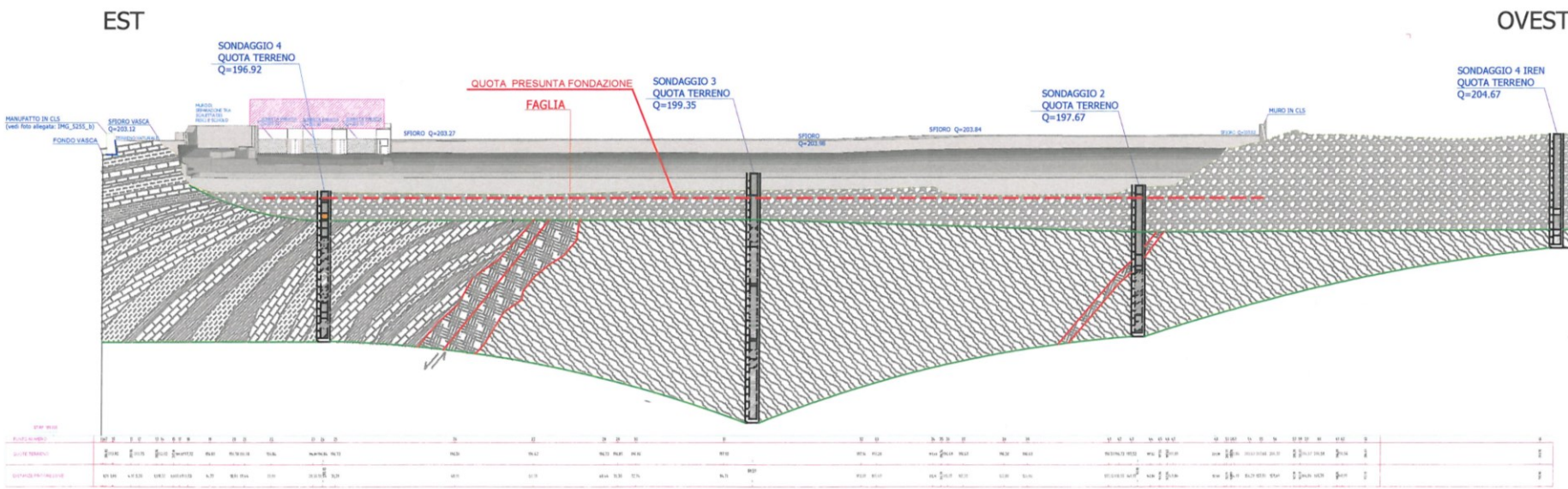


*figura 40: lamine piano parallele e convolute in uno strato arenaceo di S1*





MODELLO LITOSTRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO - SEZIONE 2



MODELLO LITOSTRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO - SEZIONE 1

SEZIONI GEOLOGICHE



scala orizzontale a verticale

LEGENDA

- Alluvioni ghiaiose
- Alluvioni sabbiose
- Flysch di Monte Cassio (Cretaceo sup.)
- Argille a palombini (Cretaceo inf.-medio)
- Faglia/milonisi

figura 41: sezioni geologiche 1 e 2





## LEGENDA

- figura 42: sezioni geologiche 3 e 4

Il mare a cui si fa riferimento è il cosiddetto "oceano ligure-piemontese", posto tra le placche Europea e Africana, nell'area attualmente occupata dall'Appennino, tra il Cretaceo e l'Eocene (130-40 milioni di anni fa).

Alla fine di questo periodo, la convergenza delle suddette placche ha determinato la graduale chiusura dell'oceano, sottoponendo questi depositi a movimenti traslativi in ambiente subacqueo; i sedimenti sono stati sollevati e trasportati per oltre 100 km verso NE, sottoponendoli ad una intensa tettonizzazione,

Tale processo spiega la struttura dell'Appennino, caratterizzata da falde sovrapposte, con rapporti di natura prevalentemente meccanica e complessi stili deformativi.

Nei versanti a cui è sotteso lo sbarramento affiorano rocce che fanno capo alla sia alla formazione delle "Argille a Palombini" (fra le Unità più estese dei "Complessi di base" in Appennino), sia al "Flysch di Monte Cassio".

Le prime sono costituite da argilliti grigio scure, nere e con spalmature verdastre sulle superfici di strato, fissili, e con intercalazioni di calcilutiti grigio chiare, in genere fratturate e pervase da una fitta rete di vene di calcite.

Le seconde si presentano come alternanze ritmiche di calcari, calcari marnosi e marne di colore grigio, con intercalazioni di sottili livelli argillitici grigio-verdastri e neri.

Gli affioramenti osservabili nei versanti, sporadici e limitati, mostrano giaciture sconvolte, con strati rovesciati, dritti (vedi figure 43÷44) e talora a polarità dubbia; nel complesso s'intuisce uno stile deformativo caratterizzato da sovrascorrimenti, con pieghe rovesciate e faglie.



*figure 43÷44: Flysch di Monte Cassio nei versanti in sx. idraulica (foto sx) e in destra idraulica (foto dx)*



L'esito dei sondaggi conferma tale assetto.

In corrispondenza della traversa (sezione geologica 1) i sondaggi S2-S3 hanno intercettato argilliti con rari blocchi calcarei sparsi, senza dubbio associabili alla formazione delle "Argille a Palombini"; d'altra parte in S4 alle argilliti si alternano spessi strati calcarei e marnosi, attribuibili al "Flysch di Monte Cassio".

Dunque, si può ipotizzare l'esistenza di una dislocazione che, alla stessa quota, allinea sedimenti di mare profondo (argilliti) a depositi torbiditici, indicativi del sollevamento del bacino d'origine nell'ambito dei movimenti orogenitici dell'Appennino.

E' prevedibile che il passaggio tra le due unità tettoniche sia caratterizzato da una fascia rocciosa deformata, fratturata e finanche ridotta a frammenti minutissimi talora cementati (milonisi), piuttosto che da una faglia vera e propria con breccia di frizione, tipica di rotture e movimenti in una roccia compente ed a comportamento fragile.

Tale discontinuità fa il paio con quella individuata nel substrato dalla rifrazione sismica condotta trasversalmente al greto del torrente, nel probabile sito d'imposta del nuovo sbarramento, di cui si è fatto cenno nel capitolo precedente.

La sezione 4 mostra il passaggio tra le due Unità, che con uno sforzo d'immaginazione potremmo rappresentare articolate in una piega-faglia.

Anche nella sezione 2, tracciata parallelamente alla sponda destra del torrente, tra lo sbarramento esistente e quello in progetto, e nella sezione 3 trasversale alla stessa sponda, ho evidenziato la possibile giacitura del substrato flyscioide, conformato come una piega rovesciata.

Nell'alveo, il substrato roccioso è sepolto in modo ubiquitario dalle alluvioni ghiaiose del torrente, costituenti una coltre spessa da 4 a 6 m.

Fa eccezione il terrazzo che a monte della traversa, in destra idraulica, per circa 200 m s'interpone tra il talweg ed il versante (figura 45); in S7 il materasso ghiaioso, che si spinge fino a 8 m di profondità, soggiace ad una coltre d'alluvioni sabbiose recenti, spesso un paio di metri.

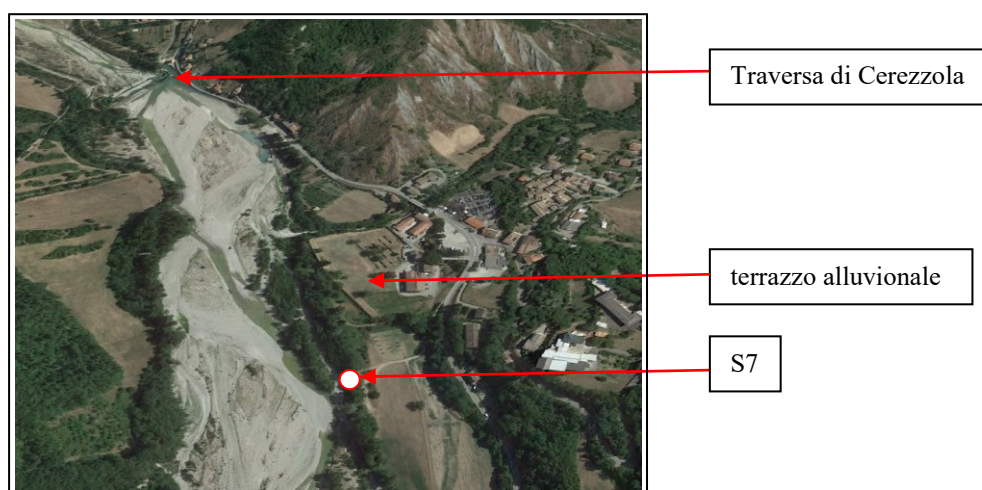


figura 45

In quel sondaggio, tra - 3 e - 5 m di profondità, si è carotato anche un masso di calcare-selcioso giallastro; probabilmente si tratta di ciò che resta di un vecchio pennello di blocchi ciclopici, simile a quelli attualmente disposti a difesa della sponda, poco più a valle (figura 46).



figura 46

Materiali antropici della stessa natura si sono rilevati tra - 3 e - 4 m di profondità anche in corrispondenza dei sondaggi S4 e S5.

## 6 CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE

### 6.1 Ghiaie

Per quanto riguarda la resistenza al taglio in condizioni efficaci, si può trarre qualche numero utile dai test di penetrazione standard (SPT).

L'angolo di resistenza al taglio ( $\phi'$ ) è tratto dalle seguenti relazioni di scuola giapponese (*Yukitache Shioi, Jiro Fukuni, 1982*):

$$\begin{aligned}\phi'_1 &= (15 \cdot (N')_{60})^{0.5} + 15 && \text{(Road Bridge Specification)} \\ \phi'_2 &= (0.3 \cdot (N')_{60}) + 27 && \text{(Japanese National Railway)}\end{aligned}$$

Quanto al modulo elastico, in accordo con *d'Appolonia et Al, 1970*, per ghiaia e sabbia normal-consolidata vale la relazione:

$$E_{(\text{MPa})} = 0.756 \cdot (N_1)_{60} + 18.75$$



La densità relativa è stimata in accordo con le esperienze di Terzaghi-Peck (1948) e Skempton (1986), sintetizzate nella figura 47 seguente:

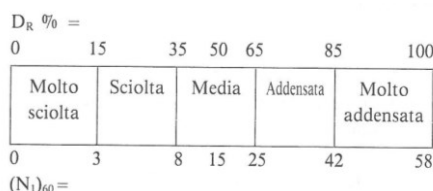


figura 47

### 6.1.1 Alluvioni alla base della traversa di Cerezzola

La tabella 2 riporta il campione dei dati ed i risultati delle correlazioni.

Sondaggio	Profondità dal p.c.	N <sub>(0-15)</sub>	N <sub>(15-30)</sub>	N <sub>(30-45)</sub>	N <sub>spt</sub>	Ø' 1	Ø' 2	E	D <sub>R</sub>
-	(m)	-	-	-	-	(°)	(°)	MPa	-
S2	2.00-2.45	24	19	20	39	39.2	38.7	48	densa
S2	4.30-4.75	28	33	40	73	48.1	48.9	74	molto densa
S3	3.00-3.45	26	20	16	36	38.2	37.8	46	densa
S3	5.00-5.45	13	12	12	24	34.0	34.2	37	media
S4	1.60-2.05	7	8	6	14	29.5	31.2	29	sciolta/media
S4	3.00-3.45	27	27	27	54	43.5	43.2	60	molto densa

1,2 (secondo Yukiwake Shioi e Jiro Fukuni, 1982)

tabella 2

Come si vede, in un caso (secondo test in S2) i valori  $\phi'$  ottenuti eccedono quello massimo reale ( $45^\circ$ ); ciò si spiega con la sovrastima del dato di base, probabilmente dovuta al grado di addensamento del deposito e alla dimensione dei clasti, che supera quella del puntale.

D'altra parte il dato  $\phi'$  più superficiale di S4 risulta estremamente basso; ciò si spiega col modesto addensamento della compagine (costituita da ghiaia con sabbia e frammenti lapidei alloigeni di calcare selcioso), probabilmente riportata di recente per colmare una depressione dovuta all'erosione dell'acqua in caduta dalla traversa.

Allineando il valore in S2 al dato reale ed elaborando i dati di  $\phi'$  secondo il criterio del 5° percentile della media, si ricava il seguente valore *caratteristico*:

$$\phi'_k = 37.5^\circ$$

Lo stato di addensamento è medio-alto.

Il peso di volume  $\gamma$  è intorno a  $19 \text{ kN/m}^3$ .

Per quanto attiene al modulo di compressibilità, in via cautelativa si può assumere:

$$E_k = 50 \text{ MPa.}$$

### 6.1.2 Alluvioni a monte della traversa (c/o muro di sostegno in dx. idraulica)

Il campione dei dati ed i risultati delle correlazioni sono raccolti nella tabella 3.

Sondaggio	Profondità dal p.c.	N <sub>(0-15)</sub>	N <sub>(15-30)</sub>	N <sub>(30-45)</sub>	N <sub>spt</sub>	Ø' <sub>1</sub>	Ø' <sub>2</sub>	E	D <sub>R</sub>
-	(m)	-	-	-	-	(°)	(°)	MPa	-
S1	2.10-2.55	18	18	17	35	37.9	37.5	45	densa
S1	3.50-3.95	9	19	12	31	36.6	36.3	42	media
S5	2.10-2.55	40	9	10	19	31.9	32.7	33	media
S5	3.80-4.25	15	17	34	51	42.7	42.3	57	molto densa
S5	5.10-5.55	39	25	33	58	44.5	44.4	63	molto densa

1,2 (secondo Yukiwake Shioi e Jiro Fukuni, 1982)

tabella 3

Lo stato di addensamento è medio-alto; il peso di volume  $\gamma$  si considera ancora pari a 19 kN/m<sup>3</sup>.

Anche in questo caso spicca il dato  $\phi'$  più superficiale di S5, che risulta basso; si tratta di alluvioni ghiaiose con sabbia e frammenti lapidei alloigeni (calcare selcioso), interpretabili come materiale di riporto.

Probabilmente in questo punto il terrazzo alluvionale è stato ricostituito a seguito degli sbancamenti necessari alla realizzazione della galleria filtrante di IRETI ed in particolare della vasca di accumulo che si trova poco a valle.

Trascurando quel dato anomalo ed elaborando i restanti secondo il criterio del 5° percentile della media, anche in questo caso il valore *caratteristico* risulta  $\phi'_k = 37.5^\circ$ .

Il modulo di compressibilità si valuta cautelativamente pari a  $E_k = 50$  MPa.

### 6.1.3 Alluvioni presso la soglia in progetto

Il campione dei dati ed i risultati delle correlazioni sono raccolti nella tabella 4.

Sondaggio	Profondità dal p.c.	N <sub>(0-15)</sub>	N <sub>(15-30)</sub>	N <sub>(30-45)</sub>	N <sub>spt</sub>	Ø' <sub>1</sub>	Ø' <sub>2</sub>	E	D <sub>R</sub>
-	(m)	-	-	-	-	(°)	(°)	MPa	-
S6	1.50-1.95	11	12	20	32	36.9	36.6	43	densa
S6	3.10-3.55	17	14	14	28	35.5	35.4	40	media
S6	4.70-5.15	10	5	9	14	29.5	31.2	29	sciolta/media
S7	2.00-2.45	2	4	4	8	26.0	29.4	25	sciolta
S7	7.00-7.45	13	15	15	30	36.2	36.0	41	media

1,2 (secondo Yukiwake Shioi e Jiro Fukuni, 1982)

tabella 4

Qui si sono osservate ghiaie eterometriche in abbondante matrice sabbiosa, generalmente poco addensate. Il peso di volume  $\gamma$  si attesta intorno a 19 kN/m<sup>3</sup>.

In accordo con tale tessitura, i valori  $\phi'$  ricavati sono contenuti (30°÷36°); il dato inferiore a 30° del primo test in S7 si riferisce alla copertura sabbiosa recente del terrazzo alluvionale in destra idraulica.

L'elaborazione dei dati porta a determinare  $\phi'_k = 32^\circ$ .

Il modulo di compressibilità si valuta cautelativamente pari a  $E_k = 40$  MPa.

Il peso di volume  $\gamma$  vale ancora 19 kN/m<sup>3</sup>.

## 6.2 Substrato

Si può tentare una valutazione sulla base del sistema di classificazione degli ammassi rocciosi proposto da Bieniawski (RMR-System,1989), semplice e di rapida applicazione.

Tale metodo richiede la determinazione di sei parametri:

A1 = resistenza a compressione uniassiale;

A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);

A3 = spaziatura delle discontinuità;

A4 = condizioni delle discontinuità;

A5 = condizioni idrauliche;

A6 = orientamento delle discontinuità,

raggruppati in cinque intervalli di valori, la cui somma permette di suddividere gli ammassi rocciosi in cinque classi “di qualità”, secondo lo schema della tabella 5.

The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)*									
A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS									
Parameter		Ranges of Values							
1	Strength of intact rock material	Point load strength Index (MPa)	>10	4 – 10	2 – 4	1 – 2	For this low range, uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial compressive strength (MPa)	>250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	<1
		Rating	15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core quality RQD (%)		90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	<25		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		>2 m	0.6 – 2 m	200 – 600 mm	60 – 200 mm	<60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered wall	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1 – 5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous		
	Rating		30	25	20	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	None	<10	10 – 25	25 – 125	>125		
		Ratio $\frac{\text{Joint water pressure}}{\text{Major principal stress}}$	0	<0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	>0.5		
	General conditions		Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating		15	10	7	4	0		
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS									
Strike and Dip Orientations of Discontinuities		Very Favorable	Favorable	Fair	Unfavorable	Very Unfavorable			
Ratings	Tunnels and mines	0	–2	–5	–10	–12			
	Foundations	0	–2	–7	–15	–25			
	Slopes	0	–5	–25	–50	–60			
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS									
Rating		100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21	<20			
Class no.		I	II	III	IV	V			
Description		Very good rock	Good rock *	Fair rock	Poor rock	Very poor rock			
D. MEANING OF ROCK MASS CLASSES									
Class no.		I	II	III	IV	V			
Average stand-up time		20 yr for 15-m span	1 yr for 10-m span	1 wk for 5-m span	10 h for 2.5-m span	30 min for 1-m span			
Cohesion of the rock mass (kPa)		>400	300 – 400	200 – 300	100 – 200	<100			
Friction angle of the rock mass (deg)		>45	35 – 45	25 – 35	15 – 25	<15			

tabella 5



Oltre a ciò, l'Autore propone una serie di grafici e tabelle che consentono di determinare con maggiore accuratezza i singoli parametri.

Una volta assegnato il valore a ciascuno di essi, si definiscono i due indici:

$$\text{RMR}_{\text{base}} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

$$\text{RMR}_{\text{corretto}} = \text{RMR}_{\text{base}} + A6$$

Sulla base del primo indice è possibile determinare i parametri di resistenza al taglio della roccia, applicando le seguenti espressioni:

$$c' = 5 \cdot \text{RMR}_{\text{base}} \quad (\text{kPa})$$

$$\phi' = 5 + \text{RMR}_{\text{base}}/2 \quad (^\circ)$$

Il secondo indice definisce la classe “di qualità” della roccia.

Vediamo l'elaborazione dai dati raccolti nelle diverse zone.

### **6.2.1 *Bed-rock alla base della traversa di Cerezzola***

#### **6.2.1.1 *Argille a palombini***

Riguardo alla resistenza a compressione uniassiale, al momento non si dispone di risultati da prove speditive (Point Load Test) o di Laboratorio, in grado di facilitare la stima del parametro A1.

In alternativa, si stima un valore cautelativo  $A1 = 1$ , frutto di precedenti esperienze su rocce analoghe.

Relativamente all'indice RQD, sono di particolare interesse le condizioni dei primi 10 m di substrato; assumendo in via prudenziale un valore  $\text{RQD} = 35$  si calcola il parametro  $A2 = 7$ .

Considerando una spaziatura delle discontinuità intorno a  $5 \div 10$  cm, osservata anche nei pochi affioramenti dei versanti della zona, si determina il parametro  $A3 = 6$ .

Le superfici dei giunti risultano generalmente lisce e chiuse; tale condizione fa associare un valore  $A4 = 10$ .

In ordine alle condizioni idrauliche, precauzionalmente si assume una condizione “bagnata”, a cui è associato il parametro  $A5 = 7$ .

Con lo stesso criterio si valuta  $A6 = -7$  per il caso di “fondazioni”.

Quindi si calcola:

$$\text{RMR}_{\text{base}} = 31$$

$$\text{RMR}_{\text{corretto}} = 24$$

Dunque si tratterebbe di una roccia di qualità “scadente”, alla quale sono associabili i seguenti parametri caratteristici:

$$c'_k = 5 \cdot 31 = 155 \text{ kPa}$$

$$\phi'_k = 5 + 31/2 \approx 20.5^\circ$$

Quale modulo di deformabilità  $E_d$ , in mancanza di determinazioni specifiche si considera attendibile la relazione di Stille (1982), valida per ammassi rocciosi di qualità modesta ( $\text{RMR}_{\text{base}} < 50$ ) :

$$E_d \text{ (GPa)} = 0.05 \cdot \text{RMR}_{\text{base}}$$

da cui si ottiene

$$E_d = 1.55 \text{ GPa}$$

Il peso di volume  $\gamma$  si stima intorno a  $22 \text{ kN/m}^3$ .

#### 6.2.1.2 *Flysch di Monte Cassio*

Facendo affidamento sui risultati del sondaggio S4 e adottando le cautele già esposte in ordine alla resistenza a compressione uniassiale ed alle condizioni idrauliche, si stima:

$$A1 = 2$$

$$A2 = 12$$

$$A3 = 7$$

$$A4 = 10$$

$$A5 = 7$$

$$A6 = -7$$

e si calcola:

$$\text{RMR}_{\text{base}} = 38$$

$$\text{RMR}_{\text{corretto}} = 31$$

Quindi si ha a che fare con una roccia “scadente”, a cui si possono associare i seguenti parametri:

$$c'_k = 5 \cdot 38 = 190 \text{ kPa}$$

$$\phi'_k = 5 + 38/2 \approx 24^\circ$$

$$E_d = 1.9 \text{ GPa}$$

Il peso di volume  $\gamma$  si valuta pari a  $23 \text{ kN/m}^3$ .

## 6.2.2 Bed-rock a monte della traversa (c/o muro di sostegno in dx. idraulica)

### 6.2.2.1 Flysch di Monte Cassio

I sondaggi S1 e S5 hanno mostrato due facies della Formazione: la prima (S1) caratterizzata dall'alternanza di strati calcarenitici e marnosi, la seconda (S5) contraddistinta da prevalenti strati calcarei molto fratturati.

Alla prima facies sono attribuibili i seguenti parametri:

$$A1 = 2$$

$$A2 = 11$$

$$A3 = 8$$

$$A4 = 10$$

$$A5 = 7$$

$$A6 = -7$$

da cui si evince

$$RMR_{base} = 38$$

$$RMR_{corretto} = 31$$

e di conseguenza

$$c'_k = 5 \cdot 38 = 190 \text{ kPa}$$

$$\phi'_k = 5 + 38/2 \approx 24^\circ$$

$$E_d = 1.9 \text{ GPa}$$

Lo stato di fratturazione della seconda facies nei primi 10 m fa associare la compagine ad un ammasso incoerente; in quest'ambito per valutare la resistenza al taglio sono d'aiuto i risultati di alcune prove SPT, raccolti nella tabella 6.

Sondaggio	Profondità dal p.c.	N <sub>(0-15)</sub>	N <sub>(15-30)</sub>	N <sub>(30-45)</sub>	N <sub>spt</sub>	Ø' <sub>1</sub>	Ø' <sub>2</sub>	E
-	(m)	-	-	-	-	(°)	(°)	MPa
S5	6.40-6.85	13	24	20	44	40.7	40.2	52
S5	8.90-9.35	22	26	30	56	44.0	43.8	61
S5	12.30-12.38	30	R	-	100	53.7	57.0	94

1,2 (secondo Yukiwake Shioi e Jiro Fukuni, 1982)

tabella 6

Trascurando il test più profondo, probabilmente arrestatosi su un blocco roccioso, e mediando i risultati ottenuti, si può assumere cautelativamente:

$$\phi' = 42^\circ$$

$$E_d = 55 \text{ MPa}$$



### 6.2.3 *Bed-rock in corrispondenza della soglia in progetto*

#### 6.2.3.1 *Argille a palombini (dx. idraulica)*

Ai primi 10 m del substrato si possono attribuire i seguenti parametri:

$$\begin{aligned}A1 &= 1 \\A2 &= 12 \\A3 &= 7 \\A4 &= 10 \\A5 &= 7 \\A6 &= -7\end{aligned}$$

da cui si ricava

$$\begin{aligned}\text{RMR}_{\text{base}} &= 37 \\ \text{RMR}_{\text{corretto}} &= 30\end{aligned}$$

e quindi

$$\begin{aligned}c'_k &= 5 \cdot 37 = 185 \text{ kPa} \\ \phi'_k &= 5 + 37/2 \approx 23.5^\circ \\ E_d &= 1.85 \text{ GPa}\end{aligned}$$

#### 6.2.3.2 *Flysch di Monte Cassio (sx. idraulica)*

I parametri di Bieniawski valgono:

$$\begin{aligned}A1 &= 3 \\A2 &= 14 \\A3 &= 8 \\A4 &= 10 \\A5 &= 10 \\A6 &= -7\end{aligned}$$

e si determina

$$\begin{aligned}\text{RMR}_{\text{base}} &= 45 \\ \text{RMR}_{\text{corretto}} &= 38\end{aligned}$$

e di conseguenza

$$c'_k = 5 \cdot 45 = 225 \text{ kPa}$$

$$\phi'_k = 5 + 45/2 \approx 27.5^\circ$$

$$E_d = 2.25 \text{ GPa}$$

### 6.3 Substrato – Approccio alternativo

La caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi può essere affrontata secondo l'approccio di Hoek e Brown (1980-2002).

Gli Autori hanno introdotto l'indice GSI (Geological Strength Index), formulato sulla base dell'indice RMR di Bieniawski e di altri parametri, quali la costante “ $m_i$ ”, derivabile da prove triassiali di laboratorio o da dati di letteratura, ed il fattore “D”, variabile da 0 a 1, dipendente dal grado di disturbo ed dal grado di detensionamento dell'ammasso a seguito delle lavorazioni prevedibili.

La procedura è stata implementata nel software RocLab di Rocscience inc.; gli output ottenuti per le due formazioni costituenti il substrato, così come osservate nel corso dei sondaggi, sono nelle figure 48÷49 seguenti:

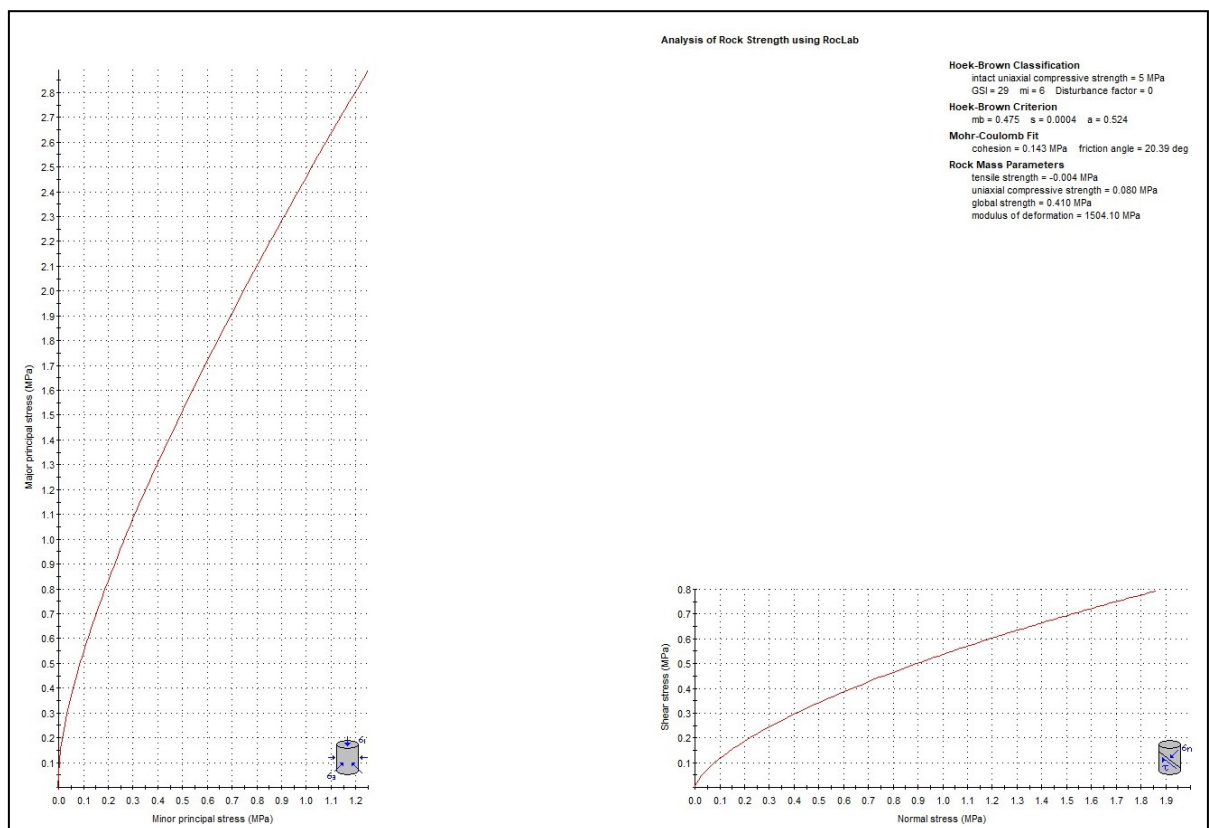


figura 48: output di RockLab per la Formazione delle “Argille a Palombini”

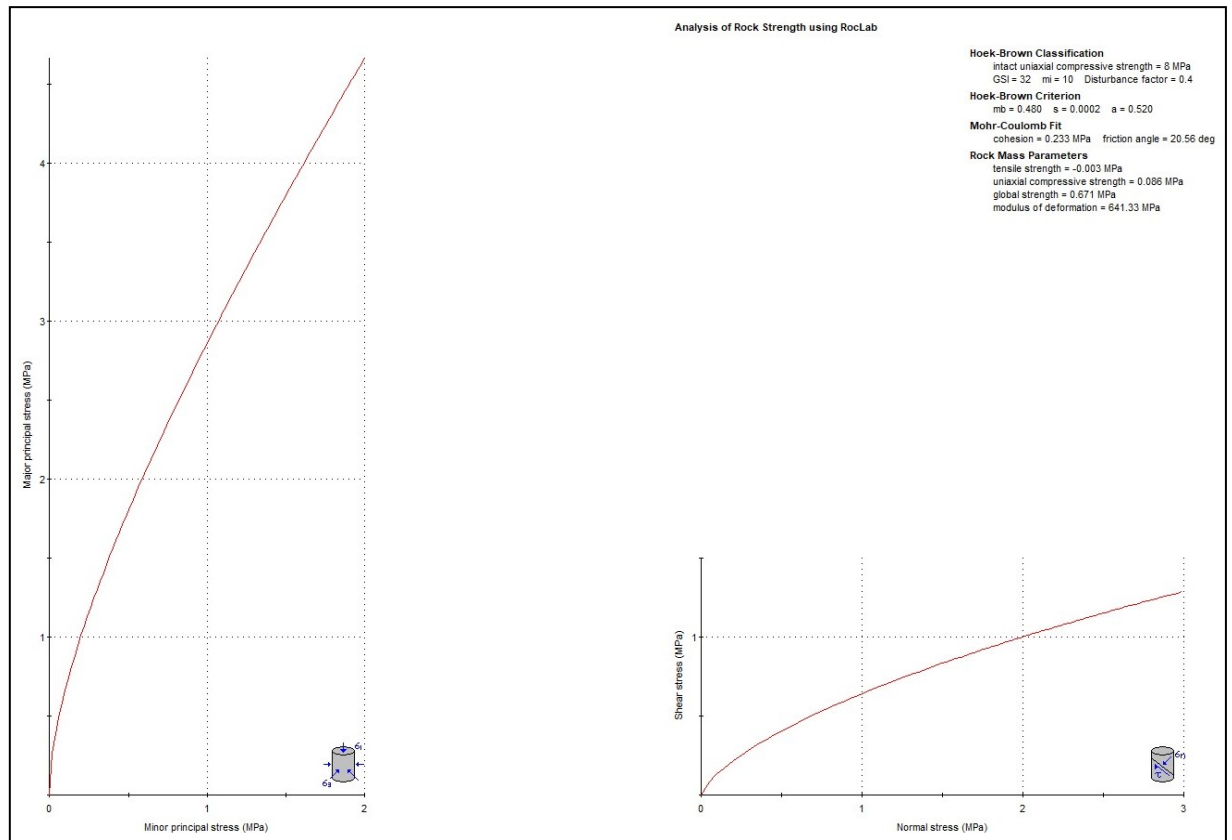


figura 49: output di RocLab per la Formazione del “Flysch di Monte Cassio”

La trasposizione in termini di resistenza al taglio degli ammassi secondo il criterio Mohr-Coulomb indica:

- *Argille a Palombini*

$$\phi' \approx 20.4^\circ$$

$$c' \approx 143 \text{ kPa.}$$

- *Flysch di Monte Cassio*

$$\phi' \approx 20.5^\circ$$

$$c' \approx 233 \text{ kPa.}$$

Come si vede, i risultati sono in linea con le elaborazioni precedenti.



## 7 CENNI DI IDROGEOLOGIA

Nel corso dei sondaggi si è rilevata la falda idrica; le misure indicano la saturazione delle alluvioni ghiaiose, sia monte sia a valle della traversa, giacchè il tetto dell'acquifero si è attestato alla quota dell'alveo.

Dunque il materasso ghiaioso è il corpo geologico che funge da serbatoio.

Relativamente alla permeabilità del substrato roccioso, le perdite parziali dell'acqua di circolazione necessaria al carotaggio, registrate in qualche tratto, indicano una permeabilità secondaria, ascrivibile alla tessitura ed alla fratturazione dell'ammasso.

Per valutare oggettivamente tali aspetti, si è proceduto all'esecuzione di prove Lugeon.

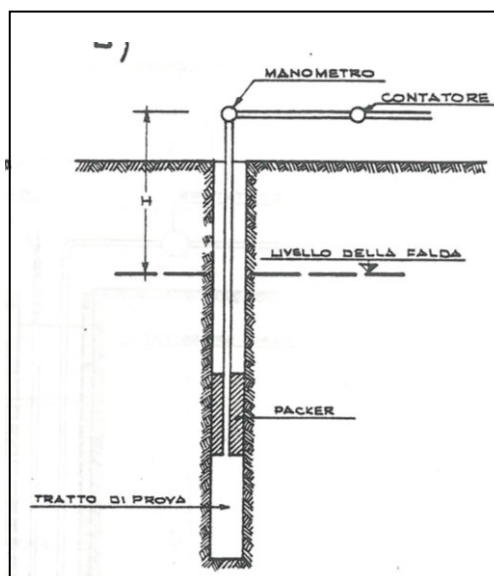
Il test consiste nell'immissione di acqua, priva d'attivi, in pressione su tratti prestabiliti di foro non rivestiti, e nella registrazione dell'assorbimento.

Nella fattispecie si sono condotte prove in avanzamento, isolando, tramite un otturatore singolo (figura 50), tratti di foro della lunghezza compresa tra 3 e 5 m (figura 51).

Ogni prova si è svolta con tre gradini di pressione, misurati con un manometro posto sopra al boccaforo, procedendo gradualmente da quello più basso a quello più alto; ogni step è stato mantenuto costante per circa 20 minuti, tempo necessario a stabilizzare gli assorbimenti.



*figura 50: packer singolo*



*figura 51: schema foro test Lugeon*

E' seguita poi la fase di ritorno, a gradini decrescenti aventi gli stessi valori di pressione della fase d'andata.

La procedura seguita è conforme alle “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche” dell’A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana, 1977).

Per ogni test (in andata e in ritorno) si è tracciato il grafico delle portate (l/min/m) in funzione della pressione di iniezione effettiva ( $P_e$ ), calcolata secondo la formula:

$$P_e = P_m + \gamma_w \cdot (H - H_p)$$

in cui

$P_m$  = pressione letta al manometro

$H$  = altezza della colonna d’acqua

$H_p$  = perdite di carico in altezza d’acqua

$\gamma_w$  = peso specifico dell’acqua

Nel caso specifico si sono trascurate le perdite di carico nel tubo d’immissione. Il coefficiente di permeabilità ( $k$ ) è ricavato dalla formula:

$$k = (q/P_e) \cdot \gamma_w / C$$

con

$q$  = portata assorbita

$C$  = coefficiente di forma, calcolato dalla relazione:

$$C = 2 \cdot \pi \cdot D \cdot (((L/D)^2 - 1)^{1/2}) / \ln ((L/D) + ((L/D)^2 - 1)^{1/2})$$

in cui

$D$  = diametro del foro

$L$  = lunghezza del tratto di prova

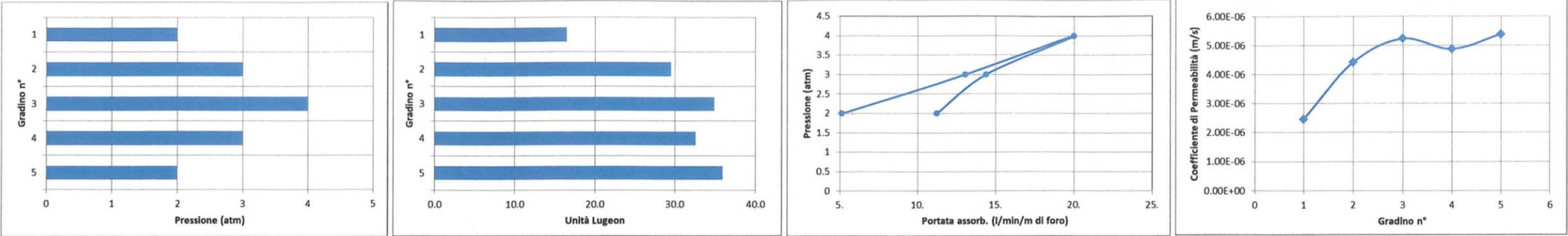
La permeabilità della roccia calcolata può essere espressa anche in “Unità di assorbimento Lugeon (U.L.)”, definita come la permeabilità di un ammasso roccioso che assorbe 1 l di acqua al minuto per ogni metro quadrato di superficie di foro sottoposto alla pressione di 10 atm.

Si consideri che 1 U.L. vale circa  $1 \div 2 \cdot 10^{-7}$  m/s.

La variazione della permeabilità espressa in U.L. al variare dei gradini di pressione può indicare approssimativamente la tipologia di flusso che si genera all’interno della tasca di prova, in accordo con le esperienze di Houlby, 1976.

Le figure 52÷53 seguenti riportano le misure effettuate nel corso delle prove, la diagrammazione dei risultati e l’interpretazione degli stessi.

Sondaggio	3	Sondaggio	3	gradino n°	Pressione di prova (atm)	Assorbimento (litri)	Durata gradino (min)	Portata (litri/min)	Assorbimento unitario (litri/min/m)	K (m/s)	Unità Lugeon
Inizio tratto di prova ( m dal p.c.)	7.5	Inizio tratto di prova ( m dal p.c.)	7.5	1	2	396	20	19.80	5.14	2.47056E-06	16.47
Fine tratto di prova (m dal p.c.)	11.35	Fine tratto di prova (m dal p.c.)	11.35	2	3	1006	20	50.30	13.06	4.42755E-06	29.52
Lungh.tratto di prova (m)	3.85	Lunghezza tratto di prova (m)	3.85	3	4	1540	20	77.00	20.00	5.2356E-06	34.90
Prof. falda (m dal p.c.)	3.95	Profondità della falda (m dal p.c.)	3.95	4	3	1109	20	55.45	14.40	4.88086E-06	32.54
		Coefficiente di Forma	5.57	5	2	864	20	43.20	11.22	5.3903E-06	35.94



Sondaggio	3	Sondaggio	3	gradino n°	Pressione di prova (atm)	Assorbimento (litri)	Durata gradino (min)	Portata (litri/min)	Assorbimento unitario (litri/min/m)	K (m/s)	Unità Lugeon
Inizio tratto di prova ( m dal p.c.)	13.15	Inizio tratto di prova ( m dal p.c.)	13.15	1	2	75	20	3.75	0.75	3.81493E-07	2.54
Fine tratto di prova (m dal p.c.)	18.15	Fine tratto di prova (m dal p.c.)	18.15	2	3	788	20	39.40	7.88	2.82864E-06	18.86
Lungh.tratto di prova (m)	5	Lunghezza tratto di prova (m)	5	3	4	1178	20	58.90	11.78	3.26712E-06	21.78
Prof. falda (m dal p.c.)	3.98	Profondità della falda (m dal p.c.)	3.98	4	3	1038	20	51.90	10.38	3.72605E-06	24.84
		Coefficiente di Forma	6.83	5	2	833	20	41.65	8.33	4.23711E-06	28.25

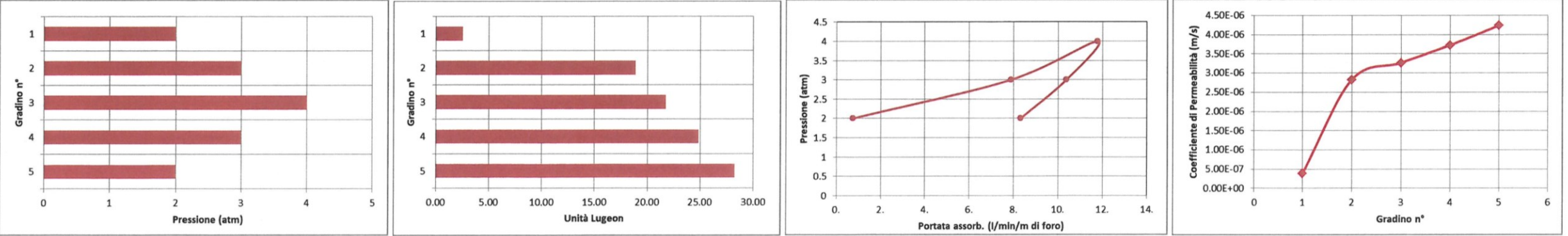
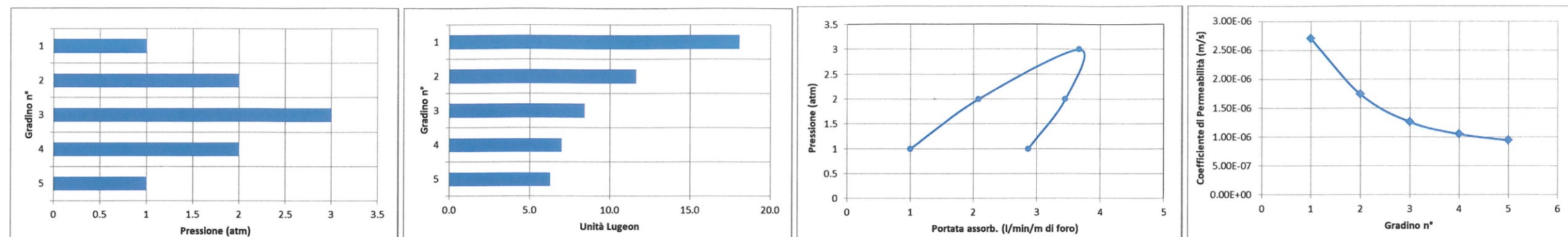


figura 52: prove Lugeon del sondaggio S3



Sondaggio	4	Sondaggio	4	gradino n°	Pressione di prova (atm)	Assorbimento (litri)	Durata gradino (min)	Portata (litri/min)	Assorbimento unitario (litri/min/m)	K (m/s)	Unità Lugeon
Inizio tratto di prova ( m dal p.c.)	6	Inizio tratto di prova ( m dal p.c.)	6	1	1	172	20	8.6	2.87	2.71048E-06	18.07
Fine tratto di prova (m dal p.c.)	9	Fine tratto di prova (m dal p.c.)	9	2	2	207	20	10.35	3.45	1.74269E-06	11.62
Lungh.tratto di prova (m)	3	Lunghezza tratto di prova (m)	3	3	3	220	20	11	3.67	1.26359E-06	8.42
Prof. falda (m dal p.c.)	1.47	Profondità della falda (m dal p.c.)	1.47	4	2	125	20	6.25	2.08	1.05235E-06	7.02
		Coefficiente di Forma	4.61	5	1	60	20	3	1.00	9.45517E-07	6.30



Sondaggio	4	Sondaggio	4	gradino n°	Pressione di prova (atm)	Assorbimento (litri)	Durata gradino (min)	Portata (litri/min)	Assorbimento unitario (litri/min/m)	K (m/s)	Unità Lugeon
Inizio tratto di prova ( m dal p.c.)	11.5	Inizio tratto di prova ( m dal p.c.)	11.5	1	1	31	20	1.55	0.46	4.48902E-07	2.99
Fine tratto di prova (m dal p.c.)	14.9	Fine tratto di prova (m dal p.c.)	14.9	2	2	13	20	0.65	0.19	1.00076E-07	0.67
Lungh.tratto di prova (m)	3.4	Lunghezza tratto di prova (m)	3.4	3	3	16	20	0.80	0.24	8.38818E-08	0.56
Prof. falda (m dal p.c.)	1.35	Profondità della falda (m dal p.c.)	1.35	4	2	2.5	20	0.13	0.04	1.92454E-08	0.13
		Coefficiente di Forma	5.07	5	1	2.75	20	0.14	0.04	3.98219E-08	0.27

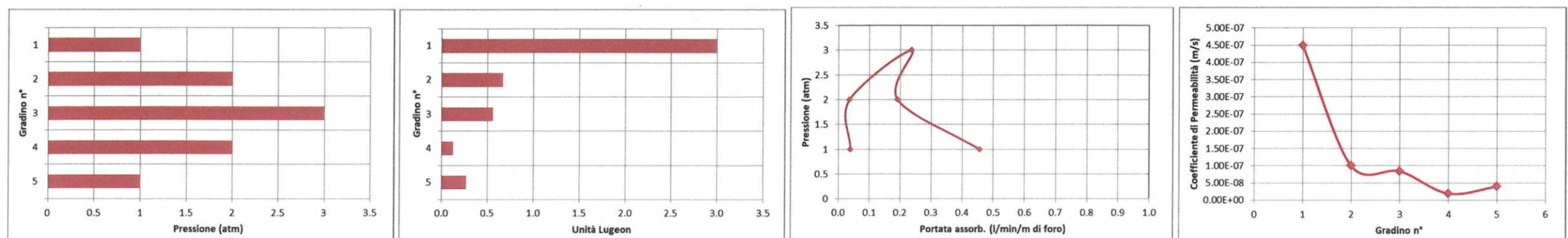


figura 53: prove Lugeon del sondaggio S4

Come si vede, le prove relative alla porzione corticale della roccia (i primi 5÷6 metri) forniscono valori del Coefficiente di Darcy intorno a  $10^{-6}$  m/s, che denunciano una permeabilità medio-bassa, mentre i test successivi fanno registrare valori compresi nell'intervallo  $10^{-6}$ ÷ $10^{-8}$  m/s, significativi di un grado d'impermeabilità crescente.

Ciò può essere ascritto all'integrità dell'ammasso, che incrementa con la profondità.

I diagrammi delle figure precedenti forniscono anche altre informazioni.

Nei due test condotti all'interno del foro 3 probabilmente si è verificato il dilavamento delle discontinuità presenti nella roccia (piani di strato e fratture), con conseguente incremento degli assorbimenti e della permeabilità, giacchè non si sono registrate perdite attraverso il packer; forse si è imposto un range di pressioni troppo elevato.

D'altra parte le prove condotte nel foro S4 hanno fatto registrare un decremento della permeabilità, riconducibile ad un intasamento delle discontinuità; tale comportamento, secondo Guerra et alii, 1968, è tipico di un ammasso pervaso da una rete di fessure sottili.

## 8 ASPETTI DI GEOLOGIA TECNICA

Traguardando la quota d'imposta della fondazione della traversa (tratta dalle tavole del progetto di consolidamento effettuato nel 1991) nella sezione geologica 1, si evince che il manufatto non risulterebbe intestato nel substrato roccioso.

Tra l'appoggio ed il bed-rock rimarrebbe uno strato di alluvioni ghiaiose che s'ispessisce procedendo dalla sponda reggiana a quella parmense (da 3 a 5 m circa).

La presenza di tale materasso incoerente e permeabile costituisce un fattore critico, a fronte del progetto d'invaso a monte e per la salvaguardia dello sbarramento, che risulta potenzialmente a rischio di sifonamento.

Per ovviare a ciò occorrerebbe una barriera alla filtrazione sotterranea, sfruttando il substrato naturale quale tappo di fondo; in effetti la filtrazione attraverso il bedrock risulta subordinata rispetto a quella nel materasso ghiaioso, la cui permeabilità è superiore di un paio di ordini grandezza.

La presenza delle alluvioni ghiaiose e di blocchi rocciosi di dimensioni metriche nel substrato argillitico rende problematica l'infissione di un palancolato metallico.

Poichè la funzione da perseguire è l'impermeabilità, si potrebbe ricorrere al Jet Grouting; tale trattamento è in grado di garantire la continuità della barriera, grazie alla diffusione della miscela.

In pratica si tratta di realizzare colonne ravvicinate (o meglio secanti) di Jetting, approfondite fino al substrato roccioso.

Nell'terre incoerenti e permeabili (alluvioni ghiaiose) la Jet-iniezione produce elementi assimilabili a colonne rigide di diametro grossomodo costante.

Nel substrato argillitico, caratterizzato da una tessitura fissile, è prevedibile la fratturazione idraulica dell'ammasso, la divaricazione delle discontinuità pre-esistenti e la

conseguente intrusione della miscela negli interstizi; al termine del trattamento c'è da attendersi la formazione di un aggregato costituito da inerti minuti di bassa resistenza racchiusi in un reticolato cementizio.

Nel contesto ambientale in cui si andrebbe ad operare, tale metodica è facilitata anche dalla possibilità di evitare il riciclo dei reflui, oggettivamente non inquinanti e disperdibili nel flusso idrico del torrente.

Ovviamente il lavoro andrebbe assegnato ad una ditta di primaria esperienza, specializzata in fondazioni speciali.

Va da sé che il trattamento colonnare andrebbe esteso anche alla spalla in sinistra idraulica, immersa in un basso terrazzo alluvionale, così da non lasciare vie di fuga ai flussi sotterranei.

In alternativa al jetting si potrebbe realizzare una schiera di pali trivellati secanti.

Tale metodica implica maggiori difficoltà di scavo, a causa del più grande diametro dell'utensile di perforazione (trivella o bucket); inoltre l'efficacia dello sbarramento dipende dalla perfetta verticalità degli elementi.

D'altra parte è in grado di conferire alla barriera una resistenza meccanica, in grado di rispondere più efficacemente ad eventuali sollecitazioni orizzontali, come quelle che potrebbero insorgere a fronte dell'erosione e dello scalzamento del materasso ghiaioso a valle.

Riguardo alla rimozione di una parte del materasso alluvionale a monte della traversa, per creare il suddetto bacino d'accumulo, va evidenziata la possibilità di destabilizzare il muro di sostegno, che per circa 200 m protegge la S.S. 513 in destra idraulica, causa la rimozione di una parte del cuneo resistente al suo piede.

Per evitare ciò si potrebbe realizzare un intervento di sostegno e protezione; il contesto litostratigrafico fa propendere per una berlinese di pali trivellati, debitamente intestati nel substrato roccioso (argilliti/flysch).

Per il suo dimensionamento, si dovrà giocare sia sulla sezione (e quindi sull'armatura), per garantire la resistenza a taglio necessaria a contrastare le spinte orizzontali, sia sulla lunghezza, per conferire l'inerzia indispensabile ad impedire rotazioni.

I parametri di resistenza a taglio proposti nel paragrafo precedente potranno consentire al Progettista di affrontare le verifiche geotecniche di Legge.

Un'indicazione circa la resistenza frizionale offerta dal banco di ghiaia e dal substrato roccioso, può essere fornita anche dalle esperienze di Bustamante e Doix, 1985 (relative a micropali trivellati e tiranti).

Secondo gli Autori, la trazione limite  $q_s$  può ricavarsi dagli abaci delle figure 54÷55 seguenti, relative ai tipi litologici d'interesse (ghiaie e marne/marne calcaree).

Le rette SG.2 e MC.2 si riferiscono alla tecnica d'iniezione a pressione generale unificata (IGU) mentre le rette S.G.1 e M.C.1 sono relative a quella con iniezioni ripetute e selettive (IRS); per pali trivellati tradizionali risultano più calzanti le prime correlazioni.



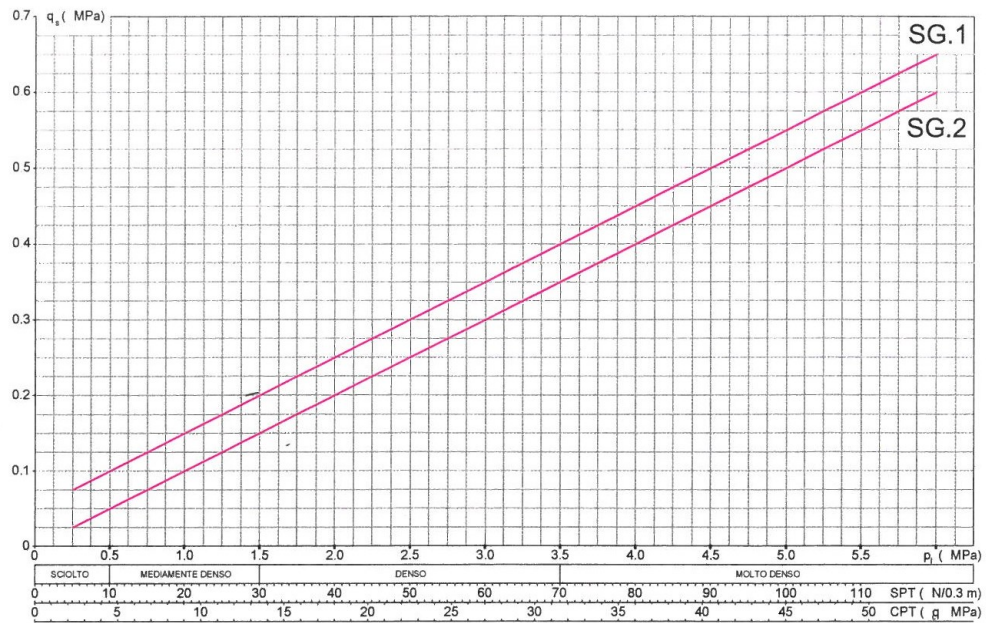


figura 54

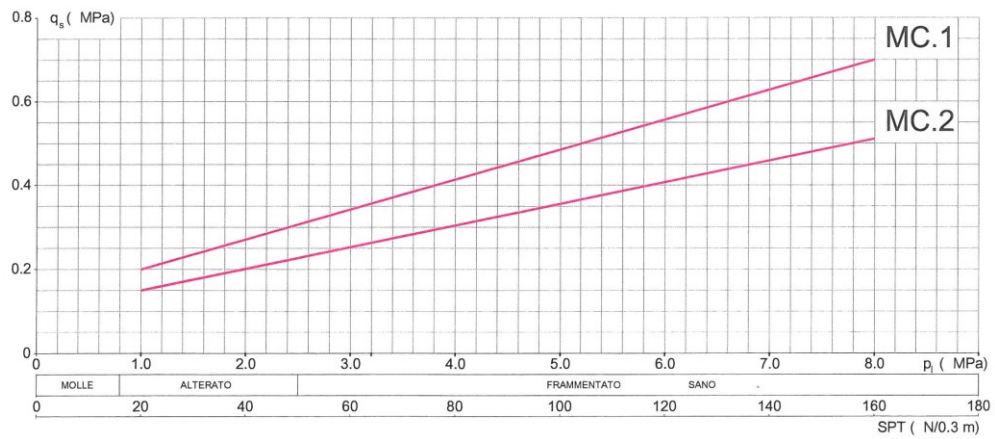


figura 55

I dati input utilizzabili sono i valori  $N_{SPT}$  registrati nel corso dei test condotti a fondo foro nei 7 sondaggi; i dati di campo e le relative correlazioni sono argomento delle tabelle 7÷8.

Sondaggio	Profondità	N <sub>SPT</sub>	q <sub>s</sub> (IGU)
-	(m)	-	(Mpa)
S1	2.10-2.55	35	0.175
S1	3.50-3.95	31	0.155
S2	2.00-2.45	39	0.195
S2	4.30-4.75	73	0.365
S3	3.00-3.45	36	0.180
S3	5.00-5.45	24	0.120
S4	1.60-2.05	14	0.070
S4	3.00-3.45	54	0.270
S5	2.10-2.55	19	0.095
S5	3.80-4.25	51	0.255
S5	5.10-5.55	58	0.290
S6	1.50-1.95	32	0.160
S6	3.10-3.55	28	0.140
S6	4.70-5.15	14	0.070
S7	2.00-2.45	8	0.040
S7	7.00-7.45	30	0.150

tabella 7: N<sub>SPT</sub> e q<sub>s</sub> per ghiaie e sabbie

Sondaggio	Profondità	N <sub>SPT</sub>	q <sub>s</sub> (IGU)
-	(m)	-	(MPa)
S1	5.00-5.45	17	0.143
S1	8.00-8.12	100	0.356
S1	9.50-9.63	100	0.356
S1	12.00-12.10	100	0.356
S1	15.80-15.88	100	0.356
S2	6.15-6.60	21	0.152
S2	10.90-11.16	100	0.356
S2	13.60-13.87	100	0.356
S2	15.10-15.35	100	0.356
S3	7.00-7.45	27	0.168
S3	9.80-10.25	48	0.222
S3	14.10-14.55	53	0.235
S5	6.40-6.85	44	0.212
S5	8.90-9.35	56	0.243
S5	12.30-12.38	100	0.356
S6	6.90-7.09	100	0.356

in rosso il valore attribuito al test fuori scala (N<sub>SPT</sub> > 100)

tabella 8: N<sub>SPT</sub> e q<sub>s</sub> per marne e marne calcaree

Mediamente si può considerare una prestazione portante intorno a 0.15÷0.20 MPa per le ghiaie e 0.2÷0.3 MPa per le marne ed i calcari.

Relativamente ai successivi 200 m a monte, dove tra il margine dell'area oggetto di scavo e gli elementi antropici sensibili (S.S.513 e abitazioni) si trova il terrazzo alluvionale già evidenziato in figura 45, largo più di 100 m e rilevato 1÷2 m circa rispetto all'alveo attuale, l'unico suggerimento utile riguarda la pendenza della scarpata dello sbancamento, che deve essere in linea con la resistenza a taglio del deposito alluvionale.

Spostando l'attenzione alla sponda in sinistra idraulica a monte della traversa, si trova una situazione analoga, laddove un basso terrazzo alluvionale s'interpone tra il bordo dello scavo potenziale e la base del versante, costituita dal piede di un conoide di deiezione (figura 56), caratterizzato da una modestissima pendenza ( $< 10^\circ$ ).

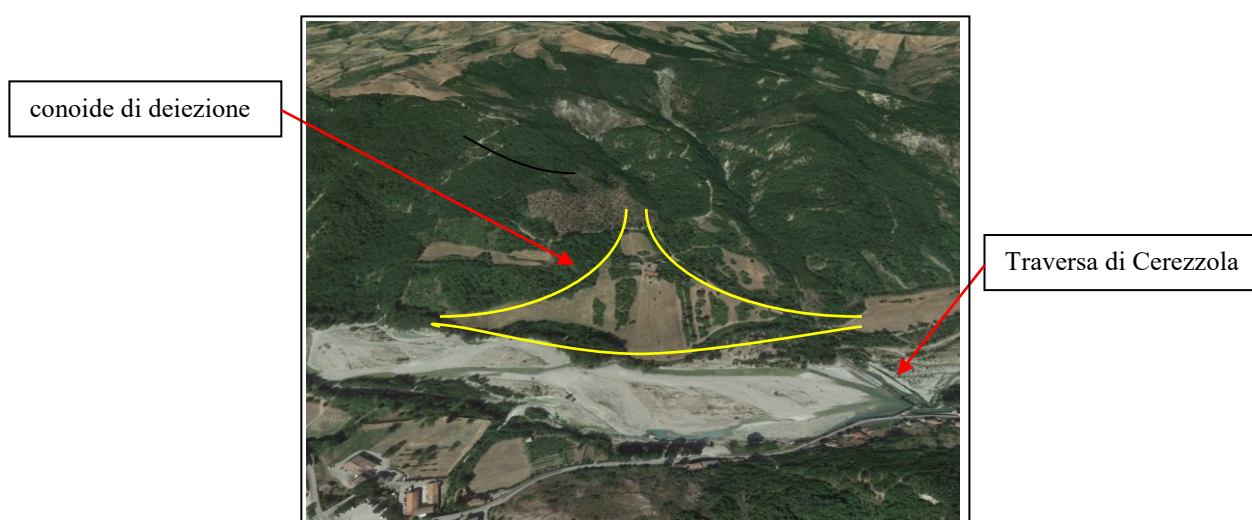


figura 56

Moderando convenientemente la pendenza dello sbancamento, non si arriverà a pregiudicare la stabilità del terrazzo e delle sponde.

Riguardo all'innalzamento della piezometrica a causa del battente idraulico che si verrà a creare, in questa sede non si possono che avanzare considerazioni di carattere qualitativo.

L'effetto di tale innalzamento, che secondo i calcoli idraulici preliminari sarà equivalente a quello già sperimentato in occasione degli eventi di morbida, anche se protratto per un tempo maggiore, non potrà che essere quello già verificato nella cava di prestito che negli anni '70 del secolo scorso si realizzò nel terrazzo alluvionale, poco a monte della traversa, senza pregiudicare la stabilità del versante.

Relativamente alla nuova soglia di monte, la cui finalità è quella d'impedire l'erosione regressiva lungo l'alveo, giacchè non è d'interesse lo sbarramento dei flussi sotterranei potrebbe essere costituita da una briglia tradizionale.

Considerato l'approfondimento del substrato roccioso, il manufatto andrebbe dotato di una fondazione diretta incastrata nel materasso alluvionale, di inerzia adeguata a garantirne la stabilità, anche a fronte dello sbancamento previsto a valle.



Tra le soluzioni alternative sono da escludere sia l'infissione di paratie metalliche, per i motivi già addotti, sia la realizzazione di un diaframma di colonne Jet-iniettate a schiera serrata, anche a causa dell'intorbidimento delle acque dovuto ai reflui, con effetti indesiderati sulla galleria filtrante di IRETI che si trova poco a valle.

Non resterebbe che il ricorso ad una berlinese di pali trivellati di medio-grande diametro, adeguatamente intestati nel substrato roccioso.

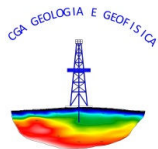
Infine, qualora la posizione della soglia fosse traslata più a valle, benchè il contesto geologico è prevedibilmente quello già descritto, si consiglia di eseguire ulteriori carotaggi geognostici nel sito d'interesse, per definirne l'assetto stratigrafico e geomeccanico.



*Fausto Campioli*

## **ALLEGATO**

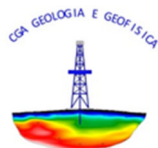
Report indagini geofisiche



**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

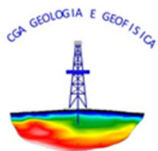
Committente:	Consorzio Di Bonifica Dell'Emilia Centrale
Prova:	DH S3
Località:	Traversa Cerezzola - Ciano d'Enza (RE)
Data:	21-ott-19
Certificato:	A1401GF689S3





## 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 DOWN HOLE .....	4
MODALITÀ ESECUTIVE .....	4
<b>ELABORAZIONE DATI .....</b>	<b>7</b>
SISMICA CON METODOLOGIA DOWN HOLE .....	7
<i>Picking</i> .....	7
<i>Interpretazione</i> .....	7
Coefficiente di Poisson: .....	8
Modulo di taglio: .....	8
Modulo di Young: .....	8
Modulo di compressibilità: .....	8
<b>PRESENTAZIONE DEI RISULTATI .....</b>	<b>9</b>
PROVA DOWN HOLE DH1 .....	9
<b>APPENDICE 1 .....</b>	<b>10</b>



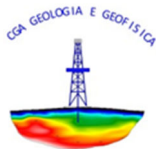
## INTRODUZIONE

Su incarico del Consorzio Di Bonifica Dell'Emilia Centrale è stato redatto questo rapporto di prova relativo all'esecuzione di una Prove sismiche Down-hole, eseguita presso Traversa Cerezzola - Ciano d'Enza (RE)

L'ubicazione delle indagini è rappresentata in figura n° 1.

Lo studio ha seguito il seguente sviluppo:

- esecuzione di n° 1 prova Down Hole;
- elaborazione dei dati raccolti.



## METODOLOGIA D'INDAGINE

### INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA DOWN HOLE

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

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

Tutte le procedure di cantiere, interpretazione e calcolo utilizzate in questo lavoro fanno riferimento alla norma ASTM D7400 - 08:

“Standard test methods for Downhole Seismic Testing”.

### MODALITÀ ESECUTIVE

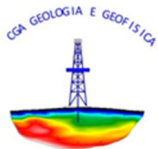
La prova consiste nel produrre, sulla superficie del terreno, sollecitazioni verticali (per la generazione di onde di compressione P) ed orizzontali (per onde di taglio polarizzate orizzontalmente SH) mediante una sorgente meccanica e nel registrare l'istante di primo arrivo del treno d'onde attraverso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

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

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

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

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



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

Per generare le onde SH è stato utilizzato un parallelepipedo di legno armato alle estremità di piastre in alluminio.

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

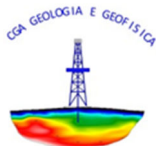
*Il sistema di ricezione* è costituito da cinque componenti, ciascuno dei quali è costituito da un trasduttore di velocità orientato secondo gli assi di due terne cartesiane ortogonali aventi in comune l'origine e l'asse delle ordinate e ruotate rispetto all'origine di 45°. I trasduttori di velocità sono collocati all'interno di un unico contenitore impermeabile sino a 10 Bar di pressione. E' stato adottato un sistema di ancoraggio pneumatico per garantire un buon accoppiamento in foro tra i ricevitori e le pareti di rivestimento.

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

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

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

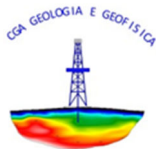
Tabella n° 1 - Tabella delle caratteristiche del sismografo utilizzato.

#### Geofoni Geospace GS-20DM

At 25° C

<b>Natural Frequency (Fn):</b>	10 Hz
Maintains Fn Specifications to Tilt Angle of	20°
Typical Spurious Frequency	>300 Hz
Harmonic Distortion with Driving Velocity of 0.7 in/sec (1.8 cm/sec)P-P	<.3%
<b>Dimensions (less terminals*)</b>	
Height	2.64 cm
Diameter	2.22 cm
Weight	43 g

Tabella n° 2 - Tabella delle caratteristiche dei geofoni utilizzati.



## ELABORAZIONE DATI

### SISMICA CON METODOLOGIA DOWN HOLE

#### **PICKING**

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

Per facilitare la lettura del primo arrivo ed eliminare il disturbo aleatorio costituito da rumore di fondo e generalmente della stessa frequenza del segnale registrato, si è proceduto ad applicare ad ogni segnale un filtro del tipo muting, dal tempo "Zero" al primo arrivo.

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

#### **INTERPRETAZIONE**

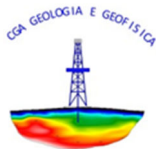
Poiché le onde sismiche prodotte dalla sorgente non si propagano esattamente in direzione verticale rispetto ai ricevitori, data la posizione della sorgente, è necessario correggere i tempi di arrivo stimati per tenere conto dell'inclinazione del percorso effettivo.

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

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

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

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



#### **Coefficiente di Poisson:**

$$\nu = \frac{V_P^2 - V_S^2}{2(V_P^2 + V_S^2)}$$

Dove:

$V_P$  = velocità onde di compressione;

$V_S$  = velocità onde di taglio;

#### **Modulo di taglio:**

$$G = \gamma V_S^2$$

Dove:

$\gamma$  = densità del mezzo attraversato;

$V_S$  = velocità onde di taglio;

#### **Modulo di Young:**

$$E = 2\gamma V_S^2 (1 + \nu)$$

Dove:

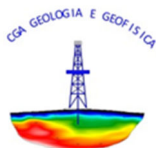
$\nu$  = Coefficiente di Poisson

#### **Modulo di compressibilità:**

$$K \text{ din} = E / (3(1 - \nu))$$

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

***E' inoltre opportuno ricordare che, nel caso di completa saturazione dei materiali attraversati dai treni d'onda la velocità di propagazione delle onde P misurata risulta essere molto prossima a quella nell'acqua.***



## PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

### PROVA DOWN HOLE DH1

In appendice 1 sono riportati i certificati della prova svolta e le relative interpretazioni sia con il metodo diretto che con il metodo del pseudointervallo.

Di seguito, in forma tabellare vengo rappresentati stratigrafia e parametri geofisici ottenuti tramite il metodo diretto.

Metodo diretto - Velocità e parametri calcolati						
Profondità (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	$\gamma$ dinamico (kN)	Coefficiente di Poisson	Modulo di Young (MPa)	Modulo di deformazione al taglio (MPa)
5.00	1057.08	489.66	18.78	0.36	1251.99	468.19
13.00	1851.01	387.80	20.89	0.48	946.26	326.64
16.00	1726.32	634.36	20.61	0.42	2405.52	862.53
32.00	1678.16	408.09	20.50	0.47	1022.63	355.03

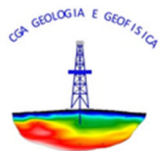
Tabella n° 3- stratigrafia e parametri geofisici ottenuti tramite il metodo diretto.

San Giovanni in Persiceto, 23.10.2019

I Geologi :







## **APPENDICE 1**

Figure ed elaborati grafici



PROGETTO: TRAVERSA CEREZZOLA

COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Emilia Centrale

PROVA: Down Hole - S3

DATA DI ESECUZIONE: 21 Ottobre 2019

Ubicazione prova







PROGETTO: TRAVERSA CEREZZOLA

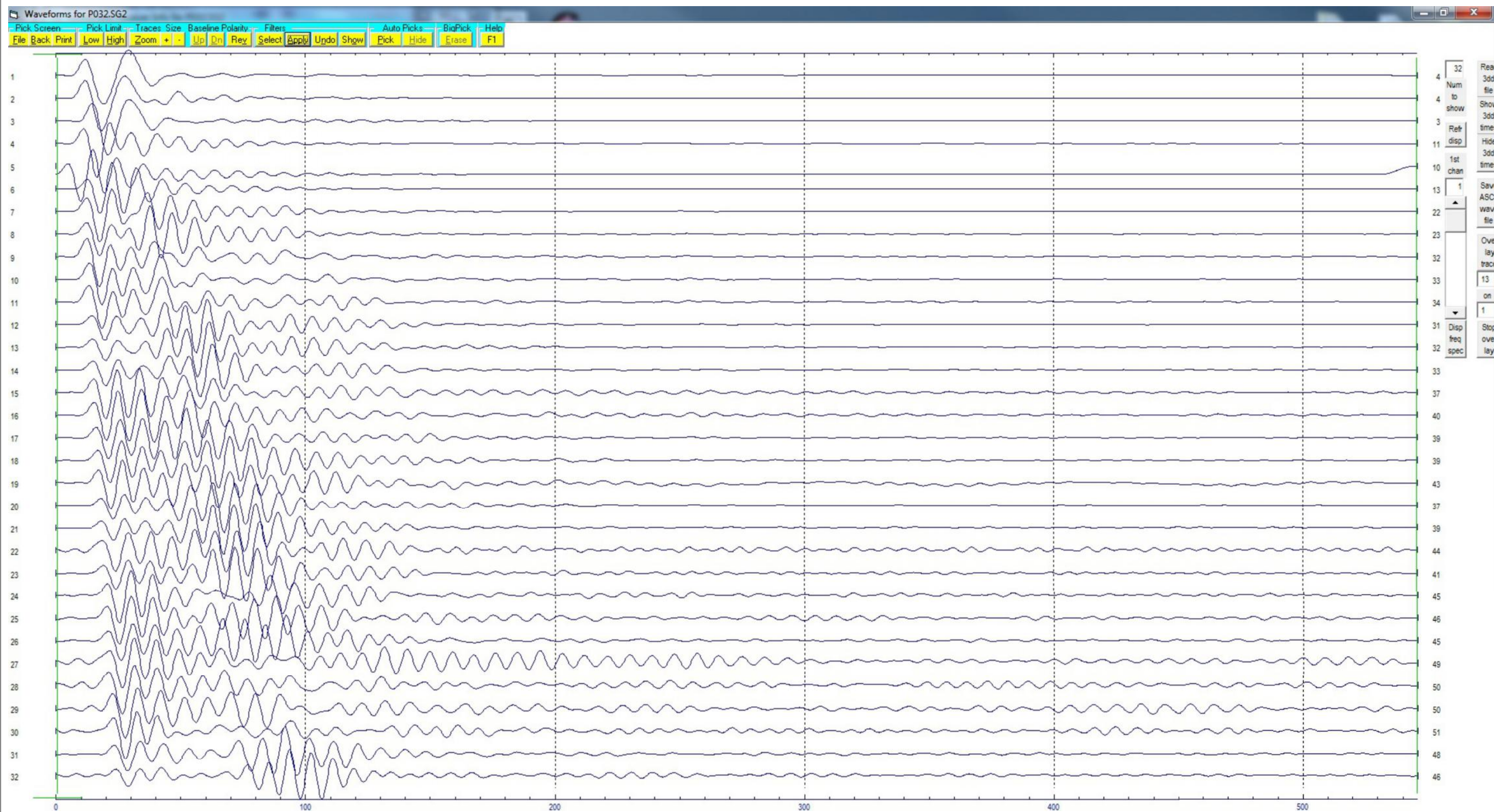
COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Emilia Centrale

CONSULENZA GEOFISICA: CGA

PROVA: Down Hole - S3

DATA DI ESECUZIONE: 21 Ottobre 2019

TAVOLA 4: Sismogrammi onde P







PROGETTO: TRAVERSA CEREZZOLA

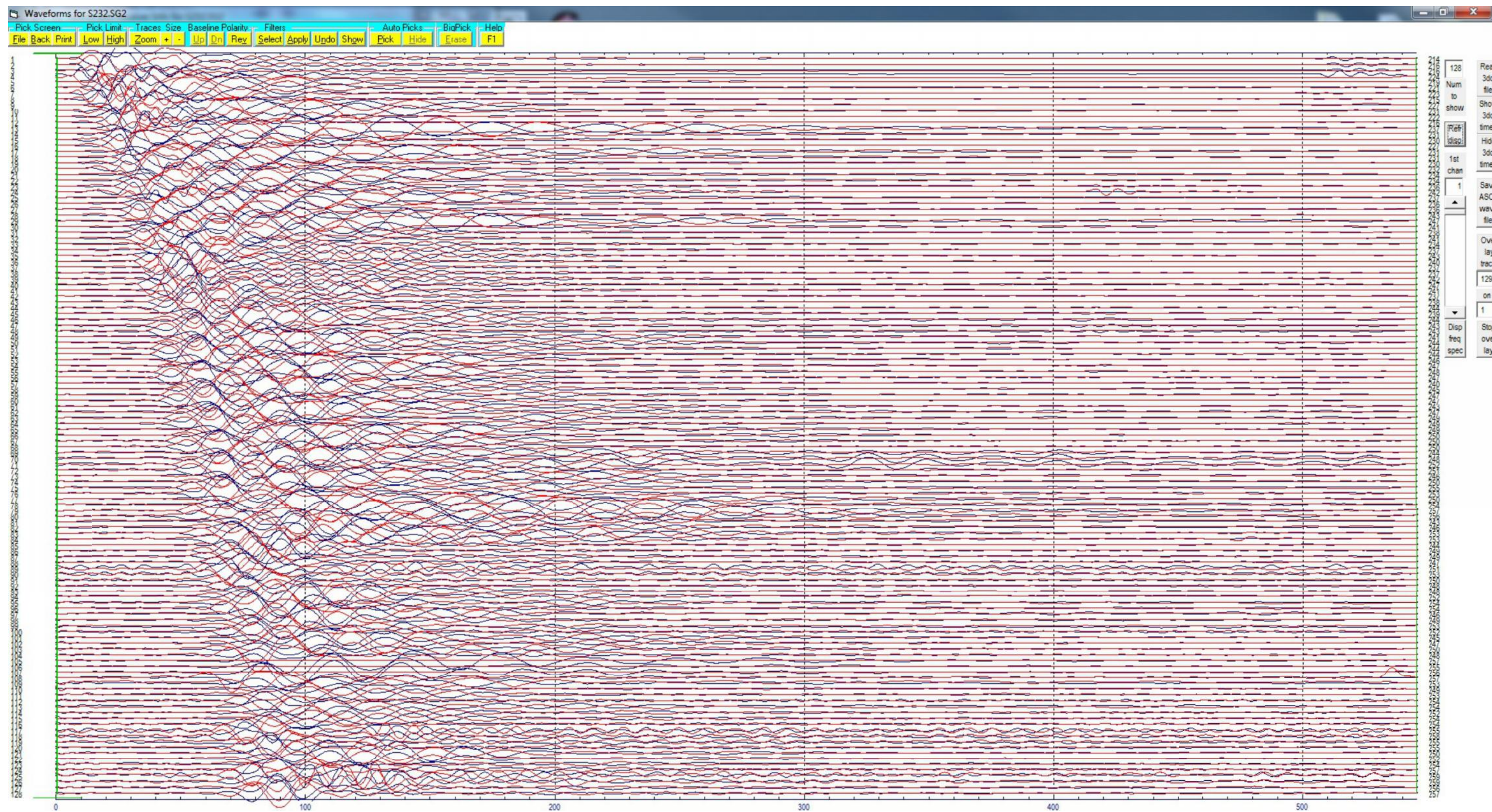
COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Emilia Centrale

CONSULENZA GEOFISICA: CGA

PROVA: Down Hole - S3

DATA DI ESECUZIONE: 21 Ottobre 2019

TAVOLA 5: Sismogrammi onde S







PROGETTO: TRAVERSA CEREZZOLA

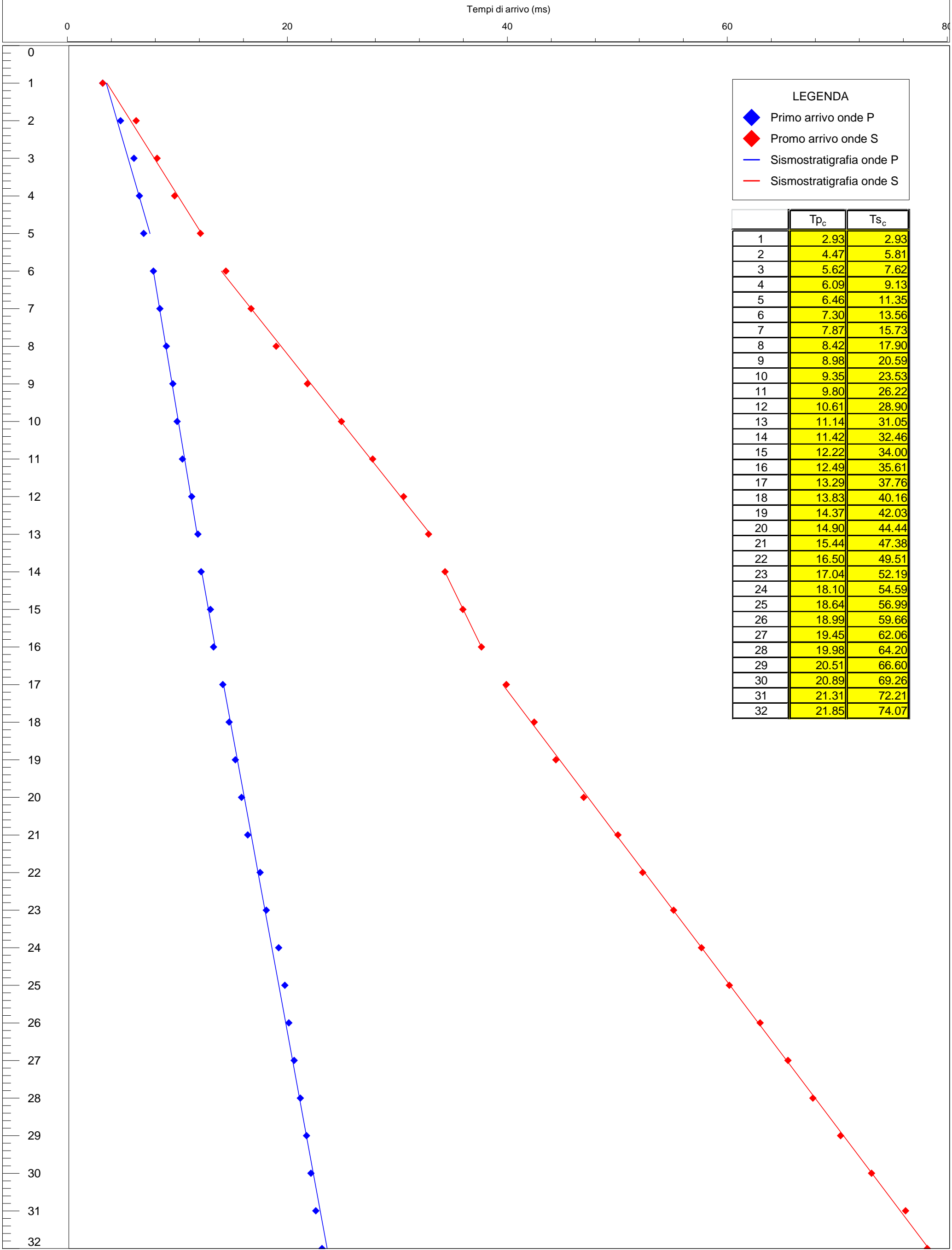
COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Emilia Centrale

CONSULENZA GEOFISICA: CGA

PROVA: Down Hole - S3

DATA DI ESECUZIONE: 21 Ottobre 2019

TAVOLA 1: Tempi di primo arrivo e interpretazione stratigrafica



LEGENDA

◆

Primo arrivo onde P

◆

Promo arrivo onde S

—

Sismostratigrafia onde P

—

Sismostratigrafia onde S

	Tp <sub>c</sub>	Ts <sub>c</sub>
1	2.93	2.93
2	4.47	5.81
3	5.62	7.62
4	6.09	9.13
5	6.46	11.35
6	7.30	13.56
7	7.87	15.73
8	8.42	17.90
9	8.98	20.59
10	9.35	23.53
11	9.80	26.22
12	10.61	28.90
13	11.14	31.05
14	11.42	32.46
15	12.22	34.00
16	12.49	35.61
17	13.29	37.76
18	13.83	40.16
19	14.37	42.03
20	14.90	44.44
21	15.44	47.38
22	16.50	49.51
23	17.04	52.19
24	18.10	54.59
25	18.64	56.99
26	18.99	59.66
27	19.45	62.06
28	19.98	64.20
29	20.51	66.60
30	20.89	69.26
31	21.31	72.21
32	21.85	74.07



PROGETTO: TRAVERSA CEREZOLA

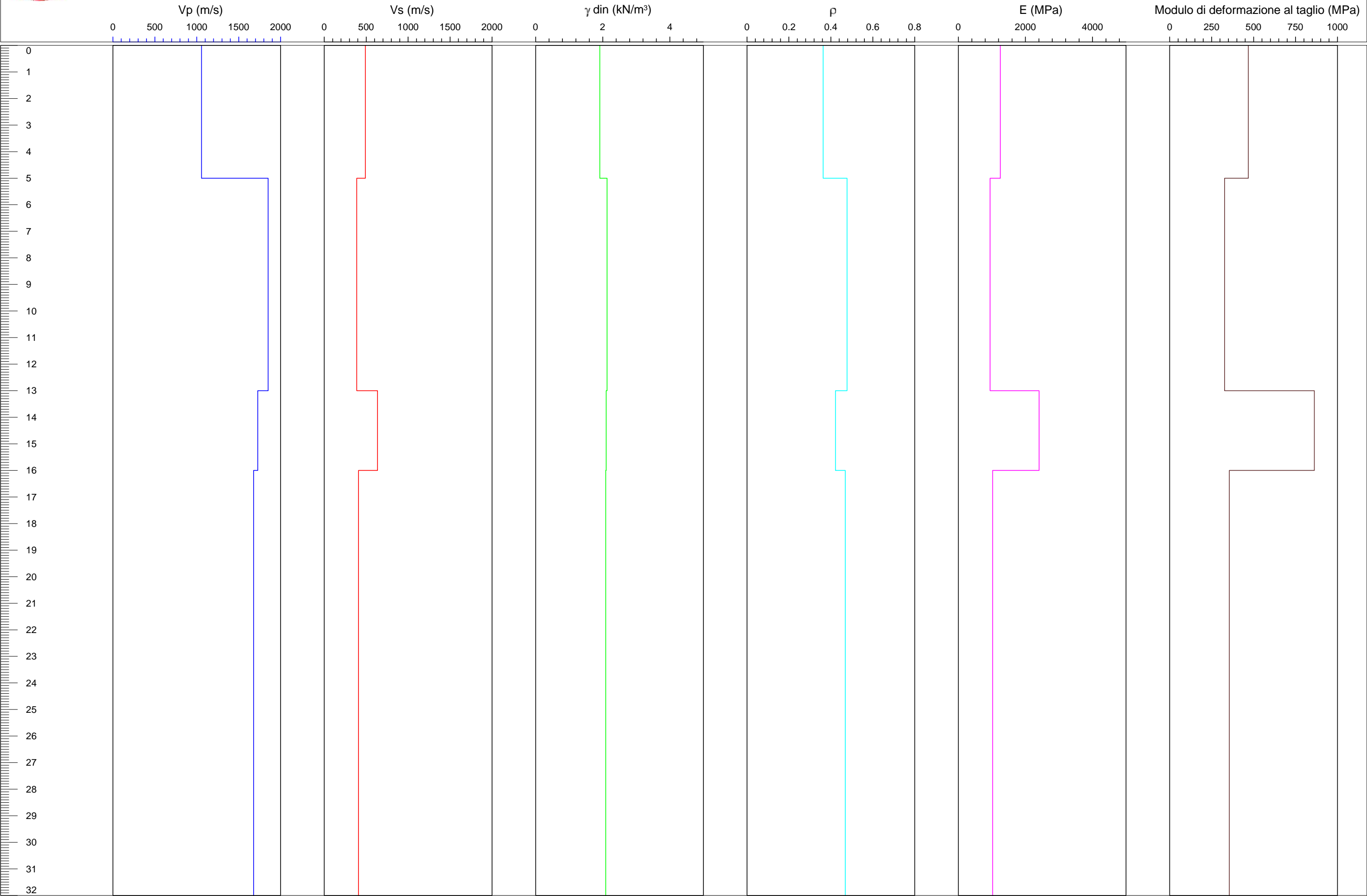
COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Emilia Centrale

CONSULENZA GEOFISICA: CGA

PROVA: Down Hole - S3

DATA DI ESECUZIONE: 21 Ottobre 2019

TAVOLA 2: Metodo diretto





PROGETTO: TRAVERSA CEREZZOLA

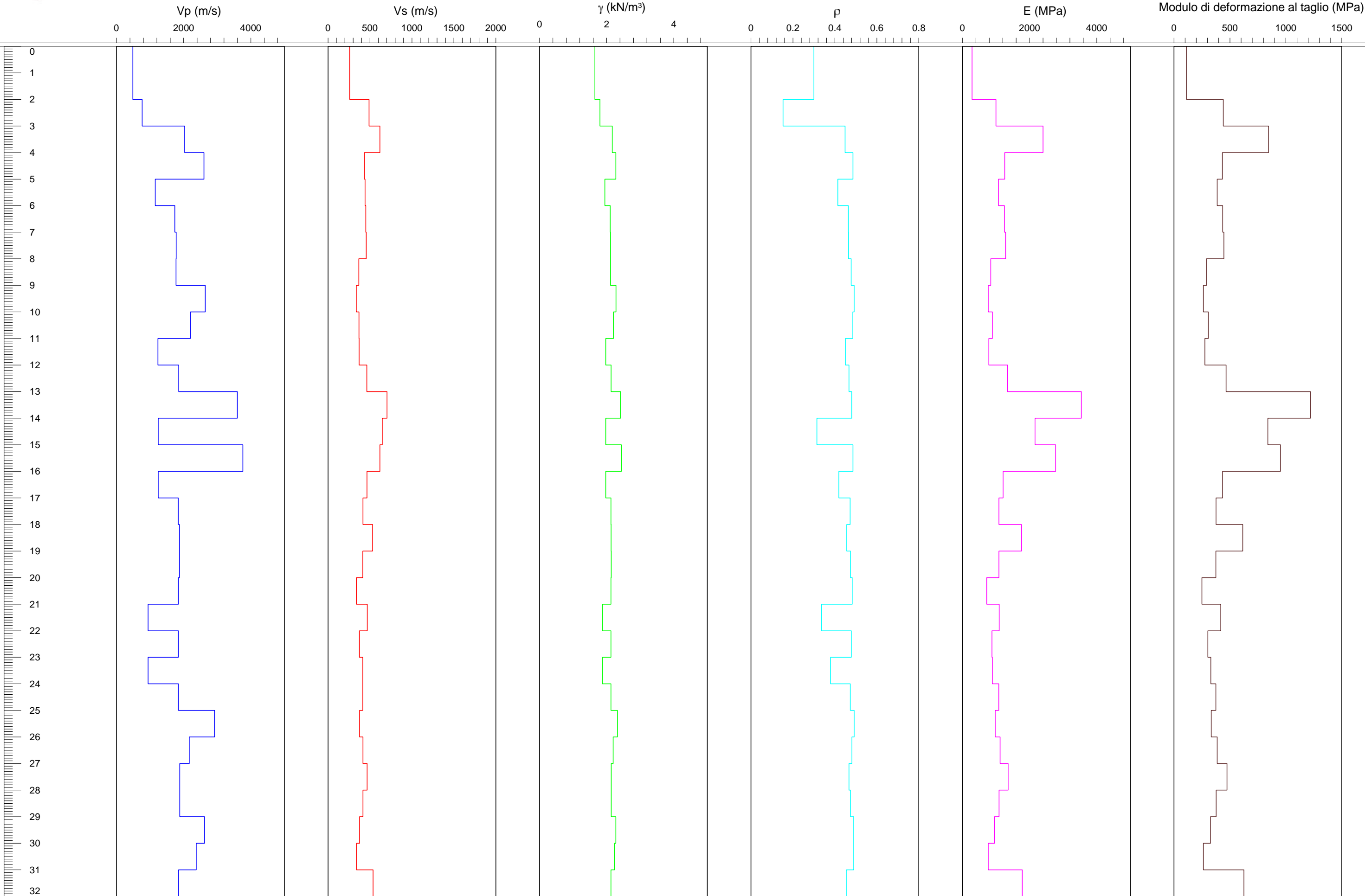
COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Emilia Centrale

CONSULENZA GEOFISICA: CGA

PROVA: Down Hole - S3

DATA DI ESECUZIONE: 21 Ottobre 2019

TAVOLA 3: Metodo del pseudo intervallo







PROGETTO: TRAVERSA CEREZOLA

COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Emilia Centrale

PROVA: Down Hole - S3

DATA DI ESECUZIONE: 21 Ottobre 2019

Ubicazione prova

Metodo diretto - Velocità e parametri calcolati						
Profondità (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	$\gamma$ dinamico (kN)	Coefficiente di Poisson	Modulo di Young (MPa)	Modulo di deformazione al taglio (MPa)
5.00	1057.08	489.66	18.78	0.36	1251.99	468.19
13.00	1851.01	387.80	20.89	0.48	946.26	326.64
16.00	1726.32	634.36	20.61	0.42	2405.52	862.53
32.00	1678.16	408.09	20.50	0.47	1022.63	355.03

Metodo intervallo - Velocità e parametri calcolati						
Profondità (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	$\gamma$ dinamico (kN)	Coefficiente di Poisson	Modulo di Young (MPa)	Modulo di deformazione al taglio (MPa)
2.00	483.21	258.43	16.18	0.30	286.48	112.38
3.00	765.06	489.77	17.66	0.15	995.96	440.49
4.00	2026.81	618.40	21.25	0.45	2401.08	845.05
5.00	2604.11	432.05	22.29	0.49	1260.72	432.61
6.00	1151.15	441.68	19.09	0.41	1073.45	387.15
7.00	1735.64	450.68	20.63	0.46	1251.20	435.79
8.00	1778.26	455.24	20.73	0.46	1283.49	446.71
9.00	1773.75	367.31	20.72	0.48	842.40	290.68
10.00	2645.67	336.34	22.35	0.49	769.40	262.96
11.00	2203.02	369.53	21.59	0.49	893.23	306.57
12.00	1232.60	370.72	19.34	0.45	785.94	276.31
13.00	1853.98	463.21	20.89	0.47	1341.05	466.17
14.00	3600.60	703.36	23.70	0.48	3539.76	1219.31
15.00	1239.87	645.84	19.36	0.31	2163.34	839.53
16.00	3765.09	618.90	23.90	0.49	2775.20	952.12
17.00	1242.48	464.30	19.36	0.42	1207.96	434.08
18.00	1837.33	416.27	20.86	0.47	1085.78	375.84
19.00	1873.51	531.65	20.94	0.46	1757.41	615.32
20.00	1875.01	414.97	20.94	0.47	1084.09	374.93
21.00	1841.72	339.10	20.87	0.48	725.48	249.51
22.00	940.99	467.68	18.37	0.34	1094.64	417.76
23.00	1843.37	373.48	20.87	0.48	877.90	302.72
24.00	941.37	415.46	18.37	0.38	891.79	329.71
25.00	1844.65	415.56	20.87	0.47	1083.10	374.83
26.00	2924.69	375.10	22.78	0.49	975.26	333.35
27.00	2165.70	415.71	21.52	0.48	1123.22	386.72
28.00	1881.11	466.17	20.95	0.47	1362.53	473.46
29.00	1881.55	415.84	20.95	0.47	1089.44	376.76
30.00	2622.18	375.31	22.32	0.49	954.94	326.87
31.00	2373.85	339.65	21.90	0.49	767.46	262.69
32.00	1847.86	536.49	20.88	0.45	1782.19	624.95



PROGETTO: TRAVERSA CEREZZOLA

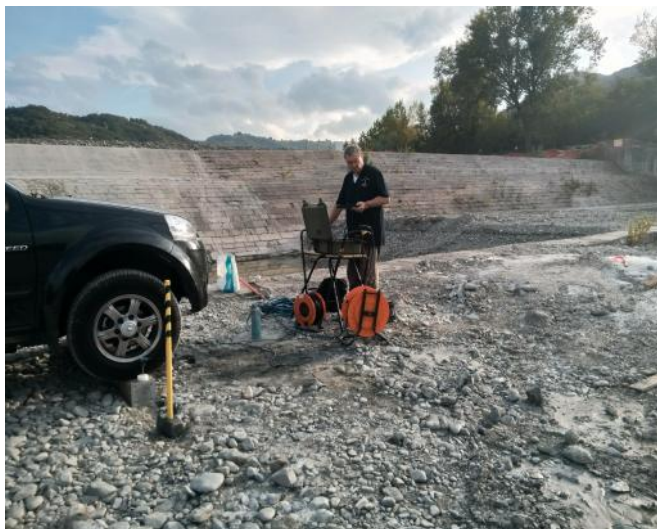
PROVA: Down Hole - S3

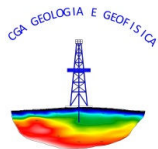
COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Emilia Centrale

DATA DI ESECUZIONE: 21 Ottobre 2019

CONSULENZA GEOFISICA: CGA

Repertorio fotografico





**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

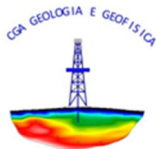
Committente:	Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale
Prova:	DH 31 m
Località:	Traversa Cerezzola - Ciano d'Enza (RE)
Data:	13-nov-19
Certificato:	A1401GF689DHS7



## 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 DOWN HOLE .....	4
MODALITÀ ESECUTIVE .....	4
<b>ELABORAZIONE DATI .....</b>	<b>7</b>
SISMICA CON METODOLOGIA DOWN HOLE .....	7
<i>Picking</i> .....	7
<i>Interpretazione</i> .....	7
Coefficiente di Poisson: .....	8
Modulo di taglio: .....	8
Modulo di Young: .....	8
Modulo di compressibilità: .....	8
<b>PRESENTAZIONE DEI RISULTATI .....</b>	<b>9</b>
PROVA DOWN HOLE DH1 .....	9
<b>APPENDICE 1 .....</b>	<b>10</b>





## INTRODUZIONE

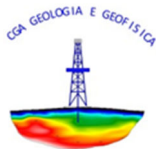
Su incarico del

Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale è stato redatto questo rapporto di prova relativo all'esecuzione di una Prove sismiche Down-hole, eseguita presso la Traversa Cerezzola - Ciano. d'Enza (RE)

L'ubicazione delle indagini è rappresentata in figura n° 1.

Lo studio ha seguito il seguente sviluppo:

- esecuzione di n° 1 prova Down Hole;
- elaborazione dei dati raccolti.



## METODOLOGIA D'INDAGINE

### INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA DOWN HOLE

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

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

Tutte le procedure di cantiere, interpretazione e calcolo utilizzate in questo lavoro fanno riferimento alla norma ASTM D7400 - 08:

“Standard test methods for Downhole Seismic Testing”.

### MODALITÀ ESECUTIVE

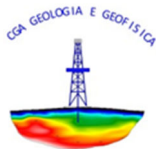
La prova consiste nel produrre, sulla superficie del terreno, sollecitazioni verticali (per la generazione di onde di compressione P) ed orizzontali (per onde di taglio polarizzate orizzontalmente SH) mediante una sorgente meccanica e nel registrare l'istante di primo arrivo del treno d'onde attraverso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

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

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

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

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



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

Per generare le onde SH è stato utilizzato un parallelepipedo di legno armato alle estremità di piastre in alluminio.

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

*Il sistema di ricezione* è costituito da cinque componenti, ciascuno dei quali è costituito da un trasduttore di velocità orientato secondo gli assi di due terne cartesiane ortogonali aventi in comune l'origine e l'asse delle ordinate e ruotate rispetto all'origine di 45°. I trasduttori di velocità sono collocati all'interno di un unico contenitore impermeabile sino a 10 Bar di pressione. E' stato adottato un sistema di ancoraggio pneumatico per garantire un buon accoppiamento in foro tra i ricevitori e le pareti di rivestimento.

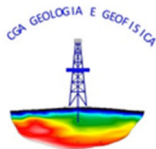
*Il trigger* è costituito da un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la sorgente viene attivata, consentendo a un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato ad un sensore collegato al sistema di acquisizione dati; in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

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

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° 1 - Tabella delle caratteristiche del sismografo utilizzato.*

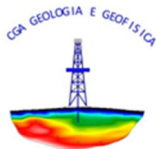
*Geofoni Geospace GS-20DM*

**At 25° C**

Natural Frequency (Fn):	10 Hz
Maintains Fn Specifications to Tilt Angle of	20°
Typical Spurious Frequency	>300 Hz
Harmonic Distortion with Driving Velocity of 0.7 in/sec (1.8 cm/sec)P-P	<.3%
<b>Dimensions (less terminals*)</b>	
Height	2.64 cm
Diameter	2.22 cm
Weight	43 g

*Tabella n° 2 - Tabella delle caratteristiche dei geofoni utilizzati.*





## ELABORAZIONE DATI

### SISMICA CON METODOLOGIA DOWN HOLE

#### **PICKING**

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

Per facilitare la lettura del primo arrivo ed eliminare il disturbo aleatorio costituito da rumore di fondo e generalmente della stessa frequenza del segnale registrato, si è proceduto ad applicare ad ogni segnale un filtro del tipo muting, dal tempo "Zero" al primo arrivo.

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

#### **INTERPRETAZIONE**

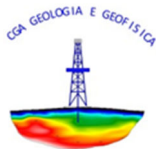
Poiché le onde sismiche prodotte dalla sorgente non si propagano esattamente in direzione verticale rispetto ai ricevitori, data la posizione della sorgente, è necessario correggere i tempi di arrivo stimati per tenere conto dell'inclinazione del percorso effettivo.

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

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

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

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



#### **Coefficiente di Poisson:**

$$\nu = \frac{V_P^2 - V_S^2}{2(V_P^2 + V_S^2)}$$

Dove:

$V_P$  = velocità onde di compressione;

$V_S$  = velocità onde di taglio;

#### **Modulo di taglio:**

$$G = \gamma V_S^2$$

Dove:

$\gamma$  = densità del mezzo attraversato;

$V_S$  = velocità onde di taglio;

#### **Modulo di Young:**

$$E = 2\gamma V_S^2 (1 + \nu)$$

Dove:

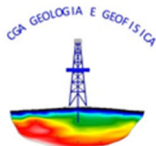
$\nu$  = Coefficiente di Poisson

#### **Modulo di compressibilità:**

$$K \text{ din} = E / (3(1 - \nu))$$

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

***E' inoltre opportuno ricordare che, nel caso di completa saturazione dei materiali attraversati dai treni d'onda la velocità di propagazione delle onde P misurata risulta essere molto prossima a quella nell'acqua.***



## PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

### PROVA DOWN HOLE DH1

In appendice 1 sono riportati i certificati della prova svolta e le relative interpretazioni sia con il metodo diretto che con il metodo del pseudointervallo.

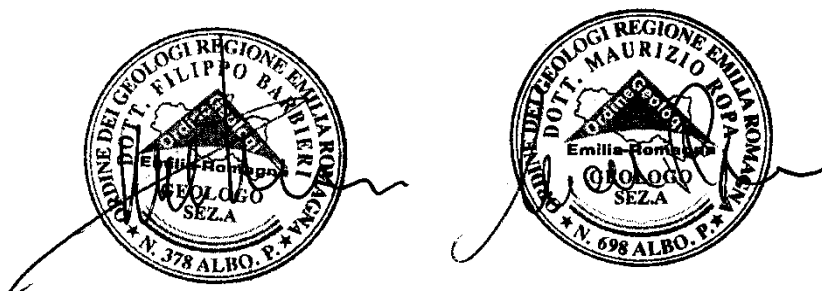
Di seguito, in forma tabellare vengo rappresentati stratigrafia e parametri geofisici ottenuti tramite il metodo diretto.

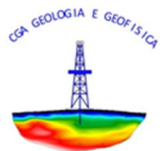
Profondità (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	$\gamma$ dinamico (KN)	Coefficiente di Poisson	Modulo di Young (MPa)	Modulo di deformazione al taglio (MPa)
9.00	1067.86	354.62	18.82	0.44	693.91	246.03
22.00	2138.97	638.60	21.47	0.45	2591.15	910.44
31.00	1503.41	434.64	20.08	0.45	1125.07	394.41

Tabella n° 3- stratigrafia e parametri geofisici ottenuti tramite il metodo diretto.

San Giovanni in Persiceto, 08.04.2019

I Geologi :





## **APPENDICE 1**

Figure ed elaborati grafici





PROGETTO: TRAVERSA CEREZZOLA

COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Emilia Centrale

PROVA: Down Hole - S7

DATA DI ESECUZIONE: 14 Novembre 2019

Ubicazione prova







PROGETTO: TRAVERSA CEREZZOLA

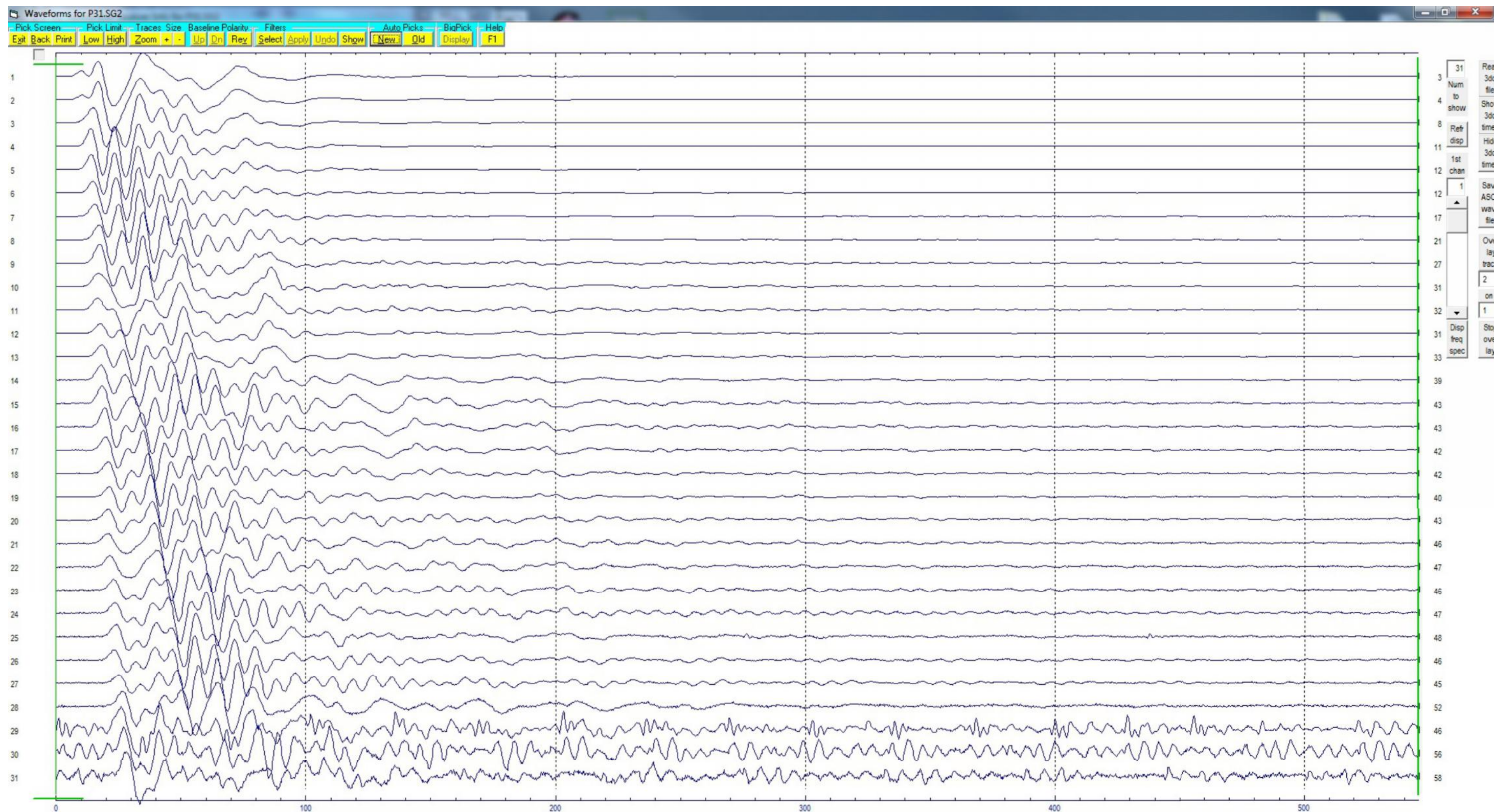
COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Emilia Centrale

CONSULENZA GEOFISICA: CGA

PROVA: Down Hole - S7

DATA DI ESECUZIONE: 14 Novembre 2019

TAVOLA 4: Sismogrammi onde P







PROGETTO: TRAVERSA CEREZZOLA

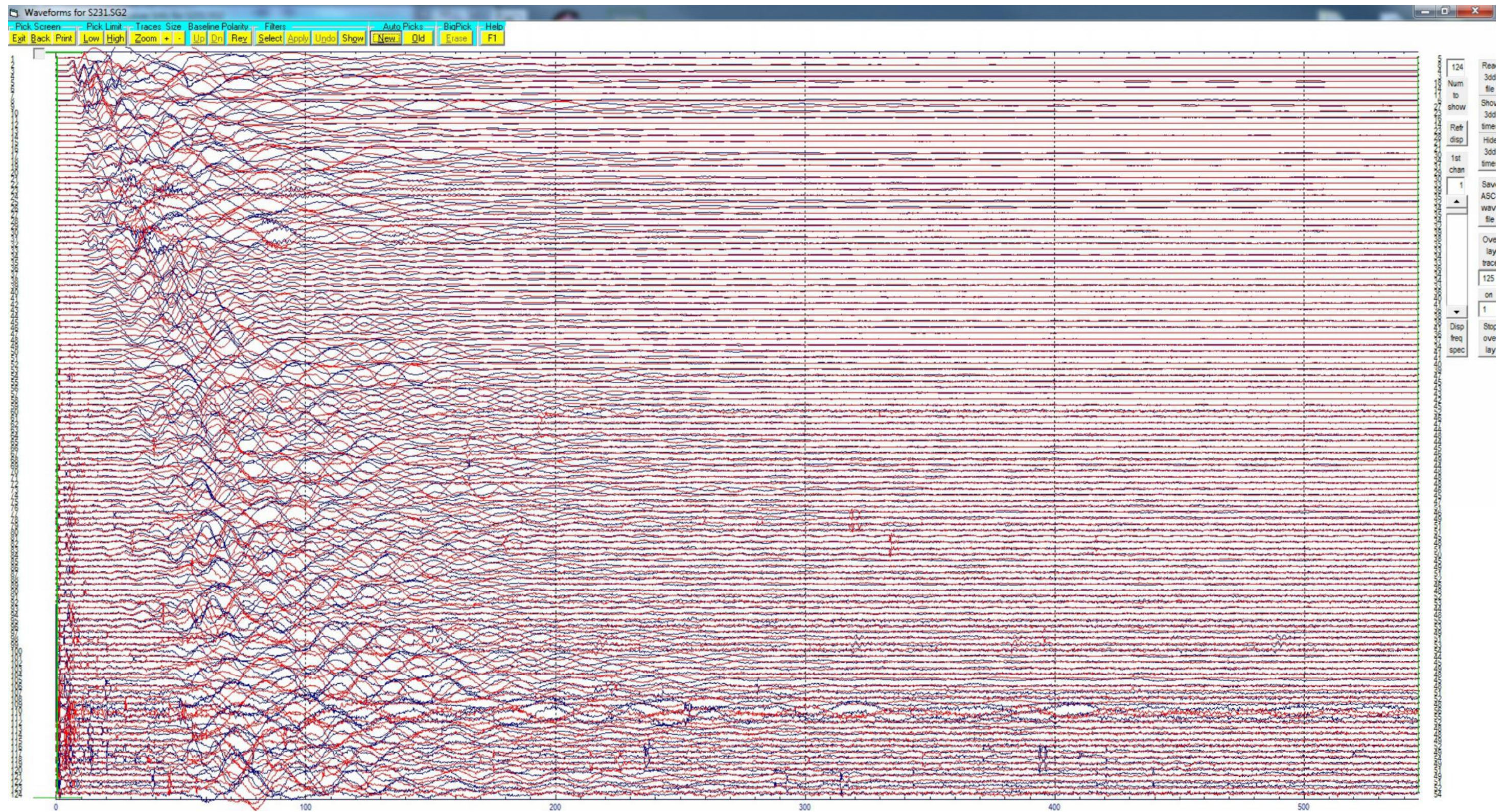
COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Emilia Centrale

CONSULENZA GEOFISICA: CGA

PROVA: Down Hole - S7

DATA DI ESECUZIONE: 14 Novembre 2019

TAVOLA 5: Sismogrammi onde S







PROGETTO: TRAVERSA CEREZZOLA

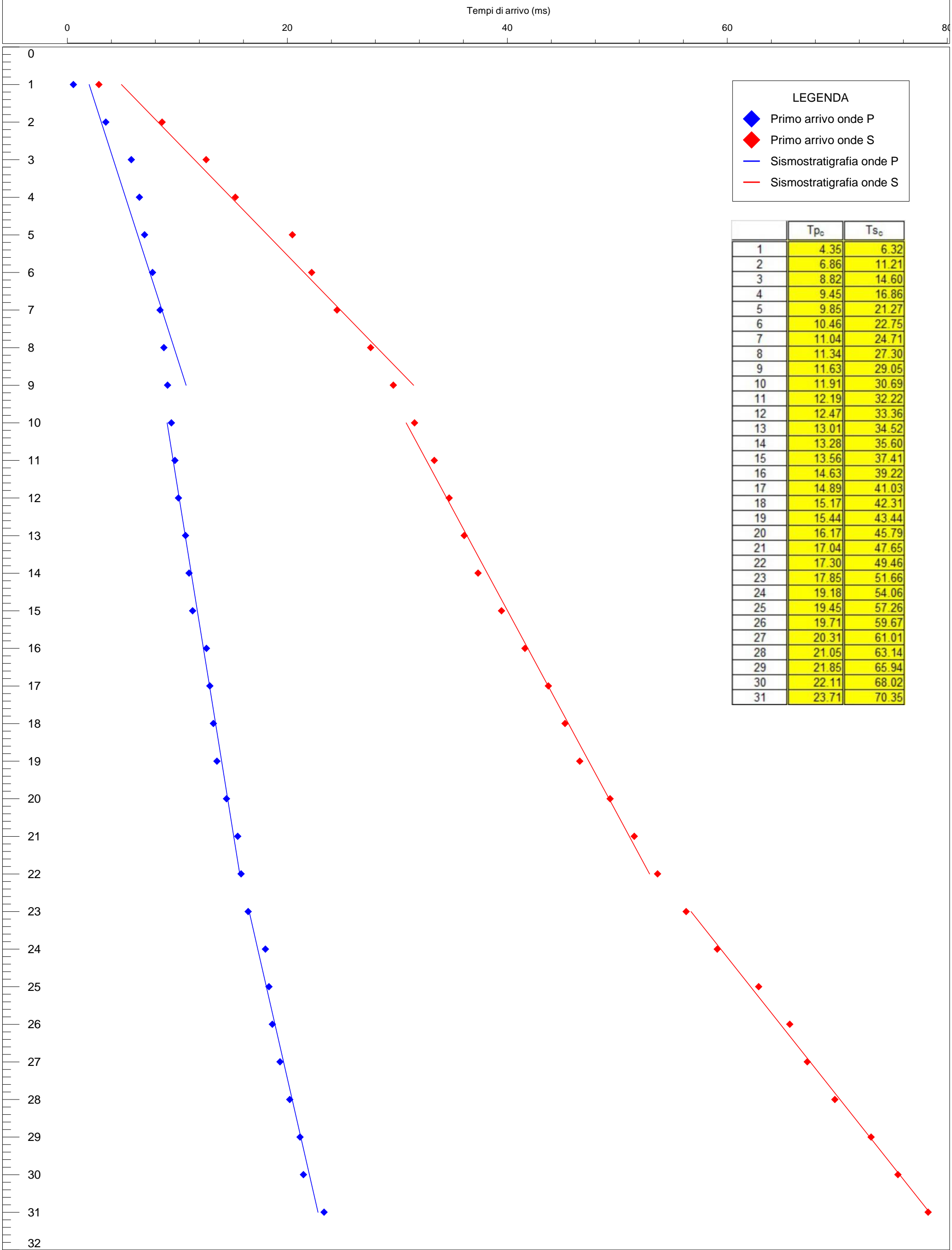
COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Emilia Centrale

CONSULENZA GEOFISICA: CGA

PROVA: Down Hole - S7

DATA DI ESECUZIONE: 14 Novembre 2019

TAVOLA 1: Tempi di primo arrivo e interpretazione stratigrafica







PROGETTO: TRAVERSA CEREZZOLA

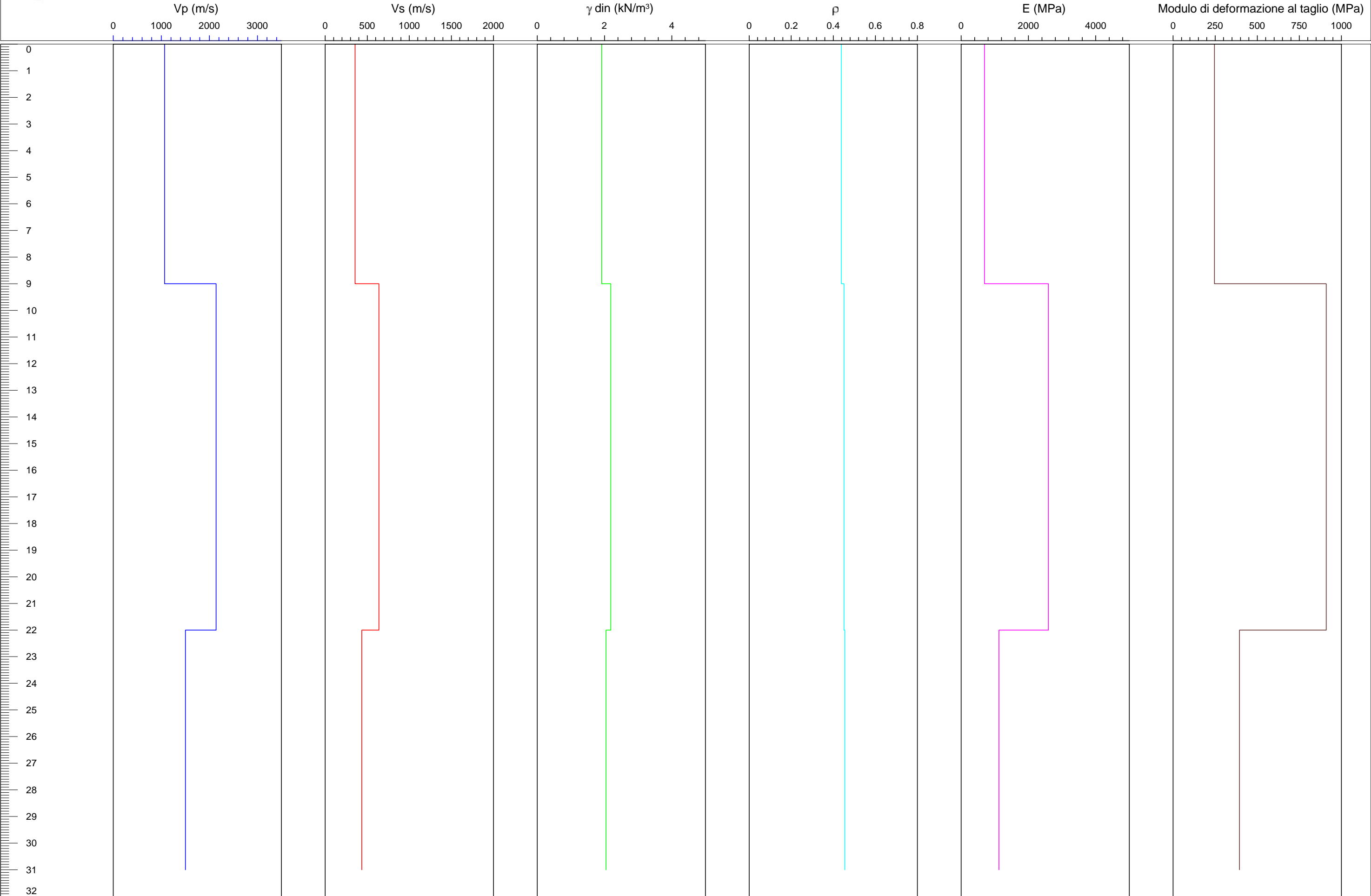
COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Emilia Centrale

CONSULENZA GEOFISICA: CGA

PROVA: Down Hole - S7

DATA DI ESECUZIONE: 14 Novembre 2019

TAVOLA 2: Metodo diretto





PROGETTO: TRAVERSA CEREZZOLA

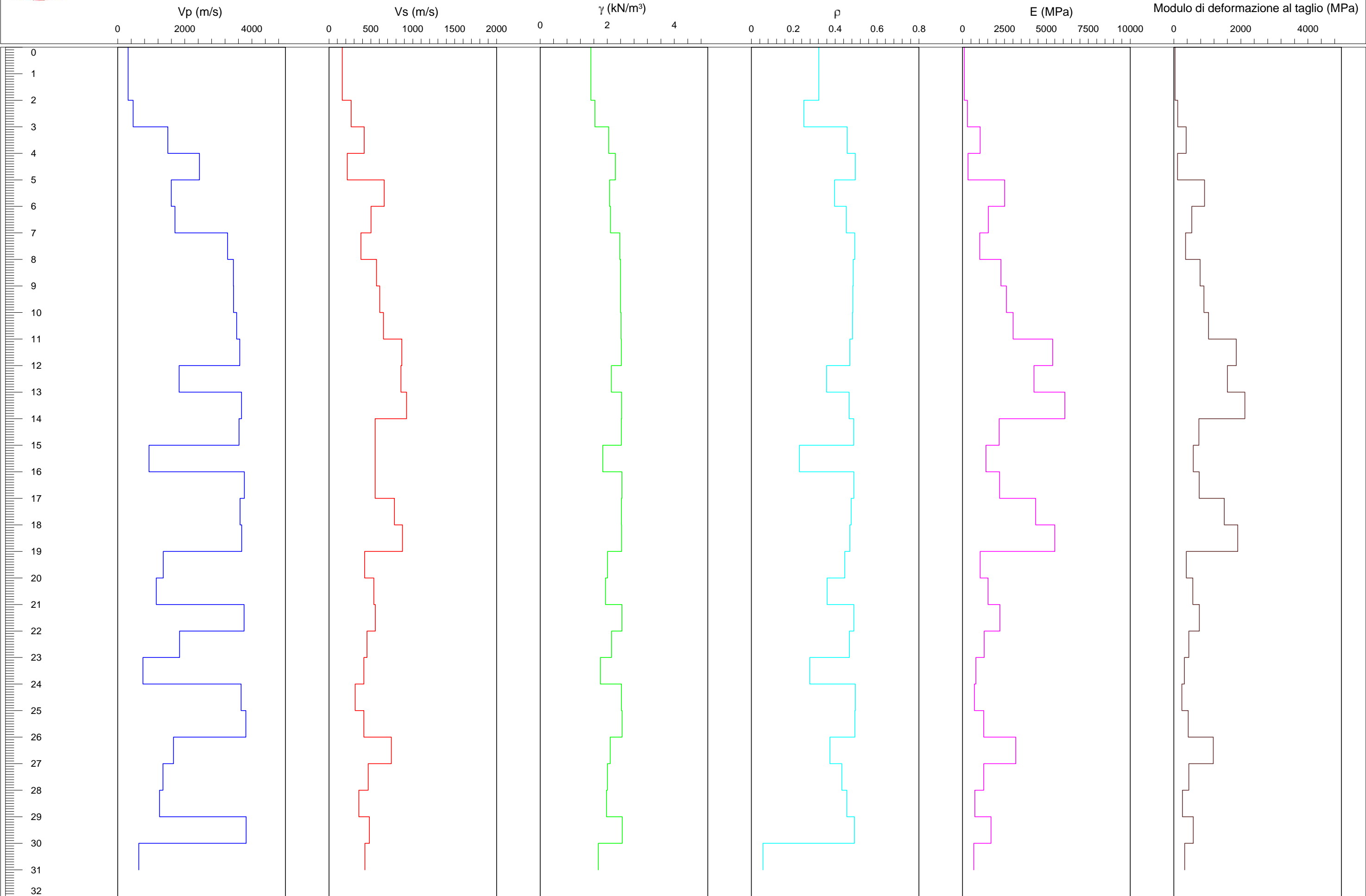
COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Emilia Centrale

CONSULENZA GEOFISICA: CGA

PROVA: Down Hole - S7

DATA DI ESECUZIONE: 14 Novembre 2019

TAVOLA 3: Metodo del pseudo intervallo





PROGETTO: TRAVERSA CEREZZOLA

COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Emilia Centrale

PROVA: Down Hole - S7

DATA DI ESECUZIONE: 14 Novembre 2019

Tabella riasuntiva elaborazione

Metodo diretto - Velocità e parametri calcolati						
Profondità (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	$\gamma_{\text{dinamico}}$ (KN)	Coefficiente di Poisson	Modulo di Young (MPa)	Modulo di deformazione al taglio (MPa)
9.00	1067.86	354.62	18.82	0.44	693.91	246.03
22.00	2138.97	638.60	21.47	0.45	2591.15	910.44
31.00	1503.41	434.64	20.08	0.45	1125.07	394.41

Metodo intervallo - Velocità e parametri calcolati						
Profondità (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	$\gamma_{\text{dinamico}}$ (KN)	Coefficiente di Poisson	Modulo di Young (MPa)	Modulo di deformazione al taglio (MPa)
2.00	307.31	157.57	14.85	0.32	99.38	38.34
3.00	458.39	264.52	16.02	0.25	285.89	116.58
4.00	1492.42	419.49	20.05	0.46	1048.50	366.88
5.00	2435.74	219.10	22.01	0.50	322.29	109.85
6.00	1594.81	658.53	20.31	0.40	2509.19	915.62
7.00	1706.58	501.66	20.57	0.45	1533.55	538.23
8.00	3278.57	380.50	23.28	0.49	1026.59	350.54
9.00	3450.35	566.33	23.51	0.49	2285.59	784.12
10.00	3451.74	606.07	23.51	0.48	2614.17	898.09
11.00	3546.64	649.77	23.64	0.48	3017.31	1037.61
12.00	3640.99	868.83	23.75	0.47	5374.81	1864.45
13.00	1830.26	858.39	20.84	0.36	4256.64	1596.96
14.00	3694.37	925.51	23.82	0.47	6102.16	2121.51
15.00	3618.87	550.29	23.73	0.49	2180.57	747.08
16.00	929.85	551.03	18.33	0.23	1395.19	578.62
17.00	3777.48	551.62	23.92	0.49	2210.41	756.83
18.00	3649.18	780.53	23.76	0.48	4358.03	1505.37
19.00	3697.17	877.39	23.82	0.47	5498.54	1906.92
20.00	1358.57	425.78	19.70	0.45	1052.64	371.28
21.00	1149.73	535.39	19.08	0.36	1518.75	568.72
22.00	3766.67	553.39	23.91	0.49	2223.25	761.29
23.00	1844.27	453.23	20.87	0.47	1283.60	445.85
24.00	750.72	415.65	17.60	0.28	792.98	316.12
25.00	3677.96	311.97	23.80	0.50	706.85	240.85
26.00	3821.18	415.79	23.97	0.49	1262.74	430.93
27.00	1662.38	743.68	20.47	0.37	3173.81	1176.95
28.00	1348.74	468.54	19.67	0.43	1260.47	448.98
29.00	1247.92	356.63	19.38	0.46	731.71	256.31
30.00	3828.01	482.22	23.98	0.49	1696.68	579.83
31.00	624.55	428.54	16.99	0.06	671.51	324.48





PROGETTO: TRAVERSA CEREZZOLA

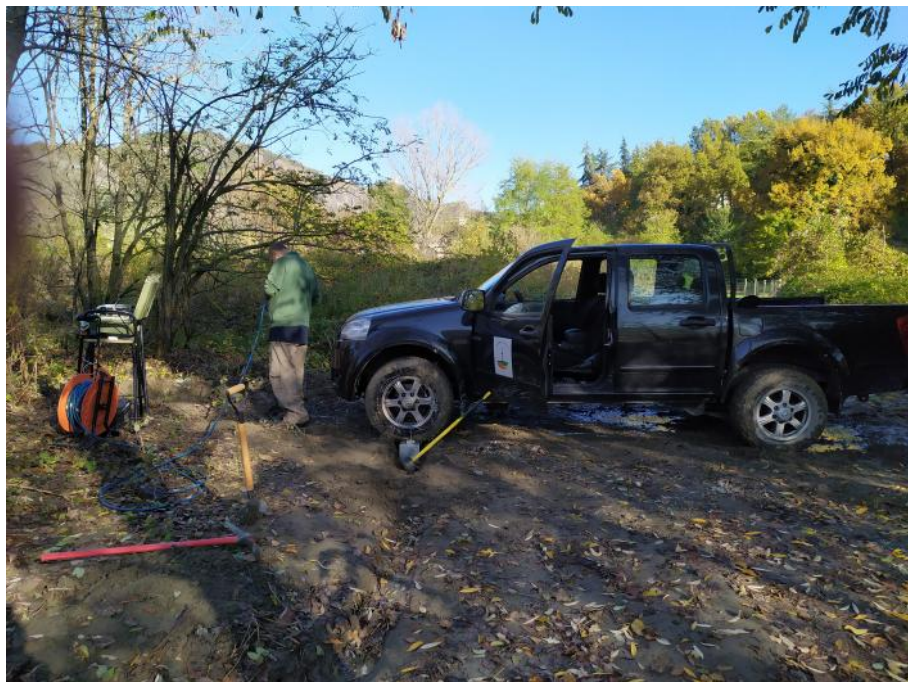
COMMITTENTE: Consorzio Bonifica Emilia Centrale

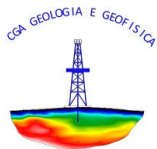
CONSULENZA GEOFISICA: CGA

PROVA: Down Hole - S7

DATA DI ESECUZIONE: 14 Novembre 2019

Repertorio fotografico

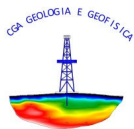




**Studio Tecnico Associato di Consulenze di Geologia e Ambiente del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa**  
Via E. Fermi n° 11/A – 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO) Tel. +39 051 6871113 FAX +39 051 6874328  
C.F. e Partita IVA 04112290376  
Email: cgastudio@cgastudio.eu

Committente:	Consorzio dei Bonifica dell'Emilia centrale
Prova:	L1 - Rifrazione tomografica 24 geofoni
Progetto:	TRAVERSA CEREZZOLA
Data:	30-ott-19
Certificato:	A1131GF635L1

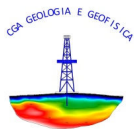
Rapporto di prova relativo all'esecuzione di una prova a rifrazione  
tomografica (L1) - Traversa Cerezzola - Ciano d'Enza (RE)



## 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 3.36) e Plus Minus (Hagedoorn,1959) .....</i>	<i>7</i>
SMOOTH INVERSION(RAYFRACT 3.36).....	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>12</b>





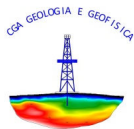
## INTRODUZIONE

Su incarico del Consorzio di Bonifica del Centro Emilia è stato redatto questo rapporto di prova relativo all'esecuzione di una linea sismica a rifrazione tomografica in onde P (L1) a Ciani d'Enza (RE), in località Traversa Cerezzola.

Lo studio ha seguito il seguente sviluppo:

- a) esecuzione di una linea sismica a rifrazione tomografica in onde P;
- b) Interpretazione dei dati rilevati.

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 24 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	3.5	4.0	5.0	6.0	6.5	7.0	8.0	9.0	9.5	10.0	11.0	12.0	12.5	13.0	14.0	15.0	15.5	16.0	17.0	18.0	18.5	19.0	20.0	21.0	21.5	22.0	23.0	24.0	24.5
Shot/reciever	S1	G1	G2	G3	S2	G4	G5	G6	S3	G7	G8	G9	S4	G10	G11	G12	S5	G13	G14	G15	S6	G16	G17	G18	S7	G19	G20	G21	S8	G22	G23	G24	S9
Distanza da G1 (m)	1.50	0.00	3.00	6.00	7.50	9.00	12.00	15.00	16.50	18.00	21.00	24.00	25.50	27.00	30.00	33.00	34.50	36.00	39.00	42.00	43.50	45.00	48.00	51.00	52.50	54.00	57.00	60.00	61.50	63.00	66.00	69.00	70.50

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 3 m).

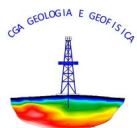
Il posizionamento planoaltimetrico di tutti gli shots eseguiti e dei geofoni è stato effettuato attraverso l'esecuzione di un rilievo GPS con strumentazione Leica serie 1200 RX 1250.

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
Intervali di campionamento: 1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0ms
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



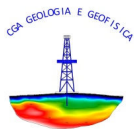
#### GEOFONI GEOSPACE GS-11D

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
<b>Dimensioni</b>	
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 3.36 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 3.36.

#### ***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).

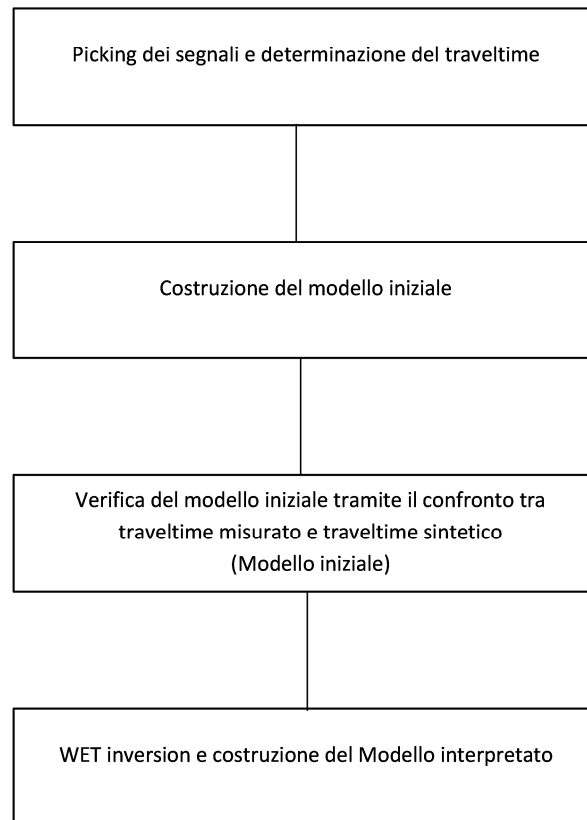
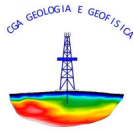
L'area di influenza sulla propagazione del raggio d'onda a determinata banda di frequenza è definita e controllata dalla frequenza dominante del segnale.

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 3.36.

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 3.36) E PLUS MINUS (HAGEDOORN, 1959)***

#### **SMOOTH INVERSION(RAYFRACT 3.36)**

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  $\Delta$ ,  $t$ ,  $V$ .

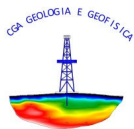
Il codice di calcolo  $\Delta$ ,  $t$ ,  $V$  necessita dei seguenti dati di ingresso:

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:

$\Delta$  = offsett 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)**

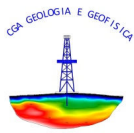
Noti i valori di velocità è possibile definire la profondità dei rifrattori al di sotto di ogni geofono, il metodo utilizzato si basa sulla determinazione dei “tempi intercetti” per le dromocrone delle onde rifratte e dei “tempi di ritardo” per ogni geofono dello stendimento.

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**

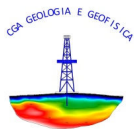
La realizzazione della sezione tomografica, partendo dal modello iniziale precedentemente determinato, viene effettuata utilizzando il metodo WET tomography (Wavepath Eikonal Traveltime tomography).

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

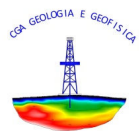
L'immagine tomografica evidenzia i seguenti aspetti:

- presenza di una zona superficiale (colore azzurro blu e verde), caratterizzata da bassi valori di  $V_p$  (minori di 2000 m/s) con spessore di 7-8 m riconducibile a una copertura di sedimenti fluviali attuali;
- presenza di un substrato individuabile per velocità di propagazione delle onde P comprese tra di 2500 e 5500 m/s (colore da giallo a rosso) che si estende tra gli shots 1 e 3;
- presenza di un substrato individuabile per velocità di propagazione delle onde P comprese tra di 2500 e 3000 m/s (colore da giallo) che si estende tra gli shots 6 e 9
- presenza di una discontinuità intermedia, in affioramento al di sotto dello shot 6 con  $V_p$  minore di 2500 m/s (colore giallo), costituito da materiale con caratteristiche meccaniche peggiori di quelli circostanti; tale discontinuità potrebbe essere causata dalla presenza di una faglia (breccia di frizione).

San Giovanni in Persiceto, 18.11.2019

I Geologi :







## **APPENDICE 1**

Figure ed elaborati grafici



Tipo di prova: Tomografia sismica in onde P a 24 canali L1    Committente: Consorzio di Bonifica dell'Emilia centrale    Località: TRAVERSA CEREZZOLA - Ciano d'Enza (RE)    Data: 30 ottobre 2019

### UBICAZIONE LINEA SISMICA L1







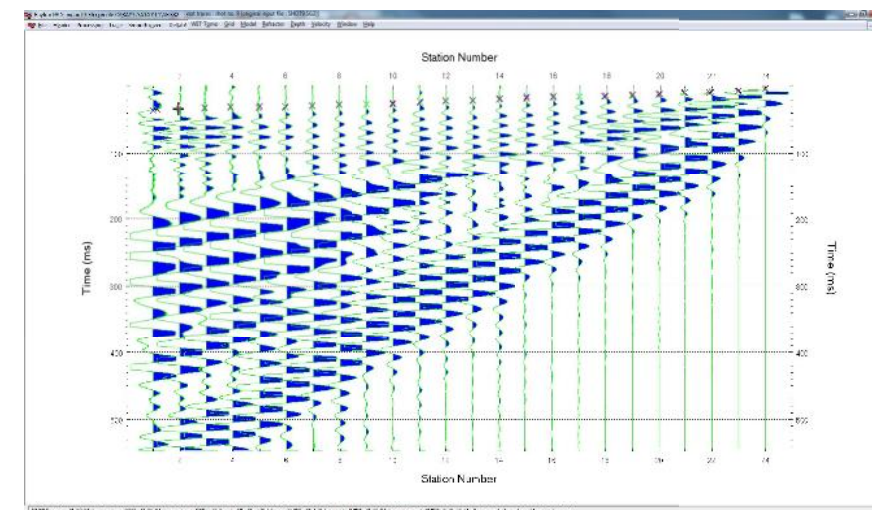
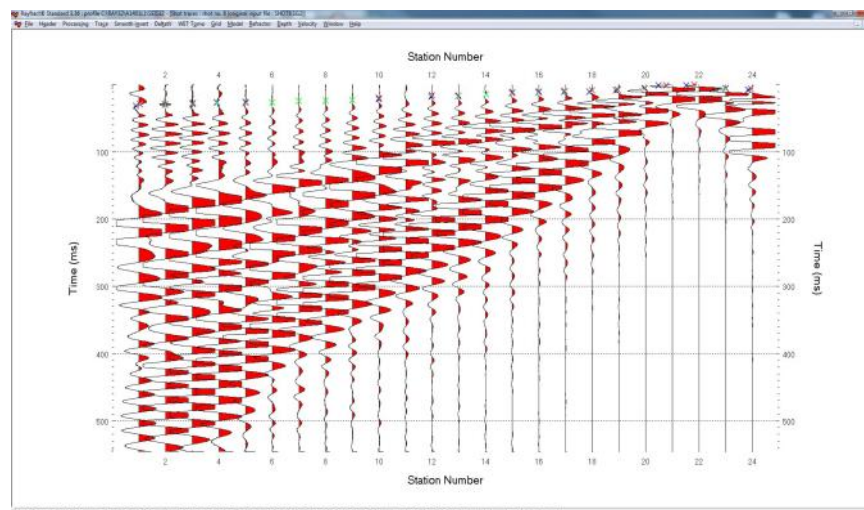
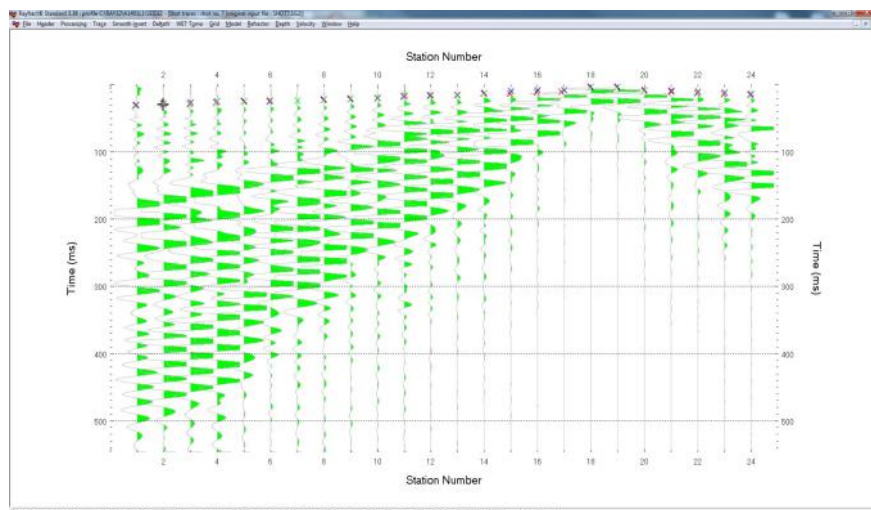
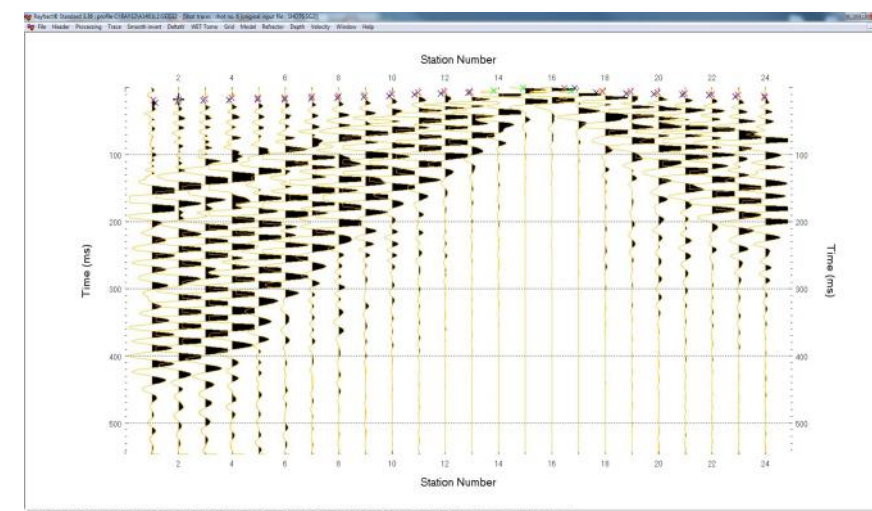
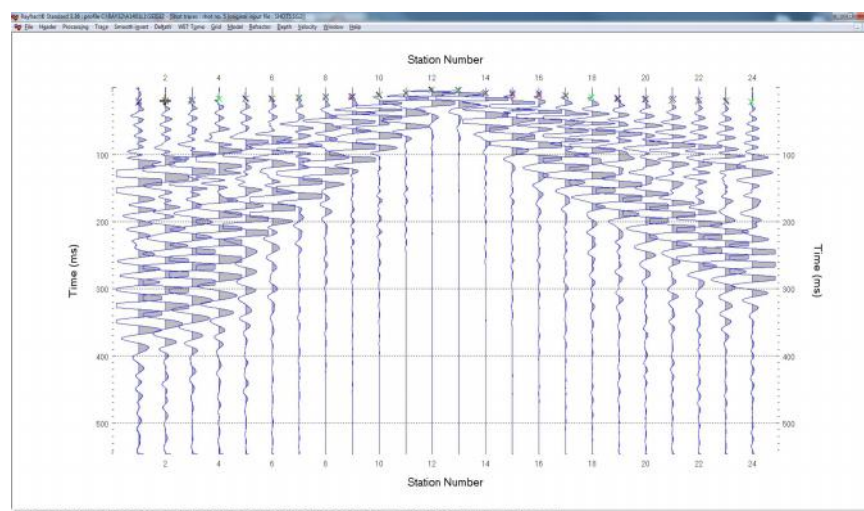
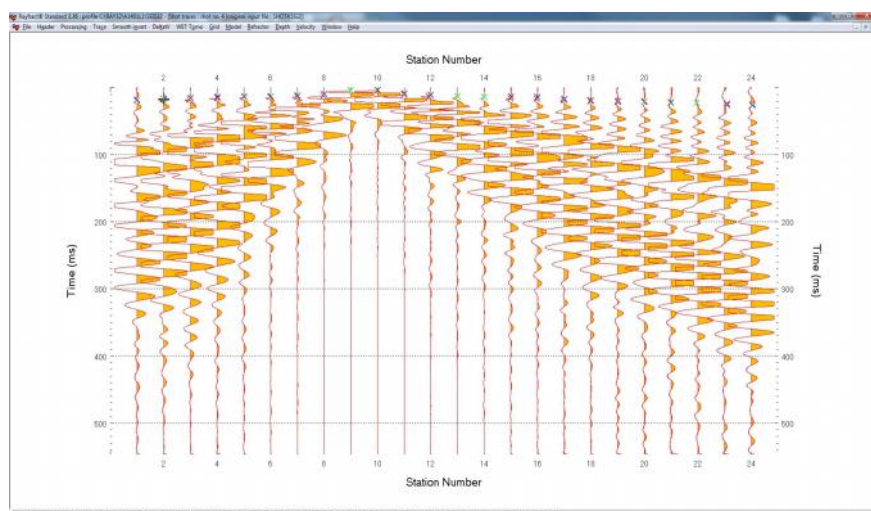
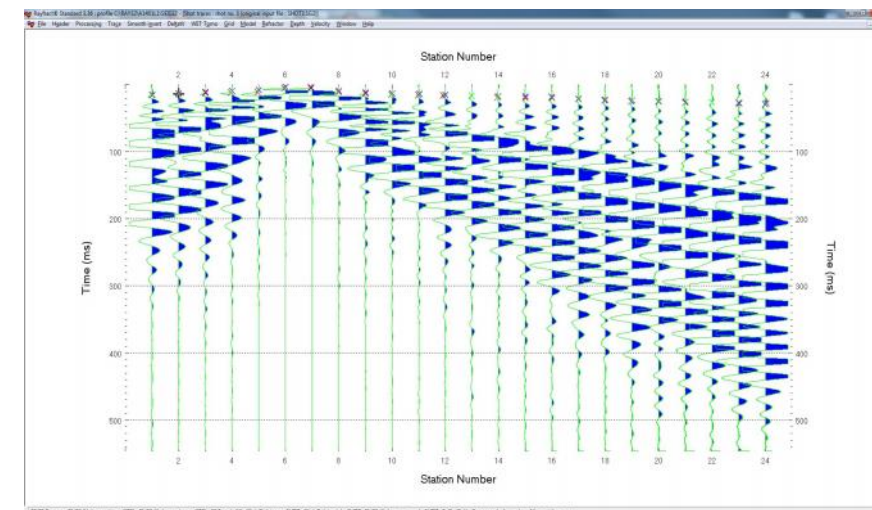
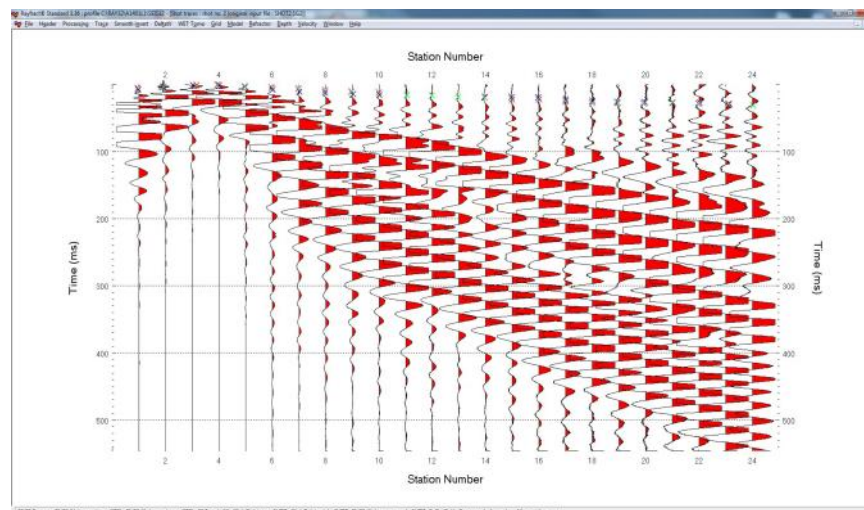
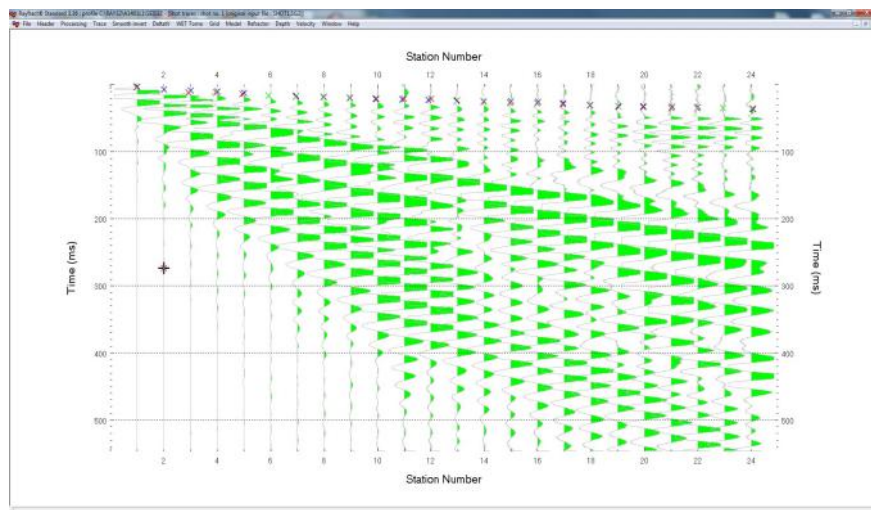
Tipo di prova: Tomografia sismica in onde P a 24 canali L1

Committente: Consorzio di Bonifica dell'Emilia centrale

Località: TRAVERSA CEREZZOLA - Ciano d'Enza (RE)

Data: 30 ottobre 2019

## SISMOGRAMMI LINEA SISMICA L1

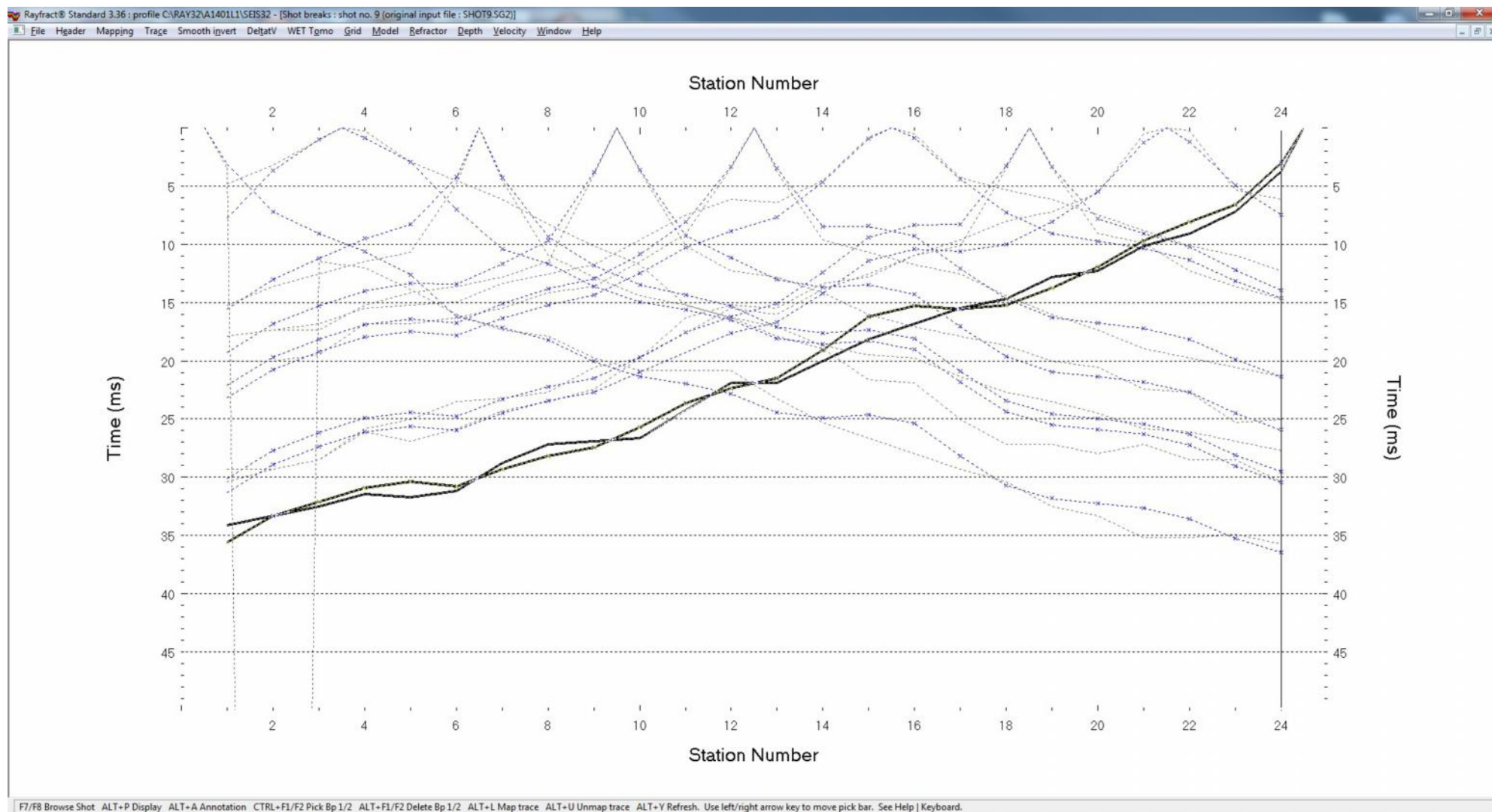






Tipo di prova: Tomografia sismica in onde P a 24 canali L1 Committente: Consorzio di Bonifica dell'Emilia centrale Località: TRAVERSA CEREZZOLA - Ciano d'Enza (RE) Data: 30 ottobre 2019

## DROMOCRONE LINEA SISMICA L1



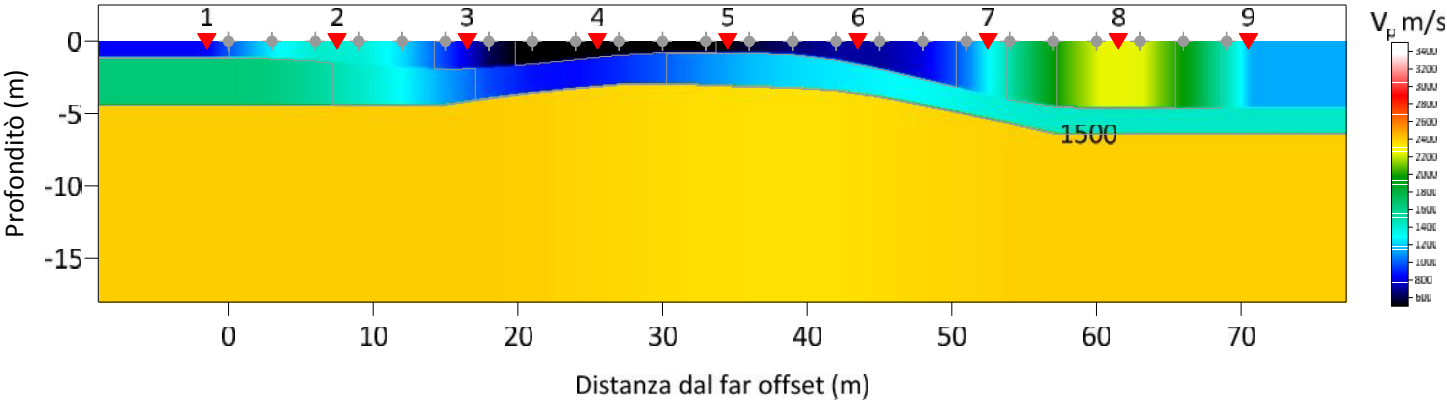


Tipo di prova: Tomografia sismica in onde P a 24 canali L1

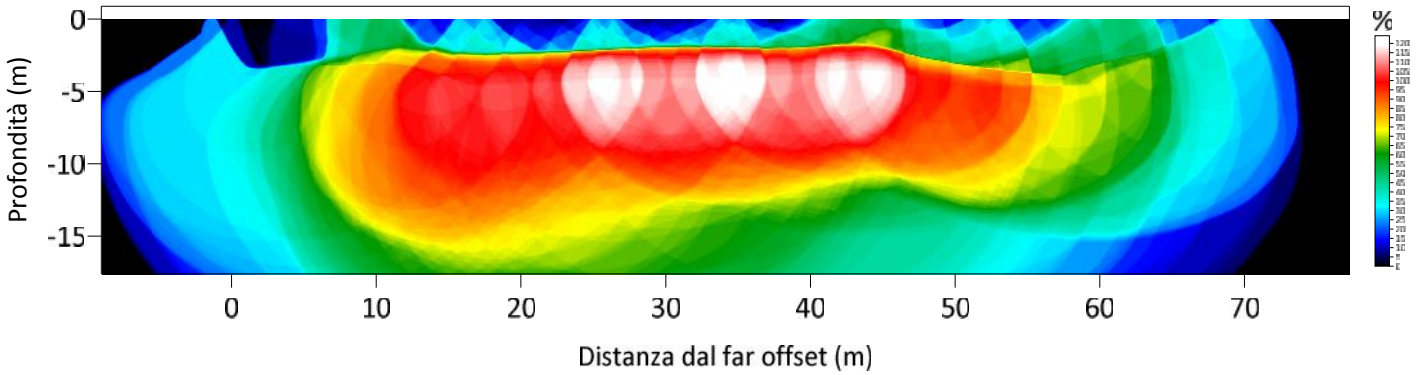
Committente: Consorzio di Bonifica dell'Emilia centrale

Località: TRAVERSA CEREZZOLA - Ciano d'Enza (RE) Data: 30 ottobre 2019

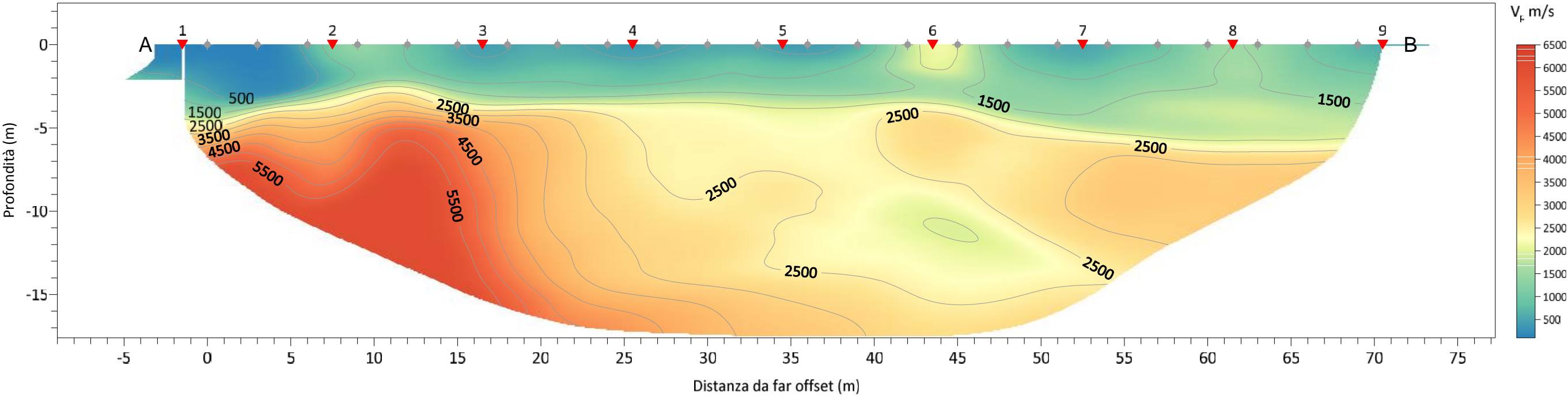
RESTITUZIONE TOMOGRAFICA LINEA SISMICA L1



A1401L1 - Modello iniziale - RMS error 102.6%=18.52ms initial PLUSMODL.GRD v. 3.36



A1401L1 - Energia di primo arrivo - RMS error 91.6%=16.53ms 20 WET itr. 50Hz Width 11.0% initial PLUSMODL.GRD v. 3.36



A1401L1 Tomografia sismica in onde P -RMS error 91.6%=16.53ms 20 WET itr. 50Hz Width 11.0% initial PLUSMODL.GRD v. 3.36



Tipo di prova: Tomografia sismica in onde P a 24 canali L1    Committente: Consorzio di Bonifica dell'Emilia centrale    Località: TRAVERSA CEREZZOLA - Ciano d'Enza (RE)    Data: 30 ottobre 2019

## REPERTORIO FOTOGRAFICO

