

**INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO
DELLA DIGA "DROVE DI CEPPARELLO"**



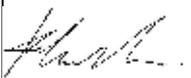
Tavola/Elaborato: ET.06.08	Nome Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA, GEOLOGICO-TECNICA, SULLE INDAGINI E SISMICA INTEGRATIVA	Scala:
		Data: 30/10/2020

Settore:  INGEGNERIE TOSCANES	Sede Firenze Via de Sanctis, 49 Cod. Fiscale e P.I. 06111950488 <small>Organizzazione dotata di Sistema di Gestione Integrato certificato in conformità alla normativa ISO9001 - ISO14001 - O HSA18001 - SA8000</small>
--	--

PROGETTAZIONE: PROGETTISTA: <i>ING. GIOVANNI SIMONELLI</i> GEOLOGO: <i>GEOL. FILIPPO LANDINI</i> ESPROPRI: <i>GEOM. ANDREA PATRIARCHI</i>	COLLABORATORI: <i>DOTT. GEOL. CARLO FERRI</i> <i>PER. AGR. DAVIDE MORETTI</i> <i>GEOM. ANDREA BERNARDINI</i>
--	--

CONSULENTI TECNICI:  WEST Systems PROGETTISTA OPERE IDRAULICHE E STRUTTURALI: <i>ING. DAVID SETTESOLDI</i>	COMMESSA I.T.: <i>INGT-TPLDP-ACQAC159</i>
--	---

	RESPONSABILE COMMITTENTE: <i>GEOM. ALESSANDRO PIOLI</i>
---	---

DELEGATO DEL DIRETTORE TECNICO: <i>ING. GIOVANNI SIMONELLI</i>	RESPONSABILE COMMITTENTE:  <i>ING. ROBERTO CECCHINI</i>
--	--

Rev.	Data	Descrizione / Motivo della revisione	Redatto	Controllato / Approvato
02	30/10/2020	Prima Emissione	Soc. IdroGeo Service Srl	Landini
01	18/04/2019	Prima Emissione	Soc. IdroGeo Service Srl	Landini

PROGETTO DEFINITIVO

INDICE

1	PREMESSA	2
2	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEGLI ORIZZONTI DI FONDAZIONI DELLE OPERE DI PROGETTO	3
2.1	AREA DEL CORPO DIGA – RINFIANCO DEL CORPO DIGA ESISTENTE.....	3
2.2	AREA VASCA DI DISSIPAZIONE – POZZETTO DI COMANDO SCARICO DI FONDO – MURO DI CONTROSPINTA MICROTUNNELING	14
2.3	CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLE FONDAZIONI DEI RILEVATI.....	20

ALLEGATI:

Allegato 1 – Campagna di indagine 2005

Allegato 2 – Campagna di indagine 2006

Allegato 3 – Campagna di indagine 2016

1 PREMESSA

Su incarico della Soc. Acque S.p.a., con il presente documento viene effettuato un approfondimento geolitologico sui piani di fondazione dei rilevati previsti da progetto, così come richiesto **nel punto 1 delle ulteriori raccomandazioni riportate nel documento del 23/12/2019 (Affare n.85/2019) rilasciato dalla Seconda Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e di cui qui di seguito si riporta il testo del relativo punto:**

- *approfondire lo studio dei piani di fondazione dei rilevati*

Il progetto, come descritto negli elaborati consegnati per la fase definitiva, prevede sinteticamente i seguenti interventi:

- **Interventi di miglioramento sismico**

Gli interventi volti a garantire la stabilità del corpo diga prevedono un ricarico dei paramenti di monte e di valle, in modo da addolcire il pendio ed appesantire il corpo diga al piede

Oltre agli interventi di ricarico dei paramenti, di monte e di valle, del corpo diga si prevede un rinfianco della sponda destra dal lago con materiale che garantisca una stabilità coerente con i fattori di sicurezza previsti dalla normativa vigente.

- **Interventi di miglioramento idraulico**

Gli interventi di adeguamento previsti hanno lo scopo di ripristinare una capacità di smaltimento che migliori sensibilmente il livello di sicurezza rispetto lo stato attuale della diga.

In particolare, in termini di rilevati, il progetto prevede un rinfianco dei paramenti di monte e di valle in modo da addolcire il pendio ed appesantire il corpo diga al piede. In aggiunta a ciò si prevede tutta una serie di interventi correlati con il rinfianco della struttura di area vasta, compresi:

- la realizzazione di nuovi canali fugatori (dx e sx), da realizzarsi in coerenza con il nuovo corpo diga rinfiancato e in sostituzione degli esistenti;
- l'approfondimento della vasca di dissipazione esistente al piede del paramento di valle;
- la realizzazione di un nuovo pozzetto di comando dello scarico di fondo

Nella documentazione consegnata a supporto del progetto definitivo era stato fatto un resoconto di tutte le indagini geognostiche e geofisiche eseguite nel corso degli anni nel sito di Cepparello. Tali indagini hanno mostrato, in più punti del comparto d'intervento un assetto geologico caratterizzato da un rilevato antropico (corpo diga) incassato e poggiante su un substrato geologico rappresentato da unità litotecniche facenti parte della formazione della Pietraforte.

L'unità litologica della Pietraforte (PTF) è caratterizzata da alternanze di arenarie quarzoso-calcaree e di argilloscisti grigio-scuri

Nel capitolo successivo verranno riassunti brevemente gli aspetti riguardanti il substrato geologico su cui poggia l'opera di progetto.

2 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEGLI ORIZZONTI DI FONDAZIONI DELLE OPERE DI PROGETTO

2.1 AREA DEL CORPO DIGA – RINFIANCO DEL CORPO DIGA ESISTENTE

Il corpo diga esistente è costituito da materiale di riporto differenziabile in due orizzonti con caratteristiche geotecniche leggermente differenti:

- Orizzonte 1a: orizzonte caratterizzato da terreni prevalentemente coesivi (limo argilloso) con abbondante matrice granulare (sabbia e ghiaia). Tale orizzonte è riscontrabile nella parte sommitale del corpo diga con estensione fino alla base dello stesso nella sua porzione di monte.
- Orizzonte 1b: orizzonte caratterizzato da terreni prevalentemente granulari (ciottoli, ghiaia con sabbia) con abbondante matrice coesiva (limo argilloso). Tale orizzonte è riscontrabile nella parte basale del corpo diga con una prevalenza nella porzione centrale e di valle della stessa

La loro distribuzione spaziale è osservabile nella Fig.3 e nella Tav.GEO.08.01 allegata al presente documento. La distinzione è stata basata sui risultati delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite sul corpo diga in più campagne di indagine dal 2005 al 2019. Dalle analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati dal corpo diga (n.36 campioni totali) nelle suddette campagne di indagini è risultato il seguente assetto geolitologico (figg. 1 e 2).

Strato 1a					Strato 1b				
	Ghiaia	Sabbie	Limo	Argilla		Ghiaia	Sabbie	Limo	Argilla
	%	%	%	%		%	%	%	%
S1 (2005)	20	23	31	26	S1C3 (2006)	37,1	22,1	28,3	12,5
S1C1 (2006)	5	29,5	44,7	20,8	S1C4 (2006)	35	18,6	26,8	19,6
S1C2 (2006)	2,3	18,9	48,9	29,9	S1C5 (2006)	41,6	17,4	22,7	18,3
S3C3 (2016)	4,91	30,76	44,38	19,95	S2C1 (2006)	26,4	19,2	22,8	31,6
S3C4 (2016)	21,15	20,81	34,76	23,28	S2C2 (2006)	51,3	16,9	23,1	8,7
S3C5 (2016)	4,98	14,23	39,31	41,48	S3C9 (2016)	22,01	42,23	24,72	11,04
S3C6 (2016)	4,84	21,7	35,95	37,51	S3C10 (2016)	55,56	20,42	14,32	9,7
S3C8 (2016)	16,16	23,33	40,2	20,31	S3C11 (2016)	51,27	16,12	23,81	8,81
S4C2 (2016)	7,44	23,46	48,9	20,2	S4C8 (2016)	47,1	15,95	27,9	9,05
S4C3 (2016)	22,77	19,43	36,59	21,21	S4C9 (2016)	33,94	19,42	22,31	24,33
S4C4 (2016)	2,77	24,13	34,24	38,86	S5C5 (2016)	38,51	18,43	28,14	14,92
S4C5 (2016)	9,44	19,13	32,07	39,36	S5C6 (2016)	43,05	15,19	28,4	13,36
S5C1 (2016)	15,86	19,87	28,87	35,4	S5C7 (2016)	39,73	18,79	28,63	12,85
S5C2 (2016)	7,19	25,72	44,93	22,16	S6C1 (2016)	36,38	17,85	22,48	23,29
S5C3 (2016)	8,14	20,68	39,7	31,48	S6C2 (2016)	35,98	15,29	28,11	20,62
S5C4 (2016)	9,62	24,6	30,17	35,61	S6C3 (2016)	33,76	18,04	33,96	14,24
					S7C1 (2016)	61	12,48	17,15	9,37
					S7C3 (2016)	46,79	15,8	20,86	16,55
					S7C4 (2016)	55	10,91	20,76	13,33
					S7C6 (2016)	33,03	17,71	32,61	16,65

Fig. 1 – Classificazione granulometrica dei campioni prelevati dal corpo diga: percentuali di ghiaia, sabbia, limo e argilla suddivisi in orizzonte 1a e 1b. In basso la distribuzione granulometrica dei campioni medi appartenenti all'orizzonte 1a e 1b

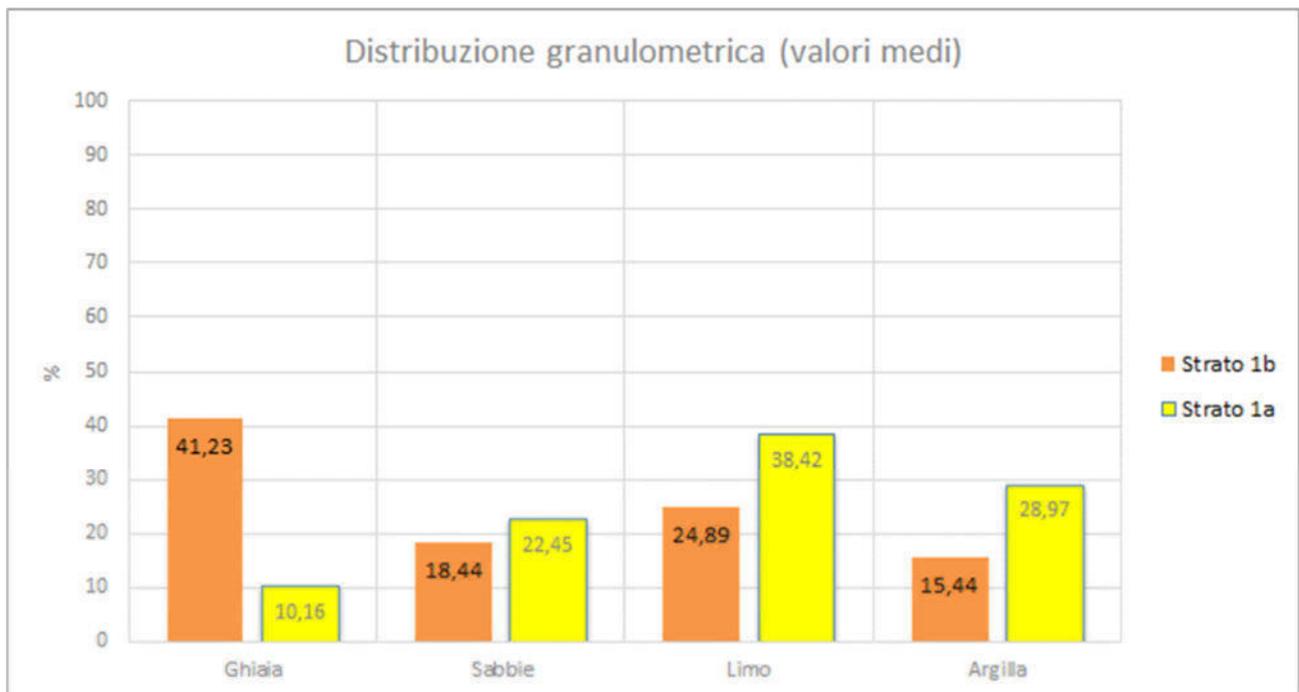


Fig. 2 – Classificazione granulometrica dei campioni prelevati dal corpo diga: distribuzione granulometrica dei campioni medi appartenenti all’orizzonte 1a e 1b

Oltre alla caratterizzazione litologica, il corpo diga è stato studiato anche dal punto di vista geotecnico e idrogeologico. I campioni prelevati dal suo interno sono stati sottoposti a prove geotecniche di laboratorio. Anche in questo caso i campioni sono stati suddivisi in base all’orizzonte di appartenenza (1a o 1b). Qui di seguito si riportano i valori medi caratteristici ottenuti, suddivisi per orizzonte 1a e 1b (Tab.1).

Parametri geotecnici	Unità di misura	1A	1B
		Corpo diga fine	Corpo diga grossolano
Peso di volume	kg/m ³	2025	2063
Peso di volume saturo	kg/m ³	2069	2115
ϕ'	(°)	26,4	29,9
c'	kPa	12,4	3,4
c_u	kPa	67,3	70,2
κ	m/s	1,10E-05	1,46E-04

Tab. 1– Parametri caratteristi medi degli orizzonti 1a e 1b del corpo diga

Per i dettagli dei risultati delle prove geotecniche di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dal corpo diga si rimanda agli elaborati consegnati a supporto del progetto definitive. Per l’esatta ubicazione delle indagini si rimanda alla Tav.GEO.14.01 allegata al presente progetto.

Per quanto riguarda la fondazione del corpo diga, come indicato in premessa, esso è rappresentato da un substrato litoide costituito da un'alternanza di orizzonti siltitici, arenacei e calcarei con abbondante fratturazione. Tale insieme di orizzonti è classificato, a livello geologico come formazione della Pietraforte:

L'unità litologica della Pietraforte (PTF) è caratterizzata da alternanze di arenarie quarzoso-calcaree e di argilloscisti grigio-scuri¹

Al fine di confermare nel dettaglio la suddetta descrizione geologica riportiamo qui di seguito alcuni estratti delle indagini geologiche eseguite nel sito di progetto dal 2005 al 2019.

Nella **campagna del 2005** furono eseguiti due sondaggi geognostici (S1 e S2) della profondità rispettivamente di 30 m e 17 m. **Il sondaggio S1 (2005)** posto al centro della passerella di coronamento del corpo diga ha mostrato un passaggio, fra i terreni di riporto del corpo diga e il substrato geologico, ad una profondità di circa -26,3 m da p.c. Il substrato in quel punto è rappresentato da un primo orizzonte di circa 3,3 m di spessore costituito da argilliti e siltiti grigio verdastre con abbondanti inclusi litoidi prevalentemente arenacei e marnosi. Tale orizzonte è seguito da un secondo orizzonte di arenarie fini calcaree fratturate di colore grigio (fig. 4).

Il sondaggio S2 (2005) è stato realizzato sul gradone posto a quota 178 m s.l.m. del paramento di valle del corpo diga. Il sondaggio ha mostrato un passaggio fra il terreno di riporto del corpo diga e il substrato litoide di fondazione, alla profondità di circa -13,6 m da p.c. attuale. Il substrato in quel punto è rappresentato da un orizzonte costituito da arenarie fini calcaree, fratturate, grigie e marroni, in strati di spessore sottile e medio (fig.5).

Nel **2006** sono stati effettuati due nuovi sondaggi geognostici (S1 e S2). Entrambi i sondaggi sono stati eseguiti sulla pista di coronamento del corpo diga.

Il sondaggio S1 (2006) ha mostrato un passaggio fra i terreni di riporto del corpo diga e il substrato geologico ad una profondità di circa -23,6 m da p.c. (il valore riportato nella documentazione a supporto del progetto definitiva, di circa -25 m da p.c., rappresenta un refuso). Il substrato in quel punto è rappresentato da un primo orizzonte di circa 1,8 m di spessore costituito da alternanze di siltiti rimaneggiate di colore verde e marrone ed arenarie calcaree fratturate di colore grigio con presenza di vene di calcite. Tale orizzonte è seguito da un secondo orizzonte di calcarenite grigio scure nerastre con parti alterate color marroncino con fratture di calcite ricristallizzata (fig. 6).

Il sondaggio S2 (2006) ha mostrato un passaggio fra il terreno di riporto del corpo diga e il substrato litoide di fondazione alla profondità di circa -21 m da p.c. attuale. Il substrato in quel punto è rappresentato da un orizzonte costituito da arenarie calcaree fratturate di colore grigio con presenza di vene di calcite preceduto da un sottile livello di circa 10 cm di spessore di siltiti rimaneggiate e arenarie calcaree fratturate (fig.7).

Per i dettagli sulle stratigrafie dei sondaggi suddetti si rimanda agli allegati 1 e 2 del presente elaborato.

Sempre nella campagna di indagine del 2006 è stato effettuato un **indagine sismica Down-Hole (DH)** nel foro di sondaggio S1. La prova ha messo in evidenza un contrasto di impedenza rilevante alla profondità di circa -22/-23 m da p.c. (fig. 8) perfettamente in coerenza con il passaggio fra corpo diga e il substrato di fondazione rilevato nella stratigrafia del sondaggio geognostico. Per i dettagli sui risultati della prova sismica DH si rimanda all'allegato 2 del presente elaborato.

¹ Definizione riportata nella legenda "Unità Geologiche e Depositi Superficiali" dell Regione Toscana

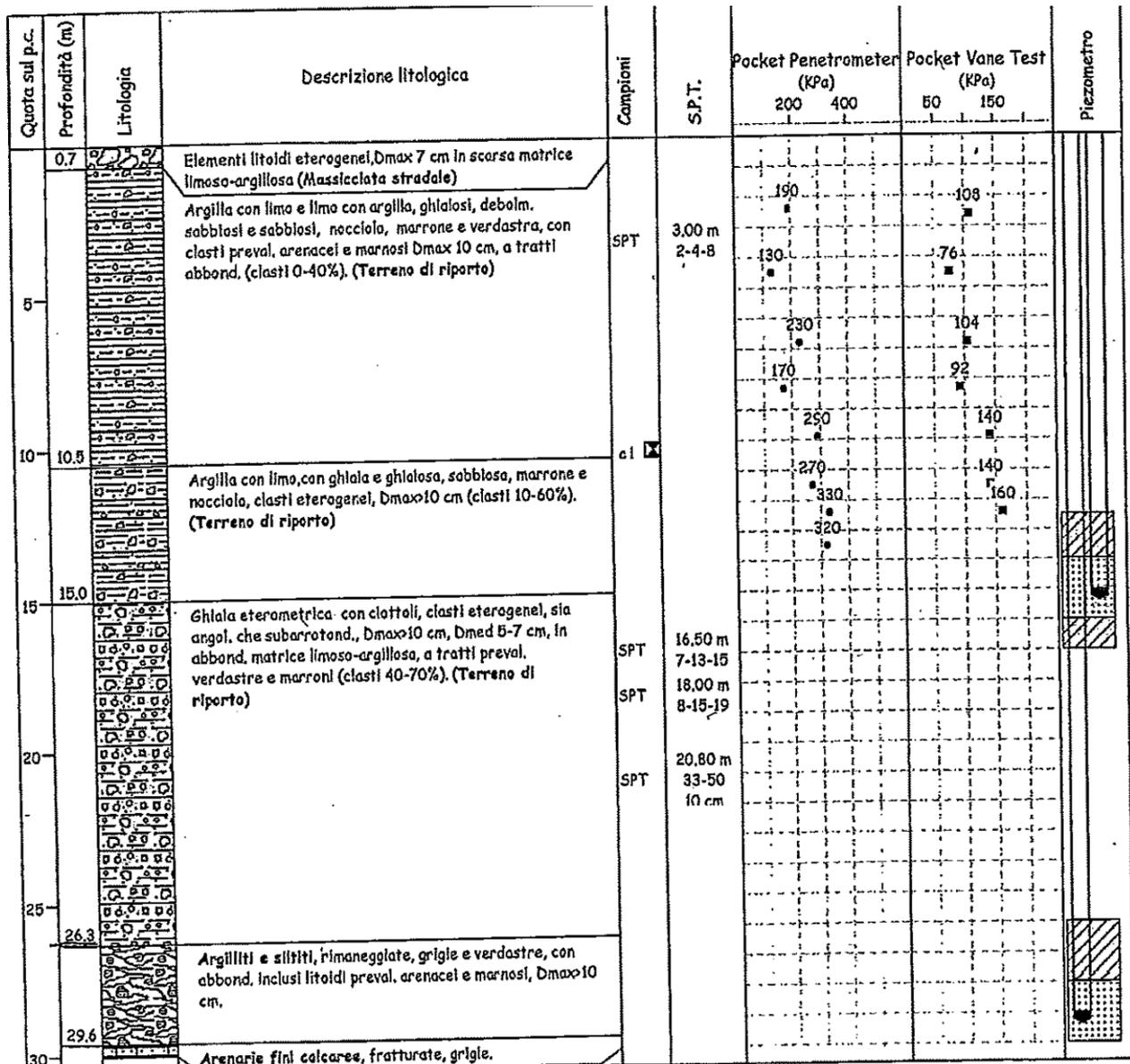


Fig. 4 – Stratigrafia del sondaggio S1 eseguito nella campagna di indagine del 2005.

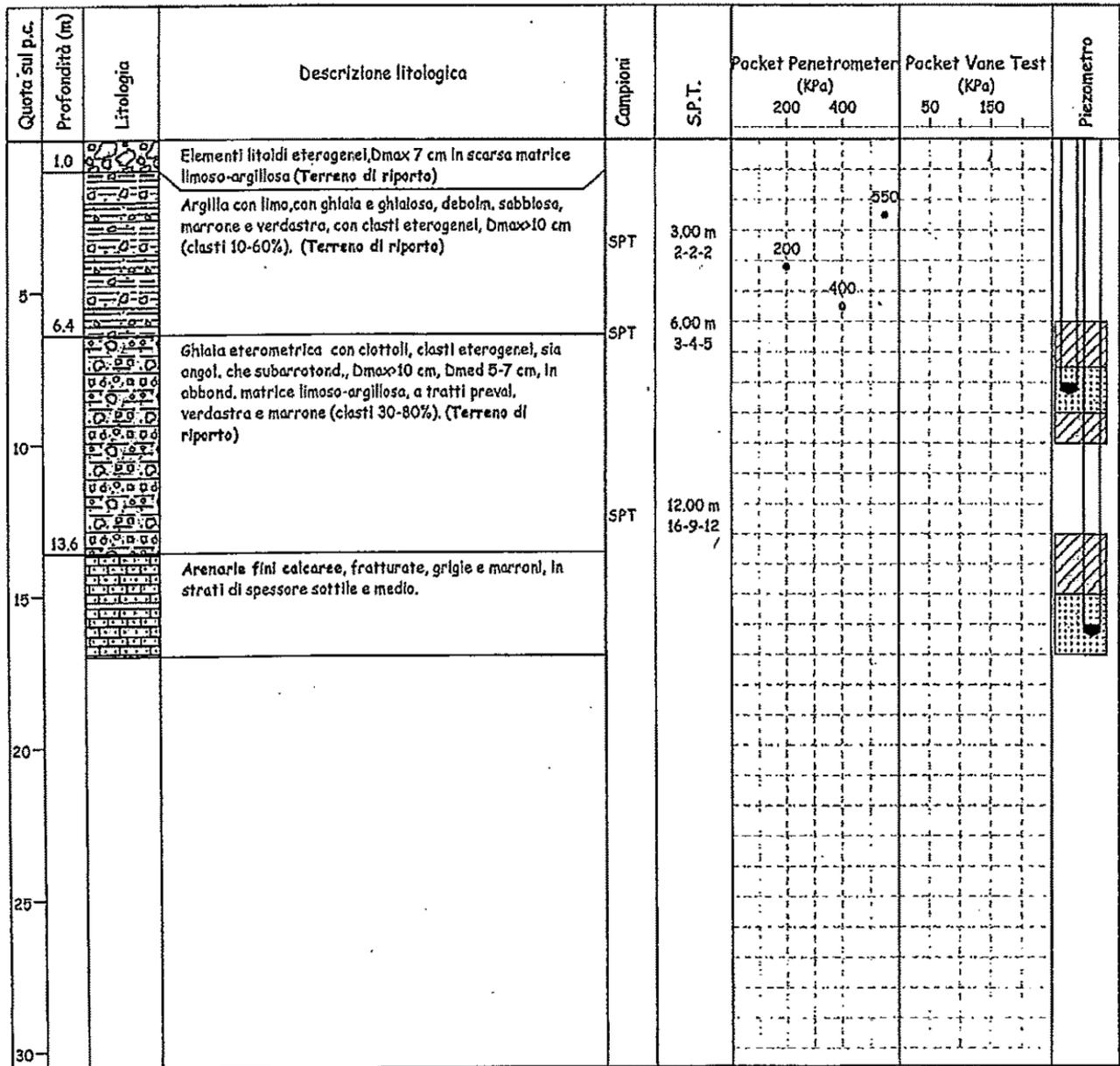


Fig. 5 – Stratigrafia del sondaggio S2 eseguito nella campagna di indagine del 2005.

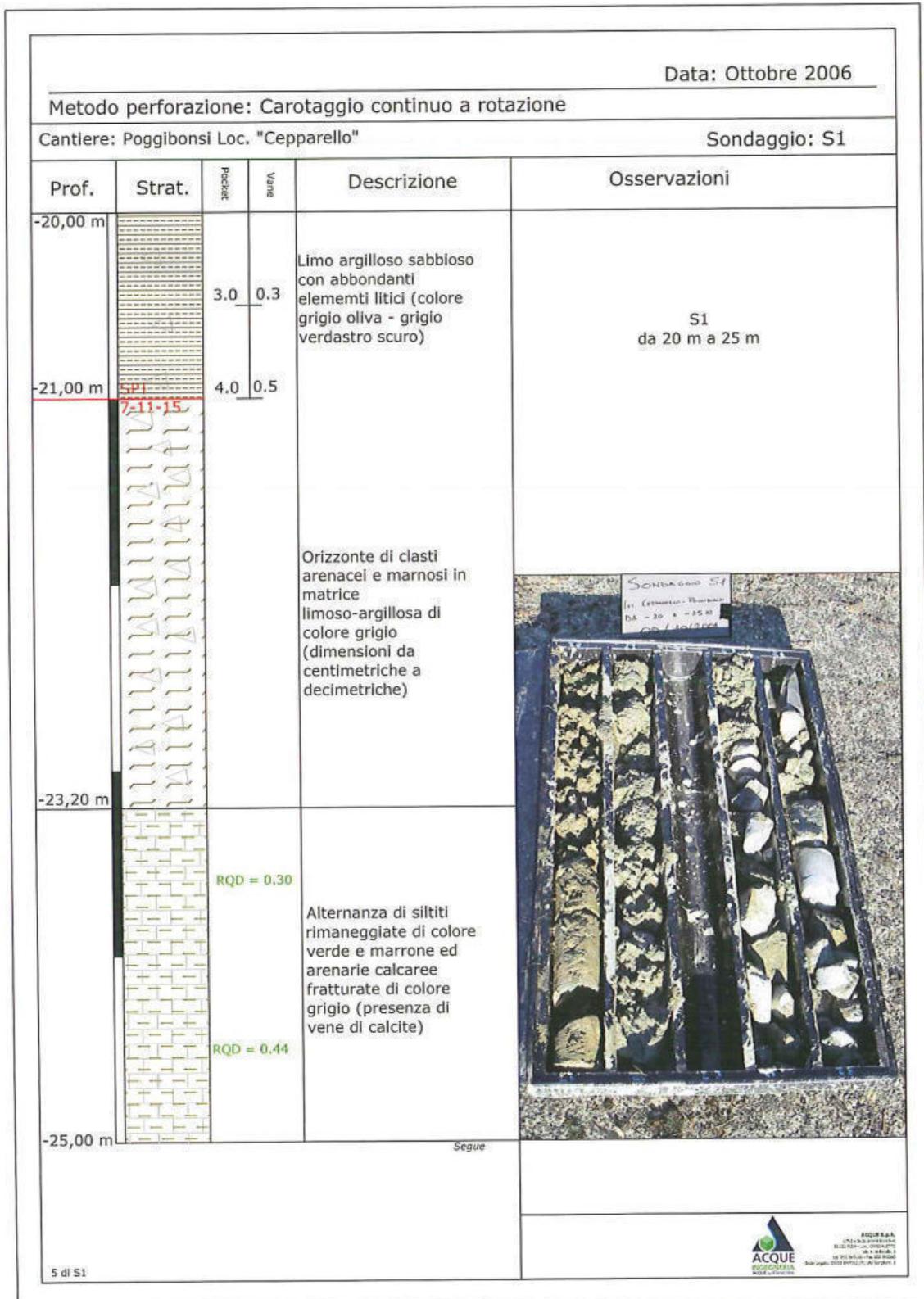


Fig. 6 – Estratto della stratigrafia del sondaggio S1 eseguito nella campagna di indagine del 2006.

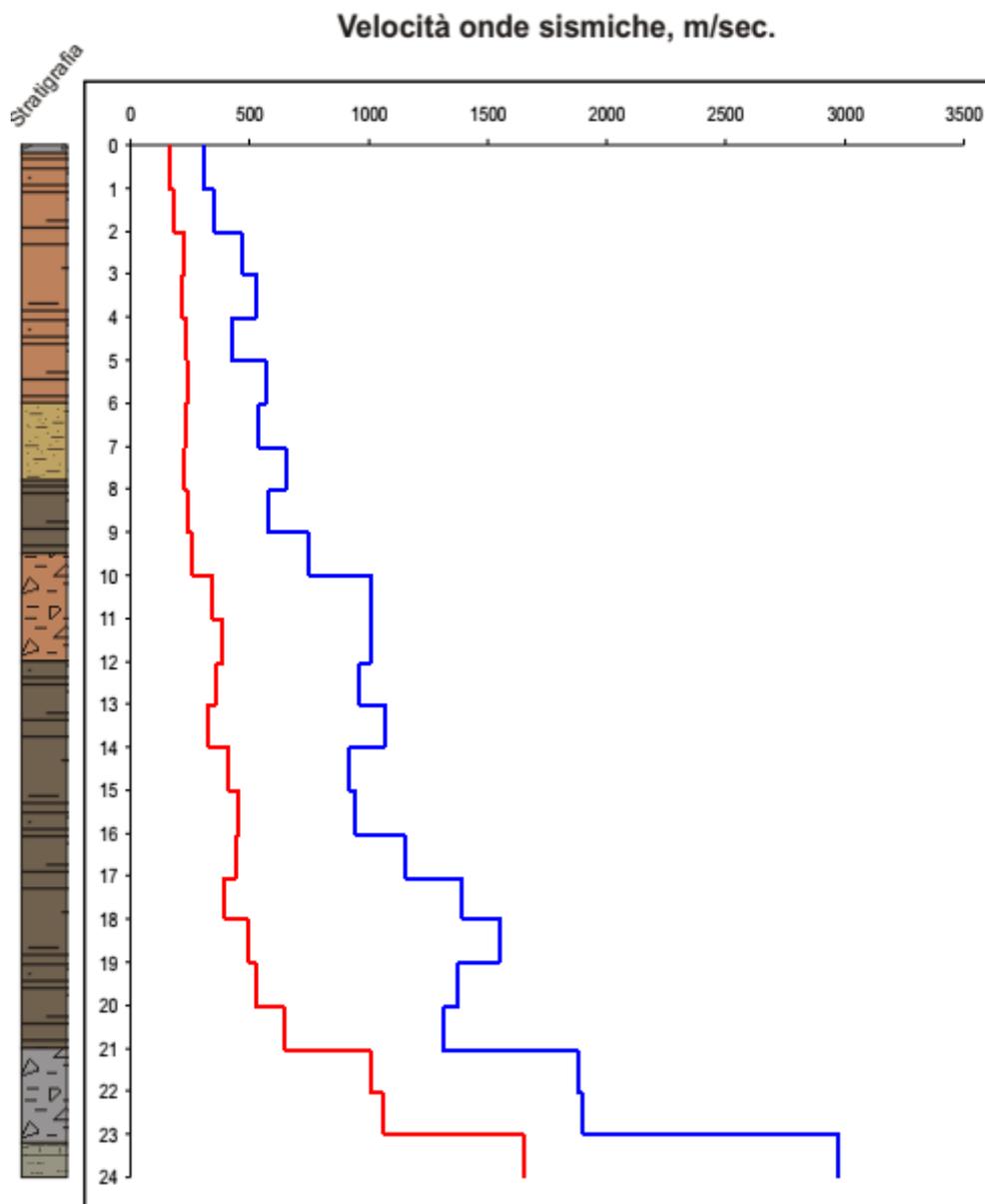


Fig. 8 – Estratto dei risultati della prova sismica DH eseguita nel sondaggio S1 del 2006. In rosso l'andamento con la profondità della velocità delle onde S e in blu l'andamento con la profondità della velocità delle onde P

Nella campagna di indagine del **2016** sono stati eseguiti n.5 nuovi sondaggi geognostici (S3-16, S4-16, S5-16 e S7-16). I suddetti sondaggi sono stati eseguiti n.3 (S3, S4 e S5) lungo la passerella di coronamento del corpo diga e n.2 (S6 e S7) sul gradone posto a quota 178 m s.l.m. del paramento di valle del corpo diga.

Il sondaggio S3-16 ha mostrato un passaggio fra i terreni di riporto del corpo diga e il substrato geologico ad una profondità di circa -26,5 m da p.c. Il substrato in quel punto è rappresentato da siltiti scure alternate a calcareniti (fig. 9).

Il sondaggio S4-16 ha mostrato un passaggio fra i terreni di riporto del corpo diga e il substrato geologico ad una profondità di circa -22,3 m da p.c. Il substrato in quel punto è rappresentato da siltiti scure e calcareniti (fig. 10).

Il sondaggio S5-16 ha mostrato un passaggio fra i terreni di riporto del corpo diga e il substrato geologico ad una profondità di circa -19 m da p.c. Il substrato in quel punto è rappresentato siltiti scure alternate a calcareniti (fig. 11).

Il sondaggio S6-16 ha mostrato un passaggio fra i terreni di riporto del corpo diga e il substrato geologico ad una profondità di circa -7,5 m da p.c. Il substrato in quel punto è rappresentato siltiti scure alternate a calcareniti (fig. 12).

Il sondaggio S7-16 non ha incontrato il substrato essendosi fermato, nella fase di terebrazione, alla profondità di -5 m da p.c.



Fig. 9 – Estratto della stratigrafia del sondaggio S3-16 eseguito nella campagna di indagine del 2016 (cassetta catalogatrice da -25 m da p.c a -30 m da p.c).

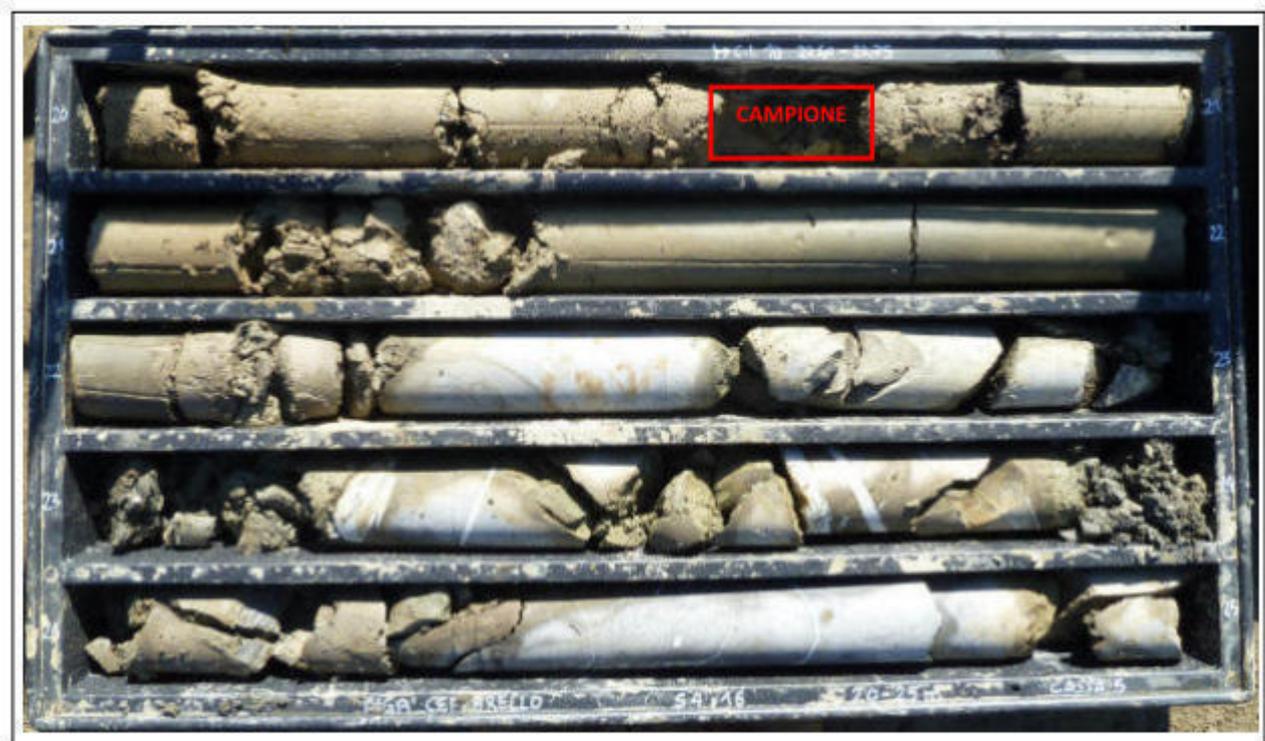


Fig. 10 – Estratto della stratigrafia del sondaggio S4-16 eseguito nella campagna di indagine del 2016 (cassetta catalogatrice da -20 m da p.c a -25 m da p.c).



Fig. 11 – Estratto della stratigrafia del sondaggio S5-16 eseguito nella campagna di indagine del 2016 (cassetta catalogatrice da -15 m da p.c a -20 m da p.c).



Fig. 12 – Estratto della stratigrafia del sondaggio S6-16 eseguito nella campagna di indagine del 2016 (cassetta catalogatrice da -10 m da p.c a -15 m da p.c).

Per i dettagli sulle stratigrafie dei sondaggi geognostici eseguiti durante la campagna di indagine del 2016 si rimanda all'allegato 3 del presente elaborato.

Nel complesso l'area del corpo diga presenta uno spessore di materiale di riporto variabile da circa -26,5 m / - 21 m lungo l'asse di coronamento a valori progressivamente decrescenti sia verso valle che verso monte che verso le sponde destra e sinistra della valle. La decrescita progressiva del corpo diga termina con l'affioramento del substrato sia lungo le sponde destra e sinistra sia a valle dei paramenti.

Il materiale di rinfiacco, che andrà ad essere aggiunto, sia sul paramento di monte che sul paramento di valle andrà ad appoggiarsi prevalentemente sull'attuale corpo diga e subordinatamente (parti in estensione a valle e a monte del corpo diga) sul substrato litoide sopra descritto. Per i dettagli cartografici del suddetto assetto di progetto si rimanda alla Tav. GEO.08.01 allegata al presente documento.

2.2 AREA VASCA DI DISSIPAZIONE – POZZETTO DI COMANDO SCARICO DI FONDO – MURO DI CONTROSPINTA MICROTUNNELING

La vasca di dissipazione è ubicata immediatamente a valle del paramento di valle del corpo diga. Attualmente la vasca è incassata fra il versante, in destra idrografica e il piazzale con i fabbricati e gli impianti a servizio della diga, sulla sinistra idrografica. La destra idrografica, come è risultato dai sopralluoghi effettuati nel 2018 e 2019 mostra in affioramento una copertura detritica dello spessore di circa 1/2 m poggiate sul substrato litoide (formazione della Pietraforte). Tale assetto si rinviene su tutte le porzioni di versante che presentano acclività non verticale. Per le porzioni di versante con pendenza prossima ai 90° è presente in affioramento il substrato litoide fratturato e stratificato (vedi fig.13).

Sulla sponda sinistra è presente il piazzale dove sono stati realizzati i fabbricati e gli impianti a servizio della diga. Al fine di creare un contesto operativo pianeggiante o semi pianeggiante è stato effettuato, in fase di realizzazione dell'area a servizio della diga un riporto antropico. Nel 2018, sulla sponda sinistra in prossimità della vasca di dissipazione è stato realizzato un sondaggio geognostico (S1). Il sondaggio ha raggiunto la profondità di -32 m da p.c.

Come osservabile dalla stratigrafia riportata nella fig.14 (per i dettagli vedi allegato 4 del presente elaborato) al di sotto di uno spessore di circa 3,5 m di copertura (di cui circa 2,2 m di materiale di riporto) è presente il substrato litoide caratterizzato da un'alternanza di siltiti e argilliti con passanti calcarei marnosi.



Fig. 13 – Foto eseguita dal gradone a quota 178 m s.l.m. verso valle

Sempre nello stesso punto di indagine è stata eseguita una prova sismica in foro DH che ha mostrato un passaggio fra terreni di copertura e substrato litoide alterato intorno a circa -2/-3 m da p.c., perfettamente coerente con la stratigrafia del sondaggio geognostico (fig. 15). Per i dettagli sui risultati della prova si rimanda all'allegato 4 del presente elaborato.

Giorni di perforazione	Carotiere	Velocità di avanzamento	MANDYRE	Rivestimento	Profondità dal p.c. (m)	Scala riferimento (m)	STRATIGRAFIA (disegno)	Falda acquifera	DESCRIZIONE DEI TERRENI ATTRAVERSATI ED INDICAZIONE DEGLI SPESSORI	Profondità (m)	S.P.T. Numero colpi	Pocket Penetrometer (Kg/cm²)	Vane Test (Kg/cm²)	Altre prove	Campioni	Quota campioni	Recupero %	RQD %		
						1			<p>Terreno di riporto costituito da materiale limoso sabbioso debolmente argilloso con presenza di pezzame litoide e laterizi. Colore marrone ocra</p>											
					2.20	2		Argilla limosa/sabbiosa scarsamente compatta												
					3.50	3		Detritico (argillitico, siltitico, calcare) in matrice limoso-sabbiosa debolmente argillosa (colore grigio-verdastro)												
						4													60	
						5													70	
						6													90	
						7		Roccia fratturata - Siltite con passanti calcarei marnosi o calcarei a grana da medio a fine. Presenza di venature di calcite. Presenza di livelli argilliti e siltitici in aumento a partire da -10,90 m da p.c. Colore da grigio a marrone ocra.											50	
						8		Fratturazione: fino a -7,50 m da p.c. fratturazione da medio a medio-bassa con inclinazione elevata. -7,50 m da p.c. fratturazione da medio-bassa ad elevata con inclinazione da elevata a verticale. Unica eccezione il tratto da -9 e -10 m in cui la fratturazione è scarsa. da -13 m a -15m assenza di fratturazione.											90	
						9		Da -15 m a -32 m (fondo foro) avanzamento a distruzione di nucleo.											80	
						10													30	
						11														
						12														
						13														
						14														
						15														

Fig. 14 – Stratigrafia del sondaggio S1 del 2018

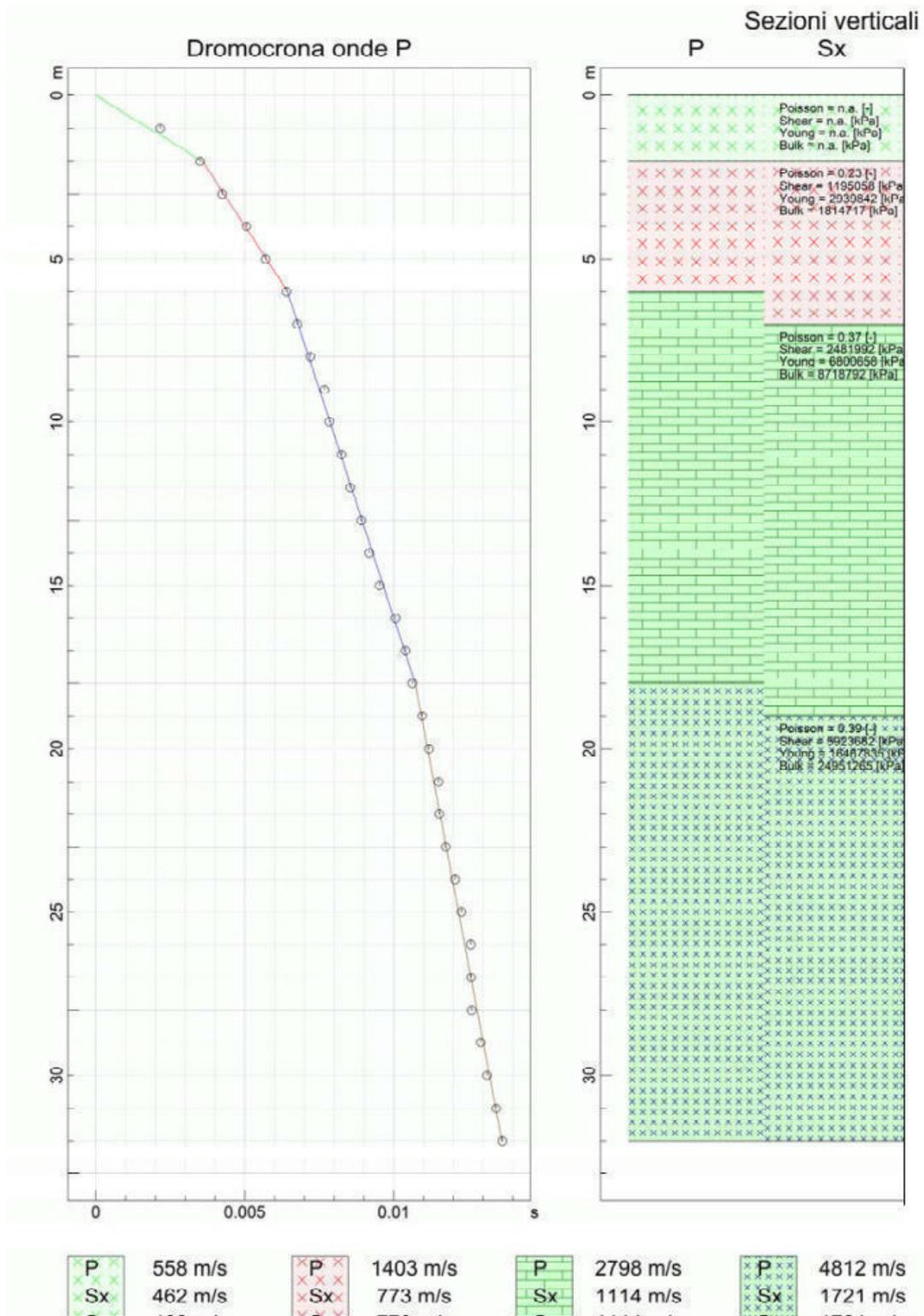


Fig. 15 – Estratto dei certificate dell'indagine geofisica in foro DH eseguita nel sondaggio S1 del 2018

In conseguenza dei risultati della suddetta indagine è possibile affermare che la vasca di dissipazione è poggiate sul substrato litoide, ad una profondità di circa -7 m dal piano campagna dove è ubicato il sondaggio S1 del 2018. A conferma di ciò è stato fatto uno specifico sopralluogo in corrispondenza delle vasche, nell'area immediatamente a valle delle stesse. Il sopralluogo ha messo in evidenza che il letto del fiume, posto quest'ultimo in continuità topografica e altimetrica alle suddette vasche, è scavato direttamente sul substrato litoide (vedi fig. 16).



Fig. 16 – Foto eseguita in sinistra idrografica immediatamente a valle della vasca di dissipazione

Il progetto prevede, in merito alla vasca di dissipazione, un'estensione dell'attuale verso valle ed un approfondimento della stessa. In virtù di quanto riportato sopra è possibile affermare con assoluta certezza che la vasca di dissipazione di progetto, come l'attuale, poggerà sul substrato litoide.

Per quanto riguarda il pozzetto di comando dello scarico di fondo esso è ubicato al fianco della vasca di dissipazione nell'area di riporto descritta precedentemente. Il progetto prevede la realizzazione di un manufatto scatolare in cemento armato per la realizzazione del pozzetto di comando dello scarico di fondo rigidamente connessa ad una parte della vasca di dissipazione. Il manufatto scatolare sarà completamente interrato e avrà un'altezza di circa 7 m. Essendo ubicato a monte del sondaggio S1, la stratigrafia in quell punto presenta uno spessore della copertura maggiore rispetto al contesto sondato. Considerando l'andamento morfologico del contesto in esame è possibile stimare cautelativamente uno spessore della copertura pari a circa 10 m. **In conseguenza di ciò lo scatolare di progetto poggerà sulla copertura caratterizzata dalla presenza prevalente di terreno limoso argilloso (fig.17).**

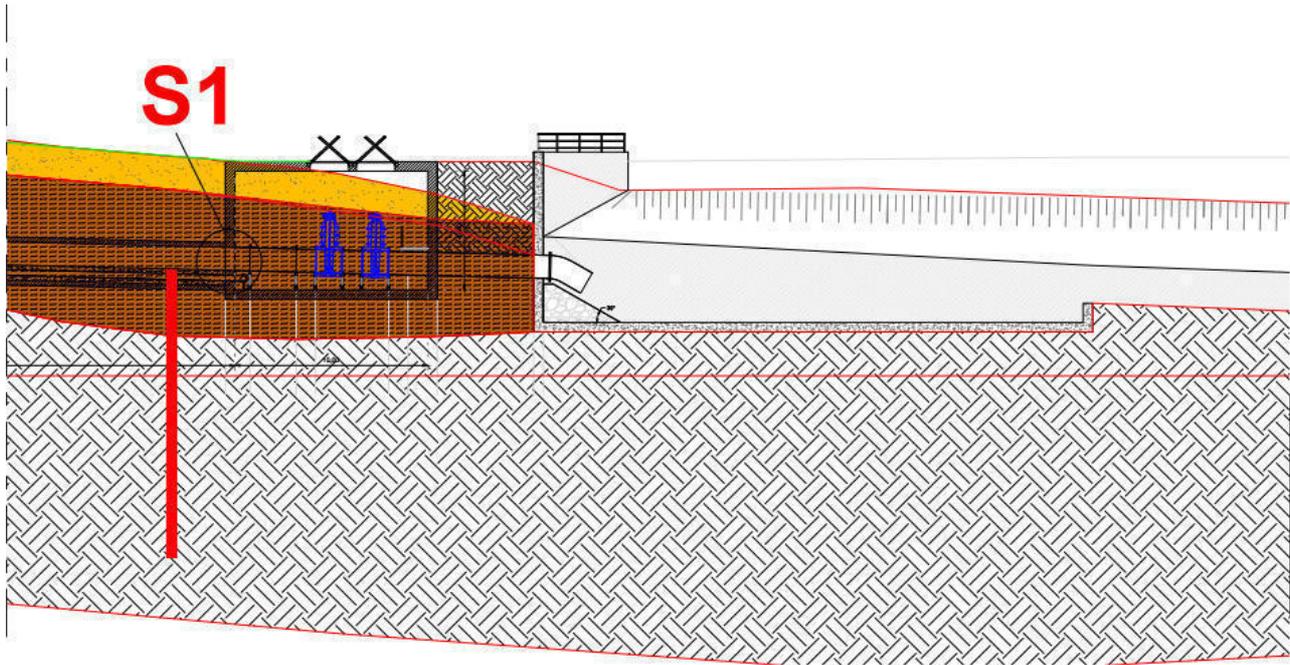


Fig. 17 – Sezione geologico-tecnica del comparto interessato dalla realizzazione dell'impianto di comando del pozzetto di scarico di fondo. In giallo il terreno di riporto, in marrone la copertura limoso argillosa in grigio il substrato litoide

Per quanto riguarda il muro di controspinta microtunneling per la realizzazione dello scarico di fondo esso verrà realizzato immediatamente a valle dello scatolare di comando e poggerà la sua fondazione sul substrato litoide come da indicazioni progettuali (fig. 18).

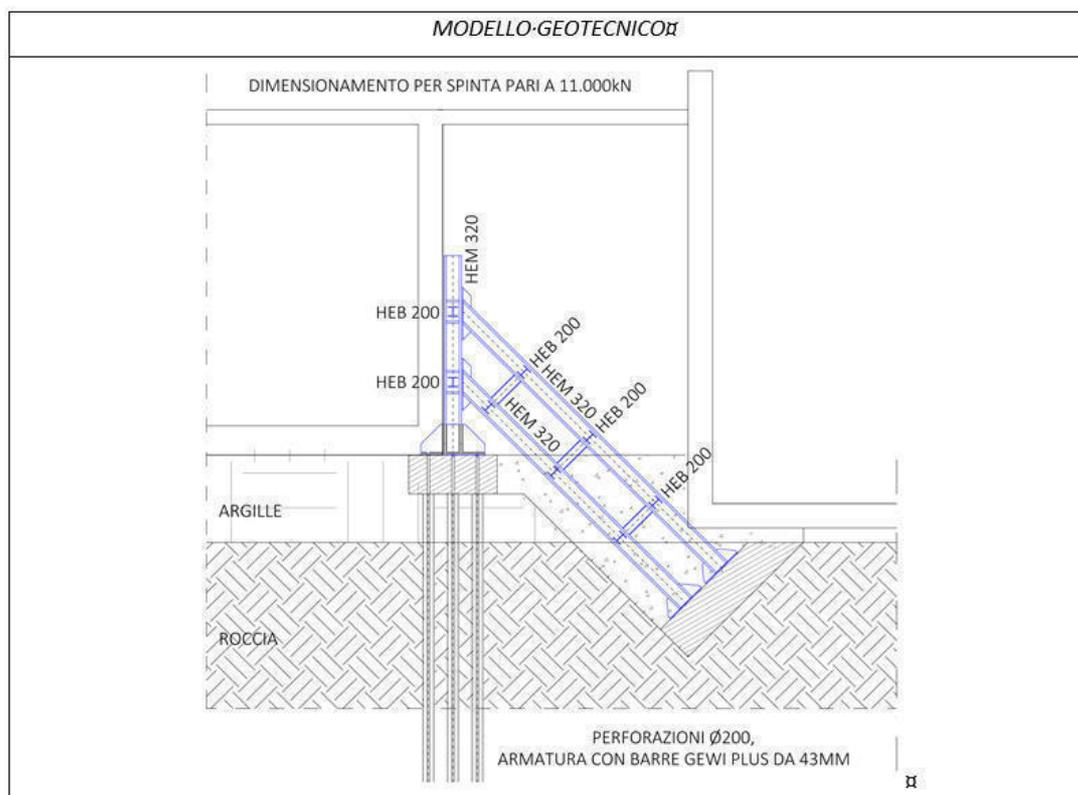


Fig. 18 – Schema del muro di controspinta microtunneling

2.3 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLE FONDAZIONI DEI RILEVATI

Come descritto nei capitoli precedenti, le opere di progetto (rinfianco corpo diga, vasca di dissipazione, e muro di controspinta del microtunneling) poggeranno sul substrato litoide. Nelle campagne geognostiche eseguite dal 2005 al 2019 sono stati eseguiti numerosi campionamenti di terre e rocce dai sondaggi geognostici eseguiti. In aggiunta a ciò è stato eseguito un rilievo geomeccanico della sponda destra per caratterizzare lo stato dell'ammasso roccioso.

I dati ricavati dal rilievo geomeccanico sono stati utilizzati per la determinazione della qualità dell'ammasso roccioso esprimibile attraverso appositi indici che hanno lo scopo di permettere una valutazione preliminare delle caratteristiche geomeccaniche della compagine litoide.

Diverse sono le classificazioni tecniche note in letteratura, le più importanti delle quali sono quelle di Deere (1964), Bieniawski (1973 e successive modifiche), Wickham (1972) e di Barton (1979). Nel presente studio l'ammasso roccioso è stato caratterizzato utilizzando i metodi di Bieniawski (1976) e di Barton (1979).

La formazione rocciosa ("Pietraforte" – flysch arenaceo) che affiora estesamente lungo la sponda destra dell'invaso Cepparello, pur essendo interessata da numerose superfici di discontinuità (in prevalenza giunti di strato), nel suo insieme è stata considerata come un mezzo isotropo (mezzo continuo equivalente) e quindi, ai fini della valutazione delle sue caratteristiche, valutato nella sua globalità, senza distinzione tra matrice rocciosa e discontinuità.

Il principio degli indici di qualità della roccia è quello di dare un valore numerico ai diversi parametri che controllano il comportamento dell'ammasso, in modo da tenere conto del tipo di roccia e del suo stato di alterazione e/o fratturazione.

La classificazione di Bieniawski (1976) definisce un indice globale chiamato BRMR (Basic Mass Rating) valutato tramite la somma di 5 indici:

$$\text{BRMR} = \text{A1} + \text{A2} + \text{A3} + \text{A4} + \text{A5}$$

dove:

A1	Co: Resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta E' stata calcolata mediante prove sclerometriche in situ ottenendo un valore di 50-100 kg/cm ² a cui corrisponde un indice A1 = 7
A2	RQD%: (Rock Quality Designation): <i>percentuale di recupero modificata</i> Il valore RQD è stato calcolato indirettamente tramite il metodo di Palmstron ottenendo un valore di RQD = 0,73 a cui corrisponde A2= 17
A3	s: Spaziatura delle discontinuità Sono state considerate delle discontinuità comprese nell'intervallo 30 – 100 mm; nel nostro caso le discontinuità sono rappresentate in prevalenza dalle superfici di strato che hanno una spaziatura di 25 – 60 cm per cui abbiamo un indice A3 = 20
A4	Condizioni dei giunti Nel nostro caso l'arenaria rientra nel campo dei valori dato da "Superfici scabre. Apertura <1mm. Pareti roccia dura" a cui corrisponde un indice A4= 12
A5	Condizioni idrauliche dei giunti I giunti si presentano completamente asciutti per cui corrisponde un indice A5 = 10
Ic	Indice di correzione

La somma degli indici di cui sopra da:

$$\mathbf{BRMR = 66}$$

Facendo riferimento alla tabella relativa alla qualità dell'ammasso roccioso proposta da Bieniawski (1976) abbiamo:

Classificazione di Bieniawski del 1976

PARAMETRI			INTERVALLI DI VALORI						
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale (Mpa)	>8	4-8	2-4	1-2	Non applicabile		
		Compressione monoassiale(MPa)	>200	100-200	50-100	25-50	10-25	3-10	1-3
	Indice		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Indice		20	17	13	8	3		
3	SPAZIATURA GIUNTI (m)		>3	1-3	0,3-1	0,05-0,3	<0,05		
	Indice		30	25	20	10	5		
4	CONDIZIONE GIUNTI		Superfici molto scabre non continue. Pareti roccia dura	Superfici scabre. Apertura <1mm. Pareti roccia dura	Superfici scabre. Apertura <1mm. Pareti roccia tenera	Superfici lisce o laminate o riempimento<5mm o apertura 1-5mm. Giunti continui	Riempimento tenero con spessore >5mm o giunti aperti>5 mm. Giunti continui		
	Indice		25	20	12	6	0		
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10m di lunghezza del tunnel (litri/min)	Assente		< 25	25-125	>125		
		Rapporto Pressione acqua nei giunti/Pressione naturale in sito	0		0-0,2	0,2-0,5	>0,5		
		Condizioni generali	Giunti asciutti		Umidi	Acqua in debole pressione	Gravi problemi idraulici		
	Indice		10		7	4	0		

La somma dei 5 indici parziali fornisce il Basic RMR (BRMR).

Per la stima dell'indice di correzione Ic si è fatto riferimento alla seguente tabella:

Orientamento dei giunti		Molto favorevole	Favorevole	Discreto	Sfavorevole	Molto sfavorevole
Gallerie e miniere	Indice	0	-2	-5	-10	-12
Fondazioni		0	-2	-5	-15	-25
Versanti		0	-5	-7	-50	-60

Applicando alla BRMR la correzione Ic si ottiene l'indice RMR, correlato alla qualità dell'ammasso roccioso e alle sue caratteristiche meccaniche secondo la seguente tabella:

$$\mathbf{RMR = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) - Ic = 61}$$

RMR	0-25	25-50	50-70	70-90	90-100
CLASSE	V	IV	III	II	I
QUALITA'	Molto scadente	Scadente	Discreta	Buona	Ottima
Coesione(Mpa)	<0,1	0,1-0,15	0,15-0,20	0,2-0,3	>0,3
φ (°)	<30	30-35	35-40	40-45	>45

Classificazione C.S.I.R. - Rock Mass Rating 1976 (Bieniawski)					
CLASSIF.	BHMH (stimato)	RMH (stimato)	Qualità dell' ammasso roccioso	Coesione (kPa)	Angolo d'attrito φ
III	66	61	Discreta	150 - 200	35° - 40°
A1 - Resistenza roccia integra					
A1 = 7					
A2 - Rock Quality Designation					
A2 = 17					
A3 - Spaziatura dei giunti					
A3 = 20					
A4 - Condizione dei giunti					
A4 = 12					
A5 - Condizioni idrauliche					
A5 = 10					
A6 - Orientamento dei giunti					
A6 = -5					
BRMR (Basic RMR) = A1 + A2 + A3 + A4 - A5					
RMR = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6					
GSI (Geological Strength Index) = A1 - A2 + A3 + A4 + 10 = 66					

Classificazione di Bieniawski del 1976

Nella classificazione di Barton (1979) l'indice Q viene calcolato attraverso la relazione:

$$Q = \frac{RQDJ_r J_w}{J_n J_a SRF}$$

Le grandezze espresse al secondo membro hanno il seguente significato.

- RQD % (Rock Quality Designation): tiene conto della suddivisione della massa rocciosa.
- Jn (Joint Set Number): dipende dal numero di famiglie di giunti presenti nell'ammasso roccioso. Viene ricavato dalla seguente tabella:

Jn (Joint Set Number)	Jn
A Roccia compatta o poche discontinuità	0 - 1
B Una famiglia di discontinuità	2
C Una famiglia di discontinuità + random	3
D Due famiglie di discontinuità	4
E Due famiglie di discontinuità + random	9
F Tre famiglie di discontinuità	6
G Tre famiglie di discontinuità + random	12

H Quattro famiglie di discontinuità, random, intensamente fratturato	15
I Rocce fratturate, terrose	20

- Jr (Joint Roughness Number): dipende dalla rugosità delle superfici di discontinuità.

Jr (Joint Roughness Number)	Jr
Pareti delle fratture a contatto o con tratti beanti < 10 cm	
A fratture discontinue	4
B rugose, irregolari, ondulate	3
C ondulate, lisce	2
D ondulate a facce levigate	1.5
E planari, ruvide o irregolari	1.5
F planari lisce	1.0
G planari a facce levigate	0.5
Pareti delle fratture aperte	
H minerali argillosi nei giunti, fratture non a contatto	1.0
I zone sabbiose, ghiaiose o fratturate	1.0

- Ja (Joint Alteration Number): dipende dal grado di alterazione delle fratture, dallo spessore e dalla natura del riempimento.

Ja (Joint Alteration Number)	Ja
A Riempimento impermeabile, duro, strettamente cicatrizzato	0.75
B Bordi fratture inalterati, superfici autoreggenti	1
C Bordi fratture leggermente alterati, rivestiti di minerali non ammorbiditi, particelle sabbiose	2
D Rivestimento limoso-argilloso o sabbioso-argilloso	3
E Rivestimento di minerali ammorbiditi con argille rigonfianti	4
F Particelle sabbiose, roccia disgregata libera da argilla	4
G Riempimenti di minerali argillosi non rigonfianti, continui	6
H Riempimenti di minerali argillosi ammorbiditi	8
J Riempimenti di minerali argillosi rigonfianti	8-12

- Jw (Joint Water Number): dipende dalle condizioni idrogeologiche.

Jw (Joint Water reduction factor)	Jw
A Scavo secco o afflussi minimi (< 5 l/min localmente)	1
B Sporadici getti del materiale di riempimento dei giunti	0.66
C Pressioni elevate in rocce competenti con giunti non riempiti (afflussi sostenuti)	0.5
D Come C, consistenti getti di materiali dai giunti	0.33
E Colpi d'acqua decrescenti nel tempo	0.2-0.1
F Colpi d'acqua costanti nel tempo	0.1-0.05

- S.R.F. (Stress Reduction Factor): è indicativo dello stato di sollecitazione che interessa l'ammasso roccioso.

SRF(Stress Reduction Factor)	SRF
Zone deboli interessanti lo scavo - distacchi di volumi di roccia nel cavo	
A Zone deboli multiple con argille o rocce disgregate chimicamente, rocce del contorno del cavo molto allentate	10
B Singole zone deboli con argille o rocce disgregate chimicamente (prof. di scavo < 50m)	5
C Come B ma con prof. di scavo > 50 m	2.5
D Zone di frattura multiple in rocce competenti, senza argilla rocce del contorno molto allentate (qualsiasi profondità)	7.5
E Singole zone di frattura in rocce competenti, senza argilla con prof. di scavo < 50 m	5
F Come E ma con prof. di scavo > 50 m	2.5
G Giunti allentati aperti, rocce intensamente fratturate Sugar cube (qualsiasi profondità)	5
Problemi di tensione in rocce competenti	
H Tensione bassa vicino alla superficie	2.5
J Tensione media	1
K Tensione alta, struttura molto compatta	0.5-2
L Scoppi di roccia moderati	5-10
M Scoppi di roccia forti	10-20
Roccia compressa, flusso plastico di rocce incompetenti sotto pressione	
N Flusso plastico medio, pressione moderata	5-10
O Flusso plastico forte, pressione forte	10-20
Roccia rigonfiante, rigonfiamento dipendente dall'acqua	
P Pressione di rigonfiamento media	5-10
Q Pressione di rigonfiamento forte	10-20

L'indice Q system è diviso in 9 intervalli cui corrispondono altrettante classi di ammasso roccioso. Nel nostro caso abbiamo:

Classificazione N.G.I. - Q System (Barton, Lien e Lunde)					
Q	BMR (stimato)	MR (stimato)	Qualità dell' ammasso roccioso	Coesione (MPa)	Angolo d'attrito (°)
7,30000	70	62	Mediocre	0,35	40
Jn - numero di famiglie di giunti:					
Una famiglia di giunti con ulteriori giunti sparsi					
Jn = 3,0					
Jr - scabrezza del giunto:					
Giunti scabri o irregolari, piani					
Jr = 1,5					
Ja - alterazione della superficie del giunto:					
Pareti del giunto leggerm.alterate, coperte da un sottile strato di minerali non ammorbidenti, particelle sabbiose e/o di roccia fratturata					
Ja = 2,0					
Jw - fattore di riduzione per l'acqua nei giunti					
Scavo asciutto o afflusso minimo d'acqua					
Jw = 1,0					
SRF - fattore di riduzione delle tensioni					
Basse tensioni vicino alla superficie ($\sigma_3/\sigma_1 > 200$, $(\sigma_3/\sigma_1) > 13$)					
SRF = 2,5					
Rock Quality Designation					
RQD % = 73,0					

Considerando invece la formazione rocciosa come un mezzo discontinuo è stata posta particolare attenzione all'analisi delle singole discontinuità che lo interessano.

Negli ammassi rocciosi fratturati la resistenza meccanica dei giunti, espressa in valori di c_i e ϕ_i , si può ottenere attraverso le relazioni proposte da Barton.

I valori di coesione e angolo di resistenza al taglio variano in funzione dello sforzo normale efficace (σ_n') agente. Questi i passaggi di calcolo:

$$\tau = \sigma_n' \tan \left[\phi_b + JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n'} \right) \right];$$

$$c_i = \tau - \sigma_n \tan \phi_i$$

dove:

σ_n = sforzo normale efficace agente sul piano

JRC = coefficiente di rugosità

JCS = resistenza a compressione monoassiale determinata sulla superficie del giunto

ϕ_b = angolo di attrito di base della roccia assunto = 35° (dati bibliografici)

La caratterizzazione geomeccanica delle discontinuità presenti è stata fatta utilizzando i seguenti parametri:

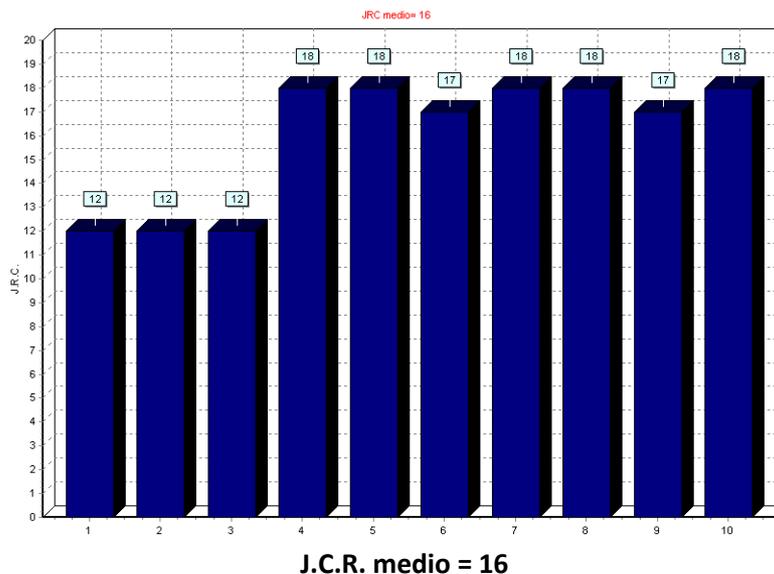
- 1) - orientamento
- 2) - spaziatura
- 3) - rugosità
- 4) - apertura
- 5) – riempimento

I termini JRC (cioè il coefficiente di rugosità del giunto, variabile tra 0 e 20; da Barton, 1976) e JCS (resistenza a compressione delle pareti del giunto) esprimono rispettivamente il termine relativo all'asperità e quello riguardante lo stato di alterazione delle pareti della discontinuità.

Il valore dei due coefficienti è stato ricavato in questo modo:

- Determinazione in situ della scabrezza delle superfici di discontinuità mediante Pettine di Barton e determinazione dell'indice JRC (Joint Roughness Coefficient): tutte le fratture rilevate hanno un profilo di scabrezza riferibile alla classe 6 e 9 di Barton (1973) a cui corrispondono i seguenti indici JRC:

STIMA DEL JOINT ROUGHNESS COEFFICIENT (J.C.R.) DAI PROFILI DI BARTON		
Famiglia discontinuità	classe	J.C.R.
S1	6	12
S2	6	12
S3	6	12
S4	9	18
S5	9	18
S6	9	17
S7	9	18
S8	9	18
S9	9	17
S10	9	18

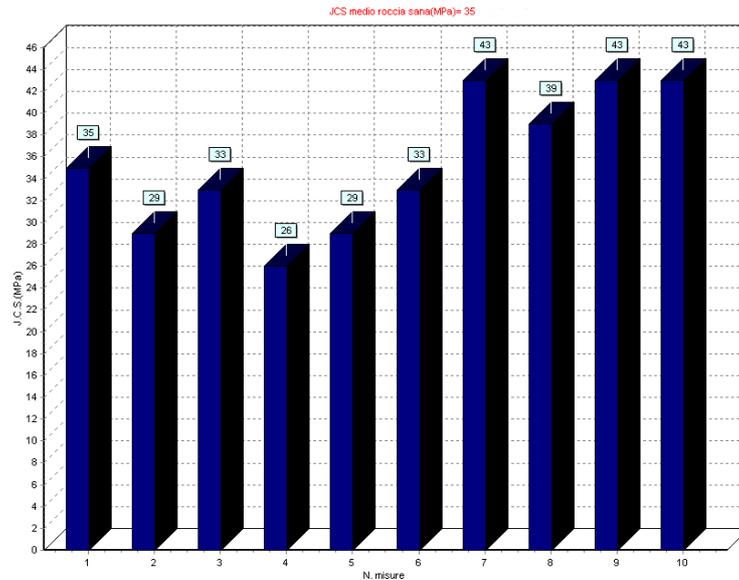


- Determinazione dell'alterazione delle pareti della superficie di discontinuità attraverso le prove sclerometriche. La valutazione del valore di JCS è stata fatta con Martello di Schmidt sulle superfici delle fratture e con l'indice di durezza ottenuto è stata calcolata la resistenza a compressione monoassiale della roccia (da Hoek e Bray, 1981).

Sono stati ottenuti valori di resistenza a compressione monoassiale variabili da 42 a 50 MPa considerando un peso di volume della roccia di 26,0 KN/m³

STIMA DEL COMPRESSIVE STRENGTH (J.C.S.) CON IL MARTELLO DI SCHMIDT				
Famiglia	Indice	Angolo di misura (°)	Indice corretto	J.C.S. (MPa)
S1	30	135	23	35
S2	28	135	20	29
S3	30	135	22	33
S4	26	135	18	26
S5	25	135	20	29
S6	28	135	22	33
S7	28	45	27	43
S8	26	45	25	39
S9	28	45	27	43
S10	28	45	27	43

Peso di volume della roccia (kN/mc) = 26,00	Angolo di attrito base= 35°
Angolo di attrito residuo= 15°	J.C.S. medio = 35

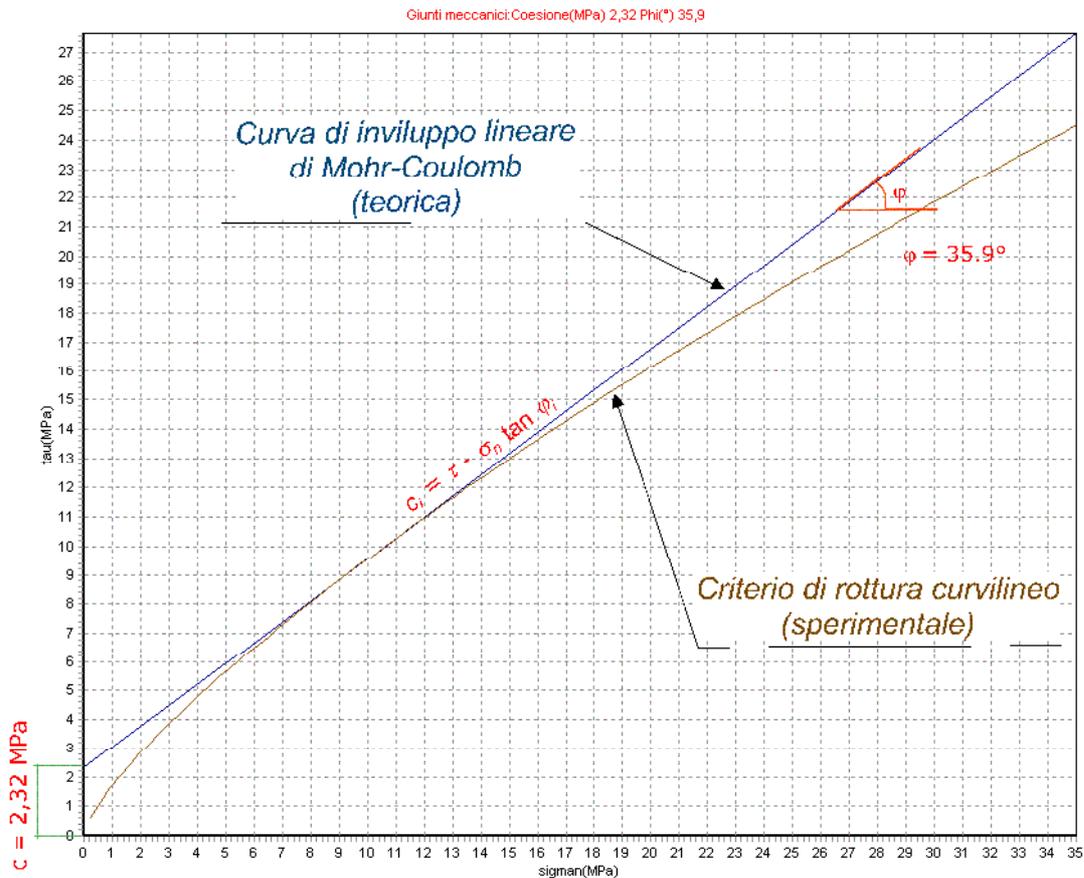


J.C.S. medio = 35

L'angolo di attrito (ϕ) e la relativa coesione lungo le singole discontinuità, calcolato con misure dirette di compressione monoassiale (Criterio di Barton) è pari a:

ϕ = angolo di attrito = 35,9°

c = coesione = 2.32 Mpa



Resistenza di una roccia con presenza di discontinuità

I cinematici che i blocchi delimitati dalle superfici di discontinuità e dalle pareti della sponda della diga possono assumere sono i seguenti:

1. - Scivolamento su un piano
2. - Scivolamento di un cuneo
3. - Ribaltamento.

Tutte le verifiche sono state condotte utilizzando un software specifico (MecRocce-2.1 della Program Geo). Il programma utilizza per la rappresentazione grafica di linee e piani la proiezione stereografica equiangola sulla semisfera inferiore.

In estrema sintesi, si riportano i poli delle famiglie di discontinuità sulla proiezione stereografica: si identificano come potenzialmente critiche solo quelle che ricadono all'interno di un'area critica per la stabilità dell'ammasso roccioso, individuata sulla suddetta proiezione. Il criterio di delimitazione dell'area critica varia in relazione al cinematico.

	<i>Immersione</i>	<i>Inclinazione</i>
<i>Sponda invaso</i>	<i>200°</i>	<i>80°</i>

Per avere scivolamento su un piano devono essere soddisfatte le seguenti condizioni:

- La frattura deve “venire a giorno”. Affinché ciò si realizzi è necessario che la frattura abbia una inclinazione minore del versante. Indicando con α l'inclinazione del versante e δ quella della frattura per avere scivolamento dovremo avere: $\alpha > \delta$.
- Il vettore che rappresenta la forza peso del blocco deve essere inclinato rispetto al polo della superficie di scivolamento di un angolo maggiore di φ , indicando con φ l'angolo di attrito superficiale sulle superficie di scorrimento. Quindi, nel caso di piani di scivolamento sottoposti solo alla forza di gravità, il cedimento è possibile solo se la superficie è più inclinata di φ . Dall'analisi delle caratteristiche geomeccaniche dei piani di frattura (la cui metodologia d'indagine è indicata nel precedente paragrafo) è stato assunto un valore cautelativo di $\varphi = 35^\circ$.
- Il blocco deve essere “libero” dalla massa rocciosa; considerato che un blocco elementare è formato da un minimo di quattro facce si possono avere le seguenti combinazioni:
 - Fronte versante, superficie di scivolamento e altre due fratture che intersecandosi con la superficie di scivolamento delimitano il blocco potenzialmente instabile.
 - Superficie orizzontale (es. superficie del gradone), sottostante fronte variamente inclinato e due fratture tra di loro intersecanti.

Ricorrendo, per la soluzione del problema, alla rappresentazione grafica mediante proiezione stereografica equiangola (sfera di proiezione inferiore) affinché siano soddisfatte le tre condizioni sopra indicate è necessario che la proiezione del vettore D (vettore inclinazione del piano di discontinuità) sia compreso nella mezza luna (area in rigato rosso nei certificati allegati) delimitato dalla traccia ciclografica del piano che rappresenta il fronte cava (arco di cerchio in colore nero) e il piccolo cerchio di apertura $90^\circ - \varphi$.

DIAGRAMMA N° 1 (allegato 5)

Come si può osservare dai grafici allegati nessun vettore inclinazione (D) delle discontinuità litologiche cade nell'area in rigato rosso per cui su di esse non può essere possibile lo scivolamento planare di un blocco.

Le condizioni affinché il cinematiso del ribaltamento sia possibile sono le seguenti:

- a) Ammasso roccioso discreto con superfici di svincolo laterale.
- b) Le superfici di discontinuità devono avere la stessa direzione del versante. Nell'analisi abbiamo assunto che questa condizione sia rispettata anche con variazioni angolari di $\pm 30^\circ$. In proiezione stereografica questa condizione è imposta riportando due coni di apertura $90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$ aventi asse orizzontale e direzione uguale alla direzione del fronte cava.
- c) Le superfici di discontinuità devono essere a reggipoggio.
- d) Il versante deve essere sufficientemente inclinato. Poiché la superficie di contatto aria – roccia è soggetta a uno sforzo di taglio nullo, lo sforzo principale massimo σ_1 è parallelo al pendio. Se le discontinuità hanno un angolo di resistenza al taglio φ , lo scorrimento su di esse potrà aver luogo solo se lo sforzo principale massimo σ_1 forma un angolo maggiore di φ rispetto alla normale agli strati. Condizione per lo scorrimento strato su strato è che l'angolo tra la normale alle superfici di discontinuità e il pendio sia maggiore di φ . Se l'inclinazione delle discontinuità è δ , allora il ribaltamento con un pendio inclinato α può avvenire se $(90^\circ - \delta) + \varphi < \alpha$.

In proiezione stereografica questo significa che il ribaltamento può avvenire solo se il polo delle discontinuità immerge come il versante con una inclinazione minore dell'angolo $\alpha - \varphi$.

Ricorrendo, anche per la soluzione del problema del ribaltamento, alla rappresentazione grafica mediante proiezione stereografica equiangola, avremo un possibile ribaltamento di un blocco allorché in proiezione stereografica i poli delle discontinuità cadono nell'area con rigato in verde che rappresenta la risultante della combinazione delle tre condizioni sopra esposte.

DIAGRAMMA N° 2 (allegato 5)

Si possono verificare le condizioni per il ribaltamento di blocchi. Si tratterebbe comunque di fenomeni localizzati e di piccola entità.

Lo scivolamento di un cuneo di roccia delimitato da due superfici di discontinuità può avvenire o lungo la linea formata dall'intersezione delle due superfici di frattura oppure su uno dei due piani che delimitano il blocco.

Anche per l'analisi di questo tipo di cinematiso valgono le condizioni espresse sopra:

- a) La linea d'intersezione deve avere una inclinazione minore del versante, cioè deve "venire a giorno";
- b) La linea d'intersezione tra le due discontinuità deve essere sufficientemente inclinata, cioè deve essere inclinata di un angolo maggiore dell'angolo d'attrito medio tra le due fratture.

Ricorrendo ancora, per la soluzione del problema, alla rappresentazione grafica mediante proiezione stereografica equiangola, avremo un possibile scivolamento di un cuneo di roccia, delimitato da due generiche fratture x e y, allorché la proiezione stereografica della linea d'intersezione lx-y tra le due superfici di discontinuità cade nell'area in rigato nero delle figure allegate.

DIAGRAMMA N° 3 (allegato 5)

Come si può osservare dalla figura allegata alcuni dei sistemi di discontinuità possono generare cunei potenzialmente instabili, in quanto le loro linee di intersezione sono disposte a franapoggio ed hanno un angolo di scivolamento inferiore a quello dell'angolo di attrito mobilabile.

Per quanto riguarda la caratterizzazione geomeccanica dei litotipi facenti parte del substrato, durante la campagna di indagine del 2006 sono stati prelevati, dal sondaggio S1 due campioni di substrato litoide (S1Cr6 e S1Cr7) che hanno permesso una caratterizzazione geomeccanica della fondazione del corpo diga.

Sui campioni S1Cr6 (profondità di prelievo tra -25,70 e -26,00 m) e S1Cr7 (profondità di prelievo tra -26,00 e -26,20 m dal p.c.) sono state effettuate, oltre alla determinazione del Peso di volume di ciascuno di essi, un Point Load Strength Index e una prova di compressione uniassiale rispettivamente. Il Point Load Test (S1Cr6) permette in particolare di ottenere, con approssimazione statistica, una stima piuttosto attendibile della resistenza a compressione della roccia, dando una valutazione geomeccanica della litologia testata.

La misura dell'indice di resistenza (Indice di Point load strength), si ottiene con l'ausilio di uno strumento costituito da un martinetto idraulico che comprime il provino, a forma di parallelepipedo opportunamente preparata, contro una struttura di contrasto rappresentata da due punte coniche aventi la stessa dimensione. Sull'apposito manometro viene poi visualizzato il valore di pressione che corrisponde alla rottura del campione.

Dalle dimensioni del provino (rapportate al diametro equivalente D_e) e dal valore del carico applicato si ricava l'indice di resistenza I_s che andrà corretto attraverso un fattore di correzione legato alla forma del provino. Il parametro corretto $I_s(50)$ permette di ottenere il valore di resistenza alla compressione monoassiale, plottando i valori di resistenza al punzonamento.

L'esecuzione della prova di Point Load sul campione S1Cr6 (quattro provini) ha fornito un valore medio di resistenza alla compressione monoassiale pari a $\sigma=104,225$ MPa (1062,78 Kg/cmq).

Nelle classificazioni delle rocce proposte da vari autori, valori di σ compresi tra 100 e 200 MPa indicano rocce molto resistenti (ISRM, 1979).

La prova di compressione uniassiale effettuata sul campione S1Cr7 ha fornito il valore di $\sigma=99,1$ MPa (1010,52 Kg/cmq) (v. allegato 2)

In virtù di ciò sono stati definiti, per il suddetto ammasso roccioso (substrato litoide alterato) i seguenti parametri caratteristici

Parametri geotecnici	Unità di misura	Substrato
Peso di volume	kg/m ³	2400
Peso di volume saturo	kg/m ³	2450
ϕ'	(°)	35,9
c'	kPa	2320,0
c_u	kPa	50000,0
κ	m/s	1,00E-07

Tab. 2– Parametri caratteristici dell'ammasso roccioso (substrato litoide alterato)

ALLEGATO 1

Campagna di indagine 2005

SOILTEST S.r.l.

AREZZO - Via A. Grandi, 30 - Tel 0575.323844 - Fax 0575.232330
 info@soiltest.it www.soiltest.it

Sondaggio: S1

Cantiere: Diga di Cepparello - Poggibonsi (SI)

Committente: Acqua Ingegneria

Data inizio perforazione: 20-7-2005

Data fine perforazione: 22-7-2005

D.L.: Dott. Ferri

Lunghezza (m): 30,0

Scala grafica: 1:200

Inclinazione (°): 0,00

Quota sul p.c. Profondità (m)	Litologia	Descrizione litologica	Campioni	S.P.T.	Pocket Penetrometer (KPa)		Pocket Vane Test (KPa)		Piezometro
					200	400	50	150	
0.7		Elementi litoidi eterogenei, Dmax 7 cm in scarsa matrice limoso-argillosa (Massicciata stradale)							
5		Argilla con limo e limo con argilla, ghialosi, debolm. sabbiosi e sabbiosi, nocciolo, marrone e verdastro, con clasti preval. arenacei e marnosi Dmax 10 cm, a tratti abbond. (clasti 0-40%). (Terreno di riporto)	SPT	3,00 m 2-4-8	190		108		
10		Argilla con limo, con ghiala e ghialosa, sabbiosa, marrone e nocciolo, clasti eterogenei, Dmax 10 cm (clasti 10-60%). (Terreno di riporto)	ci		130		76		
15		Ghiala eterometrica con ciottoli, clasti eterogenei, sia angol. che subarrotond., Dmax 10 cm, Dmed 5-7 cm, in abbond. matrice limoso-argillosa, a tratti preval. verdastre e marroni (clasti 40-70%). (Terreno di riporto)	SPT	16,50 m 7-13-15	230		104		
20		Argilliti e siltiti, rimaneggiate, grigie e verdastre, con abbond. inclusi litoidi preval. arenacei e marnosi, Dmax 10 cm.	SPT	18,00 m 8-15-19	170		92		
25		Arenarie fini calcaree, fratturate, grigie.	SPT	20,80 m 33-50 10 cm	250		140		
26.3					270		140		
29.6					330		160		
30					320				

Diametro perforazione (mm): 101

Diametro rivestimenti (mm): 127

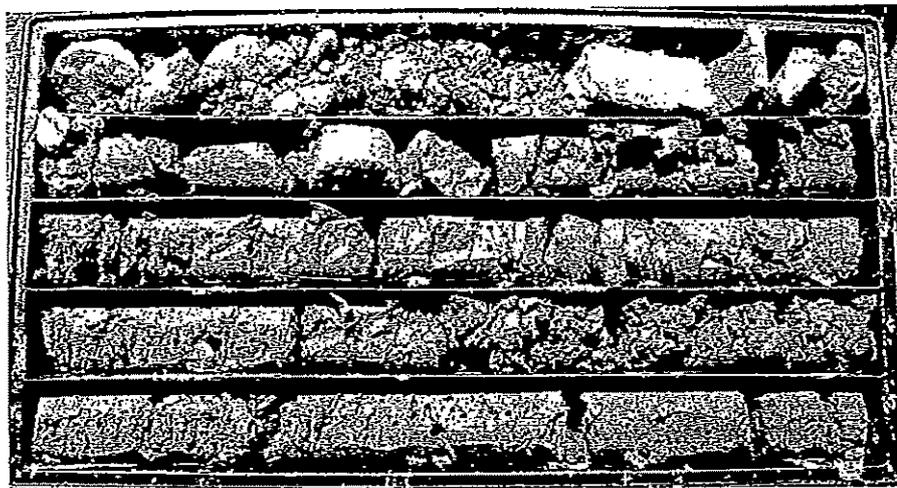
Macchina perforatrice: Puntel px 1200

Metodo di perforazione: a carotaggio continuo con aste e carotiere

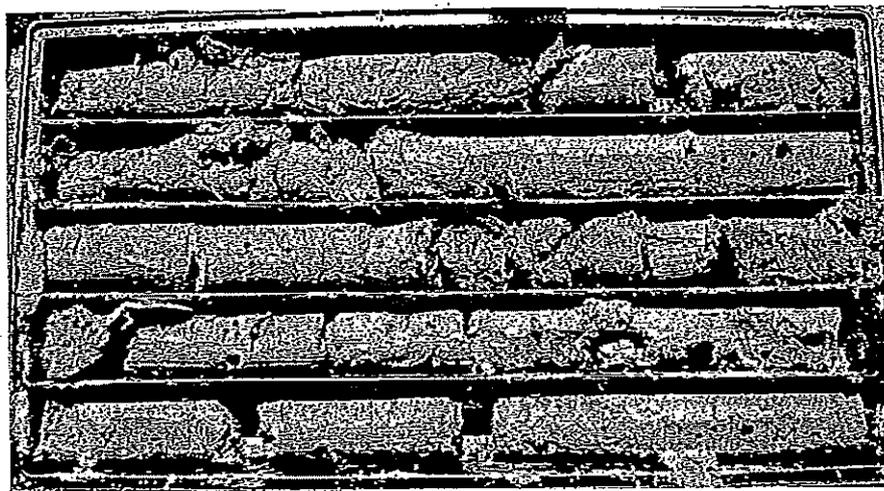
Operatore: Sig. G. Ciocca

Note: al termine della perforazione nel foro di sondaggio sono state inserite n°2 piezometri tipo Casagrande secondo lo schema riportato, protetti pc. da chiusino in ferro.

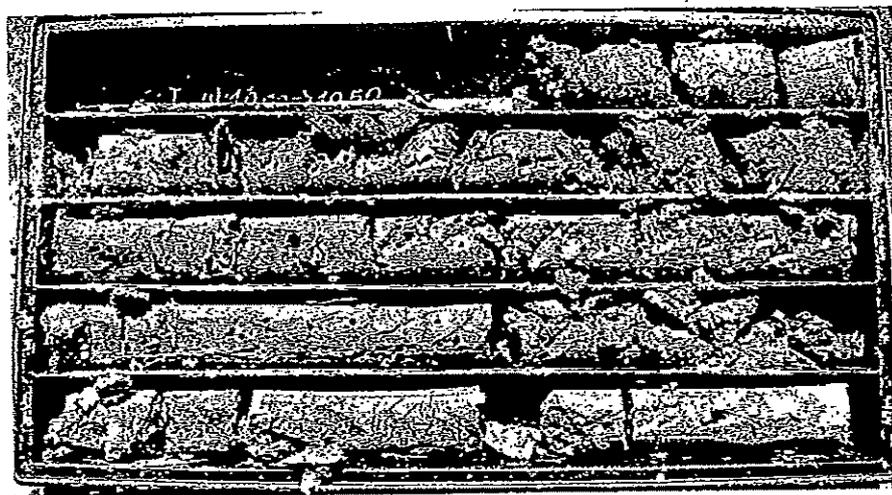
Geologo compilatore: D. Senesi



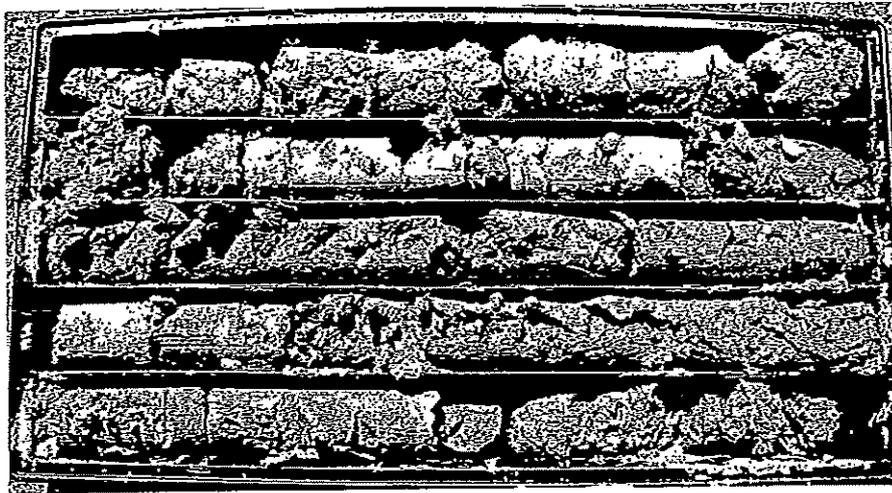
SI c1 p.c. - 5,0 m



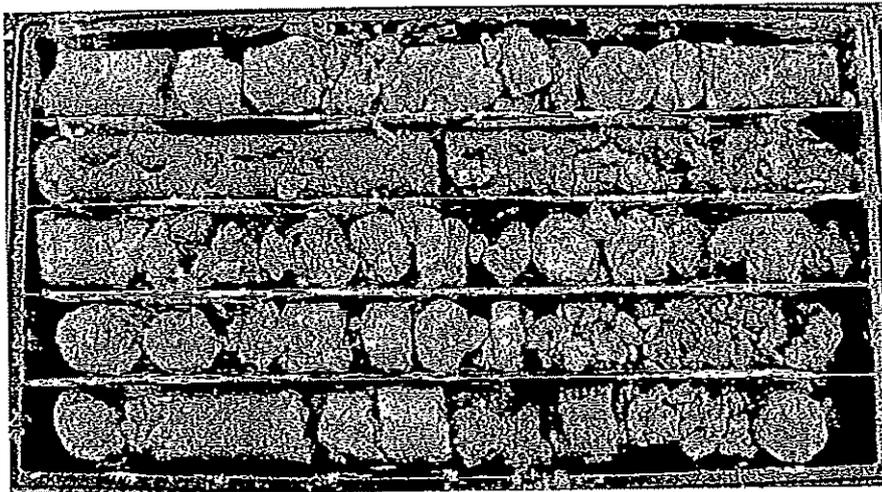
SI c2 5,0 m - 10,0 m



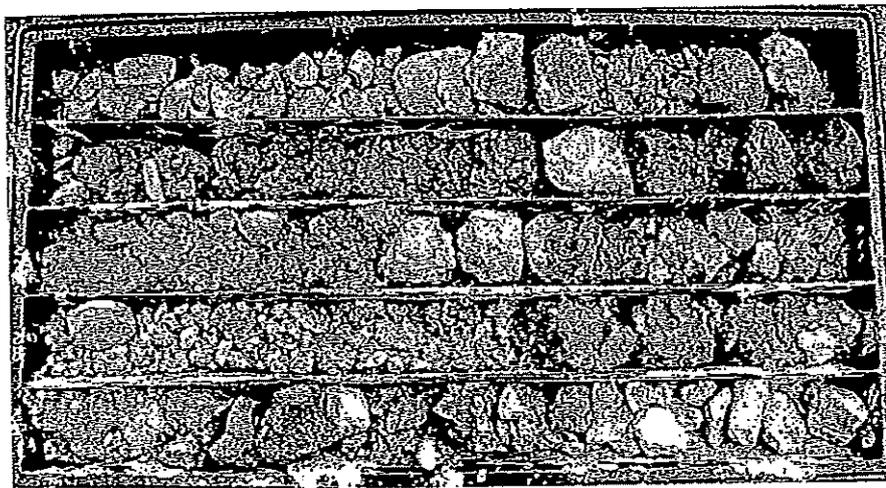
SI c3 10,0 m - 15,0 m



S1 c4 15.0 - 20.0 m



S1 c5 20.0 m - 25.0 m



S1 c6 25.0 m - 30.0 m

SOILTEST s.r.l.

AREZZO - Via A. Grandi, 39 - Tel 0575.323844 - Fax 0575.23230
 info@soiltest.it www.soiltest.it

Sondaggio: S2

Cantiere: Diga di Cepparello - Poggibonsi (SI)

Committente: Acqua Ingegneria

Data inizio perforazione: 25-7-2005

Data fine perforazione: 26-7-2005

D.L.: Dott. Ferri

Lunghezza (m): 17.0

Scala grafica: 1:200

Inclinazione (°): 0.00

Quota sul p.c. Profondità (m)	Litologia	Descrizione litologica	Campioni	S.P.T.	Packet Penetrometer (KPa)		Packet Vane Test (KPa)		Piezometro
					200	400	50	150	
1.0		Elementi litologici eterogenei, Dmax 7 cm in scarsa matrice limoso-argillosa (Terreno di riporto)							
5		Argilla con limo, con ghiaia e ghiaioso, debolm. sabbiosa, marrone e verdastro, con clasti eterogenei, Dmax 10 cm (clasti 10-60%). (Terreno di riporto)	SPT	3.00 m 2-2-2	200	550			
6.4		Ghiaia eterometrica con ciottoli, clasti eterogenei, sia angol. che subarrotond., Dmax 10 cm, Dmed 5-7 cm, in abbond. matrice limoso-argillosa, a tratti preval. verdastro e marrone (clasti 30-80%). (Terreno di riporto)	SPT	6.00 m 3-4-5	400				
13.6		Arenarie fini calcaree, fratturate, grigie e marroni, in strati di spessore sottile e medio.	SPT	12.00 m 16-9-12					

Diametro perforazione (mm): 101 Diametro rivestimenti (mm): 127

Metodo di perforazione: a carotaggio continuo con aste e carotiere

Note: al termine della perforazione nel foro di sondaggio sono state inserite n°2 piezometri tipo Casagrande secondo lo schema riportato, protetti pc. da chiusino in ferro.

Macchina perforatrice: Puntel px 1200

Operatore: Sig. G. Ciocca

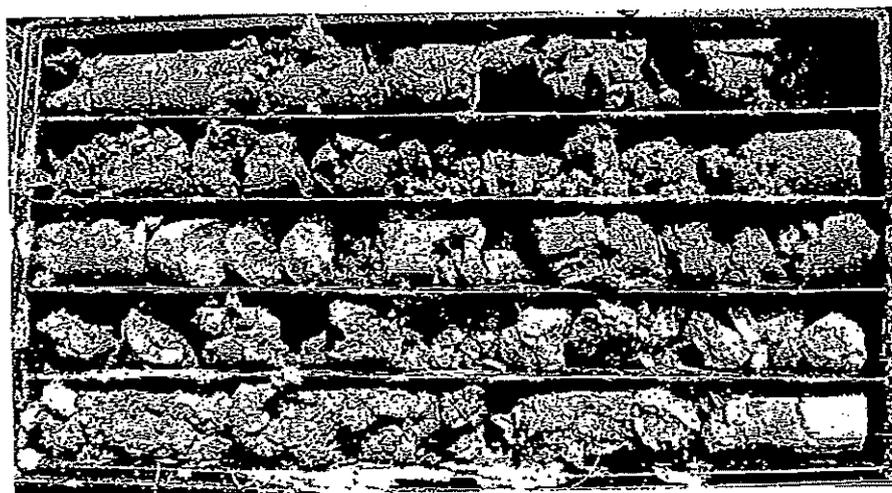
Geologo compilatore: D. Senesi

SOIL TEST^{s.r.l.}

Cantiere: Diga di Cepparello - Poggibonsi (SI)
Committente: Acqua Ingegneria



S2 c1 p.c. - 5.0 m



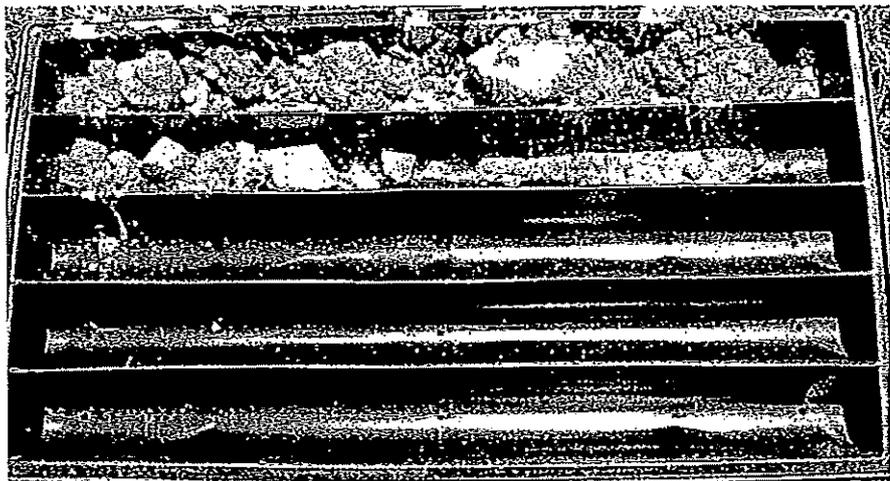
S2 c2 5.0 m - 10.0 m

SOILTEST^{s.r.l.}

Cantiere: Diga di Cepparello - Poggibonsi (SI)
Committente: Acqua Ingegneria



S2 c3 10,0 m - 15,0 m



S2 c4 15,0 m - 17,0 m

ALLEGATO 2

Campagna di indagine 2006

Data: Ottobre 2006

Metodo perforazione: Carotaggio continuo a rotazione

Cantiere: Poggibonsi Loc. "Cepparello"

Sondaggio: S1

Prof.	Strat.	Pocket	Vane	Descrizione	Osservazioni
0 m -0,20 m				Soletta	
					S1 da 0 m a 5 m Campione Indisturbato S1CI1 da -3.00 m a -3.50 m
		3.0			
		5.0	0.8		
		3.5	0.7		
-3,00 m		3.0	0.7	Limo argilloso con abbondanti elementi litici e frammenti di laterizi (colore marrone grigio-verdastro)	
					S1CI1 e' = 26,2% C' = 0,079 Kg/cmq
-3,50 m		2.5	0.6		SPT 6-3-4
		3.0			
		2.5	0.3		
		1.0	0.2		
-5,00 m		1.0	0.2		
		2.0			

Sondaggio S1
LOC. Cepparello - Poggibonsi
DA 0 A -5,00 m
08/10/2006



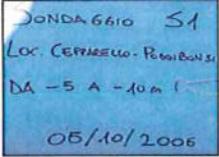
Segue

Data: Ottobre 2006

Metodo perforazione: Carotaggio continuo a rotazione

Cantiere: Poggibonsi Loc. "Cepparello"

Sondaggio: S1

Prof.	Strat.	Pocket	Vane	Descrizione	Osservazioni
-5,00 m		2.0	0.4	Limo argilloso con abbondanti elementi litici e frammenti di laterizi (colore marrone grigio-verdastro)	S1 da 5 m a 10 m Campione indisturbato S1CI2 da -6.00 m a -6.50 m Campione rimaneggiato S1CR3 da 9.70 m a -10.20 m
-6,00 m		4.0	0.7		
-6,50 m	S1CI2 f=28,00 c=0,049 Kg/cmq	1.0	0.3	Limo argilloso con sporadici elementi litici (colore marrone oliva chiaro)	
	SPT 6-7-8	1.0	0.2		
-7,80 m		2.0	0.2		
-9,50 m		4.0	0.6	Limo argilloso consistente grigio-marrone debolmente sabbioso (presenza di clasti arenacei e marnosi di dimensioni decimetriche)	
		3.0-4.0	0.7		
		5.0	0.8		
-9,70 m	S1CR3 f=31,51 c=0,07 Kg/cmq	3.0	0.6	Limo sabbioso argilloso con abbondanti elementi litici (colore grigio verdastro - grigio verdastro scuro)	
-10,00 m		1.0	0.1		

Segue

Data: Ottobre 2006

Metodo perforazione: Carotaggio continuo a rotazione

Cantiere: Poggibonsi Loc. "Cepparello"

Sondaggio: S1

Prof.	Strat.	Pocket	Vane	Descrizione	Osservazioni
-10,00 m	S1CR3 SPT				<p>S1 da 10 m a 15 m Campione rimaneggiato S1CR4 da 14.50 m a -15.00 m</p>
-10,20 m	8-10-18			Limo sabbioso argilloso con abbondanti elementi litici (colore grigio verdastro - grigio verdastro scuro)	
-12,00 m	SPT				
	4-4-8				
		1.0	0.3		
		1.0- 2.0	0.5	Limo argilloso sabbioso con abbondanti elementi litici (colore grigio oliva - marrone oliva chiaro)	
		1.0	0.0		
		3.0	0.8		
-14,50 m		4.0	0.9		
	S1CR4 φ=25.6" C=0,004 kg/cm²				
-15,00 m		1.0- 2.0	0.2		

Segue

Data: Ottobre 2006

Metodo perforazione: Carotaggio continuo a rotazione

Cantiere: Poggibonsi Loc. "Cepparello"

Sondaggio: S1

Prof.	Strat.	Pocket	Vane	Descrizione	Osservazioni
-15,00 m	S1CR5				
-15,30 m	SPT 8-8-11	1.0- 2.0	0.2		
		1.0	0.0		
		3.0	0.5		
		5.0	0.6		
		2.0	0.4		
		3.0	0.6	Limo argilloso sabbioso con abbondanti elementi litici (colore grigio oliva - grigio verdastro scuro)	
-18,00 m	SPT 8-13-15	4.0	0.7		
		2.0			
		3.0			
		4.0	0.4		
		4.0- 5.0	0.6		
-20,00 m		3.0	0.3		

SONDAGGIO S1
Loc. Cepparello - Poggibonsi
DA -15 A -20 m
09/10/2006



Segue

Data: Ottobre 2006

Metodo perforazione: Carotaggio continuo a rotazione

Cantiere: Poggibonsi Loc. "Cepparello"

Sondaggio: S1

Prof.	Strat.	Pocket	Vane	Descrizione	Osservazioni
-20,00 m				Limo argilloso sabbioso con abbondanti elementi litici (colore grigio oliva - grigio verdastro scuro)	S1 da 20 m a 25 m
-21,00 m	SPT 7-11-15	3.0 4.0	0.3 0.5		
				Orizzonte di clasti arenacei e marnosi in matrice limoso-argillosa di colore grigio (dimensioni da centimetriche a decimetriche)	
-23,20 m		RQD = 0.30			
				Alternanza di siltiti rimaneggiate di colore verde e marrone ed arenarie calcaree fratturate di colore grigio (presenza di vene di calcite)	RQD = 0.44
-25,00 m					

Segue

Data: Ottobre 2006

Metodo perforazione: Carotaggio continuo a rotazione

Cantiere: Poggibonsi Loc. "Cepparello"

Sondaggio: S2

Prof.	Strat.	Pocket	Vane	Descrizione	Osservazioni
0 m -0,20 m				Soletta	
					S2 da 0 m a 5 m
		3.0			
		5.0	0.8		
		3.5	0.7		
		3.0	0.7	Limo argilloso consistente marrone debolmente sabbioso (presenza di clasti arenacei e marnosi di dimensioni centimetriche)	Sondaggio realizzato a distruzione di nucleo fino alla profondità di -10,00 m dal p.c.
		2.5- 3.0	0.6		
		2.5	0.3		
		1.0	0.2		
		1.0- 2.0	0.2		

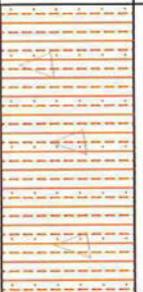
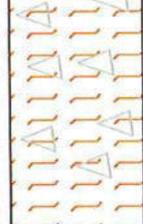
Segue

Data: Ottobre 2006

Metodo perforazione: Carotaggio continuo a rotazione

Cantiere: Poggibonsi Loc. "Cepparello"

Sondaggio: S2

Prof.	Strat.	Pocket	Vane	Descrizione	Osservazioni
-5,00 m		2.0	0.4	Limo argilloso consistente marrone debolmente sabbioso (presenza di clasti arenacei e marnosi di dimensioni centimetriche)	S2 da 5 m a 10 m
-6,00 m		4.0	0.7		
		1.0	0.3	Limo argilloso e limo sabbioso poco consistente marrone debolmente sabbioso (presenza di clasti arenacei e marnosi di dimensioni centimetriche)	Sondaggio realizzato a distruzione di nucleo fino alla profondità di -10,00 m dal p.c.
		1.0	0.2		
		2.0	0.2		
-7,50 m				Orizzonte di ghiaie e clasti arenacei e marnosi in matrice limoso-sabbiosa di colore marrone (dimensioni centimetriche)	
-10,00 m					

Segue

Data: Ottobre 2006

Metodo perforazione: Carotaggio continuo a rotazione

Cantiere: Poggibonsi Loc. "Cepparello"

Sondaggio: S2

Prof.	Strat.	Pocket	Vane	Descrizione	Osservazioni
-15,00 m		3.0	0.4	Limo argilloso consistente grigio-marrone debolmente sabbioso (presenza di clasti arenacei e marnosi di dimensioni centimetriche)	S2 da 15 m a 20 m
		3.0	0.3		
		3.0	0.4		
		3.0-0.5	4.0		
		3.0	0.3		
		3.0	0.5		
-18,00 m				<p>Cella di Casagrande</p> <p>Orizzonte di clasti arenacei e marnosi in matrice limoso-argillosa di colore grigio (dimensioni da centimetriche a decimetriche)</p>	
-18,70 m		2.0	0.1		
-20,00 m					

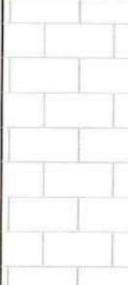
Segue

Data: Ottobre 2006

Metodo perforazione: Carotaggio continuo a rotazione

Cantiere: Poggibonsi Loc. "Cepparello"

Sondaggio: S2

Prof.	Strat.	Pocket	Vane	Descrizione	Osservazioni
-25,00 m				Arenarie calcaree fratturate di colore grigio (presenza di vene di calcite)	<p>S2 da 25 m a 27 m</p> <p>Sondaggio realizzato a distruzione di nucleo dalla profondità di -21,00 m dal p.c. fino a -27,00 m dal p.c.</p>
-26,70 m				Cella di Casagrande	
-27,00 m					



IGETECMA s.a.s.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione Ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

Rapporto di Prova n°64/07/S

SETTORE: Geofisica – sismica a rifrazione e sismica down-hole
COMMITTENTE: Acque Ingegneria S.r.l.
D.L. : Dott. C. Ferri
CANTIERE: Lago Cepparello, Poggibonsi SI
RIFERIMENTO: R.P.E. n°02/07 - 32/07

Indice:

Premessa

- 1 Indagine mediante sismica down-hole
 - 1.1 Correlazione tra velocità delle onde sismiche e parametri elastici e geomeccanici
 - 1.2 Procedure di campagna
 - 1.3 Metodo di elaborazione dei dati
 - 1.4 Risultati dell'indagine
- 2 Indagine mediante sismica a rifrazione
 - 2.1 Procedure di campagna
 - 2.2 Metodo di elaborazione dei dati
 - 2.3 Risultati dell'indagine
- 3 Presentazione dei dati
- 4 Caratteristiche della strumentazione

Il Direttore del Laboratorio
Ing. F. Politi

Il Tecnico
Geol. L. Gambassi

Premessa

Su incarico di Acque Ingegneria S.r.l. e sotto la D.L. del Dott. Ferri è stata eseguita una campagna di indagini mediante sismica down-hole con onde P ed SH e sismica a rifrazione con onde P presso il lago artificiale di Cepparello, Poggibonsi (SI).

Il sondaggio sismico down-hole è stato eseguito nel corpo diga mentre la sismica a rifrazione è stata eseguita, su indicazioni della D.L., nella parte a monte la strada di accesso al corpo diga. Scopo delle indagini è stata la caratterizzazione sismostratigrafica ed il calcolo dei parametri elastico-dinamici dei terreni presenti.

1 Indagine mediante sismica down-hole

E' stato eseguito un sondaggio sismico verticale secondo la metodologia "down-hole" nel sondaggio S1 eseguito in modalità di carotaggio continuo ed attrezzato con tubo di rivestimento, per un totale di 24 m indagati.

1.1 Correlazione fra velocità delle onde sismiche e parametri elastico-dinamici

Secondo i principi dell'elasticità dei materiali e le leggi che associano le deformazioni subite da un corpo agli sforzi ad esso applicati, è possibile stabilire relazione che forniscono i parametri elastici di un materiale conoscendo i valori di velocità delle onde sismiche di compressione P e di taglio S.

Poiché le tensioni e le deformazioni che si generano sotto l'azione del campo d'onda sismico sono di modesta entità, anche il terreno e le rocce sollecitate in questo ambito possono essere considerati in prima approssimazione come materiali omogenei, isotropi ed elastici, ed è quindi applicabile la legge di Hook (proporzionalità tra lo sforzo applicato s_{ij} e la deformazione prodotta ϵ_{kl}) espressa come:

$$s_{ij} = C_{ijkl} \epsilon_{kl}$$

nella quale le costanti di proporzionalità C_{ijkl} sono dette Moduli Elastici. Tali costanti definiscono le proprietà dei materiali, ed assumendo materiali isotropi ed elastici, diminuiscono da 81 a 5, di cui quattro hanno un preciso significato fisico (G , E , K , ν), mentre λ rappresenta una semplificazione nelle formule.

In senso più generale possono essere definite le costanti di Lamè λ e μ come caratteristiche elastiche indipendenti dalle direzioni lungo cui vengono applicate le tensioni o lungo cui vengono registrate le deformazioni. Queste due costanti sono definite dalle relazioni:

$$\lambda = (\nu E) / [(1 + \nu)(1 - 2\nu)] \quad \mu = E / 2(1 + \nu)$$

Analogamente i due moduli E e ν possono essere espressi in funzione delle costanti di Lamè:

$$E = \mu (3\lambda + 2\nu) / (\lambda + \nu) \quad \nu = \lambda / 2(\lambda + \nu)$$

Dimensionalmente i moduli elastici G , E , K e le due costanti di Lamè esprimono il rapporto tra una forza ed una superficie e sono quindi delle pressioni, mentre il rapporto di Poisson è adimensionale.

La costante E viene definita come rapporto tra sollecitazione e conseguente deformazione longitudinale rappresenta il modulo elastico del materiale (Modulo di Young). E' importante sottolineare che in campo dinamico si parla di modulo elastico dinamico, non statico, proprio perché tale modulo è ricavato dalle velocità delle onde sismiche.

La misura della resistenza del materiale al taglio viene definita come il rapporto tra deformazione e sforzo applicato, ed è chiamata Modulo di Taglio, G .

Il rapporto tra la tensione idrostatica e la deformazione cubica definisce il Modulo di compressione volumetrica o Bulk, k . Il Modulo di Poisson ν è definito come rapporto tra la deformazione trasversale e quella longitudinale.

Un'ultima costante entra a far parte delle relazioni tra caratteristiche elastiche e velocità, la densità ρ del materiale.

Le velocità sismiche possono essere espresse tramite le costanti elastiche con le seguenti relazioni:

$$V_p = ((\lambda + 2\nu) / \rho)^{1/2}$$

$$V_s = (\nu / \rho)^{1/2}$$

Pertanto avendo determinato i valori di V_p e V_s ed il valore ρ della densità del materiale attraversato, è possibile calcolare i valori delle costanti elastiche dinamiche che caratterizzano i terreni esaminati con le seguenti relazioni.

$$\nu = (V_p^2 - 2 V_s^2) / (2 (V_p^2 - V_s^2))$$

$$G = \rho V_s^2$$

$$E = 2 \rho V_s^2 (1 + \nu)$$

$$K = (2 \rho V_s^2 (1 + \nu)) / (3 (1 - 2 \nu))$$

Merita di essere ricordato infine che i parametri ricavati da misure dinamiche, cioè mediante l'utilizzo delle velocità delle onde sismiche, hanno in genere valori superiori a quelli ricavati da prove statiche di laboratorio proprio per il diverso campo di sforzo applicato e deformazione raggiunta: le intense ma brevi sollecitazioni provocate dalla propagazione delle onde sismiche si mantengono, infatti, nel campo elastico delle deformazioni del materiale, per cui sebbene in teoria il modulo di Poisson sia considerato stress-indipendente ed i suoi valori risultino compresi

tra 0.25 e 0.33, nei porous-media esso risulta stress-dipendente, e presenta un campo di variabilità più esteso e può addirittura arrivare, secondo GREGORY, a valori negativi.

I valori più bassi, in natura, si registrano per litotipi ad alta porosità, sottoposti a bassa pressione litostatica e gas saturati, in alcuni sedimenti incoerenti e saturi i valori possono risultare uguali o superiori a 0.49; nelle sospensioni assume il valore di 0.50.

Il rapporto fra V_p e V_s non è costante e dipende dallo stato di saturazione e dalla pressione interstiziale dei pori, in Tabella I sono riportati valori medi delle V_p per i principali litotipi e il range di V_s relative comprese fra i rapporti di V_p/V_s di 3.5 e 1.9; questi valori sono da ritenere indicativi in quanto in particolari condizioni il rapporto V_p/V_s può aumentare.

Materiale	V P m/sec	V SH m/sec.	
		VP/VSH 3.5-1.9	VP/VSH 3.5-1.9
Detrito superficiale alterato	300 - 600	86 - 158	171 - 316
Ghiaia, pietrisco, sabbia asciutta	500 - 900	143 - 263	257 - 474
Sabbia bagnata	600 - 1800	171 - 316	514 - 947
Argilla	900 - 2700	257 - 474	771 - 1421
Acqua	1430 - 1680	-	-
Acqua salata	1460 - 1530	-	-
Arenaria	1800 - 4000	514 - 947	1143 - 2105
Scisti argillosi	2500 - 4200	714 - 1316	1200 - 2211
Calcere	2000 - 6000	571 - 1053	1714 - 3158
Sale	4200 - 5200	1200 - 2211	1486 - 2737
Granito	4000 - 6000	1143 - 2105	1714 - 3158
Rocce metamorfiche	3000 - 7000	857 - 1579	2000 - 3684

Tabella I – Velocità delle onde sismiche nei principali materiali.

1.2 Procedure di campagna

Per la registrazione delle onde di compressione e delle onde di taglio in profondità viene utilizzato un geofono da pozzo munito di un ricevitore costituito da tre sensori sensibili alle componenti del moto lungo tre direzioni: uno verticale e due orizzontali ortogonali fra loro.

Il geofono da pozzo, munito di un sistema teleguidato di orientazione azimutale e di ancoraggio meccanico alle pareti del rivestimento, viene calato all'interno del foro di sondaggio, preventivamente attrezzato con un tubo di rivestimento, e ad intervalli determinati vengono registrati i treni d'onda prodotti dalle energizzazioni eseguite in superficie.

L'orientazione è garantita da una bussola posta all'interno del geofono che posiziona la terna con il 1° sensore orizzontale disposto secondo il Nord.

Energizzando su una piastra posta a diretto contatto con il terreno vengono generate predominanti onde di compressione P, mentre per le onde di taglio SH si utilizza una trave di legno posta a diretto contatto col terreno, gravata dal peso di un automezzo, che viene colpita lateralmente: le battute destra e sinistra vengono sommate con polarità scambiata in modo da migliorare l'individuazione dell'onda di taglio polarizzata in senso orizzontale che viene generata; orientando la sorgente di energizzazione in superficie a 45° rispetto ad punto cardinale, si può così avere un completo controllo nell'analisi del treno d'onda che attraversa i terreni da investigare. In questo modo per ogni punto di energizzazione si hanno due treni d'onda diversi: uno per le onde P e l'altro per le onde SH.

La distanza sorgente-boccaforo è stata fissata in 3.5 m mentre il passo delle registrazioni è stato di 1 m

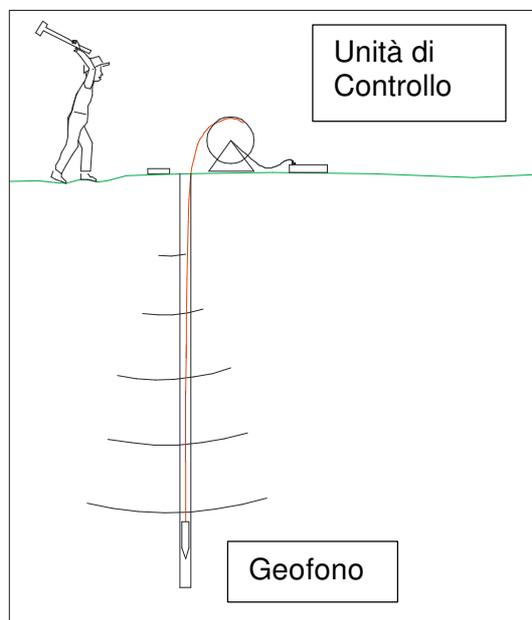


Fig. 1 – Schema del sistema d'acquisizione

Un'unità esterna di controllo gestisce le fasi di ancoraggio e registrazione del geofono da pozzo, mentre le tracce sismiche relative ad ogni intervallo di profondità vengono registrate mediante un sismografo digitale per la loro successiva elaborazione.

In allegato sono riportati i sismogrammi rimontati in profondità per le onde P e le SH e separatamente, le registrazioni di campagna per le onde P e le SH che sono così organizzate:

- canale 1 – componente verticale
- canale 2 – componente orizzontale n°1
- canale 3 – componente orizzontale n°2

1.3 Metodo di elaborazione dei dati

Questa tecnica di prospezione sismica prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione P e di taglio SH tra il punto di energizzazione posto in superficie ed il punto di ricezione situato in profondità nel foro di sondaggio.

I tempi letti sui sismogrammi devono poi essere corretti poiché le onde sismiche non percorrono tragitti verticali tra la sorgente in superficie ed il sensore nel foro, ma inclinati rispetto alla verticale: indicando con t_z il tempo d'arrivo, con d la distanza orizzontale tra sorgente ed il boccaforo e con z la profondità del sensore, il tempo di arrivo corretto t_c alla profondità z sarà dato dalla relazione:

$$t_c = t_z * \cos (\alpha_z)$$

$$\alpha_z = \arctang (d / z)$$

La velocità delle onde P e delle onde SH viene calcolata mediante la pendenza della dromocrona.

Tali valori di velocità vengono quindi diagrammati per visualizzare le variazioni di velocità con la profondità, ed utilizzati per ricavare i moduli dinamici, secondo le formule di paragrafo 1.1. Dalla variazione delle velocità e dei parametri elastici con la profondità si risale al tipo di materiale in cui sta passando il treno d'onda a quella profondità.

In Allegato sono riportati i grafici delle dromocrone corrette, delle velocità delle onde P e delle onde SH rispetto alla profondità, e le Tabelle numeriche con i moduli elastici dinamici (rapporto di Poisson ν , modulo di Taglio G, di Young E, di rigidità volumetrica K espressi in MPa); i valori di densità utilizzati nei calcoli provengono dai risultati delle analisi di laboratorio

1.4 Risultati dell'indagine

Da piano campagna a 10 m di profondità le velocità delle onde sismiche hanno valori compresi tra 308 e 745 m/sec. per le P e tra 160 e 259 m/sec. per le SH, riferibili, sulla base della stratigrafia, a limi argillosi debolmente sabbiosi con clasti arenacei; da 10 a 21 m le velocità assumono valori compresi fra 914 e 1553 m/sec. per le P e fra 328 e 648 m/sec. per le SH, riferibili a limi argillosi debolmente sabbiosi consistenti con clasti arenacei ed a ghiaie; da 21 m a 23 m le velocità assumono valori compresi fra 1884 e 1897 m/sec. per le P e fra 1010 e 1060 m/sec. per le SH, riferibili a clasti arenacei e marnosi in limo argilloso. Da 23 a 24 m da p.c. le velocità hanno valori di 2974 m/sec. per le P e di 1648 m/sec. per le SH, riferibili al passaggio al substrato roccioso dell'area.

2. Indagine mediante sismica a rifrazione

Sono stati eseguiti n°5 profili di sismica a rifrazione superficiale lungo la strada di accesso al corpo diga, utilizzando una spaziatura di 2 m per un totale di 230 m di rilievo; la planimetria in scala 1:400 indica l'ubicazione dei profili sismici.

2.1. Procedure di campagna

Vengono stesi i cavi sismici lungo la zona di interesse e ad essi vengono collegati i geofoni precedente infissi nel terreno alle equidistanze prestabilite. L'energizzazione del terreno per generare onde elastiche può essere effettuata sia mediante massa battente da 5/20 Kg che tramite l'utilizzo del cannone sismico: l'impatto rende operativo, tramite un accelerometro reso solidale con la fonte di energizzazione (*trigger*), il sistema di acquisizione dati, permettendo così la registrazione ai geofoni della forma d'onda rappresentativa della velocità di spostamento del suolo.

Al fine di ottenere una migliore risoluzione della sismo-stratigrafia, i punti di energizzazione, detti punti di scoppio (*shot points*), vengono disposti simmetricamente rispetto al profilo: ai suoi estremi (*end*), esternamente (*offset*) ed a distanze variabili entro il profilo stesso (punti di scoppio centrali).

La profondità di investigazione è, in linea teorica direttamente correlata alla lunghezza del profilo, alla distanza degli offset e soprattutto al contrasto di velocità dei mezzi attraversati.

I tempi di arrivo delle onde sismiche nel terreno sono funzione della distanza tra i geofoni, delle caratteristiche meccaniche dei litotipi attraversati e della loro profondità.

2.2 Metodo di elaborazione dei dati

La procedura d'elaborazione dati consiste di due fasi: la lettura dei tempi d'arrivo ai vari geofoni dello stendimento per ciascuna energizzazione effettuata e la loro successiva elaborazione mediante metodi di calcolo.

I tempi di primo arrivo delle onde sismiche vengono riportati su diagrammi spazio-tempo (*dromocrone*) nei quali l'asse dei tempi ha l'origine coincidente con l'istante in cui viene prodotta l'onda sismica (t_0), mentre nelle ascisse si hanno le distanze relative fra i geofoni dello stendimento.

Tali diagrammi consentono di determinare, nei punti di flesso, le variazioni di velocità fra i vari strati attraversati dai raggi sismici e, tramite elaborazioni, le profondità a cui si verificano tali variazioni. In Tabella I sono riportate le relazioni tra le velocità medie delle onde sismiche compressionali P (espresse in m/sec) e le principali litologie, desunte da letteratura.

Il procedimento di elaborazione dei tempi d'arrivo per ottenere le profondità dei rifrattori, utilizza più metodi: il Metodo del tempo di ritardo (*delay time*), il Metodo del tempo di intercetta ed il Metodo reciproco generalizzato (G.R.M.) proposto da Palmer (1980).

Il G.R.M. è un metodo interpretativo che si basa su tempi d'arrivo da energizzazioni coniugate, effettuate cioè da parti opposte del profilo sismico: tramite la determinazione di due funzioni (analisi della velocità e tempo-profondità) si determinano le velocità e quindi le profondità dei rifrattori individuati sulle dromocrone.

La funzione di analisi della velocità corrisponde al tempo necessario al raggio sismico a percorrere un tratto di lunghezza nota sul rifrattore (distanza intergeofonica), per cui la sua determinazione permette di ottenere una precisa stima della velocità delle onde sismiche nel rifrattore stesso. Tramite un procedimento di migrazione dei dati, sia la funzione tempo-profondità che quella di analisi della velocità vengono calcolate per distanze intergeofoniche crescenti (da 0 a multipli interi dell'equidistanza dei geofoni): viene scelta poi quella distanza per la quale le curve presentano il miglior andamento rettilineo.

I limiti del metodo a rifrazione risiedono nella impossibilità teorica di rilevare successioni stratigrafiche composte da strati a velocità decrescente con la profondità, in tal caso lo strato o gli strati non possono essere messi in evidenza dalle onde rifratte in quanto l'energia incidente, al contatto fra la sommità dello strato e la base dello strato sovrastante a più alta velocità, subisce una flessione verso il basso e non può venire di conseguenza rifratta; tale situazione è nota come "orizzonte nascosto". Altra limitazione consiste nella presenza di uno strato a velocità intermedia ma di ridotto spessore; anche in questo caso l'orizzonte non produce alcun cambiamento di pendenza sulle dromocrone, e non è quindi sismicamente rilevabile. Ambedue le situazioni stratigrafiche portano a sovraestimare o sottostimare lo spessore delle coperture. Quando da altri rilievi si è a conoscenza della possibile presenza di orizzonti sismici nascosti è possibile, in fase di elaborazione dei dati con il metodo G.R.M., la verifica dello spessore di tali zone, poiché negli strati nascosti si ha sempre un aumento di velocità con la profondità, ma il loro spessore è sottile e/o il contrasto di velocità con lo strato sottostante è così piccolo, per cui i raggi sismici che partono da questi strati vengono oscurati dai raggi che partono dallo strato sottostante. Gli strati a bassa velocità presentano invece una velocità sismica minore rispetto allo strato sovrastante (inversione di velocità), per cui alla loro interfaccia non si verifica una rifrazione critica e così non vengono evidenziati sul grafico tempo-distanza. L'individuazione di eventuali strati nascosti e/o inversioni di velocità viene effettuata attraverso il confronto fra i valori delle funzioni tempo-velocità misurate e quelle ricalcolate in base al valore di XY utilizzata per l'elaborazione (Palmer 1980).

2.3 Risultati dell'indagine

Nel suo insieme l'indagine ha messo in evidenza la presenza di tre orizzonti sismici con le seguenti classi di velocità delle onde di compressione P:

$$V1 = 257 - 425 \text{ m/sec.}$$

$$V2 = 737 - 1092 \text{ m/sec.}$$

$V3 = 1606 - 4029 \text{ m/sec.}$

Lungo il profilo Ps5 è visibile un quarto orizzonte sismico con velocità $V4 = 2800 \text{ m/sec.}$

In base alle velocità sismiche e alla comunicazione della D.L., il primo orizzonte sismico può essere riferito a terreno naturale areato e a materiali di copertura, il secondo orizzonte alla completa alterazione del substrato o a materiali detritici, il terzo ed il quarto orizzonte al substrato roccioso formato da arenarie e siltiti della Formazione della Pietraforte.

Lungo i cinque profili, le variazioni orizzontali di velocità nel substrato roccioso possono essere riferite ad alcune cause, fra le quali la variazioni nella percentuale dei litotipi che costituiscono il substrato (variazione del rapporto arenarie/siltiti), l'andamento della stratificazione (giacitura) rispetto la linea sismica, le variazioni del grado e nell'orientazione della fratturazione. Abbassamenti di velocità si possono verificare per la diminuzione del rapporto arenarie/siltiti e nel caso in cui la linea sismica sia perpendicolare alla giacitura della stratificazione o all'allineamento di una serie di fratturazioni; viceversa, l'aumento della velocità delle onde sismiche indica una percentuale maggiore di arenaria, la stratificazione parallela alla linea sismica oppure la diminuzione della fratturazione.

Profilo Ps1 (46 ml): il primo orizzonte sismico ha uno spessore compreso tra 0.3 m e 2.3 m con velocità delle onde di compressione comprese fra 285 m/sec. e 369 m/sec. riferibili al terreno naturale areato. Il secondo orizzonte ha uno spessore compreso tra 3.0 m e 6.1 m raggiungendo profondità variabili tra 4.9 e 7.8 m, con velocità comprese tra 737 m/sec. e 886 m/sec. Il terzo orizzonte sismico ha mostrato forti variazioni laterali della velocità, con valori compresi tra 2327 m/sec. e 4029 m/sec. riferibili al substrato roccioso.

Profilo Ps2 (46 ml): il primo orizzonte sismico ha uno spessore compreso tra 0.7 m e 1.6 m con velocità delle onde di compressione comprese fra 303 m/sec. e 380 m/sec. riferibili al terreno naturale areato. Il secondo orizzonte ha uno spessore compreso tra 3.4 m e 6.7 m raggiungendo profondità variabili tra 4.3 e 7.9 m, con velocità da 931 m/sec. a 1092 m/sec. Il terzo orizzonte sismico ha velocità comprese tra 1725 m/sec. e 2286 m/sec. riferibile al substrato roccioso.

Profilo Ps3 (46 ml): il primo orizzonte sismico ha uno spessore compreso tra 0.8 m e 1.6 m con velocità delle onde di compressione comprese fra 341 m/sec. e 425 m/sec. riferibili al terreno naturale areato. Il secondo orizzonte ha uno spessore compreso tra 3.3 m e 7.2 m raggiungendo profondità variabili tra 4.5 e 8.4 m, con una velocità da 885 m/sec. a 888 m/sec. Il terzo orizzonte sismico ha mostrato forti variazioni laterali della velocità, con valori compresi tra 1606 m/sec. e 2239 m/sec. riferibili al substrato roccioso.

Profilo Ps4 (46 ml): il primo orizzonte sismico ha uno spessore compreso tra 0.5 m e 1.6 m con velocità delle onde di compressione comprese fra 307 m/sec. e 354 m/sec. riferibili al terreno naturale areato. Il secondo orizzonte ha uno spessore compreso tra 3.5 m e 6.2 m raggiungendo profondità variabili tra 4.0 e 6.9 m, con una velocità media di 960 m/sec. Il terzo orizzonte sismico ha velocità comprese tra 1861 m/sec. e 2460 m/sec. riferibile al substrato roccioso.

Profilo Ps5 (46 ml): il primo orizzonte sismico ha uno spessore compreso tra 0.5 m e 1.6 m con velocità delle onde di compressione comprese fra 257 m/sec. e 333 m/sec. riferibili al terreno naturale areato. Il secondo orizzonte ha uno spessore compreso tra 3.9 m e 5.3 m raggiungendo profondità variabili tra 4.4 e 6.3 m, con una velocità media di 829 m/sec. Il terzo orizzonte ha uno spessore compreso tra 3.2 m e 9.4 m raggiungendo profondità variabili tra 9.5 e 15.0 m, con velocità da 1620 m/sec. a 1678 m/sec. riferibile al substrato roccioso. Il quarto orizzonte sismico ha velocità media di 2800 m/sec. riferibile ad un passaggio a materiali meno fratturati sempre all'interno del substrato roccioso.

2.4 Ricostruzioni

Per la ricostruzione delle morfologie del substrato sono stati usati due metodi: il Kriging e la Triangulation with linear Interpolation.

L'analisi della distribuzione della velocità nel terzo orizzonte sismico mostra che, date le litologie in esame, i valori sono risultati non molto elevati: è probabile che siano presenti zone con roccia sana accanto a zone di fratturazione ed anche che fra strati competenti e rigidi di arenaria siano presenti interstrati siltitici con caratteristiche scadenti i quali abbassano la velocità media dell'ammasso. Le linee P2, P3 e Ps4 si intersecano con la linea Ps1 in corrispondenza di zone a bassa velocità.

3. Presentazione dei dati

Nella presente relazione vengono forniti i seguenti elaborati:

per l'indagine down-hole:

- ubicazione delle indagini;
- grafici delle dromocroni dei tempi di arrivo e delle velocità V_p e V_s
- tabulati numerici dei tempi d'arrivo, delle velocità sismiche e dei parametri geofisici
- registrazioni di campagna effettuate e rimontate per ogni canale di acquisizione

per la sismica a rifrazione:

- ubicazione delle indagini;

- sezioni sismiche interpretate, rappresentazioni bidimensionali delle velocità sismiche e degli spessori degli strati individuati lungo il profilo sismico;
- tabulati numerici dei tempi d'arrivo, delle velocità delle onde sismiche compressionali e degli spessori relativi ad ogni strato rilevato per ciascuna sezione sismica;
- registrazioni di campagna e dromocrone dei tempi d'arrivo
- ricostruzione dell'andamento delle velocità sismiche lungo il substrato, profondità del substrato.

4. Caratteristiche della strumentazione

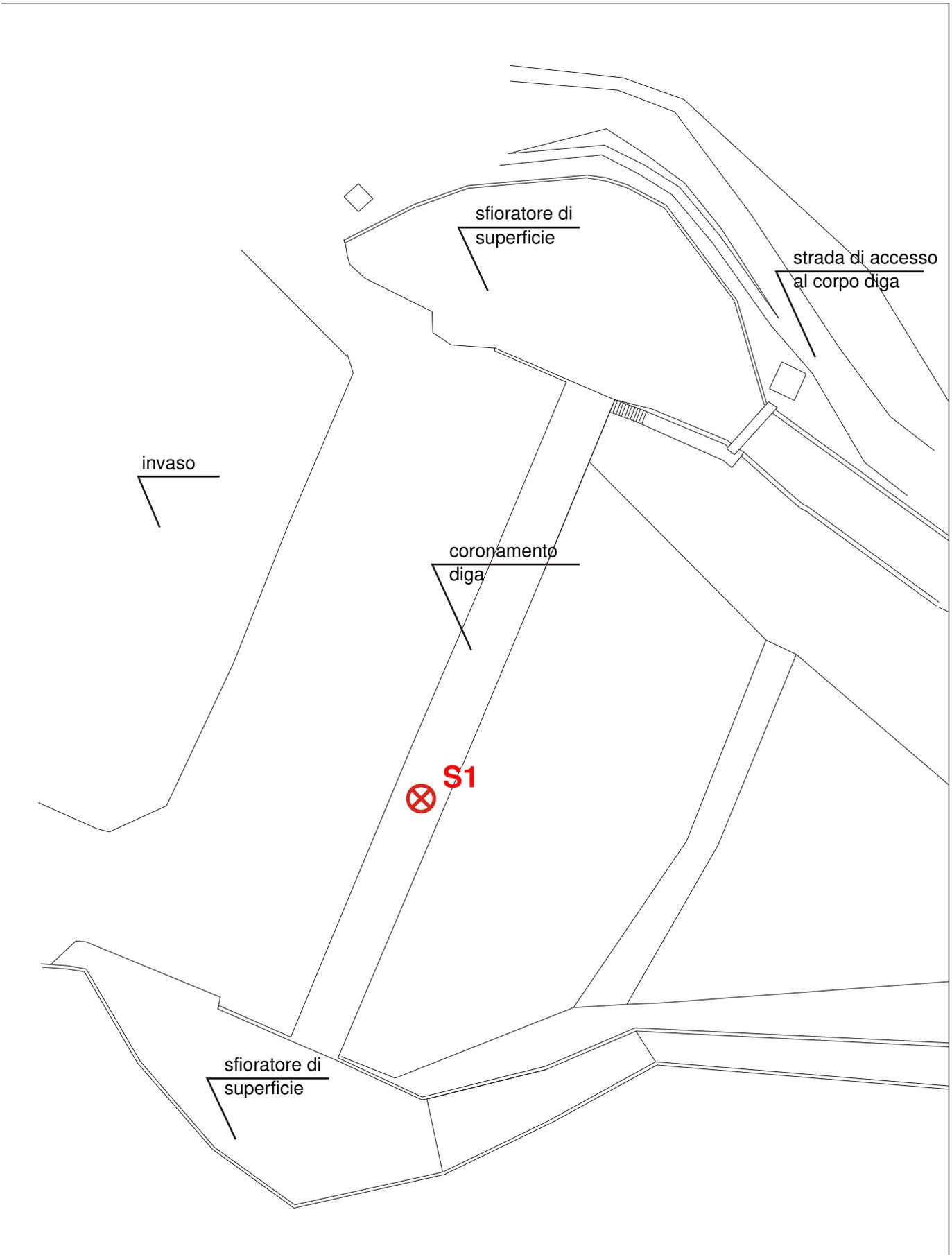
Il sistema di acquisizione usato nella presente campagna d'indagini è composto da un sistema modulare della Geometrics così configurato:

Sismografo GEODE 48 canali (2 moduli a 24 canali) con Controller Stratavisor NZC:

- Risoluzione segnale A/D 24 bit
 - Escursione dinamica 144 dB, 110 dB istantanea a 2 ms
 - Passo di campionamento da 0.02 a 16 msec indipendente dal tempo d'acquisizione
 - Fino a 64.000 campioni per traccia
 - Distorsione 0.0005% a 2 msec, 1.75 – 208 Hz
 - Amplificazione del segnale da 0 a 36 dB
 - Filtri analogici anti-aliasing a 90 dB della frequenza di Nyquist
 - Filtri digitali low-cut, high-cut, notch a 24 o 48 dB/oct
 - Precisione trigger in sommatoria 1/32 del passo di campionamento
 - Pre-trigger fino a 4096 campioni, delay sino a 10000 msec
 - Salvataggio dati in formato SEG-2 su hard-disk incorporato
 - Sistema di starter mediante accelerometro
 - Mazza da 5 Kg
 - Modulo di controllo GEOSTUFF mod. BHGC-1
 - Geofono da pozzo a con tripletta di sensori sismici OYO con frequenza propria di 10 Hz
-
-

UBICAZIONE DOWN-HOLE S1

Scala 1:500



Sondaggio S1 - Tabelle

Z	Tp	Ts	Tpc	Tsc
m	msec	msec	msec	msec
1	11.50	22.06	1.63	3.12
2	11.44	21.75	4.51	8.57
3	11.44	22.38	6.65	13.01
4	12.08	25.00	8.54	17.68
5	13.81	27.81	10.90	21.95
6	15.00	30.94	12.65	26.10
7	16.50	34.56	14.53	30.43
8	17.72	38.50	16.06	34.89
9	19.23	42.25	17.78	39.07
10	20.38	45.75	19.12	42.93
11	21.20	48.31	20.11	45.83
12	22.06	50.63	21.10	48.43
13	23.00	53.19	22.15	51.22
14	23.85	56.06	23.09	54.27
15	24.88	58.31	24.18	56.68
16	25.88	60.38	25.24	58.89
17	26.69	62.50	26.11	61.14
18	27.36	64.94	26.83	63.68
19	27.96	66.88	27.47	65.71
20	28.65	68.69	28.20	67.61
21	29.38	70.15	28.96	69.15
22	29.88	71.06	29.49	70.14
23	30.38	71.94	30.02	71.08
24	30.69	72.48	30.36	71.69

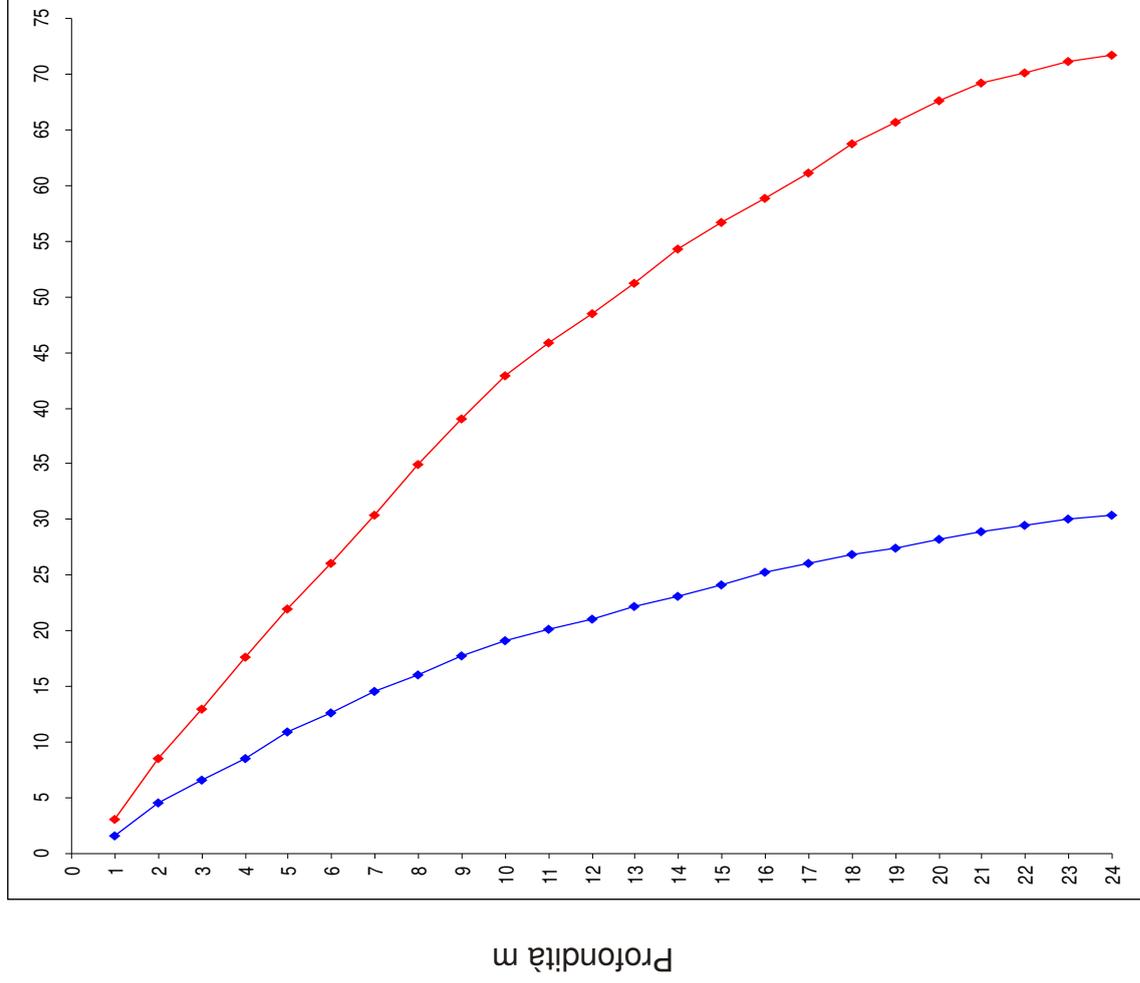
Z	Profondità
Tp	Tempo di arrivo onde di compressione
Ts	Tempo di arrivo onde di taglio
Tp Corr.	Tempo di arrivo corretto onde di compressione
Ts Corr.	Tempo di arrivo corretto onde di taglio

Z	Vp	Vs	t/m^3	G	E	K
m	m/sec.	m/sec.	-	MPa	MPa	MPa
1	308	160	2.0	51	135	121
2	347	184	2.0	67	176	151
3	466	225	2.0	102	274	300
4	528	214	2.0	92	257	436
5	424	234	2.0	109	280	214
6	570	241	2.0	116	324	495
7	534	231	2.0	107	295	428
8	654	224	2.0	101	289	720
9	580	239	2.0	114	320	520
10	745	259	2.0	134	384	932
11	1011	344	2.0	237	680	1730
12	1008	385	2.0	296	838	1637
13	958	359	2.0	258	731	1492
14	1065	328	2.0	215	622	1984
15	914	414	2.0	343	939	1215
16	944	453	2.0	410	1108	1236
17	1150	445	2.0	396	1118	2117
18	1390	394	2.0	311	905	3448
19	1553	492	2.0	484	1398	4177
20	1376	527	2.0	555	1571	3047
21	1313	648	2.0	841	2251	2327
22	1884	1010	2.1	2144	5565	4594
23	1897	1060	2.1	2359	6007	4410
24	2974	1648	2.3	6250	15979	12015

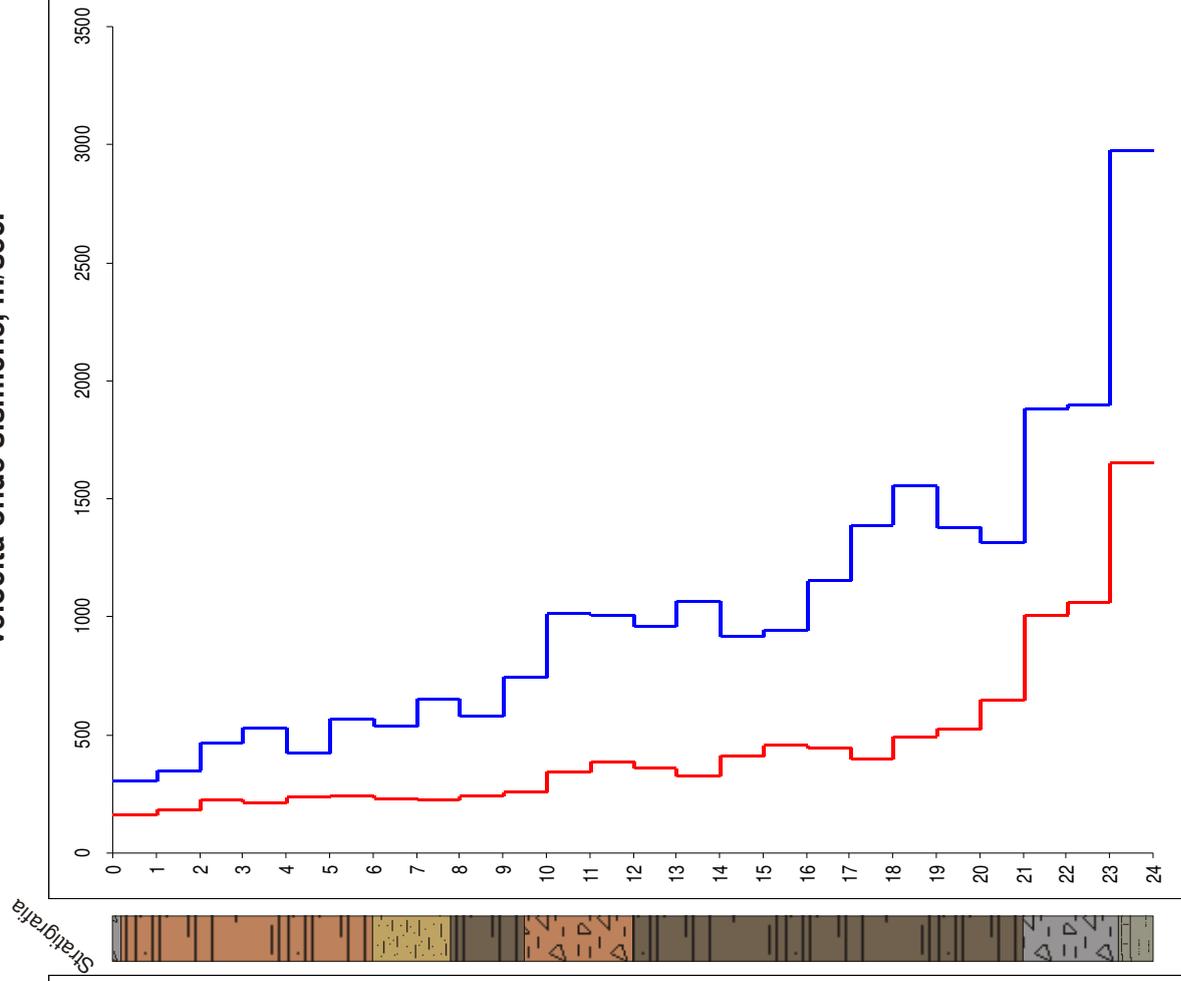
Z	Profondità
Vp	Velocità onde di compressione
Vs	Velocità onde di taglio
	Densità
G	Modulo di Poisson
E	Modulo taglio
K	Modulo di Young
	Modulo di rigidità volumetrica

Sondaggio S1 - Grafici

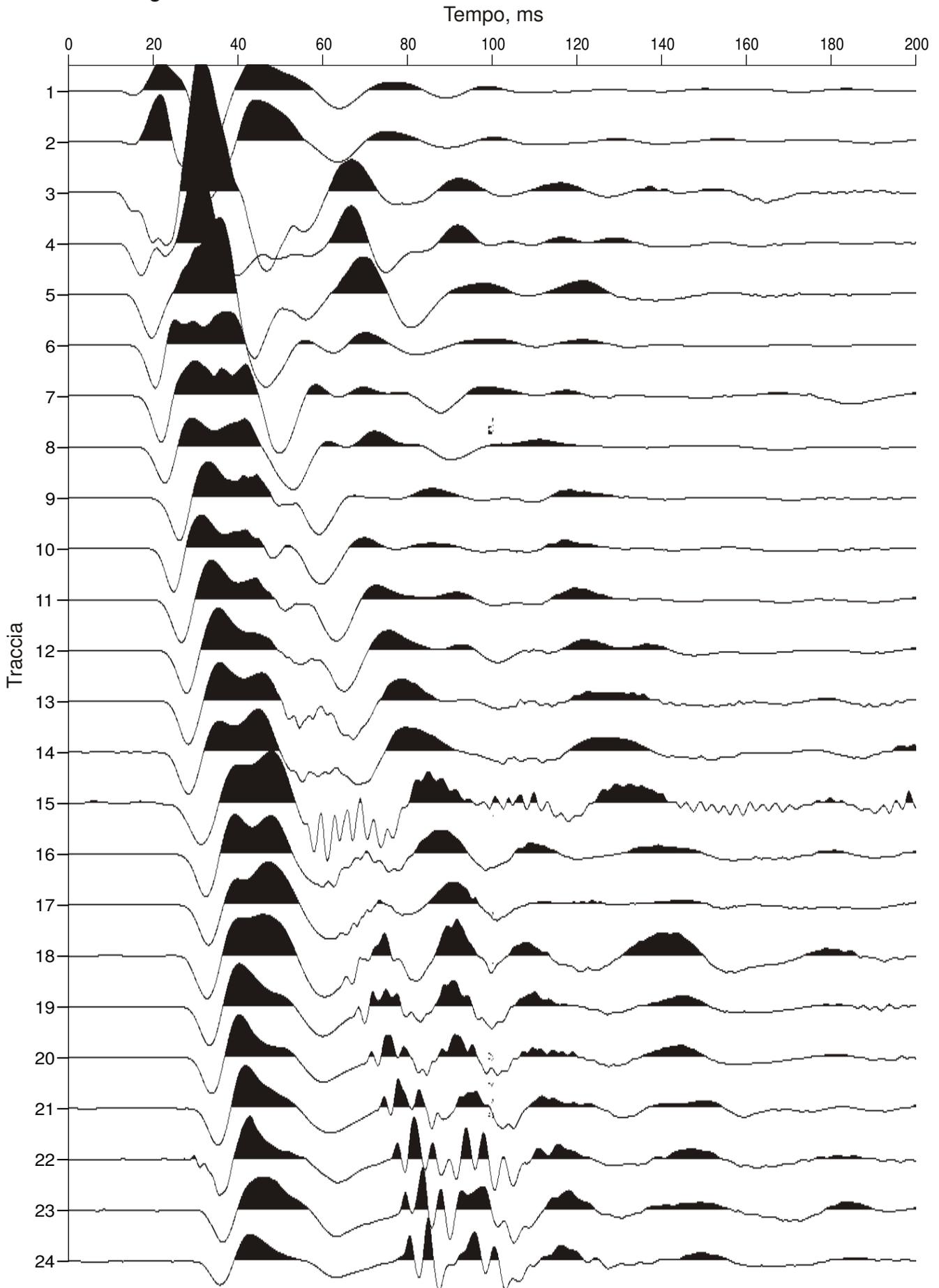
Tempo d'arrivo corretto, msec



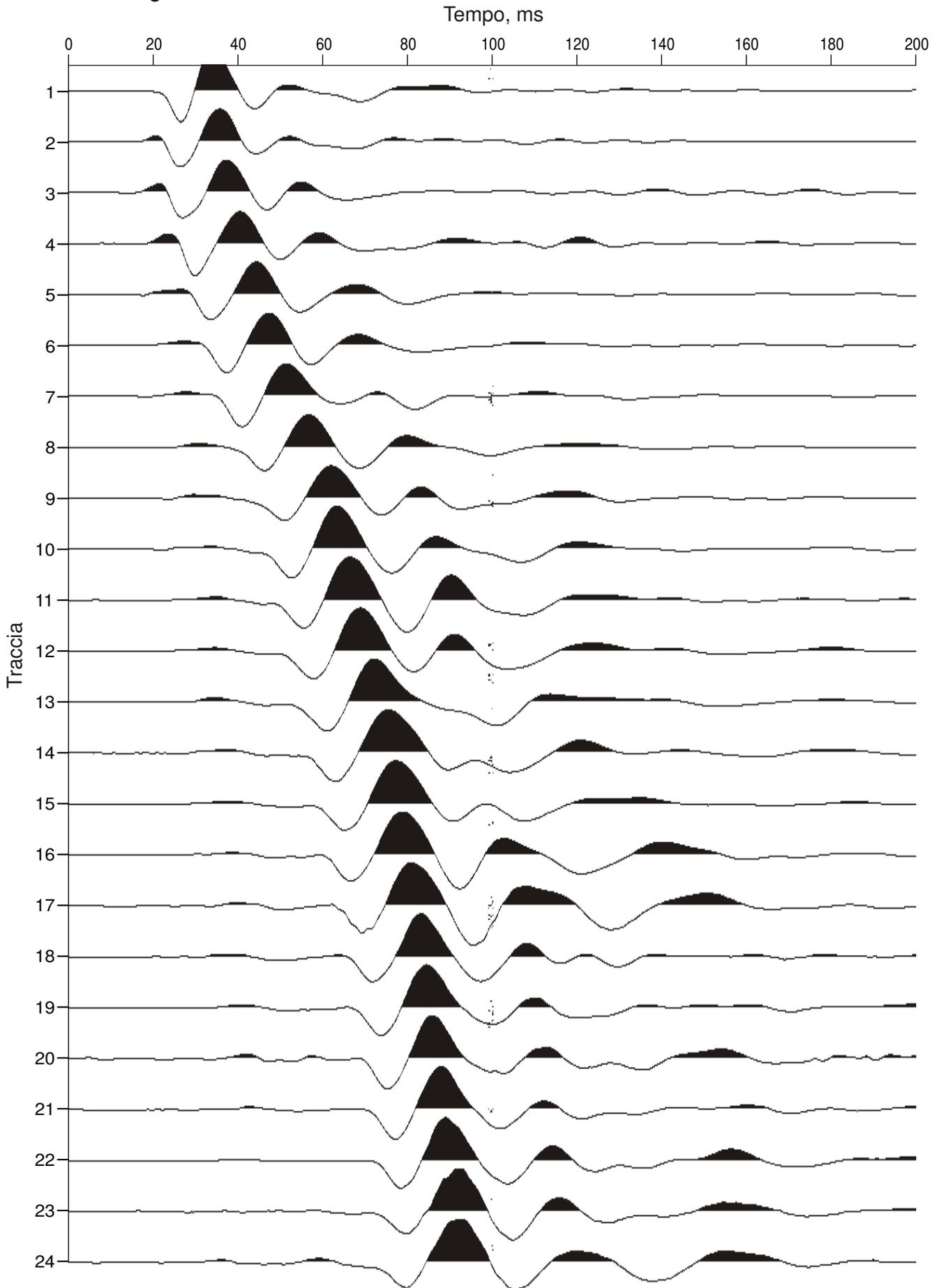
Velocità onde sismiche, m/sec.



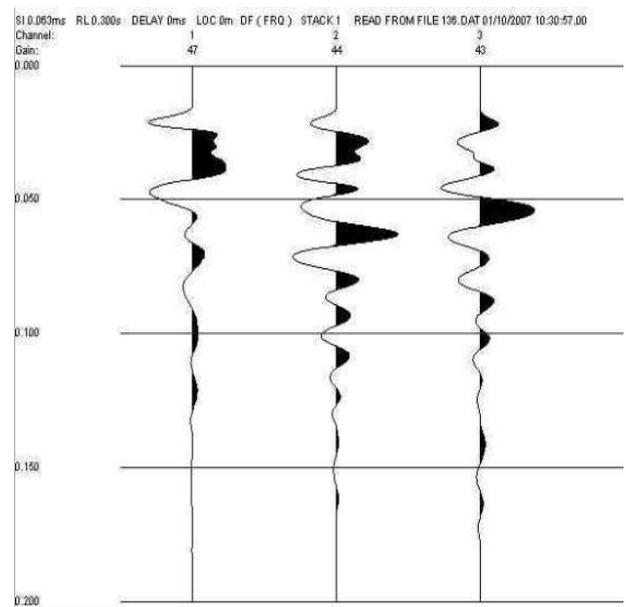
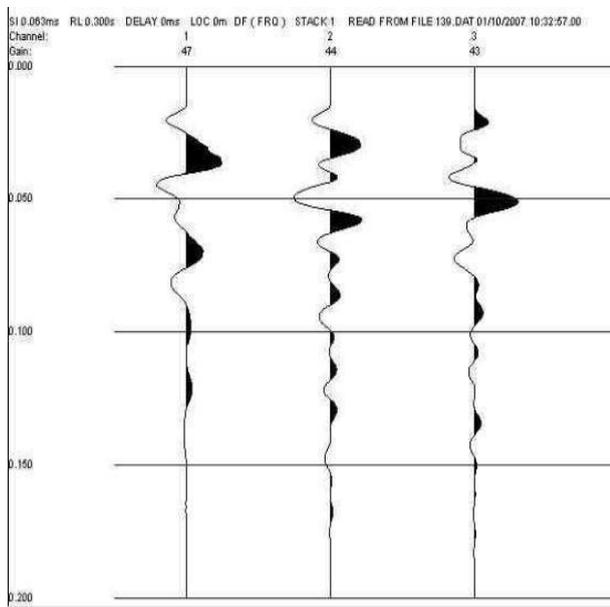
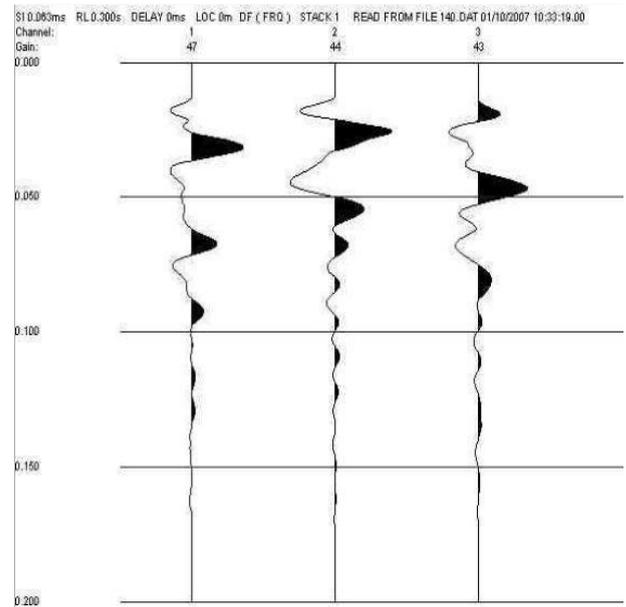
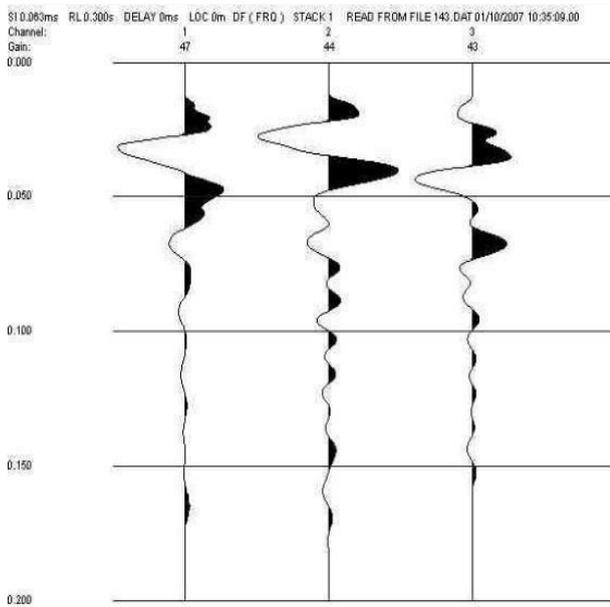
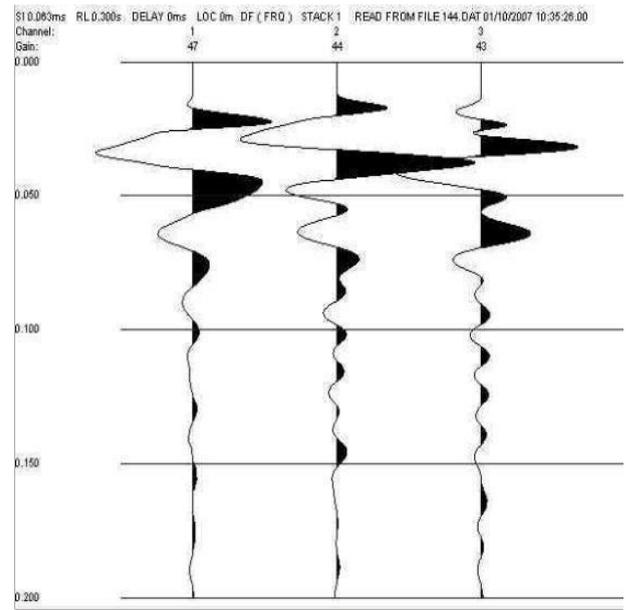
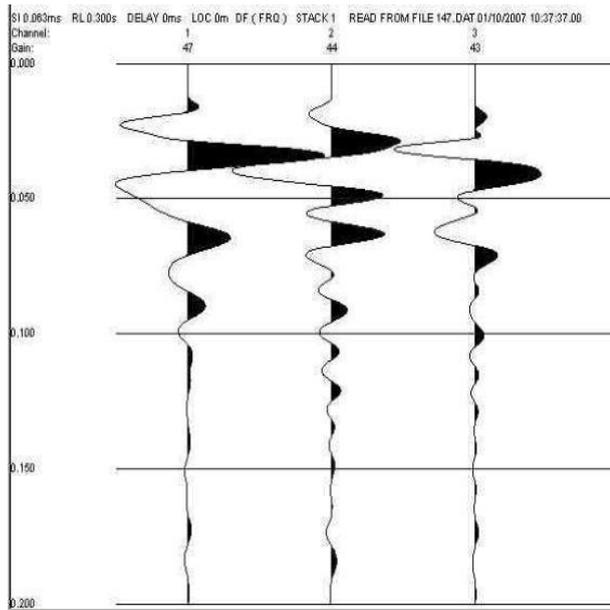
Sismogrammi onde P



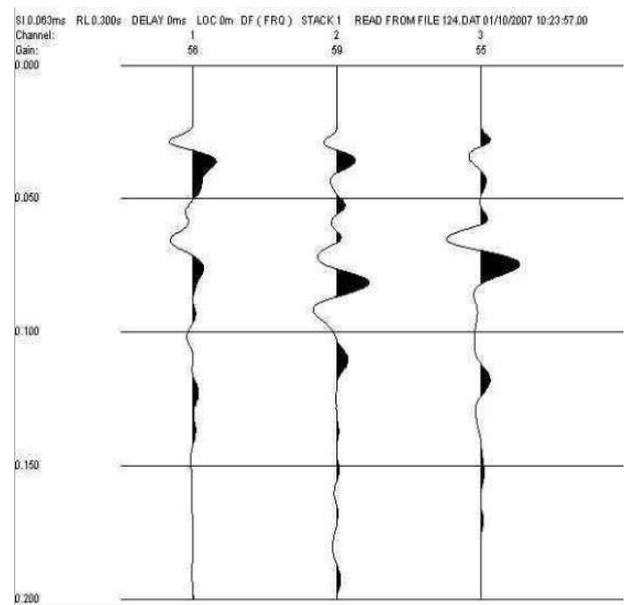
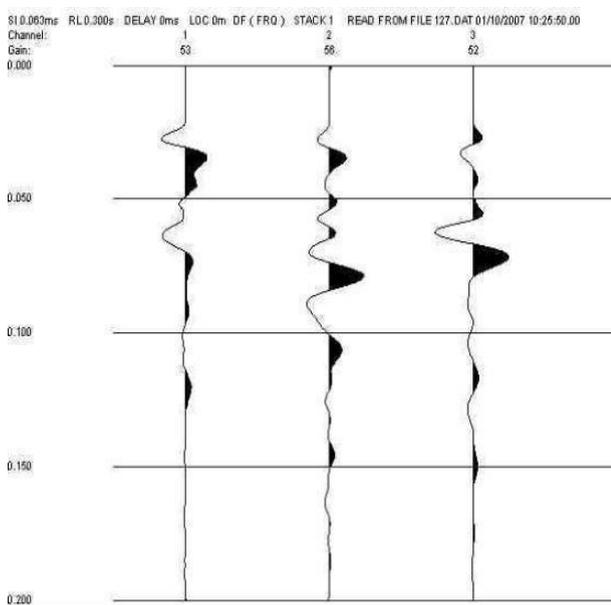
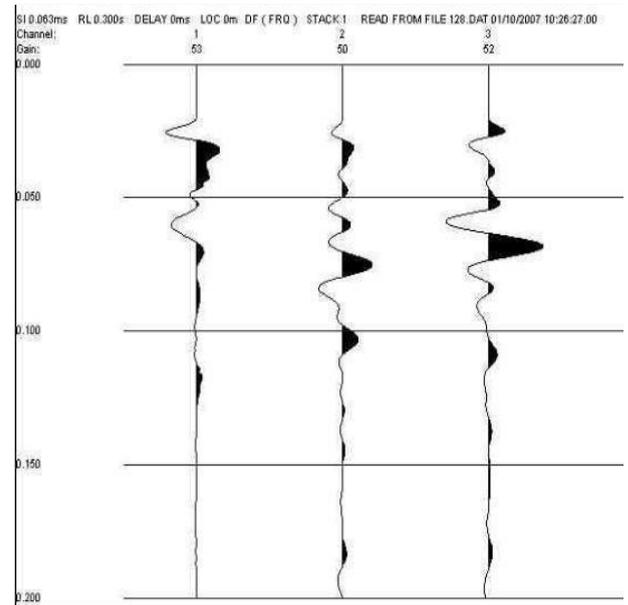
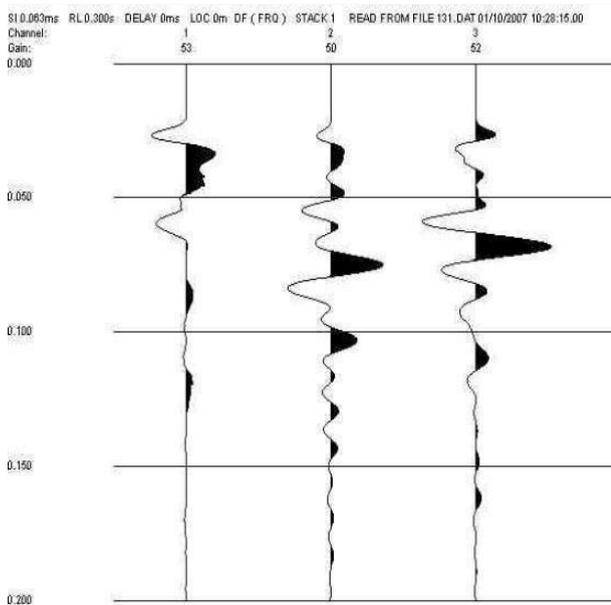
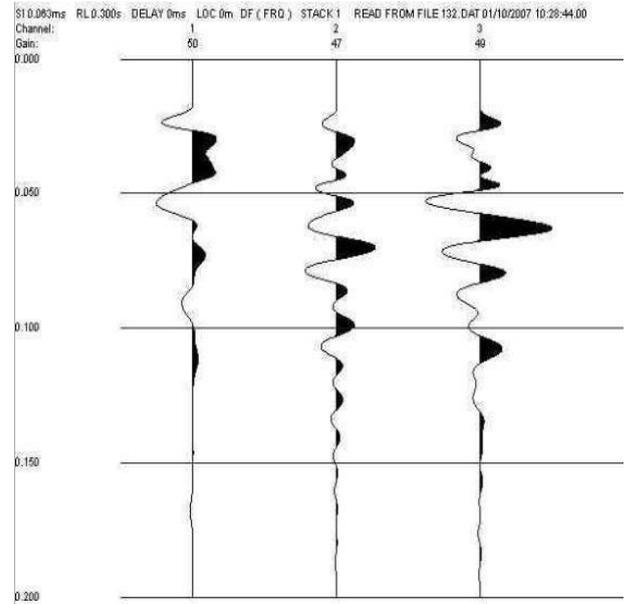
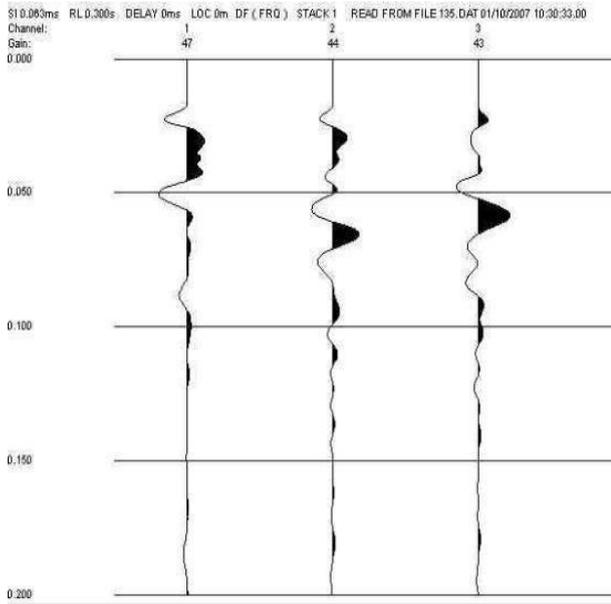
Sismogrammi onde SH



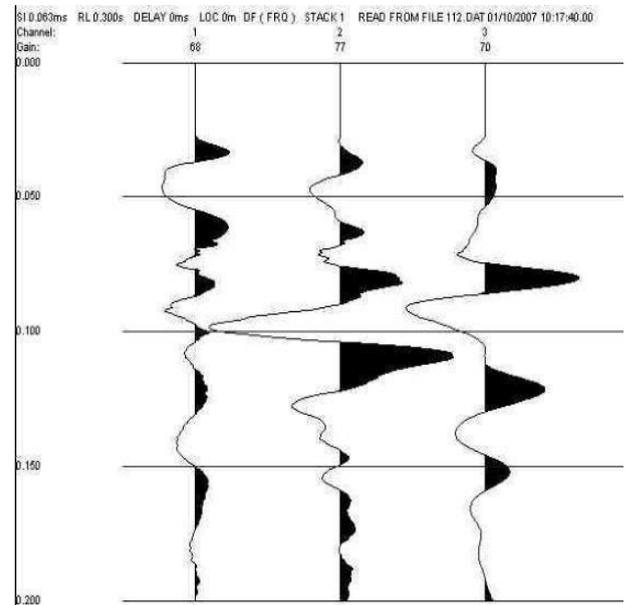
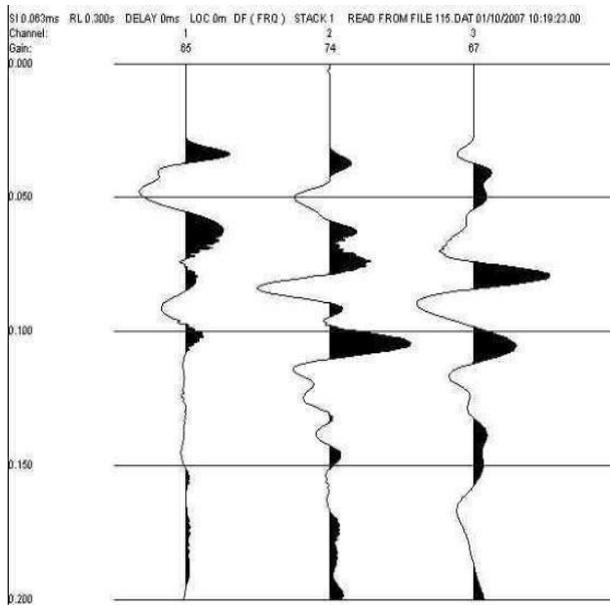
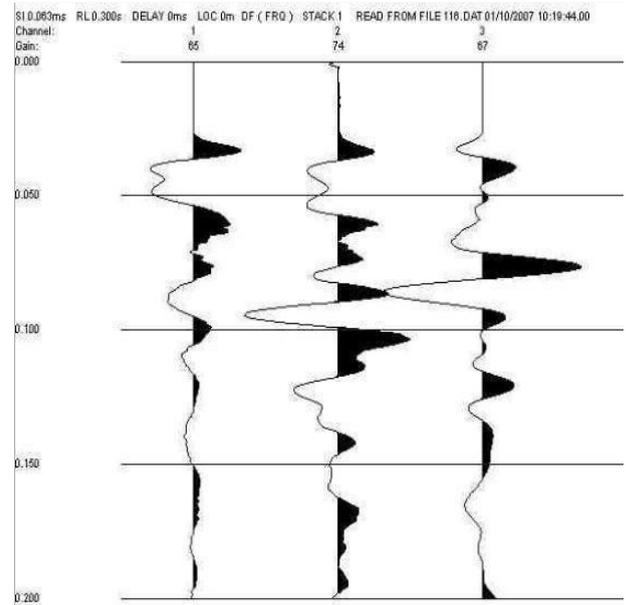
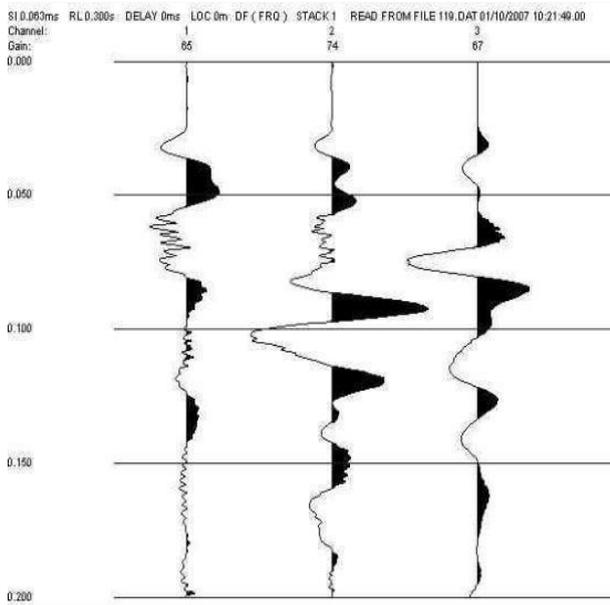
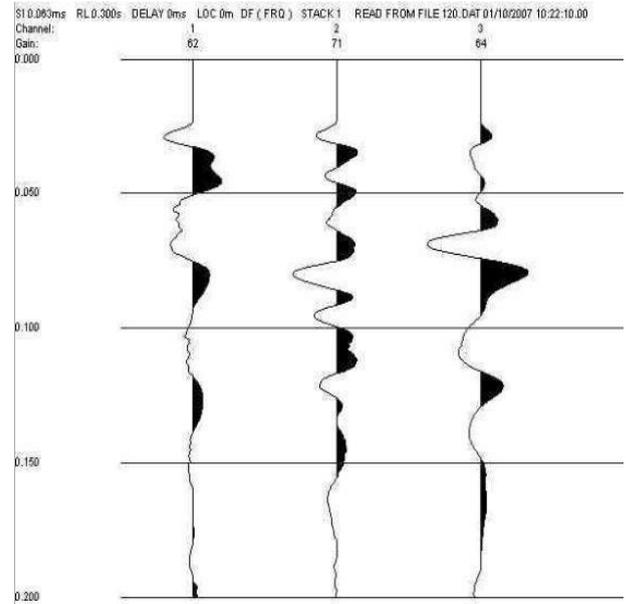
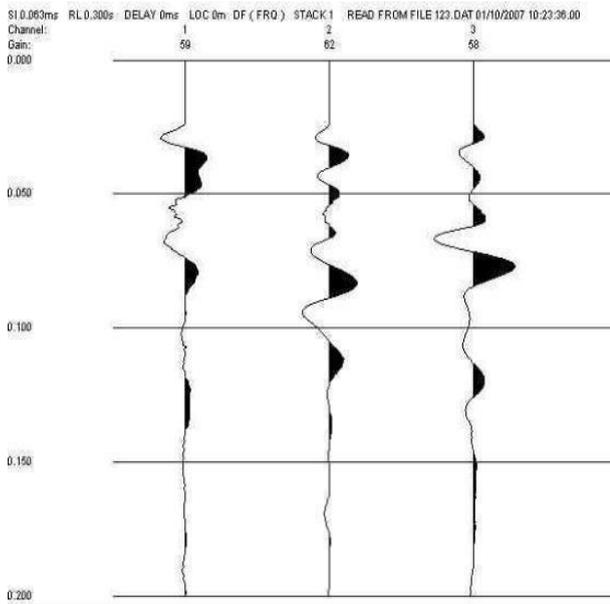
Registrazioni onde P



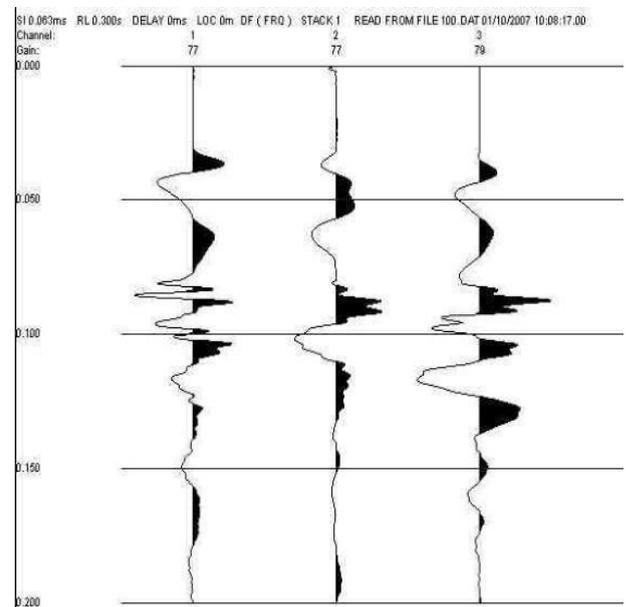
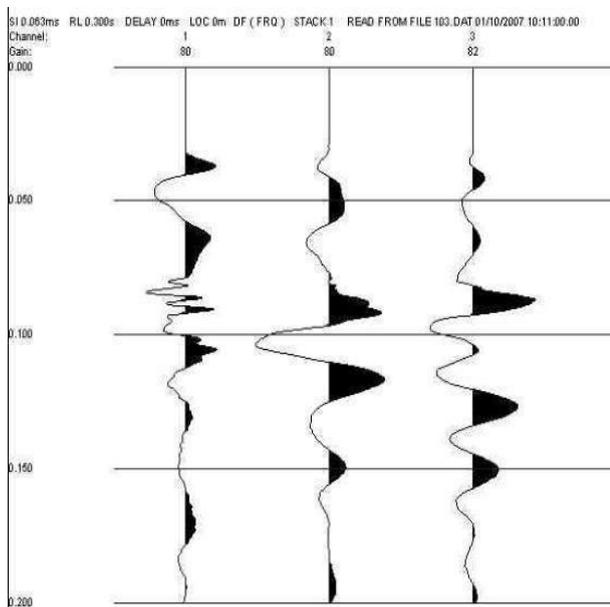
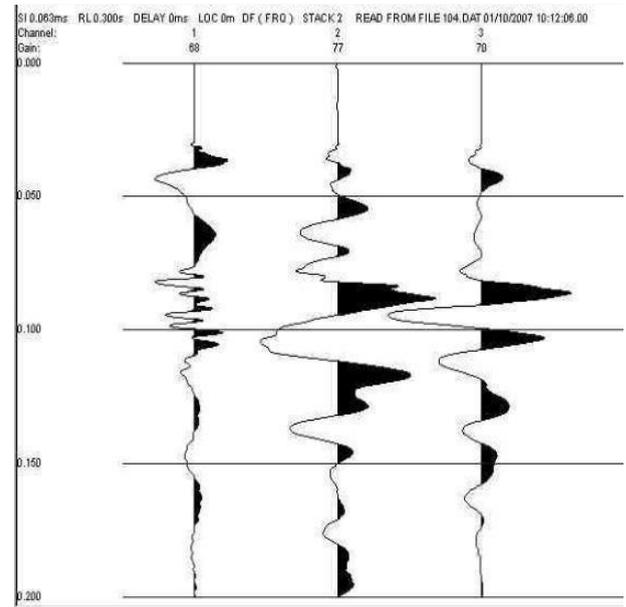
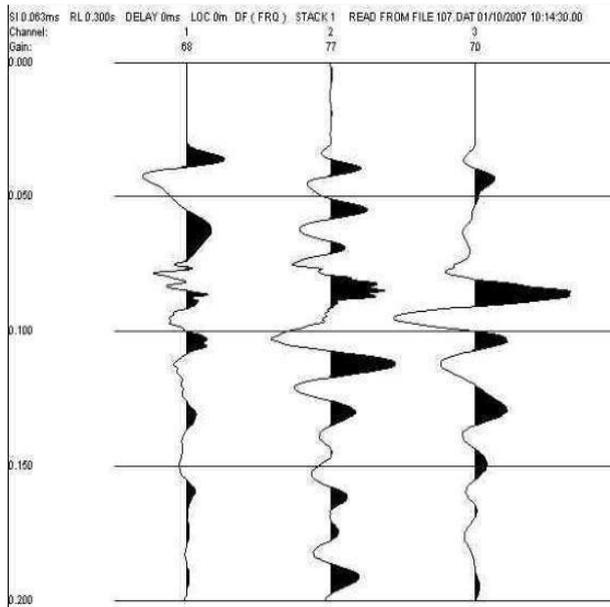
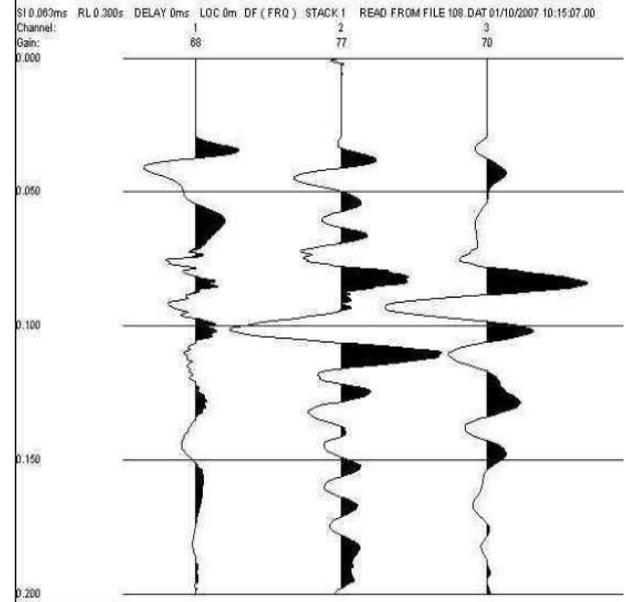
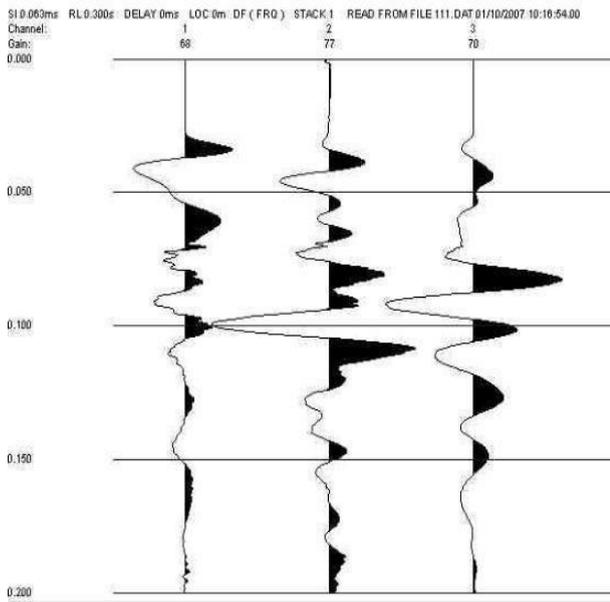
Registrazioni onde P



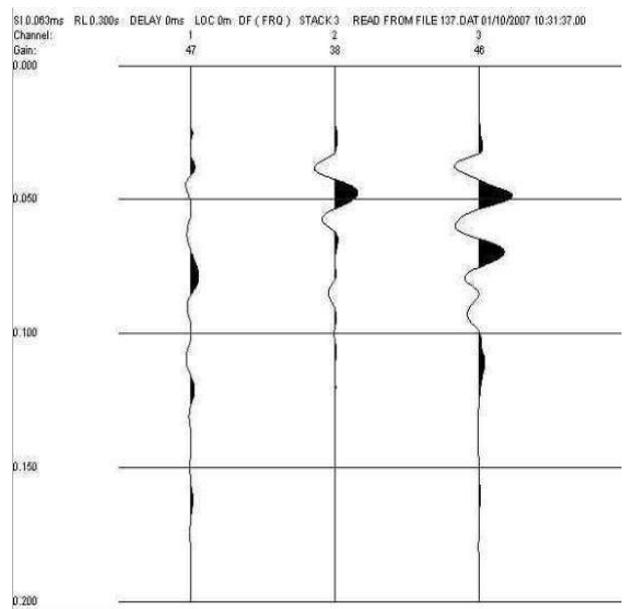
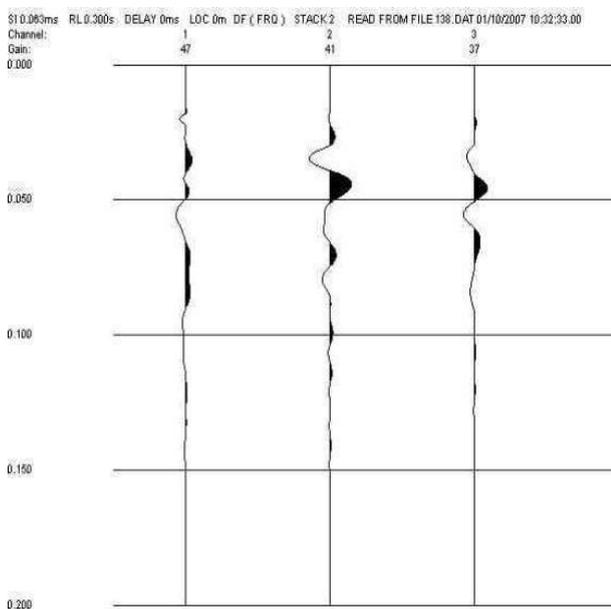
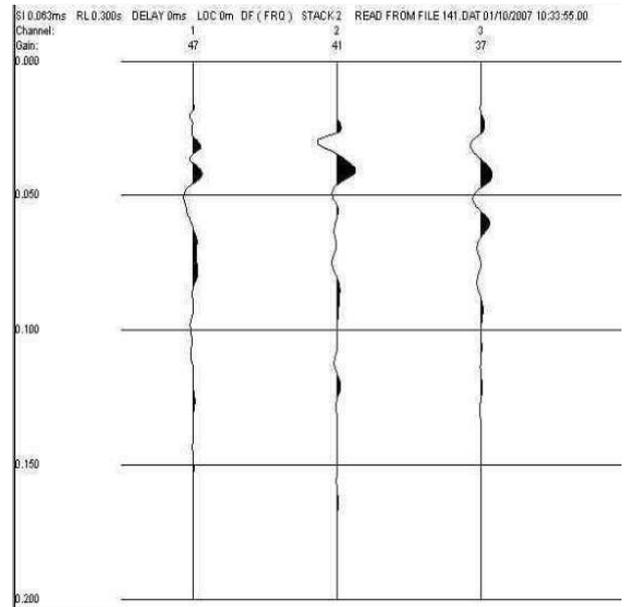
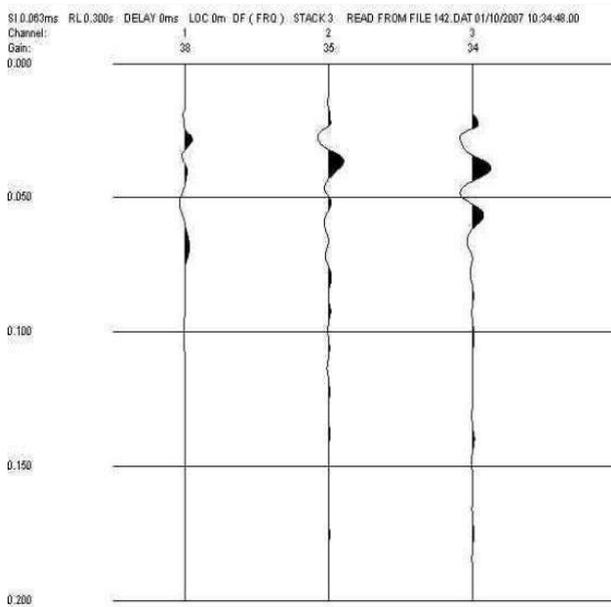
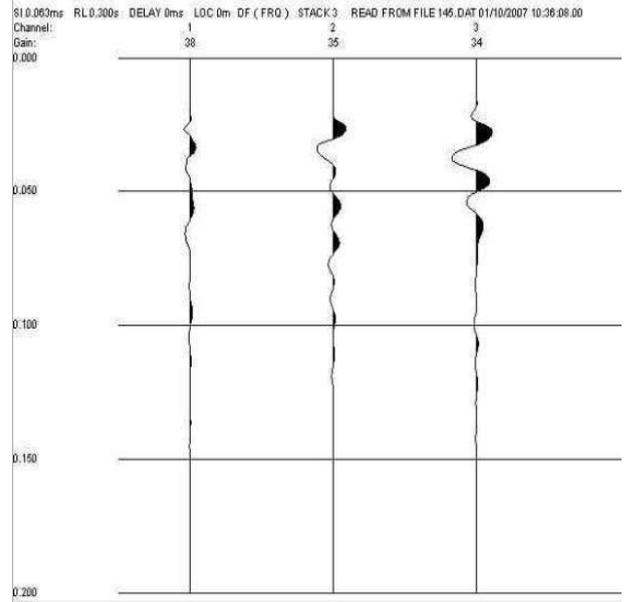
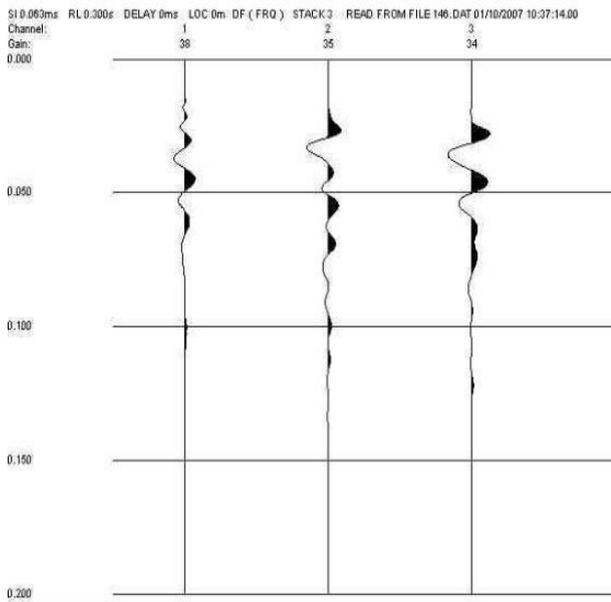
Registrazioni onde P



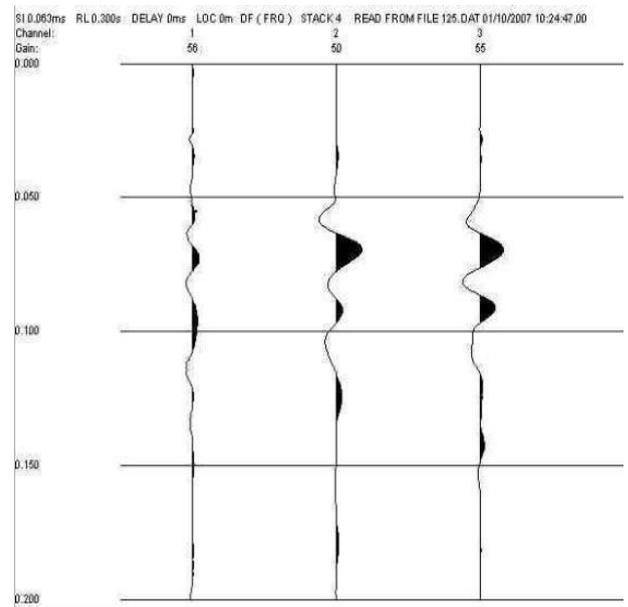
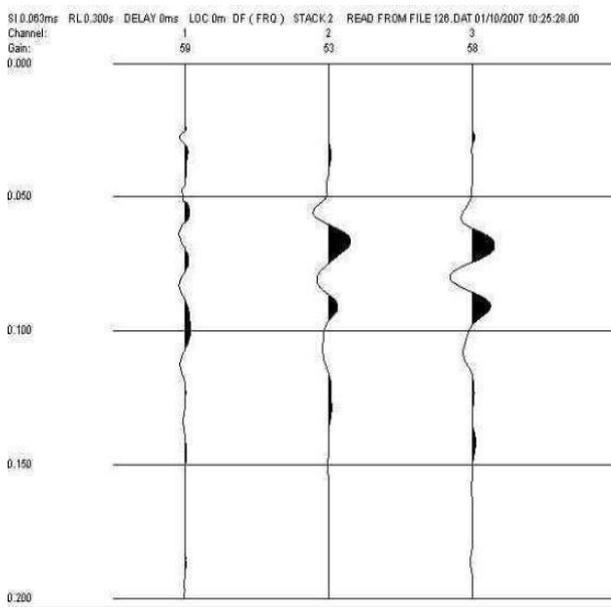
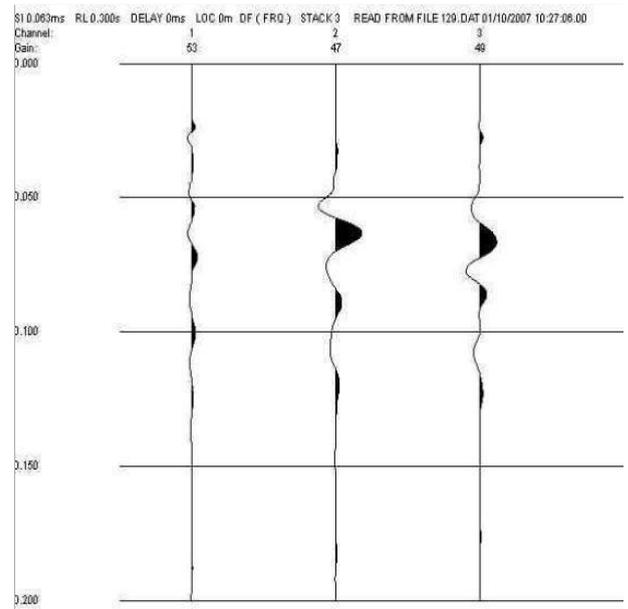
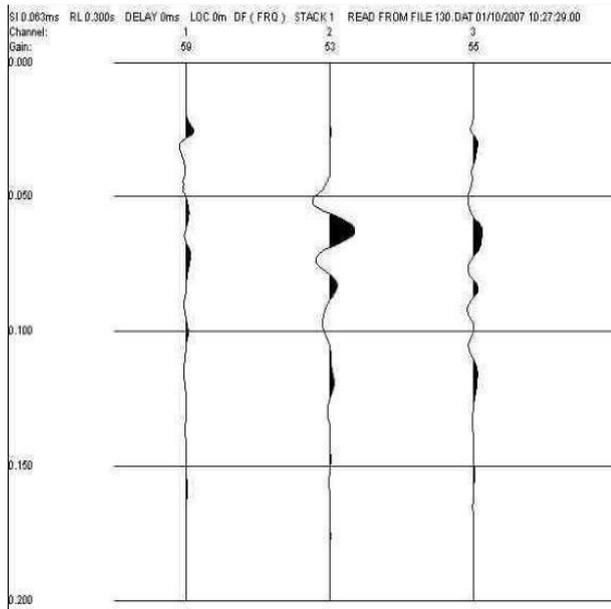
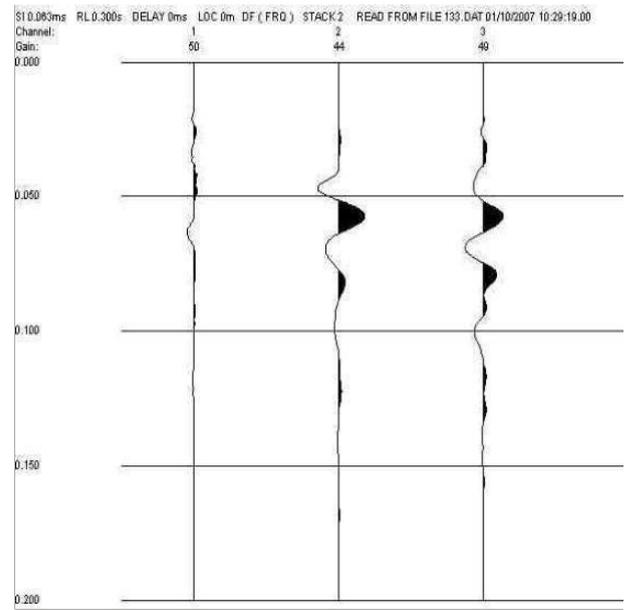
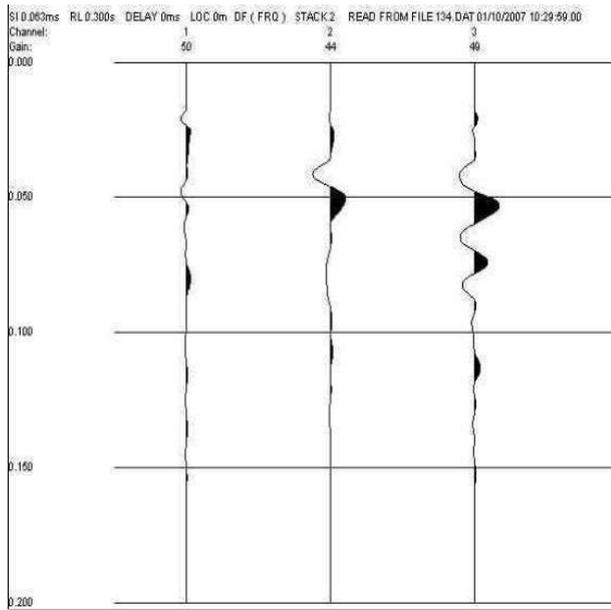
Registrazioni onde P



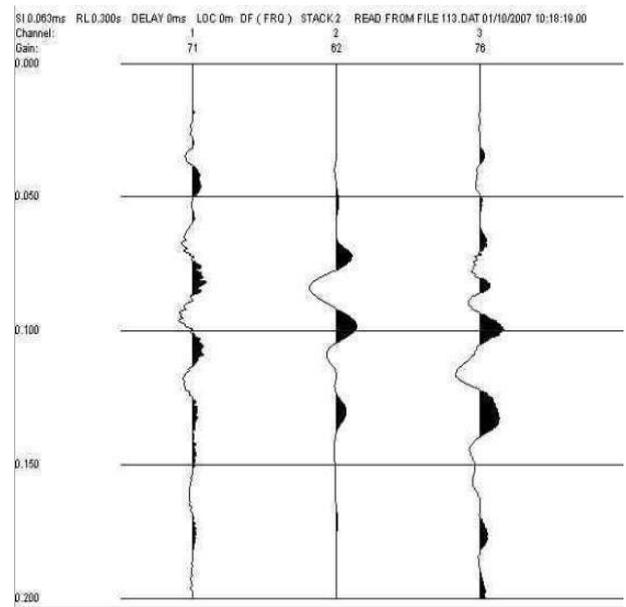
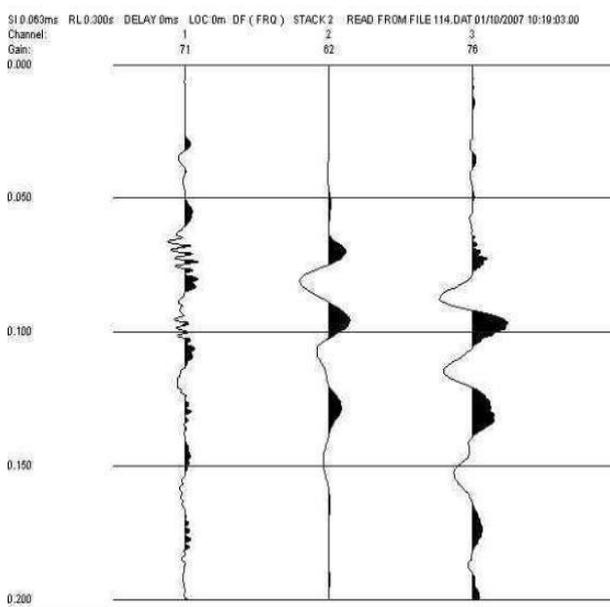
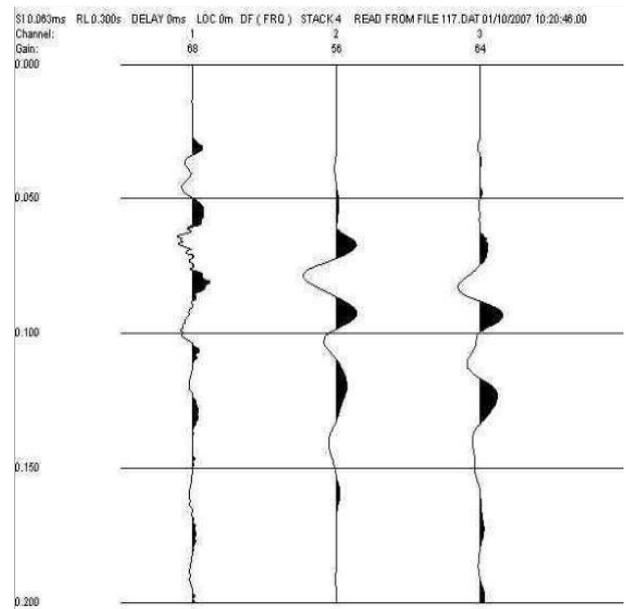
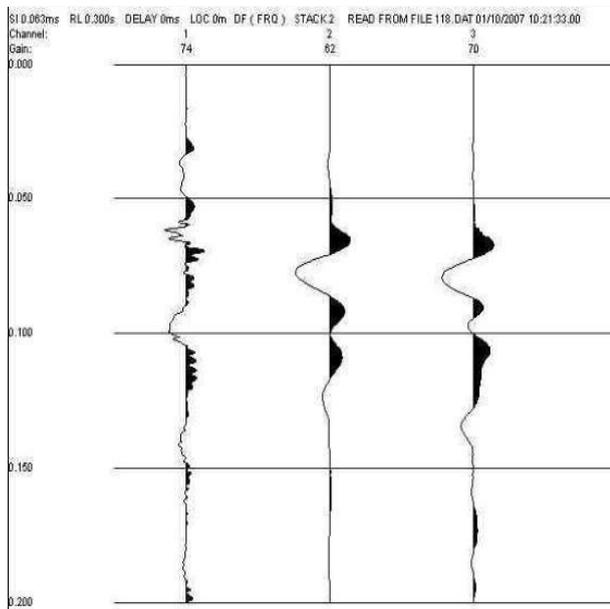
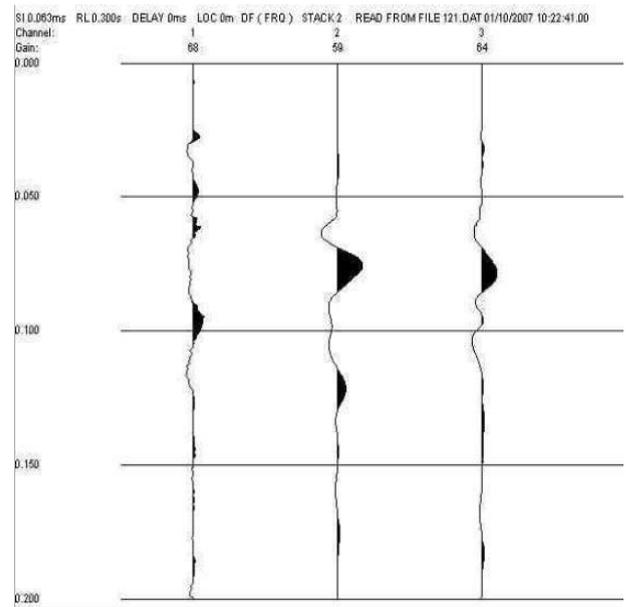
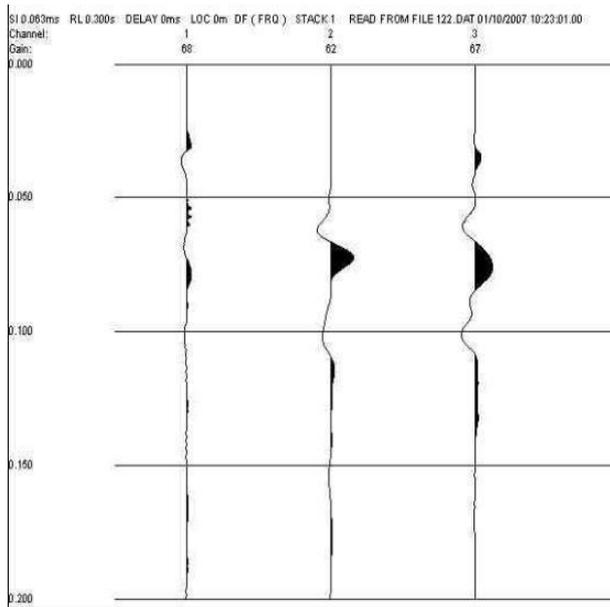
Registrazioni onde SH



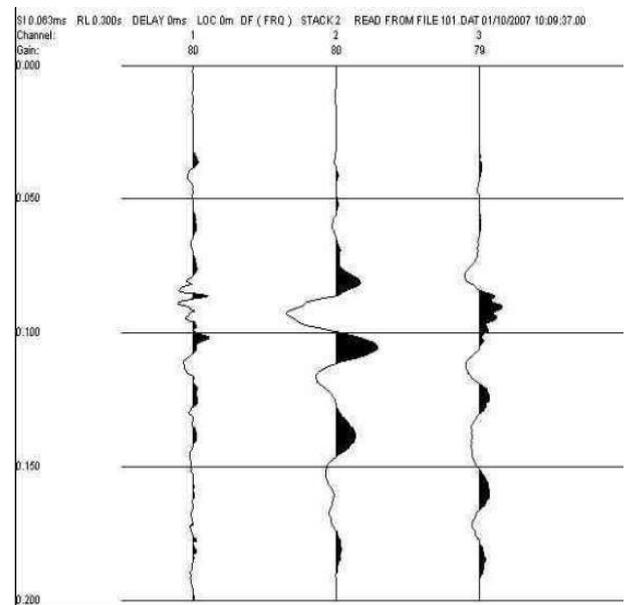
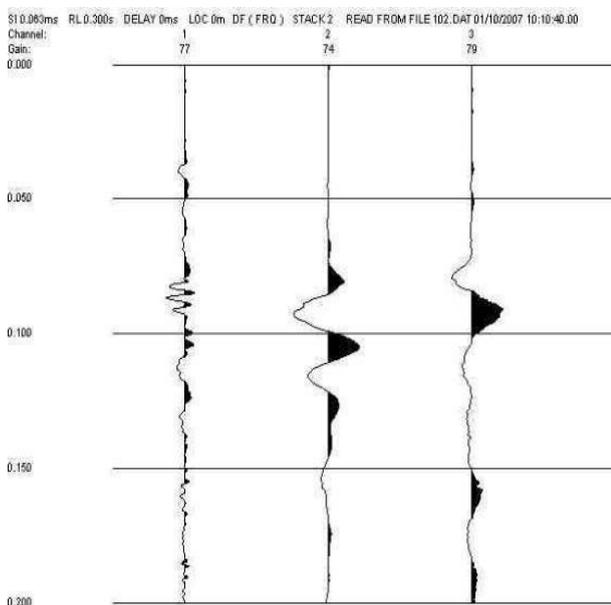
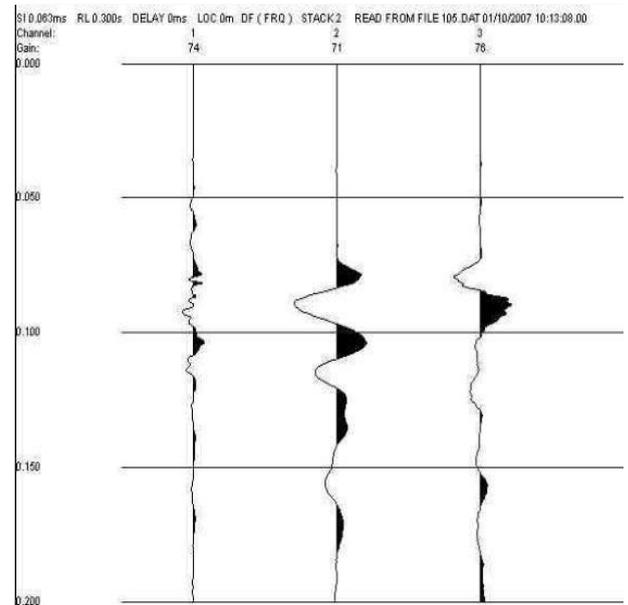
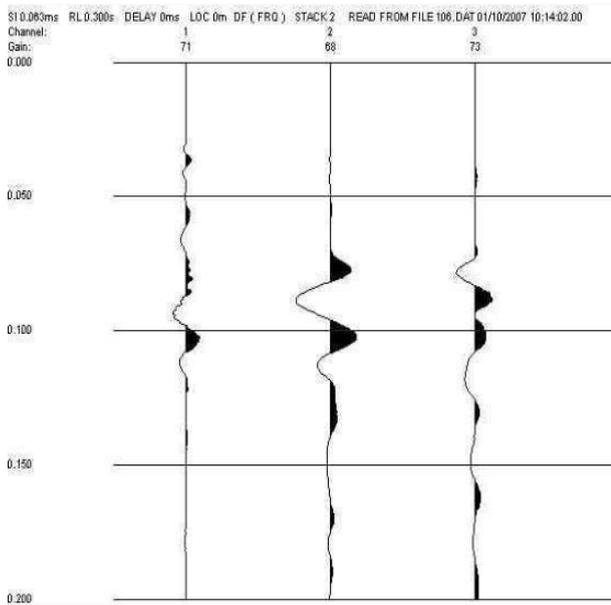
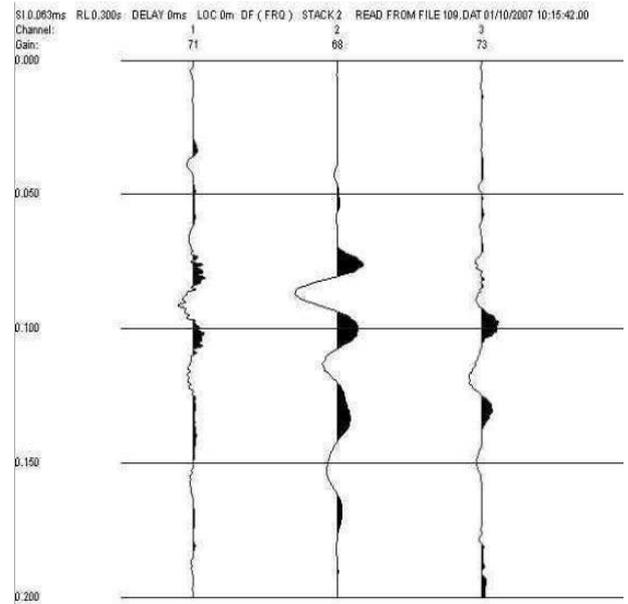
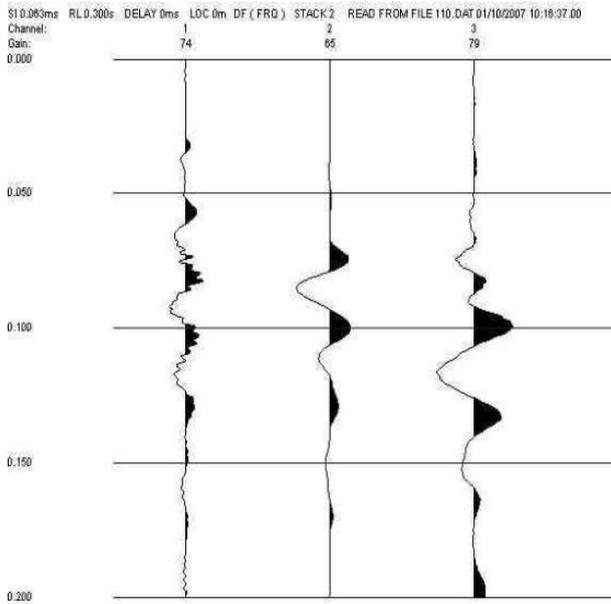
Registrazioni onde SH



Registrazioni onde SH



Registrazioni onde SH



ALLEGATO 3

Campagna di indagine 2016

DIGA DROVE DI CEPPARELLO (Comune di Poggibonsi-SI)
RAPPORTO DI CAMPAGNA INDAGINI GEOGNOSTICHE
FEBBRAIO-MARZO 2016

Le nuove indagini geognostiche sono state effettuate ad integrazione della campagna di indagini 2005-2006 nella quale la parametrizzazione geotecnica è risultata incompleta.

Allo scopo tra il 22 febbraio e il 17 marzo sono stati eseguiti 4 sondaggi a carotaggio continuo, tre sul coronamento e uno sulla bancata di valle, con prelievo di campioni indisturbati da analizzare in laboratorio geotecnico.

Per accedere al coronamento e alla bancata è stato necessario eseguire in data 18 febbraio una rampa di accesso, che ha collegato la strada di accesso al rilevato in sponda sinistra con il rilevato stesso, riempiendo il canale sfioratore con materiale sciolto poi rimosso al termine delle indagini.

SONDAGGIO S3-16

Un primo sondaggio geognostico a carotaggio continuo (S3-16) è stato spinto fino alla profondità di 36,5 m. Il foro è stato effettuato sul coronamento della diga a circa 2 m dal sondaggio S1-05, realizzato precedentemente, verso la sponda sinistra.

Nel corso dell'esecuzione del sondaggio sono stati estratti 8 campioni indisturbati, prelevati mediante campionatore a pressione tipo Shelby, e 2 campioni disturbati estratti con carotiere.

Nel sondaggio sono state inoltre eseguite prove penetrometriche SPT e prove Lefranc. Il foro è stato rivestito fino alla profondità di 30 m dal coronamento diga; da 27 m di profondità è stato utilizzato il carotiere doppio.

Al termine della perforazione il foro di sondaggio è stato poi attrezzato con due piezometri Casagrande a doppio tubo, con profondità di messa in posa dei filtri a 27,3 m e 18,1 m; (vedi schema). Con il filtro a 27,3 m si è inteso misurare la piezometrica al contatto tra substrato e fondo diga; con il filtro a 18,1 m è stato drenato il solo corpo diga.



Sondaggio S3-16



Pozzetto piezometri di S3-16

Ubicazione sondaggio:





2003

Data di acquisizione delle immagini: 8/27/2015 43°29'22.61"N 11°11'26.42"E elev. 187 m alt. 294 m

Campionamenti e prove penetrometriche in foro:

profondità (m) da coronamento	Tipologia di campione	N° colpi SPT a punta chiusa	Prova Lefranc
tra 1,50 m e 1,80 m	indisturbato	-	-
tra 3,0 m e 3,50 m	Fallito a causa di trovante	-	-
tra 4,20 m e 4,70 m	indisturbato	-	-
tra 5,40 m e 5,95 m	indisturbato	-	Da 5,5 m a 6,00 m
tra 7,15 m e 7,65 m	indisturbato	-	-
tra 9,00 m e 9,50 m	indisturbato	-	-
9,50 m	-	4-6-7	-
tra 10,70 m e 11,20 m	indisturbato	-	Da 10,5 m a 11,5 m Non si riesce a saturare
tra 12,50 m e 13,00 m	indisturbato	-	-
13,00 m	-	5-9-15	-
tra 14,50 m e 14,80 m	indisturbato	-	Da 14,5 m a 14,8 m
15,90	Fallito causa trovante	9-11-8	-
tra 18,00 m e 18,50 m	Non tentato causa trovanti	-	Da 17,80 m a 18,50 m
19,30	Fallito causa trovante	17-14-22	-
21,50 m	Non tentato causa trovanti	-	Da 21,00 m a 21,60 m
22,50	Fallito causa trovante	10-12-16	-

SPT Le misure vengono effettuate per tre avanzamenti consecutivi di 15 cm ciascuno, contando il numero di colpi necessari (N_{spt}) per ogni avanzamento. La *resistenza alla penetrazione* del terreno è caratterizzata dalla somma del numero di colpi per il secondo e terzo avanzamento, cioè $N=N_2+N_3$. La prova va a rifiuto se il numero di colpi del primo avanzamento (N_1) è maggiore di 50 prima dei 15 cm o se N_2+N_3 è maggiore di 100 colpi prima dei 30 cm di avanzamento.

La stratigrafia del carotaggio effettuato nel paramento risulta essere in linea con le precedenti indagini, con prevalenza di limi argillosi e argille limose e diffusi clasti di ghiaia fine presenti lungo gran parte del sondaggio.

I numerosi trovanti presenti nel corpo diga hanno talvolta impedito al campionatore Shelby di prelevare il campione indisturbato per il piegamento della fustella.

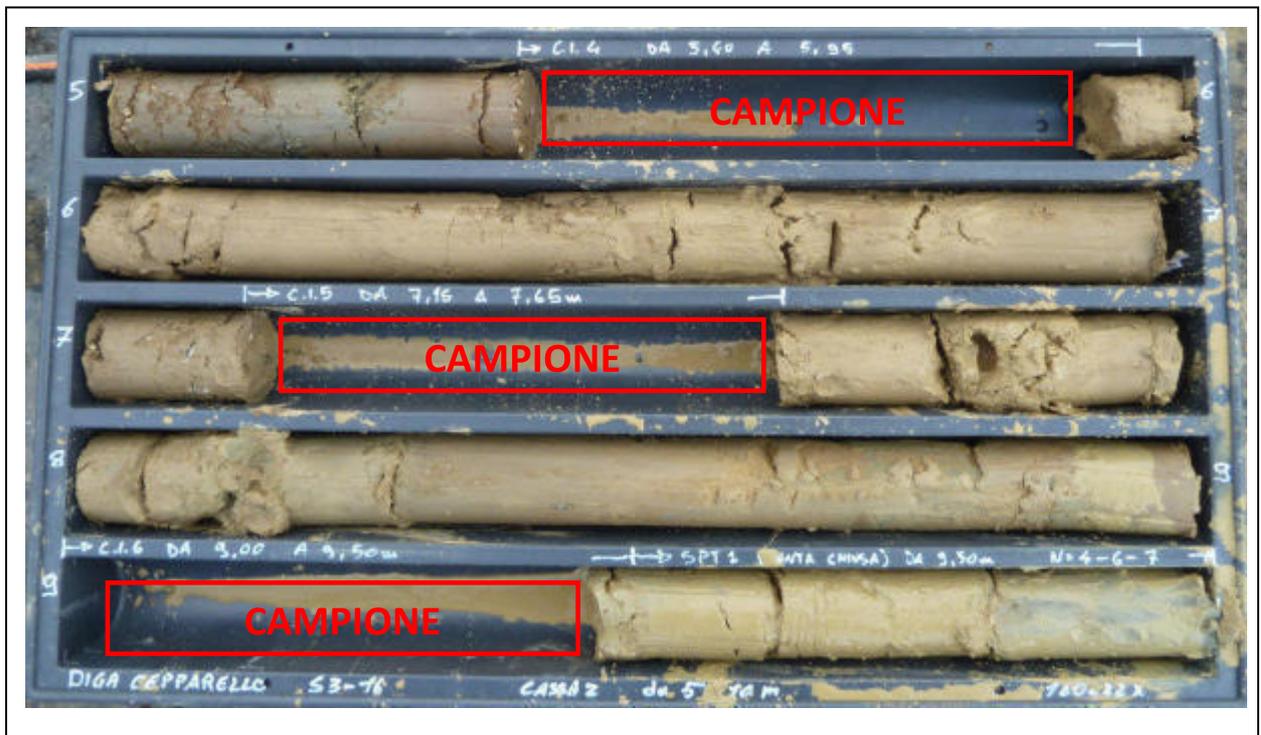


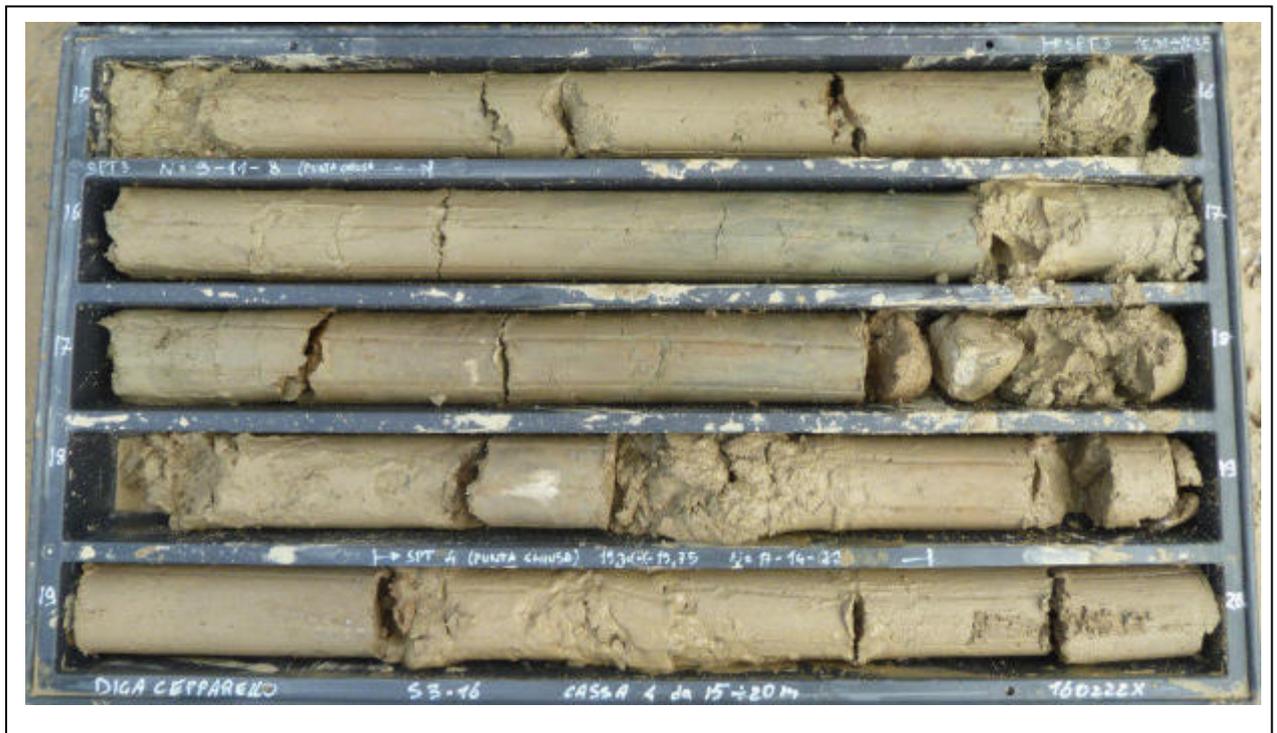
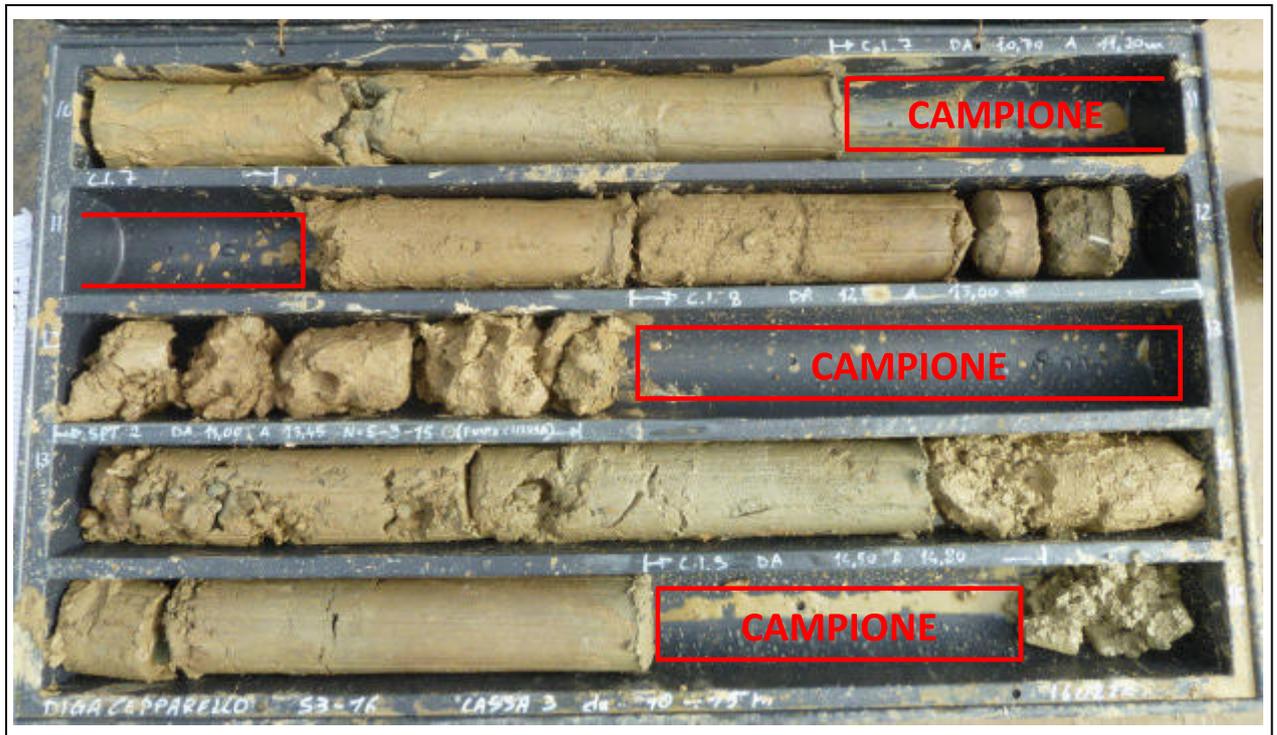
Alla profondità di 26,50 m si ritiene che inizi il basamento con la presenza di siltiti scure alternate a Pietraforte. La struttura delle siltiti si presenta con innumerevoli piani di taglio che suddividono il litotipo in scaglie lenticolari; la Pietraforte si presenta in alcuni tratti massiva in altri fratturata, con probabile stratificazione subverticale che crea difficoltà all'avanzamento del carotiere.

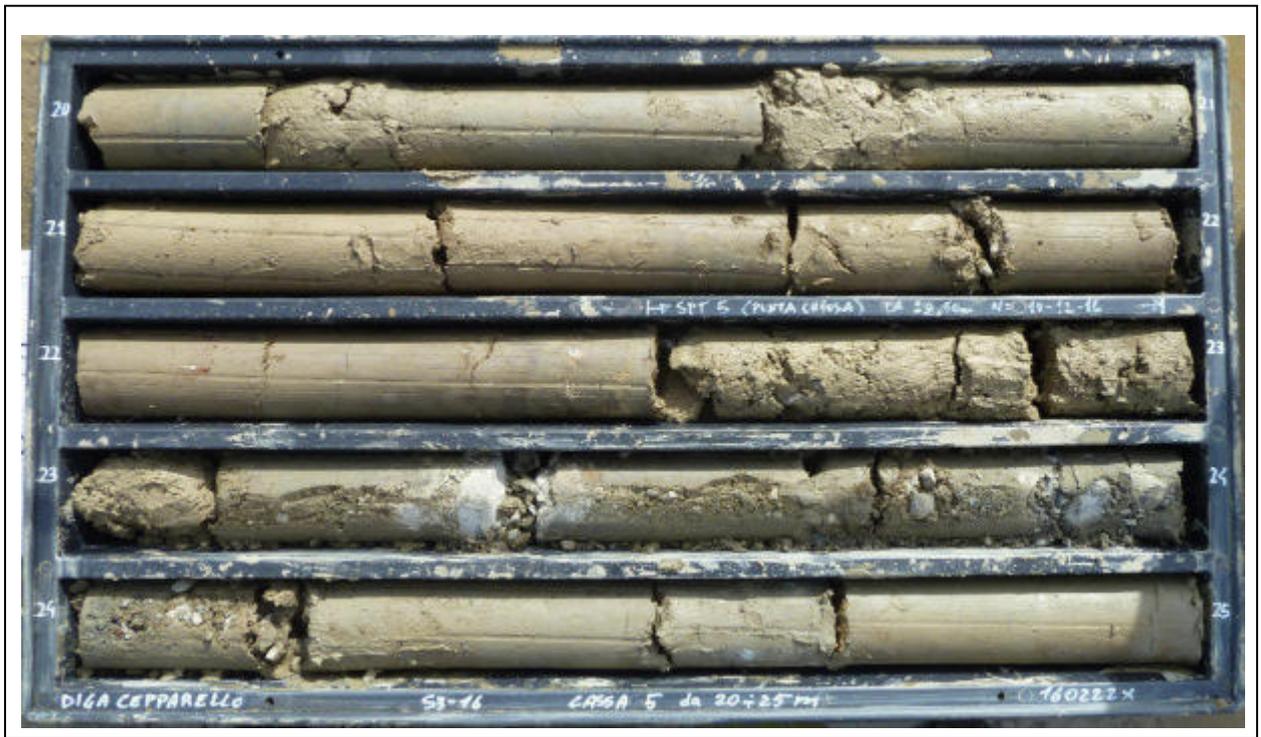
I valori ottenuti con penetrometro tascabile (pocket penetrometer) nei livelli coesivi delle carote non sono stati ritenuti attendibili a causa della presenza diffusa e continua di ghiaietto.



Carote:

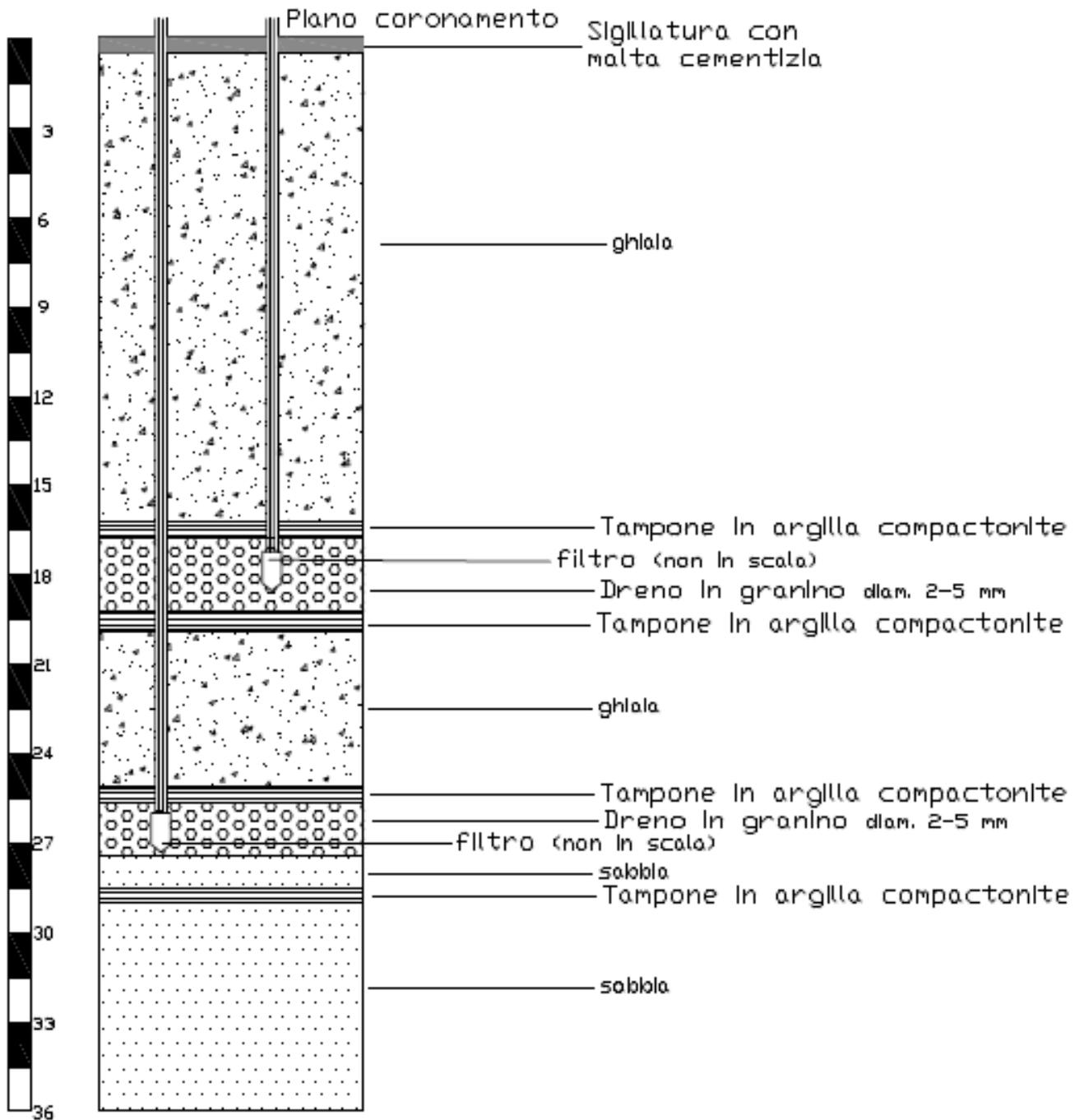








Schema realizzativo piezometri Casagrande sondaggio S3-16



SONDAGGIO S4-16

Un secondo sondaggio geognostico a carotaggio continuo (S4-16) è stato spinto fino alla profondità di 25,7 m. Il foro è stato effettuato sul coronamento della diga a circa 1 m verso valle della direttrice che unisce i due sondaggi effettuati nel 2006: S1-06 e S2-06; posizionandosi a 0,8 m dal sondaggio S1-06 verso la sponda destra e a 1,5 m dal sondaggio S2-06 verso la sponda sinistra.

Nel corso dell'esecuzione del sondaggio sono stati estratti 10 campioni indisturbati, prelevati mediante campionatore a pressione tipo Shelby.

Nel sondaggio sono state inoltre eseguite prove penetrometriche SPT e prove Lefranc. Il foro è stato rivestito fino alla profondità di 25,5 m dal coronamento diga; da 22,3 m di profondità fino a fondo foro è stato utilizzato il carotiere doppio.

Al termine della perforazione il foro di sondaggio è stato poi attrezzato con due piezometri Casagrande a doppio tubo, con profondità di messa in posa dei filtri a 23,7 m e 19,6 m; (vedi schema). Con il dreno tra 22,65 e 24 m si è inteso misurare la piezometrica del solo substrato; con il filtro a 19,6 m è stato drenato il solo corpo diga.



Sondaggio S4-16



Pozzetto piezometri di S4-16

Ubicazione sondaggio:



Campionamenti e prove penetrometriche in foro:

profondità (m) da coronamento	Tipologia di campione	N° colpi SPT a punta chiusa	Prova Lefranc
tra 1,50 m e 1,80 m	indisturbato	-	-
tra 3,0 m e 3,30 m	indisturbato	-	-
tra 4,10 m e 4,65 m	indisturbato	-	-
tra 6,00 m e 6,50 m	indisturbato	-	Da 6,0 m a 6,60 m
tra 7,60 m e 8,10 m	indisturbato	-	-
tra 9,00 m e 9,50 m	indisturbato	-	-
9,50 m	-	4-8-9	-
11,00 m	Fallito a causa di trovante	-	Da 10,5 m a 11,0 m
tra 11,85 m e 12,25 m	indisturbato	-	-
12,70 m	-	4-12-13	-
tra 14,60 m e 15,00 m	indisturbato	-	Da 14,5 m a 15,0 m
tra 16,00 m e 16,50 m	indisturbato	-	-
17,50 m	Fallito causa trovante	14-33-21	Da 17,5 m a 18,0 m
19,50 m	Non tentato causa trovanti	11-7-9	-
tra 20,60 m e 20,75 m	indisturbato	-	Da 20,55 m a 21,10 m

SPT Le misure vengono effettuate per tre avanzamenti consecutivi di 15 cm ciascuno, contando il numero di colpi necessari (N_{spt}) per ogni avanzamento. La *resistenza alla penetrazione* del terreno è caratterizzata dalla somma del numero di colpi per il secondo e terzo avanzamento, cioè $N=N_2+N_3$. La prova va a rifiuto se il numero di colpi del primo avanzamento (N_1) è maggiore di 50 prima dei 15 cm o se N_2+N_3 è maggiore di 100 colpi prima dei 30 cm di avanzamento.

La stratigrafia del carotaggio effettuato nel paramento non presenta anomalie con le precedenti indagini, con prevalenza di limi argillosi e argille limose e diffusi clasti di ghiaia fine presenti lungo gran parte del sondaggio.

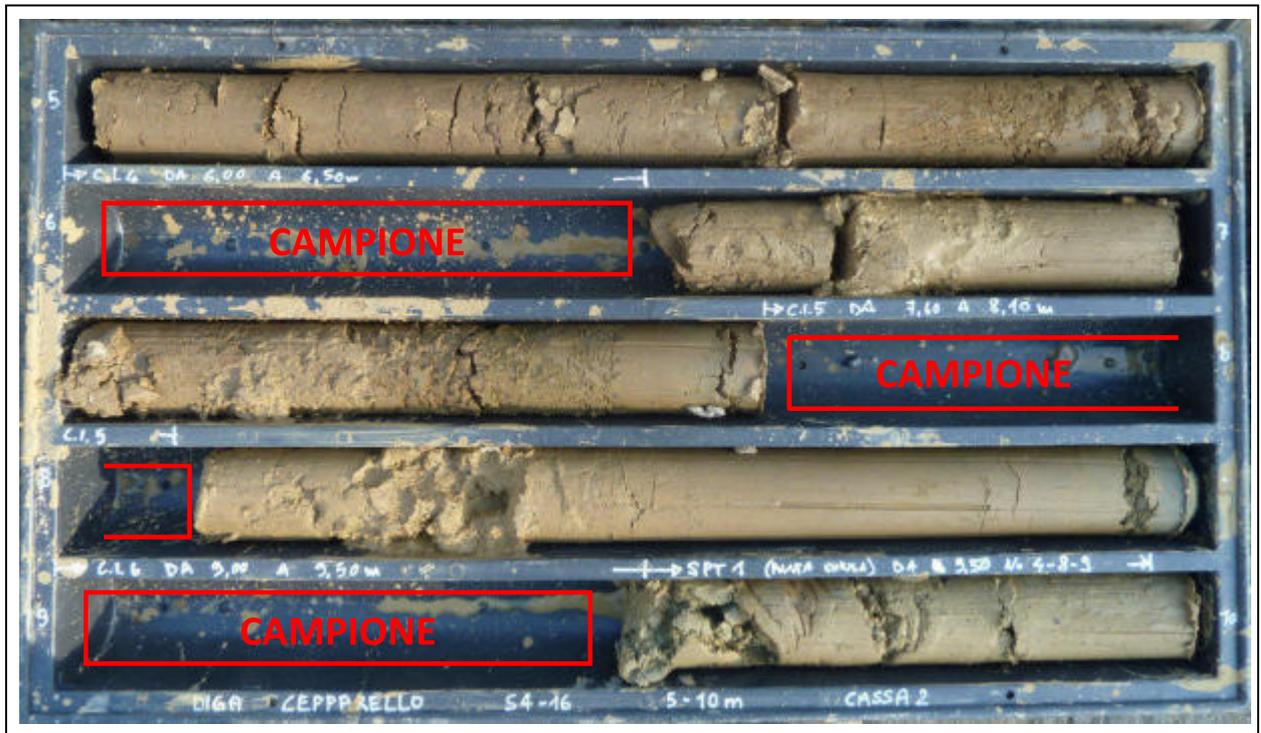
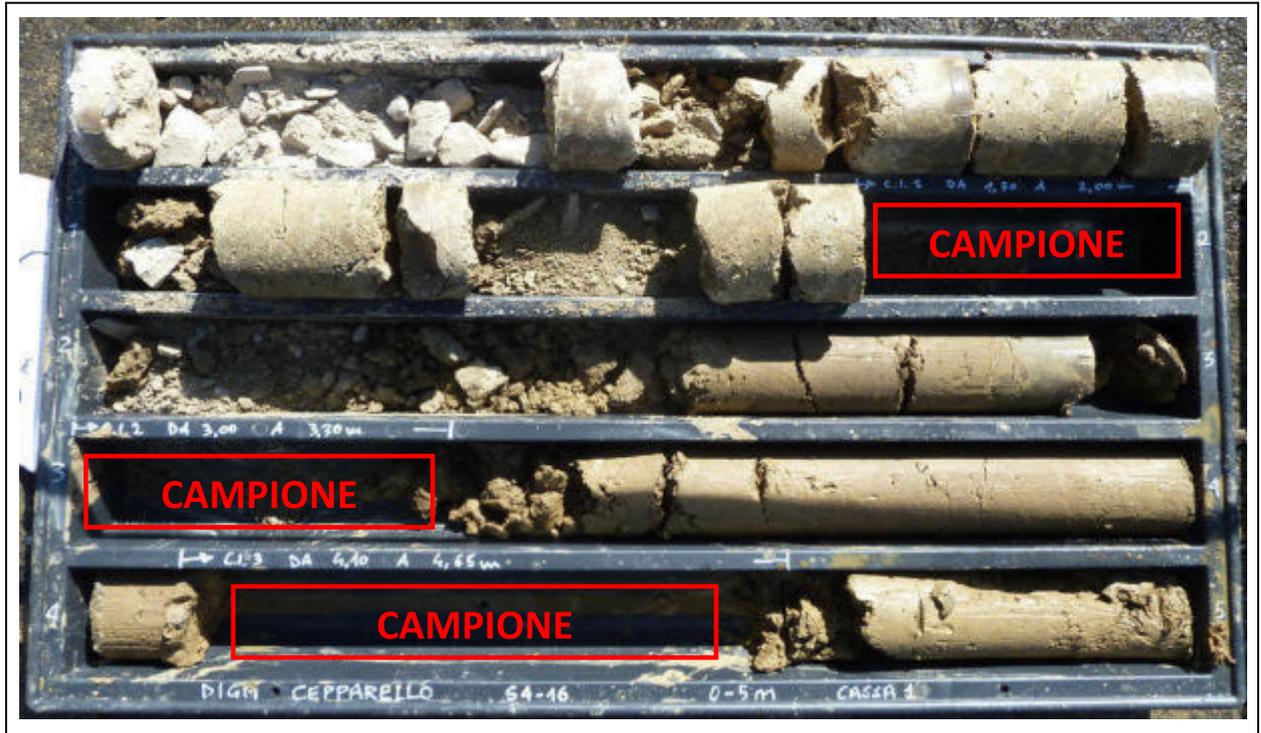
I numerosi trovanti presenti nel corpo diga hanno talvolta impedito al campionatore Shelby di prelevare il campione indisturbato per il piegamento della fustella.



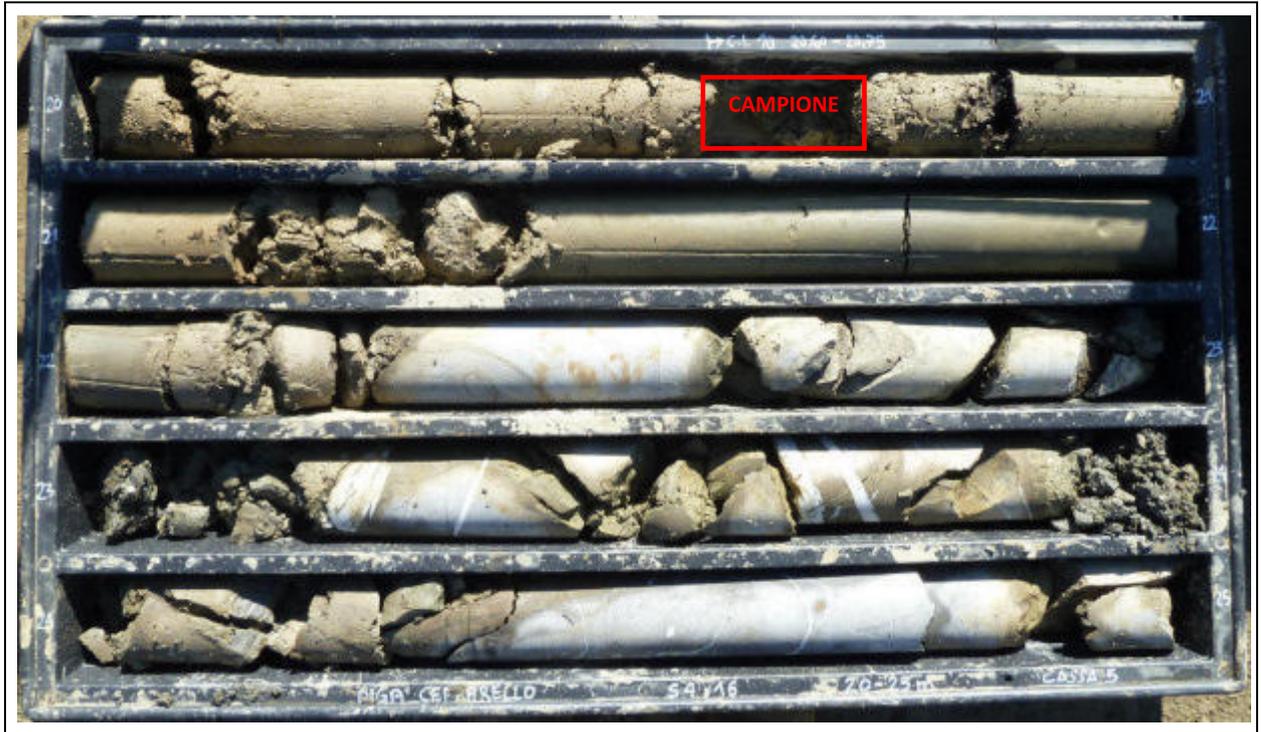
Alla profondità di 22,30 m si ritiene che inizi il basamento con la presenza di Pietraforte che in alcuni tratti si presenta massiva in altri fratturata, con probabile stratificazione subverticale che crea difficoltà all'avanzamento del carotiere.

I valori ottenuti con penetrometro tascabile (pocket penetrometer) nei livelli coesivi delle carote non sono stati ritenuti attendibili a causa della presenza diffusa e continua di ghiaietto.

Carote:







SONDAGGIO S5-16

Un terzo sondaggio geognostico a carotaggio continuo (S5-16) è stato spinto fino alla profondità di 24,0 m. Il foro è stato effettuato sul coronamento della diga a circa 1.1 m dal sondaggio S2-06 verso la sponda destra e 1,0 m verso valle dalla direttrice che unisce i due sondaggi del 2006: S1-06 e S2-06.

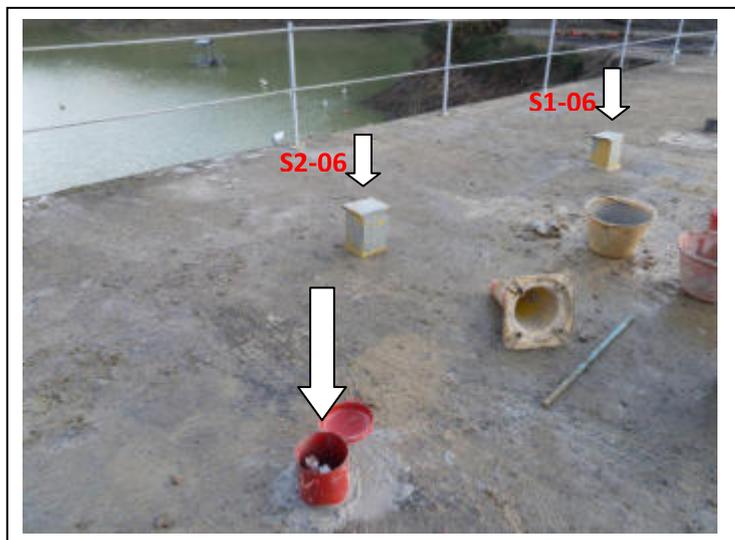
Nel corso dell'esecuzione del sondaggio sono stati estratti 7 campioni indisturbati, prelevati mediante campionatore a pressione tipo Shelby.

Nel sondaggio sono state inoltre eseguite prove penetrometriche SPT e prove Lefranc. Il foro è stato rivestito fino alla profondità di 19,0 m dal coronamento diga; da 19,0 m di profondità fino a fondo foro è stato utilizzato il carotiere doppio.

Al termine della perforazione il foro di sondaggio è stato poi attrezzato con due piezometri Casagrande a doppio tubo, con profondità di messa in posa dei filtri a 21,6 m e 18,2 m (vedi schema). Con il dreno tra 20,10 e 22,2 m si è inteso misurare la piezometrica del solo substrato; con il filtro a 18,2 m è stato drenato il solo corpo diga.



Sondaggio S5-16



Pozzetto piezometri di S5-16

Ubicazione sondaggio:



Campionamenti e prove penetrometriche in foro:

profondità (m) da coronamento	Tipologia di campione	N° colpi SPT a punta chiusa	Prova Lefranc
tra 1,50 m e 1,80 m	indisturbato	-	-
tra 3,3 m e 3,80 m	indisturbato	-	-
5,50 m	Fallito, terreno uscito dalla fustella	-	Da 6,0 m a 6,5 m
tra 7,40 m e 7,90 m	indisturbato	-	-
tra 9,00 m e 9,50 m	indisturbato	-	-
9,50 m	-	3-2-4	-
11,00 m	Fallito causa trovante	-	Da 10,5 m a 11,0 m
tra 12,00 m e 12,50 m	indisturbato	-	-
12,50 m	-	6-10-11	-
tra 13,10 m e 13,50 m	indisturbato	-	Da 13,0 m a 13,5 m
tra 14,50 m e 15,00 m	indisturbato	-	-
16,00 m	Fallito causa trovante	3-6-9	-
17,50 m	Fallito causa trovante	-	Da 17,5 m a 18,0 m Non si riesce a saturare
18,00 m	Fallito causa trovante	-	-
19,00 m	-	26-Rifiuto	-

SPT Le misure vengono effettuate per tre avanzamenti consecutivi di 15 cm ciascuno, contando il numero di colpi necessari (N_{spt}) per ogni avanzamento. La *resistenza alla penetrazione* del terreno è caratterizzata dalla somma del numero di colpi per il secondo e terzo avanzamento, cioè $N=N_2+N_3$. La prova va a rifiuto se il numero di colpi del primo avanzamento (N_1) è maggiore di 50 prima dei 15 cm o se N_2+N_3 è maggiore di 100 colpi prima dei 30 cm di avanzamento.

La stratigrafia del carotaggio effettuato nel paramento risulta con prevalenza di limi argillosi e argille limose e diffusi clasti di ghiaia fine presenti lungo gran parte del sondaggio.

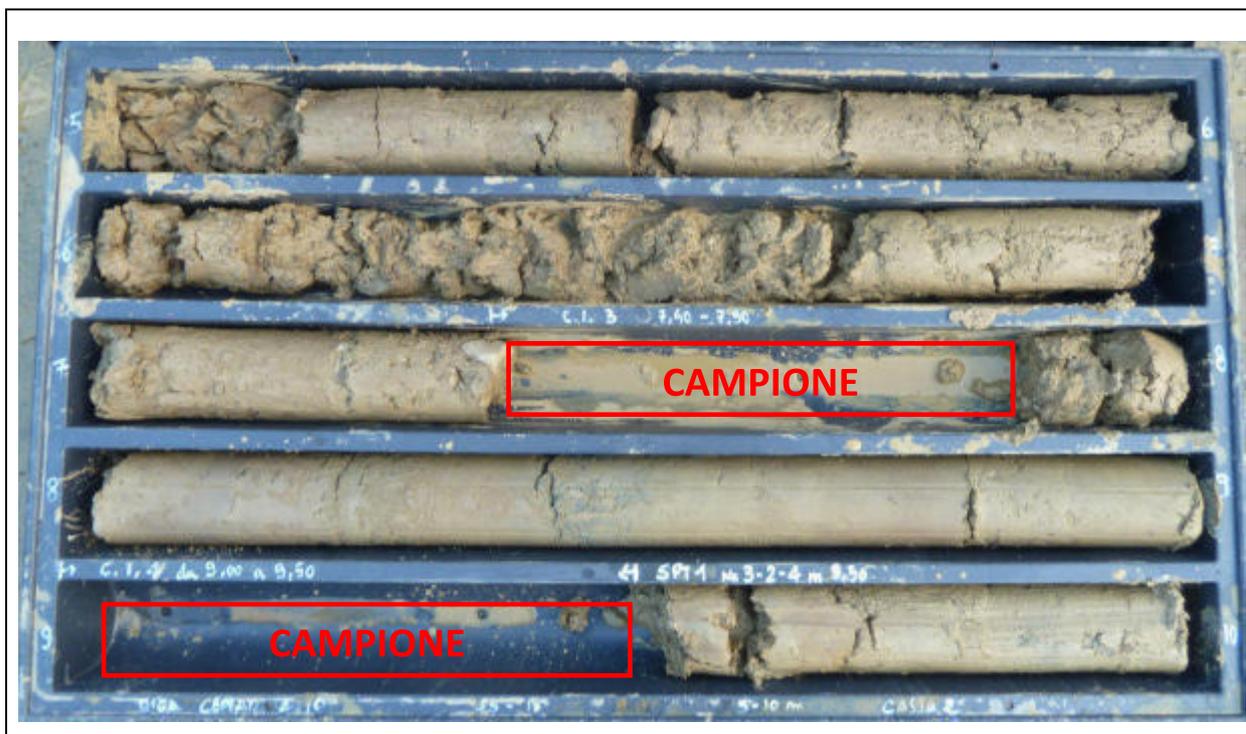
I numerosi trovanti presenti nel corpo diga hanno talvolta impedito al campionatore Shelby di prelevare il campione indisturbato per il piegamento della fustella.



Alla profondità di 19,00 m si ritiene che inizi il basamento con la presenza di livelli siltitici e Pietraforte, che in alcuni tratti si presenta massiva in altri fratturata, con probabile stratificazione subverticale che crea difficoltà all'avanzamento del carotiere.

I valori ottenuti con penetrometro tascabile (pocket penetrometer) nei livelli coesivi delle carote non sono stati ritenuti attendibili a causa della presenza diffusa e continua di ghiaietto.

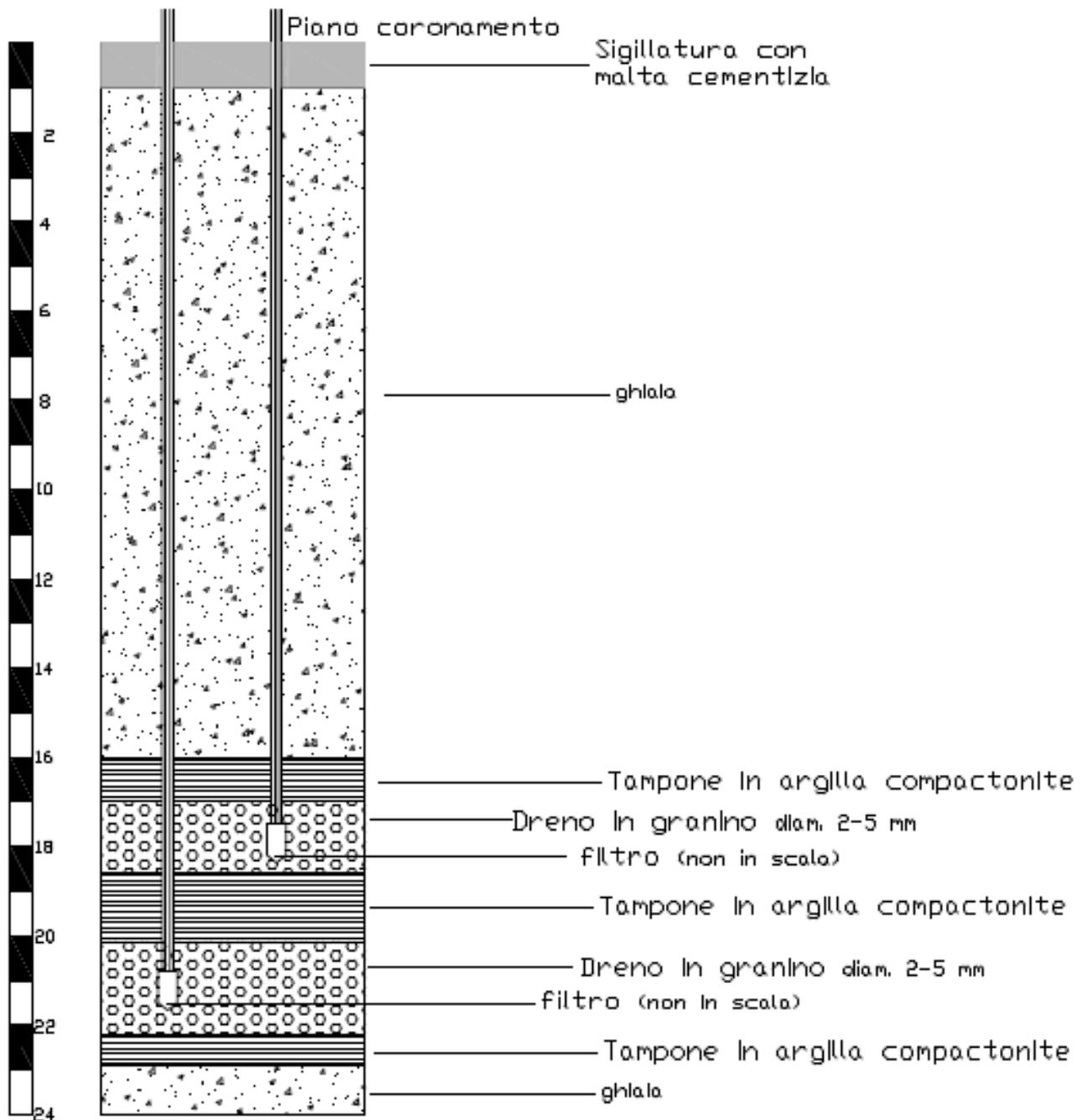
Carote:







Schema realizzativo piezometri Casagrande sondaggio S5-16



Prove Lefranc

Durante l'effettuazione dei sondaggi sono state eseguite prove Lefranc in foro per la determinazione del coefficiente di permeabilità del materiale costituente il paramento.

La modalità utilizzata è quella a carico variabile in abbassamento e /o a carico costante, avendo come normativa di riferimento le "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" dell'AGI (1977).

Per ogni prova sono state rispettate le seguenti prescrizioni:

- le pareti della perforazione sono state rivestite con una tubazione per tutto il tratto del sondaggio non interessato dalla prova;
- il tratto di prova (tasca) ha avuto dimensioni varie comprese tra 50 e 100 cm di lunghezza (L) e con diametri 101 o 127 mm (D);
- prima della prova si è provveduto alla preventiva saturazione del terreno da indagare riempiendo il foro fino a bocca-pozzo;
- dall'istante in cui si è sospeso l'immissione dell'acqua, si è iniziato a misurare l'altezza del livello e si è fatto partire il contasecondi annotando ora e minuti di partenza, eseguendo le letture del livello a frequenti intervalli di tempo annotando sia il livello dell'acqua (h) che il tempo (t) di ciascuna lettura fino a 120 minuti (esclusi i casi con stabilizzazione del livello o suo raggiungimento della profondità del foro).

Il valore del coefficiente di permeabilità con le prove a carico variabile è stato calcolato con la seguente formula:

$$K = A/C*(t_2-t_1)*\ln (h_1/h_2)$$

Dove:

A = area della base del foro (cilindrico) in prova;

L = lunghezza del tratto scoperto di prova;

C = coefficiente di forma uguale a L per $L > 2r$;

$h_1 - h_2$ = differenza di altezza del livello acqua;

t_1-t_2 = intervalli di tempo di lettura;

Il valore del coefficiente di permeabilità con le prove a carico costante è stato calcolato con la seguente formula:

$$K = q/C_f h d$$

Dove:

q = portata immessa;

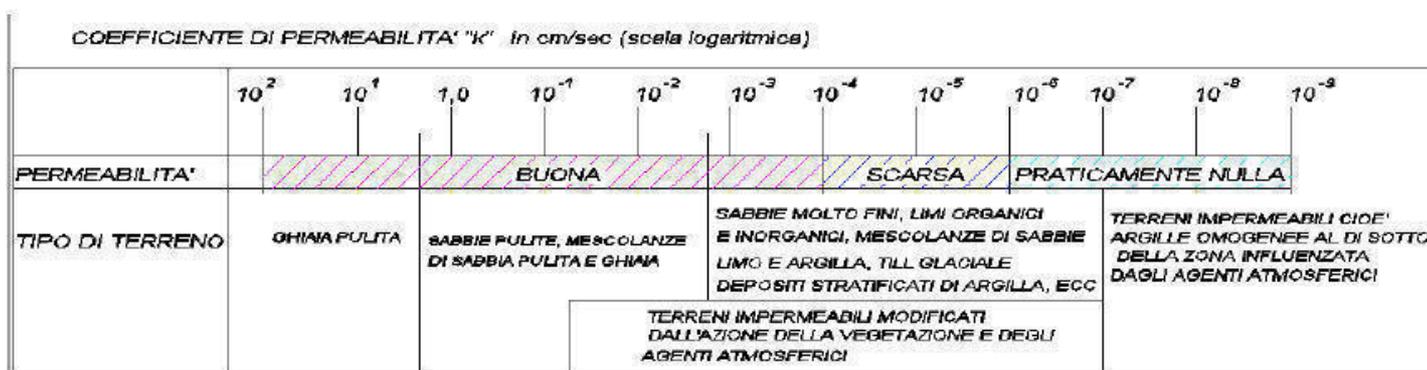
h = livello dell'acqua nel foro;
d = diametro del foro;
Cf = coefficiente di forma pari a 2,85.

La permeabilità (K) dei terreni è stata valutata all'interno dei sondaggi S3-16, S4-16 e S5-16; essendo il rapporto L/D > 1,2 (con D diametro del foro), si considera di aver misurato una permeabilità Kh orizzontale.

Nella tabella seguente si riportano i risultati delle prove.

Sondaggio	Profondità di prova (m da p.c.)	K (m/s) da prova a carico variabile	K (m/s) da prova a carico costante
S3-16	5,5-6,0	impermeabile	impermeabile
S3-16	10,5-11,5	abortito	-
S3-16	14,5-14,8	$5,7 \times 10^{-6}$	$4,5 \times 10^{-5}$
S3-16	17,8-18,5	$9,3 \times 10^{-9}$	-
S3-16	21,0-21,6	$3,4 \times 10^{-6}$	$1,9 \times 10^{-4}$
S4-16	6,0-6,6	$1,1 \times 10^{-8}$	-
S4-16	10,5-11,0	$9,8 \times 10^{-7}$	$3,3 \times 10^{-5}$
S4-16	14,5-15,0	$4,5 \times 10^{-6}$	$3,5 \times 10^{-5}$
S4-16	17,5-18,0	4×10^{-6}	-
S4-16	20,5-21,1	-	$1,8 \times 10^{-4}$
S5-16	6,0-6,5	$2,2 \times 10^{-8}$	-
S5-16	10,5-11,0	$2,6 \times 10^{-5}$	$2,2 \times 10^{-4}$
S5-16	13,0-13,5	$6,4 \times 10^{-6}$	$9,2 \times 10^{-5}$
S5-16	17,5-18,0	-	4×10^{-4}

I valori ottenuti non sono in linea con le caratteristiche granulometriche dei terreni entro i quali la prova è stata realizzata: limo e argilla in prevalenza. Il valore registrato, nell'ordine di 10^{-1} m/s (10 cm/s), consente di classificare il terreno in esame come avente permeabilità buona. A tal proposito si osservi lo schema riportato di seguito:



“Classificazione dei terreni in funzione della permeabilità”

SONDAGGIO S6-16

Un quarto sondaggio geognostico a carotaggio continuo (S6-16) è stato spinto fino alla profondità di 12,0 m. Il foro è stato effettuato sul basamento di valle della diga a circa 18 m dal sondaggio S2-05 verso la sponda destra.

Nel corso dell'esecuzione del sondaggio sono stati estratti 3 campioni indisturbati, prelevati mediante campionatore a pressione tipo Shelby. Non sono state eseguite prove in foro.

Il foro è stato rivestito fino alla profondità di 10,0 m dal coronamento diga; da 7,5 m di profondità fino a fondo foro è stato utilizzato il carotiere doppio.

Al termine della perforazione il foro di sondaggio è stato poi attrezzato con due piezometri Casagrande a doppio tubo, con profondità di messa in posa dei filtri a 9,3 m e 6,7 m; (vedi schema). Con il dreno tra 8 e 10 m si è inteso misurare la piezometrica del solo substrato; con il filtro a 6,7 m è stato drenato il solo corpo diga.



Sondaggio S6-16



Pozzetto piezometri di S6-16

Ubicazione sondaggio:



I numerosi trovanti presenti nel corpo diga hanno talvolta impedito al campionatore Shelby di prelevare il campione indisturbato per il piegamento della fustella.



Alla profondità di 7,50 m si ritiene che inizi il basamento con la presenza di livelli siltitici e Pietraforte, che in alcuni tratti si presenta massiva in altri fratturata, con probabile stratificazione subverticale che crea difficoltà all'avanzamento del carotiere.

I valori ottenuti con penetrometro tascabile (pocket penetrometer) nei livelli coesivi delle carote non sono stati ritenuti attendibili a causa della presenza diffusa e continua di ghiaietto.

Campionamenti:

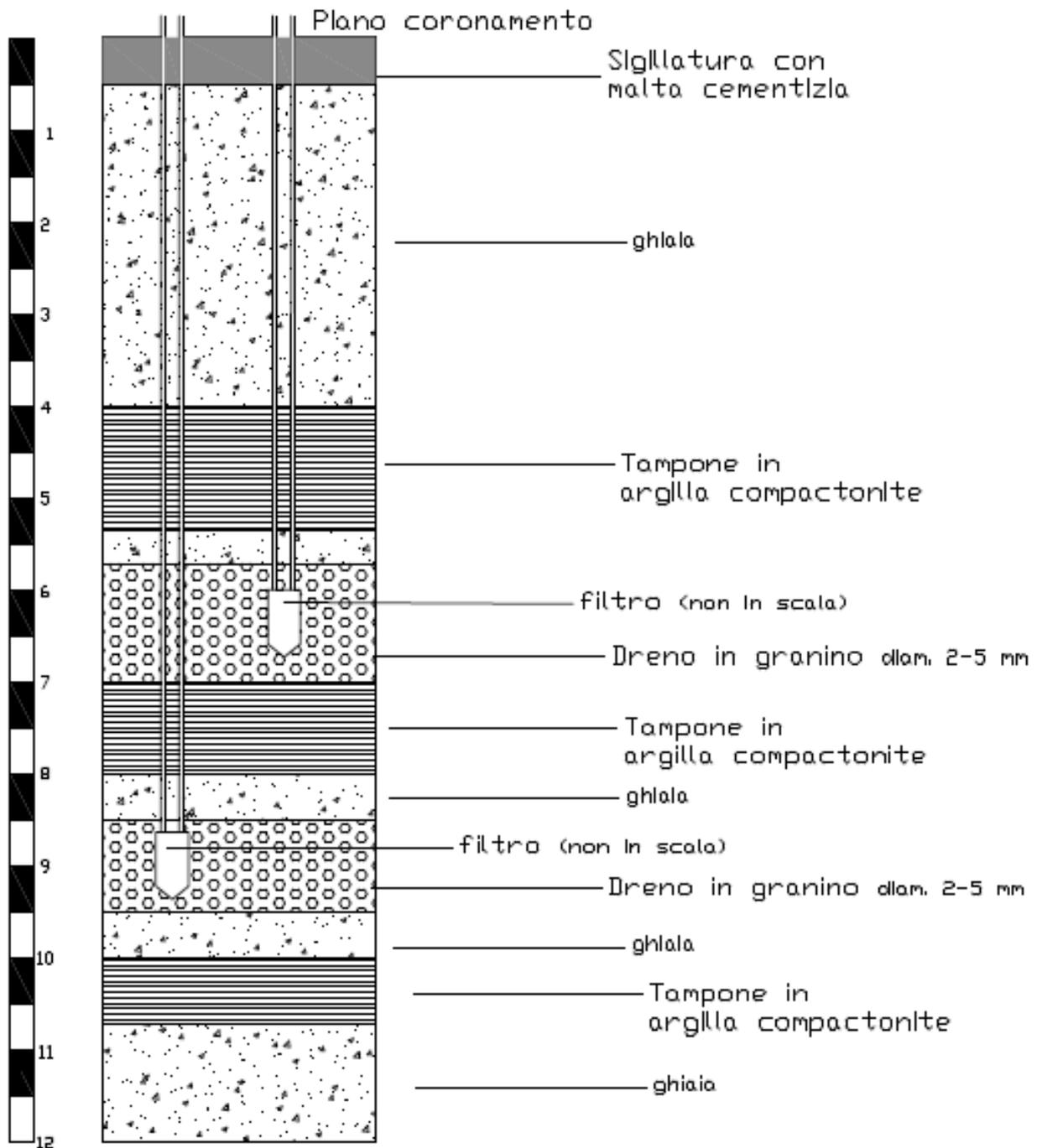
profondità (m) da coronamento	Tipologia di campione	N° colpi SPT a punta chiusa	Prova Lefranc
tra 1,10 m e 1,50 m	indisturbato	-	-
2,20 m	Fallito causa trovante	-	-
2,90 m	Fallito causa trovante	-	-
tra 3,20 m e 3,60 m	indisturbato	-	-
4,60 m	Fallito causa trovante	-	-
tra 5,00 m e 5,40 m	indisturbato	-	-
7,20 m	Fallito causa trovante	-	-

Carote:





Schema realizzativo piezometri Casagrande S6-16



SONDAGGIO S7-16

Un quinto sondaggio geognostico a carotaggio continuo (S6-16 bis), non previsto dal programma di indagini geognostiche ma effettuato per recuperare il maggior numero di campioni indisturbati possibile, è stato spinto fino alla profondità di 5,4 m. Il foro è stato effettuato sul basamento di valle della diga a circa 12,9 m dal sondaggio S2-05 verso la sponda destra e a circa 5 m dal sondaggio S6-16 verso la sponda sinistra.

Nel corso dell'esecuzione del sondaggio sono stati estratti 5 campioni indisturbati, prelevati mediante campionatore a pressione tipo Shelby. Non sono state eseguite prove in foro.

Il foro è stato rivestito fino alla profondità di 5,0 m dal coronamento diga; non è stato utilizzato il carotiere doppio.

Al termine della perforazione il foro di sondaggio è stato poi completamente riempito di malta cementizia, ad eccezione degli ultimi 50 cm nei quali è stato riempito con pietrame presente anche alla stessa quota nel resto del basamento di valle; (vedi schema).



Sondaggio S6-16bis



Cementazione S6-16bis

Ubicazione sondaggio:



I numerosi trovanti presenti nel corpo diga hanno talvolta impedito al campionatore Shelby di prelevare il campione indisturbato.

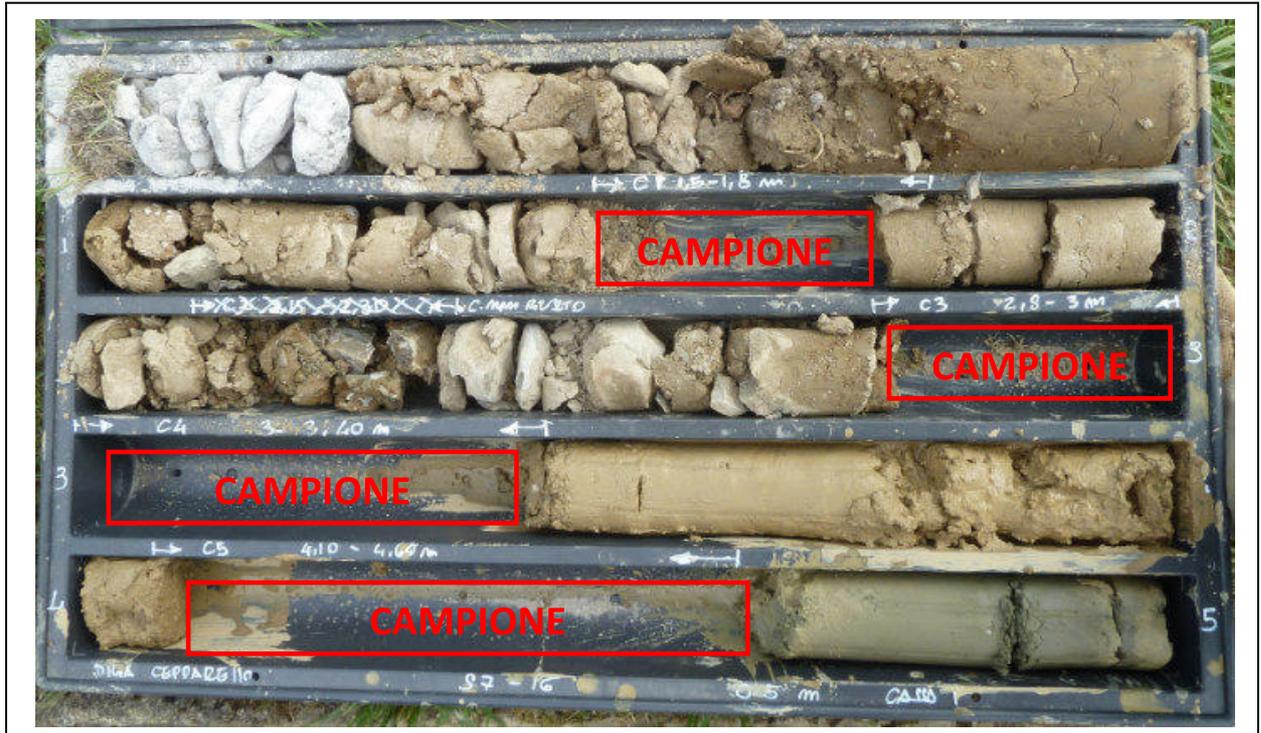


I valori ottenuti con penetrometro tascabile (pocket penetrometer) nei livelli coesivi delle carote non sono stati ritenuti attendibili a causa della presenza diffusa e continua di ghiaietto.

Campionamenti:

profondità (m) da coronamento	Tipologia di campione	N° colpi SPT a punta chiusa	Prova Lefranc
1,00 m	Fallito causa trovante	-	-
tra 1,50 m e 1,80 m	indisturbato	-	-
2,15 m	scartato	-	-
tra 2,80 m e 3,00 m	indisturbato	-	-
tra 3,00 m e 3,40 m	indisturbato	-	-
tra 4,10 m e 4,60 m	indisturbato	-	-
tra 5,00 m e 5,35 m	indisturbato	-	-

Carote:



ALLEGATO 4

Campagna di indagine 2018/2019

**PROVINCE DI SIENA E FIRENZE COMUNI DI POGGIBONSI E BARBERINO VAL D'ELSA
LOC. CEPPARELLO**

CANTIERE: Diga Drove di Cepparello		SONDAGGIO N. S1	COMMITTENTE: ACQUE SPA	GEOLOGO DELL'IMPRESA	SONDATORE
QUOTA ASS. P.C. 162 m s.l.m.	COORDINATE X Y 43°29'24,38" N 11°11'21,58" E	TIPO DI SONDA (marca, modello, coppia motrice)	TIPO DI FLUIDO acqua	STRUMENTAZIONE IN FORO E SUE PROFONDITA': FORO ATTREZZATO PER DOWNHOLE	
DATA INIZIO/FINE: 05-11-2018/06-11-2018		METODO DI PERFORAZIONE: (aste o wire line) Aste	CASSE CATALOGATRICI N. 3 (fino a -15 m da p.c. - da -15 m a -32 m distruzione di nucleo)	PROFONDITA' RAGGIUNTA: -32,00 m dal p.c. attuale	

Giorni di perforazione	Cancillare	Velocità di avanzamento	MANOVRE	Rivestimento diametro interno	Profondità dal p.c. (m)	Scala riferimento (m)	STRATIGRAFIA (disegno)	Falda acquifera	DESCRIZIONE DEI TERRENI ATTRAVERSATI ED INDICAZIONE DEGLI SPESSORI	Profondità (m)	S.P.T. Numero colpi	Pocket Penetrometer (Kg/cm²)	Vane Test (Kg/cm²)	Altre prove	Campioni	Quota campioni	Recupero %	RQD %	
					1	1			<p>Terreno di riporto costituito da materiale limoso sabbioso debolmente argilloso con presenza di pezzame litoide e laterizi. Colore marrone ocre</p>										
					2	2.20		<p>Argilla limosa/sabbiosa scarsamente compatta</p>											
					3	3.50		<p>Detritico (argillitico, siltitico, calcare) in matrice limoso-sabbiosa debolmente argillosa (colore grigio-verdastro)</p>											
					4														60
					5														70
					6														90
					7			<p>Roccia fratturata - Siltite con passanti calcarei marnosi o calcarei a grana da medio a fine. Presenza di venature di calcite. Presenza di livelli argilliti e siltitici in aumento a partire da -10,90 m da p.c. Colore da grigio a marrone ocre.</p>											50
					8			<p>Fratturazione: fino a -7,50 m da p.c. fratturazione da medio a medio-bassa con inclinazione elevata. -7,50 m da p.c. fratturazione da medio-bassa ad elevata con inclinazione da elevata a verticale. Unica eccezione il tratto da -9 e -10 m in cui la fratturazione è scarsa. da -13 m a -15m assenza di fratturazione.</p>											90
					9			<p>Da -15 m a -32 m (fondo foro) avanzamento a distruzione di nucleo</p>											80
					10														30
					11														
					12														
					13														
					14														
					15														

S1
da 0,00 a 5,00 m



S1
da 5,00 a 10,00 m



S1
da 10,00 a 15,00 m



**PROVINCE DI SIENA E FIRENZE COMUNI DI POGGIBONSI E BARBERINO VAL D'ELSA
LOC. CEPPARELLO**

CANTIERE: Diga Drove di Cepparello		SONDAGGIO N. S2	COMMITTENTE: ACQUE SPA	GEOLOGO DELL'IMPRESA	SONDATORE
QUOTA ASS. P.C. 189 m s.l.m.	COORDINATE X Y 43°29'21,97" N 11°11'23,60" E	TIPO DI SONDA (marca, modello, coppia motrice)	TIPO DI FLUIDO acqua	STRUMENTAZIONE IN FORO E SUE PROFONDITA': FORO ATTEZZATO CON PIEZOMETRO	
DATA INIZIO/FINE: 08-11-2018		METODO DI PERFORAZIONE: (aste o wire line) Aste	CASSE CATALOGATRICI N. 4	PROFONDITA' RAGGIUNTA: -20,00 m dal p.c. attuale	

Glomi di perforazione	Carotiere	Velocità di avanzamento	MANOVRE	Rivestimento diametro interno/esterno	Profondità dal p.c. (m)	Scala riferimento (m)	STRATIGRAFIA (disegno)	Falda acquifera	DESCRIZIONE DEI TERRENI ATTRAVERSATI ED INDICAZIONE DEGLI SPESSORI	Profondità (m)	S.P.T. Numero colpi	Pocket Penetrometer (Kg/cm²)	Vane Test (Kg/cm²)	Altre prove	Campioni	Quota campioni	Recupero %	RQD %
					1				Orizzonte limoso argilloso debolmente sabbioso compatto di colore marrone (da 0 - 0,60 m terreno vegetale)									
					1.50	2			Limo sabbioso con presenza di elementi argillitici e siltitici colore giallo ocra									
					3.60	3												
					4	4												
					5	5												
					6	6												
					7	7			Roccia altamente fratturata (siltiti, arenarie, calcari) in matrice limosa argillosa con episodi maggiormente sabbiosi									
					8	8												
					9	9												
					10	10												
					11	11												
					11.80	12			Limi sabbiosi con presenza di pezzame litoide. Colore grigio marrone									
					13	13												
					13.40	14			Argilla limosa debolmente sabbiosa con pezzame litoide. Colore grigio marrone									
					14.80	15												
					16	16												
					17	17			Roccia fratturata caratterizzata da alternanza di orizzonti di argilliti, siltiti e calcarei fini marnosi. Presenza di livelli argillitici grigio scuri.									
					18	18			Fratturazione intensa con andamento da fortemente inclinato a verticale									
					19	19												
					20	20												

S2
da 0,00 a 5,00 m



S2
da 5,00 a 10,00 m



S2
da 10,00 a 15,00 m



S2
da 15,00 a 20,00 m



ANALISI SISMICA DOWN-HOLE

DH – Peccioli – Località Fonte Mazzola

DISTANZA DELLO SPARO DA BOCCA FORO
ANALISI SISMICA DOWN-HOLE

DH Cepparello

DISTANZA DELLO SPARO DA BOCCA FORO

Distanza = 4.80 [m]

PRIMI ARRIVI

N° Geof.	Profondità [m]	Onde P [ms]	Onde S (X) [ms]	Onde P (corretti) [ms]	Onde S (X) (corretti) [ms]
1	1.00	10.60	11.80	2.16	2.41
2	2.00	9.10	11.00	3.50	4.23
3	3.00	8.00	10.50	4.24	5.56
4	4.00	7.90	11.00	5.06	7.04
5	5.00	7.90	11.50	5.70	8.30
6	6.00	8.20	12.30	6.40	9.60
7	7.00	8.20	12.80	6.76	10.56
8	8.00	8.40	13.50	7.20	11.58
9	9.00	8.70	14.20	7.68	12.53
10	10.00	8.70	15.00	7.84	13.52
11	11.00	9.00	15.80	8.25	14.48
12	12.00	9.20	16.70	8.54	15.51
13	13.00	9.50	17.50	8.91	16.42
14	14.00	9.70	18.30	9.18	17.31
15	15.00	10.00	19.10	9.52	18.19
16	16.00	10.50	19.90	10.06	19.06
17	17.00	10.80	20.40	10.39	19.63
18	18.00	11.00	21.20	10.63	20.48
19	19.00	11.30	22.00	10.96	21.33
20	20.00	11.50	22.40	11.18	21.78
21	21.00	11.80	23.40	11.50	22.81
22	22.00	11.80	24.20	11.53	23.64
23	23.00	12.00	24.70	11.75	24.18
24	24.00	12.30	25.10	12.06	24.61
25	25.00	12.50	25.50	12.28	25.04
26	26.00	12.80	26.00	12.59	25.57
27	27.00	12.80	26.60	12.60	26.19
28	28.00	12.80	27.10	12.62	26.71
29	29.00	13.10	27.70	12.92	27.33
30	30.00	13.30	28.20	13.13	27.85
31	31.00	13.60	28.90	13.44	28.56
32	32.00	13.80	29.50	13.65	29.17

VELOCITA' ONDE P

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	2	558
2	6	1403
3	18	2798
4	32	4812

PARAMETRI ONDE SX

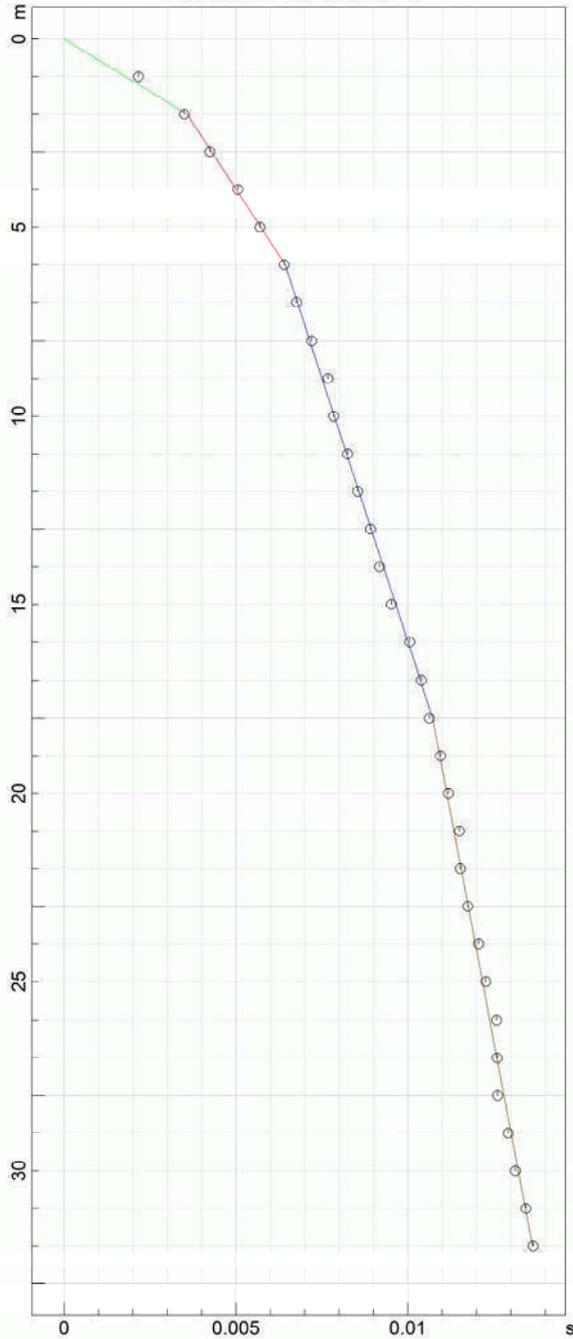
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	2	462	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	7	773	0.23	1195058	2939842	1814717
3	19	1114	0.37	2481992	6800658	8718792
4	32	1721	0.39	5923682	16467835	24951260

VELOCITA' MEDIE

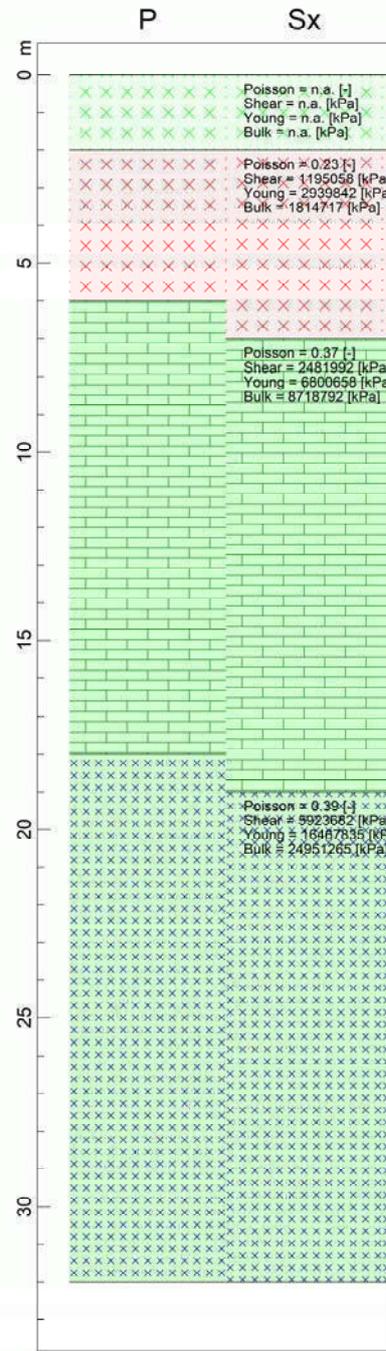
Geofono	VSeq [m/s]
0.0 – 7.0 m	648

DH Cepparello

Dromocrona onde P



Sezioni verticali

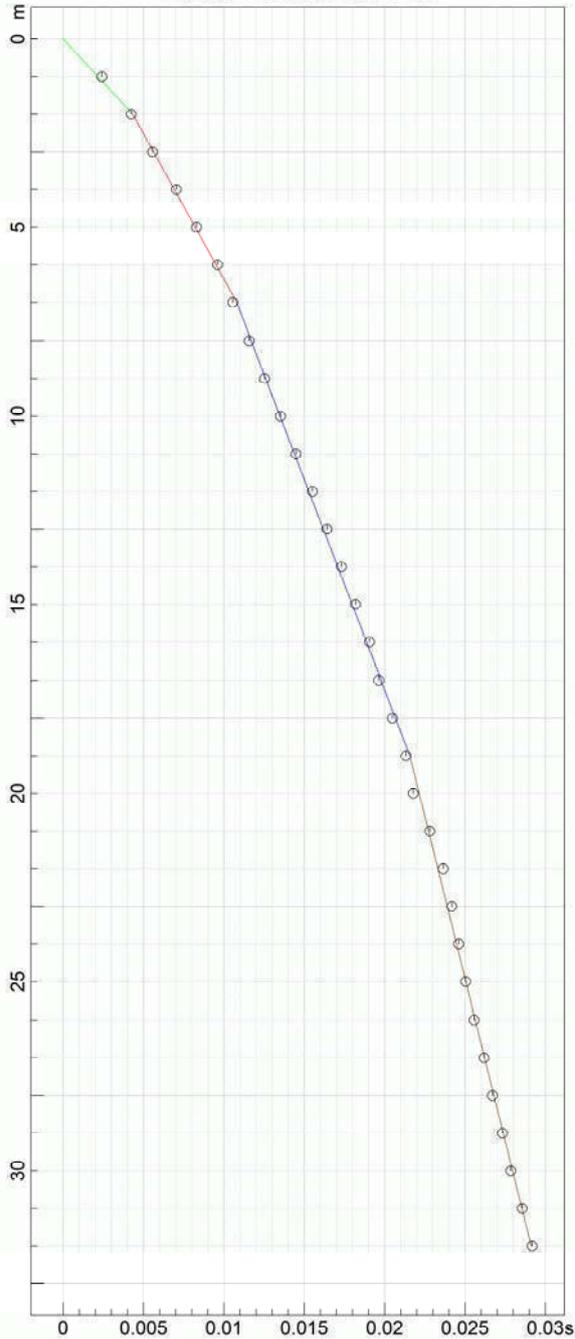


P	558 m/s	P	1403 m/s	P	2798 m/s	P	4812 m/s	Vs30 1072.9 m/s
Sx	462 m/s	Sx	773 m/s	Sx	1114 m/s	Sx	1721 m/s	

www.geosoft.com

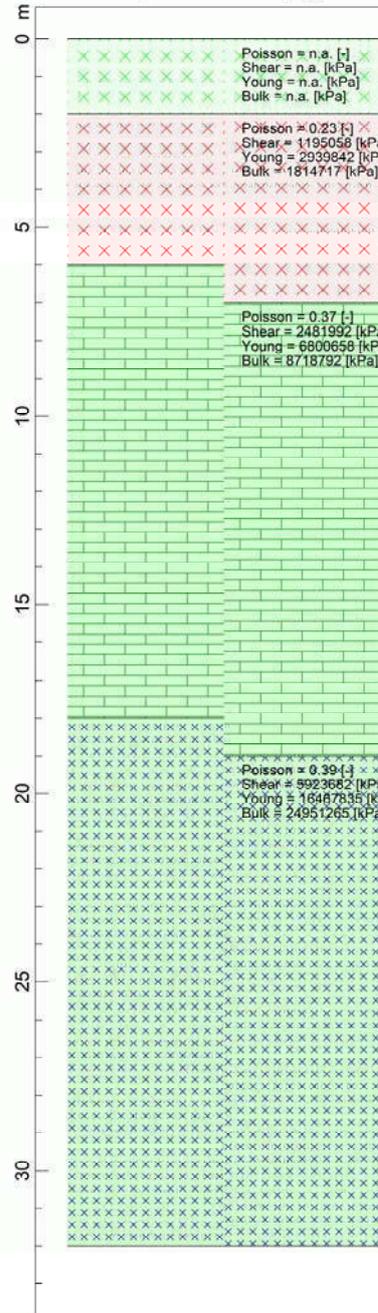
DH Cepparello

Dromocrona onde Sx



Sezioni verticali

P Sx

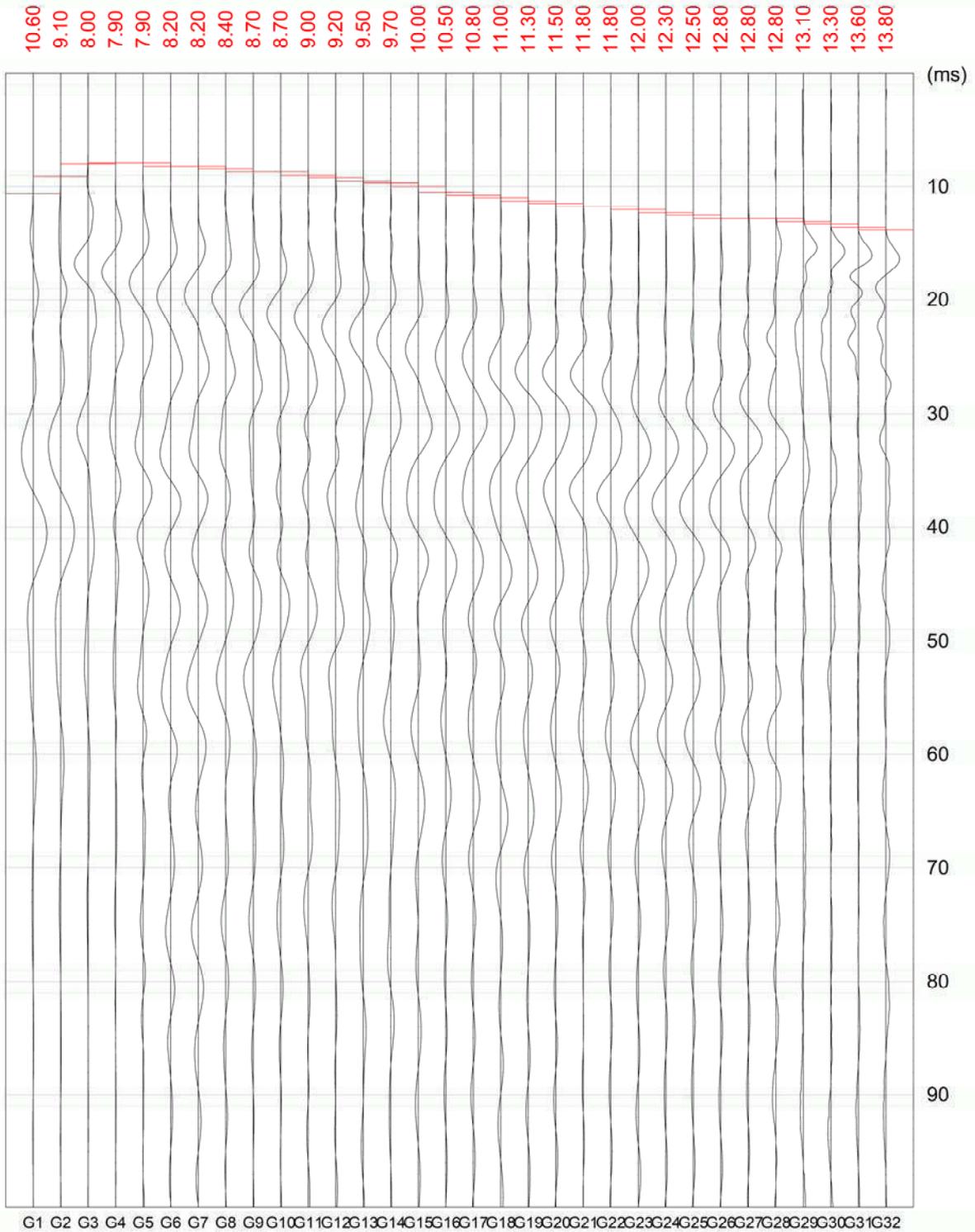


	P	558 m/s		P	1403 m/s		P	2798 m/s		P	4812 m/s	Vs30 1072.9 m/s
	Sx	462 m/s		Sx	773 m/s		Sx	1114 m/s		Sx	1721 m/s	

www.geosoft.com

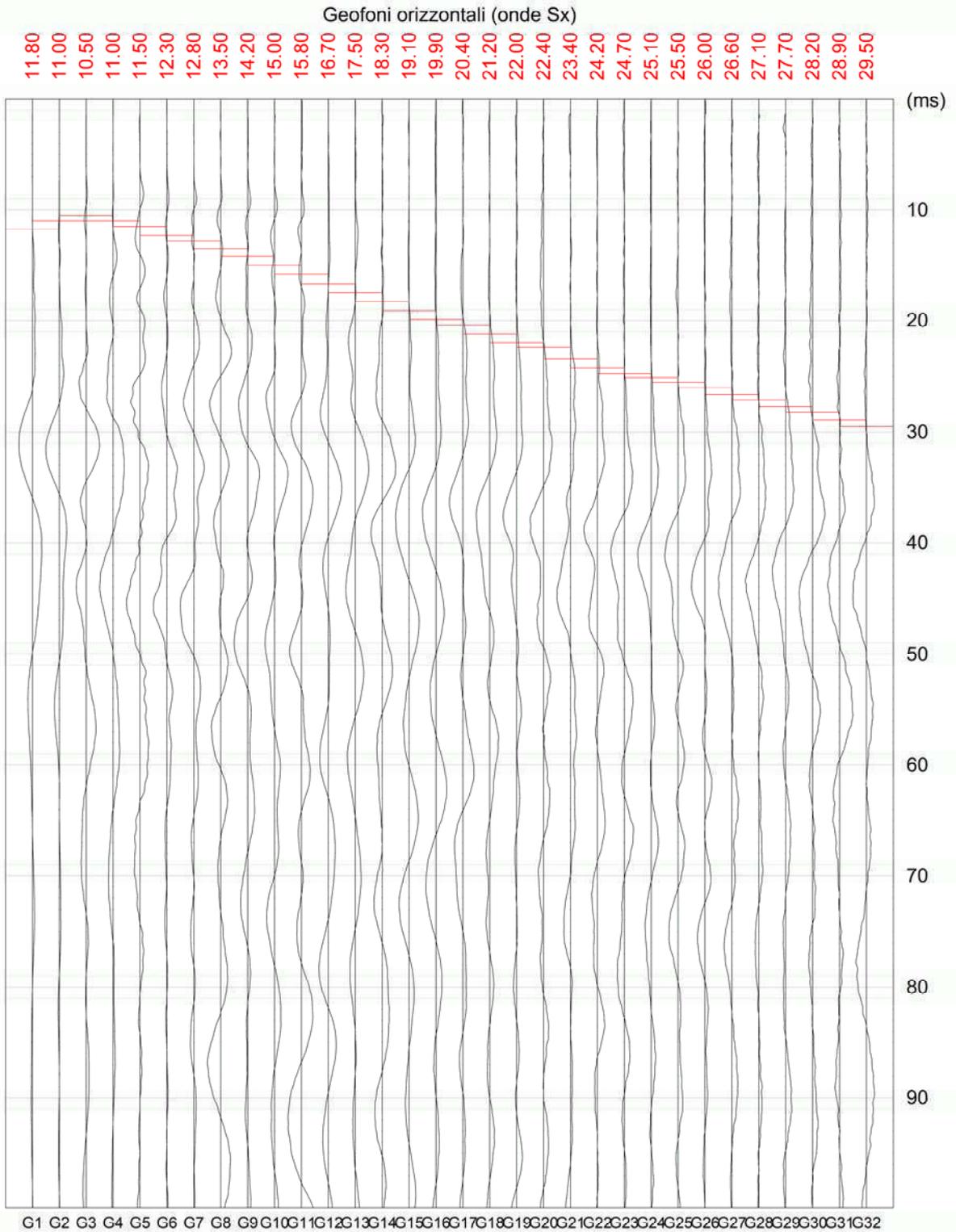
DH Cepparello

Geofoni verticali (onde P)



www.geoandsoft.com

DH Cepparello



www.geoandsoft.com

ALLEGATO 5

Diagrammi di Wulff

*Verifica di stabilità
della sponda destra
della diga del lago del Cepparello
Comune di Poggibonsi (SI)*

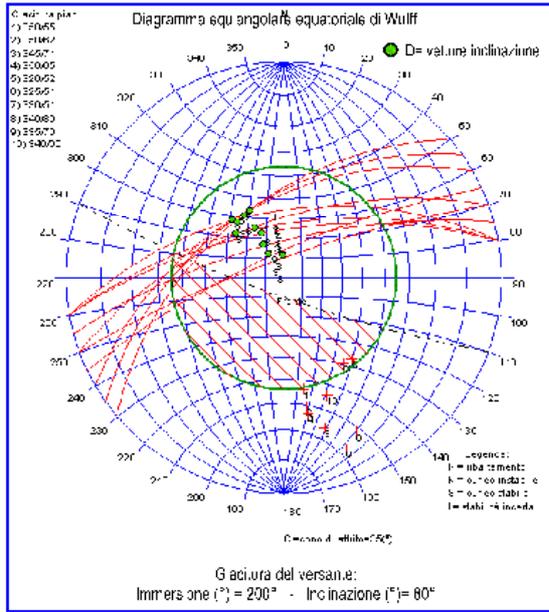


DIAGRAMMA N° 1:
Scivolamenti planari

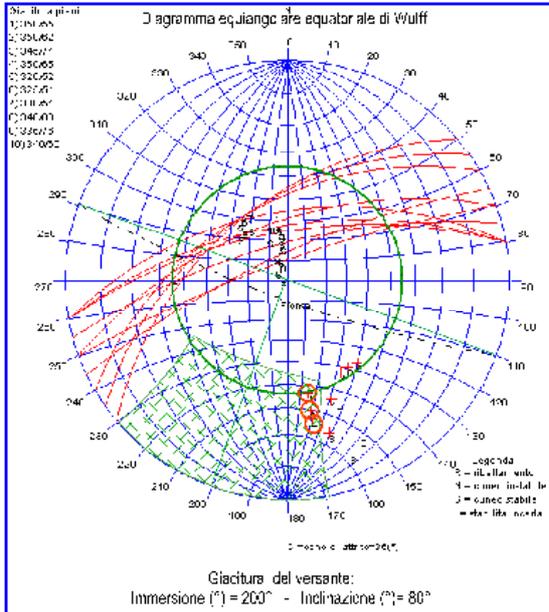


DIAGRAMMA N° 2:
Ribaltamento

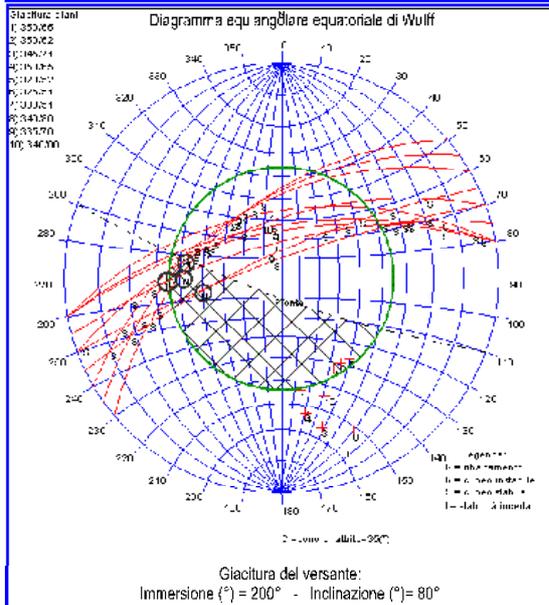


DIAGRAMMA N° 3:
Scivolamenti cunei rocciosi