

6.3

SP EX SS N 415 - LOTTO 3



**PROVINCIA DI CREMONA**  
**SETTORE INFRASTRUTTURE STRADALI**

**S.P. ex S.S. n. 415 "PAULLESE"**  
**AMMODERNAMENTO TRATTO "CREMA-SPINO D'ADDA"**

**LOTTO N. 3 - "NUOVO PONTE SUL FIUME ADDA"**  
**LAVORI DI RADDOPPIO DEL PONTE SUL FIUME ADDA**  
**E DEI RELATIVI RACCORDI IN PROVINCIA DI CREMONA E LODI**

emissione	descrizione	disegnato	data emissione
1	revisione a seguito verifica UTP		FEBBRAIO 2016
0	prima emissione		DICEMBRE 2015

oggetto: <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		codice CUP: <b>G41B03000270002</b>	
laboratorio: <b>INDAGINI E STUDI SUL TERRENO</b>		codice: <b>GEO.03</b>	
<b>STUDI E INDAGINI</b> <b>RISULTATI INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>		allegato n.: <b>6.3</b>	scala:
IL PROGETTISTA SPECIALISTICO (Ing. Fabio Scaroni) 	IL PROGETTISTA GENERALE (Ing. Davide Pisana) 	IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO (Ing. Roberto Vanzini) 	data: <b>27 MAG, 2016</b>

## 1. INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE

Al fine di classificare dal punto di vista geotecnico i terreni interessati dalla realizzazione del nuovo ponte sul fiume Adda sono state realizzate tre campagne di indagini geognostiche: La prima è stata eseguita nel 2002; la seconda nel marzo del 2008; la terza nell’agosto 2015. La campagna d’indagini del 2002 è consistita nell’esecuzione di 4 sondaggi a carotaggio continuo (vedasi Tabella 1)

<u>Sondaggio</u>	<u>Quota (m s.l.m.m.)</u>	<u>Profondità (m)</u>	<u>SPT</u>	<u>Piezometro</u>
SF	81.34	40	Si	<u>Casagrande</u>
SG	86.50	40	Si	<u>Casagrande</u>
SH	79.30	30	Si	<u>Casagrande</u>
SI	81.01	20	SI	<u>Casagrande</u>

**Tabella 1 – Campagna di indagine 2002**

Nel corso dei sondaggi sono state effettuate 43 prove Standard Penetration Test (SPT) in foro e prelevati 42 campioni rimaneggiati per l’esecuzione di prove di laboratorio.

La campagna di indagine del 2008 ha previsto l’esecuzione di 2 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino alla profondità di 60 m dal p.c. (vedasi tabella 2)

<u>Sondaggio</u>	<u>Quota (m s.l.m.m.)</u>	<u>Profondità (m)</u>	<u>SPT</u>	<u>Piezometro</u>
SL	76.68	60	Si	<u>Tube aperto</u>
SM	86.73	60	Si	No

**Tabella 2 – Campagna di indagine 2008**

Durante i sondaggi sono state 29 prove Standard Penetration Test (SPT) in foro e prelevati 4 campioni indisturbati e di 10 campioni rimaneggiati per l’esecuzione di prove di laboratorio. I sondaggi, nelle due campagne, sono stati eseguiti mediante perforazione a carotaggio continuo utilizzando una perforatrice montata su carro cingolato ad azionamento oleodinamico e, come utensile per la perforazione ed il recupero dei campioni, un carotiere semplice di diametro esterno pari a 101 mm.

La campagna di indagine del 2015 ha previsto l’esecuzione di 1 sondaggio a carotaggio continuo spinto fino alla profondità di 40 m dal p.c. (vedasi tabella 3)

Sondaggio	Quota (m.s.l.m.m.)	Profondità (m)	STP	Piezometro
BD	78.51	40	No	No

Tabella 3 - Campagna di indagine 2015

Il sondaggio è stato realizzato in prossimità della pila per verificare la continuità o meno del tessuto geotecnico in alveo.

Le prove di laboratorio hanno interessato 4 campioni indisturbati e 52 campioni rimaneggiati. Il programma di prove è consistito: descrizione litologica dei campioni; analisi granulometriche; determinazione dei limiti di Atterberg, del contenuto d’acqua, del peso di volume dei campioni e del peso specifico dei grani; prove di taglio diretto in scatola di Casagrande; una prova di compressione semplice ad espansione laterale libera. In allegato si riportano i certificati delle prove di laboratorio.

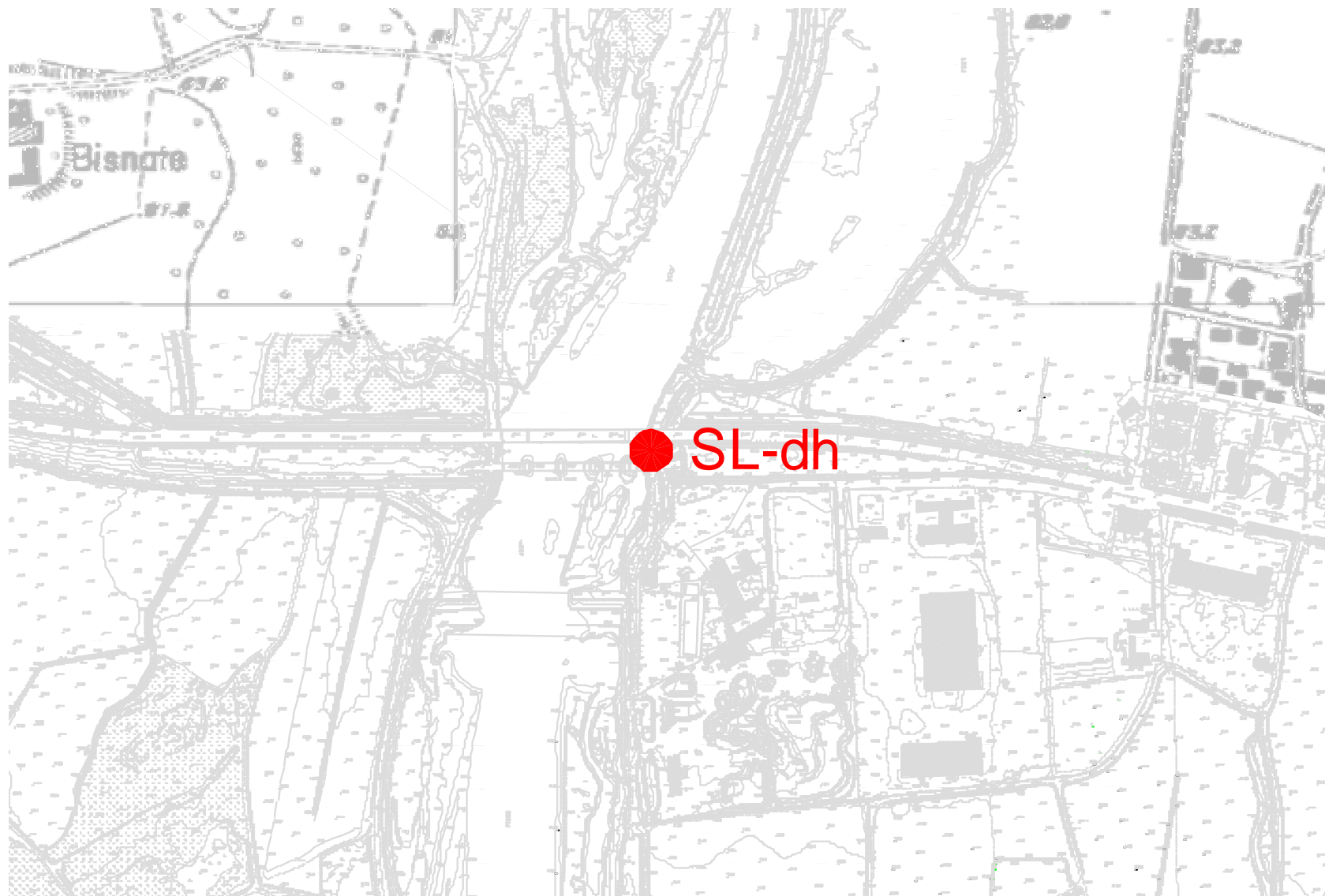
A completamento della campagna di indagine, nel sondaggio SL, è stata eseguita una verticale simica (Down Hole). La tecnica down hole prevede la misura dei tempi delle onde di compressione (P) e di taglio (S) fra un punto di energizzazione posto sulla superficie ed una serie di punti di ricezioni, mobili, in foro di sondaggio.

Il metodo rappresenta una delle più accurate misure non distruttive per la determinazione delle proprietà fisico meccaniche dinamiche dei terreni, ed in particolare per una corretta valutazione della risposta di un terreno soggetto a carichi dinamici (ad esempio i terremoti). E’ proprio con le prove Down Hole, infatti, che è possibile determinare la VS30, ovvero la velocità media delle onde di taglio entro 30 m di profondità, stabilita dal DM 14/01/2008, e necessaria per la determinazione della categoria di suolo di fondazione. Tale informazione può essere dedotta anche dalle velocità delle onde S ottenuta dalla tomografia sismica, da  $N_{spt}$  o, indirettamente, dalle velocità delle onde P noto il coefficiente di Poisson del terreno.

ALLEGATO  
***Campagna 2008***

*Corografie di riferimento*  
*Stratigrafie Sondaggi*  
*Documentazione fotografica*

FASCICOLO INDAGINI



profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio	CAMPIONI		H <sub>2</sub> O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	modulo pressiometrico E (MPa)	modulo di taglio G (MPa)	S.P.T.			NOTE
				tipo	profond. mt.					15	30	45	
0.50							Terreno di riporto.						
					6.00 6.45		Ghiaia sabbiosa leggermente limosa. Il livello discretamente addensato si presenta di colore grigio chiaro, talvolta marrone.			m3.00-3.45 15 50			
					9.00 9.45		Sabbia limosa talvolta argillosa. Presenza di livelli di ghiaia. Alla profondità di circa 18 metri dal p.c. si osserva una marcata variazione cromatica del livello: da grigio diventa marrone.			m6.00-6.45 16 21			
11.00										m9.00-9.45 13 16 22			
										m12.00-12.45 17 29 37			
										m15.00-15.45 25 38 49			
										m18.00-18.45 22 35 43			

Foreo di sondaggio attrezzato con piezometro a tubo aperto prof. da 21,0m a 39,0m

CAMPIONE:  Rimaneggiato    Semidisturbato   • Indisturbato

ARGILLA	LIMO	SABBIA	GHIAIA	TERRENO VEGET.	TORBA
ARGILLITE	MARNA	CALCARE	ARENARIA	CONGLOMERATO	ROCCHE IGNEE

CASSETTE CATALOGATRICI

n° 12

LIVELLO FALDA			
DATA	Prof. foro	Prof. rivestim.	Livello acqua
18-03-08	m 10.00	m 9.00	m 5.00
21-03-08	---	---	m 2.80
22-03-08	---	---	m 2.80



COMMITTENTE Provincia di Milano

LOCALITA' SS.415 PAULLESE

QUOTA ASSOLUTA P.C. 78.68 m.s.l.m.

SONDAGGIO

N° SL

DATA  
18-03-08

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio	CAMPIONI		H <sub>2</sub> O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	modulo pressiometrico E (MPa)	modulo di taglio G (MPa)	S.P.T.			NOTE
				tipo	profond. mt.					15	30	45	
24.50									m21.00-21.45 15 22 31				Foreo di sondaggio attrezzato con piezometro a tubo aperto prof. da 21,0m a 39,0m
28.60					28.00 • 28.40		Ghiaia sabbiosa limosa addensata e di colore marrone. Presenza di ciottoli di varia natura e subarrotondati con un diametro massimo pari a circa 40 mm.		m24.00-24.45 18 25 36				
35.30					33.00 • 33.45		Sabbia limosa talvolta argillosa. La granulometria e il grado di addensamento della sabbia diminuiscono con la profondità. Alla profondità di 33.5 m il livello cambia completamente colorazione diventando grigio scuro.		m27.00-27.45 14 23 31				
37.80					36.00 • 36.45		Limo argilloso grigio compatto		m30.00-30.45 5 5 7				
39.80							Torba		m33.00-33.45 13 17 24				
									m36.00-36.45 5 6 8				
									m40.00-40.45 15 26 33				

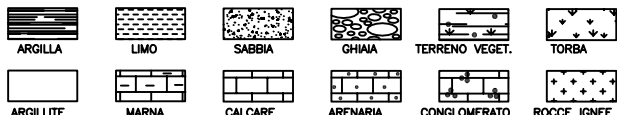
CAMPIONE:  Rimaneggiato  Semidisturbato  Indisturbato

CASSETTE CATALOGATRICI

n° 12

LIVELLO FALDA

DATA	Prof. foro	Prof. rivestim.	Livello acqua
18-03-08	m xx.00	m xx.00	m 5.00
21-03-08	---	---	m 2.80
22-03-08	---	---	m 2.80





COMMITTENTE Provincia di Milano

LOCALITA' SS.415 PAULLESE

QUOTA ASSOLUTA P.C. 78.68 m.s.l.m.

SONDAGGIO

N° SL

DATA  
18-03-08

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio	CAMPIONI		H <sub>2</sub> O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	modulo pressiometrico E (MPa)	modulo di taglio G (MPa)	S.P.T.			NOTE
				tipo	profond. mt.					15	30	45	
				□	42.00 42.45				m	42.00 18	42.45 29	45 42	
48.20							Sabbia fine di colore grigio scuro moderatamente addensata						Foro di sondaggio attrezzato con piezometro a tubo aperto prof. da 21,0m a 39,0m
50.00							Limo argilloso grigio compatto						
57.80							Sabbia fine di colore grigio scuro moderatamente addensata						
60.00							Limo argilloso grigio compatto						

CAMPIONE: □ Rimaneggiato    △ Semidisturbato    • Indisturbato

ARGILLA	LIMO	SABBIA	GHIAIA	TERRENO VEGET.	TORBA
ARGILLITE	MARNA	CALCARE	ARENARIA	CONGLOMERATO	ROCCHE IGNEE

CASSETTE CATALOGATRICI

n° 12

LIVELLO FALDA			
DATA	Prof. foro	Prof. rivestim.	Livello acqua
18-03-08	m xx.00	m xx.00	m 5.00
21-03-08	---	---	m 2.80
22-03-08	---	---	m 2.80



FASCICOLO INDAGINI



Postazione Sondaggio SL



Sondaggio SL cassetta 1



Sondaggio SL cassetta 2



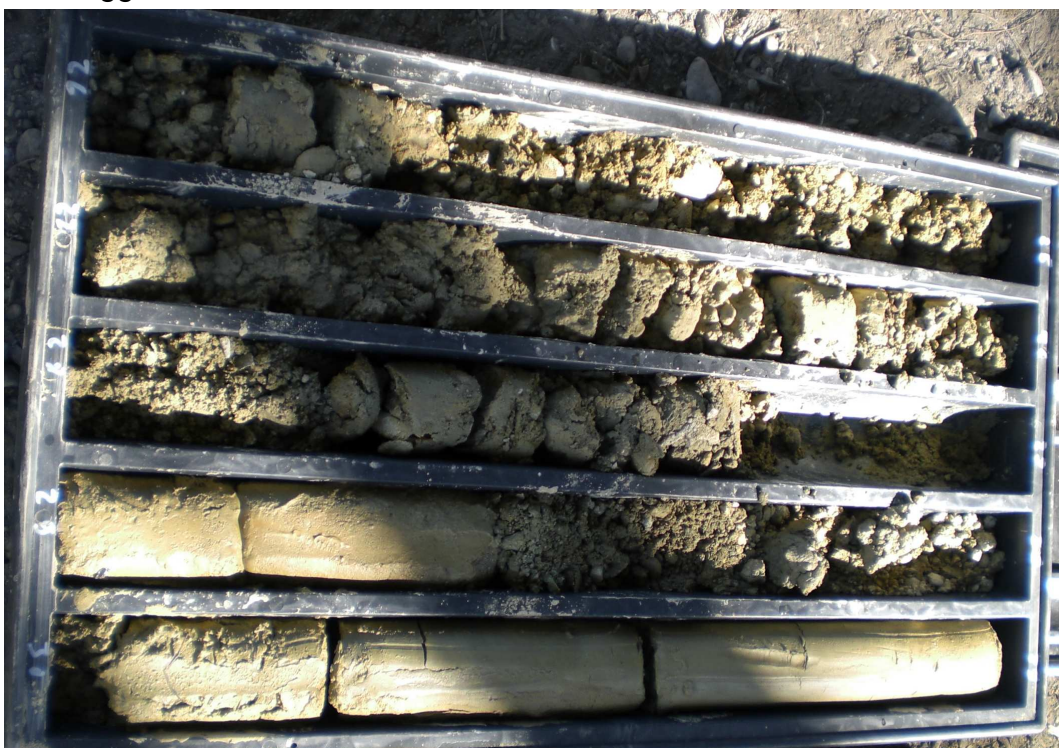
Sondaggio SL cassetta 3



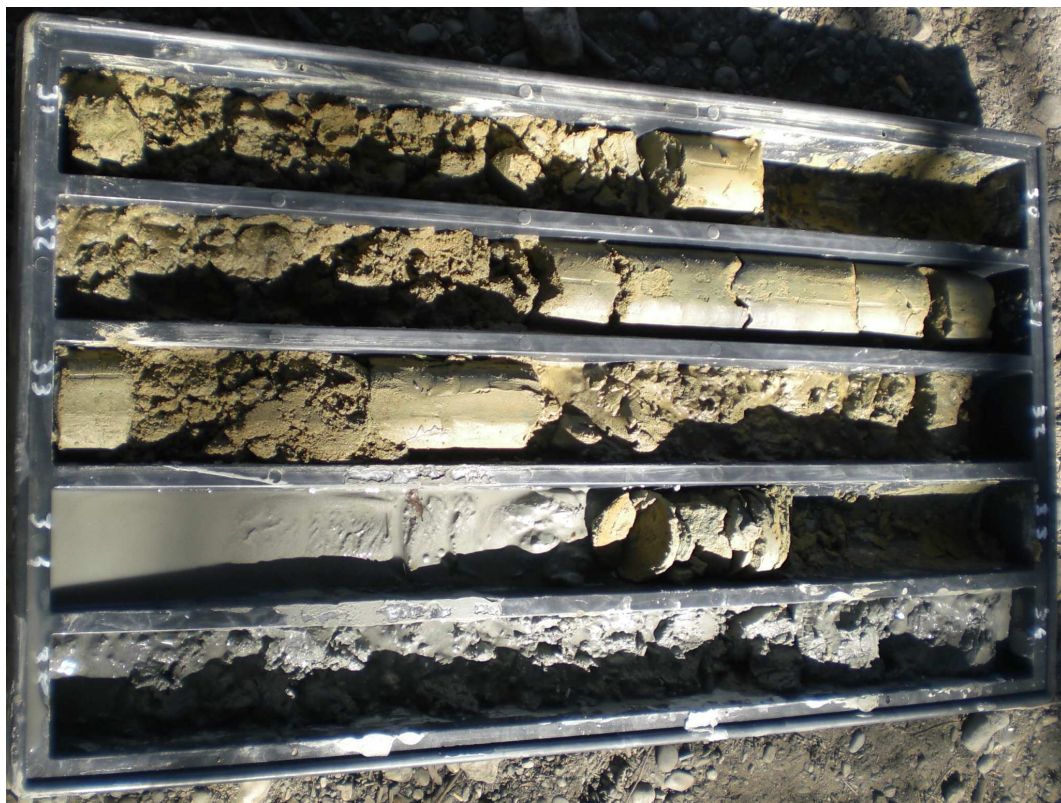
Sondaggio SL cassetta 4



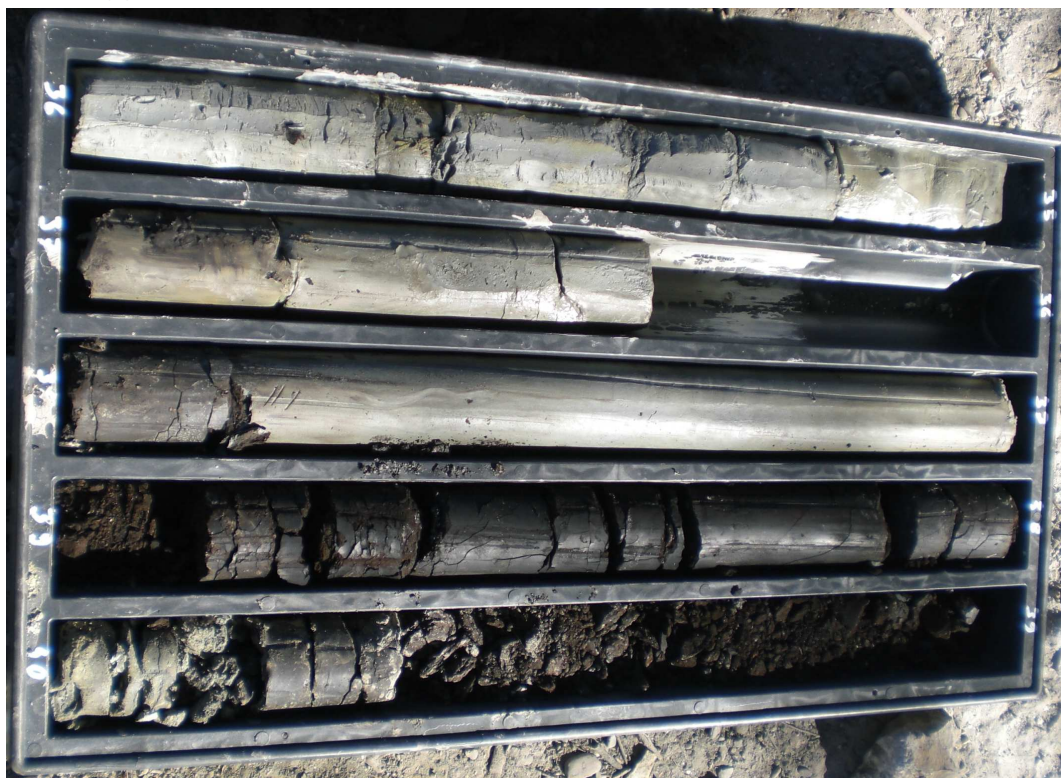
Sondaggio SL cassetta 5



Sondaggio SL cassetta 6

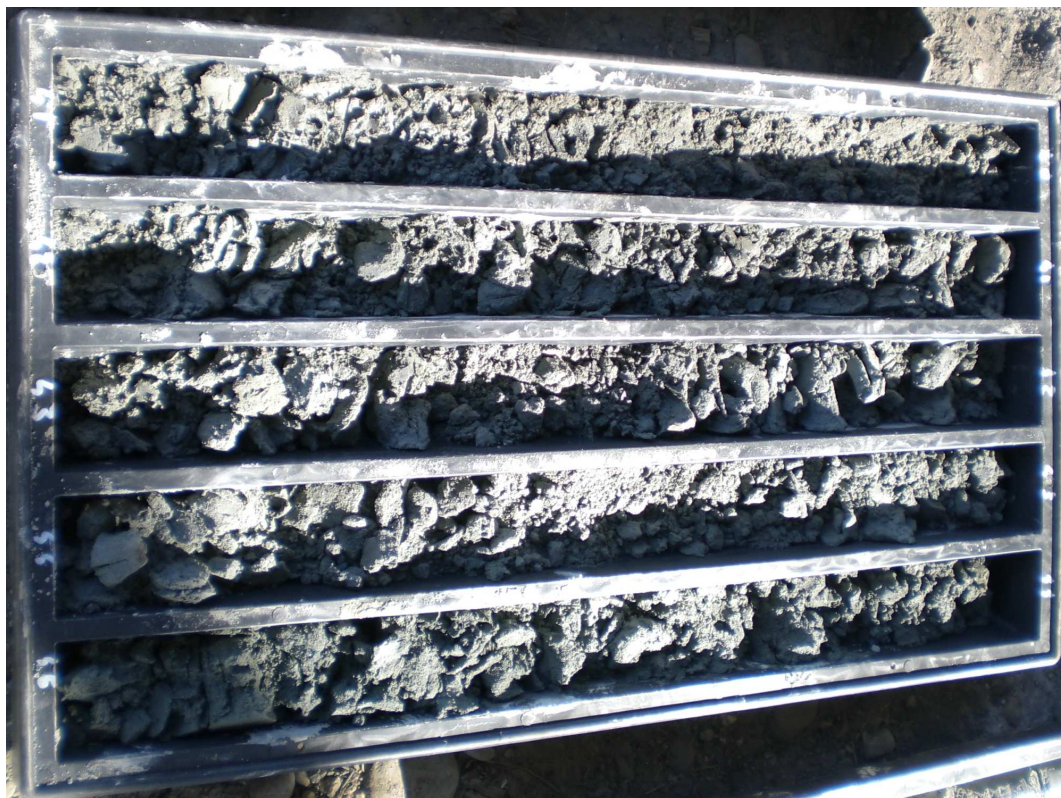


Sondaggio SL cassetta 7



Sondaggio SL cassetta 8

FASCICOLO INDAGINI



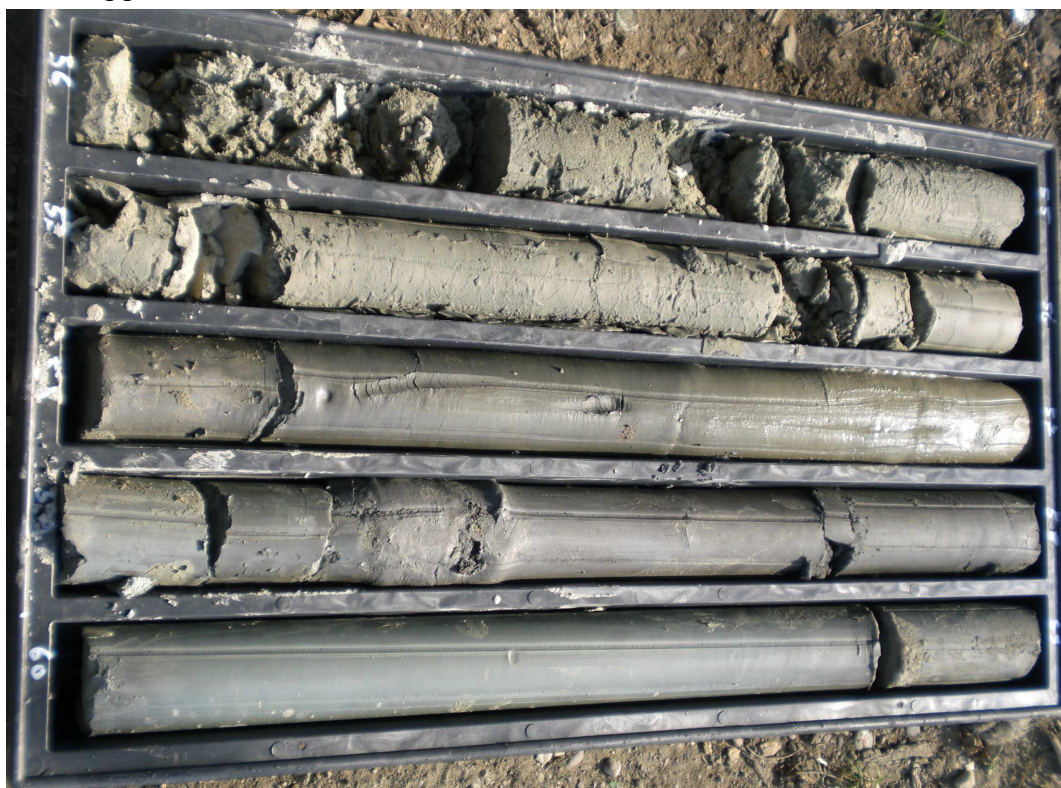
Sondaggio SL cassetta 9



Sondaggio SL cassetta 10

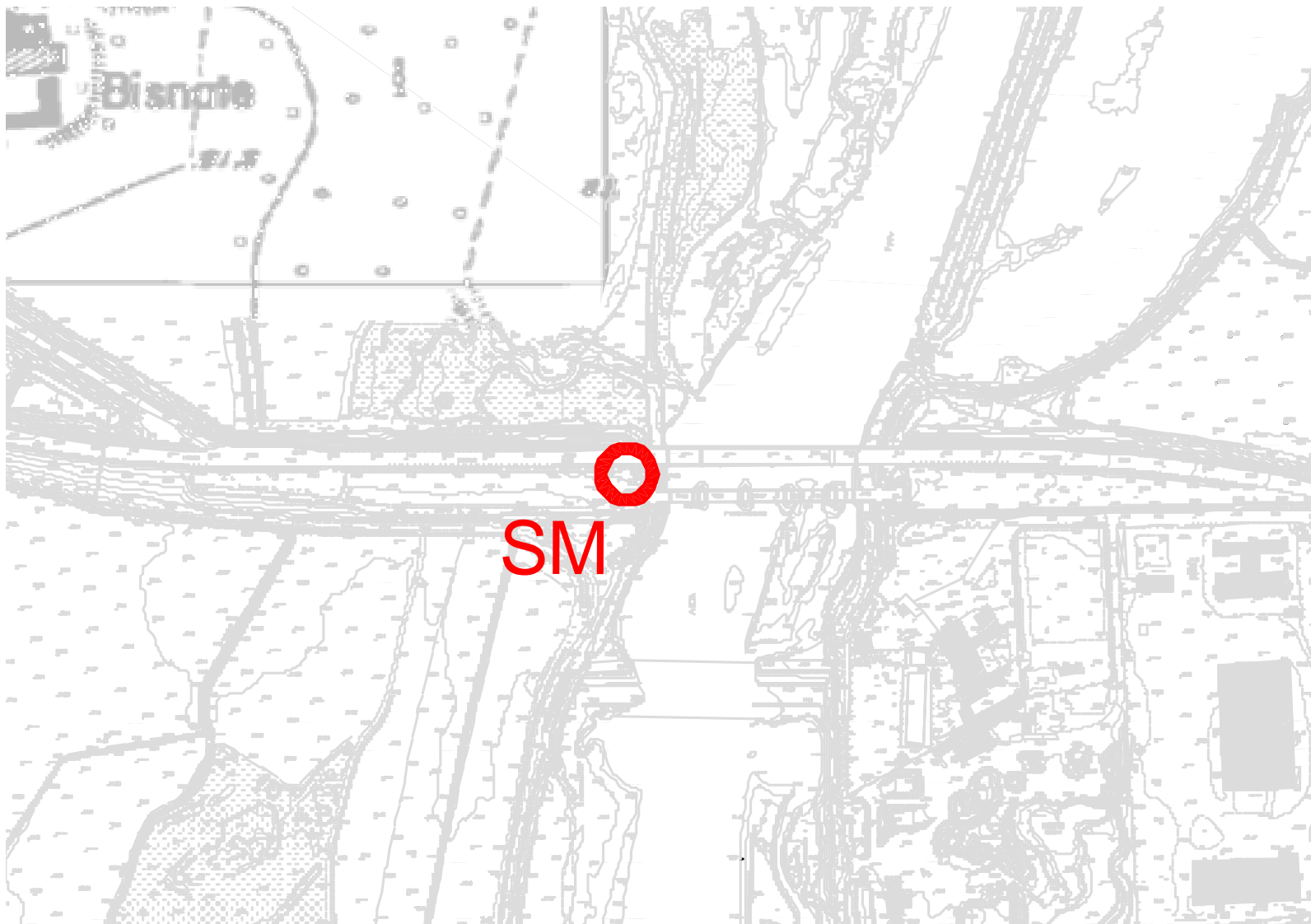


Sondaggio SL cassetta 11



Sondaggio SL cassetta 12

FASCICOLO INDAGINI





# TERRA

company srl

COMMITTENTE Provincia di Milano

LOCALITA' SS.415 PAULLESE

QUOTA ASSOLUTA P.C. 86.73 m.s.l.m.

SONDAGGIO

N° SM

DATA  
21-03-08

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio	CAMPIONI		H <sub>2</sub> O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	modulo pressiometrico E (MPa)	modulo di taglio G (MPa)	S.P.T.			NOTE
				tipo	profond. mt.					15	30	45	
9.00							Ghiaia sabbiosa a matrice limosa (rilevato stradale)			m3.00-3.45 14 21 22			
										m6.00-6.45 20 R <sub>2cm</sub>			
										m9.00-9.45 11 12 24			
										m12.00-12.45 R <sub>5cm</sub>			
							Ghiaia con sabbia, da moderatamente addensata ad addensata. Presenza di clasti con dimensioni variabili da 30 a 80 mm. Il livello si presenta di colore grigio chiaro			m15.00-15.45 23 36 45			
21.00										m18.00-18.45 21 33 45			

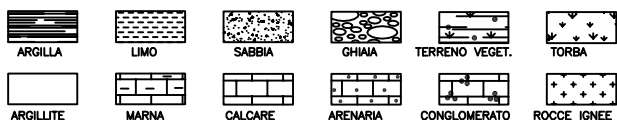
CAMPIONE:  Rimaneggiato  Semidisturbato  Indisturbato

CASSETTE CATALOGATRICI

n° 12

LIVELLO FALDA

DATA	Prof. foro	Prof. rivestim.	Livello acqua
21-03-08	m 10.00	m 9.00	m 13.00
22-03-08	m 19.00	m 18.00	m 9.00
23-03-08	m 60.00	m 57.00	m 7.80



profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio	CAMPIONI		H <sub>2</sub> O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	modulo pressiometrico E (MPa)	modulo di taglio G (MPa)	S.P.T.			NOTE	
				tipo	profond. mt.					15	30	45		
29.00									m21.00-21.45 17 24 34			45		
							Sabbia con ghiaia di colore marrone. All'interno del livello sono presenti orizzonti a prevalenza ghiaiosa. Il grado di addensamento è buono. La matrice è di natura limosa			m24.00-24.45 21 28 39				
										m27.00-27.45 17 26 38				
										m30.00-30.45 13 19 26				
							Ghiaia sabbiosa, da addensata a moderatamente addensata. Presenza di clasti con dimensioni variabili da 30 cm a 100 mm. Il livello si presenta di colore marrone			m33.00-33.45 15 19 28				
37.00										m36.00-36.45 19 37 38				
										m39.00-39.45 7 7 6				
							Limo sabbioso talvolta argilloso da moderatamente consistente a consistente. Alla profondità di 39 m da p.c. si riscontra una evidente variazione cromatica: si passa infatti da un orizzonte di colore marrone ad un orizzonte grigio plumbeo							
41.70														

CAMPIONE:  Rimaneggiato  Semidisturbato  Indisturbato



CASSETTE  
CATALOGATRICI

n° 12

LIVELLO FALDA

DATA	Prof. foro	Prof. rivestim.	Livello acqua
21-03-08	m 10.00	m 9.00	m 13.00
22-03-08	m 19.00	m 18.00	m 9.00
23-03-08	m 60.00	m 57.00	m 7.80

profondità strat. mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio	CAMPIONI		H <sub>2</sub> O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	modulo pressiometrico E (MPa)	modulo di taglio G (MPa)	S.P.T.			NOTE
				tipo	profond. mt.					15	30	45	
43.00							Torba di colore nero. Il livello si presenta compatto						
44.00					44.00		Limo sabbioso a volte argilloso, da moderatamente consistente a consistente, di colore grigio plumbeo						
					44.50								
53.00					53.10		Sabbia limosa talvolta ghiaiosa di colore grigio. Il livello si presenta alquanto addensato						
					53.50								
57.20							Sabbia fine intervallata da veli limosi di colore grigio (moderatamente addensate)						
59.00							Limo sabbioso consistente di colore grigio						
60.00							Sabbia limosa di colore grigio. Il livello si presenta alquanto addensato						

CAMPIONE:  Rimaneggiato  Semidisturbato  Indisturbato

ARGILLA	LIMO	SABBIA	GHIAIA	TERRENO VEGET.	TORBA
ARGILLITE	MARNA	CALCARE	ARENARIA	CONGLOMERATO	ROCCHE IGNEE

CASSETTE CATALOGATRICI

n° 12

LIVELLO FALDA			
DATA	Prof. foro	Prof. rivestim.	Livello acqua
21-03-08	m 10.00	m 9.00	m 13.00
22-03-08	m 19.00	m 18.00	m 9.00
23-03-08	m 60.00	m 57.00	m 7.80



Postazione Sondaggio SM



Sondaggio SM cassetta 1



Sondaggio SM cassetta 2



Sondaggio SM cassetta 3



Sondaggio SM cassetta 4



Sondaggio SM cassetta 5



Sondaggio SM cassetta 6

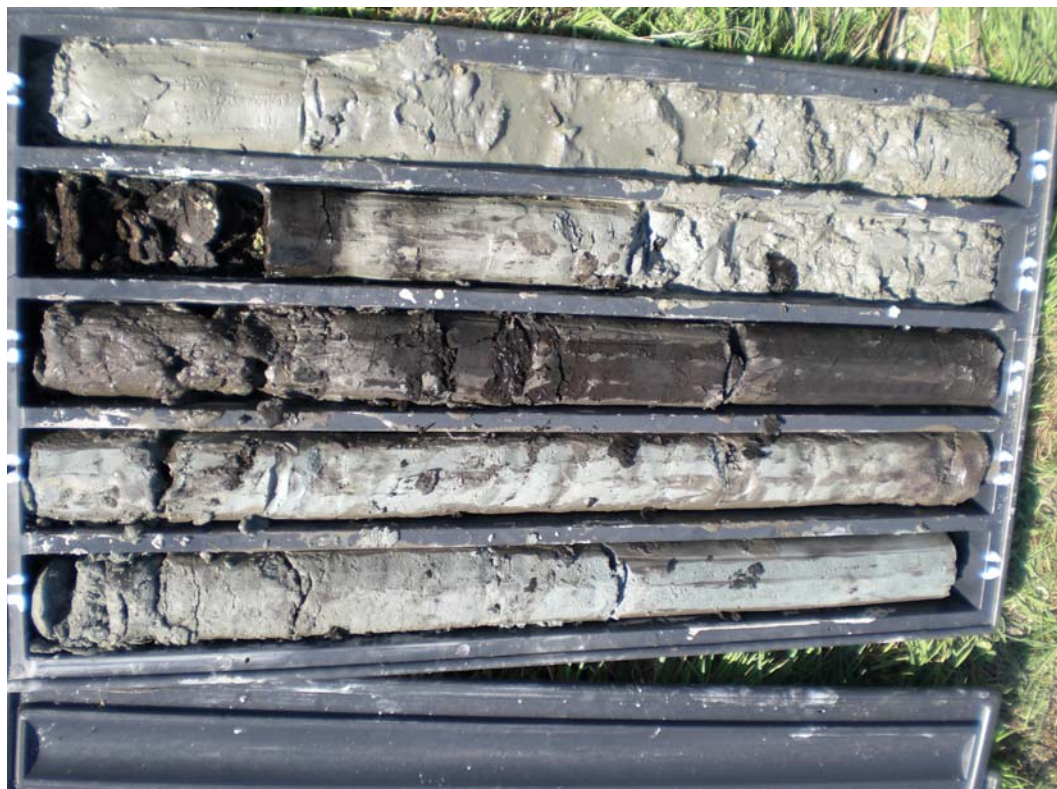


Sondaggio SM cassetta 7



Sondaggio SM cassetta 8





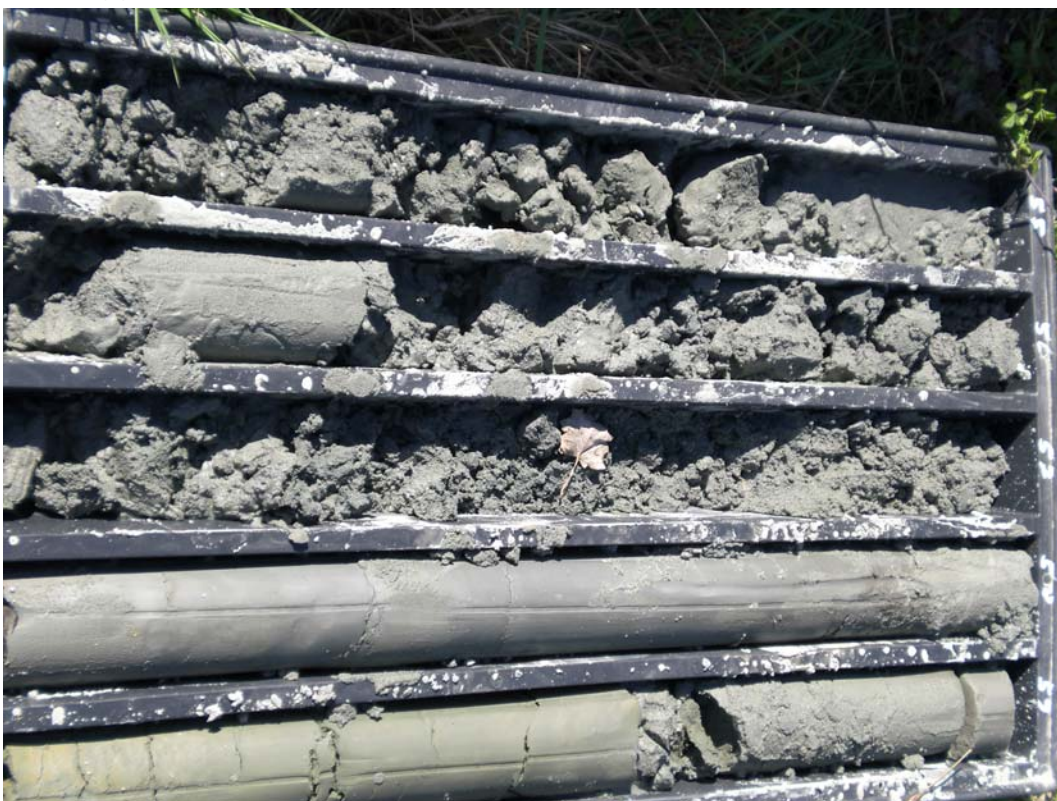
Sondaggio SM cassetta 9



Sondaggio SM cassetta 10



Sondaggio SM cassetta 11

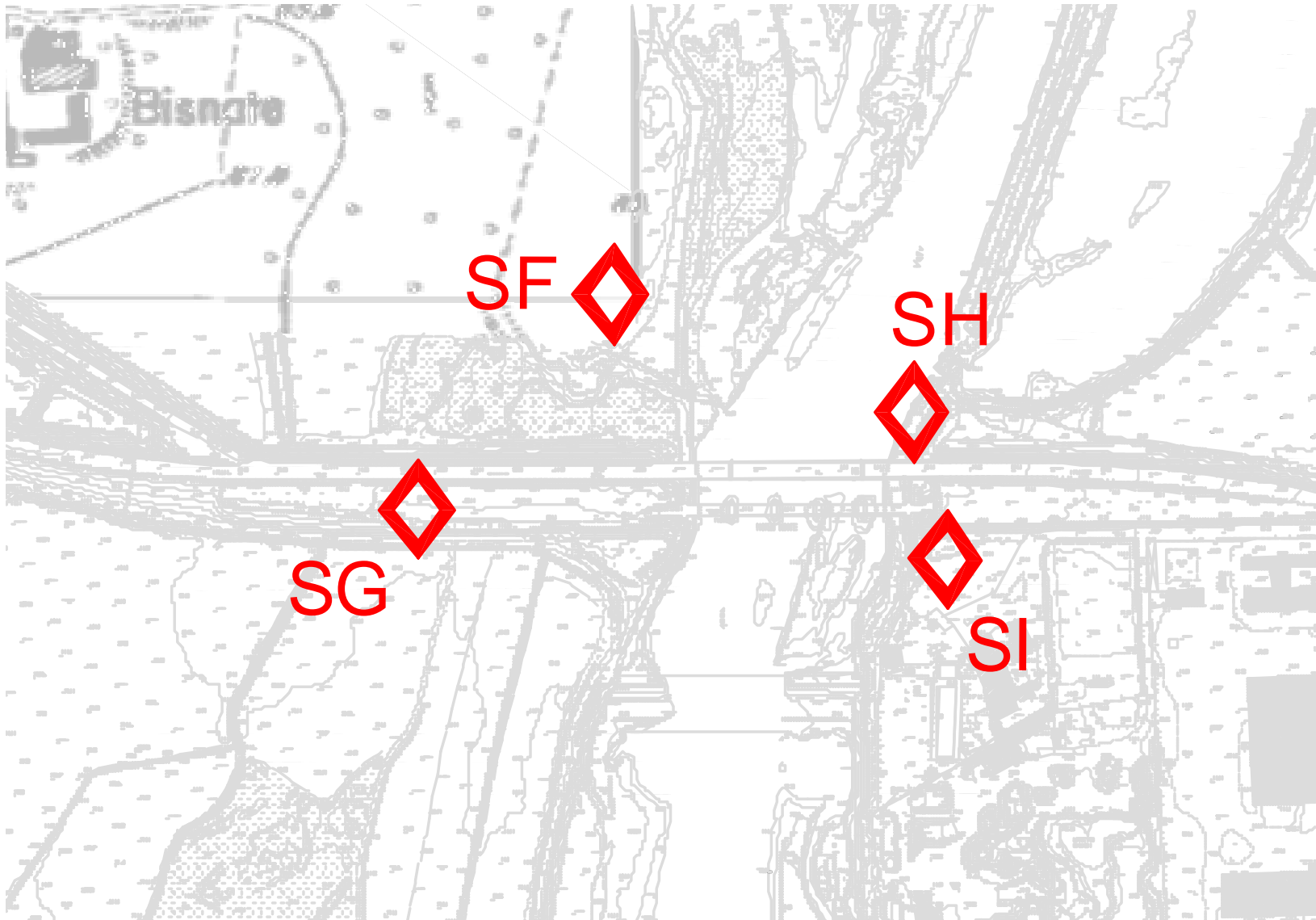


Sondaggio SM cassetta 12

ALLEGATO  
***Campagna 2002***

*Corografie di riferimento*  
*Stratigrafie Sondaggi*  
*Documentazione fotografica*

FASCICOLO INDAGINI



# TERRA

compagny srl

COMMITTENTE Provincia di Milano

LOCALITA' SS.415 PAULLESE

QUOTA ASSOLUTA P.C. 81.34 m.s.l.m.

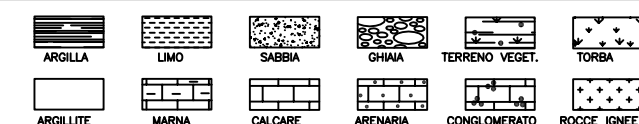
SONDAGGIO

N° SF

DATA  
27/28-05-02

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio	CAMPIONI		H <sub>2</sub> O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	modulo pressiometrico E (MPa)	modulo di taglio G (MPa)	S.P.T.			NOTE
				tipo	profond. mt.					15	30	45	
9.60							Ghiaia grossa sabbiosa, sciolta, da asciutta ad umida, eterogenea ed eterometrica diam. clasti 30-60mm, colore grigio.			m4.50-4.95 15 21 12			Foro di sondaggio attrezzato con piezometro Casagrande prof. da 3 a 21,0m
							Sabbia ghiaiosa debolmente limosa, debolmente addensata, diam. clasti max.30mm, eterometrici ed eterogenei.			m6.00-6.45 17 19 22			
13.30										m7.50-7.95 15 20 20			
13.70										m9.00-9.45 17 21 23			
14.00										m10.50-10.95 12 17 17			
14.20							Limo sabbioso, mediamente consistente, stratificato, umido di colore marrone-grigio.			m13.50-13.95 7 15 15			
14.90							Sabbia media grigia, debolmente addensata, poco limosa.						
							Limo sabbioso, mediam, consistente, stratificato umido, colore marrone-grigio.						
							Sabbia debolmente limosa, umida, poco addensata grigia.						
16.60							Limo sabbioso, poco addensato, umido, grigio-marrone.			m16.50-16.95 8 12 17			
17.80							Sabbia limosa, umida, poco addensata colore grigio.						
							Sabbia media debolmente limoso-ghiaiosa, (diam.max. clasti 30mm) sciolta o debolmente addensata.			m19.50-19.95 8 15 15			

CAMPIONE:  Rimaneggiato  Semidisturbato  Indisturbato



CASSETTE CATALOGATRICI

n° 6

LIVELLO FALDA

DATA	Prof. foro	Prof. rivestim.	Livello acqua
28-05-02	m 30.00	m 15.00	m

# TERRA

compagny srl

COMMITTENTE Provincia di Milano

LOCALITA' SS.415 PAULLESE

QUOTA ASSOLUTA P.C. 81.34 m.s.l.m.

SONDAGGIO

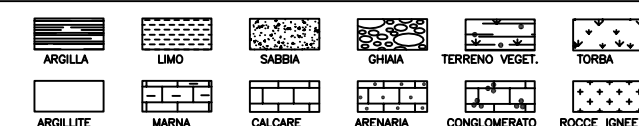
N° SF

DATA

27/28-05-02

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio	CAMPIONI		H <sub>2</sub> O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	modulo pressiometrico E (MPa)	modulo di taglio G (MPa)	S.P.T.			NOTE
				tipo	profond. mt.					15	30	45	
22.30							Sabbia media debolmente limoso-ghiaiosa, (diam. max. clasti 30mm) sciolta o debolmente addensata.						Foreo di sondaggio attrezzato con piezometro Casagrande prof. da 3 a 21,0m
22.50							Limo sabbioso, poco addensato, umido, grigio marrone con screziature ocra, inclusi di ghiaietto diam. max. 10mm.						
30.00							Sabbia media, debolmente limoso-ghiaiosa (diam. max. clasti 20mm) da sciolta a debolmente addensata, grigia.						

CAMPIONE:  Rimaneggiato  Semidisturbato  Indisturbato



CASSETTE CATALOGATRICI

n° 6

LIVELLO FALDA

DATA	Prof. foro	Prof. rivestim.	Livello acqua
28-05-02	m 30.00	m 15.00	m

FASCICOLO INDAGINI



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SF**  
da m 0.0 a m 5.0



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SF**  
da m 5.0 a m 10.0



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SF**  
da m 10.0 a m 15.0

FASCICOLO INDAGINI



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SF**  
da m 15,0 a m 20,0



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SF**  
da m 20,0 a m 25,0



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SF**  
da m 25,0 a m 30,0



# TERRA

compagny srl

COMMITTENTE Provincia di Milano

SONDAGGIO

LOCALITA' SS.415 PAULLESE

N° SG

QUOTA ASSOLUTA P.C. 86.20 m.s.l.m.

 DATA  
29/30/31-05-02  
01/06/02

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio	CAMPIONI		H <sub>2</sub> O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	modulo pressiometrico E (MPa)	modulo di taglio G (MPa)	S.P.T.			NOTE
				tipo	profond. mt.					15	30	45	
0.60							Terreno di riporto con ciottoli.						
3.00							Ghiaiello medio-grosso con sabbia; clasti eterometrici ed eterogenei diam. max. 20mm di colore marrone nocciola.						
3.70							Limo argilloso con ghiaiello diam. max.10mm consistente, asciutto, con inclusi vegetali, di colore marrone nocciola, piccoli frammenti di laterizi.						
							Ghiaiello medio-grosso con sabbia; clasti eterometrici ed eterogenei diam. max. 20mm di colore marrone nocciola. Livello limoso a mt.11.00-11.30 di colore marrone-grigio.		m4.50-4.95 11 18 26				Fore di sondaggio attrezzato con piezometro Casagrande prof. da 3 a 24,0m
									m6.00-6.45 24 17 11				
									m7.50-7.95 18 20 28				
									m9.00-9.45 35 50 R				
									m10.50-10.95 26 29 34				
12.00							Sabbia debolmente limosa e ghiaiosa, debolmente umida, poco consistente, diam. max. clasti 20mm.						
13.80							Ghiaia media con sabbia, clasti eterometrici ed eterogenei (diam. max. 30mm), ben arrotondati, sciolta, grigia. Livelli limosi a mt.14.00 e 14.30.						
15.00							Sabbia debolmente ghiaiosa sciolta, con clasti ciottolosi diam. max. 20mm grigia, locali livelli limoso-sabbiosi a mt.18,00, 18.50, 18.90.		m16.50-16.95 10 16 15				
19.00							Ghiaia media sabbiosa, clasti eterometrici ed eterometrici ben arrotondati, diam. max. 40mm, sciolta o poco addensata.						
20.00							Limo sabbioso mediamente addensato, grigio, con sporadico ghiaiello diam. max. 20mm.						

 CAMPIONE:  Rimaneggiato  Semidisturbato  Indisturbato

 CASSETTE  
CATALOGATRICI

n° 8

LIVELLO FALDA

DATA	Prof. foro	Prof. rivestim.	Livello acqua
01-06-02	m 40.00	m /	m /



# TERRA

compagny srl

COMMITTENTE Provincia di Milano

SONDAGGIO

LOCALITA' SS.415 PAULLESE

N° SG

QUOTA ASSOLUTA P.C. 86.20 m.s.l.m.

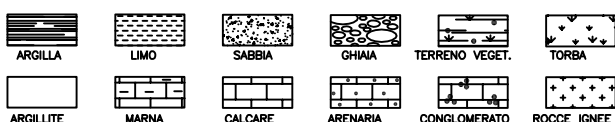
DATA  
29/30/31-05-02  
01/06/02

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio	CAMPIONI		H <sub>2</sub> O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	modulo pressiometrico E (MPa)	modulo di taglio G (MPa)	S.P.T.			NOTE
				tipo	profond. mt.					15	30	45	
22.50							Limo sabbioso, mediamente addensato, grigio, con sporadico ghiaietto diam. max. 20mm.						Foreo di sondaggio attrezzato con piezometro Casagrande prof. da 3 a 24,0m
25.00							Sabbia limosa, poco adensata, grigia, umida.						
25.30							Limo sabbioso, mediamente addensato, grigio, con sporadico ghiaietto diam. max. 20mm con screziature ocra.						
29.70							Sabbia limosa, poco adensata, grigia, umida.						
30.50							Limo sabbioso (no ciottoli), grigio.						
34.80							Sabbia limosa, poco adensata, grigia, umida.						
36.00							Limo sabbioso, abbastanza consistente umido, con ghiaietto, di colore marrone grigio.						
40.00							Limo ghiaioso-sabbioso umido, abbastanza consistente, diam. max. clasti 30mm, marrone nocciola con screziature ruggine.						

CAMPIONE:  Rimaneggiato  Semidisturbato  Indisturbato

CASSETTE  
CATALOGATRICI

LIVELLO FALDA



n° 8

DATA	Prof. foro	Prof. rivestim.	Livello acqua
01-06-02	m 40.00	m /	m /

FASCICOLO INDAGINI



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SG**  
da m 0.0 a 5.0



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SG**  
da m 5.0 a 10.0



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SG**  
da m 10.0 a 15.0



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SG**  
da m 15.0 a 20.0

FASCICOLO INDAGINI



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SG**  
da m 20,0 a m 25,0



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SG**  
da m 25,0 a m 30,0



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SG**  
da m 30,0 a m 35,0



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SG**  
da m 35,0 a m 40,0

# TERRA

compagny srl

COMMITTENTE Provincia di Milano

SONDAGGIO

LOCALITA' SS.415 PAULLESE

N° SH

QUOTA ASSOLUTA P.C. 79.44 m.s.l.m.

DATA

21/22/24-05-02

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio	CAMPIONI		H <sub>2</sub> O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	modulo pressiometrico E (MPa)	modulo di taglio G (MPa)	S.P.T.			NOTE	
				tipo	profond. mt.					15	30	45		
3.40							Ghiaia grossa sabbiosa, eterogenea ed eterometrica (diam. max. 60mm), sciolta, ben arrotondata, grigia.			m1.50-1.95	16	19	21	Foro di sondaggio attrezzato con piezometro Casagrande prof. da 3 a 12,0m
3.80						Ghiaia media sabbiosa, eterogenea ed eterometrica (diam. max 20mm) sciolta, ben arrotondata, grigia.			m3.00-3.45	18	23	24		
5.00						Ghiaia medio-grossa limoso-sabbiosa, ciottoli arrotondati, eterogenea ed eterometrica, poco addensata, grigia.			m4.50-4.95	15	24	21		
6.10						Ghiaia grossa sabbiosa debolmente limosa, eterometrica ed eterogenea (diam. max.60mm).								
6.20						Limo sabbioso con ghiaietto (diam. max. 10mm) debolmente umido, moderatamente consistente, grigio.								
8.50						Ghiaia media sabbioso-limosa, ben arrotondata, poco addensata (diam. max.40mm), grigia.			m7.50-7.95	19	21	23		
9.50						Limo sabbioso con ghiaietto (diam. max. 10mm) debolmente umido, moderatamente consistente, grigio.								
9.70						Sabbia media ghiaiosa, poco addensata, poco umida, grigia.								
11.20						Sabbia media ghiaiosa, poco addensata, umida, diam. max. clasti 30mm, grigio marrone nocciola. Livelletto limoso a m10.40 spessore 30mm.			m10.30-10.75	28	35	37		
12.60						Sabbia fine argillosa poco ghiaiosa (circa 10%), mediamente addensata, umida, grigio chiaro.			m12.00-12.45	19	21	27		
13.30						Sabbia argillosa debolmente limosa mediamente addensata, umida, colore grigio marrone.								
13.50						Argilla limoso-sabbiosa mediamente consistente, debolmente umida, livelletti sabbiosi spessi circa 3-4mm, grigia.			m13.50-13.95	10	12	21		
									m15.00-15.45	23	28	28		
									m16.50-16.95	23	29	31		
						Sabbia media limosa debolmente ghiaiosa (circa 10%) (diam. max. clasti 30mm), poco addensata, umida, grigia-marrone. Locali livelletti argillosi, grigi, spessore max. 3-4mm.			m18.00-18.45	18	25	28		
									m19.50-19.95	19	21	27		

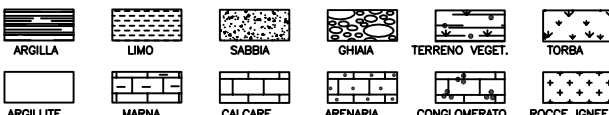
CAMPIONE:  Rimaneggiato  Semidisturbato  Indisturbato

CASSETTE CATALOGATRICI

n° 8

LIVELLO FALDA

DATA	Prof. foro	Prof. rivestim.	Livello acqua
24-05-02	m 40.00	m 18.00	m 3.70



# TERRA

compagny srl

COMMITTENTE Provincia di Milano

SONDAGGIO

LOCALITA' SS.415 PAULLESE

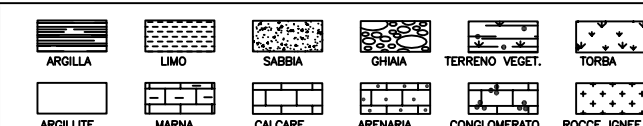
N° SH

QUOTA ASSOLUTA P.C. 79.44 m.s.l.m.

DATA  
21/22/24-05-02

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio	CAMPIONI		H <sub>2</sub> O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	modulo pressiometrico E (MPa)	modulo di taglio G (MPa)	S.P.T.			NOTE
				tipo	profond. mt.					15	30	45	
23.20							Sabbia media limosa debolmente ghiaiosa (circa 10%) (diam. max. clasti 30mm), poco addensata, umida, grigia-marrone. Locali livelletti argillosi, grigi, spessore max. 3-4mm.		m21.00	19.24	21.45	29	Foreo di sondaggio attrezzato con piezometro Casagrande prof. da 3 a 12,0m
24.40						Limo sabbioso poco ghiaioso (circa 20%), umido, mediamente consistente, colore marrone nocciola con screziature ocracee, inclusi ghiaiosi eterometrici ed eterogenei (diam. max. 30mm), ben arrotondati.		m24.00	18.21	24.45	21		
25.00						Sabbia ghiaiosa, poco consistente, umida, clasti eterogenei es eterometrici (diam. max.40mm) grigia.							
26.30						Sabbia media debolmente ghiaiosa (circa 10%), sciolta, poco consistente, umida, grigia.							
40.00						Argilla sabbiosa con locali livelletti limosi (spessore circa 2-5mm) mediamente consistente, umida, grigio-marrone nocciola.							

CAMPIONE:  Rimaneggiato  Semidisturbato  Indisturbato



CASSETTE  
CATALOGATRICI

n° 8

LIVELLO FALDA

DATA	Prof. foro	Prof. rivestim.	Livello acqua
24-05-02	m 40.00	m 18.00	m 3.70

FASCICOLO INDAGINI



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SH**  
da m 0.0 a m 5.0



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SH**  
da m 5.0 a m 10.0



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SH**  
da m 10.0 a m 15.0



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SH**  
da m 15.0 a m 20.0

FASCICOLO INDAGINI



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SH**  
da m 20.0 a m 25.0



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SH**  
da m 25.0 a m 30.0



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SH**  
da m 30.0 a m 35.0



**TERRA COMPANY**  
**SS 415 Paullese**  
**SH**  
da m 35.0 a m 40.0



# TERRA

compagny srl

COMMITTENTE Provincia di Milano

SONDAGGIO

LOCALITA' SS.415 PAULLESE

N° SI

QUOTA ASSOLUTA P.C. 81.01 m.s.l.m.

DATA  
20/21-05-02

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio	CAMPIONI		H <sub>2</sub> O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	modulo pressiométrico E (MPa)	modulo di taglio G (MPa)	S.P.T.			NOTE
				tipo	profond. mt.					15	30	45	
3.40							Ghiaia medio-grossa, probabilmente di riporto, eterometrica ed eterogenea (diam.max. clasti 40mm), ben arrotondata sciolta di colore bruno tortora.			m1.50-1.95 24 14 13			Foro di sondaggio attrezzato con piezometro Casagrande prof. da 3 a 12,0m
5.60							Ghiaia media limosa, clasti ben arrotondati, eterometrica ed eterogenea, (diam.max. clasti 40mm), sciolta di colore grigio chiaro.			m3.00-3.45 9 9 21			
7.50							Sabbia media limosa con ghiaietto (diam.clasti max.50mm) poco addensata, umida, di colore marrone-grigio.			m4.50-4.95 13 26 23			
8.90							Sabbia media debolmente limosa, poco addensata umida, di colore marrone nocciola con screziature ocracee, inclusi ciottoli diam.max.20mm.			m6.00-6.45 15 24 25			
11.70							Ghiaia medio-grossa con limo, sciolta, clasti ben arrotondati, eterometrici ed eterogeni (diam.max. 50mm) marrone chiaro con screziature ocra, debolmente umida. (livello limoso a 10.60-10.70).			m7.50-7.95 16 9 14			
13.50							Ghiaia medio-grossa con limo, sciolta, clasti ben arrotondati, eterometrici ed eterogeni (diam.max. 50mm) marrone chiaro con screziature ocra, debolmente umida. (livello limoso a 10.60-10.70).			m10.50-10.95 14 15 17			
16.00							Limo argilloso-ghiaioso, mediamente addensato, umido di colore marrone-grigio, clasti ciottolosi ben arrotondati diam.max. 30mm.			m12.00-12.45 15 16 19			
16.50							Limo argilloso con ghiaietto, poco addensato, umido grigio con screziature locali di colore ocra.			m13.50-13.95 14 17 20			
18.50							Limo argilloso debolmente sabbioso, mediamente addensato umido di colore grigio-marrone nocciola.			m15.00-15.45 13 16 18			
20.00							Sabbia fine limosa, mediamente addensata, umida con locali livelletti argilloso-limosi (circa 18.45-18.50) di colore grigio-marrone nocciola.			m16.50-16.95 R R R			
							Sabbia limosa debolmente marnosa (clasti ciottolosi ben arrotondati, eterometrici ed eterogenei diam.max.20mm) poco addensata, di colore marrone-grigio.						

CAMPIONE:  Rimaneggiato  Semidisturbato  Indisturbato

CASSETTE CATALOGATRICI

LIVELLO FALDA



n° 4

DATA	Prof. foro	Prof. rivestim.	Livello acqua
20-05-02	m 20.00	m 17.00	m 5.50

FASCICOLO INDAGINI



**TERRA COMPANY**  
**S.S.415 Paulse**  
**SI**  
da m 0,0 a m 5,0



**TERRA COMPANY**  
**S.S.415 Paulse**  
**SI**  
da m 5,0 a m 10,0



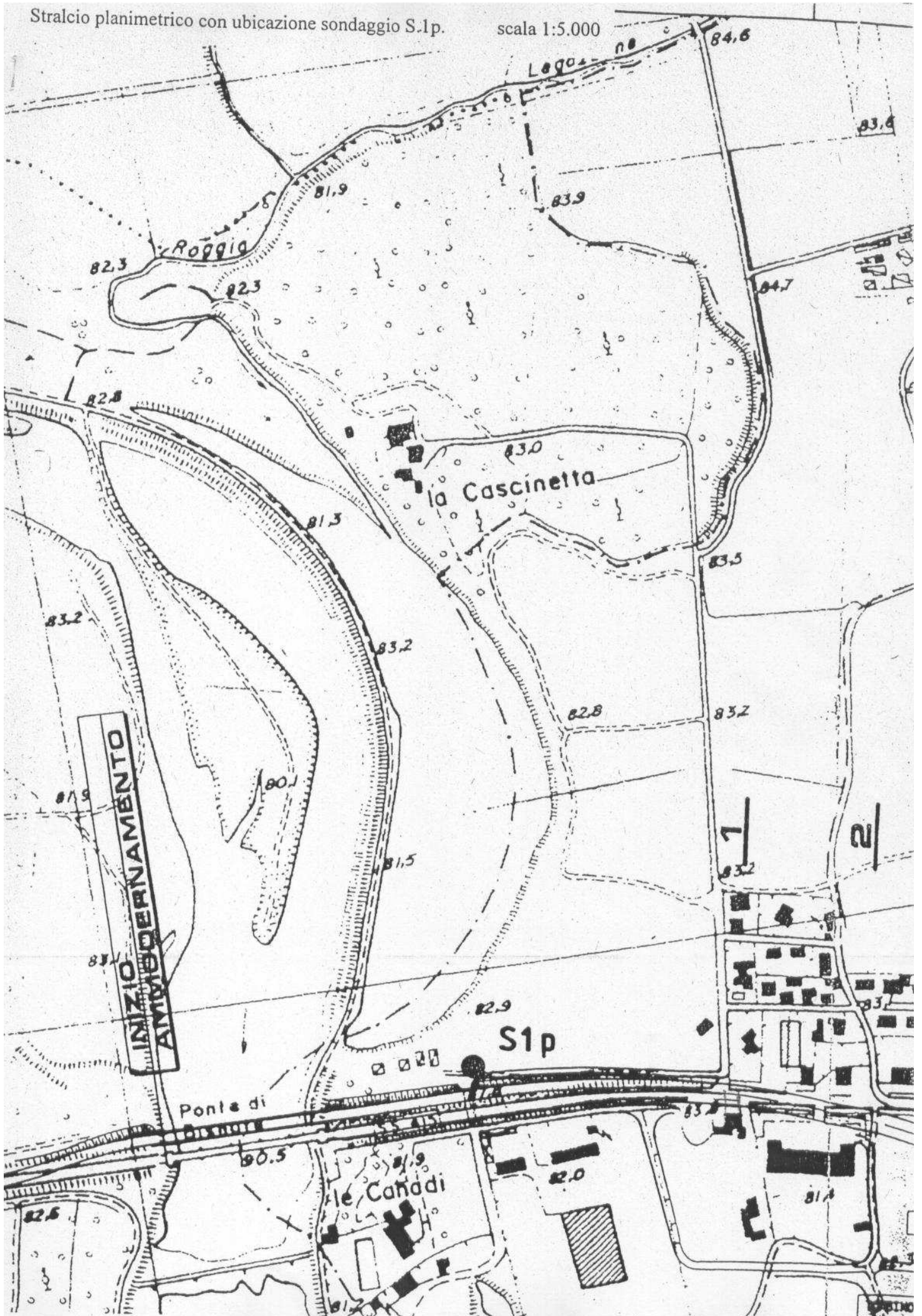
**TERRA COMPANY**  
**S.S.415 Paulse**  
**SI**  
da m 10,0 a m 15,0



**TERRA COMPANY**  
**S.S.415 Paulse**  
**SI**  
da m 15,0 a m 20,0

Stralcio planimetrico con ubicazione sondaggio S.1p.

scala 1:5.000



SERCASA SPA  
 Geotecnica Ambientale  
 Via Ciceri Visconti, 2 20137 Milano  
 tel. 025425911

Committente: Provincia di Cremona  
 Località: S.S. 415, Golena Fiume Adda  
 Sondaggio: S.1p

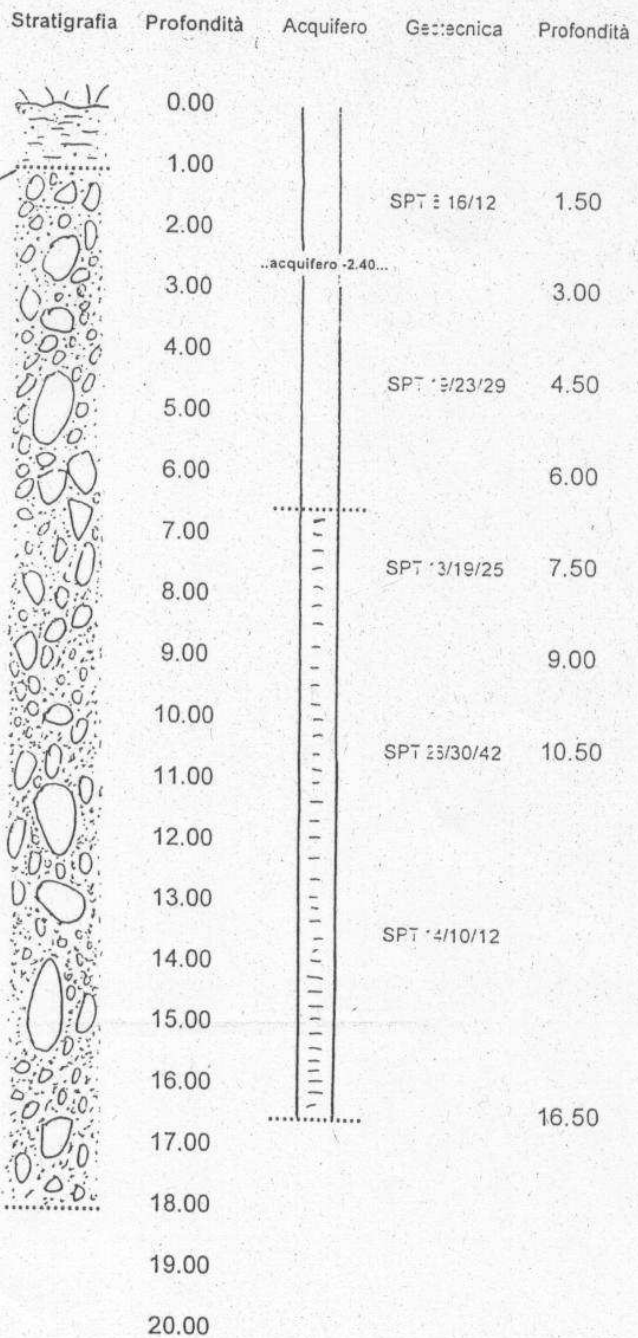
DESCRIZIONE LITOLOGICA

Limo sabbioso deb. argilloso bruno  
 (da 0.00 a 0.80)

Sabbia da fine a grossolana deb. limosa  
 grigiastra con  
 ghiaia da fine a grossolana poligenica  
 e con ciottoli (diam. max 10 cm)

(da -0.70 a -20.00m da p.c.)

Fine sondaggio



NOTE: Utilizzate 4 casse catalogatrici

Esecuzione 28-29/01/1999



ALLEGATO  
***Campagna 2008***

*Documentazione Prova Down-Hole*



**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°66/08/S**

**SETTORE:** Geofisica – sismica down-hole  
**COMMITTENTE:** TERRACOMPANY s.r.l.  
**D.L.:** Dott. Geol. M. De Marco  
**CANTIERE:** Montaione (FI)  
**RIFERIMENTO:** R.P.E. n°71/08

### **Indice:**

Premessa

- 1 Correlazione tra velocità delle onde sismiche e parametri elastici e geomeccanici
- 2 Procedure di campagna
- 3 Metodo di elaborazione dei dati
- 4 Presentazione dei dati
- 5 Risultati dell'indagine
- 6 Calcolo del parametro Vs30
- 7 Caratteristiche della strumentazione

Il Direttore del Laboratorio  
Ing. F. Politi

Il Tecnico  
Geol. A. Farolfi

## Premessa

Su incarico della Terracompany s.r.l., sotto la D.L. del Dott. Geol. M. De Marco è stata eseguita una prospezione sismica in foro con onde P ed SH presso il ponte sul fiume Adda, sulla S.P. Paullese, Milano, all'interno di un sondaggio eseguito in modalità di carotaggio continuo ed attrezzato con tubo piezometrico, spinto fino alla profondità di 39 m.

### 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  $\sigma_{ij}$  e la deformazione prodotta  $\epsilon_{kl}$ ) espressa come:

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

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 ( $G$ ,  $E$ ,  $K$ ,  $\nu$ ), mentre  $\lambda$  rappresenta una semplificazione nelle formule.

In senso più generale possono essere definite le costanti di Lamè  $\lambda$  e  $\mu$  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  $\nu$  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 **v** 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<sub>p</sub>** e **V<sub>s</sub>** 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 (1976), 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<sub>p</sub>** e **V<sub>s</sub>** non è costante e dipende dallo stato di saturazione e dalla pressione interstiziale dei pori, in Tabella I sono riportati valori medi delle **V<sub>p</sub>** per i principali litotipi e il range di **V<sub>s</sub>** relative comprese fra i rapporti di **V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub>** di 3.5 e 1.9; questi valori sono da ritenere indicativi in quanto in particolari condizioni il rapporto **V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub>** 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.

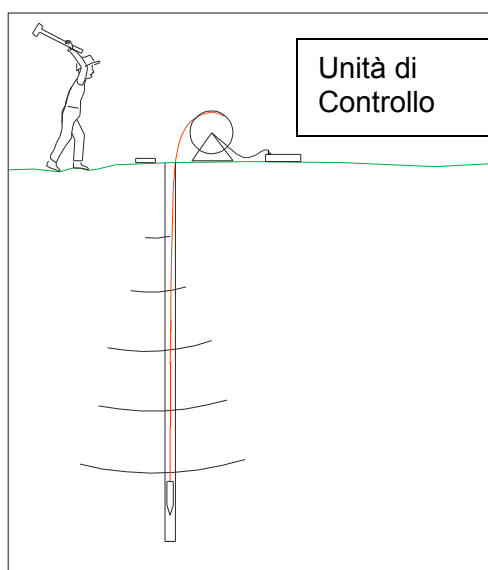
## 2 Procedure di campagna

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 poste 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 P di compressione, mentre per le onde SH di taglio 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.



**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.

La distanza sorgente-boccaforo è stata fissata in 3.0 m mentre il passo delle registrazioni è stato di 1 m.

In Allegato sono riportate le registrazioni di campagna separate per onde P e SH, per la prova down-hole.

### **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:

$$t_c = t_z * \cos ( \alpha z )$$

$$\alpha z = \text{arctang} ( d / z )$$

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. 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 e delle velocità delle onde P e delle onde SH rispetto alla profondità, e le Tabelle numeriche con i moduli elastici dinamici (rapporto di Poisson  $\nu$ , modulo di Taglio G, di Young E, di rigidità volumetrica K espressi in MPa); i valori di peso di volume utilizzati nei calcoli sono stimati sulla base delle litologie.

#### **4 Presentazione dei dati**

Nella presente relazione vengono forniti i seguenti elaborati:

- tabulati numerici dei tempi d'arrivo, delle velocità sismiche e dei parametri geofisici
- grafici delle dromocrone dei tempi di arrivo e delle velocità  $V_p$  e  $V_{sh}$
- registrazioni di campagna effettuate e rimontate separatamente per le onde P ed SH

#### **5 Risultati dell'indagine**

S1 (19 m): da piano campagna a 10 m di profondità i valori di velocità delle onde P (di compressione) variano fra 964 m/sec. e 1020 m/sec. mentre quelli delle onde SH (di taglio) sono compresi fra 199 m/sec. e 422 m/sec., riferibili, sulla base della stratigrafia fornita dalla D.L., ai materiali di riporto ed ai depositi di ghiaia sabbiosa. Da 10 m a 29 m di profondità le onde P hanno una velocità media di 1907 m/sec. e le SH di 342 m/sec., riferibili ai depositi di sabbie limose. DA 29 m a 36 m il valore medio delle onde di compressione diminuisce leggermente passando a 1693 m/sec. mentre la velocità delle onde di taglio ha un incremento passando ad una media di 486 m/sec., riferibili al passaggio ai depositi di limo argilloso. L'aumento della velocità delle onde di compressione e il contemporaneo abbassamento delle onde di taglio è riferibile alla variazione della plasticità dei depositi ed alla influenza delle pressioni interstiziali dei pori.

#### **6 Calcolo del parametro $V_{s30}$**

In riferimento all'Ordinanza P.C.M. n°3274/04 il calcolo del parametro  $V_{s30}$  è dato da:

$$V_{s30} = 30 / \sum_{i=1,N} (h_i/V_i)$$

dove  $h_i$  è lo spessore dello strato  $i$ -esimo e  $V_i$  è la velocità in m/sec. dello strato  $i$ -esimo.

Nella Tabella III viene riportato in m/sec., il valore di  $V_{s30}$  calcolato per I sondaggio sismico down-hole e relativa categoria di appartenenza, rispetto ai valori di riferimento della normativa.

Categorie di Suolo di Fondazione	$V_s 30$ m/sec.	$N_{spt} - C_u$
<b>A</b> Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/sec, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5m.	$V_{s30} > 800$	
<b>B</b> Depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero resistenza penetrometrica $N_{spt} > 50$ , o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa)	$360 < V_{s30} < 800$	$N_{spt} > 50$ $C_u > 250$ kPa
<b>C</b> Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec ( $15 < N_{spt} < 50$ , $70 < c_u < 250$ kPa)	$180 < V_{s30} < 360$	$15 < N_{spt} < 50$ $70 < C_u < 250$ kPa
<b>D</b> Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/sec ( $N_{spt} < 15$ , $c_u < 70$ kPa)	$V_{s30} < 180$	$N_{spt} < 15$ $C_u < 70$ kPa
<b>E</b> Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di $V_{s30}$ simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/sec.	$V_{s30} < 360$	
<b>S1</b> Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ( $I_p > 40$ ) e contenuto d'acqua, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/sec.	$V_{s30} < 100$	$10 < C_u < 20$ kPa
<b>S2</b> Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.		

Tabella II – Categorie di suolo di fondazione

Sondaggio	$V_{s30}$	Categoria
S1	317	C

Tab. III – Valori di  $V_{s30}$ 

## 7 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
- 
- 
-

## S.P. Paullese - Milano - DH SL Lato Cremona

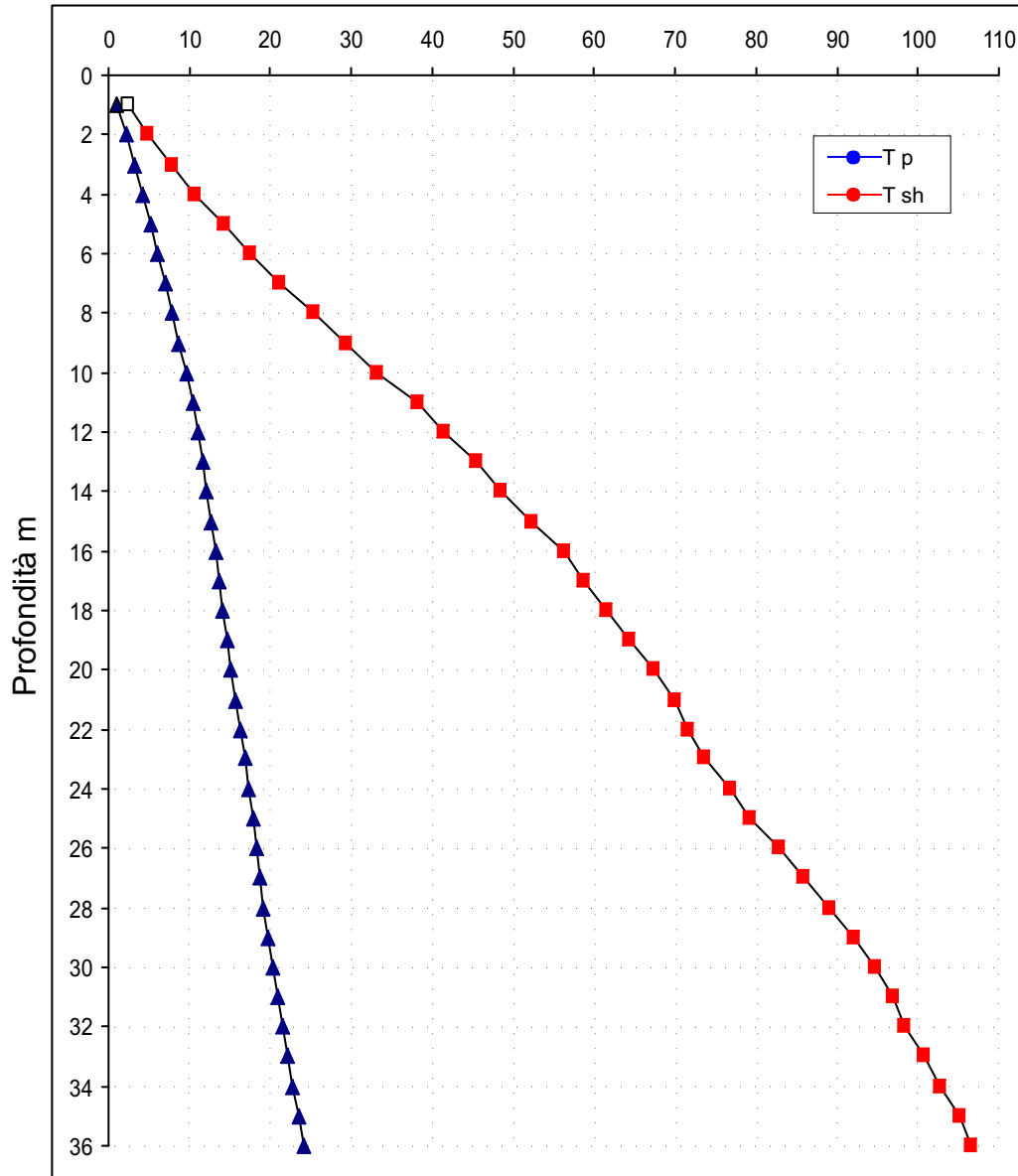
Z	Tp	Ts	Tp Corr.	Ts Corr.	VP	VS	$\rho$	$\nu$	G	E	K
m	ms	ms	ms	ms	m/sec.	m/sec.	t / m <sup>3</sup>	-	MPa	MPa	MPa
1	8.38	19.13	1.04	2.37	964	422	1.6	0.38	285	787	1106
2	9.00	20.25	2.18	4.91	875	394	1.6	0.37	249	682	893
3	9.38	22.13	3.29	7.76	902	350	1.6	0.41	196	554	1041
4	9.63	23.75	4.30	10.61	988	351	1.7	0.43	209	597	1381
5	9.75	27.13	5.16	14.37	1159	266	1.7	0.47	121	355	2123
6	10.13	29.13	6.07	17.46	1102	323	1.7	0.45	177	515	1829
7	10.63	32.13	6.99	21.14	1085	272	1.8	0.47	133	390	1942
8	11.00	35.75	7.77	25.27	1279	242	1.8	0.48	106	314	2805
9	11.63	39.25	8.68	29.32	1098	247	1.8	0.47	109	322	2025
10	12.38	42.63	9.66	33.27	1026	253	1.9	0.47	122	358	1838
11	12.88	47.38	10.41	38.30	1334	199	1.9	0.49	75	224	3283
12	13.25	49.88	11.02	41.49	1633	314	1.9	0.48	187	555	4817
13	13.63	53.38	11.60	45.45	1726	253	1.9	0.49	121	361	5499
14	13.98	55.88	12.14	48.50	1871	327	1.9	0.48	203	604	6382
15	14.38	59.25	12.68	52.27	1832	265	2.0	0.49	141	420	6522
16	14.75	62.88	13.19	56.23	1964	253	2.0	0.49	128	381	7545
17	15.13	65.00	13.68	58.80	2029	388	2.0	0.48	301	892	7836
18	15.50	67.25	14.16	61.44	2088	379	2.0	0.48	287	850	8340
19	15.88	69.75	14.63	64.27	2141	353	2.0	0.49	250	742	8837
20	16.34	72.50	15.17	67.31	1850	330	2.0	0.48	218	646	6557
21	16.88	74.88	15.77	69.96	1672	377	2.0	0.47	284	836	5210
22	17.38	76.25	16.33	71.65	1787	592	2.0	0.44	700	2015	5455
23	17.81	78.00	16.82	73.66	2030	497	2.0	0.47	494	1451	7581
24	18.26	81.00	17.32	76.84	1994	315	2.0	0.49	199	591	7686
25	18.74	83.25	17.85	79.28	1903	409	2.0	0.48	334	986	6796
26	19.20	86.75	18.35	82.91	1990	276	2.0	0.49	152	454	7715
27	19.63	89.63	18.82	85.93	2126	331	2.1	0.49	230	686	9186
28	20.04	92.75	19.27	89.17	2233	308	2.1	0.49	199	593	10207
29	20.50	95.63	19.76	92.18	2029	333	2.1	0.49	233	693	8331
30	21.00	98.00	20.29	94.68	1890	398	2.1	0.48	333	985	7056
31	21.60	100.13	20.91	96.94	1603	443	2.1	0.46	412	1202	4846
32	22.19	101.38	21.53	98.34	1632	714	2.1	0.38	1072	2962	4165
33	22.76	103.63	22.12	100.70	1690	424	2.1	0.47	377	1106	5492
34	23.38	105.63	22.75	102.81	1576	474	2.1	0.45	472	1369	4589
35	24.04	107.88	23.43	105.16	1466	426	2.1	0.45	382	1110	4006
36	24.63	109.25	24.04	106.64	1658	673	2.1	0.40	951	2666	4506

<b>Z</b>	<b>Profondità</b>
<b>Tp</b>	<b>Tempo di arrivo onde di compressione</b>
<b>Ts</b>	<b>Tempo di arrivo onde di taglio</b>
<b>Tp Corr.</b>	<b>Tempo di arrivo corretto onde di compressione</b>
<b>Ts Corr.</b>	<b>Tempo di arrivo corretto onde di taglio</b>

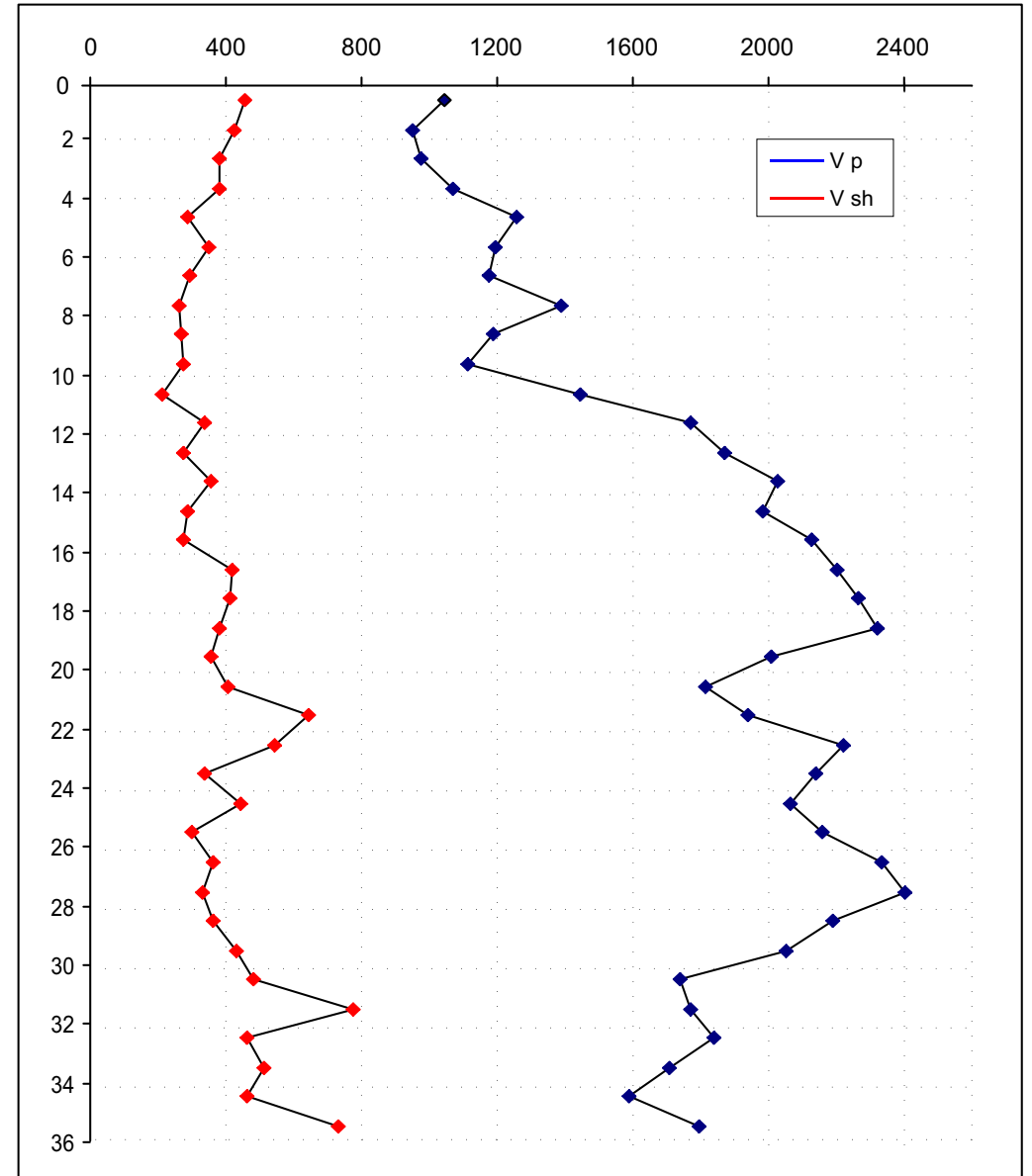
<b>Z</b>	<b>Profondità</b>
<b>Vp</b>	<b>Velocità onde di compressione</b>
<b>Vs</b>	<b>Velocità onde di taglio</b>
$\rho$	<b>Densità</b>
$\nu$	<b>Modulo di Poisson</b>
<b>G</b>	<b>Modulo taglio</b>
<b>E</b>	<b>Modulo di Young</b>
<b>K</b>	<b>Modulo di rigidità volumetrica</b>

S.P. Paullese - Milano - DH SL Lato Cremona

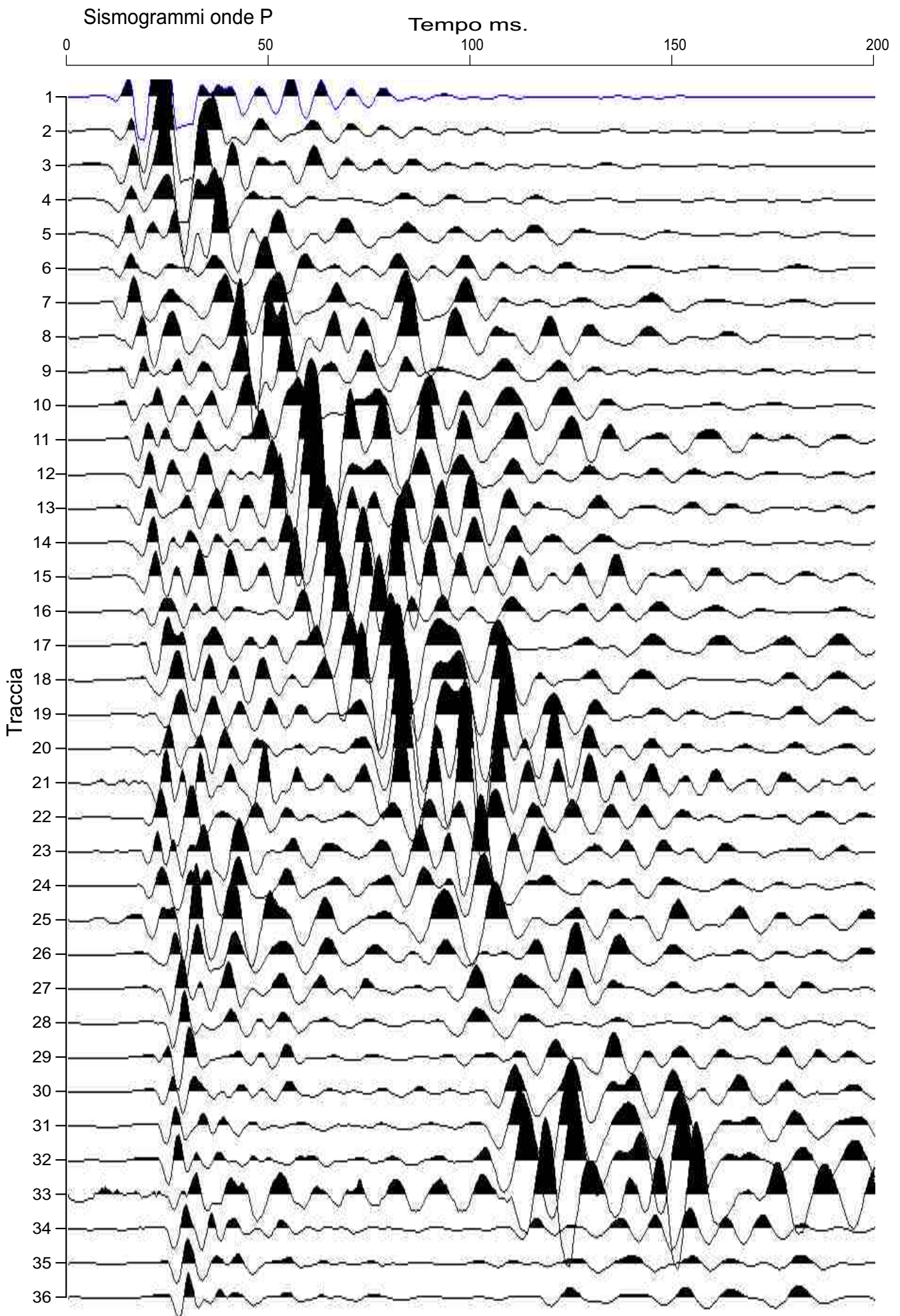
Tempo d'arrivo corretto, msec

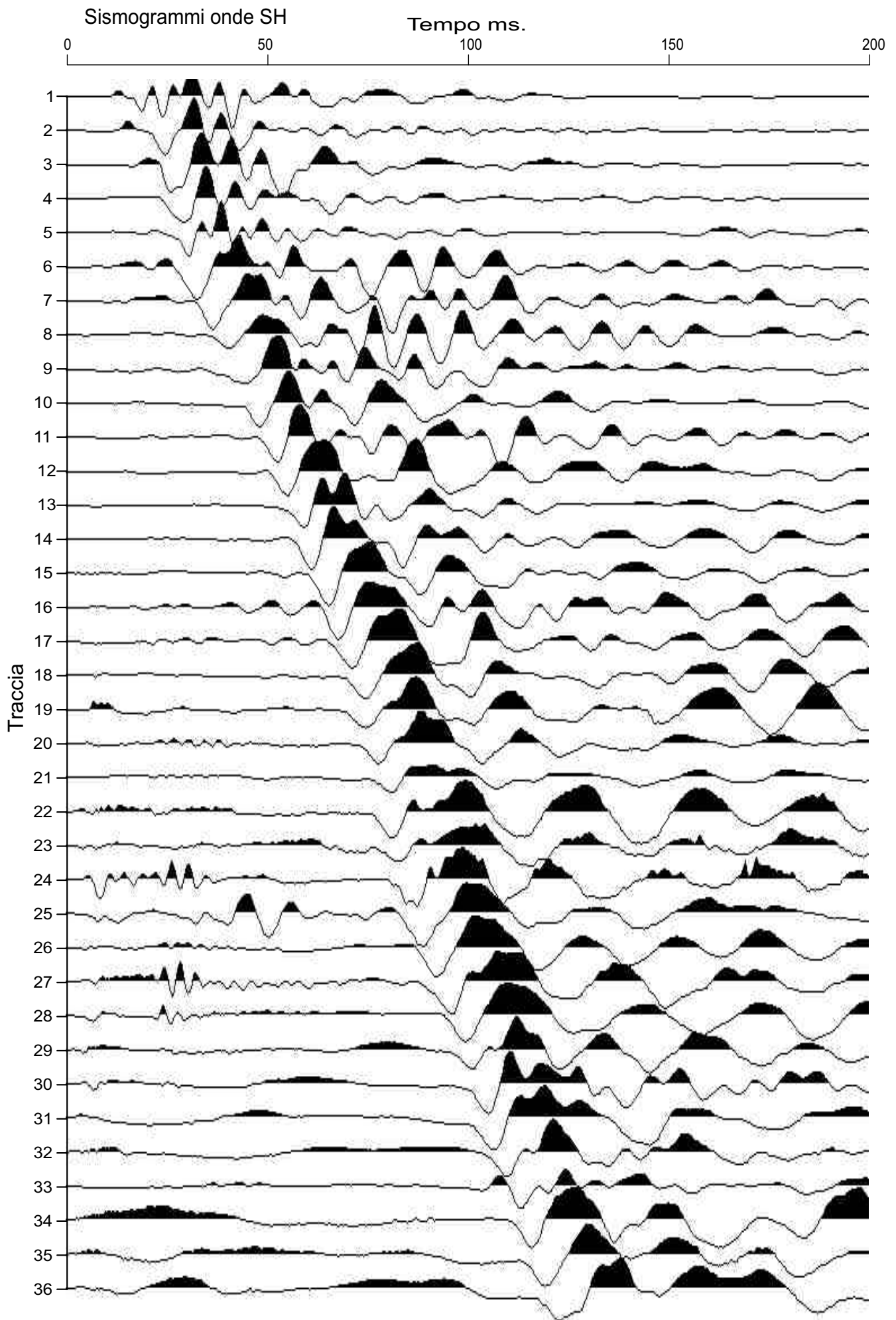


Velocità onde sismiche, m/sec.









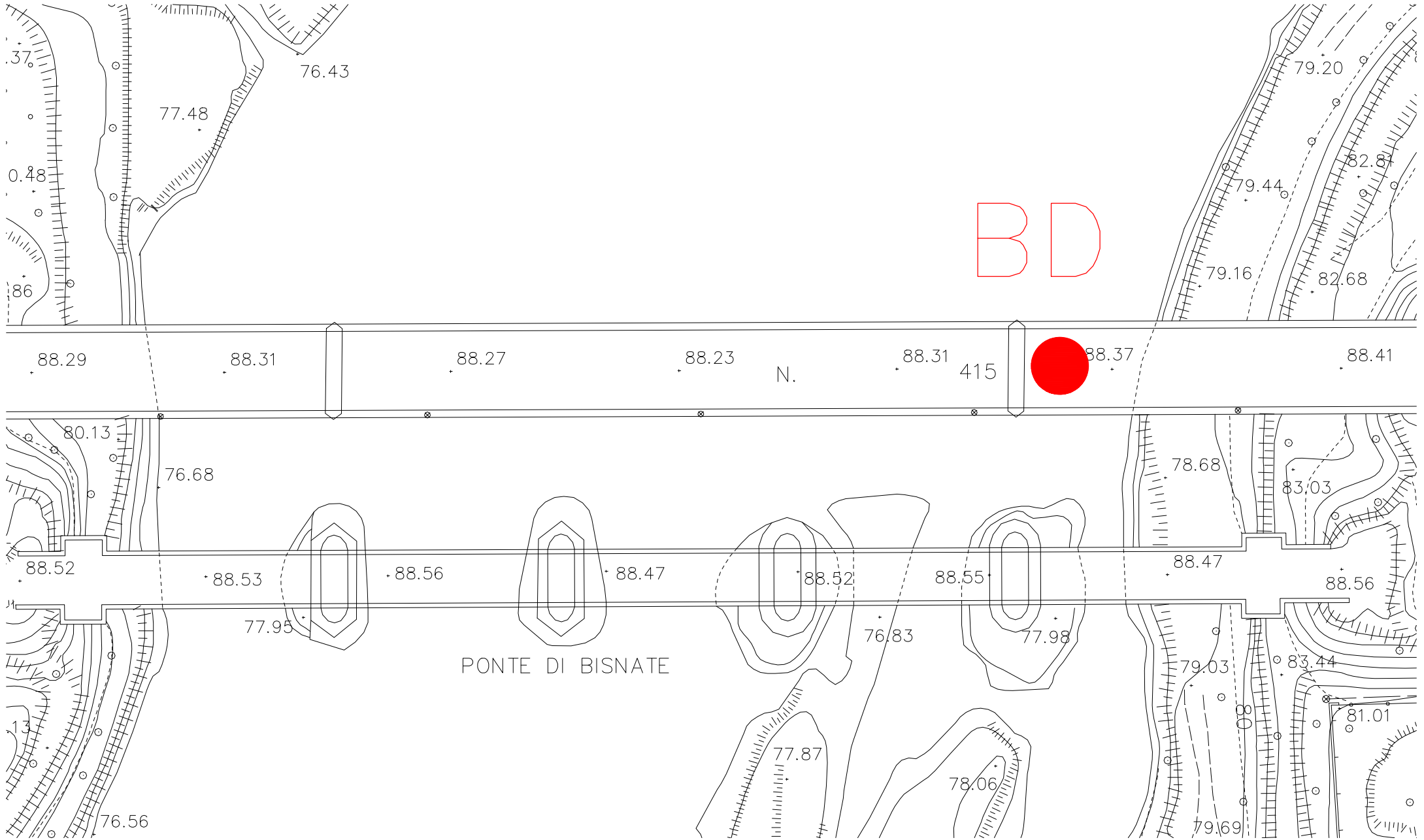
ALLEGATO

## **CAMPAGNA 2015**

Corografia di riferimento

Stratigrafia sondaggi

Documentazione fotografica





Committente: PROVINCIA DI CREMONA	Sondaggio: S.1
Riferimento: SPINO D'ADDA -IN ALVEO PRESSO LA PILA DEL PONTE -	Data: 3-4/08/2015
Coordinate:	Quota: 78.51 mslm
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO	

SCALA 1:100

## STRATIGRAFIA - S.1

Pagina 2/2


Ø mm	R v	A r s	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T.		RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
										S.P.T.	N			
				21										SABBIA MARRONE CHIARO CON GHIAIA MEDIA, ADDENSATA, SUBORDINATI CIOTTOLI (Ø MAX 10-12 cm), DEBOLE E/O SCARSA PRESENZA DI LIMO.
				22										
				23										
				24										
				24.5										
				25										SABBIA MARRONE CHIARO, FINE, DEBOLMENTE LIMOSA, DA m 30.00 TENDENTE AL GRIGIO CHIARO, MODERATAMENTE ADDENSATA.
				26										
				27										
				28										
				29										
				30										
				31									31.0	SABBIA GRIGIO-AZZURRO, LIMOSA, POCO ADDENSATA.
				32										
				32.2										
				33			2.0	0.2						LIMO GRIGIO CHIARO, CONSISTENTE, PRESENTI LIVELLI CENTIMETRICI ARGILLOSI.
				34			2.5	0.3						
				35			1.7	0.3						
				36			1.7	0.2						
				37			1.5	0.2						
				38			1.8	0.8					34.8	ARGILLA GRIGIO SCURO, CONSISTENTE, INTERCALATA DA LIVELLO LIMOSO GRIGIO CHIARO.
				39			2.0	0.7						
				40			1.4	0.7					35.9	TORBA NERASTRA, MOLTO CONSISTENTE.
				41			>5							
				42			>5							
				43			>5							
				44			>5							
				45			>5							
				46			>5							
				47			>5							
				48			>5							
				49			>5							
				50			>5							
				51			>5							
				52			>5							
				53			>5							
				54			>5							
				55			>5							
				56			>5							
				57			>5							
				58			>5							
				59			>5							
				60			>5							
				61			>5							
				62			>5							
				63			>5							
				64			>5							
				65			>5							
				66			>5							
				67			>5							
				68			>5							
				69			>5							
				70			>5							
				71			>5							
				72			>5							
				73			>5							
				74			>5							
				75			>5							
				76			>5							
				77			>5							
				78			>5							
				79			>5							
				80			>5							
				81			>5							
				82			>5							
				83			>5							
				84			>5							
				85			>5							
				86			>5							
				87			>5							
				88			>5							
				89			>5							
				90			>5							
				91			>5							
				92			>5							
				93			>5							
				94			>5							
				95			>5							
				96			>5							
				97			>5							
				98			>5							
				99			>5							
				100			>5							
				101			>5							
				102			>5							
				103			>5							
				104			>5							
				105			>5							
				106			>5							
				107			>5							
				108			>5							
				109			>5							
				110			>5							
				111			>5							
				112			>5							
				113			>5							
				114			>5							
				115			>5							
				116			>5							
				117			>5							
				118			>5							
				119			>5							
				120			>5							
				121			>5							
				122			>5							
				123			>5							
				124			>5							
				125			>5							
				126			>5							
				127			>5							
				128			>5							
				129			>5							
				130			>5							
				131			>5							
				132			>5							



PR. CR  
PONTE SPINO D'ADDA  
S1

0 - 5 cm






PR. CR  
PONTE SPINO D'ADDA  
S1  
5-10 ut




PR. CR  
PONTE SPINO D'ADDA  
S1  
10 - 15 cm



PR. CR  
PONTE SPINO D'ADDA  
S1  
15-20 ut



PR. CR  
PONTE SPINO D'ADDA  
S1  
20 - 25 ut



PR. CR  
PONTE SPINO D'ADDA  
S1  
25-30 ut



PR. CR  
PONTE SPINO D'ADDA  
S1  
30-35 cm



PR. CR  
PONTE SPINO D'ADDA  
S1  
35-40 ut