



DIREZIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITA'  
SERVIZIO PONTI, VIE D'ACQUA ED INFRASTRUTTURE

**CITTA' DI TORINO**

# **OPERE DI COMPLETAMENTO DEL CAVALCAFERROVIA ROMANIA - FALCHERA**

PROGETTO:  
**ESECUTIVO**

ELABORATO:

**RELAZIONE GEOTECNICA**

DATA:  
**FEBBRAIO 2014**

**DIRETTORE: Ing. Roberto Bertasio**

GRUPPO DI LAVORO:

**Ing. Barbara Salza: progettista opere strutturali**  
**Geom. Diego Alume: progettista opere stradali**  
**Geom. Francesco Borla: collaboratore progettazione**  
**Geom. Andrea Di Ruocco: collaboratore progettazione**

PROGETTISTA:

**Ing. Amerigo Strozzi**

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

**Ing. Giorgio Marengo**

## RELAZIONE GEOTECNICA

### Premessa.

La presente relazione viene redatta sulla base delle prove in situ già disponibili sull'area, in quanto interessata dai lavori della linea tranviaria 4, nonché dalla documentazione relativa ai lavori ferroviari.

La giacitura della stessa si colloca in sostanziale affiancamento dell'Autostrada Torino – Milano, ed ad ovest della stessa. In particolare assumono particolare interesse i sondaggi effettuati in prossimità del confine sud (S2) e del confine nord (S3) della sede ferroviaria.

Tali sondaggi , condotti fino alla profondità di 20 m hanno rilevato la presenza di sabbia con ghiaia e/o con limo.

### La falda

La falda risulta superficiale con linea di massima pendenza rivolta ad est – sud/est, verso cioè il vicino bacino del torrente Stura.

In particolare per il piezometro posto immediatamente a nord della sede ferroviaria (S3) con quota campagna  $Q_t=221.35$ , si sono registrate quote di falda nel periodo compreso tra 15/09/00 e 30/10/01 comprese tra 214,55 e 216,45.

Nell'effettuazione del sondaggio posto invece sul confine sud della sede ferroviaria (S2) , si è riscontrata una profondità della falda di circa 1,5 m più bassa di quella rilevata, nello stesso periodo, per il sondaggio S3.

Si riportano di seguito i dati delle letture nel piezometro posto nel sondaggio S3.

data	19/09/00	26/10/00	29/11/00	08/01/01	29/01/01	26/02/01	12/04/01	01/06/01	21/09/01	12/10/01	30/10/01
Q.f.	216,30	216,35	216,40	216,45	216,40	214,55	214,75	215,35	215,85	216,00	215,95

Nello stesso sondaggio S3 sono state effettuate delle prove di permeabilità, per le quali si è ottenuto:

a profondità: 5,5 m     $K = 0,62E-3$  (m/s)

a profondità 10,5 m  $K = 0,60E-3$  (m/s)

### Litostratigrafia locale

Il terreno riscontrato presenta una natura incoerente che viene di seguito riportata sulla base dei sopra citati sondaggi S2 e S3

sondaggio	profondità	ghiaia %	sabbia %	limo %	umidità %	classificazione
2	2,80	/	62,25	37,75	9,28	sabbia con limo
2	5,80	38,45	58,75	2,80	13,48	sabbia con ghiaia
2	10,00	22,94	66,33	10,73	18,55	sabbia ghiaiosa deb. limosa
2	12,00	31,36	56,63	12,01	21,32	s. con ghiaia deb. limosa
2	15,00	11,46	64,90	23,64	24,03	sabbia limosa ghiaiosa
2	18,00	29,01	47,81	23,18	22,45	sabbia con ghiaia limosa
3	1,30	/	8,68	91,32	8,75	limo deb. sabbioso
3	3,00	32,25	59,26	8,49	8,75	s. con ghiaia deb. limosa
3	6,00	57,74	26,81	15,45	13,38	ghiaia con sabbia limosa
3	9,00	33,24	45,50	21,26	13,38	sabbia con ghiaia limosa
3	12,00	3,75	66,55	29,70	17,59	s. limosa deb. ghiaiosa
3	15,00	18,43	57,06	24,51	21,25	sabbia ghiaiosa e limosa
3	18,00	35,22	41,50	23,28	21,25	sabbia e ghiaia limosa

Per quanto osservabile quindi, la prima unità litostratigrafia a partire dal p.c. comprende i materiali di riporto e la coltre di terreno vegetale, quest'ultima di natura limoso-argilloso marrone con varia ma modesta percentuale sabbiosa; la potenza di tale unità è variabile, ma comunque contenuta entro i primi 3,00 m dal piano campagna.

Tale osservazione trova conferma anche dalla reale necessità di scavo riscontrata nel corso dei lavori di realizzazione dell'armamento ferroviario della stazione Stura, realizzato fino a 2 m di profondità al fine di garantire le necessarie caratteristiche meccaniche.

Per confronto si riportano i dati riportati nel progetto di Italferr per il cavalcaferrovia già realizzato:

prof. (m)	terreno	$\gamma$ (KN/mc)	E (Mpa)
0	riporto	19	15
1,5	ghiaia sabbiosa	20	40
3	=		
4,5	=		
6	=		
7,5	limi sabbiosi	20	25
9	=		
10	=		
11,5	sabbie limose	20	40
13	=		
14,5	=		
16	=		
17,5	=		
19	=		
20,5	=		

Secondo la classificazione del sistema unificato statunitense (USCS), i materiali costituenti l'unità superficiale possono essere classificati con la sigla ML o MH, mentre secondo la classificazione AASHO (a norma CNR-UNI 10006) tali materiali si identificano nel gruppo A4 o A5.

La caratterizzazione geotecnica può effettuarsi in base all'esame visivo del materiale e dal risultato ottenuto con lo scissometro tascabile utilizzato più a nord, in prossimità di via delle Querce.

Trattandosi di materiali superficiali, privi di storia pensionale e con frazione granulometrica anche sabbiosa, si ipotizza la coesione nulla.

I parametri stimati sono riassunti di seguito:

- densità relativa  $dr = 35\%$
- angolo di resistenza al taglio di picco  $\phi'_p = 33^\circ$
- angolo di resistenza al taglio a volume costante  $\phi'_{cv} = 24^\circ$
- coesione  $c' = 0 \text{ kPa}$
- peso di volume  $\gamma = 18 \text{ KN/mc}$

- modulo di deformabilità  $E' = 10 \text{ Mpa}$
- coefficiente di Poisson  $\nu = 0,35$

La seconda unità litostratigrafica è costituita essenzialmente da sabbie ghiaiose mediamente limose e pochi ciottoli, salvo locali intercalazioni con lenti limo argillose di modesta potenza.

Secondo la classificazione del sistema unificato statunitense (USCS), i materiali costituenti questa unità possono essere classificati nella classe definita dalla sigla S e subordinatamente in quella definita con G, mentre secondo la classificazione AASHO (a norma CNR-UNI 10006) tali materiali si identificano nel gruppo A2.

La definizione dei parametri geotecnica rappresentativi del deposito può effettuarsi in base ai risultati delle prove SPT effettuate.

*Come noto la prova "Standard Penetration Test" consiste nel far penetrare, sul fondo di un foro precedentemente pulito, un campionatore per tre tratti successivi di 15 cm, registrando ogni volta il numero di colpi necessario (N1, N2, N3). Risulta quindi  $SPT = N2+N3$*

*L'attrezzatura utilizzata per l'esecuzione della prova è stata quella a dimensioni standard (raccomandazioni AGI, 1977); il dispositivo di percussione comprende:*

- una testa di battuta in acciaio avvitata sulle aste;
- un maglio di acciaio da 63,5 (+/- 0,5 kg)
- un dispositivo di guida e di sganciamento automatico del maglio, che assicura una corsa a caduta libera di 0,75 m.

*con il primo tratto, detto di avviamento, si intende superare la zona di terreno rimaneggiata in fase di perforazione; in caso di terreno molto compatto od in presenza di inclusi lapidei, se con  $N1 = 50$  colpi l'avviamento è minore di 15 cm l'infissione deve essere sospesa e la prova si dichiara conclusa, annotando la relativa penetrazione.*

*Se il tratto di avviamento è stato superato si conteggiano N2 e N3 (da 15 a 30 cm e da 30 a 45 cm) fino al limite complessivo di 100 colpi ( $N2 + N3$ ), raggiunto il quale si sospende la prova annotando l'avanzamento ottenuto.*

Per i fori S2 e S3 si sono ottenuti i seguenti risultati di SPT:

profondità	S2	S3
3,00	64	58
6,00	59	100
9,00	64	100
12,00	100	61
15,00	70	55
18,00	71	51

La densità relativa  $D_r$  può essere ricavata utilizzando la seguente correlazione di Marcuson e Bieganouski

$$D_r = 12,2 + 0,75 * (222 * SPT + 1600 - 711 * OCR - 7,54 * \sigma'_{v0} - 50 * C^2)^{0,5}$$

Dove OCR : over consolidation ration

$\sigma'_{v0}$  (Kpa): tensione verticale efficace

$C = D_{60}/D_{10}$ : coefficiente di uniformità

$D_{60}$ : diametro dei setacci delle prove granulometriche, corrispondente al 60% di passante

$D_{10}$ : diametro dei setacci delle prove granulometriche, corrispondente al 10% di passante

Per l'unità litologica in esame si assume, osservando le curve cumulative delle analisi granulometriche:

$$OCR = 1 \quad C = 8 \quad SPT = 50 \quad \sigma'_{v0} = 150 \text{ Kpa (per profondità media)}$$

La densità relativa risulta quindi

$$D_r = 80\%$$

L'angolo di resistenza al taglio di picco può essere ricavato utilizzando la correlazione di Schertman, che per le sabbie medio grosse ben graduate propone:

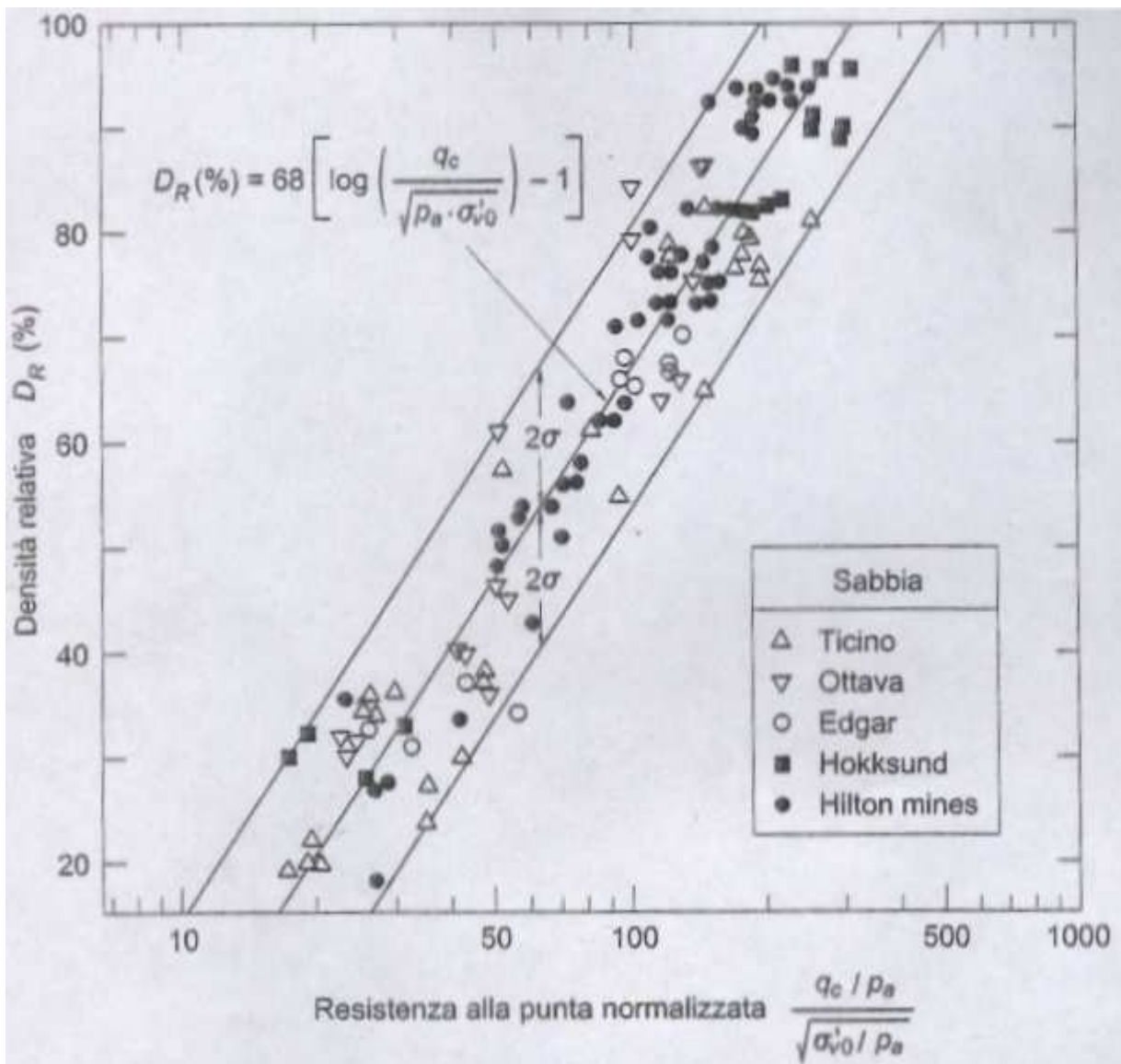
$$\phi'_p = 36^\circ + 0,1 D_r = 44^\circ$$

si ripropone il calcolo dell'angolo di attrito secondo diversa metodologia, con utilizzo della relazione di Lancellotta (1983)

$$D_r(\%) = 68 (\text{Log}_{10}(q_c / (p_a \sigma'_v)^{0,5}) - 1)$$

con  $p_a$  = pressione atmosferica, indicata al fine di adeguare l'espressione a diverse unità di misura

$q_c(\text{Mpa}) = 0,4 \text{ Nspt}$  secondo la formulazione di Meyerhof (1976)



il valore medio può essere corretto in valore efficace essendo stato stimato dall'autore lo scarto quadratico medio della densità ottenuta dal modello  $\sigma = 6,6 \%$

L'angolo di attrito interno di picco può essere ricavato con la relazione di Bolton (1986)

$$\phi' = \phi_{cv} + 3 (D_r (10 - \ln p'(\text{Kpa})) - 1) \quad \text{con } p' = \sigma'_v (N_q)^{0.5}$$

dove  $N_q$  può essere ricavato dalla espressione della portata di base dei pali

$$q_{lim} = N_q \sigma'_v = 0,4 N_{spt} \text{ (Mpa)}$$

$\phi_{cv}$  dipende unicamente dal tipo di materiale e varia generalmente tra 30° e 35°, si assume quindi a favore di sicurezza  $\phi_{cv} = 30^\circ$

In applicazione del D.M. 14/01/2008 si considera il valore di  $\phi_m$  in relazione al fatto che il D.M. stesso prevede, con appositi fattori di sicurezza, la trasformazione dei valori geotecnici medi in quelli caratteristici.

sondaggio S2            Q falda= - 7,7 m

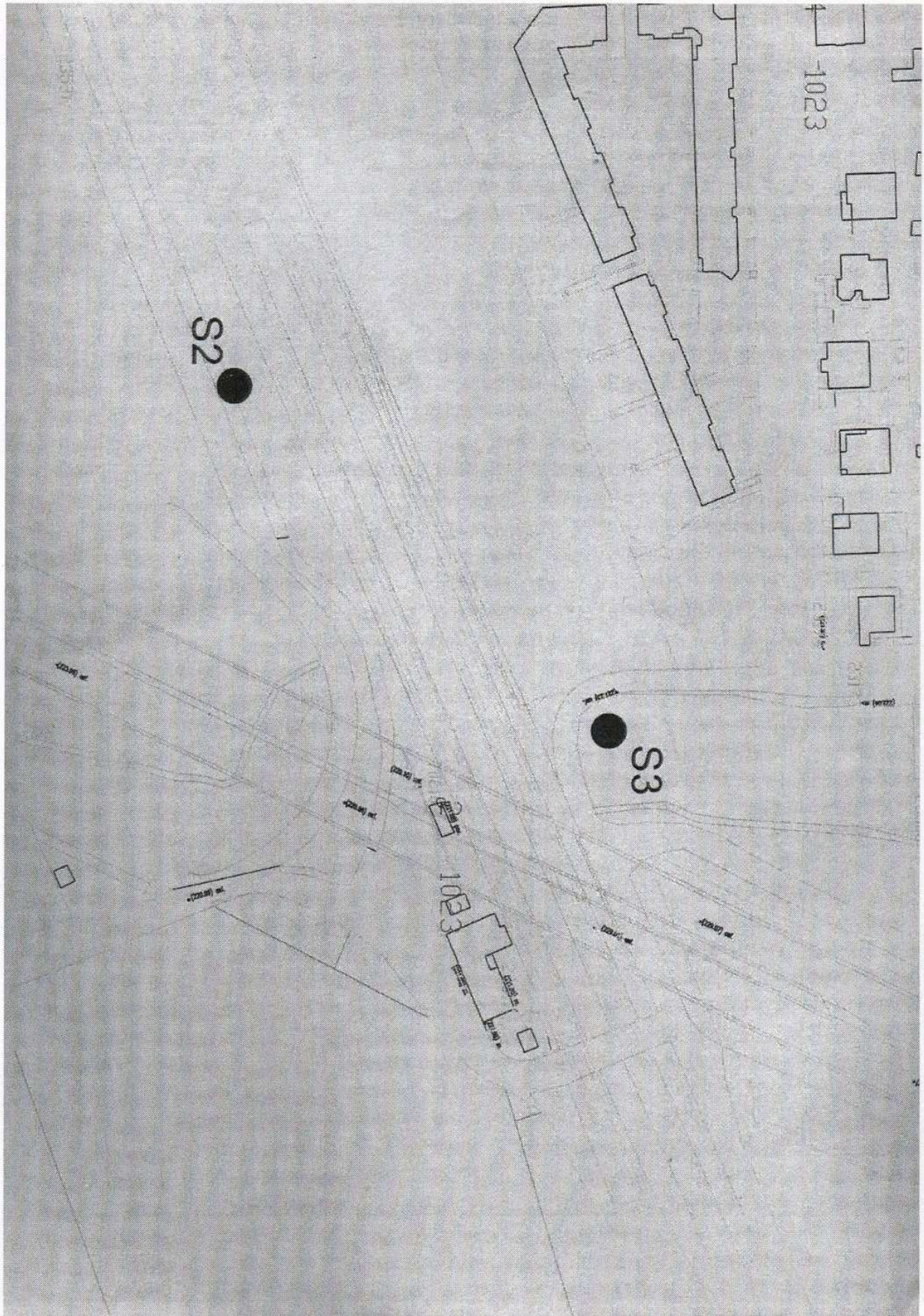
z	Nspt	q <sub>c</sub>	$\sigma'_v$	Dr(%)	Dr(%)k	$\phi_m$
6,00	59	23,6	0,12	90	77	42,2
9,00	64	25,6	0,17	88	75	42,0
12,00	100	40,0	0,20	99	86	43,5
15,00	70	28,0	0,23	86	73	41,8
18,00	71	28,4	0,26	84	71	41,6

sondaggio S3            Q falda = - 4,0 m

z	Nspt	q <sub>c</sub>	$\sigma'_v$	Dr(%)	Dr(%)k	$\phi_m$ Schertman
6,00	100	40,0	0,10	109	96	43,6
9,00	100	40,0	0,13	105	92	43,6
12,00	61	24,4	0,16	87	74	41,9
15,00	55	22,0	0,19	82	69	41,2
18,00	51	20,4	0,22	77	64	40,6

Si assume quindi prudenzialmente  $\phi_m = 40^\circ$

Punti di Sondaggio



# Litostratigrafia

QUOTE		RISULTATO DEL SONDAGGIO				DESCRIZIONE	ACQUA		GEOTECNICA					
QUOTA IN METRI IN METRI	PROFONDITÀ IN METRI	POTENZA STRATO IN METRI	CONDIZIONE DELLA CARGATA SOSTITUIRE 3 DEL FONDO	STRATIFICAZIONE	% FRAZIONALE DI CARBONAZIO IN ROCCIA (P 90)	PIREOGRAFIA	PROFONDITÀ PERMEABILITÀ (P 100)	STANDARD PENETRATION TEST (P 100)	COMPATTEZZA	CEMENTAZIONE	PLASTICITÀ	POCKET PENETR. 45/100	WATER CONTENT	TORSION RHEOMETER
0.00														
	0.10					sabbia medio grossolana deb. limosa								
	1.10													
	3.40					sabbia media e ghiaia con pochi ciottoli								
	5.50													
	7.70					ciottoli ghiaia e sabbia gros.	7.70							
	9.00					sabbia grossolana a tratti limosa con ghiaia								
	12.20													
	13.00					ghiaia e ciottoli con sabbia grossolana								
	14.00													
	16.00					sabbia grossolana limosa con ghiaia e alcuni ciottoli								
	20.00													



SICOS  
SEZIONE INGEGNERIA GEOTECNICA  
10796 CANTUARESE - No. 3 PIANO 43  
Tel. 011 780 07 02/03 fax 011 780 07 01

COMMITTENTE: METROPOLITANA MILANESE S.p.A.  
CANTIERE: Falchera Torino Linea 4  
SONDAGGIO n. 3 QUOTA INF. TO CAPOALDO IN MET. piano campagna  
iniziato il 05.09.2000 ultimato il 05.09.2000

QUOTE		RISULTATO DEL SONDAGGIO		DESCRIZIONE	ACQUA	GEOTECNICA																	
QUOTA P.F. TO IN MET.	PROFONDITÀ IN MET.	POTENZA STRATO IN MET.	COESIONE NELLE CAROTI SPESSE E S. CIL. (KPa)	STRAGRAMMA	PERCENTUALE DI N. CAROTI IN ROCCIA S. (MIDI)	PHI. CAROTINE	CONDIZIONE STR.	PETROGRAFIA	ANALISI GEOLOGICA DEL TERRENO	CONTENUTO DELL'ACQUA SINDRONE	PROVE DI PERMEABILITÀ	STANDARD PP-SEPARATION TEST	W <sub>L</sub>	W <sub>p</sub>	W <sub>u</sub>	COMPATTAZIONE	W <sub>max</sub>	W <sub>max</sub> - W <sub>p</sub>	PLASTICITÀ	INDEX FLUIDITY	INDEX FLUIDITY	INDEX FLUIDITY	
0.00																							
1.50	1.50							terreno vegetale limoso argilloso marrone															
3.10	1.60							sabbia fine, ghiaia e ciottoli acra chiaro			3.00	27 30											
4.10								ghiaia e sabbia limosa con alcuni ciottoli		3.95													
7.20																							
12.30	5.10							sabbia medio grossolana con piccoli ciottoli poca ghiaia e tratti debolmente limosa			12.00	26 29 32											
15.00											15.00	26 28											
16.00	0.70							ciottoli e ghiaia con sabbia															
18.00																							
20.00	2.00							sabbia media limosa con ghiaia e piccoli ciottoli			10.00	20 22 25											