

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. PRODUZIONE CENTRO NORD

PROGETTO PRELIMINARE

INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI  
NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE

CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA INTERVENTO

Relazione geotecnica generale

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

N M 0 2    0 0    R    2 6    R B    G E 0 0 0 5    0 0 1    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione esecutiva	G. Grimaldi	Maggio 2014	A. Maran	Maggio 2014	S. Borelli	Maggio 2014		

ITALFERR S.p.A.  
Direzione Tecnica  
Produzione Centro Nord  
Dott. Ing. Fabrizio Ardizzone  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Roma  
21/03/2014 sez. A

## INDICE

1	PREMESSA .....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	7
2.1	NORMATIVA TECNICA .....	7
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO .....	8
4	INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE .....	10
4.1	RIEPILOGO SONDAGGI GEOGNOSTICI .....	10
4.2	INDAGINI SISMICHE .....	15
4.3	PROVE DI LABORATORIO .....	16
4.4	PROVE LEFRANC .....	18
5	DEFINIZIONE DELLE UNITA' GEOTECNICHE INTERCETTATE .....	19
5.1	CRITERI DI VALUTAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI .....	19
5.1.1	<i>Depositi incoerenti</i> .....	19
5.2	UNITA' R – RILEVATO FERROVIARIO ESISTENTE .....	21
5.3	UNITA' G – GHIAIE .....	25
6	STRATIGRAFIA GEOTECNICA DI DETTAGLIO .....	31

	<b>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>					
	<b>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</b>	COMMESSA NM02	LOTTO 00	CODIFICA R26RB	DOCUMENTO GE0005001	REV. A

## 1 PREMESSA

La presente Relazione Geotecnica si colloca all'interno del progetto preliminare degli interventi previsti per il nuovo PRG di Milano Lambrate.

Gli obiettivi funzionali del nuovo PRG sono:

- Realizzazione di un sistema d'interconnessioni AV tra le linee Milano-Bologna e Milano-Venezia, volto a ridurre/minimizzare le interferenze a raso tra il traffico AV diretto a Torino ed i servizi AV attestati a Milano C.le provenienti da Venezia e Bologna.
- Riorganizzazione della radice lato Milano C.le dei binari da I a VI, con l'eliminazione dei tagli a raso per i servizi merci e regionali provenienti da Nord e diretti sulla linea Cintura verso Rogoredo, sulla linea Smistamento e, per effetto della nuova configurazione d'impianto, anche sulla linea Venezia LL.

Nello specifico, scopo della presente relazione è la definizione dei parametri geotecnici atti al dimensionamento ed alla verifica delle opere di sostegno e dei manufatti di attraversamento previsti in progetto, ubicati nella Radice Sud di Lambrate e necessari alla realizzazione delle interconnessioni AV sopra descritte.

Le macro lavorazioni previste in corrispondenza della Radice sud di Milano Lambrate sono le seguenti:

- Realizzazione di opere di sottoattraversamento del binario dispari Cintura sotto l'attuale sedime Venezia e sotto le future linee Venezia LL e Smistamento, nonché di opere di armamento e TE relative al nuovo tracciato.
- Realizzazione di opere di sottoattraversamento per il binario d'interconnessione pari Bologna-Venezia, nonché di opere di armamento e TE relative ai nuovi tracciati.
- Riorganizzazione plano-altimetrica della sede esistente degli attuali binari Cintura da destinare al futuro binario pari Cintura ed al binario d'interconnessione dispari Bologna-Venezia, nonché di opere di armamento e TE relative ai nuovi tracciati.
- Realizzazione del nuovo sedime, compresi armamento e TE, della linea Venezia DD in posizione compatibile con l'inserimento del nuovo binario pari d'interconnessione AV Bologna-Venezia.
- Realizzazione del nuovo sedime, compresi armamento e TE, della linea Venezia LL e del binario pari Smistamento in corrispondenza dell'attuale area delle platee di lavaggio, in posizione compresa tra il nuovo binario dispari ed il nuovo binario pari Cintura.
- Demolizione di manufatti, opere di sostegno esistenti nell'area interessata dai lavori di PRG.
- Riorganizzazione dell'attuale cabina TE di Lambrate interferente con la modifica planimetrica di progetto relativa al futuro binario dispari della linea Cintura.





La caratterizzazione geotecnica generale dei terreni lungo i tracciati viene svolta sulla base:

- di un'elaborazione ed interpretazione dei risultati di indagini in sito e laboratorio ad oggi disponibili;
- degli studi di carattere geologico ed idrogeologico disponibili.

In particolare nella presente relazione sono affrontati i seguenti aspetti:

- Breve inquadramento geologico, morfologico e idrogeologico;
- Risposta sismica e stabilità del sito;
- Descrizione delle indagini geotecniche eseguite in sito ed in laboratorio;
- Rilievo del livello di falda;
- Descrizione dei criteri in base ai quali sono stati interpretati i risultati delle indagini geotecniche effettuate;
- Interpretazione dei risultati delle indagini geotecniche e definizione dei parametri geotecnici, in termini di proprietà fisiche e meccaniche (resistenza al taglio e deformabilità), per le unità geotecniche individuate.

## 2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

### 2.1 **NORMATIVA TECNICA**

La presente relazione è stata redatta in conformità alla seguente normativa:

- Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-08 (NTC-2008);
- Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;
- DM 6/5/2008 – Integrazione al D.M. 14-01-2008 di approvazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni;
- RFI DTC INC CS SP IFS 001 A – Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie.

### 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Il territorio in oggetto fa parte dell'alta-media pianura lombarda, costituita da materiali fluvioglaciali di età pleistocenica. L'ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale sta realizzando, in proprio e attraverso appositi atti contrattuali stipulati con regioni, province autonome, università e istituti di ricerca, il progetto di cartografia geologica alla scala 1:50.000, la cui finalità è la realizzazione dei 652 fogli geologici e geotematici per la copertura dell'intero territorio nazionale. I fogli geologici attivati nell'ambito del Progetto CARG sono 255.

L'area in oggetto si colloca nel foglio n. 118 Milano ed è interessata dai depositi fluvioglaciali ascrivibili al Subsistema di Besnate. Il Subsistema di Besnate è stato suddiviso in quattro unità informali, distinte sulla base dei caratteri morfologici e del diverso grado di alterazione dei depositi.

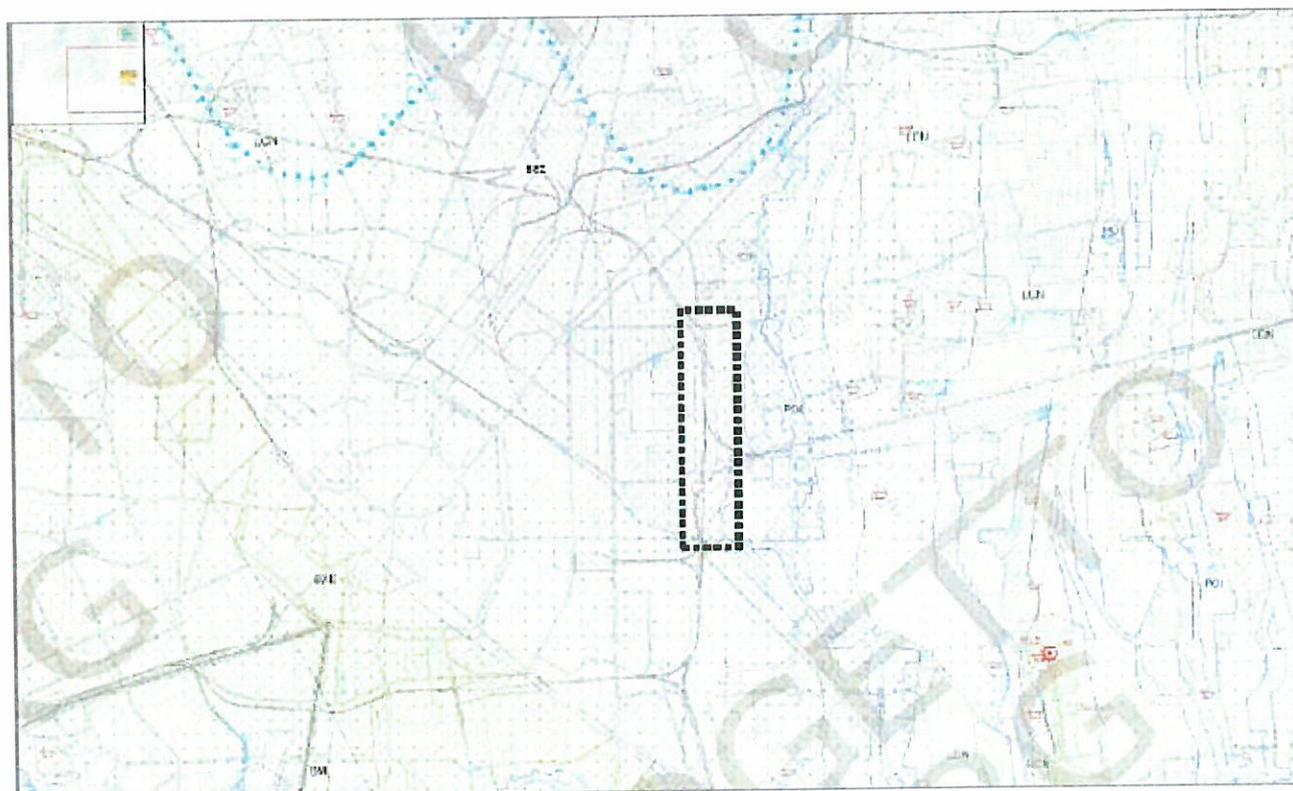
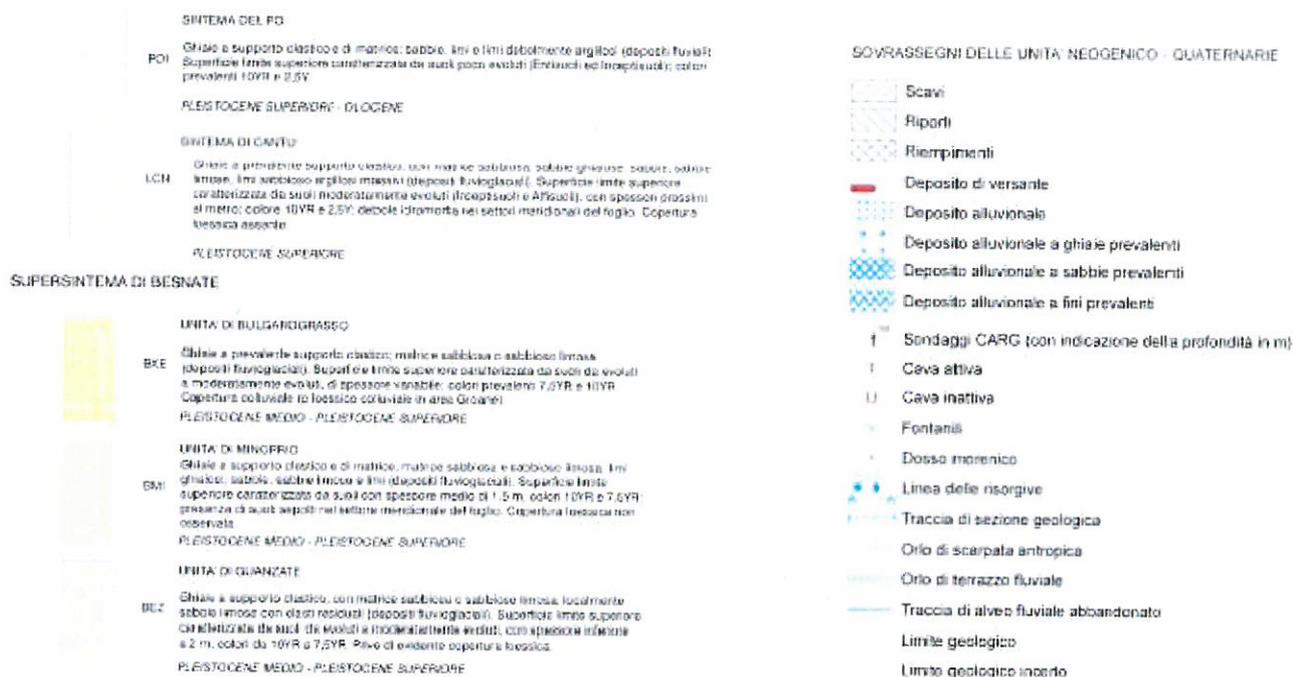


Figura 4 Carta geologica d'Italia (scala 1:50 000) – Progetto CARG, Foglio n.118 Milano

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI</b> <b>NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>					
	<b>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</b>	COMMESSA NM02	LOTTO 00	CODIFICA R26RB	DOCUMENTO GE0005001	REV. A

**SUCCESSIONE CONTINENTALE NEOGENICO - QUATERNARIA**



**Figura 5 Carta geologica d'Italia (scala 1:50 000) – Progetto CARG, Foglio n.118 Milano – legenda**

Le falde sotterranee che interessano l'area del comune di Milano e meglio descritte nel documento NM0200R69RGGE00001001A - "Relazione Geologica, Geomorfologica ed Idrologica" rappresentano la principale risorsa idrica per le funzioni civili, industriali e irrigue presenti in tutto il territorio di Milano.

Negli ultimi decenni, con la riduzione dei prelievi idrici conseguenti alla dismissione delle grandi aree industriali di Milano e nord Milano, si è verificato un fenomeno di innalzamento della falda partire dagli anni '90. L'andamento delle piezometrie e la soggiacenza della falda freatica (ovvero la profondità delle acque di falda dalla superficie del terreno) sono riportate nelle figure rappresentative per le quali si rimanda ancora al documento NM0200R69RGGE00001001A - "Relazione Geologica, Geomorfologica ed Idrologica" dalle quali si evince che in corrispondenza della città di Milano, a seguito degli ingenti emungimenti localizzati soprattutto nel settore Nord, si crea una depressione piezometrica piuttosto ampia la cui superficie si attesta su valori di circa 100÷105 m s.l.m.. In corrispondenza dell'area oggetto di studio, in riferimento ai dati piezometrici misurati nei fori di sondaggio attrezzati con piezometro, la falda freatica si colloca alla quota di 104÷105 m sul livello del mare.

#### 4 INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE

Al fine di caratterizzare i terreni presenti in tutta l'area di intervento è stata condotta un'apposita campagna geognostica eseguita a febbraio 2014 dall'impresa CITIEMME s.r.l., consistita in indagini in sito, in laboratorio e indagini geofisiche.

Per l'ubicazione planimetrica delle indagini disponibili si rimanda alla "Relazione Geologica, Geomorfologica ed Idrologica".

Le indagini in sito e seguite sono consistite in:

- n° 4 sondaggi geognostici a carotaggio per profondità d i 30m, attrezzati con piezometri a tubo aperto;

durante le perforazioni dei sondaggi sono state eseguite le seguenti attività:

- riconoscimento stratigrafico e geotecnico;
- prelievo di n° 2 campioni indisturbati per l'esecuzione di prove di laboratorio;
- prelievo di n° 36 campioni rimaneggiati per il riconoscimento geotecnico
- n° 40 prove penetrometriche dinamiche Standard Penetration Test (SPT);
- rilievo del livello di falda;
- n° 4 prove Lefranc.

##### 4.1 RIEPILOGO SONDAGGI GEOGNOSTICI

La tabella seguente riassume le principali caratteristiche dei sondaggi: profondità, campioni prelevati, prove geotecniche eseguite in foro e strumentazione installata.

sondaggio	data esecuzione	livello di progettazione	quota boccaforo	profondità	campioni		prove in foro			falda	falda quota assoluta
			m s.l.m.	m	CI	CR	SPT	Le	Lu	da p.c.	mslm
PNNM02_R04	30/01/2014	PRELIMINARE	115.30	30.00	0	9	10	1	0	8.70	106.6
SCNM02_R03	30/01/2014	PRELIMINARE	115.30	30.00	0	9	10	1	0	10	105.3
PNNM02_B02	30/01/2014	PRELIMINARE	124.00	30.00	2	9	10	1	0	17.60	106.4
SCNM02_B01	30/01/2014	PRELIMINARE	124.00	30.00	0	9	10	1	0	18	106

**Tabella 1 – riepilogo dei sondaggi e delle prove eseguite**

Nelle figure seguenti si riportano le colonne stratigrafiche dei sondaggi eseguiti (per i certificati delle indagini si rimanda al documento NM0200R69RGGE00001001A - "Relazione Geologica, Geomorfologica ed Idrologica").

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM02 00 R26RB GE0005001 A 11 di 31

profondità dal p.c. (m)	profondità del tratto (m)	sezione stratigrafica	descrizione litologica	folto	metodo e diam. di perforazione	diametro investimenti	percentuale di carotaggio	prezzo metro tubo a pelo	indinometro	S.P.T.	picklet penetrometor	picklet vane test	campioni induribili	campioni innostrati	permeabilità (m/s)
0.00	0.00		Asfalto bituminoso.		OC										
0.00	0.15		Terreno di riporto costituito da ciottoli e frammenti eterometrici in matrice limoso-debolmente sabbiosa con sporadici frammenti lateritici minuti.		OC					1.50					
0.15	0.20		Terreno di riporto ghiaioso-sabbioso con rari frammenti lateritici millimetrici.		OC					20-32					
0.20	1.30		Limo debolmente sabbioso fine, poco consistente, colore nocciola brunoastro.		OC					4.50					
1.30	3.00		Ghiaia eterometrica con limo da debolmente sabbioso a sabbioso con la profondità, intensa ossidazione e discreta alterazione, moderatamente addensata colore bruno con screziature corceae d'ossidazione.		OC					7-10-12					
3.00	4.40		Ghiaia eterometrica con sabbia debolmente limosa a tratti limosa talora abbondante, da discreta a debole ossidazione, moderatamente addensata, colore nocciola.		OC	152 mm				7.50					
4.40	10.40		Ghiaia prevalentemente medio-grossolana e ciottoli (diam max 10-15 cm) in matrice sabbioso-siltosa a tratti prevalente, da moderatamente addensata ad addensata, colore nocciola.	b 70	OC					17-18-19					
10.40	12.30		Ghiaia prevalentemente medio-fine in matrice sabbioso-limosa che talora si concentra in livelli centimetrici, molto addensata, colore nocciola.		OC					10.50					
12.30	15.00		Ghiaia eterometrica e sabbia prevalentemente medio-grossolana debolmente limosa, addensata, colore nocciola.		OC					21-25-30					
15.00	17.50		Ghiaia prevalentemente medio-grossolana e ciottoli (diam max 10-15 cm) con sabbia medio-fine a livelli prevalente, debole ossidazione, molto addensata, colore nocciola.		OC					13.50					
17.50	17.80		Sabbia medio-fine debolmente limosa, addensata, colore nocciola.		OC					18-22-27					
17.80	18.80		Ghiaia prevalentemente medio-grossolana e ciottoli (diam max 10-15 cm) in matrice sabbioso-debolmente limosa a tratti prevalente, addensata, colore nocciola.		OC					15.50					
18.80	20.00		Ghiaia eterometrica con sabbia debolmente limosa a tratti limosa talora prevalente, addensata, colore nocciola.		OC		60-100 %			18-24-30					
20.00	22.50		Sabbia prevalentemente medio-fine debolmente limosa con sporadici livelli ghiaiosi, addensata, colore nocciola.		OC	137 mm				20.00					
22.50	23.90		Ghiaia eterometrica e sabbia debolmente limosa talora abbondante e/o prevalente, da addensata a molto addensata, colore nocciola.		OC					23-21-27					
23.90	27.00		Ghiaia prevalentemente medio-grossolana e ciottoli (diam max 10-15 cm) in matrice sabbioso-debolmente limosa a livelli prevalente, molto addensata, colore nocciola.		OC					25.00					
27.00	28.30		Ghiaia prevalentemente medio-grossolana e ciottoli (diam max 10-15 cm) in matrice sabbioso-debolmente limosa a livelli prevalente, molto addensata, colore nocciola.		OC					25-28-32					
28.30	30.00		Ghiaia eterometrica con sabbia debolmente limosa, addensata, colore nocciola.		OC					27.00					
30.00					OC					27-29-31					
					OC					30.00					

Deposito cassette: Magazzino RFI  
Il foro di sondaggio è stato attrezzato con tubo pneumatico del tipo "tubo aperto" in PVC del diametro di 3" con fondo foratare compreso fra +3.00m e +30.00m dal p.c.

Figura 6 - Sondaggio PNNM02\_R04

**RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM02	00	R26RB	GE0005001	A	12 di 31

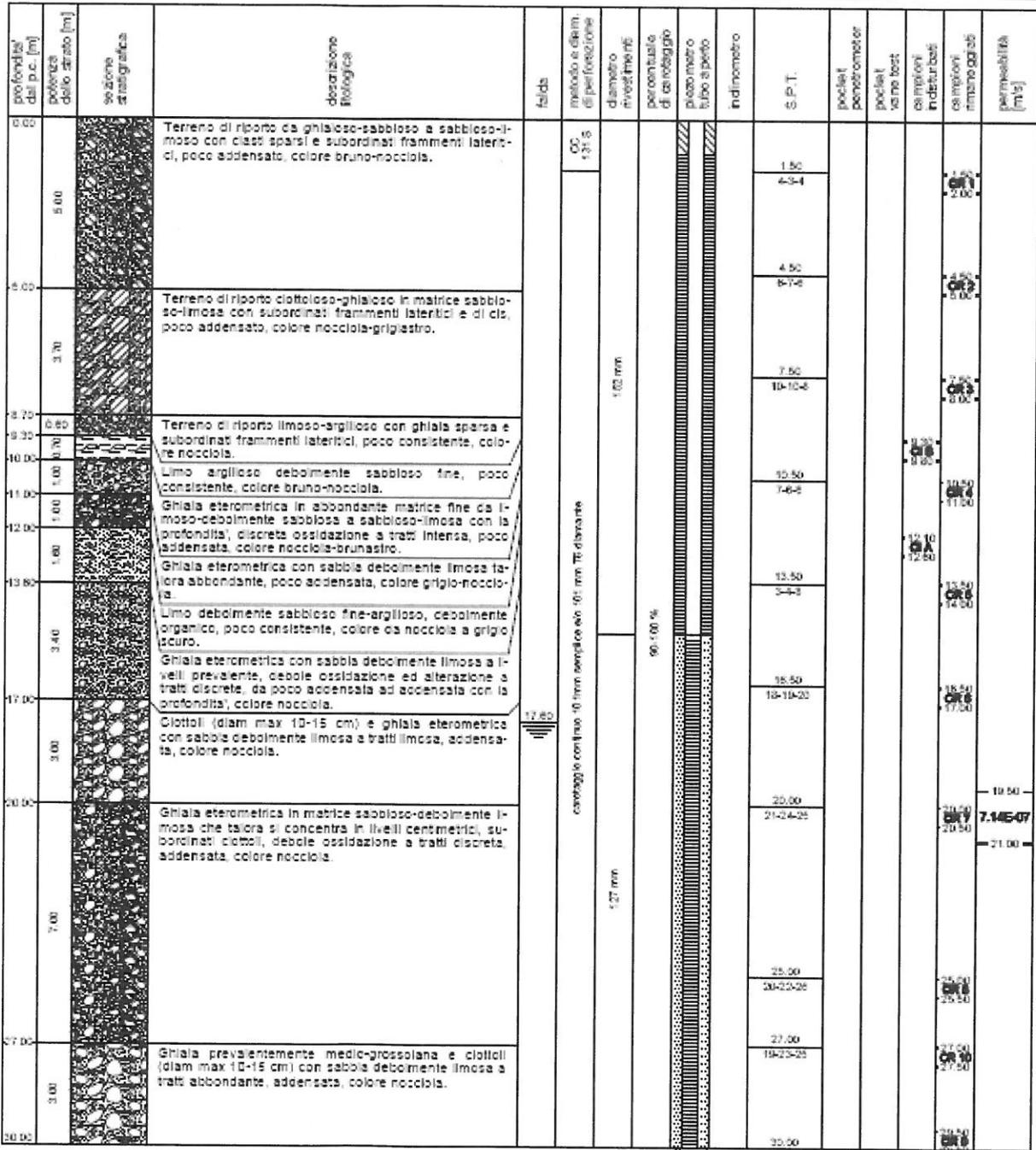
profondità dal p.c. (m)	potenzia dello strato (m)	sezione stratigrafica	descrizione litologica	folia	metodo e dia. m. di perforazione	diametro involontario	percentuale di caviglie di carteggio	piezometro tubo a perfo	indinometro	S.P.T.	paclet penetrometer	paclet se no test	esploratori indisturbati	esploratori rimborghiati	permeabilità (m <sup>2</sup> )
0.00	0.00		Soletta di c/c con lamina superficiale di asfalto bituminoso.	10.00	C2 131-8	1.00 mm	50-100 %			3.00					
0.00	3.00		Terreno di riporto limoso-debolmente sabbioso a tratti argilloso con ciastri sparsi, talora ciottoli e frammenti lateritici minuti, poco addensato, colore bruno-nocciola.							5.00					
3.20	3.00		Ghiala eterometrica con sabbie debolmente limose talora abbondante e/o prevalente, moderatamente addensata, colore nocciola.	10.00	caviglie continue 40 mm spessore e/o 40 mm 10 diametro	1.00 mm	50-100 %			8.00					
3.40	1.80		Ghiala prevalentemente medio-grossolana e ciottoli (diam max 10-15 cm) in matrice sabbiosa-debolmente limosa che talora si concentra in livelli centimetrici, debole ossidazione, da moderatamente addensata ad addensata, colore nocciola.							9.00					
3.60	2.30		Ghiala eterometrica con subordinate passate pluricentriche medio-grossolane e sabbia debolmente limosa talora abbondante, molto addensata, colore nocciola.							25-27-33					
4.00	1.20		Ghiala prevalentemente medio-grossolana e ciottoli (diam max 10-15 cm) in matrice sabbiosa-debolmente limosa a livelli prevalente, molto addensata, colore nocciola.							12.00					
4.20	1.80		Ghiala prevalentemente medio-fine con sabbia debolmente limosa, molto addensata, colore nocciola.							31-34-42					
4.40	0.80		Ghiala prevalentemente medio-fine con sabbia debolmente limosa, molto addensata, colore nocciola.							15.00					
4.60	0.80		Ghiala medio-fine in matrice sabbioso-limosa a livelli prevalente, molto addensata, colore nocciola.							27-28-38					
4.80	3.40		Ghiala prevalentemente medio-grossolana e ciottoli (diam max 10-15 cm) con sabbie debolmente limose a tratti limose che talora si concentra in livelli centimetrici, da molto addensata ad addensata, colore nocciola.							18.00					
4.80	3.40		Ghiala prevalentemente medio-grossolana e ciottoli (diam max 10-15 cm) con sabbie debolmente limose a tratti limose che talora si concentra in livelli centimetrici, da molto addensata ad addensata, colore nocciola.							19-25-27					
4.80	3.40		Ghiala prevalentemente medio-grossolana e ciottoli (diam max 10-15 cm) con sabbie debolmente limose a tratti limose che talora si concentra in livelli centimetrici, da molto addensata ad addensata, colore nocciola.							21.00					
5.00	7.50		Ghiala eterometrica con subordinate passate pluricentriche medio-grossolane con sabbie debolmente limose a tratti abbondante e/o prevalente, rari ciottoli, da addensata a molto addensata, colore nocciola.	10.00		1.00 mm	50-100 %			24.00					
5.00	7.50		Ghiala prevalentemente medio-grossolana e ciottoli (diam max 10-15 cm) con sabbie debolmente limose, addensata, colore nocciola.							25-26-28					
5.20	4.10		Ghiala prevalentemente medio-grossolana e ciottoli (diam max 10-15 cm) con sabbie debolmente limose, addensata, colore nocciola.	10.00		1.00 mm	50-100 %			24.00					
5.20	4.10		Ghiala prevalentemente medio-grossolana e ciottoli (diam max 10-15 cm) con sabbie debolmente limose, addensata, colore nocciola.							27.00					
5.40	4.10									20.00					

Deposito cassette - Magazzino RFI  
Il foto di sondaggio è stato ristampato a termine della perforazione

Figura 7 - Sondaggio SCNM02\_R03

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM02 00 R26RB GE0005001 A 13 di 31



Deposito coesulto: Magazzino NF1  
Il filo di sondaggio è stato attrezzato con tubo piezometrico del tipo "tubo aperto" in PVC del diametro di 3" con tratto filtrante compreso fra +15.00m e +30.00m dal p.c.  
Sono stati prelevati N° 2 campioni normalizzati da +6.30+9.30 m e da +12.10+12.80 m dal p.c.

Figura 8 - Sondaggio PNNM02\_B02

**RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM02 00 R26RB GE0005001 A 14 di 31

profondità dal p.c. [m]	potenza dello strato [m]	sezione stratigrafica	descrizione litologica	folia	metodo e diam. di perforazione	diametro investimento	percentuale di carotaggio	piezometro tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	piezifer penetrometer	piezifer sampe test	colimproli induburati	colimproli rimasto oggati	permeabilità [m/s]
0.00	5.00		Terreno di riporto ciottoloso-glioso in matrice sabbioso-debolmente limosa con rari frammenti millimetrici lateritici, poco addensata, colore nocciola.	00	121-S					3.00 4-5-2			01.00 01.50		
5.00	2.00		Terreno di riporto glioso-sabbioso con sporadici frammenti millimetrici lateritici, poco addensata, colore nocciola.			1.00 mm				8.00 2-3-2			04.00 04.50		
7.00	2.00		Ghiala eterometrica in matrice siltoso-sabbiosa talora abbondante, rari ciottoli, da poco a moderatamente addensata, colore grigio-nocciola.							9.00 11-14-17			08.00 08.50		
9.00	4.00		Ciottoli (diam max 12-15 cm) e ghiala eterometrica con sabbia eterometrica a tratti medio-grossolana debolmente limosa, debole ossidazione, da moderatamente addensata ad addensata, colore nocciola.							12.00 13-15-19			12.00 12.50		
13.00	2.10		Ghiala eterometrica in matrice sabbioso-debolmente limosa a livelli prevalente, discreta ossidazione ed alterazione a tratti intense, addensata, colore nocciola con screziature brunastre d'ossidazione.				90-100 %			15.00 17-20-22			15.00 15.50	13.50 2.405-07	
15.10	0.70		Sabbia prevalentemente medio-fine gliosa, addensata, colore nocciola.							18.00 23-25-28			18.00 18.50		
15.40	1.00		Ghiala eterometrica con sabbia a tratti abbondante, addensata, colore grigio-nocciola.							21.00 21-21-27			21.00 21.50		
17.20	0.30		Sabbia medio-fine con subordinata frazione gliosa fine, addensata, colore nocciola.							24.00 23-25-29			24.00 24.50		
17.50	3.40		Ghiala eterometrica con sabbia debolmente limosa a livelli prevalente, debole ossidazione, addensata, colore nocciola.			1.27 mm				27.00 22-25-32			27.00 27.50		
20.90	2.10		Sabbia eterometrica debolmente limosa con subordinata frazione gliosa che si concentra in livelli pluricentimetrici, da addensata a molto addensata, colore nocciola.							30.00 25-30-33			30.00 30.50		
23.00	2.00		Ghiala eterometrica in matrice sabbioso-debolmente limosa a livelli prevalente, discreta ossidazione, da addensata a molto addensata, colore nocciola.												
25.00	2.50		Ghiala medio-grossolana e ciottoli (diam max 12-15 cm) con sabbia eterometrica debolmente limosa, da addensata a molto addensata, colore nocciola.												
27.50	2.50		Ghiala eterometrica con sabbia debolmente limosa, da addensata a molto addensata, colore nocciola.												

Deposito cassette: Magazzino P01  
Il tipo di sondaggio è stato distribuito al termine della perforazione  
Dati di infrazione: da quota 14+8.00m a +7.50m da p.c.

**Figura 9 - Sondaggio SCNM02\_B01**

## 4.2 INDAGINI SISMICHE

Allo scopo di caratterizzare dal punto di vista elastico i terreni, e definire le categorie di sottosuolo, su cui si dovranno realizzare le nuove infrastrutture la classificazione della categoria di sottosuolo viene eseguita sulla base delle prove SPT eseguite ed in accordo con la formulazione (3.2.2) delle NTC2008 la quale porta a definire  $15 > V_{s,30} > 50$  e quindi terreno di tipo C.

sondaggio	n°	prof. prova		litotipo	n. colpi			N <sub>SPT</sub>	hi	media N <sub>SPT</sub>	hi/N <sub>SPTi</sub>	
		m da p.c.	quota boccaforo		m s.l.m.	1	2					3
PNNM02_B02	1	1.50	124.00	122.50	RILE.SIST.	4	3	4	7	9	11	0.849
SCNM02_B01	1	3.00	124.00	121.00	RILE.SIST.	4	5	5	10			
PNNM02_B02	2	4.50	124.00	119.50	RILE.SIST.	6	7	6	13			
SCNM02_B01	2	6.00	124.00	118.00	RILE.SIST.	2	3	2	5			
PNNM02_B02	3	7.50	124.00	116.50	RILE.SIST.	10	10	8	18			
SCNM02_B01	3	9.00	124.00	115.00	Ghiaie	11	14	17	31			
PNNM02_R04	1	1.50	115.30	113.80	Ghiaie	2	3	3	6	6	19	0.318
PNNM02_B02	4	10.50	124.00	113.50	Ghiaie	7	6	6	12			
SCNM02_R03	1	3.00	115.30	112.30	Ghiaie	5	5	6	11			
SCNM02_B01	4	12.00	124.00	112.00	Ghiaie	13	15	19	34			
PNNM02_R04	2	4.50	115.30	110.80	Ghiaie	7	10	12	22			
PNNM02_B02	5	13.50	124.00	110.50	Ghiaie	3	4	8	12			
SCNM02_R03	2	6.00	115.30	109.30	Ghiaie	8	12	11	23			
SCNM02_B01	5	15.00	124.00	109.00	Ghiaie	17	20	22	42			
PNNM02_R04	3	7.50	115.30	107.80	Ghiaie	17	18	19	37			
PNNM02_B02	6	16.50	124.00	107.50	Ghiaie	18	19	20	39			
SCNM02_R03	3	9.00	115.30	106.30	Ghiaie	27	27	33	60			
SCNM02_B01	6	18.00	124.00	106.00	Ghiaie	23	25	26	51			
PNNM02_R04	4	10.50	115.30	104.80	Ghiaie	21	25	30	55			
PNNM02_B02	7	20.00	124.00	104.00	Ghiaie	21	24	25	49			
SCNM02_R03	4	12.00	115.30	103.30	Ghiaie	31	34	40	74			
SCNM02_B01	7	21.00	124.00	103.00	Ghiaie	21	27	27	54			
PNNM02_R04	5	13.50	115.30	101.80	Ghiaie	18	22	27	49			
SCNM02_R03	5	15.00	115.30	100.30	Ghiaie	27	32	39	71			
SCNM02_B01	8	24.00	124.00	100.00	Ghiaie	23	25	29	54			
PNNM02_B02	8	25.00	124.00	99.00	Ghiaie	20	22	26	48			
PNNM02_R04	6	16.50	115.30	98.80	Ghiaie	21	24	30	54			
SCNM02_R03	6	18.00	115.30	97.30	Ghiaie	19	25	27	52			
PNNM02_B02	9	27.00	124.00	97.00	Ghiaie	19	23	25	48			
SCNM02_B01	9	27.00	124.00	97.00	Ghiaie	22	28	30	58			
PNNM02_R04	7	20.00	115.30	95.30	Ghiaie	23	21	27	48			
SCNM02_R03	7	21.00	115.30	94.30	Ghiaie	23	26	28	54			
PNNM02_B02	10	30.00	124.00	94.00	Ghiaie	18	24	24	48			
SCNM02_B01	10	30.00	124.00	94.00	Ghiaie	23	30	31	61			
SCNM02_R03	8	24.00	115.30	91.30	Ghiaie	21	24	27	51			
PNNM02_R04	8	25.00	115.30	90.30	Ghiaie	25	26	28	54			
PNNM02_R04	9	27.00	115.30	88.30	Ghiaie	21	29	31	60			
SCNM02_R03	9	27.00	115.30	88.30	Ghiaie	17	22	23	45			
PNNM02_R04	10	30.00	115.30	85.30	Ghiaie	24	23	24	47			
SCNM02_R03	10	30.00	115.30	85.30	Ghiaie	19	24	24	48			

N <sub>SPT,30</sub>	21	Terreno	C
---------------------	----	---------	---

### 4.3 PROVE DI LABORATORIO

Sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio sui campioni indisturbati prelevati nei fori di sondaggio:

- Descrizione stratigrafica;
- Analisi granulometrica per setacciatura e sedimentazione;
- Determinazione del contenuto d'acqua naturale (la determinazione eseguita su terreni a grana grossa è stata ritenuta comunque poco affidabile e non considerata nel resto della caratterizzazione);
- Determinazione dei limiti di consistenza di Atterberg (la determinazione eseguita su terreni a grana grossa è stata ritenuta comunque poco affidabile e non considerata nel resto della caratterizzazione);
- Determinazione del peso dell'unità di volume  $\gamma_{nat}$ ;
- Determinazione del peso specifico dei grani  $G_s$ ;
- Prove di taglio diretto eseguite in stratificazioni coesive entro la matrice diffusa incoerente (alla luce della caratterizzazione geotecnica eseguita considerante solo terreni di natura incoerente tali stratificazioni non vengono tenute in considerazione);

Per la valutazione dei certificati d'indagine si rimanda all'elaborato NM0200R69RGGE0001001A\_All1 - "Relazione Geologica, Geomorfologica ed Idrologica – Rapporti di prova del laboratorio geotecnico". Un riassunto delle risultanze più significative riguardanti la descrizione stratigrafica e l'analisi granulometrica svolta sono riportate a seguire:

**RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOLGIO
NM02	00	R26RB	GE0005001	A	17 di 31

		Ciottoli (<60 mm)	Ghiaia (60-2 mm)	Sabbia (2,0-0,06 mm)	Limo (0,06-0,002 mm)	Argilla (<0,002mm)	D <sub>10</sub> (mm)
SCNM02 B01	CR1	17,7	44,3	21,5	10,7	5,8	0.009
SCNM02 B01	CR2		70,5	24,0	5,5		0.25
SCNM02 B01	CR3	10,8	55,8	22,3	8,4	2,7	0.04
SCNM02 B01	CR4		70,3	19,6	6,6	3,5	0.055
SCNM02 B01	CR5		14,4	56,3	21,9	7,4	0.005
SCNM02 B01	CR6		58,8	28,1	10,5	2,6	0.025
SCNM02 B01	CR7	3,6	29,3	55,6	10,1	1,4	0.04
SCNM02 B01	CR8		40,5	36,3	19,3	3,9	0.01
SCNM02 B01	CR9		64,0	29,0	7,0		0.12
SCNM02 B01	CR10		34,9	51,5	13,6		-

**Tabella 3. Analisi granulometriche PNNM02 B02, con determinazione del D10**

		Ciottoli (<60 mm)	Ghiaia (60-2 mm)	Sabbia (2,0-0,06 mm)	Limo (0,06-0,002 mm)	Argilla (<0,002mm)	D <sub>10</sub> (mm)
PNNM02 B02	CR1		44,9	31,4	17,1	6,7	0.0085
PNNM02 B02	CR2		38,3	35,6	20,5	5,6	0.0055
PNNM02 B02	CR3	16,2	49,2	24,9	7,5	2,2	0.06
PNNM02 B02	CB		0,3	31,7	44,0	24,0	-
PNNM02 B02	CR4		46,1	34,8	13,7	5,4	0.01
PNNM02 B02	CI A		0,0	7,9	67,4	24,7	-
PNNM02 B02	CR5		47,9	33,3	14,0	4,8	0.012
PNNM02 B02	CR6		39,0	34,9	20,8	5,3	0.012
PNNM02 B02	CR7		43,3	38,1	13,8	4,8	0.0085
PNNM02 B02	CR8		28,9	53,6	14,6	2,9	0.015
PNNM02 B02	CR9		61,6	31,9	6,5		0.18
PNNM02 B02	CR10		55,1	31,6	10,8	2,5	0.03

		Ciottoli (<60 mm)	Ghiaia (60-2 mm)	Sabbia (2,0-0,06 mm)	Limo (0,06-0,002 mm)	Argilla (<0,002mm)	D <sub>10</sub> (mm)
SCNM02 R03	CR1		70,2	19,8	6,8	3,2	0.04
SCNM02 R03	CR2		50,2	42,9	6,9		0.18
SCNM02 R03	CR3		56,9	34,6	8,5		0.08
SCNM02 R03	CR4		49,9	42,2	7,9		0.085
SCNM02 R03	CR5		55,7	35,3	9,0		0.075
SCNM02 R03	CR6		49,3	32,4	14,6	3,7	0.01
SCNM02 R03	CR7		39,4	35,5	19,4	5,7	0.006
SCNM02 R03	CR 10		28,2	49,0	19,5	3,3	0.01
SCNM02 R03	CR8		53,4	37,7	8,9		0.08
SCNM02 R03	CR9		46,6	36,1	14,2	3,1	0.015

**Tabella 5. Analisi granulometriche PNNM02 R04, con determinazione del D10**

		Ciottoli (<60 mm)	Ghiaia (60-2 mm)	Sabbia (2,0-0,06 mm)	Limo (0,06-0,002 mm)	Argilla (<0,002mm)	D <sub>10</sub> (mm)
PNNM02 R04	CR1		22,7	25,0	35,7	16,6	-
PNNM02 R04	CR2		51,3	29,9	13,4	5,4	0.012
PNNM02 R04	CR3		53,0	27,6	15,4	4,0	0.015
PNNM02 R04	CR4		22,2	51,4	20,5	5,9	0.0065
PNNM02 R04	CR5	0,0	41,2	52,7	6,1		0.16
PNNM02 R04	CR6	0,0	43,1	49,6	7,3		0.1
PNNM02 R04	CR7	0,0	38,3	49,8	9,9	2,0	0.04
PNNM02 R04	CR8	0,0	44,2	51,4	4,4		0.16
PNNM02 R04	CR9	0,0	40,6	44,9	14,6		-
PNNM02 R04	CR10	0,0	30,5	53,5	12,0	4,0	0.15

**Figura 10 – Risultanze analisi granulometrica**

#### 4.4 PROVE LEFRANC

Di seguito si riportano i certificati delle prove di permeabilità tipo Lefranc eseguite nei fori di sondaggio.

Sondaggio	Prof. prova Lefranc da a [m]	Permeabilità k [m/s]
SCNM02B01	13.20-15.00	2.40E-07
<i>LITOLOGIA: Ghiaia in matrice sabbiosa debolmente limosa (Unità 3)</i>		
PNNM02B02	19.50-21.00	7.14E-07
<i>LITOLOGIA: Ghiaia in matrice sabbiosa debolmente limosa (Unità 3)</i>		
SCNM02R03	13.50-15.00	1.21E-07
<i>LITOLOGIA: Sabbia medio fine limosa con ghiaia (Unità 2)</i>		
PNNM02R04	22.50-24.00	4.30E-07

## 5 DEFINIZIONE DELLE UNITA' GEOTECNICHE INTERCETTATE

Sulla base dei risultati delle indagini (in sito ed in laboratorio) della campagna geognostica eseguita nell'area in esame, si perviene ad una caratterizzazione geotecnica dei terreni e quindi alla definizione della stratigrafia ed ai parametri geotecnici di progetto.

Nel seguito viene prima brevemente descritta la successione stratigrafica lungo il tracciato con individuazione delle unità geotecniche intercettate dalle indagini; successivamente vengono presentate le caratteristiche litologiche ed i valori dei parametri geotecnici delle unità di interesse progettuale.

Lungo il tracciato in esame sono distinguibili le seguenti unità geotecniche:

- **Unità R - Rilevato ferroviario esistente:** L'unità, a comportamento molto eterogeneo ma sostanzialmente granulare, è formata da un terreno di riporto costituito da clasti e frammenti eterogenei in matrice da limosa a ghiaiosa. Lo strato corrisponde al corpo dell'attuale rilevato ferroviario.
- **Unità G - Ghiaie** L'unità, a comportamento marcatamente granulare, è costituita da ghiaie eterometriche e sabbie prevalentemente medio-grosse in matrice debolmente limosa. A tratti si possono incontrare stratificazioni limitate a contenuto coesivo maggiore. Tali stratificazioni sono ovunque state trascurate. Il litotipo in questione costituisce l'elemento maggiormente frequente nell'ambito urbano di Milano.

Ai fini della caratterizzazione dei terreni è stato fatto riferimento ai risultati delle:

- Prove penetrometriche dinamiche SPT eseguite nei fori di sondaggio.

### 5.1 CRITERI DI VALUTAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI

#### 5.1.1 Depositi incoerenti

Per i depositi prevalentemente incoerenti (sabbie), i parametri geotecnici di resistenza al taglio e di deformabilità possono essere stimati sulla base dell'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

Sono stati considerati i valori minimi di densità relativa ottenuti dalle varie correlazioni che di seguito vengono esposte.

##### 5.1.1.1 Stato di addensamento

##### **Correlazione di Skempton**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>INTERVENTI UPGRADING DELLA RETE VIAGGIATORI - MI</b> <b>NUOVO PRG DELLA STAZIONE DI MILANO LAMBRATE</b>					
	<b>RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE</b>	COMMESSA NM02	LOTTO 00	CODIFICA R26RB	DOCUMENTO GE0005001	REV. A

In accordo a quanto indicato in Skempton (1986), la densità relativa  $D_r$  può essere correlata al valore  $N_{SPT}$  con la seguente legge:

$$D_r = \left( \frac{1}{A + B \cdot \sigma'_{vo}} \cdot N_{SPT} \right)^{0.5}$$

essendo:

A, B = costanti empiriche indicate in Tabella 7.

$\sigma'_{vo}$  = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova SPT (kg/cm<sup>2</sup>);

$N_{SPT}$  = numero di colpi per 30 cm di infissione ;

$D_r$  = densità relativa (-).

**Tabella 7 - Costanti empiriche A e B (Skempton, 1986)**

Tipo di materiale	A	B
Sabbie fini normalmente consolidate	27,5	27,5
Sabbie grosse normalmente consolidate	43,3	21,7
Sabbie sovraconsolidate	27,5+43,3	$(21,7+27,5) \frac{1+2 \cdot (ko)sc}{1+2 \cdot (ko)nc}$

Nel caso in esame sono state cautelativamente considerate le costanti empiriche relative a sabbie fini normal consolidate.

### **Correlazione di Gibbs e Holtz**

In accordo a quanto indicato da Gibbs e Holtz (1957) la densità relativa  $D_r$  può essere correlata al valore  $N_{SPT}$  con la seguente espressione:

$$D_R = \sqrt{\frac{N_{SPT}}{(16 + 23 \cdot \sigma'_{vo})}}$$

#### **5.1.1.2 Parametri di resistenza**

Per la stima dell'angolo di resistenza al taglio dalle prove SPT sono state utilizzate le correlazione di seguito illustrate.

### **Correlazione di Shioi-Fukuni**

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\varphi = \sqrt{15 N_{SPT}} + 15$$

dove  $N_{SPT}$  = numero di colpi per 30 cm di infissione

### 5.1.1.3 Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi incoerenti possono essere stimate dall'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

#### Correlazione di Schmertmann

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$E(\text{kg / cmq}) = 2BN_{SPT}$$

dove  $N_{SPT}$  = numero di colpi per 30 cm di infissione e B è una costante variabile in funzione della litologia:

B	Litologia
4	sabbia fine
6	sabbia media
10	sabbia grossolana

Nel caso in esame è stata cautelativamente considerata la costante empirica relativa a sabbia fine.

#### Correlazione di Schultze e Menzebach

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$E(\text{kg / cmq}) = 5.27N_{SPT} + 76$$

dove  $N_{SPT}$  = numero di colpi per 30 cm di infissione.

## 5.2 UNITA' R - Rilevato ferroviario esistente

L'unità, a comportamento molto eterogeneo ma sostanzialmente granulare, è formata da un terreno di riporto costituito da clasti e frammenti eterogenei in matrice da limosa a ghiaiosa. Lo strato corrisponde al corpo dell'attuale rilevato ferroviario ed all'interno di questo si realizzeranno la maggior parte delle opere in particolar modo riguardanti trincee di scavo fra opere di sostegno e gallerie artificiali.

Tale unità è stata intercettata dai sondaggi eseguiti dal rilevato ovvero PNNM02\_B02 e SCNM02\_B01 fino alla quota assoluta di +115.00 m s.l.m..

Dallo studio delle carote estratte nei sondaggi e delle prove in sito svolte in questo litotipo si è riscontrato un tipico comportamento da materiale incoerente mediamente addensato. Le caratteristiche meccaniche, affidate all'interpretazione delle prove SPT, saranno espresse in termini di tensioni efficaci. Le prove sui campioni rimaneggiati prelevati in foro permettono la definizione delle caratteristiche granulometriche del litotipo.

Le prove SPT hanno restituito i seguenti risultati riportati di seguito in forma tabellare:

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM02 00 R26RB GE0005001 A 22 di 31

Profondità dal p.c. (m)	quota boccaforo	prof. prova	$\sigma_{v0}$ (kPa)	$\sigma'_{v0}$ (kPa)	NSPT	INFLUENZA ATTREZZATURA			INFLUENZA CONDIZIONI TERRENO			(N1) <sub>40</sub>
						Correzione per tecniche di perforazione Cd	Correzione per attrezzatura ER/60	N <sub>40</sub>	Correzione Terzaghi-Peck (1948)	N <sub>40</sub>	Correzione livello tensionale (kPa)	
						1.00	2.00				1	
1.5	124.0	122.5	30	30	7	7	14.00	14.00	FALSO	7.0	1.54	10.8
3.0	124.0	121.0	60	60	10	10	20.00	20.00	FALSO	10.0	1.25	12.5
4.5	124.0	119.5	90	90	13	13	26.00	26.00	FALSO	13.0	1.05	13.7
6.0	124.0	118.0	120	120	5	5	10.00	10.00	FALSO	5.0	0.91	4.5
7.5	124.0	114.5	150	150	18	18	36.00	36.00	FALSO	18.0	0.80	14.4

Profondità dal p.c. (m)	$\sigma_{v0}$ (kPa)	$\sigma'_{v0}$ (kPa)	NSPT	DA PROVE LAB			$\phi'_{picco}$ (°)	$\phi'_{cv}$ (°)
				A	B	C		
				Dr (Terzaghi, Peck '48) (%)	Dr (Meyerhoff '57) (%)	Dr (Bazaraa '67) (%)		
				55				6
							28	0.14
1.5	30	30	7	44	56	40	34	28
3.0	60	60	10	48	58	38	33	27
4.5	90	90	13	50	60	40	34	28
6.0	120	120	5	29	34	24	31	25
7.5	150	150	18	51	60	43	34	28

n° Prove da considerare: 5 44 54 37 33 27

Profondità dal p.c. (m)	$\sigma_{v0}$ (kPa)	$\sigma'_{v0}$ (kPa)	NSPT	E <sub>25</sub> (MPa)		E (MPa)		Vs (m/sec)		G <sub>0</sub> (MPa)	E <sub>0</sub> (MPa)
				10.5	3.5	0.754	18.75	1	1.15		
1.5	30.0	30.0	7.0	6		24		119		29	75
3.0	60.0	60.0	10.0	9		26		140		40	104
4.5	90.0	90.0	13.0	11		29		155		49	127
6.0	120.0	120.0	5.0	5		23		136		37	97
7.5	150.0	150.0	18.0	16		32		173		61	158

n° Prove da considerare: 5 9 27 43 112

Tabella 2 – Prove SPT inerenti al litotipo R

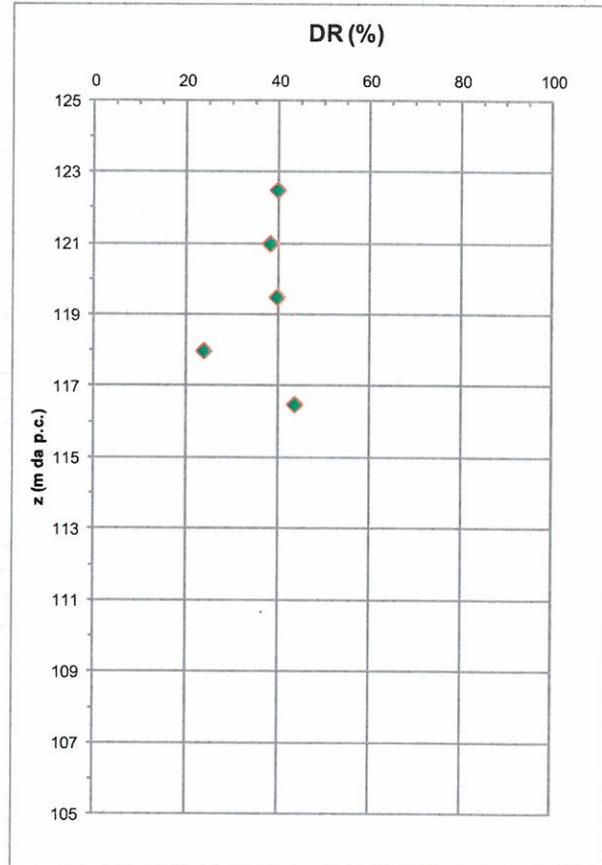
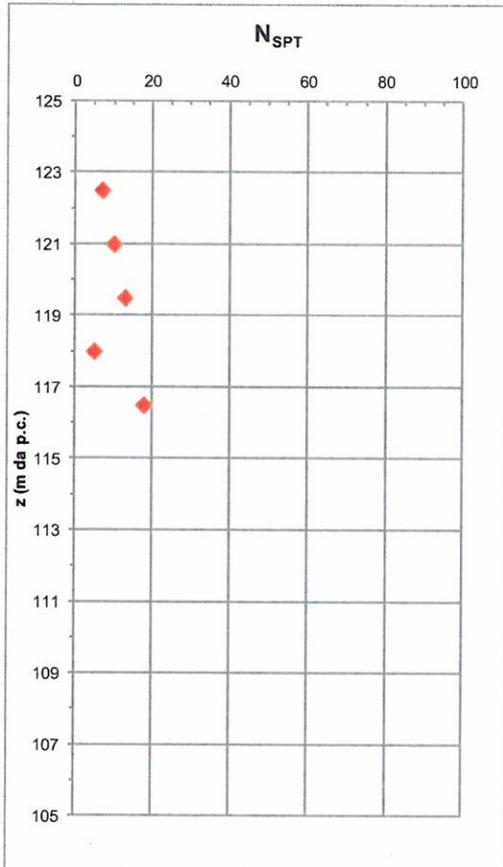
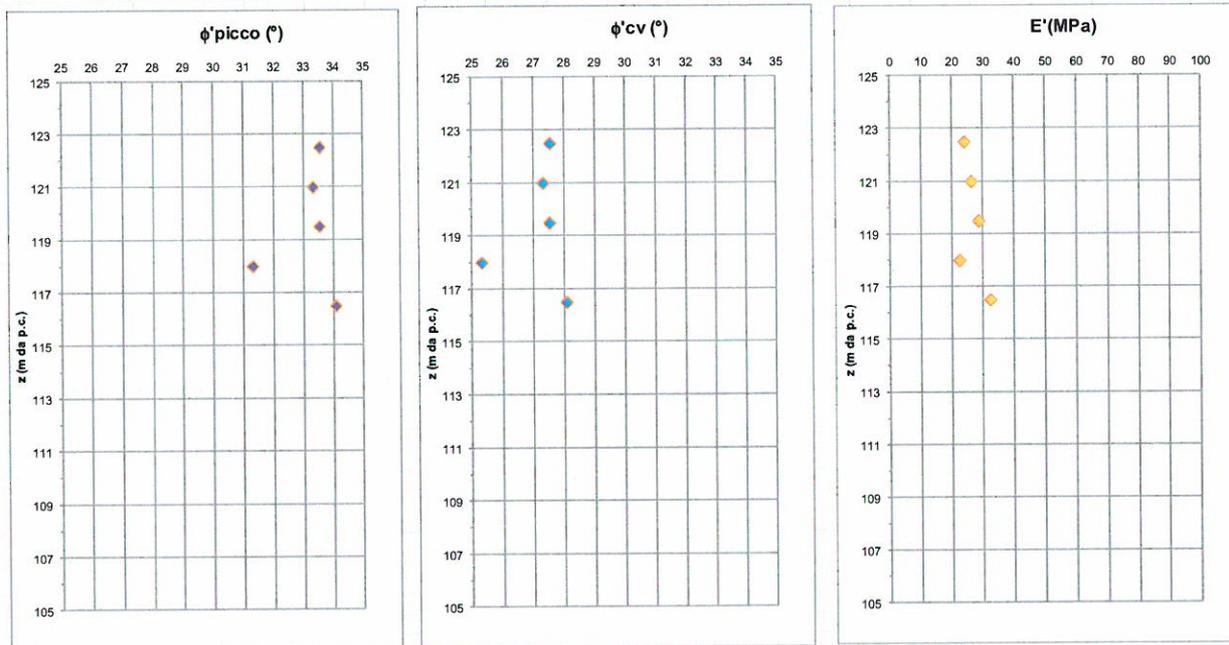


Tabella 3 – Profili stratigrafici di  $N_{SPT}$  e  $D_R$



**Tabella 4 – Profili stratigrafici di angolo d'attrito e modulo elastico**

Dai risultati desunti dalle prove in sito e laboratorio si ottiene la seguente tabella riassuntiva delle caratteristiche geotecniche in termini di tensioni efficaci:

- |                                  |                                       |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| • Peso per unità di volume       | $\gamma_{mat} = 20.00 \text{ kN/m}^3$ |
| • Densità relativa               | $Dr = 44 \%$                          |
| • Coesione efficace              | $c' = 10.00 \text{ kPa}$              |
| • Angolo di attrito di picco     | $\phi'p = 33^\circ$                   |
| • Angolo di attrito volume cost. | $\phi'cv = 28-30^\circ$               |
| • Modulo di Young operativo      | $E' = 25.00 \text{ MPa}$              |

Il valore della coesione non ricavato da prove in sito è stato valutato in accordo alla "Relazione Geologica, Geomorfologica ed Idrologica".

### 5.3 UNITA' G - Ghiaie

L'unità, a comportamento marcatamente granulare, è costituita da ghiaie etero metriche e sabbie prevalentemente medio-grosse in matrice debolmente limosa. A tratti si possono incontrare stratificazioni limitate a contenuto coesivo maggiore. Tali stratificazioni sono ovunque state trascurate. Il litotipo in questione costituisce l'elemento maggiormente frequente nell'ambito urbano di Milano sede anche di falda.

Lo strato si rinviene in tutti i sondaggi al di sotto della quota di piano campagna media di zona e pari a 115.00 m s.l.m. rappresentando quindi il terreno di fondazione dell'attuale rilevato ferroviario.

La caratterizzazione geotecnica di questo litotipo è affidata all'interpretazione delle prove SPT e delle prove eseguite sui campioni prelevati nella campagna di indagini. Tali prove hanno evidenziato uno strato superficiale di una decina di metri meno addensato e con ridotte caratteristiche geo-meccaniche rispetto agli strati di profondità. Nel livello progettuale in essere si ritiene di considerare un unico litotipo rimandando ai livelli successivi ogni tipo di affinamento.

Come già detto, inoltre, sono stati riscontrati livelli stratigrafici a comportamento più marcatamente coesivo. Alla luce dei modesti spessori di tali livelli e stanti le scelte geotecniche svolte, che considerano in questa fase i terreni riscontrati a comportamento incoerente, tali stratificazioni non vengono tenute in considerazione.

Le prove SPT hanno restituito i seguenti risultati riportati di seguito in forma tabellare:

**RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM02 00 R26RB GE0005001 A 26 di 31

Profondità dal p.c. (m)	quota boccaforo	prof. prova	$\sigma_{ve}$ (kPa)	$\sigma'_{ve}$ (kPa)	NSPT	INFLUENZA ATTREZZATURA		$N_{60}$	INFLUENZA CONDIZIONI TERRENO			
						Correzione per tecniche di perforazione Cd	Correzione per attrezzatura ER/60		Correzione Terzaghi-Peck (1948)	$N_{60}$	Correzione livello tensionale (kPa)	(N1) <sub>60</sub>
						1.00	2.00			2		
9.0	124.0	115.0	180	180	31	31	62.00	62.00	FALSO	31.0	0.79	24.5
1.5	115.3	113.8	30	30	6	6	12.00	12.00	FALSO	6.0	1.30	7.8
10.5	124.0	113.5	210	210	12	12	24.00	24.00	FALSO	12.0	0.73	8.8
3.0	115.3	112.3	60	60	11	11	22.00	22.00	FALSO	11.0	1.15	12.7
12.0	124.0	112.0	240	240	34	34	68.00	68.00	FALSO	34.0	0.68	23.2
4.5	115.3	110.8	90	90	22	22	44.00	44.00	FALSO	22.0	1.03	22.8
13.5	124.0	110.5	270	270	12	12	24.00	24.00	FALSO	12.0	0.64	7.7
6.0	115.3	109.3	120	120	23	23	46.00	46.00	FALSO	23.0	0.94	21.6
15.0	124.0	109.0	300	300	42	42	84.00	84.00	FALSO	42.0	0.60	25.2
7.5	115.3	107.8	150	150	37	37	74.00	74.00	FALSO	37.0	0.86	31.7
14.5	124.0	107.5	330	330	39	39	78.00	78.00	FALSO	39.0	0.57	22.1
9.0	115.3	106.3	180	179	60	60	120.00	120.00	FALSO	60.0	0.79	47.5
18.0	124.0	106.0	360	356	51	51	102.00	102.00	FALSO	51.0	0.54	27.5
10.5	115.3	104.8	210	194	55	55	110.00	110.00	FALSO	55.0	0.76	41.8
20.0	124.0	104.0	400	376	49	49	98.00	98.00	FALSO	49.0	0.52	25.5
12.0	115.3	103.3	240	210	74	74	148.00	148.00	FALSO	74.0	0.73	54.2
21.0	124.0	103.0	420	387	54	54	108.00	108.00	FALSO	54.0	0.51	27.6
13.5	115.3	101.8	270	225	49	49	98.00	98.00	FALSO	49.0	0.71	34.6
15.0	115.3	100.3	300	240	71	71	142.00	142.00	FALSO	71.0	0.68	48.4
24.0	124.0	100.0	480	417	54	54	108.00	108.00	FALSO	54.0	0.49	26.2
25.0	124.0	99.0	500	427	48	48	96.00	96.00	FALSO	48.0	0.48	23.0
14.5	115.3	98.8	330	255	54	54	108.00	108.00	FALSO	54.0	0.66	35.6
18.0	115.3	97.3	360	271	52	52	104.00	104.00	FALSO	52.0	0.64	33.1
27.0	124.0	97.0	540	448	48	48	96.00	96.00	FALSO	48.0	0.46	22.2
27.0	124.0	97.0	540	448	58	58	116.00	116.00	FALSO	58.0	0.46	26.9
20.0	115.3	95.3	400	291	48	48	96.00	96.00	FALSO	48.0	0.61	29.3
21.0	115.3	94.3	420	301	54	54	108.00	108.00	FALSO	54.0	0.60	32.3
30.0	124.0	94.0	600	478	48	48	96.00	96.00	FALSO	48.0	0.44	21.2
30.0	124.0	94.0	600	478	61	61	122.00	122.00	FALSO	61.0	0.44	27.0
24.0	115.3	91.3	480	332	51	51	102.00	102.00	FALSO	51.0	0.56	28.8
25.0	115.3	90.3	500	342	54	54	108.00	108.00	FALSO	54.0	0.55	29.9
27.0	115.3	88.3	540	362	60	60	120.00	120.00	FALSO	60.0	0.53	32.0
27.0	115.3	88.3	540	362	45	45	90.00	90.00	FALSO	45.0	0.53	24.0
30.0	115.3	85.3	600	393	47	47	94.00	94.00	FALSO	47.0	0.51	23.8
30.0	115.3	85.3	600	393	48	48	96.00	96.00	FALSO	48.0	0.51	24.3

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM02 00 R26RB GE0005001 A 27 di 31

Profondità dal p.c. (m)	$\sigma_{v0}$ (kPa)	$\sigma'_{v0}$ (kPa)	NSPT	DA PROVE LAB			DA PROVE SITO		$\phi'_{picco}$ (°)	$\phi'_{cv}$ (°)
				A	B	C	Dr (Terzaghi, Peck '48) (%)	Dr (Meyerhoff '57) (%)		
				65				C	8	
							34.5	0.1		
9.0	180	180	31	61	74	55		40	32	
1.5	30	30	6	35	51	37		38	30	
10.5	210	210	12	37	43	33		38	30	
3.0	60	60	11	44	61	40		38	30	
12.0	240	240	34	60	70	55		40	32	
4.5	90	90	22	59	78	51		40	32	
13.5	270	270	12	34	39	32		38	30	
6.0	120	120	23	58	73	51		40	32	
15.0	300	300	42	62	71	58		40	32	
7.5	150	150	37	70	86	62		41	33	
16.5	330	330	39	58	66	54		40	32	
9.0	180	179	60	85	100	77		42	34	
18.0	360	356	51	65	73	61		41	33	
10.5	210	194	55	80	96	73		42	34	
20.0	400	376	49	63	70	59		40	32	
12.0	240	210	74	91	100	83		43	35	
21.0	420	387	54	65	72	61		41	33	
13.5	270	225	49	73	86	66		41	33	
15.0	300	240	71	86	100	79		42	34	
24.0	480	417	54	64	70	60		40	32	
25.0	500	427	48	59	65	56		40	32	
16.5	330	255	54	74	86	68		41	33	
18.0	360	271	52	71	82	66		41	33	
27.0	540	448	48	58	64	55		40	32	
27.0	540	448	58	64	70	61		41	33	
20.0	400	291	48	67	77	62		41	33	
21.0	420	301	54	71	80	65		41	33	
30.0	600	478	48	57	62	54		40	32	
30.0	600	478	61	64	70	61		41	33	
24.0	480	332	51	67	75	62		41	33	
25.0	500	342	54	68	76	63		41	33	
27.0	540	362	60	70	78	66		41	33	
27.0	540	362	45	61	68	57		40	32	
30.0	600	393	47	60	67	57		40	32	
30.0	600	393	48	61	68	57		40	32	
n° Prove da considerare				35	64	73	59	40	32	

**RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM02 00 R26RB GE0005001 A 28 di 31

Profondità dal p.c. (m)	$\sigma_{vo}$ (kPa)	$\sigma'_{vo}$ (kPa)	NSPT	E'25 (MPa)		E (MPa)		Vs (m/sec)		G'o (MPa)	E'o (MPa)
				10.5	3.5	0.754	18.75	1	1.15		
9.0	180.0	180.0	31.0	26		42		196		78	204
1.5	30.0	30.0	6.0	6		23		113		26	68
10.5	210.0	210.0	12.0	11		28		170		59	152
3.0	60.0	60.0	11.0	10		27		141		40	105
12.0	240.0	240.0	34.0	29		44		206		86	224
4.5	90.0	90.0	22.0	19		35		169		58	151
13.5	270.0	270.0	12.0	11		28		174		62	161
6.0	120.0	120.0	23.0	20		36		177		64	166
15.0	300.0	300.0	42.0	35		51		218		97	252
7.5	150.0	150.0	37.0	30		47		198		80	207
16.5	330.0	330.0	39.0	33		48		217		96	250
9.0	180.0	179.0	60.0	45		64		219		98	255
18.0	360.0	356.1	51.0	42		57		230		107	279
10.5	210.0	194.3	55.0	42		60		221		100	260
20.0	400.0	376.5	49.0	41		56		231		109	284
12.0	240.0	209.6	74.0	54		75		238		115	300
21.0	420.0	386.6	54.0	44		60		237		114	297
13.5	270.0	224.9	49.0	39		56		225		104	269
15.0	300.0	240.2	71.0	53		72		244		121	315
24.0	480.0	417.2	54.0	45		60		241		118	308
25.0	500.0	427.4	48.0	40		55		238		115	299
16.5	330.0	255.4	54.0	43		60		236		113	294
18.0	360.0	270.7	52.0	42		58		237		114	298
27.0	540.0	447.8	48.0	41		55		240		117	305
27.0	540.0	447.8	58.0	48		63		248		125	325
20.0	400.0	291.1	48.0	39		55		237		114	298
21.0	420.0	301.3	54.0	43		60		243		121	314
30.0	600.0	478.4	48.0	41		55		243		120	313
30.0	600.0	478.4	61.0	50		65		253		131	340
24.0	480.0	331.9	51.0	42		57		245		122	318
25.0	500.0	342.1	54.0	44		60		249		126	327
27.0	540.0	362.4	60.0	48		64		255		133	346
27.0	540.0	362.4	45.0	38		53		243		120	313
30.0	600.0	393.0	47.0	39		54		248		125	325
30.0	600.0	393.0	48.0	40		55		249		126	328
n° Prove da considerare			35	34	52			102		264	

**Tabella 5 – Prove SPT inerenti al litotipo G**

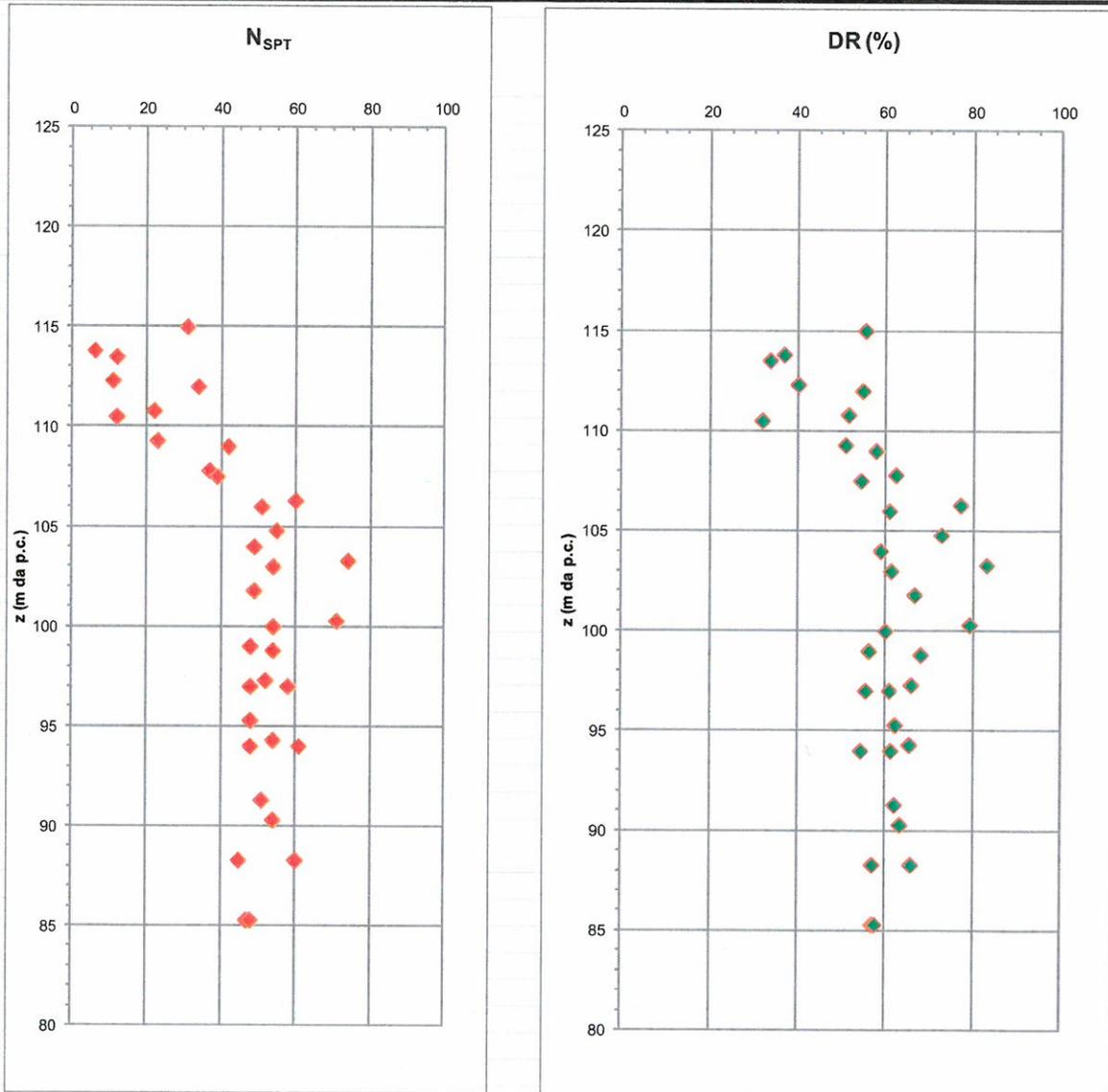
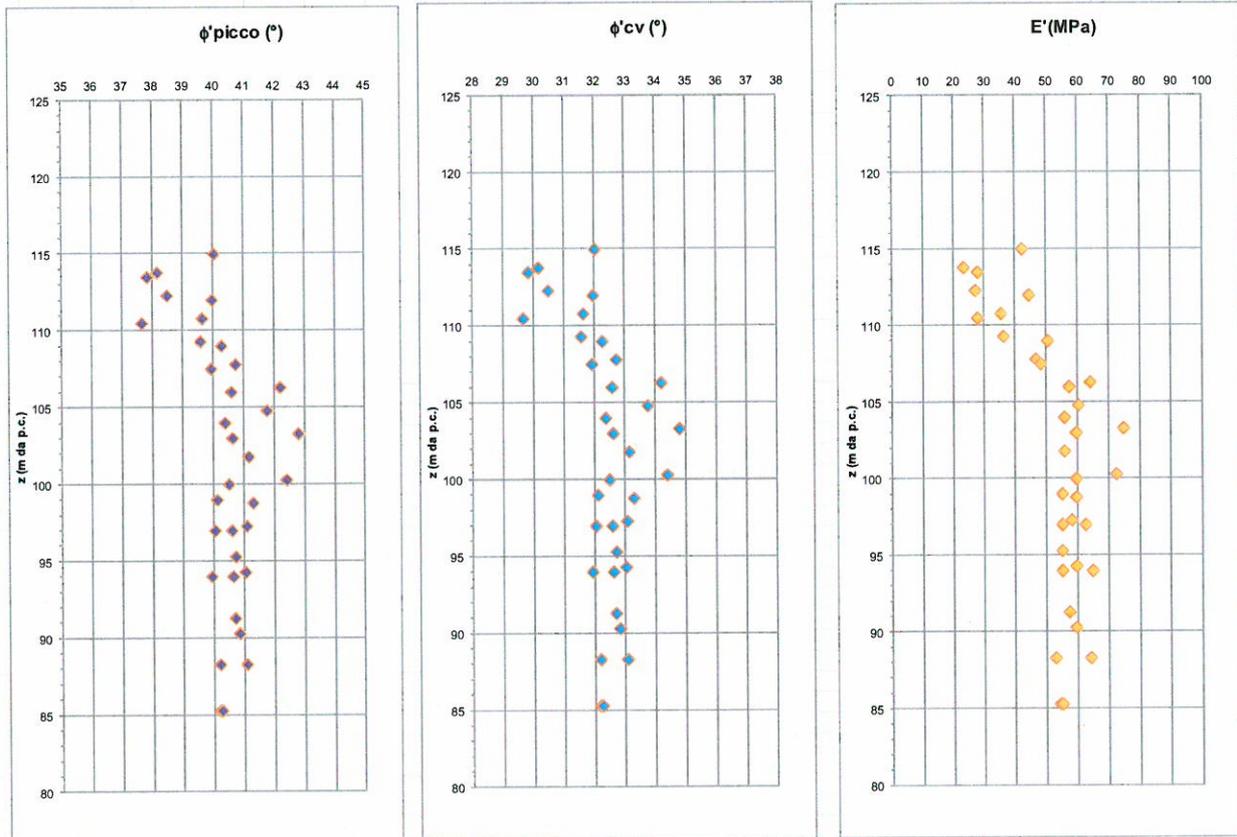


Tabella 6 – Profili stratigrafici di N<sub>SPT</sub> e D<sub>R</sub>



**Tabella 7 – Profili stratigrafici di angolo d’attrito e modulo elastico**

Dai risultati desunti dalle prove in sito e laboratorio si ottiene la seguente tabella riassuntiva delle caratteristiche geotecniche in termini di tensioni efficaci:

- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| • Peso per unità di volume       | $\gamma_{\text{nat}} = 20.00 \text{ kN/m}^3$ |
| • Densità relativa               | $Dr = 64 \%$                                 |
| • Coesione efficace              | $c' = 0.00 \text{ kPa}$                      |
| • Angolo di attrito di picco     | $\phi'p = 40^\circ$                          |
| • Angolo di attrito volume cost. | $\phi'cv = 32-35^\circ$                      |
| • Modulo di Young operativo      | $E' = 60.00 \text{ MPa}$                     |

## 6 STRATIGRAFIA GEOTECNICA DI DETTAGLIO

Da p.c. a +115.00mslm RILEVATO FERROVIARIO ESISTENTE (R):

- Peso per unità di volume  $\gamma_{\text{nat}} = 20.00 \text{ kN/m}^3$
- Densità relativa  $D_r = 44 \%$
- Coesione efficace  $c' = 10.00 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito di picco  $\phi'_p = 33^\circ$
- Angolo di attrito volume cost.  $\phi'_{cv} = 28-30^\circ$
- Modulo di Young operativo  $E' = 25.00 \text{ MPa}$

oltre +115.00mslm GHIAIE (G):

- Peso per unità di volume  $\gamma_{\text{nat}} = 20.00 \text{ kN/m}^3$
- Densità relativa  $D_r = 64 \%$
- Coesione efficace  $c' = 0.00 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito di picco  $\phi'_p = 40^\circ$
- Angolo di attrito volume cost.  $\phi'_{cv} = 32-35^\circ$
- Modulo di Young operativo  $E' = 60.00 \text{ MPa}$

In corrispondenza dell'area oggetto di studio, in riferimento ai dati piezometrici misurati nei fori di sondaggio attrezzati con piezometro, la falda freatica si colloca alla quota di 104÷105 m sul livello del mare. Cautelativamente la falda è stata ovunque considerata a quota +106.00 m s.l.m..

