

AUTOSTRADA (A14) : BOLOGNA-BARI-TARANTO

AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA
DEL TRATTO RIMINI NORD-PEDASO

TRATTO : CATTOLICA - FANO

NUOVO SVINCOLO DI FANO NORD
PROGETTO DEFINITIVO

DOCUMENTAZIONE GENERALE

GEOTECNICA RELAZIONE GEOTECNICA DI PROGETTO

**IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE
SPECIALISTICA**

Ing. Tiziano Collotta
Ord. Ingg. Lecco N.122

RESPONSABILE UFFICIO GEI

**IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE**

Ing. Giuliana Garigali
Ord. Ingg. Milano N. 18419

RESPONSABILE AREA DI PROGETTO BOLOGNA

IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Maurizio Torresi
Ord. Ingg. Milano N. 16492

RESPONSABILE FUNZIONE STP

RIFERIMENTO ELABORATO						DATA:	REVISIONE	
DIRETTORIO			FILE			OTTOBRE 2010	n.	data
codice	commessa	N.Prog.	unita'	n. progressivo				
1	1	143101	GEI	00102		SCALA: -	1	NOVEMBRE 2011
			APE				2	APRILE 2012

spea
autostrade

ingegneria
europea

ELABORAZIONE
GRAFICA
A CURA DI :

-

ELABORAZIONE
PROGETTUALE
A CURA DI :

-

CONSULENZA
A CURA DI :

IL RESPONSABILE
UFFICIO/UNITA'

Ing. Tiziano Collotta O.I. Lecco N.122

VISTO DEL COORDINATORE GENERALE SPEA
DIREZIONE OPERATIVA
PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE LAVORI ASPI

Ing. Alberto Selleri

VISTO DEL COMMITTENTE

autostrade // per l'italia

Geom. Mauro Moretti

VISTO DEL CONCEDENTE



I N D I C E

1.	PREMESSA.....	5
2.	INTRODUZIONE.....	7
3.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	9
3.1	Documentazione.....	9
3.2	Normative e raccomandazioni.....	10
3.3	Bibliografia	11
4.	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO E DELLE OPERE	12
5.	QUADRO PROGETTUALE	13
5.1	Aspetti geologici.....	13
5.2	Aspetti geomorfologici	15
5.3	Sismicità dell'area	15
5.3.1	Pericolosità sismica del sito	15
5.3.2	Categoria di sottosuolo e condizione topografica.....	16
5.3.3	Stabilità nei confronti della liquefazione	17
5.3.4	Valutazione di $(N_1)_{60}$	20
6.	INDAGINI GEOTECNICHE.....	24
7.	CONDIZIONI STRATIGRAFICHE E DI FALDA	29
8.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	35
8.1	Generalità.....	35
8.2	Materiali a grana grossa (sabbie e ghiaie) – Formazioni A2 e P2.....	36
8.2.1	Introduzione	36
8.2.2	Caratteristiche fisiche dei depositi	36
8.2.3	Parametri di resistenza al taglio	39
8.2.4	Caratteristiche di deformabilità.....	41
8.3	Materiali a grana fine (limi e argille) saturi.....	44
8.3.1	Introduzione	44
8.3.2	Classificazione	44
8.3.3	Parametri di resistenza al taglio	47

8.3.4	Caratteristiche di deformabilità.....	48
9.	Parametri geotecnici di progetto.....	50
10.	Cenni sulle fondazioni delle opere principali	52

INDICE FIGURE

Figura 1: Fattore di sicurezza alla liquefazione – Lotto 1.....	22
Figura 2: Fattore di sicurezza alla liquefazione – Lotto 2.....	23
Figura 3: Prove SPT – depositi A2;	57
Figura 4: Prove SPT – depositi P1-P2	58
Figura 5: Classi granulometriche – Lotto 1	59
Figura 6: Classi granulometriche – Lotto 2.....	60
Figura 7: Densità Relativa – depositi A2	61
Figura 8: Densità Relativa – deposito P1-P2	62
Figura 9: Angolo d'attrito – depositi A2.....	63
Figura 10: Angolo d'attrito – depositi P1-P2	64
Figura 11: Velocità onde di taglio – depositi A2.....	65
Figura 12: Velocità onde di taglio – depositi P1-P2.....	66
Figura 13: Modulo di taglio iniziale – depositi A2.....	67
Figura 14: Modulo di taglio iniziale – depositi P1-P2.....	68
Figura 15: Moduli elastici iniziali – depositi A2	69
Figura 16: Moduli elastici iniziali – depositi P1-P2	70
Figura 17: Prove SPT – depositi A1	71
Figura 18: Classi Granulometriche – Lotto1	72
Figura 19: Classi Granulometriche – Lotto2	73
Figura 20: Limiti – Lotto 1	74
Figura 21: Limiti – Lotto 2	75
Figura 22: Carta di plasticità di Casagrande – Lotto 1	76
Figura 23: Carta di plasticità di Casagrande – Lotto 2	77
Figura 24: Peso di volume naturale – Lotto 1	78
Figura 25: Peso di volume naturale – Lotto 2	79
Figura 26: Contenuto d'acqua naturale – Lotto 1	80
Figura 27: Contenuto d'acqua naturale – Lotto 2.....	81
Figura 28: RISULTATI PROVE DI CARICO SU PIASTRA SUI POZZETTI.....	82

INDICE TABELLE

Tabella 1: Riepilogo sondaggi stratigrafici della campagna indagini 2008/2009.	26
Tabella 2: Riepilogo pozzetti esplorativi della campagna indagini 2008/2009	27
Tabella 3: Letture piezometri installati nei sondaggi.....	29
Tabella 4: Dati rilevati in fase di esecuzione dei pozzetti stratigrafici.....	30
Tabella 5: Bretella di collegamento S.P.3-S.P.45 – Stratigrafia di riferimento.....	31
Tabella 6: Bretella di collegamento S.P.3-via Campanella – Stratigrafia di riferimento	32
Tabella 7: Nuovo Svincolo di Fano Nord – Stratigrafia di riferimento.....	33
Tabella 8: Svincolo di Fano esistente – Stratigrafia di riferimento.....	34
Tabella 9: Bretella Sud di Fano – Stratigrafia di riferimento	34
Tabella 10: Costanti empiriche A e B (Skempton, 1986)	38
Tabella 11: Valori della costante empirica m secondo Bolton (1986)	40
Tabella 12: Valori dell'angolo di attrito φ_{cv} per sabbie silicee secondo quanto riportato in Stroud (1988) e Youd (1972)	40
Tabella 13: Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_A - (funzione dell'epoca geologica del deposito)	42
Tabella 14: Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_G - (funzione della composizione granulometrica del deposito)	43
Tabella 15: Risultati prove di laboratorio LOTTO 1	53
Tabella 16: Risultati prove di laboratorio LOTTO 2	55

1. PREMESSA

Nell'ambito delle attività da svolgere legate al IV° atto aggiuntivo alla concessione per l'esercizio di tratte autostradali tra Autostrade per l'Italia S.p.A. ed ANAS, si prevede l'ammodernamento e l'ampliamento alla terza corsia dell'Autostrada A14 Bologna – Bari – Taranto, comunemente denominata "Adriatica", nel tratto compreso tra gli svincoli di Rimini Nord e Pedaso.

All'interno del più esteso intervento di ampliamento ed ammodernamento dell'autostrada A14 sopra richiamato, si inserisce il progetto di ampliamento alla 3^a corsia della tratta Cattolica – Fano, dalla progr. km 145+537.45 alla progr. km 173+702.40 (progressiva riferita all'asse carr. sud), coincidente con la progr. esistente km 173+800, per una lunghezza complessiva di 28,165 km circa. All'interno di tale tratto ricade lo svincolo di Fano (km 173+200).

La Conferenza dei Servizi del progetto di adeguamento alla 3° corsia del tratto Cattolica – Fano, si è tenuta nelle sessioni del 19.05.06, 23.06.06 e 7.07.06.

Con Decreto direttoriale n.6839 in data 21.12.06, il Ministero delle Infrastrutture, nel constatare la raggiunta intesa tra Stato e Regione Marche, ai sensi dell'art.81 del DPR 24.07.1977 n.616 e succ. mod. ed integr., ha autorizzato la realizzazione delle opere relative all'ampliamento alla 3° corsia, inserendo la richiesta di alcune opere compensative, con particolare riferimento alla realizzazione delle nuove Bretelle e svincoli indicate nelle Delibere Regionali n°735 del 19/06/06.

Dette opere, i cui lay out ed esatta localizzazione sono state definite d'intesa con gli Enti territoriali, sono riportate nel progetto preliminare approvato dal Comune di Fano con delibera Comunale del 24/02/2010.

I conseguenti progetti definitivi sono quindi oggetto di iter progettuale e valutazione di impatto ambientale separata rispetto al progetto iniziale.

Il progetto preliminare delle opere compensative del comune di Fano è stato suddiviso in cinque "sottoprogetti" tutti, in maniera più o meno diretta, legati

tra loro e finalizzati a razionalizzare e migliorare l'accessibilità al sistema autostradale e la relazione tra il sistema viario locale e quello a più lunga percorrenza; gli interventi progettati sono:

- NUOVO SVINCOLO DI FANO NORD: si tratta di una nuova stazione di svincolo autostradale, in località Fenile, al Km 169+800 della A14.

Detto intervento riveste carattere nazionale.

- ADEGUAMENTO DEL COLLEGAMENTO TRA SVINCOLO DI FANO ESISTENTE E SS73BIS: consiste nell'adeguamento e miglioramento del nodo di svincolo esistente tra la S.S 73 bis (E78) Fano-Grosseto, lo svincolo di Fano esistente e la viabilità locale, tramite l'integrazione del sistema con nuovi rami di collegamento e rotatorie.
- BRETELLA DI COLLEGAMENTO S.P.3 - S.P.45: realizza la connessione tra la S.P.3 Flaminia e S.P.45 Carignano; quest'ultima è collegata mediante rotatoria al piazzale di stazione del nuovo svincolo di Fano Nord.
- BRETELLA DI COLLEGAMENTO S.P.3 – VIA CAMPANELLA: realizza la connessione tra la S.P.3 Flaminia e via Tommaso Campanella, importante asse viario locale.
- BRETELLA SUD DI FANO : realizza il collegamento tra la viabilità che costeggia l'aeroporto di Fano, anch'essa riqualificata a sezione tipo C1 e direttamente connessa al sistema di rotatorie previsto in corrispondenza del casello di Fano esistente, e la S.P. 16 Orcianese.

Le bretelle elencate, strade prevalentemente di categoria C1 salvo i raccordi con le viabilità esistenti e di sviluppo complessivo di circa 10 km, rivestono carattere locale per tipologia ed importanza.

Per quanto sopra evidenziato, a partire da un progetto unitario, si è ritenuto di articolare il progetto definitivo delle stesse in due insiemi:

PARTE A: il nuovo svincolo autostradale di Fano Nord (oggetto della presente progettazione)

PARTE B: le 4 bretelle, denominate "opere compensative".

Per consentire una visione di insieme degli interventi e per completezza di inquadramento, anche se le bretelle hanno valenza locale, si è ritenuto opportuno considerare tutti gli interventi per sfruttare più dati di base ed indagini, per valutare meglio verificare gli effetti globali degli stessi.

Di seguito si riferisce, quindi, di tutta l'attività condotta in più fasi e aree di interesse; nello specifico il presente progetto definitivo riguarda i dati relativi al nuovo svincolo di Fano Nord.

2. INTRODUZIONE

La presente relazione geotecnica illustra ed interpreta i risultati delle indagini geotecniche effettuate in fase di Progetto Preliminare lungo il tracciato delle OPERE COMPENSATIVE previste nel territorio del Comune di Fano, già interessato dai lavori di ampliamento alla 3ª corsia dell'autostrada A14 Bologna – Bari - Taranto, nei tratti Cattolica-Fano e Fano-Senigallia.

Viene fatta l'ipotesi progettuale che la costruzione delle OPERE COMPENSATIVE avvenga a valle della realizzazione dell'ampliamento alla 3ª corsia dell'A14.

La presente relazione si articola come segue:

- il capitolo 3 elenca i documenti di riferimento;
- il capitolo 4 riporta una descrizione sommaria del tracciato e delle opere principali;

- il capitolo 4 esamina il quadro in cui si inserisce l'opera, fornendo:
 - un breve inquadramento geologico e geomorfologico dell'area;
 - le indicazioni sui parametri sismici quali risultano dall'applicazione della normativa vigente;
- il capitolo 5 riporta il riepilogo delle indagini di riferimento:
 - indagini effettuate recentemente (dicembre 2008 - marzo 2009) e finalizzate espressamente alla redazione del presente Progetto;
 - indagini pregresse effettuate nel periodo 2003-2006 in sede di redazione del Progetto Esecutivo dell'allargamento alla 3ª corsia della A14.
- il capitolo 6 fornisce indicazioni sulle condizioni stratigrafiche e di falda per i diversi siti delle opere in progetto;
- il capitolo 7 riporta i risultati delle indagini eseguite e la caratterizzazione geotecnica dei materiali presenti;
- il capitolo 8 riporta una sintesi dei parametri geotecnici di progetto validi per la fase di Progetto Definitivo;
- il capitolo 9 fornisce dei cenni circa le tipologie delle fondazioni e delle opere di sostegno principali previste;
- il capitolo 10 presenta le indicazioni per la costruzione dei rilevati e la preparazione del piano di posa.

3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

3.1 Documentazione

Nella stesura della presente relazione si è fatto riferimento alla seguente documentazione:

1. INDAGINI del PROGETTO PRELIMINARE eseguite nei mesi di dicembre 2008-marzo 2009 dall'Impresa Metodo s.r.L. e dal Laboratorio Geoplanning
2. PROFILI GEOTECNICI allegati al presente progetto (*Tavole GEI-APE 100, 101, 102, 103, 104, 106*).
3. PROFILI GEOLOGICI E RELAZIONE GEOLOGICA
4. Autostrada A14 Bologna – Bari - Taranto; Ampliamento della terza corsia; tratto Rimini Nord - Pedaso; Progetto Esecutivo:
 - Relazione Geologica e Geomorfologica
 - Planimetria Geologica, scala 1:5000
 - Profilo Geologico longitudinale, scale 1:5000/500 e 5000/5000
 - Sezioni Geologiche Trasversali, scala 1:5000/500 e 5000/5000
 - Carta Geomorfologia e delle acclività, scala 1:5000
 - Carta di zonazione del rischio frane, scala 1:5000
5. Autostrada A14 Bologna – Bari - Taranto; Ampliamento della terza corsia; tratto Rimini Nord - Pedaso; Progetto Esecutivo:
 - Relazione Idrogeologica
 - Carta dei complessi idrogeologici e profilo Idrogeologico longitudinale, scale 1:5000 e 1:5000/500
 - Carta delle isofreatiche e delle linee di flusso sotterranee a scala regionale, scale 1:5000 e 1:5000/500.

3.2 Normative e raccomandazioni

1. Norme Tecniche per le Costruzioni – D.M. del 14 gennaio 2008.
2. Decreto Ministeriale n. 47 (11/3/1988). “Norme Tecniche riguardanti le indagini su terreni e sulle rocce; i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
3. Istruzioni relative alle “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione” - Cir. Dir. Cen. Tecn. n° 97/81.
4. EN 1997 Eurocodice 7 “Geotechnical Design”
 - Part 1: General rules
 - Part 2: Standards for laboratory testing
 - Part 3: Standards for field testing.
5. ASTM D4253 “Standard test methods for maximum index density and unit weight of soils using a vibratory table”.
6. ASTM D4254 “Standard test method for minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density”.
7. ASTM D1557 “Test method for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort”.
8. CNR UNI 10009 “Costruzione e manutenzione delle strade – Tecnica di impiego delle terre”.
9. CNR B.U., anno XXVI, n° 146 “Determinazione dei moduli di deformabilità M_d e M_d' mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare.

3.3 Bibliografia

1. Skempton A.W. (1986) "Standard Penetration Test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation" *Geotechnique* 36, n° 3.
2. Bolton (1986) "The strength and dilatancy of sands" *Geotechnique* 36 , n° 1.
3. Jamiolkowski M., Ghionna V.N., Lancellotta R., Pasqualini E. (1988) "New correlations of penetration tests for design practice" *Proceedings of I International Symposium on Penetration Testing, ISOPT I, Orlando.*
4. Youd T.D. (1972) "Factors controlling maximum and minimum density of sands" *Proceedings of Symposium on Eval. Dens., ASTM STP 523.*
5. Stroud M.A. (1988) "The Standard Penetration Test – Its application and interpretation" *Penetration Testing in UK, Proceedings of the Geotechnical Conference organized by ICE, Birmingham.*
6. Ohta Y., Goto N. (1978) "Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes" *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol.6.
7. Baldi G., Jamiolkowski M., Lo Presti D.C.F., Manfredini G., Rix G.J. (1989) "Italian experiences in assessing shear wave velocity from CPT and SPT" *Earthquake Geotechnical Engineering, Proc. of Discussion Session on Influence of Local Conditions on Seismic Response, 12th Int. Conf. on S.M.F.E., Rio de Janeiro, Brasil, pp. 157-168.*
8. Stroud M.A. (1974) "The standard penetration test in insensitive clays and soft rocks" *Proceedings ESOPT I.*
9. Clayton C.R.I. (1995) "The Standard Penetration Test (SPT): Methods and use" *CIRIA Report n° 143, 1995.*

4. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO E DELLE OPERE

Il tracciato delle opere in oggetto (OPERE COMPENSATIVE del Comune di Fano) si sviluppa principalmente in adiacenza all'autostrada A14, tra le progressive 169.0 e 177.0 circa ed è suddiviso in due Lotti.

Il **Lotto 1** comprende la realizzazione delle seguenti viabilità:

- Bretella di Collegamento S.P.45 - S.P.3
- Bretella di Collegamento S.P.3 – via Campanella
- Nuovo Svincolo di Fano Nord

Il **Lotto 2** comprende la realizzazione delle seguenti viabilità:

- Nuove Rotatorie Uscita Svincolo di Fano esistente
- Bretella Sud di Fano.

Le opere principali da realizzare sono le seguenti:

- costruzione del nuovo Ponte sul Fiume Arzilla, prolungamento di un sottovia, adeguamento di un cavalcavia e costruzione di un muro di sostegno (Bretella di Collegamento S.P.45 - S.P.3);
- costruzione di un nuovo cavalcavia (Nuovo Svincolo di Fano Nord);
- costruzione del nuovo Ponte sul Canale del Porto e dei muri di sostegno andatori;
- costruzione del nuovo Ponte sul Fiume Metauro, di un nuovo sottovia (Bretella Sud di Fano) e di un'opera in Terra Verde.

5. QUADRO PROGETTUALE

5.1 Aspetti geologici

Nei siti in esame sono presenti delle successioni quaternarie sovrastanti un substrato plio-pleistocenico.

SUCCESSIONI QUATERNARIE

Le successioni quaternarie si distinguono in depositi alluvionali attuali (a2), in depositi eluviocolluviali (ec) ed in depositi alluvionali terrazzati (a1).

Depositi alluvionali attuali e recenti (a2)

Ghiaie e sabbie prevalenti, con subordinati livelli limoso – sabbiosi in prossimità dei paleoalvei o degli alvei attuali. Nelle argille e nei limi si ritrovano clasti calcarei di dimensioni variabili da centimetriche a decimetriche, da sub-angolosi a sub-arrotondati, isolati o in lenti. I vari depositi si alternano irregolarmente e si ritrovano con rapporti laterali e verticali di tipo eteropico (Olocene).

Localmente si può osservare la predominanza dei litotipi limoso-sabbiosi.

Tali depositi si rinvengono generalmente fino ad una quota di 15 m dal fondovalle dei principali corsi d'acqua, interessando così gli alvei fluviali e le relative piane alluvionali attuali.

Depositi eluvio-colluviali (ec)

Depositi residuali di alterazione "in situ" delle litologie sottostanti che possono aver subito un piccolo trasporto fino alla zona di accumulo. Sono costituiti per lo più da terriccio e materiale argilloso-limoso e sabbioso bruno-rossastro. A luoghi si individuano orizzonti di suolo (Olocene).

Depositi alluvionali terrazzati (a1)

Depositi prevalentemente ghiaioso sabbiosi, alternati a limi e limi sabbiosi in strati e lenti di varia potenza. Le ghiaie sono costituite da elementi prevalentemente calcarei da arrotondati a sub-arrotondati. Questi depositi si presentano generalmente sciolti o poco addensati, a tratti debolmente cementati.

L'irregolare ripetizione dei termini a diversa composizione granulometrica non permette una ricostruzione dell'andamento dei corpi sedimentari in assenza di dati puntuali (Pleistocene- Olocene).

I terrazzi alluvionali si rinvengono principalmente in fasce più o meno larghe, e subordinatamente in lembi, lungo i corsi d'acqua principali, raggiungendo, nell'area di studio, quote sino ai 40 m dal fondovalle.

Questi depositi corrispondono ai materiali che da un punto di vista geotecnico sono stati denominati A1 e A2, in funzione della granulometria prevalente (A1 limoso-argillosi e A2 sabbioso-ghiaiosi).

SUCCESSIONI MARINE PLIO-QUATERNARIE

Le successioni marine plio-quadernarie sono rappresentate dai depositi plio-pleistocenici dell'avanfossa adriatica. I depositi di avanfossa s.s. comprendono i sedimenti sabbioso – limosi (Ps) e quelli argilloso-limosi (Pa).

Depositi prevalentemente sabbioso - limosi (Ps)

Sabbie e sabbie limose giallastre e grigie da debolmente a molto addensate, organizzate in modo irregolare in strati di spessore variabile da qualche centimetro fino a bancate metriche.

In prossimità dei lineamenti di faglia si possono rinvenire livelli cementati per percolazione di fluidi.

Talora si rinvengono, intercalati alle sabbie, livelli metrici di argille e argille marnose grigie sottilmente stratificate, da molto consistenti a dure.

A tali depositi è stata attribuita un età Pliocenica.

Depositi prevalentemente argillosi (Pa)

Argille e argille limose grigie e verdastre, plastiche, con intercalazioni sottili di lenti e strati di sabbia fine e finissima grigia. Lo spessore delle intercalazioni sabbiose supera raramente il decimetro. Talora si rinvengono livelli millimetrici e centimetrici di gesso in cristalli.

Si ritrovano livelli con abbondanti resti di malacofauna rappresentata da *Mastra triangula* e *Spinula subtruncata*.

A questa unità è attribuita una età Pliocene inferiore - Pleistocene inferiore.

Questi depositi di deposizione marina corrispondono ai materiali che geotecnicamente sono stati denominati P1 e P2, in funzione della granulometria prevalente (P1 limoso-argillosi e P2 sabbioso-ghiaiosi).

5.2 Aspetti geomorfologici

Da un punto di vista geomorfologico i siti interessati dalle opere in oggetto sono per lo più pianeggianti e non risultano interessati da fenomeni di instabilità.

5.3 Sismicità dell'area

5.3.1 Pericolosità sismica del sito

Il tracciato autostradale in esame attraversa il territorio del Comune di Fano, ubicato nella provincia di Pesaro.

Sulla base di quanto previsto dalla recente Normativa italiana di riferimento per il presente progetto (Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni del 14-01-2008) sono stati assunti i parametri sismici relativi ad un punto medio del tracciato avente le seguenti coordinate topografiche:

Latitudine = 43,821°

Longitudine = 13,013°

Per le opere in progetto è stata assunta una vita nominale di $V_N = 50$ anni ed una classe d'uso III (coefficiente d'uso $C_U = 1.5$). Trattandosi di zone pianeggianti si è assunta una categoria topografica T1 e, sulla base di quanto esposto nel paragrafo 5.3.2, è stata assunta una categoria di suolo di tipo C.

Ne derivano i seguenti valori dei parametri sismici per lo stato limite ultimo SLV (salvaguardia della vita):

$a_g = 0.211g$

accel. orizz. max attesa al sito su suolo di cat. A

$S = S_s \times S_T = 1.383 \times 1 = 1.383$

$S_s = \text{coeff. amplificazione stratigrafica} = 1.383$

$$a_{\max} = a_g \times S = 0.292 \text{ g}$$

$S_T =$ coeff.amplificazione topografica = 1
 accel. massima orizzontale attesa al sito

e per le analisi di stabilità dei pendii:

$$\beta_s = 0,28$$

coeff. riduttivo di a_{\max} (tab.7.11.I NTC2008)
 per $0.1 \leq a_g/g \leq 0.2$ e suolo di cat.C

$$k_h = \beta_s \times a_{\max} / g = 0.082$$

coeff.sismico orizzontale

$$k_v = \pm 0.5 k_h = \pm 0.041$$

coeff.sismico verticale

5.3.2 Categoria di sottosuolo e condizione topografica

In accordo alla Normativa italiana di riferimento per il presente progetto (O.P.C.M. N° 3274 del 20/03/2003 e successive modifiche e integrazioni; Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni del 14/01/2008), in mancanza di misure dirette dei valori di velocità di propagazione delle onde di taglio, la classificazione della categoria di sottosuolo viene eseguita come nel caso in esame sulla base dei risultati delle prove penetrometriche standard SPT.

Si può infatti ricavare il parametro $N_{SPT,30}$ mediante la relazione:

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,N} N_{SPT,i}}$$

Sulla base dei valori di $N_{SPT,30}$ ottenuti i terreni presenti lungo tutto il tracciato possono essere riferiti alla categoria di sottosuolo C (*“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)”*).

Trattandosi di zone pianeggianti e pendii con inclinazione inferiore a 15°, si è assunta la categoria topografica T1.

5.3.3 Stabilità nei confronti della liquefazione

Il rischio di liquefazione, cioè di riduzione di resistenza al taglio causata da incremento delle pressioni interstiziali nei terreni saturi prevalentemente sabbiosi non coesivi per effetto sismico, riguarderebbe lungo il tracciato solo le zone dove la falda potrebbe risalire fino a profondità prossime al piano di campagna. Le fondazioni delle opere d'arte principali sono peraltro previste su fondazioni profonde generalmente di lunghezza tale da superare le profondità critiche per il manifestarsi dei fenomeni suddetti.

Tuttavia, non essendo rispettate le condizioni che in base alla normativa di riferimento consentono l'omissione della verifica, viene condotta una valutazione del rischio, sulla base della procedura riportata in Youd et al. (2001), aggiornata rispetto a quella originaria di Seed & Idriss (1971), nelle condizioni più critiche ipotizzabili relative alle situazioni riscontrate nei sondaggi nei primi 15 m di profondità. La procedura sopra citata consiste nel confrontare i valori di 'cyclic stress ratio' (CSR) generati dal terremoto di progetto con quelli di resistenza "cyclic resistance ratio" (CRR) del terreno in sito.

Il profilo di CSR generato dal terremoto di progetto, caratterizzato da un'accelerazione di picco a_{max} , è valutato in base alla seguente espressione (Seed & Idriss, 1971):

$$CSR = \tau/\sigma_v' = 0.65 \cdot a_{max} \cdot (\sigma_{vo}/\sigma_{vo}') \cdot r_d/g$$

con:

σ_{vo} = tensione verticale totale alla profondità z da p.c.;

σ_{vo}' = tensione verticale efficace alla profondità z da p.c.;

$$r_d = \frac{1 - 0.4113 \cdot z^{0.5} + 0.04052 \cdot z + 0.001753 \cdot z^{1.5}}{1 - 0.4177 \cdot z^{0.5} + 0.05729 \cdot z - 0.006205 \cdot z^{1.5} + 0.00121 \cdot z^2} = \text{fattore correttivo}$$

che tiene conto della profondità da piano campagna a cui viene valutato il CSR (Youd et al., 2001);

g = accelerazione di gravità.

r_d = fattore correttivo che tiene conto della profondità da piano campagna a cui viene valutato il CSR, pari a (Liao & Whitman, 1986):

$$r_d = 1 - 0.00765 \cdot z \quad \text{per } z \leq 9.15 \text{ m}$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267 \cdot z \quad \text{per } 9.15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m}$$

Il profilo CRR del terreno in sito viene stimato con la seguente espressione (Youd et al., 2001), valida per terremoti di magnitudo $M=7.5$:

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

con:

$(N_1)_{60}$ = numero di colpi SPT corretto per tenere conto dello stato tensionale e dell'energia (vedi § 5.3.4).

La relazione sopra riportata è stata ricavata per terreni sabbiosi con contenuto di fine (FC) (passante al vaglio 0.074 mm) inferiore al 5%; per terreni con $FC > 5\%$, i valori di $(N_1)_{60}$ che entrano nel calcolo di CRR, vengono corretti come segue:

$$(N_1)_{60 \text{ clean-sands}} = \alpha + \beta \cdot (N_1)_{60}$$

con:

$$\alpha = \begin{cases} 0 & \text{per } FC \leq 5\% \\ \exp[1.76 - (190 / FC^2)] & \text{per } 5 < FC \leq 35\% \\ 5 & \text{per } FC > 35\% \end{cases}$$

$$\beta = \begin{cases} 1 & \text{per } FC \leq 5\% \\ [0.99 + (FC^{1.5} / 1000)] & \text{per } 5 < FC \leq 35\% \\ 1.2 & \text{per } FC > 35\% \end{cases}$$

Nel sito in esame sono da attendersi sismi di magnitudo intorno a 5.6, pertanto rispetto al valore di riferimento $M=7.5$, i valori di $CRR_{7.5}$ calcolati devono essere scalati per tenere conto della magnitudo M del terremoto di progetto considerato utilizzando il seguente fattore correttivo MSF (Youd et al., 2001):

$$CRR_M = CRR_{7.5} \cdot MSF = CRR_{7.5} \cdot \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}}$$

Un'ulteriore fattore di correzione (K_σ) viene applicato alle resistenze (CRR) per tenere conto della pressione di confinamento, ovvero:

$$CRR_M = CRR_{7.5} \cdot MSF = CRR_{7.5} \cdot \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}} \cdot K_\sigma$$

con:

$$K_\sigma = \left(\frac{\sigma'_{v0}}{P_\alpha} \right)^{f-1} \leq 1$$

σ'_{v0} = tensione verticale efficace;

P_α = pressione atmosferica = 100 kPa;

$$f = \begin{cases} 0.8 & \text{per } Dr \leq 40\% \\ 0.7 & \text{per } Dr \approx 60\% \\ 0.6 & \text{per } Dr \geq 80\% \end{cases}$$

Dr = densità relativa.

Perché il rischio di liquefazione sia trascurabile il coefficiente di sicurezza FS_L , dato dal rapporto CRR/CSR , deve risultare almeno pari a 1.25.

I risultati ottenuti dall'analisi di liquefazione sono riportati in

5.3.4 Valutazione di $(N_1)_{60}$

In accordo a Youd et al. (2001) e a Seed et al. (2003) i valori $(N_1)_{60}$ in sabbie e sabbie limose possono essere valutati con le seguenti equazioni:

$$(N_1)_{60} = N_1 \cdot C_R \cdot C_S \cdot C_B \cdot C_E$$

$$N_1 = N_{SPT} \cdot C_N$$

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma_v'} \right)^{0.5} \quad \text{limitandone il valore a 1.7}$$

essendo:

σ_v' = pressione verticale efficace alla quota della prova SPT;

p_a = pressione atmosferica = 100 kPa;

C_R = coefficiente correttivo per tenere conto della lunghezza delle aste = 1
per aste di lunghezza superiore ai 15 m;

C_S = coefficiente correttivo per tenere conto della configurazione di campionatori non "standard";

C_B = coefficiente correttivo per tenere conto del diametro del foro di perforazione;

C_E = coefficiente correttivo per tenere conto dell'energia effettivamente trasmessa.

Nell'ipotesi di utilizzo di campionatori "standard" il coefficiente C_S è assunto pari a 1.

Nell'ipotesi di fori di perforazione inferiori a 150 mm il coefficiente C_B è assunto pari a 1.

Il coefficiente C_E dipende dalle modalità esecutive della prova SPT, soprattutto in termini di metodo di rilascio del maglio e caratteristiche del maglio e della cuffia; in genere le modalità esecutive adottate in Italia forniscono valori di C_E dell'ordine di 1.

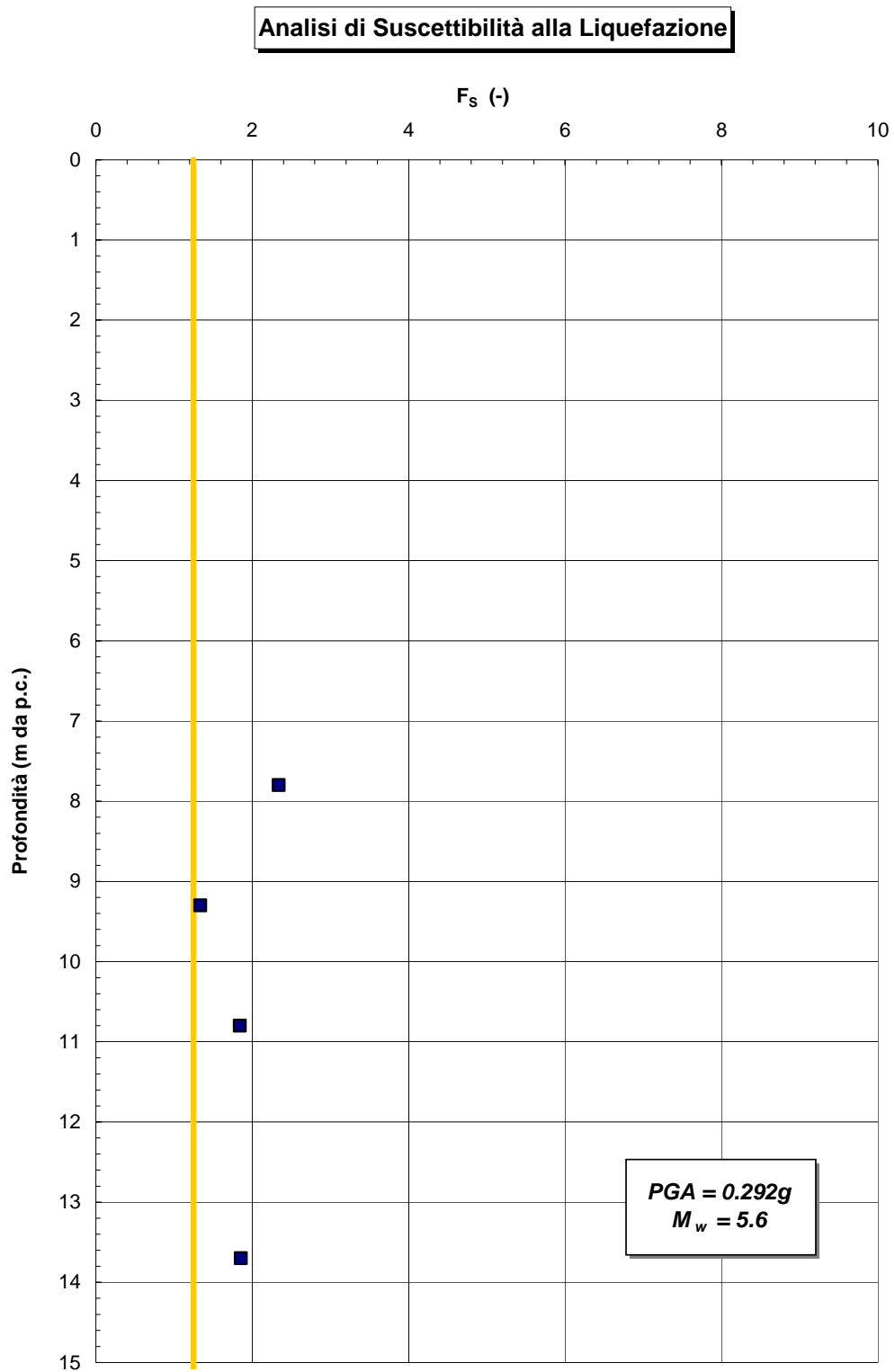


Figura 1: Fattore di sicurezza alla liquefazione – Lotto 1

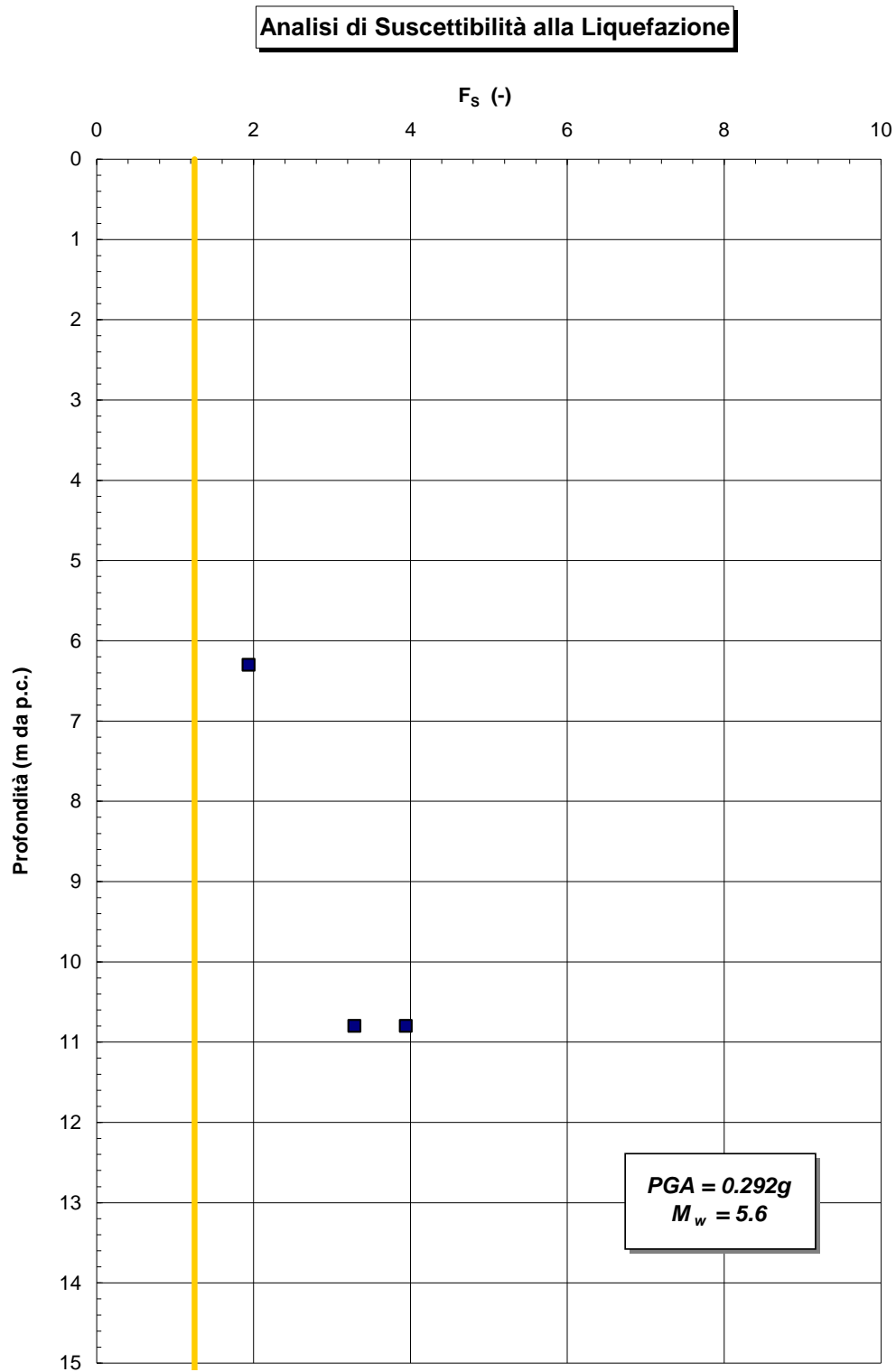


Figura 2: Fattore di sicurezza alla liquefazione – Lotto 2

6. INDAGINI GEOTECNICHE

Di seguito si riferisce, per completezza di indagini ed inquadramento, di tutta l'attività condotta in più fasi e aree di interesse (Nuovo svincolo di Fano Nord e Opere Compensative del Comune di Fano); nello specifico il presente progetto definitivo riguarda i dati relativi al nuovo svincolo di Fano Nord.

I dati stratigrafici e geotecnici riportati nella presente relazione e nei profili stratigrafico-geotecnici sono stati desunti dai risultati delle indagini geotecniche e di laboratorio condotte nell'area durante le campagne di indagine di Progetto Preliminare (dicembre 2008-marzo 2009) e di Progetto Esecutivo (2003-2006) dell'allargamento alla 3ª corsia dell'A14.

In dettaglio:

A) INDAGINE PROGETTO PRELIMINARE OPERE COMPENSATIVE (dicembre 2008-marzo 2009), consistita in:

FANO LOTTO 1

- n. 5 sondaggi geotecnici a carotaggio continuo (L1-SOC1 - L1-SOC5), dei quali n° 4 attrezzati con piezometro (L1-SOC1, L1-SOC2, L1-SOC3, L1-SOC5) e n° 1 attrezzato per l'esecuzione di prove cross-hole (L1-SOC4), all'interno dei quali sono state eseguite e prelevati:
 - prove penetrometriche dinamiche SPT;
 - campioni indisturbati;
 - campioni rimaneggiati;
- n. 1 foro a distruzione di nucleo (sondaggio L1-SOC4bis), attrezzato per l'esecuzione di prove cross hole;
- n. 12 pozzetti esplorativi (L1-PZOC1 – L1-PZOC12), all'interno dei quali sono state eseguite e prelevati:
 - prove di carico su piastra;
 - campioni rimaneggiati.

FANO LOTTO 2

- n. 5 sondaggi geotecnici a carotaggio continuo (L2-SOC1 – L2-SOC5), attrezzati con piezometro, all'interno dei quali sono state eseguite e prelevati:
 - prove penetrometriche dinamiche SPT;
 - campioni indisturbati;
 - campioni rimaneggiati;
- n. 7 pozzetti esplorativi (L2-PZOC1 – L2-PZOC7), all'interno dei quali sono state eseguite e prelevati:
 - prove di carico su piastra;
 - campioni rimaneggiati.

La Tabella 1 riassume le principali caratteristiche dei sondaggi, il numero di campioni prelevati, il numero di prove geotecniche eseguite in foro ed il tipo di strumentazione piezometrica installata.

La Tabella 2 elenca le principali caratteristiche dei pozzetti esplorativi e delle prove di carico su piastra (PLT), eseguite all'interno degli stessi.

I campioni indisturbati sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio:

a) prove di classificazione:

analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
 limiti di Atterberg (Att): limite liquido (LL) e limite plastico (LP);
 contenuti d'acqua (W_n) e degli indici di consistenza (IC);
 pesi di volume (γ_n, γ_d);
 peso specifico dei grani (γ_s);

b) prove per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità:

prove triassiali non consolidate non drenate (TX-UU);
 prove triassiali consolidate isotropicamente non drenate (TX-CIU);
 prove di taglio diretto (TD)

n° 1 prova edometrica ad incrementi di carico (ED-IL).

Sui campioni rimaneggiati, prelevati nei sondaggi e all'interno dei pozzetti sono state eseguite le seguenti prove:

analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;

limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico).

Tabella 1: Riepilogo sondaggi stratigrafici della campagna indagini 2008/2009

Sigla	Opera	Quota (m s.l.m.)	Tipo	D (m)	C.I.	C.R.	S.P.T.	Strumentazione
L1-SOC1	Svincolo di Fano Nord	26.15	C.C.	35,0	3	12	15	T.A.
L1-SOC2	Svincolo di Fano Nord	22.17	C.C.	30,0	2	10	14	T.A.
L1-SOC3	Svincolo di Fano Nord	21.35	D.N.	35,0	3	10	15	T.A.
L1-SOC4	Bretella S.P.3-S.P.45	15.21	C.C.	35,0	5	12	16	PVC per prova CH
L1-SOC4bis	Bretella S.P.3-S.P.45	15.08	D.N.	35,0	-	-	-	PVC per prova CH
L1-SOC5	Bretella S.P.3-S.P.45	13.34	C.C.	30,0	5	10	15	T.A.
L2-SOC1	Svinc. Fano esistente	18.32	C.C.	15,0	1	8	8	T.A.
L2-SOC2	Svinc. Fano esistente	19.12	C.C.	35,0	2	12	15	T.A.
L2-SOC3	Svinc. Fano esistente	18.73	C.C.	35,0	1	11	15	T.A.
L2-SOC4	Svinc. Fano esistente	20.10	C.C.	16,0	2	9	9	T.A.
L2-SOC5	Bretella Sud di Fano	6.43	C.C.	35,0	5	9	13	T.A. + C.T.C.
C.C.	=	perforazione a carotaggio continuo						
D.N.	=	perforazione a distruzione di nucleo						
D	=	profondità in metri da piano campagna						
C.I.	=	n. di campioni indisturbati						
C.R.	=	n. di campioni rimaneggiati						
S.P.T.	=	n. prove penetrometriche dinamiche in foro di sondaggio						
T.A.	=	piezometro a tubo aperto						
C.T.C.	=	cella piezometrica tipo Casagrande						

Tabella 2: Riepilogo pozzetti esplorativi della campagna indagini 2008/2009

Sigla	Opera	Quota (m s.l.m.)	D (m)	D _w (m)	Prove PLT (m)	C.R. (m)
L1-PZOC1	Nuovo Svincolo di Fano Nord	23.97	4,00	-	0,50 – 1,00	0,50 – 1,00
L1-PZOC2	Nuovo Svincolo di Fano Nord	21.70	3,00	-	0,50 – 1,00	0,50 – 1,00
L1-PZOC3	Nuovo Svincolo di Fano Nord	22.55	4,00	-	0,50 – 1,00	0,50 – 1,00
L1-PZOC4	Nuovo Svincolo di Fano Nord	20.70	4,00	-	0,50 – 1,00	0,50 – 1,00
L1-PZOC5	Bretella S.P.3-S.P.45	21.77	4,00	-	0,50 – 1,10	0,50 – 1,10
L1-PZOC6	Bretella S.P.3-S.P.45	20.05	4,00	-	0,50 – 1,00	0,50 – 1,00
L1-PZOC7	Bretella S.P.3-S.P.45	20.37	4,00	-	0,50 – 1,00	0,50 – 1,00
L1-PZOC8	Bretella S.P.3-S.P.45	20.95	4,00	-	0,50 – 1,00	0,50 – 1,00
L1-PZOC9	Bretella S.P.3-via Campanella	20.96	4,00	-	0,50 – 1,20	0,50 – 1,00
L1-PZOC10	Bretella S.P.3-via Campanella	23.15	4,00	-	0,50 – 1,20	0,50 – 1,20
L1-PZOC11	Bretella S.P.3-via Campanella	24.18	4,00	-	0,50 – 1,00	0,50 – 1,00
L1-PZOC12	Bretella S.P.3-via Campanella	24.02	4,00	-	0,60 – 1,10	0,60 – 1,10
L2-PZOC1	Svincolo Fano esistente	20.51	3,50		0,50	0,50
L2-PZOC2	Svincolo Fano esistente	18.58	4,00	-	0,50 – 1,00	0,50 – 1,00
L2-PZOC3	Bretella Sud di Fano	13.84	4,00	-	0,50 – 1,00	0,50 – 1,00
L2-PZOC4	Bretella Sud di Fano	15.60	4,00	-	0,60 – 1,00	0,60 – 1,00
L2-PZOC5	Bretella Sud di Fano	7.99	4,00	-	0,50 – 1,00	0,50 – 1,00
L2-PZOC6	Bretella Sud di Fano	8.03	3,00	-	0,50	0,50
L2-PZOC7	Bretella Sud di Fano	13.38	4,00	-	0,50 – 1,00	0,50 – 1,00

D (m) = profondità massima in metri da p.c. raggiunta dallo scavo del pozzetto
prove PLT (m) = profondità di esecuzione delle prove di carico su piastra, in metri da p.c.
C.R. (m) = profondità di prelievo in pozzetto dei campioni rimaneggiati (C.R.), misurata rispetto al p.c.

B) INDAGINI PREGRESSE A14 (2003-2006), delle quali si è tenuto conto delle seguenti verticali:

FANO LOTTO 1

Bretella S.P.3-S.P.45

Sondaggi a carotaggio continuo:

E2-S40, E2-S40bis, E2-S41, B3-S9N

Sondaggi a distruzione di nucleo: E2-S40ter

Pozzetti esplorativi: PZR4, E2-PZ15

Bretella S.P.3 – Campanella

Sondaggi a carotaggio continuo: E2-S41bis, E2-S42

Pozzetti esplorativi: PZR5, E2-PZ15

Nuovo Svincolo di Fano Nord

Sondaggi a carotaggio continuo: E2-S40, B3-S9, B3-S9N

Prove penetrometriche statiche: P20, P21

Pozzetti esplorativi: PZ010, PZR4

FANO LOTTO 2

Bretella Sud di Fano

Sondaggi a carotaggio continuo:

2-B12, B4-SON, 2-B13, B4-S1, E3-S5bis, B4-S1

Sondaggi a distruzione di nucleo: 2-B13bis

Prove penetrometriche statiche: 2-P25

Pozzetti esplorativi: PZ16

Nuovo sistema di viabilità Svincolo di Fano esistente

Sondaggi a carotaggio continuo: 2-B11, B4-S0bis

Prove penetrometriche statiche: 2-P24

7. CONDIZIONI STRATIGRAFICHE E DI FALDA

Da un punto di vista stratigrafico le nuove indagini eseguite e quelle pregresse hanno evidenziato la presenza di depositi alluvionali recenti sovrapposti ad un substrato plio-pleistocenico. Questi materiali, in funzione della loro granulometria prevalente, sono stati suddivisi nel modo seguente, in accordo allo schema già seguito in sede di parametrizzazione geotecnica del sottosuolo interessato all'ampliamento alla 3^a corsia dell'A14:

- A1 depositi alluvionali attuali e recenti di natura limoso-argillosa
- A2 depositi alluvionali attuali e recenti di natura sabbioso-ghiaiosa
- P1 depositi plio-pleistocenici di natura limoso-argillosa
- P2 depositi plio-pleistocenici di natura sabbioso-ghiaiosa

Nel seguito, per ogni sito di interesse, viene riportata una stratigrafia di riferimento. Per quanto riguarda la falda, per ogni sito è indicata una profondità media dal p.c., ottenuta a partire dalle letture piezometriche effettuate (cfr. Tabella 3 e Tabella 4 seguenti).

Tabella 3: Letture piezometri installati nei sondaggi.

Sondaggio	Opera	Quota (m s.l.m.)	PIEZOM. ⁽¹⁾	D _w ⁽²⁾ (m)	Periodo di lettura
L1-SOC1	Svincolo di Fano Nord	26.15	T.A.	4.32	dic. 2008-mar. 2009
L1-SOC2	Svincolo di Fano Nord	22.17	T.A.	2.11	dic.2008-mar. 2009
L1-SOC3	Svincolo di Fano Nord	21.35	T.A.	2.79	dic.2008-mar. 2009
L1-SOC4	Bretella S.P.3-S.P.45	15.21	-	-	-
L1-SOC4bis	Bretella S.P.3-S.P.45	15.08	-	-	-
L1-SOC5	Bretella S.P.3-S.P.45	13.34	T.A.	2.73	dic.2008-mar. 2009
L2-SOC1	Svinc. Fano esistente	18.32	T.A.	11.64	dic.2008-mar. 2009
L2-SOC2	Svincolo di Fano esistente	19.12	T.A.	11.86	dic.2008-mar. 2009
L2-SOC3	Svincolo di Fano esistente	18.73	T.A.	11.19	dic.2008-mar. 2009

L2-SOC4	Svincolo di Fano esistente	20.10	T.A.	12.69	dic.2008-mar. 2009
L2-SOC5	Bretella Sud di Fano	6.43	T.A. C.T.C.	3.71 3.50	dic.2008-mar. 2009

⁽¹⁾ = T.A. piezometro a tubo aperto, C.T.C cella tipo Casagrande
⁽²⁾ = profondità della falda da p.c.

Tabella 4: Dati rilevati in fase di esecuzione dei pozzetti stratigrafici.

Pozzetto	Opera	Quota (m s.l.m.)	D ⁽¹⁾ (m)	D _w ⁽²⁾ (m)	Periodo di lettura
L1-PZOC1	Nuovo Svincolo di Fano Nord	23.97	4.00	>4	dic.2008-mar. 2009
L1-PZOC2	Nuovo Svincolo di Fano Nord	21.70	4.00	>4	dic.2008-mar. 2009
L1-PZOC3	Nuovo Svincolo di Fano Nord	22.55	3.80	>4	dic.2008-mar. 2009
L1-PZOC4	Nuovo Svincolo di Fano Nord	20.70	1.85	>4	dic.2008-mar. 2009
L1-PZOC5	Bretella S.P.3-S.P.45	21.77	3.60	>4	dic.2008-mar. 2009
L1-PZOC6	Bretella S.P.3-S.P.45	20.05	4.00	>4	dic.2008-mar. 2009
L1-PZOC7	Bretella S.P.3-S.P.45	20.37	4.00	4	dic.2008-mar. 2009
L1-PZOC8	Bretella S.P.3-S.P.45	20.95	3.80	>4	dic.2008-mar. 2009
L1-PZOC9	Bretella S.P.3-via Campanella	20.96	4.00	>4	dic.2008-mar. 2009
L1-PZOC10	Bretella S.P.3-via Campanella	23.15	4.00	>4	dic.2008-mar. 2009
L1-PZOC11	Bretella S.P.3-via Campanella	24.18	4.00	>4	dic.2008-mar. 2009
L1-PZOC12	Bretella S.P.3-via Campanella	24.02	4.00	>4	dic.2008-mar. 2009
L2-PZOC1	Svincolo Fano esistente	20.51	2.50	>4	dic.2008-mar. 2009
L2-PZOC2	Svincolo Fano esistente	18.58	3.00	>4	dic.2008-mar. 2009
L2-PZOC3	Bretella Sud di Fano	13.84	4.00	>4	dic.2008-mar. 2009
L2-PZOC4	Bretella Sud di Fano	15.60	4.00	>4	dic.2008-mar. 2009
L2-PZOC5	Bretella Sud di Fano	7.99	4.00	>4	dic.2008-mar. 2009
L2-PZOC6	Bretella Sud di Fano	8.03	4.00	>4	dic.2008-mar. 2009
L2-PZOC7	Bretella Sud di Fano	13.38	3.60	>4	dic.2008-mar. 2009

⁽¹⁾ = profondità indagata
⁽²⁾ = profondità della falda da p.c.

Si fa notare che in alcuni profili geotecnici la falda è stata posta a profondità minori della base del pozzetto, questo fatto è giustificato dall'andamento generale della superficie freatica desunto dalle letture dei piezometri installati nei sondaggi, i quali segnalano livelli piezometrici spesso superiori alla base dei pozzetti. Ciò non è in contraddizione con il fatto che durante lo scavo dei pozzetti non sia stata rinvenuta la falda, sia per la bassa permeabilità dei materiali superficiali dove sono stati scavati i pozzetti stessi, sia per la presenza in profondità di intercalazioni coesivo – granulare, che spesso determinano falde in leggera pressione nei livelli permeabili confinati da materiale coesivo poco permeabile.

FANO LOTTO 1

Bretella di collegamento S.P.45 – S.P.3

Indagini di riferimento 2008/2009:

Sondaggi: L1-SOC4, L1-SOC4bis, L1-SOC5

Pozzetti: L1-PZOC5, L1-PZOC6, L1-PZOC7, L1-PZOC8

Indagini pregresse:

Sondaggi a carotaggio continuo:

E2-S40, E2-S40bis, E2-S41, B3-S9N

Sondaggi a distruzione di nucleo: E2-S40ter

Pozzetti esplorativi: PZR4, E2-PZ15

Tabella 5: Bretella di collegamento S.P.3-S.P.45 – Stratigrafia di riferimento

Materiale	da (m)	a (m)	Note
A1-A2	0.0	13.0-20.0 ⁽¹⁾	Alternanze di strati A1 e A2 ciascuno con spessore di qualche metro
P1/P2	14.0	max prof. indagata 35.0	E' prevalente la facies sabbioso-ghiaiosa P2, ma si rileva anche la presenza di passaggi locali di P1

⁽¹⁾ La posizione del substrato plio-pleistocenico in prossimità del fiume Arzilla è probabilmente influenzata dalla successione di fasi erosive e deposizionali del fiume

stesso, per cui in corrispondenza dell'alveo risulta a profondità maggiore, circa 18.0 - 20.0 m. Si nota anche che nella parte terminale della Bretella c'è un approfondimento ulteriore del tetto del substrato che arriva a circa 24 m dal p.c. L'andamento della superficie della falda appare fortemente condizionato dal livello dell'acqua del fiume Arzilla e si trova tra quote prossime al p.c. e circa 5.0 m di profondità, in funzione della posizione rispetto al fiume.

Bretella di collegamento S.P.3 – via Campanella

Indagini di riferimento 2008/2009:

Pozzetti: L1-PZOC9, L1-PZOC10, L1-PZOC11 e L1-PZOC12

Indagini pregresse:

Sondaggi a carotaggio continuo: E2-S41bis, E2-S42

Pozzetti esplorativi: PZR5, E2-PZ15

Tabella 6: Bretella di collegamento S.P.3-via Campanella – Stratigrafia di riferimento

Materiale	da (m)	a (m)	Note
A1	0.0	2.0-4.0 ⁽¹⁾	
A2	2.0-4.0	12.0	
A1	12.0	29.0	Questo strato non viene più individuato a partire dal sondaggio E2-S42 fino alla fine della Bretella, dove il substrato plio-pleistocenico viene a trovarsi direttamente a contatto dell'A2 a circa 19.0 m di profondità
P1-P2	29.0	max prof. indagata 34.0	

⁽¹⁾ Lo spessore del materiale A1 superficiale aumenta fino a oltre 4.0 m procedendo verso la parte terminale lato Sud della Bretella.

La falda si attesta ad una profondità dell'ordine dei 10.0 m dal p.c.

Nuovo Svincolo di Fano Nord*Indagini di riferimento 2008/2009:*

Sondaggi: L1-SOC1, L1-SOC2, L1-SOC3

Pozzetti: L1-PZOC1, L1-PZOC2, L1-PZOC3, L1-PZOC4

Indagini pregresse:

Sondaggi a carotaggio continuo: E2-S40, B3-S9, B3-S9N

Prove penetrometriche statiche: P20, P21

Pozzetti esplorativi: PZ010, PZR4

Tabella 7: Nuovo Svincolo di Fano Nord – Stratigrafia di riferimento

Materiale	da (m)	a (m)	Note
A1	0.0	14.0-15.0	
A2	14.0-15.0	18.0-19.0	Nella parte Est dello Svincolo (al di là della corsia bidirezionale), tra l'A2 (a circa 16.0-17.0 m di profondità) e il contatto con il substrato plio-pleistocenico, è presente una lente di materiale A1 abbastanza continua di circa 5 m di spessore. Tale strato non viene rilevato nella parte verso Ovest dello Svincolo
P1/P2	18.0-19.0	max prof. indagata 35.0	

La falda si trova mediamente ad una profondità variabile fra 3.0 e 5.0 m circa dal p.c.

FANO LOTTO 2***Nuovo sistema di viabilità Svincolo di Fano esistente****Indagini di riferimento 2008/2009:*

Sondaggi: L2-SOC1, L2-SOC2, L2-SOC3, L2-SOC4

Pozzetti: L2-PZOC1, L2-PZOC2

Indagini pregresse:

Sondaggi a carotaggio continuo: 2-B11, B4-SObis

Prove penetrometriche statiche: 2-P24

Tabella 8: Svincolo di Fano esistente – Stratigrafia di riferimento

Materiale	da (m)	a (m)	Note
A1	0.0	5.0-7.0	
A2	5.0-7.0	33.0-34.0	
P1	33.0-34.0	max prof. indagata 35.0	Sopra il contatto con il substrato plio-pleistocenico è presente una zona di depositi a minore grado di addensamento di circa 4.0-5.0 m di spessore, in cui è stato rinvenuto anche un passaggio torboso

La posizione della falda è a circa 12.0-13.0 m di profondità dal p.c. E' probabile che in prossimità del Canale del Porto ci sia una falda sospesa dovuta alle perdite del canale stesso. Tale ricarica è comunque poco estesa per via della bassa permeabilità del materiale A1 superficiale, dove si trova il canale.

Bretella Sud di FanoIndagini di riferimento 2008/2009:

Sondaggi: L2-SOC5,

Pozzetti: L2-PZOC3, L2-PZOC4, L2-PZOC5, L2-PZOC6, L2-PZOC7

Indagini pregresse:

Sondaggi a carotaggio continuo:

2-B12, B4-SON, 2-B13, B4-S1, E3-S5bis, B4-S1

Sondaggi a distruzione di nucleo: 2-B13bis

Prove penetrometriche statiche: 2-P25

Pozzetti esplorativi: PZ16

Tabella 9: Bretella Sud di Fano – Stratigrafia di riferimento

Materiale	da (m)	a (m)	Note
A2	0.0	8.0-12.0(1)	Risulta prevalente il materiale A2,

			anche se nella prima parte del tracciato si nota la presenza di strati di materiale A1 (di spessore da 3.0 a 5.0 m, in superficie nei primi 700 m e più in profondità in corrispondenza del Fiume Metauro)
P1 ⁽¹⁾	8.0-12.0	max prof. indagata 35.0	

⁽¹⁾ Il contatto con il substrato plio-pleistocenico viene a trovarsi a profondità maggiore in corrispondenza dell'alveo del fiume Metauro, dove raggiunge i 17.0, e anche nella prima parte del tracciato (primi 700 m).

La posizione della falda è influenzata dal fiume Metauro, in corrispondenza del quale è prossima alla superficie, approfondendosi poi fino a circa 5.0-7.0 m di profondità man mano che ci si allontana dal fiume.

8. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

8.1 Generalità

I criteri di interpretazione delle indagini geotecniche, descritti nei paragrafi seguenti, tengono conto del fatto che lungo il tracciato autostradale in esame si rinvengono fondamentalmente depositi recenti e attuali di origine alluvionale e depositi plio-pleistocenici di origine marina.

Nell'ambito dei depositi alluvionali attuali e recenti sono stati distinti materiali a grana fine (terreni tipo A1) e materiali a grana grossa (terreni tipo A2).

Nell'ambito dei depositi plio-pleistocenici sono stati ugualmente distinti materiali a grana fine (terreni tipo P1) e materiali a grana grossa (terreni tipo P2).

Nel seguito vengono descritti i criteri di interpretazione dei terreni a grana grossa (A2 e P2) e dei terreni a grana fine (A1 e P1).

L'individuazione del tipo di terreno, e quindi la scelta del metodo di interpretazione, è stata fatta principalmente sulla base:

- della descrizione stratigrafica dei sondaggi;
- delle prove di classificazione sui campioni rimaneggiati ed indisturbati;
- delle indicazioni stratigrafiche fornite dai profili geotecnici.

8.2 Materiali a grana grossa (sabbie e ghiaie) – Formazioni A2 e P2

8.2.1 Introduzione

In conseguenza del fatto che nei terreni a grana grossa risulta difficile prelevare campioni indisturbati, la caratterizzazione geotecnica di tali terreni è affidata principalmente all'interpretazione delle prove in sito (prove SPT) e delle prove di laboratorio di classificazione effettuate su campioni rimaneggiati.

La caratterizzazione è finalizzata alla stima dei seguenti parametri:

- caratteristiche fisiche dei depositi;
- parametri di resistenza al taglio;
- parametri di deformabilità.

8.2.2 Caratteristiche fisiche dei depositi

Sono stati stimati i seguenti parametri:

- peso di volume naturale;
- composizione granulometrica;
- stato di addensamento (densità relativa D_r);
- storia tensionale.

Risultati prove SPT

Materiale A2

Nella Figura 3 sono riportate le resistenze N_{SPT} incontrate negli strati ghiaioso sabbiosi nelle varie verticali di interesse; esse risultano variabili tra $20 \leq N_{SPT} \leq 75$

Materiale P2

Questo materiale è caratterizzato da valori di resistenza penetrometrica dinamica $N_{SPT} > 40-50$ colpi/30 cm (Figura 4). Si registrano locali valori anche < 25 colpi/30cm legati probabilmente a fenomeni di instabilità del fondo-foro durante l'esecuzione della prova.

Peso di volume naturale

Il peso di volume naturale viene stimato tenendo conto del grado di addensamento e per analogia con materiali simili già caratterizzati in sede di progetto dell'allargamento alla 3ª corsia A14.

Materiale A2

Il peso di volume naturale (γ_n) può essere assunto pari a $\gamma_n = 19 \div 20$ kN/m³.

Materiale P2

Il peso di volume naturale (γ_n) è compreso tra 18 e 21 kN/m³

Composizione granulometrica

E' stata desunta dai risultati delle analisi granulometriche effettuate (Figura 5 e Figura 6). Risulta:

LOTTO 1	LOTTO 2
Materiale A2	Materiale A2
limo + argilla = 25 ÷ 45%	limo + argilla = 0 ÷ 25%
sabbia = 25-55%	sabbia = 10-30%
ghiaia = 20% ÷ 45%.	ghiaia = 45% ÷ 80%.
Materiale P2	Materiale P2
Limo+argilla 20-45%	---
sabbia 50-80%	

ghiaia	0-15%	
--------	-------	--

Stato di addensamento

Per gli strati sabbiosi la densità relativa (D_r) è stata valutata in accordo a quanto indicato da [Skempton \(1986\)](#) a partire dai valori 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 10
- σ_{vo}' = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova SPT (kg/cm²)
- N_{SPT} = numero di colpi per 30 cm di infissione
- $(K_o)_{nc}$ = 0,5 = coefficiente di spinta a riposo per terreni normalmente consolidati (-)
- $(k_o)_{sc}$ = $0,5 \cdot (GSC)^{0.5}$ = coefficiente di spinta a riposo per terreni sovraconsolidati (-)
- GSC = grado di sovraconsolidazione (-)
- D_r = densità relativa (-)

Tabella 10: 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	$(21,7÷27,5) \cdot \frac{1+2 \cdot (k_0)_{sc}}{1+2 \cdot (k_0)_{nc}}$
-------------------------	-----------	---

In questa sede si sono assunti valori di A e B corrispondenti alle sabbie medie.

Si sono ottenuti i seguenti risultati:

Materiale A2

La densità relativa (D_r), determinata sulla base dell'interpretazione delle prove SPT risulta generalmente compresa nell'intervallo $D_r=50\%÷80\%$ (vedi Figura 7).

Materiale P2

La densità relativa (D_r), determinata sulla base della resistenza penetrometrica N_{SPT} , risulta superiore al 60 % (vedi Figura 8), salvo alcuni locali valori intorno al 40%.

Storia tensionale

Indicazioni sulle tensioni geostatiche e sulla storia tensionale possono essere ricavate dagli studi di carattere geologico.

In questa sede si sono fatte le seguenti ipotesi:

- I corpi ghiaioso-sabbiosi (A2) dei depositi alluvionali attuali non sono mai stati soggetti a pressioni litostatiche superiori a quelle attuali; essi sono stati pertanto trattati come depositi normalmente consolidati.
- I corpi sabbioso-limosi (P2) presenti nei depositi plio-pleistocenici hanno subito storie tensionali analoghe a quelle dei corpi limoso-argillosi (P1) presenti negli stessi depositi.

8.2.3 Parametri di resistenza al taglio

L'angolo di resistenza al taglio di picco φ' dei materiali sabbiosi è stato determinato facendo riferimento al metodo proposto da Bolton (1986) in base al quale:

$$\varphi' = \varphi_{cv}' + m \cdot DI$$

$$Dl = D_r \cdot [Q - \ln(p_f')] - 1$$

essendo:

$$\varphi' = \text{angolo di attrito di picco riferito a pressioni } \sigma_{ff}' = 272 \text{ kPa} \quad (^\circ)$$

Q = fattore che dipende dalla composizione mineralogica e dalla forma delle particelle di sabbia, valore consigliato per particelle silicee = 10

$$p_f' = 1,4 \cdot \sigma_{ff}' \text{ (vedi Jamiokowski et al. 1988)} \quad (\text{kPa})$$

σ_{ff}' = tensione efficace normale alla superficie di rottura = 272 kPa

m = costante empirica dipendente dalle condizioni di deformazione prevalenti (vedi Tabella 11) $(^\circ)$

D_r = densità relativa $(-)$

Tabella 11: Valori della costante empirica m secondo Bolton (1986)

Condizioni di rottura	m(°)
Tipo prova triassiale di compressione ($\sigma_2' = \sigma_3'$)	3
Tipo prova triassiale in estensione o di deformazione piana ($\sigma_2' \neq \sigma_3'$)	5
σ_2' = tensione principale efficace intermedia	
σ_3' = tensione principale efficace minore	

I valori dell'angolo di attrito φ_{cv}' possono essere ricavati da prove di laboratorio (triassiali o di taglio diretto) su provini ricostituiti a basse densità relative o, in assenza di queste ultime, assegnati in base a quanto indicato nella Tabella 12 (vedi ad esempio Youd, 1972; Stroud, 1988)

Tabella 12: Valori dell'angolo di attrito φ_{cv}' per sabbie silicee secondo quanto riportato in Stroud (1988) e Youd (1972)

	Sabbie ben gradate	Sabbie uniformi
Sabbie a spigoli vivi	$\varphi_{cv}' = 38^\circ$	$\varphi_{cv}' = 34^\circ$
Sabbie a spigoli arrotondati	$\varphi_{cv}' = 33^\circ$	$\varphi_{cv}' = 30^\circ$

In questa sede l'interpretazione è stata effettuata assumendo:

$$\varphi_{cv}' = 34^\circ \text{ per le sabbie}$$

$$m = 3$$

Si sono ottenuti i seguenti risultati:

Materiale A2

La resistenza al taglio in termini di angolo di attrito (φ'), determinata sulla base dei risultati delle prove SPT nei materiali a grana grossa può essere assunta rispettivamente pari a $\varphi' = 37^\circ \div 39^\circ$ (vedi la Figura 9).

Materiale P2

La resistenza al taglio in termini di angolo di attrito (φ'), determinata sulla base dei risultati delle suddette prove SPT, può essere assunta pari a $\varphi' = 38^\circ\text{-}40^\circ$ (vedi Figura 10). A conferma di tali valori sono disponibili anche alcune prove di taglio diretto che forniscono valori di 37° e 43° su campioni del substrato a prevalente contenuto sabbioso (60% di sabbia).

8.2.4 Caratteristiche di deformabilità

I moduli iniziali di taglio (G_{o1}) e di Young (E_{o1}) possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio V_s utilizzando le seguenti equazioni:

$$G_{o1} = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_{o1} = G_{o1} \cdot 2 \cdot (1 + \nu') \quad (\text{kPa})$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m^3

ν' = rapporto di Poisson del terreno = 0.20-0.30

V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/sec .

La velocità di propagazione delle onde di taglio V_s può essere ricavata indirettamente, interpretando i risultati delle prove SPT, che sono risultati mediamente più cautelativi rispetto ai valori delle V_s misurate nel corso della prova cross-hole eseguita nei sondaggi L1-SOC4 e L1-SOC4bis (cfr. Figura 11 e Figura 12).

Il modulo iniziale di Young (E_o) può essere ricavato dal modulo iniziale di taglio (G_o) mediante la seguente espressione:

$$E_o = G_o \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$
 (kPa)

La velocità delle onde di taglio da prove SPT in sabbie e ghiaie normalmente consolidate, silicee non cementate, può essere ricavata sulla base della correlazione proposta da [Ohta & Goto \(1978\)](#) (vedi anche [Baldi et al., 1989](#)); in base a tale correlazione vale quanto segue:

$$V_s = C \cdot (N_{SPT})_{60\%}^{0.171} \cdot (z)^{0.199} \cdot f_A \cdot f_G \text{ (m/sec)}$$

essendo:

$$C = 67,3$$

z = profondità dal p.c. in metri

f_A = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito (vedi la Tabella 13)

f_G = coefficiente funzione della composizione granulometrica (vedi la Tabella 14)

Tabella 13: Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_A - (funzione dell'epoca geologica del deposito)

f_A	Olocene	Pleistocene
	1,0	1,3

Tabella 14: Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_G - (funzione della composizione granulometrica del deposito)

f_G	Ghiaie	Sabbie ghiaiose	Sabbie grosse	Sabbie medie	Sabbie fini
	1,45	1,15	1,14	1,07	1,09

Applicando le correlazioni indicate ai livelli sabbiosi, sono ottenuti i seguenti risultati:

Materiale A2

$V_s = 200-350$ m/s (cfr. Figura 11)

$G_0 = 80-220$ MPa (cfr. Figura 13)

$E_0 = 200-400$ MPa (cfr. Figura 15)

Materiale P2

$V_s = 300-400$ m/s (cfr. Figura 12)

$G_0 = 150-300$ MPa (cfr. Figura 14)

$E_0 = 300-600$ MPa (cfr. Figura 16)

Per la stima dei moduli di deformabilità "operativi", da associare allo specifico problema, possono essere fatte le seguenti assunzioni:

- Nel calcolo di opere di sostegno tipo paratie (tirantate e non) i moduli di Young "operativi" E_{op1} sono pari a circa $1/3 \div 1/5$ di quelli iniziali E_0 ;
- Nel calcolo dei cedimenti delle fondazioni i moduli di Young "operativi" E_{op1} sono pari a circa $1/5$ di quelli iniziali E_0 ;
- Nel calcolo dei cedimenti dei rilevati i moduli di Young "operativi" E_{op2} sono pari a circa $1/10$ di quelli iniziali E_0 .

8.3 Materiali a grana fine (limi e argille) saturi

8.3.1 Introduzione

La caratterizzazione geotecnica dei terreni a grana fine è affidata sia all'interpretazione delle prove di laboratorio (cfr. Tabella 15 e Tabella 16 riassuntive dei risultati delle prove eseguite), sia all'interpretazione delle prove in sito (prove SPT).

Anche in questo caso la caratterizzazione geotecnica è volta alla determinazione dei seguenti parametri:

- caratteristiche fisiche dei depositi;
- parametri di resistenza al taglio;
- parametri di deformabilità.

8.3.2 Classificazione

La classificazione dei terreni a grana fine è stata effettuata facendo riferimento ai risultati delle prove di laboratorio in termini di :

- fusi granulometrici;
- limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico);
- pesi di volume naturale e secco;
- grado di saturazione;
- contenuto d'acqua naturale;
- indice dei vuoti iniziale;
- cenni sullo stato tensionale.

Per quanto riguarda i valori di N_{SPT} misurati si ha:

Materiale A1

I valori risultano normalmente pari a $5 \leq N_{SPT} \leq 20$ colpi/30 cm (Figura 17).

Materiale P1

I valori N_{SPT} (Figura 4) sono generalmente variabili tra 30 e 60 colpi/30cm.

Composizione granulometrica

Sulla base delle curve granulometriche disponibili le percentuali di argilla, limo, sabbia e ghiaia possono variare come segue (Figura 18 e Figura 19):

LOTTO 1		LOTTO 2	
Materiale A1		Materiale A1	
argilla+limo	55% ÷ 100%	argilla+limo	70% ÷ 95%
sabbia	0% ÷ 45%	sabbia	5% ÷ 30%
ghiaia	0% ÷ 15%	ghiaia	0% ÷ 10%
Materiale P1		Materiale P1	
argilla+limo	55% ÷ 100%	argilla+limo	55% ÷ 100%
sabbia	0% ÷ 45%	sabbia	0% ÷ --- %
ghiaia	0% ÷ 15%.	ghiaia	0% ÷ --- %

Limiti di Atterberg

Le caratteristiche di plasticità (limite liquido LL e indice di plasticità IP) sono riportati nella Figura 20 e nella Figura 21; esse variano come segue:

LOTTO 1		LOTTO 2	
Materiale A1		Materiale A1	
LL = 25% ÷ 65%		LL = 25% ÷ 50%	
IP = 10% ÷ 45%		IP = 5% ÷ 25%	
Materiale P1		Materiale P1	
LL = 29% ÷ 35%		LL = 40% ÷ 55%	
IP = 5% ÷ 15%		IP = 20% ÷ 35%	

Facendo riferimento alla "Carta di Plasticità di Casagrande", riportata nella Figura 22, i materiali in oggetto, rilevati nel Lotto 1, possono essere classificati come:

"argille inorganiche di bassa, media plasticità" e

"limi inorganici di bassa e media compressibilità";

nella Figura 23, i materiali del Lotto 2 possono essere classificati come:

"argille inorganiche di media e alta plasticità" e

"limi inorganici di media e alta compressibilità e argille organiche";

Peso di volume naturale

Materiale A1

Il peso di volume naturale (γ_n) risulta compreso, (Figura 24 e Figura 25),

nel lotto 1 tra $18.5 \div 20.5$ kN/m³ e

nel lotto 2 tra $18.5 \div 20.0$ kN/m³.

Materiale P1

Il peso di volume naturale (γ_n) risulta compreso, (Figura 24 e Figura 25),

nel lotto 1 tra $\gamma_n = 19.5 \div 21.5$ kN/m³ e

nel lotto 2 tra $19.5 \div 20.5$ kN/m³.

Contenuto d'acqua

Materiale A1

Il contenuto d'acqua naturale (w_n) risulta generalmente compreso

nel lotto 1 tra 20% e 35%, e

nel lotto 2 tra 18% e 30% (Figura 26 e Figura 27).

Materiale P1

Il contenuto d'acqua naturale (w_n) risulta generalmente compreso

nel lotto 1 tra 15% e 22%, e

nel lotto 2 tra 22% e 26% (Figura 26 e Figura 27).

Indice dei vuoti iniziale

Materiale A1

L'indice dei vuoti iniziale (e_0) risulta, nel lotto 1 e lotto 2, dell'ordine di 0.6÷0.8 (cfr. Tabella 15 e Tabella 16).

Materiale P1

L'indice dei vuoti iniziale (e_0) risulta generalmente nel lotto 1 compreso tra 0.4 e 0.6, nel lotto 2 compreso tra 06 e 07 (cfr. Tabella 15 e Tabella 16).

Secondo quanto già definito in sede di progettazione dell'allargamento alla 3ª corsia dell'A14, i materiali coesivi in esame possono essere trattati complessivamente come terreni da leggermente a mediamente sovraconsolidati meccanicamente, con differente grado di sovraconsolidazione in funzione della formazione di appartenenza.

8.3.3 Parametri di resistenza al taglio

La resistenza al taglio non drenata c_u dei terreni limoso-argillosi saturi è stata valutata facendo riferimento ai risultati delle prove di laboratorio disponibili (cfr. Tabella 15 e Tabella 16).

Per i depositi recenti (A1) si è fatto riferimento ai risultati di prove triassiali non consolidate non drenate (TX-UU) effettuate su campioni indisturbati, che forniscono il seguente parametro medio caratteristico:

$$c_u = 30-60 \text{ kPa}$$

Per quanto riguarda i parametri di resistenza al taglio di picco in termini di sforzi efficaci, i risultati delle prove di taglio diretto forniscono:

$$c_p' = 2 \div 8 \text{ kPa} = \text{intercetta di coesione};$$

$$\varphi_p' = 26^\circ \div 27^\circ = \text{angolo di attrito}.$$

Nel caso di terreni a grana fine compatti, costituenti i depositi pliocenici (P1), la resistenza al taglio non drenata c_u è stata stimata adottando la correlazione

empirica proposta da [Stroud \(1974\)](#) (vedi anche [Clayton, 1995](#)). In base a tale correlazione risulta quanto segue:

$$c_U \cong (5,0 \div 5,5) \cdot N_{SPT} \geq 200 \text{ (kPa)}$$

Sono inoltre disponibili per il materiale P1 prove di laboratorio di taglio diretto che forniscono parametri di resistenza in termini di sforzi efficaci, le quali testimoniano l'elevata resistenza al taglio del materiale. Si confermano in ogni caso i parametri già assunti in sede di progettazione allargamento alla 3^a corsia A14, come segue:

$$c_p' = 10 \div 20 \text{ kPa} = \text{intercetta di coesione}$$

$$\varphi_p' = 26^\circ \div 30^\circ = \text{angolo di attrito.}$$

Analogamente i parametri di resistenza al taglio residui sono stati presi dalle prove di laboratorio di taglio diretto (TD), in termini di resistenze residue, eseguite per il PE della A14 nella tratta Cattolica-Fano. Si può assumere:

$$\text{per il materiale A1: } c_r' = 0 \text{ kPa;}$$

$$\varphi_r' = 18^\circ \div 24^\circ;$$

$$\text{per il materiale P1: } c_r' = 0 \text{ kPa;}$$

$$\varphi_r' = 16^\circ \div 22^\circ;$$

8.3.4 Caratteristiche di deformabilità

Per i materiali di tipo A1 sono disponibili le seguenti prove udometriche:

- LOTTO 1 (*una sola prova eseguita*)
 - campione SH2 prelevato nel sondaggio L1-SOC2 a 7.5 m di profondità;
- LOTTO 2
 - campione SH1 prelevato nel sondaggio L2-SOC2 a 4.5 m di profondità;
 - campione SH2 prelevato nel sondaggio L2-SOC4 a 5.0 m di profondità;

- campione SH1 prelevato nel sondaggio L2-SOC5 a 10.5 m di profondità;

Sulla base dei risultati di tali prove, di considerazioni generali e della parametrizzazione eseguita in sede di progettazione dell'allargamento alla 3^a corsia dell'A14, in questa fase si può assumere:

Per i materiali tipo A1, Lotto 1- modulo elastico operativo $E_{op} = 5\div 7$ MPa;

Per i materiali tipo A1, Lotto 2- modulo elastico operativo $E_{op} = 5\div 11$ MPa;

Per i materiali tipo P1, Lotto 1 e Lotto 2 - modulo elastico operativo $E_{op} = 50$ MPa.

9. PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

Si fornisce nel seguito una tabella riassuntiva con i parametri geotecnici che sono stati utilizzati in questa fase progettuale (Progetto Definitivo).

LOTTO 1						
Mat.	Nspt	Dr	Peso di Volume γ_n (kN/m ³)	Parametri di resistenza		Parametri di deformabilità
A1	5-20		18,5-20,5	$c_u=30-60$ kPa		$E_{op}=5-7$ MPa
				$c_p'=2-8$ kPa $\phi_p'=26^\circ-27^\circ$	$c_r'=0$ kPa $\phi_r'=18^\circ-24^\circ$	
A2	20-75	50-80	19,0-20,0	$c'=0$ kPa, $\phi'=37^\circ-39^\circ$		$E_0=200-400$ MPa
P1	30-60		19,5-21,5	$c_u \geq 200$ kPa		$E_{op}=50$ MPa
				$c_p'=10-20$ kPa $\phi_p'=26^\circ-30^\circ$	$c_r'=0$ kPa $\phi_r'=16^\circ-22^\circ$	
P2	>40-50	>60	18,0-21,0	$c'=0$ kPa, $\phi'=38^\circ-40^\circ$		$E_0=300-600$ MPa

LOTTO 2						
Mat.	Nspt	Dr	Peso di Volume γ_n (kN/m ³)	Parametri di resistenza		Parametri di deformabilità
A1	5-20		18,0-20,0	$c_u=30-60$ kPa		$E_{op}=5-11$ MPa
				$c_p'=2-8$ kPa $\phi_p'=26^\circ-27^\circ$	$c_r'=0$ kPa $\phi_r'=18^\circ-24^\circ$	
A2	20-75	50-80	19,0-20,0	$c'=0$ kPa, $\phi'=37^\circ-39^\circ$		$E_0=200-400$ MPa
P1	30-60		19,5-20,5	$c_u \geq 250$ kPa		$E_{op}=50$ MPa
				$c_p'=10-20$ kPa $\phi_p'=26^\circ-30^\circ$	$c_r'=0$ kPa $\phi_r'=16^\circ-22^\circ$	
P2	>40-50	>60	18,0-21,0	$c'=0$ kPa, $\phi'=38^\circ-40^\circ$		$E_0=300-600$ MPa

Essendo:

γ_n	=	peso di volume naturale (kN/m ³);
N _{spt}	=	numero colpi N _{spt} / 30 cm;
D _r	=	densità relativa;
c _u	=	resistenza al taglio non drenata (kPa);
c'	=	resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci (kPa);
c' _r	=	resistenza al taglio residua in termini di sforzi efficaci (kPa);
ϕ'	=	angolo d'attrito in termini di sforzi efficaci;
ϕ'_r	=	angolo d'attrito residuo in termini di sforzi efficaci;
E _{op}	=	modulo elastico "operativo";
E ₀	=	modulo elastico iniziale.

10. CENNI SULLE FONDAZIONI DELLE OPERE PRINCIPALI

Per le fondazioni di tutte le opere principali (Viadotto sul Fiume Metauro, Ponte sul Fiume Arzilla, Ponte sul Canale del Porto e Cavalcavia) sono stati previsti pali di grosso diametro (diam. pari a 1.20 m per tutte le opere). La disposizione di questi pali è tale da garantire sempre un interasse uguale a circa 3 volte il diametro, eccetto che per il ponte sul canale del Porto per cui sono previsti pali su un'unica fila a interasse 1.5 m. Le lunghezze variano mediamente tra i 15 ed i 24 m.

La procedura seguita per la realizzazione delle pile in alveo del *Ponte sul Fiume Metauro* è praticamente la stessa già adottata per la costruzione dell'opera in affiancamento che consente l'allargamento alla 3° corsia del ponte esistente sulla A14. Sulle spalle si rendono necessarie delle berlinesi provvisoriali per garantire la stabilità delle fondazioni esistenti e degli argini durante le fasi di scavo delle fondazioni del nuovo Ponte.

Per i sottovia sono state adottate fondazioni di tipo diretto.

Sondaggio	Cam.	Mat.	Z (m)	γ_s (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	γ_n (kN/m ³)	LL (%)	IL (-)	LP (%)	IP (%)	A (%)	L (%)	S (%)	G (%)	CA+CL (%)	Gran	e _o (-)	Wn (%)	Cu UU (kPa)	Cu ELL (kPa)	phi TD (°)	C' TD (kPa)	
L1-SOC1 (tetto substrato 20 m)	SPT1	A1	1,55				37,00		16,00	21,00	19,00	52,00	29,00	0,00	71,00	Coes							
	SPT2	A1	3,00				67,00		21,00	46,00	54,00	36,00	8,00	2,00	90,00	Coes							
	SH1	A1	4,60			19,25	46,0	0,33	18,0	28,0	31,00	69,00	0,00	0,00	100,00	Coes		27,30					
	SPT4	A1	6,00				61,0		28,0	33,0	57,00	43,00	0,00	0,00	100,00	Coes							
	SPT5	A1	7,80				31,0		17,0	14,0	26,00	64,00	10,00	0,00	90,00	Coes							
	SH2	A1	9,50			19,03	36,0	0,34	20,0	16,0	25,00	65,00	10,00	0,00	90,00	Coes		25,40					
	SPT7	A1	12,00				46,0		20,0	26,0	45,00	55,00	0,00	0,00	100,00	Coes							
	SH3	A1	13,40	26,32	16,69	20,30	40,0	0,08	20,0	20,0	27,00	65,00	8,00	0,00	92,00	Coes	0,577	21,60	172,00				
	SPT9	A2	16,00				28,0		17,0	11,0	8,00	22,00	26,00	44,00	30,00	Gran							
	SPT10	A2	18,00				26,0		20,0	6,0	9,00	21,00	32,00	38,00	30,00	Gran							
	SPT11	P1-P2	21,50								6,00	31,00	63,00	0,00	37,00	Gran							
	SPT12	P1-P2	24,00								8,00	19,00	72,00	1,00	27,00	Gran							
	SPT13	P1-P2	27,00				35,0		26,0	9,0	29,00	67,00	4,00	0,00	96,00	Coes							
	SPT14	P1-P2	30,00								8,00	30,00	61,00	1,00	38,00	Gran						37	0,00
	SPT15	P1-P2	33,00								4,00	16,00	80,00	0,00	20,00	Gran							
L1-SOC2 (tetto substrato 14 m)	SH1	A1	3,00	26,57	15,62	19,46	31,0	0,29	22,0	9,0	23,00	55,00	21,00	1,00	78,00	Coes	0,701	24,60	30-58				
	SPT2	A1	3,55				36,0		21,0	15,0	29,00	64,00	7,00	0,00	93,00	Coes							
	SPT4	A1	6,00				42,0		18,0	24,0	40,00	53,00	7,00	0,00	93,00	Coes							
	SH2	A1	7,50	26,61	16,45	20,59	36,0	0,22	22,0	14,0	32,00	57,00	11,00	0,00	89,00	Coes	0,618	25,10					
	SH2	A1	7,50	26,63	16,35	20,45	27,00	0,37	24,00	3,00	17,00	37,00	46,00	0,00	54,00	Coes	0,628	25,10				35	
	SPT5	A1	9,00				31,00		20,00	11,00	34,00	50,00	13,00	3,00	84,00	Coes							
	SPT7	A1	12,00				28,00		19,00	9,00	17,00	38,00	28,00	17,00	55,00	Coes							
	SPT9	P1-P2	15,00								11,00	22,00	53,00	14,00	33,00	Gran							
	SPT10	P1-P2	18,00								13,00	30,00	44,00	13,00	43,00	Gran							
	SPT11	P1-P2	21,00								10,00	37,00	53,00	0,00	47,00	Gran							
	SPT12	P1-P2	24,00								10,00	40,00	50,00	0,00	50,00	Gran							
	SPT13	P1-P2	27,00								9,00	30,00	60,00	1,00	39,00	Gran							
	SPT14	P1-P2	30,00								9,00	21,00	68,00	2,00	30,00	Gran							
	L1-SOC3 (tetto substrato 18 m)	SPT2	A1	3,45				41,00		20,00	21,00	28,00	53,00	17,00	2,00	81,00	Coes						
SPT4		A1	6,00				43,00		22,00	21,00	33,00	61,00	5,00	1,00	94,00	Coes							
SH2		A1	8,00	26,52	14,69	19,14	43,00	0,44	20,00	23,00	35,00	59,00	6,00	0,00	94,00	Coes	0,805	30,20	32,00				
SPT5		A1	9,00				50,00		22,00	28,00	39,00	58,00	3,00	0,00	97,00	Coes							
SH3		A1	12,00	26,71	16,35	20,15	30,00	0,38	19,00	11,00	18,00	54,00	28,00	0,00	72,00	Coes	0,633	23,20				26	8,00
SPT7		A1	12,50				33,00		18,00	15,00	24,00	45,00	31,00	0,00	69,00	Coes							
SPT9		A2	16,00				25,00		17,00	8,00	8,00	21,00	29,00	42,00	29,00	Gran							
SPT10		A2	18,00				31,00		17,00	14,00	9,00	26,00	27,00	38,00	35,00	Gran							
SPT11		P1-P2	21,60				18,00				17,00	52,00	29,00	2,00	69,00	Coes							
SPT12		P1-P2	24,00								8,00	20,00	72,00	0,00	28,00	Gran							
SPT13		P1-P2	27,00								9,00	31,00	60,00	0,00	40,00	Gran							
SPT14		P1-P2	30,00								12,00	47,00	41,00	0,00	59,00	Coes							

Tabella 15: Risultati prove di laboratorio LOTTO 1

Sondaggio	Cam.	Mat.	Z (m)	γ_s (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	γ_n (kN/m^3)	LL (%)	IL (-)	LP (%)	IP (%)	A (%)	L (%)	S (%)	G (%)	CA+CL (%)	Gran	e_o (-)	Wn (%)	Cu UU (kPa)	Cu ELL (kPa)	phi TD (°)	C' TD (kPa)	
L1-SOC4 (tetto substrato 14 m)	SPT2	A1	3,00				43,00		23,00	20,00	29,00	68,00	2,00	1,00	97,00	Coes							
	OS1	A2	4,60				30,00	0,35	17,00	13,00	12,00	34,00	27,00	27,00	46,00	Gran							
	SPT4	A2	6,00				30,00		21,00	9,00	8,00	18,00	29,00	45,00	26,00	Gran							
	SH2	A1	7,60	26,33	15,92	19,64	44,00	0,14	20,00	24,00	23,00	47,00	11,00	19,00	70,00	Coes	0,654	23,40		45,00	27	2,00	
	SPT6	A1	9,00				25,00				18,00	34,00	45,00	3,00	52,00	Coes							
	SPT8	A2	12,00				24,00		17,00	7,00	10,00	20,00	44,00	26,00	30,00	Gran							
	SPT10	P1-P2	15,00				36,00		28,00	8,00	26,00	74,00	0,00	0,00	100,00	Coes							
	MZ3	P1-P2	17,70	27,13	17,96	21,24	37,00	<0	25,00	12,00	42,00	58,00	0,00	0,00	100,00	Coes	0,511	18,30			15	172,00	
	SPT11	P1-P2	18,00								21,00	79,00	0,00	0,00	100,00	Coes							
	R6	P1-P2	18,40								11,00	46,00	42,00	1,00	57,00	Coes							
	SPT12	P1-P2	21,00								13,00	53,00	34,00	0,00	66,00	Coes							
	MZ4	P1-P2	24,00			21,31	36,00	<0	21,00	15,00	21,00	79,00	0,00	0,00	100,00	Coes		19,80					
	SPT13	P1-P2	24,50								11,00	32,00	57,00	0,00	43,00	Gran							
	SPT14	P1-P2	27,00								12,00	51,00	37,00	0,00	63,00	Coes							
	MZ5	P1-P2	28,50			19,37					7,00	49,00	43,00	1,00	56,00	Coes		21,10					
	SPT15	P1-P2	30,00								11,00	51,00	38,00	0,00	62,00	Coes							
SPT16	P1-P2	33,00				33,00		27,00	6,00	36,00	64,00	0,00	0,00	100,00	Coes								
L1-SOC5 (tetto substrato 13 m)	SPT2	A1	3,00							19,00	52,00	29,00	0,00	71,00	Coes								
	SH1	A1	4,00	26,40	14,50	19,57	42,00	0,70	18,00	24,00	31,00	69,00			100,00	Coes	0,820	34,90					
	SPT4	A1	6,00				35,00		20,00	15,00	26,00	56,00	17,00	1,00	82,00	Coes							
	SPT6	A1	9,00				35,00		17,00	18,00	30,00	43,00	26,00	1,00	73,00	Coes							
	SH2	A1	9,45	26,43	16,11	20,03	34,00	0,46	16,00	18,00	29,00	42,00	29,00	0,00	71,00	Coes	0,640	24,30	19,00				
	SPT8	A1	12,00				28,00		19,00	9,00	15,00	38,00	32,00	15,00	53,00	Coes							
	SPT10	A2	12,00								8,00	38,00	54,00	0,00	46,00	Gran							
	SPT11	P1-P2	18,00				29,00				16,00	84,00	0,00	0,00	100,00	Coes							
	MZ3	P1-P2	19,50	27,09	19,10	21,94					10,00	82,00	8,00	0,00	92,00	Coes	0,418	14,80			38	96,00	
	MZ4	P1-P2	23,50	26,75	18,89	21,63					4,00	31,00	65,00	0,00	35,00	Gran	0,416	14,50			43	0,00	
	SPT12	P1-P2	21,00								7,00	64,00	29,00	0,00	71,00	Coes							
	SPT13	P1-P2	24,00								13,00	54,00	33,00	0,00	67,00	Coes							
	SPT14	P1-P2	27,00								8,00	31,00	61,00	0,00	39,00	Gran							
	MZ5	P1-P2	29,00	26,80	18,58	21,04					5,00	29,00	68,00	0,00	34,00	Gran	0,443	13,30					
	SPT15	P1-P2									7,00	23,00	70,00	0,00	30,00	Gran							

A1	terreni alluvionali recenti di natura limoso argillosa
A2	terreni alluvionali recenti di natura sabbioso-ghiaiosa
P1-P2	depositi plio-pleistocenici

Tabella 15: Risultati prove di laboratorio LOTTO 1

Sondaggio	Cam.	Mat.	Z (m)	J_s (kNm ³)	J_d (kNm ³)	J_n (kNm ³)	LL (%)	IL (-)	LP (%)	IP (%)	A (%)	L (%)	S (%)	G (%)	CA+CL (%)	Gran	e _s (-)	Wn (%)	Cu UU (kPa)	Cu ELL (kPa)	phi TD (°)	C' TD (kPa)	
L2-SOC1	SPT1	A1	1,5								18,00	53,00	29,00	0,00	71,00	Coes							
	SH1	A1	3,00	26,68	14,95	18,95	44,00		23,00	21,00	39,00	54,00	7,00	0,00	93,00	Coes	0,784	26,7	72				
	SPT2	A2	4,50								7,00	14,00	24,00	55,00	21,00	Gran							
	SPT3	A2	6,00								0,00	0,00	15,00	85,00	0,00	Gran							
	SPT4	A2	7,80								6,00	15,00	22,00	57,00	21,00	Gran							
	SPT5	A2	9,00								12,00	16,00	26,00	46,00	28,00	Gran							
	SPT6	A2	10,50								7,00	9,00	23,00	61,00	16,00	Gran							
	SPT7	A2	12,00								9,00	10,00	22,00	59,00	19,00	Gran							
SPT8	A2	13,50								6,00	23,00	25,00	46,00	29,00	Gran								
L2-SOC2 (tetto substrato 34 m)	SPT1	A1	1,50				27,0		19,0	8,0	19,00	49,00	28,00	4,00	68,00	Coes							
	SPT2	A1	3,00				29,0		23,0	6,0	18,00	63,00	17,00	2,00	81,00	Coes							
	SH1	A1	4,50	26,40	14,72	18,94	29,0		19,0	10,0	29,00	59,00	10,00	2,00	88,00	Coes	0,794	28,70	38,0				
	SPT3	A2	6,00								11,00	14,00	27,00	48,00	25,00	Gran							
	SPT4	A2	9,00								6,00	9,00	17,00	68,00	15,00	Gran							
	SPT7	A2	12,00								5,00	7,00	18,00	70,00	12,00	Gran							
	SPT9	A2	15,00								6,00	8,00	20,00	66,00	14,00	Gran							
	SPT10	A2	18,00								12,00	13,00	32,00	43,00	25,00	Gran							
	SPT11	A2	21,00								10,00	10,00	17,00	63,00	20,00	Gran							
	SPT12	A2	24,00								9,00	11,00	20,00	60,00	20,00	Gran							
	SPT13	A2	28,00				39,00		17,00	22,00	34,00	44,00	15,00	7,00	78,00	Coes							
	SPT14	A2	31,00								6,00	14,00	24,00	56,00	20,00	Gran							
	SPT15	A2	33,00								10,00	13,00	18,00	59,00	23,00	Gran							
SH2	P1-P2	34,50	26,22	15,72	19,71	54,00		23,00	31,00	56,00				56,00	Coes	0,668	25,40	424					
L2-SOC3 (tetto substrato 34 m)	SH1	A1	3,00	26,46	15,30	19,36	40,00		20,00	20,00	35,00	52,00	11,00	2,00	87,00	Coes	0,729	26,50	79				
	SPT2	A1	4,50								9,00	14,00	18,00	59,00	23,00	Gran							
	SPT3	A2	6,00								10,00	23,00	25,00	42,00	33,00	Gran							
	SPT5	A2	9,00								5,00	6,00	14,00	75,00	11,00	Gran							
	SPT7	A2	12,00								5,00	7,00	20,00	68,00	12,00	Gran							
	SPT9	A2	15,00								8,00	10,00	26,00	56,00	18,00	Gran							
	SPT10	A2	18,00								12,00	11,00	21,00	56,00	23,00	Gran							
	SPT11	A2	21,00								4,00	6,00	11,00	79,00	10,00	Gran							
	SPT12	A2	24,00								1,00	6,00	8,00	85,00	7,00	Gran							
	SPT13	A2	27,00								7,00	11,00	21,00	61,00	18,00	Gran							
	SPT14	A2	30,00								3,00	5,00	13,00	79,00	8,00	Gran							
	SPT15	A2	33,00								9,00	14,00	25,00	52,00	23,00	Gran							

Tabella 16: Risultati prove di laboratorio LOTTO 2

Sondaggio	Cam.	Mat.	Z (m)	J_s (kNm ³)	J_d (kNm ³)	J_n (kNm ³)	LL (%)	IL (-)	LP (%)	IP (%)	A (%)	L (%)	S (%)	G (%)	CA+CL (%)	Gran	e _s (-)	Wn (%)	Cu UU (kPa)	Cu ELL (kPa)	phi TD (°)	C' TD (kPa)	
L2-SOC4	SPT1	A1	1,50								24,00	46,00	20,00	10,00	70,00	Coes							
	SPT2	A1	3,00				48,00		21,00	27,00	45,00	51,00	4,00	0,00	96,00	Coes							
	SH1	A1	4,00	26,48	16,92	19,89	30,00		21,00	9,00	22,00	51,00	19,00	8,00	73,00	Coes	0,565	17,50			33	0,00	
	SPT3	A1	4,25								21,00	52,00	25,00	2,00	73,00	Coes							
	SH2	A1	5,00	26,59	16,25	19,93	44,00		19,00	25,00	44,00	51,00	5,00	0,00	95,00	Coes	0,637	22,70					
	SPT4	A2	7,00									7,00	18,00	23,00	52,00	25,00	Gran						
	SPT5	A2	9,00									8,00	16,00	14,00	62,00	24,00	Gran						
	SPT6	A2	10,50									5,00	9,00	9,00	77,00	14,00	Gran						
	SPT7	A2	12,00									12,00	17,00	24,00	47,00	29,00	Gran						
SPT8	A2	13,50									9,00	18,00	25,00	48,00	27,00	Gran							
SPT9	A2	15,00									6,00	8,00	13,00	73,00	14,00	Gran							
L2-SOC5 (tetto substrato 16 m)	SPT2	A2	3,00								6,00	10,00	18,00	66,00	16,00	Gran							
	SPT4	A2	6,00								6,00	8,00	28,00	58,00	14,00	Gran							
	SPT6	A2	9,00								6,00	9,00	21,00	64,00	15,00	Gran							
	SH1	A1	10,50	26,54	16,04	20,12	41,00		22,00	19,00	33,00				33,00	Gran	0,654	25,40					
	SPT8	A2	13,50								3,00	9,00	17,00	71,00	12,00	Gran							
	SPT9	A2	15,00								2,00	6,00	21,00	71,00	8,00	Gran							
	SH2	P1	16,50	26,96	15,48	19,50	56,00		24,00	32,00	53,00				53,00	Coes	0,742	26,00					
	SPT10	P1	18,00				56,00		22,00	34,00	50,00	48,00	2,00	0,00	98,00	Coes							
	SPT11	P1	21,00				52,00		24,00	28,00	58,00	41,00	1,00	0,00	99,00	Coes							
	MZ3	P1	22,50	26,82	16,38	20,13	57,00		21,00	36,00	59,00				59,00	Coes	0,638	22,90	337,00				
	SPT12	P1	24,00								57,00	43,00	0,00	0,00	100,00	Coes							
	MZ4	P1	27,00	27,03	16,33	20,27	55,00		23,00	32,00	55,00				55,00	Coes	0,656	24,20					
	SPT13	P1	30,00				57,00		23,00	34,00	56,00	44,00	0,00	0,00	100,00	Coes							

A1	terreni alluvionali recenti di natura limoso argillosa
A2	terreni alluvionali recenti di natura sabbioso-ghiaiosa
P1-P2	depositi plio-pleistocenici

Tabella 16: Risultati prove di laboratorio LOTTO 2

**Prove penetrometriche dinamiche (SPT)
Terreni alluvionali recenti sabbioso-ghiaiosi (A2)**

▲ LOTTO 1 ○ LOTTO 2

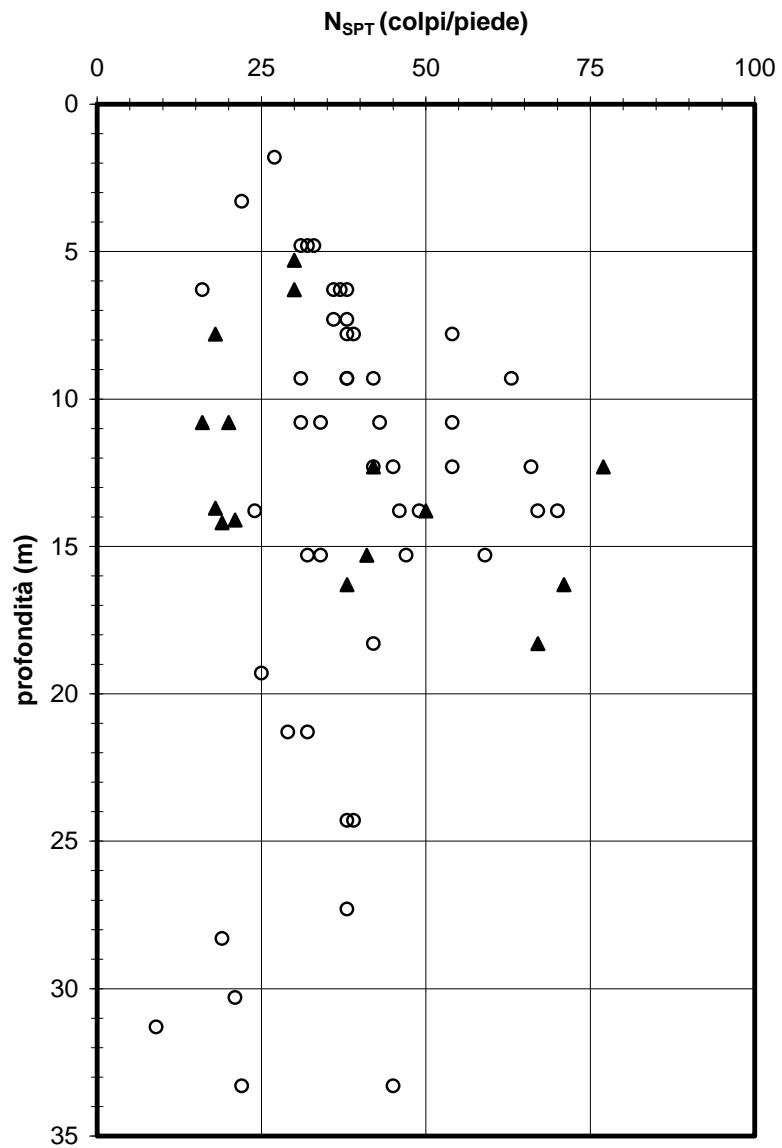


Figura 3: Prove SPT – depositi A2;

**Prove penetrometriche dinamiche (SPT)
Depositi plio-pleistocenici (P1-P2)**

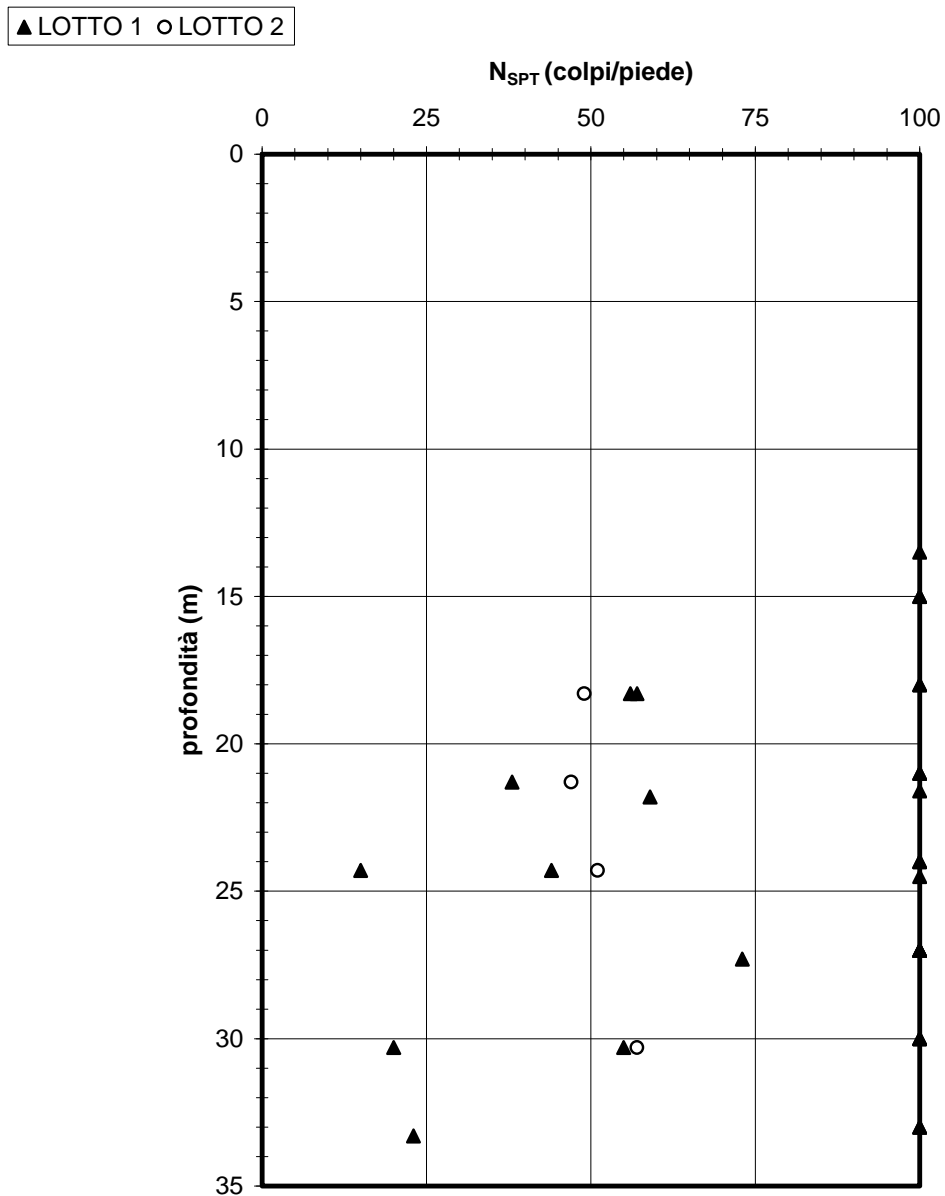


Figura 4: Prove SPT – depositi P1-P2

**Densità relativa degli strati sabbiosi
Terreni alluvionali recenti sabbioso-ghiaiosi (A2)**

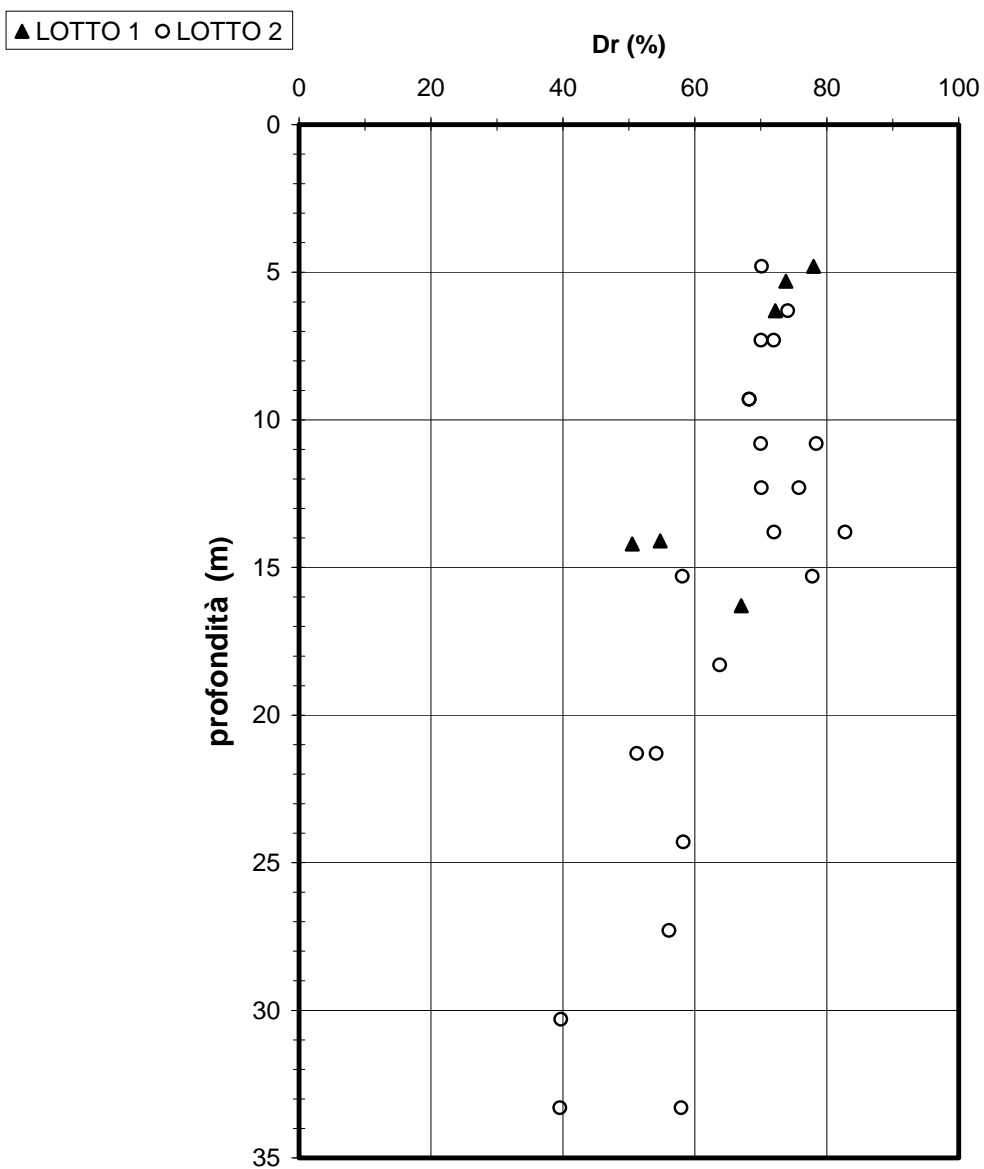


Figura 7: Densità Relativa – depositi A2

**Densità relativa degli strati sabbiosi
Depositi plio-pleistocenici (P1-P2)**

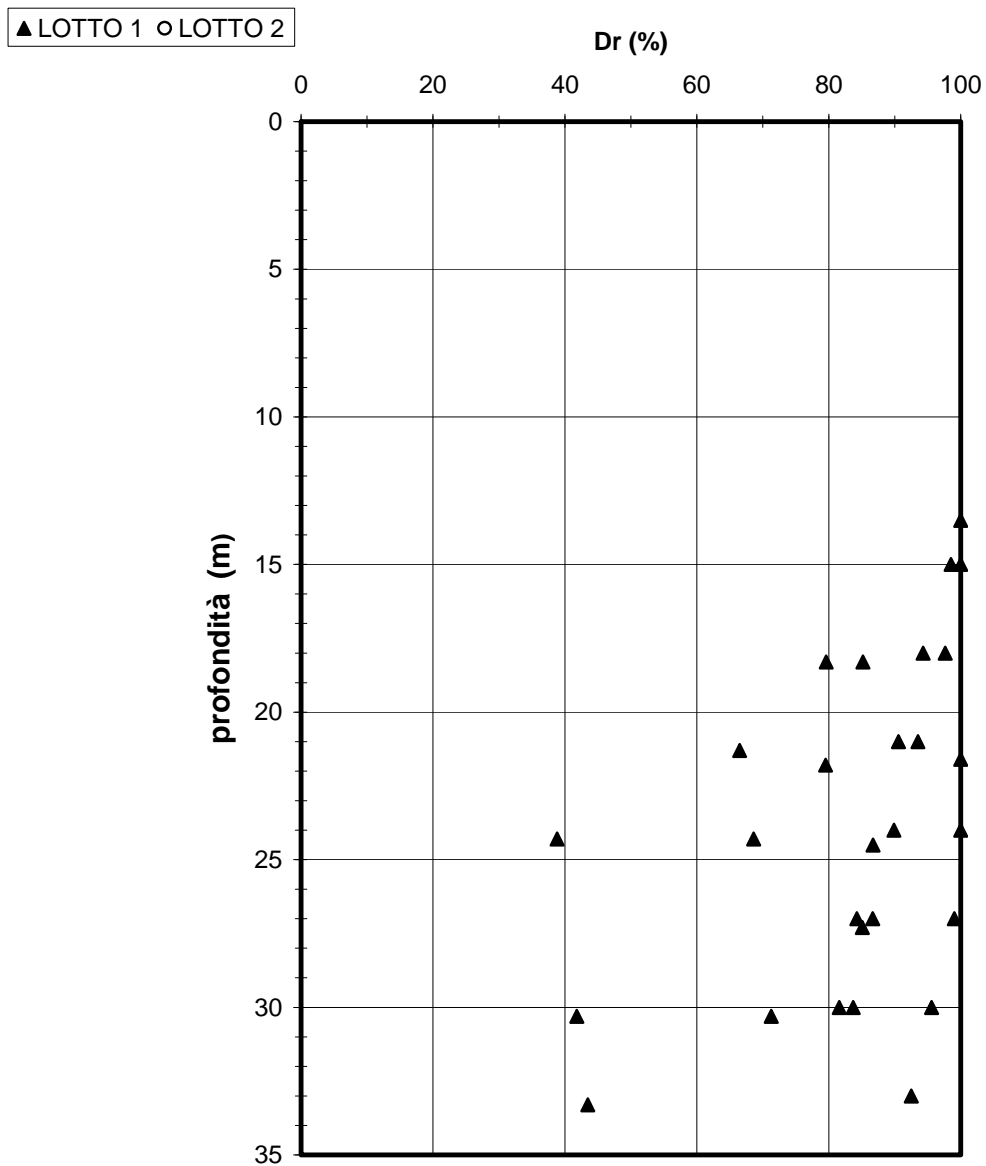


Figura 8: Densità Relativa – deposito P1-P2

**Angolo d'attrito degli strati sabbiosi
Terreni alluvionali recenti sabbioso-ghiaiosi (A2)**

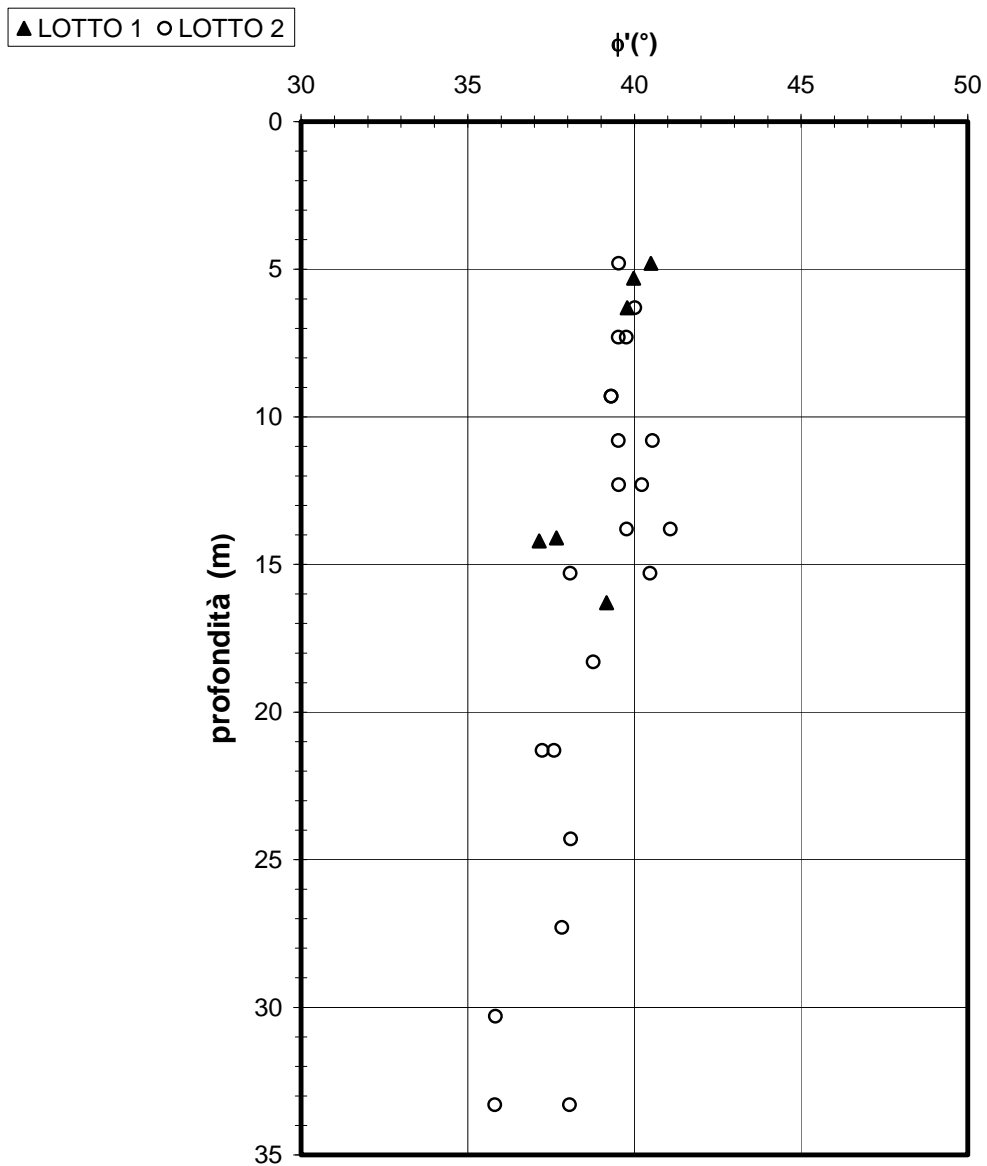


Figura 9: Angolo d' attrito – depositi A2

**Angolo d'attrito degli strati sabbiosi
Depositi plio-pleistocenici (P1-P2)**

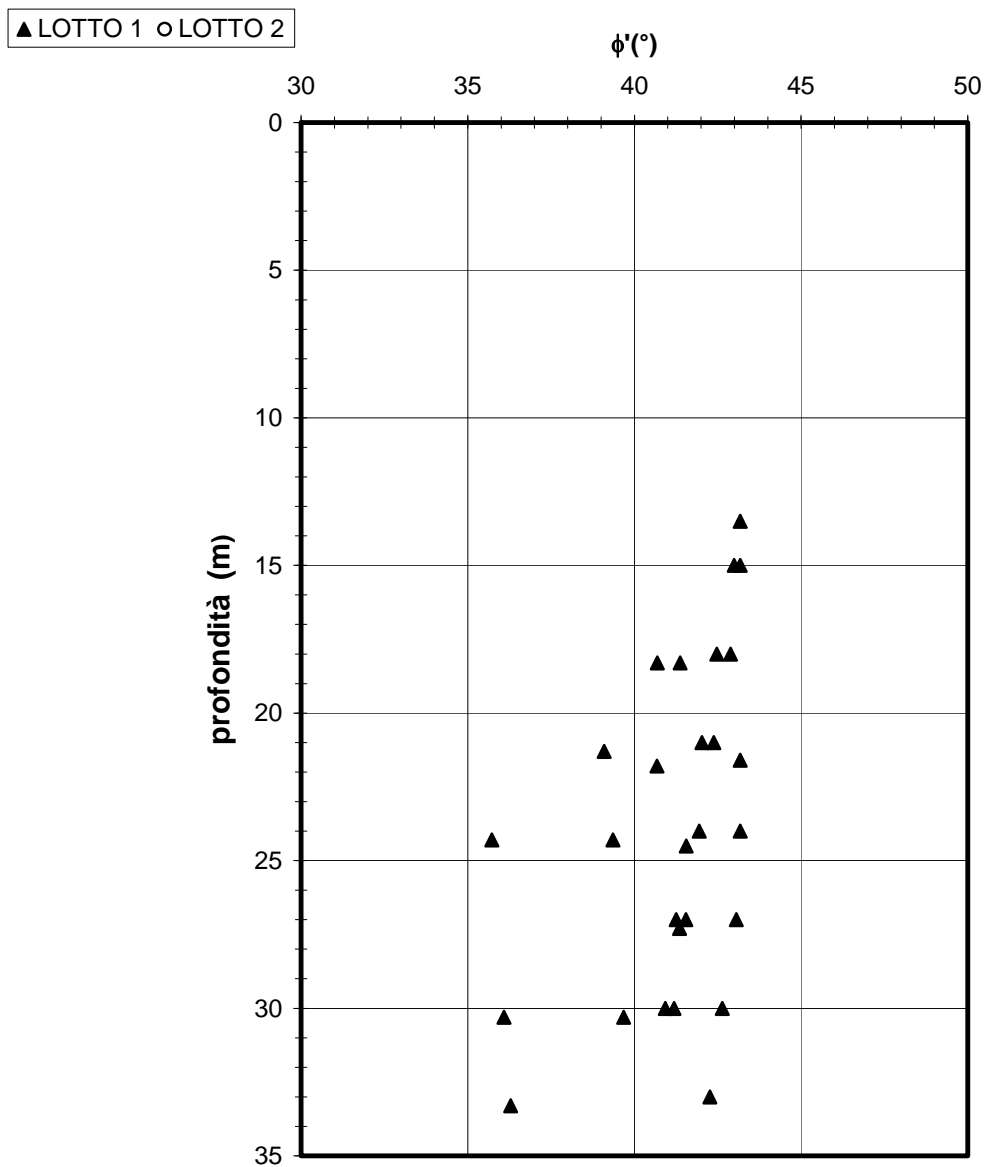


Figura 10: Angolo d'attrito – depositi P1-P2

**Velocità onde di taglio da risultati di prove penetrometriche
dinamiche (SPT) secondo Ohta & Goto (1978)
Terreni alluvionali recenti sabbioso-ghiaiosi (A2)**

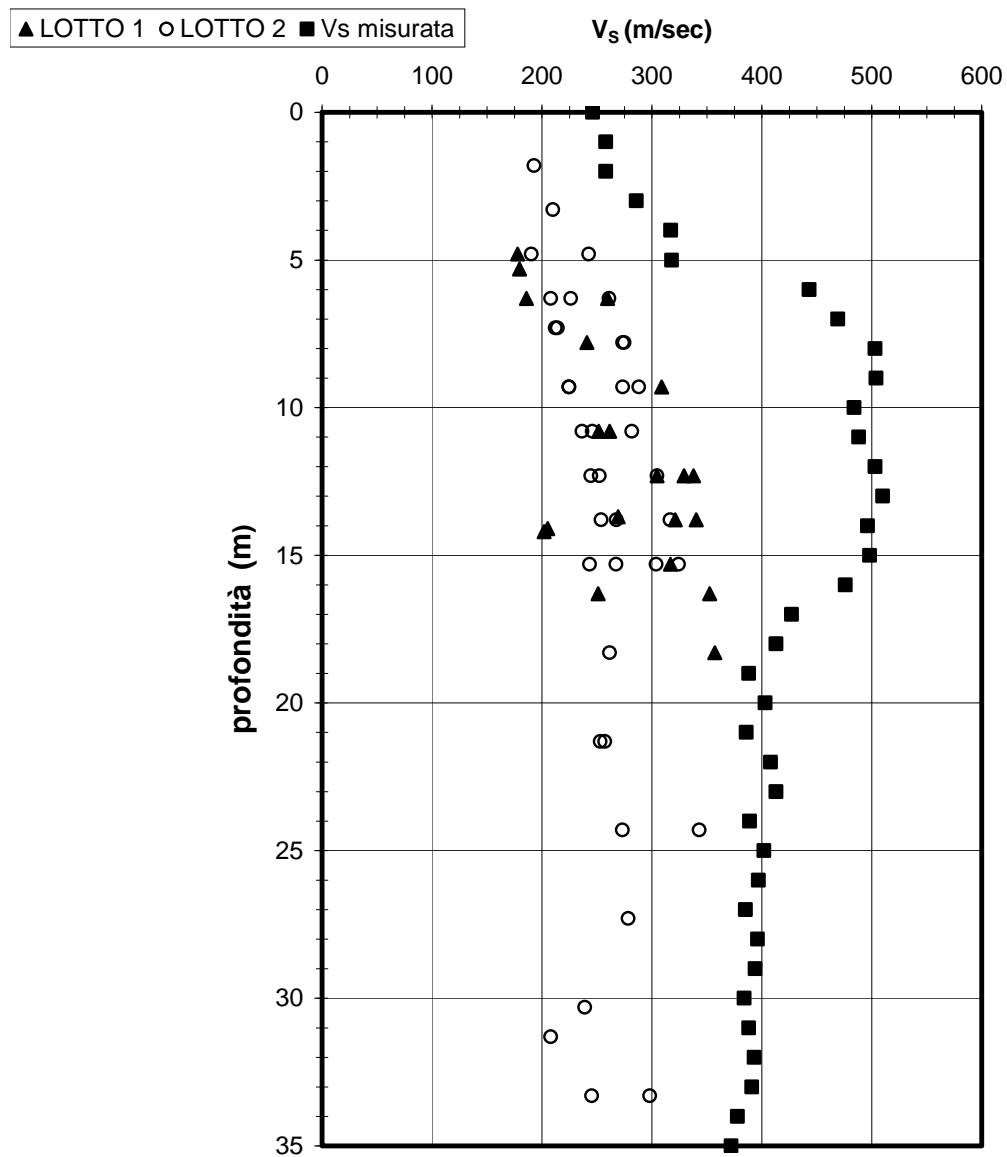


Figura 11: Velocità onde di taglio – depositi A2

**Velocità onde di taglio da risultati di prove penetrometriche
dinamiche (SPT) secondo Ohta & Goto (1978)
Depositi plio-pleistocenici (P1-P2)**

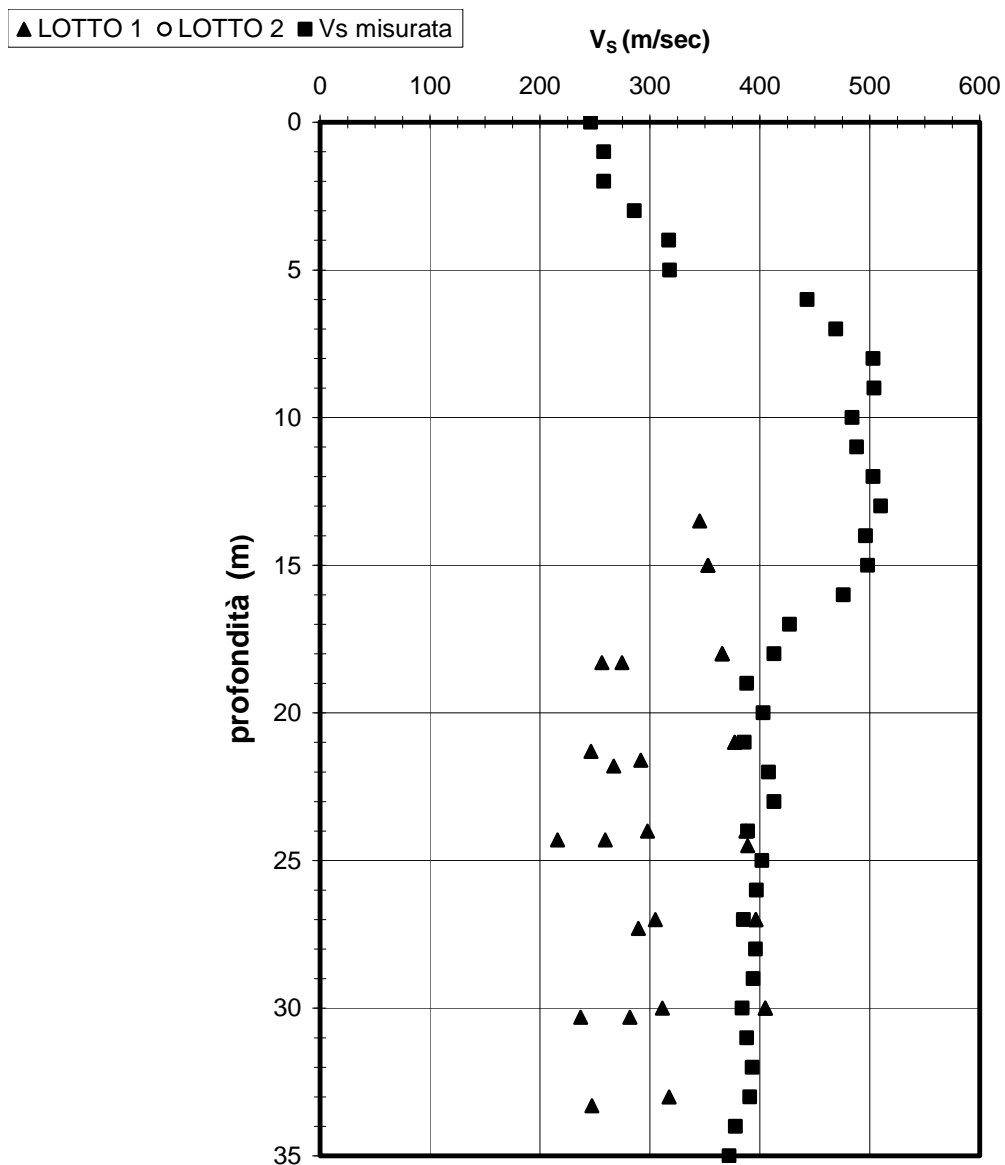


Figura 12: Velocità onde di taglio – depositi P1-P2

**Modulo di taglio iniziale da velocità delle onde di taglio (V_s)
dedotte da prove SPT secondo Ohta & Goto (1978)
Terreni alluvionali recenti sabbioso-ghiaiosi (A2)**

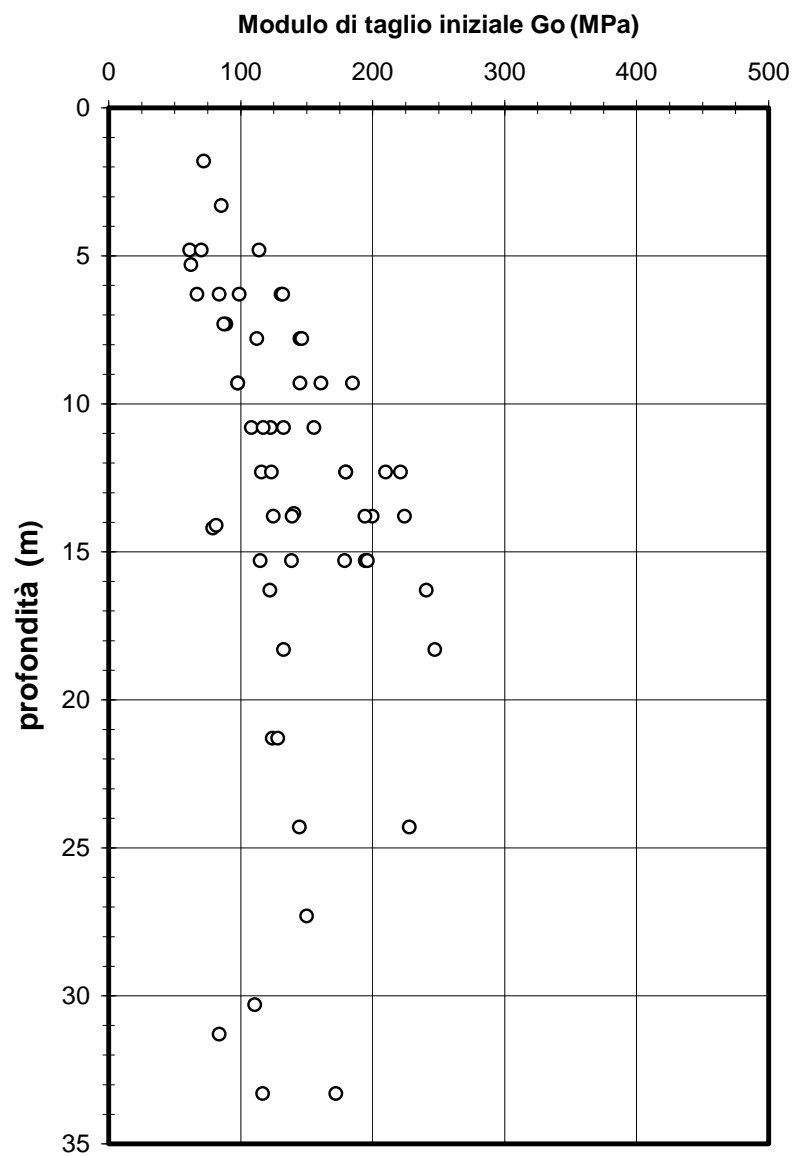


Figura 13: Modulo di taglio iniziale – depositi A2

**Modulo di taglio iniziale da velocità delle onde di taglio (V_s)
dedotte da prove (SPT) secondo Ohta & Goto (1978)
Depositi plio-pleistocenici (P1-P2)**

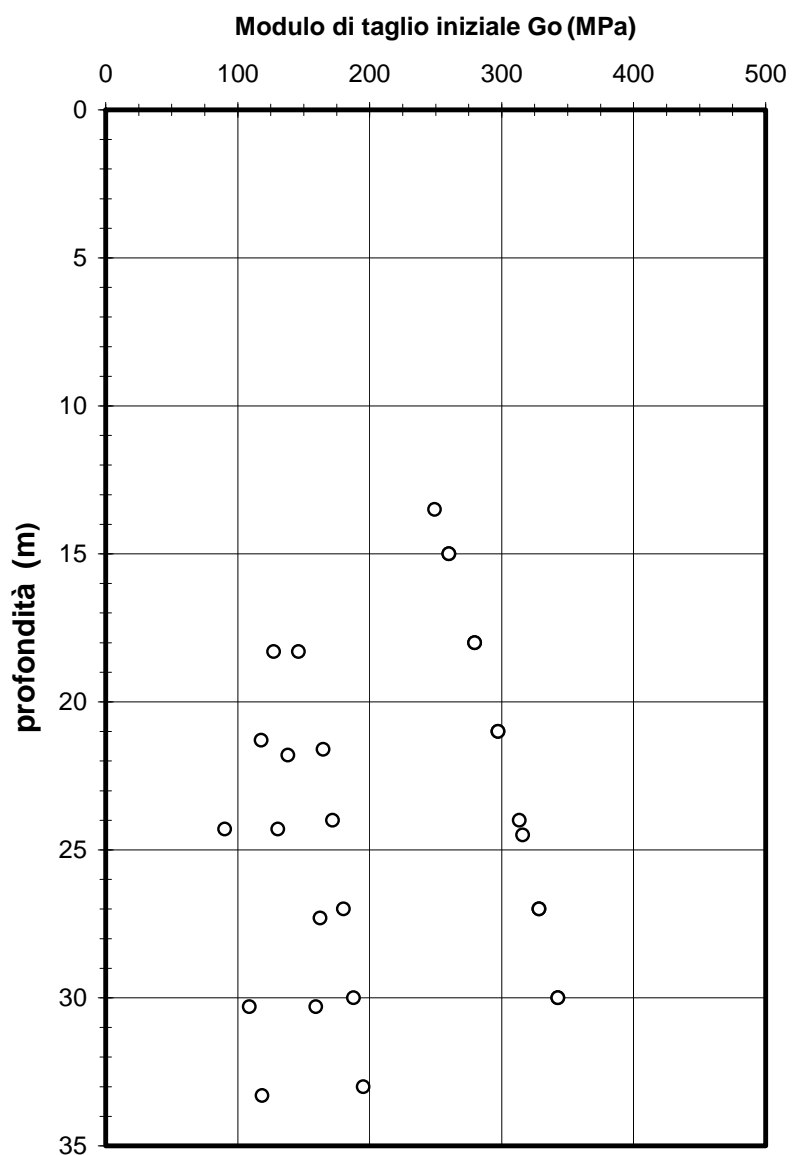


Figura 14: Modulo di taglio iniziale – depositi P1-P2

**Moduli elastici iniziali da velocità delle onde di taglio (V_s) dedotte
da prove SPT secondo Ohta & Goto (1978)
Terreni alluvionali recenti sabbioso-ghiaiosi (A2)**

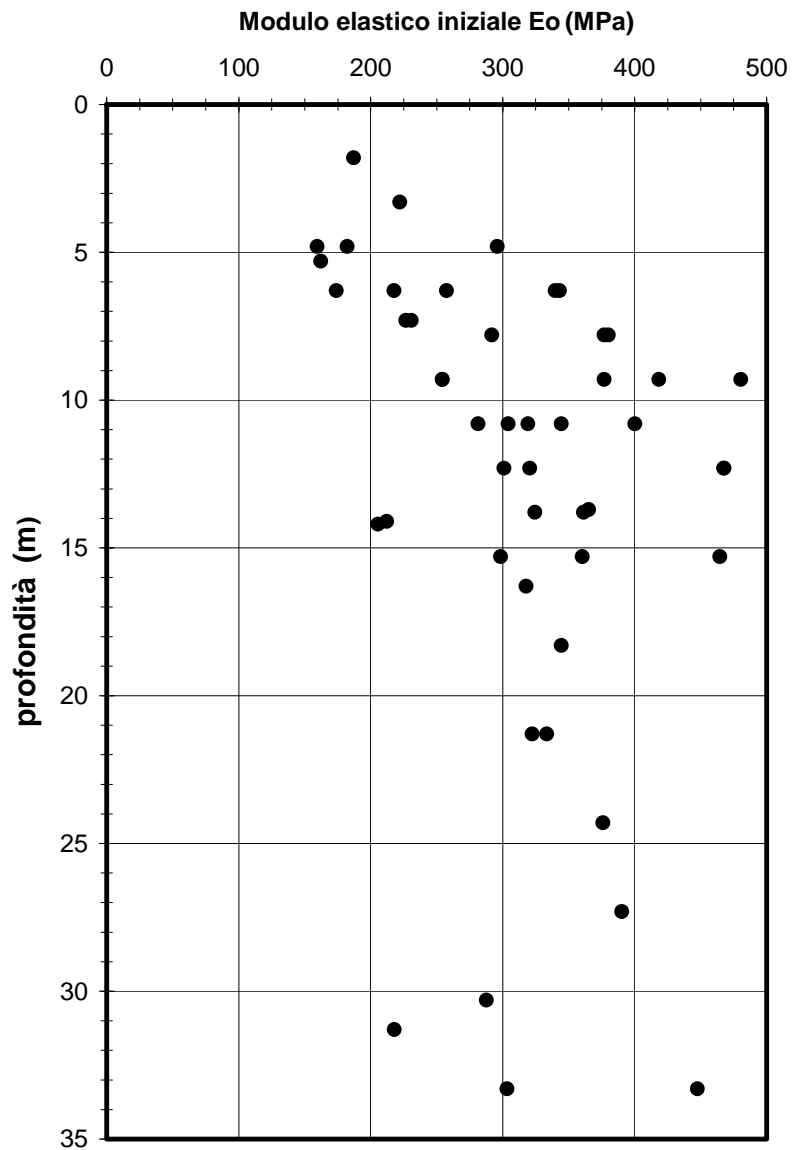


Figura 15: Moduli elastici iniziali – depositi A2

**Moduli elastici iniziali da velocità delle onde di taglio (V_s) dedotte da prove (SPT) secondo Ohta & Goto (1978)
 Depositi plio-pleistocenici (P1-P2)**

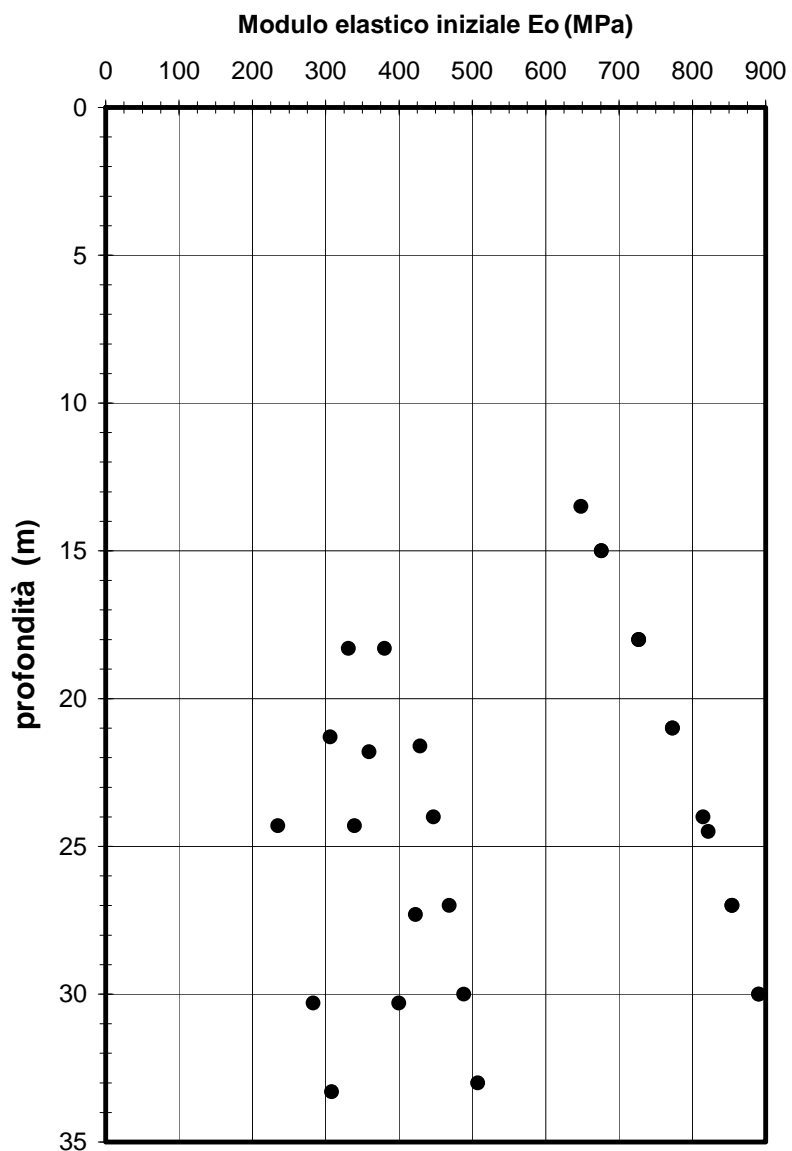


Figura 16: Moduli elastici iniziali – depositi P1-P2

Prove penetrometriche dinamiche (SPT) Terreni alluvionali recenti limoso-argillosi (A1)

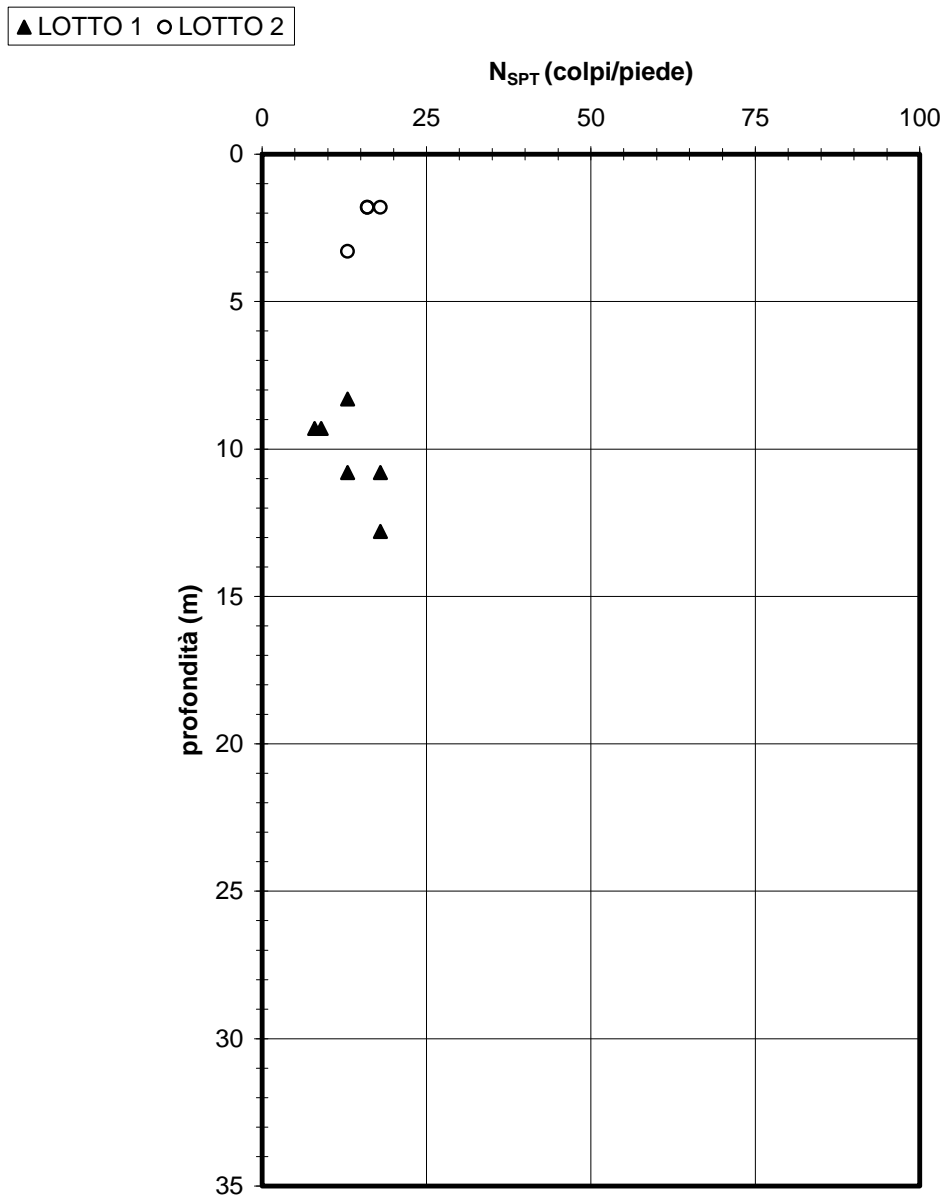


Figura 17: Prove SPT – depositi A1

**DISTRIBUZIONE DELLE CLASSI
GRANULOMETRICHE CON LA PROFONDITA'**
Depositi coesivi
LOTTO 1

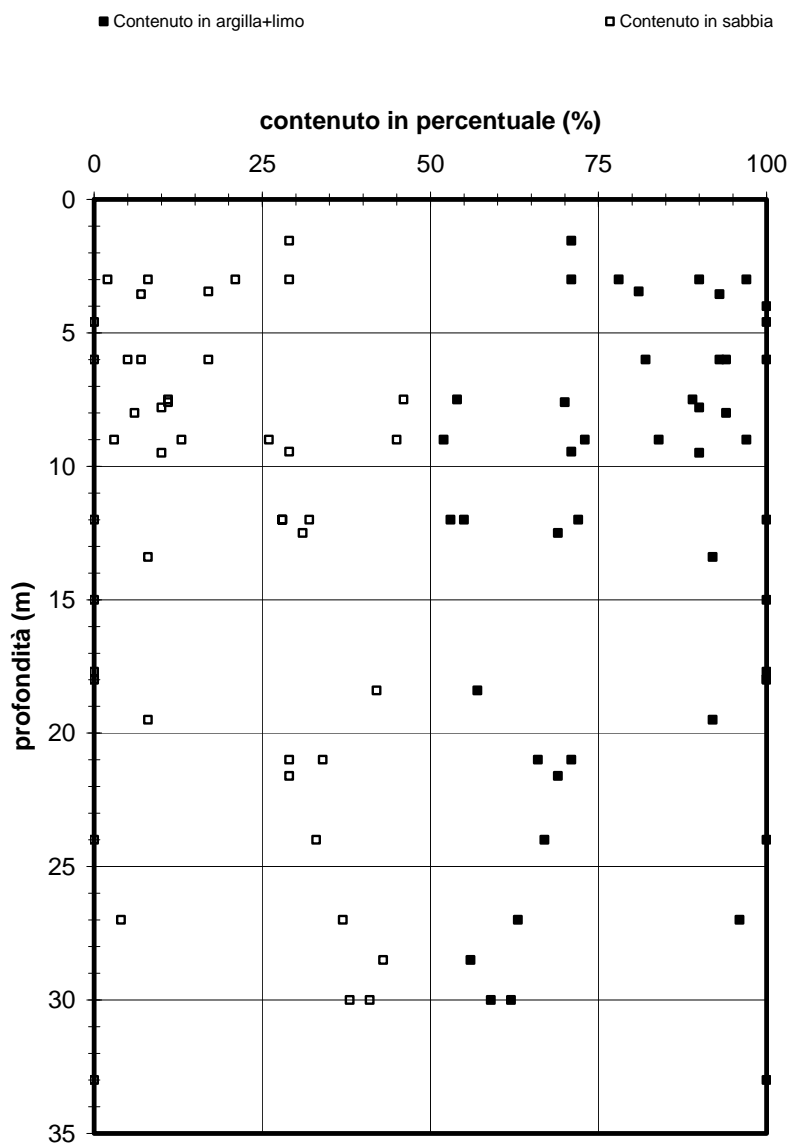


Figura 18: Classi Granulometriche – Lotto1

**DISTRIBUZIONE DELLE CLASSI
GRANULOMETRICHE CON LA PROFONDITA'**
Depositi coesivi
LOTTO 2

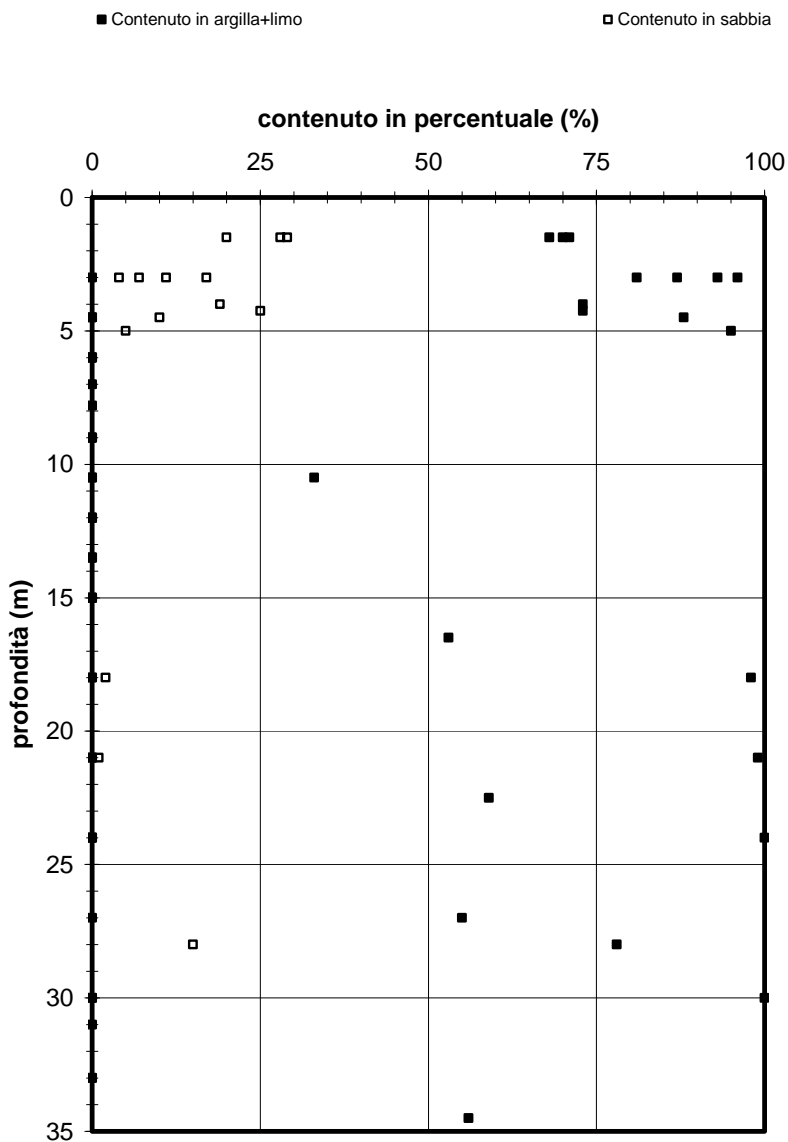


Figura 19: Classi Granulometriche – Lotto2

**DISTRIBUZIONE DEI LIMITI E DEL CONTENUTO
D'ACQUA CON LA PROFONDITA'**
LOTTO 1

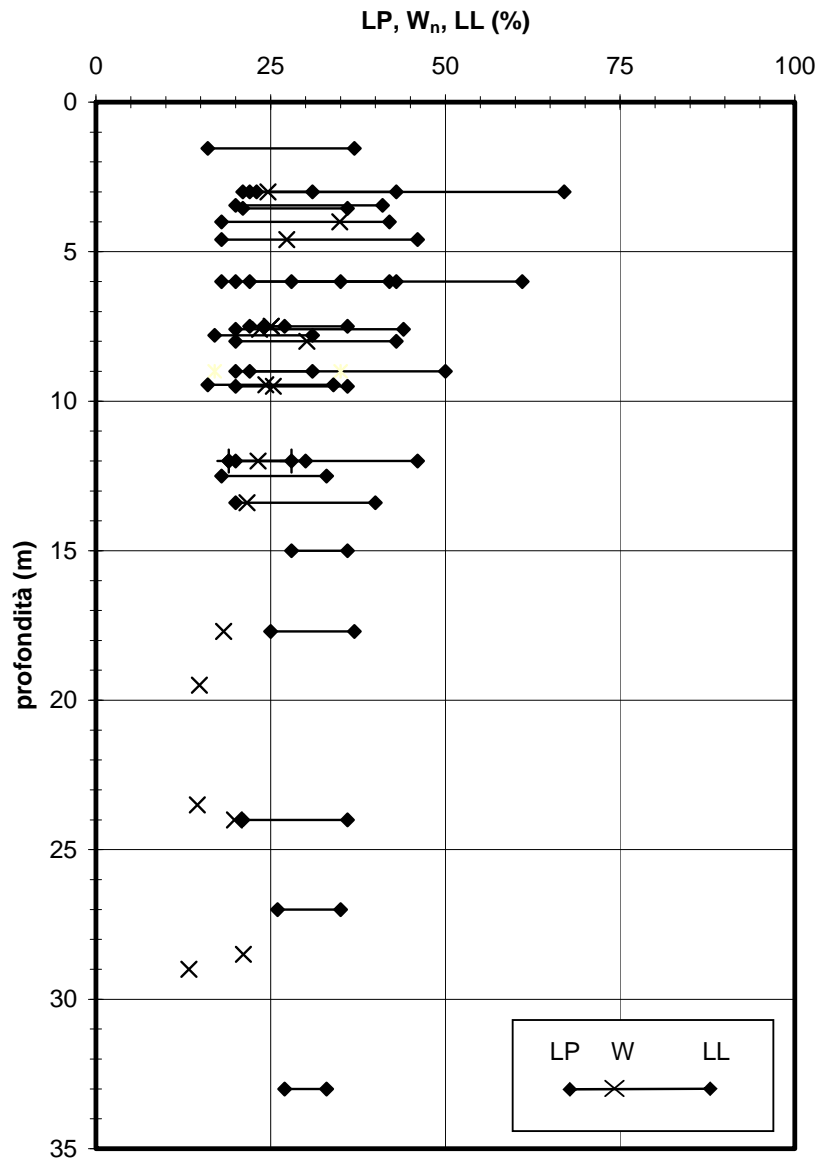


Figura 20: Limiti - Lotto 1

**DISTRIBUZIONE DEI LIMITI E DEL CONTENUTO
D'ACQUA CON LA PROFONDITA'**
LOTTO 2

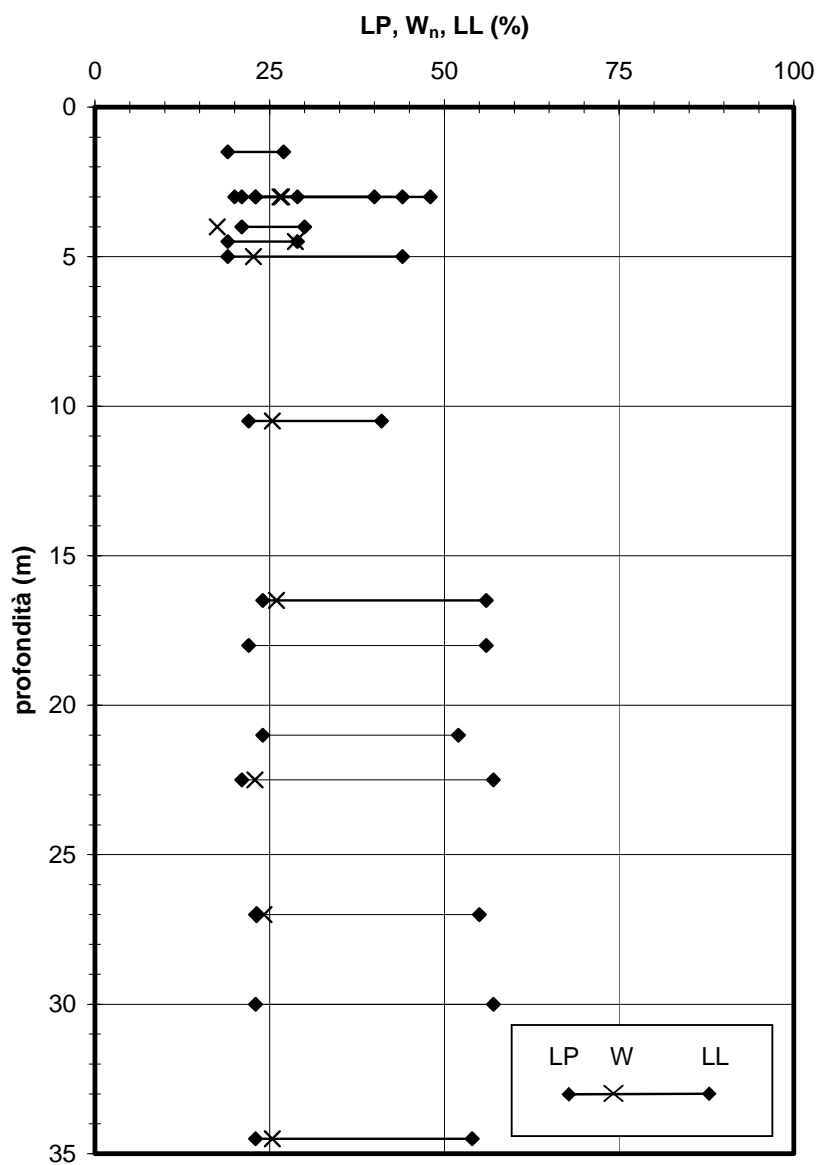
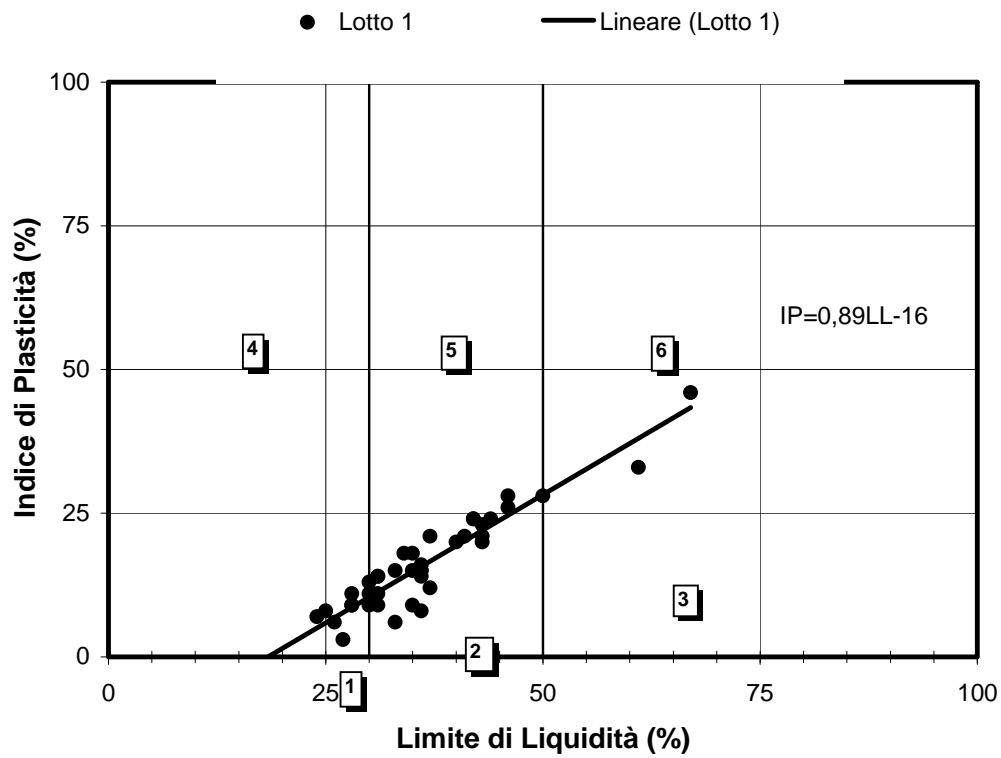


Figura 21: Limiti - Lotto 2

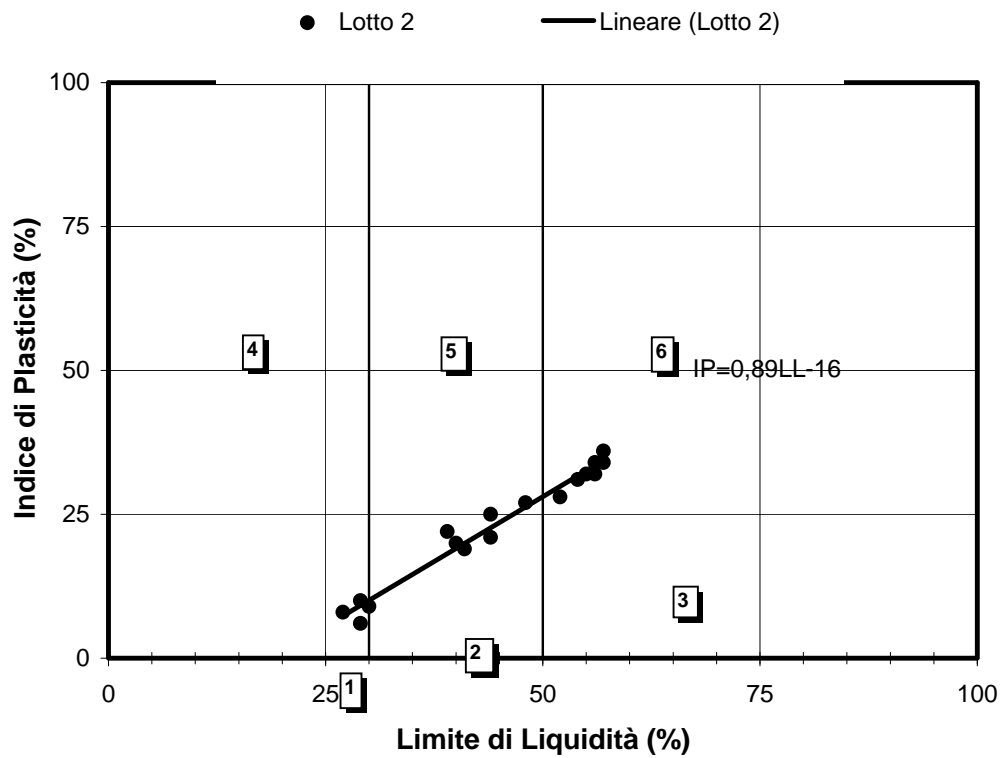
CARTA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE



CARTA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE
Legenda:
 1 - Limi inorganici di bassa compressibilità
 2 - Limi inorganici di media compressibilità e limi organici
 3 - Limi inorganici di alta compressibilità ed argille organiche
 4 - Argille inorganiche di bassa plasticità
 5 - Argille inorganiche di media plasticità
 6 - Argille inorganiche di alta plasticità

Figura 22: Carta di plasticità di Casagrande - Lotto 1

CARTA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE



CARTA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE
Legenda:
 1 - Limi inorganici di bassa compressibilità
 2 - Limi inorganici di media compressibilità e limi organici
 3 - Limi inorganici di alta compressibilità ed argille organiche
 4 - Argille inorganiche di bassa plasticità
 5 - Argille inorganiche di media plasticità
 6 - Argille inorganiche di alta plasticità

Figura 23: Carta di plasticità di Casagrande – Lotto 2

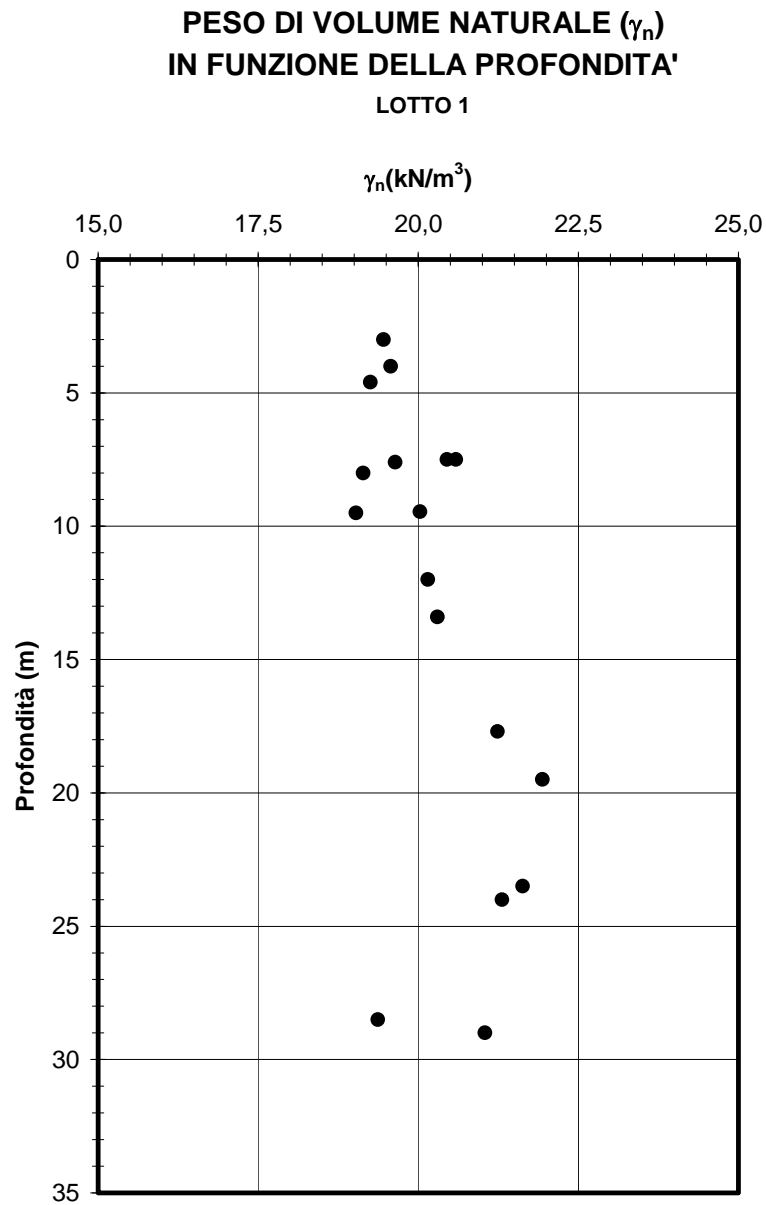


Figura 24: Peso di volume naturale – Lotto 1

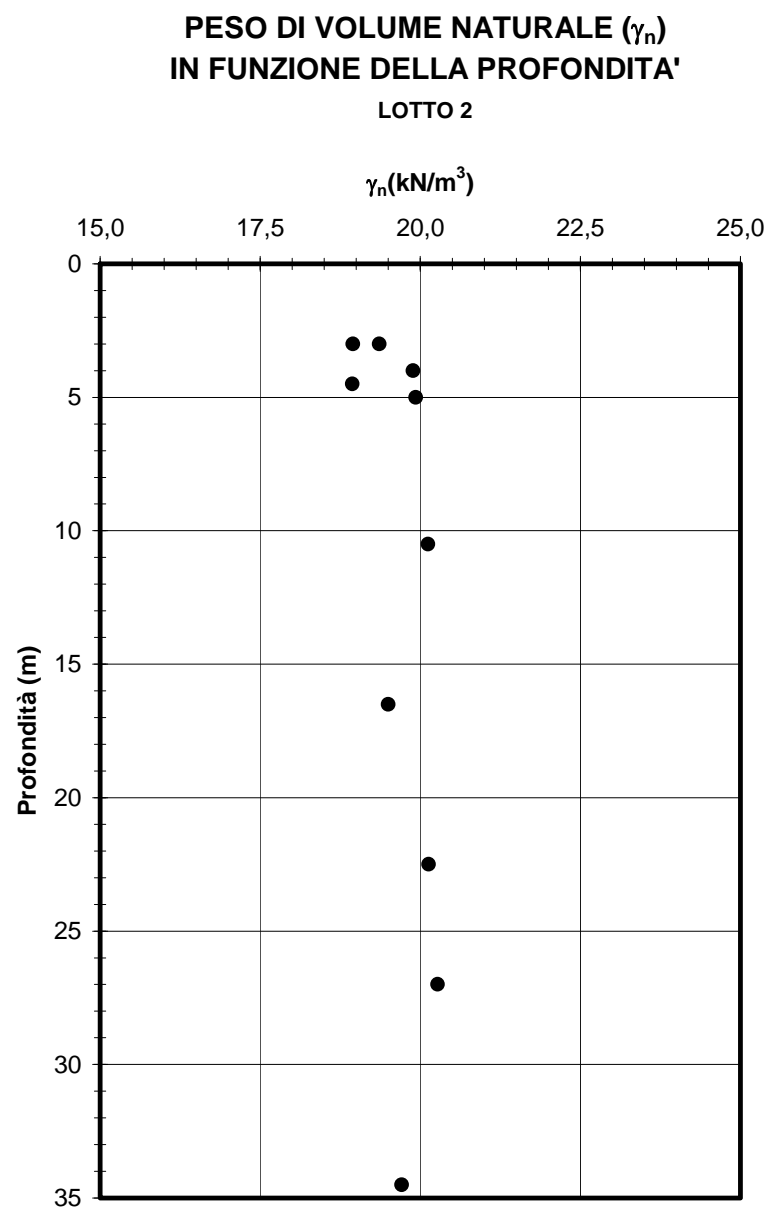


Figura 25: Peso di volume naturale – Lotto 2

CONTENUTO D'ACQUA NATURALE W_n (%)
IN FUNZIONE DELLA PROFONDITA'
 LOTTO 1

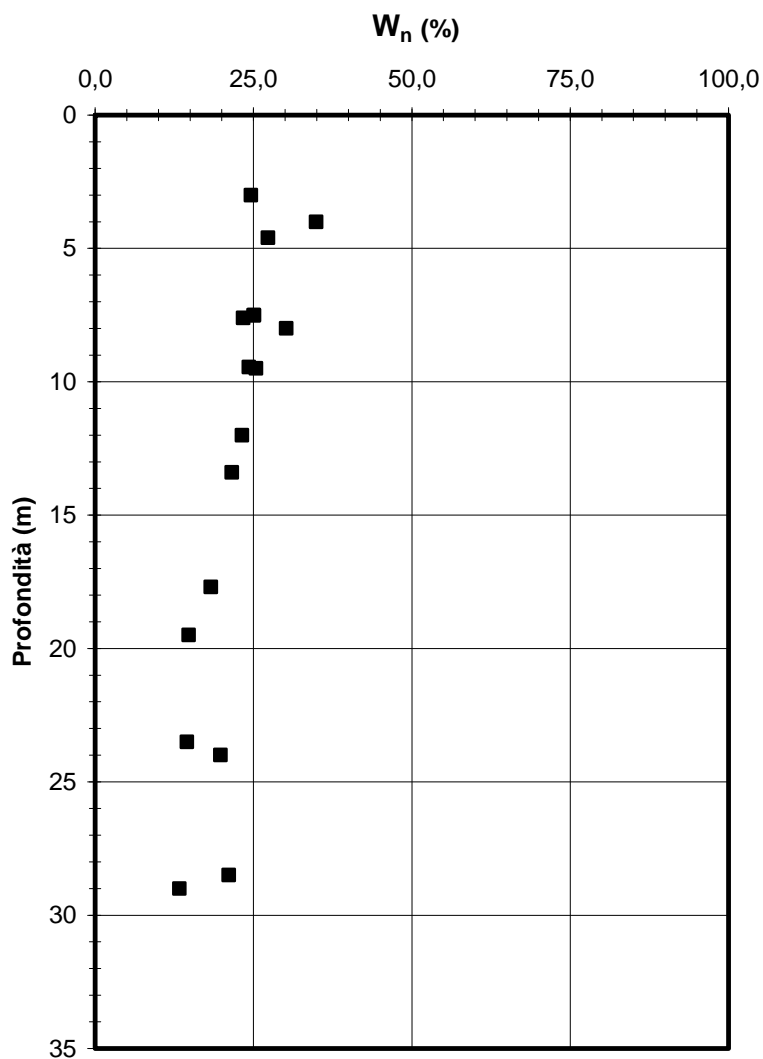


Figura 26: Contenuto d'acqua naturale – Lotto 1

CONTENUTO D'ACQUA NATURALE W_n (%)
IN FUNZIONE DELLA PROFONDITA'
LOTTO 2

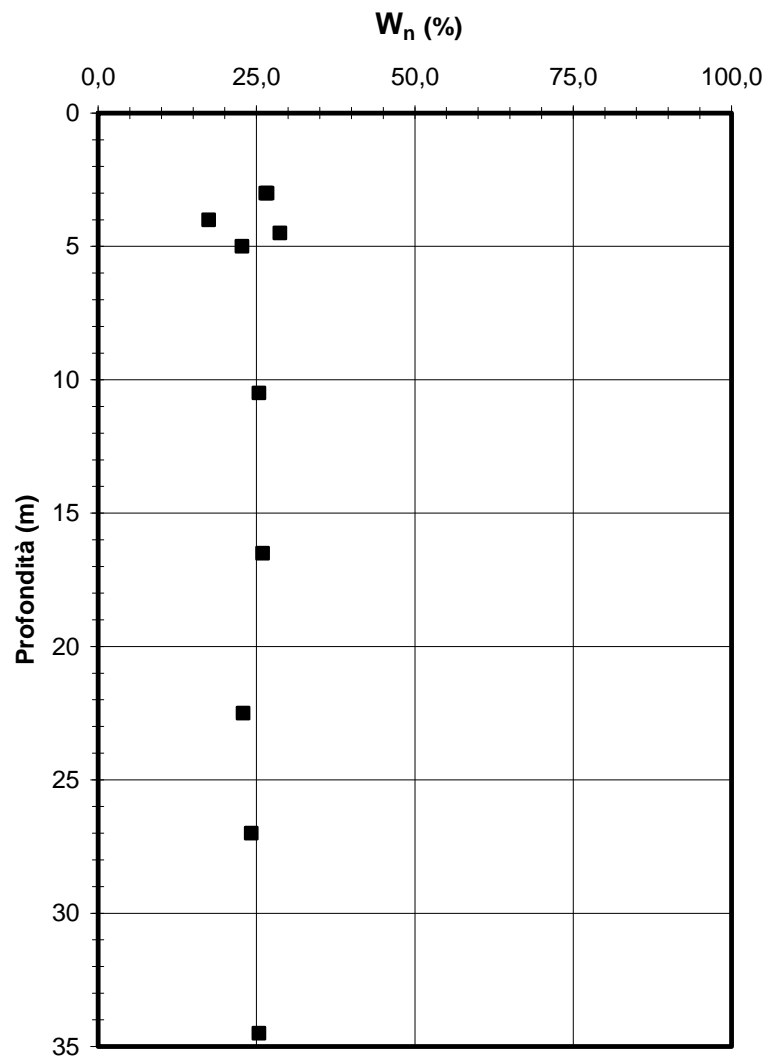


Figura 27: Contenuto d'acqua naturale – Lotto 2

RISULTATI PROVE DI CARICO SU PIASTRA POZZETTI LOTTO 1

POZZETTO	PROF. (m)	CICLO	Md (MPa)
L1-PZOC1	0.50	1°	12.8
		2°	33.7
L1-PZOC1	1.00	1°	23.1
		2°	73.2
L1-PZOC2	0.50	1°	14.2
		2°	42.9
L1-PZOC2	1.00	1°	21.4
		2°	81.1
L1-PZOC3	0.50	1°	9.9
		2°	36.6
L1-PZOC3	1.00	1°	53.6
		2°	157.9
L1-PZOC4	0.50	1°	9.6
		2°	19.4
L1-PZOC4	1.00	1°	10.8
		2°	27
L1-PZOC5	0.50	1°	18.4
		2°	66.7
L1-PZOC5	1.00	1°	18.1
		2°	68.2
L1-PZOC6	0.50	1°	13.5
		2°	42.2
L1-PZOC6	1.00	1°	15.7
		2°	42.2
L1-PZOC7	0.50	1°	8.5
		2°	27.3
L1-PZOC7	1.00	1°	25
		2°	66.7
L1-PZOC8	0.50	1°	12.7
		2°	57.7
L1-PZOC8	1.00	1°	32.3
		2°	93.8
L1-PZOC9	0.50	1°	3.5
		2°	18.4
L1-PZOC9	1.00	1°	18.6
		2°	85.7
L1-PZOC10	0.50	1°	15.1
		2°	47.6
L1-PZOC10	1.00	1°	37
		2°	230.8
L1-PZOC11	0.50	1°	3
		2°	31.3
L1-PZOC11	1.00	1°	5.9
		2°	69.8
L1-PZOC12	0.50	1°	9
		2°	16.9
L1-PZOC12	1.00	1°	30.3
		2°	157.9

RISULTATI PROVE DI CARICO SU PIASTRA POZZETTI LOTTO 2

POZZETTO	PROF. (m)	CICLO	Md (MPa)
L2-PZOC1	0.50	1°	12.2
		2°	50.8
L2-PZOC1	1.00	1°	0
		2°	0
L2-PZOC2	0.50	1°	12
		2°	35.7
L2-PZOC2	1.00	1°	57.7
		2°	272.7
L2-PZOC3	0.50	1°	11.7
		2°	27.5
L2-PZOC3	1.00	1°	25.4
		2°	40
L2-PZOC4	0.50	1°	16.8
		2°	49.2
L2-PZOC4	1.00	1°	62.5
		2°	115.4
L2-PZOC5	0.50	1°	40.5
		2°	100
L2-PZOC5	1.00	1°	40.5
		2°	176.5
L2-PZOC6	0.50	1°	12.3
		2°	47.6
L2-PZOC6	1.00	1°	0
		2°	0
L2-PZOC7	0.50	1°	26.1
		2°	51.7
L2-PZOC7	1.00	1°	48.4
		2°	107.1

Figura 28: RISULTATI PROVE DI CARICO SU PIASTRA SUI POZZETTI