

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIREZIONE TECNICA**  
**U.O. PRODUZIONE SUD E ISOLE**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA PESCARA - BARI**  
**RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA**  
*(Infrastrutture strategiche legge n. 443/2001)*

**Lotto 1: Ripalta- Lesina**

**GEOTECNICA**  
**RELAZIONE GEOTECNICA**

SCALA:

---
-----

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

**L I 0 0    0 1    D    7 8    R H    G E 0 0 0 5    0 0 1    A**

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data
A	EMISSIONE	L. Infante	07/2016	D.Caputo	07/2016	F.Gernone	07/2016
						<i>Felice Ferraro</i>	

## SOMMARIO

1	PREMESSA .....	5
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	6
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	6
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO.....	9
3.1	LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA .....	9
3.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	10
3.2.1	<i>Assetto litostratigrafico</i> .....	10
3.2.2	<i>Assetto strutturale</i> .....	16
3.3	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....	16
3.4	ASSETTO IDROGEOLOGICO.....	20
3.5	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....	20
4	INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE .....	23
4.1	CAMPAGNA GEOGNOSTICA DEL 2009.....	23
4.1.1	<i>Misure piezometriche</i> .....	26
4.1.2	<i>Indagini sismiche</i> .....	27
4.1.3	<i>Prove di permeabilità</i> .....	29
4.1.4	<i>Prove di laboratorio</i> .....	30
4.2	CAMPAGNA GEOGNOSTICA PER IL PP E PD DI UN INTERVENTO DI ADEGUAMENTO IDRAULICO DEL TOMBINO AL KM 464+616 (FOSSO OLIVELLA 2 – LOC. TORRE MOZZA).....	34
4.2.1	<i>Misure piezometriche</i> .....	35
4.2.2	<i>Prove di permeabilità</i> .....	35
4.3	CAMPAGNA GEOGNOSTICA DEL 2016.....	36
4.3.1	<i>Misure piezometriche</i> .....	38

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	3 di 227

4.3.2	Indagini sismiche.....	39
4.3.3	Prove di permeabilità.....	44
4.3.4	Prove di laboratorio.....	45
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	47
5.1	DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE INTERCETTATE.....	47
5.2	CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI GEOTECNICHE.....	48
5.2.1	Depositi incoerenti.....	49
5.2.2	Depositi coesivi.....	55
5.3	DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI – UNITÀ 5AL (ARGILLE LIMOSE E LIMI ARGILLOSI).....	59
5.4	DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI – UNITÀ 5S E UNITÀ 5GS.....	61
5.5	DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI – UNITÀ 6AL (ARGILLE LIMOSE E LIMI ARGILLOSI).....	63
5.6	CONGLOMERATI DI CAMPOMARINO – UNITÀ 7AL (ARGILLE LIMOSE E LIMI ARGILLOSI).....	64
5.7	CONGLOMERATI DI CAMPOMARINO – UNITÀ 7S (SABBIA, SABBIA LIMOSA).....	66
5.8	CONGLOMERATI DI CAMPOMARINO – UNITÀ 7GS (GHIAIA SABBIOSA).....	67
5.9	SABBIE DI SERRACAPRIOLA – UNITÀ 8.....	68
5.10	ARGILLE SUBAPPENNINICHE – UNITÀ 9AL.....	69
5.11	SINTESI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO.....	72
5.12	FALDA.....	146
6	CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	148
6.1.1	Categoria di sottosuolo.....	149
6.1.2	Azioni sismiche di progetto.....	153
6.1.3	Magnitudo.....	157
7	OPERE D'ARTE MAGGIORI.....	158
7.1	VIADOTTO RIPALTA.....	158
7.1.1	Tratto da inizio VI a km 2+600.....	158



LINEA PESCARA - BARI  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
 LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	4 di 227

7.1.2	Tratto da km 2+600 a km 2+730 .....	165
7.1.3	Tratto da km 2+730 a km 2+830 .....	169
7.1.4	Tratto da km 2+830 a km 2+930 .....	175
7.1.5	Tratto da km 2+930 a km 3+050 .....	178
7.1.6	Tratto da km 3+050 a km 3+125 .....	181
7.1.7	Tratto da km 3+125 a km 3+375 .....	185
7.1.8	Tratto da km 3+375 a fine viadotto km 3+740 .....	191
8	METODOLOGIE DI CALCOLO CAPACITÀ PORTANTE PALI .....	201
9	ANALISI PALIFICATE IN PRESENZA DI TERRENI POTENZIALMENTE LIQUEFACIBILI .....	214
9.1.1	Determinazione delle curve carico-cedimento .....	215
10	PIANO DI POSA.....	220
11	RIUTILIZZO DEI TERRENI DA SCAVO.....	222
12	TRATTAMENTO A CALCE .....	222
12.1	PROVE DI IDENTIFICAZIONE DELLA TERRA DA TRATTARE.....	223
12.2	STUDIO IN LABORATORIO DELLA MISCELA TERRENO-ACQUA-CALCE.....	224
12.3	REALIZZAZIONE DEL CAMPO PROVA.....	225
12.4	PARAMETRI DI RESISTENZA DEI TERRENI TRATTATI A CALCE .....	226



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	5 di 227

## 1 PREMESSA

Nel presente documento si riporta la caratterizzazione geotecnica relativa al Progetto Definitivo del raddoppio della tratta ferroviaria Termoli-Lesina lotto 1: Ripalta - Lesina (la tratta parte dal km 24+200 – fine lotto 3 che corrisponde al km 464.267,8 della linea storica).

In particolare nella presente relazione sono affrontati i seguenti aspetti:

- breve inquadramento geologico, morfologico e idrogeologico;
- 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 intercettate lungo la viabilità;
- classificazione sismica del sito;
- caratterizzazione geotecnica in corrispondenza delle opere d'arte principali: stratigrafia, definizione dei parametri geotecnici di progetto, individuazione livello di falda, categoria di sottosuolo;
- metodologie di calcolo generali per la valutazione della capacità portante dei pali;
- metodologie di calcolo per la verifica dei pali alle azioni orizzontali;
- criteri di dimensionamento/verifica dei pali in presenza di terreno liquefacibile;
- piani di posa rilevati, trincee, viabilità;
- trattamento a calce.

Per quanto riguarda l'analisi dei cedimenti dei rilevati ferroviari e loro decorso nel tempo e la verifica di stabilità delle scarpate (rilevati e trincee ferroviari), si rimanda agli appositi documenti.

Per le viabilità si tratta di strade praticamente a raso e quindi si omettono verifiche di stabilità e cedimenti, mentre si riportano indicazioni sui piani di posa.



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	6 di 227

## 2 NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Normativa di riferimento

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

- [N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-08 (NTC-2008);
- [N.2]. Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;
- [N.3]. Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione Europea.
- [N.4]. Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010.
- [N.5]. RFI DTC SICS MA IFS 001 A del 29-12-15 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili.
- [N.6]. RFI DTC SICS SP IFS 001 B del 24-12-15 – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili.
- [N.7]. Specifica RFI DTC INC SP IFS 008A Trattamento delle terre con calce.

### 2.2 Documenti di riferimento

La presente relazione è stata redatta con riferimento ai seguenti documenti.

- D.1. LI00 00 1 69 RG GE0001 001 A – Linea Pescara – Bari. Raddoppio della tratta ferroviaria Termoli – Lesina. Lotto 1: Ripalta-Lesina. Progetto Definitivo. Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e geologico-tecnica.
- D.2. IAZ2 00 D 69 RG GE0001 001 A – Linea ferroviaria adriatica – Tratta Chieuti – Lesina. Interventi di messa in sicurezza della linea in corrispondenza della piana del fiume Fortore. Variante in viadotto in corrispondenza della ex stazione di Ripalta. Progetto Definitivo. Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica.
- D.3. IAZ2 00 D 69 SG GE0001 001 A – Linea ferroviaria adriatica – Tratta Chieuti – Lesina. Interventi di messa in sicurezza della linea in corrispondenza della piana del fiume Fortore. Variante in viadotto tra le progressive chilometriche FS dal km 466 al km 470 circa. Progetto Definitivo. Indagini geognostiche. Stratigrafie sondaggi e prove penetrometriche.



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	7 di 227

- D.4. IAZ2 00 D 69 IG GE0001 002 A – Linea ferroviaria adriatica – Tratta Chieuti – Lesina. Interventi di messa in sicurezza della linea in corrispondenza della piana del fiume Fortore. Variante in viadotto tra le progressive chilometriche FS dal km 466 al km 470 circa. Progetto Definitivo. Prospezioni geofisiche in foro di sondaggio.
- D.5. IAZ2 00 D 69 IG GE0001 001 A – Linea ferroviaria adriatica – Tratta Chieuti – Lesina. Interventi di messa in sicurezza della linea in corrispondenza della piana del fiume Fortore. Variante in viadotto tra le progressive chilometriche FS dal km 466 al km 470 circa. Progetto Definitivo. Prospezioni geofisiche. Indagine elettrica.
- D.6. IAZ2 00 D 69 PR GE0001 001 A – Linea ferroviaria adriatica – Tratta Chieuti – Lesina. Interventi di messa in sicurezza della linea in corrispondenza della piana del fiume Fortore. Variante in viadotto tra le progressive chilometriche FS dal km 466 al km 470 circa. Progetto Definitivo. Certificati delle prove geotecniche di laboratorio.
- D.7. IAW1 30 R 69 RG GE0000 001 A – Linea Pescara – Bari – Tratta Chieuti – Lesina. Intervento di adeguamento idraulico del tombino al km 464+616 (fosso Olivella2 – loc. Torre Mozza). Progetto Preliminare. Relazione geologica e idrogeologica.
- D.8. IAW2 30 D 69 SG GE0001 001 A - Linea Pescara – Bari – Tratta Chieuti – Lesina. Intervento di adeguamento idraulico del tombino al km 464+616 (fosso Olivella2 – loc. Torre Mozza). Progetto definitivo. Indagini geognostiche.
- D.9. LI00 01 D 69 SG GE0001 002 A – Linea Pescara – Bari. Raddoppio della tratta ferroviaria Termoli – Lesina. Lotto 1: Ripalta – Lesina. Progetto Definitivo. Indagini geognostiche e prove in situ. Sondaggi.
- D.10. LI00 01 D 69 SG GE0001 002 A – Linea Pescara – Bari. Raddoppio della tratta ferroviaria Termoli – Lesina. Lotto 1: Ripalta – Lesina. Indagini geognostiche e prove in situ. Progetto Definitivo. Documentazione fotografica.
- D.11. L032 01 R 78 P5 IF0001 001 B – Linea Pescara – Bari. Raddoppio della tratta ferroviaria Termoli – Lesina. Lotto 1: Ripalta – Lesina. IF – Infrastruttura ferroviaria. Progetto Preliminare. Planimetria di progetto su cartografia – Tav 1/2.
- D.12. LI00 01 D69 SG GE0001 001 A - Linea Pescara-Bari – Raddoppio della tratta ferroviaria Termoli-Lesina: lotto 1: Ripalta-Lesina. Progetto Definitivo. Indagini geotecniche e prove in situ.
- D.13. LI00 01 D69 SG GE0001 002 A - Linea Pescara-Bari – Raddoppio della tratta ferroviaria Termoli-Lesina: lotto 1: Ripalta-Lesina. Progetto Definitivo. Indagini geognostiche e prove in situ. Sondaggi.



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	8 di 227

- D.14. LI00 01 D69 SG GE0001 003 A - Linea Pescara-Bari – Raddoppio della tratta ferroviaria Termoli-Lesina: lotto 1: Ripalta-Lesina. Progetto Definitivo. Indagini geognostiche e prove in situ. Pozzetti geognostici e prove CPT.
- D.15. LI00 01 D69 SG GE0001 004 A - Linea Pescara-Bari – Raddoppio della tratta ferroviaria Termoli-Lesina: lotto 1: Ripalta-Lesina. Progetto Definitivo. Indagini geognostiche e prove in situ. Documentazione fotografica.
- D.16. LI00 01 D69 IG GE0005 001 A - Linea Pescara-Bari – Raddoppio della tratta ferroviaria Termoli-Lesina: lotto 1: Ripalta-Lesina. Progetto Definitivo. Prospezioni geofisiche. Rapporto tecnico.
- D.17. LI00 01 D69 IG GE0005 002 A - Linea Pescara-Bari – Raddoppio della tratta ferroviaria Termoli-Lesina: lotto 1: Ripalta-Lesina. Progetto Definitivo. Prospezioni geofisiche. Elaborati grafici.
- D.18. LI00 01 D78 F6 GE0005 001 A ÷ LI00 01 D78 F6 GE0005 004 A - Linea Pescara-Bari – Raddoppio della tratta ferroviaria Termoli-Lesina: lotto 1: Ripalta-Lesina. Progetto Definitivo. Profilo longitudinale. (4 tavole formato A0).
- D.19. LI00 01 D78 CL GE0005 001 A - Linea Pescara-Bari – Raddoppio della tratta ferroviaria Termoli-Lesina: lotto 1: Ripalta-Lesina. Progetto Definitivo. Rilevati ferroviari. Relazione di stabilità e calcolo cedimenti.
- D.20. LI00 01 D78 CL GE0005 002 A - Linea Pescara-Bari – Raddoppio della tratta ferroviaria Termoli-Lesina: lotto 1: Ripalta-Lesina. Progetto Definitivo. Trincee ferroviarie. Relazione di stabilità.
- D.21. LI00 01 D78 CL GE0005 003 A - Linea Pescara-Bari – Raddoppio della tratta ferroviaria Termoli-Lesina: lotto 1: Ripalta-Lesina. Progetto Definitivo. Interventi di mitigazione alla liquefazione.
- D.22. LI00 01 D78 WZ GE0005 001 A - Linea Pescara-Bari – Raddoppio della tratta ferroviaria Termoli-Lesina: lotto 1: Ripalta-Lesina. Progetto Definitivo. Rilevati. Interventi di mitigazione alla liquefazione.
- D.23. LI00 01 D78 RH GE0005 002 A - Linea Pescara-Bari – Raddoppio della tratta ferroviaria Termoli-Lesina: lotto 1: Ripalta-Lesina. Progetto Definitivo. Relazione geotecnica di calcolo delle fondazioni del viadotto.
- D.24. LI0002D11BZID0002004A - Progetto Definitivo. Raddoppio della Linea ferroviaria Termoli-Lesina Lotto 1: Ripalta - Lesina. Tipologico opere di presidio idraulico – fondazioni in alveo e protezioni.
- D.25. “I rilevati ferroviari della Bologna-Verona”. Quarry & Construction, ottobre 2008. Dott. Geol. S. Ciufegni, dott. Geol. R. Briganti, ing. S. Sdogo, dott.geol. F. Ori.



### 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

#### 3.1 Localizzazione geografica

Il lotto 1 (Ripalta – Lesina) della tratta ferroviaria Termoli-Lesina si estende per circa 6840 m ed ha inizio al km 24+200 (fine lotto 3). L’area interessata dallo studio è situata a ridosso della costa adriatica tra i comuni di Serracapriola e Lesina in provincia di Foggia.

Dal punto di vista orografico il tracciato impegna settori di territorio di pianura posti a quote comprese tra il livello del mare e circa 25 m s.l.m. Morfologicamente, l'area si caratterizza per la presenza di ampi settori pianeggianti o sub-pianeggianti riconducibili alla fascia costiera adriatica ed alla piana alluvionale del F. Fortore, che rappresenta il principale corso d'acqua intercettato lungo il tracciato in progetto. Localmente il tracciato insiste su settori rilevati rispetto al livello del mare rappresentati da terrazzi marini o blandi rilievi collinari.

In figura seguente si riporta un’immagine da satellite con l’indicazione, in rosso, del tracciato in progetto.



Figura 1 – Ubicazione della tratta Ripalta - Lesina

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA <b>LI00</b>	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

## 3.2 Inquadramento geologico

### 3.2.1 Assetto litostratigrafico

Nei settori di studio sono state individuate le seguenti unità geologiche, descritte dal basso verso l'alto stratigrafico.

#### Argille Subappenniniche (9)

Questa successione non affiora direttamente nei settori di stretto interesse progettuale, si rinviene estesamente al di sotto delle più recenti unità marine del substrato, rappresentate dalle Sabbie di Serracapriola (8) e dei Conglomerati di Campomarino (7). È costituita da argille limose e limi argillosi di colore grigio e grigio-azzurro, in strati da sottili a molto spessi, generalmente bioturbati e talora a laminazione pianoparallela, con frequenti intercalazioni di argille marnose, limi sabbiosi e sabbie fini di colore grigio e giallastro. I livelli psammitici diventano progressivamente più frequenti verso l'alto stratigrafico, dove si assiste al graduale passaggio alle soprastanti Sabbie di Serracapriola (8).

L'unità in questione, rappresentata da depositi in facies di scarpata e piana sottomarina, presenta uno spessore massimo di circa 1000 m ed è ascrivibile al periodo Pliocene medio – Pleistocene inferiore.

#### Sabbie di Serracapriola (8)

Tale unità si rinviene in affioramento nei settori nord-occidentali dell'area di intervento, in corrispondenza delle porzioni medio-basse dei rilievi collinari su cui sorgono i centri abitati di Termoli e Campomarino.

È formata da sabbie medio-fini di colore giallastro e rossastro, prevalentemente quarzose e a grado di cementazione variabile, in strati da medi a molto spessi, generalmente bioturbati e a laminazione pianoparallela o incrociata a basso angolo. Localmente si rinvengono intercalazioni lentiformi di conglomerati grossolani ad elementi prevalentemente arenacei e calcareo-marnosi, da poco a discretamente cementati. Talora sono presenti sottili livelli di arenarie medio-fini di colore grigio e giallastro, da mediamente a ben cementate, e passaggi di argille e argille limose di colore grigio, biancastro e verde chiaro, più frequenti verso il basso della successione. Il limite inferiore con le sottostanti Argille Subappenniniche (9) è generalmente eteropico e viene posto, convenzionalmente, dove iniziano i banconi sabbiosi più spessi.



**Figura 2 - Affioramento delle Sabbie di Serracapriola a SE del centro abitato di Termoli, in corrispondenza della falesia che borda verso l'interno la spiaggia di Rio Vivo.**

Questa unità, costituita da depositi marini in facies di spiaggia e piattaforma superiore, è caratterizzata da uno spessore massimo di circa 30 m ed è riferibile al Pleistocene inferiore.

#### Conglomerati di Campomarino (7)

La presente unità si rinviene, in tutta l'area di studio, in corrispondenza dei rilievi collinari più estesi, anche se spesso risulta parzialmente ricoperta da terreni quaternari di genesi alluvionale, marina ed eluvio-colluviale. Si tratta di conglomerati poligenici ed eterometrici, ad elementi prevalentemente arenacei e calcareo-marnosi da sub-angolosi ad arrotondati, con matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante. Localmente si rinvengono sottili livelli di argille limose di colore verdastro e intercalazioni medio-fini di sabbie grossolane di colore grigio e giallastro, spesso a stratificazione incrociata. Questi terreni poggiano in discordanza sui depositi plio-pleistocenici più antichi, mediante una base erosiva costituita da canali generalmente ampi e poco profondi





**Figura 3 - Affioramento dei Conglomerati di Campomarino nei settori nord-occidentali dell'area di intervento, in corrispondenza della falesia che borda verso Ovest la piana di Località Pantano. Nella foto è chiaramente visibile la base erosiva a canali che mette in contatto l'unità conglomeratica con le sottostanti Sabbie di Serracapriola.**

Tale successione, composta da depositi di ambiente fluvio-deltizio e di spiaggia, presenta uno spessore massimo di circa 40 m ed è ascrivibile al periodo Pleistocene inferiore – Pleistocene medio.

#### Depositi alluvionali terrazzati (6)

Questi terreni si rinvencono, localmente, in corrispondenza di ampie superfici terrazzate elevate di diversi metri rispetto ai fondovalle attuali, come in corrispondenza della zona industriale di Termoli, a SE del centro abitato di Campomarino e lungo il fianco orientale del fondovalle del F. Fortore. Tale unità, riferibile al Pleistocene superiore, è costituita da due distinte facies litologiche. La prima, riferibile a depositi di canale fluviale, argine e conoide alluvionale, è formata da ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-arrotondate ad arrotondate, con abbondante matrice sabbiosa e sabbioso-limosa, oppure da sabbie e sabbie limose, a stratificazione indistinta o incrociata, con locali ghiaie eterometriche, da sub-arrotondate ad arrotondate. Talora in corrispondenza dei terrazzi morfologici più elevati, è inoltre presente una estesa copertura di “terre nere”.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO				
	Relazione geotecnica	COMMESSA <b>LI00</b>	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 001



**Figura 4 - Vista panoramica del terrazzo alluvionale presente a SE del centro abitato di Termoli, in Località Punta di Pizzo.**

La seconda facies litologica invece, riferibile a depositi di piana inondabile, lago di meandro e canale in fase di abbandono, è costituita da argille limose e limi argillosi, a struttura indistinta o laminata, con locali intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie limose.

#### Depositi alluvionali recenti (5)

I presenti terreni si rinvengono diffusamente in corrispondenza delle piane alluvionali dei principali corsi d'acqua dell'area, come il F. Biferno, il T. Saccione ed il F. Fortore, e secondariamente, in lembi di limitata estensione, lungo i fondovalle dei corsi d'acqua secondari. Questa unità è riferibile all'intervallo Pleistocene superiore – Olocene e, come la precedente, risulta suddivisibile in due distinte facies litologiche. La prima, ascrivibile a depositi di canale fluviale, argine e conoide alluvionale, è costituita da ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-arrotondate ad arrotondate, con matrice sabbiosa e sabbioso-limosa da scarsa ad abbondante, oppure da sabbie e sabbie limose, a stratificazione indistinta o incrociata, con locali ghiaie eterometriche, da sub-arrotondate ad arrotondate.



**Figura 5 - Vista panoramica dei depositi alluvionali recenti presenti nei settori sud-orientali dell'area di studio, in corrispondenza del fondovalle del F. Fortore.**

La seconda facies litologica al contrario, riferibile a depositi di piana inondabile, lago di meandro e canale in fase di abbandono, è formata da argille limose e limi argillosi, a struttura indistinta o laminata, con locali intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie limose. Localmente si rinvencono livelli poco potenti di torbe e terreni organici, spesso associati a sedimenti limoso-sabbiosi e limoso-argillosi.

#### Depositi costieri recenti (4)

Fatta eccezione per il tratto più orientale, tali depositi si rinvencono in corrispondenza dell'estesa piana costiera compresa tra i primi rilievi collinari e la spiaggia attuale.

Tale unità, riferibile al periodo Pleistocene superiore – Olocene, è ancora una volta costituita da due differenti facies litologiche. La prima delle due, rappresentata da depositi di spiaggia, cordone litoraneo e duna, è formata da ghiaie poligeniche ed eterometriche, da arrotondate a molto arrotondate, con matrice sabbiosa e sabbioso-limosa da scarsa ad abbondante, oppure da sabbie e sabbie limose, a stratificazione prevalentemente incrociata, con abbondanti resti di lamellibranchi e locali ghiaie eterometriche, da arrotondate a molto arrotondate.



	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA <b>LI00</b>	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A



**Figura 6 - Vista panoramica dei depositi costieri recenti presenti nei settori sud-orientali dell'area di studio, in Località Civita Mare.**

La seconda *facies*, invece, è riferibile a depositi di palude salmastra e retrobarra e risulta costituita da argille, argille limose e argille sabbiose, spesso ricche di sostanza organica, con locali intercalazioni di limi, limi argillosi e limi sabbiosi.

#### Depositi alluvionali attuali (3)

I suddetti sedimenti si rinvergono, lungo i fondovalle dei principali corsi d'acqua dell'area e, in lembi di minore estensione, in corrispondenza dei corsi d'acqua secondari o dei loro affluenti più importanti.

Tale unità è riferibile all'Olocene e risulta costituita, essenzialmente, da depositi di canale fluviale e argine. Si tratta, quindi, di sabbie e sabbie limose, a stratificazione indistinta o incrociata, con locali ghiaie eterometriche, da sub-arrotondate ad arrotondate, e sporadiche intercalazioni di argille e argille limose.

#### Depositi costieri attuali (2)

Questi depositi si rinvergono in corrispondenza della spiaggia attuale di Località Rio Vivio.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA <b>LI00</b>	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

Si tratta, in particolare, di depositi in facies di spiaggia e cordone litoraneo, sempre riferibili all'ultima parte dell'Olocene. Sono costituiti da sabbie e sabbie limose, a stratificazione prevalentemente incrociata, con abbondanti resti di lamellibranchi e locali ghiaie eterometriche, da arrotondate a molto arrotondate.

### Depositi eluvio-colluviali (1)

Tali terreni affiorano in copertura di quasi tutte le unità geologiche precedentemente descritte, a meno di quelle più recenti. Gli spessori più rilevanti, comunque, si registrano in corrispondenza della parte medio-bassa dei rilievi collinari più estesi e, soprattutto, nei settori centrali e sud-orientali dell'area di studio. Le suddette coperture sono ascrivibili all'Olocene e risultano costituite da depositi di versante e di alterazione del substrato, localmente associati a sedimenti antropici o alluvionali. Si tratta di limi sabbiosi e sabbie limose, a struttura indistinta, con locali ghiaie eterometriche, da sub-angolose a sub-arrotondate; argille limose e limi argillosi, a struttura indistinta, con locali passaggi di sabbie e sabbie ghiaiose.

### **3.2.2 Assetto strutturale**

Dal punto di vista strutturale, l'area di studio è caratterizzata da un assetto piuttosto regolare ed omogeneo, dovuto essenzialmente alle ultime fasi di tettonica distensiva e trascorrente che hanno interessato i settori più esterni della Catena Appenninica. Tale tettonica si esplica fundamentalmente attraverso faglie dirette e transtensive ad alto angolo, caratterizzate da modesta estensione areale e da rigetti variabili da qualche metro a poche decine di metri. I principali elementi strutturali smembrano, localmente, i litotipi più antichi in blocchi geometrici di modeste dimensioni, che risultano variamente basculati e dislocati tra loro.

In relazione all'elevata erodibilità dei termini litologici affioranti ed alla diffusa presenza di depositi di copertura recenti, non è stato possibile rilevare sul terreno dati diretti circa gli elementi tettonici presenti nell'area, che non si presentano mai con morfologie proprie e chiaramente identificabili.

### **3.3 Inquadramento geomorfologico**

L'evoluzione morfologica del territorio ed i principali elementi geomorfologici rilevati sono connessi principalmente ai meccanismi di erosione ed accumulo operati dalle acque superficiali, continentali e marine. Ad essi si aggiungono, inoltre, locali elementi di origine strutturale e gravitativa, forme e depositi connessi con l'attività antropica ed elementi di genesi mista dovuti all'azione congiunta di più fattori morfogenetici.





LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	17 di 227

### Elementi idrografici

La struttura della rete idrografica locale è, in generale, fortemente influenzata sia dalle caratteristiche morfologiche del territorio che dalla natura litologica dei terreni affioranti. Nelle aree collinari più interne ed in corrispondenza dei principali terrazzi morfologici, il reticolo idrografico locale presenta uno sviluppo poco ramificato ed un pattern sub-dendritico che segue, almeno in parte, i principali allineamenti strutturali dell'area. Nei settori di piana alluvionale e costiera, al contrario, la rete idrografica superficiale risulta piuttosto sviluppata e articolata, anche se profondamente modificata dalle numerose opere di bonifica e regimazione idraulica realizzate nel corso degli ultimi secoli.

I principali corsi d'acqua dell'area, a carattere perenne, sono rappresentati dal F. Biferno, dal T. Saccione e dal F. Fortore, che defluiscono in direzione circa anti-appenninica dai settori di catena verso il Mare Adriatico. Ad essi si aggiungono una serie di corsi d'acqua secondari, a carattere stagionale e/o torrentizio, e diversi solchi da ruscellamento concentrato attivi solo in concomitanza con eventi meteorici particolarmente intensi e severi.

### Elementi strutturali e tettonici

Un importante ruolo nell'evoluzione morfologica del territorio è svolto, ovviamente, dall'assetto strutturale dei litotipi affioranti e dal loro differente grado di erodibilità. Quest'ultimo risulta legato, essenzialmente, alla natura litologica dei depositi ed alla loro età, nonché al relativo grado di alterazione e diagenesi degli stessi.

In generale, la morfogenesi selettiva ha portato allo sviluppo di forme morbide e poco marcate, con rilievi generalmente poco acclivi ed estesi intervallati ad ampie spianate di genesi marina ed alluvionale. La continuità del paesaggio è localmente interrotta da alte scarpate di erosione fluviale e marina, intagliate nei terreni sabbioso-conglomeratici del substrato pleistocenico, particolarmente evidenti nei settori nord-occidentali dell'area di intervento, tra Termoli e Campomarino.

Dal punto di vista giaciturale, tutte le successioni sedimentarie presenti nei settori di studio sono caratterizzate da un assetto prevalentemente tabulare o, al più, blandamente immergente verso la costa. Ciò si traduce in un assetto morfologico essenzialmente dolce e poco articolato, anche se spesso interrotto da ampie valli di erosione fluviale. Infine, gli elementi tettonici che interessano i termini litologici del substrato sono piuttosto rari e poco evidenti, in quanto obliterati dai depositi alluvionali e marini che ricoprono con continuità tutte le unità geologiche più antiche.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	18 di 227

### Forme poligeniche

L'intero settore di studio è caratterizzato dalla presenza di diversi fattori morfogenetici, che interessano i terreni affioranti con intensità e caratteristiche differenti, spesso sovrapponendosi e combinandosi in vario modo tra loro. Ad essi va aggiunto, inoltre, l'importante ruolo svolto dalle caratteristiche stratigrafiche e sedimentologiche dei litotipi affioranti, nonché dagli elementi strutturali e tettonici localmente presenti.

Da questo quadro geomorfologico derivano, quindi, una serie di forme poligeniche originate dalla complessa sovrapposizione dei differenti fattori morfogenetici agenti sul territorio. Tali elementi sono rappresentati da estese scarpate morfologiche di origine fluviale o marina, spesso con influenza strutturale e attualmente in evoluzione per fenomeni di dilavamento, alterazione ed erosione. Non di rado, inoltre, i suddetti elementi risultano ulteriormente rielaborati dall'attività antropica, che tende a riprendere e riadattare le forme geomorfologiche più importanti già presenti sul territorio.

### Forme, processi e depositi gravitativi

I fenomeni gravitativi di versante, nell'attuale contesto morfoclimatico, rappresentano un fattore morfoevolutivo di secondaria importanza, in quanto scarsamente influenti sul modellamento dei rilievi e sull'evoluzione morfologica generale dell'intero territorio in esame.

Nell'area di studio sono presenti, infatti, solo sporadici fenomeni di deformazione viscosa delle coltri (creep e/o soliflusso), localizzati essenzialmente in corrispondenza dei versanti che bordano il terrazzo morfologico su cui sorge il centro abitato di Campomarino. Si tratta, in buona sostanza, di fenomeni piuttosto superficiali e di scarsa intensità, che coinvolgono unicamente le coltri di copertura eluvio-colluviali o le porzioni più superficiali ed alterate del substrato geologico locale.

### Forme, processi e depositi dovuti alle acque correnti superficiali

Le maggiori forme di accumulo connesse al deflusso idrico superficiale derivano, essenzialmente, dai processi deposizionali dei principali sistemi fluviali presenti, che conferiscono all'area di studio una morfologia blandamente ondulata e piuttosto regolare. Tali depositi presentano al loro interno vistose variazioni granulometriche e tessiture, dovute fondamentalmente all'elevata variabilità spazio-temporale dei processi di



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	19 di 227

accumulo, e tendono a creare dei complessi sistemi deposizionali parzialmente interdigerati con i depositi marini recenti della piana costiera adriatica.

In corrispondenza dei corsi d'acqua principali, e secondariamente lungo gli alvei di quelli secondari, si rinvengono vistose scarpate di erosione fluviale e zone di erosione laterale delle sponde. Gli alvei secondari mostrano, in generale, una marcata tendenza all'approfondimento, mentre i corsi d'acqua più importanti sono caratterizzati da zone di erosione laterale e settori di prevalente deposizione. Ulteriori scarpate fluviali, ormai inattive e fortemente degradate, sono inoltre presenti in corrispondenza dei margini delle incisioni fluviali più estese, in particolare nei settori di affioramento di antichi terrazzi alluvionali.

Infine, in corrispondenza dei rilievi collinari e dei settori terrazzati, sono presenti chiari fenomeni erosivi connessi col deflusso non regimato delle acque correnti superficiali, come solchi di erosione concentrata e vallecole a fondo concavo. Tali condizioni di deflusso portano, quindi, all'accumulo di frequenti depositi eluvio-colluviali alla base dei rilievi più estesi che, localmente, possono raggiungere e superare i 3 m di spessore

#### Forme antropiche e manufatti

I principali elementi connessi con l'attività antropica sul territorio sono rappresentati dai numerosi manufatti realizzati in corrispondenza delle principali zone urbanizzate e da tutti gli elementi connessi con la costruzione delle principali infrastrutture a rete. Ad essi si aggiungono, localmente, importanti attività estrattive per il reperimento di inerti e materiali da costruzione.

Nei settori più antropizzati si rinvengono, inoltre, estesi terreni di riporto provenienti da cavature e sbancamenti, realizzati sia nei termini litologici del substrato che nei depositi di copertura continentali e marini. La maggior parte delle zone di riporto corrispondono, ovviamente, ai rilevati delle principali infrastrutture a rete.

Ai suddetti elementi si aggiungono, ovviamente, numerosi tagli e scarpate antropiche realizzate sia lungo le principali arterie stradali che in corrispondenza di fabbricati e abitazioni. Tali elementi presentano in genere altezze contenute, raramente superiori ai 3 m, e sono spesso posti in corrispondenza di elementi geomorfologici e scarpate naturali preesistenti.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	20 di 227

### 3.4 Assetto Idrogeologico

Nell'ambito delle peculiarità geomorfologiche dell'area in studio, non è cartografato alcun poligono tra le aree caratterizzate da pericolosità da frana.

Mentre per quanto riguarda la criticità da pericolosità idraulica (Piano Stralcio Assetto Idrogeologico per il bacino interregionale del fiume Fortore), il lotto 1 è suddiviso nelle seguenti classi:

- P3 (aree a pericolosità elevata): da inizio tracciato km 24+200 a 27+750;
- P2 (aree a pericolosità media): da km 24+750 a km 28+250;
- P1 (aree a pericolosità bassa): da km 28+250 a km 28+350
- fascia di riassetto fluviale: da km 25+900 a km 26+400.

### 3.5 Inquadramento idrogeologico

I settori esterni dell'Appennino meridionale sono caratterizzati da una elevata complessità delle caratteristiche idrogeologiche, riconducibile sia al particolare assetto strutturale dell'area che alla grande varietà di termini litologici affioranti.

In particolare, i litotipi presenti nei settori di specifico interesse progettuali possono essere riferiti all'ambito idrogeologico degli acquiferi porosi plio-quadernari. Questi acquiferi sono costituiti da sedimenti plio-quadernari formati in ambiente subaereo o marino, riferibili quindi a depositi di detritico-colluviali, alluvionali, lacustri e costieri, in parte emersi a seguito delle fasi di sollevamento della Catena Appenninica. Si tratta, ovviamente, di acquiferi di particolare importanza ai fini del reperimento di risorse idriche sotterranee, sia per l'intenso uso del territorio che caratterizza le aree di affioramento di tali depositi sia per la soggiacenza relativamente bassa della zona di saturazione.

Questi terreni costituiscono acquiferi continui, in genere eterogenei ed anisotropi, sempre permeabili per porosità e, solo in rari casi, anche per fessurazione. Tale carattere idrogeologico è riconducibile alla natura prevalentemente clastica dei depositi, che solo in pochi casi presentano un certo grado di cementazione. Anche in questi casi, tuttavia, la cementazione non ha mai avuto un ruolo equivalente al processo di diagenesi, conferendo raramente a



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	21 di 227

questi terreni un carattere eminentemente litoide. La permeabilità è in genere molto variabile e sempre strettamente connessa con le caratteristiche di assortimento granulometrico dei terreni.

I depositi plio-quadernari che costituiscono questi acquiferi presentano delle particolari caratteristiche sedimentologiche ed idrogeologiche, dovute essenzialmente ai processi che ne hanno controllato il trasporto e la deposizione. In particolare, possono essere individuati due distinti gruppi di ambienti sedimentari caratterizzati da differenti processi di trasporto e deposizione, rispettivamente controllati dalla gravità e dalle acque di ruscellamento.

Al primo gruppo sono riconducibili i depositi di talus e di falda detritica presenti alla base dei maggiori rilievi montuosi che, pur costituendo acquiferi eterogenei ed anisotropi, sono contraddistinti da un grado di permeabilità generalmente piuttosto elevato. Nei settori dove risultano limitati inferiormente da terreni di bassa permeabilità, tali depositi possono essere sede di falde idriche sotterranee di discreta importanza, in particolare quando soggetti a travasi idrici provenienti da strutture idrogeologiche limitrofe.

I depositi che ricadono nel secondo gruppo di ambienti sedimentari sono i più rappresentati nei settori di studio e possono essere suddivisi a loro volta in numerosi sub-ambienti, contraddistinti da differente energia del mezzo di trasporto idraulico. Tali ambienti sono distribuiti sul territorio secondo un percorso in cui l'energia di trasporto idraulico tende a diminuire progressivamente, a partire dall'ambiente di conoide pedemontana fino a quello di pianura costiera, passando attraverso tutti gli ambiti fluviali intermedi.

Tutti questi sub-ambienti sono contraddistinti, a loro volta, da un'energia del mezzo idraulico variabile nel tempo in relazione all'entità degli apporti pluviometrici. Ciò comporta la deposizione di termini litologici fortemente eterogenei che, per la continua divagazione dei corsi d'acqua, si ritrovano variamente giustapposti tra loro sia lateralmente che verticalmente. Pertanto gli acquiferi alluvionali risultano in genere fortemente eterogenei ed anisotropi, soprattutto nelle aree di pianura alluvionale e costiera, dove le differenze di comportamento idrogeologico si accentuano per la presenza di terreni a granulometria argilloso-limosa, da scarsamente permeabili ad impermeabili.

In questi ambiti idrogeologici, quindi, la presenza di intercalazioni pelitiche all'interno dei depositi sabbioso-ghiaiosi determina una scomposizione del deflusso idrico sotterraneo in una serie di falde sovrapposte, da libere a confinate. Queste ultime, a loro volta, possono essere caratterizzate da differenti carichi piezometrici, che generano fenomeni di drenanza sia verso l'alto che verso il basso.



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	22 di 227

In molti casi, comunque, il suddetto schema di circolazione idrica sotterranea può essere semplificato a causa della scarsa continuità dei livelli meno permeabili, che non consente un'efficace separazione tra le differenti falde sovrapposte. Invece, a scala globale, il comportamento di questi acquiferi è schematicamente assimilabile a quello di un unico corpo idrico sotterraneo, avente un recapito unitario.

Ovviamente, le falde degli ambienti alluvionali e costiere risultano alimentate direttamente sia dalle acque superficiali che si infiltrano nel terreno che dai travasi idrici sotterranei delle strutture idrogeologiche con cui sono a contatto. Il recapito di tali falde è rappresentato, generalmente, da un limite a potenziale imposto corrispondente ad un corpo idrico superficiale, come fiumi, laghi e mari. Localmente, la tipologia di rapporti tra falde sotterranee ed corpi idrici continentali può essere anche di segno opposto, o comunque mutare nel corso dell'anno idrologico in relazione alla variazione relativa dei livelli idrici.

#### Criticità connesse all'assetto idrogeologico

Per quanto concerne gli aspetti connessi con la circolazione delle acque nel sottosuolo, si evidenzia la presenza di diverse falde idriche di una certa importanza all'interno dei differenti acquiferi individuati lungo il tracciato ferroviario in esame. Tali falde rappresentano, quindi, dei potenziali elementi di criticità per le opere in progetto sia per le possibili venute d'acque lungo i fronti di scavo sia per la stabilità degli stessi.

I dati piezometrici a disposizione evidenziano, infatti, la presenza di falde freatiche poste sia all'interno dei litotipi sabbioso-conglomeratici del substrato sia negli orizzonti più grossolani e permeabili dei depositi alluvionali più recenti. In particolare, il settore di piana alluvionale del F. Fortore è caratterizzato da una estesa falda a superficie libera, drenante verso il Mare Adriatico, con superficie piezometrica posta a profondità variabile tra 1.5 e 6.0 m circa da piano campagna.

In generale, per l'acquifero del complesso alluvionale, la ridotta soggiacenza della falda e la permeabilità dei depositi suggeriscono un'elevata suscettività all'inquinamento, solo localmente mitigata dalla presenza di orizzonti litologici a dominante pelitica. Per gli acquiferi dei complessi conglomeratico-sabbioso e sabbioso-arenaceo, invece, la maggiore soggiacenza della falda, permette di ipotizzare una moderata suscettività all'inquinamento dei suddetti corpi idrici sotterranei.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	23 di 227

#### 4 INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE

Al fine di caratterizzare i terreni presenti nel lotto in esame si è fatto riferimento alle seguenti campagne di indagine:

- campagna geognostica del 2009 realizzata dalla società *INTERGEO S.r.l.* di Modena nell'ambito del Progetto Definitivo della linea ferroviaria Adriatica tratta Chieti-Lesina, per gli interventi di messa in sicurezza della linea in corrispondenza della piana del Fiume Fortore; tale campagna è consistita in indagini in sito ed in laboratorio.
- campagna geognostica per il Progetto Preliminare ed il Progetto Definitivo dell'intervento di adeguamento idraulico del tombino al km 464+616 (Fosso Olivella 2 – Loc. Torre Mozza), consistita in un sondaggio geognostico eseguito dall'impresa *GEOTER S.r.l.* nel 2000 e due sondaggi geognostici e prove di permeabilità Lefranc eseguiti dall'impresa *SONDEDILE S.r.l.* di Teramo nel 2010.
- campagna geognostica integrativa del 2016 realizzata dalla società *IMOS S.r.l.* e finalizzata alla redazione del presente Progetto Definitivo del lotto 1, consistita in indagini in sito ed in laboratorio.

Nei seguenti paragrafi vengono descritte nel dettaglio le indagini in sito ed in laboratorio eseguite nelle suddette campagne di indagine, per i dettagli si rimanda ai certificati stratigrafici.

##### 4.1 Campagna geognostica del 2009

Le indagini geotecniche svolte nel 2009 sono principalmente localizzate lungo il viadotto Ripalta (vedasi Figura 7) e sono consistite nell'esecuzione di:

- 15 sondaggi geognostici, di cui 12 a carotaggio continuo e 3 a distruzione di nucleo, spinti fino alla profondità massima di 60 m;
- n.12 prove penetrometriche statiche; di queste n.8 prove sono state eseguite con punta elettrica (sigla – PE), mentre le restanti 4 con punta elettrica e piezocono (sigla PU);
- installazione di 4 piezometri a tubo aperto tipo Norton (sigla – PN);
- installazione di 6 piezometri tipo a cella di Casagrande (sigla – PC);
- 1 prova sismica in foro di tipo Down-Hole (sigla – DH);



Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	24 di 227

- 2 prove sismiche in foro di tipo Cross-Hole (sigla – CH);
- 2 prospezioni geoelettriche con elaborazione tomografica.

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

- Rilievo stratigrafico di dettaglio con fotografie a colori del materiale nelle cassette catalogatrici;
- prelievo di campioni indisturbati per l'esecuzione di prove di laboratorio;
- prove geotecniche in foro di tipo SPT;
- prove di permeabilità tipo Lefranc (di cui 8 a carico costante e 3 a carico variabile);
- misure di valori di Pocket Penetrometer.

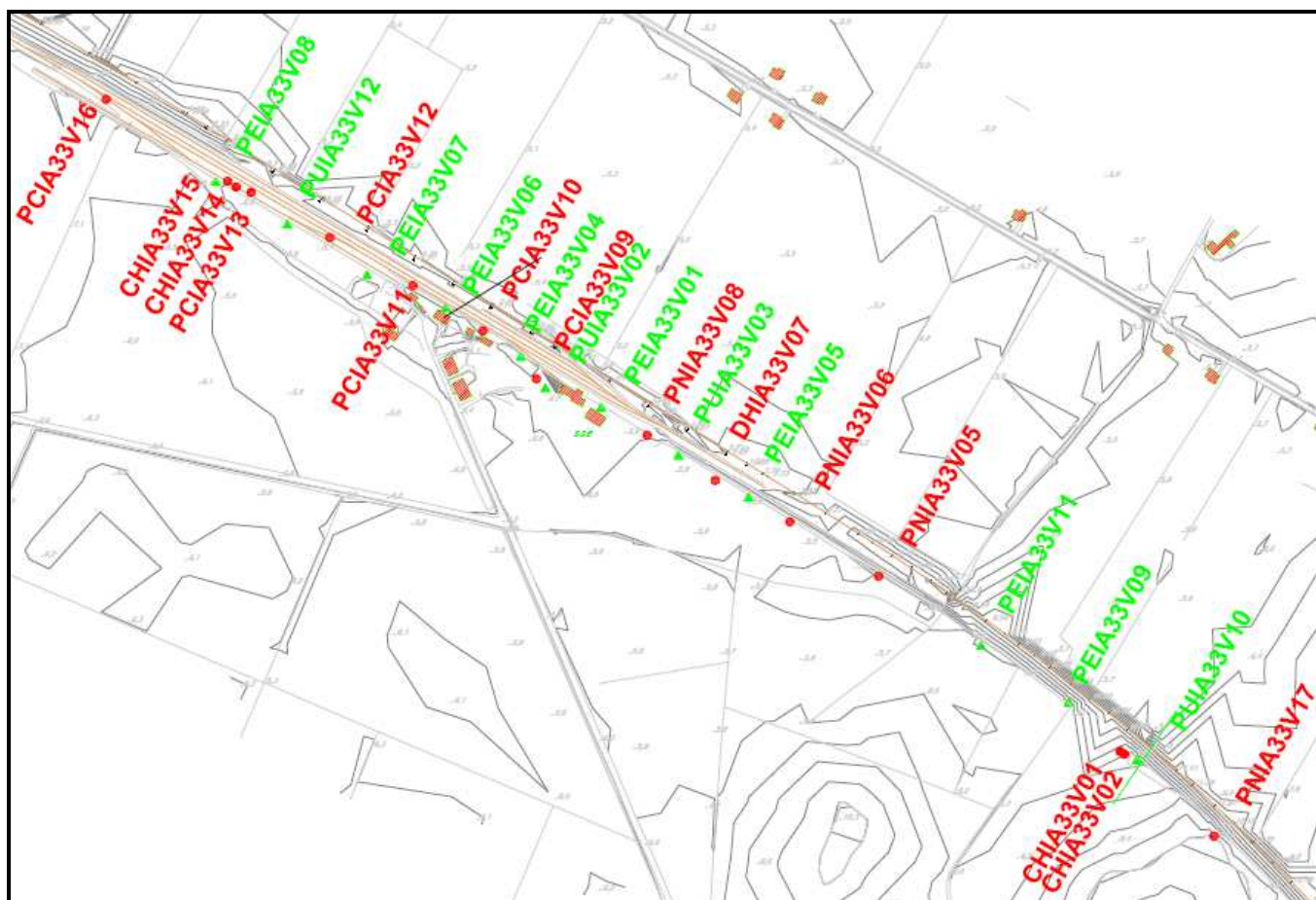


Figura 7 – Ubicazione dei sondaggi (in rosso sono indicati i sondaggi, in verde le prove CPT e CPTU) – Campagna geognostica del 2009



Nella tabella seguente si sintetizzano le attività svolte in sito.

**Tabella 1 – Riepilogo dei sondaggi e delle prove eseguite nella campagna geognostica 2009**

Sigla indagine	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. campioni indisturbati	N. prove SPT	n. prove Lefranc	Piezometro TA; CC / Prova DH; CH
CHIA33V01	60.0	5.78	5	11	1	CH [50]
CHIA33V02	50.0	5.78	-	-	-	CH [50]
PNIA33V05	40.0	5.51	1	11	-	TA [3÷40]
PNIA33V06	40.0	5.54	5	7	1	TA [18÷40]
PNIA33V08	40.0	6.05	4	3	1	TA [24÷40]
PCIA33V09	40.0	6.68	5	-	1	CC [18.5]
PCIA33V10	40.0	6.36	9	1	1	CC [34]
PCIA33V11	40.0	6.59	8	1	1	CC [18]
PCIA33V12	40.0	6.75	8	-	-	CC [9]
PCIA33V13	40.0	6.86	5	-	1	CC [19.5]
CHIA33V14	60.0	6.80	-	-	-	CH [50]
CHIA33V15	60.0	6.60	8	1	-	CH [50]
PCIA33V16	40.0	6.80	7	-	1	CC [17]
PNIA33V17	40.0	10.00	1	8	1	TA [7÷36]
DHIA33V07	50.0	5.74	-	-	-	DH[50]
PEIA33V01	18.3	6.90	-	-	-	-
PUIA33V02	18.0	6.68	-	-	-	-
PUIA33V03	21.0	5.96	-	-	-	-
PEIA33V04	18.6	6.58	-	-	-	-
PEIA33V05	20.9	5.71	-	-	-	-
PEIA33V06	28.1	6.69	-	-	-	-
PEIA33V07	30.0	6.66	-	-	-	-
PEIA33V08	30.0	6.15	-	-	-	-
PEIA33V09	9.60	5.69	-	-	-	-
PUIA33V010	13.80	5.73	-	-	-	-
PEIA33V011	2.40	5.39	-	-	-	-
PUIA33V012	30.0	6.76	-	-	-	-

TA [m]: piezometro a tubo aperto [profondità tratto filtrante]  
 CC [m]: piezometro del tipo a cella di Casagrande [quota cella]  
 DH [m]: prova sismica Down-Hole [profondità di prova]  
 CH [m]: prova sismica Cross-Hole [profondità di prova]

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	26 di 227

#### 4.1.1 Misure piezometriche

Per la campagna di indagine del 2009 è disponibile una sola lettura piezometrica del febbraio 2010 in corrispondenza delle strumentazioni installate. Nelle tabelle seguenti sono indicate le misure piezometriche espresse rispettivamente in profondità da p.c. ed in quota assoluta (m s.l.m.).

**Tabella 2 – Profondità falda in m dal p.c. - Campagna del 2009**

SONDAGGIO	Quota boccaforo m s.l.m.	03-02-2010
PNIA33V05	5.511	4.10
PNIA33V06	5.536	4.10
PNIA33V08	6.045	4.90
PCIA33V09	6.680	4.90
PCIA33V10	6.355	5.20
PCIA33V11	6.588	5.50
PCIA33V12	6.750	4.60
PCIA33V13	6.857	3.00
PCIA33V16	6.800	3.00
PNIA33V17	10.000	7.00

**Tabella 3 – Profondità falda in m s.l.m. - Campagna 2009**

SONDAGGIO	Quota boccaforo m s.l.m.	03-02-2010
PNIA33V05	5.51	1.41
PNIA33V06	5.54	1.44
PNIA33V08	6.05	1.15
PCIA33V09	6.68	1.78
PCIA33V10	6.36	1.16
PCIA33V11	6.59	1.09
PCIA33V12	6.75	2.15
PCIA33V13	6.86	3.86
PCIA33V16	6.80	3.80
PNIA33V17	10.00	3.00

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO												
Relazione geotecnica	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LI00</td> <td>01</td> <td>D 78 RH</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>27 di 227</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	27 di 227
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	27 di 227								

#### 4.1.2 Indagini sismiche

Sono state eseguite:

- N. 2 Prova Cross-Hole      Fori di sondaggio CHIA33V01 e CHIA33V02 (Prova CH V01-V02)  
Fori di sondaggio CHIA33V14 e CHIA33V15 (Prova CH V14-V15)
- N. 1 Prova Down-Hole      Foro di sondaggio DHIA33V07 (Prova DH V07)

Le indagini sismiche sono state spinte fino a profondità 50 m al fine di definire la  $V_{s,30}$ , e quindi determinare la velocità delle onde di taglio per la classificazione sismica:

- CH V01-V02 –  $V_{s,30} = 402$  m/s (categoria di suolo B)
- CH V14-V15 –  $V_{s,30} = 166$  m/s (categoria di suolo suolo D)
- DH V07 –  $V_{s,30} = 219$  m/s (categoria di suolo suolo C).

Inoltre sono state eseguite due tomografie elettriche (L01, L02) da cui sono state ricavate le sezioni geoelettriche riportate nelle figure sottostanti. Dall'esame delle sezioni, interpretate in chiave litostratigrafica, si possono evidenziare i seguenti aspetti:

- La distribuzione dei valori di resistività registrati, piuttosto bassi anche per i litotipi grossolani, potrebbe essere dovuta alla presenza di acqua di falda ad elevato contenuto salino;
- Presenza di due settori con caratteristiche geoelettriche, e quindi litologiche, molto diverse, il cui passaggio si può collocare in prossimità del sondaggio PNIA33V08;
- Il settore nord-occidentale, come documentato dai sondaggi: PCIA33V09, PCIA33V10, PCIA33V11, PCIA33V12, PCIA33V13 e CHIA33V15, è caratterizzato dalla netta prevalenza di litotipi conduttivi a granulometria fine (argille e limi);
- Sempre nel lato nord-occidentale, in profondità (oltre i 50-55 m dal p.c.) si ha un leggero aumento di resistività imputabile alla presenza di locali e molto subordinate intercalazioni più grossolane, all'interno dei depositi argilloso-limosi;
- Fra le progressive 600 e 900 m, all'interno dei depositi fini si ha una potente intercalazione (25-30 m) di materiali ghiaiosi come evidenziato anche dalle stratigrafie: V06 e V08;
- In profondità (oltre i 50 m dal p.c.), fra le progressive 600 e 900 m, si evidenzia la presenza di materiale conduttivo a granulometria fine;

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	28 di 227

- Nel settore sud-orientale, fra le progressive 900 e 1250 m, fino a 35-40 m dal p.c., sono nettamente prevalenti i litotipi grossolani ad elevata resistività, come indicato dalle stratigrafie: V01 e V05;
- Sempre nel settore sud-orientale, oltre i 35-45 m dal p.c. sono nettamente prevalenti i materiali conduttivi a granulometria fine.

Per i certificati di prova relativi alle indagini sismiche eseguite si rimanda ai documenti specifici.

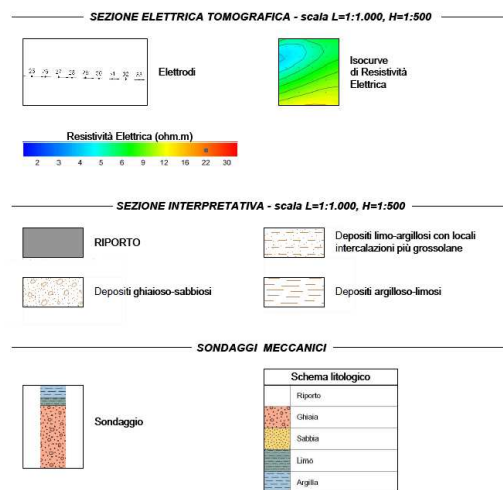
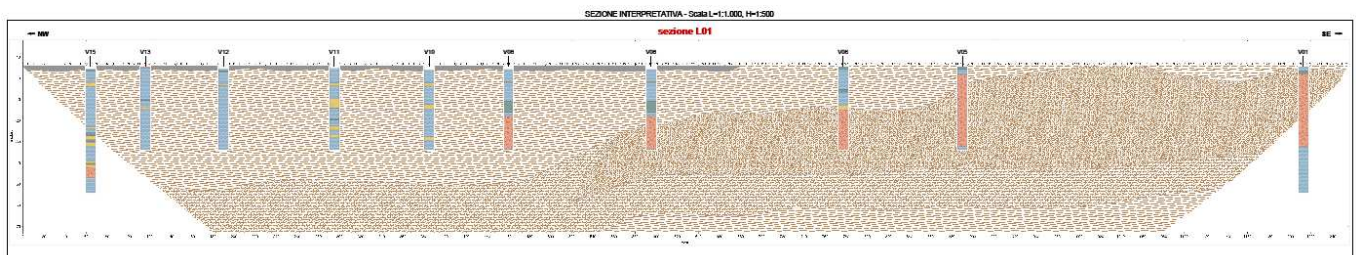
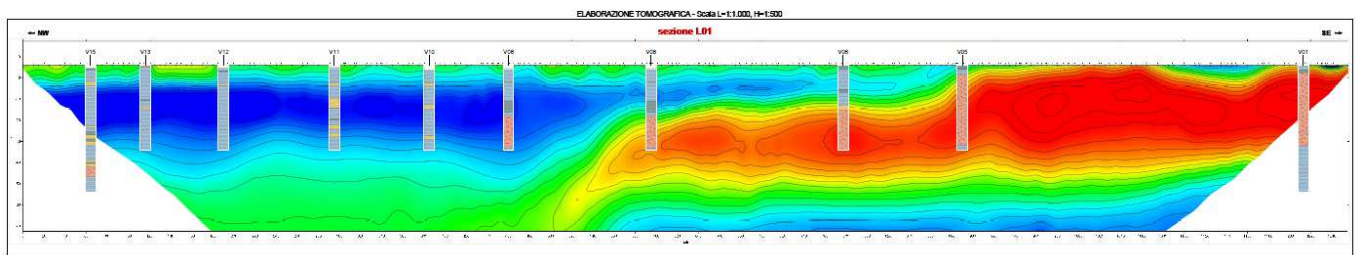
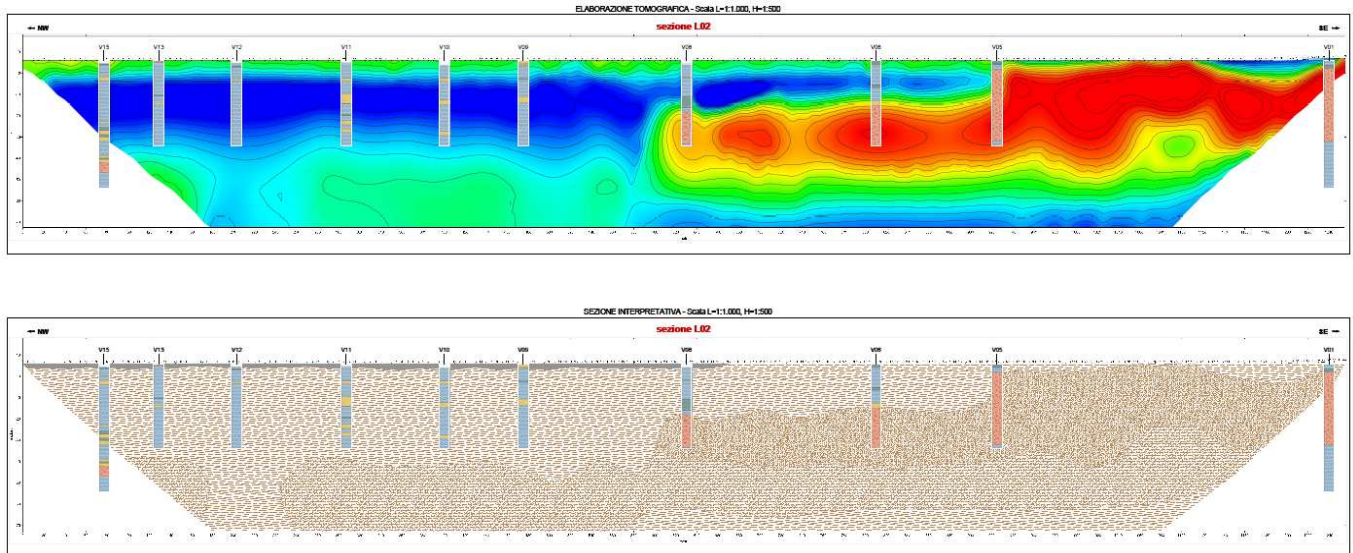


Figura 8 – Tomografia elettrica – Sezione interpretativa L01



**Figura 9 – Tomografia elettrica – Sezione interpretativa L02**

#### 4.1.3 Prove di permeabilità

I risultati delle prove di permeabilità Lefranc a carico variabile (CV) e a carico costante (CC) sono elencati in Tabella 4. In Tabella 5 sono riportati i valori di permeabilità da prove di laboratorio (in cella edometrica).

**Tabella 4 – Risultati prove di permeabilità Lefranc - campagna d'indagine del 2009**

Anno	Sondaggio	Tipo prova	Profondità prova [m]	Coefficiente di permeabilità media [m/s]	Unità geotecnica
2009	CHIA33V01	CC	23.00	2.97E-05	7GS
2009	PNIA33V05	CV	5.85	1.85E-06	7GS
2009	PNIA33V06	CC	24.00	2.16E-05	7GS
2009	PNIA33V08	CC	28.00	2.15E-05	7GS
2009	PNIA33V09	CC	18.00	9.71E-06	5S
2009	PCIA33V10	CC	18.50	9.88E-06	5S
2009	PCIA33V11	CC	19.00	8.68E-06	5S
2009	PCIA33V13	CV	19.50	2.74E-07	5AL
2009	CHIA33V15	CC	50.00	3.73E-05	8GS
2009	PCIA33V16	CV	16.00	4.89E-07	5S
2009	PNIA33V17	CC	17.00	2.69E-05	7GS

**Tabella 5 – Risultati prove di permeabilità da laboratorio - campagna d'indagine del 2009**

Anno	Sondaggio	Profondità prova [m]	Coefficiente di permeabilità media [m/s]	Unità geotecnica
2009	PCIA33V11	31.10	3.00E-10	5AL
2009	PCIA33V12	10.50	1.40E-11	5AL
2009	PCIA33V13	6.70	1.40E-11	5AL
2009	PCIA33V13	10.30	1.50E-11	5AL
2009	PCIA33V13	16.50	2.90E-11	5AL
2009	CHIA33V15	20.00	2.50E-11	5AL
2009	PCIA33V16	10.00	2.50E-11	5AL
2009	PCIA33V16	15.00	2.00E-11	5AL
2009	PNIA33V17	4.00	1.90E-11	6AL

#### 4.1.4 Prove di laboratorio

Sui campioni prelevati dai sondaggi della campagna geognostica in esame sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio (laboratorio: Geostudi S.r.l. di Pomezia, Rm):

- determinazione del peso di volume naturale;
- determinazione del contenuto naturale d'acqua;
- analisi granulometriche;
- determinazione dei limiti di Atterberg;
- prove di compressioni triassiale (del tipo CID, UU, CIU);
- prove di taglio diretto (TD);
- prove di compressione ad espansione laterale libera E.L.L.
- prove di compressibilità edometrica.
- classificazione terre secondo CNR 10006 e USCS;
- determinazione coefficiente di permeabilità in cella edometrica.







LINEA PESCARA - BARI  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
 LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
 LI00 01 D 78 RH GE0005 001 A 32 di 227

Sondaggio	-	PCIA33V10	PCIA33V10	PCIA33V10	PCIA33V10	PCIA33V10	PCIA33V10	PCIA33V10	PCIA33V10	PCIA33V11	PCIA33V11	PCIA33V11	PCIA33V11
Campione	-	Ci3	Ci4	Ci5	Ci6	Ci7	Ci8	Ci9	Ci1	Ci2	Ci3	Ci4	
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	5AL	5AL	5AL	5AL	5S	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL
Prof.	m	12.00	16.50	22.50	25.50	29.00	32.00	37.50	3.00	6.00	10.50	15.00	

Granulometria													
G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	2.4	10.4	2.9	14.2	58.3	6.6	7.8	1.2	2.4	0.3	24.8	
L+A	%	97.6	89.6	97.1	85.8	41.7	93.4	92.2	98.8	97.6	99.7	75.2	
L	%	53.2	53.2	49.7	47.3	26.4	59.2	63.8	41.3	49.9	34.3	47.7	
A	%	44.4	36.4	47.4	38.5	15.3	34.2	28.4	57.5	47.7	65.4	27.5	

Limiti di Atterberg													
W <sub>L</sub>	%	47.8	41.9	57.9	42.0	24.1	37.9	36.4	61.5	61.2	73.3	36.0	
W <sub>P</sub>	%	26.8	25.2	30.3	25.7	16.4	26.0	25.6	29.6	31.1	30.7	22.0	
I <sub>p</sub>	-	0.56	0.83	0.54	0.79	0.01	0.59	0.69	1.00	1.06	0.73	0.44	
I <sub>c</sub>	%	21.0	16.7	27.6	16.3	7.7	11.9	10.8	31.9	30.1	42.6	14.0	

Caratteristiche fisiche													
γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>	18.4	19.0	17.8	18.9	19.3	19.1	19.1	19.0	19.1	17.5	19.3	
w <sub>N</sub>	%	36.1	28.0	43.1	29.1	24.0	30.9	28.9	29.7	29.3	42.0	29.9	
e	-	1.000	0.700	0.950	0.560		0.830	0.660	0.870	0.770	1.100	0.550	

Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)													
E <sub>ed</sub>	kPa			4031	5087								5569
c <sub>v</sub>	m <sup>2</sup> /s			1.30E-08	7.50E-08								6.90E-07
c <sub>u</sub>	-			6.60E-03	3.60E-03								2.30E-03
k	m/s			2.70E-11	1.20E-10								7.90E-10

Resistenza non drenata													
(TX-UU) c <sub>v</sub>	kPa			55.5					94.8				
(TX-ELL) c <sub>v</sub>	kPa	48.7			43.4		70.1				40.7		

Resistenza drenata													
(TD) c	kPa		23.4					10.7		9.7			
(TD) f	°		26.0			33.4		26.0		23.3			

Sondaggio	-	PCIA33V11	PCIA33V11	PCIA33V11	PCIA33V11	PCIA33V12	PCIA33V12	PCIA33V12	PCIA33V12	PCIA33V12	PCIA33V12	PCIA33V12	PCIA33V12
Campione	-	Ci5	Ci6	Ci7	Ci8	Ci1	Ci2	Ci3	Ci4	Ci5	Ci6	Ci7	
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	5AL	5AL	5S	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL
Prof.	m	22.50	27.00	31.10	36.00	4.50	7.00	10.50	15.00	18.00	22.00	27.00	

Granulometria													
G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	3.2	33.6	58.8	2.9	1.2	7.8	1.1	7.9	1.4	1.2	1.1	
L+A	%	96.8	66.4	41.2	97.1	98.7	91.4	98.9	92.1	98.6	98.8	98.9	
L	%	52.1	40.3	27.9	62.2	33.4	48.8	31.2	58.1	43.7	51.4	38.6	
A	%	44.7	26.1	13.3	34.9	65.3	42.6	67.7	34.0	54.9	47.4	60.3	

Limiti di Atterberg													
W <sub>L</sub>	%	60.5	29.6	22.2	46.9	66.0	52.8	76.3	44.1	58.1	57.0	63.4	
W <sub>P</sub>	%	31.9	19.1	15.3	26.9	32.0	28.0	33.4	27.6	32.3	29.5	31.7	
I <sub>p</sub>	-	0.70	0.33	0.58	0.78	1.08	1.08	0.77	0.52	0.74	0.56	0.69	
I <sub>c</sub>	%	28.6	10.5	6.9	20.0	34.0	24.8	42.9	16.5	25.8	27.5	31.7	

Caratteristiche fisiche													
γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>	17.8	18.9	19.3	18.7	19.0	19.7	17.6	18.4	18.0	17.3	17.3	
w <sub>N</sub>	%	40.4	26.1	18.2	31.4	29.4	26.0	43.4	35.6	39.0	41.5	41.4	
e	-	0.990	0.600		0.890	0.750	0.550		0.690		1.090	1.000	

Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)													
E <sub>ed</sub>	kPa						8470.0		3999.0				
c <sub>v</sub>	m <sup>2</sup> /s						4.00E-08		3.90E-08				
c <sub>u</sub>	-						5.00E-04		2.40E-03				
k	m/s			3.00E-10			4.20E-11		8.30E-11				

Resistenza non drenata													
(TX-UU) c <sub>v</sub>	kPa									49.4			
(TX-ELL) c <sub>v</sub>	kPa				89.5						19.5		

Resistenza drenata													
(TD) c	kPa	7.6				19.4							4.0
(TD) f	°	20.6	30.0			21.9							20.9

(\*) segue da pagina precedente.





LINEA PESCARA - BARI  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
 LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
 LI00 01 D 78 RH GE0005 001 A 33 di 227

Sondaggio	-	PCIA33V12	PCIA33V13	PCIA33V13	PCIA33V13	PCIA33V13	PCIA33V13	CHIA33V15	CHIA33V15	CHIA33V15	CHIA33V15	CHIA33V15
Campione	-	C8	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL
Prof.	m	31.50	3.00	6.70	10.30	14.00	16.50	3.00	6.00	10.40	15.00	20.00
<b>Granulometria</b>												
G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.5	0.0	0.0	0.0
S	%	1.2	1.2	1.2	1.3	1.1	1.5		7.4	2.3	11.4	3.1
L + A	%	98.8	98.8	98.8	98.7	98.9	98.5		92.1	97.7	88.6	96.9
L	%	59.0	38.8	46.4	31.5	41.5	36.1		54.5	37.2	50.0	56.9
A	%	39.8	60.0	52.4	67.2	57.4	62.4		37.6	60.5	38.6	40.0
<b>Limiti di Atterberg</b>												
W <sub>L</sub>	%	47.6	60.6	64.8	73.7	64.8	67.2		45.9	74.0	40.2	49.2
W <sub>p</sub>	%	26.2	29.9	30.3	32.5	35.3	32.4		26.0	34.5	25.6	29.7
I <sub>p</sub>	-	0.81	1.02	0.98	0.72	0.85	0.64		0.83	0.77	0.08	0.87
I <sub>c</sub>	%	21.4	30.7	34.5	41.2	29.5	34.8		19.9	39.5	14.6	19.5
<b>Caratteristiche fisiche</b>												
γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>	19.2	19.0	18.7	17.6	18.0	17.5		18.9	17.5	17.9	18.2
w <sub>N</sub>	%	30.2	29.4	31.0	43.9	39.6	45.0		29.4	43.5	39.1	32.3
<b>Resistenza drenata</b>												
(TD) c	kPa											
(TD) f	°								27.2			
(TX-CID) c	kPa											
(TX-CID) f	°									25.1		
<b>Sondaggio</b>												
Campione	-	CHIA33V15	CHIA33V15	CHIA33V15	CHIA33V16	CHIA33V16	CHIA33V16	CHIA33V16	CHIA33V16	CHIA33V16	CHIA33V16	PNIA33V17
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	5AL	5AL	5S	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	6AL
Prof.	m	24.00	27.00	36.00	3.00	5.80	10.00	15.00	19.10	24.10	29.50	4.00
<b>Granulometria</b>												
G	%	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9
S	%	1.1	0.2	40.1	1.1	5.1	11.9	4.4	1.3	1.0	1.1	13.6
L + A	%	98.9	99.8	59.8	98.8	94.9	88.1	95.6	98.7	99.0	98.9	84.5
L	%	33.0	31.9	40.9	53.5	52.3	47.3	56.8	43.8	43.9	36.0	48.4
A	%	65.9	67.9	18.9	45.3	42.6	40.8	38.8	54.9	55.1	62.9	36.1
<b>Limiti di Atterberg</b>												
W <sub>L</sub>	%	70.6	72.0	29.7	50.9	52.0	47.7	46.0	61.2	68.8	64.8	43.7
W <sub>p</sub>	%	37.2	33.1	20.6	27.6	28.0	24.3	22.7	26.3	30.8	30.0	21.6
I <sub>p</sub>	-	0.84	0.69	0.44	0.76	0.94	0.27	0.52	0.67	0.61	0.60	1.02
I <sub>c</sub>	%	33.4	38.9	9.1	23.3	24.0	23.4	23.3	34.9	38.0	34.8	22.1
<b>Caratteristiche fisiche</b>												
γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>	17.4	16.7	19.3	17.4	18.6	17.7	18.7	18.2	17.3	17.6	20.0
w <sub>N</sub>	%	42.4	45.1	25.7	33.1	29.5	41.4	33.8	37.7	45.6	43.9	21.1
e	-	0.929	1.200	0.590	1.030	0.700	0.860	0.737	0.824	0.930	1.100	0.550
<b>Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)</b>												
E <sub>ed</sub>	kPa	3598.0				5645.0	2076.0	3400.0	3938.0	2979.0		12993.0
c <sub>v</sub>	m <sup>2</sup> /s	1.90E-08				4.80E-08	2.60E-08	1.70E-08	1.90E-08	2.90E-08		
c <sub>u</sub>	-	2.10E-03				1.10E-03	2.40E-03	3.30E-03	2.30E-03	4.30E-03		
k	m/s	4.80E-11				5.80E-11	1.10E-10	4.40E-11	4.20E-11	8.10E-11		
<b>Resistenza non drenata</b>												
(TX-UU) c <sub>v</sub>	kPa											
(TX-ELL) c <sub>v</sub>	kPa		26.4		49.2			39.9	49.6	40.8		
<b>Resistenza drenata</b>												
(TD) c	kPa										9.0	28.7
(TD) f	°			30.5							19.0	20.3
(TX-CIU) c	kPa											
(TX-CIU) f	°											
(TX-CID) c	kPa					25.4						
(TX-CID) f	°					26.1						

(\*) segue da pagina precedente.



LINEA PESCARA - BARI  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
 LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	34 di 227

#### 4.2 Campagna geognostica per il PP e PD di un intervento di adeguamento idraulico del tombino al km 464+616 (Fosso Olivella 2 – Loc. Torre Mozza)

La suddetta campagna è consistita in:

- esecuzione di un sondaggio geognostico (SC14) attrezzato con piezometro, eseguito dall'impresa *GEOTER S.r.l.* nel 2000. Durante l'esecuzione del sondaggio sono state eseguite prove S.P.T e prove Pocket Penetrometer.
- esecuzione di 2 sondaggi geognostici eseguiti dall'impresa *SONDEDILE S.r.l.* di Teramo nel 2010, di cui uno a carotaggio continuo (DHIA30P01) attrezzato con tubazione in PVC fino a fondo foro per l'esecuzione di prova sismica tipo Down-Hole, e uno a distruzione di nucleo (PNIA30P02) con installazione di piezometro a tubo aperto fino a fondo foro.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite le seguenti attività:

- rilievo stratigrafico con documentazione fotografica a colori;
- prove geotecniche in foro di tipo SPT;
- prove di permeabilità tipo Lefranc a carico variabile;
- misure di valori di Pocket Penetrometer;
- prelievo di un campione indisturbato.

Nella tabella seguente si sintetizzano le attività svolte in sito.

**Tabella 7 – Riepilogo dei sondaggi e delle prove eseguite - campagna geognostica loc.Torre Mozza**

Sondaggi	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. campioni indisturbati	N. prove SPT	n. prove Lefranc	Piezometro TA; Prova DH;
SC14	10.0	3.2	-	1	-	TA [1÷10]
DHIA30P01	30.0	4.9	-	9	1	DH [30]
PNIA30P02	20.0	4.9	-	-	1	TA [3÷20]
TA [m]: piezometro a tubo aperto [profondità tratto filtrante]						
DH [m]: prova sismica Down-Hole [profondità di prova]						

#### 4.2.1 Misure piezometriche

Nelle tabelle seguenti sono indicate le misure piezometriche disponibili, espresse in profondità da p.c. ed in quota assoluta (m s.l.m.). Non sono state reperite misure piezometriche per il piezometro installato nel foro PNIA30P02; in fase di perforazione sondaggio è segnalato un livello idrico a 0.9 m di profondità da p.c..

**Tabella 8 – Profondità falda in m dal p.c. - campagna geognostica loc.Torre Mozza**

SONDAGGIO	Quota boccaforo m s.l.m.	22-01-2000	11-02-2000
SC14	3.2	0.87	0.87

**Tabella 9 – Profondità falda in m s.l.m. - campagna geognostica loc.Torre Mozza**

SONDAGGIO	Quota boccaforo m s.l.m.	22-01-2000	11-02-2000
SC14	3.2	2.33	2.33

#### 4.2.2 Prove di permeabilità

I risultati delle prove di permeabilità Lefranc a carico variabile (CV) sono elencati in Tabella 10.

**Tabella 10 – Risultati prove di permeabilità Lefranc - campagna geognostica loc.Torre Mozza**

Anno	Sondaggio	Tipo prova	Profondità prova [m]	Coefficiente di permeabilità media [m/s]	Unità geotecnica
2010 (Torre Mozza)	PNIA30P02	CV	2.00	4.41E-05	-
2010 (Torre Mozza)	DHIA30P01	CV	2.00	2.58E-05	5S

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	36 di 227

### 4.3 Campagna geognostica del 2016

La campagna di indagini, eseguita dall'impresa *I.M.O.S. S.r.l* di Campobasso, è stata realizzata ad integrazione delle indagini disponibili ed è consistita in:

- 8 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino alla profondità massima di 40 m;
- 6 pozzetti esplorativi con profondità di circa 2 m;
- 4 fori di sondaggio strumentati con piezometri, di cui tre del tipo a tubo aperto ed uno a cella di Casagrande;
- strumentazione di 3 sondaggi per prova sismica di tipo Down-Hole per una profondità massima di 30 m;
- indagini geofisiche distinte in cinque aree: 10 prove sismiche RE.MI
- 5 prove penetrometriche statiche CPT di profondità comprese tra 4 e 13 m.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati effettuati:

- riconoscimento stratigrafico con documentazione fotografica a colori;
- prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati per l'esecuzione di prove di laboratorio;
- prove penetrometriche dinamiche Standard Penetration Test (SPT);
- prove di permeabilità Lefranc;
- prelievo di campioni rimaneggiati ed indisturbati;
- rilievo del livello di falda;
- misure di valori di Pocket Penetrometer (PP);
- tutti i sondaggi sono stati interessati da carotaggio ambientale nei primi 4 m;
- rilievo topografico con strumentazione GPS per acquisizione coordinate e quota assoluta.

Durante l'esecuzione dei pozzetti esplorativi sono state svolte le seguenti attività:

- descrizione stratigrafica con identificazione dello spessore di coltre vegetale;
- prelievo di 6 campioni rimaneggiati, sottoposti a prove di laboratorio;
- esecuzione di 10 prove di carico su piastra (PLT);
- rilievo livello di falda, se intercettata.

In tabella seguente si sintetizzano le attività svolte in sito.

**Tabella 11 – Riepilogo prove in sito - campagna geognostica del 2016**

Sigla indagine	Profondità [m]	Quota boccaforo [m]	n. campioni indisturbati	n. campioni rimaneggiati	N. prove SPT	N. prove Lefranc	Piezometro TA; CC [m]	Prova DH [m]
S1	30.0	14.503	-	2	6	2	-	[30]
S2	30.0	2.453	3	-	5	2	CC [12.40]	-
S3	40.0	7.842	3	-	7	2	-	[30]
S4	30.0	15.776	2	1	5	2	TA [3÷30]	-
S5	20.0	18.967	3	-	4	2	-	-
S6	30.0	22.128	-	1	8	2	TA [3÷30]	-
S7	30.0	21.013	2	-	4	2	-	[30]
S8	30.0	25.351	2	-	5	2	TA [0÷30]	-
PZ1	2.0	2.5	-	1	-	-	-	-
PZ2	2.0	4.5	-	1	-	-	-	-
PZ3	2.0	9.0	-	1	-	-	-	-
PZ5	2.1	17.8	-	1	-	-	-	-
PZ6	2.0	18.2	-	1	-	-	-	-
PZ7	2.0	27.0	-	1	-	-	-	-
CPT 1	7.6	2.7	-	-	-	-	-	-
CPT 2	10.8	4.5	-	-	-	-	-	-
CPT 3	7.8	7.5	-	-	-	-	-	-
CPT 4	13.4	15.0	-	-	-	-	-	-
CPT 5	4.4	22.5	-	-	-	-	-	-

TA: piezometro a tubo aperto [profondità tratto filtrante]  
CC: piezometro a cella di Casagrande [quota cella]  
DH: prova sismica Down-Hole [profondità di prova]

Nel pozzetto PZ1 è stata rilevata presenza di falda a 1.7 m da p.c..

Nella seguente tabella si riportano i risultati delle prove di carico su piastra circolare D=300 mm (CNR B.U. n.146) eseguite nei pozzetti esplorativi.

**Tabella 12 – Risultati prove di carico su piastra - campagna geognostica del 2016**

Sigla indagine	Profondità prova da p.c. [m]	Md [MPa]	M'd [MPa]
PZ1-PLT1	1.2	2.38	-
PZ2-PLT1	1.2	4.59	-
PZ3-PLT1	1.1	14.71	46.88
PZ3-PLT2	1.6	13.89	49.18
PZ5-PLT1	1.1	76.92	157.89
PZ5-PLT2	1.6	41.67	107.14
PZ6-PLT1	0.8	14.93	50.00
PZ6-PLT2	1.5	48.39	96.77
PZ7-PLT1	1.8	51.72	107.14
PZ7-PLT2	1.2	71.43	187.50

Md = modulo di deformazione al primo ciclo di carico  
 M'd=modulo di deformazione al secondo ciclo di carico

#### 4.3.1 Misure piezometriche

Al momento della stesura del presente elaborato, per la campagna di indagine del 2016 è disponibile una sola lettura piezometrica. Nelle tabelle seguenti sono indicate le misure piezometriche espresse in profondità da p.c. ed in quota assoluta (m s.l.m.).

**Tabella 13 – Profondità falda in m dal p.c. - Campagna del 2016**

SONDAGGIO	Quota boccaforo m s.l.m.	
		11-03-2016
S2-2016	2.45	0.2
S4-2016	15.776	14.53
S6-2016	22.128	19.4
S8-2016	25.351	11.4

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA <b>LI00</b>	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

**Tabella 14 – Profondità falda in m s.l.m. - Campagna del 2016**

SONDAGGIO	Quota boccaforo m s.l.m.	
	03-02-2010	
S2-2016	2.45	2.45
S4-2016	15.776	15.78
S6-2016	22.128	22.13
S8-2016	25.351	25.35

#### 4.3.2 Indagini sismiche

Nella campagna di indagine in esame sono state svolte indagini geofisiche in cinque aree A, B, C, D, E. In particolare sono state utilizzate diverse metodologie geofisiche:

- Analisi elettromagnetiche per l'identificazione di eventuali anomalie superficiali (ad es. presenza di sottoservizi) in corrispondenza delle perforazioni dei sondaggi, denominate S1-S2 (area A), S3 (area B), S4 (area C), S5-S6 (area D), S7 (area E).
- N. 10 prove sismiche di tipo RE.MI./MASW, denominate XA-XB-XC-XM (area E), XD-XE (area D), XF (area C), XG (area B), XH-XI (area A), finalizzate alla definizione delle velocità delle onde di taglio ( $V_{s,30}$ ) per la caratterizzazione sismica, come richiesto da normativa vigente. Queste indagini hanno consentito la ricostruzione di tre sezioni in onde Vs (sez. AA' in area A, sez. BB' in area D e sez. CC' in area E, vedasi figure seguenti).
- N. 3 prove sismiche di tipo Down\_hole per la definizione della velocità delle onde Vs fino a 30 m ai fini della caratterizzazione in termini di deformazione dei terreni e per la classificazione sismica del sito in base alla determinazione della  $V_{s,30}$ . Le prove sono state eseguite nei fori di sondaggio S1 (area A), S3 (area B) e S7 (area E) e denominati rispettivamente H1, H3, H7.

**Tabella 15 – Indagini sismiche campagna 2016**

PROVA	Tipo di prova	$V_{S,30}$ [m/s]	Categoria sottosuolo sismica
H1-S1	Down_hole	372	B
H3-S3	Down_hole	198	C
H7-S7	Down_hole	396	B
XA	RE.MI./MASW	352	C
XB	RE.MI./MASW	336	C
XC	RE.MI./MASW	382	B
XD	RE.MI./MASW	333	C
XE	RE.MI./MASW	355	C
XF	RE.MI./MASW	402	B
XG	RE.MI./MASW	208	C
XH	RE.MI./MASW	372	B
XI	RE.MI./MASW	342	C
XM	RE.MI./MASW	380	B



Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	41 di 227

Nella sezione AA' (vedasi figura seguente) le indagini hanno individuato una copertura superficiale con velocità Vs comprese fra 100 e 250 m/s associabili ai limi argillosi, poi velocità intorno a 500-600 m/s relative a ghiaie addensate e a seguire valori di velocità di 300-350 m/s.

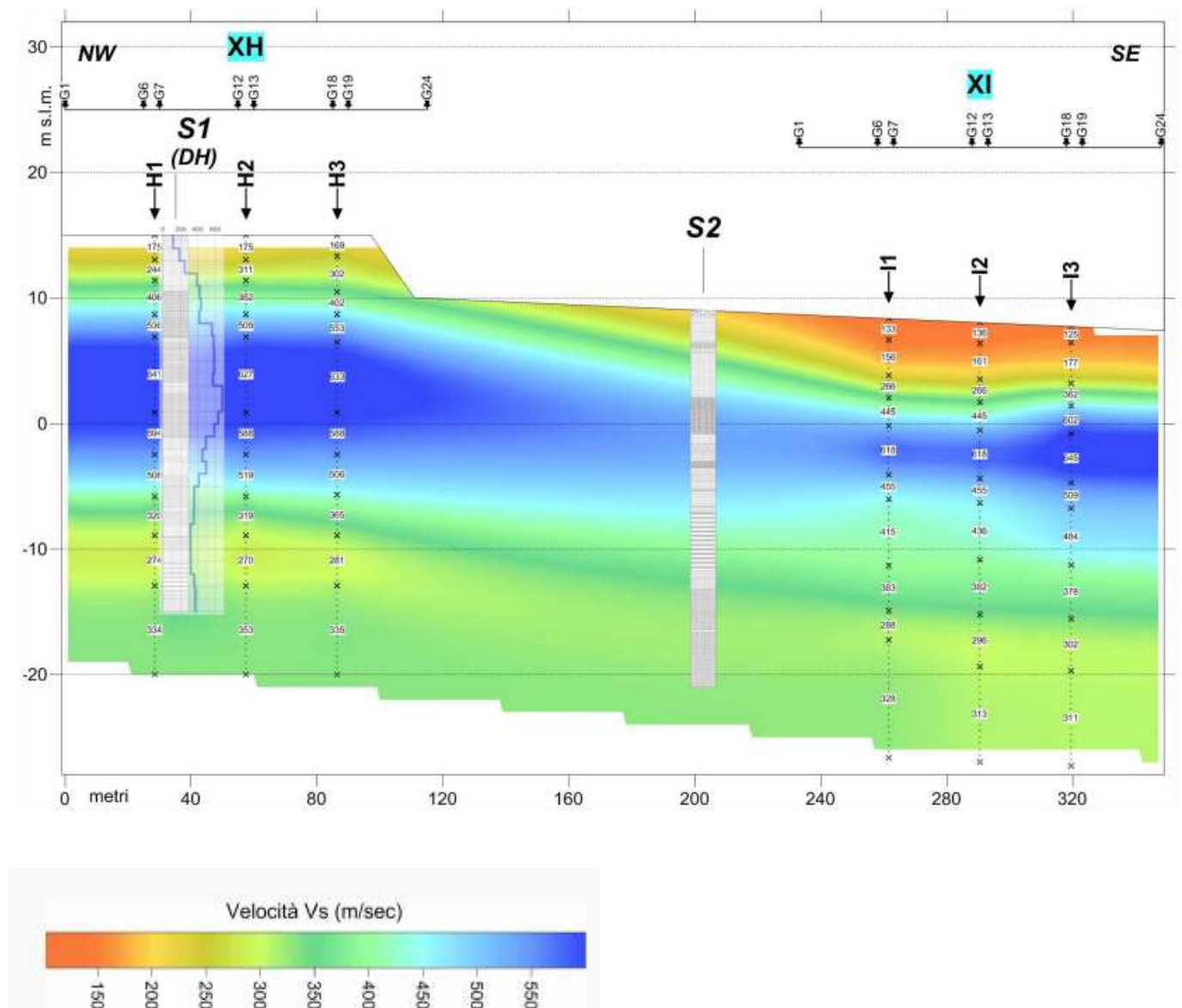


Figura 10 – Sezione sismica AA' (tavola F)

Nella sezione BB' (vedasi figura seguente) le indagini hanno individuato una copertura superficiale con velocità Vs intorno a 200 m/s associabili ai limi argillosi, poi velocità intorno a 300-350 m/s che nella porzione sud vanno fino a 500-550 m/s, relative a sabbie e ghiaie e a seguire valori di velocità di 250-300 m/s nelle argille.

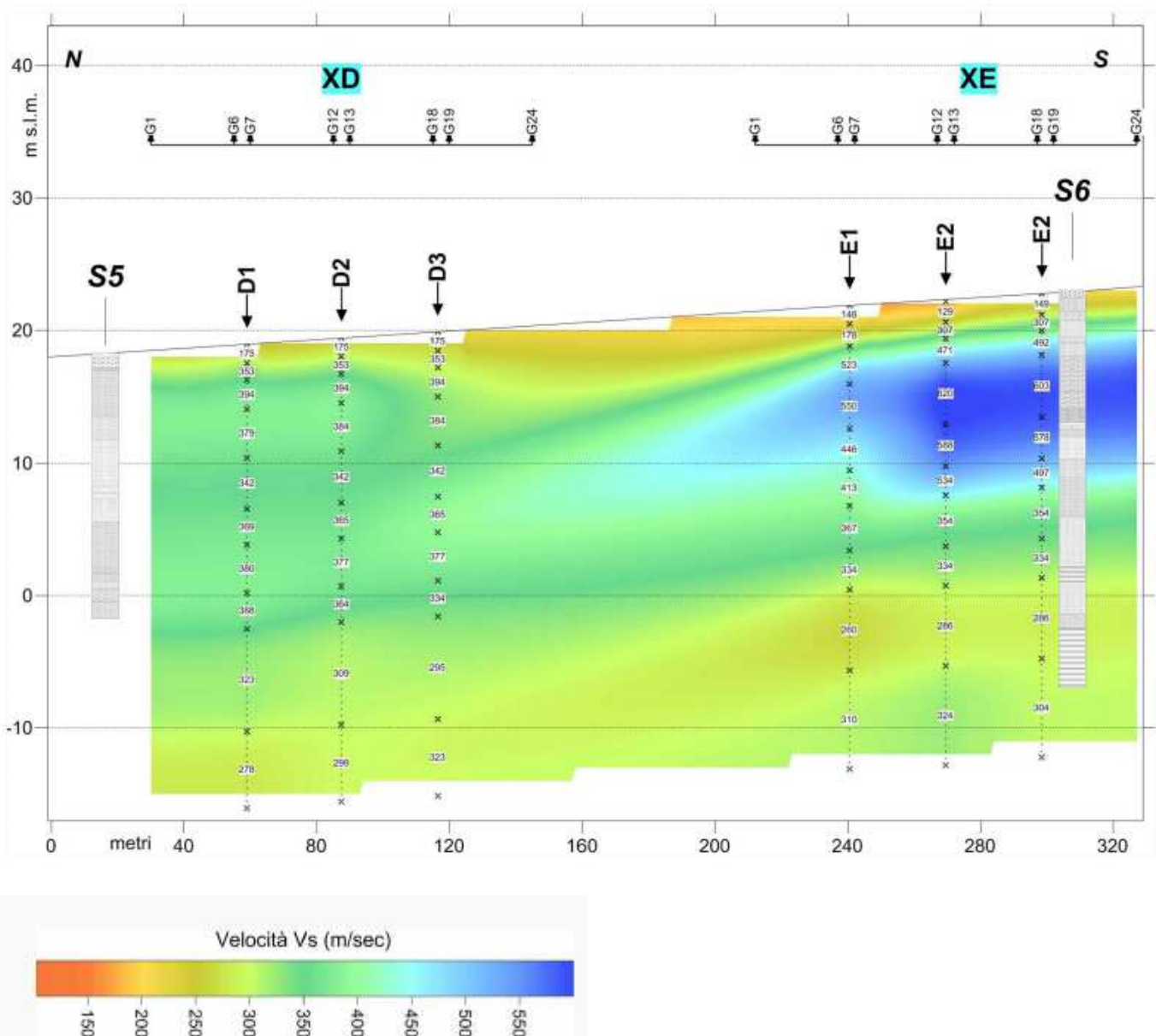


Figura 11 – Sezione sismica BB' (tavola G)

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	43 di 227

Nella sezione CC' (vedasi figura seguente) le indagini hanno individuato una copertura superficiale con velocità Vs comprese fra 100 e 200 m/s associabili ai limi argillosi, poi velocità intorno a 400-500 m/s relative a sabbie con ghiaie e a seguire valori di velocità di 250-300 m/s nelle sabbie e argille.

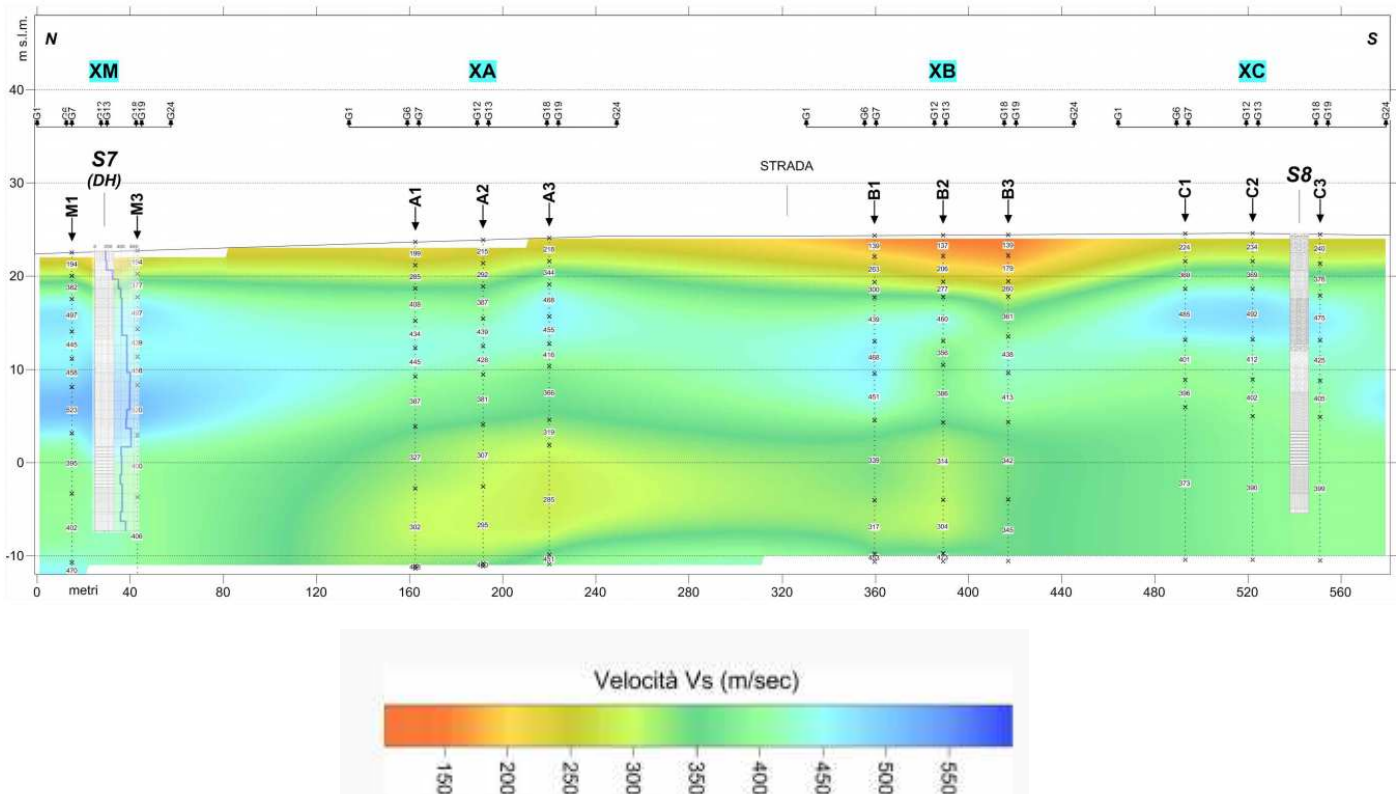


Figura 12 – Sezione sismica CC' (tavola H)

### 4.3.3 Prove di permeabilità

I risultati delle prove di permeabilità Lefranc a carico variabile (CV) sono elencati in Tabella 16.

**Tabella 16 – Risultati prove di permeabilità Lefranc - campagna d'indagine del 2016**

Anno	Sondaggio	Tipo prova	Profondità prova [m]	Coefficiente di permeabilità media [m/s]	Unità geotecnica
2016	S1	CV	8.20	6.15E-08	7GS
2016	S1	CV	16.00	6.53E-08	7GS
2016	S2	CV	6.00	6.90E-09	7S
2016	S2	CV	16.60	1.68E-06	7AL
2016	S3	CV	9.00	1.83E-08	5AL
2016	S3	CV	16.55	3.56E-08	5S
2016	S4	CV	11.00	2.53E-07	7AL
2016	S4	CV	19.00	6.10E-06	7S
2016	S5	CV	9.00	4.30E-08	7AL
2016	S5	CV	16.00	1.49E-08	7AL
2016	S6	CV	11.00	2.71E-07	7AL
2016	S6	CV	21.00	1.00E-06	7AL
2016	S7	CV	11.40	5.41E-09	7AL
2016	S7	CV	22.00	2.81E-07	7AL
2016	S8	CV	7.50	9.14E-08	7GS
2016	S8	CV	16.00	6.68E-08	7S



LINEA PESCARA - BARI  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
 LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	45 di 227

#### 4.3.4 Prove di laboratorio

Sui campioni prelevati dai sondaggi della campagna geognostica in esame sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio (da “Tecnolab – laboratorio di prove, ricerche e sperimentazione sui materiali da costruzione” di Ortona, CH):

- determinazione del peso di volume naturale;
- determinazione del contenuto naturale d’acqua;
- analisi granulometriche;
- determinazione dei limiti di Atterberg;
- prova di taglio diretto (TD);
- prove di compressioni triassiale del tipo CID.

**Tabella 17 – Tabelle laboratorio campagna 2016**

Sondaggio	-	S1	S1	PZ1	PZ2	PZ5	PZ6	S3	S3	S6	S2	S2	S2
Campione	-	CR1	CR2	CR1	CR1	CR1	CR1	Cl1	Cl2	CR1	Cl1	Cl2	Cl3
Tipo	-	rim	rim	rim	rim	rim	rim	ind	ind	rim	ind	ind	ind
Unità	-	7AL	7AL	7S	5AL	6AL	7AL	5AL	5S	7AL	7S	7AL	9AL
Prof.	m	24.30	28.00	2.00	2.00	2.10	2.00	3.70	10.35	12.20	6.00	17.55	22.40
<b>Granulometria</b>													
G	%	1.0	2.0	1.0	0.0	13.0	16.0	1.0	2.0	0.0	1.0	1.0	2.0
S	%	5.0	15.0	89.0	1.0	20.0	23.0	3.0	86.0	6.0	88.0	8.0	16.0
L +A	%	94.0	83.0	10.0	99.0	67.0	61.0	96.0	12.0	94.0	11.0	91.0	82.0
L	%	56.0	46.0	10.0	42.0	14.0	38.0	58.0	11.0	-	-	46.0	58.0
A	%	38.0	37.0	0.0	57.0	53.0	23.0	38.0	1.0	-	-	45.0	24.0
<b>Limiti di Atterberg</b>													
W <sub>L</sub>	%	52.0	49.0		85.0	71.0	58.0	49.0		74.0		63.0	52.0
W <sub>p</sub>	%	25.0	22.0		33.0	23.0	24.0	23.0		26.0		27.0	21.0
I <sub>c</sub>	-	0.89	0.82		0.82	1.08	1.21	0.75		0.93		0.83	0.79
I <sub>p</sub>	%	27.0	27.0		52.0	48.0	34.0	26.0		48.0		36.0	31.0
<b>Caratteristiche fisiche</b>													
γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>	19.3	19.9					19.4	20.0	19.3	20.6	19.0	19.3
w <sub>N</sub>	%	27.9	26.9	20.1	42.3	19.3	16.7	29.6	18.1	29.4	21.8	33.1	27.5
<b>Resistenza drenata</b>													
(TD) c	kPa	23.0	18.0					6.0		26.0		7.0	9.0
(TD) f	°	22.0	25.0					23.0	32.0	20.0	33.0	16.0	24.0

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	46 di 227

<b>Sondaggio</b>	-	S7	S3	S5	S5	S5	PZ3	PZ7	S4	S4	S4	S7	S8	S8
<b>Campione</b>	-	Cl1	Cl3	Cl1	Cl2	Cl3	CR1	CR1	CR3	Cl1	Cl2	Cl2	Cl1	Cl2
<b>Tipo</b>	-	ind	ind	ind	ind	ind	rim	rim	rim	ind	ind	ind	ind	ind
<b>Unità</b>	-	7AL	5AL	7AL	7AL	7AL	5AL	7GS	7AL	6AL	7AL	7AL	7AL	7AL
<b>Prof.</b>	m	11.00	25.00	6.50	12.00	15.60	2.00	2.00	26.15	2.30	6.90	26.50	13.25	21.15

**Granulometria**

G	%	0.0	0.0	2.0	0.0	8.0	1.0	50.0	0.0	8.0	0.0	4.0	0.0	1.0
S	%	2.0	3.0	7.0	5.0	19.0	30.0	16.0	2.0	26.0	15.0	73.0	2.0	13.0
L + A	%	98.0	97.0	91.0	95.0	73.0	69.0	34.0	98.0	66.0	85.0	23.0	98.0	86.0
L	%	-	-	-	-	-	-	20.0	-	35.0	-	22.0	39.0	53.0
A	%	-	-	-	-	-	-	14.0	-	31.0	-	1.0	59.0	33.0

**Limiti di Atterberg**

W <sub>L</sub>	%	73.0	72.0	55.0	62.0	50.0	35.0	34.0	56.0	41.0	45.0		73.0	59.0
W <sub>P</sub>	%	33.0	28.0	30.0	29.0	24.0	19.0	20.0	23.0	21.0	24.0		29.0	26.0
I <sub>b</sub>	-	0.96	0.64	1.25	0.97	0.88	1.42	1.63	0.94	0.89	0.94		0.89	0.86
I <sub>p</sub>	%	40.0	44.0	25.0	33.0	26.0	16.0	14.0	33.0	20.0	21.0		44.0	33.0

**Caratteristiche fisiche**

γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>	18.6	17.8	20.2	19.2	19.3			20.1	19.8	20.2	20.1	18.7	19.1
w <sub>N</sub>	%	34.6	43.8	23.8	30.1	27.1	12.3	11.2	25.1	23.3	25.3	19.8	33.8	30.6

**Resistenza drenata**

(TD) c	kPa	11.0	4.0	28.0							15.0			
(TD) f	°	19.0	17.0	24.0							24.0			
(TX-CID) c	kPa								21.0				16.0	
(TX-CID) f	°								20.0				18.0	

(\* ) segue da pagina precedente

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA					
LOTTO 1: Ripalta - Lesina						
PROGETTO DEFINITIVO						
Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	47 di 227

## 5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Nel presente capitolo si riporta la caratterizzazione geotecnica generale del tracciato in esame, valutata sulla base dell'interpretazione di tutte le indagini geotecniche svolte in sito ed in laboratorio.

Dopo aver individuato le principali unità geotecniche intercettate lungo il tracciato, verranno interpretati i risultati delle indagini geotecniche sulla base dei criteri di seguito esposti e quindi verranno definiti i parametri geotecnici di progetto e la stratigrafia di riferimento sia lungo il tracciato, sia per le principali opere d'arte.

Nel profilo stratigrafico longitudinale sono riportati in forma grafica i risultati delle indagini e sono mostrate le correlazioni stratigrafiche con indicazione delle unità geotecniche intercettate; è anche indicato l'andamento del livello di falda massimo rilevato da letture piezometriche.

Il profilo stratigrafico verrà preso a riferimento per definire la stratigrafia di dettaglio lungo il tracciato ed in corrispondenza delle opere d'arte in progetto.

### 5.1 Definizione delle unità geotecniche intercettate

Di seguito si elencano le unità geotecniche individuate lungo il tracciato:

- **Terreno di riporto – Unità R:** si tratta dello spessore di terreno vegetale (Rv) costituito prevalentemente da limo sabbioso debolmente argilloso con resti vegetali e inclusi clasti e da terreno di riporto antropico (Ra) costituente il rilevato ferroviario esistente;
- **Depositi alluvionali recenti (unità geologica 5):** si tratta di terreni alluvionali che si possono distinguere in base alla composizione granulometrica in:
  - **Unità 5AL:** argille limose e limi argillosi con locali intercalazioni centimetriche di limi sabbiosi e/o di sabbie fini limose;
  - **Unità 5GS:** ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-arrotondate ad arrotondate, con matrice sabbiosa e sabbioso-limosa da scarsa ad abbondante;
  - **Unità 5S:** sabbie e sabbie limose.



- **Depositi alluvionali terrazzati (unità geologica 6) – Unità 6AL:** si tratta di argille limose e limi argillosi;
- **Conglomerati di Campomarino (unità geologica 7):** Si tratta di ghiaie e ciottoli arrotondati in matrice sabbioso-limosa, a luoghi debolmente argillosa di colore marrone chiaro, da poco a moderatamente cementata, a luoghi intercalata a sabbie debolmente addensate ed argille limose giallo-verdastre. Si distinguono tre diverse facies:
  - **Unità 7GS:** conglomerati poligenici ed eterometrici, ad elementi prevalentemente arenacei e calcareo-marnosi da sub-angolosi ad arrotondati, con matrice sabbiosa e sabbioso-limosa da scarsa ad abbondante.
  - **Unità 7S:** sabbie e sabbie limose.
  - **Unità 7AL:** argille limose e limi argillosi.
- **Sabbie di Serracapriola (unità geologica 8):** sabbie medio-fini di colore giallastro e rossastro, prevalentemente quarzose e a grado di cementazione variabile (**Unità 8S**). Talvolta sono presenti lenti di conglomerati grossolani ad elementi prevalentemente arenacei e calcareo-marnosi, da poco a discretamente cementati (denominati **Unità 8GS**).
- **Argille subappenniniche (unità geologica 9) – Unità 9AL:** si tratta di argille limose e limi argillosi di colore grigio e grigio-azzurro, con frequenti intercalazioni di argille marnose, limi sabbiosi e talvolta di sabbie fini.

## 5.2 Criteri di interpretazione delle indagini geotecniche

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

- prove penetrometriche dinamiche SPT eseguite nei fori di sondaggio;
- prove penetrometriche statiche CPT;
- prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati e rimaneggiati;
- indagini sismiche (prove Down-Hole, Cross-Hole, RE.MI).



LINEA PESCARA - BARI  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
 LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	49 di 227

### 5.2.1 Depositi incoerenti

Per i depositi prevalentemente incoerenti, i parametri geotecnici di resistenza al taglio e di deformabilità sono stati stimati principalmente sulla base dell'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT e poi anche tarati dai risultati dell'interpretazione delle prove penetrometriche statiche CPT, ove disponibili.

Per quanto riguarda la stima della densità relativa dalle prove SPT, sono stati considerati i valori minimi di densità relativa ottenuti dalle varie correlazioni che di seguito vengono espone.

#### Stato di addensamento

#### **Correlazione di Skempton**

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 seguente

$\sigma'_{vo}$  = pressione verticale efficace 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 18. 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	$(21,7+27,5) \cdot \frac{1+2 \cdot (ko)_{sc}}{1+2 \cdot (ko)_{nc}}$

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



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	50 di 227

### 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:

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

### Correlazione di Bazaraa

In accordo a quanto indicato da Bazaraa (1967) la densità relativa  $D_R$  può essere correlata al valore  $N_{SPT}$  con la seguente espressione:

$$D_R = \sqrt{\frac{N_{SPT}}{20 \cdot (1 + 4.1 \cdot \sigma_{vo}')}}} \quad \text{per } \sigma_{vo}' \leq 0.732 \text{ kg/cm}^2$$

$$D_R = \sqrt{\frac{N_{SPT}}{20 \cdot (3.24 + 1.024 \cdot \sigma_{vo}')}}} \quad \text{per } \sigma_{vo}' > 0.732 \text{ kg/cm}^2$$

essendo:

$D_R$  = densità relativa (-).

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

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

### Correlazione di Terzaghi & Peck

In accordo a quanto indicato da Terzaghi e Peck (1948) la densità relativa  $D_R$  può essere correlata al valore  $N_{SPT}$  con la seguente espressione:

$$D_R = (10.297 + N_{SPT}^{2.4142}) - (N_{SPT})^2 \cdot 0.0181$$

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	51 di 227

Dalle prove CPT, la densità relativa viene stimata sulla base della correlazione proposta da Jamiolkowskj et al. 1985 in funzione della resistenza penetrometrica alla punta.

### Parametri di resistenza

Per la stima dell'angolo di resistenza al taglio dalle prove SPT sono state utilizzate due diverse correlazioni (Bolton; Schmertmann) di seguito illustrate. Generalmente, la correlazione di Bolton ha sempre fornito valori dell'angolo di resistenza al taglio inferiori, rispetto alla correlazione di Schmertmann per tutte le unità geotecniche in esame. Cautelativamente per la definizione dei parametri di resistenza di progetto si è fatto riferimento ai valori minimi ottenuti dalle correlazioni.

### **Correlazione di Schmertmann**

L'angolo di resistenza al taglio ( $\varphi'$ ) stimato dalle prove SPT in base alla correlazione proposta da Schmertmann (1977) correla l'angolo di resistenza al taglio alla densità relativa attraverso la seguente relazione:

$$\varphi = 38.5 + 0.108 \cdot D_R \quad \text{valida per sabbia e ghiaia poco limosa e ghiaietto uniforme}$$

$$\varphi = 34.5 + 0.10 \cdot D_R \quad \text{sabbia grossa-media uniformemente ben gradata}$$

$$\varphi = 31.5 + 0.115 \cdot D_R \quad \text{sabbia medio-fine uniformemente ben gradata}$$

$$\varphi = 28.0 + 0.14 \cdot D_R \quad \text{sabbia fine uniforme}$$

essendo:  $D_r$  = densità relativa

Nel caso in esame si è considerata, cautelativamente per le unità incoerenti GS la correlazione valida per sabbia medio-fine uniformemente ben gradata e per le unità S la correlazione per sabbia fine uniforme.

### **Correlazione di Bolton**

L'angolo di resistenza al taglio di picco  $\varphi'$  è stato determinato in accordo al metodo proposto da Bolton (1986):

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

$$DI = D_r \cdot [Q - \ln(p'_f)] - 1$$

essendo:

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA <b>LI00</b>	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

$\phi' =$  angolo di attrito di picco riferito a pressioni di 272 kPa ( $^{\circ}$ );

Q = fattore che dipende dalla composizione minereologica e dalla forma delle particelle di sabbia, valore consigliato = 10;

$p_f' = 1.4 \cdot \sigma_{ff}'$  kPa (vedasi Jamiokowski et al., 1988; in accordo a quanto proposto da Baligh, 1975, si assume  $p_f' = 1.4 \cdot 272 = 380$  kPa);

m = costante empirica dipendente dalle condizioni di deformazione prevalenti (vedasi tabella seguente ( $^{\circ}$ )). Nel nostro caso si assume m=3;

Dr = densità relativa (-).

**Tabella 19 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
$\sigma_2'$ = tensione principale efficace intermedia $\sigma_3'$ = tensione principale efficace minore	

I valori dell'angolo di attrito  $\phi_{cv}'$  sono stati ricavati in base a quanto indicato nella tabella seguente (Youd, 1972; Stroud, 1988) e sulla base delle prove di taglio diretto in laboratorio eseguite sui campioni prelevati. Nel caso specifico per l'angolo di attrito  $\phi_{cv}'$  si è assunto, cautelativamente:

$\phi_{cv}' = 33^{\circ}$  per le sabbie con ghiaia (unità GS);

$\phi_{cv}' = 30^{\circ}$  per le sabbie (unità S).

**Tabella 20 Valori dell'angolo di attrito  $\phi_{cv}'$  per sabbie silicee secondo quanto riportato in Stroud (1988) e Youd (1972)**

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

Dalle prove CPT, la resistenza al taglio per depositi incoerenti può essere stimata dalla correlazione di Dorgunoglu & Mitchell 1975 in funzione della resistenza penetrometrica e della tensione efficace in sito.



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	53 di 227

### Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi incoerenti possono essere stimate, in ordine di importanza:

- sulla base dei risultati delle indagini sismiche in sito (prove Down-Hole, Cross-Hole);
- dall'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

Il modulo di taglio iniziale ( $G_0$ ) e quello di Young iniziale ( $E_0$ ), associabili a piccole deformazioni, possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) utilizzando le seguenti correlazioni:

$$G_o = \frac{\gamma_t}{9.81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

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

essendo:

$\gamma_t$  = peso di volume naturale del terreno in assunto pari a  $19 \text{ kN/m}^3$ ;

$\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno (assunto pari a 0.3);

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

La velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) può essere ricavata direttamente dai risultati delle prove geofisiche in foro di sondaggio o indirettamente, interpretando i risultati delle prove SPT attraverso la correlazione di Ohta e Goto (1978) o la correlazione di Yoshida e al. (1988).

### **Correlazione di Ohta e Goto (1978)**

$$V_s = C \cdot (N_{SPT} )_{50\%}^{0.171} \cdot (z)^{0.199} \cdot f_A \cdot f_G \quad (\text{m/sec})$$

essendo:

$C = 53.3$ ;

$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$f_A$  = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito (vedasi la Tabella 21);

$f_G$  = coefficiente funzione della composizione granulometrica (vedasi la Tabella 22).

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA <b>LI00</b>	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

**Tabella 21 Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente  $f_A$  (funzione dell'epoca geologica del deposito)**

$f_A$	<b>Olocene</b>	<b>Pleistocene</b>
	1,0	1,3

**Tabella 22 Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente  $f_G$  (funzione della granulometrica del deposito)**

$f_G$	<b>Ghiaie</b>	<b>Sabbie ghiaiose</b>	<b>Sabbie grosse</b>	<b>Sabbie medie</b>	<b>Sabbie fini</b>
	1,45	1,15	1,14	1,07	1,09

Nel caso in esame è stato assunto:

$$f_A = 1.3;$$

$$f_G = 1.15 \text{ per le sabbie con ghiaia, } f_G = 1.09 \text{ per le sabbie.}$$

### **Correlazione di Yoshida et al. (1988)**

$$v_s = C \cdot (N_{SPT})^{0.25} \cdot (\sigma'_v)^{0.14} \quad (\text{m/sec})$$

essendo:

C=49 per sabbie fini ;

C=56 per sabbie grosse con almeno il 25% di ghiaia;

C=60 per 50% di ghiaia;

$\sigma'_{vo}$  = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova.

I moduli di deformabilità “operativi” ( $E'$ ) da adottare per il calcolo delle deformazioni/cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni, saranno assunti pari a 1/5 di quello iniziale ( $E_0$ ).

Nel caso di valutazione di cedimenti di rilevati, i moduli elastici “operativi” saranno assunti pari a 1/10 di quello iniziale ( $E_{op}' = E_0/10$ ).



	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA <b>LI00</b>	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

### 5.2.2 Depositi coesivi

Per i depositi coesivi la caratterizzazione geotecnica è stata fatta oltre che dall'interpretazione delle prove in sito, anche dai risultati delle prove di laboratorio.

#### Classificazione

La classificazione di questi terreni avverrà essenzialmente sui risultati delle seguenti prove di laboratorio:

- Analisi granulometriche;
- pesi di volume naturale e secco;
- contenuti d'acqua naturale;
- limiti di Atterberg.

#### Caratteristiche di resistenza

Per la determinazione delle caratteristiche di resistenza dei depositi coesivi ci si è basati principalmente sui risultati delle prove di laboratorio che sono essenzialmente prove:

- Taglio diretto e prove triassiali per la resistenza in tensioni efficaci;
- Triassiale non consolidata non drenata (TXUU) e prova di compressione assiale semplice (ELL) per la resistenza in condizioni non drenate.

I risultati delle prove di laboratorio sono stati anche stimati con i valori ottenuti dall'interpretazione delle prove penetrometriche statiche CPT. La resistenza al taglio in condizioni drenate è stata stimata con la carta di classificazione e di interpretazione di Searle (1979) e la resistenza al taglio in condizioni non drenate sulla base della seguente relazione:  $c_u = (q_c - \sigma_v) / 15$ .

La resistenza al taglio in condizioni non drenate è stata valutata anche dalle prove speditive di Pocket Penetrometer (PP) e delle prove penetrometriche dinamiche SPT in base alla seguente correlazione di Stroud (1974):

$$c_u \cong (5.0 \div 5.5) \cdot N_{SPT} \quad (\text{kPa})$$

I valori sono stati poi riportati nello stesso grafico, con indicato anche l'andamento della resistenza al taglio per un terreno normal consolidato ricavato dalla seguente relazione:  $c_{uNC} = 0.23 \cdot \sigma'_v$ .

### Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi coesivi possono essere stimati:

- sulla base dei risultati delle indagini sismiche in sito (prove Down-Hole, Cross-Hole);
- dalle prove edometriche di laboratorio;
- da correlazioni di letteratura.

Per quanto concerne le prove sismiche in sito, le caratteristiche di deformabilità vengono individuate con le stesse relazioni precedentemente indicate per i terreni incoerenti. Questi valori sono stati confrontati poi con i risultati derivanti dalle correlazioni per l'interpretazione delle prove in sito SPT e CPT.

Il valore del modulo di deformazione elastico ( $E'_v$ ) per terreni coesivi sovraconsolidati può anche essere stimato con la seguente correlazione (Stroud, 1974):

$$E'_v = 130 \cdot cu = 130 \cdot f_1 \cdot N \quad [\text{kPa}]$$

Dove:

$E'_v$  = modulo di deformazione operativo (kPa)

$cu$  = resistenza al taglio non drenata (kPa);

$f_1$  = fattore in funzione dell'indice di plasticità IP, (vedasi figura seguente), assunto pari a 5;

$N$  = valori di  $N_{SPT}$ .

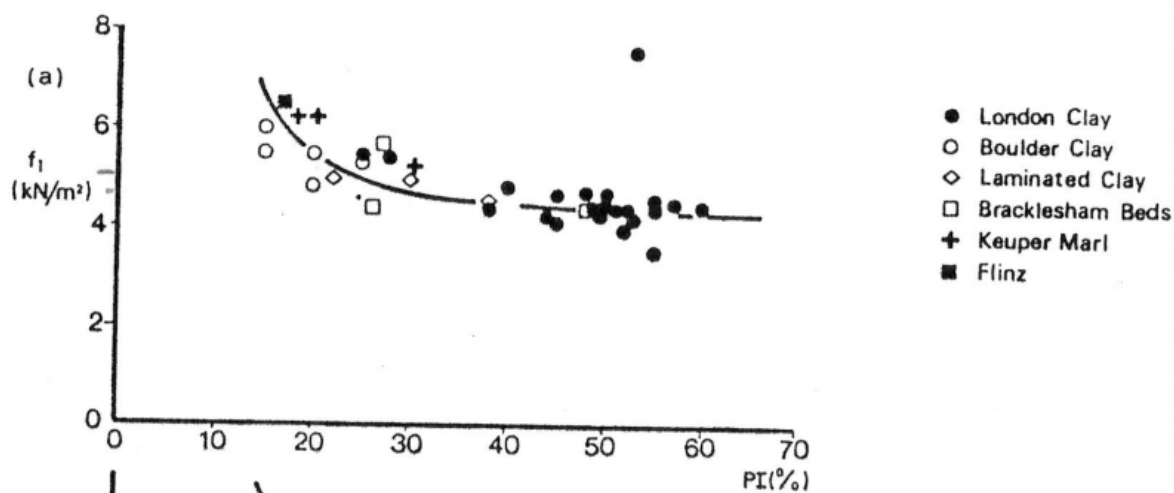


Figura 13 – Fattore  $f_1$  in funzione di IP

Sulla base di quanto riportato in Simpson et al. (1979) il modulo di taglio iniziale ( $G_0$ ) può essere stimato anche sulla base della seguente equazione:

$$G_0 = (500 \div 700) \cdot c_u \text{ (kPa)}$$

essendo:

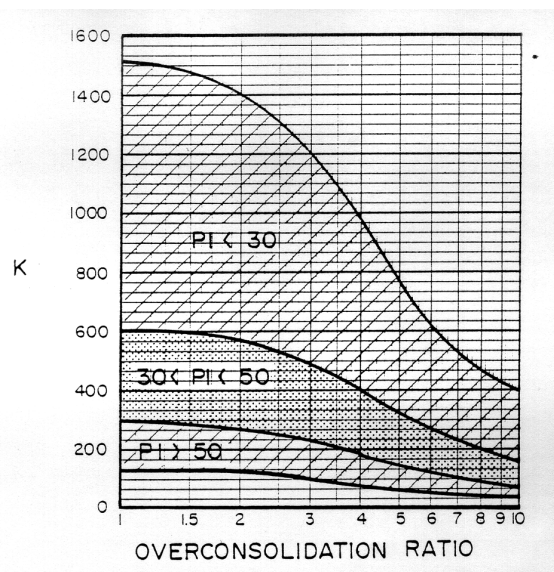
$c_u$  = resistenza al taglio non drenata.

Il modulo di deformazione a taglio iniziale può inoltre essere stimato dai risultati delle prove CPT con la correlazione di Mayne e Rix (1993).

I moduli di deformabilità “operativi” ( $E'$ ) da adottare per il calcolo delle deformazioni/cedimenti delle opere di sostegno e delle fondazioni, saranno assunti pari a 1/5 di quello iniziale ( $E_0$ ).

Nel caso di valutazione di cedimenti di rilevati, i moduli elastici “operativi” saranno assunti pari a 1/10 di quello iniziale.

Nella valutazione dei cedimenti immediati dei rilevati il modulo di deformazione in condizioni non drenate ( $E_u$ ) può essere stimato sulla base della correlazione empirica proposta da Duncan & Buchignani (1976)  $E_u = k \cdot c_u$ ; il coefficiente  $k$  è valutato con il grafico di figura seguente.



**Figura 14 – Duncan & Buchignani**

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	58 di 227

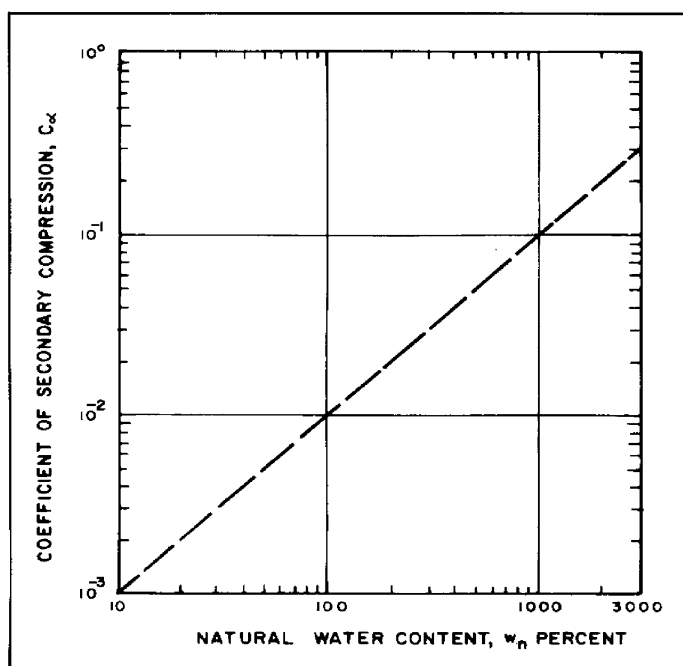
### Caratteristiche di consolidazione

I valori del coefficiente di consolidazione primaria verticale sono stati determinati dalle prove edometriche di laboratorio e con correlazioni empiriche in funzione del limite liquido (LL), vedasi ad esempio le seguenti:

$$c_v = \exp [-10.552 + (164.074/LL)] \quad [\text{cm}^2/\text{s}]$$

$$c_v = 0.009 (LL - 0.1) \quad [\text{cm}^2/\text{s}] \text{ NAVFAC-DM 7.1. (1971)}$$

Il coefficiente di consolidazione secondaria, è stato stimato con la correlazione proposta nel NAVFAC-DM 7.1 (1982, vedasi figura seguente), in funzione del contenuto naturale di acqua ( $w_n$ ).



**Figura 15 – Abaco di calcolo del coefficiente di consolidazione secondaria da  $w_n$  (NAVFAC, 1982)**

Nei paragrafi che seguono verranno riportati a confronto per le varie unità geotecniche tutti i risultati delle prove in sito e dell'interpretazione delle prove eseguite.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	59 di 227

### 5.3 Depositi alluvionali recenti – Unità 5AL (Argille limose e limi argillosi)

Si tratta di argille limose e limi argillosi, ascrivibili a depositi di piana inondabile, lago di meandro e canale in fase di abbandono.

Lo spessore del deposito nella parte iniziale del tracciato è circa 3-4 m, poi aumenta fino alle massime profondità indagate tra le progressive chilometriche 1+500 e 4+000 circa.

In corrispondenza di questa unità sono disponibili prove SPT che hanno dato valori compresi fra 10 e 25 colpi/30 cm (vedasi Figura 16).

Nell'unità geotecnica in esame sono stati prelevati sia campioni rimaneggiati sia campioni indisturbati, su cui sono state eseguite prove di laboratorio.

Il peso di volume naturale è compreso mediamente fra 17.5 e 19.5 kN/m<sup>3</sup> (vedasi Figura 17).

Dalle analisi granulometriche si ha (vedasi Figura 18):

- percentuale di ghiaia generalmente compresa fra 0 e 5%;
- percentuale di sabbia generalmente compresa fra 0 e 25%;
- percentuale di fine (limo+argilla) generalmente maggiore di 44% con percentuale di limo compresa fra 20 e 64% e percentuale di argilla compresa fra 23 e 70%.

Il contenuto naturale d'acqua è compreso fra 12 e 45% (media 34%) (vedasi Figura 20).

Il limite liquido è compreso fra 27 e 85% (media 55%), il limite plastico tra 19 e 37%, l'indice plastico fra 7 e 52% (media 27%) (vedasi Figura 20 e Figura 21).

Dalle prove penetrometriche statiche CPT1, 2, 3 si osservano valori di resistenza alla punta penetrometrica (qc) compresi tra 1.5 e 2 MPa. In corrispondenza del viadotto Ripalta le prove CPT PEIA33V01, PNIA33V08, PNIA33V06 mostrano valori generalmente più bassi delle altre prove (PUIA33V02, PUIA33V03, PEIA33V04, PEIA33V05, PEIA33V07, PUIA33V012); in generale fino a 7 m di profondità dal p.c. si osservano valori di resistenza alla punta penetrometrica (qc) pari a circa 1.5÷1.7 MPa, poi le prove PEIA33V01, PNIA33V08,

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	60 di 227

PNIA33V06 mostrano valori compresi tra 1÷1.6 MPa mentre nelle altre CPT si osserva un aumento graduale della resistenza qc con la profondità (1.7÷3 MPa).

Nella Figura 32 è mostrato il coefficiente di consolidazione verticale ottenuto dalle prove di laboratorio.

#### Parametri di resistenza:

Dalle analisi di laboratorio eseguite sui campioni prelevati si sono ottenuti i seguenti valori dei parametri di resistenza (vedasi Figura 22, Figura 23, Figura 24, Figura 25):

$c' = 0 \div 25$  kPa      coesione drenata

$\phi' = 17 \div 34.5$  °      angolo di resistenza al taglio

$c_u = 19.5 - 140$  kPa resistenza al taglio in condizioni non drenate

In corrispondenza dei campioni indisturbati sono state eseguite prove di Pocket Penetrometer sulle carote prelevate, che hanno fornito valori di resistenza al taglio non drenata generalmente compresi tra 40 e 150 kPa.

I parametri di resistenza risultanti dalle prove CPT sono in linea con quelli ottenuti dalle prove di laboratorio (vedasi Figura 26, Figura 27).

#### Parametri di deformabilità:

I parametri di deformazione sono stati stimati principalmente dai risultati delle indagini sismiche Down-Hole (DHIA33V07, DH-S3) e Cross-Hole CHIA33V14-CHIA33V15 (Figura 28, Figura 29) ed in secondo luogo dall'interpretazione dei risultati delle prove CPT (Figura 30). Per l'unità in esame si stima:

$V_s = 150 \div 250$  m/s      velocità delle onde di taglio

$G_0 = 45 \div 125$  MPa      modulo di deformazione a taglio iniziale

$E_0 = 90 \div 400$  MPa      modulo di deformazione elastico iniziale

Questi valori del modulo di deformazione elastico iniziale sono in linea con la stima di  $E_0$  dalle prove CPT.

Inoltre dalle prove CPT si stimano valori del modulo di deformazione elastico operativo compresi tra 6 e 20 MPa (Figura 31).

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	61 di 227

#### Caratteristiche di permeabilità:

In corrispondenza dell'unità è disponibile una prova di permeabilità tipo Lefranc, che ha dato un valore di permeabilità di  $2.74E-07$  m/s. Dalle prove di dissipazione (prove CPTU PUIA33V03, PUIA33V12) si sono ottenuti valori di permeabilità compresi tra  $2E-8$  e  $4E-10$  m/s (quindi il deposito è caratterizzato da permeabilità bassa) (Figura 86).

#### **5.4 Depositi alluvionali recenti – Unità 5S e Unità 5GS**

Intercalati al deposito alluvionale coesivo, si rinvengono strati/lenti alluvionali sabbiose fini (**Unità 5S**) e talvolta, ma in subordine, ghiaioso sabbiose (**Unità 5GS**).

Nella facies sabbiosa (Unità 5S) sono state eseguite prove SPT che hanno dato valori compresi fra 3 e 22 colpi/30 cm, ad indicare basso addensamento del materiale; non si hanno prove sull'unità più grossolana.

La densità relativa stimata dalle prove SPT è compresa fra 20 e 45% (vedasi Figura 33).

Nell'unità 5S sono stati prelevati alcuni campioni rimaneggiati ed indisturbati (dove la maggior frazione fine ha permesso il campionamento), su cui sono state eseguite prove di laboratorio.

Il peso di volume naturale è compreso fra  $19.3$  e  $20$  kN/m<sup>3</sup>.

Dalle analisi granulometriche sull'unità coesiva 5S si ha:

- percentuale di ghiaia compresa fra 0 e 2%;
- percentuale di sabbia compresa fra 40 e 86%;
- percentuale di fine (limo+argilla) compresa tra 12% e 60 con percentuale di limo compresa fra 11 e 41% e percentuale di argilla compresa fra 1 e 19%.

Dalle prove penetrometriche statiche CPT eseguite in corrispondenza dell'unità in esame (CPT2, CPT3, PEIA33V08, PUIA33V12, PEIA33V07, PEIA33V06, PEIA33V04, PUIA33V02, PEIA33V01), si osservano valori di qc compresi tra 3.5 e 8 MPa.



	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	62 di 227

#### Parametri di resistenza:

In laboratorio sono disponibili i risultati di tre prove di taglio diretto sull'unità 5S che hanno fornito i seguenti valori ( )

$$c' = 0 \text{ kPa} \quad \text{coesione drenata}$$

$$\varphi' = 30.5 \div 33.4^\circ \quad \text{angolo di resistenza al taglio}$$

Dall'interpretazione dei risultati delle prove SPT sull'unità 5S si stimano valori dell'angolo di resistenza al taglio di  $30 \div 33^\circ$  (Figura 34), coerenti con i valori derivanti dalle prove CPT (tra  $28$  e  $33^\circ$ ) (Figura 35).

#### Parametri di deformabilità:

Dalle indagini sismiche Down-Hole eseguite in corrispondenza dell'unità 5S (prova DH-S3 tra 9 e 14 e tra 16 e 22 m di profondità da p.c.), si hanno valori di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) comprese fra 260 e 280 m/s (vedasi Figura 36), in linea con i risultati derivanti dall'interpretazione delle prove SPT da cui si ottengono valori delle velocità tra 150 e 250 m/s. Da cui vengono poi individuati i moduli di deformabilità, a taglio iniziale  $G_0$  ed elastico iniziale (a basse deformazioni) (vedasi Figura 37, Figura 38):

$$G_0 = 45 \div 170 \text{ MPa} \quad \text{modulo di deformazione a taglio iniziale}$$

$$E_0 = 110 \div 450 \text{ MPa} \quad \text{modulo di deformazione elastico iniziale}$$

Per l'unità 5GS si hanno valori di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) pari a 330 m/s, da cui si stima:

$$G_0 = 200 \text{ MPa} \quad \text{modulo di deformazione a taglio iniziale}$$

$$E_0 = 550 \text{ MPa} \quad \text{modulo di deformazione elastico iniziale}$$

#### Caratteristiche di permeabilità:

In corrispondenza dell'unità sono disponibili prove di permeabilità tipo Lefranc, che hanno dato valori di permeabilità generalmente compresi tra  $9.9E-06$  m/s e  $2E-05$  m/s ad indicare una permeabilità alta per il deposito prettamente sabbioso e media per il deposito sabbioso limoso (Figura 86).

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	63 di 227

### 5.5 Depositi alluvionali terrazzati – Unità 6AL (Argille limose e limi argillosi)

Tale unità è stata intercettata nei sondaggi S6, S5, S4, PNIA33V17 e prova penetrometrica CPT4 nei primi 2-7 metri di profondità dal p.c. Si tratta di un deposito coesivo argilloso limoso consistente.

Le prove SPT hanno fornito valori compresi tra 20 e 32 colpi/30 cm (vedasi Figura 39).

In corrispondenza dei terreni in esame sono stati prelevati 2 campioni indisturbati e 1 campione rimaneggiato, su cui sono state eseguite prove di laboratorio.

Dalle analisi granulometriche l'unità è costituita da (vedasi Figura 40):

- percentuale di ghiaia da 1.9 a 13%;
- percentuale di sabbia da 13.6 a 26%;
- percentuale di fine (limo + argilla) da 66 a 84.5%, di cui argilla tra 31 e 53% e limo tra 14 e 34.4%.

Per l'unità il limite liquido è compreso fra 41 e 71%; il limite plastico è tra 21 e 23%; il contenuto naturale d'acqua è tra 19 e 23% (Figura 41). L'indice di plasticità è tra 20 e 48% (Figura 42).

In corrispondenza dell'unità è stata eseguita una prova CPT (CPT4) da cui si ricavano valori di  $q_c$  compresi tra 3 e 5 MPa.

Il peso di volume naturale derivante da laboratorio è circa  $20 \text{ kN/m}^3$ , in linea con quanto stimato da prova CPT (vedasi Figura 45).

#### Parametri di resistenza:

In laboratorio sono disponibili i risultati di una prova a taglio diretto che ha fornito i seguenti valori:

$$c' = 28.7 \text{ kPa} \quad \text{coesione drenata}$$

$$\varphi' = 20.3^\circ \quad \text{angolo di resistenza al taglio}$$

In Figura 46 sono riportati i valori della resistenza al taglio non drenata derivante da prove Pocket Penetrometer e confrontata con i valori derivanti da prove CPT e SPT; da cui si hanno valori compresi tra 100 e 350 kPa.

Nel grafico di Searle il materiale si colloca nella zona delle argille limose debolmente sabbiose e limi argillosi, con valori di angolo di resistenza al taglio compresi tra  $23$  e  $28^\circ$  (vedasi Figura 43).

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	64 di 227

#### Parametri di deformabilità:

Per l'unità in esame non si hanno a disposizione indagini sismiche, quindi le caratteristiche di deformazione sono state stimate dalle correlazioni in base alle prove SPT. Da cui si stimano valori del modulo elastico di deformazione iniziale compresi fra 200 e 350 MPa.

Il modulo elastico di deformazione confinato stimato da prove CPT e laboratorio (edometriche) è riportato in Figura 47, da cui si stimano valori compresi tra 10 e 22 MPa.

#### Caratteristiche di permeabilità:

In corrispondenza dell'unità è disponibile una prova di permeabilità da prove edometriche di laboratorio che ha dato un valore di permeabilità bassa, pari a  $1.90E-11$  m/s (Figura 86)..

### **5.6 Conglomerati di Campomarino – Unità 7AL (Argille limose e limi argillosi)**

Si tratta di argille limose e limi argillosi, con locali intercalazioni di sabbie limose. Sono stati intercettati nel primo tratto del tracciato, fino alla progressiva chilometrica 0+500, e nell'ultimo tratto dopo il viadotto Ripalta, dalla progressiva 3+900 fino alla fine del lotto in esame. Le indagini che lo hanno intercettato sono i sondaggi S4, S5, S6, S7, S8 e le prove penetrometriche statiche PEIA33V09, PUIA33V10.

In corrispondenza di questa unità sono disponibili prove SPT che hanno dato valori generalmente compresi fra 16 e 37 colpi/30 cm (Figura 49).

Nell'unità geotecnica in esame sono stati prelevati campioni indisturbati, su cui sono state eseguite prove di laboratorio.

Il peso di volume naturale è compreso mediamente fra 18.6 e 20.1 kN/m<sup>3</sup> (media 19.5 kN/m<sup>3</sup>) (Figura 52).

Dalle analisi granulometriche si ha (Figura 50):

- percentuale di ghiaia generalmente compresa fra 0 e 16% (media 2.5 %);
- percentuale di sabbia generalmente compresa fra 2 e 23% (media 9 %)



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	65 di 227

- percentuale di fine (limo+argilla) generalmente compresa fra 61 e 98% (media 88 %) con percentuale di limo compresa fra 22 e 56% (media 44 %) e percentuale di argilla compresa fra 23 e 59% (media 44 %).

Il contenuto naturale d'acqua è compreso fra 20 e 34% (media 28 %).

Il limite liquido è compreso fra 45 e 74% (media 59 %), il limite plastico tra 22 e 33% (media 26 %), l'indice plastico fra 21 e 48% (media 33 %) (Figura 53).

#### Parametri di resistenza:

Dalle analisi di laboratorio eseguite sui campioni prelevati si sono ottenuti i seguenti valori dei parametri di resistenza (Figura 55, Figura 56, Figura 57):

$$c' = 7 \div 28 \text{ kPa} \quad \text{coesione drenata}$$
$$\phi' = 16 \div 25^\circ \quad \text{angolo di resistenza al taglio}$$

Dall'interpretazione delle prove SPT e dalle prove Pocket Penetrometer si stimano valori di resistenza al taglio non drenata compresi tra 75 e 350 kPa (Figura 63, Figura 64).

Nel grafico di Searle il materiale si colloca nella zona delle argille limose debolmente sabbiose e limi argillosi, con valori di angolo di resistenza al taglio compresi tra 23 e 28° (vedasi Figura 58).

#### Parametri di deformabilità:

Dalle indagini sismiche Down-Hole eseguite in corrispondenza dell'unità in esame (prova DH-S7 per profondità minori di 2 m dal p.c., tra 10 e 12 m dal p.c. e per profondità maggiori di 22 m dal p.c.; prova DH-S1 per profondità maggiori di 26 m dal p.c.) si hanno valori di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) comprese fra 300 e 400 m/s (vedasi Figura 60), in linea con i valori stimati dall'interpretazione delle prove SPT da cui si ottengono valori delle velocità tra 100 e 600 m/s. Da cui vengono poi individuati i moduli di deformabilità a taglio iniziale  $G_0$  ed elastico iniziale (a basse deformazioni) (vedasi Figura 61):

$$G_0 = 100 \div 320 \text{ MPa} \quad \text{modulo di deformazione a taglio iniziale}$$
$$E_0 = 200 \div 800 \text{ MPa} \quad \text{modulo di deformazione elastico iniziale}$$

I valori del modulo operativo stimato da prove SPT sono mediamente compresi fra 10 e 60 MPa (vedasi Figura 62), mentre quelli stimati da prove CPT sono compresi tra 25-27 MPa.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA <b>LI00</b>	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

#### Caratteristiche di permeabilità:

In corrispondenza dell'unità sono disponibili prove di permeabilità tipo Lefranc, che hanno dato valori di permeabilità medio-bassa compresi tra  $5.41E-09$  e  $1.68E-06$  m/s (Figura 86).

### **5.7 Conglomerati di Campomarino – Unità 7S (Sabbia, sabbia limosa)**

Si tratta di sabbie e sabbie limose. Sono stati intercettati nel primo tratto del tracciato, fino alla progressiva chilometrica 24+700, e nell'ultimo tratto dopo il viadotto Ripalta, dalla progressiva 28+100 fino alla fine del lotto in esame.

Le prove SPT hanno fornito valori tra 32 e 100 colpi/30 cm (Figura 49).

Le prove penetrometriche statiche (CPT1, PEIA33V09, PUIA33V10) mostrato valori di resistenza alla punta ( $q_c$ ) tra 6 e 14 MPa.

Sono disponibili due campioni su cui sono state eseguite prove di laboratorio.

Il peso di volume naturale è  $20.5 \text{ kN/m}^3$  (Figura 52)..

Dalle analisi granulometriche si ha (Figura 51):

- percentuale di ghiaia: 1%
- percentuale di sabbia generalmente compresa fra 88 e 89%;
- percentuale di fine (limo+argilla) generalmente compresa fra 10 e 11% con percentuale di limo del 10% e percentuale di argilla compresa fra 0 e 1%.

#### Parametri di resistenza:

Dall'interpretazione delle prove SPT si stimano valori dell'angolo di resistenza al taglio tra  $33$  e  $37^\circ$  (Figura 66).

In laboratorio sono disponibili i risultati di una prova a taglio diretto (sondaggio S2) che ha fornito i seguenti valori Figura 70:

$$c' = 0 \text{ kPa} \quad \text{coesione drenata}$$

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	67 di 227

$\phi' = 33^\circ$       angolo di resistenza al taglio

#### Parametri di defomazione:

Dalle indagini sismiche eseguite in corrispondenza dell'unità in esame (prova CH-V01 e prova DH-S7 per profondità tra 13 e 22 m) si hanno valori di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) comprese fra 200 e 500 m/s, maggiori di quelli che si ottengono dall'interpretazione dei risultati delle prove SPT (200÷350 m/s) (vedasi Figura 67). Da cui si stimano (vedasi Figura 68, Figura 69):

$G_0 = 80 \div 240 \text{ MPa}$       modulo di deformazione a taglio iniziale

$E_0 = 200 \div 600 \text{ MPa}$       modulo di deformazione elastico iniziale

#### Caratteristiche di permeabilità:

In corrispondenza dell'unità sono disponibili prove di permeabilità tipo Lefranc, che hanno dato valori di permeabilità compresi tra  $6.90E-09$  e  $6.10E-06$  m/s (Figura 86).

### **5.8 Conglomerati di Campomarino – Unità 7GS (Ghiaia sabbiosa)**

Si tratta di conglomerati poligenici ed eterometrici, ad elementi prevalentemente arenacei e calcareo-marnosi da sub-angolosi ad arrotondati, con matrice sabbiosa e sabbioso-limosa da scarsa ad abbondante. Sono stati intercettati nel primo tratto del tracciato fino alla progressiva 0+500, con spessori di 4-7 m, in corrispondenza del viadotto Ripalta dal km 3+050 circa, con spessore crescente da 13 a 35 m.

Le prove CPT sono andate a rifiuto appena intercettata l'unità.

Le prove SPT hanno fornito valori tra 43 e 100 colpi/30 cm (Figura 49)..

#### Parametri di resistenza:

I valori dei parametri di resistenza sono stimati dall'interpretazione delle prove SPT, da cui si stimano valori dell'angolo di resistenza al taglio compresi tra  $37$  e  $40^\circ$  (Figura 66).

#### Parametri di defomazione:



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	68 di 227

Dalle indagini sismiche eseguite in corrispondenza dell'unità in esame (prova DH-S1 per profondità tra 4 e 17 m, prova CH-V01 per profondità tra 10 e 35 m e prova DH-S7 per profondità tra 3 e 10 m) si hanno valori di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) comprese fra 250 e 500 m/s, maggiori di quelli che si ottengono dall'interpretazione dei risultati delle prove SPT (200÷400 m/s) (vedasi Figura 68, Figura 69). Da cui si stimano:

$G_0 = 120\div 300$  MPa          modulo di deformazione a taglio iniziale

$E_0 = 300\div 800$  MPa          modulo di deformazione elastico iniziale

#### Caratteristiche di permeabilità:

In corrispondenza dell'unità sono disponibili prove di permeabilità tipo Lefranc, che hanno fornito valori di permeabilità compresi tra  $6.15E-8$  m/s e  $2.97E-5$  m/s (Figura 86).

### **5.9 Sabbie di Serracapriola – Unità 8**

Si tratta di sabbie medio-fini di colore giallastro e rossastro, prevalentemente quarzose e a grado di cementazione variabile (**Unità 8S**): Talvolta sono presenti lenti di conglomerati grossolani ad elementi prevalentemente arenacei e calcareo-marnosi, da poco a discretamente cementati (**Unità 8GS**).

L'unità in esame è presente dalla progressiva 0+500 fino alla progressiva 3+000, in particolare il sondaggio DHIA30P01 intercetta l'unità S tra 17 e 21 m dal p.c., mentre il sondaggio CHIA33V15-CHIA33V14 intercetta l'unità GS tra 48 e 53 m dal p.c.

Nell'unità 8S sono state eseguite prove SPT che hanno dato valori compresi fra 23 e 27 colpi/30 cm, mentre nell'unità 8GS si ha un solo valore, a rifiuto (vedasi Figura 71).

La densità relativa stimata dalle prove SPT è maggiore del 50% (vedasi Figura 72).

#### Parametri di resistenza:

I valori dei parametri di resistenza sono stimati dall'interpretazione delle prove SPT, da cui si stimano valori dell'angolo di resistenza al taglio pari a  $34^\circ$  per l'unità 8S e valori pari a  $38^\circ$  per l'unità 8GS (Figura 73).



	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	69 di 227

#### Parametri di deformazione:

Dalle indagini sismiche eseguite in corrispondenza dell'unità 8GS (prova Cross-Hole CHIA33V15-CHIA33V14 tra 48 e 50 m da p.c.), si hanno valori di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) pari a 290 m/s (vedasi Figura 74).

Per l'unità 8S si stimano i seguenti parametri di deformazione (vedasi Figura 75):

$V_s = 220 \div 230$  m/s      velocità delle onde di taglio

$E_o = 240 \div 270$  MPa      modulo di deformazione elastico iniziale

Per l'unità 8GS:

$V_s = 290 \div 400$  m/s      velocità delle onde di taglio

$E_o = 400 \div 800$  MPa      modulo di deformazione elastico iniziale

#### Caratteristiche di permeabilità:

In corrispondenza dell'unità 8GS è disponibile una prova di permeabilità tipo Lefranc (CHIA33V15), che ha fornito un valore di permeabilità di  $3.73E-5$  m/s (Figura 86).

### **5.10 Argille subappenniniche – Unità 9AL**

Si tratta di argille limose e limi argillosi di colore grigio e grigio-azzurro con frequenti intercalazioni di argille marnose, limi sabbiosi e talvolta di sabbie fini di colore grigio e giallastro. Tale unità è presente lungo tutto il tracciato in esame sotto le unità 8 e 7. E' stata intercettata nelle indagini S2, DHIA30P01, CHIA33V15, PNIA33V08, PNIA33V05, CHIA33V01.

In corrispondenza di questa unità sono disponibili prove SPT che hanno dato valori compresi fra 15 e 33 colpi/30 cm (vedasi Figura 76).

Nell'unità geotecnica in esame sono stati prelevati campioni indisturbati, su cui sono state eseguite prove di laboratorio.

Il peso di volume naturale è pari a circa  $20 \text{ kN/m}^3$  (Figura 77).

Dalle analisi granulometriche si ha (Figura 78):

- percentuale di ghiaia generalmente compresa fra 0 e 2%;



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	70 di 227

- percentuale di sabbia generalmente compresa fra 1 e 16%;
- percentuale di fine (limo+argilla) maggiore dell'80% con percentuale di limo compresa fra 52 e 60% e percentuale di argilla compresa fra 24 e 43%.

Il contenuto naturale d'acqua è compreso fra 21.5 e 27.5%.

Il limite liquido è compreso fra 36.5 e 52% (media 41%), il limite plastico tra 21 e 24.5% (media 23%), l'indice plastico fra 12 e 31%. (media 27%) (Figura 79).

#### Parametri di resistenza:

Dalle analisi di laboratorio eseguite sui campioni prelevati si sono ottenuti i seguenti valori dei parametri di resistenza (Figura 82):

$$c' = 9 \div 15 \text{ kPa} \quad \text{coesione drenata}$$
$$\varphi' = 24 \div 31^\circ \quad \text{angolo di resistenza al taglio}$$

Dalla correlazione di Jamiolkowskj et al. 1979 con un indice plastico medio di 27% si stima un angolo di resistenza al taglio di 27° (Figura 83).

La prova triassiale del tipo UU ha fornito un valore di resistenza al taglio non drenata pari a 227 kPa, in linea con i valori derivanti dalle prove Pocket Penetrometer, che hanno dato valori compresi tra 75 e 250 kPa (Figura 81).

#### Parametri di deformazione:

Dalle indagini sismiche eseguite in corrispondenza dell'unità in esame (prova CH-01 per profondità maggiori di 39 m dal p.c., prova DH07 per profondità maggiori di 40 m dal p.c.) si hanno valori di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) pari a 380 m/s, da cui si stimano Figura 84:

$$G_0 = 280 \text{ MPa} \quad \text{modulo di deformazione a taglio iniziale}$$
$$E_0 = 730 \text{ MPa} \quad \text{modulo di deformazione elastico iniziale}$$

Le correlazioni empiriche forniscono valori del modulo elastico iniziale  $E_0$  molto minori (100÷300 MPa) (vedasi Figura 85).



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	71 di 227

Caratteristiche di permeabilità:

Non vi sono prove di permeabilità disponibili sull'unità in esame; comunque sulla base della bibliografia si stima una permeabilità bassa, indicativamente inferiore a  $10E-8$  m/s (Figura 86).



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	72 di 227

## 5.11 Sintesi parametri geotecnici di progetto

Nel seguito si riassumono i parametri geotecnici di progetto per le varie unità geotecniche.

### Depositi alluvionali recenti - Unità 5AL (Argille limose e limi argillosi)

$\gamma = 18.5 \div 19.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 15 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 23 \div 25^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 40 \div 150 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$V_s = 150 \div 250 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_o = 45 \div 125 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 90 \div 400 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

### Depositi alluvionali recenti - Unità 5GS (Ghiaia sabbiosa)

$\gamma = 19 \div 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 33 \div 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$V_s = 330 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_o = 200 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 550 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

### Depositi alluvionali recenti - Unità 5S (Sabbia, sabbia limosa)

$\gamma = 19 \div 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 28 \div 33^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$V_s = 150 \div 300 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_o = 50 \div 170 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 110 \div 450 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

### Depositi alluvionali terrazzati - Unità 6AL (Argille limose e limi argillosi)

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \div 20 \text{ kPa}$	coesione drenata



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	73 di 227

$\phi' = 23\div 26^\circ$       angolo di resistenza al taglio  
 $c_u = 100\div 350$  kPa      resistenza al taglio in condizioni non drenate  
 $E_o = 200\div 350$  MPa      modulo di deformazione elastico iniziale

#### **Conglomerati di Campomarino - Unità 7AL (Argille limose e limi argillosi)**

$\gamma = 19.5$  kN/m<sup>3</sup>      peso di volume naturale  
 $c' = 5\div 15$  kPa      coesione drenata  
 $\phi' = 24\div 26^\circ$       angolo di resistenza al taglio  
 $c_u = 75\div 350$  kPa      resistenza al taglio in condizioni non drenate  
 $V_s = 300\div 400$  m/s      velocità delle onde di taglio  
 $G_o = 100\div 320$  MPa      modulo di deformazione a taglio iniziale  
 $E_o = 200\div 800$  MPa      modulo di deformazione elastico iniziale

#### **Conglomerati di Campomarino - Unità 7S (Sabbia, sabbia limosa)**

$\gamma = 20.5$  kN/m<sup>3</sup>      peso di volume naturale  
 $c' = 0$  kPa      coesione drenata  
 $\phi' = 33\div 37^\circ$       angolo di resistenza al taglio  
 $V_s = 200\div 350$  m/s      velocità delle onde di taglio;  
 $G_o = 80\div 240$  MPa      modulo di deformazione a taglio iniziale  
 $E_o = 200\div 600$  MPa      modulo di deformazione elastico iniziale

#### **Conglomerati di Campomarino - Unità 7GS (Ghiaia sabbiosa)**

$\gamma = 20.5$  kN/m<sup>3</sup>      peso di volume naturale  
 $c' = 0$  kPa      coesione drenata  
 $\phi' = 37\div 40^\circ$       angolo di resistenza al taglio  
 $V_s = 250\div 400$  m/s      velocità delle onde di taglio;  
 $G_o = 120\div 300$  MPa      modulo di deformazione a taglio iniziale  
 $E_o = 300\div 800$  MPa      modulo di deformazione elastico iniziale

#### **Sabbie di Serracapiola – Unità 8S (Sabbia, sabbia limosa)**

$\gamma = 19\div 20$  kN/m<sup>3</sup>      peso di volume naturale  
 $c' = 0$  kPa      coesione drenata



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	74 di 227

$\varphi' = 34^\circ$                       angolo di resistenza al taglio  
 $V_s = 220 \div 230$  m/s              velocità delle onde di taglio;  
 $E_o = 240 \div 270$  MPa              modulo di deformazione elastico iniziale

#### Sabbie di Serracapriola – Unità 8GS (Ghiaia con sabbiosa)

$\gamma = 19 \div 20$  kN/m<sup>3</sup>              peso di volume naturale  
 $c' = 0$  kPa                      coesione drenata  
 $\varphi' = 38^\circ$                       angolo di resistenza al taglio  
 $V_s = 290 \div 400$  m/s              velocità delle onde di taglio;  
 $E_o = 400 \div 800$  MPa              modulo di deformazione elastico iniziale

#### Argille subappenniniche – Unità 9AL (Argille limose e limi argillosi)

$\gamma = 20$  kN/m<sup>3</sup>              peso di volume naturale  
 $c' = 5 \div 15$  kPa              coesione drenata  
 $\varphi' = 24 \div 27^\circ$               angolo di resistenza al taglio  
 $c_u = 75 \div 250$  kPa              resistenza al taglio in condizioni non drenate  
 $V_s = 380$  m/s              velocità delle onde di taglio;  
 $G_o = 280$  MPa              modulo di deformazione a taglio iniziale  
 $E_o = 300 \div 730$  MPa              modulo di deformazione elastico iniziale

I moduli di deformabilità “operativi” ( $E'$ ) da adottare per le opere di sostegno e per le fondazioni, saranno assunti pari a 1/5 di quello iniziale ( $E_o$ ).

Nel caso di valutazione di cedimenti di rilevati, i moduli elastici “operativi” saranno assunti pari a 1/10 di quello iniziale.

I valori delle proprietà geotecniche indicate sono da intendersi come range di valori guida per la progettazione; resta inteso che nelle analisi geotecniche di dettaglio delle varie opere andranno calibrati sulla base delle condizioni geotecniche locali, delle specifiche situazioni locali, oltre che rapportati alla tipologia di opere (fondazioni pali o opere di sostegno), alle ipotesi di calcolo assunte.

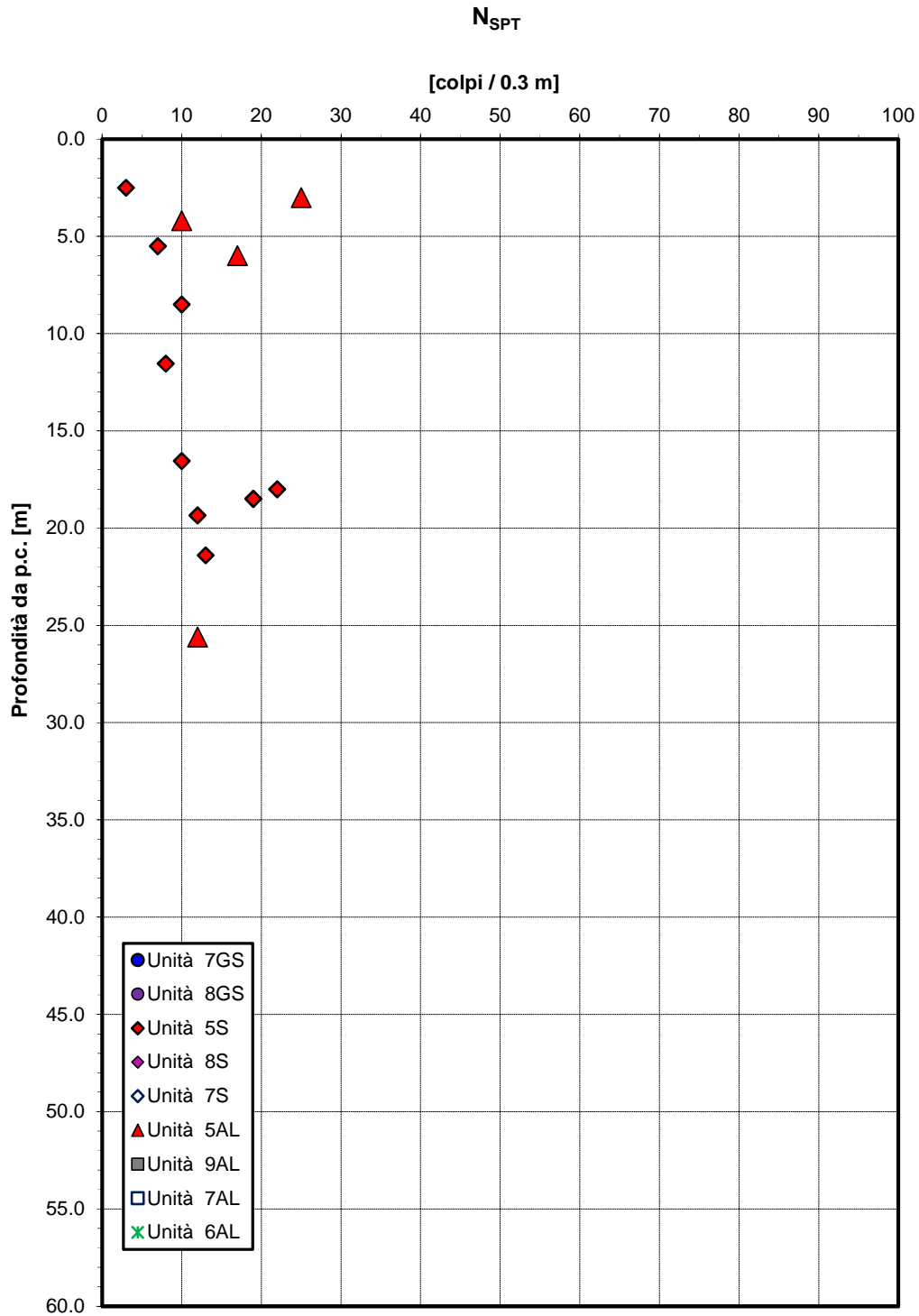


Figura 16 – Valori di N<sub>SPT</sub> – Unità 5AL e 5S



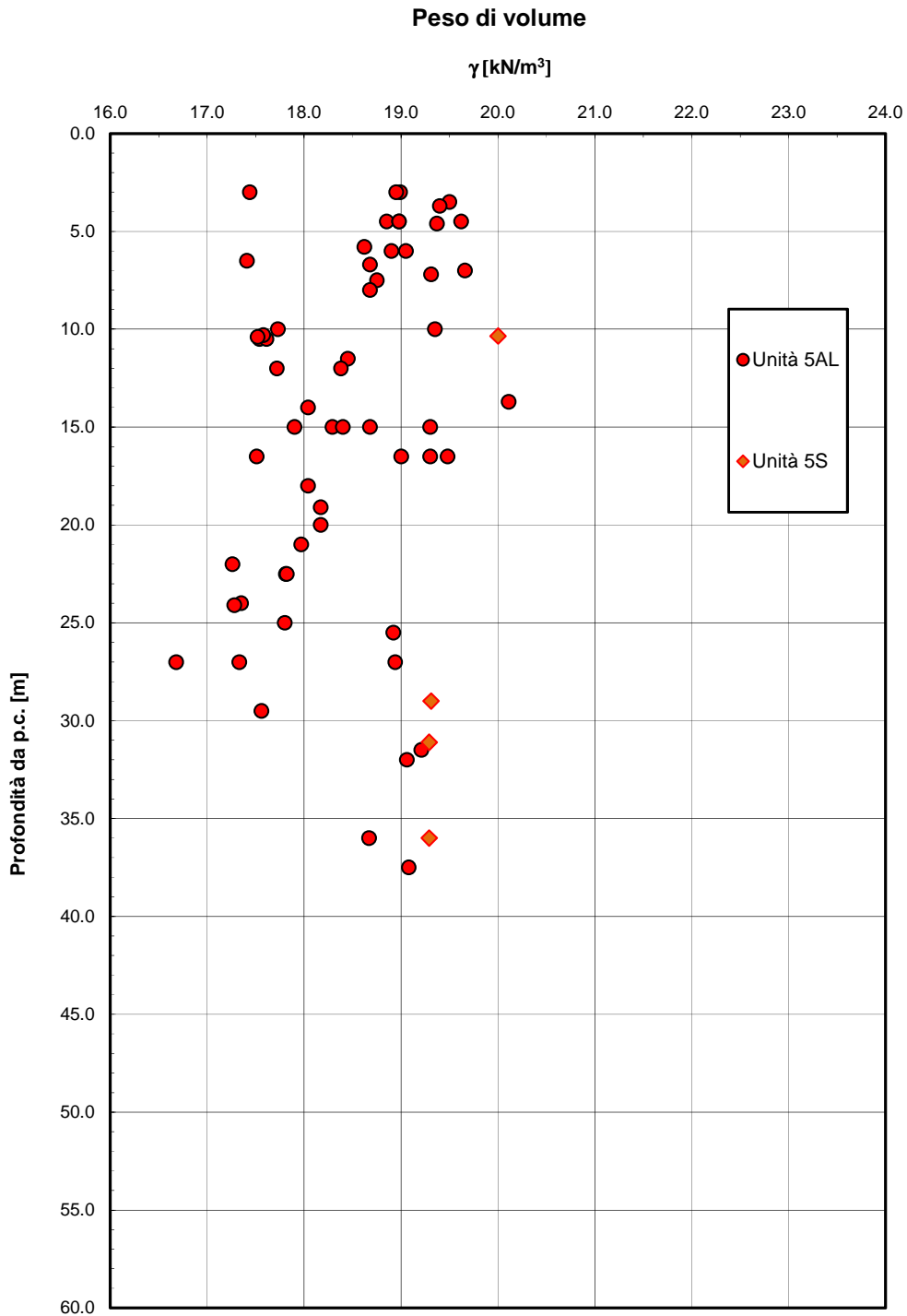
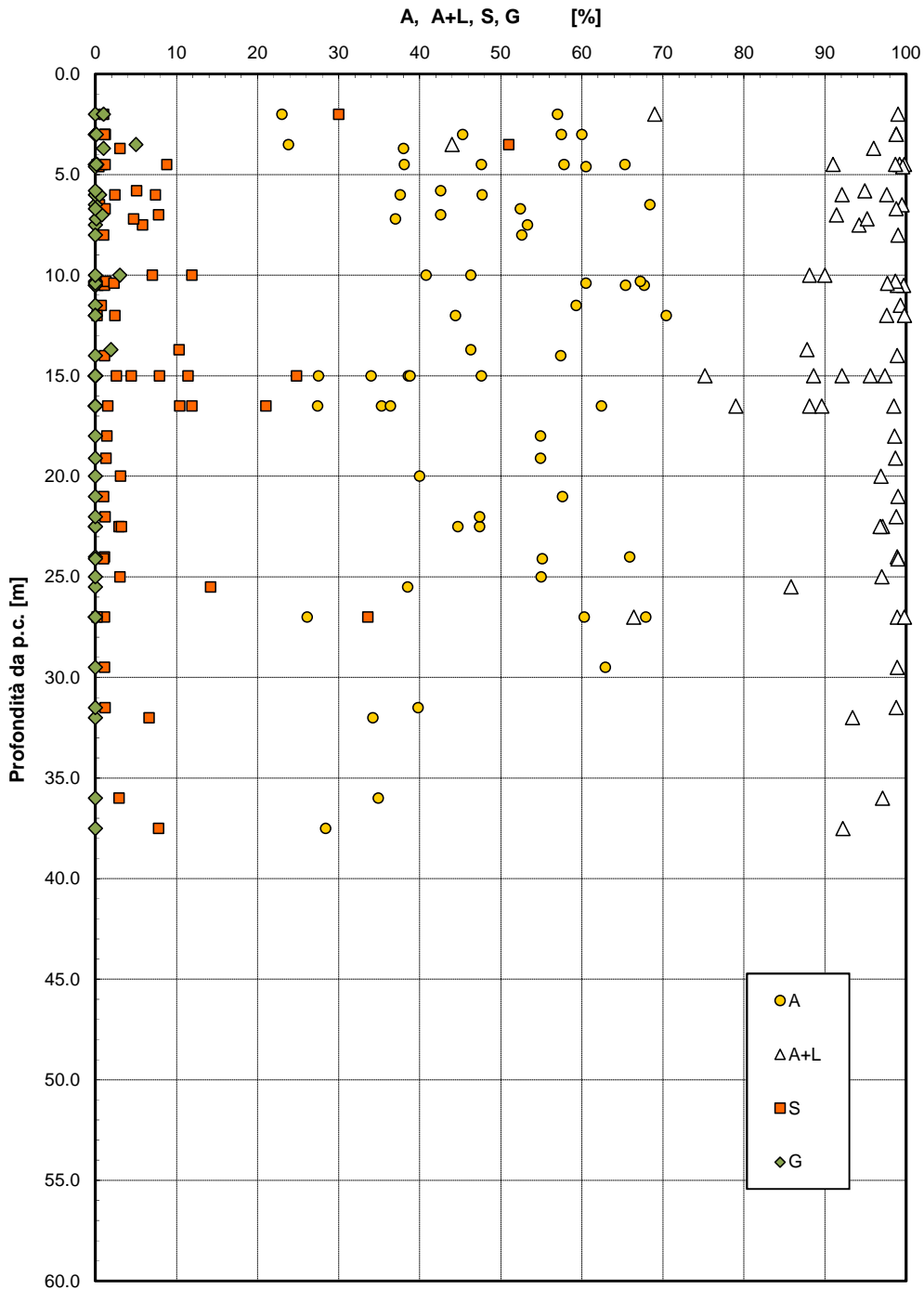


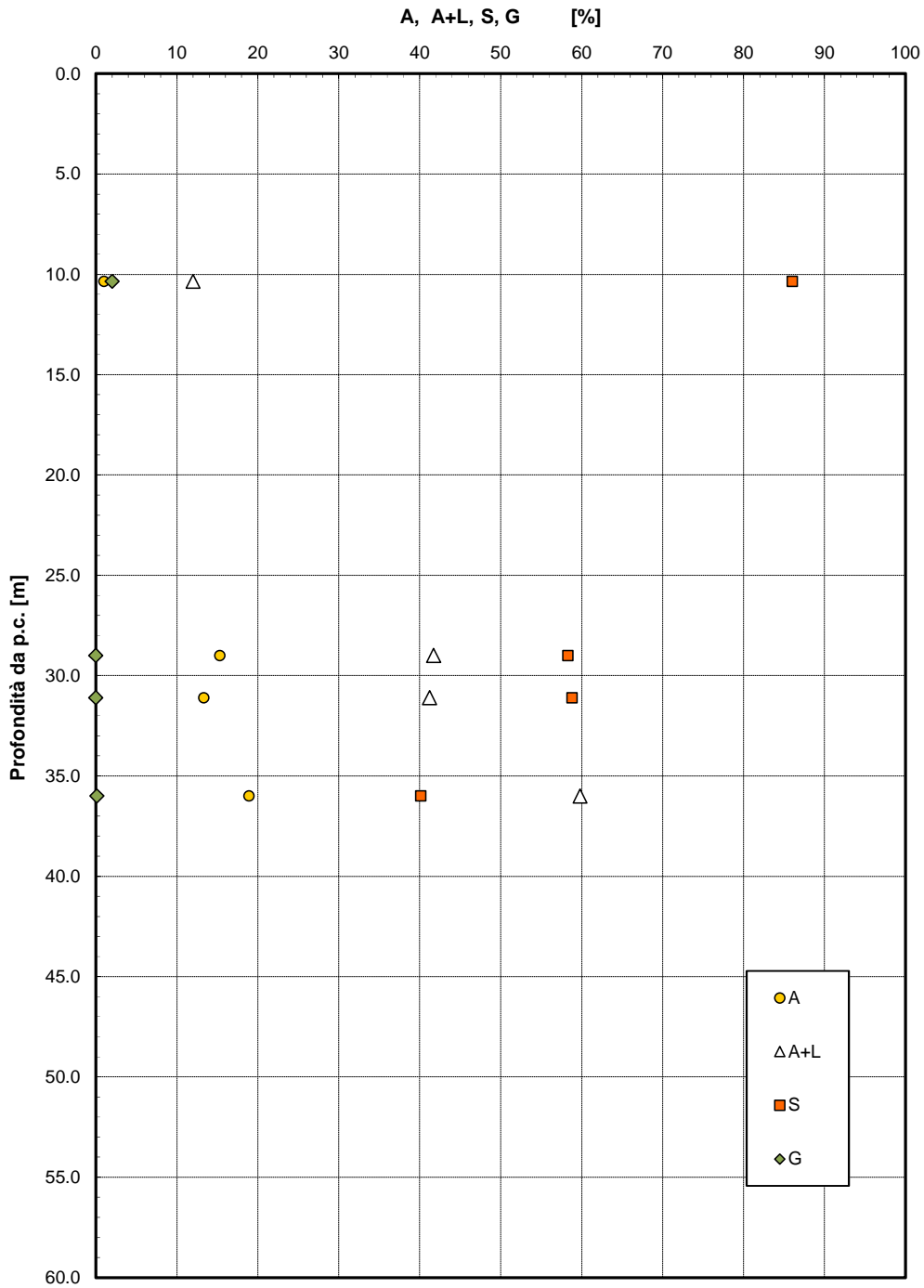
Figura 17 – Peso di volume naturale – Unità 5AL e 5S

**Granulometria unità 5AL**



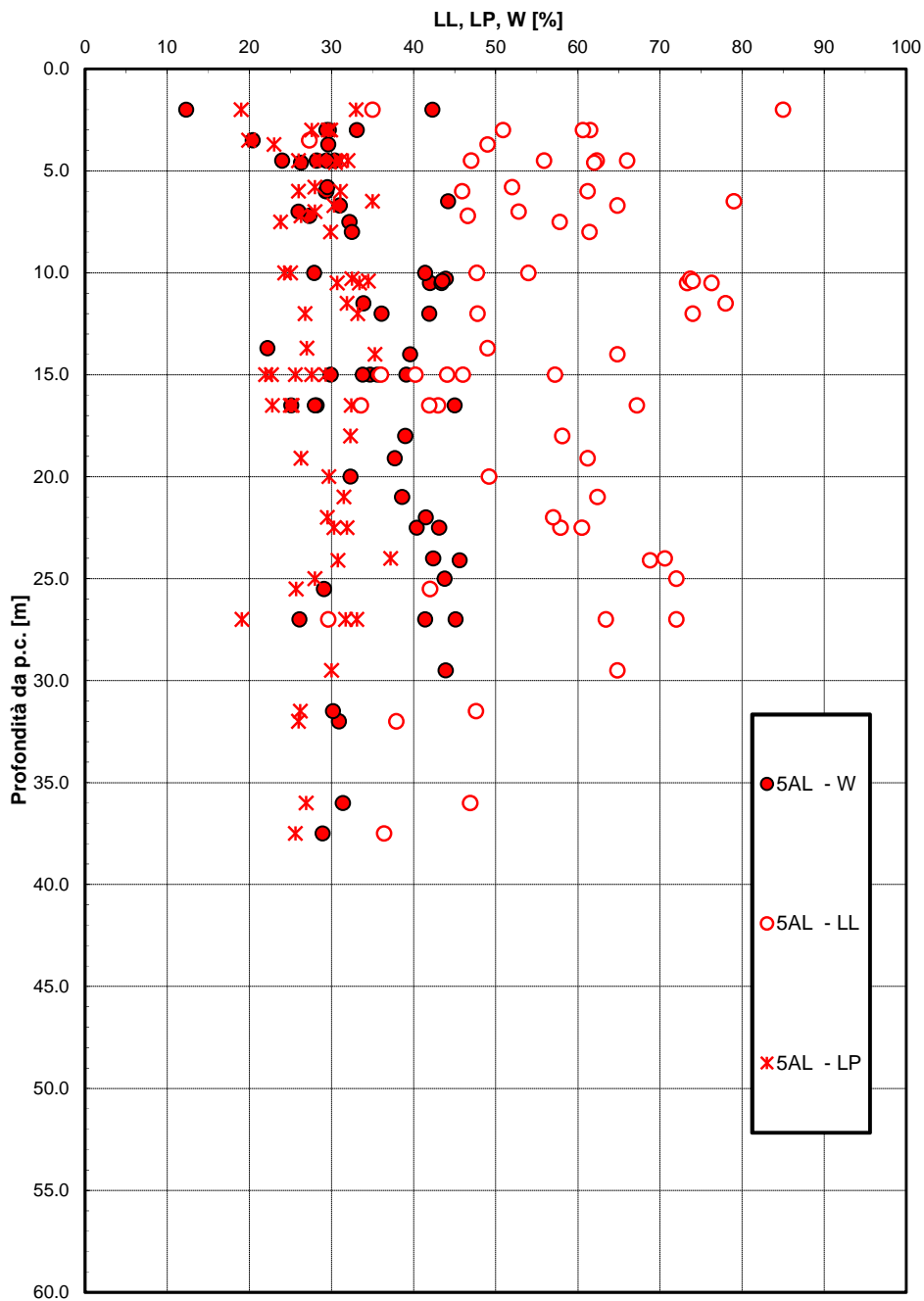
**Figura 18 – Analisi granulometrica – Unità 5AL**

**Granulometria unità 5S**



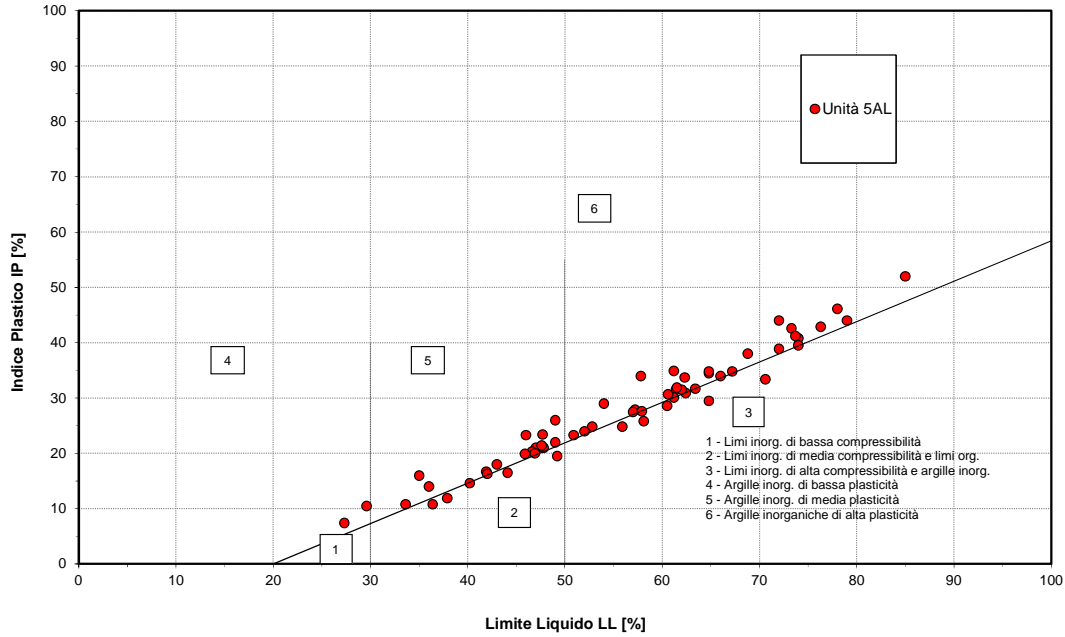
**Figura 19 – Analisi granulometrica – Unità 5S**

**Limiti di Atterberg e contenuto naturale d'acqua**



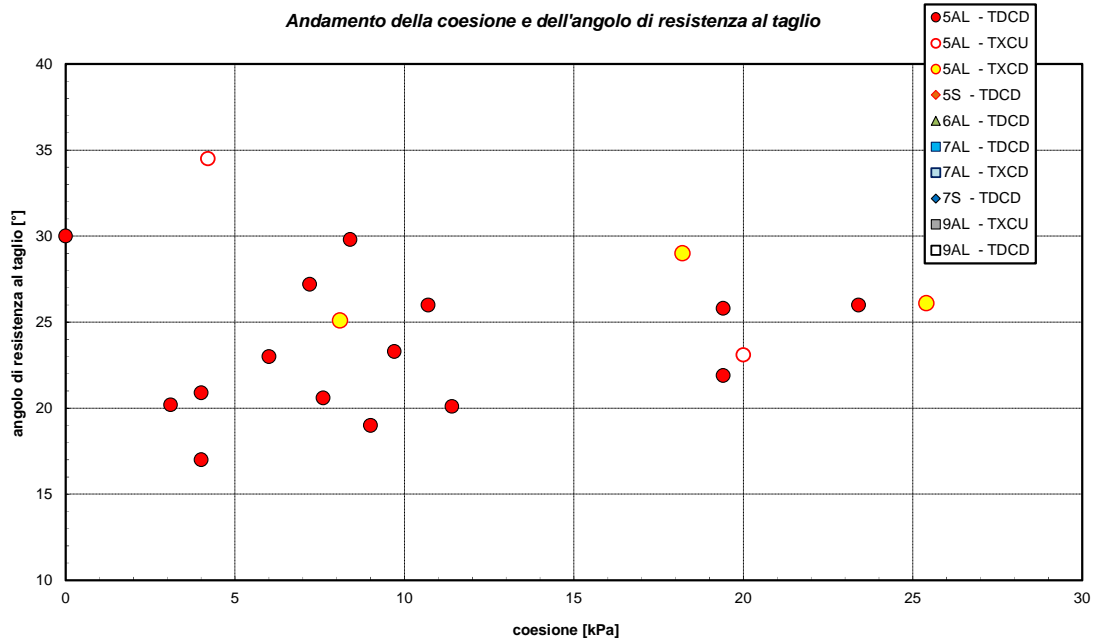
**Figura 20 – Limiti di Atterberg – Unità 5AL**

*Carta di Plasticità di Casagrande*



**Figura 21 – Carta di plasticità di Casagrande – Unità 5AL**

*Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio*



**Figura 22 – Angolo di resistenza al taglio e coesione drenata– Unità 5AL**

### Andamento della coesione con la profondità

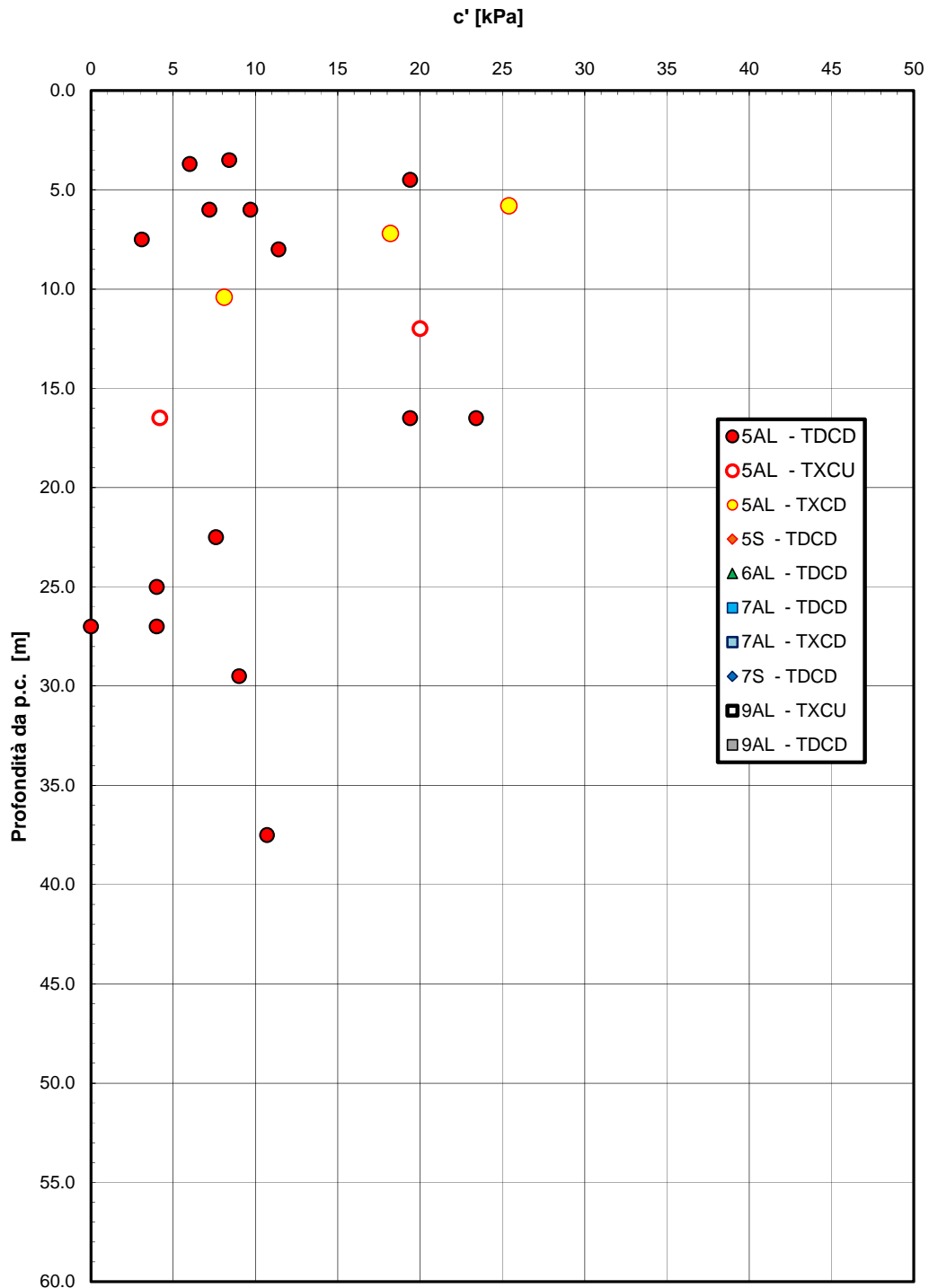


Figura 23 – Andamento della coesione con la profondità – Unità 5AL

### Andamento della resistenza al taglio con la profondità

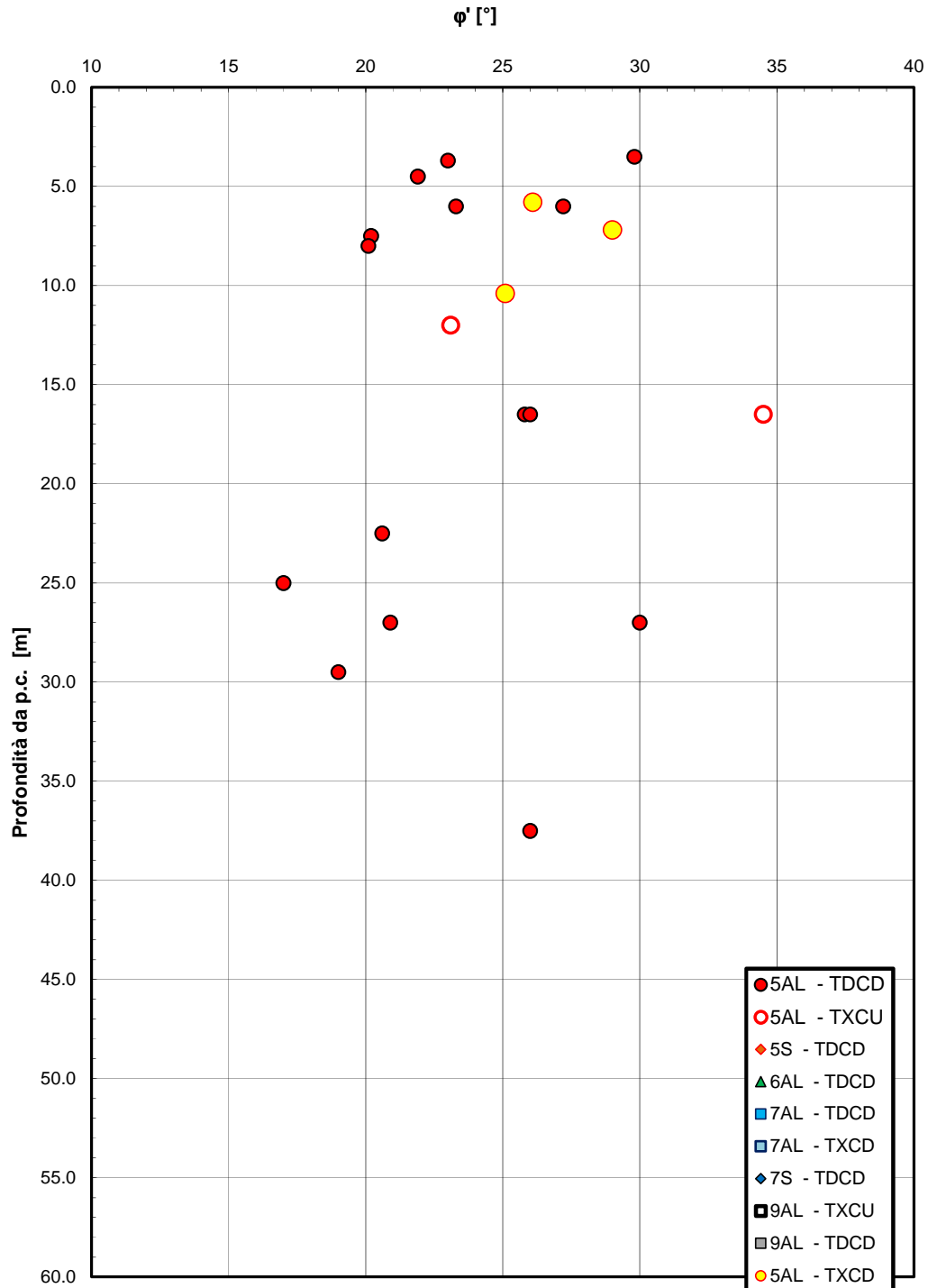
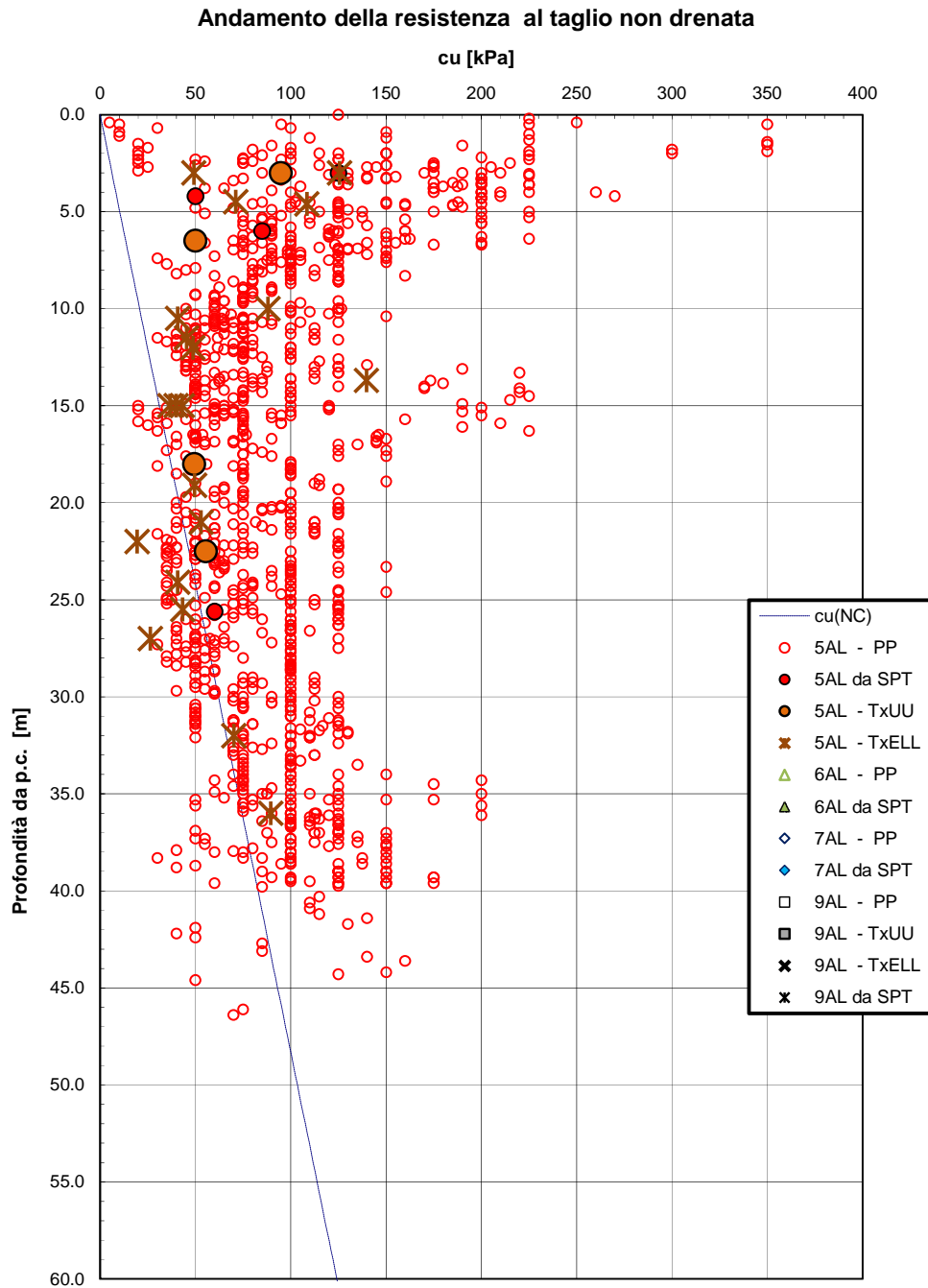


Figura 24 – Andamento della resistenza al taglio con la profondità – Unità 5AL





**Figura 25 – Resistenza al taglio non drenata (laboratorio+PP+SPT)– Unità 5AL**

### Resistenza al taglio non drenata

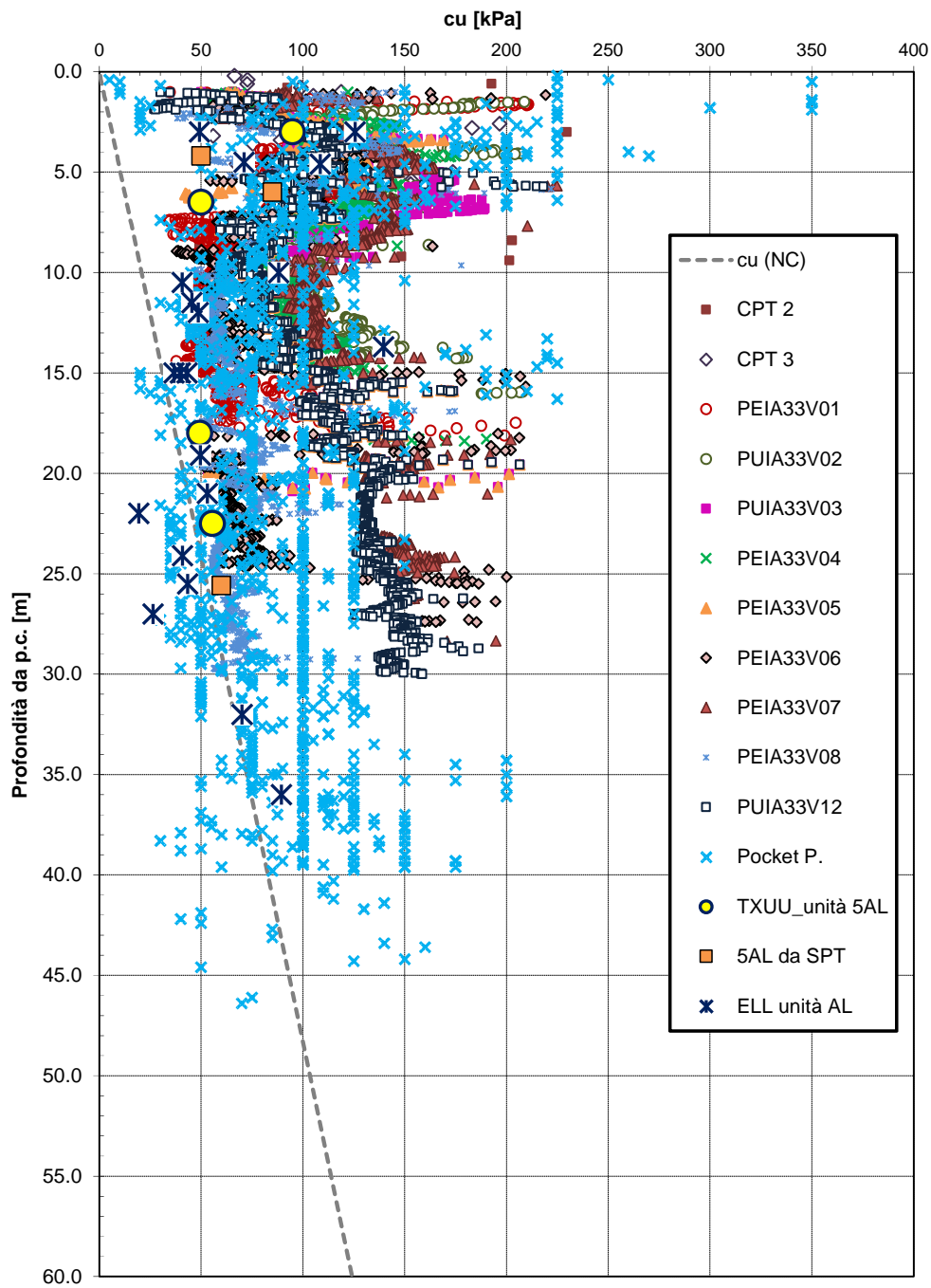
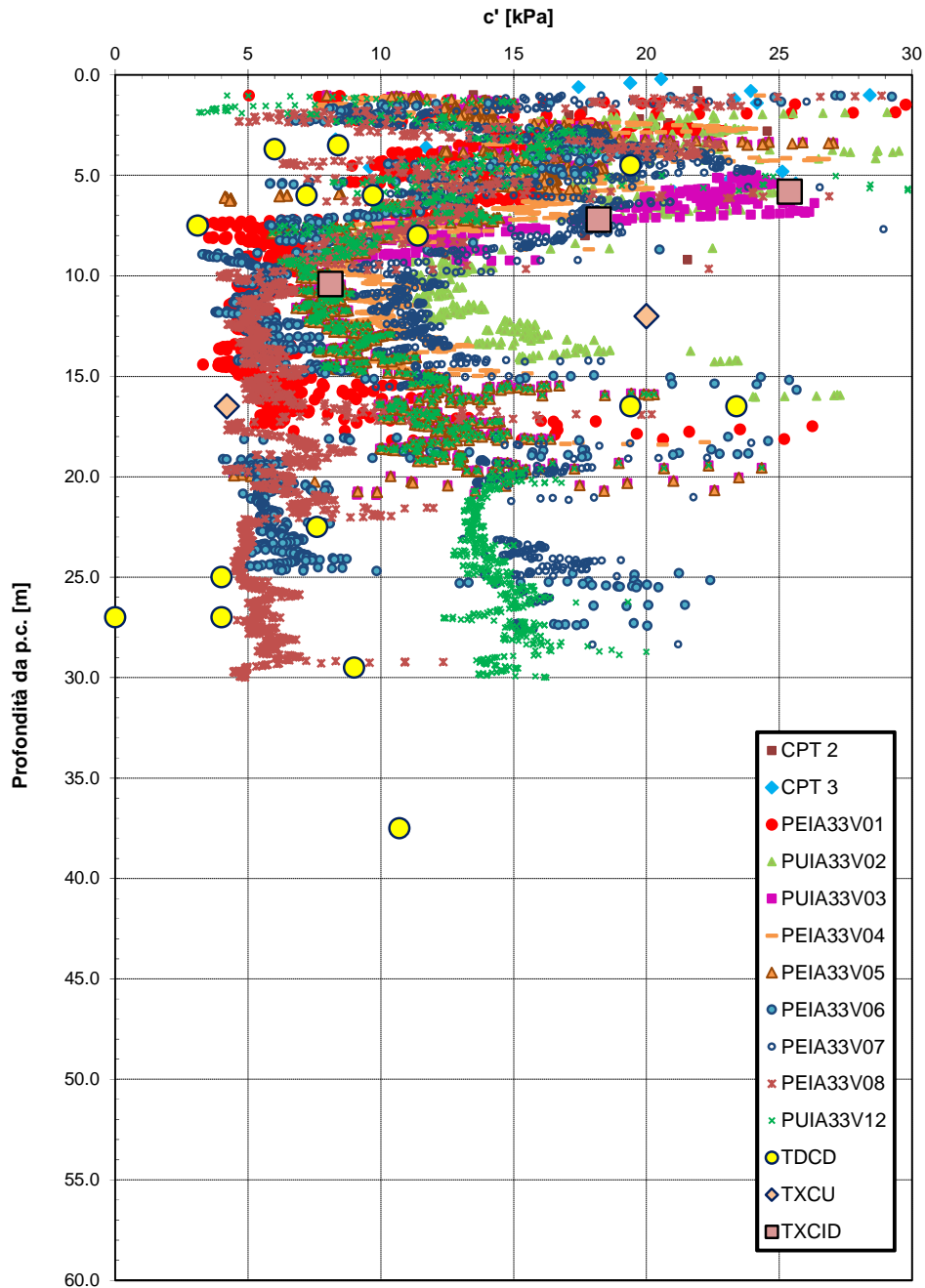


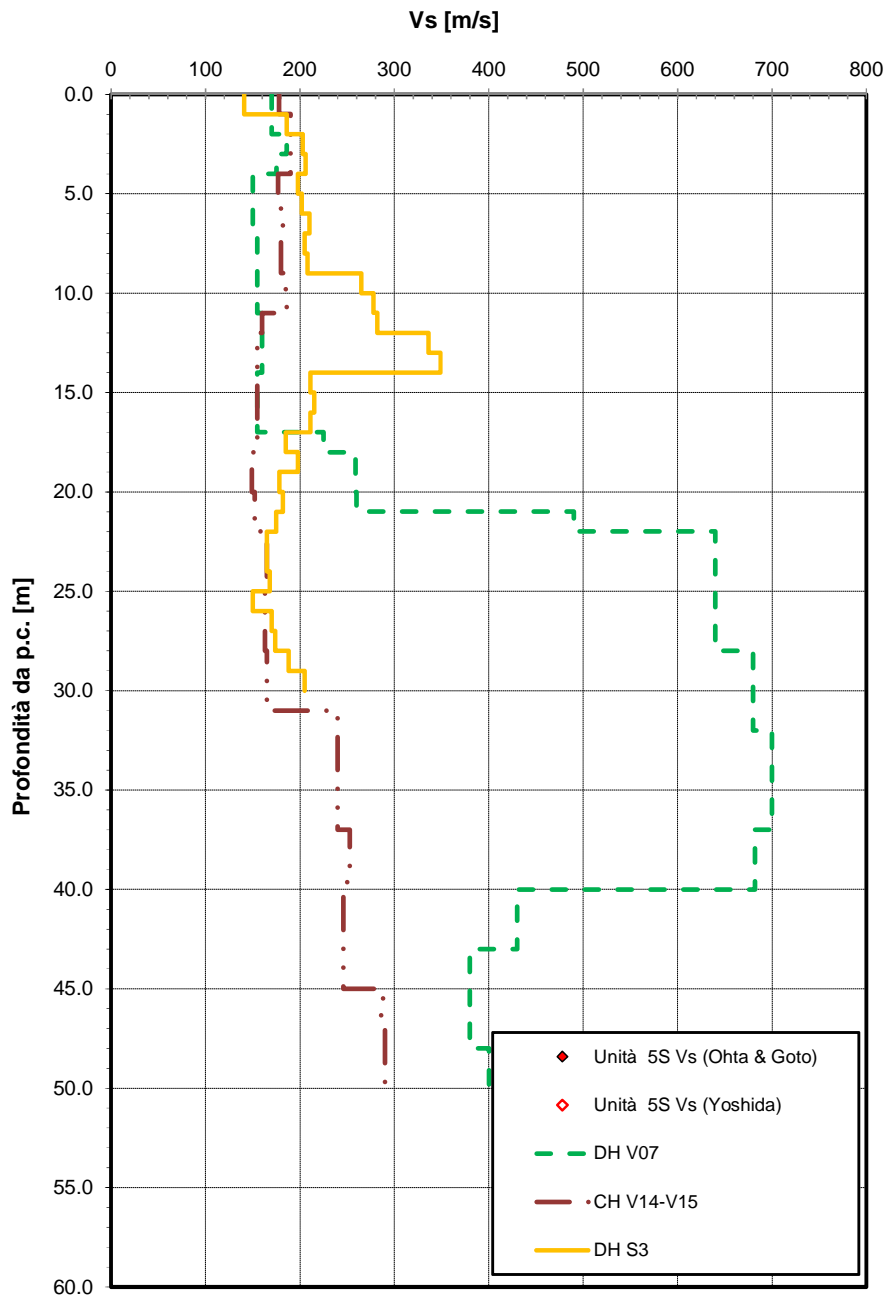
Figura 26 – Resistenza al taglio non drenata da prove CPT+laboratorio+SPT – Unità 5AL

**Coesione drenata (coesivi)**



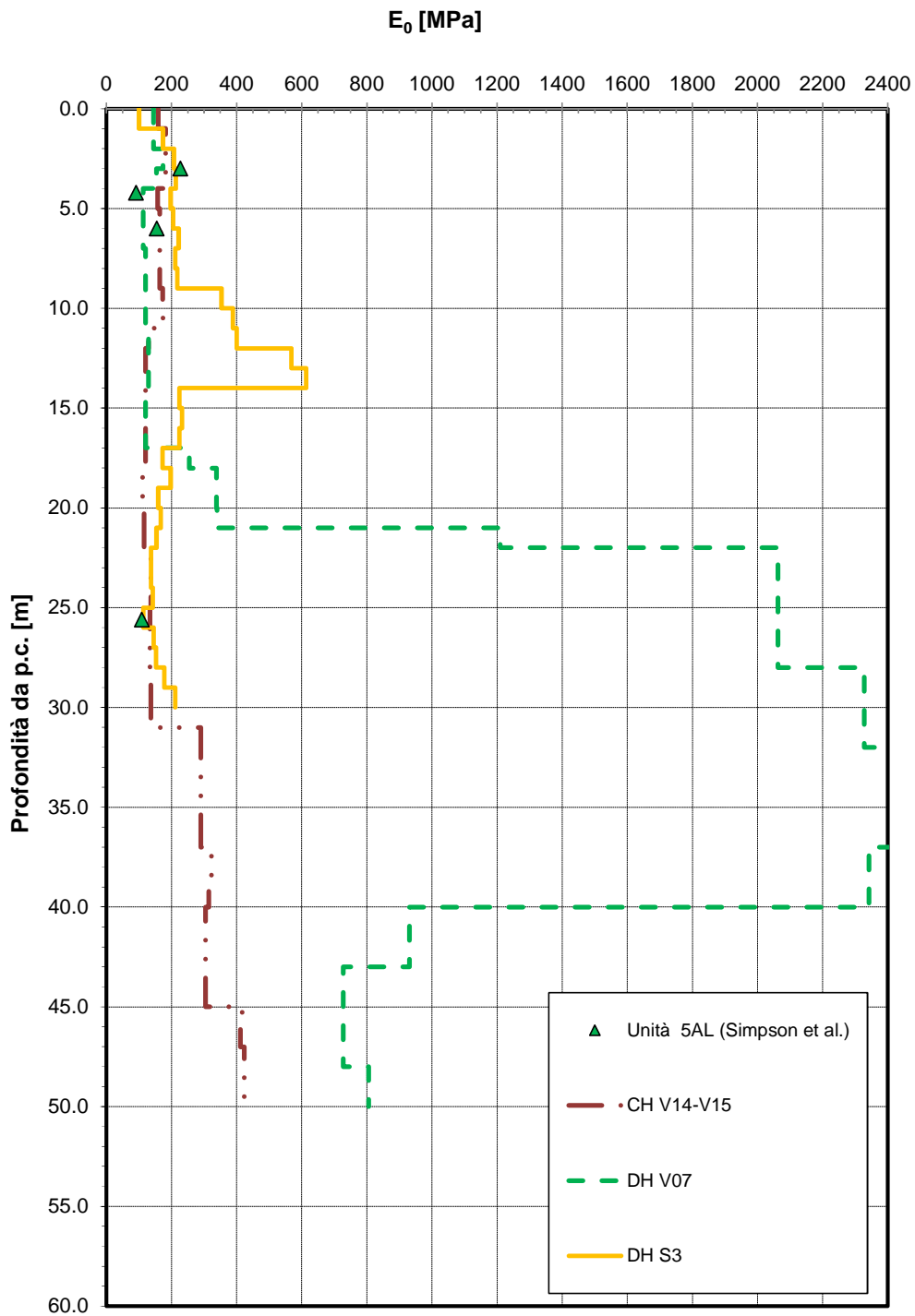
**Figura 27 – Andamento della coesione drenata con la profondità da CPT e laboratorio – Unità 5AL**

**Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche**



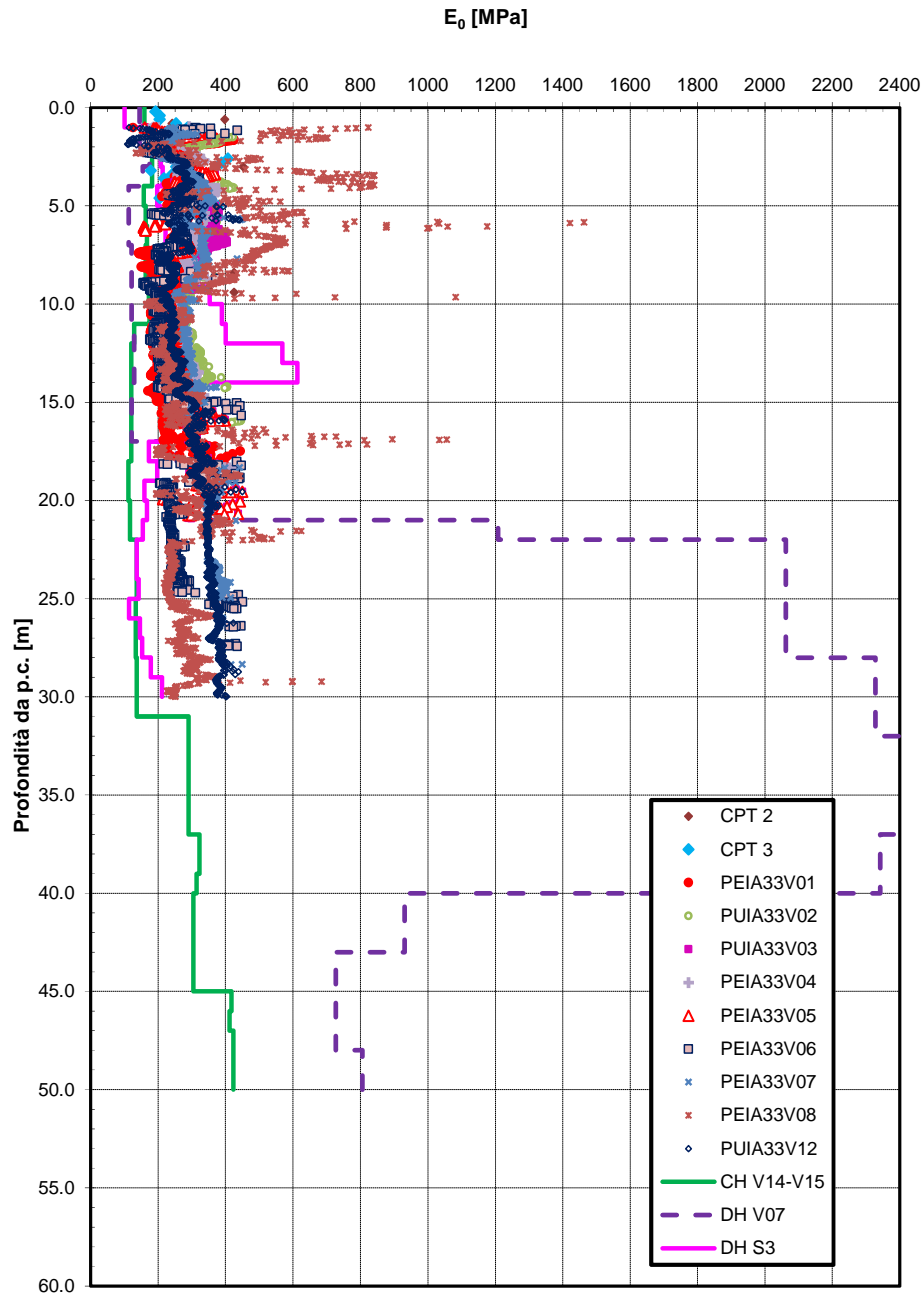
**Figura 28 – Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche – Unità 5AL**

**Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche**



**Figura 29 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche – Unità 5AL**

**Modulo di deformazione elastico iniziale da prova CPT**



**Figura 30 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove CPT e sismiche– Unità 5AL**

Modulo elastico di deformazione elastico per terreni coesivi

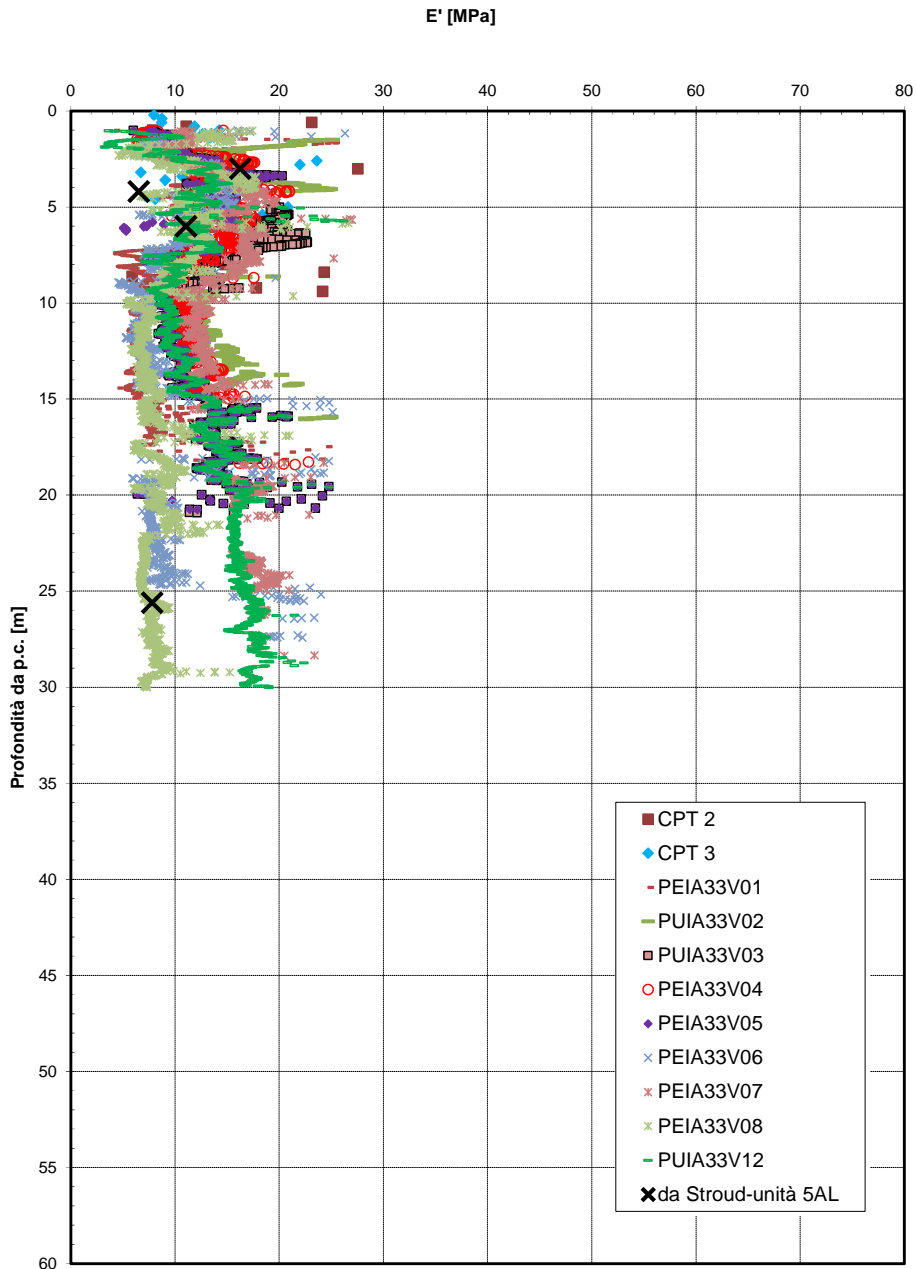
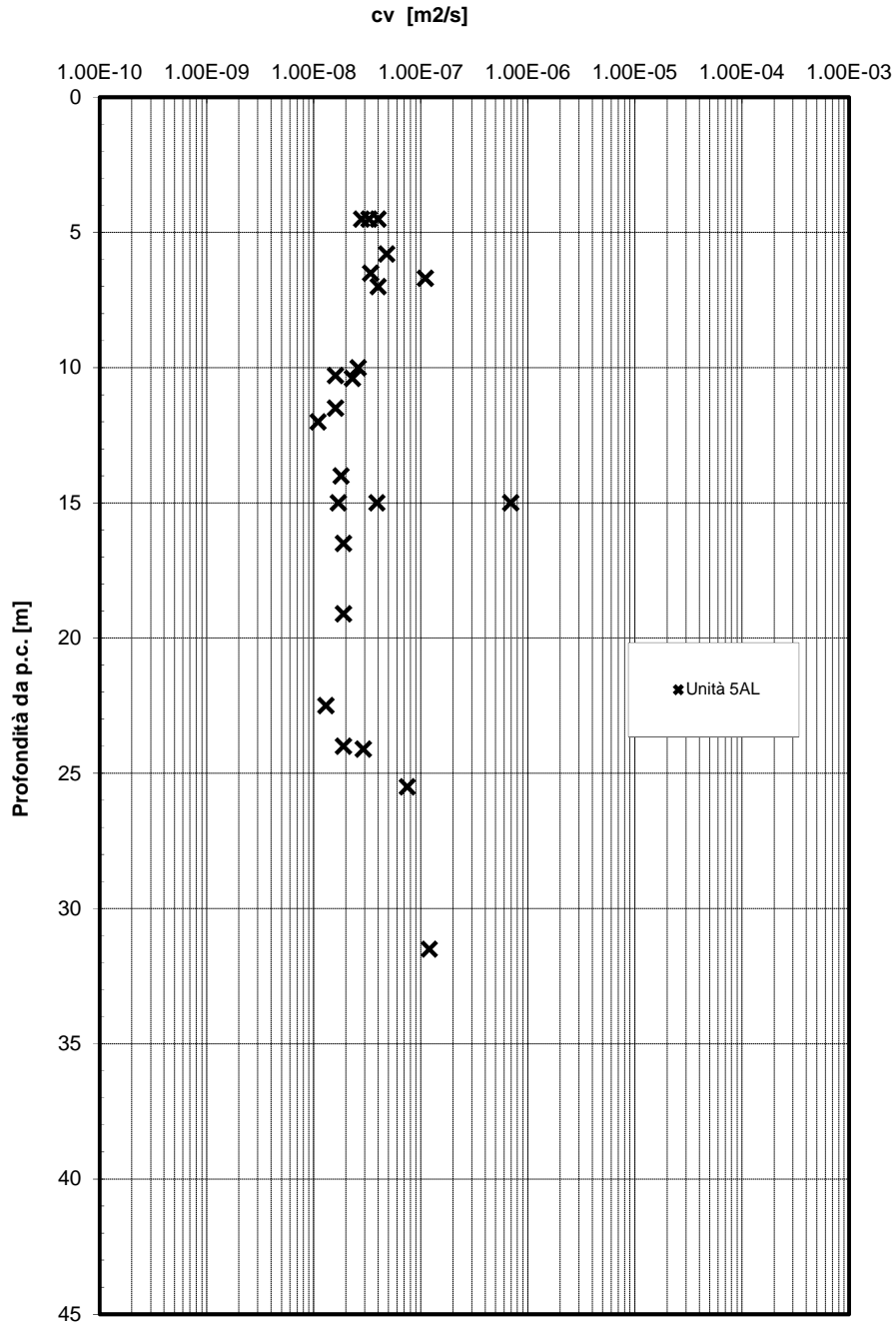


Figura 31 – Modulo di deformazione elastico operativo per terreni coesivi da prove CPT – Unità 5AL

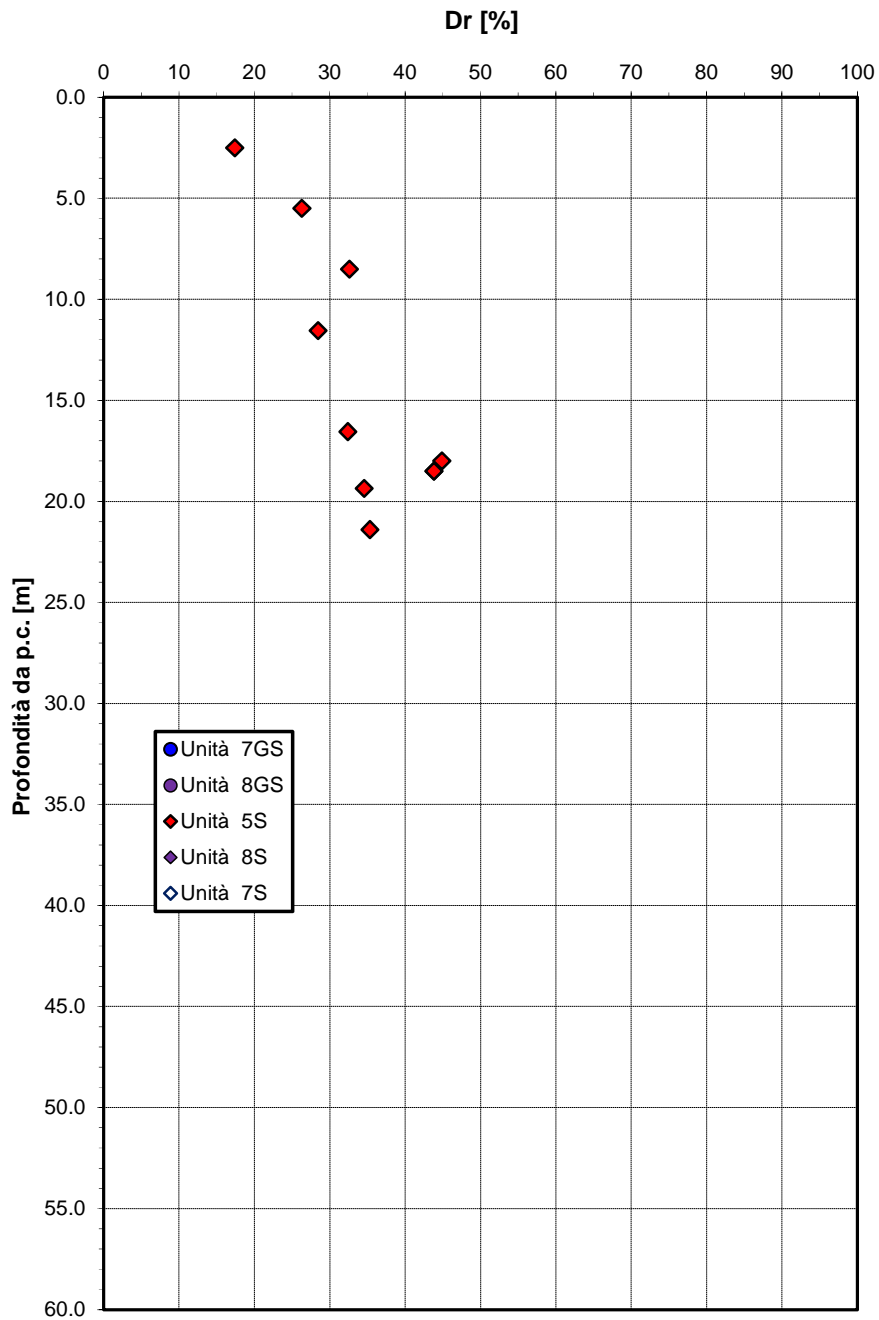


**Permeabilità da prove di laboratorio**



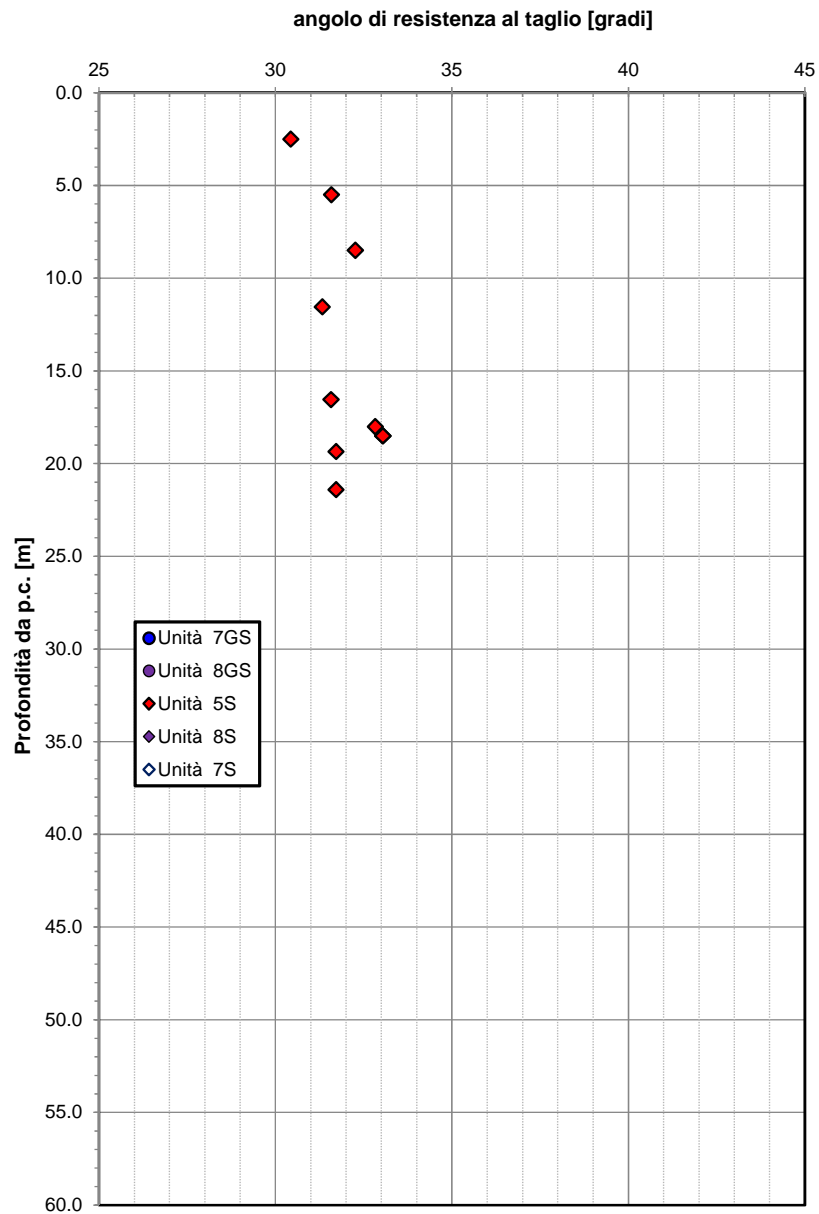
**Figura 32 – Coefficiente di consolidazione verticale – Unità 5AL**

**Densità relativa da prove SPT**



**Figura 33 – Densità relativa da prove SPT – Unità 5S**

**Angolo di resistenza al taglio da prove SPT**



**Figura 34 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT – Unità 5S**

Angolo di resistenza al taglio (incoerenti)

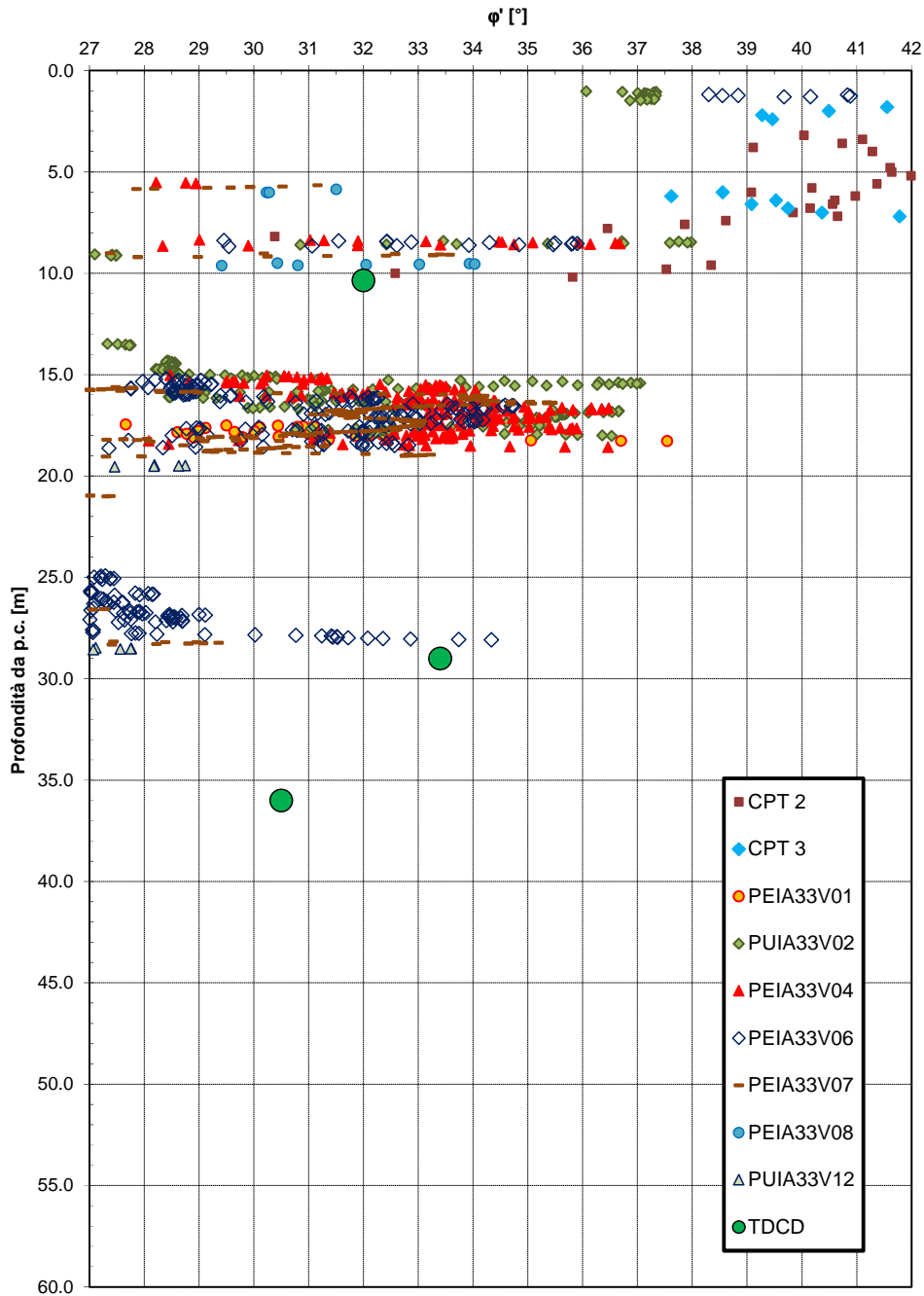
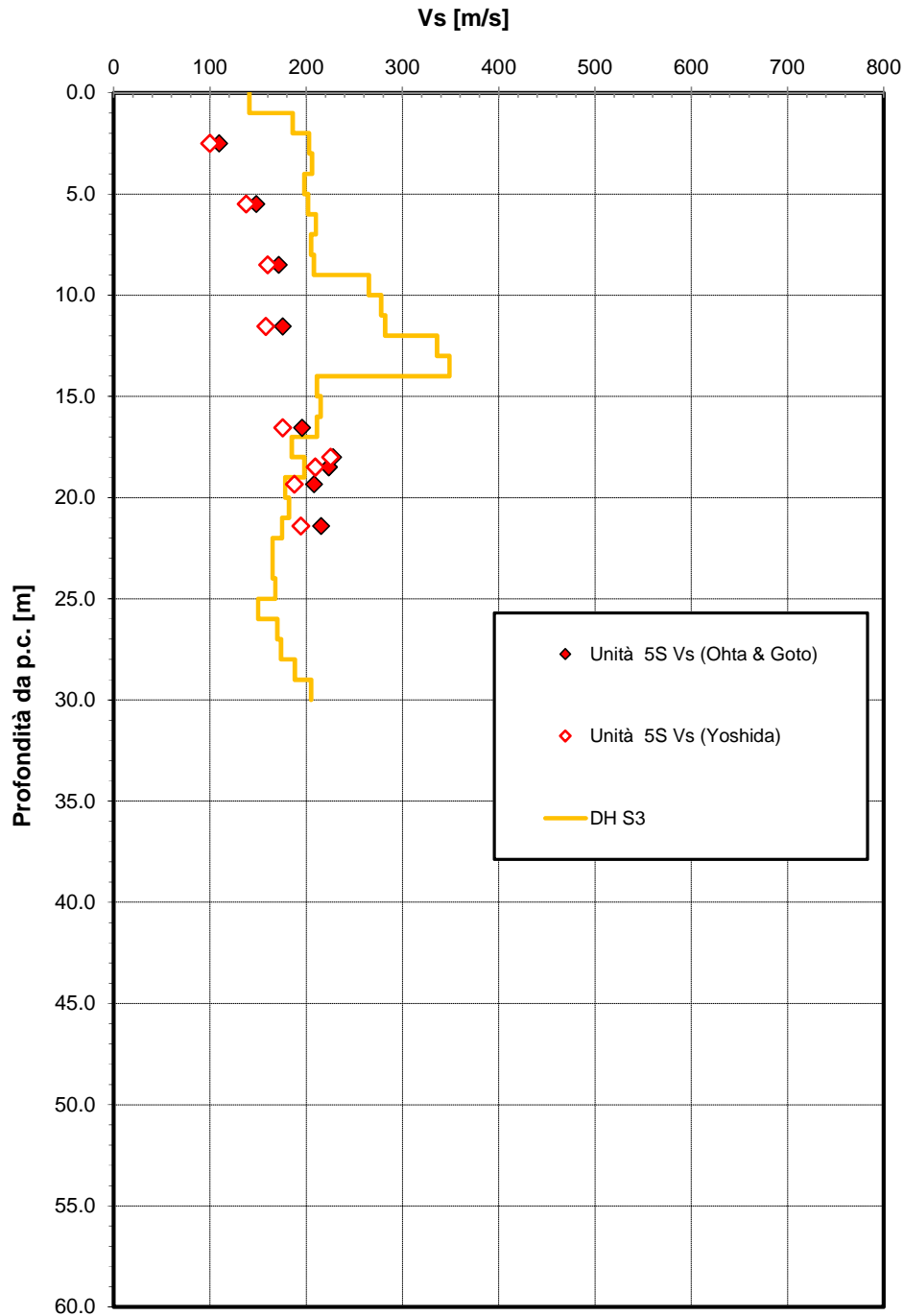


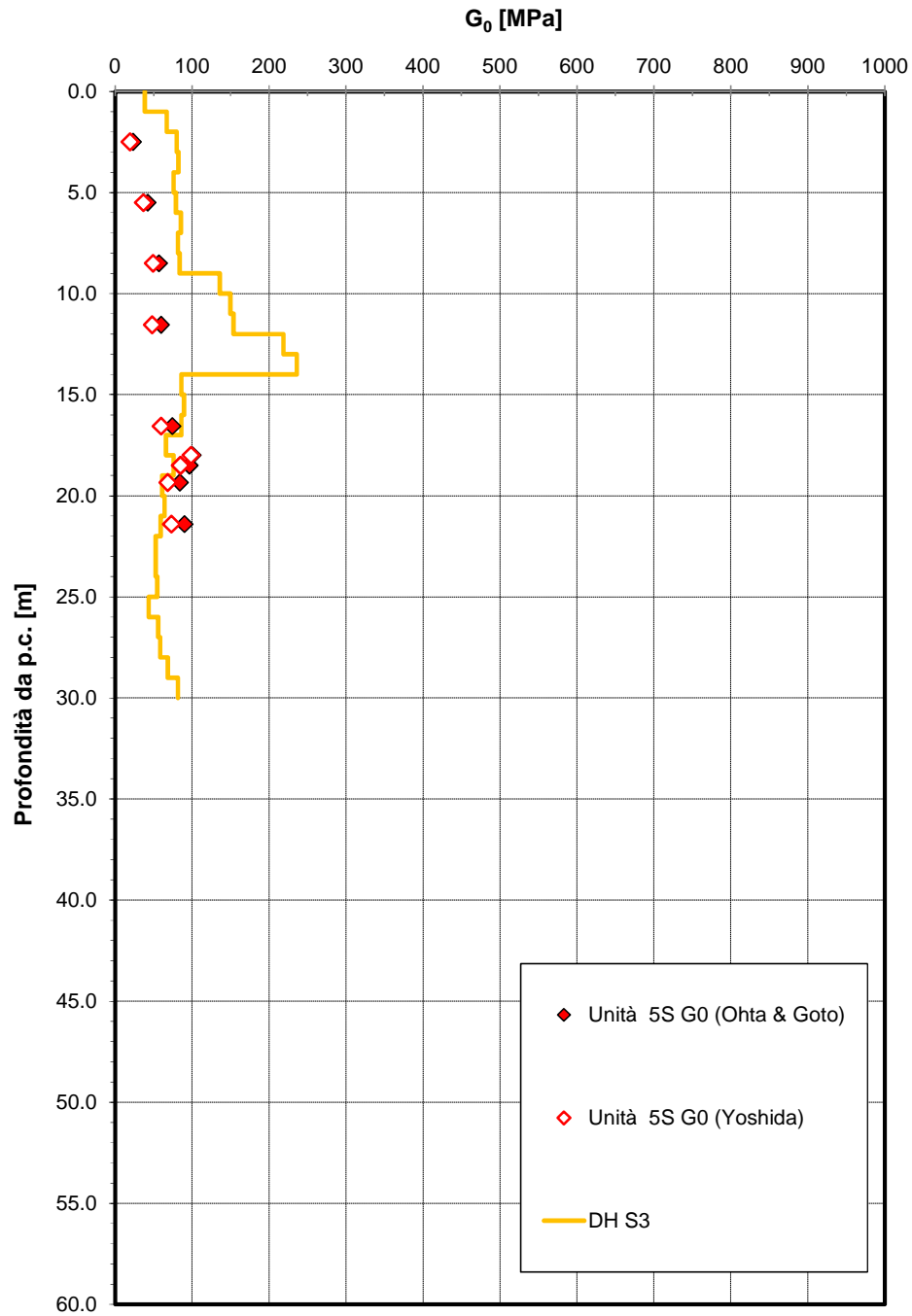
Figura 35 – Angolo di resistenza al taglio per terreni incoerenti da prove CPT e laboratorio– Unità 5S/5GS

**Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche**



**Figura 36 – Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche – Unità 5S/5GS**

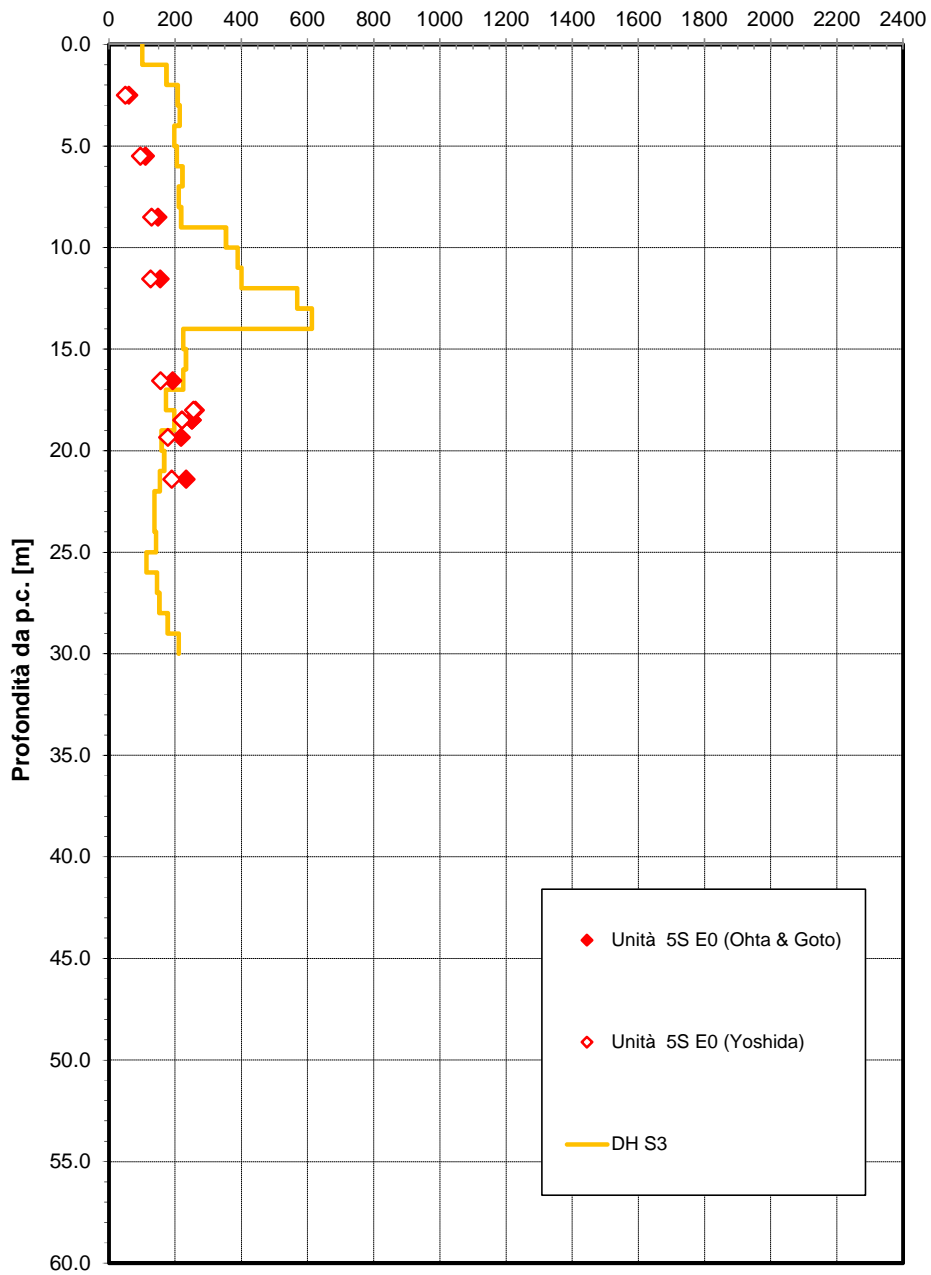
**Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT**



**Figura 37 – Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT e sismiche – Unità 5S/5GS**

**Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche**

$E_0$  [MPa]



**Figura 38 - Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche – Unità 5S/5GS**

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	97 di 227

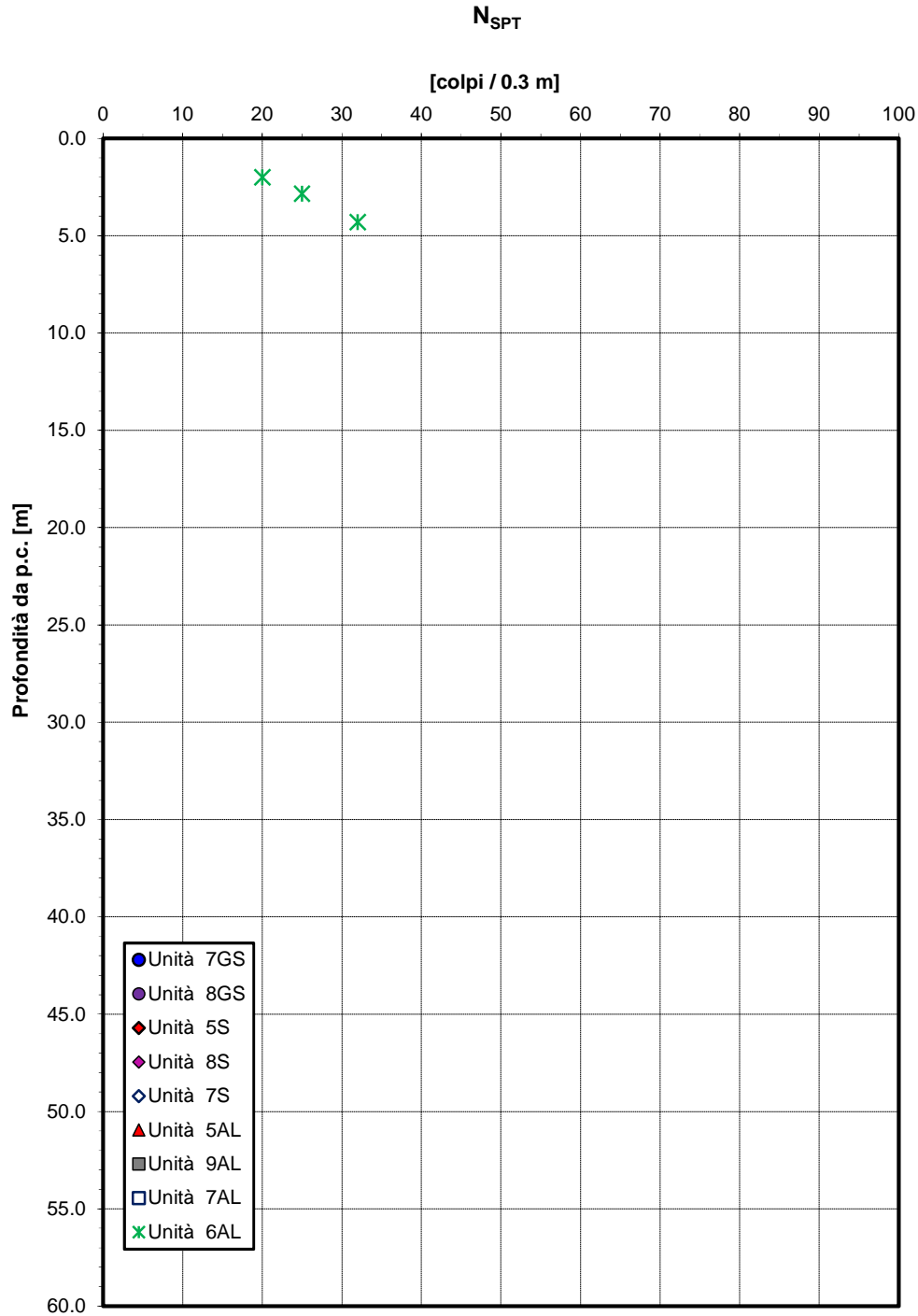
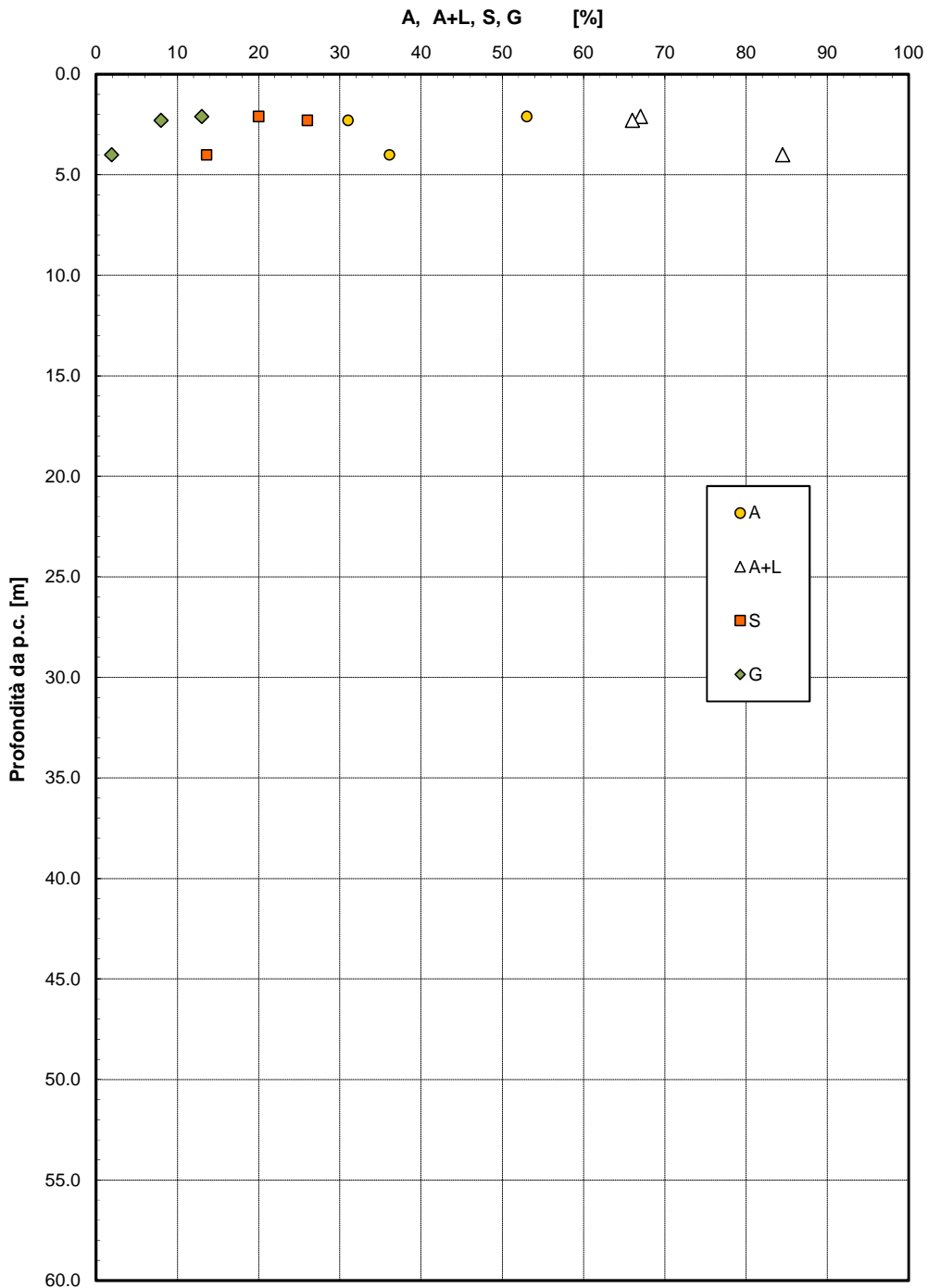


Figura 39 – Valori di N<sub>spt</sub>– Unità 6AL

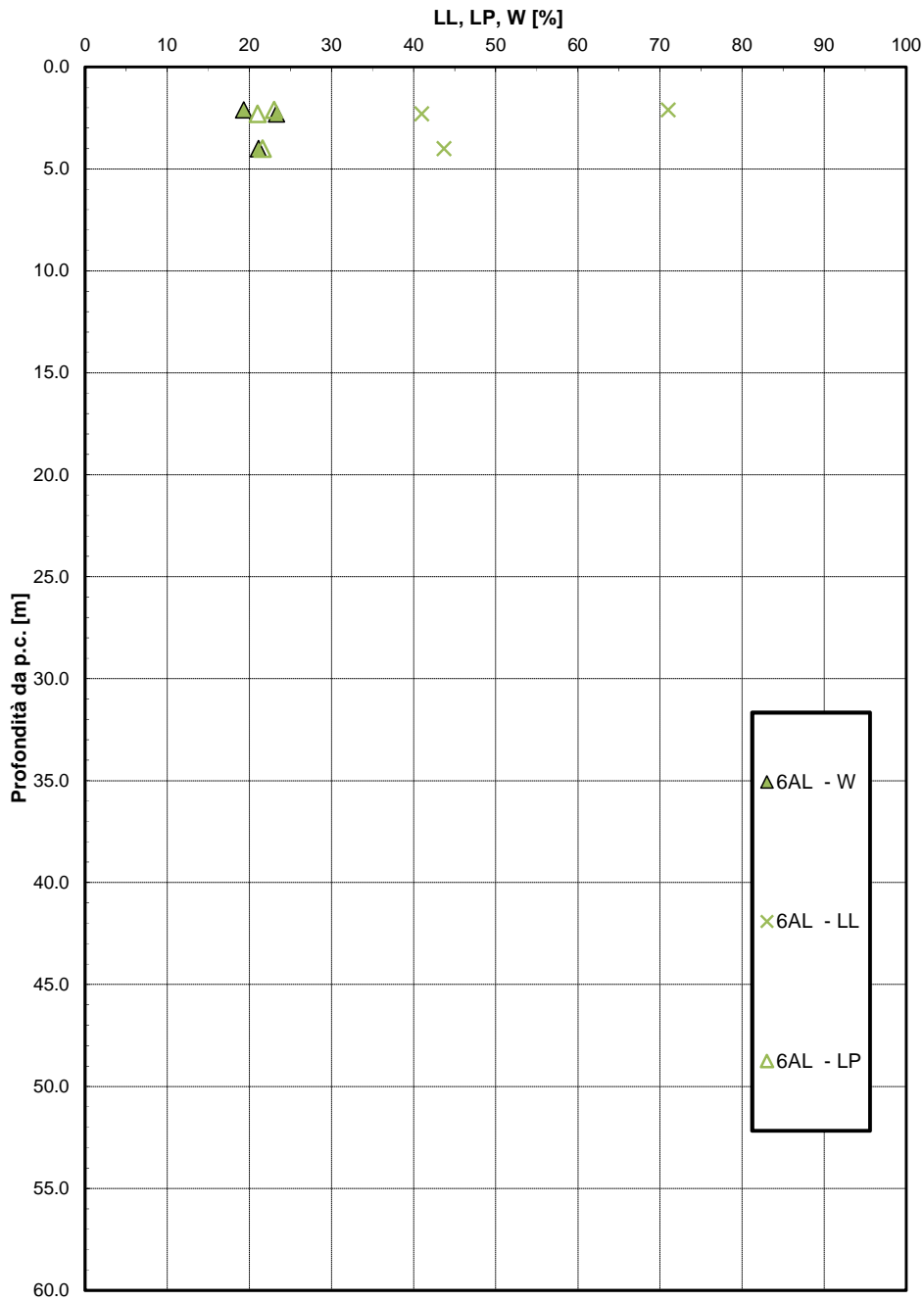


**Granulometria unità 6AL**



**Figura 40 – Analisi granulometrica – Unità 6AL**

**Limiti di Atterberg e contenuto naturale d'acqua**



**Figura 41 – Limiti di Atterberg – Unità 6AL**

Carta di Plasticità di Casagrande

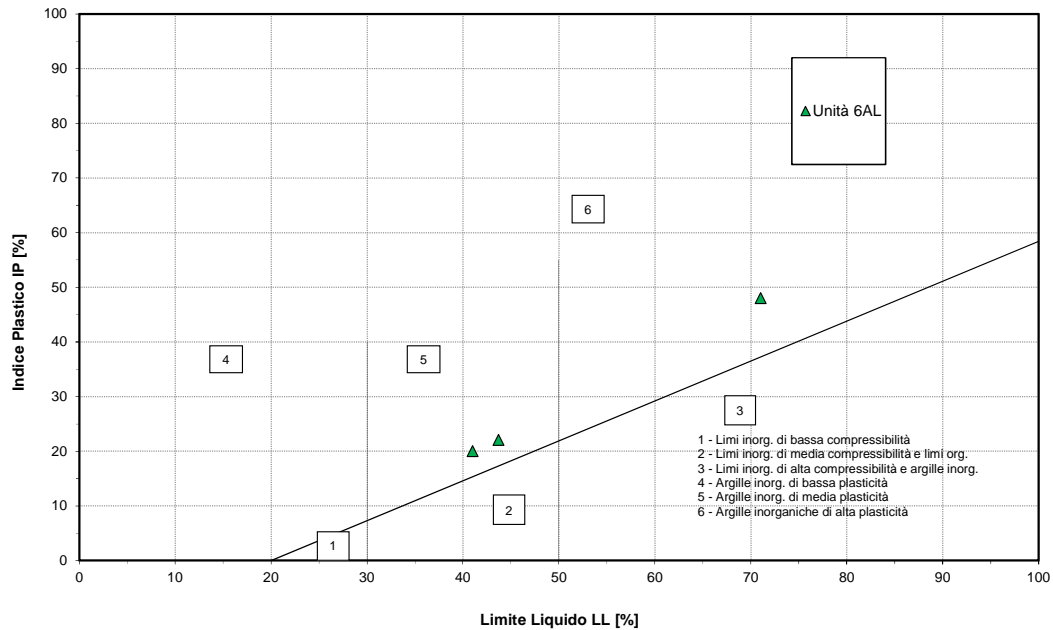


Figura 42 – Carta di plasticità di Casagrande – Unità 6AL

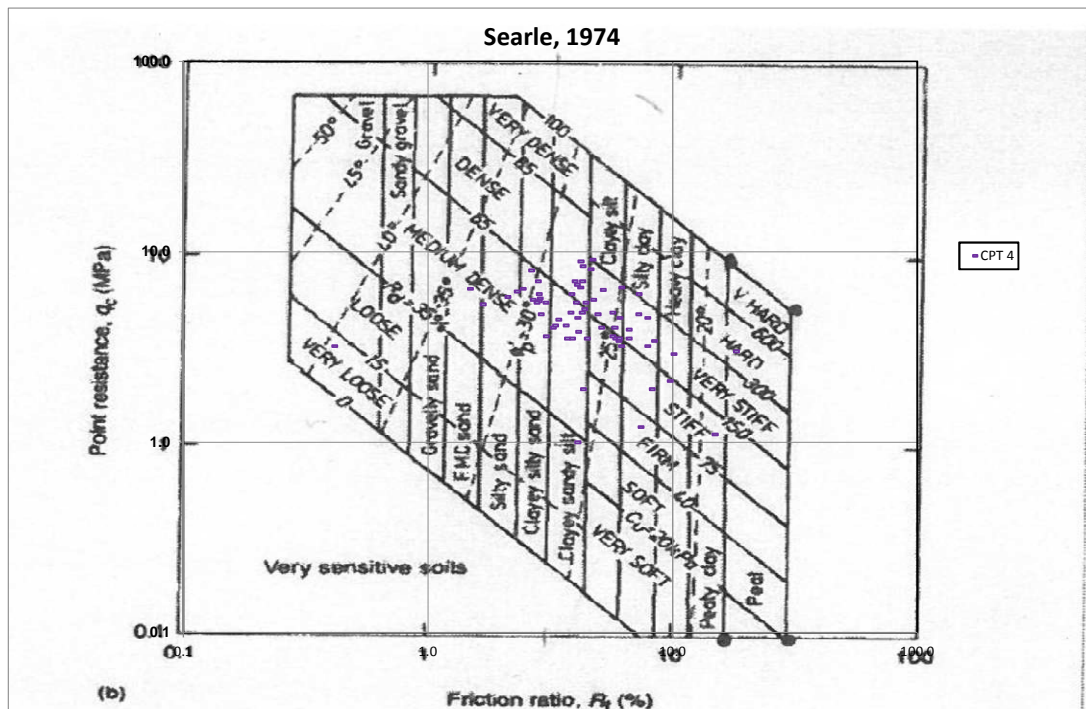


Figura 43 – Grafico di Searle per classificazione da prove CPT (angolo di resistenza al taglio) – Unità 6AL



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	101 di 227

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

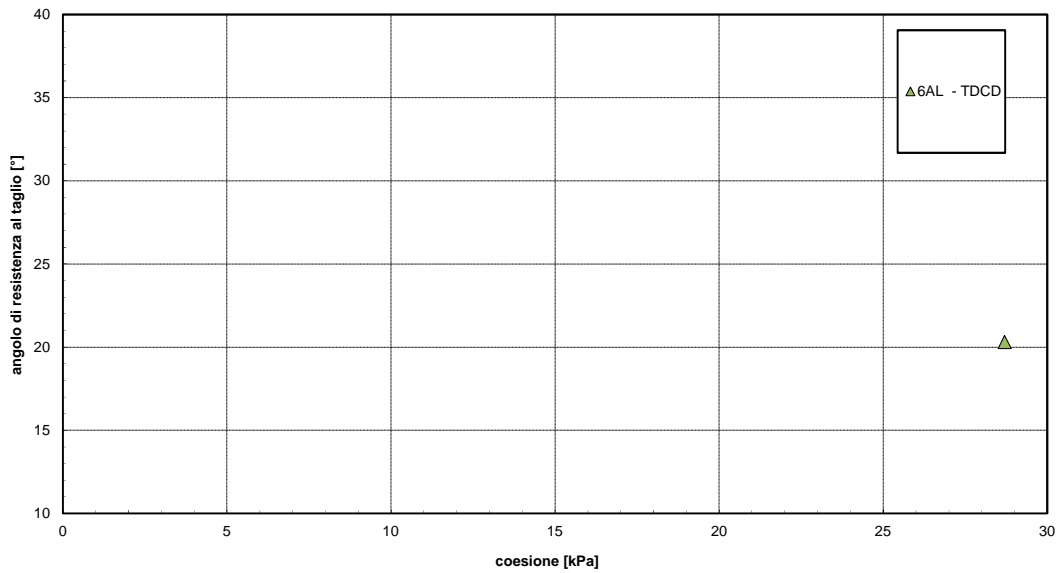
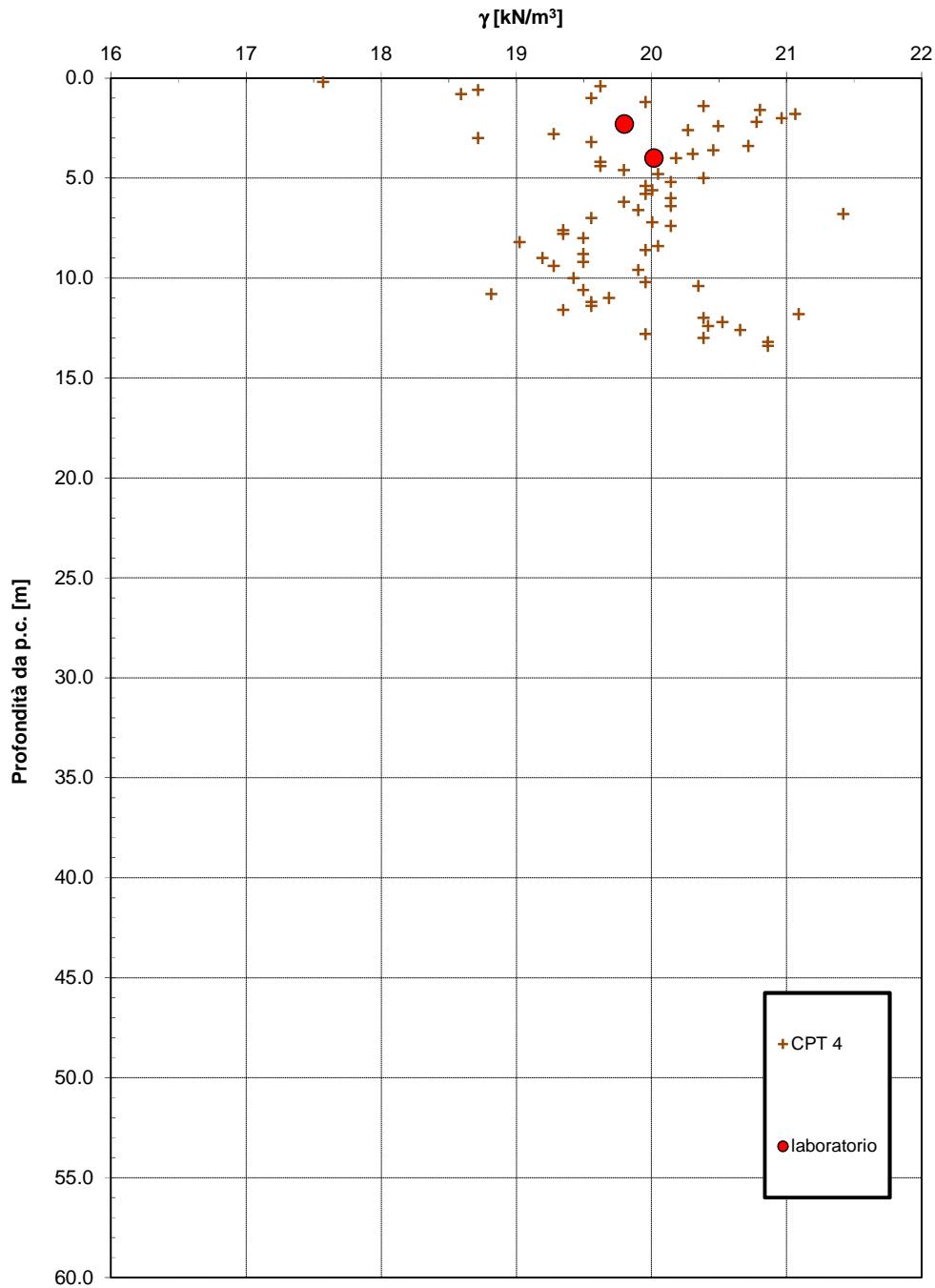


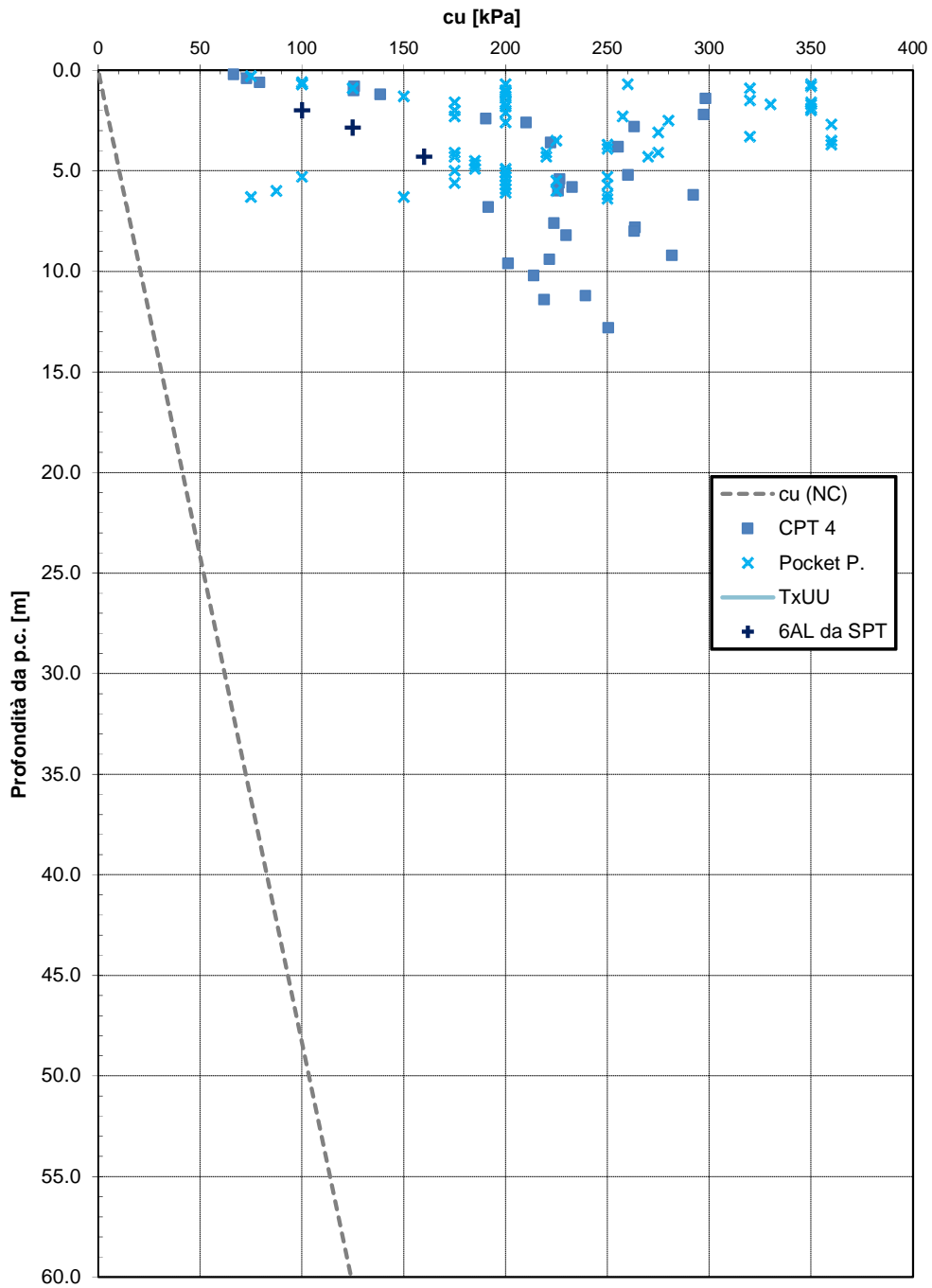
Figura 44 – Parametri di resistenza drenati da laboratorio – Unità 6AL

**Peso di volume naturale**



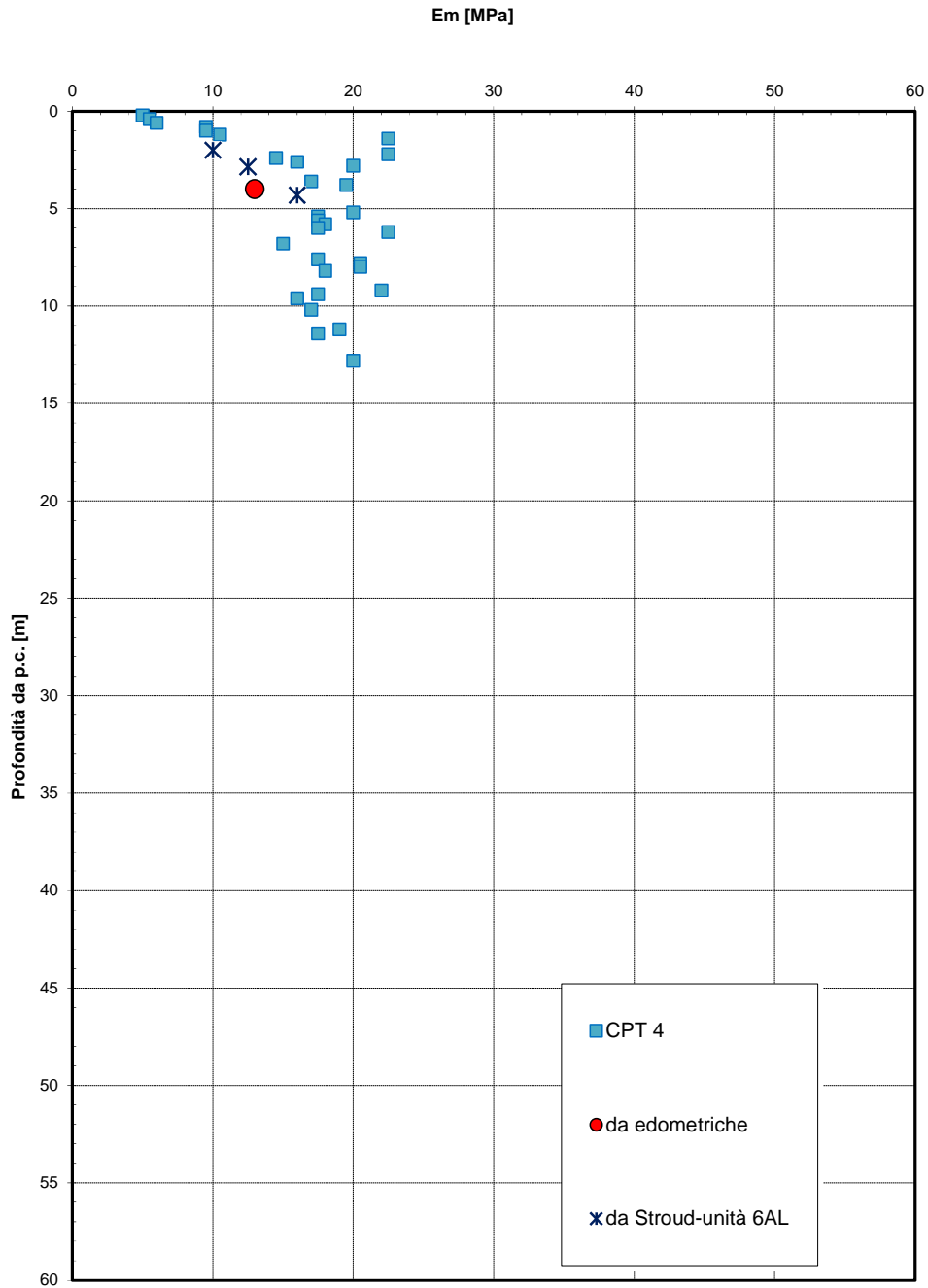
**Figura 45 – Peso di volume naturale da prove di laboratorio e CPT – Unità 6AL**

**Resistenza al taglio non drenata**



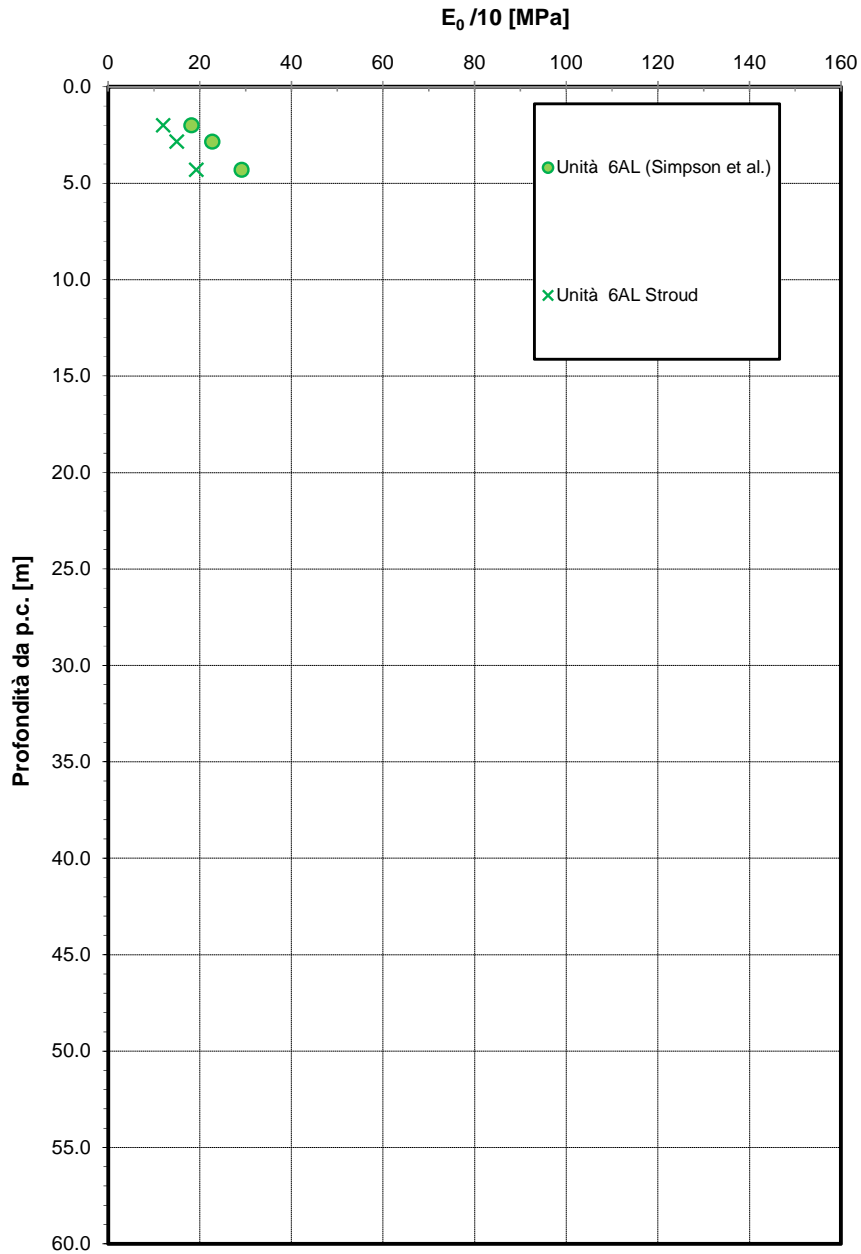
**Figura 46 – Resistenza al taglio non drenata – Unità 6AL**

**Modulo elastico di deformazione confinato per terreni coesivi**



**Figura 47 – Modulo elastico di deformazione confinato per terreni coesivi – Unità 6AL**

**Modulo di deformazione elastico operativo da prove SPT**



**Figura 48 - Modulo di deformazione elastico operativo per terreni coesivi- Unità 6AL**



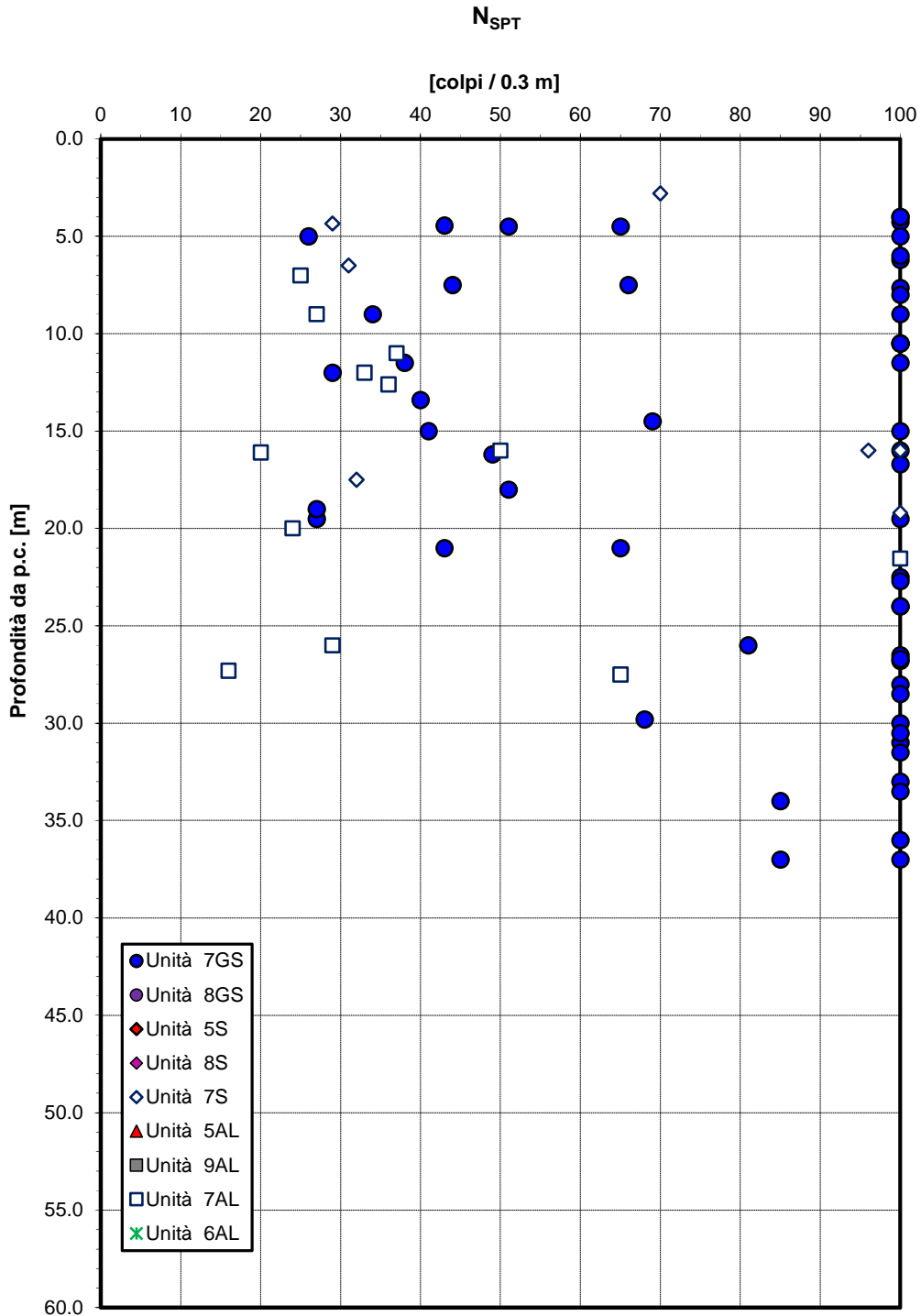
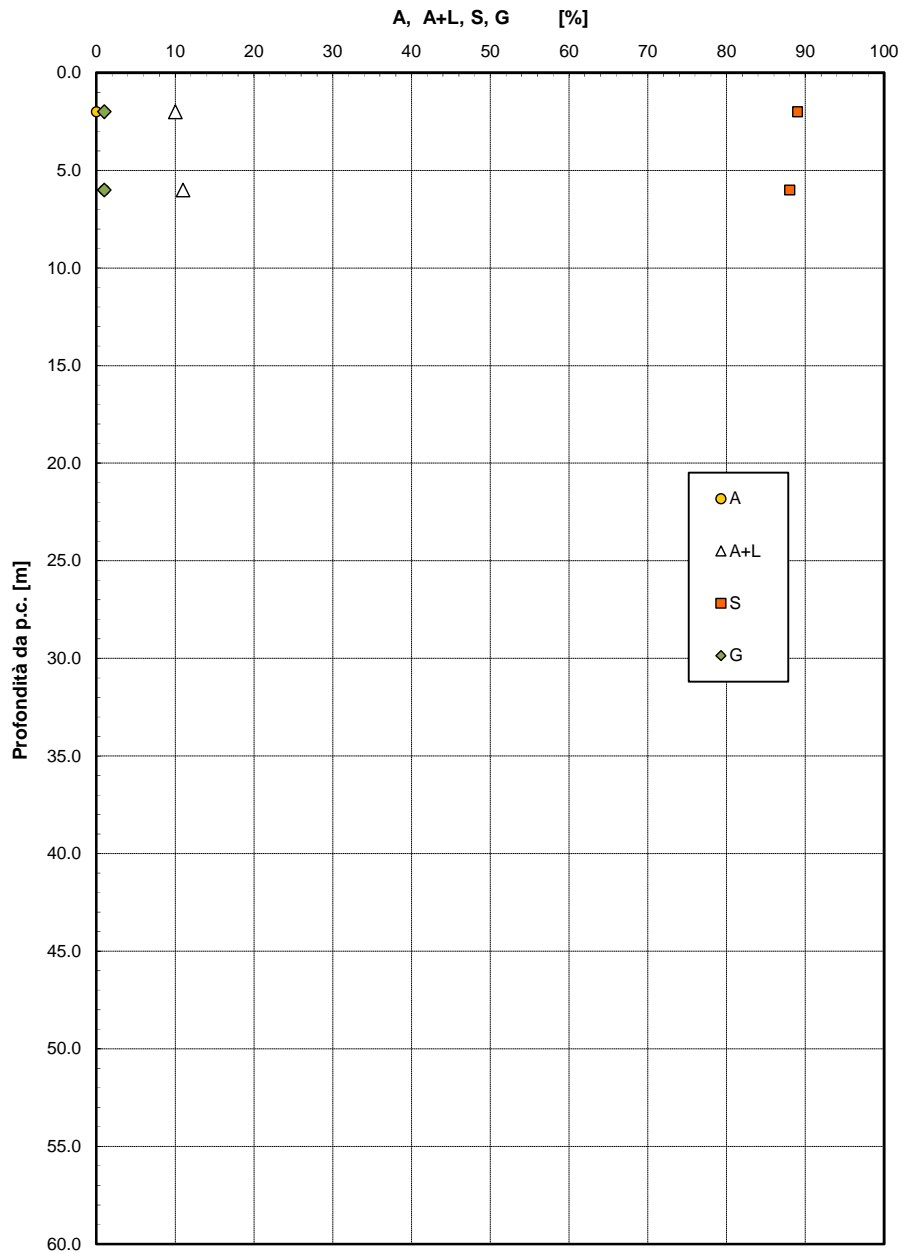


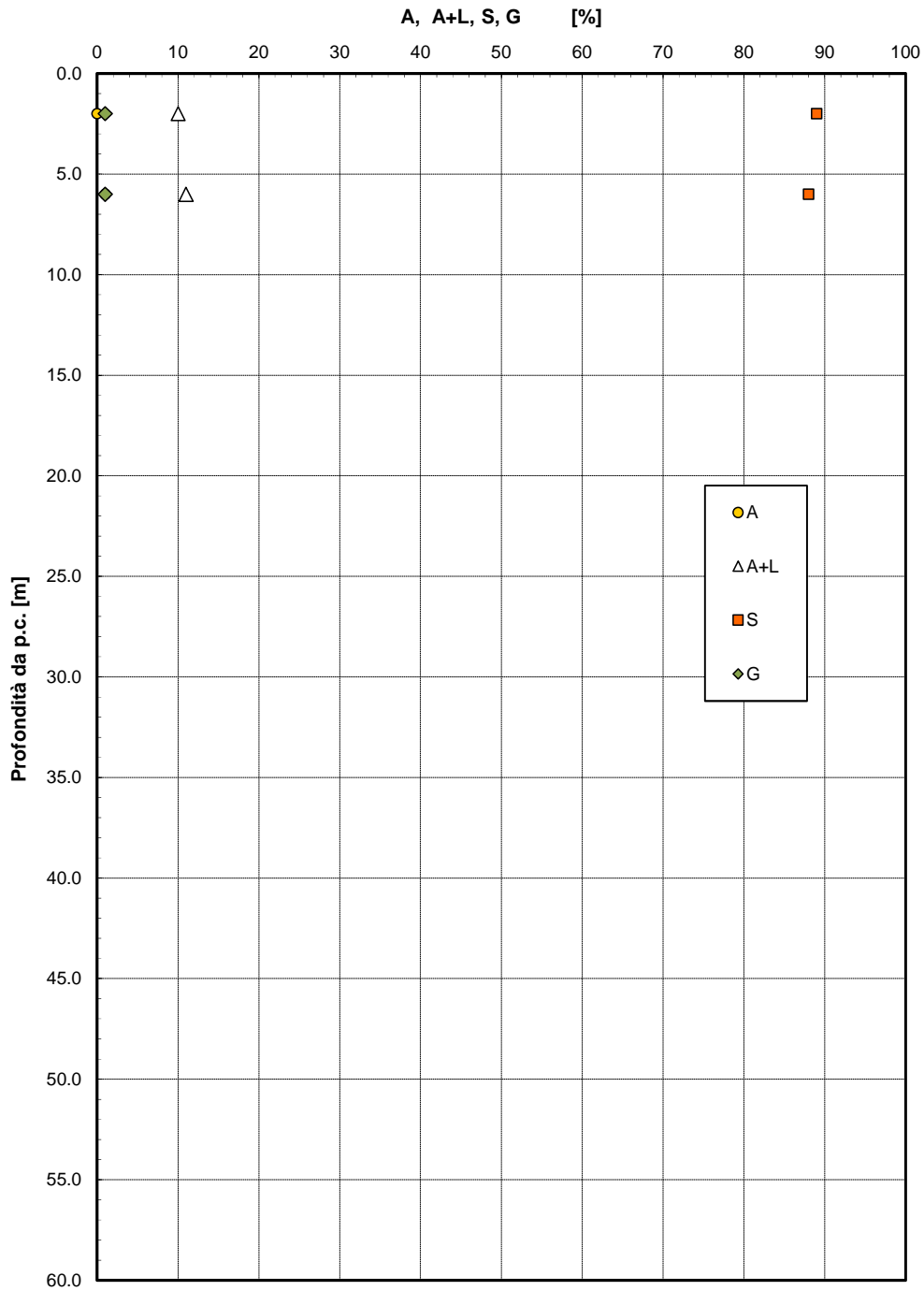
Figura 49 – Valori di N<sub>spt</sub> – Unità 7AL, 7S, 7GS

**Granulometria unità 7AL**



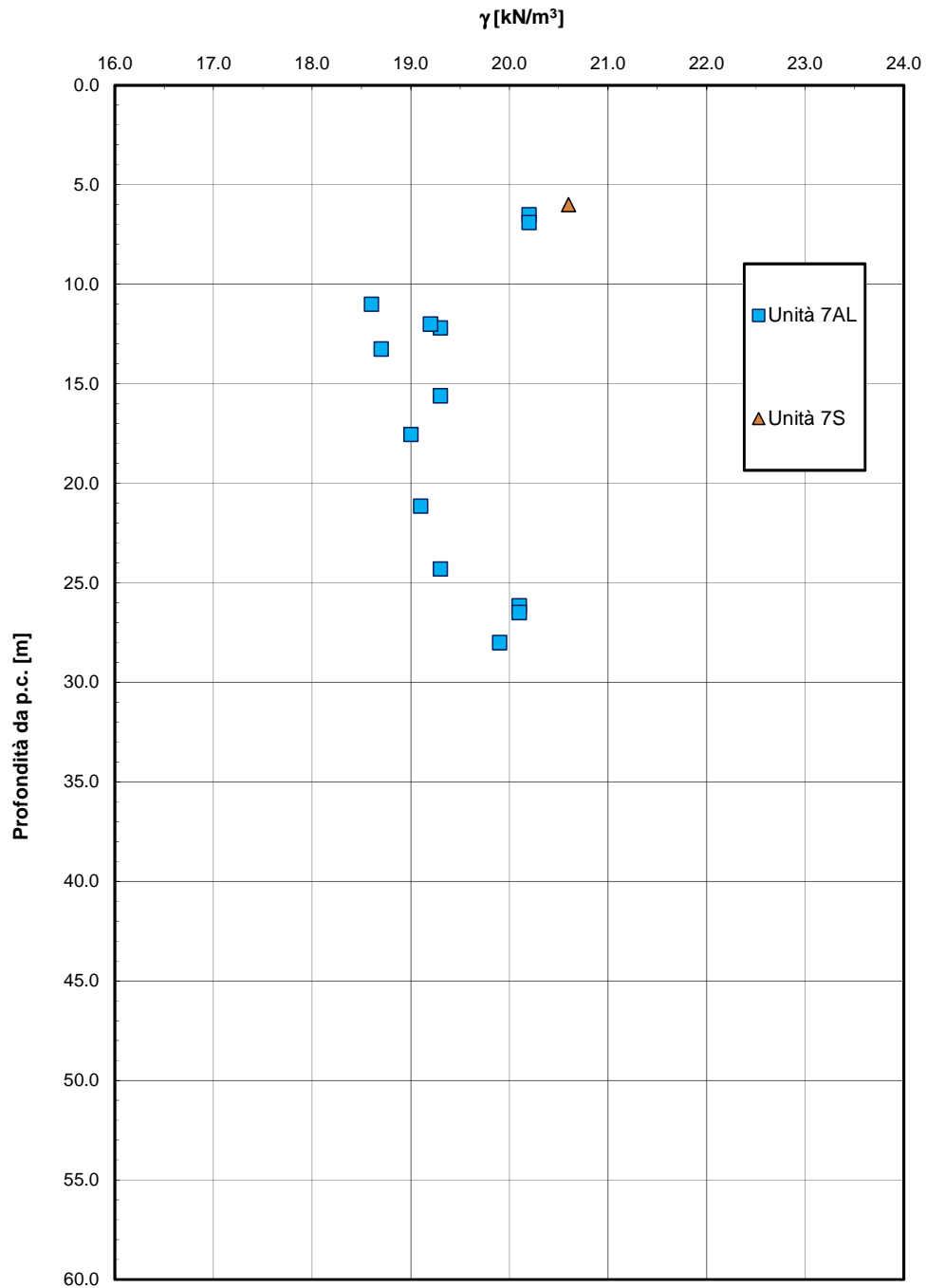
**Figura 50 – Analisi granulometrica – Unità 7AL**

**Granulometria unità 7S**



**Figura 51 – Analisi granulometrica – Unità 7S**

**Peso di volume**



**Figura 52 – Peso di volume naturale – Unità 7AL**

**Limiti di Atterberg e contenuto naturale d'acqua**

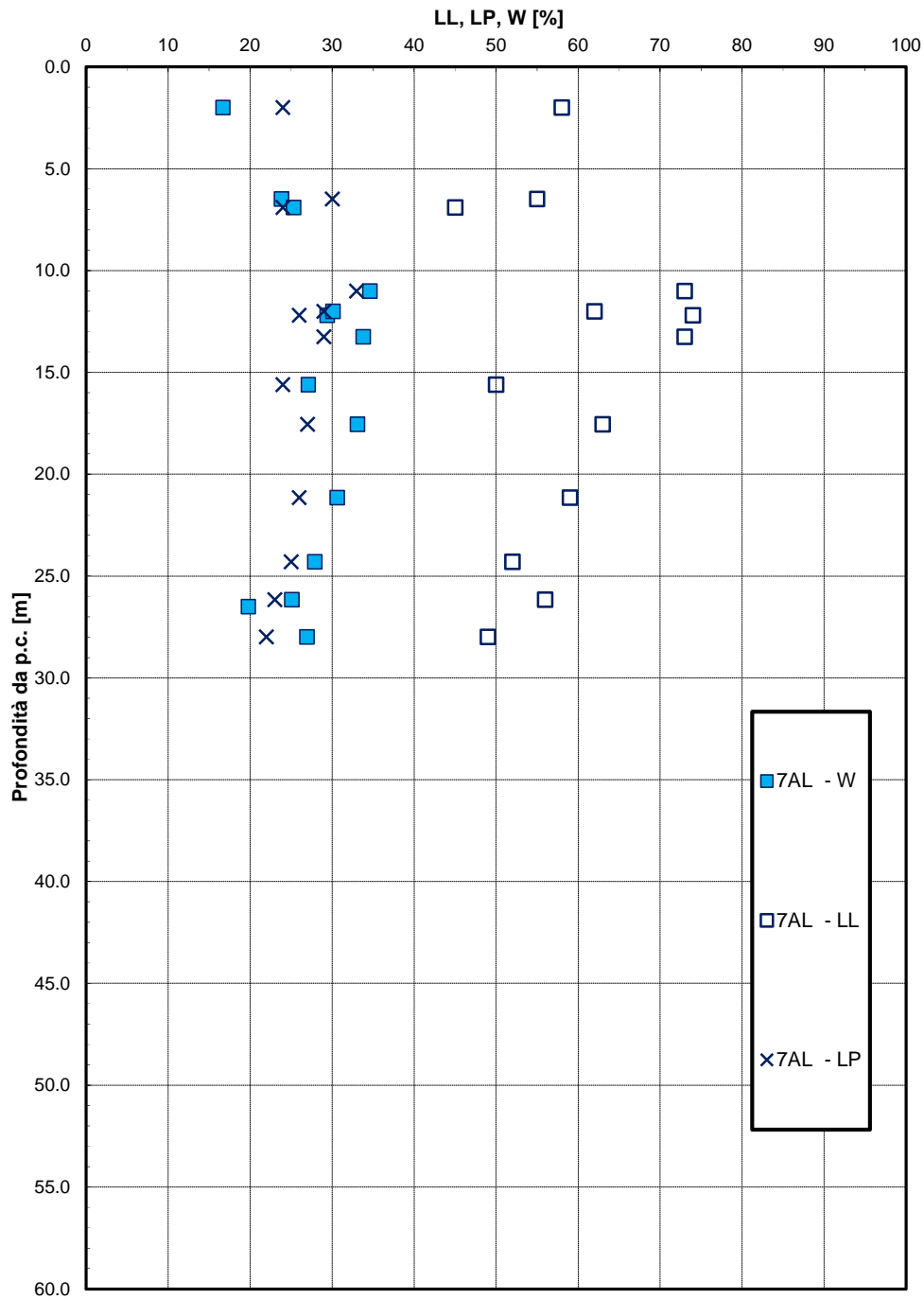
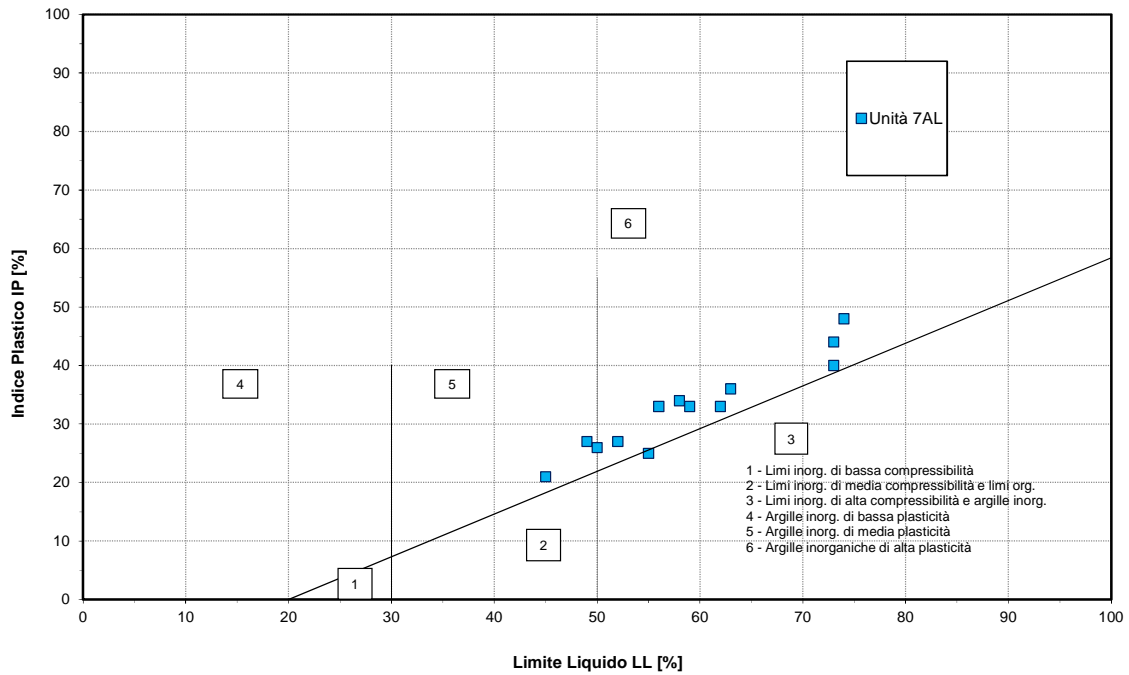


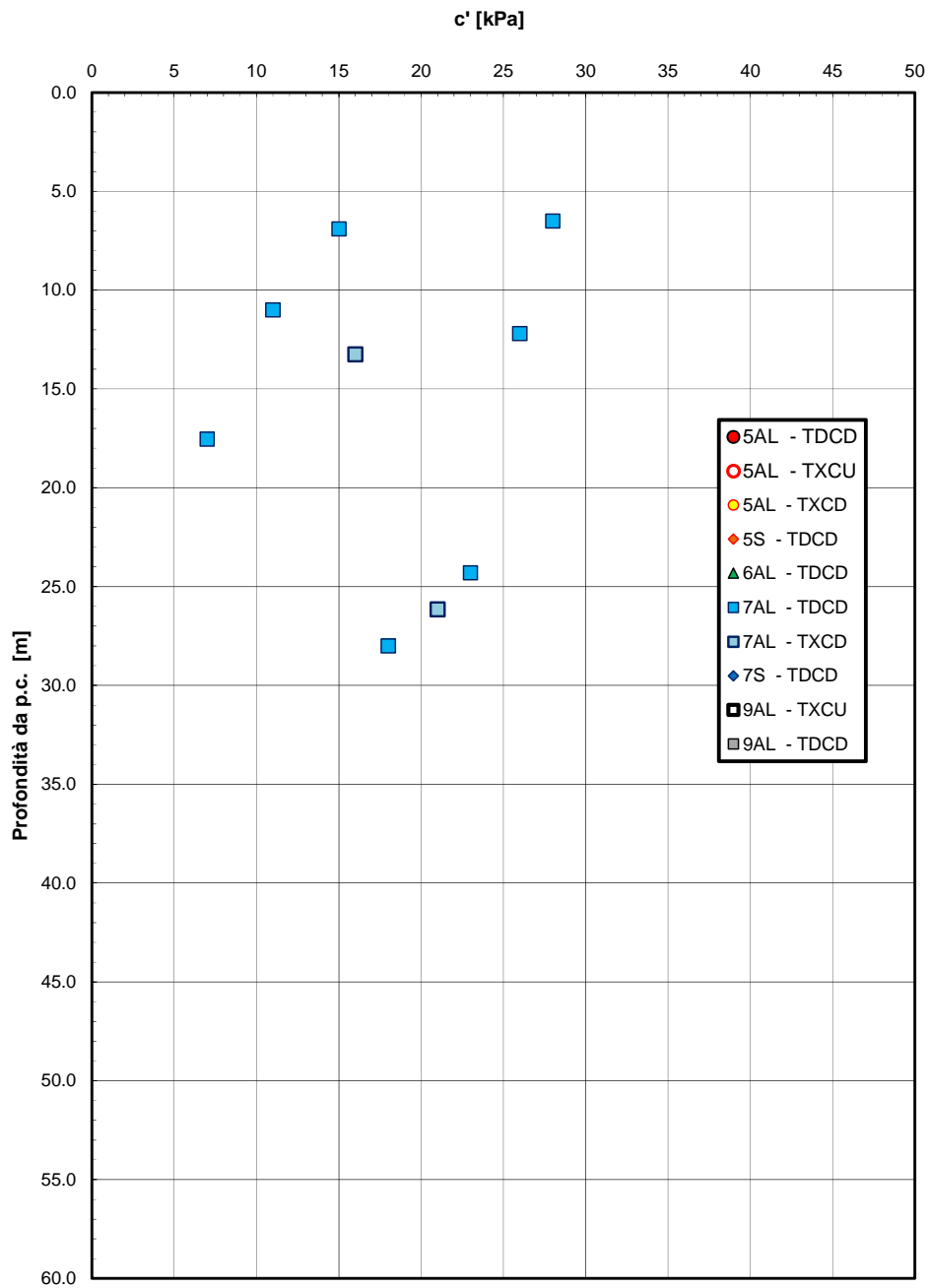
Figura 53 – Limiti di Atterberg – Unità 7AL

**Carta di Plasticità di Casagrande**



**Figura 54 – Carta di plasticità di Casagrande – Unità 7AL**

**Andamento della coesione con la profondità**



**Figura 55 - Andamento della coesione con la profondità – Unità 7AL**

Andamento della resistenza al taglio con la profondità

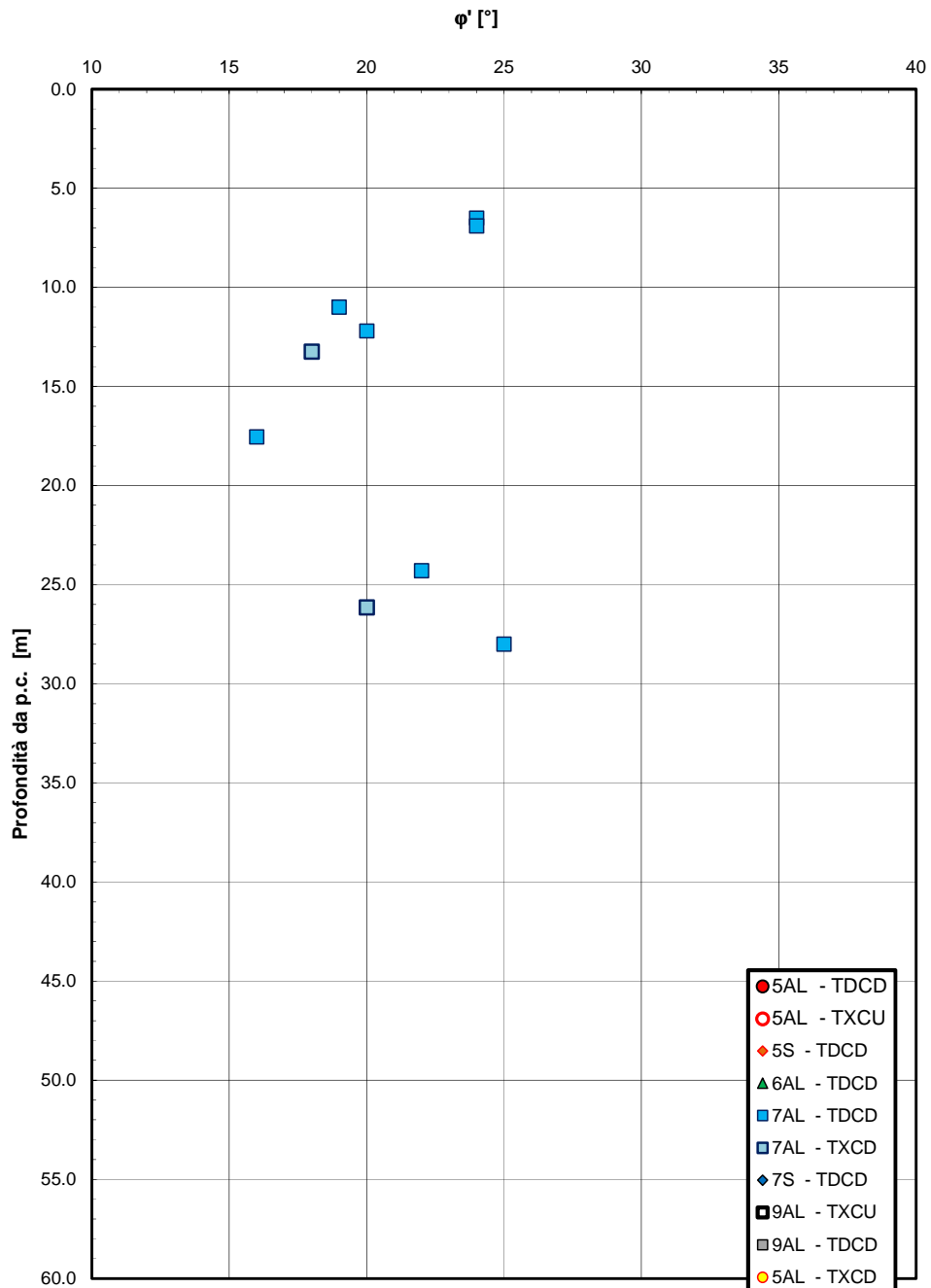


Figura 56 – Andamento della resistenza al taglio con la profondità – Unità 7AL



Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

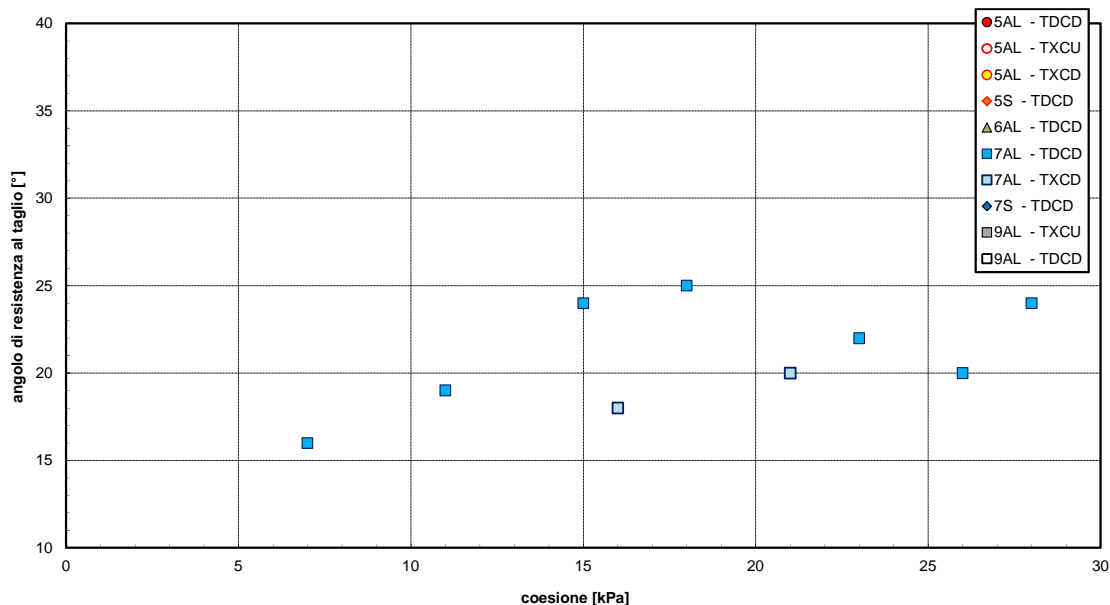


Figura 57 - Angolo di resistenza al taglio e coesione drenata- Unità 7AL

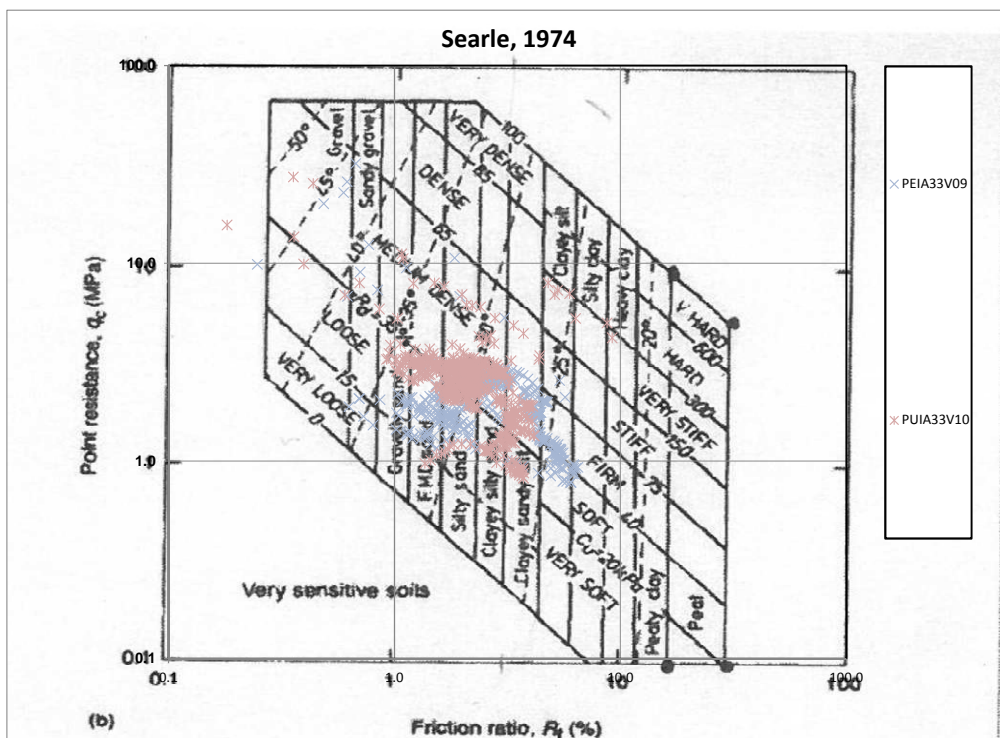


Figura 58 - Grafico di Searle per classificazione da prove CPT – Unità 7AL

**Coesione drenata (coesivi)**

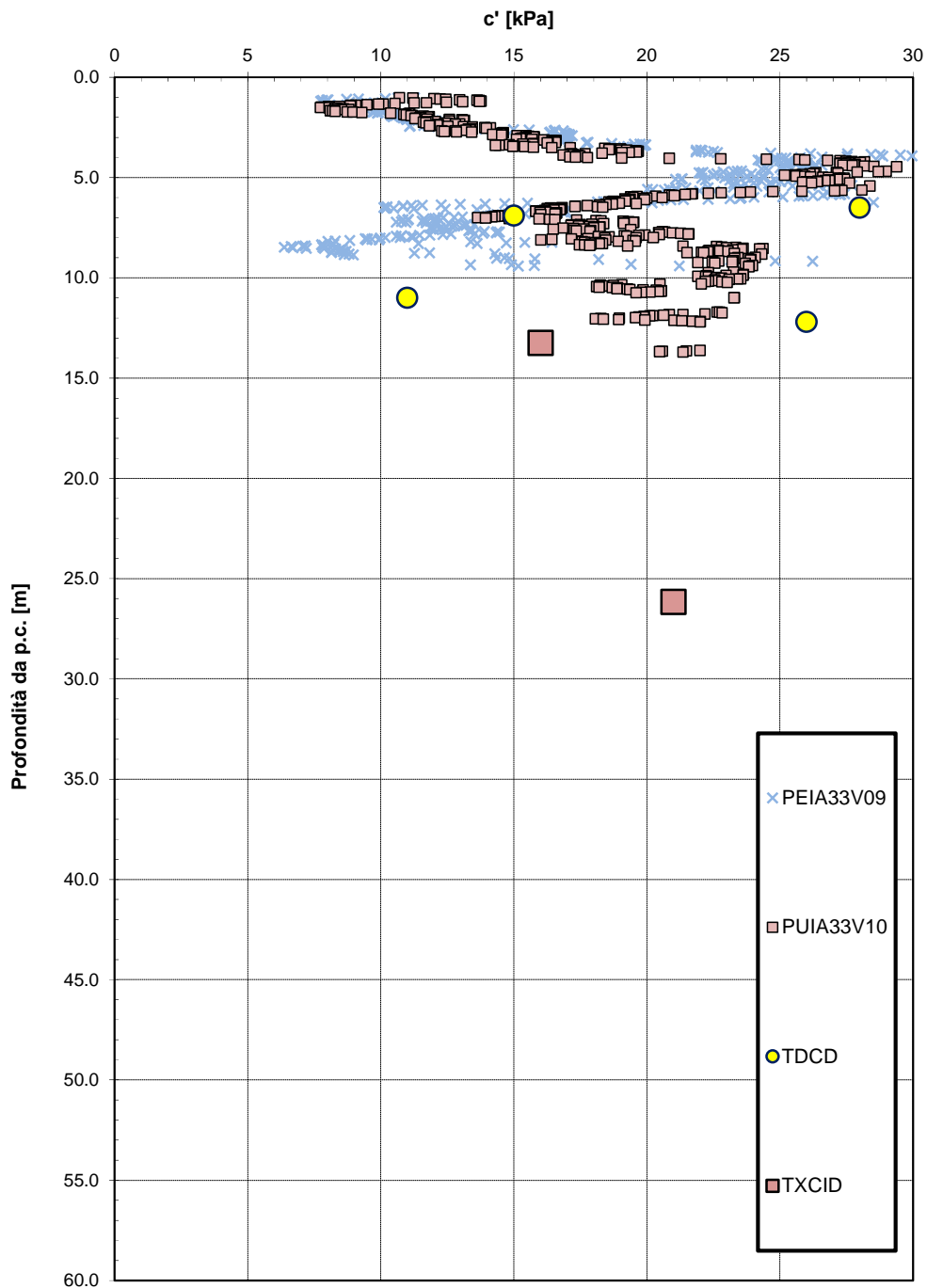
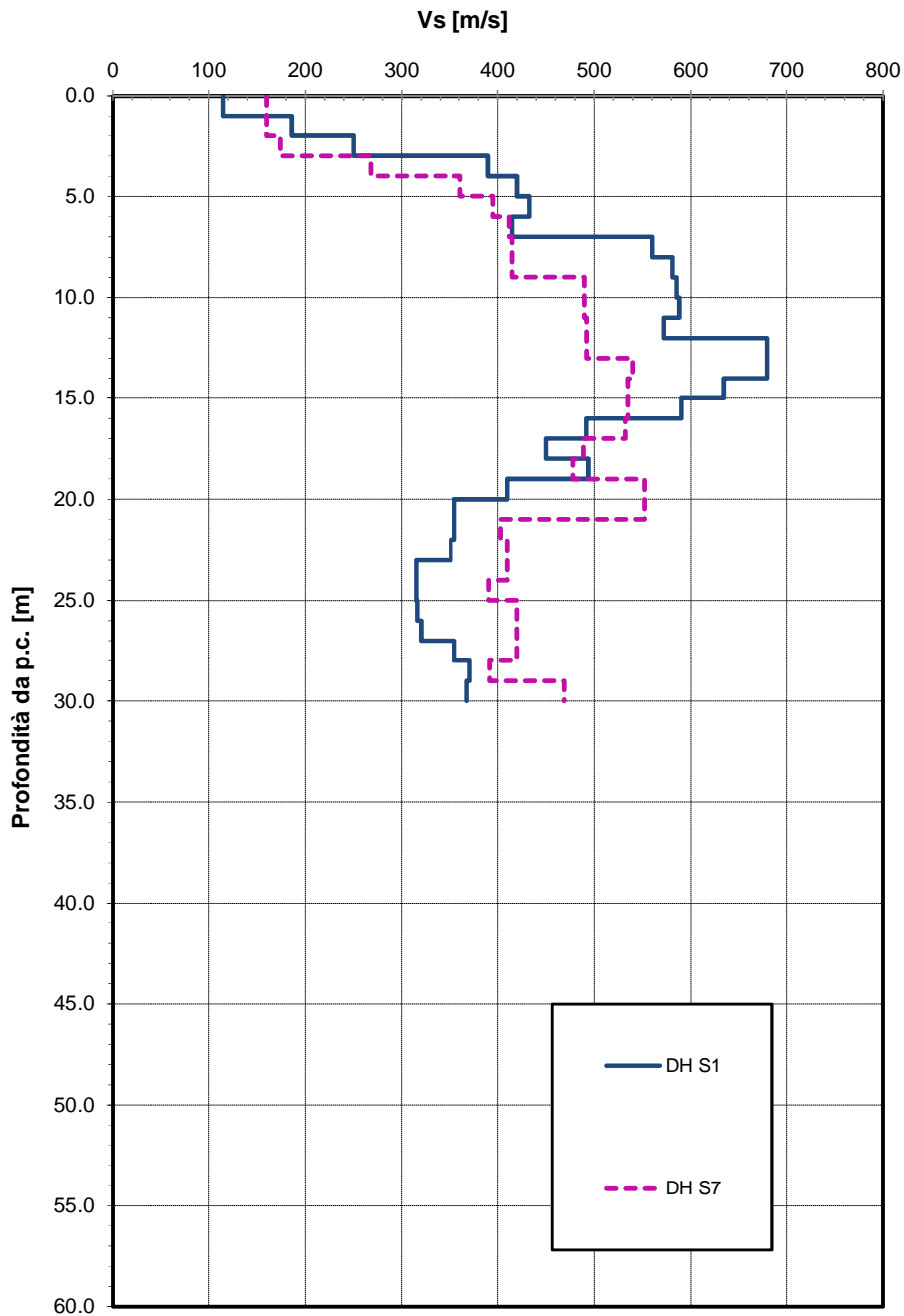


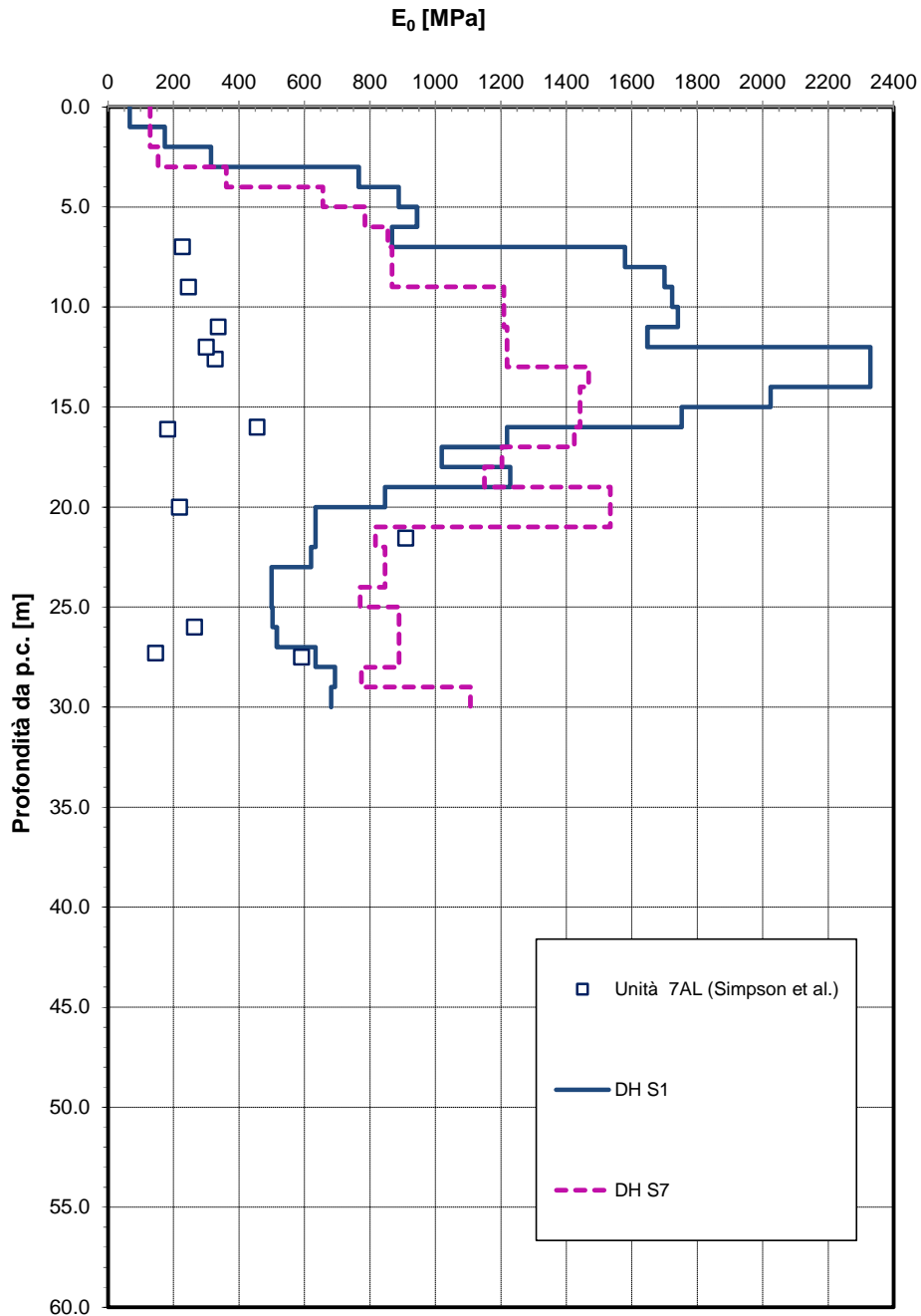
Figura 59 – Coesione drenata da prove CPT +laboratorio– Unità 7AL

**Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche**



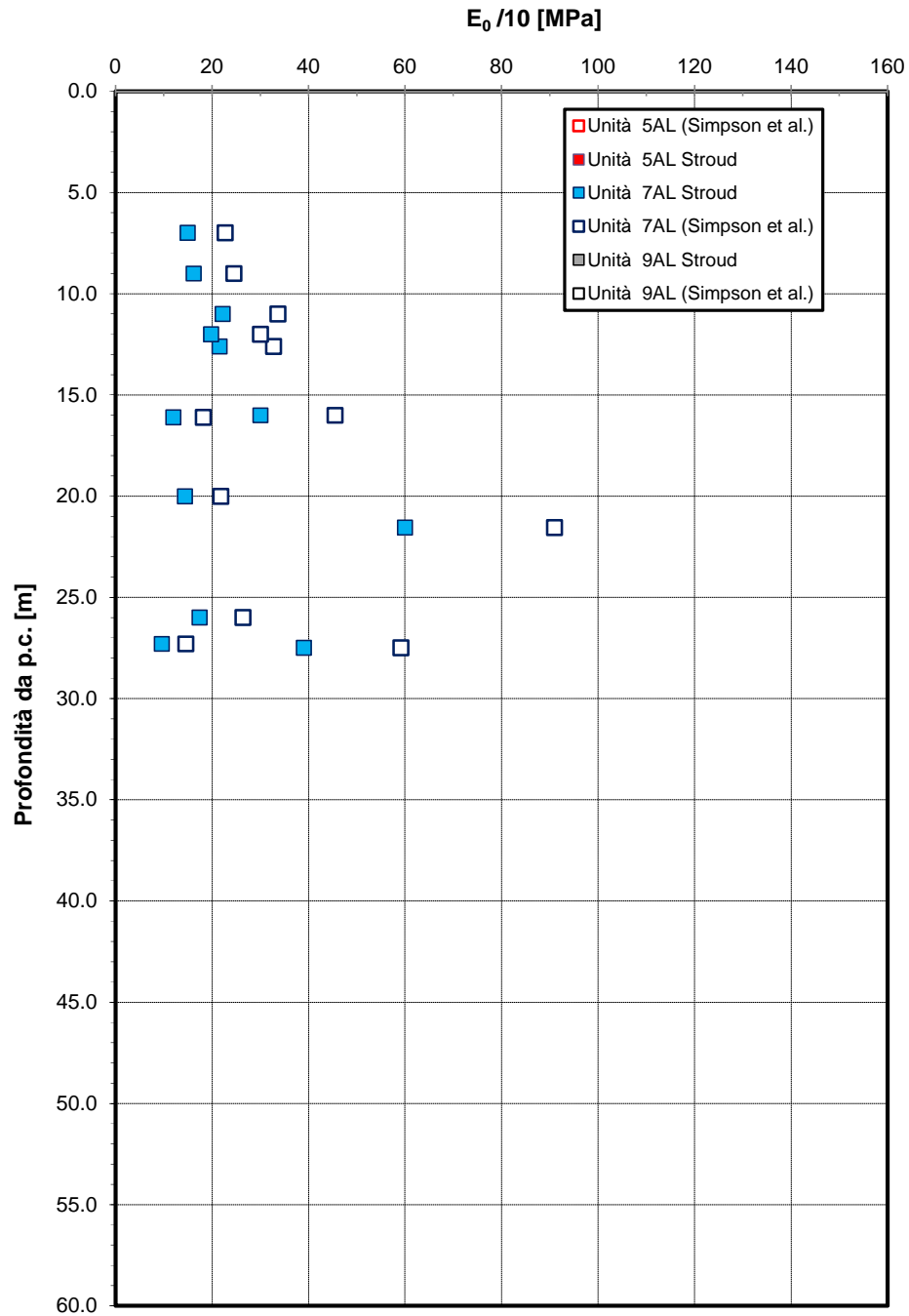
**Figura 60 – Velocità delle onde di taglio da prove sismiche – Unità 7AL**

**Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche**

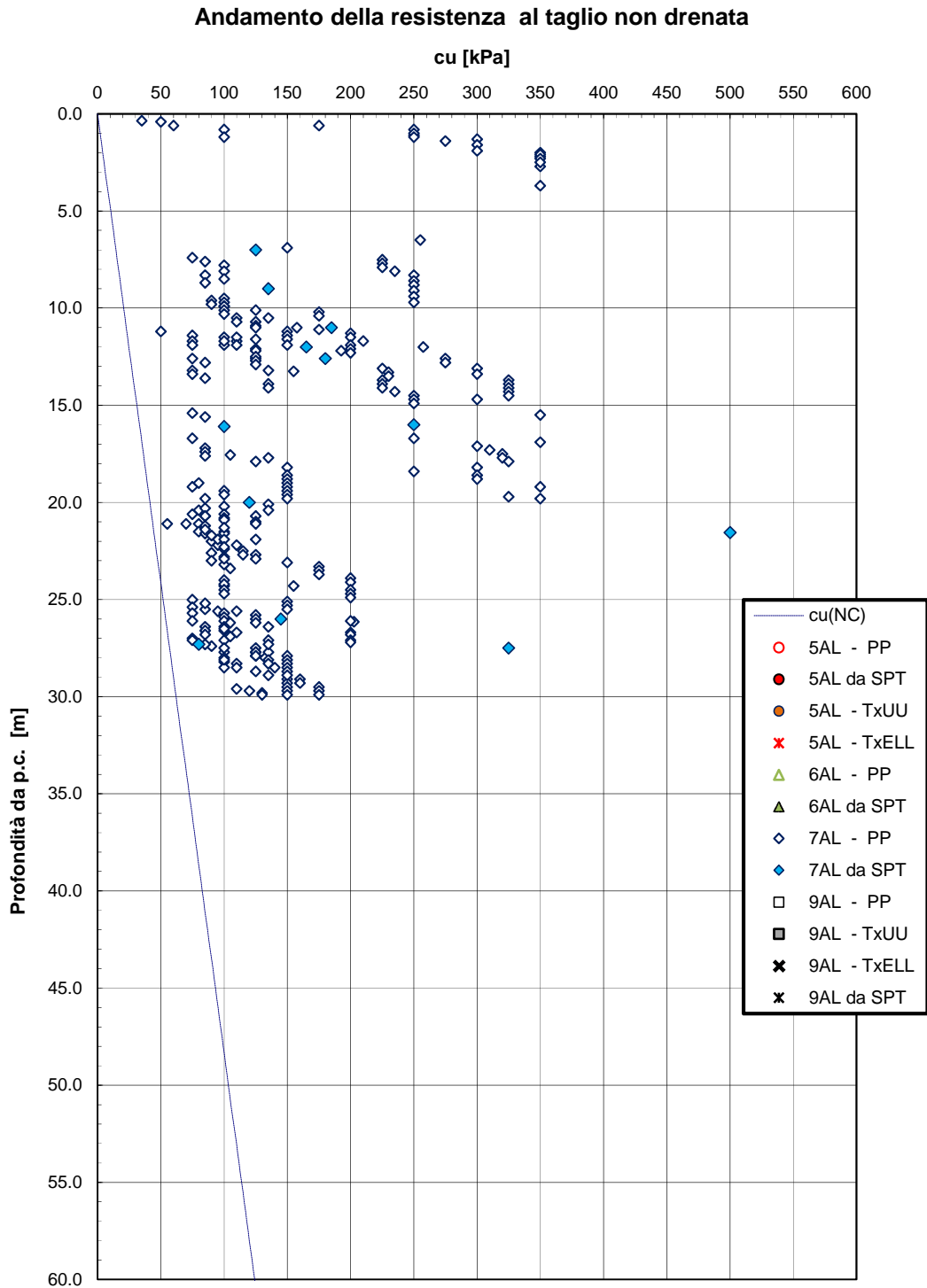


**Figura 61 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove sismiche – Unità 7AL**

**Modulo di deformazione elastico operativo da prove SPT**

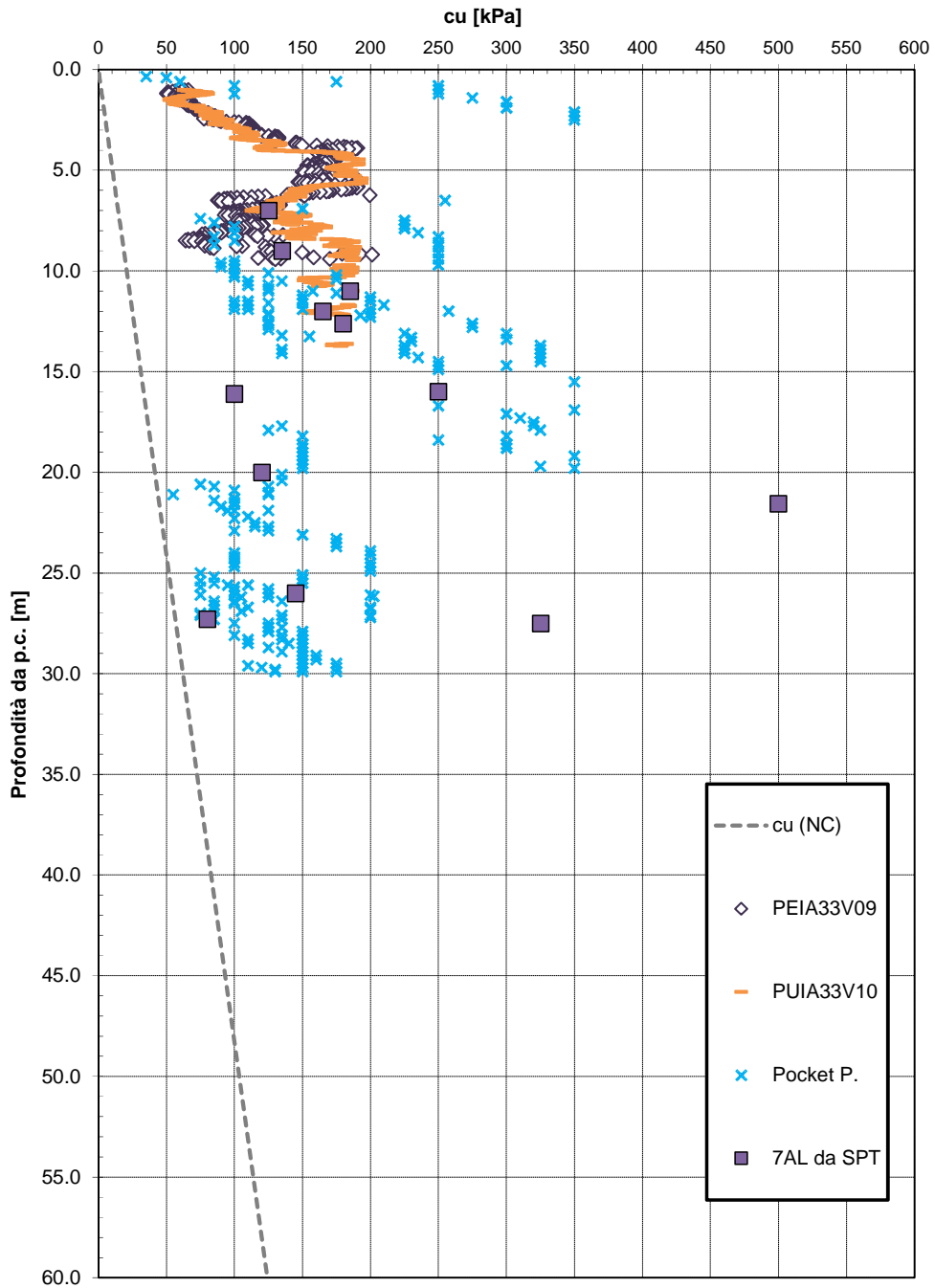


**Figura 62 – Modulo di deformazione elastico operativo da prove SPT – Unità 7AL**



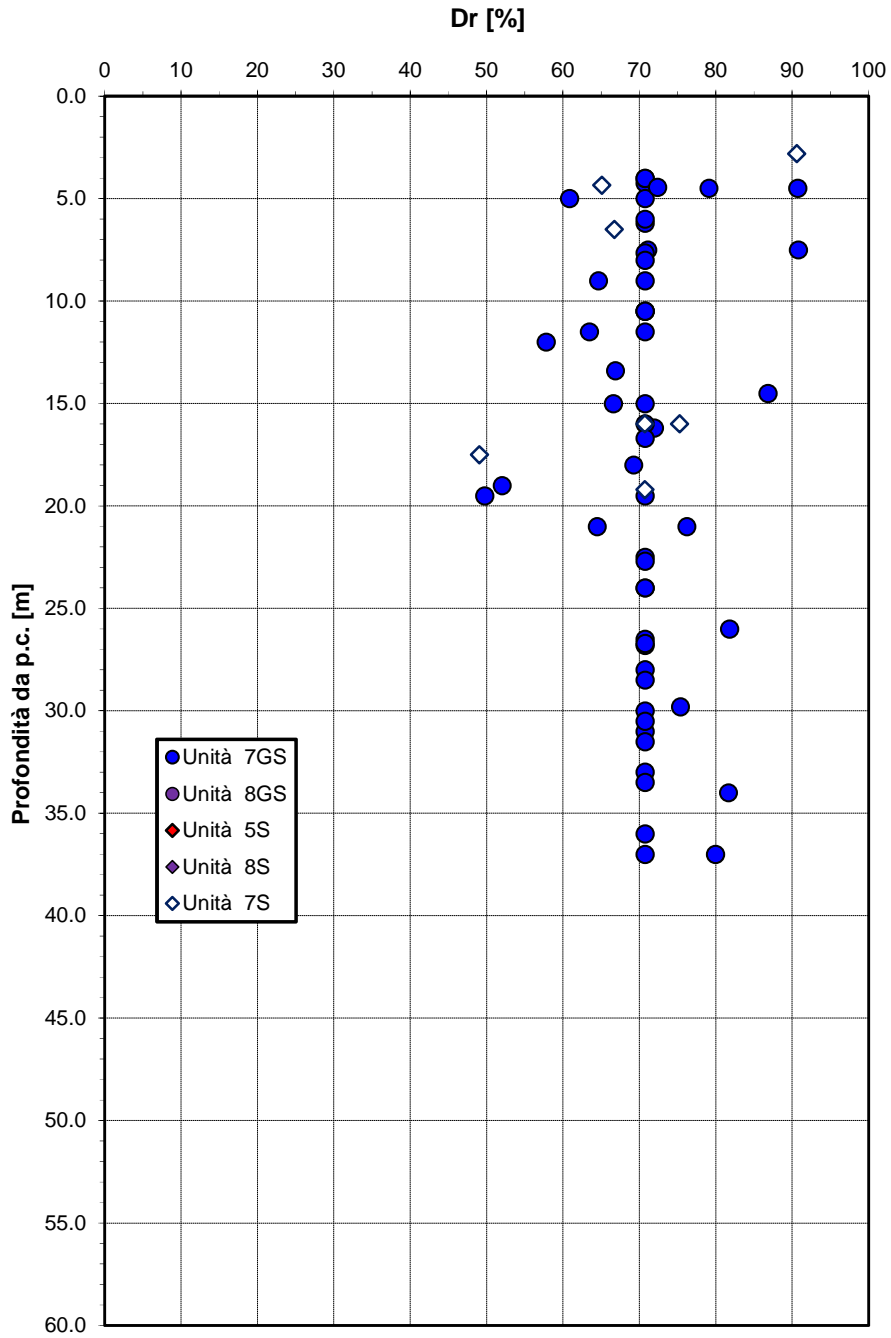
**Figura 63 – Resistenza al taglio non drenata – Unità 7AL**

**Resistenza al taglio non drenata**



**Figura 64 – Resistena al taglio non drenata da prove CPT – Unità 7AL**

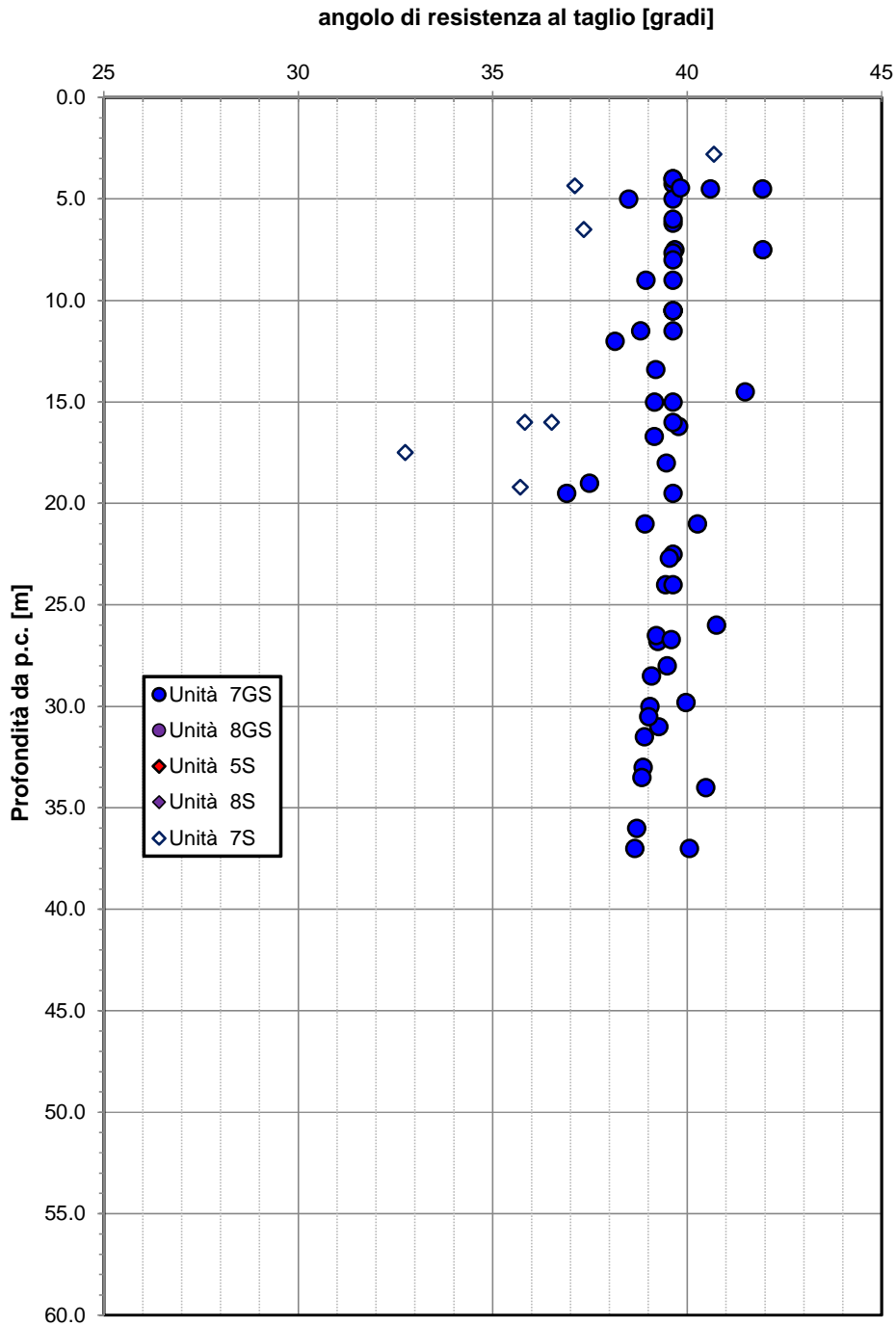
**Densità relativa da prove SPT**



**Figura 65 – Densità relativa da prove SPT – Unità 7S/7GS**



**Angolo di resistenza al taglio da prove SPT**



**Figura 66 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT – Unità 7S/7GS**

**Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche**

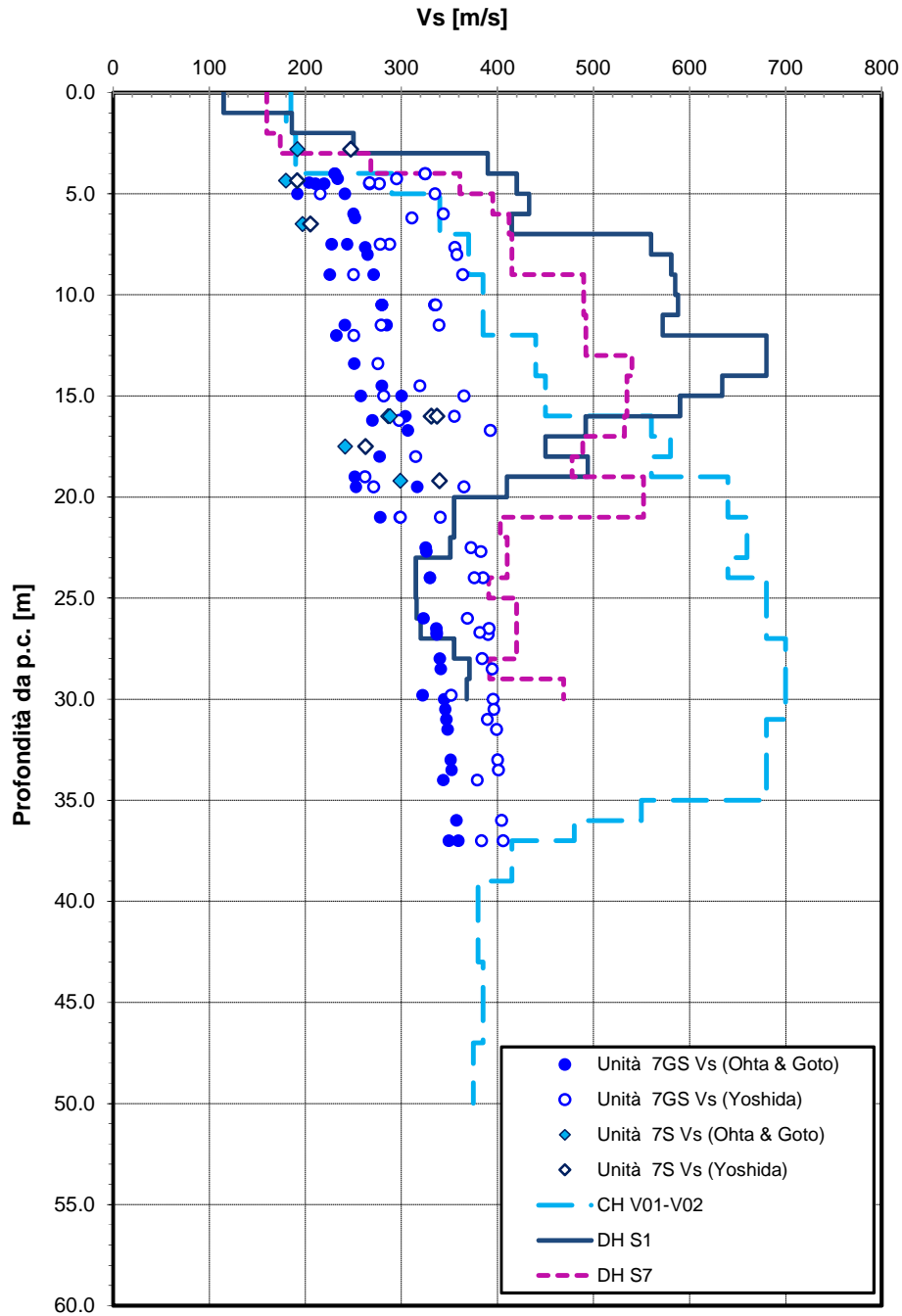


Figura 67 – Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche – Unità 7S, 7GS

**Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT**

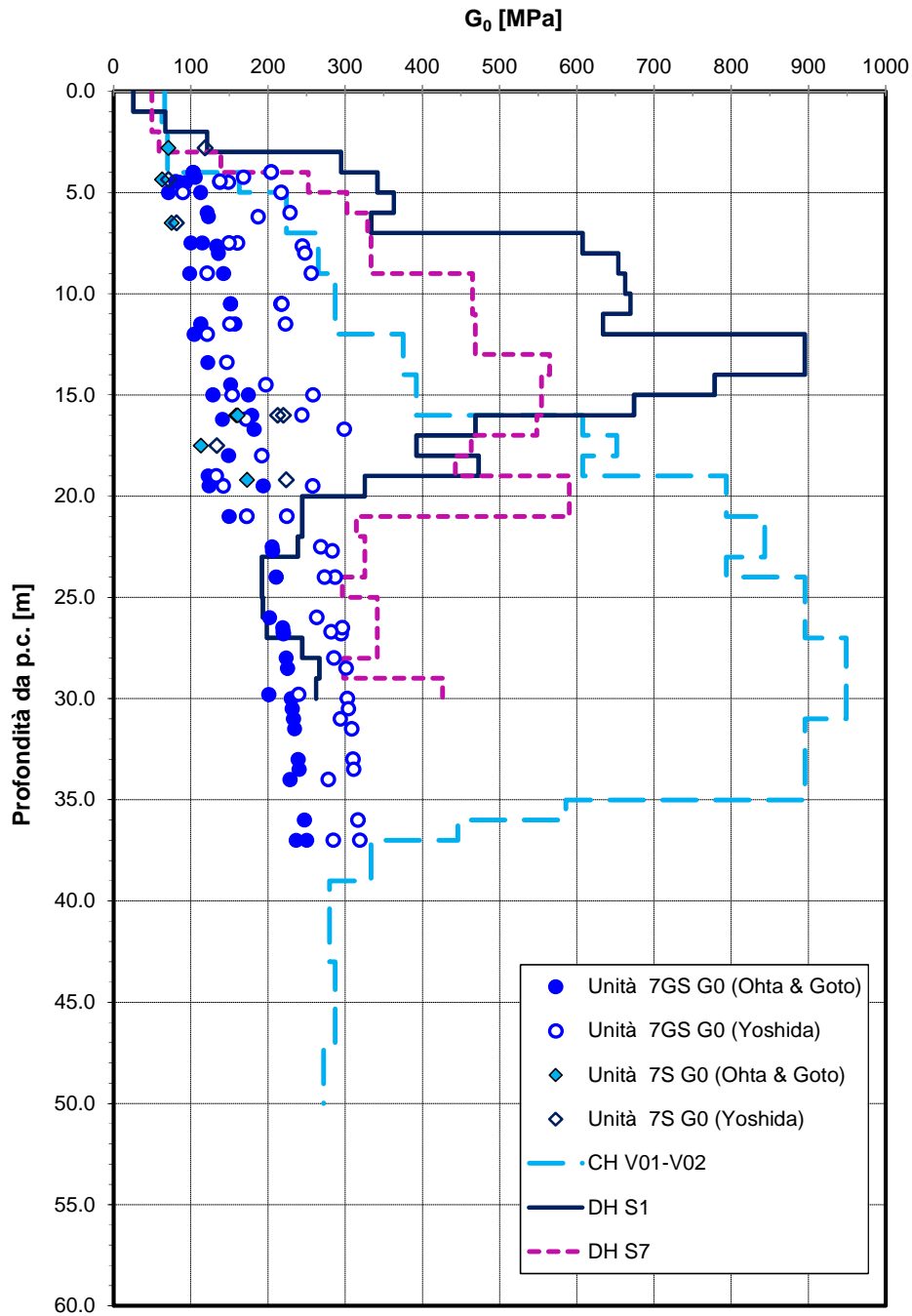


Figura 68 – Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT e sismiche – Unità 7S, 7GS

**Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche**

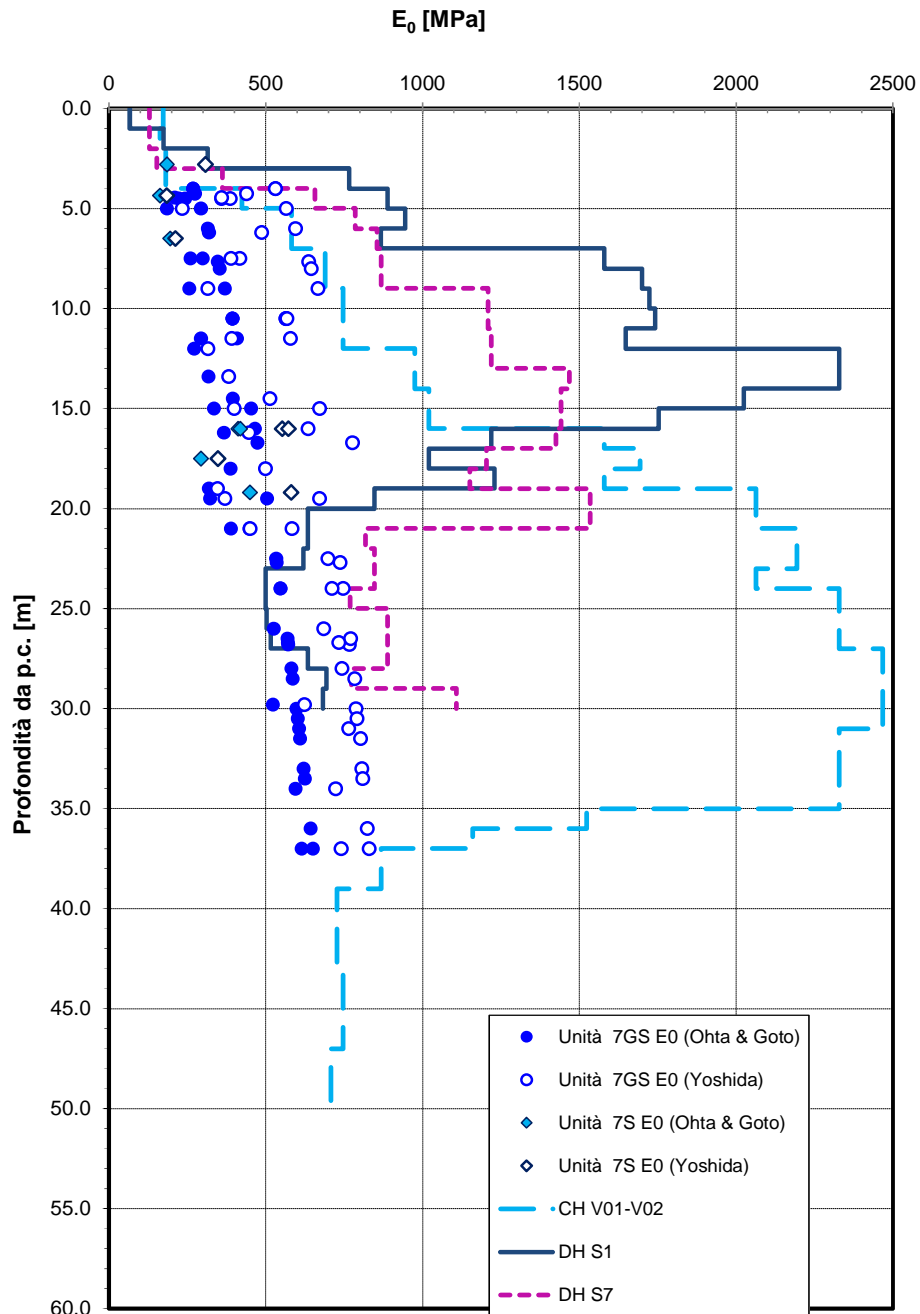


Figura 69 – Modulo di defrmazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche – Unità 7S, 7GS

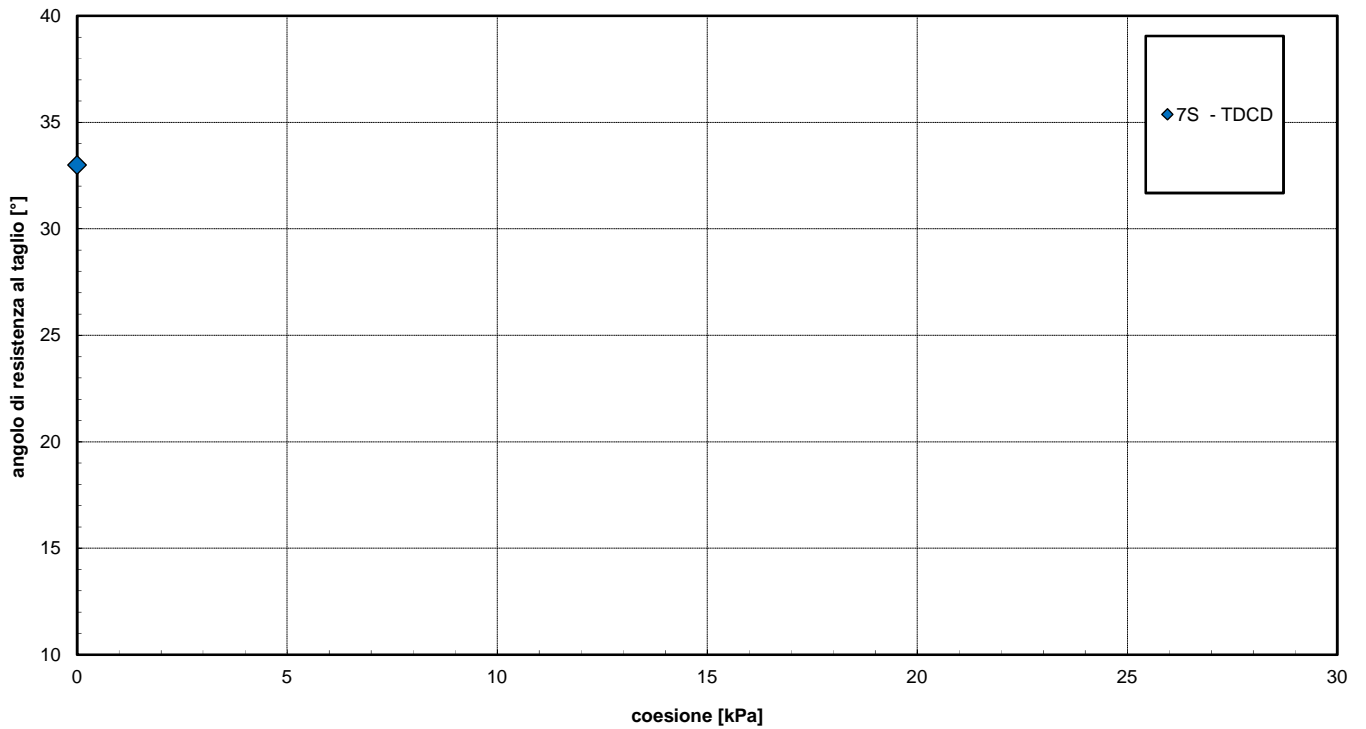


LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	126 di 227

**Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio**



**Figura 70 – Parametri di resistenza da laboratorio – Unità 7S**

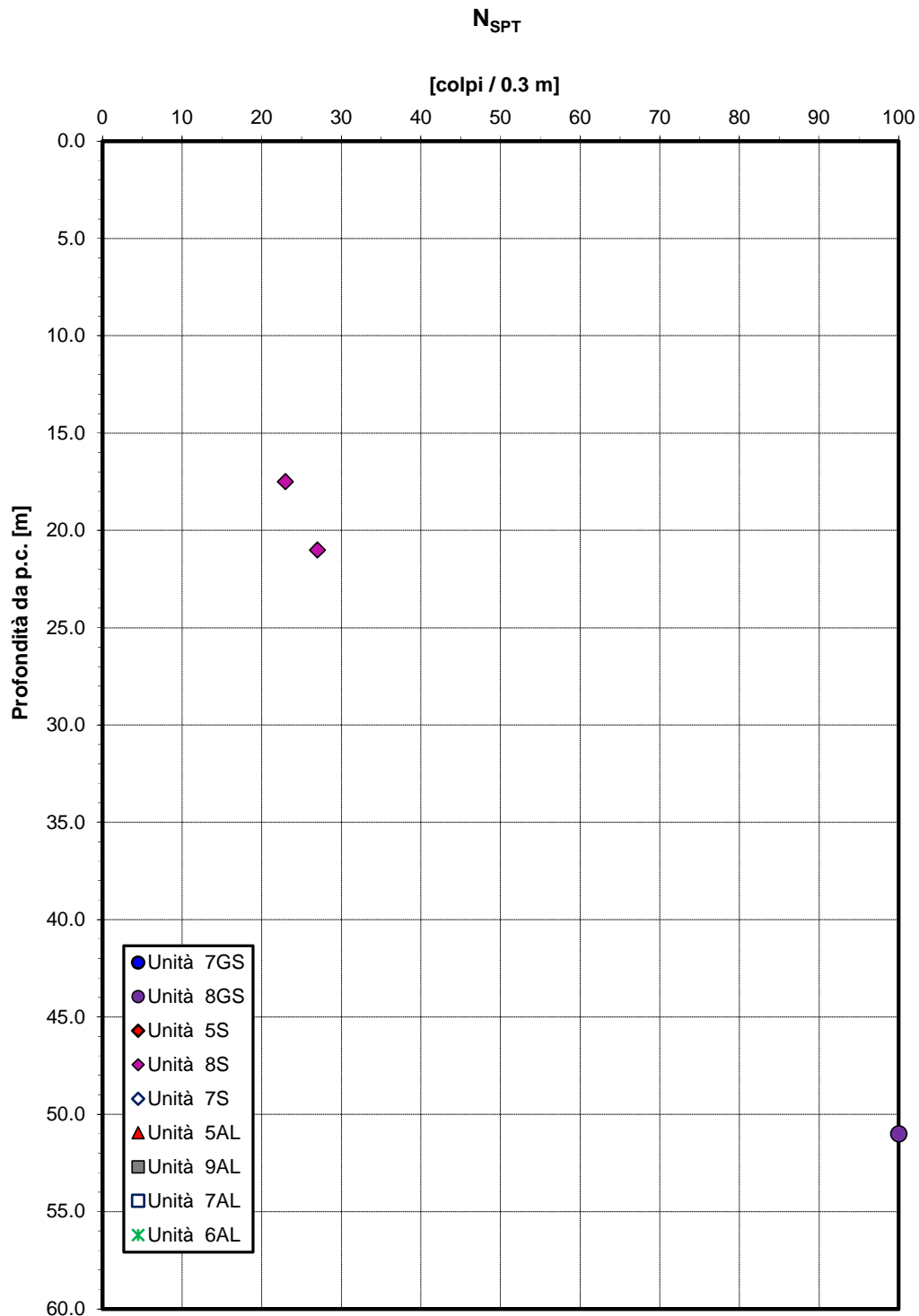
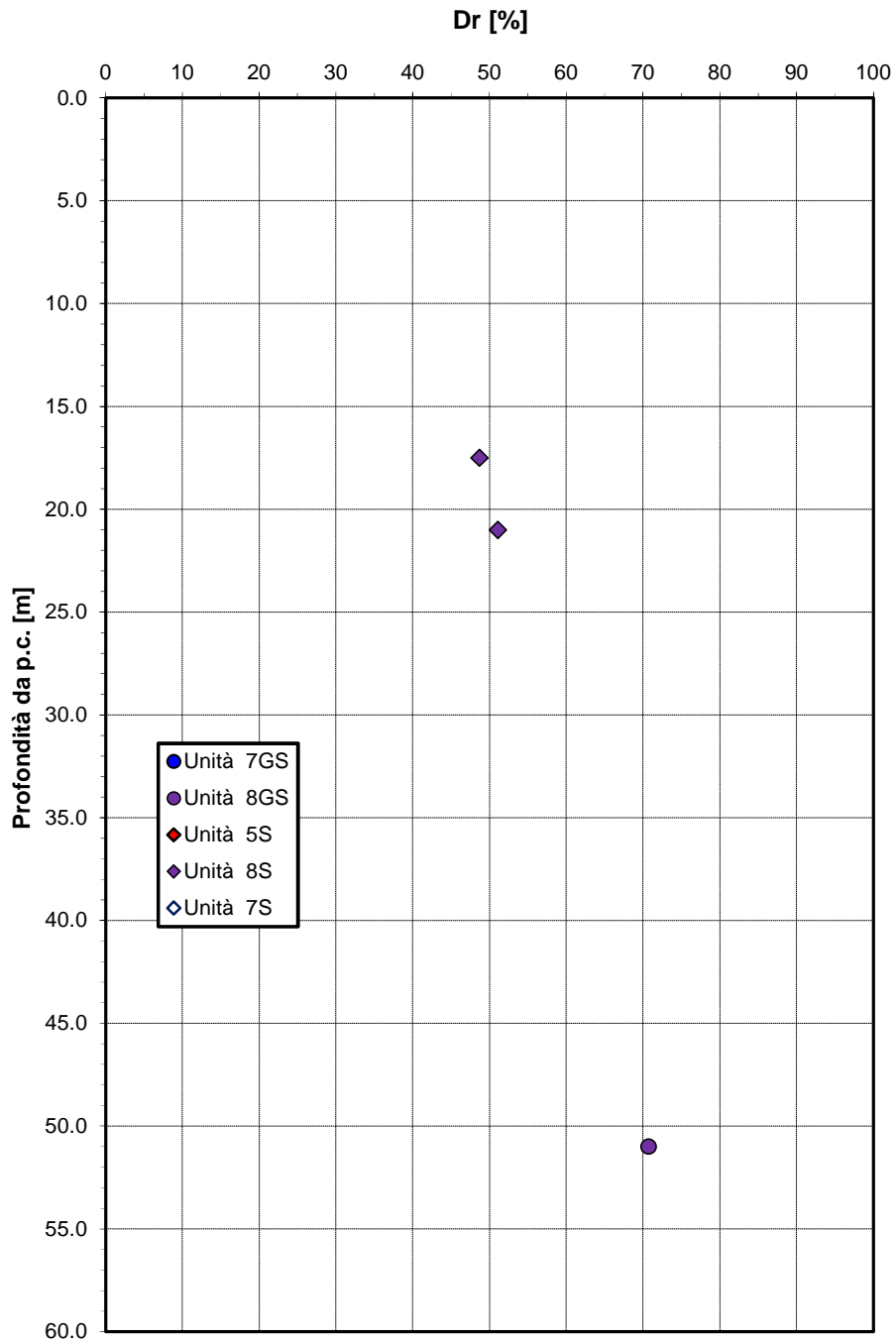


Figura 71 - Valori di SPT – Unità 8S

**Densità relativa da prove SPT**



**Figura 72 – Densità relativa da prove SPT – Unità 8S e 8GS**

### Angolo di resistenza al taglio da prove SPT

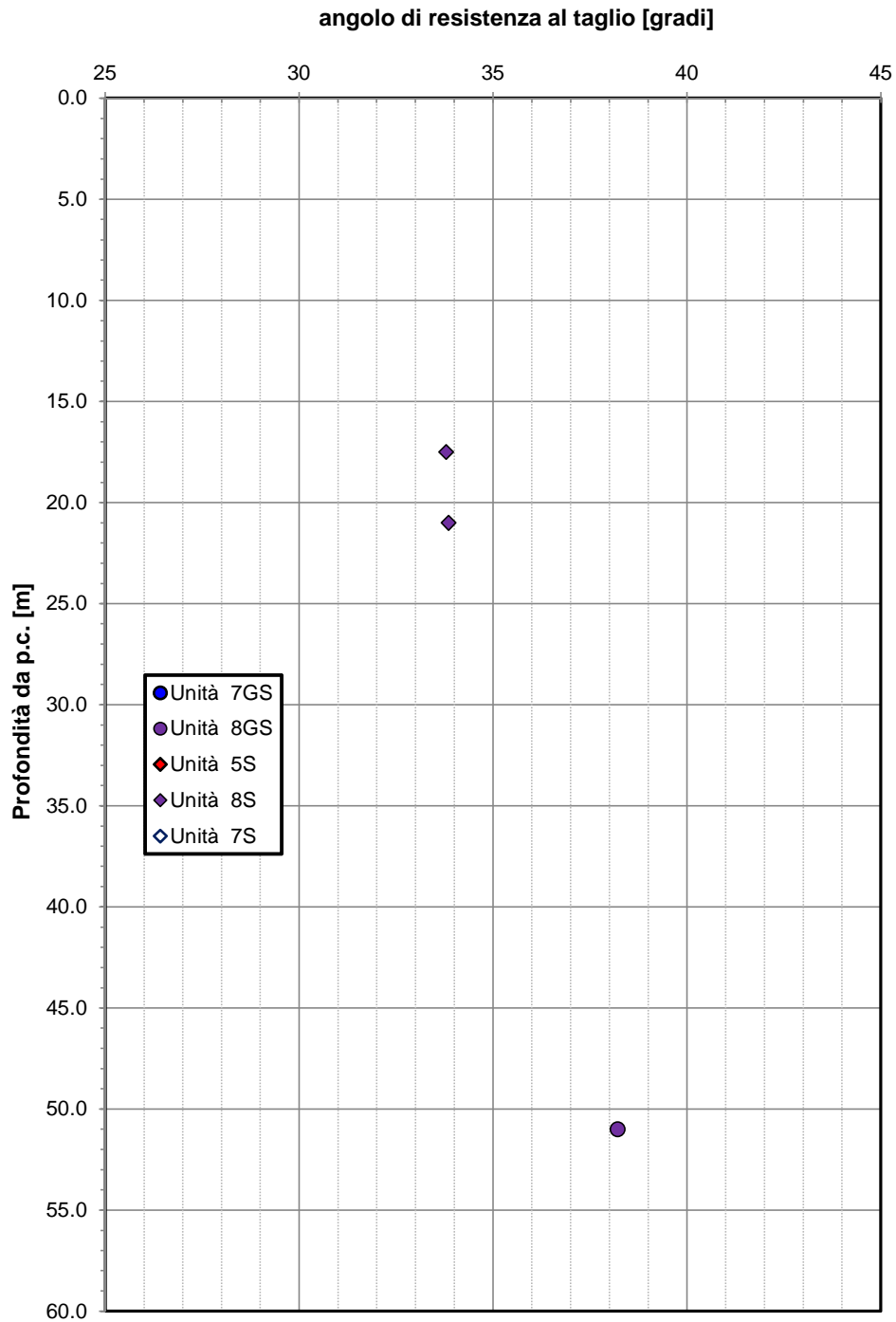
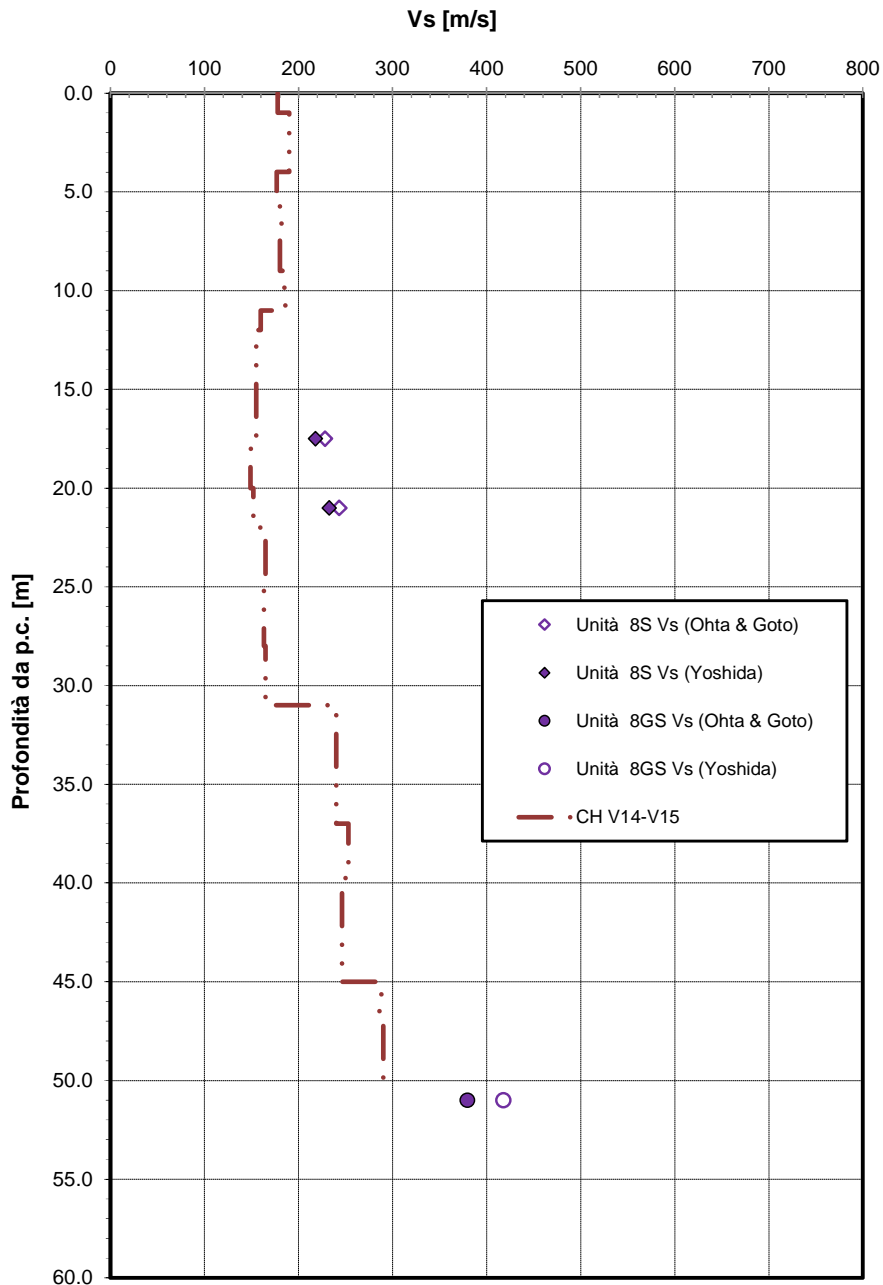


Figura 73 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT – Unità 8S e 8GS

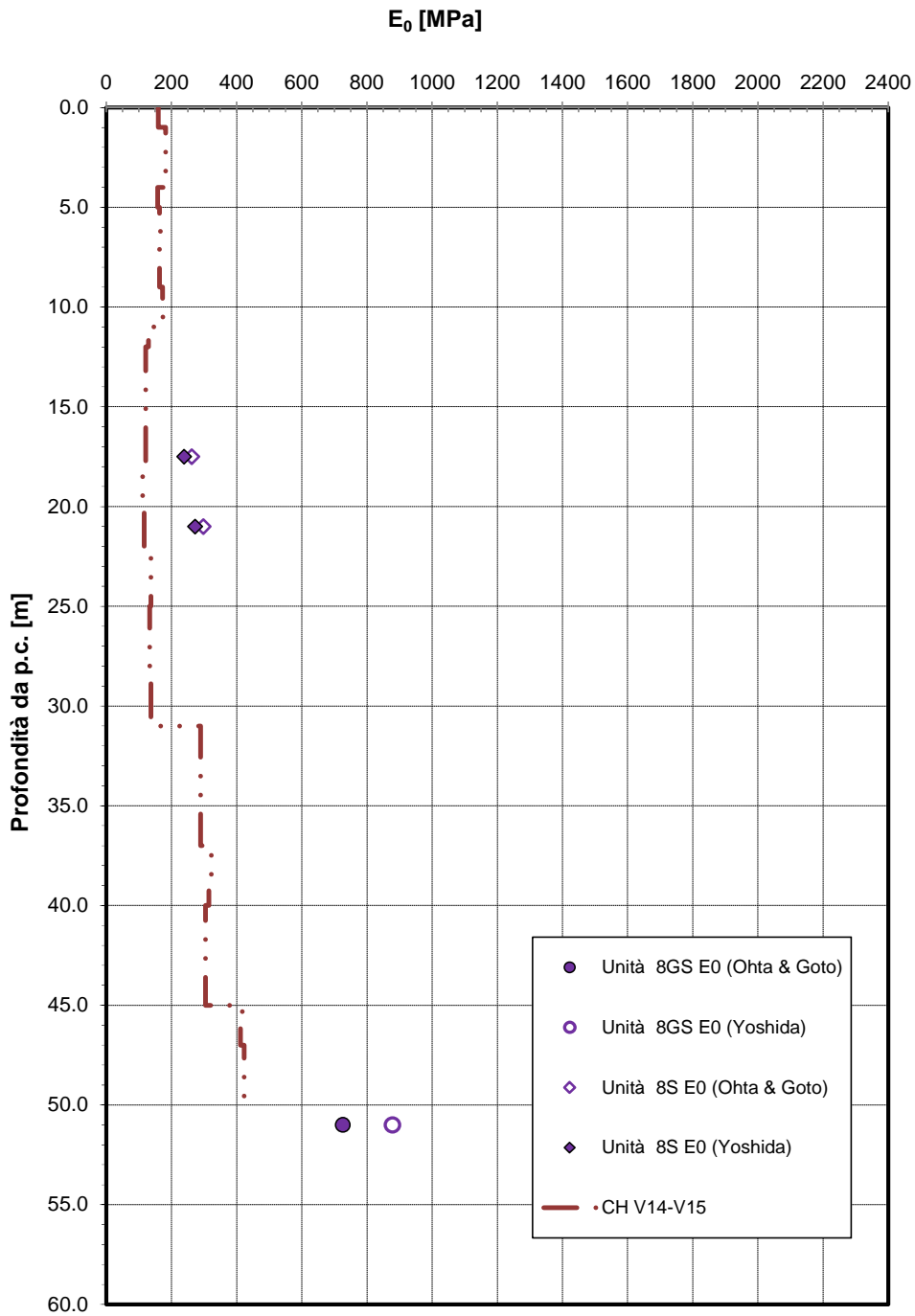


**Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche**



**Figura 74 – Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche – Unità 8S e 8GS**

**Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche**



**Figura 75 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche – Unità 8S e 8GS**

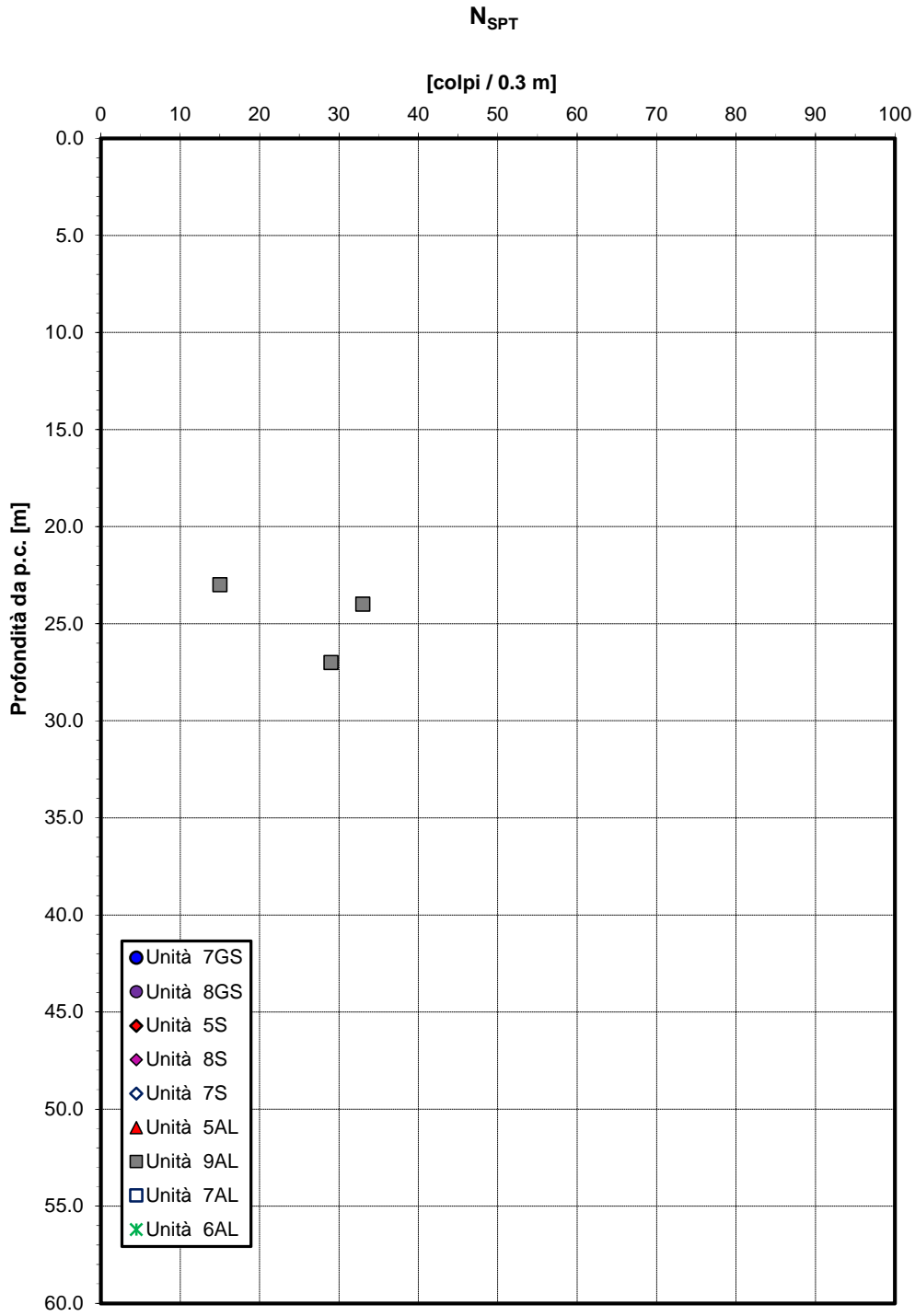
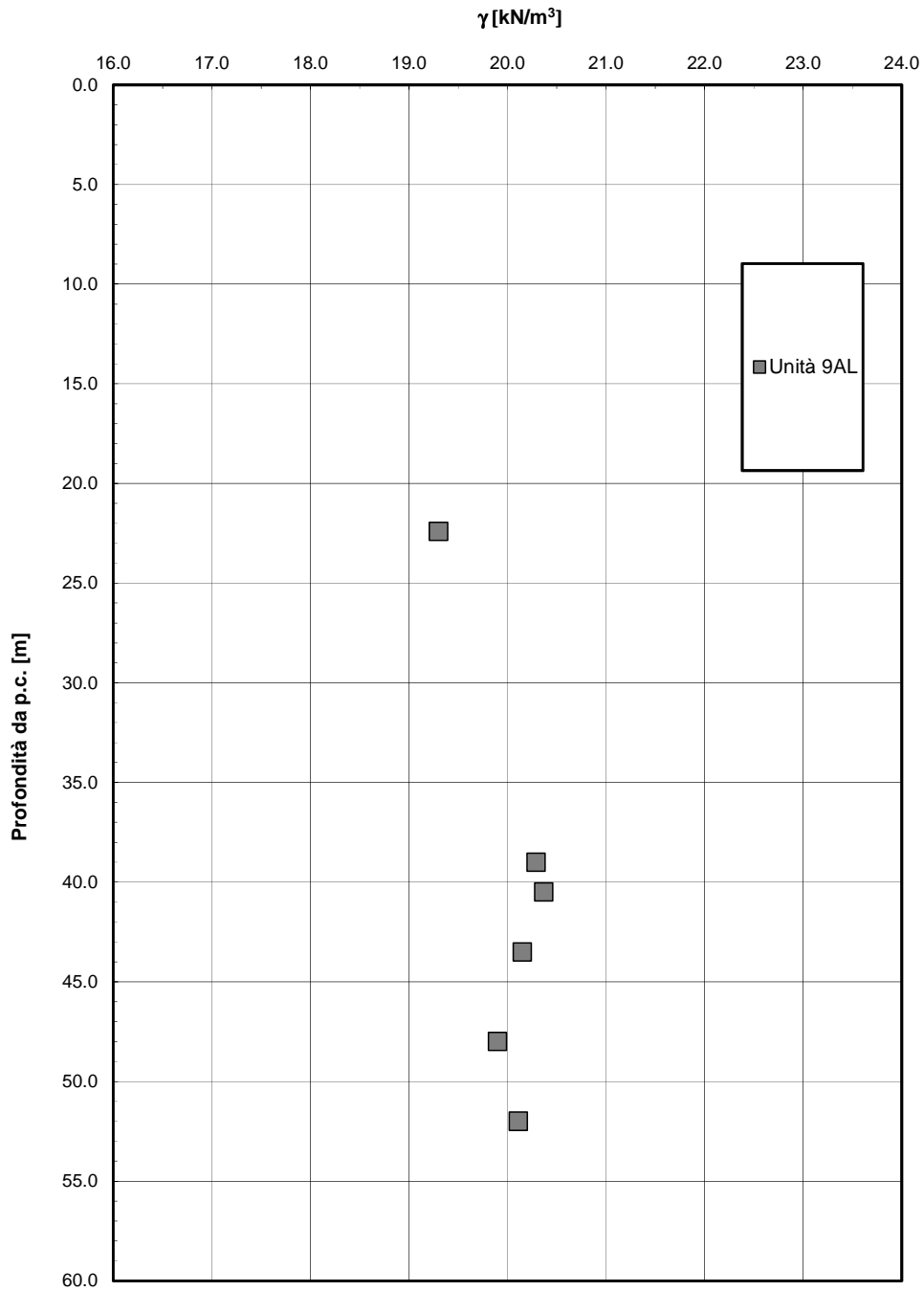


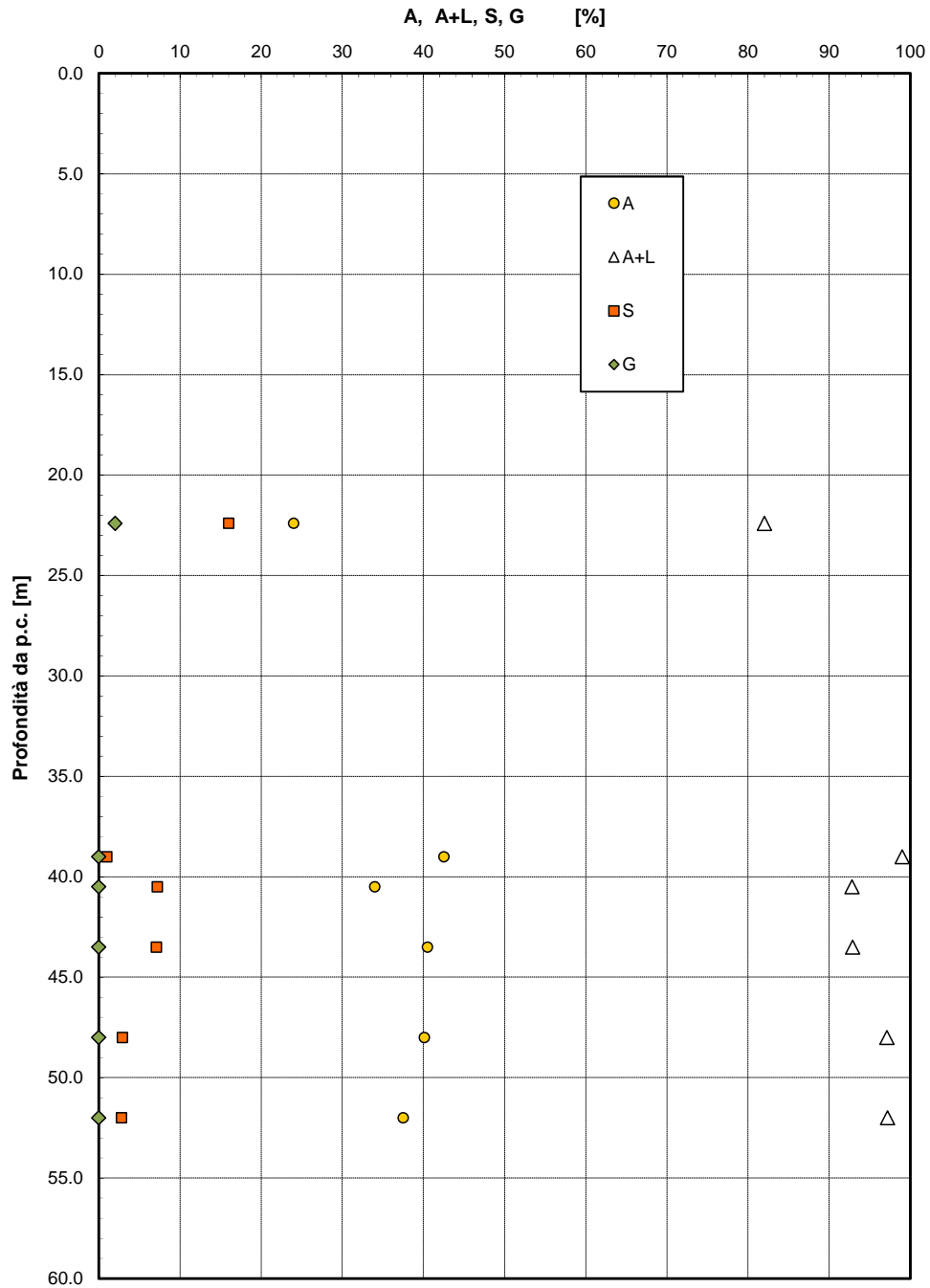
Figura 76 - Valori di N<sub>SPT</sub> – Unità 9AL

**Peso di volume**



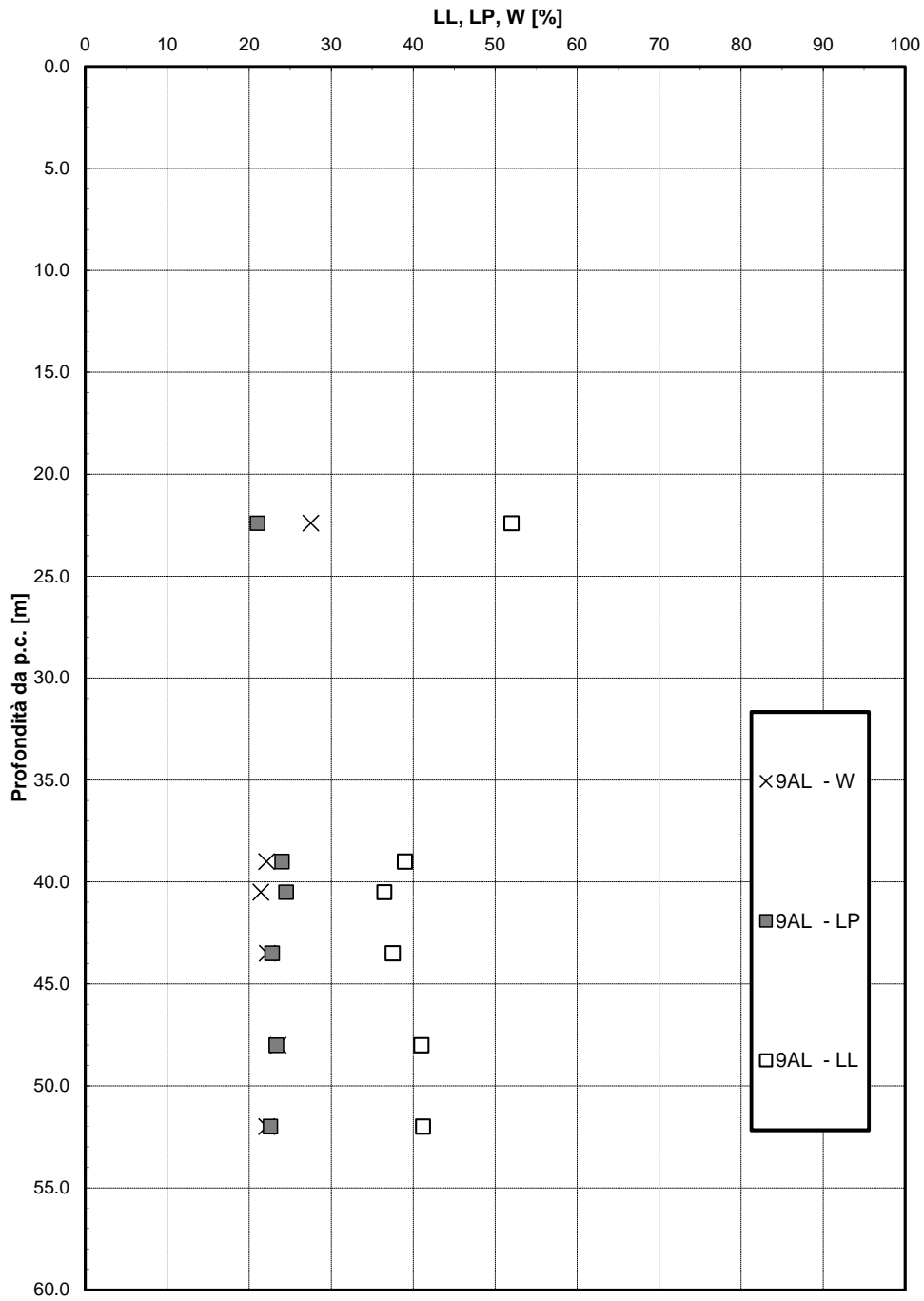
**Figura 77 – Peso di volume naturale – Unità 9AL**

**Granulometria unità 9AL**



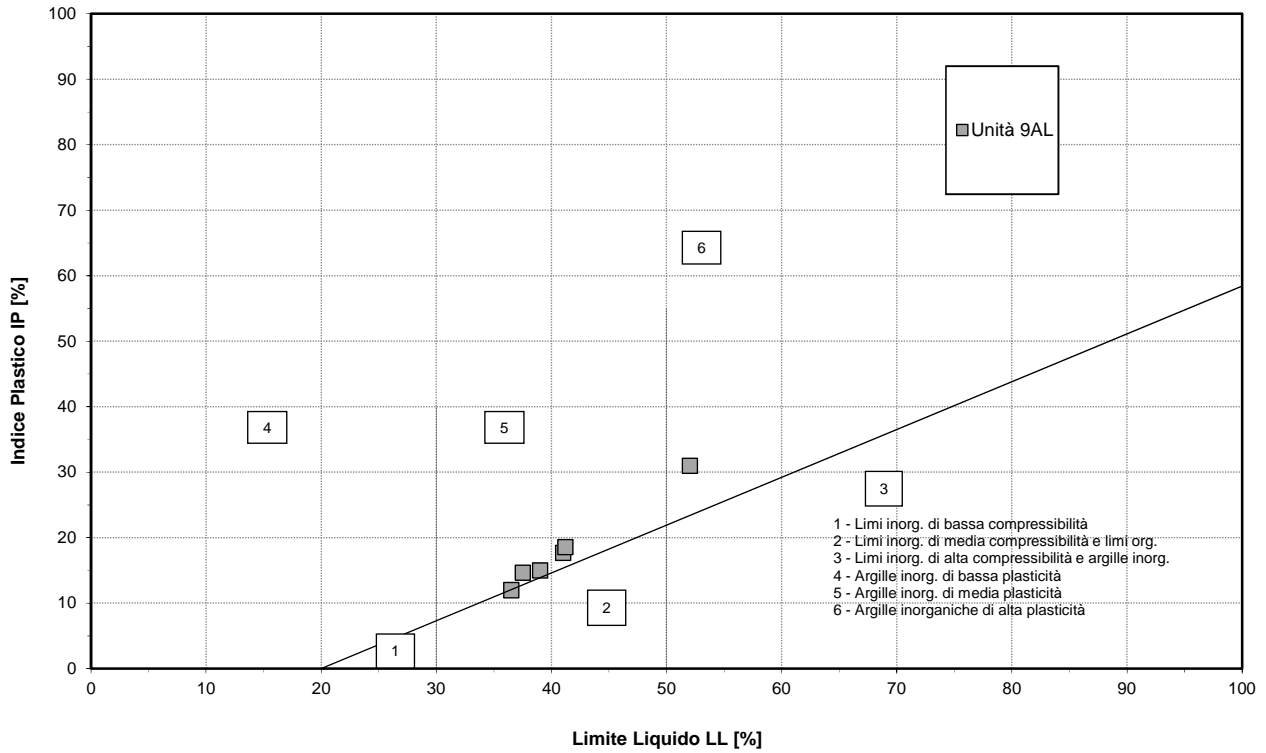
**Figura 78 – Analisi granulometrica – Unità 9AL**

**Limiti di Atterberg e contenuto naturale d'acqua**



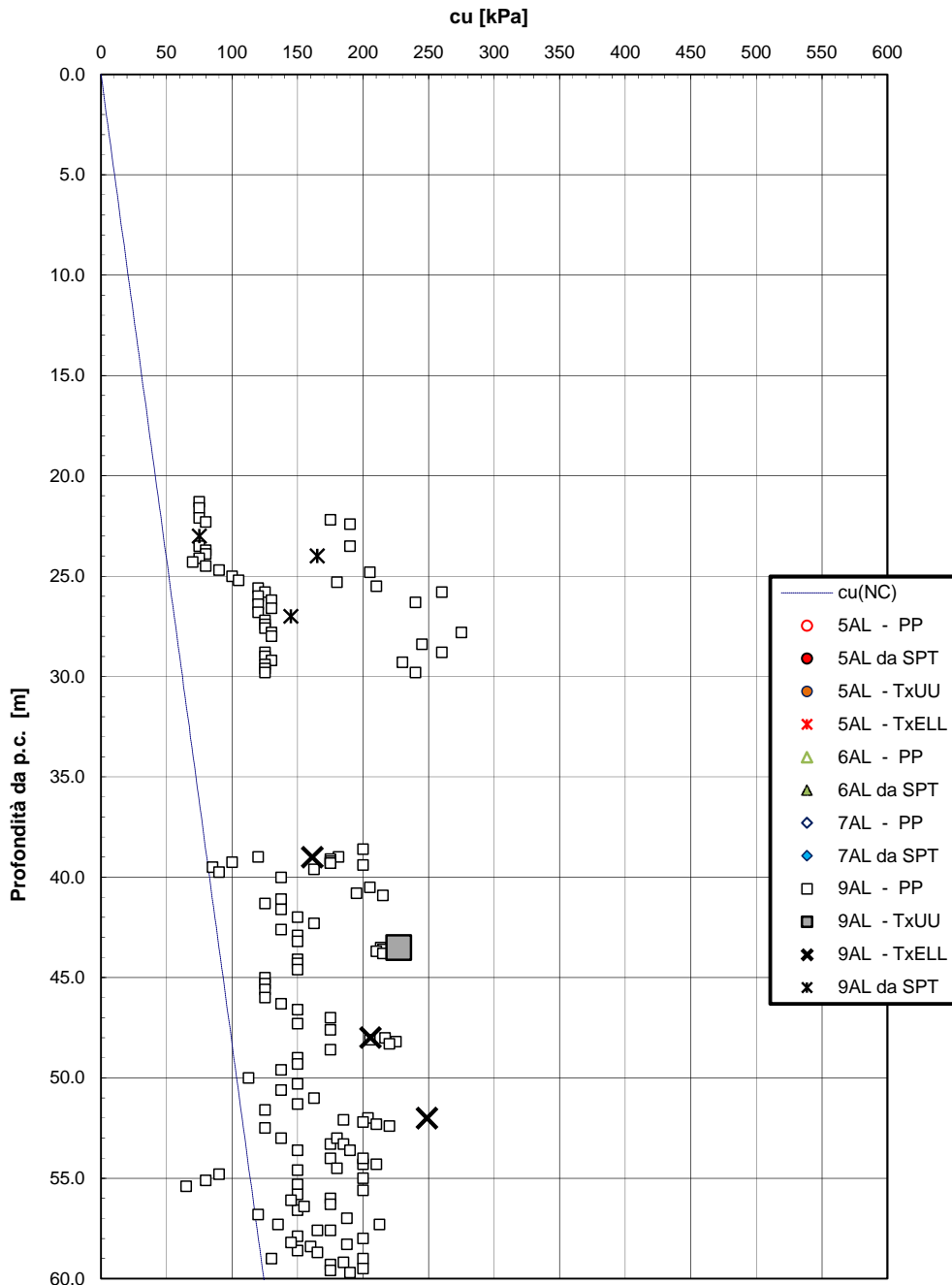
**Figura 79 – Limiti di Atterberg – Unità 9AL**

**Carta di Plasticità di Casagrande**



**Figura 80 – Carta di plasticità di Casagrande – Unità 9AL**

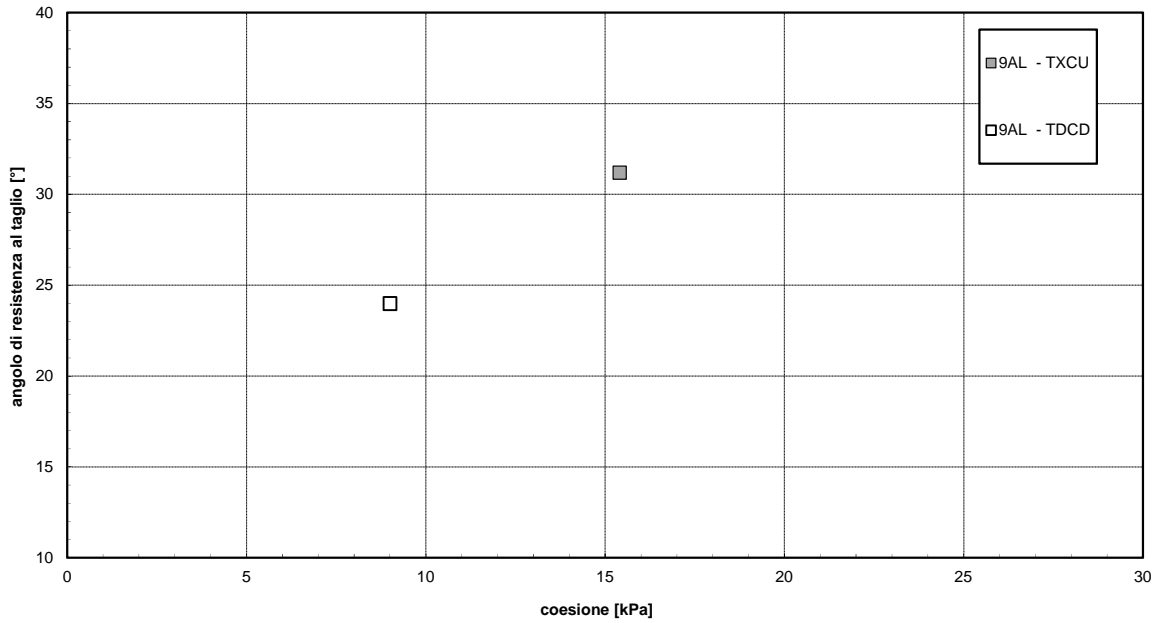
**Andamento della resistenza al taglio non drenata**



**Figura 81 – Resistenza al taglio non drenata – Unità 9AL**

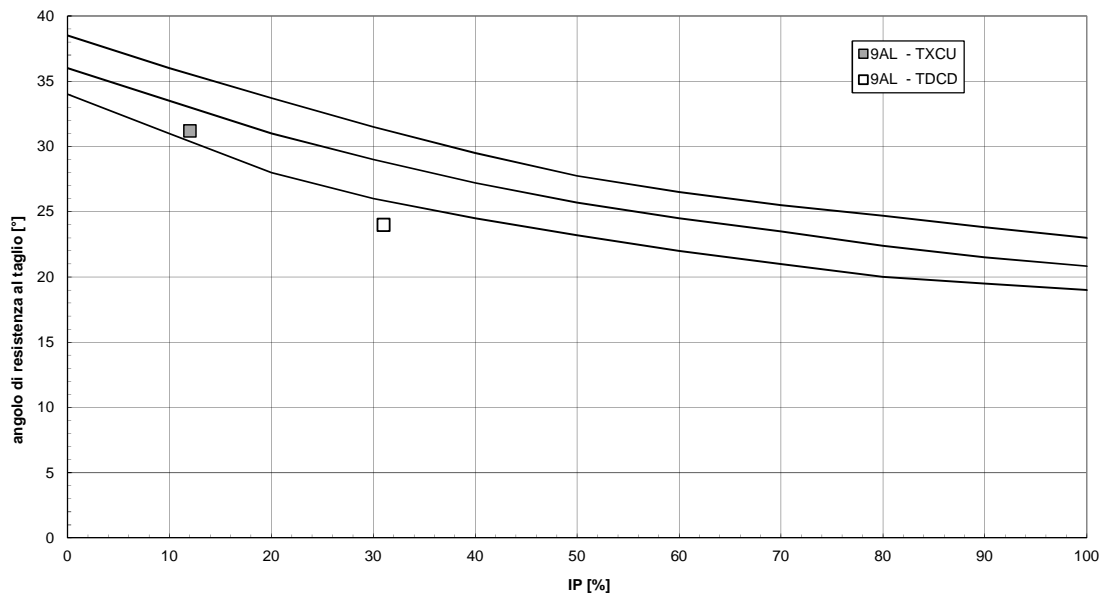


**Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio**



**Figura 82 – Parametri di resistenza drenati (laboratorio) – Unità 9AL**

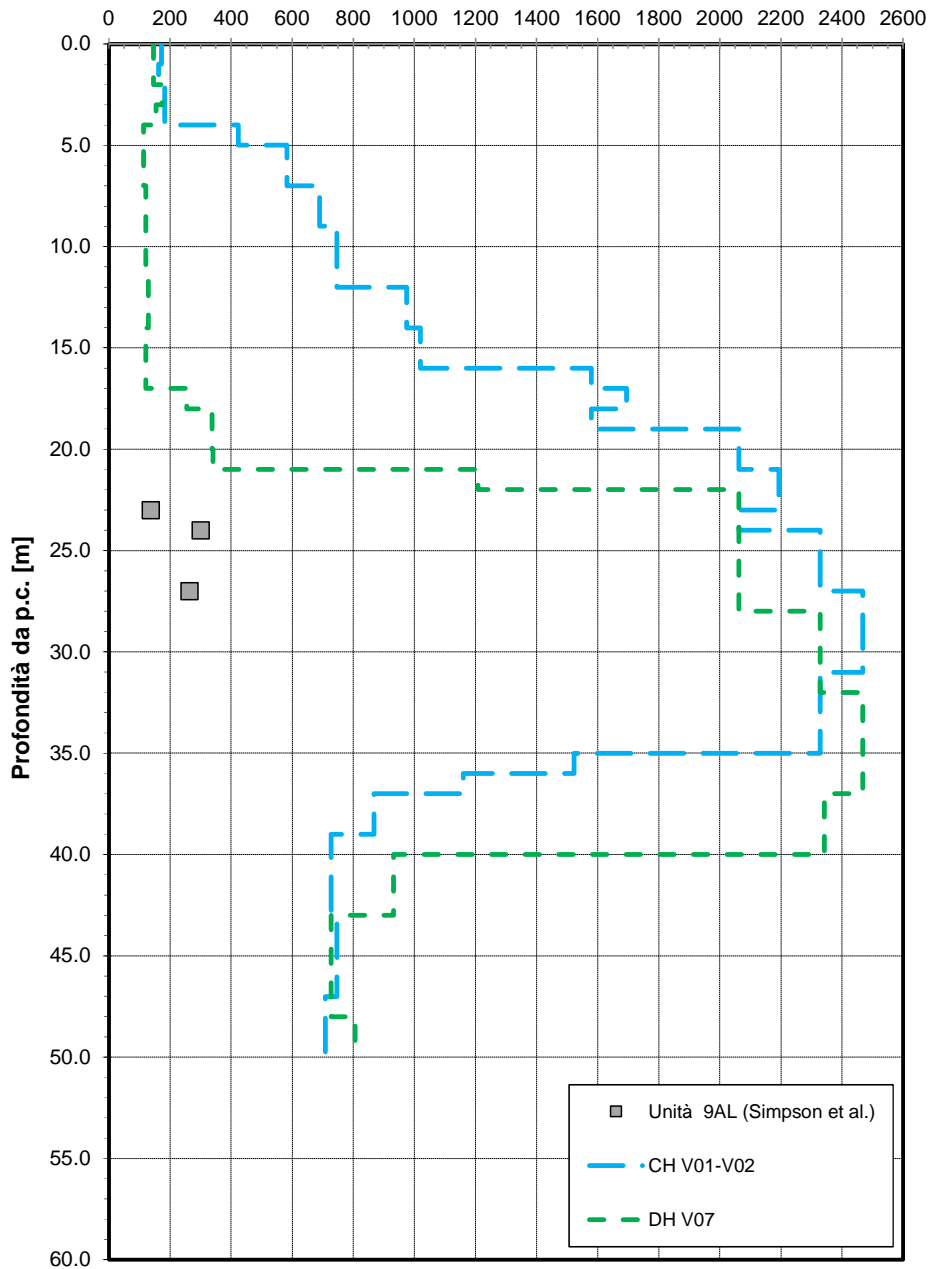
**Angolo di resistenza al taglio e indice di plasticità (Jamiolkowski et al., 1979)**



**Figura 83 – Angolo di resistenza al taglio e indice di plasticità – Unità 9AL**

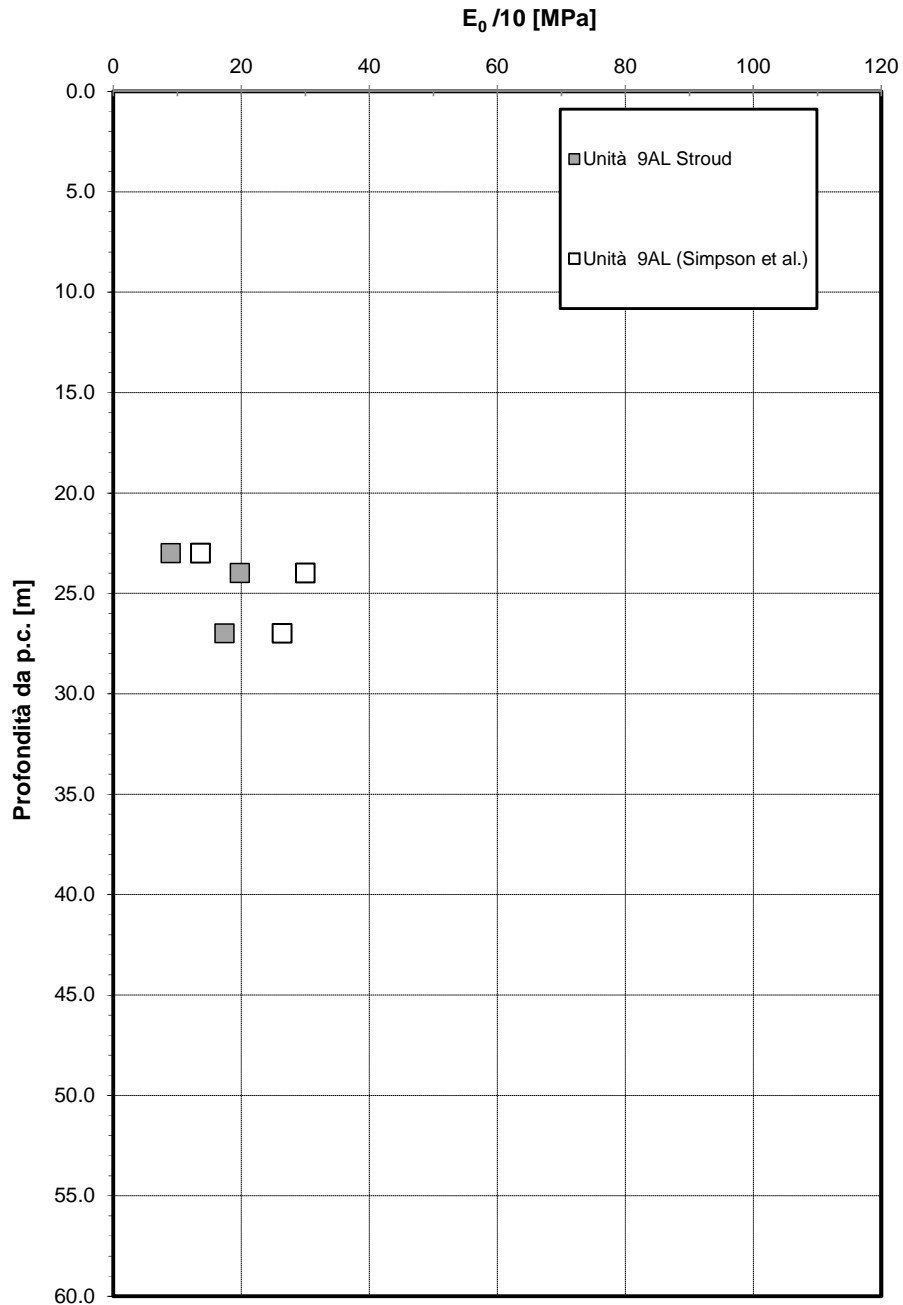
**Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche**

$E_0$  [MPa]



**Figura 84 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche – Unità 9AL**

**Modulo di deformazione elastico operativo da prove SPT**



**Figura 85 – Modulo di deformazione elastico operativo da prove SPT – Unità 9AL**

### Permeabilità da prove Lefranc

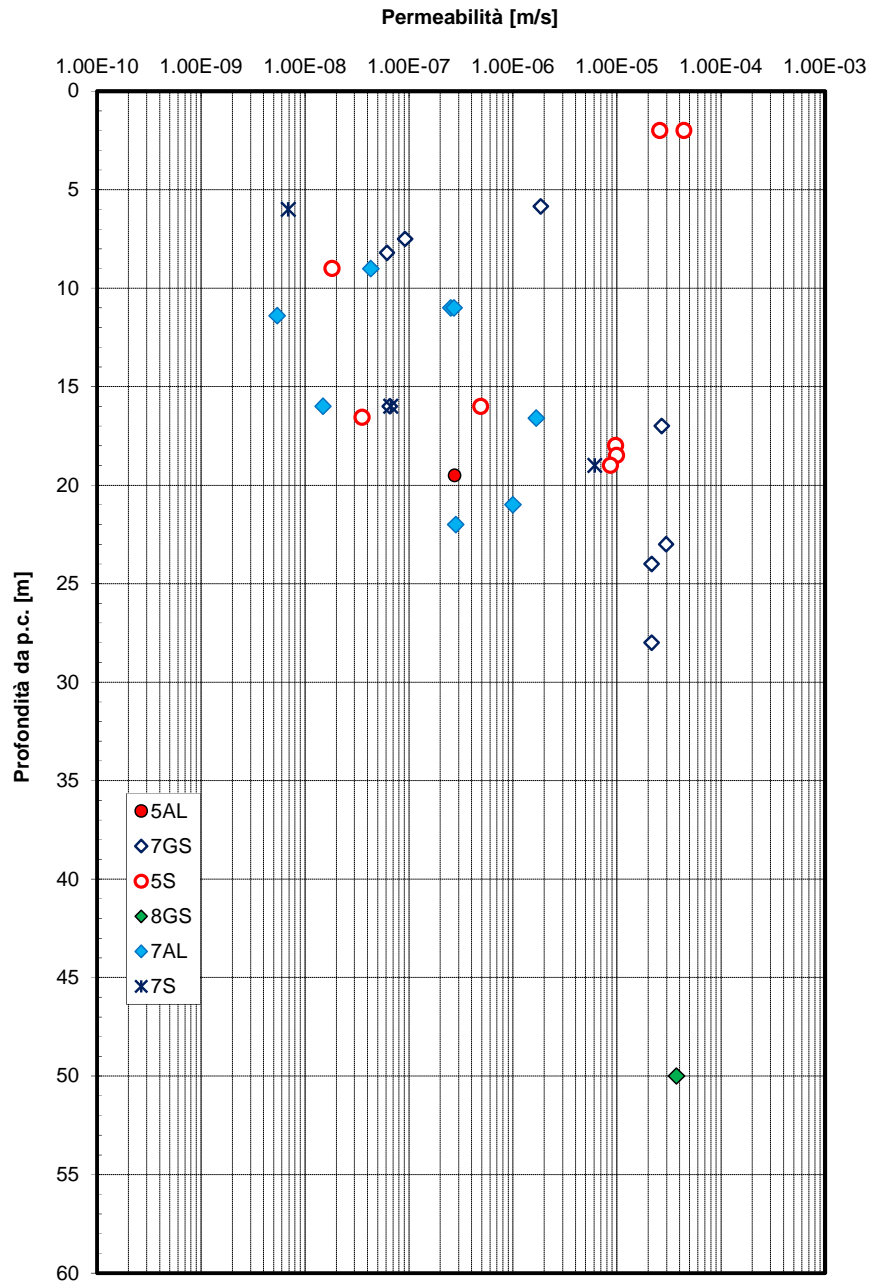
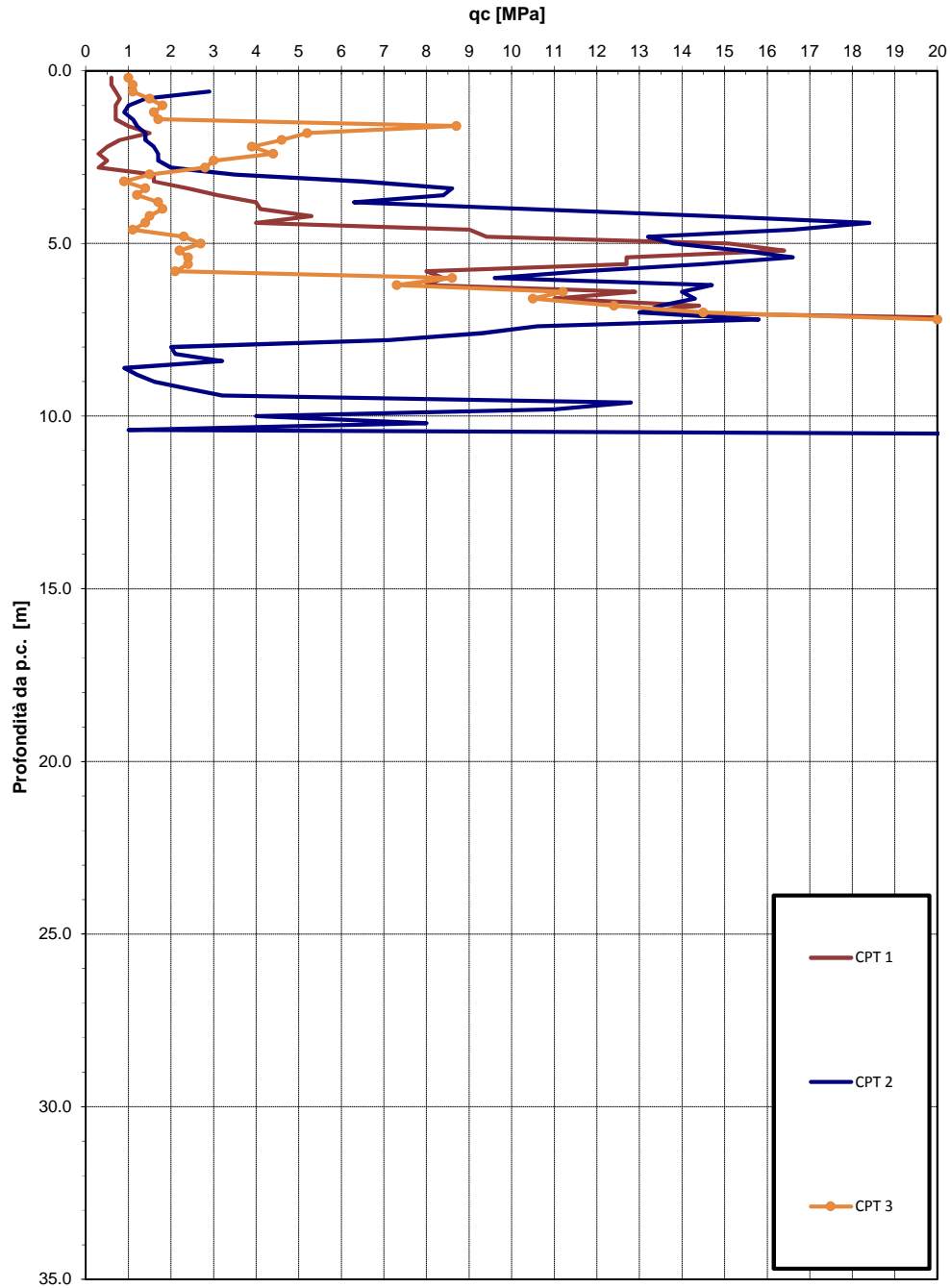


Figura 86 – Permeabilità da prove Lefranc

**Resistenza alla punta penetrometrica**



**Figura 87 – Resistenza alla punta penetrometrica –qc (CPT1, CPT2, CPT3)**

Resistenza alla punta penetrometrica

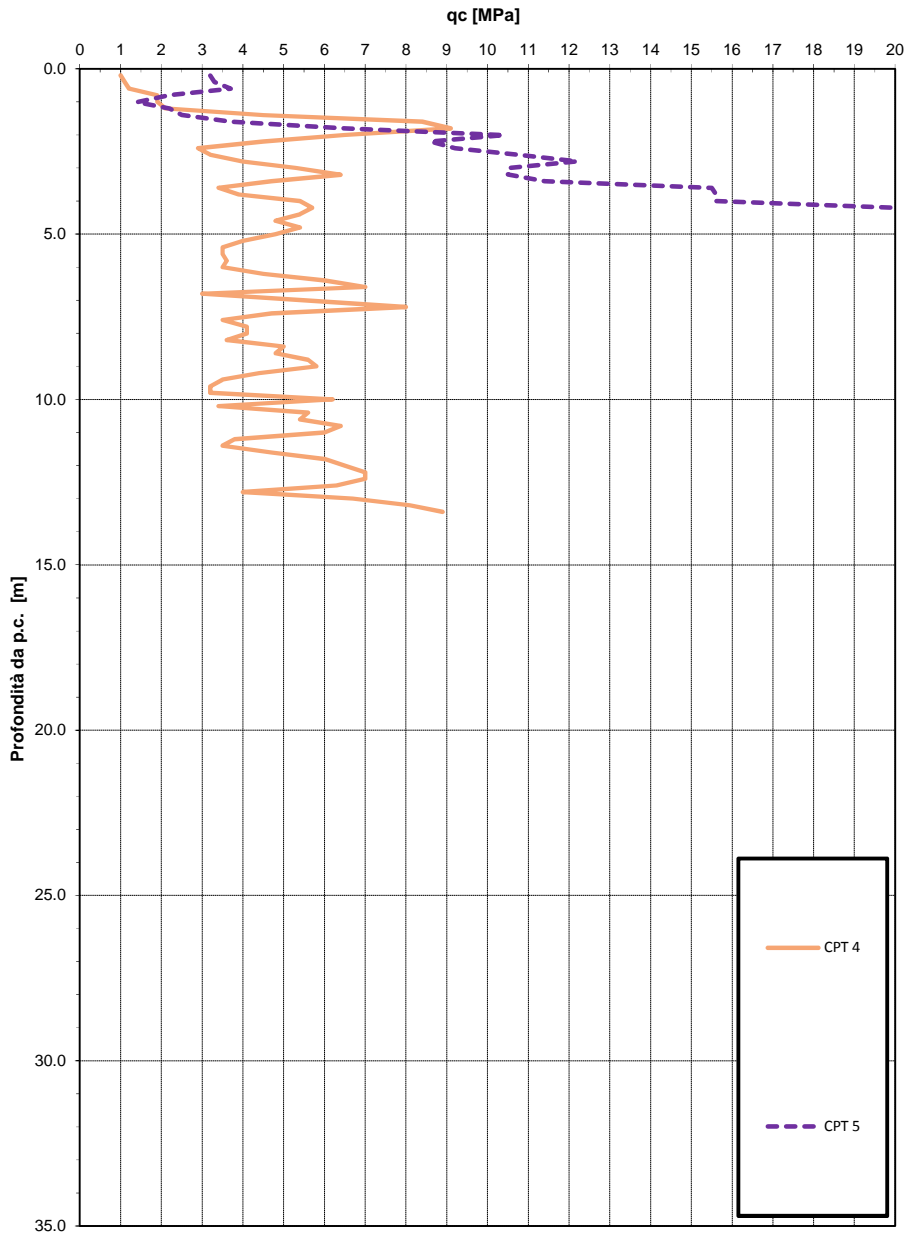
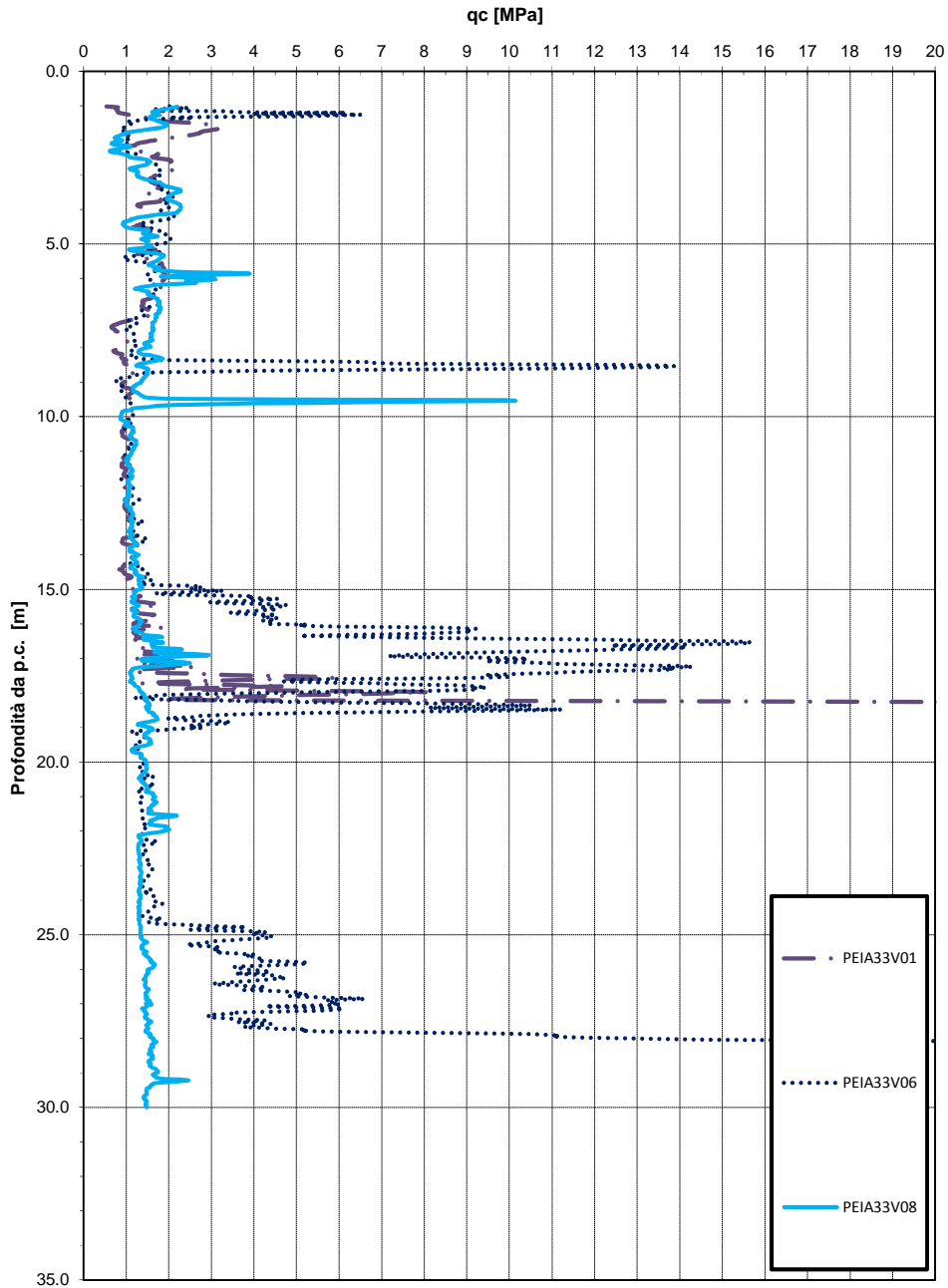


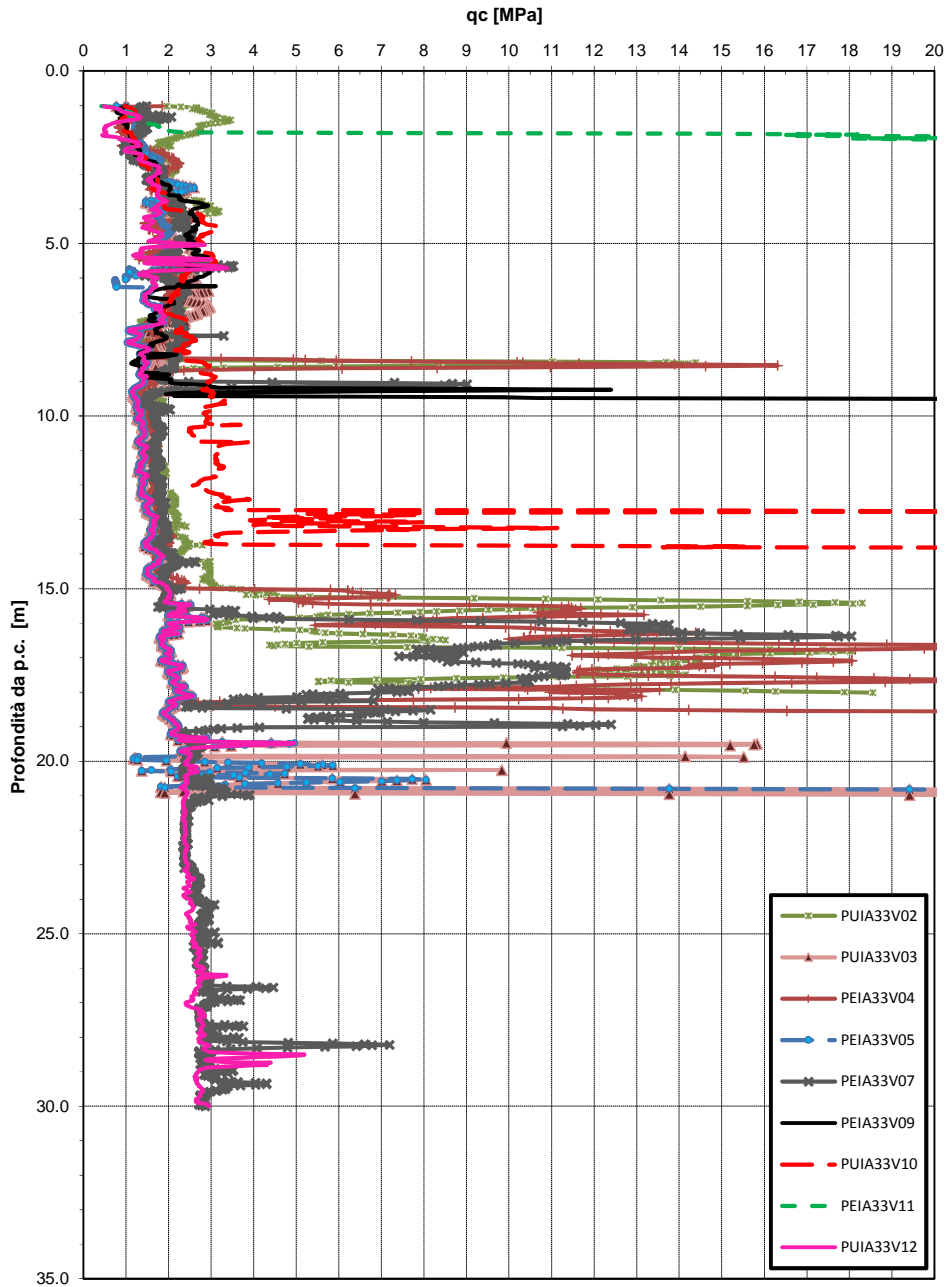
Figura 88 – Resistenza alla punta penetrometrica – $q_c$  (CPT4, CPT5)

**Resistenza alla punta penetrometrica**



**Figura 89 – Resistenza alla punta penetrometrica –qc (PEIA33V01, V06, V06)**

**Resistenza alla punta penetrometrica**



*Figura 90 – Resistenza alla punta penetrometrica – $q_c$  (PEIA33V02, V03, V04, V05, V07, V12)*



Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	146 di 227

## 5.12 Falda

Nel tracciato in progetto sono stati installati piezometri nelle diverse campagne d'indagine. Per la campagna del 2016, al momento della stesura del presente elaborato, si ha a disposizione una sola lettura piezometrica.

Nella tabella e figure seguenti si riportano le letture piezometriche espresse in metri di profondità dal p.c. ed in quota assoluta.

Nel profilo stratigrafico longitudinale è stato rappresentato il livello di falda massimo lungo il tracciato, desunto dalle letture piezometriche a disposizione. Per definire il livello piezometrico di progetto per le varie opere si dovrà tenere conto anche del fatto che la zona è soggetta ad allagamento; quindi per il tratto da inizio tracciato fino alla fine circa del viadotto Ripalta, il livello di falda di progetto per le opere definitive andrà assunto coincidente con il p.c. locale. Per il dimensionamento delle opere ed in particolare le verifiche di stabilità dei rilevati si farà riferimento anche all'elaborato D.24. Dopo il viadotto Ripalta il livello della falda si approfondisce rispetto al p.c.; dal km 4+200 circa fino a fine tracciato il livello della falda si approfondisce a 10-15 m dal p.c..

**Tabella 23 – Tabelle Letture piezometriche in quota assoluta**

SONDAGGIO	Quota boccaforo m s.l.m.	22-01-2000	11-02-2000	03-02-2010	11-03-2016	MAX (m s.l.m.)	MIN (m s.l.m.)	MEDIA (m s.l.m.)
PNIA33V05	5.51			1.41		1.41	1.41	1.41
PNIA33V06	5.54			1.44		1.44	1.44	1.44
PNIA33V08	6.05			1.15		1.15	1.15	1.15
PCIA33V09	6.68			1.78		1.78	1.78	1.78
PCIA33V10	6.36			1.16		1.16	1.16	1.16
PCIA33V11	6.59			1.09		1.09	1.09	1.09
PCIA33V12	6.75			2.15		2.15	2.15	2.15
PCIA33V13	6.86			3.86		3.86	3.86	3.86
PCIA33V16	6.80			3.80		3.80	3.80	3.80
PNIA33V17	10.00			3.00		3.00	3.00	3.00
PNLIA3V06	19.20			5.64		5.64	5.64	5.64
PNLIA3V07	11.60			4.48		4.48	4.48	4.48
PNLIA3V09	4.20			2.85		2.85	2.85	2.85
PCLIA3V02	3.00			1.83		1.83	1.83	1.83
PCLIA3V03	3.50			3.20		3.20	3.20	3.20
S2-2016	2.45				2.25	2.25	2.25	2.25
S4-2016	15.776				1.25	1.25	1.25	1.25
S6-2016	22.128				2.73	2.73	2.73	2.73
S8-2016	25.351				13.95	13.95	13.95	13.95
SC14	3.2	2.33	2.33			2.33	2.33	2.33

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	147 di 227

**Tabella 24 – Tabelle Letture piezometriche in m da p.c.**

SONDAGGIO	Quota boccaforo m s.l.m.	22-01-2000	11-02-2000	03-02-2010	11-03-2016	MAX soggiacenza (m da pc)	MIN soggiacenza (m da pc)	MEDIA (m da pc)
PNIA33V05	5.511			4.10		4.10	4.10	4.10
PNIA33V06	5.536			4.10		4.10	4.10	4.10
PNIA33V08	6.045			4.90		4.90	4.90	4.90
PCIA33V09	6.680			4.90		4.90	4.90	4.90
PCIA33V10	6.355			5.20		5.20	5.20	5.20
PCIA33V11	6.588			5.50		5.50	5.50	5.50
PCIA33V12	6.750			4.60		4.60	4.60	4.60
PCIA33V13	6.857			3.00		3.00	3.00	3.00
PCIA33V16	6.800			3.00		3.00	3.00	3.00
PNIA33V17	10.000			7.00		7.00	7.00	7.00
PNLIA3V06	19.2			13.56		13.56	13.56	13.56
PNLIA3V07	11.6			7.12		7.12	7.12	7.12
PNLIA3V09	4.2			1.35		1.35	1.35	1.35
PCLIA3V02	3			1.17		1.17	1.17	1.17
PCLIA3V03	3.5			0.3		0.30	0.30	0.30
S2-2016	2.45				0.2			
S4-2016	15.776				14.53			
S6-2016	22.128				19.4			
S8-2016	25.351				11.4			
SC14	3.2	0.87	0.87					



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	148 di 227

## 6 CLASSIFICAZIONE SISMICA

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

I risultati dello studio di pericolosità sono forniti, in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km) e nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$ , del valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale  $F_0$ , del periodo di inizio del tratto costante dello spettro in accelerazione orizzontale  $T_c^*$ ;
- per diverse probabilità di superamento in 75 anni e/o diversi periodi di ritorno  $T_R$  ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 45 e 1462 anni, estremi inclusi.

Pertanto, per individuare, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche occorre fissare:

- la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento  $P_{V_R}$  associate a ciascuno degli stati limite considerati.

Infatti, fissata la vita di riferimento  $V_R$ ,  $T_R$  è esprimibile in funzione di  $P_{V_R}$  mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

La vita di riferimento è calcolata come:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

dove  $V_N$  è la vita nominale dell'opera e  $C_U$  la classe d'uso.

Per le opere d'arte del presente progetto si ha in linea generale:  $V_N=75$  anni e  $C_U=1.5$  (classe d'uso III).

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA <b>L100</b>	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

Nota l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido ag, l'accelerazione di picco amax è valutata sulla base della risposta sismica locale:

$$a_{\max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g$$

dove  $S_s$  è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione stratigrafica,  $S_T$  è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione topografica.

Nel seguito viene definita la categoria di sottosuolo e le azioni sismiche di progetto.

### 6.1.1 Categoria di sottosuolo

La classificazione della categoria di sottosuolo viene eseguita sulla base di misure dirette dei valori di velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità  $V_{s,30}$ . Si può ricavare il parametro  $V_{s,30}$  mediante la relazione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

Per la definizione della categoria di sottosuolo sismica, in accordo alla normativa vigente sono state eseguite indagini sismiche finalizzate alla determinazione della  $V_{s,30}$ , in particolare sono state eseguite prove sismiche di tipo Cross-Hole, Down Hole e MASW (vedasi paragrafi 4.1.2, 4.3.2). Inoltre per caratterizzare la zona della prima parte del viadotto, interessata da predominanza di terreni coesivi, si sono utilizzati anche i dati di resistenza al taglio non drenata ( $c_{u,30}$ ) da pocket Penetrometer e da prove CPT e i valori di  $V_{s,30}$  estrapolati da CPT (in base alla correlazione di Mayne & Rix, 1993).

Dall'interpretazione delle indagini si evince che lungo il tracciato il valore della velocità  $V_{s,30}$  è piuttosto variabile, passando da categoria C a D ed anche localmente a B (vedasi tabella seguente); quindi cautelativamente per il dimensionamento delle opere si considera:

- Da inizio tracciato km 0+000 al km 2+300 si associa una categoria di sottosuolo sismica C;
- Dal km 2+300 al km 3+100 si associa una categoria di sottosuolo sismica D; Come si evince dalla seguente tabella e dalle successive due figure ( $V_s$  e  $c_u$  da prove CPT), le verticali di indagine CHIA33V15 e PEIA33V08 mostrano con la profondità valori di velocità delle onde di taglio  $V_s$  e valori di resistenza in condizioni non drenata ( $c_u$ ) più bassi delle verticali di indagine ubicate vicino. Quindi è lecito presupporre

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	150 di 227

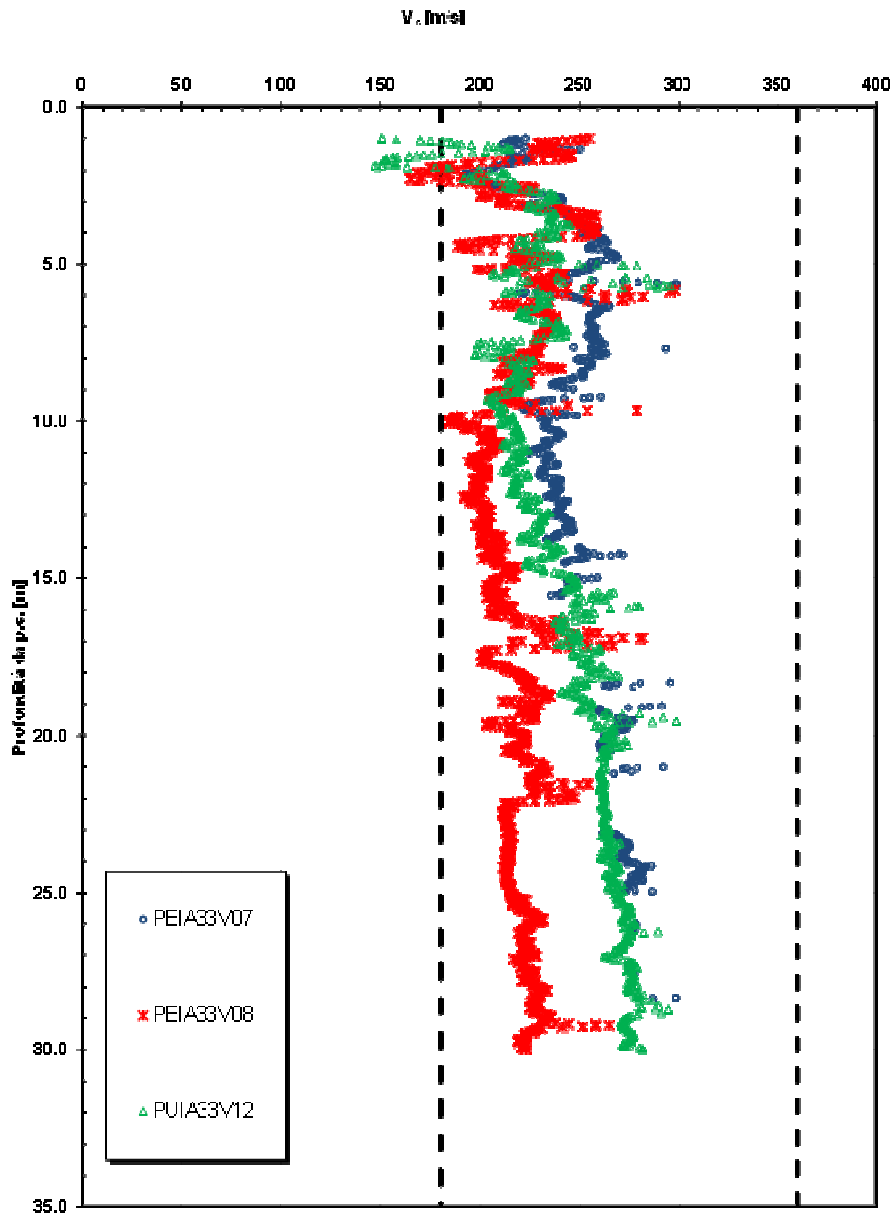
che la categoria di sottosuolo D sia limitata alla zona della spalla, comunque cautelativamente si considera la categoria di sottosuolo D per l'intervallo di progressive indicato.

- Dal km 3+100 a fine tracciato al km 6+840, si associa una categoria di sottosuolo sismica C.

**Tabella 25 – Definizione categoria di sottosuolo sismica da indagini**

PROVA	Progressiva [km]	Tipo di prova	V <sub>s,30</sub> [m/s]	cu <sub>,30</sub> [kPa]	Categoria sottosuolo sismica
H1-S1 / XH	0+144	Down_hole	372		B
XI	da 0+100 a 0+440	RE.MI./MASW	342		C
H3-S3	2+082	Down_hole	198		C
XG	Da 2+100 a 2+220	RE.MI./MASW	208		C
PCIA33V16	2+410	sondaggio	-	91	C
PEIA33V08	2+567	CPT	V <sub>s</sub> =180÷220	Cu<70	D
CH V14-V15	2+569.5	Cross Hole	166	75	D
PCIA33V13	2+596	sondaggio	-	99	C
PEIA33V12	2+654	CPT	V <sub>s</sub> =200÷280	Cu=70÷150	C
PCIA33V12	2+695	sondaggio	-	103	C
PEIA33V07	2+757	CPT	V <sub>s</sub> =200÷280	Cu=70÷150	C
PCIA33V11	2+799	sondaggio	-	150	C
PCIA33V10	2+889	sondaggio	-	84	C
PCIA33V09	2+966	sondaggio	-	97	C
CH V01-V02	3+717.5	Cross Hole	402		B
XD	Da 4+750 a 5+070	RE.MI./MASW	333		C
XE		RE.MI./MASW	355		C
XF	Da 4+110 a 4+250	RE.MI./MASW	402		B
H7-S7	6+008	Down_hole	396		B
XM	Da 6+200 a 6+600	RE.MI./MASW	380		B
XA		RE.MI./MASW	352		C
XB		RE.MI./MASW	336		C
XC		RE.MI./MASW	382		B

**Velocità delle onde di taglio da prova CPT**



**Figura 91 – Velocità delle onde di taglio da prove CPT**

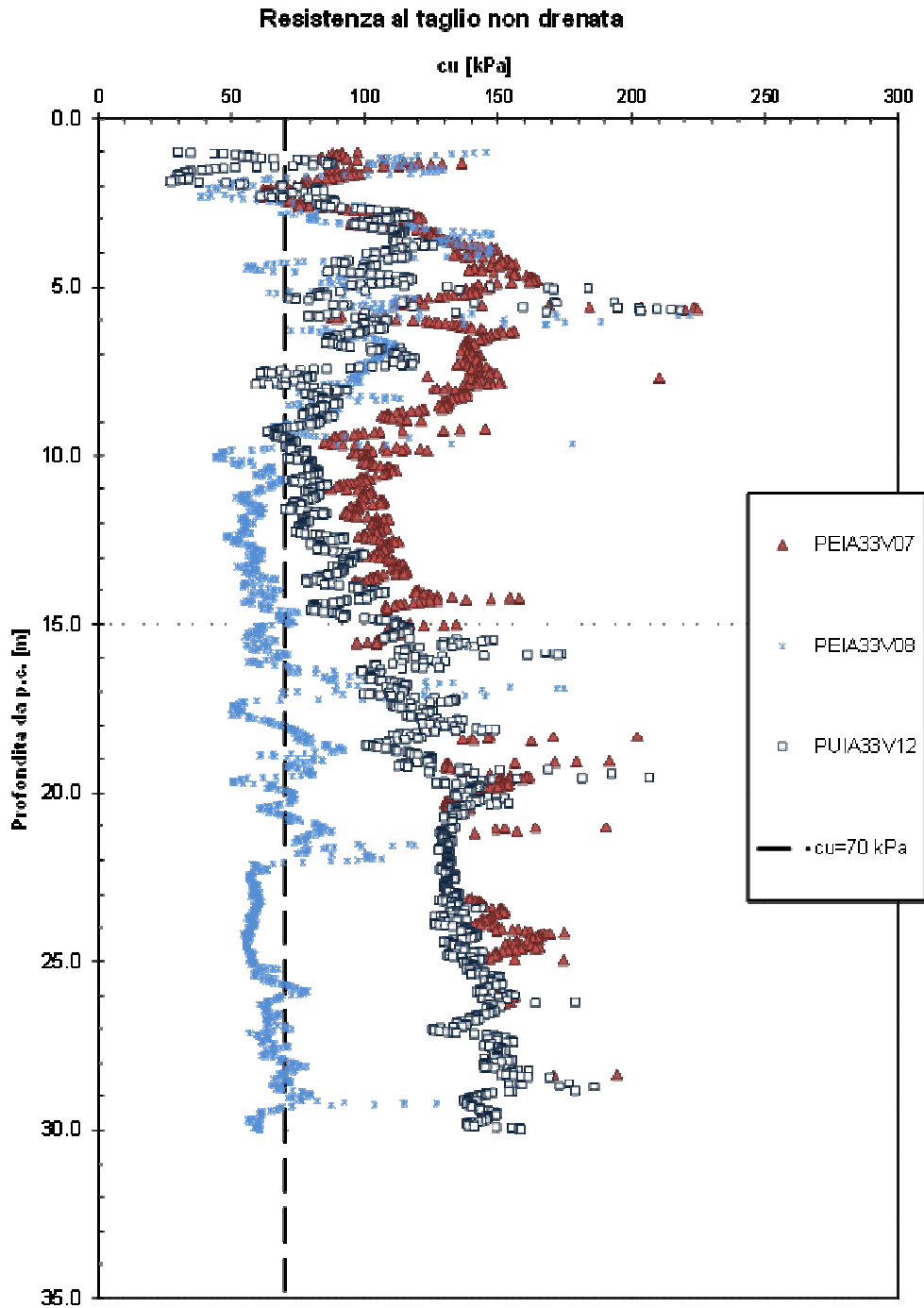


Figura 92 – Resistenza al taglio non drenata da prove CPT

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA <b>LI00</b>	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

### 6.1.2 Azioni sismiche di progetto

Per il sito in esame, sulla base di quanto riportato nei capitoli precedenti, si ha:

- accelerazioni massime attese al piano campagna sono pari a  $a_{max} = 0.35$  g per zona con categoria tipo C.
- accelerazioni massime attese al piano campagna sono pari a  $a_{max} = 0.38$  g per zona con categoria tipo D.

Tabella 26 – Localizzazione sito

#### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

**Elaborazioni grafiche**

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

**Elaborazioni numeriche**


Tabella parametri

**Nodi del reticolo intorno al sito**



**Reticolo di riferimento**

Controllo sul reticolo  
 Sito esterno al reticolo  
 Interpolazione su 3 nodi  
 Interpolazione corretta

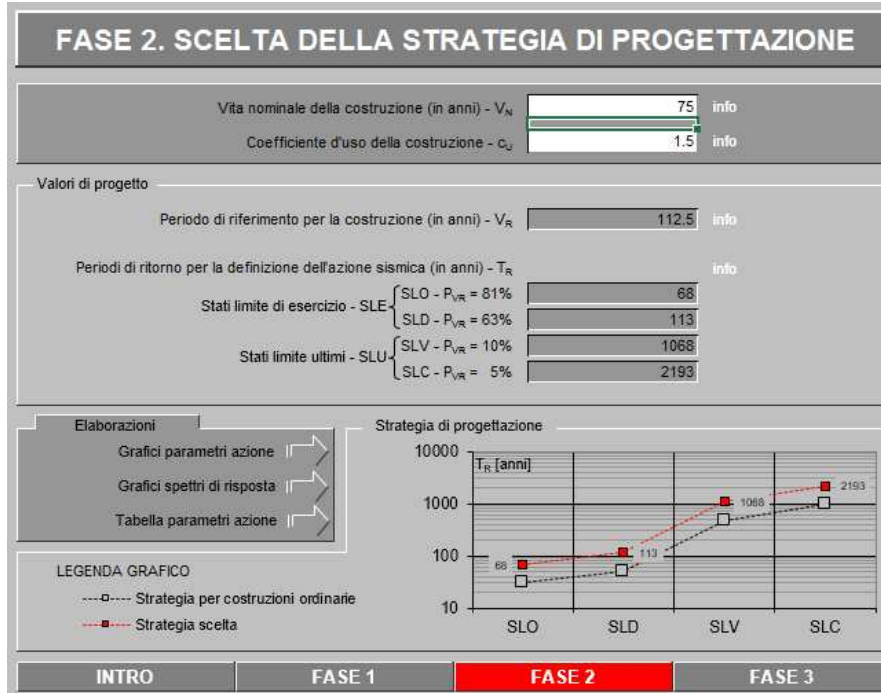


Interpolazione

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

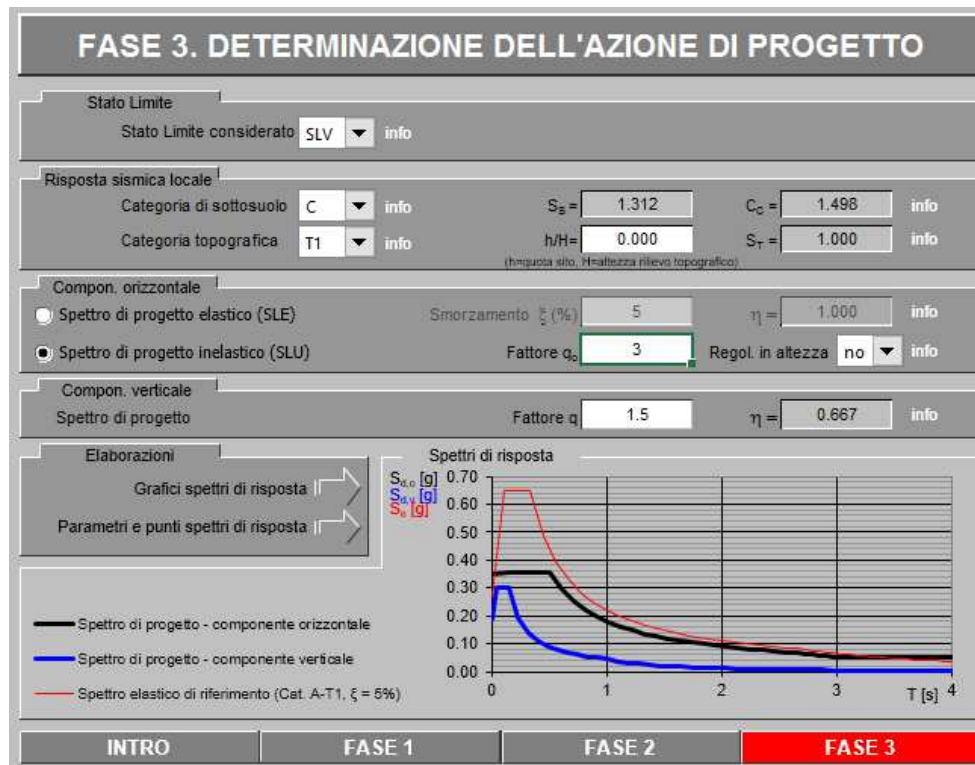




**Tabella 27 – Parametri sismici**

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	68	0.080	2.506	0.296
SLD	113	0.102	2.508	0.313
SLV	1068	0.266	2.432	0.340
SLC	2193	0.347	2.427	0.351

Tabella 28 – Parametri dello spettro di risposta orizzontale allo SLV – categoria sismica tipo C



**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_o$	0.266 g
$F_o$	2.432
$T_c$	0.340 s
$S_s$	1.312
$C_c$	1.498
$S_T$	1.000
q	2.400

**Parametri dipendenti**

S	1.312
$\eta$	0.417
$T_B$	0.170 s
$T_c$	0.510 s
$T_D$	2.664 s

Tabella 29 – Parametri dello spettro di risposta orizzontale allo SLV – categoria sismica tipo D

### FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

**Stato Limite**  
Stato Limite considerato SLV info

**Risposta sismica locale**

Categoria di sottosuolo <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">D</span> <span style="font-size: small;">info</span>	$S_S =$ <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">1.430</span>	$C_C =$ <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">2.142</span> <span style="font-size: small;">info</span>
Categoria topografica <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">T1</span> <span style="font-size: small;">info</span>	$h/H =$ <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">0.000</span>	$S_T =$ <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">1.000</span> <span style="font-size: small;">info</span>

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

**Compon. orizzontale**

Spettro di progetto elastico (SLE)  $\xi =$  5 % info

Spettro di progetto inelastico (SLU)  $q_p =$  3 info  $\eta =$  1.000 info

$\eta =$  1.000 info

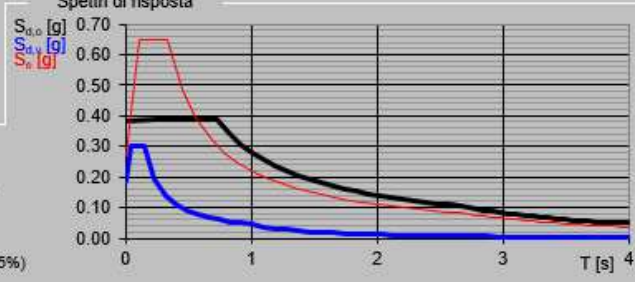
**Compon. verticale**  
Spettro di progetto  $q_v =$  1.5 info  $\eta_v =$  0.667 info

**Elaborazioni**

Grafici spettri di risposta info

Parametri e punti spettri di risposta info

**Spettri di risposta**



— Spettro di progetto - componente orizzontale  
— Spettro di progetto - componente verticale  
— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

INTRO	FASE 1	FASE 2	FASE 3
-------	--------	--------	--------

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_d$	0.266 g
$F_{op}$	2.432
$T_C$	0.340 s
$S_S$	1.430
$C_C$	2.142
$S_T$	1.000
$q$	2.400

**Parametri dipendenti**

$S$	1.430
$\eta$	0.417
$T_B$	0.243 s
$T_C$	0.729 s
$T_D$	2.664 s



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	157 di 227

### 6.1.3 Magnitudo

Sulla base di quanto dettagliatamente riportato nella relazione geologica del tracciato, ai fini della valutazione della suscettibilità alla liquefazione del terreno di fondazione, la magnitudo viene assunta pari a  $M = 6.83$ .



LINEA PESCARA - BARI  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
 LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	158 di 227

## 7 OPERE D'ARTE MAGGIORI

Nel presente capitolo vengono descritte per le opere d'arte maggiori del tracciato in progetto, la stratigrafia, i parametri geotecnici di progetto, il livello di falda e la categoria di sottosuolo sulla base delle indagini più vicine all'opera in esame. La stratigrafia è in accordo a quanto riportato nel profilo stratigrafico longitudinale.

### 7.1 Viadotto Ripalta

Il viadotto si estende tra le progressive chilometriche 2+565 a 3+740 ed è costituito da 2 spalle e 46 pile.

#### 7.1.1 Tratto da inizio VI a km 2+600

Lungo il tratto in esame sono state eseguite le indagini in sito e le prove di laboratorio elencate nelle seguenti tabelle.

INDAGINI IN SITO						
Sigla indagine	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. campioni indisturbati	N. prove SPT	n. prove Lefranc	Piezometro TA; CC / Prova DH; CH
CHIA33V14	60.0	6.80	-	-	-	CH [50]
CHIA33V15	60.0	6.60	8	1	-	CH [50]
PEIA33V08	30.0	6.15	-	-	-	-
CH [m]: prova sismica Cross-Hole [profondità di prova]						

### PROVE DI LABORATORIO

Sondaggio	-	CHIA33V15	CHIA33V15	CHIA33V15	CHIA33V15	CHIA33V15	CHIA33V15	CHIA33V15	CHIA33V15
Campione	-	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5S
Prof.	m	3.00	6.00	10.40	15.00	20.00	24.00	27.00	36.00
<b>Granulometria</b>									
G	%		0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
S	%		7.4	2.3	11.4	3.1	1.1	0.2	40.1
L+A	%		92.1	97.7	88.6	96.9	98.9	99.8	59.8
L	%		54.5	37.2	50.0	56.9	33.0	31.9	40.9
A	%		37.6	60.5	38.6	40.0	65.9	67.9	18.9
<b>Limiti di Atterberg</b>									
W <sub>L</sub>	%		45.9	74.0	40.2	49.2	70.6	72.0	29.7
W <sub>p</sub>	%		26.0	34.5	25.6	29.7	37.2	33.1	20.6
I <sub>p</sub>	-		0.83	0.77	0.08	0.87	0.84	0.69	0.44
I <sub>c</sub>	%		19.9	39.5	14.6	19.5	33.4	38.9	9.1
<b>Caratteristiche fisiche</b>									
γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>		18.9	17.5	17.9	18.2	17.4	16.7	19.3
w <sub>N</sub>	%		29.4	43.5	39.1	32.3	42.4	45.1	25.7
<b>Resistenza drenata</b>									
(TD) c	kPa								
(TD) f	°		27.2						30.5
(TX-CID) c	kPa								
(TX-CID) f	°			25.1					



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	159 di 227

Le unità geotecniche intercettate e i parametri geotecnici di progetto sono i seguenti:

**Unità 5-AL: per  $z < 48.0$  m**

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 25^\circ$$

$$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$$

$$c_u = 100 \text{ kPa} \quad \text{per } 0.0 < z < 10.0 \text{ m}$$

$$c_u = 60 \text{ kPa} \quad \text{per } 10.0 < z < 16.0 \text{ m}$$

$$c_u = 75 \text{ kPa} \quad \text{per } 16.0 < z < 22.0 \text{ m}$$

$$c_u = 55 \text{ kPa} \quad \text{per } 22.0 < z < 25.0 \text{ m}$$

$$c_u = -20 + 2.85 \cdot z \text{ kPa} \quad \text{per } 25.0 < z < 48.0 \text{ m}$$

**Unità 8-GS: per  $48.0 < z < 53.0$  m**

$$\gamma_{\text{nat}} = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 35^\circ$$

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

$$N_{\text{spt}} = R$$

**Unità 9-AL: per  $53.0 < z < 60.0$  m**

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 26^\circ$$

$$c' = 10 \text{ kPa}$$

$$c_u = 160 \text{ kPa}$$

**Resistenza al taglio non drenata**

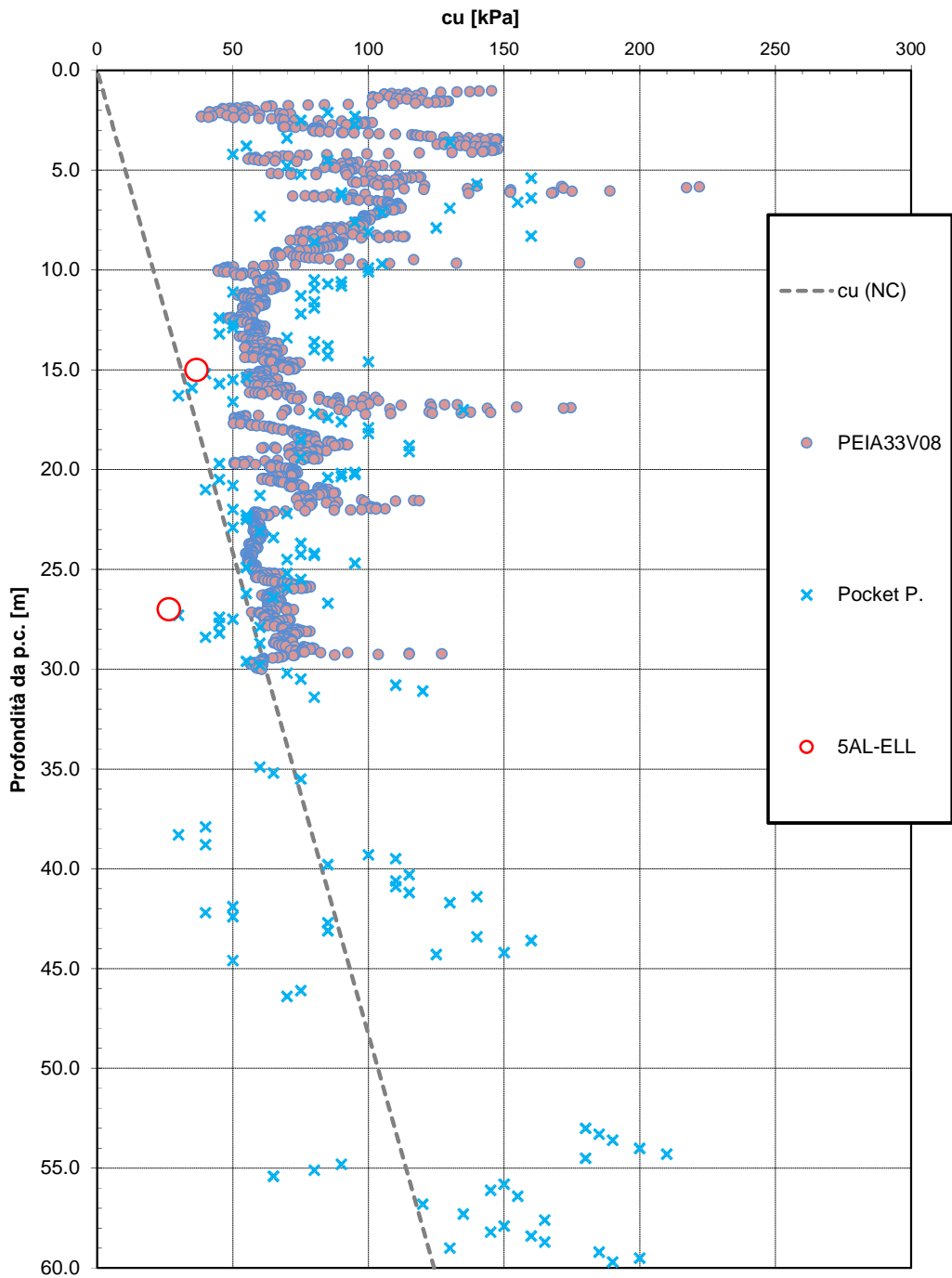


Figura 93 – Resistenza al taglio non drenata (sondaggio: CHIA33V15)

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	161 di 227

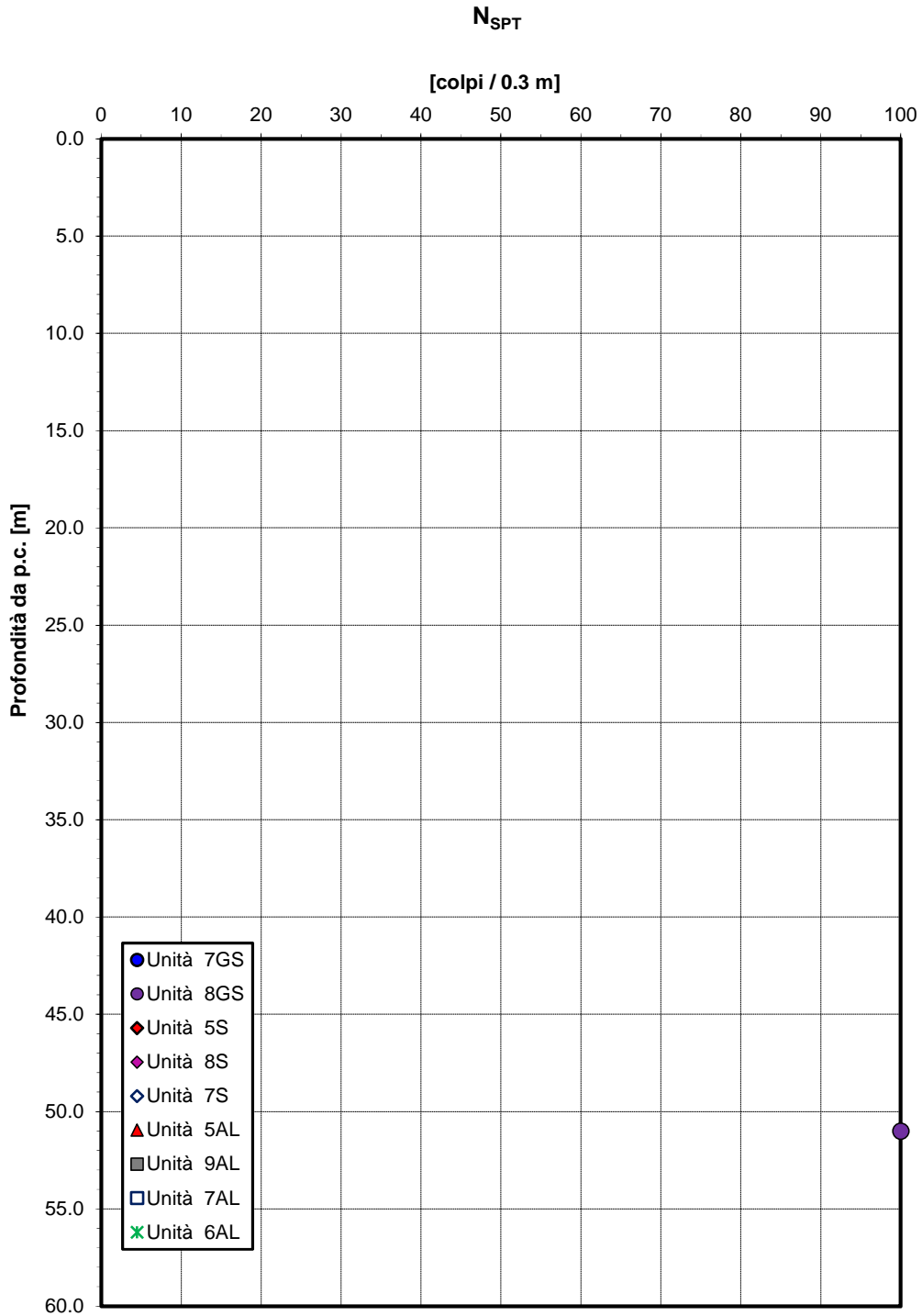


Figura 94 – Valori di SPT (sondaggio: CHIA33V15)



**Angolo di resistenza al taglio da prove SPT**

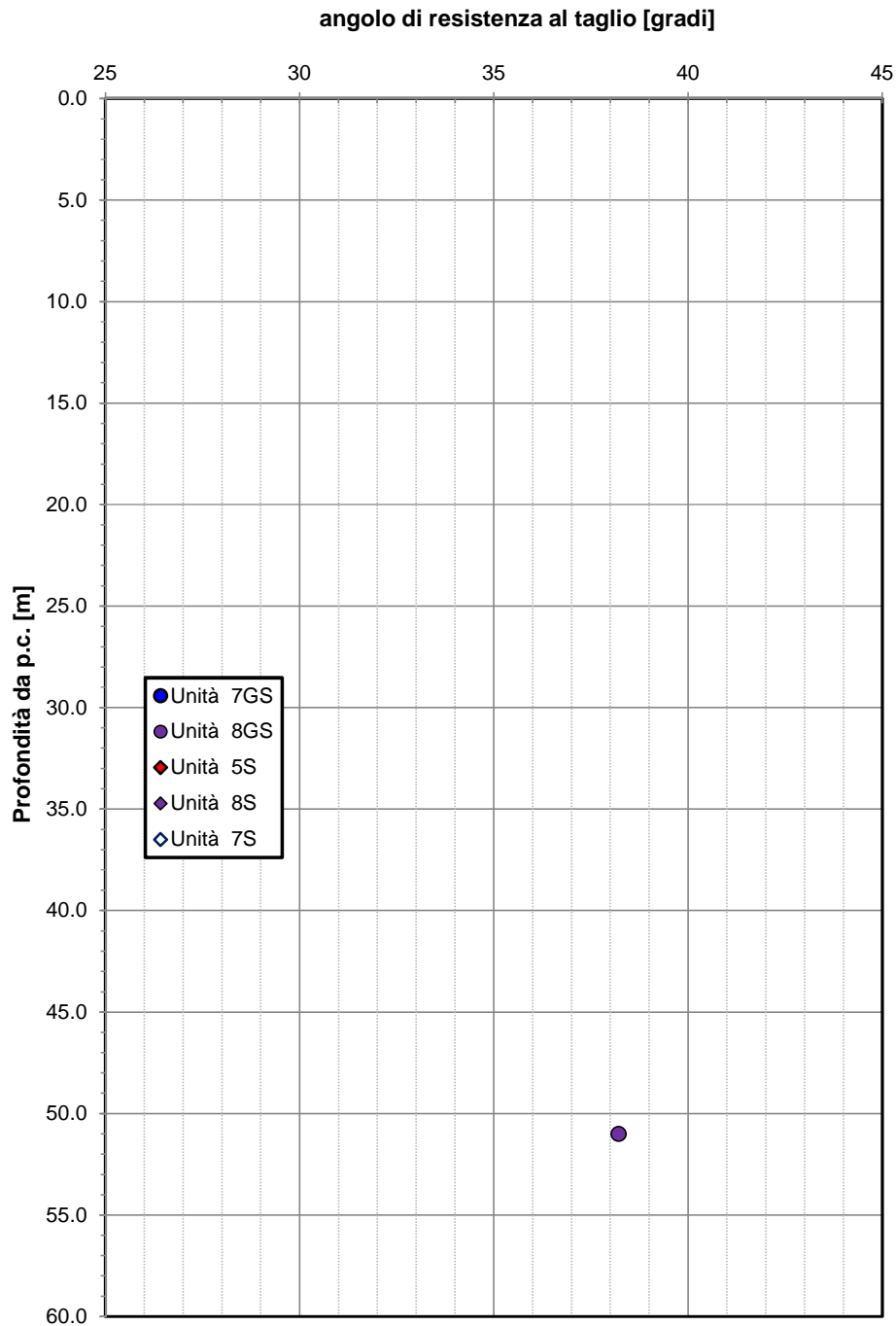


Figura 95 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT (sondaggio: CHIA33V15)

**Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche**

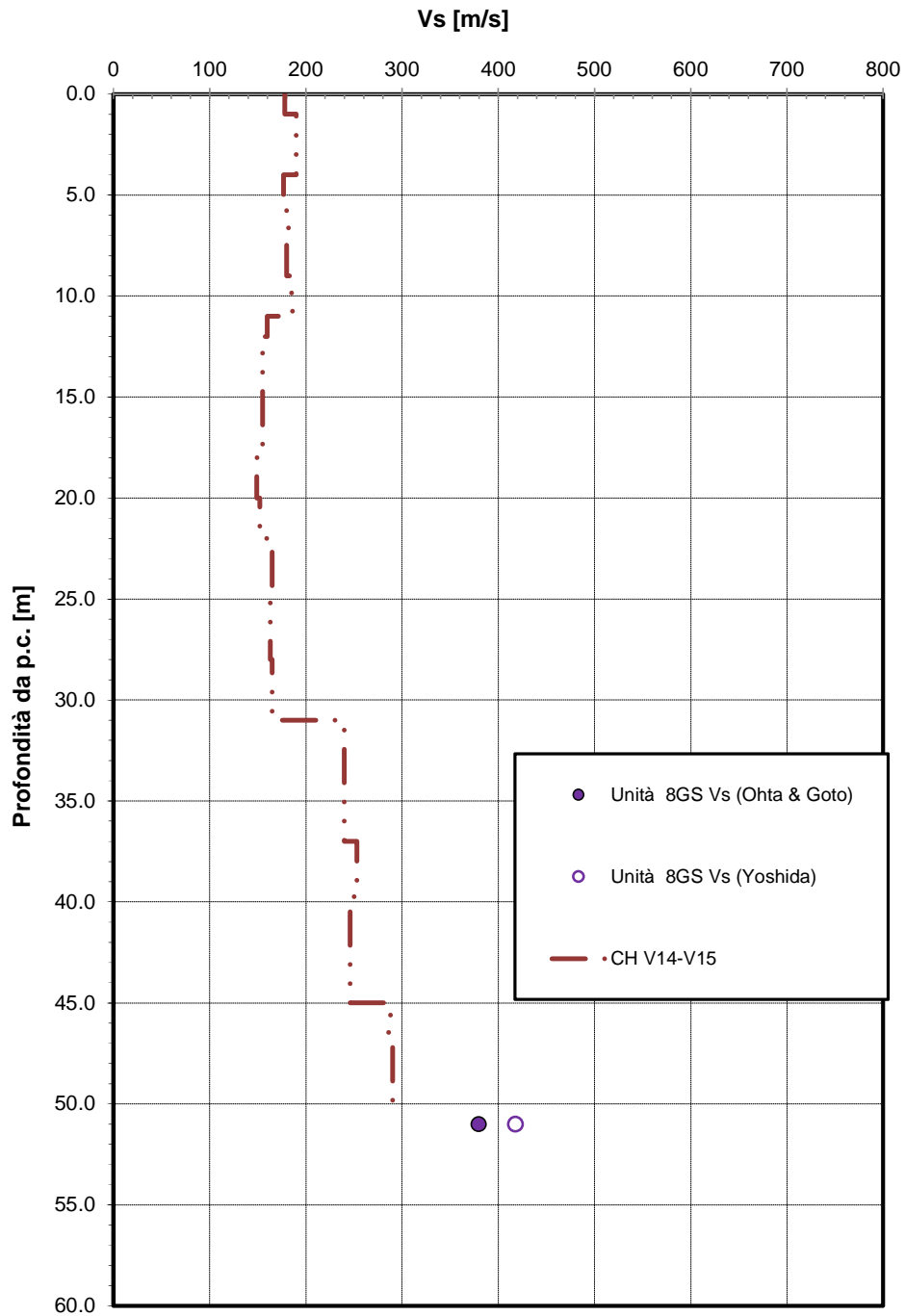


Figura 96 – Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche (sondaggio: CHIA33V15)

**Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche**

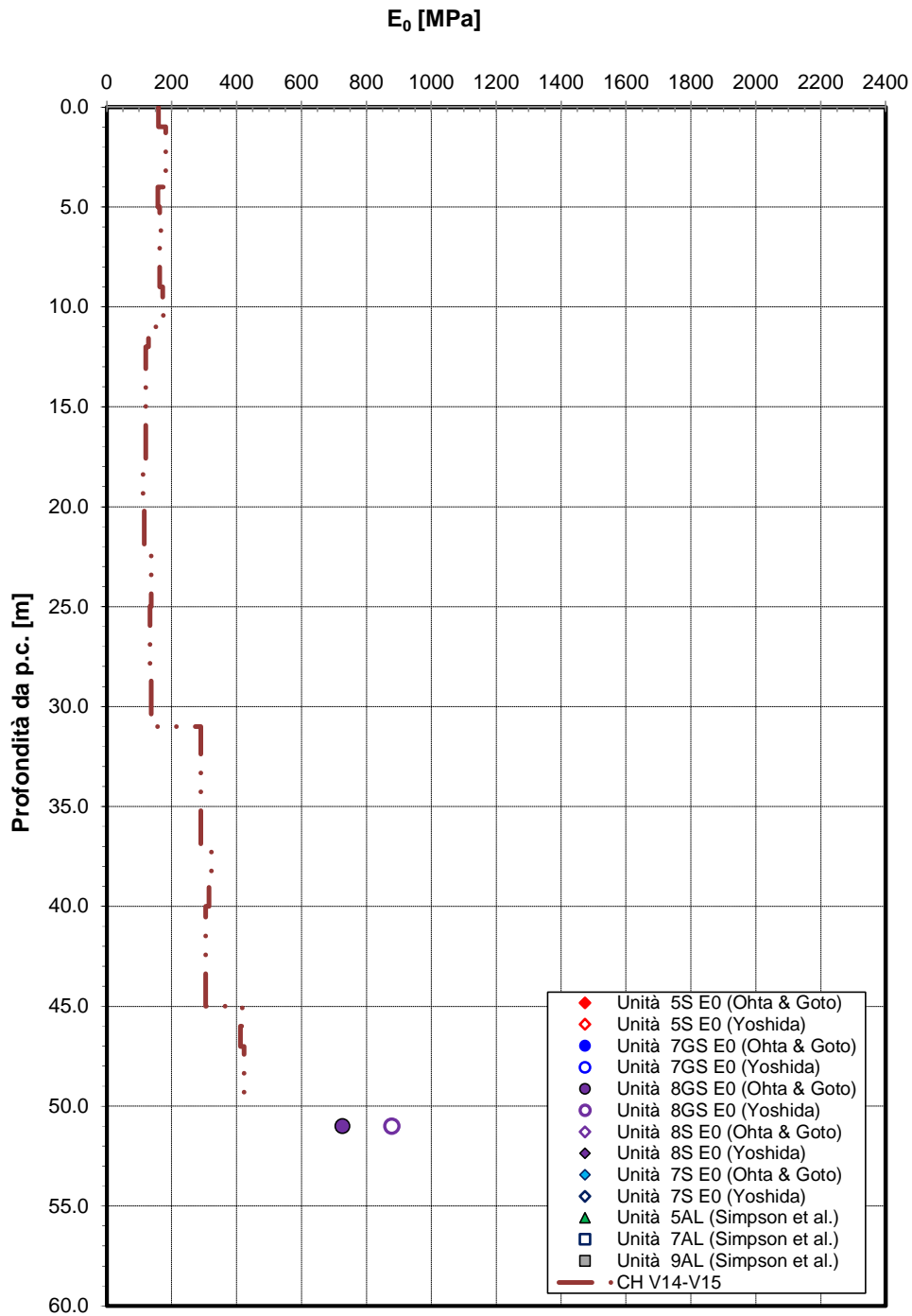


Figura 97 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche (sondaggio: CHIA33V15)



LINEA PESCARA - BARI  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
 LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	165 di 227

### 7.1.2 Tratto da km 2+600 a km 2+730

Lungo il tratto in esame sono state eseguite le indagini in sito e le prove di laboratorio elencate nelle seguenti tabelle.

INDAGINI IN SITO						
Sigla indagine	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. campioni indisturbati	N. prove SPT	n. prove Lefranc	Piezometro TA; CC / Prova DH; CH
PCIA33V11	40.0	6.59	8	1	1	CC [18]
PCIA33V12	40.0	6.75	8	-	-	CC [9]
PCIA33V13	40.0	6.86	5	-	1	CC [19.5]
PEIA33V07	30.0	6.66	-	-	-	-
PUIA33V012	30.0	6.76	-	-	-	-

CC [m]: piezometro del tipo a cella di Casagrande [quota cella]

### PROVE DI LABORATORIO

Sondaggio	-	PCIA33V 11	PCIA33V 11	PCIA33V 11	PCIA33V 11	PCIA33V 11	PCIA33V 11	PCIA33V 11
Campione	-	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5S
Prof.	m	3.00	6.00	10.50	15.00	22.50	27.00	31.10
<b>Granulometria</b>								
G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	1.2	2.4	0.3	24.8	3.2	33.6	58.8
L + A	%	98.8	97.6	99.7	75.2	96.8	66.4	41.2
L	%	41.3	49.9	34.3	47.7	52.1	40.3	27.9
A	%	57.5	47.7	65.4	27.5	44.7	26.1	13.3
<b>Limiti di Atterberg</b>								
W <sub>L</sub>	%	61.5	61.2	73.3	36.0	60.5	29.6	22.2
W <sub>P</sub>	%	29.6	31.1	30.7	22.0	31.9	19.1	15.3
I <sub>c</sub>	-	1.00	1.06	0.73	0.44	0.70	0.33	0.58
I <sub>p</sub>	%	31.9	30.1	42.6	14.0	28.6	10.5	6.9
<b>Caratteristiche fisiche</b>								
γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>	19.0	19.1	17.5	19.3	17.8	18.9	19.3
w <sub>N</sub>	%	29.7	29.3	42.0	29.9	40.4	26.1	18.2
<b>Resistenza drenata</b>								
(TD) c	kPa		9.7			7.6		
(TD) f	°		23.3			20.6	30.0	



LINEA PESCARA - BARI  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
 LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
 LI00 01 D 78 RH GE0005 001 A 166 di 227

<b>Sondaggio</b>	-	PCIA33V11	PCIA33V12	PCIA33V12	PCIA33V12	PCIA33V12	PCIA33V12	PCIA33V12
<b>Campione</b>	-	CI8	CI1	CI2	CI3	CI4	CI5	CI6
<b>Tipo</b>	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
<b>Unità</b>	-	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL
<b>Prof.</b>	m	36.00	4.50	7.00	10.50	15.00	18.00	22.00

**Granulometria**

G	%	0.0	0.1	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	2.9	1.2	7.8	1.1	7.9	1.4	1.2
L + A	%	97.1	98.7	91.4	98.9	92.1	98.6	98.8
L	%	62.2	33.4	48.8	31.2	58.1	43.7	51.4
A	%	34.9	65.3	42.6	67.7	34.0	54.9	47.4

**Limiti di Atterberg**

$W_L$	%	46.9	66.0	52.8	76.3	44.1	58.1	57.0
$W_P$	%	26.9	32.0	28.0	33.4	27.6	32.3	29.5
$I_c$	-	0.78	1.08	1.08	0.77	0.52	0.74	0.56
$I_p$	%	20.0	34.0	24.8	42.9	16.5	25.8	27.5

**Caratteristiche fisiche**

$\gamma_N$	kN/m <sup>3</sup>	18.7	19.0	19.7	17.6	18.4	18.0	17.3
$w_N$	%	31.4	29.4	26.0	43.4	35.6	39.0	41.5

**Resistenza drenata**

(TD) c	kPa		19.4					
(TD) f	°		21.9					

<b>Sondaggio</b>	-	PCIA33V12	PCIA33V12	PCIA33V13	PCIA33V13	PCIA33V13	PCIA33V13	PCIA33V13
<b>Campione</b>	-	CI7	CI8	CI1	CI2	CI3	CI4	CI5
<b>Tipo</b>	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
<b>Unità</b>	-	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL
<b>Prof.</b>	m	27.00	31.50	3.00	6.70	10.30	14.00	16.50

**Granulometria**

G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.1	1.5
L + A	%	98.9	98.8	98.8	98.8	98.7	98.9	98.5
L	%	38.6	59.0	38.8	46.4	31.5	41.5	36.1
A	%	60.3	39.8	60.0	52.4	67.2	57.4	62.4

**Limiti di Atterberg**

$W_L$	%	63.4	47.6	60.6	64.8	73.7	64.8	67.2
$W_P$	%	31.7	26.2	29.9	30.3	32.5	35.3	32.4
$I_c$	-	0.69	0.81	1.02	0.98	0.72	0.85	0.64
$I_p$	%	31.7	21.4	30.7	34.5	41.2	29.5	34.8

**Caratteristiche fisiche**

$\gamma_N$	kN/m <sup>3</sup>	17.3	19.2	19.0	18.7	17.6	18.0	17.5
$w_N$	%	41.4	30.2	29.4	31.0	43.9	39.6	45.0

**Resistenza drenata**

(TD) c	kPa	4.0						
(TD) f	°	20.9						



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	167 di 227

Le unità geotecniche intercettate e i parametri geotecnici di progetto sono i seguenti:

**Unità 5-AL:**

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 25^\circ$$

$$c' = 0.5 \text{ kPa}$$

$$c_u = 100 \text{ kPa} \quad \text{per } 0.0 < z < 10.0 \text{ m}$$

$$c_u = 48 + 1.5 \cdot z \text{ kPa} \quad \text{per } 10.0 < z < 48.0 \text{ m}$$

**Resistenza al taglio non drenata**

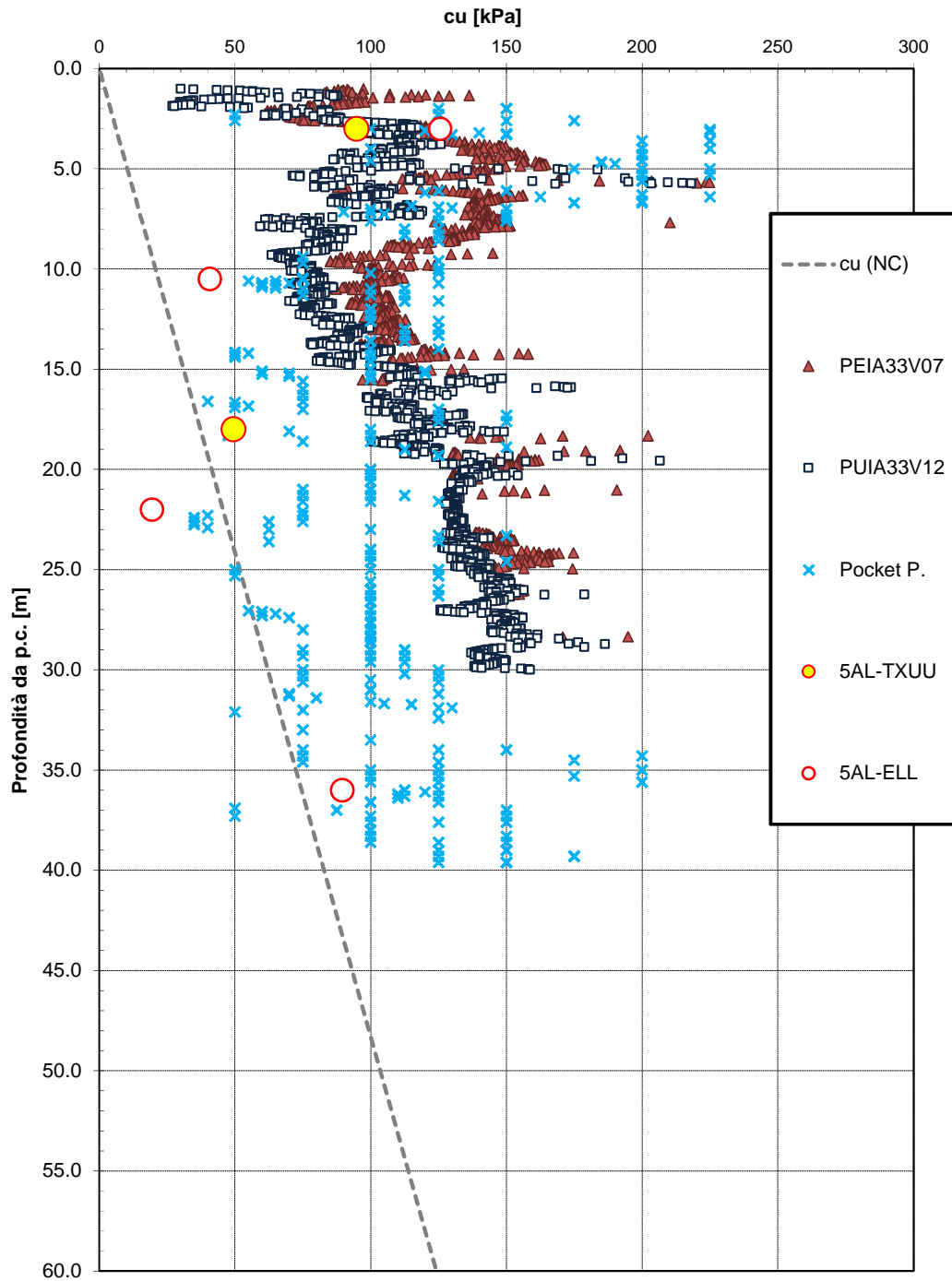


Figura 98 – Resistenza al taglio non drenata da prove CPT (sondaggi: PCIA33V11, PCIA33V12, PCIA33V13)



LINEA PESCARA - BARI  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
 LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	169 di 227

### 7.1.3 Tratto da km 2+730 a km 2+830

Lungo il tratto in esame sono state eseguite le indagini in sito e le prove di laboratorio elencate nelle seguenti tabelle.

INDAGINI IN SITO						
Sigla indagine	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. campioni indisturbati	N. prove SPT	n. prove Lefranc	Piezometro TA; CC / Prova DH; CH
PUIA33V02	18.0	6.68	-	-	-	-
PEIA33V04	18.6	6.58	-	-	-	-
PEIA33V06	28.1	6.69	-	-	-	-
PEIA33V07	30.0	6.66	-	-	-	-
PCIA33V10	40.0	6.36	9	1	1	CC [34]
PCIA33V11	40.0	6.59	8	1	1	CC [18]
PEIA33V01	18.3	6.90	-	-	-	-
PUIA33V012	30.0	6.76	-	-	-	-

CC [m]: piezometro del tipo a cella di Casagrande [quota cella]

### PROVE DI LABORATORIO

Sondaggio	-	PCIA33V10	PCIA33V10	PCIA33V10	PCIA33V10	PCIA33V10	PCIA33V10	PCIA33V10	PCIA33V10
Campione	-	Cl1	Cl2	Cl3	Cl4	Cl5	Cl6	Cl7	Cl8
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5S	5AL
Prof.	m	4.60	7.20	12.00	16.50	22.50	25.50	29.00	32.00
<b>Granulometria</b>									
G	%	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	0.4	4.7	2.4	10.4	2.9	14.2	58.3	6.6
L+A	%	99.6	95.2	97.6	89.6	97.1	85.8	41.7	93.4
L	%	39.1	58.2	53.2	53.2	49.7	47.3	26.4	59.2
A	%	60.5	37.0	44.4	36.4	47.4	38.5	15.3	34.2
<b>Limiti di Atterberg</b>									
W <sub>L</sub>	%	62.0	46.6	47.8	41.9	57.9	42.0	24.1	37.9
W <sub>p</sub>	%	30.5	26.3	26.8	25.2	30.3	25.7	16.4	26.0
I <sub>p</sub>	-	1.13	0.95	0.56	0.83	0.54	0.79	0.01	0.59
I <sub>p</sub>	%	31.5	20.3	21.0	16.7	27.6	16.3	7.7	11.9
<b>Caratteristiche fisiche</b>									
γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>	19.4	19.3	18.4	19.0	17.8	18.9	19.3	19.1
w <sub>N</sub>	%	26.3	27.3	36.1	28.0	43.1	29.1	24.0	30.9
<b>Resistenza drenata</b>									
(TD) c	kPa				23.4				
(TD) f	°				26.0			33.4	
(TX-CID) c	kPa								
(TX-CID) f	°		29.0						





LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	170 di 227

Le unità geotecniche intercettate e i parametri geotecnici di progetto sono i seguenti:

**Unità 5-AL:**

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 25^\circ$$

$$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$$

$$c_u = 100 \text{ kPa} \quad \text{per } 0.0 < z < 10.0 \text{ m}$$

$$c_u = 48 + 1.5 \cdot z \text{ kPa} \quad \text{per } 10.0 < z < 48.0 \text{ m}$$

**Unità 5-S per  $8.0 < z < 9.0 \text{ m}$  (strato potenzialmente liquefacibile)**

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 30^\circ$$

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

**Unità 5-S per  $16.0 < z < 19.5 \text{ m}$  (strato potenzialmente liquefacibile)**

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 32^\circ$$

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

$$N_{spt} = 20 \text{ colpi/30 cm}$$

**Resistenza alla punta penetrometrica**

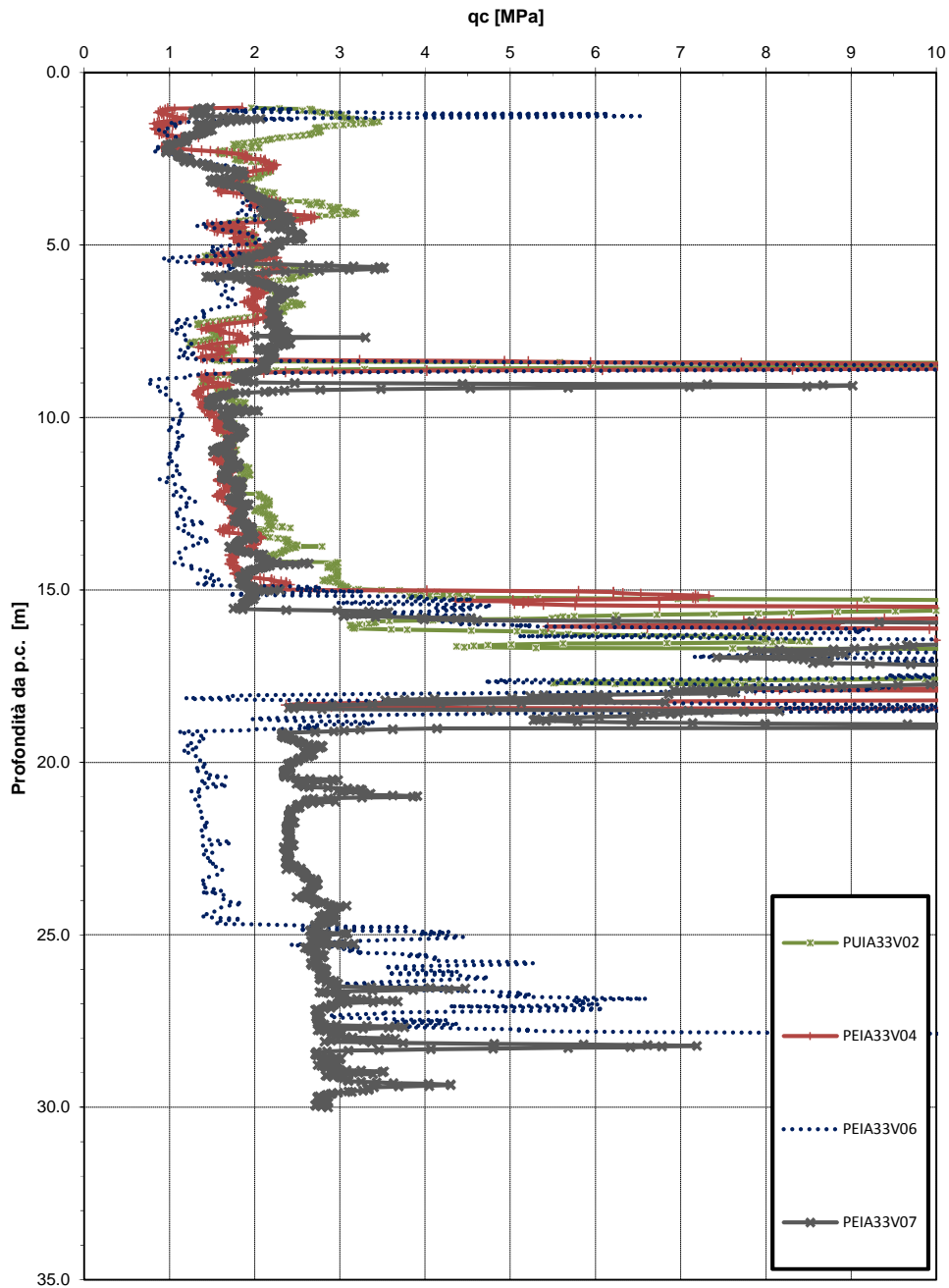


Figura 99 – Resistenza alla punta penetrometrica

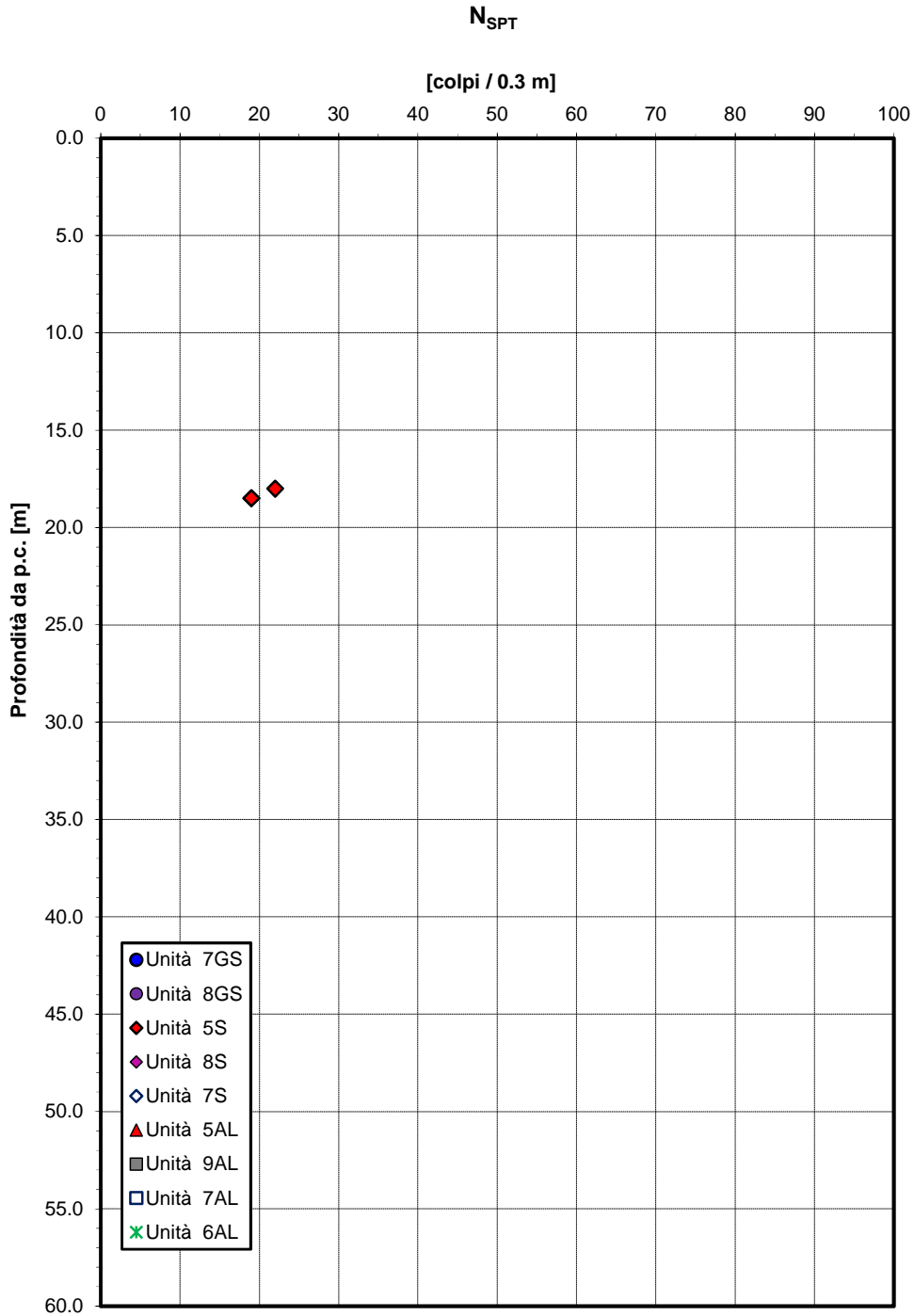


Figura 100 – Valori di SPT (sondaggi: PCIA33V10, PCIA33V11)

**Angolo di resistenza al taglio da prove SPT**

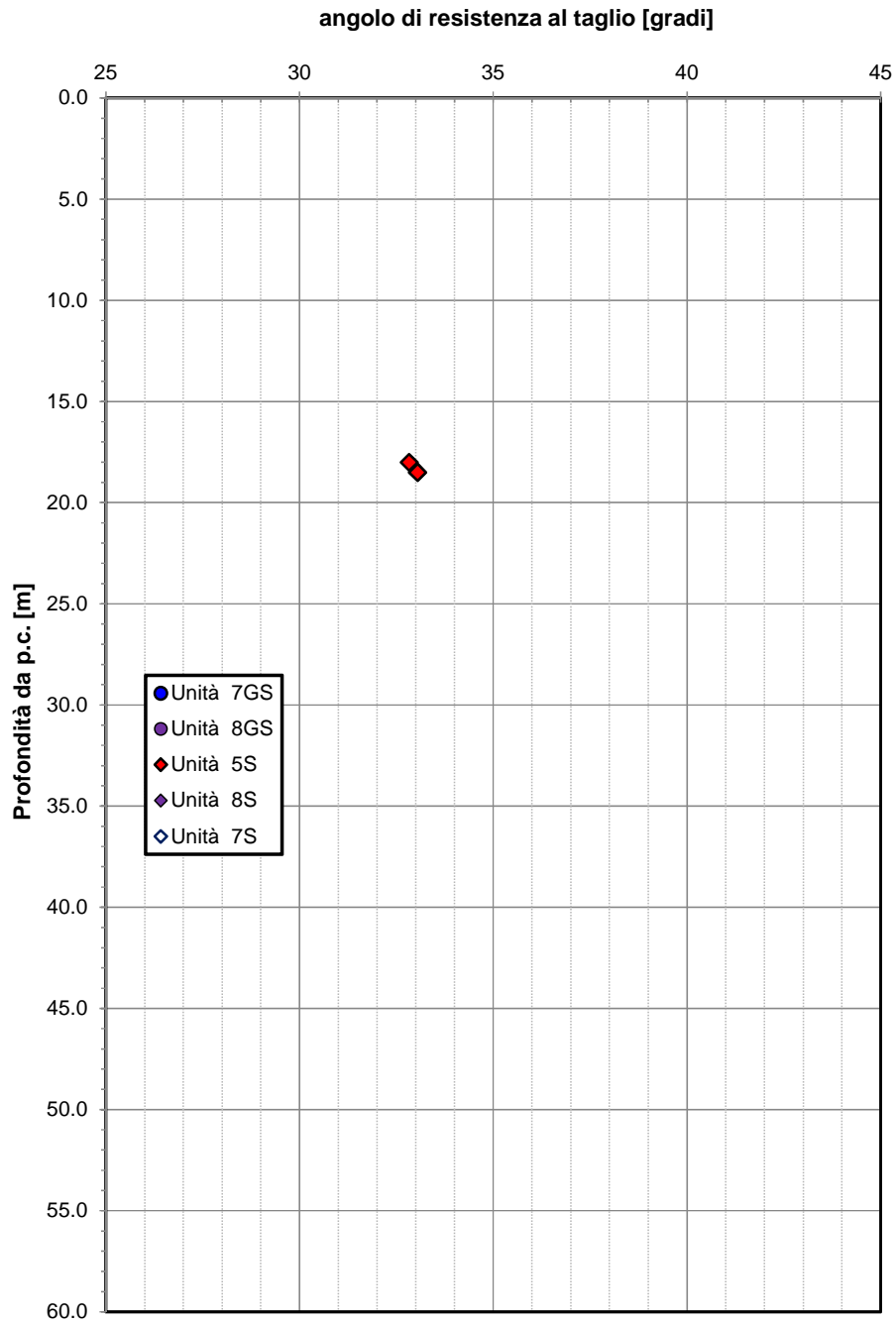


Figura 101 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT (sondaggi: PCIA33V10, PCIA33V11)

**Angolo di resistenza al taglio (incoerenti)**

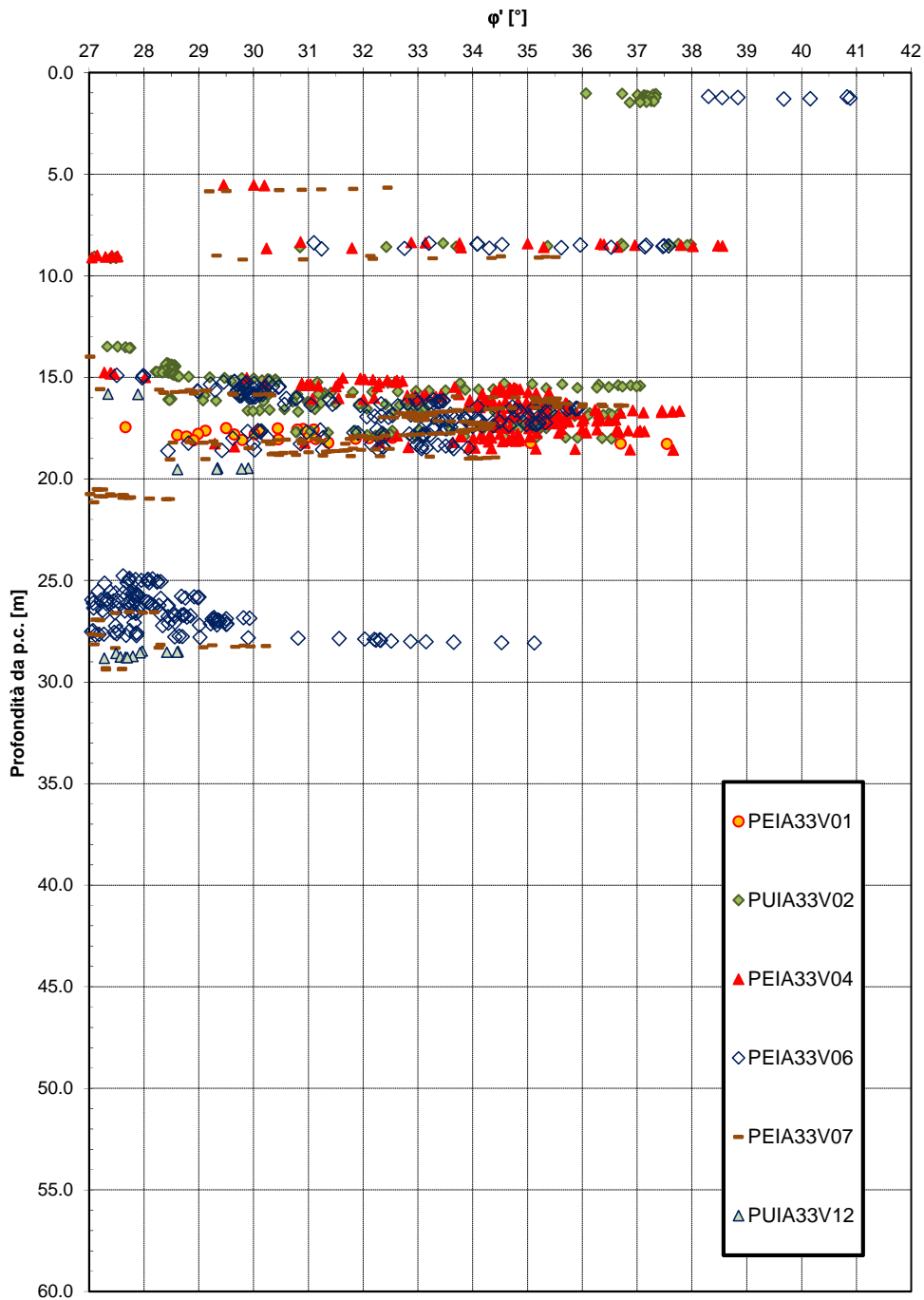


Figura 102 – Angolo di resistenza al taglio per terreni incoerenti da prove CPT



LINEA PESCARA - BARI  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
 LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	175 di 227

#### 7.1.4 Tratto da km 2+830 a km 2+930

Lungo il tratto in esame sono state eseguite le indagini in sito e le prove di laboratorio elencate nelle seguenti tabelle.

INDAGINI IN SITO						
Sigla indagine	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. campioni indisturbati	N. prove SPT	n. prove Lefranc	Piezometro TA; CC / Prova DH; CH
PCIA33V10	40.0	6.36	9	1	1	CC [34]
PEIA33V06	28.1	6.69	-	-	-	-
CC [m]: piezometro del tipo a cella di Casagrande [quota cella]						

#### PROVE DI LABORATORIO

Sondaggio	-	PCIA33V10	PCIA33V10	PCIA33V10	PCIA33V10	PCIA33V10	PCIA33V10	PCIA33V10	PCIA33V10	PCIA33V10
Campione	-	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL	5S	5AL	5AL
Prof.	m	4.60	7.20	12.00	16.50	22.50	25.50	29.00	32.00	37.50
<b>Granulometria</b>										
G	%	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	0.4	4.7	2.4	10.4	2.9	14.2	58.3	6.6	7.8
L + A	%	99.6	95.2	97.6	89.6	97.1	85.8	41.7	93.4	92.2
L	%	39.1	58.2	53.2	53.2	49.7	47.3	26.4	59.2	63.8
A	%	60.5	37.0	44.4	36.4	47.4	38.5	15.3	34.2	28.4
<b>Limiti di Atterberg</b>										
W <sub>L</sub>	%	62.0	46.6	47.8	41.9	57.9	42.0	24.1	37.9	36.4
W <sub>p</sub>	%	30.5	26.3	26.8	25.2	30.3	25.7	16.4	26.0	25.6
I <sub>p</sub>	-	1.13	0.95	0.56	0.83	0.54	0.79	0.01	0.59	0.69
I <sub>p</sub>	%	31.5	20.3	21.0	16.7	27.6	16.3	7.7	11.9	10.8
<b>Caratteristiche fisiche</b>										
γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>	19.4	19.3	18.4	19.0	17.8	18.9	19.3	19.1	19.1
w <sub>N</sub>	%	26.3	27.3	36.1	28.0	43.1	29.1	24.0	30.9	28.9
<b>Resistenza drenata</b>										
(TD) c	kPa				23.4					10.7
(TD) f	°				26.0			33.4		26.0
(TX-CID) c	kPa									
(TX-CID) f	°		29.0							

Le unità geotecniche intercettate e i parametri geotecnici di progetto sono i seguenti:

#### Unità 5-AL:

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi' = 25^\circ$$

$$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$$

$$c_u = 100 \text{ kPa} \quad \text{per } 0.0 < z < 7.0 \text{ m}$$



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	176 di 227

$c_u = 50 \text{ kPa}$  per  $7.0 < z < 16.0 \text{ m}$

$c_u = 60 \text{ kPa}$  per  $16.0 < z < 25.0 \text{ m}$

$c_u = -20 + 2.85 \cdot z \text{ kPa}$  per  $25.0 < z < 50.0 \text{ m}$

**Unità 5-S per  $8.5 < z < 9.5 \text{ m}$  (strato potenzialmente liquefacibile)**

$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$

$\varphi' = 30^\circ$

$c' = 0 \text{ kPa}$

**Unità 5-S per  $16.0 < z < 19.5 \text{ m}$  (strato potenzialmente liquefacibile)**

$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$

$\varphi' = 32^\circ$

$c' = 0 \text{ kPa}$

$N_{spt} = 20 \text{ colpi/30 cm}$

### Resistenza al taglio non drenata

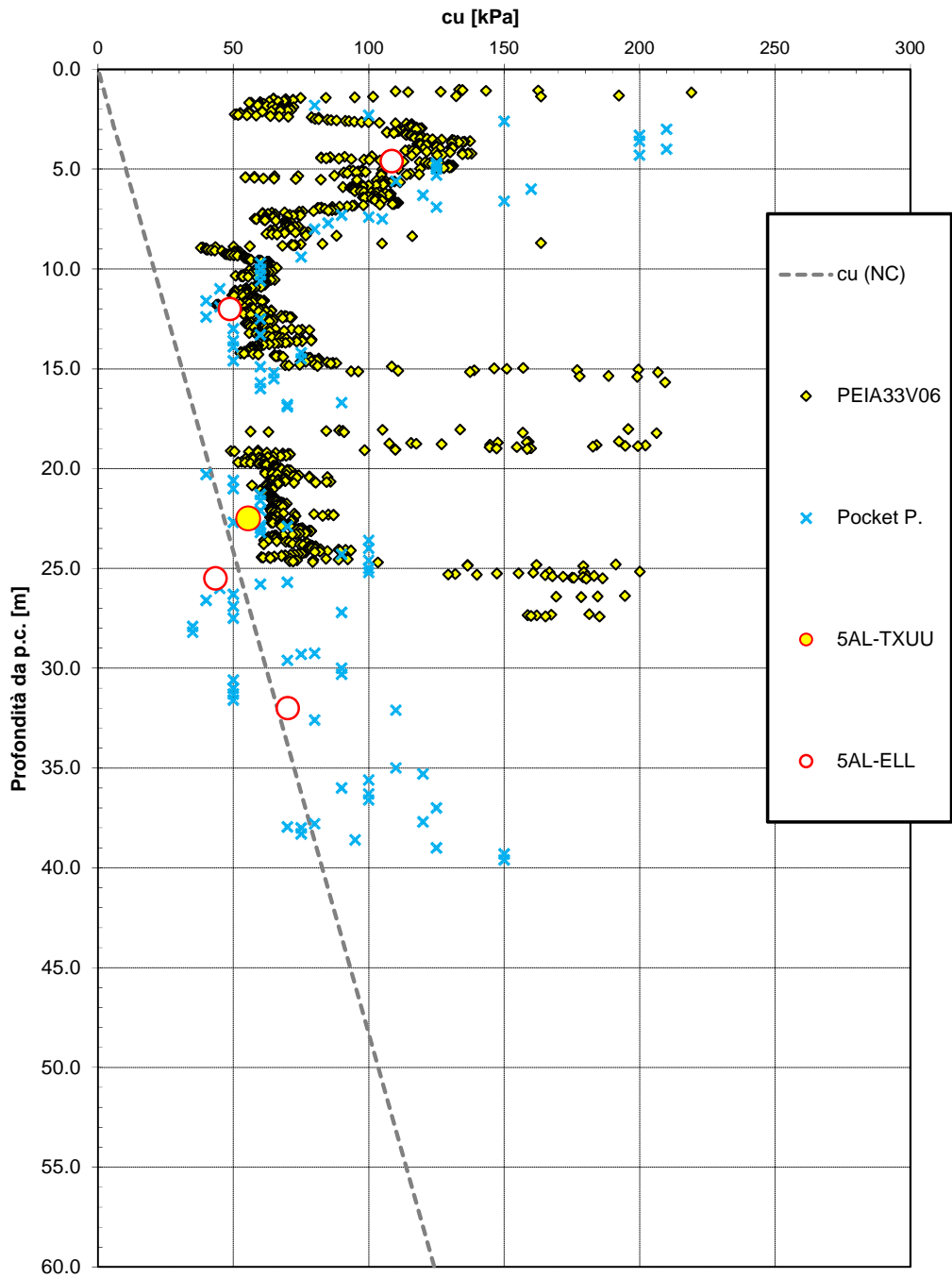


Figura 103 – Resistenza al taglio non drenata (sondaggio: PCIA33V10)





LINEA PESCARA - BARI  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
 LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	178 di 227

### 7.1.5 Tratto da km 2+930 a km 3+050

Lungo il tratto in esame sono state eseguite le indagini in sito e le prove di laboratorio elencate nelle seguenti tabelle.

INDAGINI IN SITO						
Sigla indagine	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. campioni indisturbati	N. prove SPT	n. prove Lefranc	Piezometro TA; CC / Prova DH; CH
PCIA33V09	40.0	6.68	5	-	1	CC [18.5]
PEIA33V04	18.6	6.58	-	-	-	-
PEIA33V01	18.3	6.90	-	-	-	-
PUIA33V02	18.0	6.68	-	-	-	-

CC [m]: piezometro del tipo a cella di Casagrande [quota cella]

### PROVE DI LABORATORIO

Sondaggio	-	PCIA33V09	PCIA33V09	PCIA33V09	PCIA33V09	PCIA33V09
Campione	-	CI1	CI2	CI3	CI4	CI5
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL
Prof.	m	4.50	8.00	12.00	15.00	21.00
<b>Granulometria</b>						
G	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	0.2	1.0	0.2	2.6	1.0
L + A	%	99.8	99.0	99.8	97.4	99.0
L	%	52.2	46.4	29.4	49.8	41.4
A	%	47.6	52.6	70.4	47.6	57.6
<b>Limiti di Atterberg</b>						
$W_L$	%	55.9	61.4	74.0	57.2	62.4
$W_P$	%	31.1	29.9	33.2	29.3	31.5
$I_c$	-	1.12	0.92	0.79	0.81	0.77
$I_p$	%	24.8	31.5	40.8	27.9	30.9
<b>Caratteristiche fisiche</b>						
$\gamma_N$	kN/m <sup>3</sup>	19.0	18.7	17.7	18.3	18.0
$w_N$	%	28.2	32.5	41.9	34.7	38.6
<b>Resistenza drenata</b>						
(TD) c	kPa		11.4			
(TD) f	°		20.1			
(TX-CIU) c	kPa			20.0		
(TX-CIU) f	°			23.1		

Le unità geotecniche intercettate e i parametri geotecnici di progetto sono i seguenti:



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	179 di 227

### Unità 5-AL:

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 25^\circ$$

$$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$$

$$c_u = 100 \text{ kPa} \quad \text{per } 0.0 < z < 7.0 \text{ m}$$

$$c_u = 60 \text{ kPa} \quad \text{per } 7.0 < z < 16.0 \text{ m}$$

$$c_u = 20 + 2 \cdot z \text{ kPa} \quad \text{per } 16.0 < z < 40.0 \text{ m}$$

### Unità 5-S per $16.0 < z < 19.5 \text{ m}$ (strato potenzialmente liquefacibile)

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 32^\circ$$

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

$$N_{spt} = 20 \text{ colpi/30 cm}$$

**Resistenza al taglio non drenata**

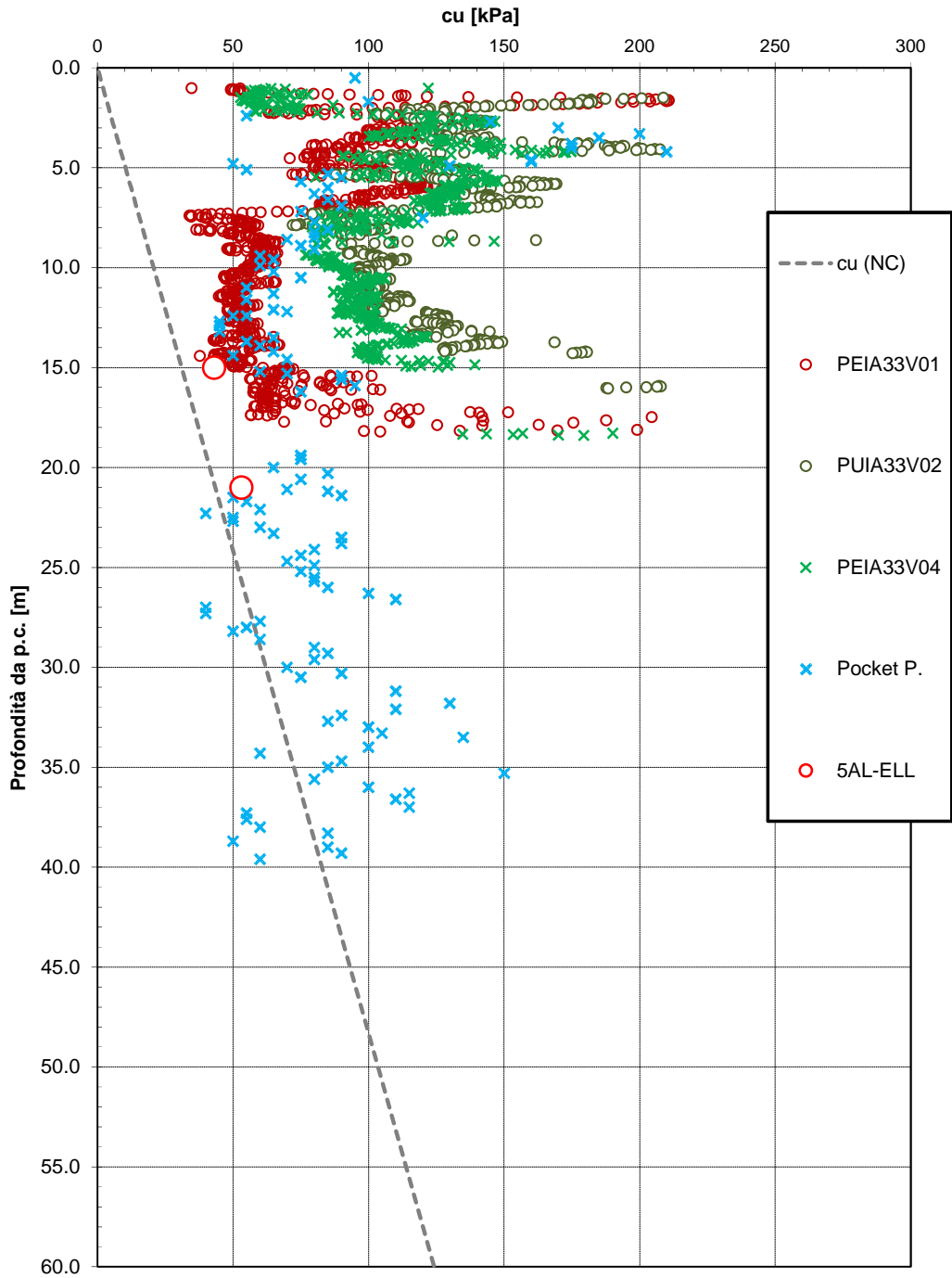


Figura 104 – Resistenza al taglio non drenata (sondaggio: PCIA33V09)



LINEA PESCARA - BARI  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
 LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	181 di 227

### 7.1.6 Tratto da km 3+050 a km 3+125

Lungo il tratto in esame sono state eseguite le indagini in sito e le prove di laboratorio elencate nelle seguenti tabelle.

INDAGINI IN SITO						
Sigla indagine	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. campioni indisturbati	N. prove SPT	n. prove Lefranc	Piezometro TA; CC / Prova DH; CH
PNIA33V08	40.0	6.05	4	3	1	TA [24÷40]
PEIA33V01	18.3	6.90	-	-	-	-
TA [m]: piezometro a tubo aperto [profondità tratto filtrante]						

### PROVE DI LABORATORIO

Sondaggio	-	PNIA33V08	PNIA33V08	PNIA33V08	PNIA33V08
Campione	-	C11	C12	C13	C14
Tipo	-	ind	ind	ind	ind
Unità	-	5AL	5AL	5AL	5AL
Prof.	m	4.50	7.50	11.50	16.50
<b>Granulometria</b>					
G	%	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	0.8	5.8	0.7	21.0
L + A	%	99.2	94.2	99.3	79.0
L	%	41.4	40.9	40.0	51.6
A	%	57.8	53.3	59.3	27.4
<b>Limiti di Atterberg</b>					
W <sub>L</sub>	%	62.3	57.8	78.0	33.6
W <sub>P</sub>	%	28.6	23.8	31.9	22.8
I <sub>c</sub>	-	0.95	0.75	0.96	0.50
I <sub>p</sub>	%	33.7	34.0	46.1	10.8
<b>Caratteristiche fisiche</b>					
γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>	18.9	18.8	18.5	19.3
w <sub>N</sub>	%	30.4	32.2	33.9	28.2
<b>Resistenza drenata</b>					
(TD) c	kPa		3.1		
(TD) f	°		20.2		
(TX-CIU) c	kPa				4.2
(TX-CIU) f	°				34.5

Le unità geotecniche intercettate e i parametri geotecnici di progetto sono i seguenti:

**Unità 5-AL: per z < 27.0 m**

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 25^\circ$$

$$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$$

$$c_u = 90 \text{ kPa} \quad \text{per } 0.0 < z < 7.0 \text{ m}$$



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	182 di 227

$c_u = 50$  kPa per  $7.0 < z < 15.0$  m

$c_u = 70$  kPa per  $15.0 < z < 27.0$  m

**Unità 7-GS per  $27 < z < 39$  m**

$\gamma = 19$  kN/m<sup>3</sup>

$\varphi' = 38^\circ$

$c' = 0$  kPa

$N_{spt} = 50 \div R$  colpi/30 cm

**Unità 9-AL per  $39 < z < 40$  m**

$\gamma = 20$  kN/m<sup>3</sup>

$\varphi' = 26^\circ$

$c' = 10$  kPa

$c_u = 100$  kPa

**Resistenza al taglio non drenata**

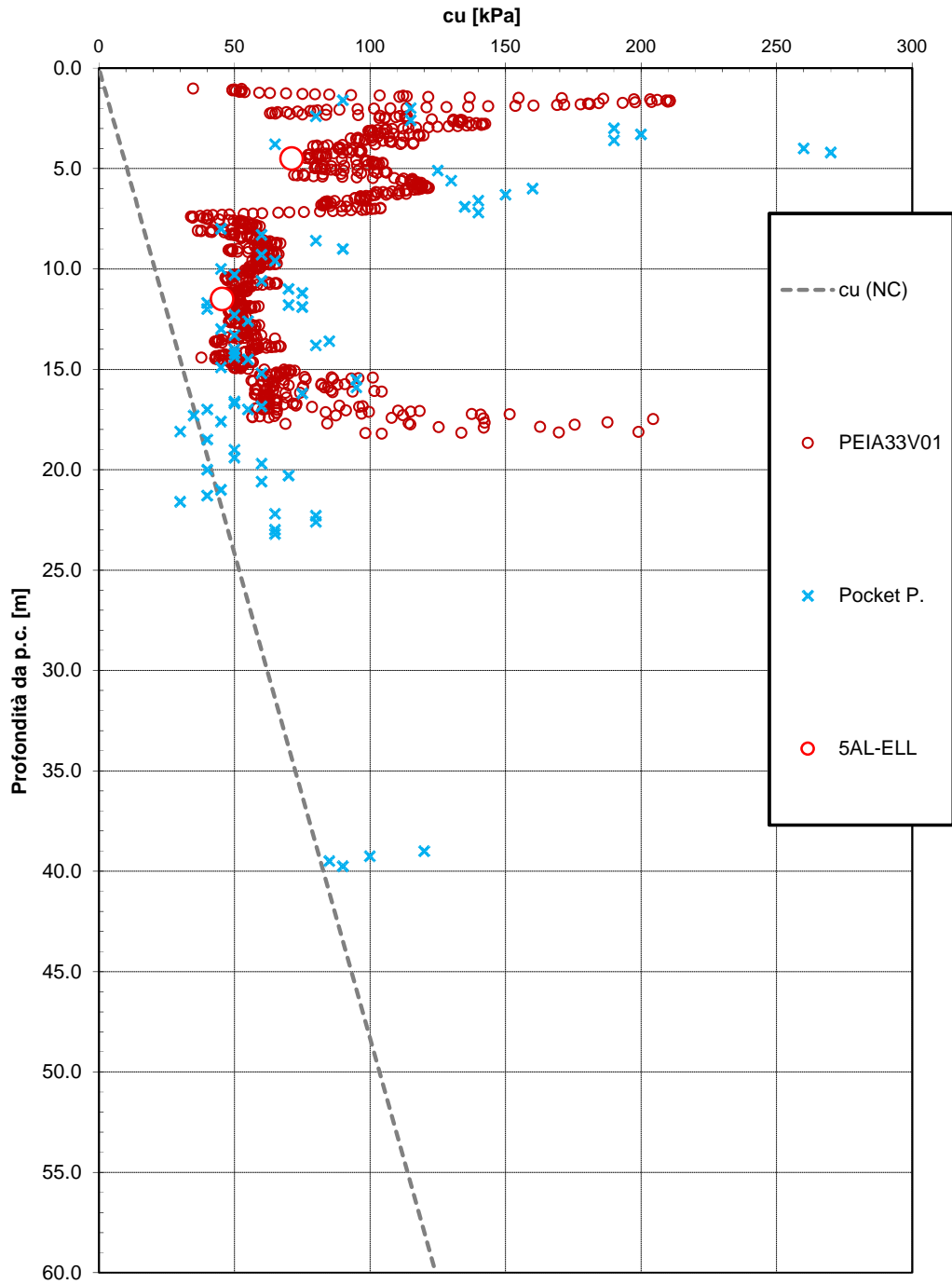


Figura 105 – Resistenza al taglio non drenata (sondaggio PNIA33V08)

**Angolo di resistenza al taglio da prove SPT**

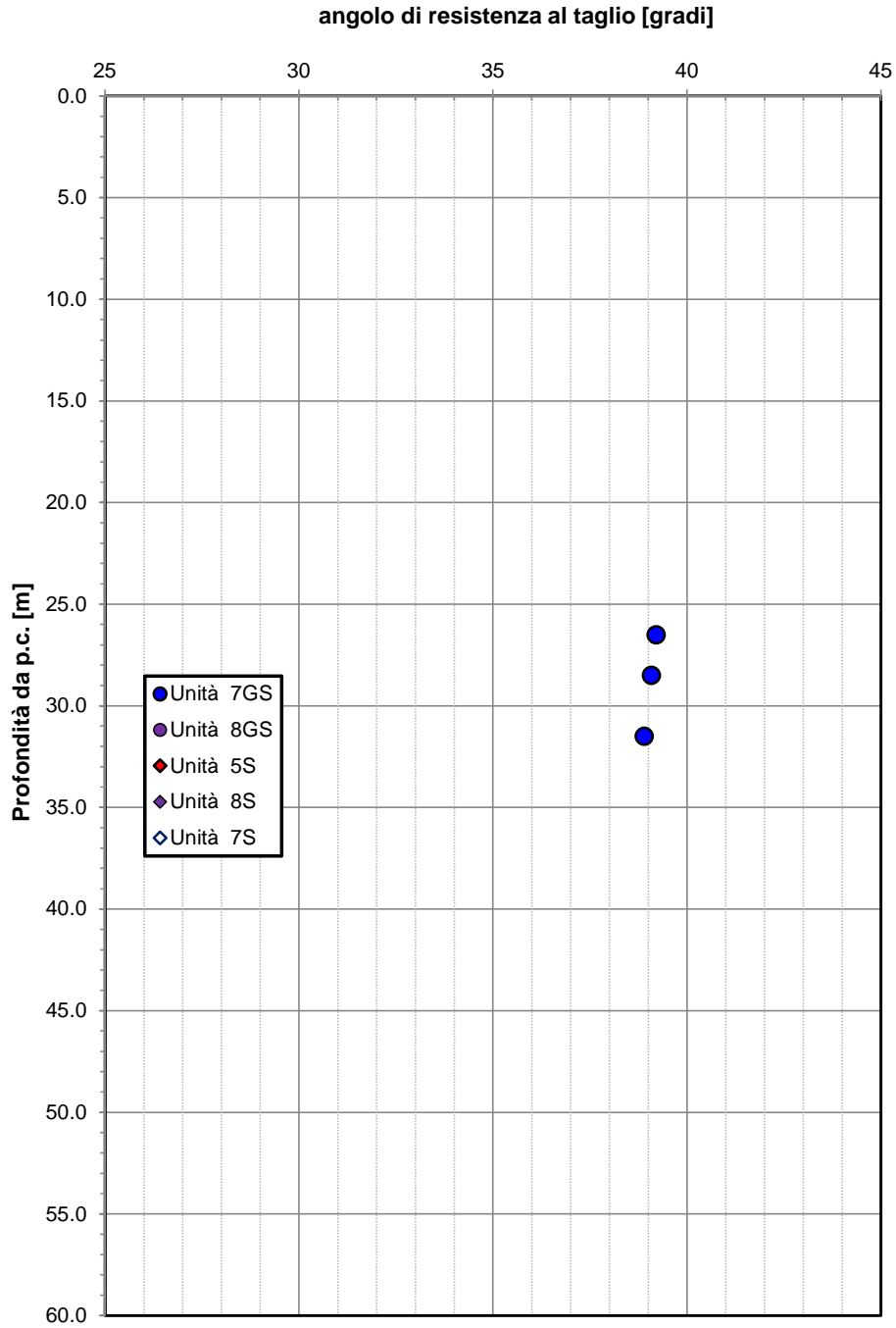


Figura 106 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT (sondaggio PNIA33V08)



LINEA PESCARA - BARI  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
 LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	185 di 227

### 7.1.7 Tratto da km 3+125 a km 3+375

Lungo il tratto in esame sono state eseguite le indagini in sito e le prove di laboratorio elencate nelle seguenti tabelle.

INDAGINI IN SITO						
Sigla indagine	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. campioni indisturbati	N. prove SPT	n. prove Lefranc	Piezometro TA; CC / Prova DH; CH
PNIA33V06	40.0	5.54	5	7	1	TA [18÷40]
PUA33V03	21.0	5.96	-	-	-	-
PEIA33V05	20.9	5.71	-	-	-	-

TA [m]: piezometro a tubo aperto [profondità tratto filtrante]

### PROVE DI LABORATORIO

Sondaggio	-	PNIA33V06	PNIA33V06	PNIA33V06	PNIA33V06	PNIA33V06
Campione	-	C11	C12	C13	C14	C15
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	5AL	5AL	5AL	5AL	5AL
Prof.	m	4.50	6.50	10.00	13.70	16.50
<b>Granulometria</b>						
G	%	0.2	0.0	3.0	1.9	0.0
S	%	8.8	0.5	7.0	10.3	11.9
L + A	%	91.0	99.5	90.0	87.8	88.1
L	%	52.9	31.1	43.7	41.5	52.8
A	%	38.1	68.4	46.3	46.3	35.3
<b>Limiti di Atterberg</b>						
W <sub>L</sub>	%	47.0	79.0	54.0	49.0	43.0
W <sub>P</sub>	%	26.0	35.0	25.0	27.0	25.0
I <sub>c</sub>	-	1.10	0.79	0.90	1.22	0.99
I <sub>p</sub>	%	21.0	44.0	29.0	22.0	18.0
<b>Caratteristiche fisiche</b>						
γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>	19.6	17.4	19.4	20.1	19.5
w <sub>N</sub>	%	24.0	44.2	27.9	22.2	25.1
<b>Resistenza drenata</b>						
(TD) c	kPa					19.4
(TD) f	°					25.8

Le unità geotecniche intercettate e i parametri geotecnici di progetto sono i seguenti:

**Unità 5-AL: per z < 19.5 m**

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$





LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	186 di 227

$$\varphi' = 25^\circ$$

$$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$$

$$c_u = 100 \text{ kPa} \quad \text{per } 0.0 < z < 7.0 \text{ m}$$

$$c_u = 45 + 3.85 \cdot z \text{ kPa} \quad \text{per } 7.0 < z < 19.5 \text{ m}$$

#### Unità 5-S per $19.5 < z < 21 \text{ m}$

$$\gamma_{\text{nat}} = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 30^\circ$$

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

$$N_{\text{spt}} = 27 \text{ colpi/30 cm}$$

#### Unità 7-GS per $21 < z < 40 \text{ m}$

$$\gamma_{\text{nat}} = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 38^\circ$$

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

$$N_{\text{spt}} = 80 \div R \text{ colpi/30 cm}$$

### Resistenza al taglio non drenata

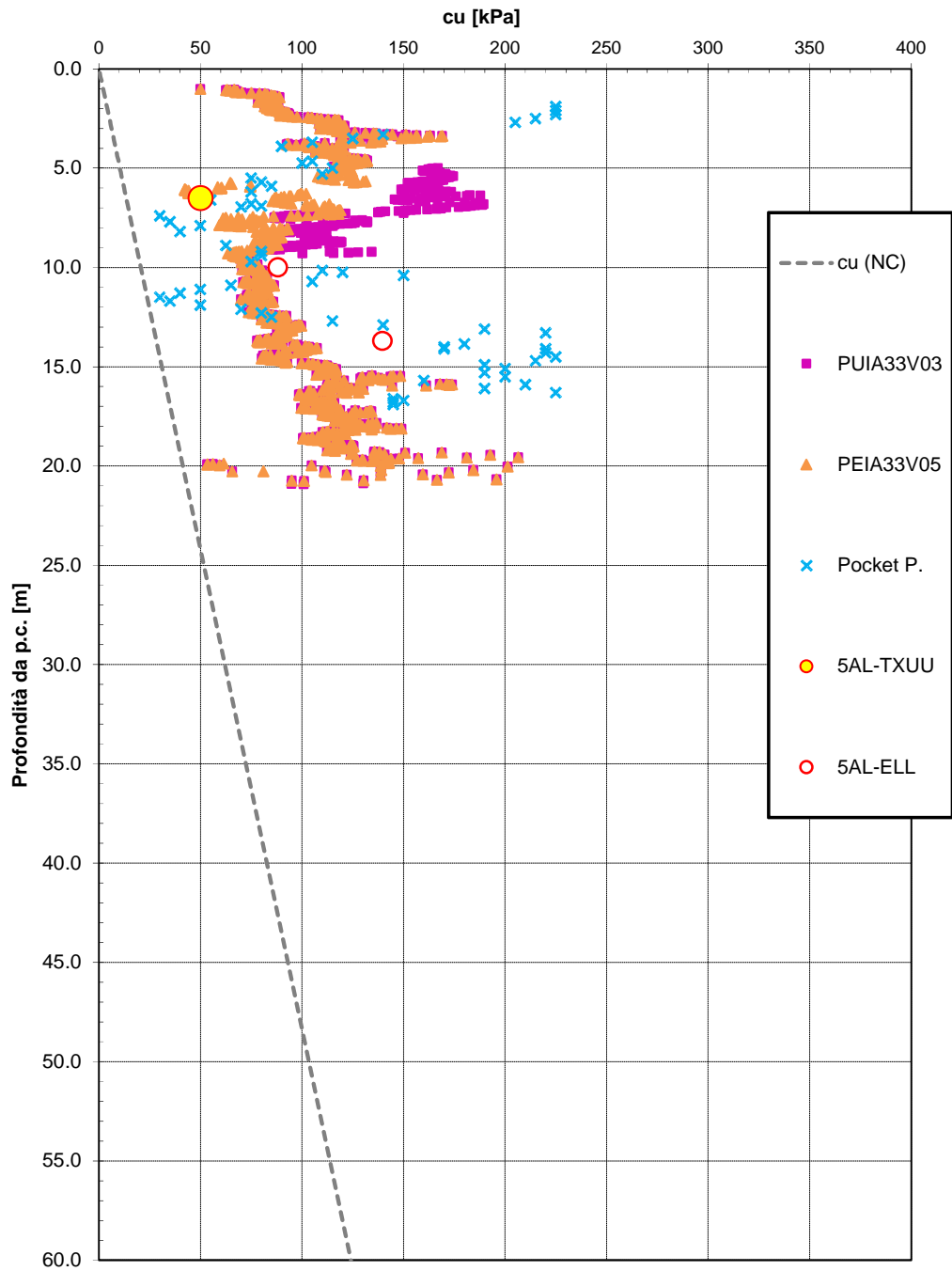


Figura 107 – Resistenza al taglio non drenata (sondaggio: PNIA33V06)

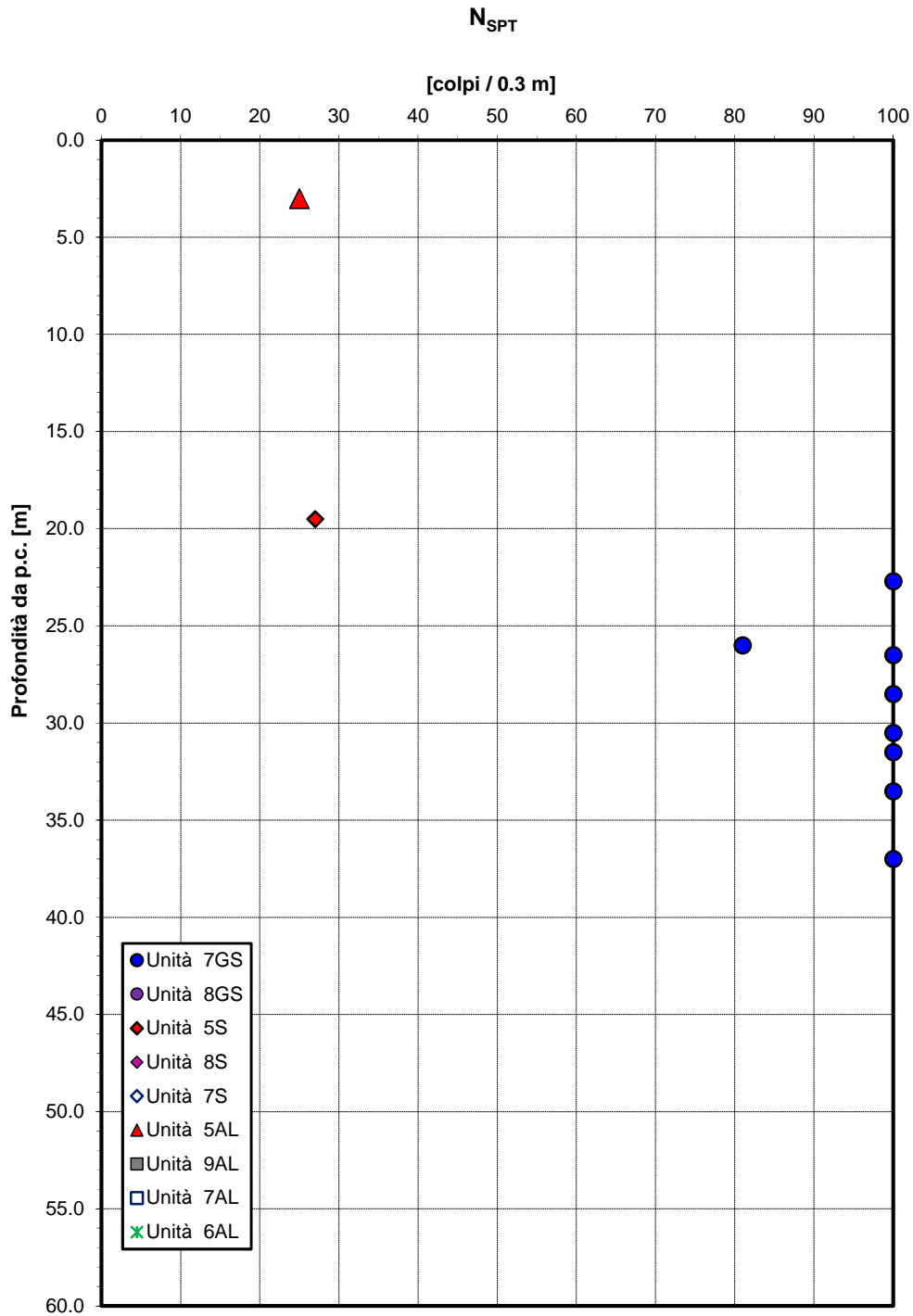


Figura 108 – Valori di SPT (sondaggi: PNIA33V06, PNIA33V08)

**Angolo di resistenza al taglio da prove SPT**

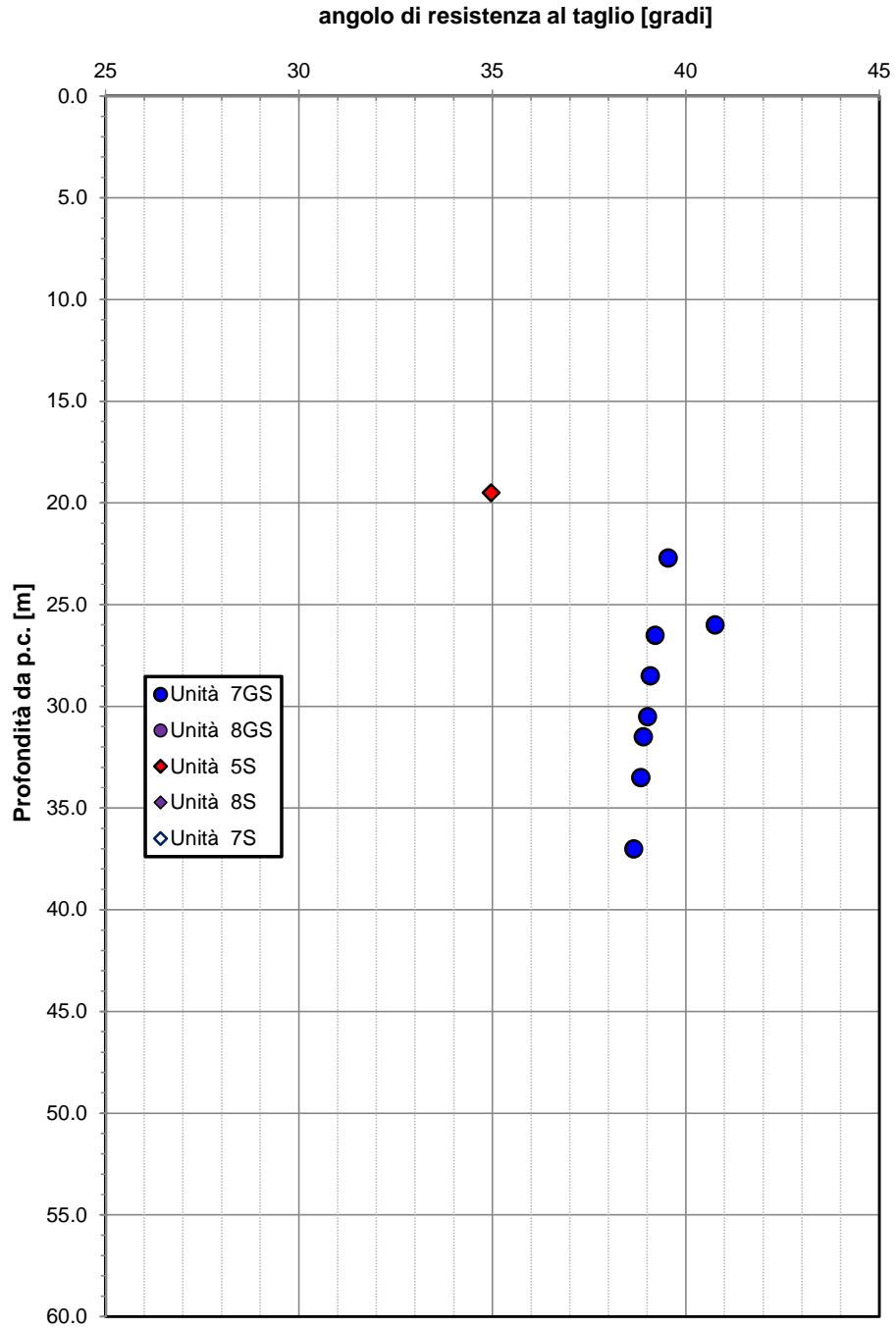


Figura 109 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT (sondaggi: PNIA33V06, PNIA33V08)

**Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche**

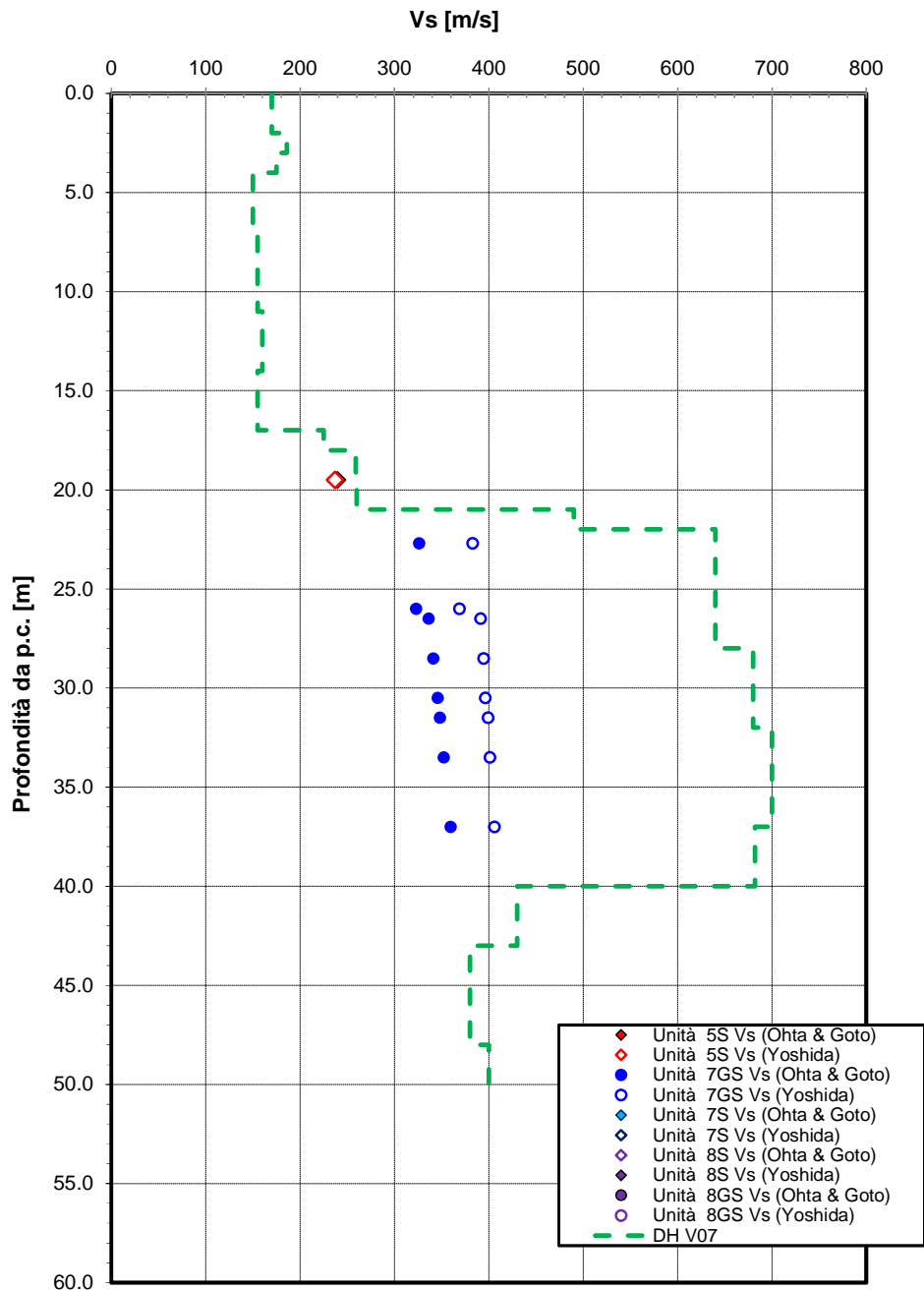


Figura 110 – Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche (sondaggio: PNIA33V06)



LINEA PESCARA - BARI  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
 LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	191 di 227

### 7.1.8 Tratto da km 3+375 a fine viadotto km 3+740

Lungo il tratto in esame sono state eseguite le indagini in sito e le prove di laboratorio elencate nelle seguenti tabelle.

INDAGINI IN SITO						
Sigla indagine	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. campioni indisturbati	N. prove SPT	n. prove Lefranc	Piezometro TA; CC / Prova DH; CH
PNIA33V05	40.0	5.51	1	11	-	TA [3-40]
CHIA33V01	60.0	5.78	5	11	1	CH [50]
PEIA33V09	9.60	5.69	-	-	-	-
PEIA33V11	2.40	5.39	-	-	-	-
PEIA33V10	13.80	5.73	-	-	-	-

TA [m]: piezometro a tubo aperto [profondità tratto filtrante]  
 CH [m]: prova sismica Cross-Hole [profondità di prova]

### PROVE DI LABORATORIO

Sondaggio	-	CHIA33V01	CHIA33V01	CHIA33V01	CHIA33V01	CHIA33V01	PNIA33V05
Campione	-	CI1	CI2	CI3	CI4	CI5	CI1
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	ind	ind
Unità	-	5AL	9AL	9AL	9AL	9AL	9AL
Prof.	m	3.50	40.50	43.50	48.00	52.00	39.00
<b>Granulometria</b>							
G	%	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	51.0	7.2	7.1	2.9	2.8	1.0
L + A	%	44.0	92.8	92.9	97.1	97.2	99.0
L	%	20.2	58.8	52.4	57.0	59.7	56.5
A	%	23.8	34.0	40.5	40.1	37.5	42.5
<b>Limiti di Atterberg</b>							
W <sub>L</sub>	%	27.3	36.5	37.5	41.0	41.2	39.0
W <sub>P</sub>	%	19.9	24.5	22.8	23.3	22.6	24.0
I <sub>c</sub>	-	0.93	1.26	1.04	0.99	1.03	1.13
I <sub>p</sub>	%	7.4	12.0	14.7	17.7	18.6	15.0
<b>Caratteristiche fisiche</b>							
γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>	19.5	20.4	20.2	19.9	20.1	20.3
w <sub>N</sub>	%	20.4	21.4	22.2	23.5	22.1	22.1
<b>Resistenza drenata</b>							
(TD) c	kPa	8.4					
(TD) f	°	29.8					
(TX-CIU) c	kPa		15.4				
(TX-CIU) f	°		31.2				



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	192 di 227

Le unità geotecniche intercettate e i parametri geotecnici di progetto sono i seguenti:

**Tratto da km 3+175 a 3+730 (esclusa spalla):**

**Unità 5-AL: per  $z < 4$  m**

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 25^\circ$$

$$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$$

$$c_u = 100 \div 150 \text{ kPa}$$

**Unità 7-GS per  $4 < z < 38$  m**

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 38^\circ$$

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

$$N_{spt} = 40 \div R \text{ colpi/30 cm}$$

**Unità 9-AL per  $38 < z < 60$  m**

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 26^\circ$$

$$c' = 10 \text{ kPa}$$

$$c_u = 160 \div 250 \text{ kPa (valore medio 190 kPa)}$$

**Tratto da km 3+730 a fine viadotto (spalla lato Lesina):**

**Unità 5-AL: per  $z < 12$  m**

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 25^\circ$$

$$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$$

$$c_u = 100 \div 150 \text{ kPa}$$

**Unità 7-GS per  $12 < z < 38$  m**

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	193 di 227

$$\varphi' = 38^\circ$$

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

$$N_{spt} = 40 \div R \text{ colpi/30 cm}$$

**Unità 9-AL per  $38 < z < 60 \text{ m}$**

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 26^\circ$$

$$c' = 10 \text{ kPa}$$

$$c_u = 160 \div 250 \text{ kPa (valore medio 190 kPa)}$$



**Resistenza alla punta penetrometrica**

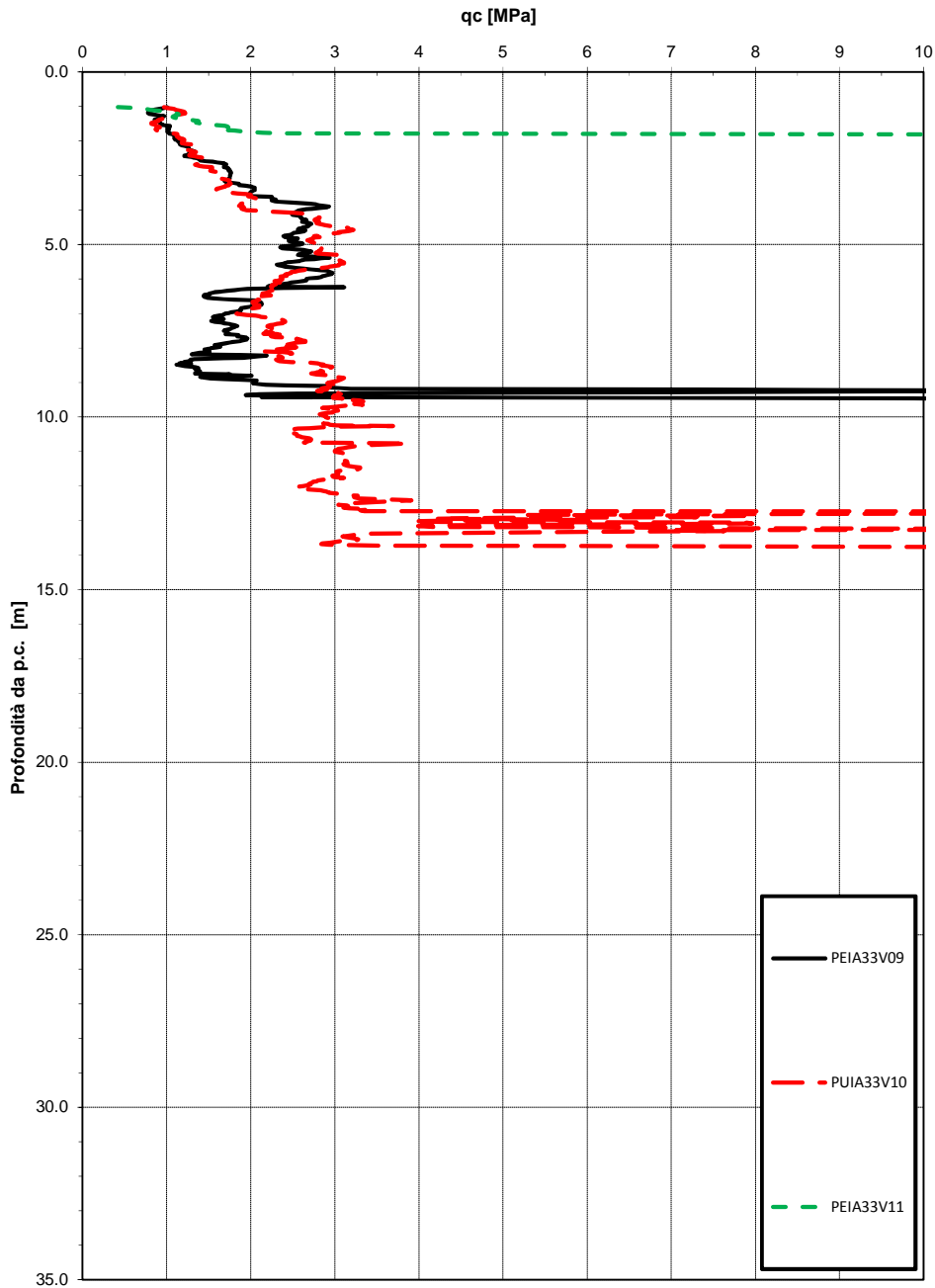


Figura 111 – Resistenza alla punta penetrometrica

**Resistenza al taglio non drenata**

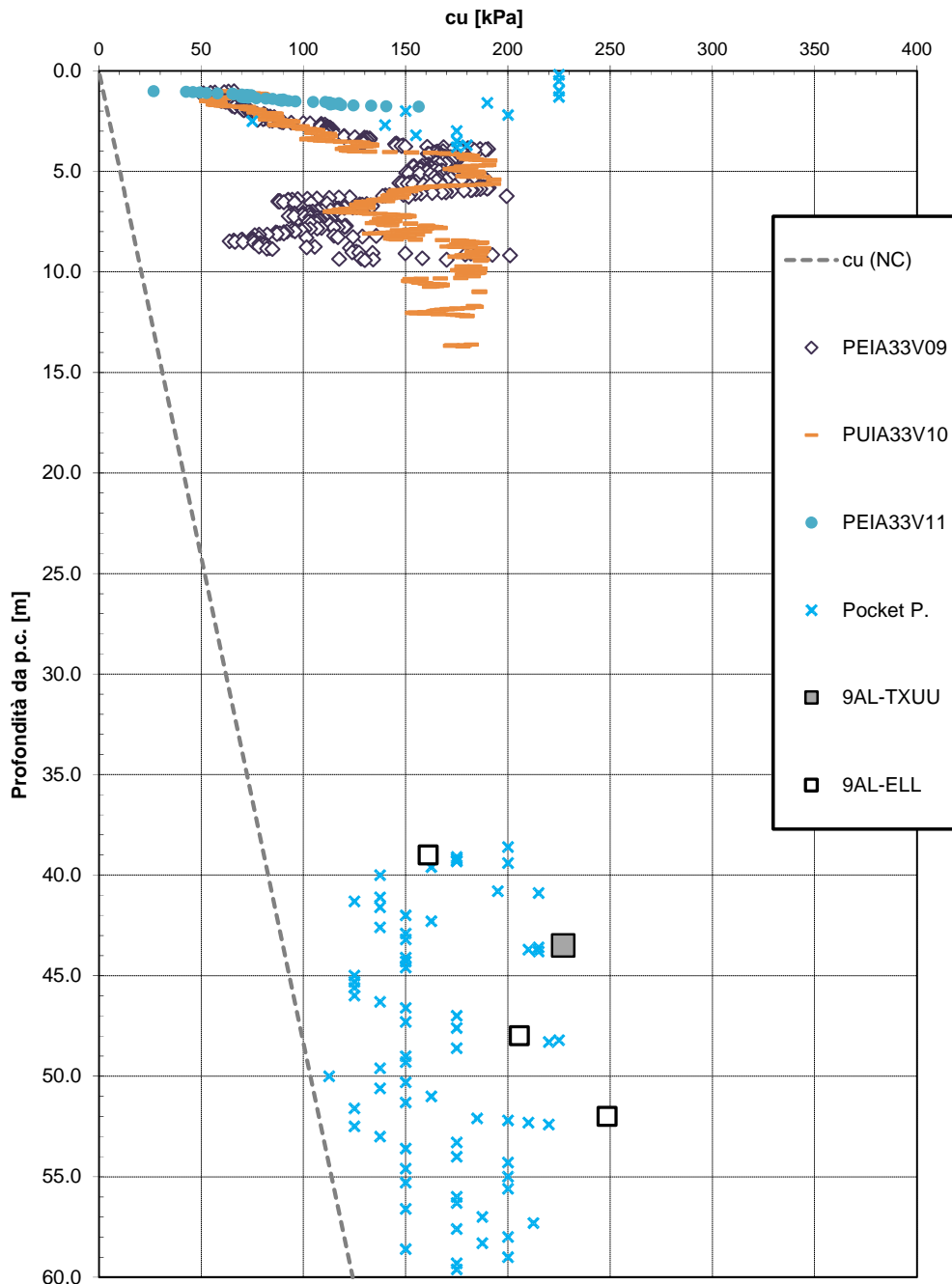


Figura 112 – Resistenza al taglio non drenata (sondaggi: PNIA33V05, CHIA33V01)

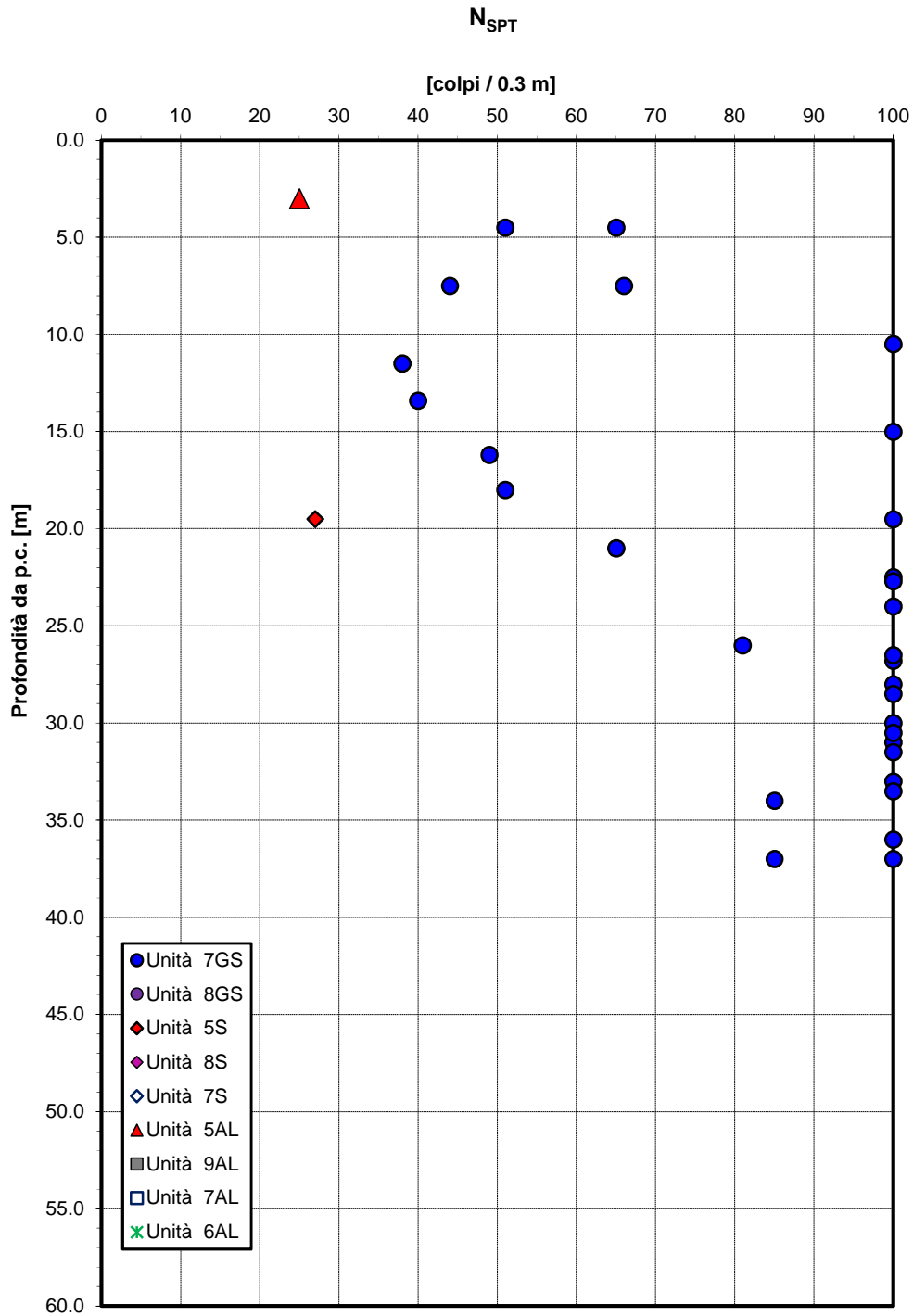


Figura 113 – Valori di SPT (sondaggi PNIA33V08, PNIA33V06, PNIA33V05, CHIA33V01)

**Angolo di resistenza al taglio da prove SPT**

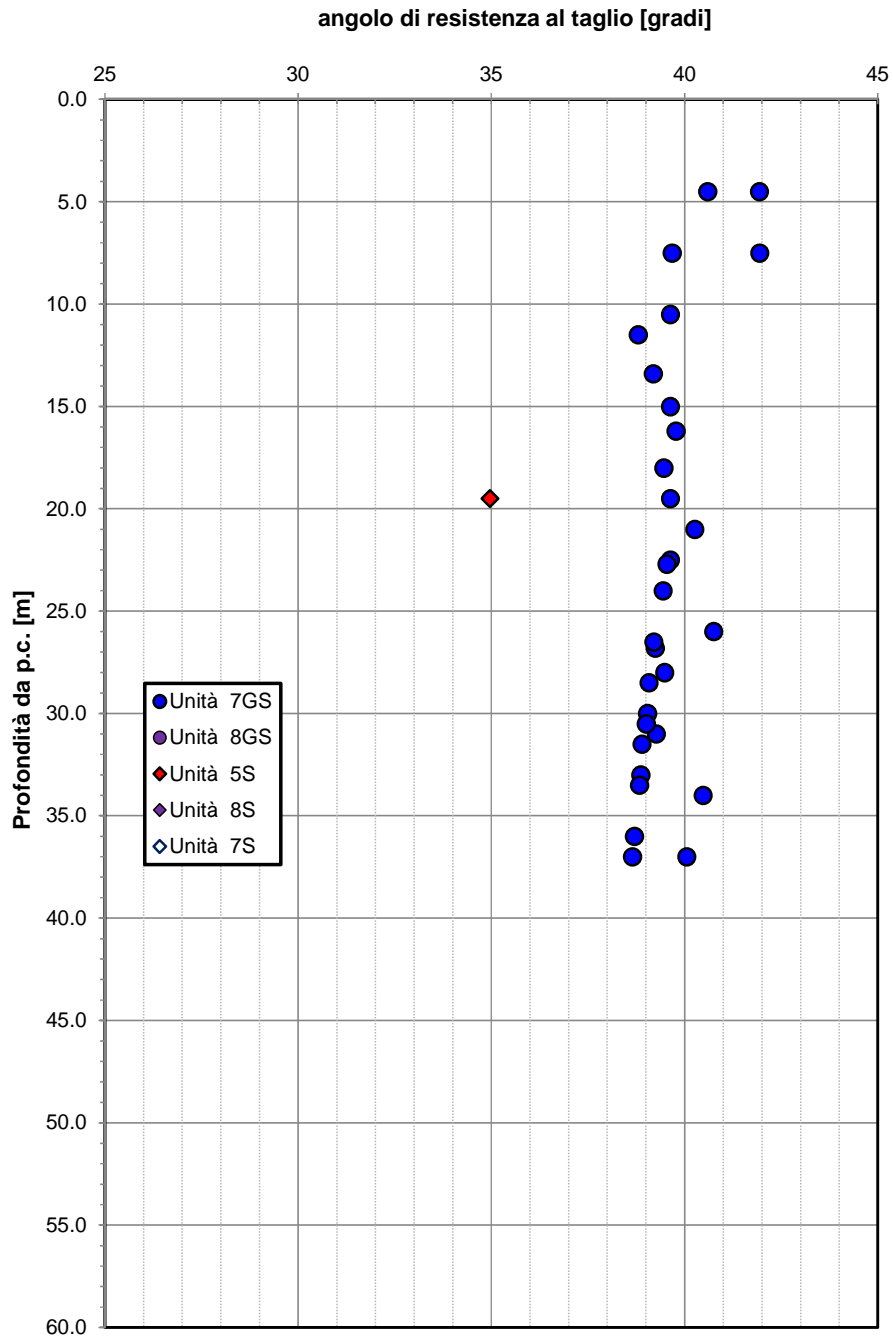


Figura 114 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT (sondaggi PNIA33V08, PNIA33V06, PNIA33V05, CHIA33V01)

**Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche**

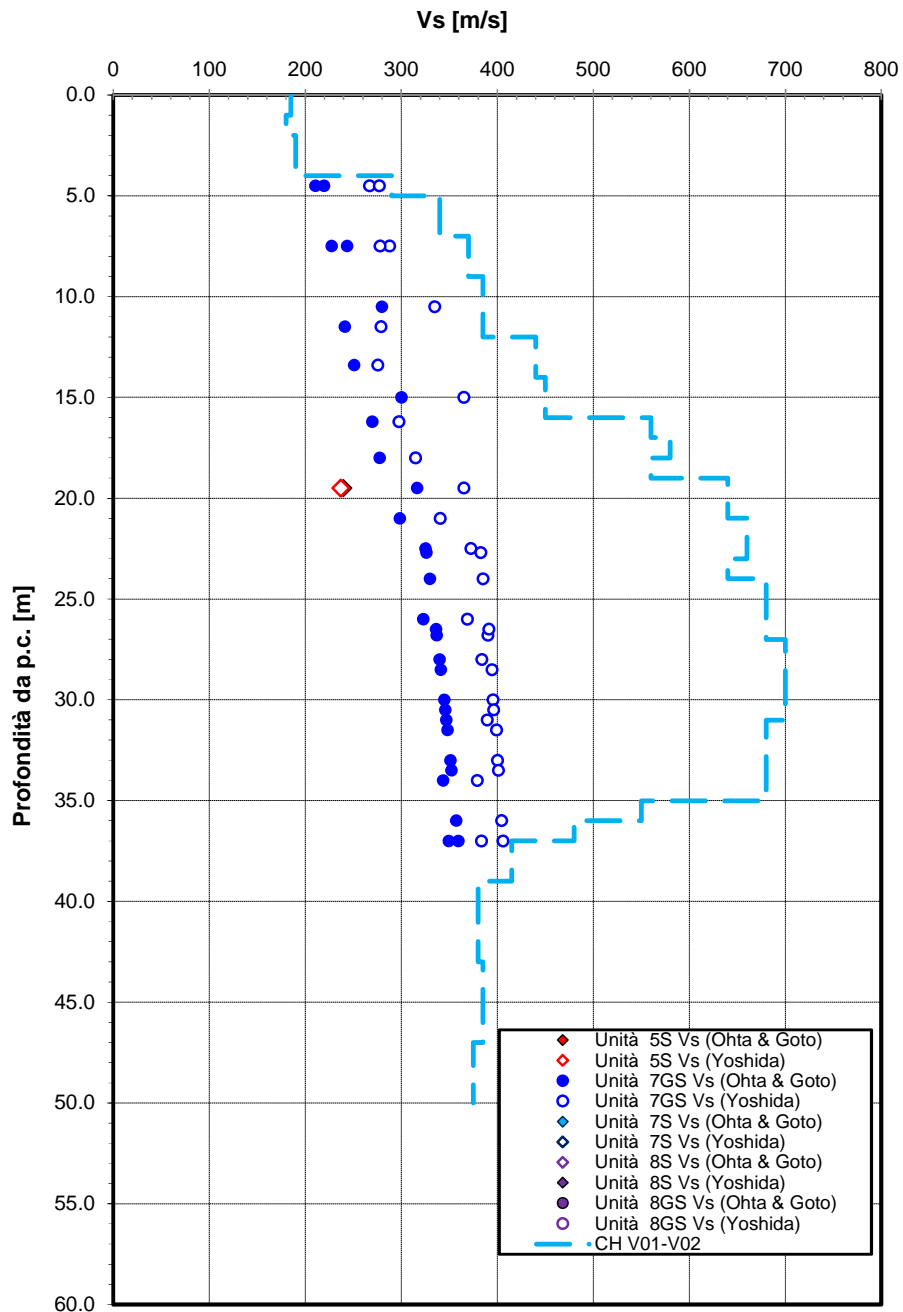


Figura 115 – Velocità delle onde di taglio da prove SPT e sismiche (sondaggi PNIA33V08, PNIA33V06, PNIA33V05, CHIA33V01)

**Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT**

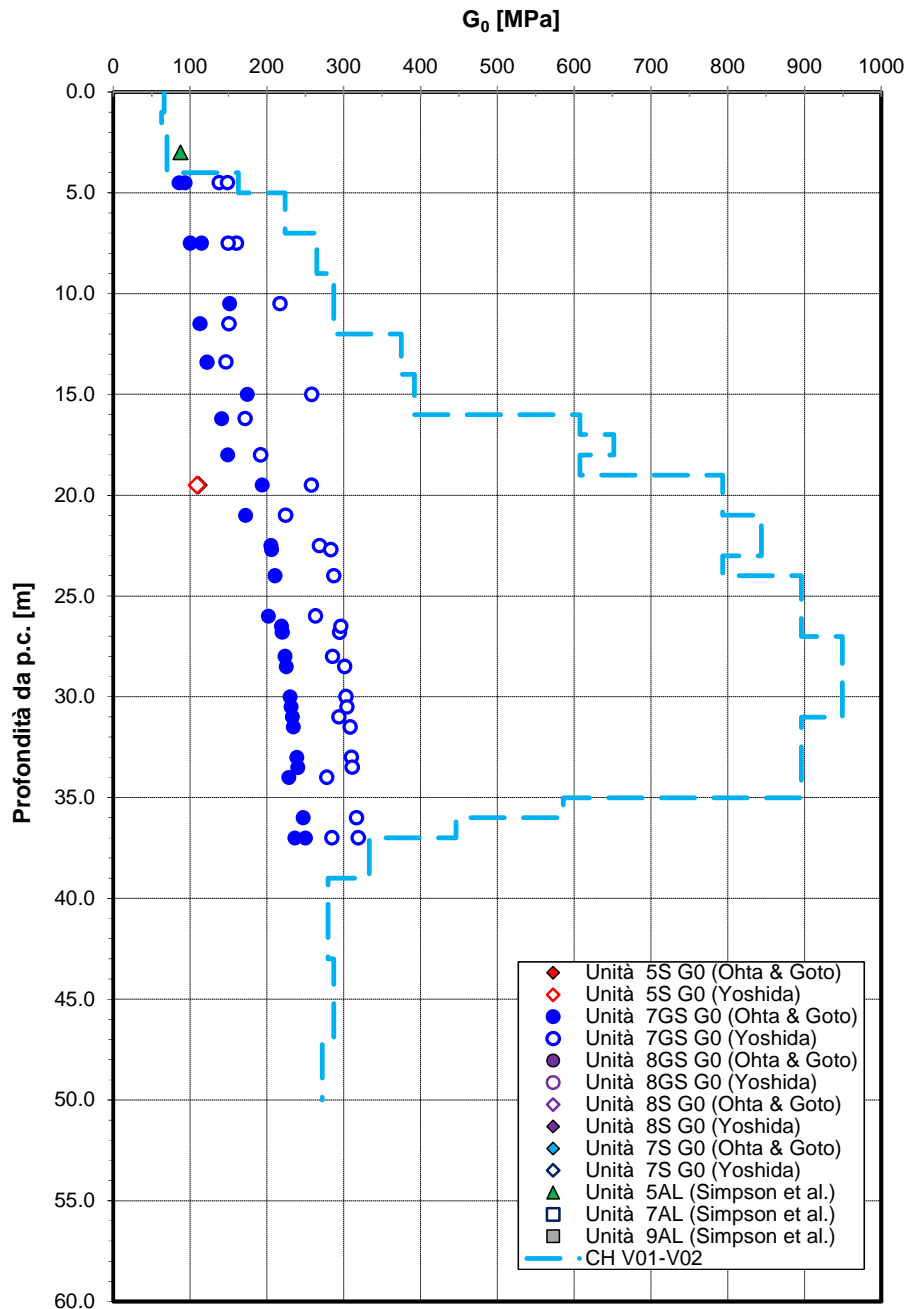


Figura 116 – Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT e sismiche (sondaggi PNIA33V08, PNIA33V06, PNIA33V05, CHIA33V01)

**Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche**

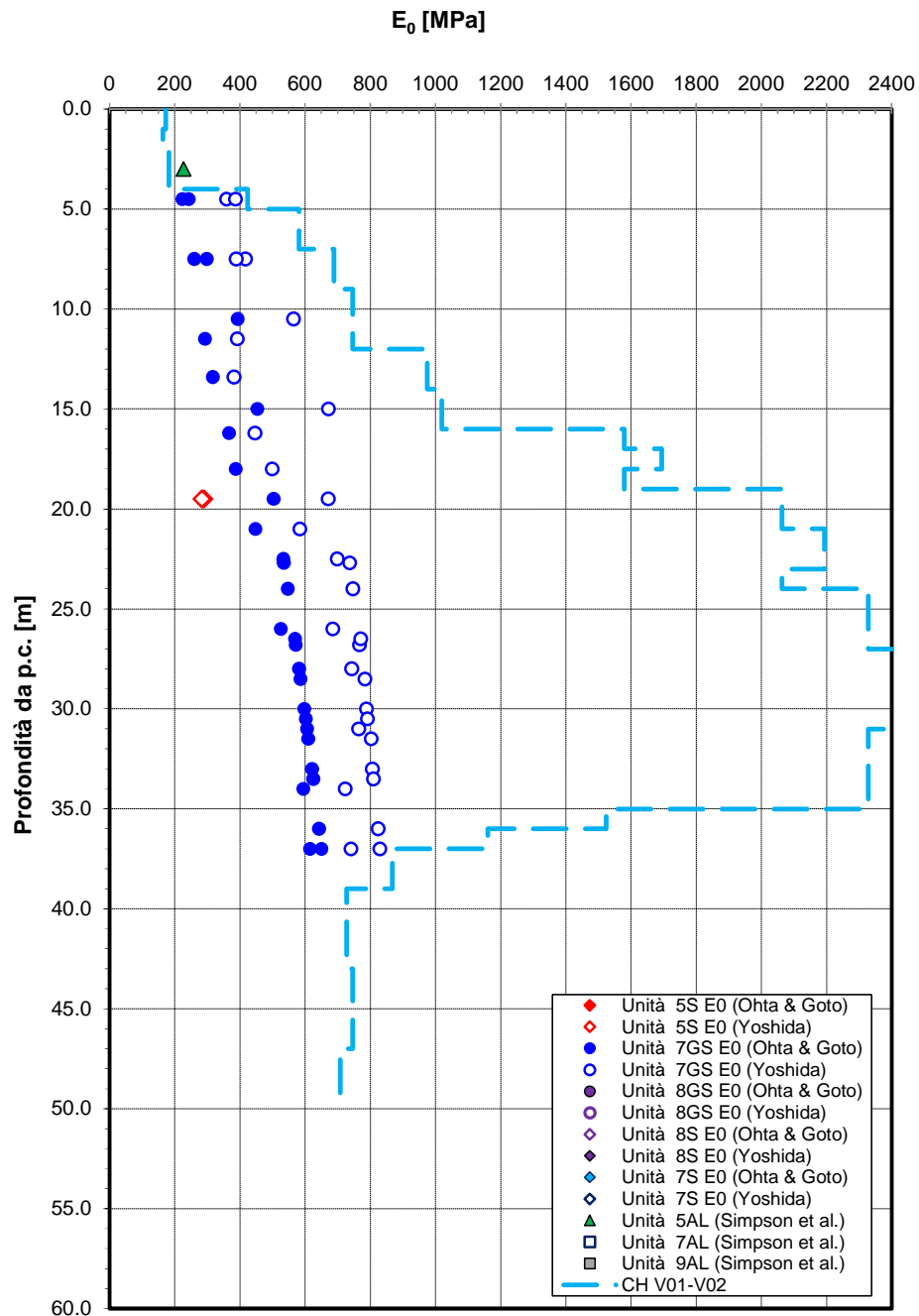


Figura 117 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche (sondaggi PNIA33V08, PNIA33V06, PNIA33V05, CHIA33V01)

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	201 di 227

## 8 METODOLOGIE DI CALCOLO CAPACITÀ PORTANTE PALI

Nel presente paragrafo si riportano le metodologie di calcolo della capacità portante per i pali trivellati di grande diametro previsti in progetto.

### 8.1 Analisi agli stati limite

Le verifiche di capacità portante dei pali vengono svolte secondo la metodologia degli stati limite ultimi, in accordo alla normativa vigente (DM 14/01/2008. “Norme tecniche per le costruzioni”). La verifica della capacità portante dei pali è soddisfatta se:

$$F_{cd} < R_{cd}$$

essendo

$$R_{cd} = R_k / \gamma_R$$

dove:

$F_{cd}$  = carico assiale di compressione di progetto;

$R_{cd}$  = capacità portante di progetto nei confronti dei carichi assiali;

$R_k$  = valore caratteristico della capacità portante limite del palo.

In particolare le verifiche di capacità portante dei pali agli stati limite ultimi (SLU) vengono condotte con riferimento ad almeno uno dei due approcci:

Approccio 1:

Combinazione 1: A1 + M1 + R1

Combinazione 2 : A2 + M1 + R2

Approccio 2:

Combinazione 1: A1 + M1 + R3

tenendo conto dei coefficienti parziali di riferimento normativo.

La resistenza di progetto a compressione  $R_{c,d}$  è calcolata applicando al valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  i coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati in tabella seguente, relativi alla condizione di pali trivellati. Il valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  a compressione è ottenuto applicando i fattori di correlazione  $\xi_3$  e  $\xi_4$  (vedasi tabella seguente) alle resistenze di calcolo  $R_{cal}$ ; tali fattori sono funzione del numero di verticali d'indagine rappresentative.

Per ogni opera verrà assunto un coefficiente  $\xi_3$  in funzione delle verticali di indagine eseguite.

In condizioni sismiche le verifiche di capacità portante dei pali agli stati limite ultimi (SLU) vanno condotte con riferimento all'Approccio 2 (A1+M1+R3), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nella successiva tabella e ponendo i coefficienti parziali sulle azioni tutti pari all'unità.



**Tabella 30 Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche**

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(\*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

**Tabella 31 Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali d'indagine**

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

## 8.2 Metodologia di calcolo capacità portante ai carichi verticali

La portata di progetto di un palo trivellato (eseguito con completa asportazione del terreno) "Qd" può essere espressa dalla seguente relazione:

$$Q_d = Q_{ll} / F_{SL} + Q_{bl} / F_{SB} - W'p$$

dove:

$Q_{ll}$  = portata laterale limite,

$Q_{bl}$  = portata di base limite,

$W'p$  = peso efficace del palo (al netto del peso del terreno asportato),

$F_{SL}$  = fattore di sicurezza per la portata laterale ( $=\xi_3 \cdot \gamma_s$ ).

$F_{SB}$  = fattore di sicurezza per la portata di base ( $=\xi_3 \cdot \gamma_b$ ).



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	203 di 227

### Portata laterale

La portata laterale limite viene valutata con la seguente relazione:

$$Q_{ll} = \pi \cdot D \cdot \sum_i (\tau_i \cdot h_i)$$

dove:

D = diametro palo,

$\tau_i$  = tensione di adesione laterale limite nello strato i-esimo,

$h_i$  = altezza dello strato i-esimo.

### Depositi incoerenti

Per i depositi incoerenti, la tensione tangenziale ultima lungo il fusto del palo, in accordo ad esempio a Burland [1973], Reese & O'Neill [1988], Chen & Kulhawy [1994], O'Neill & Hassan [1994], può essere valutata con riferimento alla seguente espressione:

$$\tau_i = \beta \cdot \sigma'_v \leq \tau_{i,max}$$

dove:

$\sigma'_v$  = tensione verticale efficace litostatica,

$\beta$  = coefficiente empirico

$\tau_{i,max}$  = valore massimo dell'adesione laterale limite palo-terreno (pari a 150 kPa per terreni incoerenti).

Per le unità 7-GS e 8-GS, in accordo a Reese & O'Neill [1988] e a O'Neill & Hassan [1994] (vedi anche Jamiolkowski [2000]) al coefficiente empirico  $\beta$  possono essere assegnati i seguenti valori per i depositi incoerenti in esame:

$$1.0 \geq \beta = 1.5 - 0.420 \cdot (z)^{0.34} \geq 0.25$$

essendo z la profondità a partire dal p.c. originario.

Per i depositi limoso sabbiosi (unità 5-S) si valuta:

$$\beta = k \cdot \tan \phi$$

Essendo

k = coefficiente di pressione laterale = 0.7 (a compressione);

$\phi$  = angolo di resistenza al taglio.



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	204 di 227

Inoltre nel caso di pali trivellati a fango, il valore di  $\tau_{l,max}$  è ricavabile in funzione del numero di colpi da prova SPT dalle seguenti espressioni (Reese & Wright, 1977):

$$\tau_{l,max} = 3.0 \cdot N_{SPT} \text{ kPa} \quad \text{per } N_{SPT} \leq 53$$

$$\tau_{l,max} = 142 + 0.32 \cdot N_{SPT} \text{ kPa} \quad \text{per } N_{SPT} > 53$$

### Depositi coesivi

Per i terreni coesivi alluvionali (unità 5-AL), la tensione tangenziale può essere valutata con la seguente espressione:

$$\tau_i = \alpha \cdot c_u \leq \tau_{l,max}$$

Dove:

$c_u$  = resistenza al taglio in condizioni non drenate

$\alpha$  = parametro empirico assunto come da AGI:

$$\alpha = 0.90 \quad \text{per } c_u \leq 25 \text{ kPa};$$

$$\alpha = 0.80 \quad \text{per } 25 \leq c_u \leq 50 \text{ kPa};$$

$$\alpha = 0.60 \quad \text{per } 50 \leq c_u \leq 75 \text{ kPa};$$

$$\alpha = 0.40 \quad \text{per } c_u \geq 75 \text{ kPa}.$$

$\tau_{l,max}$  = valore massimo dell'adesione laterale limite palo-terreno (pari a 100 kPa per terreni coesivi).

Per i depositi coesivi del substrato (unità 9-AL) la tensione tangenziale può essere valutata con la correlazione di Burland (1993):

$$\tau_i = \beta \cdot \sigma'_v \leq \tau_{l,max}$$

Dove

$$\beta = 0.1 + 0.4 \cdot C_u / \sigma'_v \quad (\text{con } \beta > 0.23, \text{ AGI dicembre } 1984).$$

$c_u$  = resistenza al taglio in condizioni non drenate

$\tau_{l,max}$  = valore massimo dell'adesione laterale limite palo-terreno (pari a 120 kPa per terreni coesivi del substrato - unità 9-AL).

### **Portata di base**

Per la valutazione della portata di base limite sono state utilizzate le seguenti relazioni:

$$Q_{bl} = A_p \cdot q_{bl}$$



LINEA PESCARA - BARI  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
 LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	205 di 227

dove:

$A_p$  = area della base del palo,

$q_{bl}$  = portata limite specifica di base.

### Depositi incoerenti

La pressione di base del palo associabile a cedimenti pari al 10% del diametro del palo, in accordo ad esempio a Gwizdala [1984], Reese & O'Neill [1988] e Matsui [1993], può essere valutata con riferimento alla seguente espressione:

$$(q_{ub})_{\frac{s}{D}=0,1} = (N_{SPT})_m \cdot \alpha_N \leq q_{ub\max} \text{ kPa}$$

essendo:

$\alpha_N$  = coefficiente empirico riportato nella seguente tabella;

$q_{ub\max}$  = pressione ultima di base massima consigliabile, vedasi seguente tabella;

$(N_{SPT})_m$  = valore di  $N_{SPT}$  medio su un tratto pari a  $1.5 \cdot D$  al di sopra e al di sotto della base del palo.

**Tabella 32 - Valori di  $\alpha_N$  e di  $q_{ub\max}$  secondo Gwizdala [1984]**

	$\alpha_N$ (-)	$q_{ub\max}$ (KPa)
GHIAIE	150	7500
SABBIE	120	5800
SABBIE LIMOSE	85	4300

I terreni presenti lungo il tracciato non vengono quasi mai descritti come ghiaie pulite, quindi si assume:

- Unità 8-GS, unità 7-GS: parametro  $\alpha_N = 120$  con valore massimo di  $q_{ub\max} = 5800$  kPa;
- Unità 5-S, unità 8-S: parametro  $\alpha_N = 85$  con valore massimo di  $q_{ub\max} = 4300$  kPa.

### Depositi coesivi

La portata di base limite nei terreni coesivi viene valutata con la seguente relazione:



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	206 di 227

$$q_b = 9 \cdot c_u + \sigma_v \quad [\text{kPa}]$$

dove:

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata [kPa];

$\sigma_v$  = tensione totale verticale.

#### Note:

La lunghezza del palo dovrà essere almeno pari a 10 volte il diametro del palo.

Il carico di progetto sul palo dovrà essere compatibile con le caratteristiche resistenti della sezione del palo.

Si verificherà inoltre che la risposta del palo in esercizio sia di tipo “elastico”; verificando un adeguato coefficiente di sicurezza sulla portata ultima per attrito laterale ( $Q_{ll} / FS_{el}$ , con  $FS \geq 1.2$  per condizioni di carico SLE).

#### **8.2.1 Determinazione della resistenza di progetto a trazione**

La portata a trazione di progetto di un palo trivellato (eseguito con completa asportazione del terreno) “ $Q_d$ ” può essere espressa dalla seguente relazione:

$$Q_d = Q_{LL} / FS_L + W'_p$$

dove:

$Q_{LL}$  = portata laterale limite (da determinarsi in conformità a quanto già descritto nel precedente paragrafo),

$W'_p$  = peso efficace del palo (alleggerito se sotto falda),

$FS_L$  = fattore di sicurezza per la portata laterale ( $= \gamma_R \cdot \xi_3$ ).

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	207 di 227

### 8.3 Capacità portante pali del viadotto Ripalta

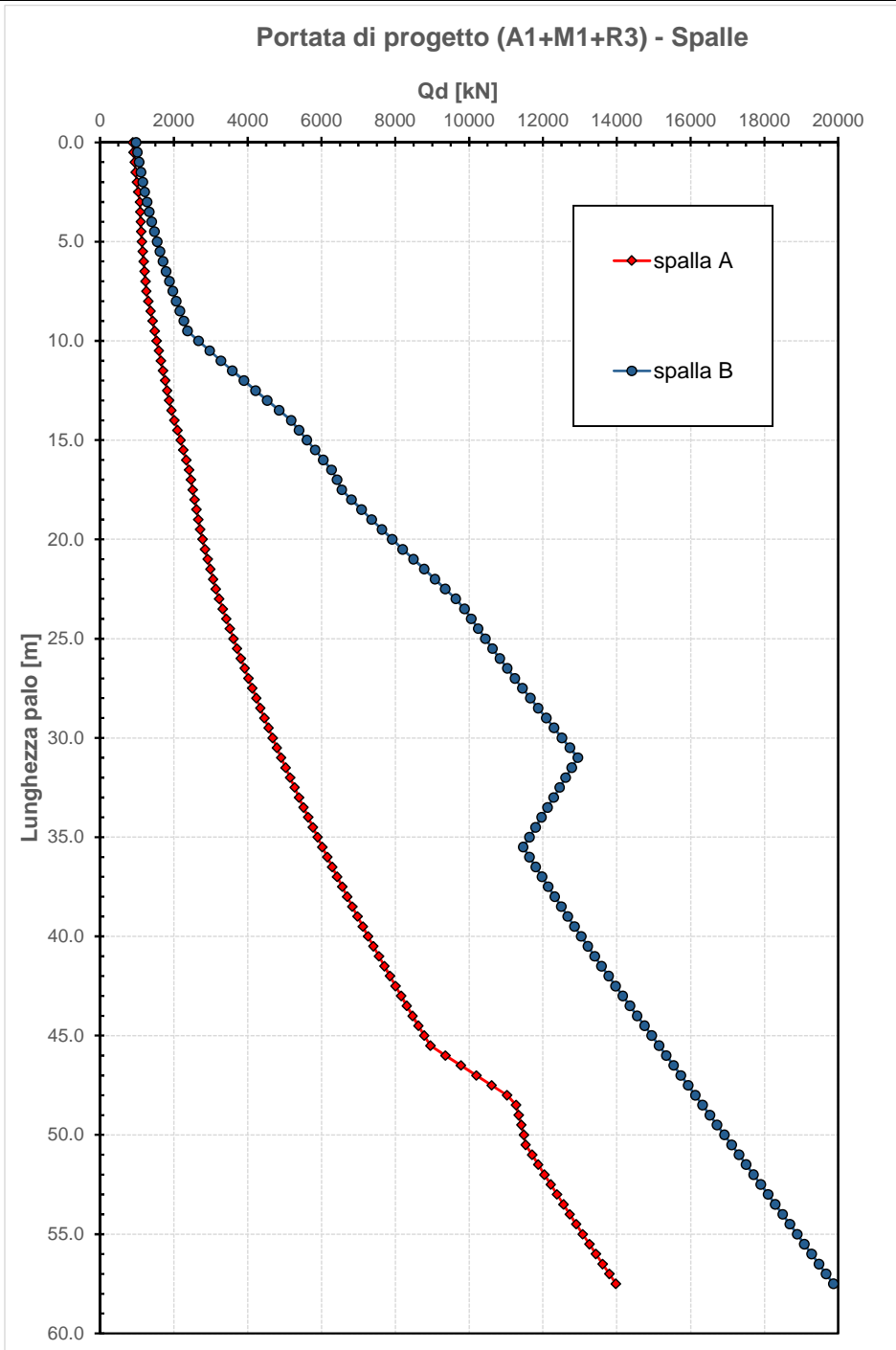
La capacità portante dei pali è stata svolta con Approccio 2 (A1+M1+R3) per le due spalle ed i seguenti gruppi di pile:

- spalla lato Termoli km 2+565;
- gruppo 1: pile da km 2+600 a km 2+730;
- gruppo 2: pile dal km 2+730 al km 2+830;
- gruppo 3: dal km 2+830 al km 2+930;
- gruppo 4: pile dal km 2+930 al km 3+050;
- gruppo 5: pile dal km 3+050 al km 3+125
- gruppo 6: pile dal km 3+125 al km 3+375
- gruppo 7: pile dal km 3+375 al km 3+730
- spalla lato Lesina km 3+740.

Dalle valutazioni di capacità portante svolte per tutti i gruppi di pile menzionati, si è visto che per i gruppi 1, 2, 3, 4, le curve di portanza sono simili e quindi cautelativamente si assume quella che fornisce minore portanza: gruppo 3. Per tale gruppo viene valutata anche la curva di portanza in presenza di liquefazione (e quindi da considerare per analisi SLV) per le palificate delle pile: da pila P8 a pila P19 comprese.

Nella seguente figura sono mostrate a confronto le curve di capacità portante per i gruppi di pile ed a seguire per le spalle. Cautelativamente, per il Progetto Definitivo delle palificate del viadotto si è deciso di considerare due sole curve di portanza, in quanto comunque a livello strutturale è stata calcolata una sola pila rappresentativa per tutta l'opera. Quindi le lunghezze palo andranno definite considerando le curve di portanza per:

- spalla lato Termoli km 2+565: valida per spalla A;
- gruppo 3: valida per le pile da P1 a P32, di cui per le pile da P8 a pila P19 comprese vanno verificate anche a liquefazione.
- gruppo 7: valida per pile da P33 a P46
- spalla lato Lesina km 3+740: valida per la spalla B.



**Figura 118 – Curve capacità portante pali - spalle**

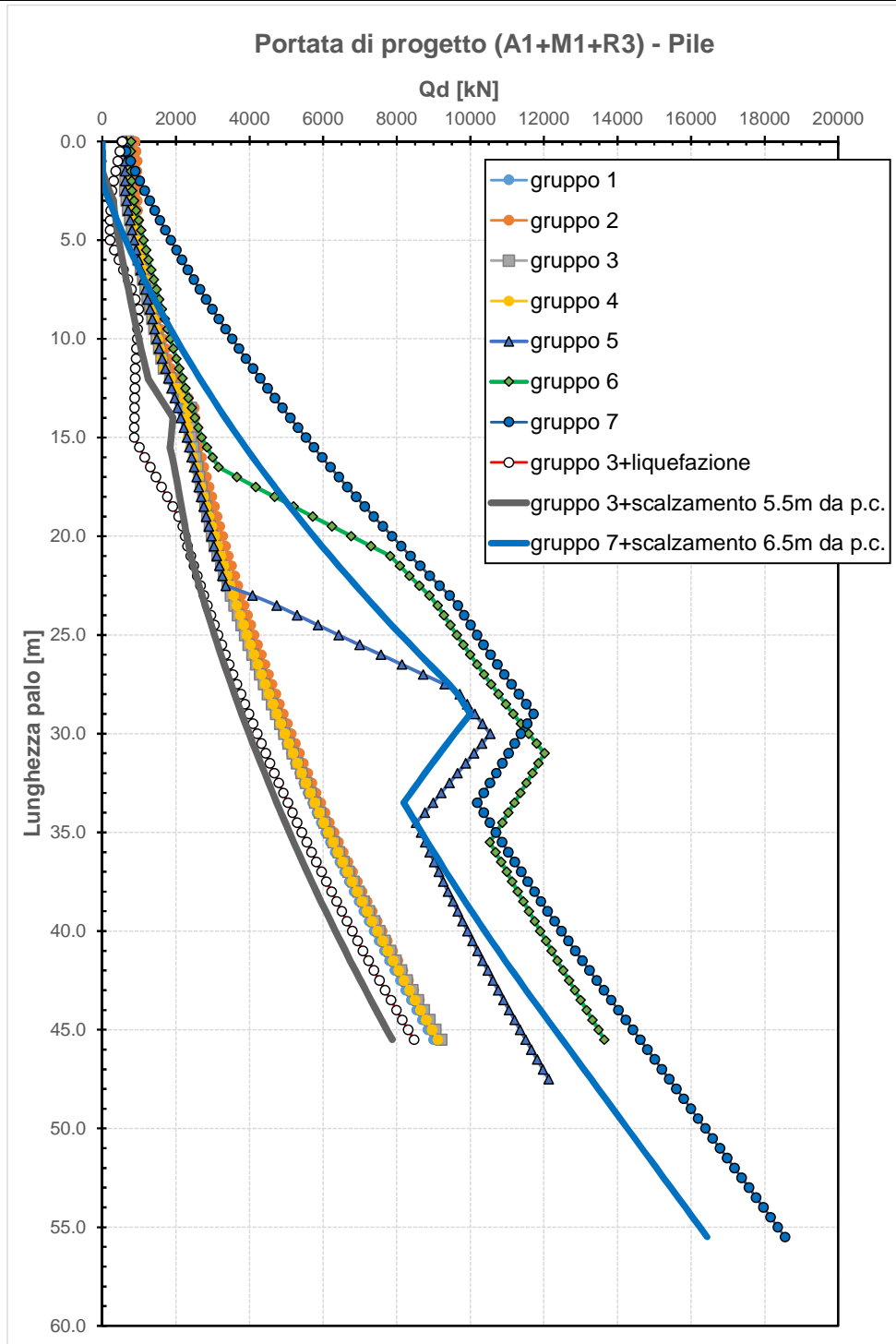


Figura 119 – Curve capacità portante pali – pile



#### 8.4 Carico limite orizzontale dei pali

Per la verifica del carico limite orizzontale si fa riferimento alla teoria di Broms per il caso di pali con rotazione in testa impedita.

Le equazioni con cui si determina il carico limite a forze orizzontali dei pali sono definite di seguito al variare del tipo di meccanismo considerato.

In terreni coesivi si ha:

Palo corto: 
$$H = 9c_u d^2 \left( \frac{L}{d} - 1.5 \right)$$

Palo intermedio: 
$$H = -9c_u d^2 \left( \frac{L}{d} + 1.5 \right) + 9c_u d^2 \sqrt{2 \left( \frac{L}{d} \right)^2 + \frac{4}{9} \frac{M_y}{c_u d^3} + 4.5}$$

Palo lungo: 
$$H = -13.5c_u d^2 + c_u d^2 \sqrt{182.25 + 36 \frac{M_y}{c_u d^3}}$$

dove :

H = carico limite orizzontale del palo;

$c_u$  = resistenza non drenata del terreno;

$M_y$  = momento di plasticizzazione del palo;

L = lunghezza del palo;

d = diametro del palo.

In terreni incoerenti si ha (vedasi figura seguente):

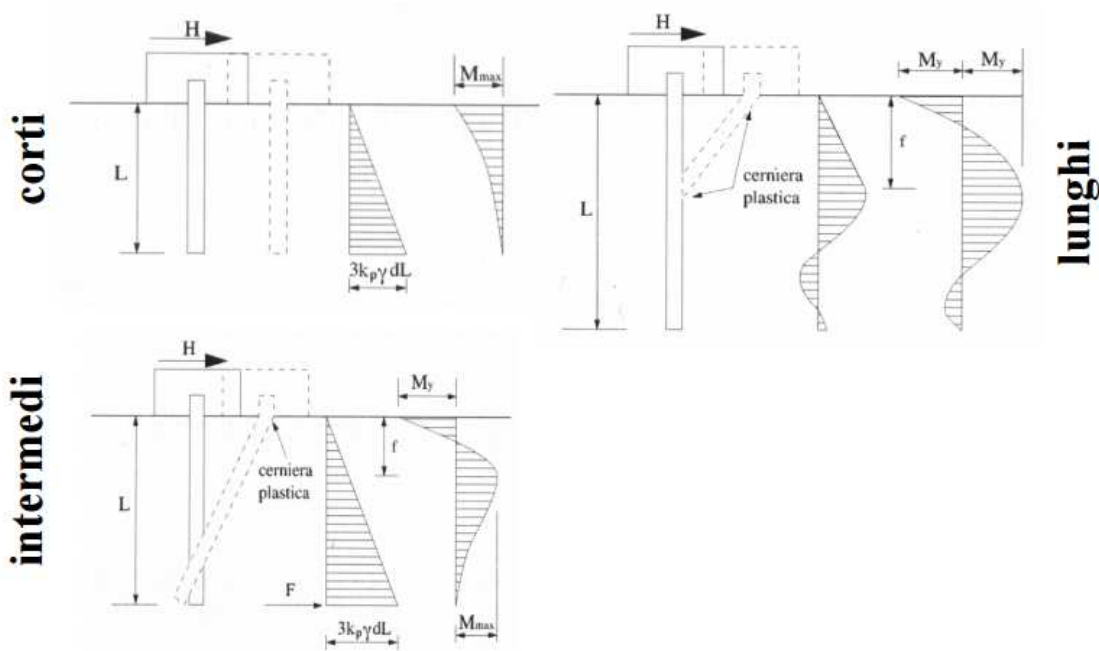
Palo corto: 
$$H = 1.5k_p \gamma d^3 \left( \frac{L}{d} \right)^2$$

Palo intermedio: 
$$H = \frac{1}{2} k_p \gamma d^3 \left( \frac{L}{d} \right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Palo lungo: 
$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{\left( 3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4} \right)^2}$$

Dove, oltre ai termini già definiti,

$k_p$  = coefficiente di spinta passiva.



Il valore di  $H$  dovrà essere confrontato con il massimo valore del taglio agente sul palo al variare delle combinazioni ( $V_{pd}$ ); il valore determinato con la teoria di Broms dovrà essere ridotto secondo quanto prevede la normativa vigente.

$$H \lim = \frac{H}{\xi \cdot \gamma_T} \geq V_{pd}$$

dove:

$H$  = valore limite in funzione del meccanismo attivato;

$\xi$  = fattore di correlazione in funzione delle verticali indagate;

$\gamma_T$  = fattore di resistenza laterale secondo la tabella di seguito riportata.

**Tabella 33 Coefficiente parziale  $\gamma_T$  per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali**

Resistenze Caratteristiche (R)	R1	R2	R3
Resistenza laterale:	1.00	1.60	1.30

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	212 di 227

#### 8.4.1 Verifica a carico limite orizzontale in terreni potenzialmente liquefacibili

Per la verifica del carico limite orizzontale per i pali di fondazione situati nelle zone dove è stata riscontrata la presenza di lenti sabbiose potenzialmente liquefacibili, la teoria di Broms resta applicabile, ma non sono più utilizzabili le soluzioni semplificate (sopra riportate) disponibili in forma chiusa e/o con abachi adimensionali. Quindi per questi casi, è stata eseguita una apposita verifica con programma FEM non lineare, considerato nello spessore di terreno liquefacibile una pressione orizzontale limite nulla e negli altri strati di terreno curve P-Y non lineari, definibili lungo il fusto del palo e resistenze variabili. Nel caso in esame, trattandosi di terreni incoerenti, la pressione orizzontale limite viene valutata:  $P = 3 \cdot k_p \cdot \sigma'v$ ; la legge P-Y di mobilitazione non lineare, di tipo iperbolico, meglio descrive il comportamento dei terreni in esame. Il palo, in testa è stato vincolato alla rotazione ( $\varphi=0$  rotazione impedita) ed è stato applicato un carico orizzontale (H) via via incrementato, mobilitando man mano la resistenza laterale disponibile fino a raggiungere il momento di prima plasticizzazione della sezione lungo il palo.

Tale analisi è riportata nella relazione geotecnica di calcolo delle fondazioni dei viadotti.

#### 8.5 Carico limite verticale di una palificata

Per la valutazione del carico limite verticale di una palificata si devono valutare due diversi meccanismi di rottura:

- a) Rottura dei singoli pali:  $R_{d,G,1} = N \cdot R_{d, \text{singolo palo}}$
- b) Rottura del blocco (in particolare per terreni coesivi):  $R_{d,G,2} = R_{d, \text{base blocco}} + R_{d, \text{laterale blocco}}$

La resistenza a carico verticale della palificata è data dal valore minimo delle resistenze valutate per i due meccanismi di rottura elencati:  $R_{d, \text{gruppo}} = \min (R_{d,G,1} ; R_{d,G,2})$ .

Per la valutazione del carico limite verticale di un gruppo di pali si può ricorrere al coefficiente di efficienza  $\eta$  (Azizi, 2000; Fleming et al. 1992;2009) e quindi  $R_{d,G,1} = \eta \cdot N \cdot R_{d, \text{singolo palo}}$ .

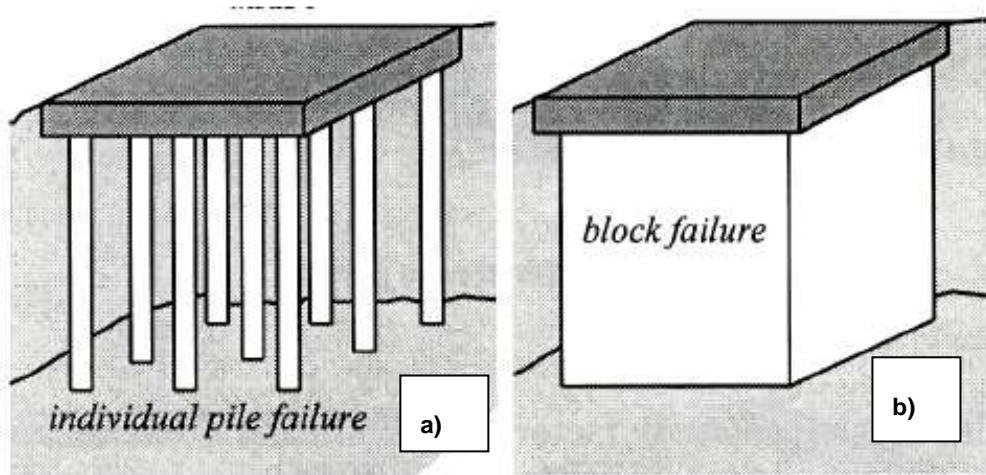


Figura 120. Carico limite verticale del gruppo di pali

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	214 di 227

## 9 ANALISI PALIFICATE IN PRESENZA DI TERRENI POTENZIALMENTE LIQUEFACIBILI

Nella relazione geotecnica sulla liquefazione è riportata nel dettaglio la verifica a liquefazione dei terreni presenti lungo il tracciato. Lungo lo sviluppo del viadotto Ripalta, dalle indagini eseguite sono stati individuati due livelli di terreno potenzialmente liquefacibile: il primo di ridotto spessore, 1 m al massimo è collocato intorno ai 9 m di profondità dal p.c. locale; il secondo strato ha uno spessore più rilevante ed è abbastanza profondo, tra i 16 ed i 20 m circa. Questi strati di terreno potenzialmente liquefacibile sono stati confermati sia dalle due prove SPT eseguite nei sondaggi PCIA33V11, PCIA33V10, sia dalle prove penetrometriche statiche eseguite nella zona PEIA33V07, PEIA33V06, PEIA33V04, PEIA33V02, PEIA33V01

Per il dimensionamento delle palificate ubicate in corrispondenza di strati potenzialmente liquefacibili, si procede nel seguente modo:

- Valutazione della capacità portante dei pali, trascurando il contributo di portata laterale nello strato liquefacibile;
- Valutazione del momento adimensionale lungo il palo e del parametro alfa, considerando un modulo di reazione orizzontale palo-terreno nullo nello strato liquefacibile;
- Valutazione dell'interazione palo-terreno in presenza di attrito negativo (dato dal terreno nello strato potenzialmente liquefacibile e del terreno sovrastante fino a testa palo) e quindi della curva carico cedimento in presenza di attrito negativo, al fine di verificare che i cedimenti ai carichi di esercizio siano compatibili con la funzionalità delle sovrastrutture anche in presenza di attrito negativo.

Le fondazioni interessate dal problema della liquefazione sono comprese indicativamente tra le progressive chilometriche 2+730 e 3+077 (pile da P8 a P19 comprese).

Nel seguente paragrafo si riportano le valutazioni dell'interazione palo-terreno in presenza di attrito negativo.

### 9.1 Curve carico-cedimento palo in presenza di attrito negativo e verifica dei cedimenti

Individuati i cedimenti del terreno indotti dallo strato liquefacibile e lo spessore di terreno compressibile, è stata determinata la curva carico-cedimento del palo isolato attraverso il programma di calcolo APAL, che utilizza il metodo delle curve di trasferimento riferite al fusto ed alla base dei pali sviluppate da Reese e O'Neill, tipo curve t-s bilineari per l'attrito laterale e curve q-s per la portanza di base (iperboliche).

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	215 di 227

### 9.1.1 Determinazione delle curve carico-cedimento

La valutazione della curva carico-cedimento del palo isolato è stata effettuata con il programma APAL che utilizza il metodo delle curve di trasferimento riferite al fusto ed alla base dei pali sviluppate da Reese e O'Neill (curve t-s e q-s). In base a tale metodo:

- il palo è schematizzato con un elemento cilindrico, suddiviso in conci, caratterizzato da un modulo elastico  $E_p$ ;
- il legame tra palo e terreno viene schematizzato come indicato in Figura 121; le curve di trasferimento per adesione laterale sono di tipo bilatero, definite dal valore limite della  $\tau$  nel punto considerato e dallo spostamento relativo limite tra palo e terreno. Lo spostamento limite è stato assunto per i terreni in esame pari a 5 mm, in accordo con numerose risultanze sperimentali disponibili in bibliografia (vedasi Figura 122).
- La curva di trasferimento per la base è di tipo iperbolico (vedasi Figura 122). Si ipotizza che la portata di base limite venga raggiunta per una frazione  $k$  del diametro  $D$  del palo. L'interpolazione delle curve per le sabbie (Duncan e Champ) e per le argille (Burland – Whitaker) risulta soddisfacente adottando le seguenti relazioni:

$$P_b = [Q_{bl} / 0.9 \cdot E_{si} \cdot s] / [(Q_{bl} / 0.9) + (E_{si} \cdot s)]$$

Dove:

$$E_{si} = (Q_{bl} / 0.9) / C \cdot k \cdot D$$

$Q_{bl} / 0.9$  = portata limite teorica asintotica

$s$  = spostamento generico

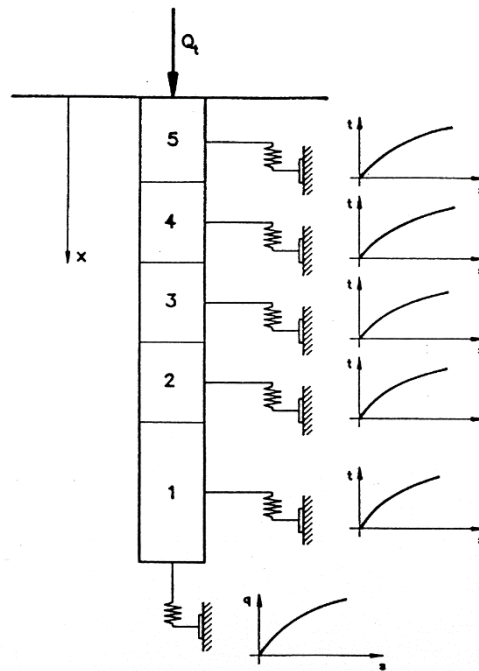
$C$  = coefficiente caratteristico della curva

$D$  = diametro del palo.

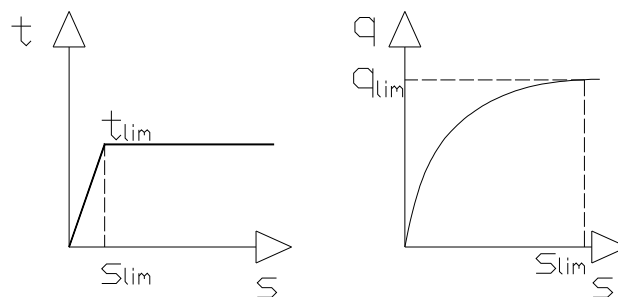
La curva di base è dunque definita dalla portata limite, dal coefficiente  $k$  che determina lo spostamento limite e da  $C$  ( assunto 0.09 per le sabbie e 0.13 per le argille) che influenza la forma della curva iperbolica.

I valori di tensione laterale limite e di portata di base limite adottati per la definizione delle curve carico-

cedimento, sono quelli utilizzati per la capacità portante dei pali delle spalle (vedasi Appendice A).



**Figura 121 –Legame ideale palo-terreno**



**Figura 122 –curve di trasferimento (laterale e base)**

La curva carico-cedimento del palo isolato è stata determinata assegnando diversi valori di carico in sommità e ottenendo i corrispondenti valori di cedimento.

Per la determinazione della curva carico-cedimento in presenza di attrito negativo si è proceduto nel seguente modo:



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

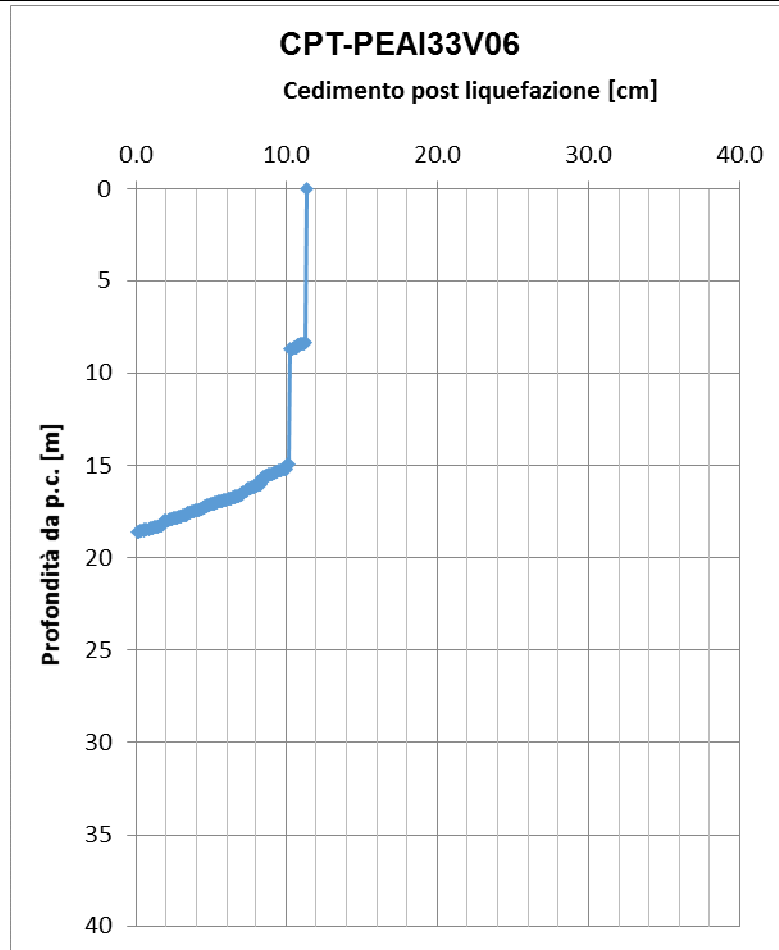
Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	217 di 227

- determinazione della curva carico-cedimento assumendo il diagramma di cedimento valutato in presenza di liquefazione;
- tale diagramma di cedimenti è stato applicato a partire da testa palo;
- l'andamento delle tensioni tangenziali, assunte lungo il fusto del palo a partire dal p.c., è quello utilizzato per il calcolo della portanza dei pali.
- determinazione del cedimento, a carico nullo, considerando il diagramma di cedimento;
- costruzione della curva carico-cedimento. Tale curva carico-cedimento verrà utilizzata al fine di verificare che in presenza del massimo carico assiale agente sul palo in SLE il cedimento sia compatibile con la funzionalità delle sovrastrutture.

Le valutazioni dei cedimenti di liquefazione sono riportate nella relazione apposita sulla liquefazione, a cui si rimanda per i dettagli; nella seguente figura si riporta l'andamento dell'ipotetico cedimento indotto dalla liquefazione per le pile P8-P19 del viadotto VI01, utilizzato per la valutazione dei cedimenti del palo in presenza di attrito negativo.

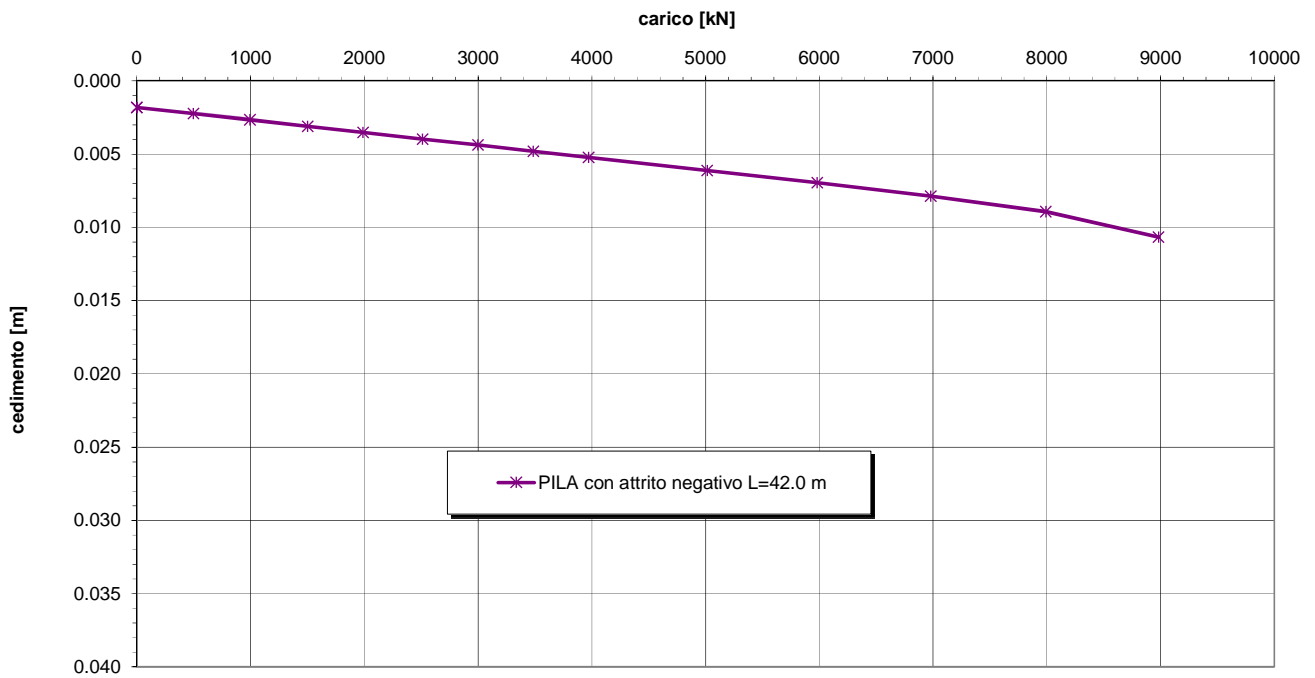




**Figura 123 –cedimento post-liquefazione (pile)**

Nelle seguenti figure si riportano le curve carico – cedimento del palo isolato in assenza ed in presenza di attrito negativo per la lunghezza di progetto di palo 42 m e diametro  $D=1500$  mm.

**PILE + ATTRITO NEGATIVO PER CEDIMENTI POST-LIQUEFAZIONE**  
Curva carico-cedimento palo isolato D=1500 mm



**Figura 124 –curva carico-cedimento in presenza di potenziale liquefazione – D=1500 mm**

La verifica dei cedimenti consiste nell'assicurarsi che per la lunghezza utile di palo definita, i cedimenti del palo sotto i carichi di esercizio, siano compatibili con la funzionalità delle sovrastrutture. Per tale verifica si rimanda alla relazione geotecnica di calcolo delle fondazioni del viadotto.



LINEA PESCARA - BARI  
 RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
 LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
 PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	220 di 227

## 10 PIANO DI POSA

Sulla base dei risultati delle indagini geotecniche in sito (sondaggi e pozzetti esplorativi) è stato possibile individuare lo spessore di coltre vegetale e quindi il trattamento idoneo per la formazione del piano di posa dei rilevati in progetto. Anche le prove di carico su piastra, i cui risultati sono mostrati in **Tabella 12**, hanno consentito di meglio l'idoneità del piano di posa sotto la coltre vegetale e quindi definire lo spessore di eventuale bonifica.

Lo spessore minimo per la formazione del rilevato ferroviario è di 0.50 m (scotico): dovrà comunque essere asportato tutto lo spessore di terreno vegetale. Qualora, raggiunto il piano di posa previsto, si rinvenisse ancora coltre vegetale o comunque terreno rammollito, non idoneo ai requisiti progettuali quale piano di posa, si dovrà provvedere a bonifica e sostituzione con materiale idoneo.

Nella seguente tabella si riassumono gli spessori di scotico+bonifica previsti per i rilevati ferroviari in progetto; per tutti i tratti di rilevato non compresi nell'elenco sottostante, si prevede scotico di 0.50 m.

Nell'area interessata dalla WBS FA01 - rilevato SSE, lo spessore vegetale è pari a 1.20 m. Quindi si prevede scotico 0.50 m + bonifica 0.70 m, poi considerando le scadenti caratteristiche meccaniche dei terreni in fondazione (vedasi prove di carico su piastra nel pozzetto 1 e 2), si procederà a trattamento a calce del terreno al piano di posa (tipo A6, A7-6) per uno spessore di 0.50 m.

Anche per il rilevato RI02 (progressive chilometriche da 0+264 a 0+750) si prevede trattamento a calce del terreno in sito per uno spessore di 0.50 m.

**Tabella 34. Spessori scotico+bonifica -rilevati**

Progressive chilometriche		WBS	Spessore vegetale [m]	SCOTICO [m]	BONIFICA [m]
da	a	-	-		
0+264,00	0+778,29	RI02	1.2	0.50	0.70
2+200,00	2+565,39	RI04	0.9	0.50	0.40
3+740,39	4+028,87	RI06	0.9	0.50	0.40
4+040,87	4+450,00	RI07	0.9	0.50	0.40
5+469,52	5+740,92	RI08	0.7	0.50	0.20
5+745,72	6+050,00	RI10	0.7	0.50	0.20



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	221 di 227

Per le trincee, il terreno in situ a fondo scavo potrà essere utilizzato come piano di posa dello strato supercompattato unicamente se risulta appartenere ai gruppi A1, A3 (con coefficiente di disuniformità maggiore di 7) o A2-4 della classificazione UNI 11531-1/2014. Esso dovrà essere costipato in modo da ottenere una densità secca non inferiore al 95% della densità massima, ottenuta per quella terra con la prova di costipamento AASHTO modificata (UNI EN 13286-2). Il modulo di deformazione non dovrà essere inferiore a 40 MPa. In ogni caso, dopo la compattazione, il terreno del piano di posa dovrà avere sulla sommità dello strato supercompattato un modulo di 80 MPa misurato con prova di carico su piastra al primo ciclo di carico nell'intervallo 0.25 MPa – 0.35 MPa.

Per le trincee in esame si osserva che nel tratto dalla pk 4+464.61 alla pk 5+469.52 (WBS TR03) il terreno presente al piano di posa è coesivo argilloso limoso (unità 6AL) e quindi sicuramente non idoneo quale piano di posa. Quindi:

- dalla pk 4+464.61 alla pk 5+469.52 (WBS TR03) si prevede bonifica mediante sostituzione dei terreni al di sotto dello strato supercompattato, per uno spessore di 0.50 m. Il materiale del rinterro dovrà essere protetto con geotessile risvoltato per un metro.
- per i restanti tratti in trincea non si prevede bonifica.

Per quanto concerne la viabilità soppressione PL lo spessore di terreno vegetale è pari a 0.90 m e dovrà essere completamente asportato. Quindi si prevede:

- per i tratti in rilevato della viabilità: 0.5 cm scotico + 0.40 m di bonifica; non si prevede strato anticapillare;
- per i tratti in trincea della viabilità: asportazione del vegetale + ulteriore rinterro variabile in funzione della quota di posa dello strato supercompattato (sia in rilevato che in trincea, la superficie del piano di posa della sovrastruttura stradale sarà realizzata mediante formazione di uno supercompattato di spessore pari a 0.30 m).



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	222 di 227

## 11 RIUTILIZZO DEI TERRENI DA SCAVO

Secondo la recente normativa in materia ambientale, le terre e le rocce provenienti da attività di scavo (TRS) non sono classificate come rifiuti e pertanto, a seguito di determinate verifiche condotte in seno al piano di gestione e riutilizzo delle TRS, possono essere reimpiegate quali materiali da costruzione per rilevati, trincee, riempimenti.

I requisiti fisico-meccanici dei terreni richiesti per la costruzione delle varie tipologie di opere in terra sono forniti dalla classificazione HRB-AASHTO (CNR-UNI 10006), in conformità della quale sono stati identificati alcuni campioni di terreno prelevati dalle cassette dei sondaggi. In questo modo si può valutare la possibilità del reimpiego, da un punto di vista geotecnico, dei terreni appartenenti alle singole unità geotecniche quale materiale da costruzione e la destinazione più appropriata.

Per il progetto in esame si ha un ridotto apporto di materiale proveniente dagli scavi, infatti si hanno modesti tratti in trincea, di cui nella TR01 predominano terreni sabbioso-ghiaiosi (unità 7S, 7GS – conglomerati di Campomarino) e quindi materiali riutilizzabili tal quali (A1, A2-4), mentre nelle altre due TR si scavano terreni coesivi, rispettivamente 5AL e 6AL (appartenenti alle classi A6, A7-6, A7-5) e quindi non riutilizzabili tal quale se non previo idoneo trattamento a calce.

Nella prima parte del tracciato, zona RI02 e rilevato SSE, il piano di posa dei rilevati, sotto lo scotico+bonifica è scadente (vedasi prove di carico su piastra pozzetti 1 e 2). Si tratta di terreno coesivo alluvionale (unità 5AL) classificabile come A7-6, A7-5, A6. Per questo materiale si prevede trattamento a calce del terreno in sito per uno spessore di 0.50 m: l'intervento riguarda il rilevato RI02 da km 0+270 a km 0+750 ed il rilevato della nuova SSE (fabbricato FA01).

## 12 TRATTAMENTO A CALCE

Per il progetto in esame si prevede quindi il trattamento a calce dei terreni in sito costituenti il piano di posa dei rilevati, al fine di migliorarne le caratteristiche fisico-meccaniche. Non vi è quindi un reimpiego dei terreni provenienti dagli scavi, ma solo una stabilizzazione a calce del piano di posa del rilevato RI02 e del rilevato SSE.

Il trattamento di stabilizzazione consiste nel miscelare al terreno una certa percentuale di calce, definita tramite prove di laboratorio e verifica mediante campo prova, al fine di avere una miscela terreno-acqua-calce, idonea ai requisiti progettuali. Si sottolinea che, i mezzi impiegati e le modalità operative, devono garantire il trattamento del terreno, sul posto, per una profondità di almeno 50cm.

Nel caso in esame, i terreni in sito sono di natura argilloso limosa appartenenti ai gruppi A6 e A7 ed hanno un indice di plasticità maggiore di 10%, come si evidenzia dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	223 di 227

Non sono state eseguite apposite analisi per la determinazione del contenuto di sostanze organiche e del contenuto di solfati, che per poter essere trattati a calce devono essere rispettivamente inferiori al 2% ed al 0.25%. Comunque considerando la natura geologica del materiale si può ritenere che sia da escludere la presenza di sostanze organiche e solfati. Pertanto, alla luce dei dati ad oggi disponibili, i terreni in sito sono idonei al trattamento a calce e si prevede, ai fini dei computi, un impiego di calce al 2.5% del peso secco del terreno, da verificare nelle successive fasi progettuali mediante apposito campo prova.

Nel seguito verranno descritte, con riferimento a quanto riportato nella Specifica RFI DTC INC SP IFS 008A Trattamento delle terre con calce, le prove di identificazione delle terre da trattare e lo studio di laboratorio con le miscele sperimentali, finalizzate al campo prova, le metodologie di realizzazione del campo prova e relative finalità ed i controlli finali da eseguire.

Per il caso in esame si prescrive una miscelazione in sito del terreno e calce e successiva compattazione. Tale tecnica prevede la successione delle fasi operative di seguito elencate:

- Preparazione del terreno;
- Spandimento della calce;
- Immissione dell'acqua di aggiunta;
- Miscelazione;
- Compattazione.

### 12.1 Prove di identificazione della terra da trattare

All'interno delle aree da trattare dovrà essere prelevato n.1 campione ogni volta che si riscontrino caratteristiche differenti e, in ogni caso, almeno uno ogni 2000 mq.

Le prove di laboratorio, preparative per il campo prova, da eseguire sui terreni presenti in sito da trattare con calce sono le seguenti:

- analisi granulometrica, inclusa analisi per via umida;
- contenuto di sostanze organiche;
- tenore in solfati;
- contenuto naturale d'acqua;
- limiti di Atterberg ed indice di plasticità;
- prova di compattazione AASHTO modificata (Proctor Modificata con determinazione di umidità ottimale,  $W_{opt}$  e densità secca massima,  $\gamma_{d,max}$ );
- indice di portanza CBR immediato (IPI);



LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	224 di 227

- indice di portanza CBR con imbibizione in acqua a 96 ore (dopo 4 giorni);
- analisi chimico-fisiche dell'acqua di falda: sali disciolti, PH.

Sui campioni preparati al contenuto d'acqua ottimale  $W_{n,opt}$ , saranno eseguite le seguenti prove:

- compressione a espansione laterale libera e taglio diretto.

## 12.2 Studio in laboratorio della miscela terreno-acqua-calce

Lo scopo dello studio sperimentale delle miscele in laboratorio è quello di determinare il quantitativo minimo di calce necessario ad ottenere il miglioramento prefissato delle caratteristiche del terreno tale da assicurare nel tempo i requisiti richiesti.

Le percentuali sono da intendersi riferite al peso del terreno naturale prima del trattamento e del costipamento. Per lo studio della miscela "ottimale" per il trattamento del terreno verranno analizzate tre miscele, in particolare si potranno considerare per il trattamento a calce:

- miscela con il 2.0% in peso del legante;
- miscela con il 2.5% in peso del legante;
- miscela con il 3.0% in peso del legante.

Per ciascuna miscela sperimentale si dovranno eseguire le seguenti prove di laboratorio:

- analisi granulometrica, inclusa analisi per via umida;
- contenuto naturale d'acqua;
- limiti di Atterberg;
- prova di compattazione AASHTO modificata (Proctor Modificata con determinazione di umidità ottimale,  $W_{opt}$  e densità secca massima,  $\gamma_{d,max}$ );
- indice di portanza CBR immediato (IPI);
- indice CBR con imbibizione a 96 hr (4 giorni), per tempi di maturazione pari a 7 giorni e a 28 giorni;
- Compressione semplice a 7 gg di maturazione su provini con diverso grado di contenuto d'acqua (W%):  
 $W_{opt}$ ,  $W_{opt+2\%}$ ,  $W_{opt-2\%}$  (dove  $W_{n,opt}$  è il contenuto d'acqua ottimale);
- Compressione semplice a 28 gg di maturazione su provini con diverso grado di contenuto d'acqua (W%):  
 $W_{opt}$ ,  $W_{opt+2\%}$ ,  $W_{opt-2\%}$ ;
- Inoltre, nel caso di miscele per corpo del rilevato, prova di taglio in cella triassiale CID su tre provini a 28 gg di maturazione.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTO 1: Ripalta - Lesina PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione geotecnica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	225 di 227

In fase di indagine sono richieste anche le analisi chimico-fisiche dell'acqua utilizzata nella preparazione degli impasti.

### 12.3 Realizzazione del campo prova

Ultimato lo studio delle miscele sperimentali, sulla base dei risultati delle sperimentazioni di laboratorio, sarà scelta la miscela ottimale per calce da testare sul campo prova; verrà quindi predisposto un campo prova con le seguenti finalità:

- verificare su scala reale i dati ottenuti in laboratorio;
- controllo delle attrezzature, dei metodi di miscelazione e di compattazione;
- definizione delle fasi e dei metodi delle lavorazioni, con particolare riferimento all'apporto di calce;
- schemi di miscelatura (numero di passate del Pulvimixer ottimali necessari ad ottenere la granulometria prevista) e rullatura (numero di passate del rullo), in relazione alle attrezzature adottate;
- la definizione delle modalità di controllo dei limiti di accettabilità dei tenori di umidità dei terreni posti in opera e delle miscele terreno-calce, prima della rullatura finale.

L'ubicazione del campo prova, le dimensioni e le modalità esecutive del rilevato saranno concordate con la Committenza. Si prevede comunque un campo prova di dimensioni in sommità 4mx50 m di lunghezza utile e realizzato con le stesse modalità di esecuzione del rilevato.

Si precisano i controlli da effettuare su ognuno degli strati finiti:

- Dovrà essere tarata la spanditrice di calce per il controllo del dosaggio.
- Prima della stesa della calce dovrà essere controllato il contenuto d'acqua del terreno e confrontato con quello utilizzato nello studio delle miscele.
- Dopo la miscelazione dovrà essere nuovamente controllato il contenuto d'acqua e verranno eseguiti prelievi per l'esecuzione di prove di classificazione, prove Proctor e CBR e prove geotecniche.
- La miscela dovrà essere poi compattata secondo schemi di rullatura prefissati.
- Il prodotto finale dovrà essere controllato mediante prove di carico su piastra (da 30 cm). Le misure andranno effettuate almeno a tempo 0 (cioè subito dopo la compattazione), dopo 24 ore e a 7 gg su almeno 5 punti appartenenti al medesimo strato omogeneo (in termini di composizione e modalità di compattazione) e solo sull'ultimo strato del corpo di rilevato, a 28 gg dalla compattazione.
- In prossimità dei punti di determinazione del modulo di deformazione, determinazione della densità in sito e del contenuto in acqua, subito dopo aver eseguito la compattazione.





LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTO 1: Ripalta - Lesina  
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 78 RH	GE0005 001	A	226 di 227

- A 28 gg dalla compattazione, sull'ultimo strato del corpo del rilevato prelievo di tre campioni indisturbati da sottoporre a prova di taglio in cella triassiale (CID); le prove verranno eseguite sia sui provini tal quali che dopo 5 cicli di imbibizione (4 gg.) ed essiccamento (24 ore) e completa saturazione per almeno 7 giorni.

I risultati ottenuti con il campo prova dovranno confermare quelli dello studio sperimentale in laboratorio. Nel caso in cui i requisiti minimi previsti da progetto non venissero raggiunti, dovranno essere modificati i metodi di compattazione e/o le miscele terra-calce fino al raggiungimento dei requisiti minimi richiesti.

La miscela ottimale scaturirà dai risultati delle analisi effettuate in laboratorio e da quelli ottenuti nel campo prova ed in ogni caso dovrà essere approvata da Committente.

I campi prova costituiranno il riferimento per la realizzazione del corpo dei rilevati, pertanto negli elaborati finali dei campi prova dovranno essere chiaramente specificate le modalità realizzative da riprodurre in corso d'opera.

#### 12.4 Parametri di resistenza dei terreni trattati a calce

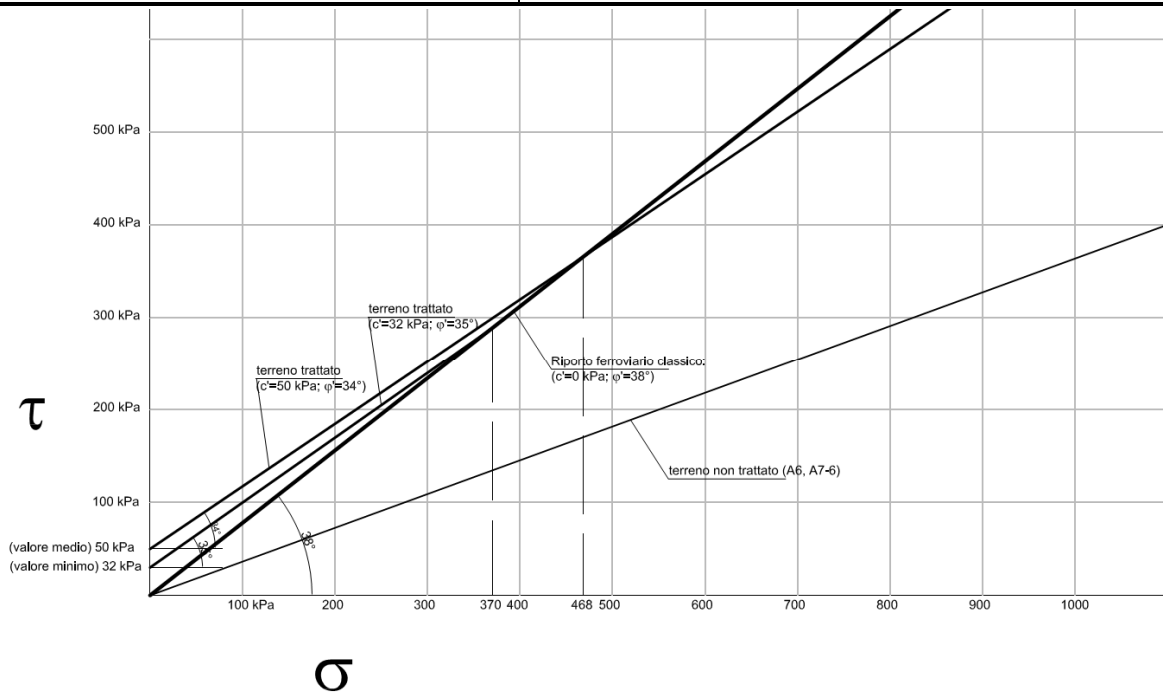
Per il piano di posa dei rilevati ferroviari dalla progr.0+270 a 0+750, si prevede il trattamento a calce dei terreni in sito (terre prevalentemente appartenenti ai gruppi A6 e A7).

Per una stima dei parametri di resistenza da associare ai terreni trattati a calce, si può fare riferimento a documentazioni bibliografiche su esperienze maturate per terreni simili in condizioni analoghe, vedasi ad esempio il documento D.25. Per i rilevati ferroviari della linea Bologna-Verona, si è verificato un notevole aumento delle caratteristiche di resistenza dei terreni con un trattamento a calce, in percentuale 2% CaO. In particolare si trattava di terreni A6, A7-6, simili a quelli in esame, caratterizzati da parametri di resistenza in condizioni naturali di 50 kPa per la coesione non drenata, angolo di resistenza al taglio poco superiore a 20° associato a coesione nulla. Con il trattamento a calce eseguito si è misurata una coesione drenata tra 32 e 75 kPa, associati a valori dell'angolo di resistenza al taglio rispettivamente di 35 e 34° e resistenza al taglio non drenata tra 332 e 446 kPa.

Quindi dalle esperienze note si osserva che le prove di laboratorio eseguite su terreni tratti, quali quelli del caso in esame, comportano un aumento sia dell'angolo di resistenza al taglio, che della coesione, pervenendo a caratteristiche di resistenza generalmente superiori a quelle utilizzate per i rilevati ferroviari classici (nell'ambito delle tensioni verticali usualmente di riferimento), come si osserva dalle seguente figura.

Relazione geotecnica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 78 RH	GE0005 001	A	227 di 227



**Figura 125 – Confronto parametri di resistenza terreno: terreno naturale non trattato, terreno trattato a calce e riporto ferroviario classico**