

## ASSE VIARIO MARCHE – UMBRIA E QUADRILATERO DI PENETRAZIONE INTERNA MAXI LOTTO 2

LAVORI DI COMPLETAMENTO DELLA DIRETTRICE PERUGIA ANCONA:  
SS. 318 DI “VALFABBRICA”. TRATTO PIANELLO – VALFABBRICA  
SS. 76 “VAL D’ESINO”. TRATTI FOSSATO VICO – CANCELLI E ALBACINA – SERRA SAN QUIRICO  
“PEDEMONTANA DELLE MARCHE”, TRATTO FABRIANO – MUCCIA – SFERCIA

### PROGETTO ESECUTIVO

<p><b>CONTRAENTE GENERALE:</b></p> 	<p><i>Il responsabile del Contraente Generale:</i></p> <p style="text-align: center;">Ing. Federico Montanari</p>	<p><i>Il responsabile Integrazioni delle Prestazioni Specialistiche:</i></p> <p style="text-align: center;">Ing. Salvatore Lieto</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**PROGETTAZIONE:** Associazione Temporanea di Imprese

*Mandataria:*

			
------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------

<p><b>RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE PER L'ATI</b></p> <p>Ing. Antonio Grimaldi</p> <p><b>GEOLOGO</b> Dott. Geol. Fabrizio Pontoni</p> <p><b>COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</b> Ing. Michele Curiale</p>			
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------

<p><b>IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</b></p> <p>Ing. Iginio Farotti</p>		
---------------------------------------------------------------------------	--	--

<p><b>2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE</b> 3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud) 4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia) <b>GEOLOGIA E GEOTECNICA</b> Relazione geotecnica generale sulle opere in sotterraneo</p>	<p><b>SCALA:</b> -</p> <p><b>DATA:</b> Settembre 2020</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------

Codice Unico di Progetto (CUP) F12C03000050021 (Assegnato CIPE 23-12-2015)

	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.
Codice Elaborato:	L0703	213	E	02	GE0001	REL	02	B

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto		Controllato	Approvato
A	Marzo 2020	Emissione	PROGIN	G. Furlani	S. Lieto	A. Grimaldi
B	Settembre 2020	Emissione a seguito istruttoria ANAS	PROGIN	G. Furlani	S. Lieto	A. Grimaldi

## INDICE

<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
1.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
<b>2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO .....</b>	<b>5</b>
<b>3. INDAGINI GEOTECNICHE.....</b>	<b>6</b>
3.1 GENERALITA' .....	6
3.2 CAMPAGNA GEOGNOSTICA DEL 2002 .....	6
3.2.1 Prove pressiometriche in foro .....	7
3.2.2 Prove di permeabilità .....	7
3.2.3 Indagini sismiche .....	8
3.2.4 Prove di laboratorio .....	8
3.3 CAMPAGNA GEOGNOSTICA DEL 2004 .....	9
3.3.1 Indagini sismiche .....	9
3.3.2 Prove di laboratorio .....	10
3.4 CAMPAGNA GEOGNOSTICA DEL 2006-2007 .....	11
3.4.1 Letture inclinometriche.....	11
3.4.2 Prove di laboratorio .....	11
3.5 CAMPAGNA GEOGNOSTICA DEL 2017 .....	12
3.5.1 Letture inclinometriche.....	13
3.5.2 Prove di laboratorio .....	13
3.6 CAMPAGNA GEOGNOSTICA DEL 2020 .....	15
<b>4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>19</b>
4.1 DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE INTERCETTATE .....	19
4.2 CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI GEOTECNICHE.....	20
4.2.1 Premessa .....	20
4.2.2 Depositi incoerenti .....	20
4.2.3 Depositi coesivi.....	24
4.3 DEPOSITI ELUVIO COLLUVIALI LIMOSO ARGILLOSI – UNITÀ EC <sub>LA</sub> .....	28
4.4 ACCUMOLI DI FRANA – UNITÀ A .....	29
4.5 DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI ANTICHI – UNITÀ AATE .....	30
4.6 DEPOSITI DI ALTERAZIONE DEL SUBSTRATO – UNITÀ S <sub>ALT</sub> .....	31
4.7 FORMAZIONE DI CAMERINO - UNITÀ PA / UNITÀ AP.....	32
4.7.1 Parametri di resistenza.....	34
4.7.2 Parametri di deformabilità.....	35
4.7.3 Permeabilità .....	35
4.8 FORMAZIONE DELLO SCHLIER - S <sub>CH</sub> .....	36
4.9 SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO .....	37
4.10 FALDA .....	89

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 3 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

## 1. INTRODUZIONE

Nella presente relazione viene riportata la caratterizzazione geotecnica-geomeccanica per le opere in sotterraneo previste nel 3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud) e 4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia) della Pedemontana delle Marche – Progetto Definitivo.

In particolare lungo il tracciato sono previste tre gallerie naturali:

- GN S. Anna;
- GN Mecciano;
- GN S. Barbara.

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 e definizione dei parametri geotecnici – geomeccanici di progetto.
- Falda.

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 4 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

**1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Si è fatto riferimento ai seguenti documenti normativi.

- [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;

**1.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

Alcune delle informazioni di seguito elaborate sono state acquisite mediante alcuni sopralluoghi effettuati sul sito di progetto e dall'esame della seguente documentazione:

- [DR\_1]. L0703213E02GE0000REL01A – Progetto definitivo - “Relazione geologica, geomorfologica e idrologica generale”
- [DR\_2]. L0703213E02GE0000PRF01A-04A – Progetto definitivo - “Profilo geologico”.
- [DR\_3]. L0703213E02GE0000PLA04-07A – Progetto definitivo - “Planimetria ubicazione indagini”.
- [DR\_4]. L0703213E02GE0000PRF05-08A – Progetto definitivo - “Profilo geotecnico”.
- [DR\_5]. L0703213E02GE0000REL04A – Progetto definitivo - “Relazione illustrativa sulle indagini geognostiche”.
- [DR\_6]. L0703213E02GE0000REL05A - Progetto definitivo - “Raccolta dei certificati delle prove di laboratorio”.
- [DR\_7]. Indagini sismiche. Falconara M.ma (AN), 04 Settembre 2020. Geco Srl Servizi Geologici e Indagini sismiche.

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 5 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Nelle gallerie in progetto sono stati eseguiti ulteriori sondaggi geognostici nella campagna integrativa del 2017 rispetto alle precedenti campagne:

- GN S. Anna: 2 sondaggi;
- GN Mecciano: 3 sondaggi;
- GN S. Barbara: 2 sondaggi.

Trattandosi prevalentemente di unità torbiditiche, nelle carote di sondaggio è stata effettuata, oltre all'analisi strutturale, un'analisi di facies con riferimento alla sequenza di Bouma ed è stato calcolato il rapporto sabbia/argilla in riferimento alla classificazione delle sequenze arenaceo-pelitiche pubblicata dall'A.G.I. (1979).

Tale studio ha permesso di individuare livelli e markers diagnostici delle associazioni di facies e quindi di caratterizzare con maggior dettaglio le associazioni presenti nell'ambito della Formazione torbiditica di Camerino e di correlarle stratigraficamente tra loro, consentendo altresì di definire maggiormente anche il locale assetto strutturale che è stato confermato nelle sue linee generali.

Nelle gallerie sono state distinte le varie associazioni di litofacies con indicazione del rapporto sabbia/argilla; rapporto che ha permesso di definire la tipologia di complessità strutturale e l'eterogeneità delle associazioni, dovute essenzialmente al processo genetico con la presenza alternata e ritmica di strati con proprietà meccaniche differenti (componente litoide o semilitoide - componente argillosa o marnosa).

Le opere in sotterraneo sono in materiali definiti da poco permeabili ad impermeabili; la presenza d'acqua è quindi modesta e localizzata e non si hanno interferenze particolari con le falde acquifere, presenti in fondovalle sulle alluvioni terrazzate (e mai interessate da opere in sotterraneo).

### 3. INDAGINI GEOTECNICHE

#### 3.1 Generalita'

Al fine di caratterizzare i terreni in corrispondenza delle gallerie in progetto si è fatto riferimento alle seguenti campagne di indagine:

- Campagna geognostica del 2002;
- Campagna geognostica del 2004;
- Campagna geognostica del 2006-2007;
- Campagna geognostica del 2017;
- Campagna geognostica integrativa del 2020.

Nei seguenti paragrafi sono descritte nel dettaglio le indagini in sito e le prove di laboratorio eseguite nelle suddette campagne d'indagine in corrispondenza delle gallerie in oggetto.

#### 3.2 Campagna geognostica del 2002

La campagna di indagine è stata svolta nel periodo ottobre-dicembre 2002 e, con riferimento alle due gallerie, è consistita in:

- sondaggi geognostici a carotaggio continuo (denominati "S");
- installazione di piezometri a tubo aperto per la lettura del livello di falda;
- installazione di una tubazione inclinometrica;
- stendimenti per prove geofisiche di sismica a rifrazione.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati effettuati:

- esecuzione di prove SPT (Standard Penetration Test) in foro;
- prelievo di campioni di terreno e roccia sottoposti a prove geotecniche di laboratorio;
- esecuzione di prove di permeabilità Lugeon;
- esecuzione di prove pressiometriche in foro;
- misure di valori di Pocket Penetrometer.

Nella seguente tabella si sintetizzano le attività svolte con riferimento alle gallerie.

Tabella 1 – Riepilogo dei sondaggi e delle prove eseguite nella campagna geognostica del 2002

Sondaggio	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. prove SPT	Prelievo campioni	Strumentazione installata	n. prove pressiometriche	n. prove Lugeon
S33	40.2	375.0	-	Cl:4 CR: 4	TA [40.2]	3	2
S38	72.2	411	-	CL: 7	TA [12.2÷72.2]	2	3
S39	20.0	355.2	3	Cl: 2 CL: 3 CR: 1	-	-	-

TA [m]: Piezometro a Tubo Aperto [profondità tratto filtrante]  
 CC : cella di Casagrande  
 IN. = Inclinometro  
 C.L. = Campione litoide  
 C.R. = Campione rimaneggiato  
 C.I. = Campione indisturbato

### 3.2.1 Prove pressiometriche in foro

Nella seguente tabella sono elencati i risultati delle prove pressiometriche disponibili.

Tabella 2 – Risultati prove pressiometriche campagna geognostica 2002

sondaggio	unità	z [m]	Em [MPa]	G [Mpa]	Ey [Mpa]	alfa[-]
S33	Ap	16.3	379.5	142.7	534.5	0.71
S33	Ap	27.4	171.8	64.6	746.7	0.23
S33	Ap	36.2	243.6	91.6	902.0	0.27
S43	Sch	15.5	40.730	15.3	101.8	0.40
S43	Sch	25	621.200	233.5	1678.9	0.37
S43	Sch	31.3	975.700	366.8	1336.6	0.73
S38	Pa	55.8	380.940	143.2	494.7	0.77
S38	Pa	66.3	383.490	144.2	983.3	0.39

Dove:

z = profondità di prova

Em = modulo pressiometrico

G = modulo di taglio

Ey = modulo elastico di Young = (Em / alfa)

alfa = coefficiente reologico

### 3.2.2 Prove di permeabilità

Nella campagna del 2002 sono disponibili i risultati delle prove di permeabilità Lugeon elencate nella seguente tabella.

Tabella 3 – Risultati prove di permeabilità Lugeon campagna geognostica 2002

Sondaggio	Prove Permeabilità		
	Prof. da p.c.	k	UL
-	m	m/s	-
S33	10.3	<1.01E-6	13.7 (RQD=50)
	19.3	< 4.7E-9	0.07 (RQD=80)
	30.0	< 3.5E-8	0.07 (RQD=90)
S38	51.65	< 7.57E-9	<0.01
	58.10	< 1.51E-8	0.09
	68.0	< 4.79E-8	0.04
S43	8.9	4.1E-7	-
	19.4	< 3.09E-7	2.86
	24.0	< 1.25E-7	0.23
	28.4	< 1.69E-10	<0.01

### 3.2.3 Indagini sismiche

Durante la campagna di indagine del 2002 sono state eseguite prove sismiche a rifrazione in corrispondenza degli imbocchi delle gallerie. Si riporta la tabella riassuntiva delle indagini eseguite.

**Tabella 4 – Indagini sismiche a rifrazione campagna 2002**

Sigla indagine	Opera
T1 (profilo 7)	Imbocco N GN S. Anna
T2 (profilo 8)	Imbocco N GN S. Anna
T1 (profilo 6)	Imbocco S GN S. Anna
T2 (profilo 5)	Imbocco S GN S. Anna
L (profilo 4)	Imbocco S GN S. Anna
T1 (profilo 16)	Imbocco N GN Mecciano
T2 (profilo 17)	Imbocco N GN Mecciano
L (profilo 15)	Imbocco N GN Mecciano
T1 (profilo 20)	Imbocco S GN Mecciano
T2 (profilo 19)	Imbocco S GN Mecciano
L (profilo 18)	Imbocco S GN Mecciano
T1 (profilo 22)	Imbocco N S. Barbara
T2 (profilo 23)	Imbocco N S. Barbara
L (profilo 25)	Imbocco N S. Barbara
T1 (profilo 26)	Imbocco S S. Barbara
T2 (profilo 24)	Imbocco S S. Barbara
L (profilo 25)	Imbocco S S. Barbara

### 3.2.4 Prove di laboratorio

Sui campioni prelevati dai sondaggi della campagna geognostica in esame sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio:

Nei terreni:

- analisi granulometriche;
- determinazioni dei limiti di Atterberg;
- determinazioni del peso di volume naturale ( $\gamma_N$ );
- determinazioni del contenuto naturale d'acqua ( $w_N$ );
- prove di taglio diretto;

In roccia:

- determinazioni del peso di volume naturale ( $\gamma_N$ );
- determinazione della resistenza a compressione monoassiale ( $\sigma_C$ ).

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 9 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

Tabella 5 – Tabelle laboratorio campagna 2002

Sondaggio	-	S33	S33	S33	S33	S38	S38	S38	S39	S39	S39	S39	S39	S39
Campione	-	CR2	1.00	CR3	2.00	2.00	4.00	6.00	spt1	1A	1.00	2.00	3.00	4.00
Tipo	-	ind	rim	ind	ind	ind	ind	ind						
Unità	-	Ap	Ap	Pa	Pa	Ap	Ap	Pa	Ecla	Ecla	Ecla	Ap	Pa	Pa
Prof.	m	17.50	10.40	22.10	28.00	54.65	63.40	70.00	3.30	3.30	5.00	14.70	16.00	19.10
<b>Granulometria</b>														
G	%								0.6	1.2	0.3	0.3	1.9	
S	%								22.3	22.3	19.3	62.4	49.7	
L+A	%								77.1	76.5	80.5	37.3	48.4	
L	%								49.5	48.5	55.1			
A	%								27.6	28.0	25.4			
<b>Limiti di Atterberg</b>														
W <sub>L</sub>	%								47.5	44.1	44.6			48.2
W <sub>P</sub>	%								22.2	28.1	26.4			22.3
I <sub>p</sub>	-								0.73	0.96	1.24			1.39
I <sub>c</sub>	%								25.3	16.0	18.2			25.9
<b>Caratteristiche fisiche</b>														
γ <sub>n</sub>	kN/m <sup>3</sup>	24.3	22.0	22.3	23.2	24.5	22.6	22.7		16.6	20.4	22.3		23.6
w <sub>n</sub>	%	46.6	12.7	10.0	9.6	9.1	8.5	10.2	29.0	28.7	22.0	9.2	7.5	12.3
<b>Resistenza a compressione monoassiale</b>														
σ <sub>c</sub>	MPa		0.251	0.457	0.738	2.795	2.406	0.374						0.13377
<b>Resistenza drenata</b>														
(TD) c	kPa									3.7				
(TD) f	°									27.5				
(TX-CID) c	kPa											3.6		
(TX-CID) f	°											56.7		

### 3.3 Campagna geognostica del 2004

La campagna di indagine effettuata nel corso del 2004 è consistita in:

- sondaggi geognostici a carotaggio continuo (denominati BH);
- installazione di piezometri a tubo aperto nei fori di sondaggio eseguiti;
- tomografie sismiche a rifrazione.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati effettuati:

- esecuzione di prove SPT (Standard Penetration Test) in foro;
- prove pressiometriche Menard.

Nella seguente tabella si sintetizzano le attività svolte con riferimento alle gallerie.

Tabella 6 – Riepilogo dei sondaggi e delle prove eseguite nella campagna geognostica del 2004

Sondaggio	Profondità [m]	Quota boccaforno [m] s.l.m.	n. prove SPT	Prelievo campioni	Strumentazione installata	n. prove pressiometriche
BH18	25.0	363	2	Cl: 2 CR: 2	T.A.[0÷25]	1
BH08	25.0	360.6		Cl: 2 CR: 3	T.A.[3÷25]	1
BH09	25.0	338.5	-	Cl: 2 CR: 4	T.A.[3÷25]	1
BH10	25.0	478.7	1	Cl: 2 CR: 3	T.A.[3÷25]	1
BH11	25.0	478	1	Cl: 3 CR: 3	T.A.[3÷25]	1

TA [m]: Piezometro a Tubo Aperto [profondità tratto filtrante]  
 CC [m]: cella di Casagrande [profondità cella]

#### 3.3.1 Indagini sismiche

Durante la campagna di indagine del 2004 sono state eseguite prove sismiche a rifrazione. Si riporta la tabella riassuntiva delle indagini eseguite.

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 10 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Tabella 7 – Indagini sismiche a rifrazione campagna 2004

Sigla indagine	OPERA
T11/T12	GN Mecciano
T14, T13, T20, T21	Imbocco N GN S. Barbara
T17, T16, T18	Imbocco S GN S. Barbara

L'indagine geofisica di sismica a rifrazione con modalità tomografica ha fornito la caratterizzazione in termini di velocità sismiche del settore di sottosuolo interessato dagli stendimenti.

I risultati hanno evidenziato sostanzialmente la presenza di tre unità:

- la prima è contraddistinta da velocità delle onde di compressione P variabili da 200 a 600 m/s circa. Si tratta principalmente di depositi superficiali di spessore variabile;
- la seconda è contraddistinta da velocità di onde di compressione comprese tra 800 e 1700 m/s, tale unità è attribuibile al substrato alterato e/o allentato (facies di argille con livelli o inclusi più argillitici marnosi o arenaci);
- la terza è contraddistinta da velocità di onde di compressione crescenti con la profondità fino a circa 2000 m/s e localmente fino a 2300-2600 m/s. Si tratta del substrato costituito principalmente da argille marnose e/o da marne arenacee fratturate.

### 3.3.2 Prove di laboratorio

Sui campioni prelevati dai sondaggi della campagna geognostica in esame sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio:

Tabella 8 – Tabelle laboratorio campagna 2004

Sondaggio	-	BH8	BH8	BH8	BH8	BH9	BH9	BH9	BH9	BH10	BH10	BH10	BH11	BH18
Campione	-	1.00	2.00	3.00	4.00	1.00	2.00	3.00	4.00	1.00	2.00	3.00	3.00	1.00
Tipo	-	ind	ind	ind	ind	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Unità	-	EclA	Pa	Pa	Pa	Aate	Pa	Pa	Pa	EClA	EClA	Sch	Sch	EClS
Prof.	m	6.00	13.50	18.00	24.00	6.00	13.00	18.00	24.00	3.00	8.60	14.00	21.50	4.50
<b>Granulometria</b>														
G	%	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.1	2.9	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
S	%	4.5	2.4	2.2	7.3	55.0	10.6	2.7	1.0	17.8	0.9	8.1	4.2	57.1
L + A	%	95.5	97.4	97.8	92.7	44.8	89.3	94.4	99.0	80.7	99.1	91.9	95.8	42.9
L	%	56.5	55.3	42.3	38.9	20.4	44.1	37.6	42.5	34.0	22.2	40.7	27.2	30.6
A	%	39.0	42.1	55.5	53.8	24.4	45.2	56.8	56.5	46.7	76.9	51.2	68.6	12.3
<b>Limiti di Atterberg</b>														
W <sub>L</sub>	%	39.7	49.1	50.5	60.8		38.5	56.8	54.4	40.8	88.6	52.5	72.5	
W <sub>p</sub>	%	23.7	32.5	24.4	31.8		24.5	27.1	26.6	27.1	41.9	25.7	32.4	
I <sub>p</sub>	-	1.44	1.94	1.28	1.51		1.26	1.25	1.29	1.42	1.24	1.37	1.40	
I <sub>s</sub>	%	23.7	32.5	24.4	29.0		24.5	29.7	27.9	13.7	46.7	26.8	40.1	
<b>Caratteristiche fisiche</b>														
γ <sub>n</sub>	kN/m <sup>3</sup>	20.3	20.3	20.5	20.3	19.9	20.0	19.6	20.4	19.6	17.7	18.9	20.2	21.6
w <sub>n</sub>	%	16.6	16.9	17.2	17.0	18.1	20.9	19.8	18.5	21.3	30.8	15.7	16.5	9.4
e	-	0.501	0.479	0.493	0.575	0.553	0.542	0.528	0.480	0.552	0.784	0.550	0.490	0.288
<b>Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)</b>														
E <sub>u</sub>	kPa			9153.0		6595.0		6590.0				7307.0	18100.0	
c <sub>v</sub>	mf/s			2.07E-08		2.44E-07		8.70E-09				1.77E-07	2.04E-08	
<b>Resistenza a compressione monoassiale</b>														
σ <sub>c</sub>	MPa													
<b>Resistenza non drenata</b>														
(TX-UU) c <sub>v</sub>	kPa	222.0	381.0			171.0								
(TX-ELL) c <sub>v</sub>	kPa													
<b>Resistenza drenata</b>														
(TD) c	kPa							38.6	97.6	8.7		23.3	64.7	
(TD) f	°							14.3	7.4	26.6		26.1	23.3	
(TD) c <sub>v</sub>	kPa													
(TD) f <sub>v</sub>	°													
(TX-CIU) c	kPa				65.0		45.0		55.0		49.0			
(TX-CIU) f	°				19.7		23.8		22.4		20.8			

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 11 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### 3.4 Campagna geognostica del 2006–2007

Con riferimento alle due gallerie, la campagna di indagine effettuata nel 2006-2007 è consistita in:

- sondaggi geognostici a carotaggio continuo (denominati "SN");
- n. 1 sondaggio geognostici (denominato SN\_bis) eseguito a distruzione di nucleo;
- installazione di piezometri nei fori dei sondaggi eseguiti;
- installazione di tubi inclinometrici nei fori di sondaggio.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati effettuati:

- descrizione dettagliata della stratigrafia con foto a colori;
- esecuzione di prove SPT (Standard Penetration Test) in foro;
- prelievo di campioni di terreno e roccia sottoposti a prove di laboratorio;
- prove di permeabilità Lefranc;
- prove dilatometriche su roccia (DRT);
- misure di valori di Pocket Penetrometer sulle carote dei sondaggi.

Nella seguente tabella si sintetizzano le attività svolte con riferimento alle gallerie.

Tabella 9 – Riepilogo dei sondaggi e delle prove eseguite nella campagna geognostica del 2006-2007

Sondaggio	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	n. prove SPT	Prelievo campioni	Strumentazione installata	n. prove Lefranc	N. prove dilatometriche
SN2226	35.0	340	3	Cl: 3	IN	3	1
SN2226bis (SD)	30.0	340	-	-	C.C.[17;30]	-	-

TA [m]: Piezometro a Tubo Aperto [profondità tratto filtrante]  
 CC=piezometro a cella di Casagrande [profondità cella]  
 DH [m]: Prova sismica Down Hole [profondità di prova]  
 IN. = Inclinometro  
 C.L. = Campione litoide  
 C.R. = Campione rimaneggiato  
 C.I. = Campione indisturbato

#### 3.4.1 Letture inclinometriche

Per la strumentazione inclinometrica installata si dispone di una sola lettura, attualmente gli inclinometri sono non più utilizzabili perché rotti.

#### 3.4.2 Prove di laboratorio

Sui campioni prelevati dai sondaggi della campagna geognostica in esame sono stati recuperati i certificati delle seguenti prove di laboratorio:

- analisi granulometriche;
- determinazione dei limiti di Atterberg;
- determinazione del peso di volume naturale ( $\gamma_N$ );
- determinazione del contenuto d'acqua naturale ( $w_N$ );
- prove di taglio diretto;
- prova triassiale.

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 12 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Tabella 10 – Tabelle laboratorio campagna 2006-2007

<b>Sondaggio</b>	-	SN2226	SN2226	SN2226
<b>Campione</b>	-	1S	2S	3M
<b>Tipo</b>	-	ind	ind	ind
<b>Unità</b>	-	ECl <sub>a</sub>	ECl <sub>a</sub>	Pa
<b>Prof.</b>	m	4.00	9.50	29.60
<b>Granulometria</b>				
G	%			
S	%			
L+A	%			
L	%			
A	%			
D50	mm			
<b>Limiti di Atterberg</b>				
W <sub>L</sub>	%	40.4	42.5	
W <sub>p</sub>	%	24.0	28.9	
I <sub>p</sub>	-	1.24	1.58	
I <sub>b</sub>	%	16.4	13.6	
<b>Caratteristiche fisiche</b>				
γ <sub>N</sub>	kN/m <sup>3</sup>	19.3	18.7	22.8
w <sub>N</sub>	%	20.0	21.0	10.6
<b>Resistenza a compressione monoassiale</b>				
σ <sub>c</sub>	MPa			
<b>Resistenza non drenata</b>				
(TX-UU) c <sub>u</sub>	kPa			
(TX-ELL) c <sub>u</sub>	kPa			
<b>Resistenza drenata</b>				
(TD) c	kPa			
(TD) f	°		27.2	
(TD) c <sub>r</sub>	kPa			
(TD) f <sub>r</sub>	°		12.6	

### 3.5 Campagna geognostica del 2017

Con riferimento alle gallerie, la campagna di indagini integrativa effettuata nel 2017 è consistita in:

- sondaggi geognostici a carotaggio continuo ubicati negli imbocchi delle GN (denominati "X");
- sondaggi geognostici eseguiti in corrispondenza delle gallerie (denominati "A");
- installazione di piezometri a tubo aperto per la lettura del livello di falda.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati effettuati:

- descrizione stratigrafica, foto a colori, rilievo geomeccanico;
- esecuzione di prove SPT (Standard Penetration Test);
- prelievo di campioni di terreno e roccia sottoposti a prove di laboratorio;
- misure di valori di Pocket Penetrometer nei terreni;
- prove dilatometriche su roccia;
- rilievo falda.

Nella seguente tabella si sintetizzano le attività svolte con riferimento alle gallerie.

Tabella 11 – Riepilogo delle indagini in sito eseguite nella campagna geognostica del 2017

Sondaggio/P ozzetto	Profondità [m]	Quota boccaforo	n. prove	Prelievo campioni	Strumentazione installata
------------------------	-------------------	--------------------	-------------	----------------------	------------------------------

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 13 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

		[m] s.l.m.	SPT		
A1.3	55.0	375.989	-	C.L.: 1 CR: 2	-
A2.3	48.0	375.936	-	C.L.: 1 CR: 1	-
A4.3	107.0	414.35	-	C.L.: 1 CR: 1	-
A5.3	100.0	410.25	-	C.L.: 1 CR: 1	-
A7.3	58.0	361.544	-	C.L.: 1 CR: 1	-
A9.3	78.0	507.116	-	C.L.: 1 CR: 1	-
A10.3	68.0	502.429	-	C.L.: 1 CR: 3	-
X3.18	20.0	338.738	3	C.L.: 2 C.L.: 2 CR: 4	T.A.[0÷20]
X4.5	16.0	458.033	4	C.L.: 1 C.L.: 2 CR: 5	T.A.[0÷16]
X4.6	15.0	471.966	2	C.L.: 2 C.R.: 3	T.A.[0÷15]
TA [m]: Piezometro a Tubo Aperto [profondità tratto filtrante] IN. = Inclino metro C.L. = Campione litoide rimaneggiato (spezzone di carota) C.R. = Campione rimaneggiato C.I. = Campione indisturbato SD = sondaggio a distruzione di nucleo					

### 3.5.1 Letture inclinometriche

Al momento della stesura del presente elaborato sono disponibili oltre le letture di zero, un paio di letture.

### 3.5.2 Prove di laboratorio

Sui campioni prelevati dai sondaggi della campagna geognostica in esame sono in programma le seguenti prove di laboratorio:

Nei terreni:

- analisi granulometriche;
- determinazione dei limiti di Atterberg;
- determinazione del peso di volume naturale ( $\gamma_N$ );
- determinazione del contenuto d'acqua naturale ( $w_N$ );
- prove di taglio diretto (anche in tensioni residue);
- prove ad espansione laterale libera (ELL).

Nelle porzioni litoidi:

- determinazione del peso di volume naturale ( $\gamma_N$ );
- determinazione della resistenza a compressione monoassiale ( $\sigma_c$ ).

Al momento della stesura del presente elaborato, non si hanno a disposizione risultati delle prove di laboratorio per i campioni prelevati nei sondaggi delle GN.

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 14 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Tabella 12 – Tabelle laboratorio campagna 2017

<b>Sondaggio</b>	-	A4.3	A5.3	A9.3	A10.3	X4.5	X4.5	X4.6	X4.6
<b>Campione</b>	-	C1	Cl1	R1	R1	Cl1	CRL2	CRL2	CR1
<b>Unità</b>	-	Ap	Ap	Sch	Sch	EClA	EClA	Sch	Salt
<b>Prof.</b>	m	74.40	67.20	44.50	34.00	4.00	12.00	9.60	4.50

**Granulometria**

G	%								18.0
S	%								19.0
L + A	%								62.0
L	%								34.0
A	%								28.0

**Limiti di Atterberg**

$W_L$	%					55.8	36.5		36.6
$W_P$	%					23.6	18.7		20.8
$I_P$	%					32.2	17.8		15.9

**Caratteristiche fisiche**

$\gamma_N$	kN/m <sup>3</sup>	24.6	24.5	22.9		18.8		22.1	
$w_N$	%		10.3						18.0

**Resistenza a compressione monoassiale**

$\sigma_c$	MPa	26.46	3.46	11.9				4.7	
------------	-----	-------	------	------	--	--	--	-----	--

**Resistenza drenata**

(TD) c	kPa					17.5			
(TD) f	°					23.7			
(TD) c <sub>i</sub>	kPa					11.0			
(TD) f <sub>i</sub>	°					24.8			

<b>Sondaggio</b>	-	A1.3	A1.3	A1.3	A2.3	A2.3	A2.3	A2.3	A7.3	A10.3
<b>Campione</b>	-	Cl1	R1	SD1	Cl1	R1	Cl1	Cl1	R1	c1
<b>Unità</b>	-	Pa	Ap	Ap	Ap	Ap	Ap	Ap	Pa	Sch
<b>Prof.</b>	m	25.00	20.60	23.00	17.04	13.00	17.22	17.50	23.00	36.60

**Granulometria**

G	%									
S	%									
L + A	%									
L	%									
A	%									

**Limiti di Atterberg**

$W_L$	%									
$W_P$	%									
$I_P$	%									

**Caratteristiche fisiche**

$\gamma_N$	kN/m <sup>3</sup>		23.6	23.6	22.6	23.7	22.4	23.8	23.1	23.4
$w_N$	%									

**Resistenza a compressione monoassiale**

$\sigma_c$	MPa		2.45	0.86	2.59	9.72	8.08	8.3	4.02	6.06
------------	-----	--	------	------	------	------	------	-----	------	------

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 15 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

**3.6 CAMPAGNA GEOGNOSTICA DEL 2020**

Nel 2020 è stata eseguita una integrazione di indagini costituita da indagini sismiche finalizzate alla definizione della categoria di sottosuolo ed alla conferma della ricostruzione stratigrafica con particolare riferimento alle opere d'arte principali. Le indagini eseguite sono (vedasi tabelle seguenti):

- n. 19 profili sismici a rifrazione in onde P;
- n. 15 indagini sismiche Masw;
- n. 15 indagini sismiche HVSR.

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 16 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Tabella 13 – Sismiche a rifrazione - campagna geognostica del 2020

Sigla indagine	Lungh. (m)	Shot n°	Coordinate WGS 84		Quota s.l.m.		Progressive. Km
			Inizio	Fine	Inizio	Fine	
RIF 01	120	7	43.220356°	43.219399°	316.4	315.9	0+732
			13.041398°	13.042066°			0+852
RIF 02	120	7	43.213942°	43.212875°	343.9	315.6	1+492
			13.044280°	13.044197°			1+612
RIF 03	120	7	43.212510°	43.211450°	319.9	345.8	1+652.5
			13.044501°	13.044523°			1+770.5
RIF 04	120	7	43.207893°	43.207014°	353.0	349.0	2+264.8
			13.044452°	13.045267°			2+165
RIF 05	120	9	43.203255°	43.203753°	351.0	337.8	2+680
			13.043926°	13.045206°			2+626.5
RIF 06	120	7	43.203844°	43.202804°	350.8	347.9	2+615
			13.044608°	13.044810°			2+732
RIF 07	120	7	43.174521°	43.175587°	334.5	334.9	6+128.6
			13.053976°	13.053941°			6+009
RIF 08	120	7	43.165313°	43.165172°	370.1	346.4	7+190.4
			13.055595°	13.057031°			7+196.9
RIF 09	120	7	43.158724°	43.158569°	373.8	368.1	8+027
			13.051331°	13.052761°			8+010
RIF 10	120	7	43.145411°	43.145806°	423.8	391.4	9+542.5
			13.048926°	13.047596°			9+606.6
RIF 11	120	7	43.136163°	43.135101°	434.9	443.1	10+675.7
			13.051926°	13.052100°			10+794.5
RIF 12	120	7	43.135798°	43.135924°	452.6	426.6	10+692.5
			13.052745°	13.051309°			10+726.8
RIF 13	120	7	43.126115°	43.125331°	471.9	461.9	11+914.6
			13.056635°	13.057553°			12+030
RIF 14	96	7	43.125129°	43.125873°	462.6	473.0	11+981.7
			13.056353°	13.057330°			11+972.6
RIF 15	120	7	43.125950°	43.126748°	474.2	491.6	11+972.6
			13.057441°	13.058421°			11+958.6
RIF 16	120	7	43.123078°	43.122580°	446.8	456.6	12+537.2
			13.060910°	13.062189°			12+414
RIF 17	120	7	43.122371°	43.123348°	446.8	455.3	12+476.8
			13.061322°	13.061916°			12+485
RIF 18	120	7	43.122912°	43.121876°	462.6	441.8	13+025.8
			13.068256°	13.068058°			13+056
RIF 19	120	7	43.196215°	43.196315°	350.2	354.1	3+460
			13.044782°	13.043441°			3+460

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 17 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Tabella 14 – Sismiche Masw - campagna geognostica del 2020

Sigla Masw	Lunghezza (m)	Coordinate WGS 84		Quota s.l.m.		Progressive. Km
		Inizio	Fine	Inizio	Fine	
MASW 01	46	43.220073°	43.219709°	315.5	316.0	0+767
		13.041576°	13.041835°			0+813
MASW 02	46	43.213779°	43.213734°	339.0	340.0	1+509
		13.043972°	13.044571°			1+517.4
MASW 03	46	43.212239°	43.212247°	325.2	323.5	1+677.4
		13.044226°	13.044779°			1+677.4
MASW 04	46	43.207291°	43.207483°	340.7	337.8	2+232.7
		13.044599°	13.045098°			2+211.7
MASW 05	46	43.203442°	43.203624°	343.6	339.4	2+660
		13.044473°	13.044975°			2+640
MASW 06	46	43.201636°	43.201340°	357.8	360.0	2+860.6
		13.044546°	13.044915°			2+894.5
MASW 07	46	43.190350°	43.190691°	305.0	305.0	4+111.3
		13.044423°	13.044729°			4+085
MASW 08	46	43.189124°	43.189303°	329.3	325.4	4+259
		13.045291°	13.045784°			4+262
MASW 09	46	43.149481°	43.149446°	385.0	384.6	9+132.8
		13.046792°	13.047341°			9+130
MASW 10	46	43.146605°	43.146876°	386.5	384.0	4+445.4
		13.046932°	13.047346°			4+422
MASW 11	46	43.135671°	43.135274°	441.0	444.0	10+729.2
		13.051974°	13.052042°			10+774.7
MASW 12	46	43.125763°	43.125459°	471.8	469.0	11+963.5
		13.056999°	13.057367°			12+009.6
MASW 13	46	43.122476°	43.122682°	448.5	448.5	12+460
		13.061152°	13.061632°			12+490
MASW 14	46	43.122090°	43.122123°	446.0	454.0	12+988.8
		13.067583°	13.068135°			13+035
MASW 15	46	43.196379°	43.195984°	348.4	347.0	3+447.8
		13.044092°	13.044191°			3+491.8

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 18 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Tabella 15 – Sismiche HVSR - campagna geognostica del 2020

ID	Durata (min)	Coordinate WGS 84		Quota s.l.
		Latitudine	Longitudine	
HVSR 01	20	43.219887°	13.041707°	314.7
HVSR 02	20	43.213760°	13.044247°	339.4
HVSR 03	20	43.212242°	13.044505°	325.0
HVSR 04	20	43.207376°	13.044825°	339.0
HVSR 05	20	43.203533°	13.044732°	341.5
HVSR 06	20	43.201421°	13.044814°	359.3
HVSR 07	20	43.190529°	13.044585°	305.0
HVSR 08	20	43.189214°	13.045542°	327.4
HVSR 09	20	43.149467°	13.047064°	385.0
HVSR 10	20	43.146743°	13.047140°	385.0
HVSR 11	20	43.135470°	13.052003°	443.4
HVSR 12	20	43.125624°	13.057179°	470.0
HVSR 13	20	43.122580°	13.061393°	448.7
HVSR 14	20	43.122109°	13.067881°	446.8
HVSR 15	20	43.196178°	13.044130°	349.3

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 19 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

## 4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Nel presente capitolo si riporta la caratterizzazione geotecnica generale con riferimento alle opere in sotterraneo (GN S. Anna, GN Mecciano e GN S. Barbara), valutata sulla base dell'interpretazione delle indagini geotecniche svolte in sito ed in laboratorio.

Dopo aver individuato le principali unità geotecniche intercettate, verranno interpretati i risultati delle indagini geotecniche sulla base dei criteri di seguito esposti e quindi verranno definiti i parametri geotecnici di progetto.

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.

### 4.1 Definizione delle unità geotecniche intercettate

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

- **Unità R - Terreno di riporto e coltre vegetale:** si includono i riporti di origine antropica ed il terreno vegetale; si tratta generalmente di limo sabbioso e sabbia limosa con clasti e frammenti vegetali e di laterizi. Non riveste rilevanza progettuale in quanto rimossa durante le operazioni di scavo/scotico.
- **Unità ECl<sub>a</sub>, ECl<sub>s</sub>, a - Depositi eluvio colluviali:** si tratta di depositi a composizione granulometrica variegata ma generalmente a prevalente componente fine limo argillosa (**Unità ECl<sub>a</sub>**); localmente si rinviene sabbia limosa con clasti derivanti dalla disgregazione del substrato roccioso (**Unità ECl<sub>s</sub>**). Localmente sono state individuate zone con coperture di materiale di accumuli di frana (**Unità a**).
- **Unità Ag, As, Ala - Alluvioni:** si tratta di deposti alluvionali rinvenibili in corrispondenza dei corsi d'acqua e si distinguono: ghiaie eterometriche ed eterogenee in matrice sabbiosa (**Unità Ag**), sabbie, sabbie debolmente limose (**Unità As**); limi argillosi (**Unità Ala**).
- **Unità Aate – Alluvioni terrazzate antiche:** si tratta di deposti alluvionali limoso argillosi sabbiosi.
- **Unità Salt – substrato alterato:** si tratta di una fascia di spessore variabile costituita da argilla limosa, marnosa, consistente che sovrasta il substrato a carattere da semilitoide a litoide, rappresenta la parte superiore alterata del substrato.

Il substrato è costituito dalla Formazione di Camerino (e sovrastante Formazione gessoso-solfifera) e dalla formazione dello Schlier.

All'interno della formazione di Camerino si sviluppa la maggior parte del tracciato di progetto. In funzione dell'alternanza e la posizione degli strati arenacei e degli strati pelitico-marnosi, si può giungere ad una stima del rapporto arenaria/pelite secondo la classificazione AGI – 1979.

- **Unità Pa - Substrato Pelitico – Arenaceo con  $0,2 \leq A/P \leq 1$  (Formazione di Camerino):** rappresentata da litofacies pelitico-arenacee con un rapporto  $A/P \leq 1$ .
- **Unità Ap - Substrato Arenaceo – Pelitico  $A/P \geq 1$  (Formazione di Camerino):** formata essenzialmente da litofacies costituite da arenarie e marne siltose grigie con un rapporto  $A/P \geq 1$ .

Da una dettagliata analisi visiva delle carote, è stato possibile stimare il valore A/P delle varie associazioni (si rimanda alla Relazione geologica e ai report stratigrafici dei sondaggi per gli approfondimenti del caso). Le varie associazioni presentano un rapporto complessivo medio tra  $A/P = 0.9 - 0.65$ . Quindi prevale generalmente la componente pelitico-marnosa ( $A/P < 1$ ) il cui

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 20 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

comportamento meccanico è principalmente governato dalla stratificazione e laminazione delle litofacies torbiditiche.

Per la caratterizzazione geotecnica, le due componenti litologiche, Ap e Pa, sono fittamente intercalate e difficilmente distinguibili. Risulta quindi corretto considerarli come accorpati in una unità unica geotecnica.

- **Unità Sch – Formazione dello Schlier:** si tratta di alternanze di marne argillose, marne siltose e arenacee con intercalazioni di calcare detritico e calcareniti.

Lo Schlier si presenta come una marna più o meno argillosa con caratteristiche meccaniche e caratteristiche fisiche che possono essere assimilate alla frazione più marnosa della formazione di Camerino (Pa).

## 4.2 Criteri di interpretazione delle indagini geotecniche

### 4.2.1 Premessa

Ai fini della caratterizzazione dei terreni è stato fatto riferimento ai risultati di tutte le indagini ad oggi disponibili, ed in particolare:

- prove penetrometriche dinamiche SPT eseguite nei fori di sondaggio;
- prove dilatometriche in foro di sondaggio in roccia;
- prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati e rimaneggiati.

Occorre premettere che le formazioni pelitico arenacee del substrato (di rilevanza progettuale per lo scavo delle gallerie) si inquadrano nell'ambito delle formazioni complesse, che si pongono al confine fra le terre e le rocce. Si tratta di una formazione complessa fortemente anisotropa, in cui la stratificazione/laminazione chiaramente influenzano il comportamento meccanico della stessa. In base al quadro conoscitivo complessivamente disponibile la caratterizzazione geotecnica si è basata, in ordine di importanza:

- prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati, mediante un classico approccio di meccanica delle terre;
- prove pressiometriche in sito, con particolare riferimento ai parametri di deformabilità, che coinvolgendo un volume di materiale superiore forniscono valori maggiormente rappresentativi riferiti alla scala di progetto;
- in sub-ordine e per confronto, mediante indici di classificazioni dell'ammasso, basati sull'esame visivo ed i rilievi geomeccanici eseguiti sulle carote.

### 4.2.2 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.

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

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 21 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### 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 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ );

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

$D_r$  = densità relativa (-).

Tabella 16 – 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.

### 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:

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

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

essendo:

$D_r$  = densità relativa (-).

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

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

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 22 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### Correlazione di Terzaghi & Peck

In accordo a quanto indicato da Terzaghi e Peck (1948) la densità relativa  $D_r$  può essere correlata al valore NSPT con la seguente espressione:

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

### 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 ( $\phi'$ ) 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:

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

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

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

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

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  $\phi'$  è stato determinato in accordo al metodo proposto da Bolton (1986):

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

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

essendo:

$\phi'$  = angolo di attrito di picco riferito a pressioni di 272 kPa (°);

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 (°). Nel nostro caso si assume  $m=3$ ;

$D_r$  = densità relativa (-).

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 23 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Tabella 17 – 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 Ag);

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

 Tabella 18 – 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	$\phi_{cv}' = 33^\circ$	$\phi_{cv}' = 30^\circ$

### 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);
- 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:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9.81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu)$$

essendo:

$\gamma_t$  = peso di volume naturale del terreno in assunto pari a 19 kN/m<sup>3</sup>;

$\nu$  = 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)

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

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 24 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

essendo:

$$C = 53.3;$$

$z$  = profondità dal p.c. in metri;

$f_A$  = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito (vedasi la Tabella 19);

$f_G$  = coefficiente funzione della composizione granulometrica (vedasi la Tabella 20).

Tabella 19 – Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente  $f_A$  (funzione dell'epoca geologica del deposito)

$f_A$	Olocene	Pleistocene
	1,0	1,3

Tabella 20 – Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente  $f_G$  (funzione della granulometrica del deposito)

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

Nel caso in esame è stato assunto:

$$f_A = 1.3;$$

$$f_G = 1.15 \text{ per Ag, } f_G = 1.14 \text{ per As.}$$

#### 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;

$\sigma_v'$  = 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 ( $E_{op}' = E_0/10$ ).

#### 4.2.3 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;

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 25 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

- 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.

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);
- da correlazioni di letteratura sulla base delle prove in sito.

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):

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

dove:

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

$c_u$  = 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  $N_{SPT}$ .

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 26 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

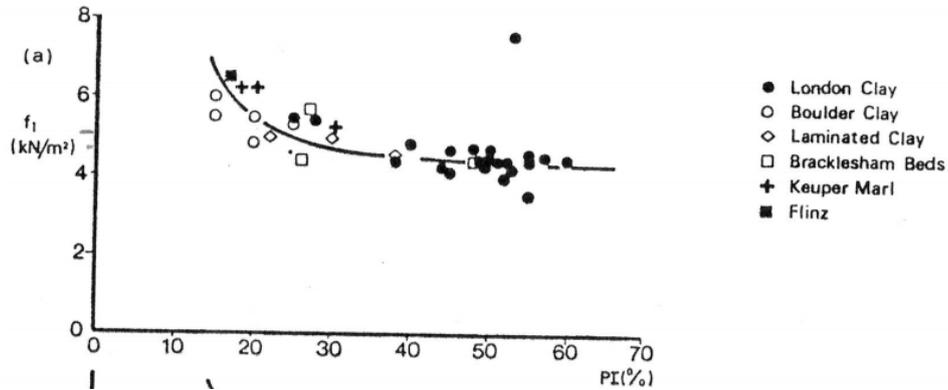


Figura 1 – Fattore  $f_1$  in funzione di IP

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.

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.

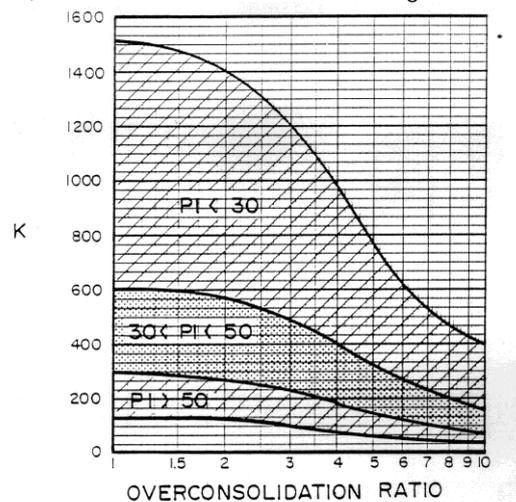


Figura 2 – Duncan & Buchignani

### 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

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 27 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

esempio:

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

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 ( $w_n$ ).

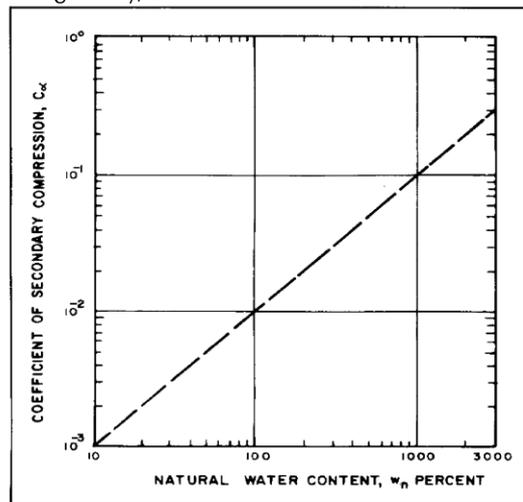


Figura 3 – Abaco di calcolo del coefficiente di consolidazione secondaria da  $w_n$  (NAVFAC, 1982)

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.

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 28 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### 4.3 Depositi eluvio colluviali limoso argillosi – unità ECL<sub>A</sub>

Si tratta prevalentemente di depositi coesivi limoso argillosi (unità Ecla), intercettati lungo il tracciato a partire dal p.c. con spessore variabile fino ad un massimo di 10 m circa. Solo localmente sono stati intercettati strati/lenti di sabbia limosa con clasti derivanti dalla disgregazione del substrato roccioso (unità Ecls), intercalati alla prevalente unità coesiva Ecla.

Alcune coperture detritiche eluvio-colluviali, hanno evidenziato movimenti gravitativi in atto e/o quiescenti; questo materiale di accumulo di frana è stato identificato nel profilo stratigrafico con la sigla (**unità a**) in accordo a quanto riportato anche negli elaborati geologici. Le zone dove sono state individuate potenziali frane sono monitorate attraverso strumentazione inclinometrica installata nella campagna geognostica del 2006 e del 2017. Per la caratterizzazione di tale unità si rimanda al successivo paragrafo.

In corrispondenza dell'unità Ecla sono disponibili prove SPT che hanno dato valori compresi fra 2 e 45 colpi/30 cm (Figura 4).

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

Il peso di volume naturale dell'unità Ecla è compreso mediamente fra 18.5 e 20.5 kN/m<sup>3</sup> con valore medio di 19 kN/m<sup>3</sup> (Figura 5).

Dalle analisi granulometriche dell'unità Ecla si ha (Figura 6).

- percentuale di ghiaia trascurabile, generalmente compresa fra 0 e 14% (media 2%);
- percentuale di sabbia marcatamente variabile, compresa fra 1 e 39% (media 25%);
- percentuale di fine (limo+argilla) tra 47 e 99% (media 73%), con percentuale di limo compresa fra 22 e 40% (media 39%) e percentuale di argilla compresa fra 13 e 47% (media 35%).

Relativamente all'unità sabbiosa Ecls ci sono pochi campioni di laboratorio da cui si osserva percentuale di sabbia di 55-57% e di fine 43-45%.

Il contenuto naturale d'acqua dell'unità Ecla è generalmente compreso fra 15 e 30% (media 22%) (Figura 7).

Per l'unità Ecla, il limite liquido è compreso fra 36 e 60% (media 44%), il limite plastico tra 15 e 39% (media 22%) (Figura 7), l'indice plastico fra 10 e 50% (media 22%). Nella Figura 8 è mostrata la carta di plasticità di Casagrande: il materiale si colloca generalmente nella zona delle argille inorganiche a media plasticità.

#### Parametri di resistenza:

Dalle analisi di laboratorio eseguite sui campioni prelevati si sono ottenuti i seguenti intervalli di valori dei parametri di resistenza (Figura 9, Figura 10, Figura 11):

$c' = 0 \div 60$ kPa	coesione drenata
$\phi' = 17 \div 29$ °	angolo di resistenza al taglio di picco
$\phi' r = 13 \div 25$ °	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_v = 50 \div 220$ kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate

Nella Figura 12 sono state anche inseriti i valori di resistenza al taglio non drenata desunti dalle Pocket Penetrometer e dall'interpretazione delle prove SPT, da cui si osservano valori generalmente confrontabili con quelli ottenuti in laboratorio.

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 29 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

In Figura 13 sono inseriti i risultati di tutte le prove di laboratorio (valori di picco e residui) ed i valori di range di progetto di picco e residui:

$$\begin{aligned}\phi' &= 23 \div 28^\circ && \text{angolo di resistenza al taglio di picco} \\ c' &= 5 \div 15 \text{ kPa} && \text{coesione drenata di picco}\end{aligned}$$

e in condizioni residue:

$$\begin{aligned}\phi_r' &= 14 \div 21^\circ && \text{angolo di resistenza al taglio residuo} \\ c_r' &= 0 \text{ kPa} && \text{coesione drenata residua.}\end{aligned}$$

Per l'unità Ecls, prevalentemente sabbiosa, possono essere attribuiti valori maggiori ottenuti dalle prove di laboratorio (vedasi Figura 13):

$$\begin{aligned}\phi' &= 30 \div 34^\circ && \text{angolo di resistenza al taglio} \\ c' &= 0 \text{ kPa} && \text{coesione drenata}\end{aligned}$$

Parametri di deformabilità:

Dalla singola prova Down-Hole eseguita nell'unità in esame (DH SN2120 per profondità inferiore ai 10 m da p.c.) e dalle correlazioni delle prove SPT si stimano i seguenti valori di modulo di deformazione (Figura 14):

unità Ecla:

$$\begin{aligned}G_o &= 20 \div 160 \text{ MPa} && \text{modulo di deformazione a taglio iniziale} \\ E_o &= 60 \div 400 \text{ MPa} && \text{modulo di deformazione elastico iniziale}\end{aligned}$$

unità Ecls:

$$\begin{aligned}G_o &= 100 \div 160 \text{ MPa} && \text{modulo di deformazione a taglio iniziale} \\ E_o &= 250 \div 400 \text{ MPa} && \text{modulo di deformazione elastico iniziale}\end{aligned}$$

#### **4.4 ACCUMOLI DI FRANA - UNITÀ A**

Alcune coperture detritiche eluvio-colluviali, hanno evidenziato movimenti gravitativi in atto e/o quiescenti; questo materiale di accumulo di frana è stato identificato nel profilo stratigrafico con la sigla (**unità a**).

Nei sondaggi eseguiti in questa unità geotecnica, sono stati prelevati alcuni campioni indisturbati su cui sono state eseguite prove di laboratorio. Si tratta comunque di un materiale di accumulo derivante dalle coltri eluvio colluviali, quindi le caratteristiche fisiche sono simili all'unità Ecla e sono stati distinti dall'unità Ecla solo per meglio caratterizzare i parametri di resistenza.

Il peso di volume naturale è compreso tra 17.9 e 19.9, con valore medio di circa 19.0 kN/m<sup>3</sup> (Figura 5).

Dall'analisi granulometrica si ha (vedasi Figura 16).

- percentuale di ghiaia pari a 1%;
- percentuale di sabbia pari a 10%;
- percentuale di fine (limo+argilla) tra 76 e 98% (media 87%), di cui limo valore medio 32% e argilla 55%.

Il limite liquido è mediamente 42%, il limite plastico 25% (Figura 15), l'indice plastico 17%, il contenuto

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 30 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

d'acqua naturale è 20%. In Figura 17 è mostrata la carta di plasticità di Casagrande: il materiale si colloca nella zona delle argille inorganiche a media plasticità.

Parametri di resistenza:

Dalle prove di taglio diretto eseguite sull'unità in esame si ottengono i seguenti intervalli di valori (vedasi Figura 18):

$c' = 4 \div 18$ kPa	coesione drenata
$\phi' = 20 \div 32$ °	angolo di resistenza al taglio di picco
$\phi' r = 13 \div 18$ °	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_u = 20 \div 120$ kPa	resistenza al taglio in condizioni non drenate

Nella Figura 20 sono state anche inseriti i valori di resistenza al taglio non drenata desunti dalle Pocket Penetrometer e dall'interpretazione delle prove SPT, da cui si osservano valori generalmente confrontabili con quelli ottenuti in laboratorio.

In Figura 19 sono inseriti i risultati di tutte le prove di laboratorio (valori di picco e residui) ed i valori di range di progetto di picco e residui:

$\phi' = 22 \div 28$ °	angolo di resistenza al taglio di picco
$c' = 5 \div 15$ kPa	coesione drenata di picco

e in condizioni residue:

$\phi'_r = 14 \div 18$ °	angolo di resistenza al taglio residuo
$c'_r = 0$ kPa	coesione drenata residua.

Parametri di deformabilità:

Per l'unità in esame si stima un modulo elastico di deformazione iniziale compresi fra 60 e 300 MPa.

#### 4.5 DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI ANTICHI – UNITÀ AATE

Si tratta di depositi alluvionali a componente limoso argillosa sabbiosa, che si presentano moderatamente consistenti. I sondaggi che hanno intercettato tale unità sono X3.5, X3.6, S31, X3.9, BH9.

In corrispondenza di questa unità sono disponibili prove SPT che hanno dato valori generalmente compresi fra 10 e 75 colpi/30 cm (Figura 21).

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 tra 18.07 e 19.8 kN/m<sup>3</sup> (media 19) (Figura 22).

Dalle analisi granulometriche si ha:

- percentuale di ghiaia tra 0 e 30% (media 11%);
- percentuale di sabbia tra 20 e 50% (media 33%);
- percentuale di fine (limo+argilla) tra 16 e 72% (media 56%), di cui limo valore medio 30% e argilla valore medio di 25%.

Dai limiti di consistenza si ha un valore medio del limite liquido di 42%, del limite plastico di 20%, dell'indice di plasticità di 23%. Il contenuto naturale d'acqua è di 16%. L'indice di consistenza medio

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 31 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

è 1.2.

Parametri di resistenza:

Dalle prove di laboratorio (**Figura 30**) si possono assumere i seguenti valori dei parametri di resistenza:

$$\begin{aligned}\phi' &= 27 \div 36^\circ && \text{angolo di resistenza al taglio} \\ c' &= 5 \div 15 \text{ kPa} && \text{coesione drenata} \\ c_u &= 70-170 \text{ kPa} && \text{resistenza al taglio in condizioni non drenate}\end{aligned}$$

In **Figura 30** sono anche riportati i valori residui da cui si osserva per questo materiale un angolo di resistenza residuo di  $26^\circ$ .

In **Figura 29** sono riportati anche i valori della resistenza al taglio non drenata ottenuta dalle prove di Pocket Penetrometer e dall'interpretazione delle prove SPT; da cui si osservano che tali valori sono in buon accordo con i dati di laboratorio.

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 di deformazione iniziale (**Figura 31**).

$$\begin{aligned}G_o &= 30 \div 260 \text{ MPa} && \text{modulo di deformazione a taglio iniziale} \\ E_o &= 80 \div 600 \text{ MPa} && \text{modulo di deformazione elastico iniziale}\end{aligned}$$

## 4.6 Depositi di alterazione del substrato - unità $s_{alt}$

Si tratta di una fascia di spessore variabile costituita da argilla limosa, marnosa, generalmente consistente che sovrasta il substrato a carattere da semilitoide a litoide, rappresenta la parte superiore alterata del substrato.

In corrispondenza di questa unità sono disponibili prove SPT che hanno dato valori compresi fra 20 e 100 colpi/30 cm ad indicare una consistenza variabile.

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 19.2 e 21.9 kN/m<sup>3</sup> (valore medio 20.5 kN/m<sup>3</sup>) (vedasi **Figura 33**).

Dalle analisi granulometriche si ha:

- percentuale di ghiaia generalmente compresa fra 0 e 3% (media 1%);
- percentuale di sabbia generalmente compresa fra 2 e 30% (media 14%);
- percentuale di fine (limo+argilla) tra 70 e 95% (media 85%), con percentuale di limo compresa fra 31 e 52% (media 44%) e percentuale di argilla compresa fra 37 e 44% (media 41%).

Il contenuto naturale d'acqua è compreso fra 13 e 19%.

Il limite liquido è compreso fra 43 e 60% (media 50%), il limite plastico tra 19 e 30% (media 24%), l'indice plastico fra 22 e 35% (media 27%) (**Figura 35**). Nella carta di plasticità di Casagrande il materiale si colloca nella zona delle argille inorganiche di media-alta plasticità (**Figura 36**).

Parametri di resistenza:

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 32 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Dalle analisi di laboratorio eseguite sui campioni prelevati si sono ottenuti i seguenti valori dei parametri di resistenza (**Figura 37, Figura 38, Figura 39, Figura 40**):

$$c' = 0 \div 30 \text{ kPa} \quad \text{coesione drenata}$$

$$\phi' = 22 \div 35^\circ \quad \text{angolo di resistenza al taglio}$$

$$\phi_r' = 20-24^\circ \quad \text{angolo di resistenza al taglio residuo}$$

$$c_u = 50-300 \text{ kPa} \quad \text{resistenza al taglio in condizioni non drenate}$$

Nella **Figura 40** sono inseriti anche i valori di resistenza al taglio non drenata desunti dalle prove di Pocket Penetrometer e dall'interpretazione delle prove SPT, che hanno fornito valori molto dispersi tra 75 e maggiori di 700 kPa nei livelli più consistenti.

In **Figura 41** **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** sono riportati i valori delle prove di laboratorio (parametri di picco e residui) e le correlazioni di progetto per l'unità, quindi si assumono i seguenti valori di progetto:

$$\phi' = 23 \div 30^\circ \quad \text{angolo di resistenza al taglio}$$

$$c' = 5 \div 15 \text{ kPa} \quad \text{coesione drenata}$$

$$c_u = 50-300 \text{ kPa} \quad \text{resistenza al taglio in condizioni non drenate}$$

Sono state inoltre eseguite prove di taglio in condizioni residue che hanno misurato angoli di resistenza al taglio simili a quelli ottenuti sui depositi eluvio colluviali:

$$\phi_r' = 20-22^\circ \quad \text{angolo di resistenza al taglio residuo}$$

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

#### Parametri di deformabilità:

Per l'unità in esame le caratteristiche di deformazione sono state stimate dalla prova Down-Hole (SN2120 tra 9 e 13 m da p.c.) e dalle correlazioni in base alle prove SPT. Da cui si stimano i seguenti valori del modulo di deformazione iniziale ().

$$G_o = 80 \div 350 \text{ MPa} \quad \text{modulo di deformazione a taglio iniziale}$$

$$E_o = 400 \div 900 \text{ MPa} \quad \text{modulo di deformazione elastico iniziale}$$

## **4.7 Formazione di camerino – unità pa / unità ap**

La formazione è stata intercettata nelle gallerie naturali S. Anna e Mecciano.

All'interno della formazione di Camerino si sviluppa la maggior parte del tracciato di progetto. Da una attenta analisi dei sondaggi è stato determinando lo spessore e la posizione degli strati arenacei e degli strati pelitico-marnosi, al fine di giungere ad una stima del rapporto arenaria/pelite secondo la classificazione AGI – 1979.

- **Unità Pa - Substrato Pelitico – Arenaceo con  $0,2 \leq A/P \leq 1$ :** rappresentata da litofacies pelitico-arenacee con un rapporto  $A/P < 1$ .
- **Unità Ap - Substrato Arenaceo – Pelitico  $A/P \geq 1$ :** formata essenzialmente da litofacies costituite da arenarie e marne siltose grigie con un rapporto  $A/P > 1$ .

Generalmente lungo il tracciato pare prevalere la componente pelitico-marnosa ( $A/P < 1$ ), il cui comportamento meccanico è principalmente governato dalla stratificazione e laminazione delle litofacies torbiditiche.

Comunque la distinzione geologica di facies, sicuramente corretta in relazione alla variabilità

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 33 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

granulometrica ed alla genesi dei materiali (fasi deposizionali connotate da differente energia), non è percorribile dal punto di vista prettamente geotecnico per i seguenti motivi:

- le due componenti litologiche, Ap e Pa, sono fittamente intercalate e difficilmente distinguibili alla scala di progetto;
- dalle prove di laboratorio non si riscontra una sostanziale differenza della distribuzione granulometrica fra le due associazioni (Pa e Ap, **Figura 44** e **Figura 45**); il contenuto di sabbia è generalmente inferiore al 50% che significa la presenza di una importante matrice fine (limo e argilla) che ne governa il comportamento meccanico;
- le prove meccaniche di resistenza condotte in laboratorio non evidenziano una sostanziale differenza di comportamento per le due facies. Questo in particolare è stato osservato con maggiore evidenza nell'adiacente lotto 2 interessato dalla stessa formazione di Camerino in quanto vi erano a disposizione molte prove di resistenza sui campioni prelevati per entrambe le facies.

Per gli stessi motivi sopra riportati, la corretta definizione del modello geotecnico è ricondotto ai principi di meccanica delle terre. Quindi in base al quadro conoscitivo complessivamente disponibile la caratterizzazione geotecnica si basa, in ordine di importanza:

- prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati, mediante un classico approccio di meccanica delle terre;
- prove pressiometriche in sito, con particolare riferimento ai parametri di deformabilità, che coinvolgendo un volume di materiale superiore forniscono valori maggiormente rappresentativi riferiti alla scala di progetto;
- in sub-ordine per confronto, mediante indici di classificazioni dell'ammasso, basati sull'esame visivo ed i rilievi geomeccanici eseguiti sulle carote.

Con riferimento a questo ultimo punto in **Figura 58** è riportata la classificazione delle unità con gli indici RMR e quindi definizione GSI, con la caratterizzazione geomeccanica delle stratigrafie dei sondaggi eseguiti nel tracciato. In particolare per l'unità di Camerino si è osservato:

unità Pa:  $GSI = 24 \div 42$  con valore medio 35

Unità Ap:  $GSI = 26 \div 51$  con valore medio 40

Nel seguito sono riportati i risultati delle prove di laboratorio e prove in sito per le due distinte facies (unità Ap ed unità Pa) ed interpretati al fine di pervenire ai parametri di resistenza e deformabilità.

Per l'unità Pa, il peso di volume naturale è compreso generalmente fra 19.0 e 24.0 kN/m<sup>3</sup> (media 22.5 kN/m<sup>3</sup>) (**Figura 43**).

Dalle analisi granulometriche sull'unità Pa si ha (**Figura 44**).

- percentuale di sabbia generalmente compresa fra 0 e 40% (media 12%);
- percentuale di fine (limo+argilla) 48 e 99% (media 87%), con percentuale di limo compresa fra 26 e 60% (media 45%) e percentuale di argilla compresa fra 40 e 67% (media 42%).

Per l'unità Ap, il peso di volume naturale è compreso generalmente fra 21.0 e 25.5 kN/m<sup>3</sup> (media 23.5 kN/m<sup>3</sup>) (**Figura 43**).

Dalle analisi granulometriche sull'unità Ap si ha (**Figura 45**).

- percentuale di sabbia generalmente compresa fra 38 e 62%;
- percentuale di fine (limo+argilla) tra 40 e 60%, con percentuale di limo compresa fra 30 e 40% e percentuale di argilla compresa fra 20 e 30%.

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 34 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Si osserva che la differenziazione delle facies, non trova completo riscontro nella distribuzione granulometrica determinata in laboratorio, ma questo è probabilmente riconducibile anche al prelievo di campioni, infatti i campioni indisturbati sono più facilmente stati estratti nella facies pelitica. Quindi da laboratorio, la percentuale di fine è quella prevalente (limo e argilla) con percentuali variabili tra 45÷100%; costituisce la matrice del materiale e ne governa il comportamento meccanico dell'ammasso.

#### 4.7.1 Parametri di resistenza

Dalle analisi di laboratorio complessivamente disponibili si sono ottenuti i valori dei parametri di resistenza mostrati in **Figura 46**.

I dati di laboratorio disponibili sono pochi, ma d'altra parte è necessario tenere conto che nelle formazioni attraversate, la caratterizzazione meccanica può risultare sbilanciata dalla tipologia di campionamento, non sempre di buona qualità per la difficoltà di campionamento. Le porzioni litoidi compatte ed integre sono più facilmente campionabili, meno dati sono invece disponibili per i campioni delle porzioni più destrutturati, ovvero terrigeni, per le inevitabili difficoltà di campionamento, prima, e confezionamento dei provini poi. Inoltre per materiali strutturalmente complessi occorre considerare come la presenza e l'orientamento delle discontinuità/laminazioni può influenzare la resistenza misurata durante la prova. Pertanto le resistenze massime misurate in laboratorio sono rappresentative delle porzioni di materiale maggiormente intatto e/o con laminazioni orientate favorevolmente, mentre le resistenze minime sono rappresentative dei campioni confezionati con l'orientamento più sfavorevole delle discontinuità presenti.

Per l'unità Pa, la resistenza a compressione monoassiale è compresa fra 0.1 e 4 MPa con valore medio 1.5 MPa (vedasi **Figura 48**).

Per l'unità Ap, la resistenza a compressione monoassiale è compresa fra 1 e 30 MPa con valore medio 10 MPa (vedasi **Figura 48**).

In **Figura 49**, **Figura 50**, **Figura 51** sono mostrati i risultati della caratterizzazione (fatta con Hoek e Brown) per le unità Ap e Pa, eseguite considerando GSI e resistenza a compressione monoassiale media, parametro  $m_i = 7$  e coefficiente di disturbo  $D = 0.5$ .

La caratterizzazione geomeccanica è stata fatta con il programma RocLab con riferimento a diverse profondità (per le opere in progetto da 15 a 75 m) e con peso di volume medio (pari a 23.5 kN/m<sup>3</sup> per unità Ap e 22.5 kN/m<sup>3</sup> per unità Pa).

Per l'unità Pa i parametri di resistenza ottenuti con la caratterizzazione Hoek e Brown sono stati graficati con i risultati delle prove di laboratorio, vedasi **Figura 47**; da cui si evince che l'involuppo dei valori medi e massimi della caratterizzazione eseguita con metodologia Hoek e Brown ben interpola i dati di laboratorio. Per l'unità Ap non è stato possibile eseguire un grafico simile in quanto non si hanno dati di laboratorio.

Quindi per le unità sono stati distinti i seguenti parametri di resistenza in funzione della profondità di riferimento da p.c. (z).

**Unità Ap – substrato arenaceo pelitico**

$$\gamma = 23.5 \text{ kN/m}^3$$

peso di volume naturale

Z [m]	c' [kPa]	$\phi'$ [°]
15	70÷100	36
25	100÷150	32÷36
50	150÷200	27÷32
75	200÷250	25÷30

**Unità Pa – Substrato pelitico arenaceo**

$$\gamma = 22.5 \text{ kN/m}^3$$

peso di volume naturale

Z [m]	c' [kPa]	$\phi'$ [°]
20	35÷80	23÷31
30	80÷120	22÷28
50	120÷150	20÷26

**4.7.2 Parametri di deformabilità**

In **Figura 53** sono riportati tutti i valori del modulo di deformazione elastico operativo  $E'_{\text{operativo}}$  ottenuti dalle varie prove disponibili (prove dilatometriche, pressiometriche e prove triassiali di laboratorio).

Il grafico include anche i moduli operativi determinati alla luce delle prove triassiali di laboratorio ( $E'_{50}$ ), opportunamente amplificati (x 2.5 volte) per considerare il minore livello deformativo atteso in esercizio durante lo scavo delle gallerie (0.1-1.0%), rispetto a quello mediamente testato in laboratorio al 50% della rottura (circa 2%). Infatti, considerando le tipiche curve di decadimento  $G/G_0=f(\epsilon_a)$  si valuta un rapporto tra il modulo elastico misurato ( $E'_{50}$ ) e quello operativo ( $E'_{\text{op}}$ ) compreso tra 2÷3 volte (vedasi **Figura 52** **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

In progetto si assume la seguente correlazione in funzione della profondità (graficata anch'essa in **Figura 53**). Tale andamento, oltre i 40m di profondità, è un po' maggiore rispetto a quello di PD in relazione al fatto che nel PD era stato definito sui risultati delle prove del lotto 2 (in quanto quelle del lotto in esame non erano ancora disponibili), mentre in sede di PE l'andamento del modulo è stato tarato sulle prove del lotto in esame.

$$E'_{\text{operativo}} = 20 + 5.75 \cdot z \text{ MPa per } z < 40\text{m}$$

$$E'_{\text{operativo}} = 100 + 3.75 \cdot z \text{ MPa per } z > 40\text{m}.$$

**4.7.3 Permeabilità**

In corrispondenza dell'unità Pa sono disponibili prove di permeabilità Lefranc e Lugeon che hanno fornito valori compresi tra 5.79 E-09 e 1.07E-08 m/s, mentre per l'unità Ap è disponibile solo una prova Lefranc che ha fornito un valore di permeabilità di 1.10 E-08 m/s.

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 36 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

#### 4.8 FORMAZIONE DELLO SCHLIER – S<sub>CH</sub>

E' stata intercettata nella galleria S. Barbara.

Si tratta di alternanze di marne argillose, siltose e con intercalazioni di calcare detritico e calcareniti. A livello di ammasso prevale la componente marnosa più o meno argillosa.

Il peso di volume naturale è compreso mediamente fra 19.0 e 23.5 kN/m<sup>3</sup> (media 22 kN/m<sup>3</sup>) (vedasi **Figura 54**).

Dalle analisi di laboratorio disponibili si sono ottenuti i valori dei parametri di resistenza mostrati in **Figura 46**:  $c' = 23-65$  kPa e  $\phi' = 23-26^\circ$

Sui campioni litoidi sono state eseguite prove di compressione monoassiale **Figura 48** che hanno dato resistenza compresa fra 1 e 14 MPa con valore medio 8 MPa e decimo percentile 3 MPa:  $\sigma_c = 1 \div 14$  MPa,  $\sigma_{c,media} = 8$  MPa,  $\sigma_{c,10\%} = 3$  MPa.

Dalle stratigrafie dei sondaggi è stato eseguito il rilievo geomeccanico ai fini della caratterizzazione dell'ammasso roccioso e quindi si è pervenuti ad un range di valori per il parametro GSI (**Figura 58**):  $GSI = 25 \div 38$  (valore medio 33).

In **Figura 56**, **Figura 57** sono mostrati i risultati della caratterizzazione Hoek e Brown eseguite considerando GSI e resistenza a compressione monoassiale media, parametro  $m_i = 7$  e coefficiente di disturbo  $D = 0.5$ .

La caratterizzazione geomeccanica è stata fatta con il programma RocLab con riferimento a diverse profondità (per le opere in progetto da 20 a 50 m) e con peso di volume medio 22 kN/m<sup>3</sup>.

I parametri di resistenza ottenuti con la caratterizzazione Hoek e Brown sono stati graficati con i risultati delle prove di laboratorio, vedasi **Figura 55**; da cui si evince che i dati di laboratorio si attestano sul range di valori medi.

Quindi per le unità sono stati distinti i seguenti parametri di resistenza in funzione della profondità di riferimento da p.c. (z).

Z [m]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
20	55 ÷ 70	29 ÷ 33
30	70 ÷ 90	27 ÷ 31
50	90 ÷ 250	25 ÷ 30

In **Figura 53** sono riportati tutti i valori del modulo di deformazione elastico operativo  $E'_{operativo}$  ottenuti dalle varie prove disponibili (prove dilatometriche, pressiometriche e prove triassiali di laboratorio).

In progetto si assume la seguente correlazione in funzione della profondità (graficata anch'essa in **Figura 53**). Tale andamento, oltre i 40m di profondità, è un po' maggiore rispetto a quello di PD in relazione al fatto che nel PD era stato definito sui risultati delle prove del lotto 2 (in quanto quelle del lotto in esame non erano ancora disponibili), mentre in sede di PE l'andamento del modulo è stato tarato sulle prove del lotto in esame.

$$E'_{operativo} = 20 + 5.75 \cdot z \text{ MPa per } z < 40\text{m}$$

$$E'_{operativo} = 100 + 3.75 \cdot z \text{ MPa per } z > 40\text{m.}$$

In corrispondenza dell'unità in esame sono disponibili prove di permeabilità Lefranc e Lugeon che hanno fornito valori compresi tra 3.00 E-10 e 1.44E-08 m/s.

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 37 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

## 4.9 Sintesi dei parametri geotecnici di progetto

Nel seguito si riassumono i parametri geotecnici di progetto per le unità geotecniche intercettate dagli scavi delle gallerie naturali in progetto.

### Unità Ecla - Depositi eluvio colluviali limoso argillosi

$\gamma = 18.5 \div 20.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 23 \div 28^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 5 \div 15 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi_r' = 14 \div 21^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_r' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata residua
$c_u = 50 \div 220 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$G_o = 20 \div 160 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 60 \div 400 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

### Unità a – Coltri in frana

$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 22 \div 28^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi_r' = 18^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_r' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata residua
$c_u = 20 \div 120 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 60 \div 300 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

### Unità Aate - Depositi alluvionali terrazzati antichi limoso sabbiosi argillosi

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 27 \div 36^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 5 \div 15 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi_r' = 26^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_r' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata residua
$c_u = 70 \div 170 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$G_o = 30 \div 260 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 80 \div 600 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

### Unità Salt – Substrato alterato argilloso limoso

$\gamma = 19.0 \div 21.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 23 \div 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 5 \div 15 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi_r' = 20 \div 22^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_r' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata residua
$c_u = 50 \div 300 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$G_o = 80 \div 350 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 400 \div 900 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

**Unità Ap – substrato arenaceo pelitico**

$$\gamma = 23.5 \text{ kN/m}^3$$

peso di volume naturale

$$E'_{op} = 20 + 5.75 \cdot z \text{ MPa per } z < 40\text{m}$$

modulo di deformazione elastico operativo

$$E'_{op} = 100 + 3.75 \cdot z \text{ MPa per } z > 40\text{m}$$

Z [m]	c' [kPa]	$\phi'$ [°]
15	70 ÷ 100	36
25	100 ÷ 150	32 ÷ 36
50	150 ÷ 200	27 ÷ 32
75	200 ÷ 250	25 ÷ 30

**Unità Pa – Substrato pelitico arenaceo**

$$\gamma = 22.5 \text{ kN/m}^3$$

peso di volume naturale

$$E'_{op} = 20 + 5.75 \cdot z \text{ MPa per } z < 40\text{m}$$

modulo di deformazione elastico operativo

$$E'_{op} = 100 + 3.75 \cdot z \text{ MPa per } z > 40\text{m}$$

Z [m]	c' [kPa]	$\phi'$ [°]
20	35 ÷ 80	23 ÷ 31
30	80 ÷ 120	22 ÷ 28
50	120 ÷ 150	20 ÷ 26

**Unità Sch – Formazione dello Schlier**

$$\gamma = 22.0 \div 24.0 \text{ kN/m}^3$$

peso di volume naturale

$$E'_{op} = 20 + 5.75 \cdot z \text{ MPa per } z < 40 \text{ m}$$

modulo di deformazione elastico operativo

$$E'_{op} = 100 + 3.75 \cdot z \text{ MPa per } z > 40\text{m}$$

Z [m]	c' [kPa]	$\phi'$ [°]
20	55 ÷ 70	29 ÷ 33
30	70 ÷ 90	27 ÷ 31
50	90 ÷ 250	25 ÷ 30

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 39 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

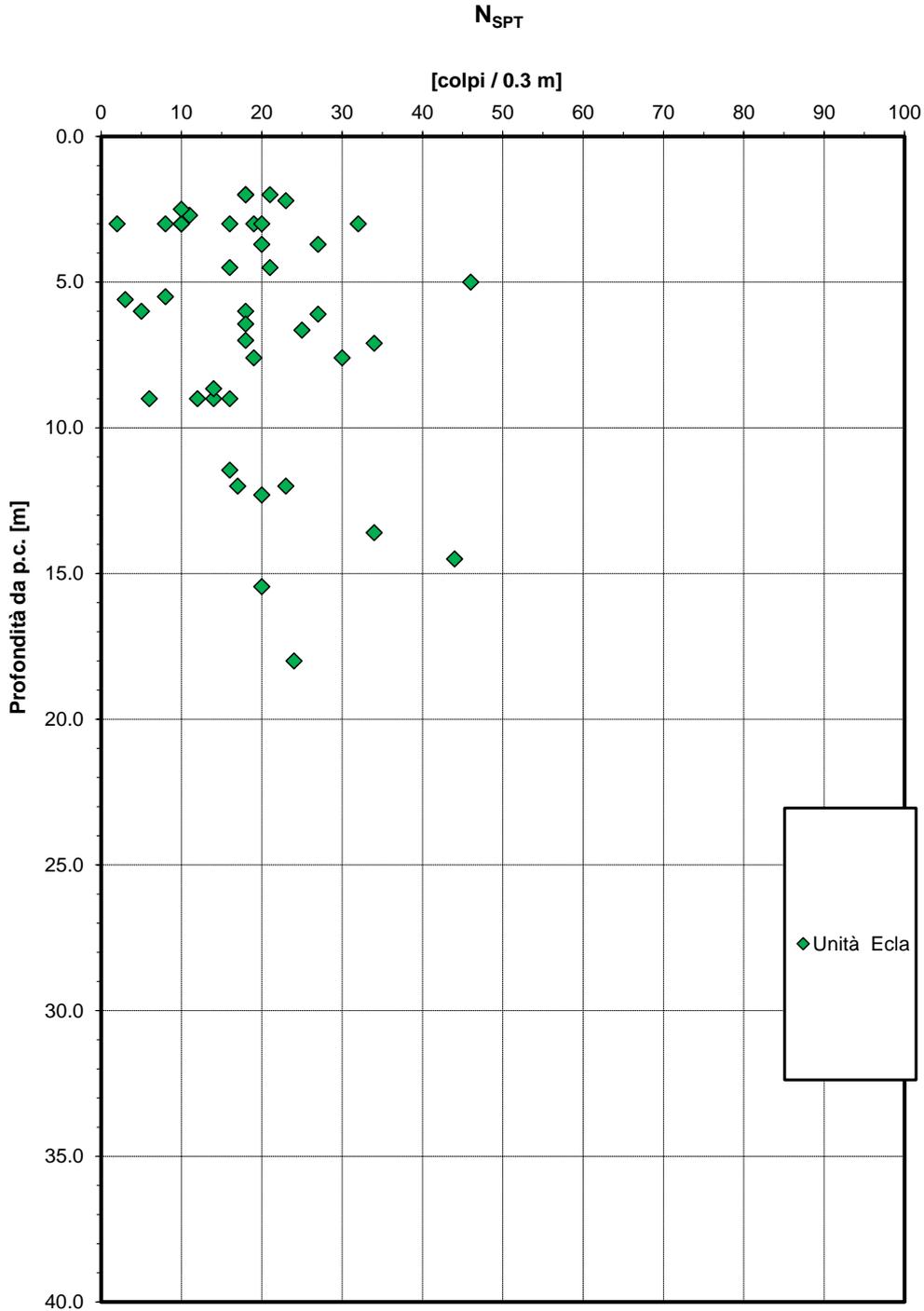


Figura 4 – Valori di N<sub>SPT</sub> – Unità Ecla

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 40 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### Peso di volume

$\gamma$  [kN/m<sup>3</sup>]

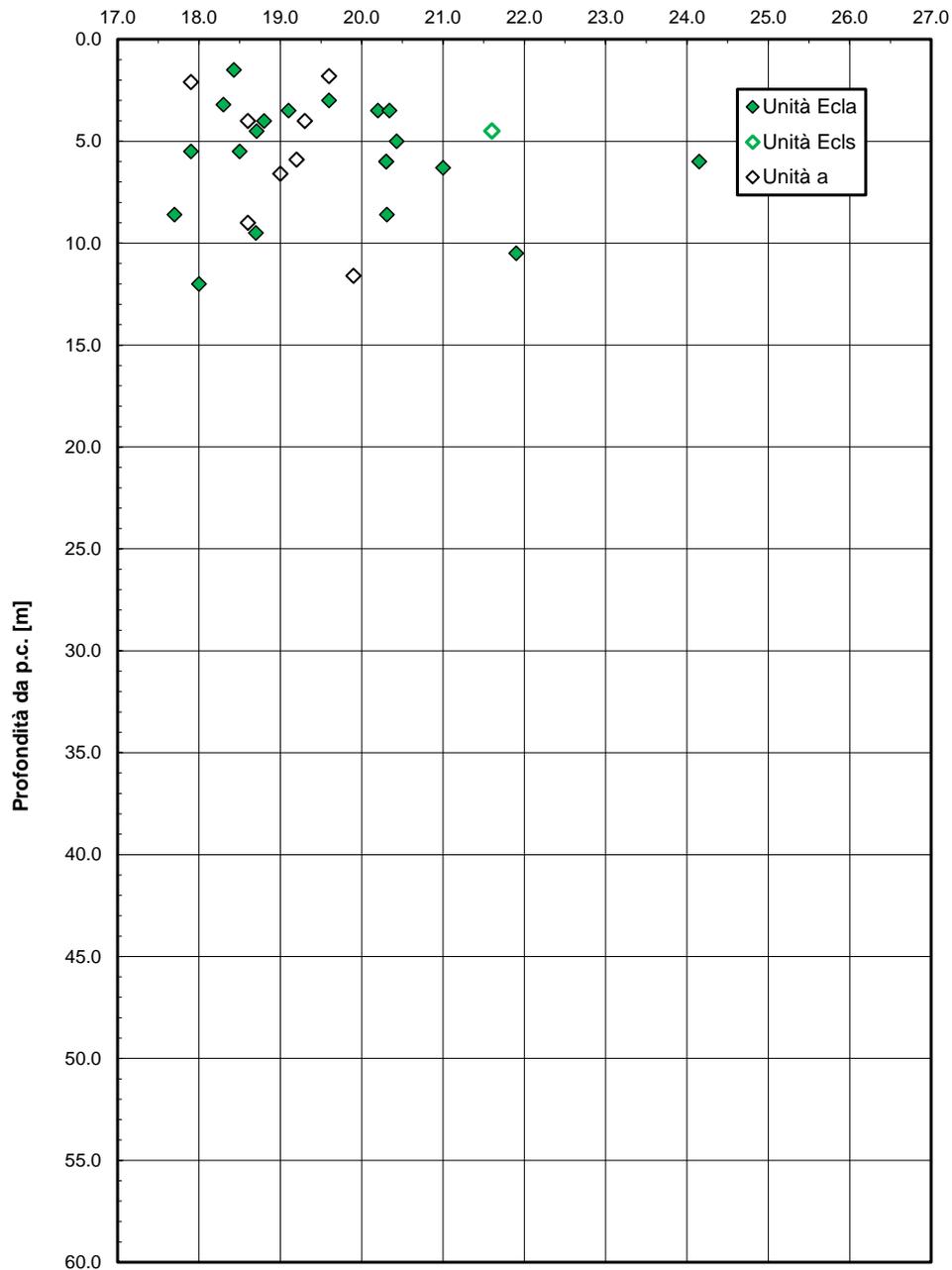


Figura 5 – Peso di volume naturale – Unità Ecla, unità Ecls, unità a

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 41 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

**Granulometria unità Ecla**

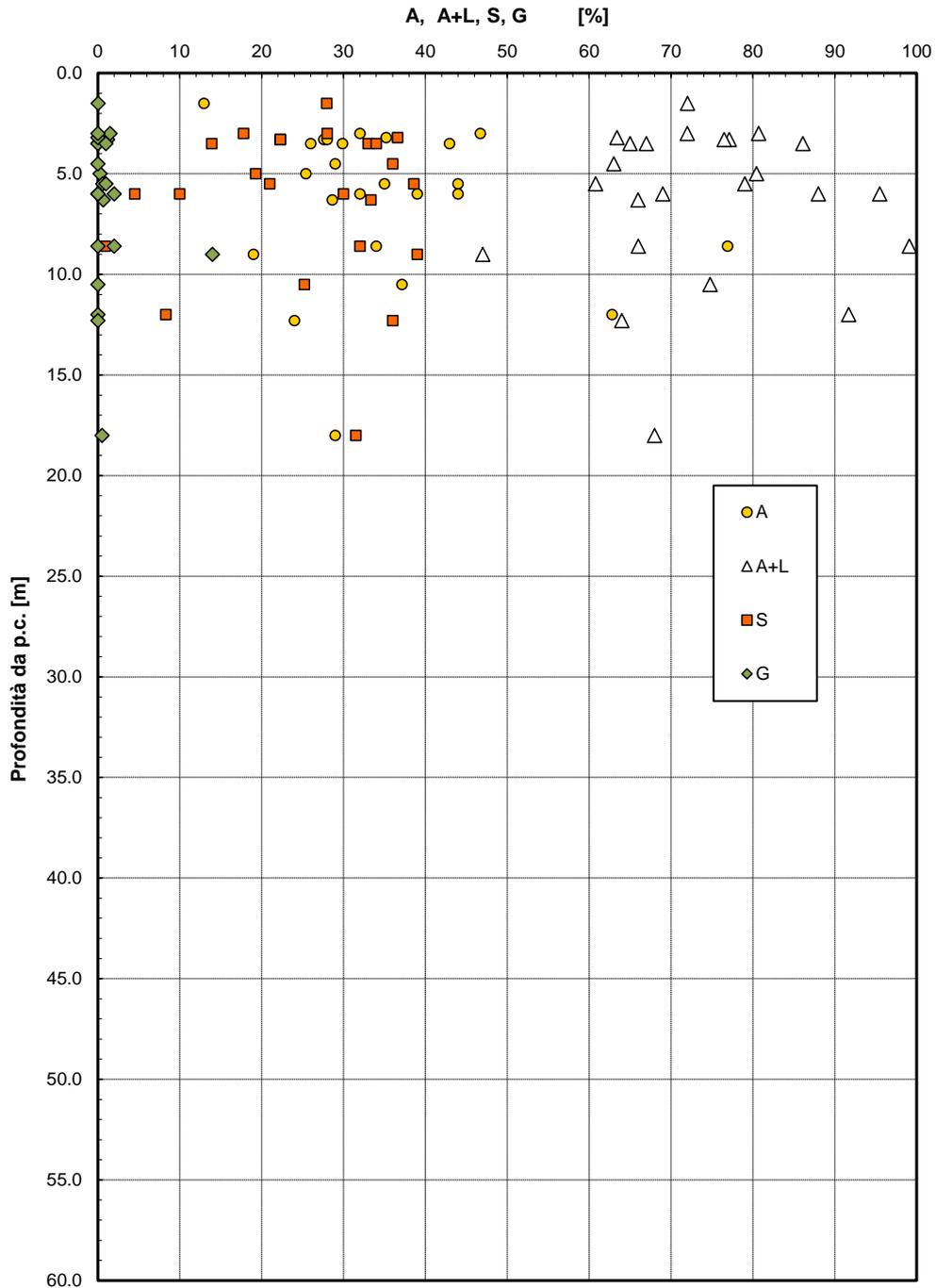


Figura 6 – Analisi granulometrica – Unità Ecla

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 42 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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

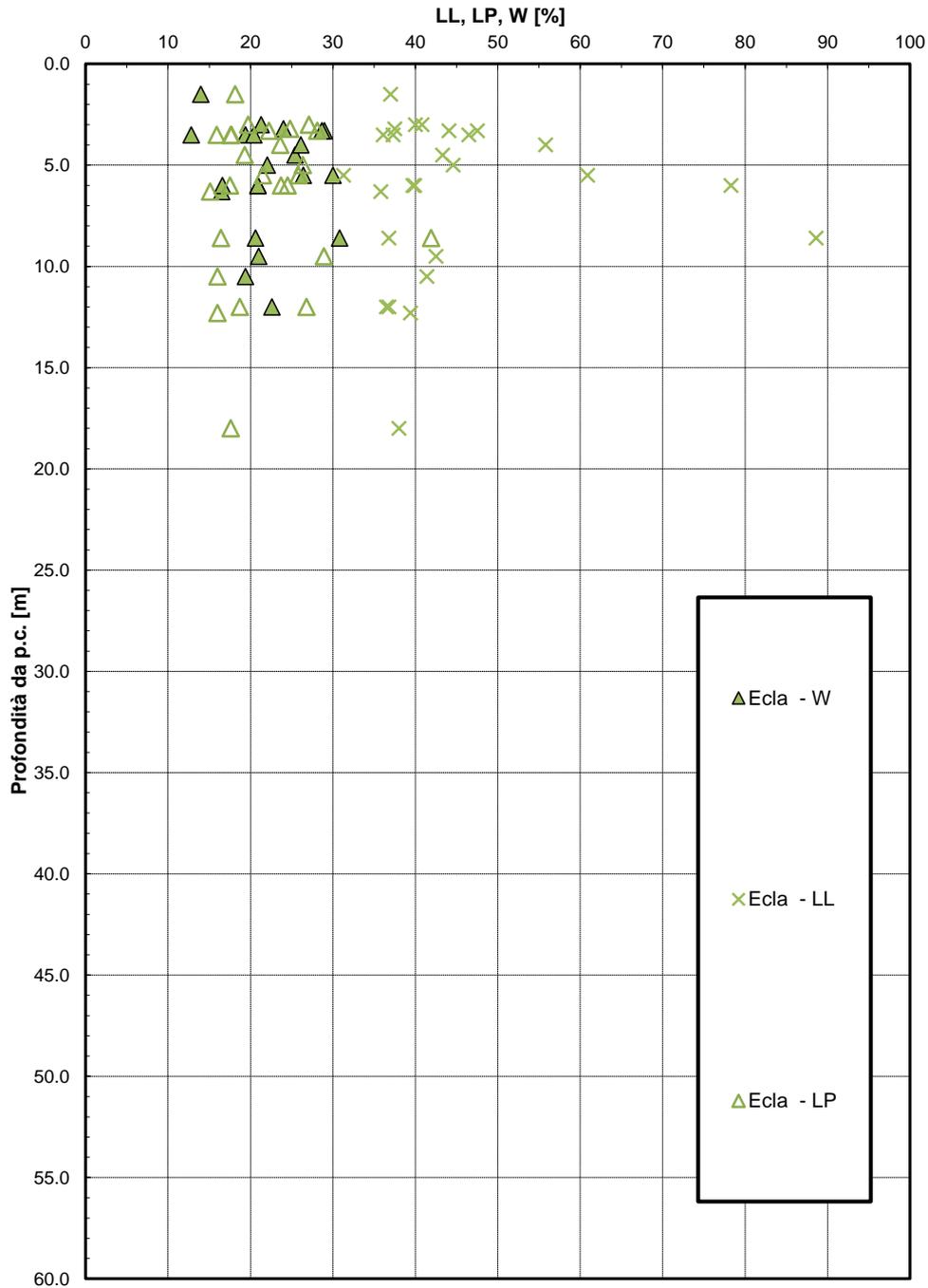


Figura 7 – Limiti di Atterberg – Unità Ecla

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 43 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

*Carta di Plasticità di Casagrande*

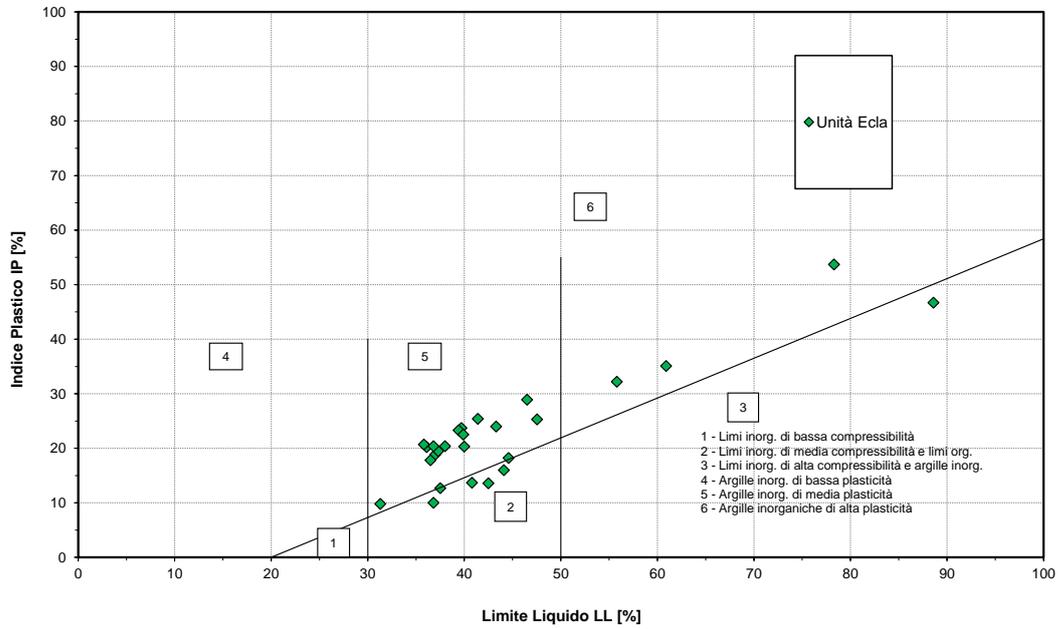


Figura 8 – Carta di plasticità di Casagrande – Unità Ecla

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

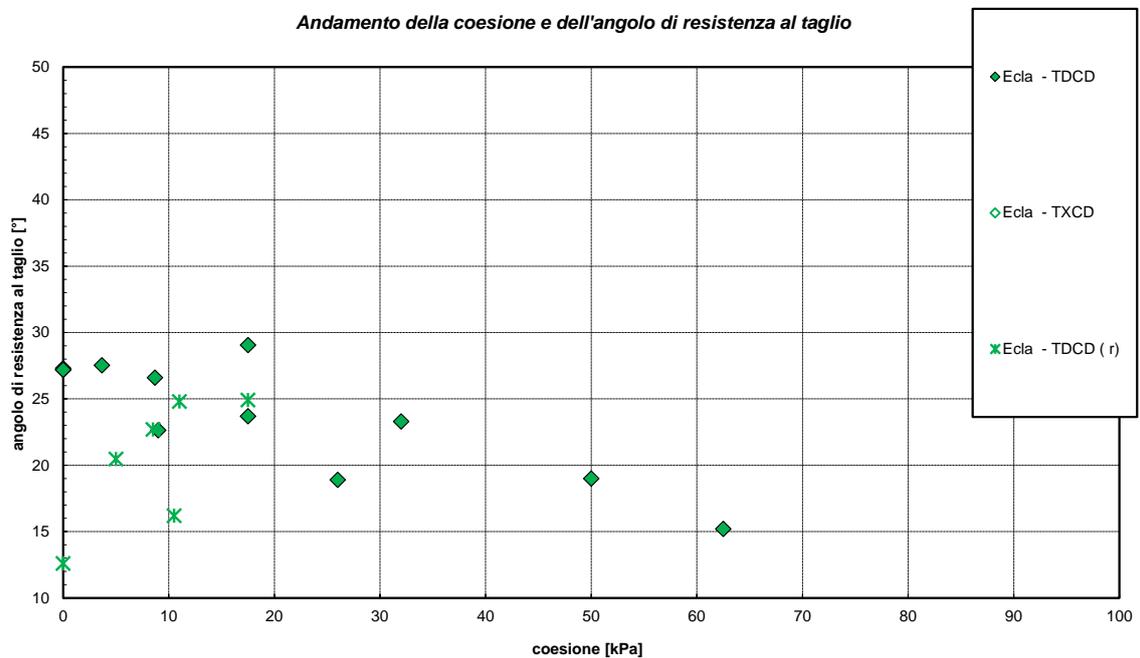


Figura 9 – Angolo di resistenza al taglio e coesione drenata – Unità Ecla

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 44 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

**Andamento della coesione con la profondità**

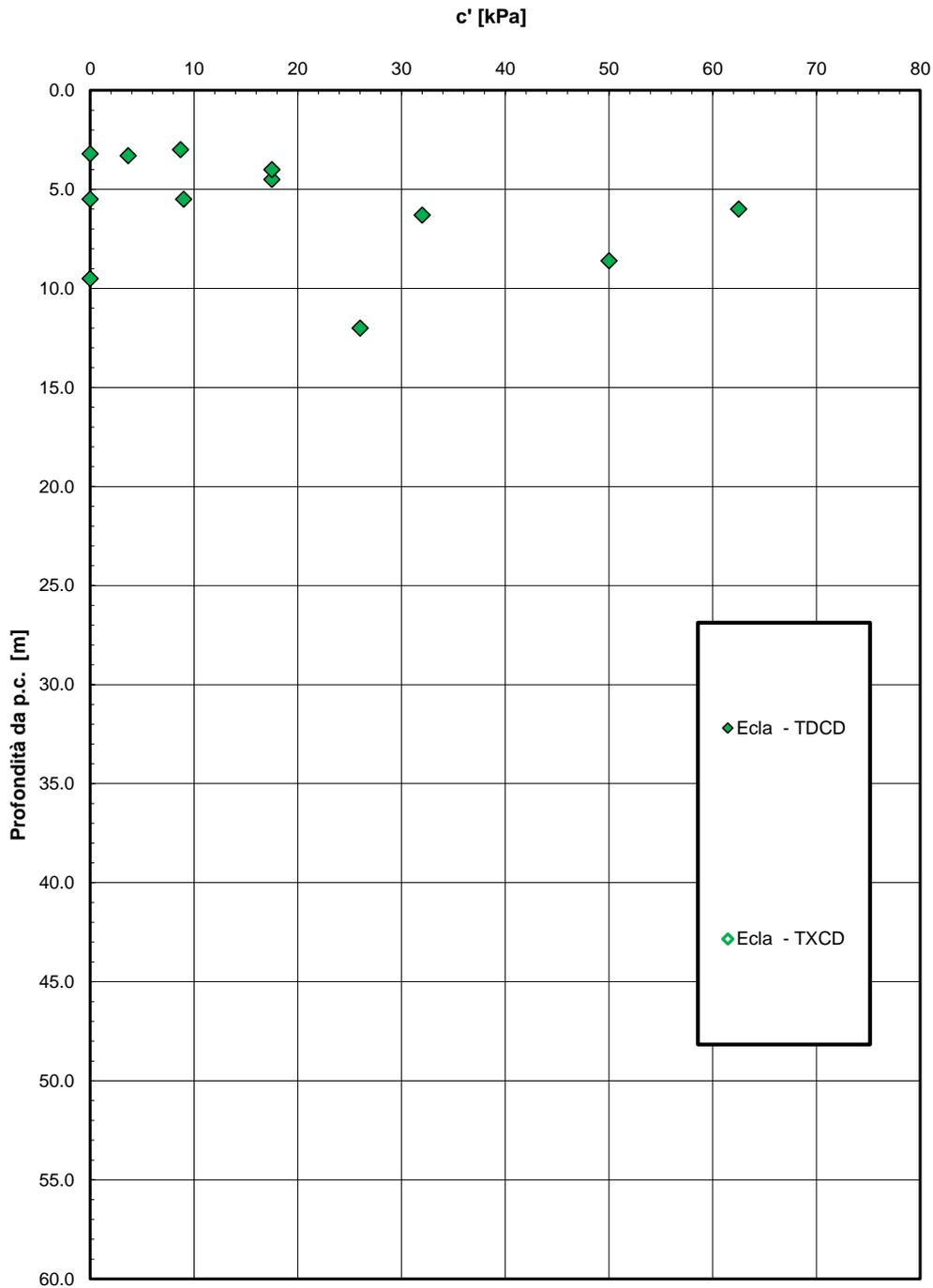


Figura 10 – Andamento della coesione con la profondità – Unità Ecla

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 45 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### Andamento della resistenza al taglio con la profondità

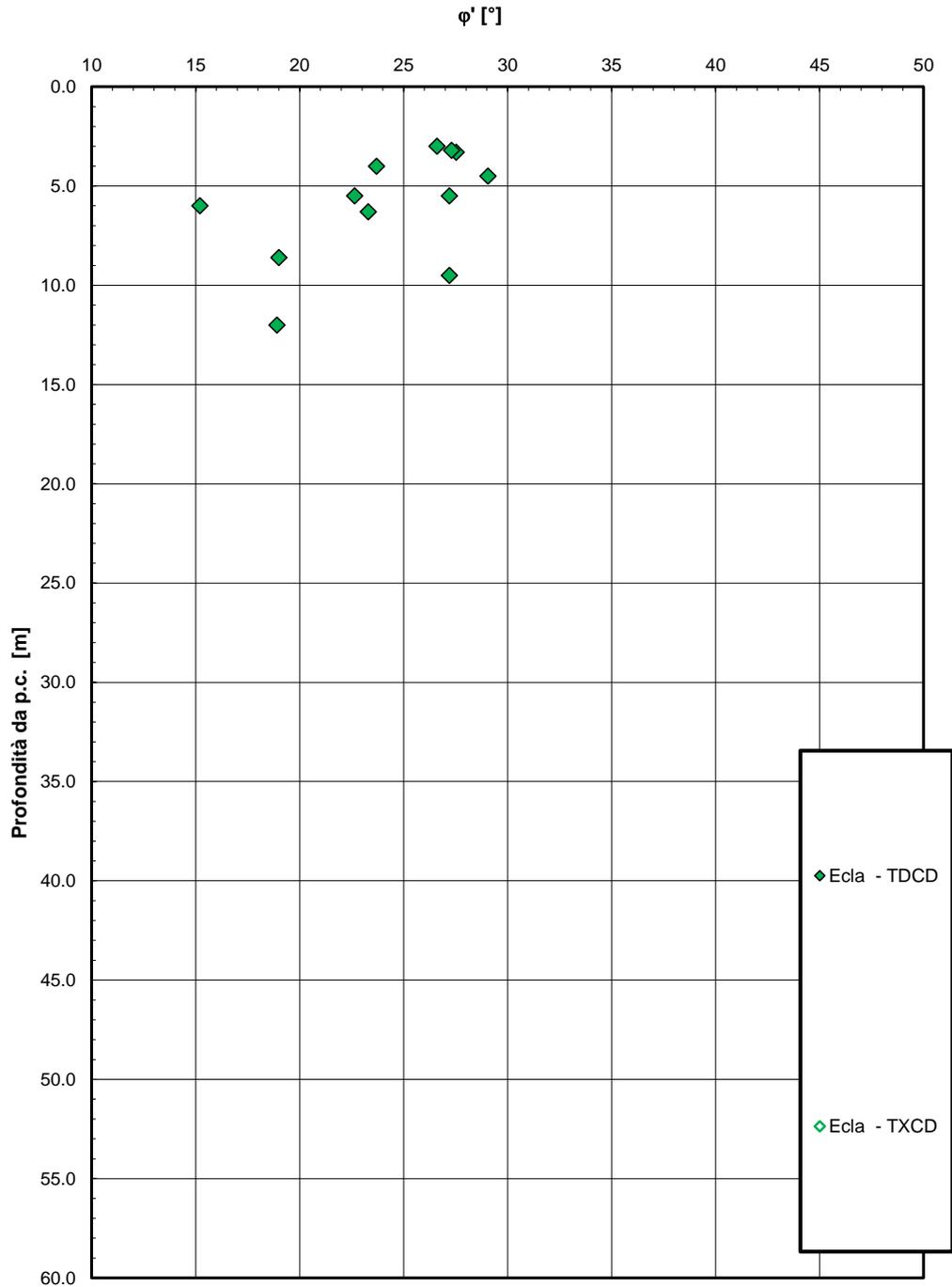


Figura 11 – Andamento della resistenza al taglio con la profondità – Unità Ecla

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 46 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

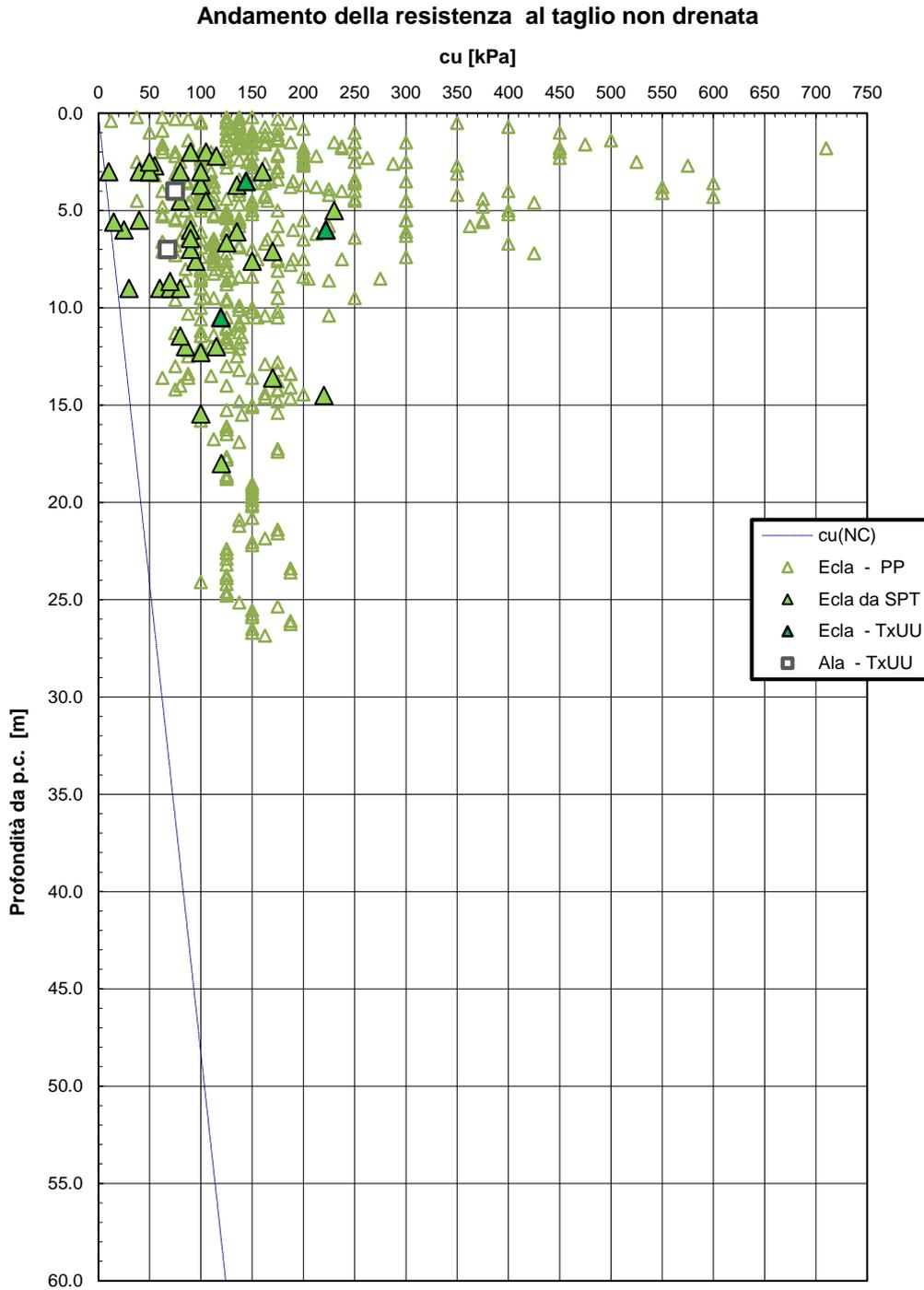


Figura 12 – Resistenza al taglio non drenata – Unità Ecla

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 47 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

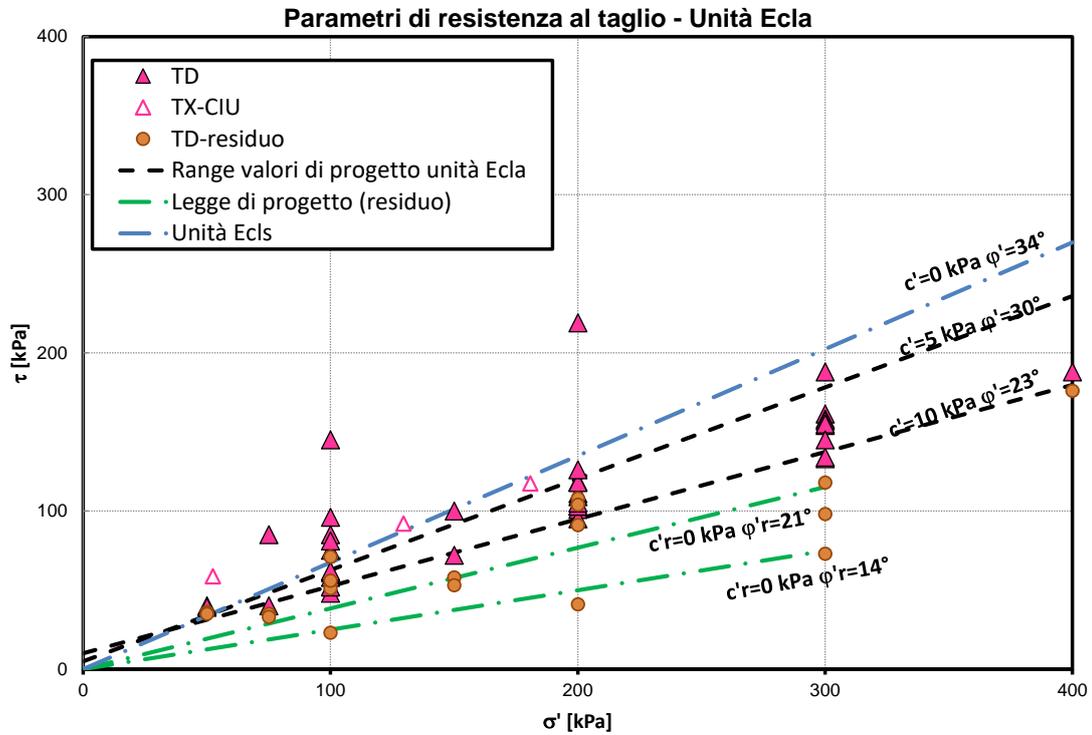


Figura 13 – Parametri di resistenza coltri eluvio colluviali– unità Ecla

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 48 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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

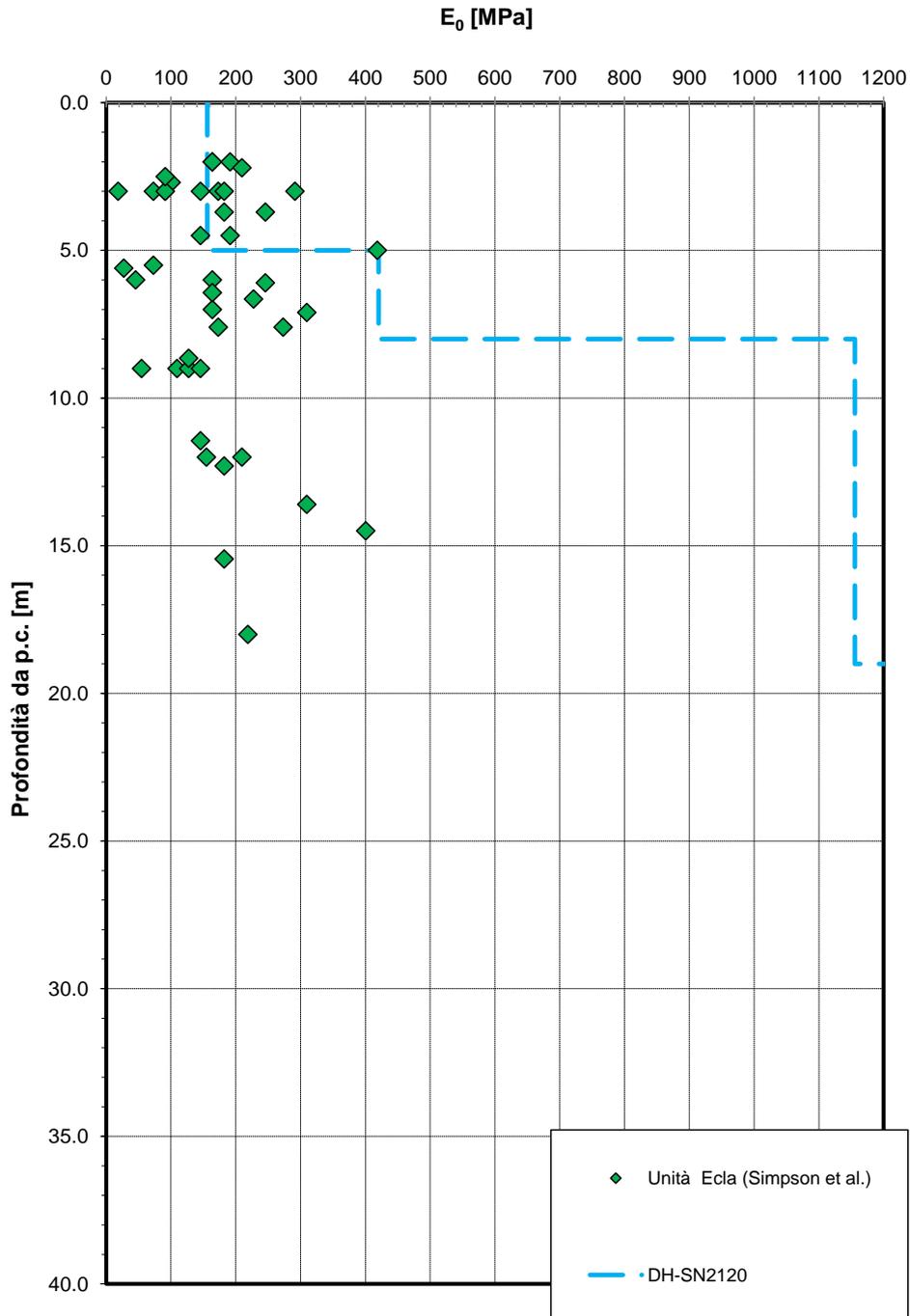


Figura 14 – Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT e sismiche – Unità Ecla

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 49 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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

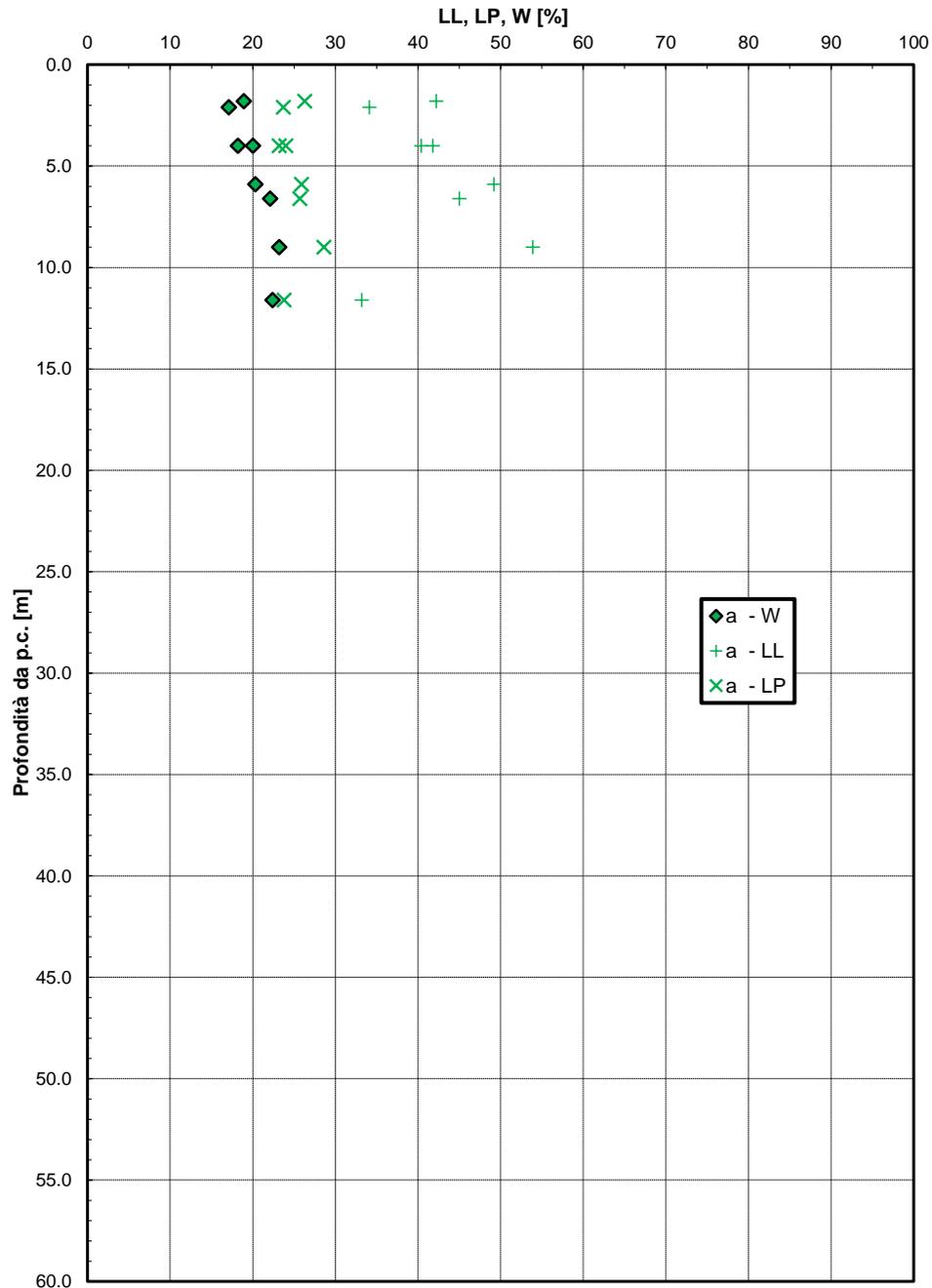


Figura 15 – Limiti di Atterberg – Unità a

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 50 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

**Granulometria unità a**

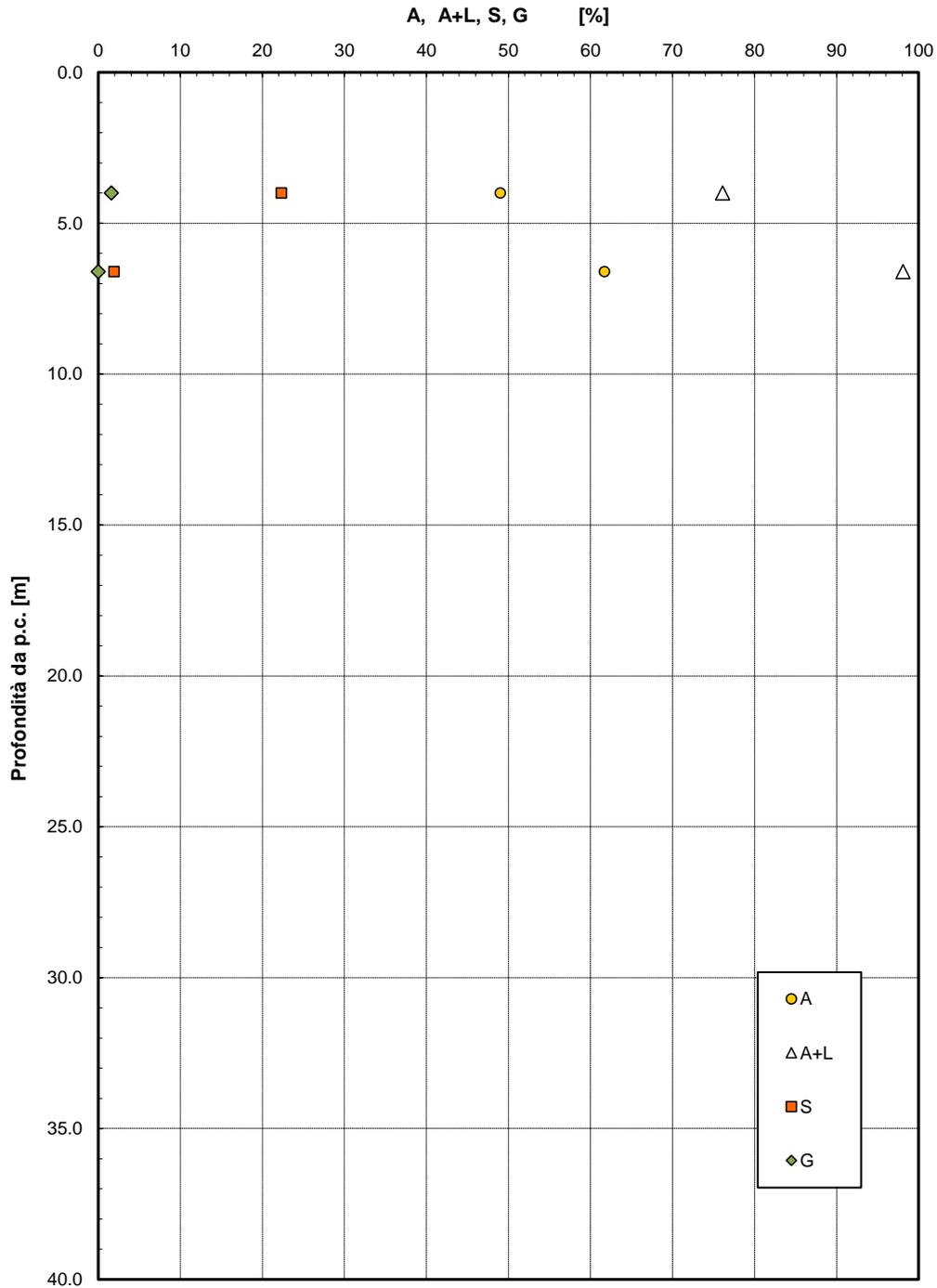


Figura 16 – Analisi granulometrica – Unità a

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 51 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

*Carta di Plasticità di Casagrande*

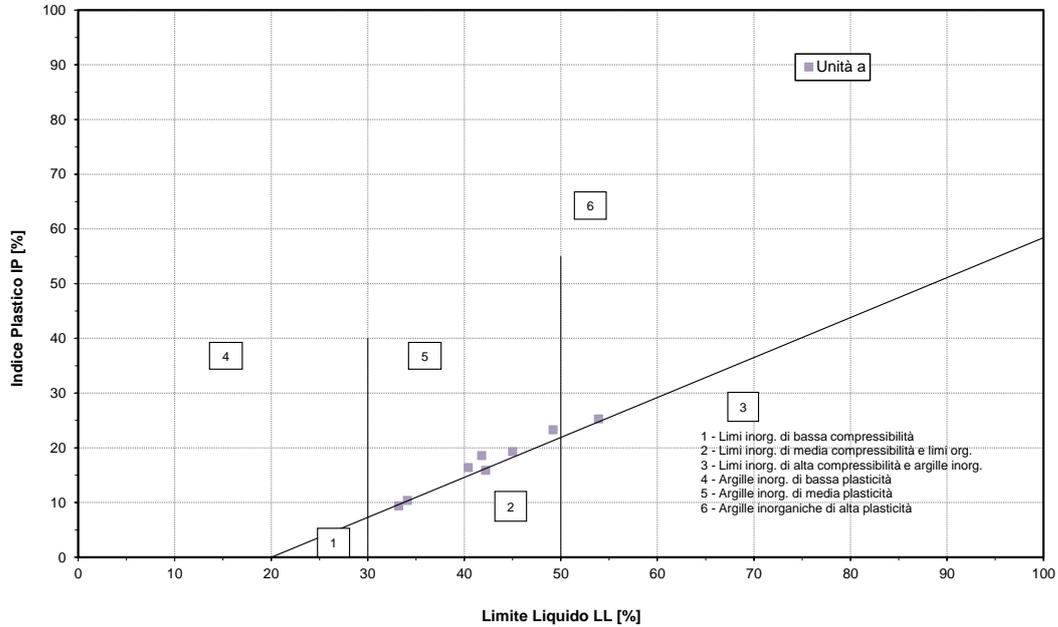


Figura 17 – Carta di plasticità di Casagrande – Unità a

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

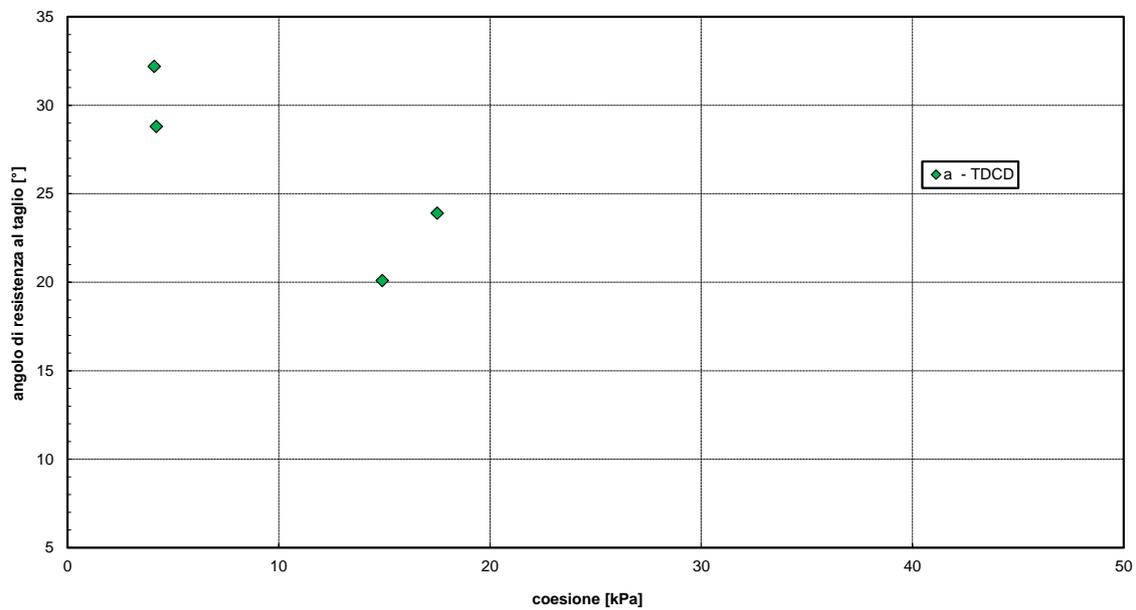


Figura 18 – Angolo di resistenza al taglio e coesione drenata – Unità a

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 52 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

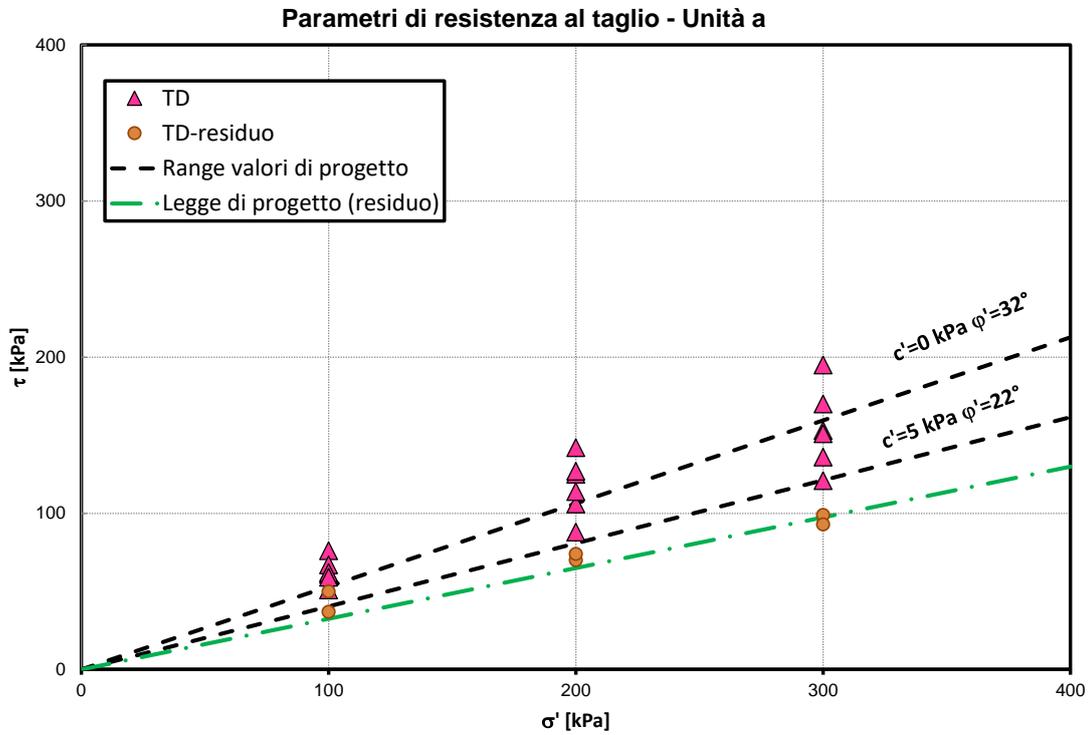


Figura 19 - Parametri di resistenza coltri eluvio colluviali coesive – unità a

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 53 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

**Andamento della resistenza al taglio non drenata**

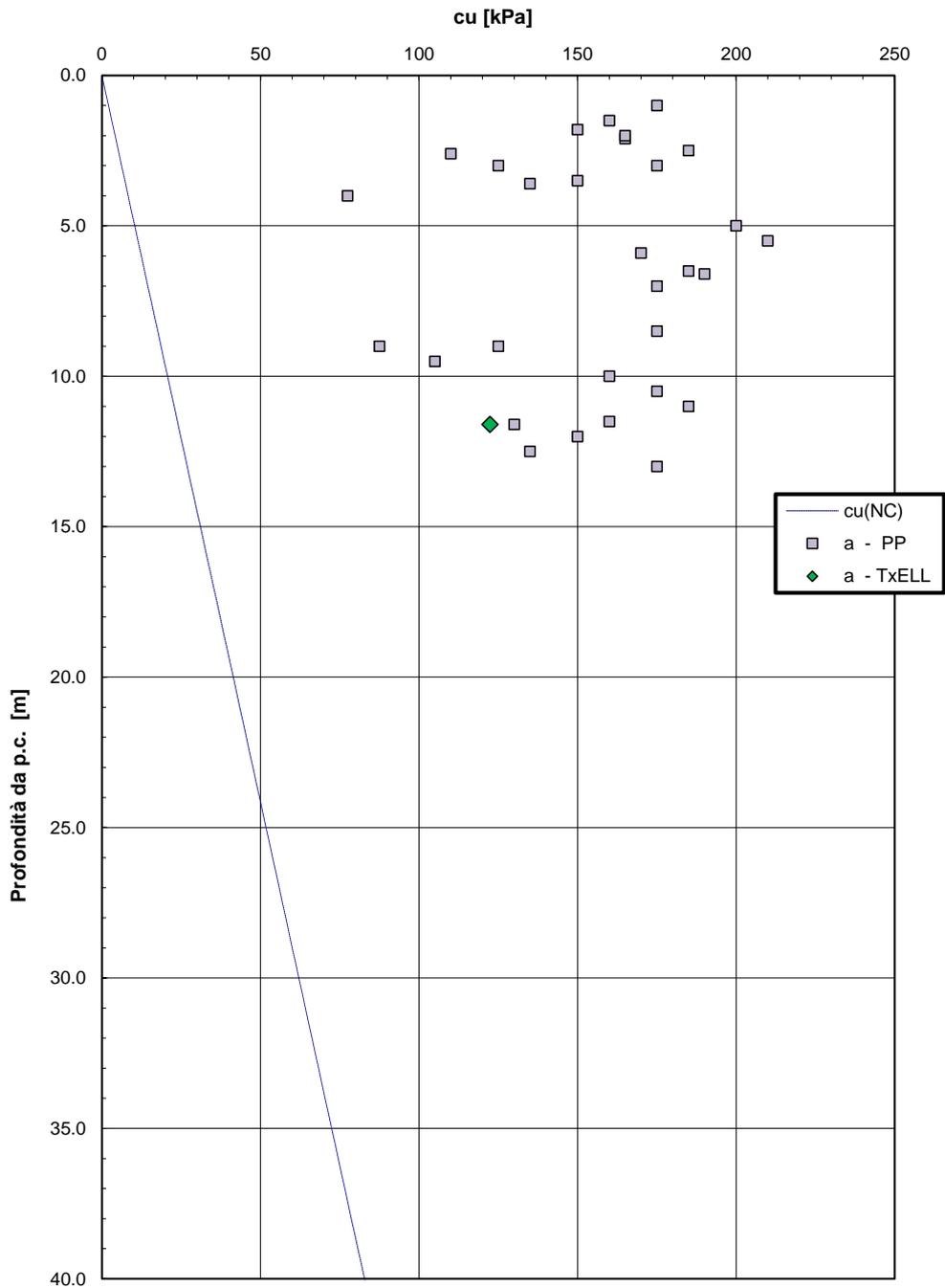


Figura 20 – resistenza al taglio non drenata – unità a

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 54 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

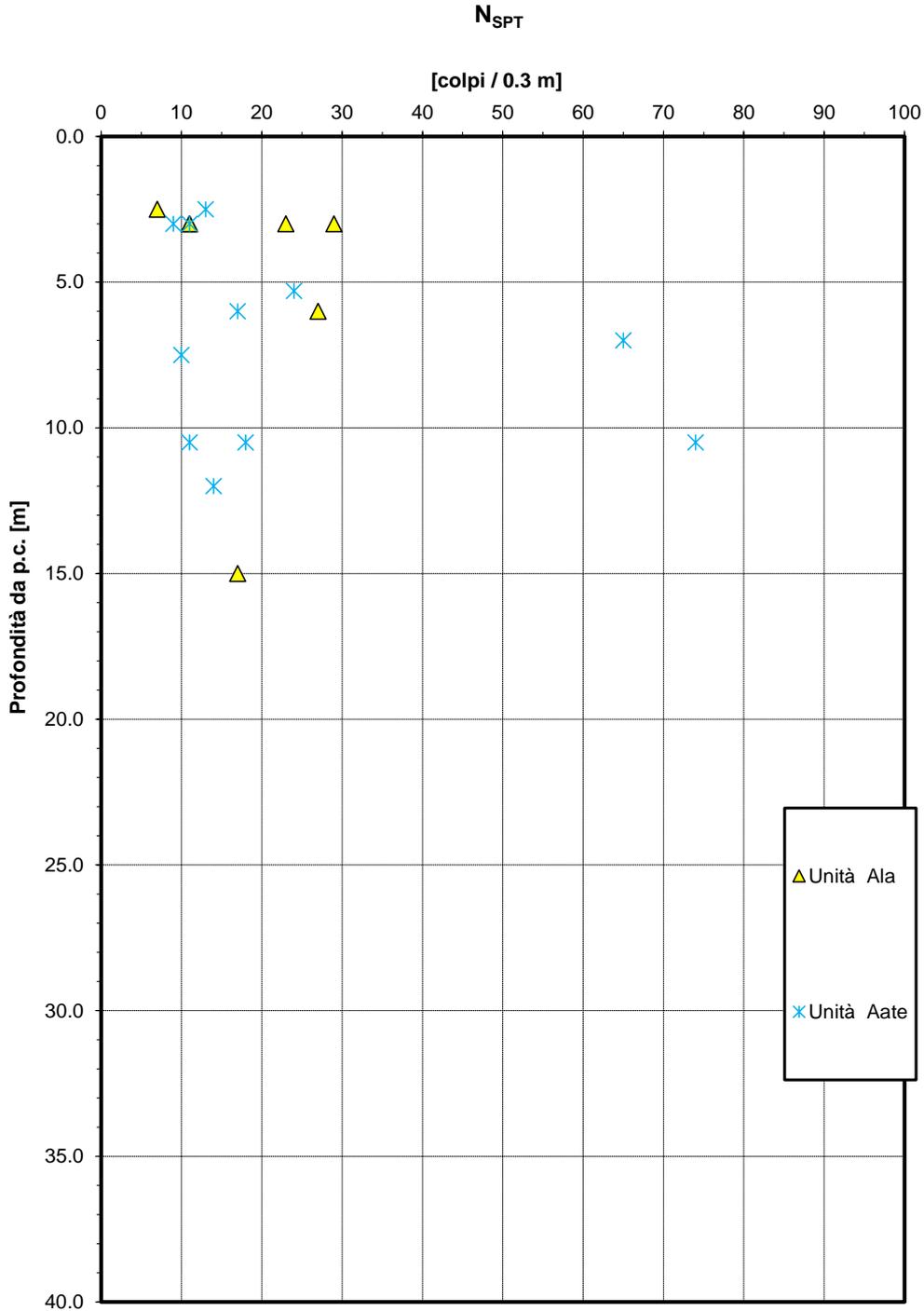


Figura 21 – Valori di NSPT – Unità Ala e unità Aate

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 55 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

**Peso di volume**

$\gamma$  [kN/m<sup>3</sup>]

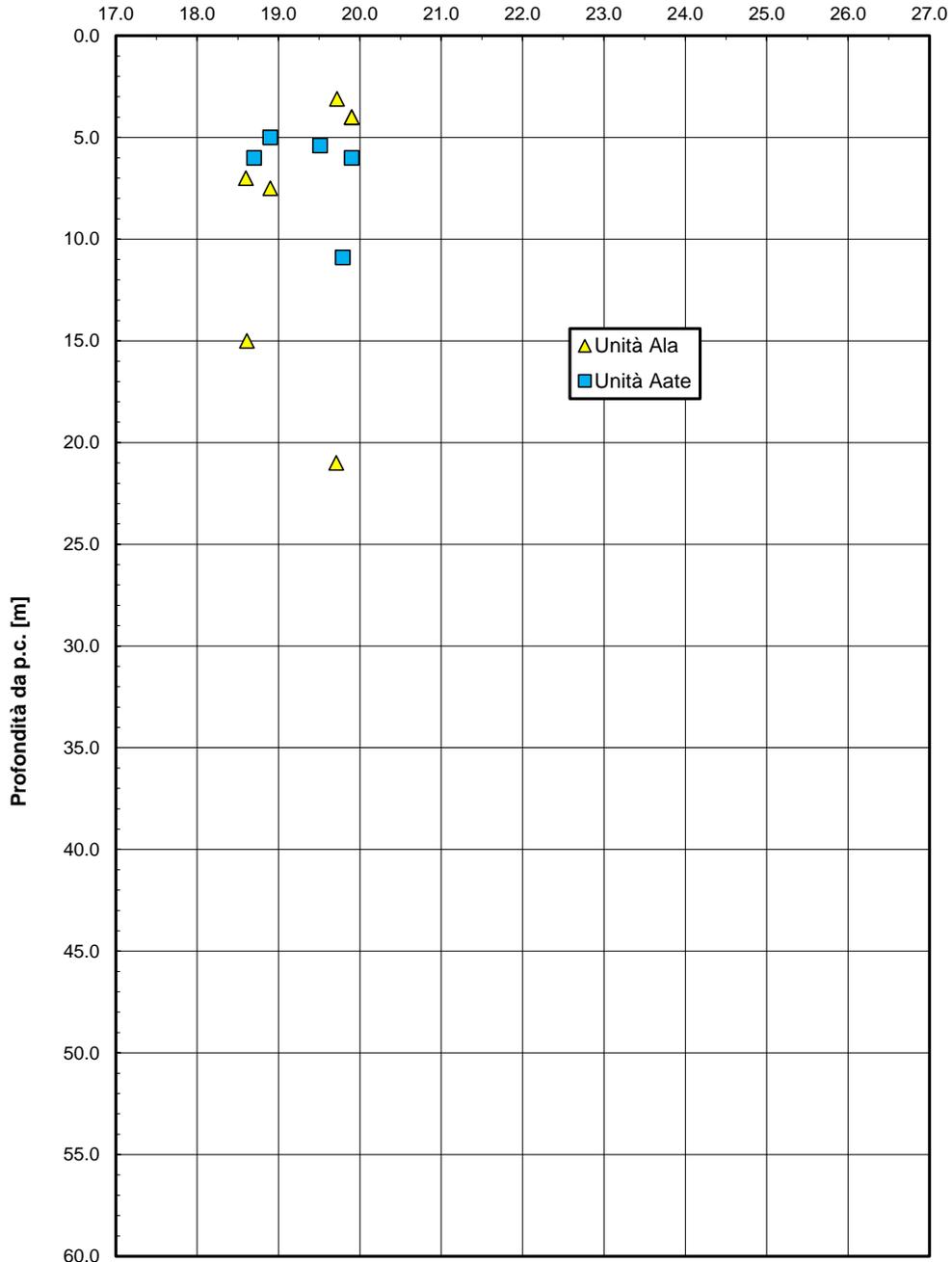


Figura 22 – Peso di volume naturale– Unità Ala e unità Aate

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 56 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### Granulometria unità Aate

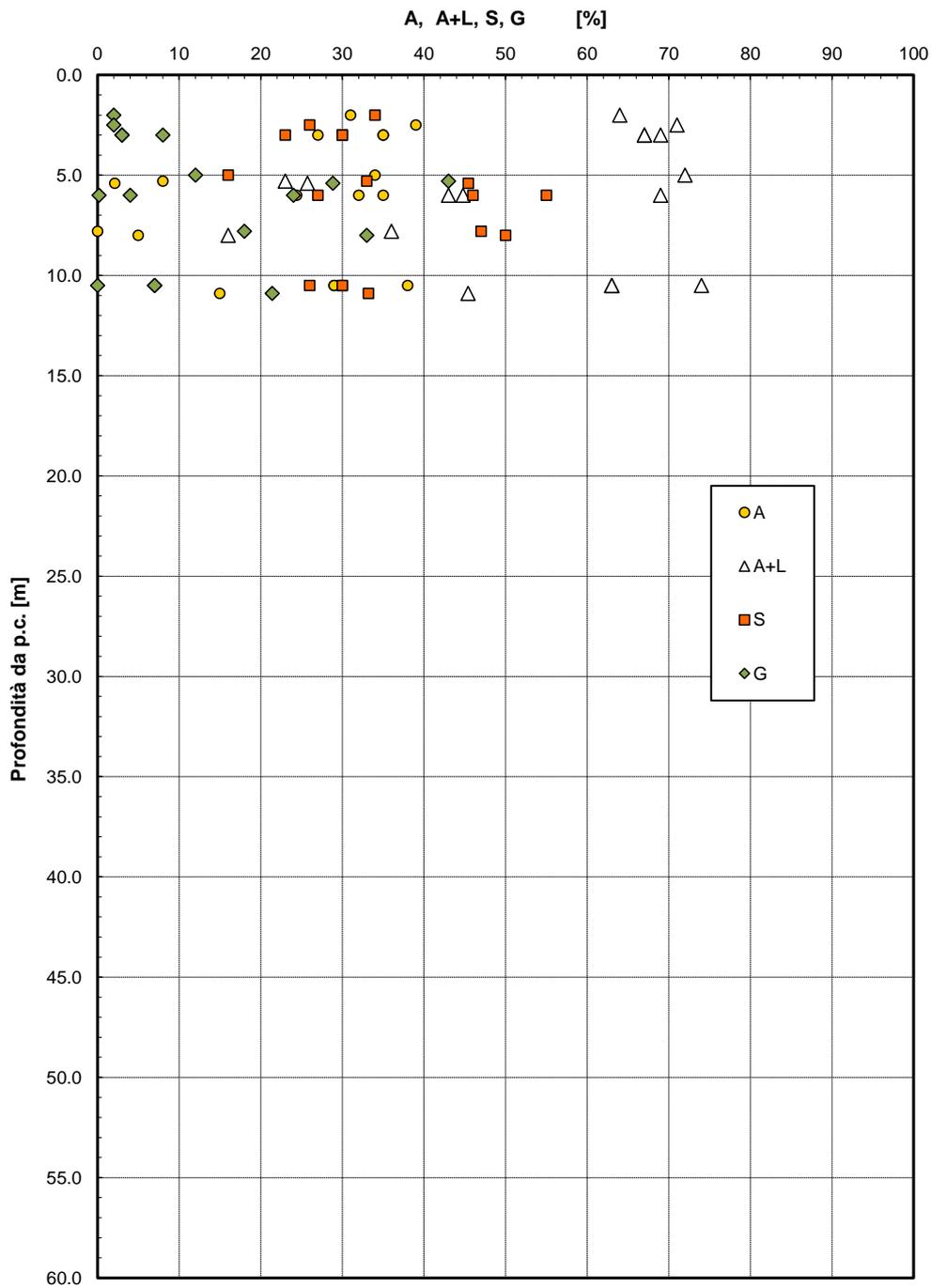


Figura 23– Analisi granulometrica – Unità Ate

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 57 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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

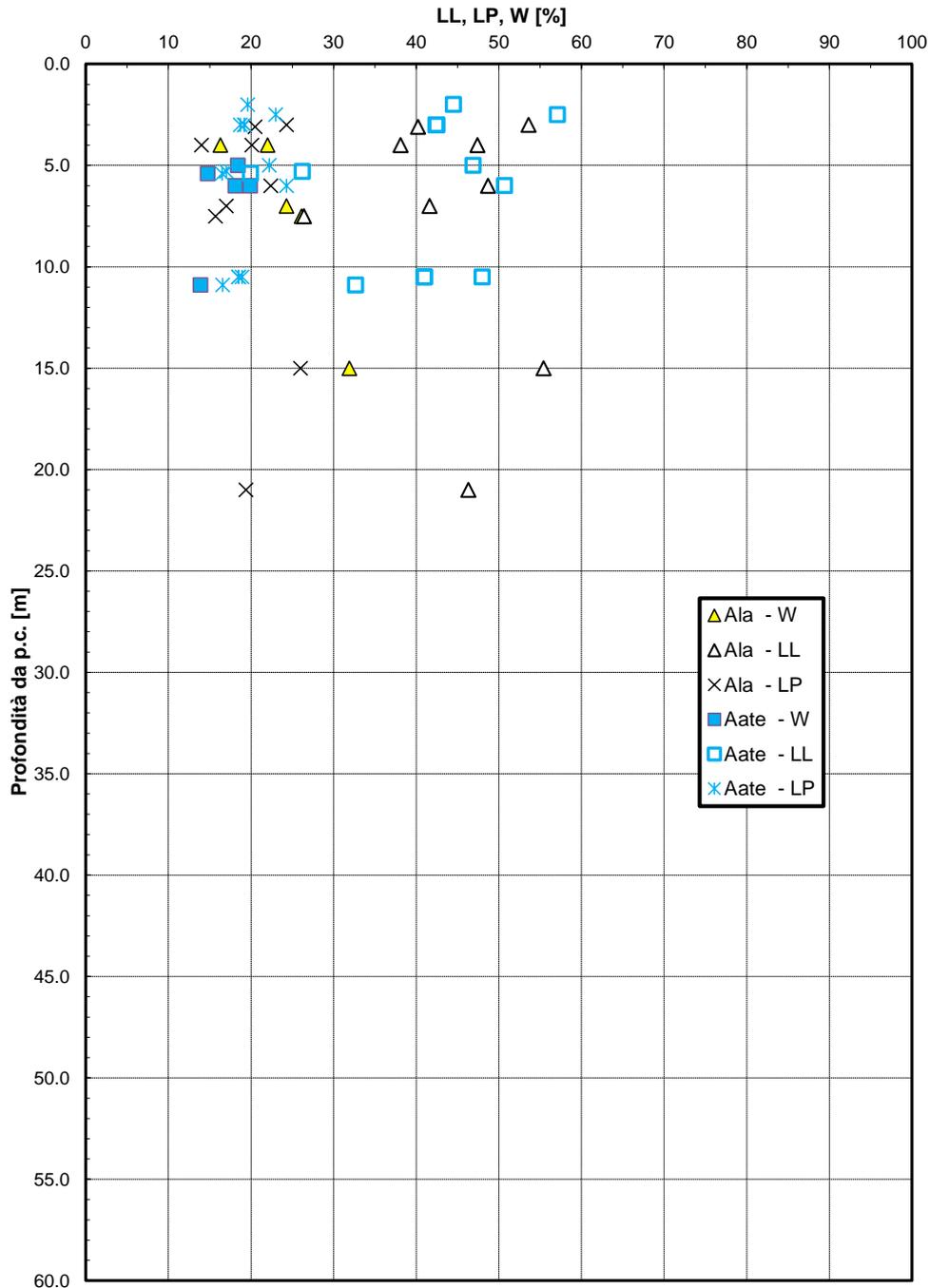


Figura 24 – Limiti di Atterberg – Unità Ala e unità Aate

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 58 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

*Carta di Plasticità di Casagrande*

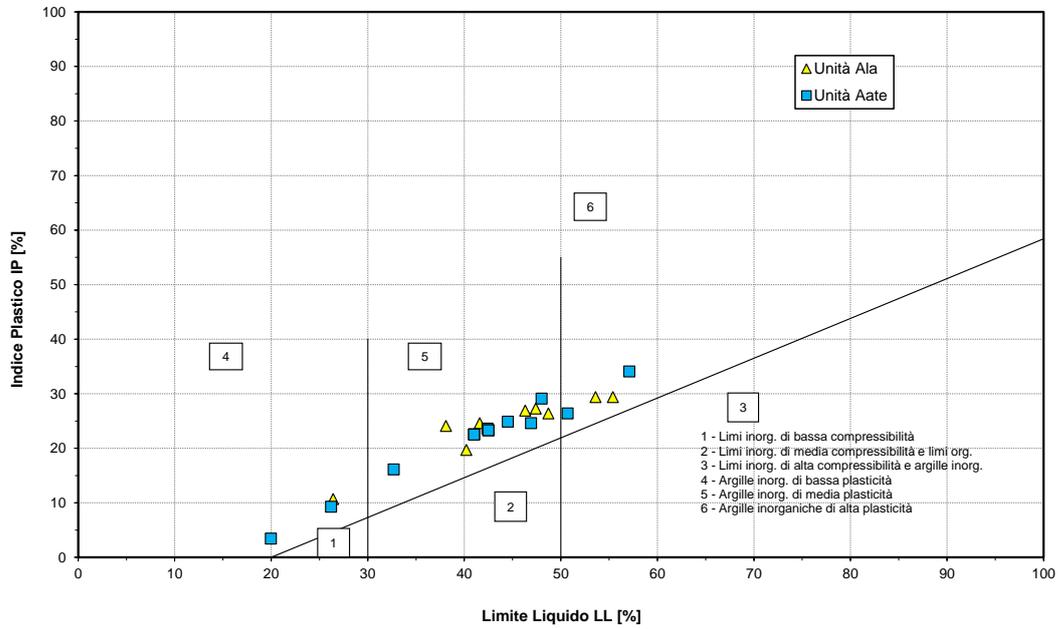


Figura 25– Carta di plasticità di Casagrande – Unità Ala e unità Aate

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

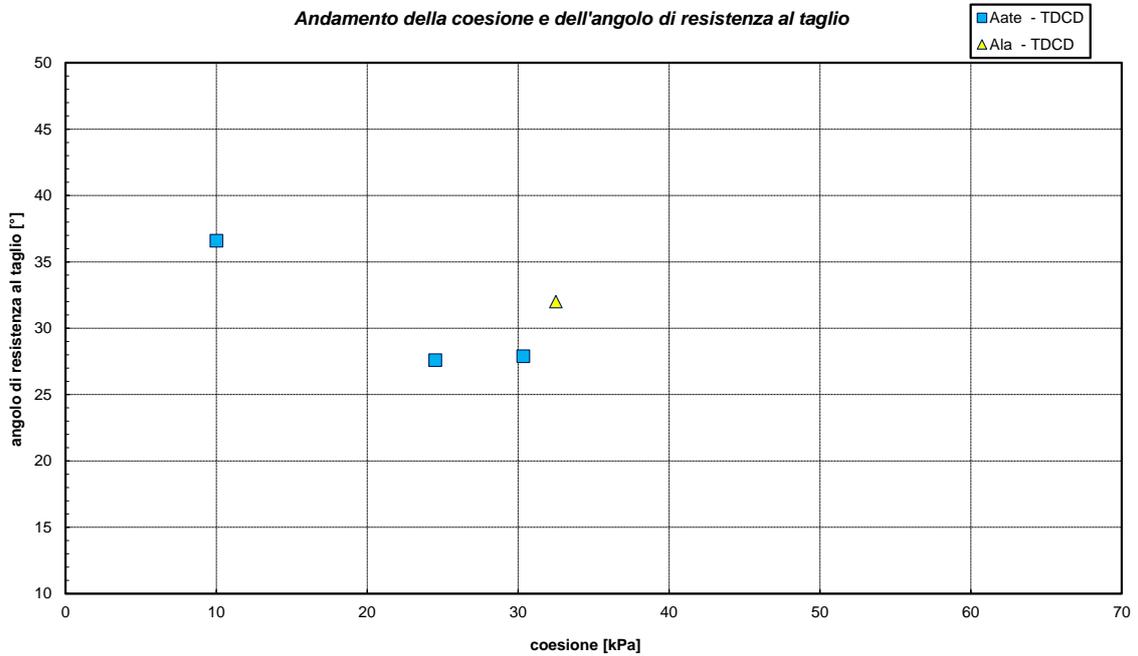


Figura 26– Angolo di resistenza al taglio e coesione drenata – Unità Ala e unità Aate

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 59 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### Andamento della coesione con la profondità

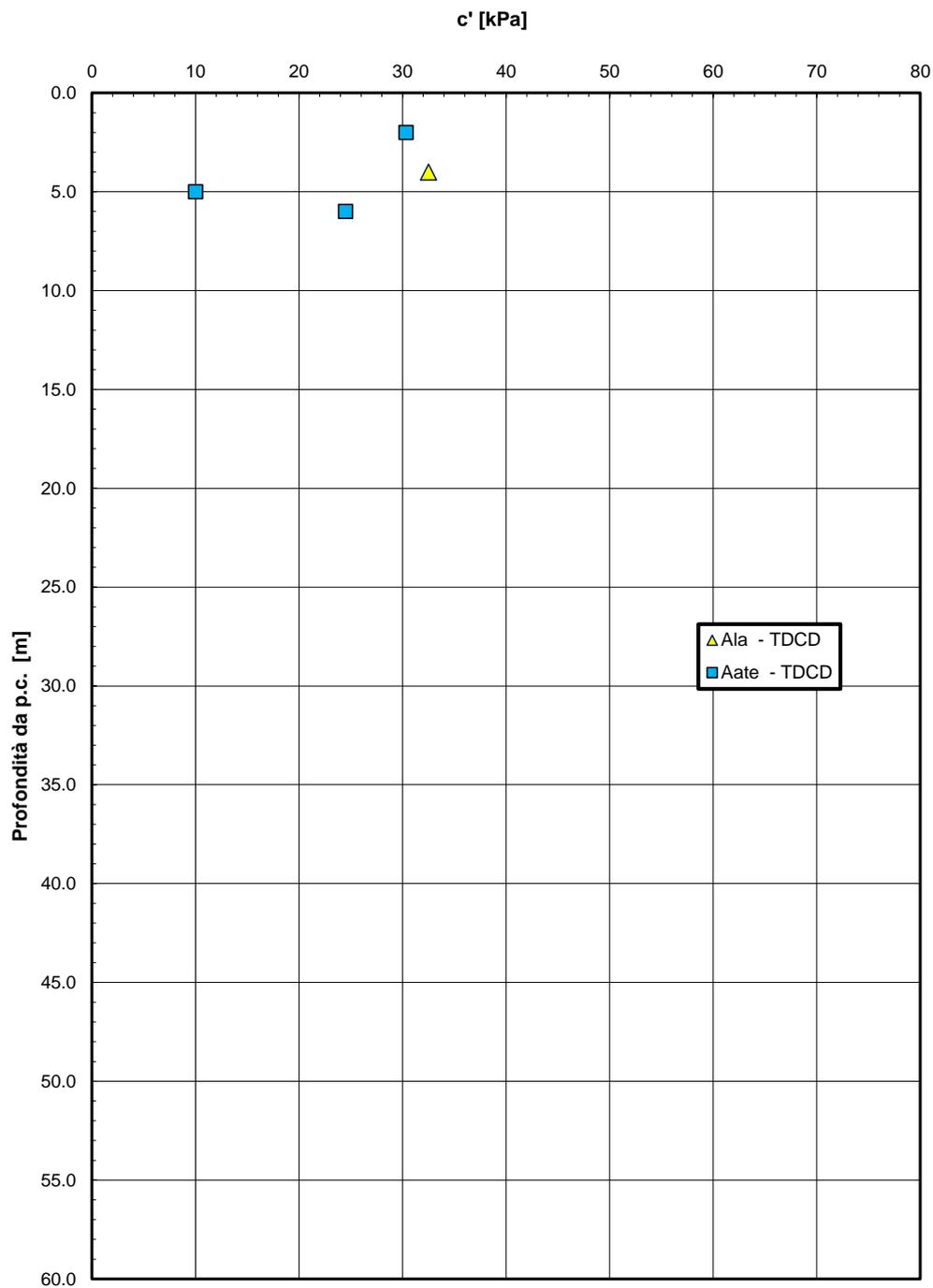


Figura 27 – Andamento della coesione con la profondità – Unità Ala e unità Ate

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 60 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

**Andamento della resistenza al taglio con la profondità**

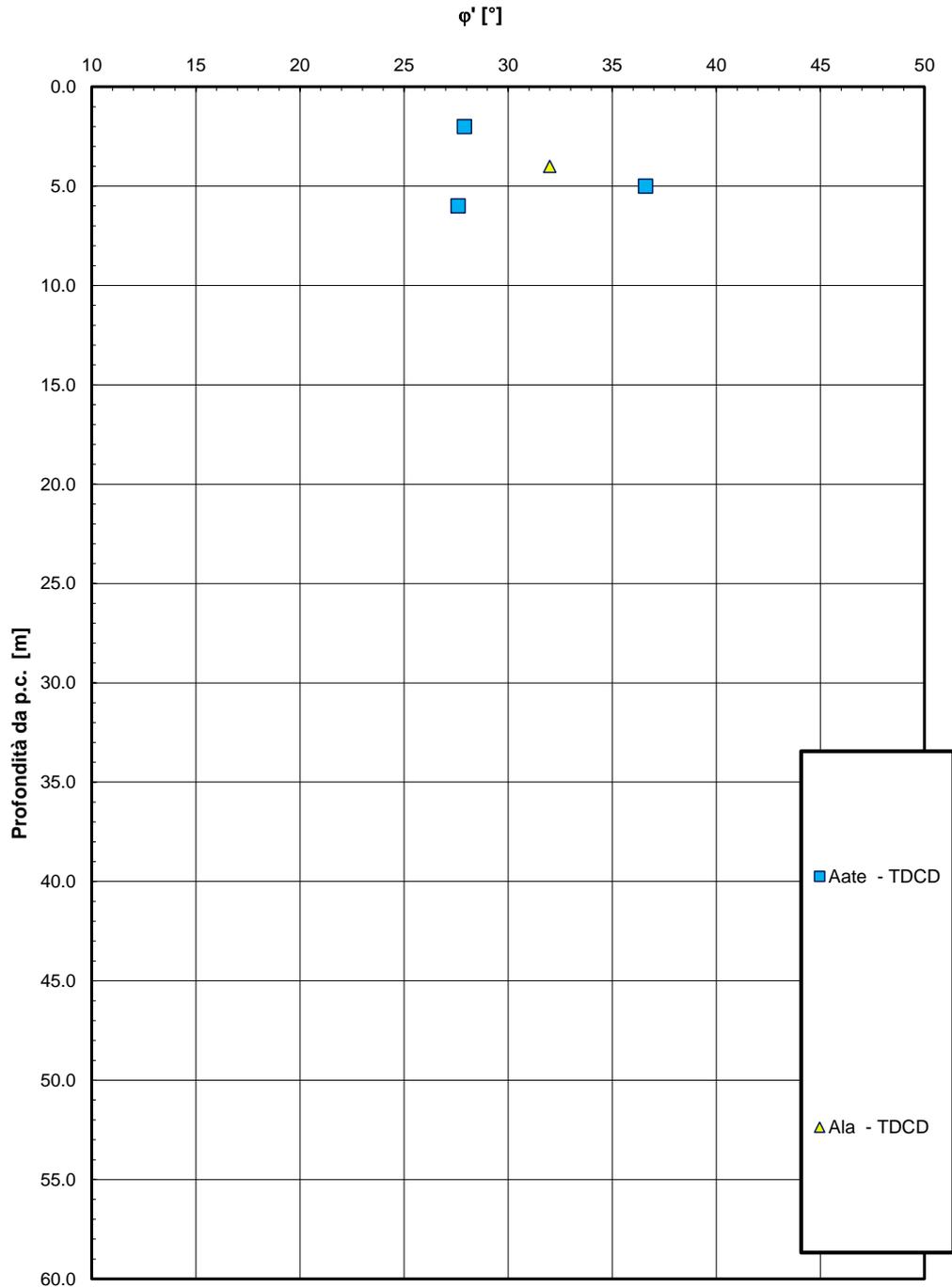


Figura 28– Andamento della resistenza al taglio con la profondità – Unità Ala e unità Ate

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 61 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

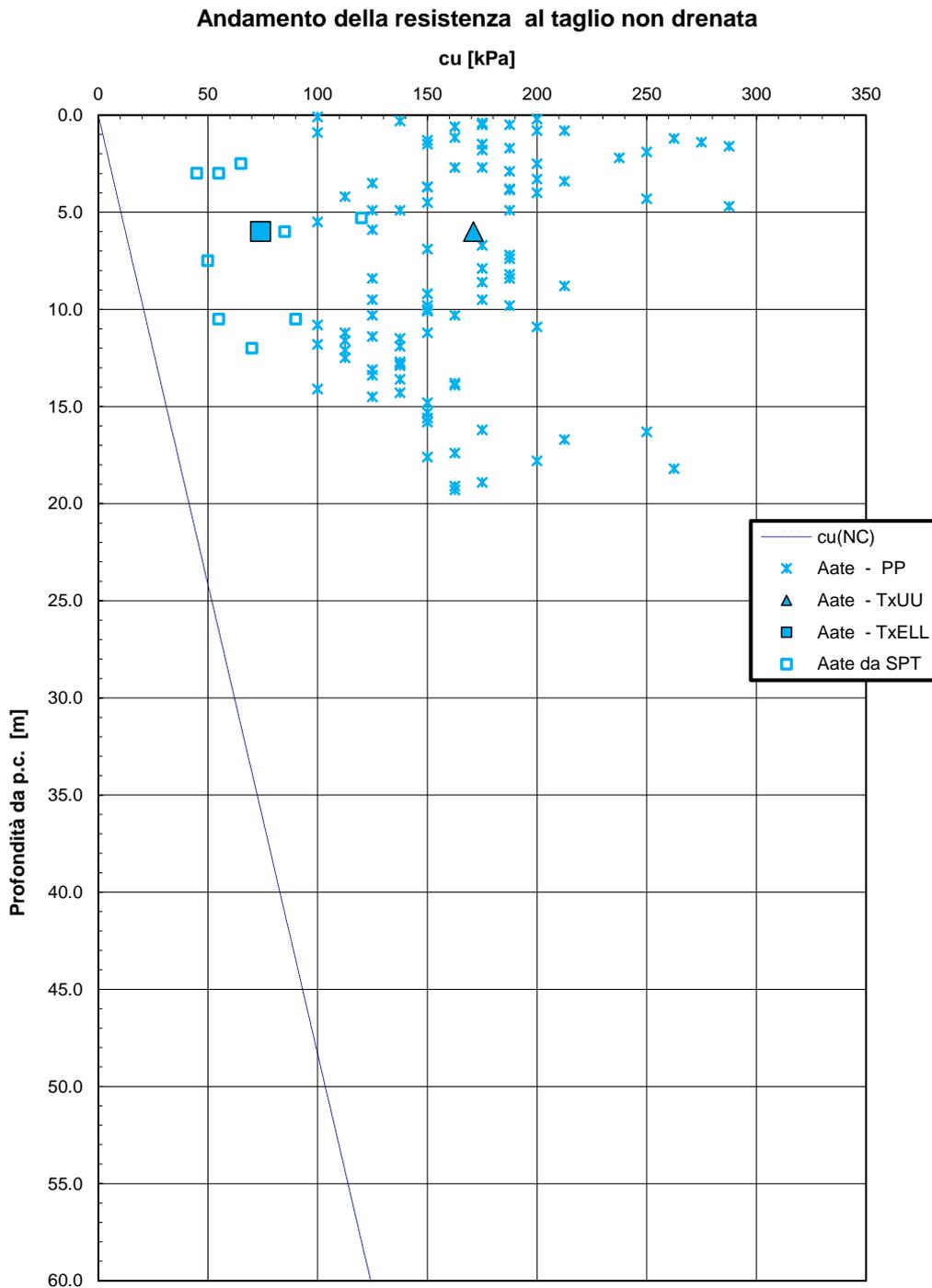


Figura 29– Resistenza al taglio non drenata – Unità Aate

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 62 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

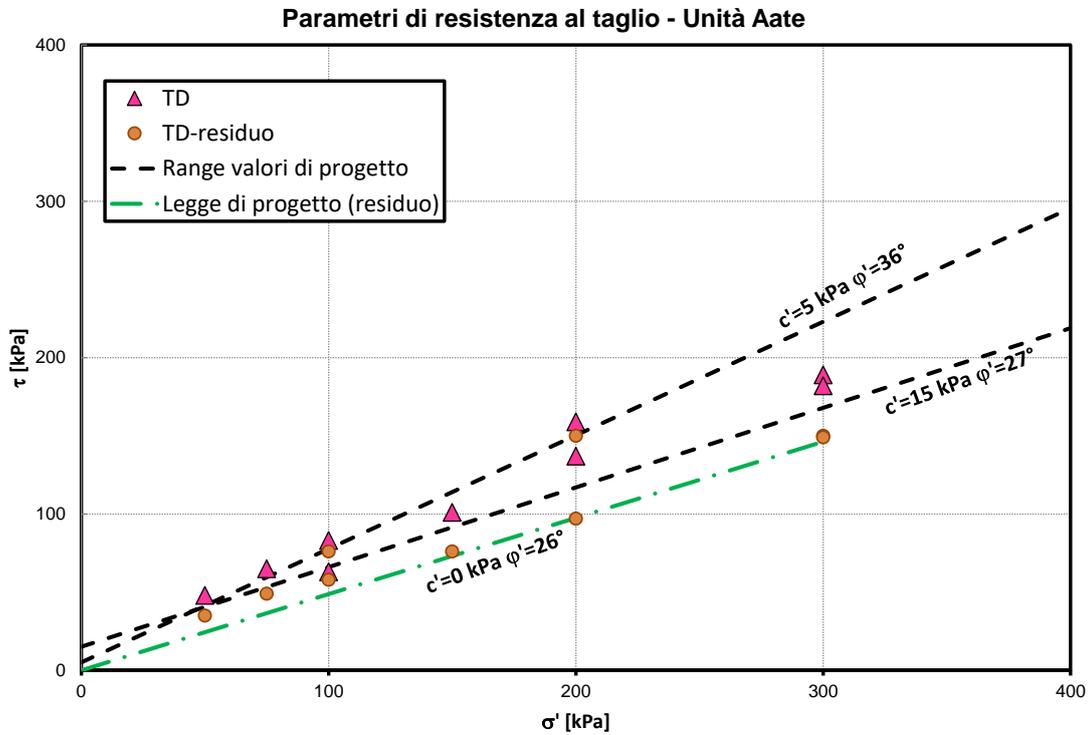


Figura 30 - Parametri di resistenza depositi alluvionali terrazzati – unità Aate

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 63 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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

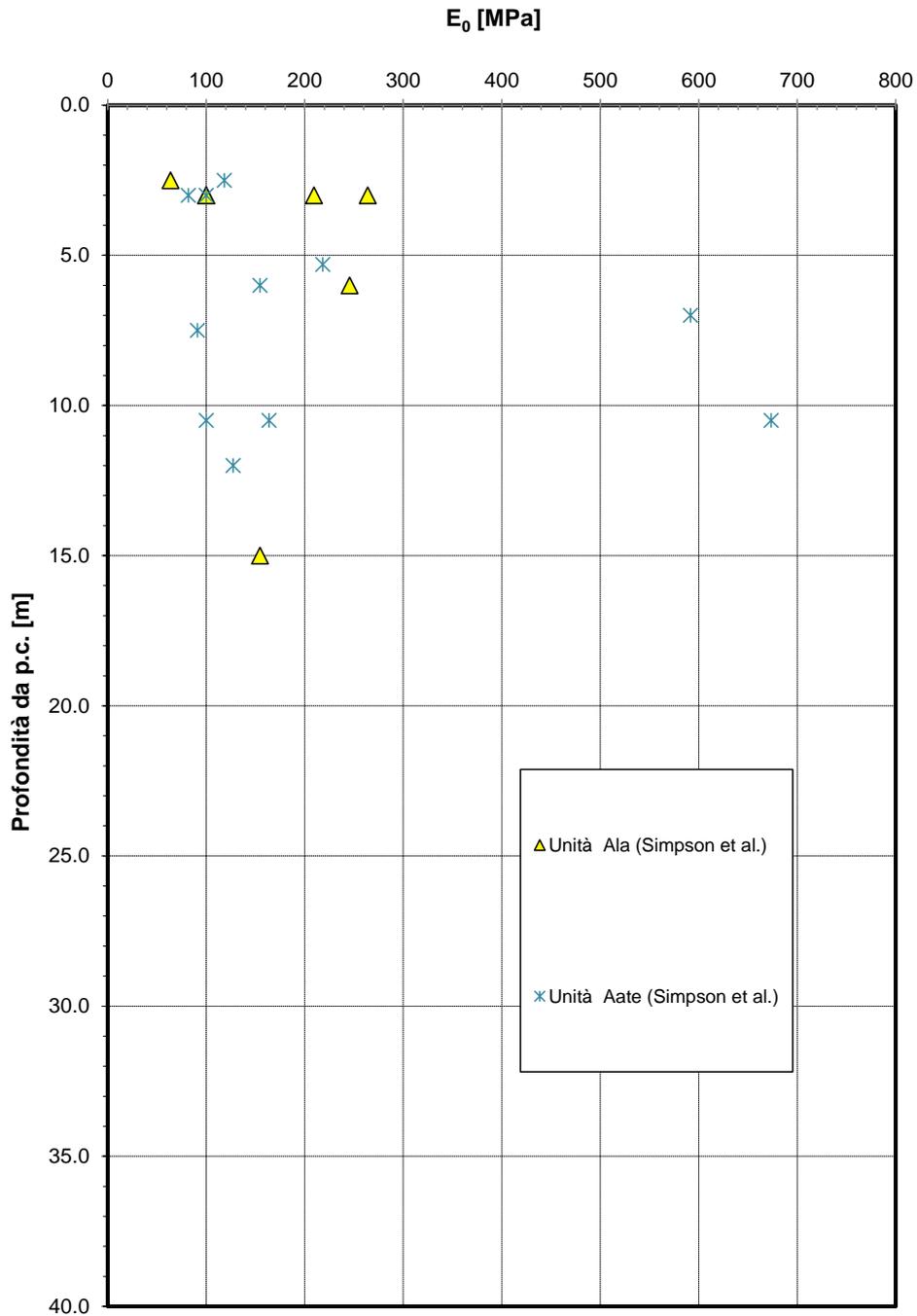


Figura 31- Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT – Unità Ala e Ate

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 64 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

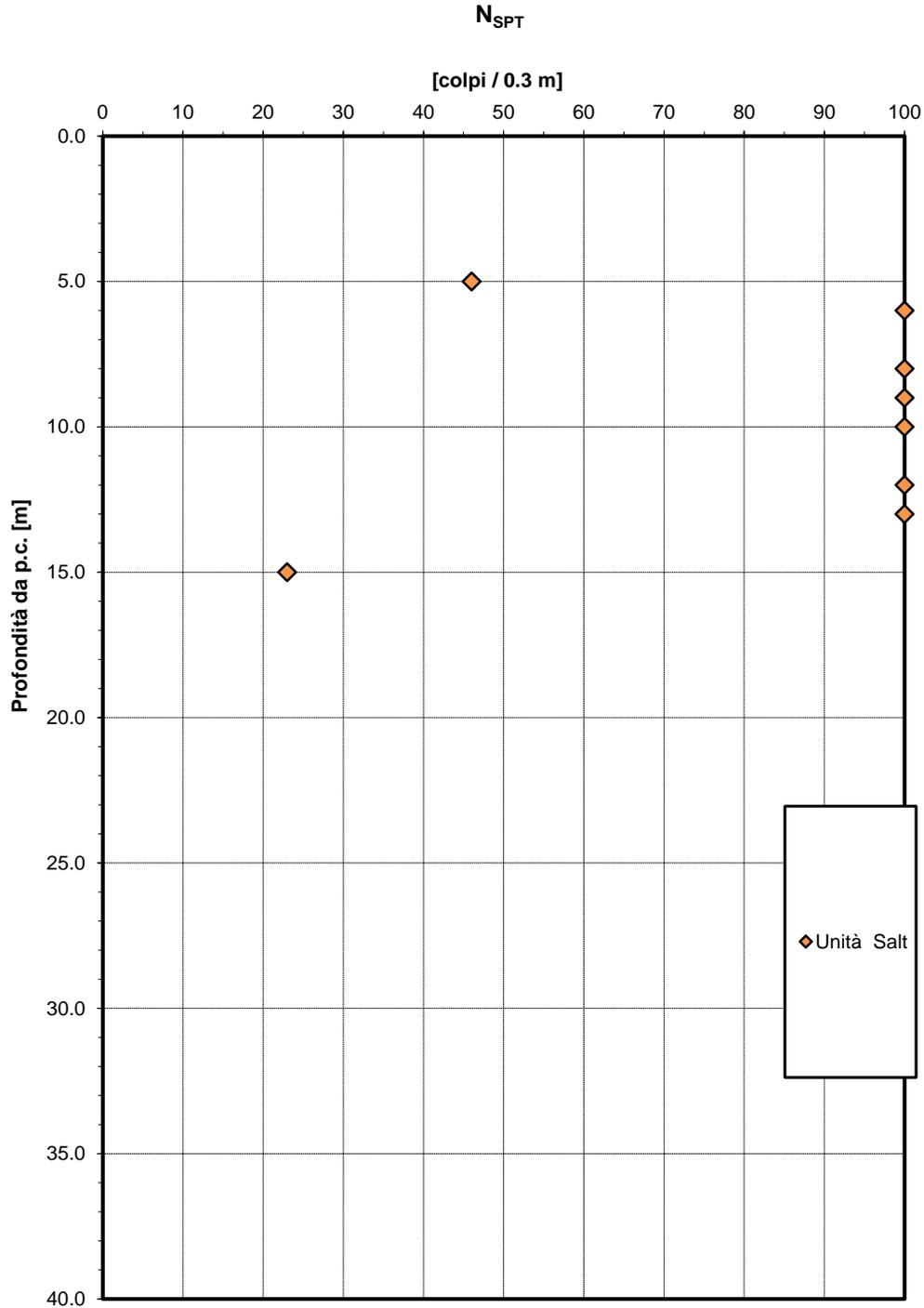


Figura 32– Valori di NSPT – Unità Salt

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 65 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

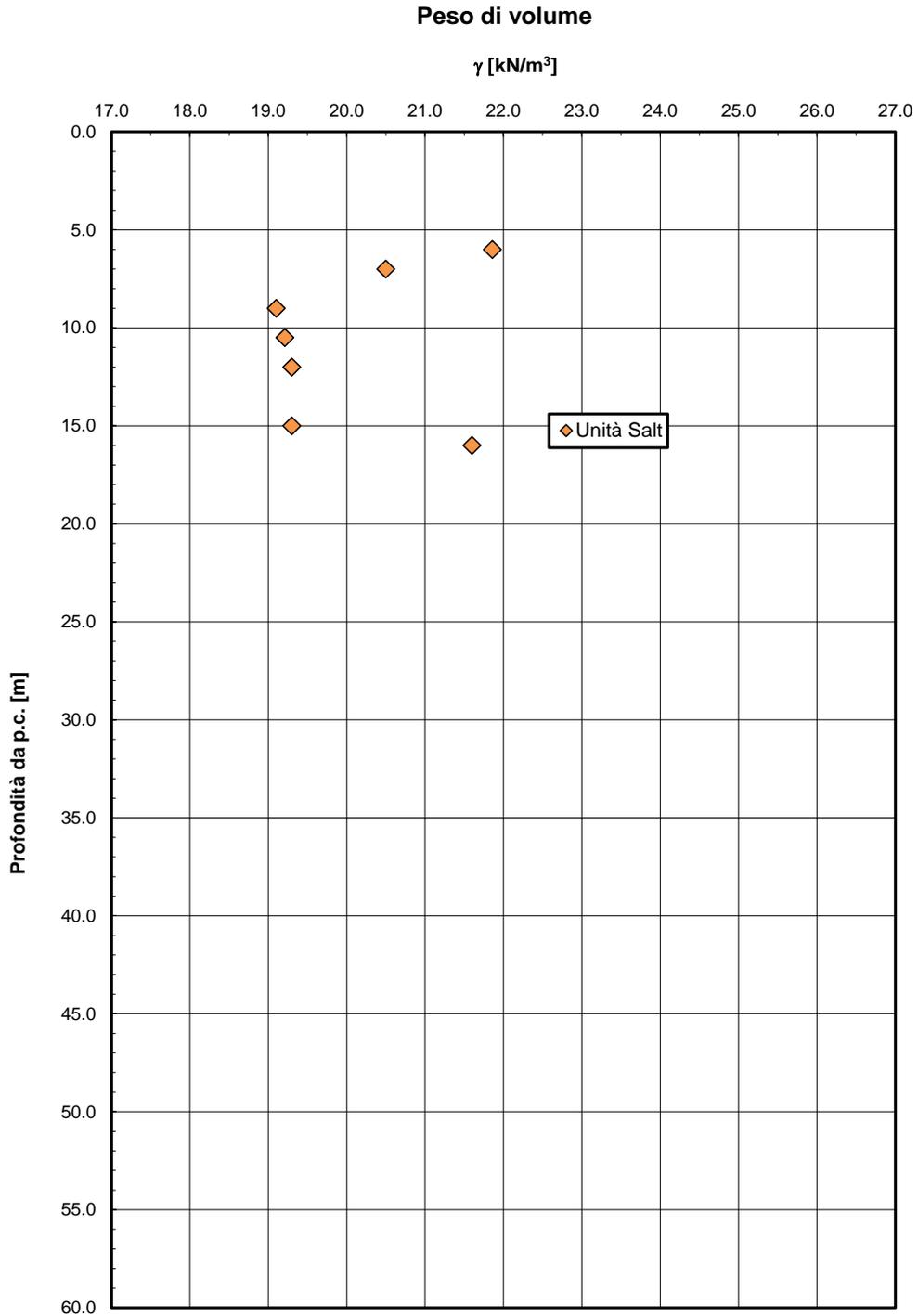


Figura 33– Peso di volume naturale– Unità Salt

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 66 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

**Granulometria unità Salt**

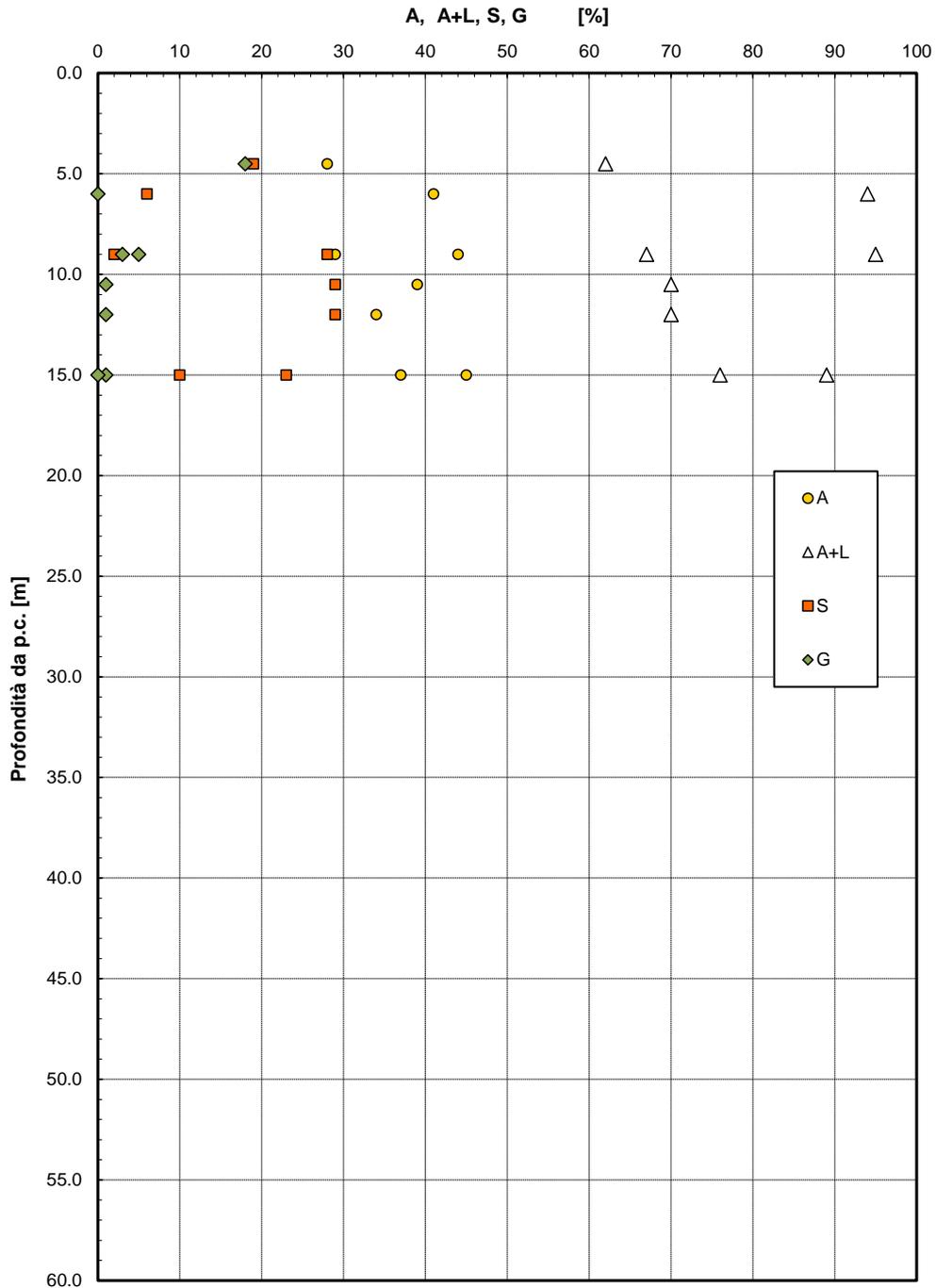


Figura 34– Analisi granulometrica – Unità Salt

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 67 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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

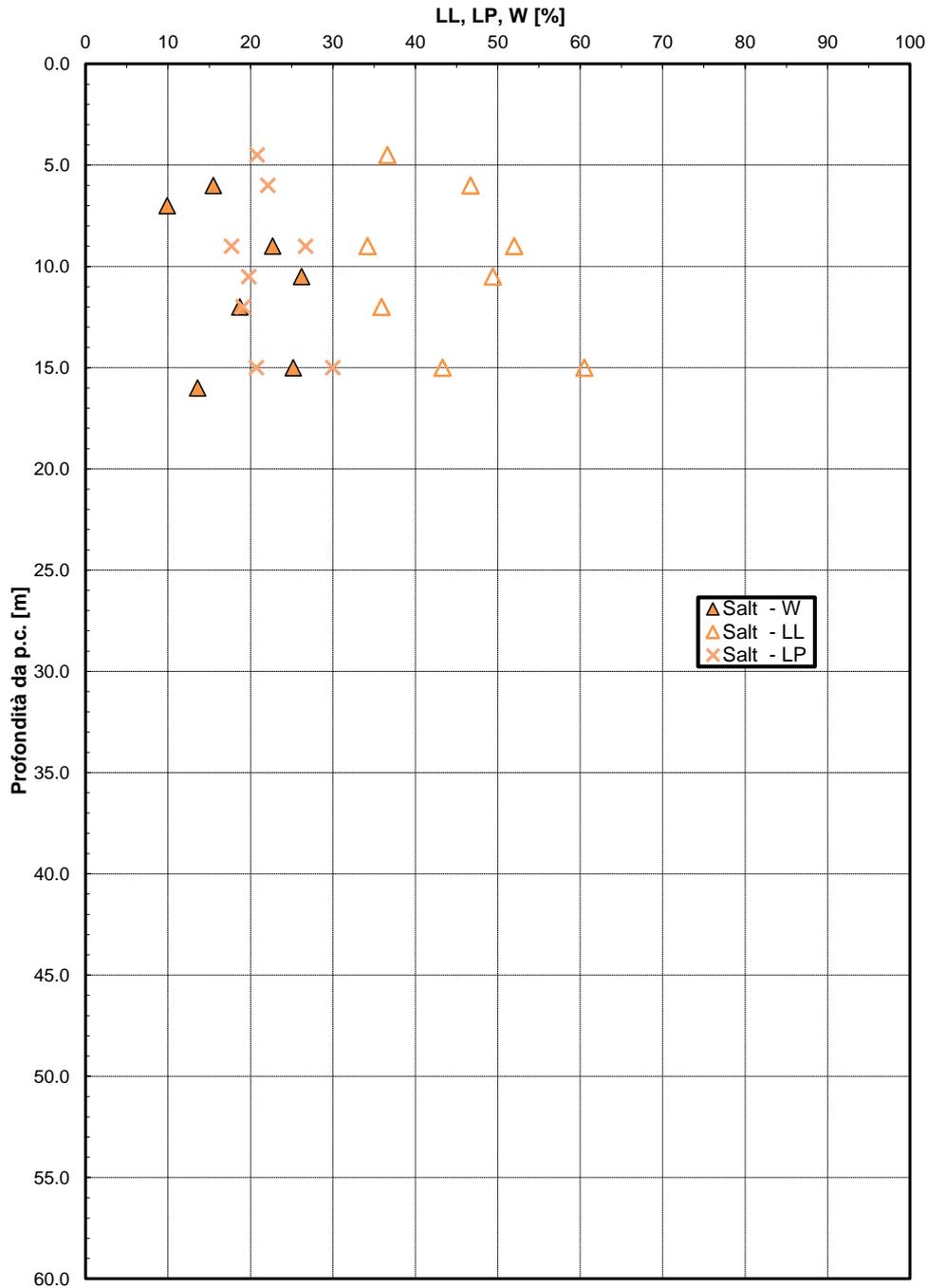


Figura 35– Limiti di Atterberg – Unità Salt

### 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 68 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Carta di Plasticità di Casagrande

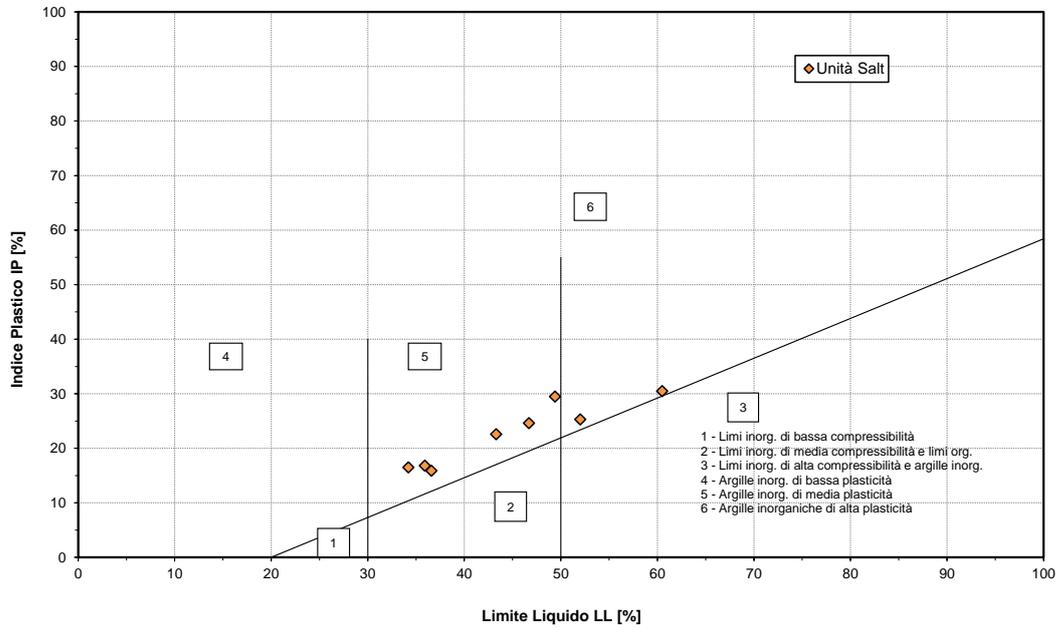


Figura 36 – Carta di plasticità di Casagrande – Unità Salt

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

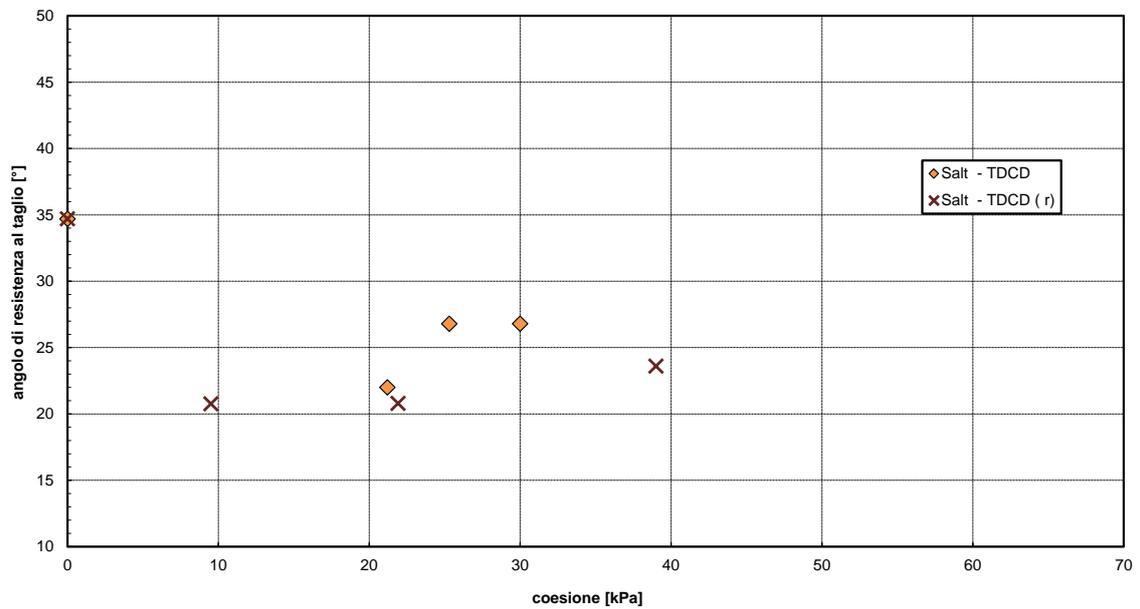


Figura 37– Angolo di resistenza al taglio e coesione drenata – Unità Salt

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 69 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### Andamento della coesione con la profondità

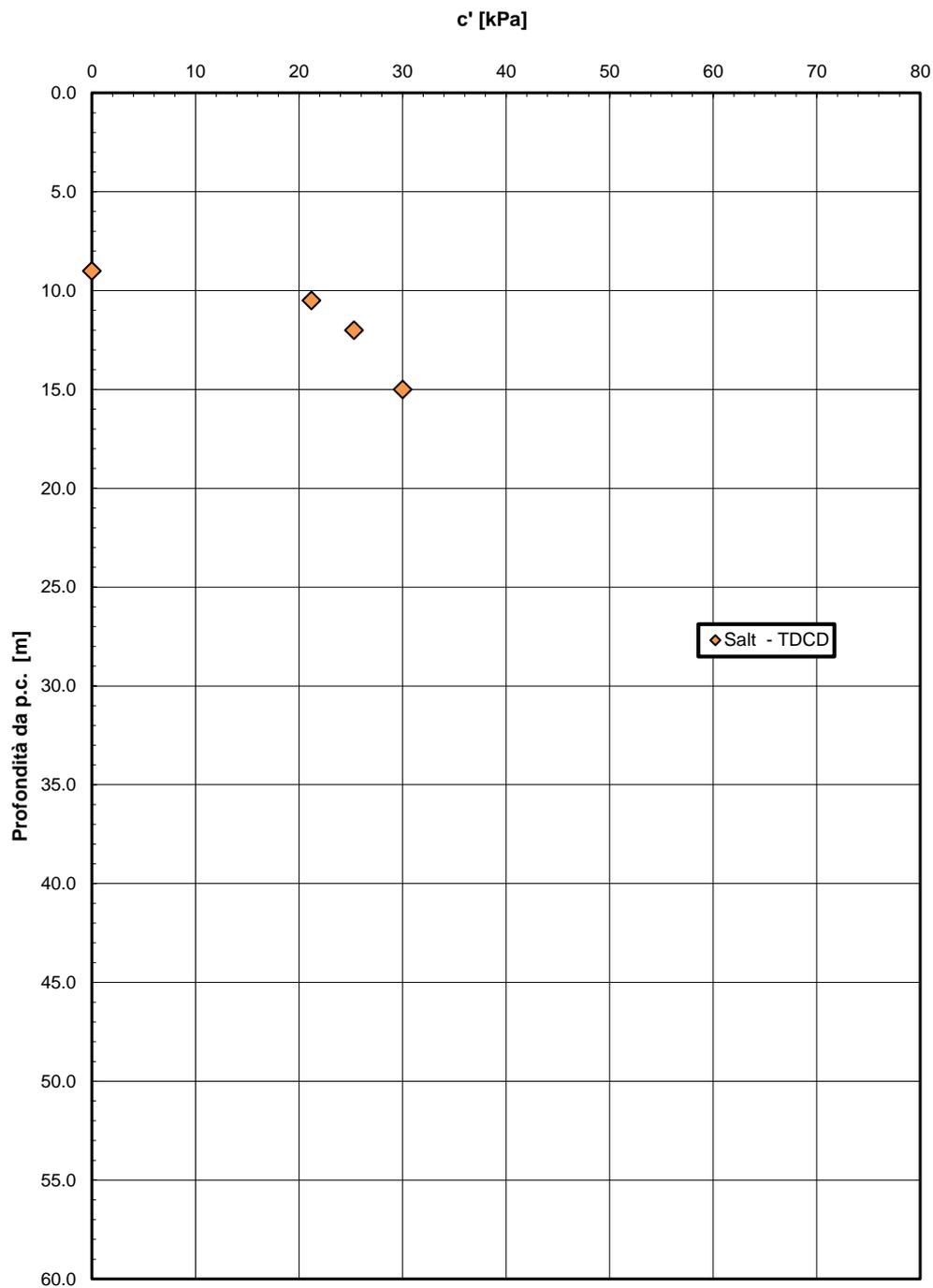


Figura 38 - Andamento della coesione con la profondità – Unità Salt

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 70 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### Andamento della resistenza al taglio con la profondità

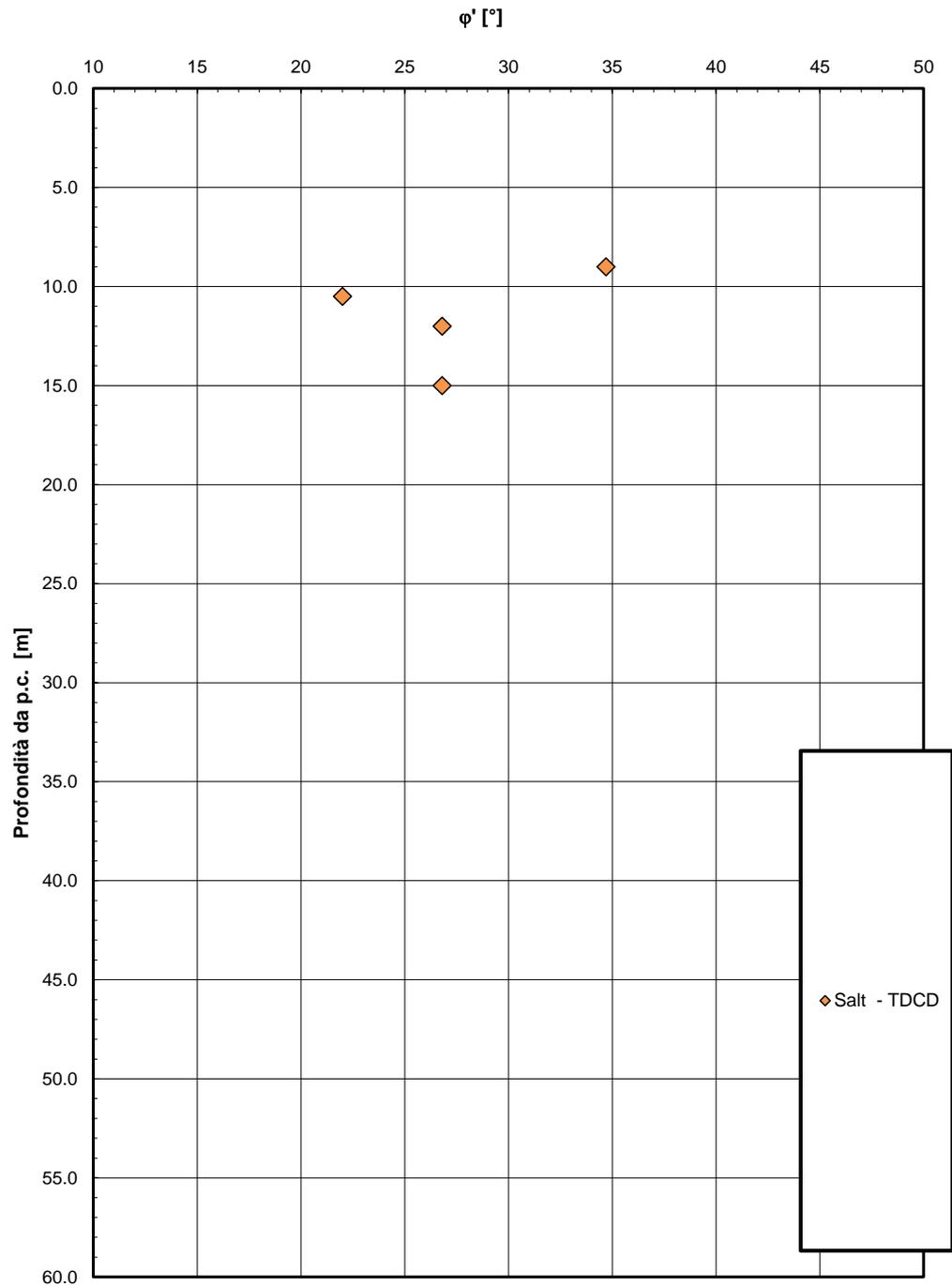


Figura 39 – Andamento della resistenza al taglio con la profondità – Unità Salt

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 71 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

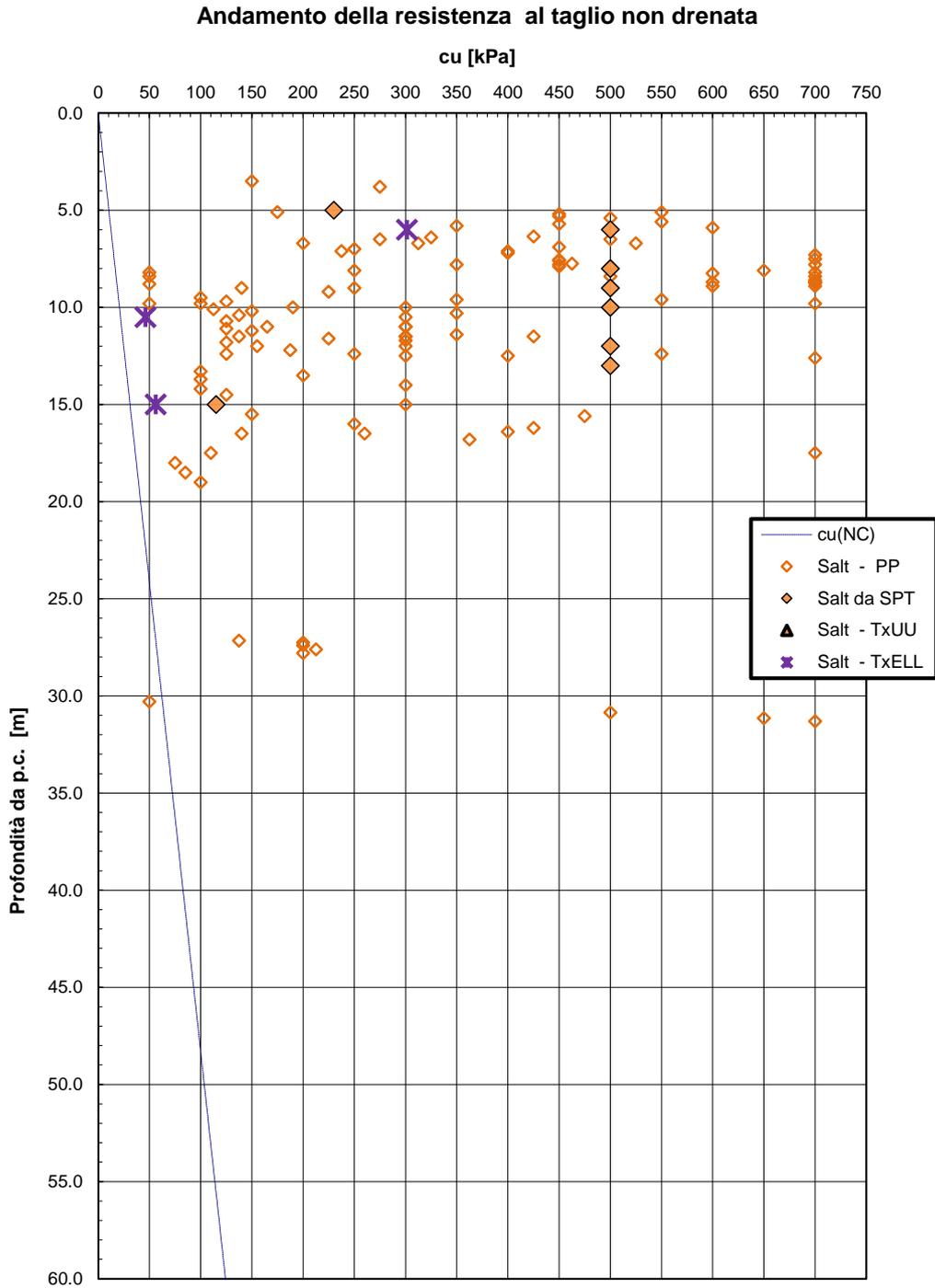


Figura 40– Resistenza al taglio non drenata – Unità Salt

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 72 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

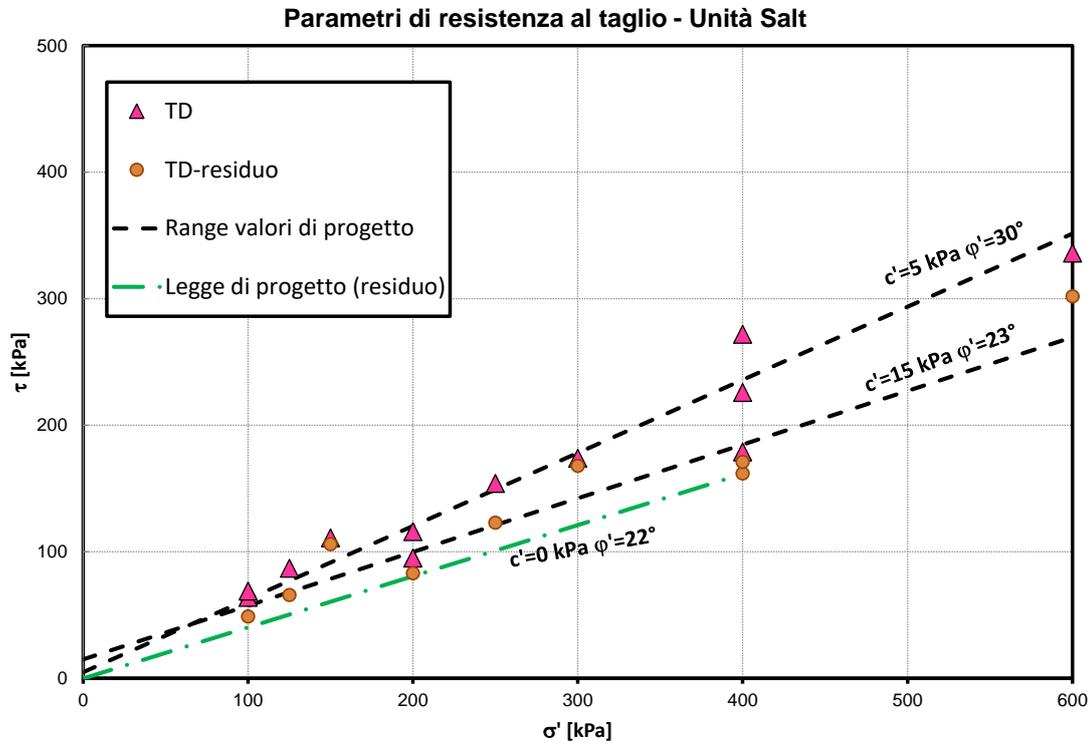


Figura 41 – Parametri di resistenza substrato alterato – unità Salt

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 73 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

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

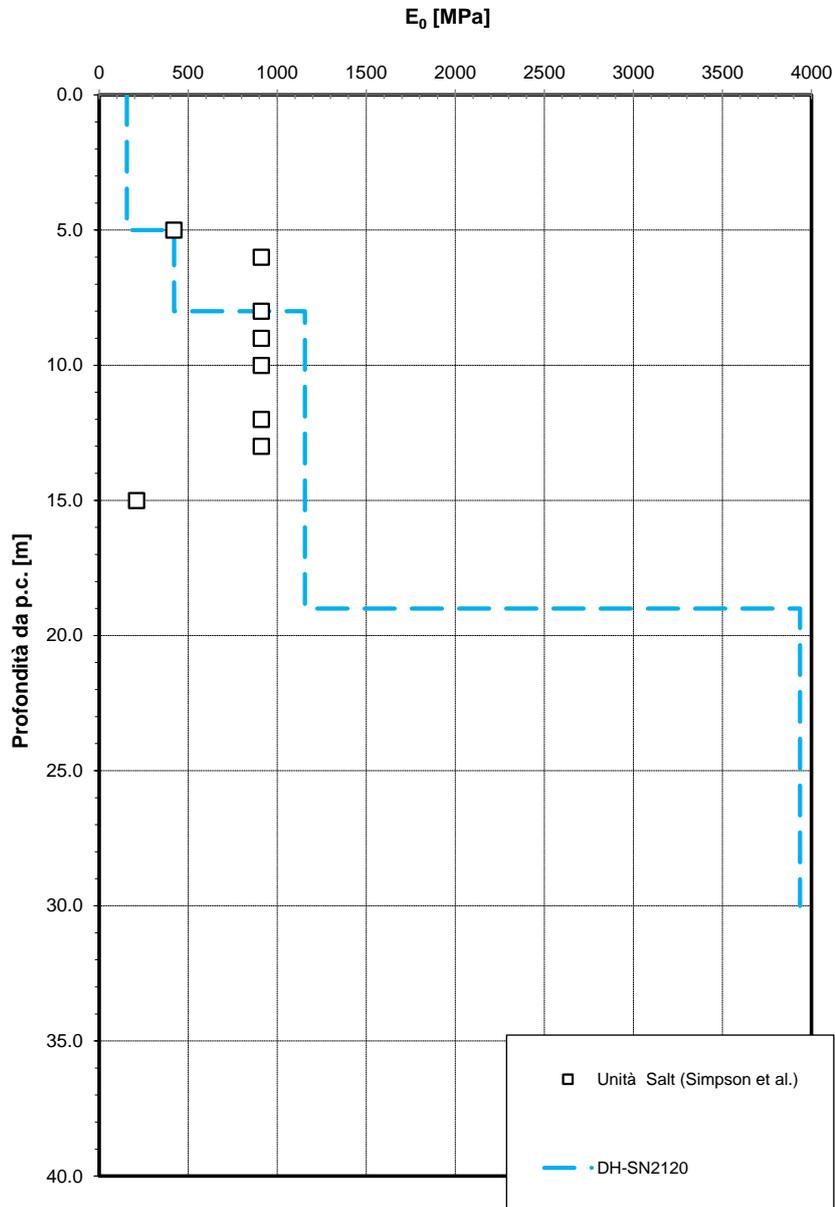


Figura 42- Modulo di deformazione elastico iniziale da prove SPT

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 74 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

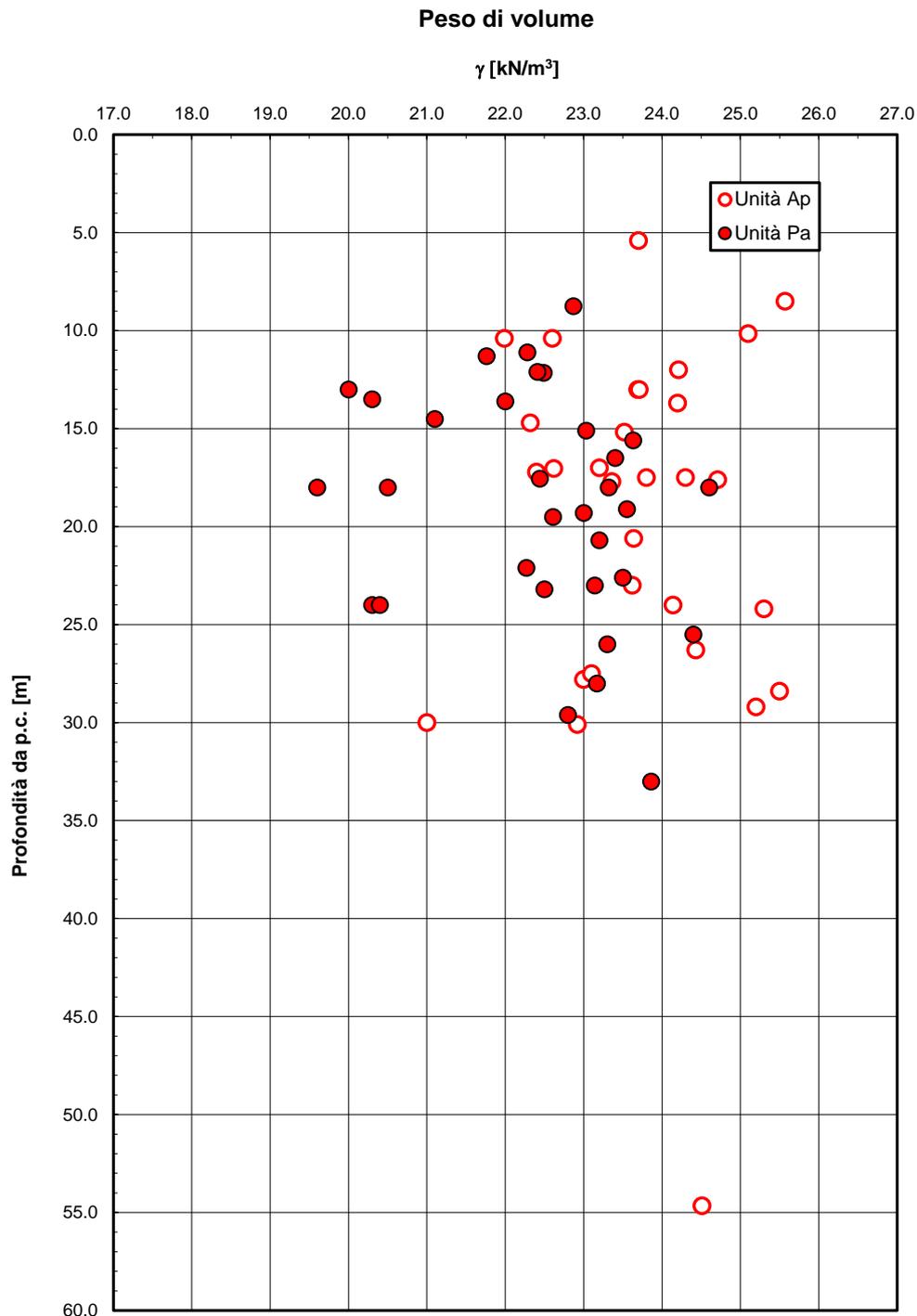


Figura 43 – Peso di volume naturale – Unità Ap e Pa

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 75 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

**Granulometria unità Pa**

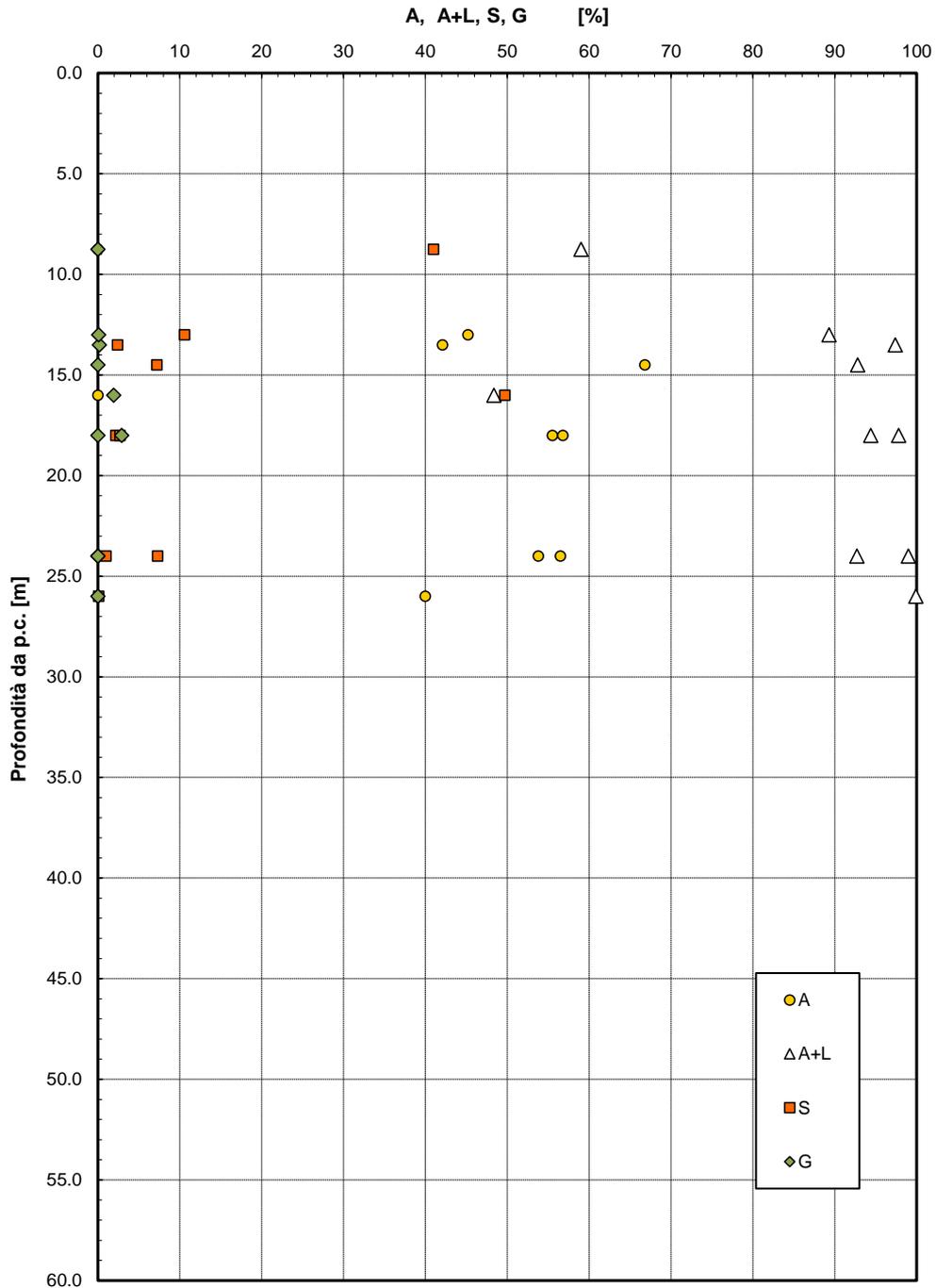


Figura 44 – Analisi granulometrica – Unità Pa

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 76 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

**Granulometria unità Ap**

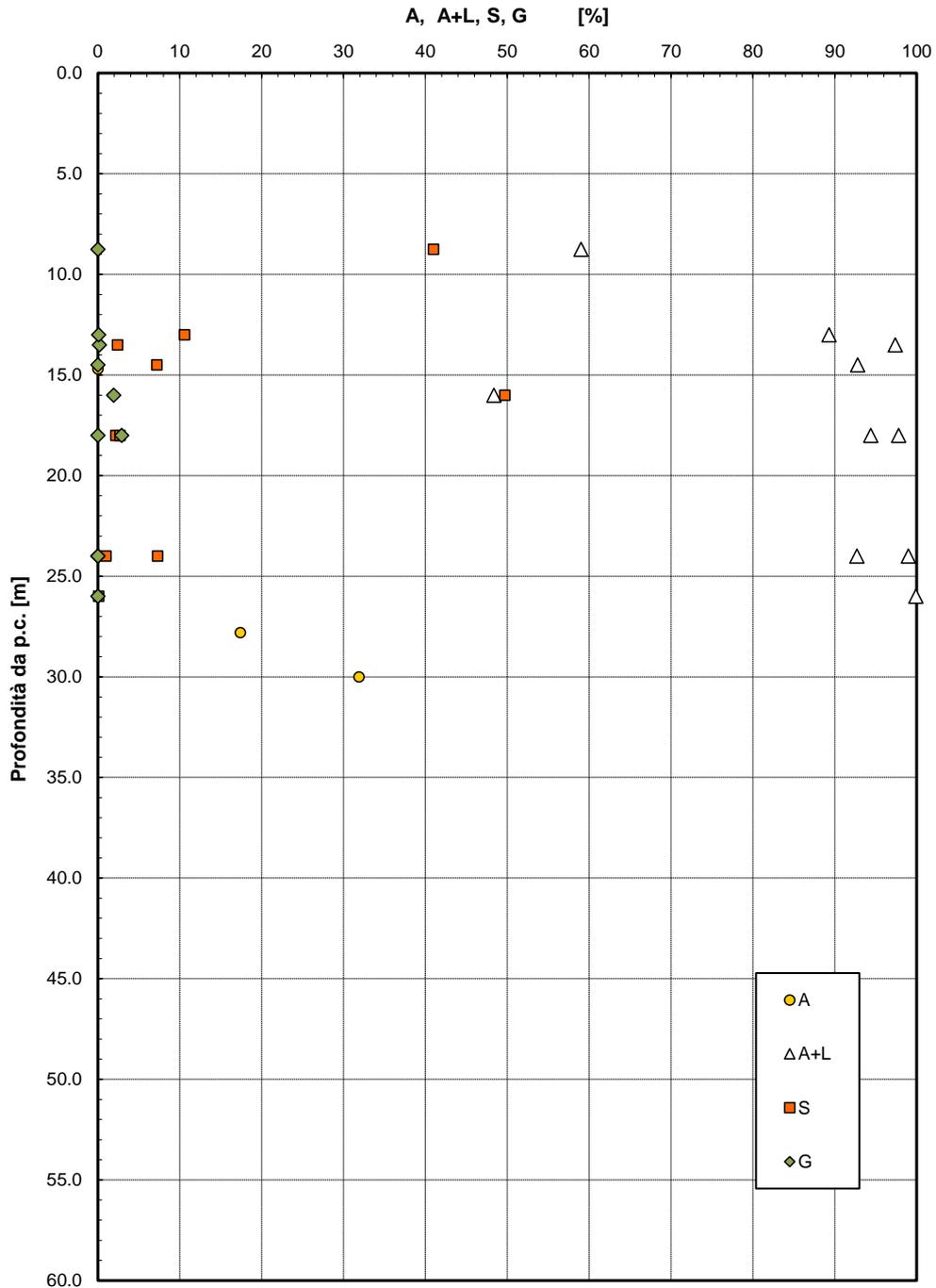


Figura 45– Analisi granulometrica – Unità Ap

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 77 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

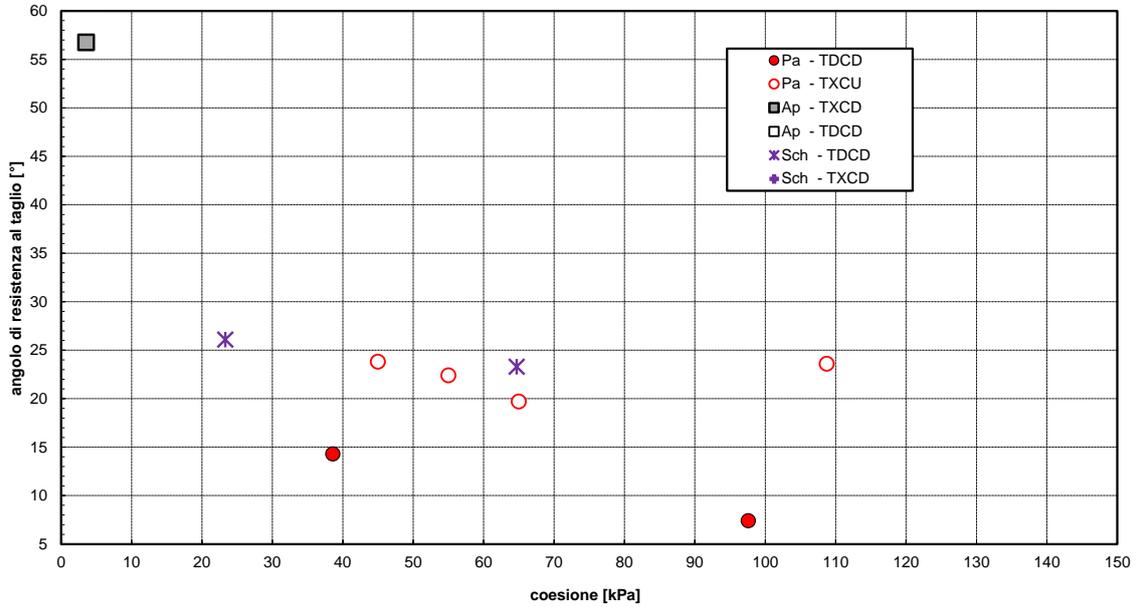


Figura 46 – Grafico correlazione  $c'$  e  $\phi'$  – Unità Pa e Ap

Parametri di resistenza al taglio Unità Pa

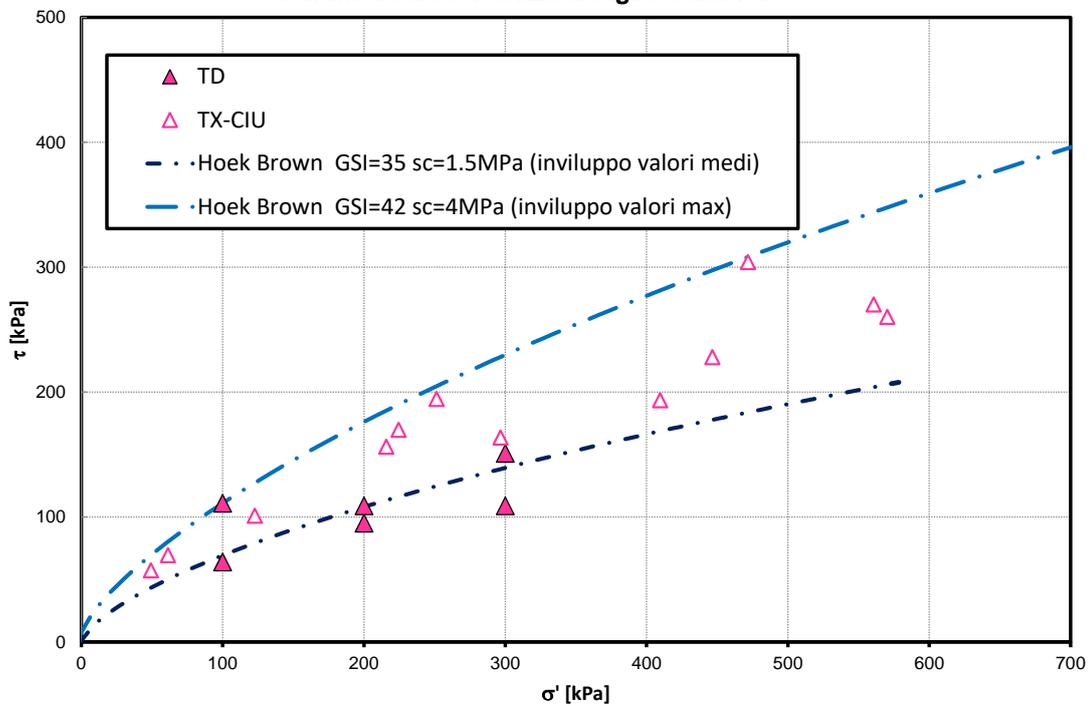


Figura 47 - Involuppi di rottura Hoek & Brown – Unità Pa

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 78 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

**Resistenza a compressione monoassiale**

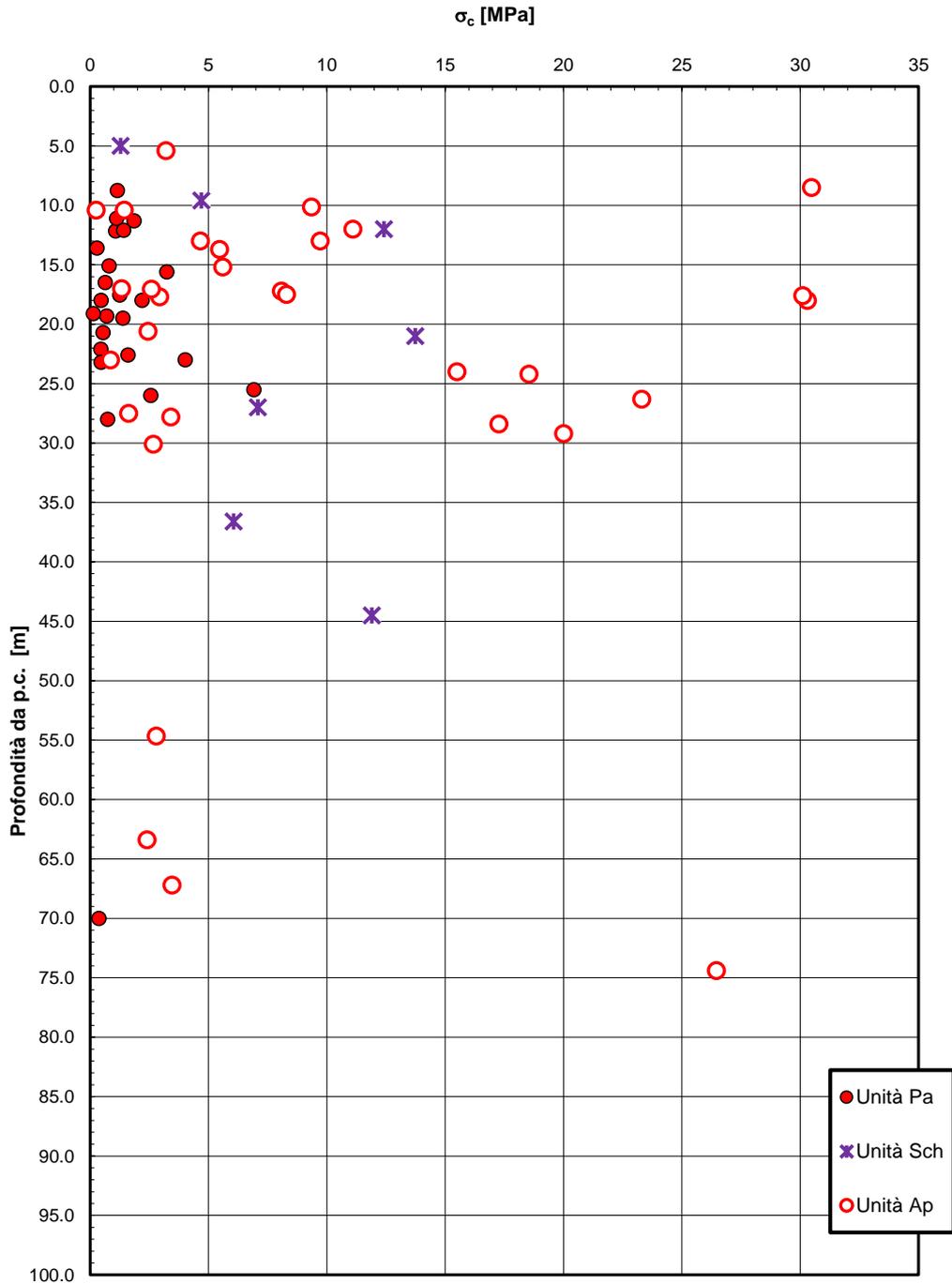


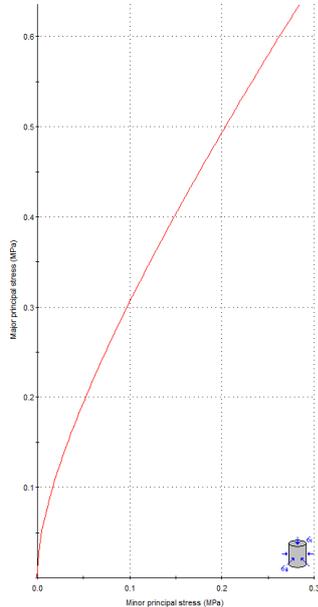
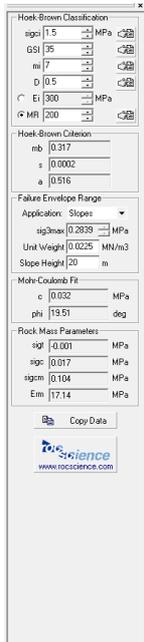
Figura 48 – Resistenza a compressione monoassiale – Unità Pa, Ap, Sch

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 79 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



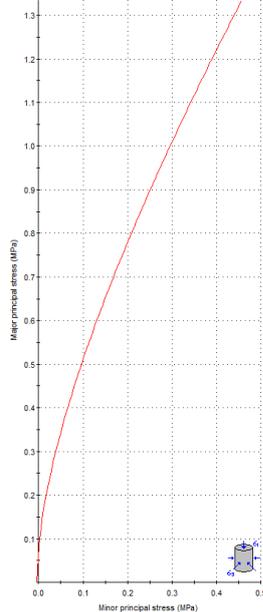
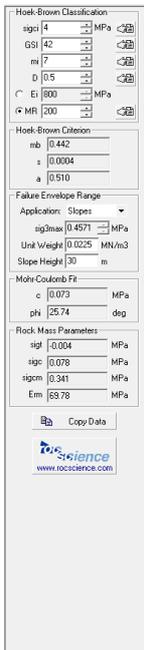
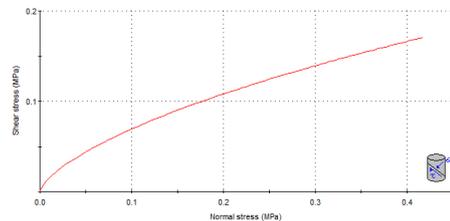
Analysis of Rock Strength using RocLab

**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial comp. strength (sigci) = 1.5 MPa  
 GSI = 35 mi = 7 Disturbance factor (D) = 0.5  
 intact modulus (E) = 300 MPa  
 modulus ratio (MR) = 200

**Hoek-Brown Criterion**  
 mb = 0.317 s = 0.0002 a = 0.516

**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 0.032 MPa friction angle = 19.51 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.001 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.017 MPa  
 global strength = 0.104 MPa  
 deformation modulus = 17.14 MPa



Analysis of Rock Strength using RocLab

**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial comp. strength (sigci) = 4 MPa  
 GSI = 42 mi = 7 Disturbance factor (D) = 0.5  
 intact modulus (E) = 600 MPa  
 modulus ratio (MR) = 200

**Hoek-Brown Criterion**  
 mb = 0.442 s = 0.0004 a = 0.510

**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 0.073 MPa friction angle = 25.74 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.004 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.078 MPa  
 global strength = 0.341 MPa  
 deformation modulus = 69.78 MPa

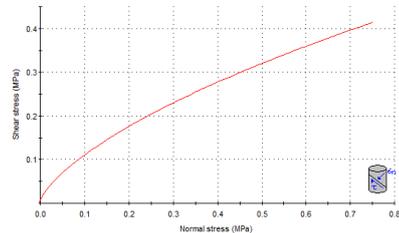


Figura 49 - Classificazione Hoek & Brown – Unità Pa

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 80 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Hoek-Brown Classification

sigci 10 MPa  
GSI 40  
mi 7  
D 0.5  
Ei 2000 MPa  
r MR 200

Hoek-Brown Criterion

mb 0.402  
s 0.0003  
a 0.511

Failure Envelope Range

Application: Slopes  
sig3max 0.4352 MPa  
Unit Weight 0.0235 MN/m3  
Slope Height 25 m

Mohr-Coulomb Fit

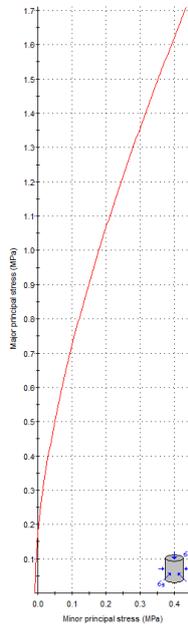
c 0.095 MPa  
phi 32.52 deg

Rock Mass Parameters

sigf 0.008 MPa  
sigc 0.167 MPa  
sigcm 0.805 MPa  
Em 153.79 MPa

Copy Data

rockscience  
www.rockscience.com



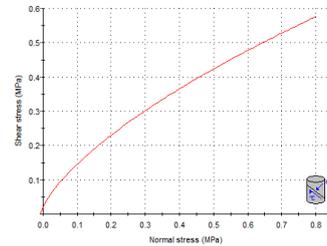
Analysis of Rock Strength using RocLab

**Hoek-Brown Classification**  
intact uniaxial comp. strength (sigci) = 10 MPa  
GSI = 40 mi = 7 Disturbance factor (D) = 0.5  
intact modulus (Ei) = 2000 MPa  
modulus ratio (MR) = 200

**Hoek-Brown Criterion**  
mb = 0.402 s = 0.0003 a = 0.511

**Mohr-Coulomb Fit**  
cohesion = 0.095 MPa friction angle = 32.52 deg

**Rock Mass Parameters**  
tensile strength = -0.008 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.167 MPa  
global strength = 0.805 MPa  
deformation modulus = 153.79 MPa



Hoek-Brown Classification

sigci 10 MPa  
GSI 40  
mi 7  
D 0.5  
Ei 2000 MPa  
r MR 200

Hoek-Brown Criterion

mb 0.402  
s 0.0003  
a 0.511

Failure Envelope Range

Application: Slopes  
sig3max 0.8177 MPa  
Unit Weight 0.0235 MN/m3  
Slope Height 50 m

Mohr-Coulomb Fit

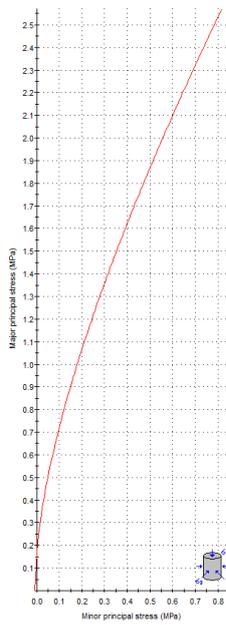
c 0.141 MPa  
phi 27.50 deg

Rock Mass Parameters

sigf 0.008 MPa  
sigc 0.167 MPa  
sigcm 0.805 MPa  
Em 153.79 MPa

Copy Data

rockscience  
www.rockscience.com



Analysis of Rock Strength using RocLab

**Hoek-Brown Classification**  
intact uniaxial comp. strength (sigci) = 10 MPa  
GSI = 40 mi = 7 Disturbance factor (D) = 0.5  
intact modulus (Ei) = 2000 MPa  
modulus ratio (MR) = 200

**Hoek-Brown Criterion**  
mb = 0.402 s = 0.0003 a = 0.511

**Mohr-Coulomb Fit**  
cohesion = 0.141 MPa friction angle = 27.50 deg

**Rock Mass Parameters**  
tensile strength = -0.008 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.167 MPa  
global strength = 0.805 MPa  
deformation modulus = 153.79 MPa

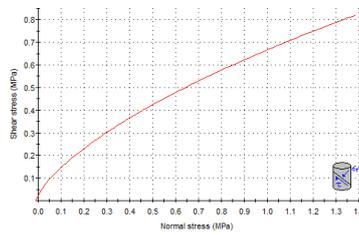


Figura 50 - Classificazione Hoek & Brown – Unità Ap

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 81 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Hoek-Brown Classification

sig<sub>0</sub> 10 MPa

GSI 40

m<sub>i</sub> 7

D 0.5

Ei 2000 MPa

MR 200

---

Hoek-Brown Criterion

m<sub>b</sub> 0.402

s 0.0003

a 0.511

---

Failure Envelope Range

Application: Slopes

sig<sub>3max</sub> 1.1826 MPa

Unit Weight 0.0235 MN/m<sup>3</sup>

Slope Height 75 m

---

Mohr-Coulomb Fit

c 0.178 MPa

phi 24.69 deg

---

Rock Mass Parameters

sig<sub>f</sub> 0.008 MPa

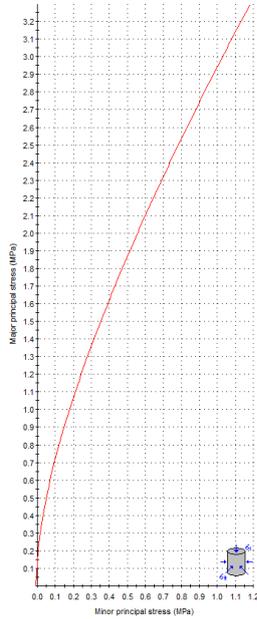
sig<sub>c</sub> 0.167 MPa

sig<sub>cm</sub> 0.805 MPa

E<sub>m</sub> 153.79 MPa

Copy Data

 [www.rockscience.com](http://www.rockscience.com)



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification  
 intact uniaxial comp. strength (sig<sub>0</sub>) = 10 MPa  
 GSI = 40 m<sub>i</sub> = 7 Disturbance factor (D) = 0.5  
 intact modulus (E<sub>i</sub>) = 2000 MPa  
 modulus ratio (MR) = 200

Hoek-Brown Criterion  
 m<sub>b</sub> = 0.402 s = 0.0003 a = 0.511

Mohr-Coulomb fit  
 cohesion = 0.178 MPa friction angle = 24.69 deg

Rock Mass Parameters  
 tensile strength = -0.008 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.167 MPa  
 global strength = 0.805 MPa  
 deformation modulus = 153.79 MPa

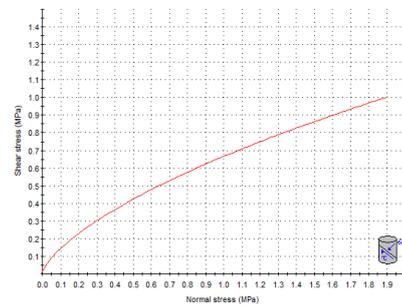


Figura 51 - Classificazione Hoek & Brown – Unità Ap

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 82 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

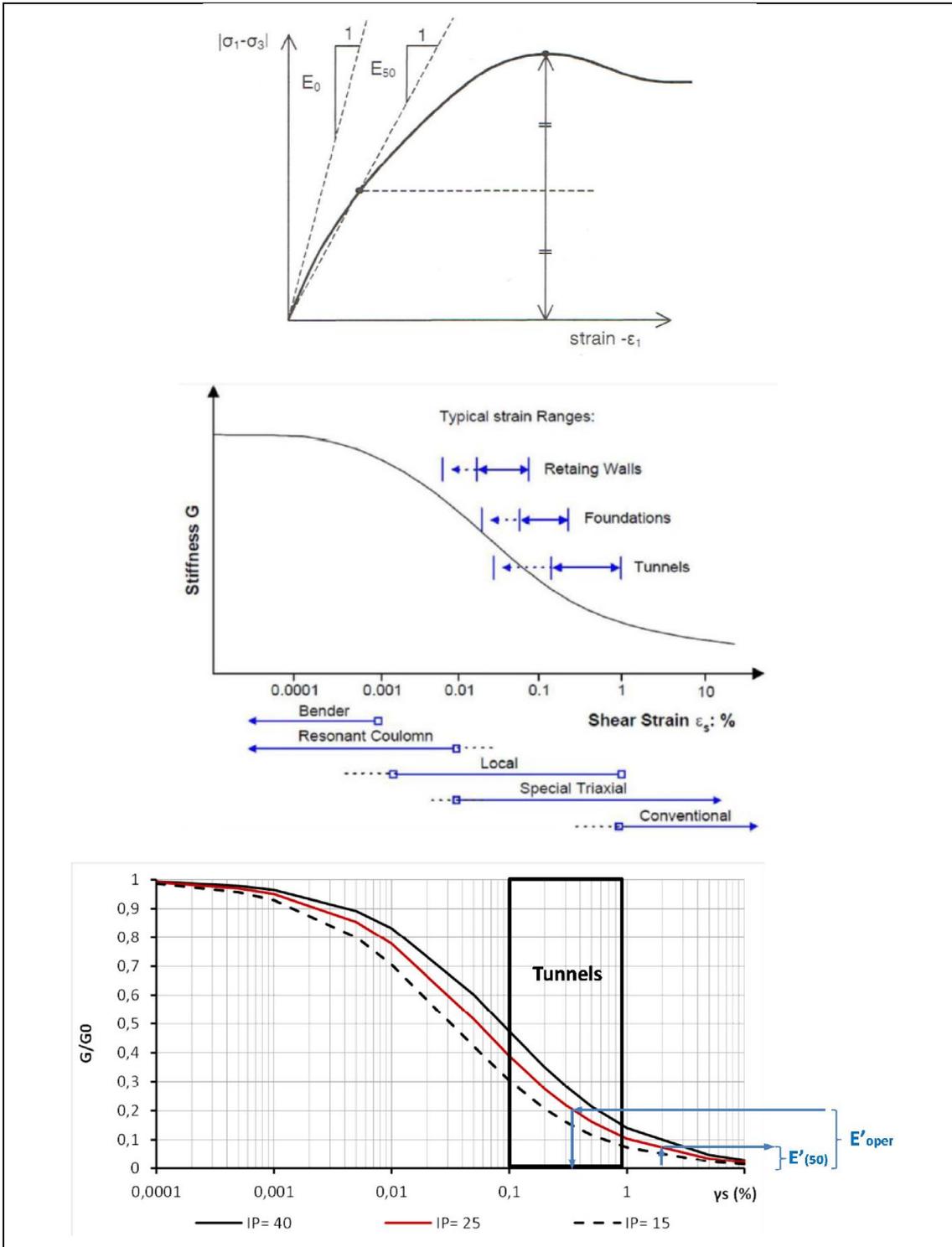


Figura 52 – Definizione di E50 e Curve di decadimento del modulo

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 83 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

**Modulo di deformazione elastico operativo - substrato**

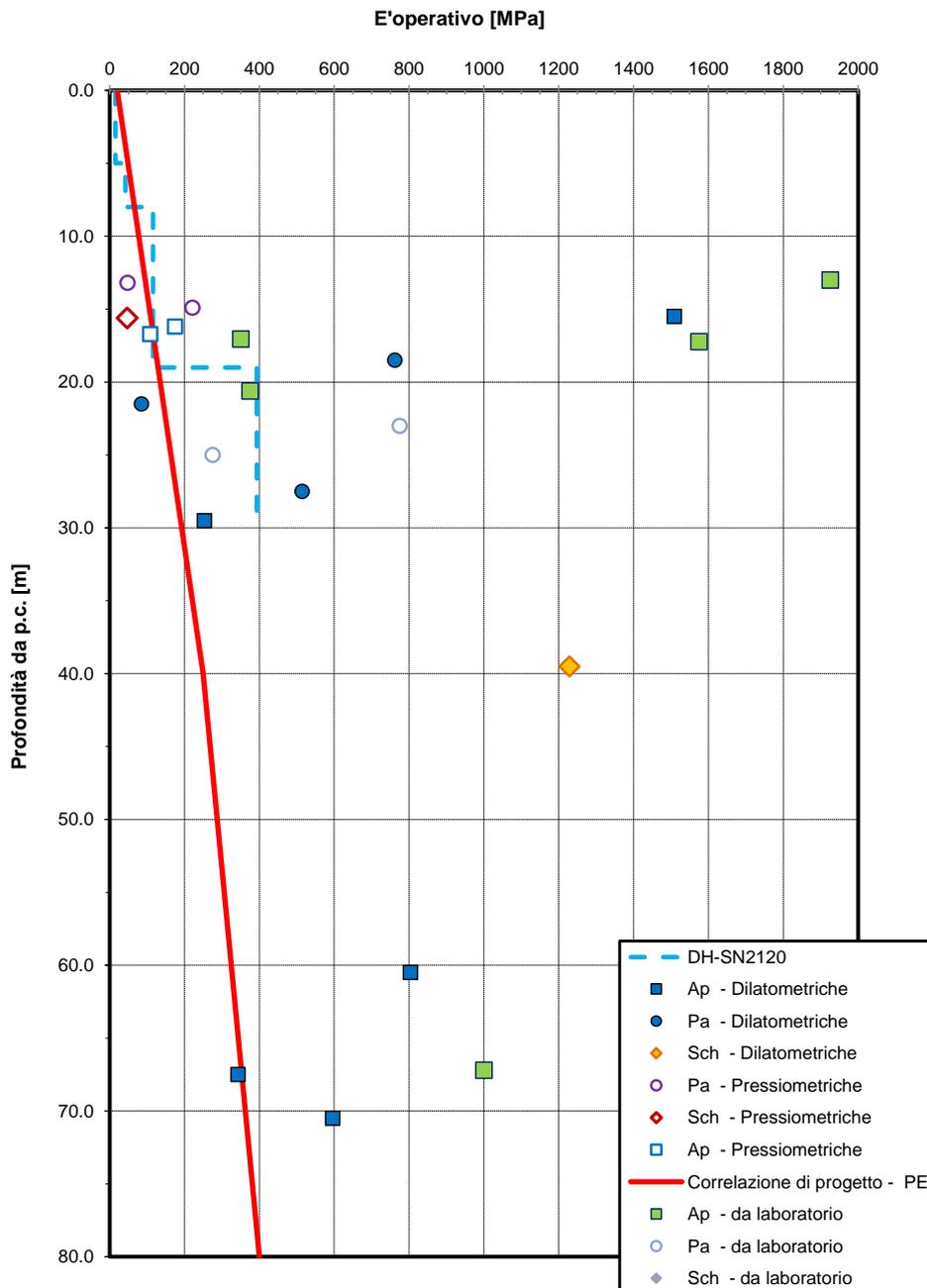


Figura 53 – Modulo di deformazione elastico operativo – Unità Pa, Ap, Sch

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 84 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

**Peso di volume**

$\gamma$  [kN/m<sup>3</sup>]

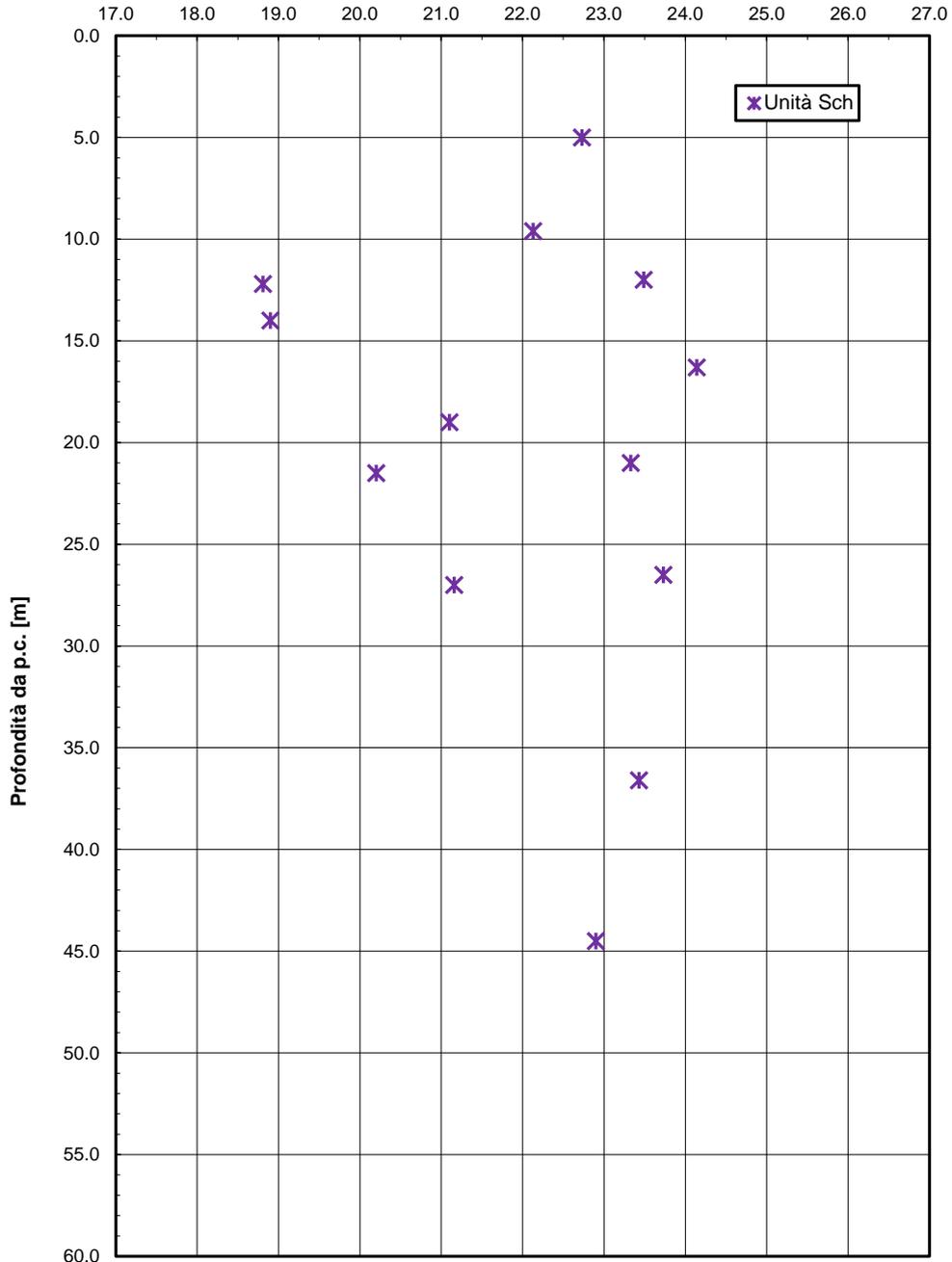


Figura 54 – Peso di volume naturale – Unità Sch

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 85 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

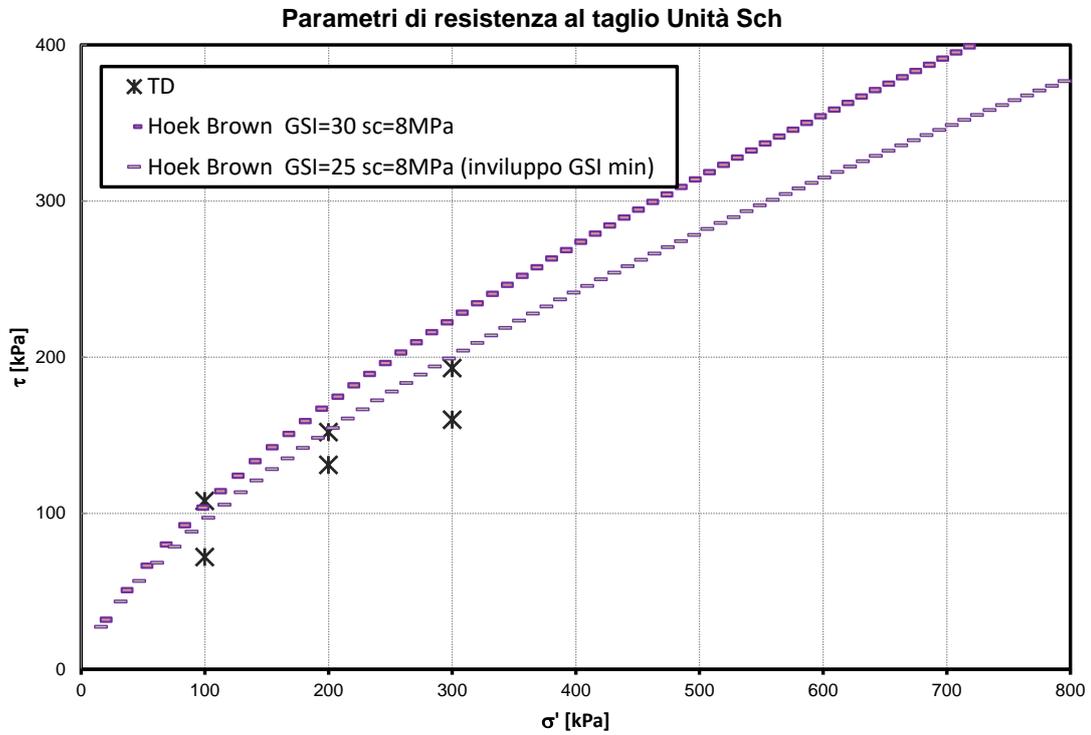


Figura 55 – Involuppi di rottura Hoek & Brown – unità Sch

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 86 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Hoek-Brown Classification

sig<sub>ci</sub> 8 MPa  
GSI 30  
mi 7  
D 0.5  
Ei 1600 MPa  
MR 200

Hoek-Brown Criterion

mb 0.250  
s 0.0001  
a 0.522

Failure Envelope Range

Application: Slopes  
sig<sub>3max</sub> 0.3187 MPa  
Unit Weight 0.022 MN/m<sup>3</sup>  
Slope Height 20 m

Mohr-Coulomb Fit

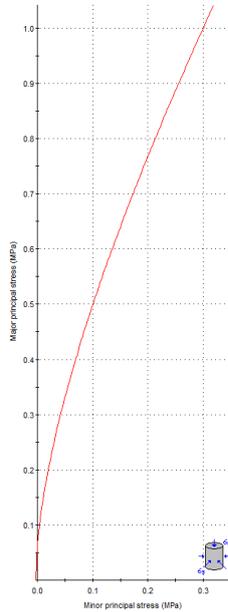
c 0.065 MPa  
phi 28.59 deg

Rock Mass Parameters

sig<sub>t</sub> 0.003 MPa  
sig<sub>c</sub> 0.061 MPa  
sig<sub>cm</sub> 0.470 MPa  
E<sub>m</sub> 70.42 MPa

Copy Data

science  
www.rockscience.com



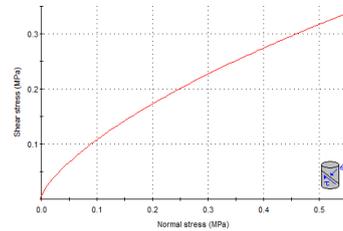
Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification  
intact uniaxial comp. strength (sig<sub>ci</sub>) = 8 MPa  
GSI = 30 mi = 7 Disturbance factor (D) = 0.5  
intact modulus (Ei) = 1600 MPa  
modulus ratio (MR) = 200

Hoek-Brown Criterion  
mb = 0.250 s = 0.0001 a = 0.522

Mohr-Coulomb Fit  
cohesion = 0.065 MPa friction angle = 28.59 deg

Rock Mass Parameters  
tensile strength = -0.003 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.061 MPa  
global strength = 0.470 MPa  
deformation modulus = 70.42 MPa



Hoek-Brown Classification

sig<sub>ci</sub> 8 MPa  
GSI 30  
mi 7  
D 0.5  
Ei 1600 MPa  
MR 200

Hoek-Brown Criterion

mb 0.250  
s 0.0001  
a 0.522

Failure Envelope Range

Application: Slopes  
sig<sub>3max</sub> 0.7336 MPa  
Unit Weight 0.022 MN/m<sup>3</sup>  
Slope Height 50 m

Mohr-Coulomb Fit

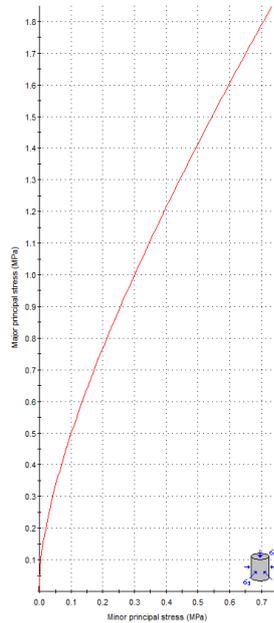
c 0.094 MPa  
phi 22.45 deg

Rock Mass Parameters

sig<sub>t</sub> -0.003 MPa  
sig<sub>c</sub> 0.061 MPa  
sig<sub>cm</sub> 0.470 MPa  
E<sub>m</sub> 70.42 MPa

Copy Data

science  
www.rockscience.com



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification  
intact uniaxial comp. strength (sig<sub>ci</sub>) = 8 MPa  
GSI = 30 mi = 7 Disturbance factor (D) = 0.5  
intact modulus (Ei) = 1600 MPa  
modulus ratio (MR) = 200

Hoek-Brown Criterion  
mb = 0.250 s = 0.0001 a = 0.522

Mohr-Coulomb Fit  
cohesion = 0.094 MPa friction angle = 22.45 deg

Rock Mass Parameters  
tensile strength = -0.003 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.061 MPa  
global strength = 0.470 MPa  
deformation modulus = 70.42 MPa

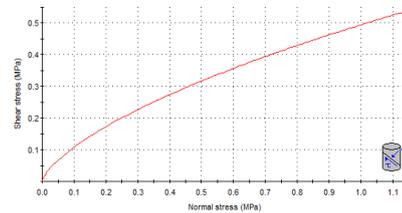


Figura 56 - Classificazione Hoek & Brown – Unità Sch

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 87 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Hoek-Brown Classification

sigc 6 MPa

GSI 25

m 7

D 0.5

Ei 1800 MPa

MR 200

Hoek-Brown Criterion

mb 0.197

s 4.54e-5

a 0.531

Failure Envelope Range

Application: Slopes

sig3max 0.7218 MPa

Unit Weight 0.022 MN/m3

Slope Height 50 m

Mohr-Coulomb Fit

c 0.080 MPa

phi 20.39 deg

Rock Mass Parameters

sigt -0.002 MPa

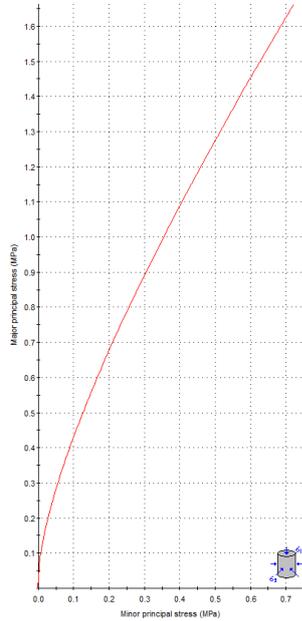
sigc 0.039 MPa

sigcm 0.392 MPa

Em 56.67 MPa

Copy Data

Science  
www.tccscience.com



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification  
 intact uniaxial comp. strength (sigc) = 6 MPa  
 GSI = 25    m = 7    Disturbance factor (D) = 0.5  
 intact modulus (Ei) = 1800 MPa  
 modulus ratio (MR) = 200

Hoek-Brown Criterion  
 mb = 0.197    s = 4.54e-5    a = 0.531

Mohr-Coulomb Fit  
 cohesion = 0.080 MPa    friction angle = 20.39 deg

Rock Mass Parameters  
 tensile strength = -0.002 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.039 MPa  
 global strength = 0.392 MPa  
 deformation modulus = 56.67 MPa

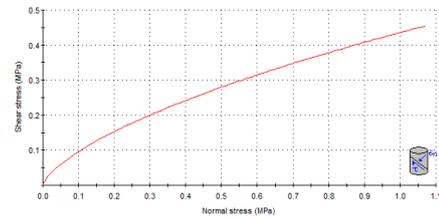


Figura 57 - Classificazione Hoek & Brown – Unità Sch

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 88 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Sond.	Profondità [m]		sc [Mpa]	P1	RQD %	P2	P3	condizioni discontinuità					P4	venute acqua	P5	P6	RMR	GSI	Unità
	da	a						continuità	apertura	scabrezza	riempimento	alterazione							
S38	50.00	55.50	2.8	1	80	17	8	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	42	37	Ap
S38	55.50	62.50	2.4	1	70	13	8	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	38	33	Ap
S38	68.00	72.00	0.4	0	95	20	8	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	44	39	Pa
S39	13.00	20.00	0.13	0	40	8	10	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	34	29	Pa
S41	5.00	10.00	1.3	1	60	13	8	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	38	33	Sch
S41	10.00	16.00	12.4	2	65	13	8	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	39	34	Sch
S41	19.00	21.70	13.7	2	65	13	8	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	39	34	Sch
S41	26.00	30.00	7.1	2	75	17	8	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	43	38	Sch
S28	15.00	16.50	0.64	0	35	13	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	34	29	Pa
S28	16.50	20.00	0.70	0	90	20	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	41	36	Pa
S28	20.00	24.00	1.60	1	95	20	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	42	37	Pa
S28	24.00	27.00	6.92	2	75	17	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	40	35	Pa
S28	27.00	30.00	20.00	2	94	20	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	43	38	Ap
S29	10.15	20.00	9.35	2	70	13	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	36	31	Ap
S29	22.00	25.00	18.54	2	96	20	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	43	38	Ap
S29	25.00	29.00	2.56	1	80	20	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	42	37	Pa
S29	29.00	30.00	17.27	2	91	20	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	43	38	Ap
S30	20.70	22.00	0.55	0	75	13	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	34	29	Pa
S30	27.50	30.00	3.41	1	100	20	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	42	37	Ap
S34	13.60	15.50	0.29	0	80	20	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	41	36	Pa
S34	17.50	20.00	0.46	0	99	20	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	41	36	Pa
S36	5.00	7.00	3.21	1	99	20	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	42	37	Ap
S36	9.50	12.00	1.45	1	96	20	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	42	37	Ap
S36	15.00	18.00	1.33	1	95	20	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	42	37	Ap
S36	23.00	25.00	0.47	0	64	13	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	34	29	Pa
A1.3	13.40	21.00	2.45	1	90	20	10	2	4	3	2	3	14	no	15	-5	55	50	Ap
A1.3	21.00	25.00	0.86	0	90	20	8	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	44	39	Ap
A2.3	16.00	17.00	2.59	1	90	20	10	2	4	3	2	3	14	no	15	-5	55	50	Ap
A2.3	13.00	16.00	9.72	2	90	20	10	2	4	3	2	3	14	no	15	-5	56	51	Ap
A2.3	16.00	18.00	8.08	2	90	20	10	2	4	3	2	3	14	no	15	-5	56	51	Ap
A4.3	70.00	77.00	26.46	4	90	20	10	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	50	45	Ap
A5.3	66.00	78.00	3.46	2	80	20	8	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	46	41	Ap
A7.3	23.00	25.00	4.02	2	80	20	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	43	38	Pa
A9.3	42.00	45.00	11.9	2	55	13	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	36	31	Sch
A10.3	30.00	38.00	6.06	2	70	13	8	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	39	34	Sch
X3.3	6.20	9.70	1.155	1	90	20	8	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	45	40	Pa
X3.3	9.70	14.00	4.66	1	90	20	10	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	47	42	Ap
X3.3	14.00	17.00	3.24	1	90	20	10	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	47	42	Pa
X3.5	14.70	17.40	5.6	2	80	20	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	43	38	Ap
X3.7	17.00	20.00	2.2	1	90	20	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	42	37	Pa
X3.9	24.00	27.00	23.3	2	90	20	10	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	48	43	Ap
X3.10	13.00	15.00	5.5	2	80	20	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	43	38	Ap
X3.12	12.00	17.00	1.08	1	80	20	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	42	37	Pa
X3.14	12.00	14.00	11.1	2	50	8	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	31	26	Ap
X3.14	17.00	20.00	30.3	4	90	20	8	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	48	43	Ap
X3.16	13.00	19.00	30.1	4	90	20	8	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	48	43	Ap
X3.18	11.00	14.00	1.1	1	60	7	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	29	24	Pa
X3.18	17.00	20.00	1.3	1	60	7	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	29	24	Pa
X3.20	10.00	13.00	1.86	1	60	7	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	29	24	Pa
X3.22	22.50	25.00	15.5	2	90	20	10	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	48	43	Ap
X4.6	9.00	11.00	4.7	1	50	8	5	2	4	3	2	3	14	no	7	-5	30	25	Sch

Figura 58 – Classificazione RMR, GSI

#### 4.10 Falda

Nel profilo stratigrafico longitudinale è stato rappresentato il livello di falda massimo lungo il tracciato, desunto dalle letture piezometriche a disposizione, nel seguito riportate. Per le strumentazioni installate nel 2017

Sondaggio n°	Tipo Piezometro	Profondità installazione (m)	Data	Livello falda (m da p.c.)
33	tubo aperto	40	02.12.02	24.01
33	tubo aperto	40	13.12.02	22.52
33	tubo aperto	40	11.01.03	22.43
33	tubo aperto	40	25.01.03	22.84
BH17	tubo aperto	25	29.12.04	5.40
BH18	tubo aperto	25	29.12.04	10.13
BH8	tubo aperto	25	07.12.04	6.73
BH8	tubo aperto	25	29.12.04	6.70
38	tubo aperto	30	13.12.02	9.91
38	tubo aperto	30	11.12.03	12.32
38	tubo aperto	30	25.01.03	12.72
BH9	tubo aperto	25	07.12.04	7.63
BH9	tubo aperto	25	29.12.04	7.60
BH10	tubo aperto	25	07.12.04	6.20
BH10	tubo aperto	25	29.12.04	6.18
BH11	tubo aperto	25	29.12.04	1.30

Nella seguente tabella sono sintetizzati i livelli massimi di falda rilevati nelle strumentazioni installate nel 2006-2007.

Piezometro	Livello falda (m da p.c.)
SN2226bis	CC1=0.0; CC2: 1.4
SN2238bis	1.7
SN2242bis	1.4
SN2244bis	0.3

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

3° stralcio funzionale (Castelraimondo nord - Castelraimondo sud)

4° stralcio funzionale (Castelraimondo sud - innesto S.S.77 a Muccia)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 02	WBS GE0001	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 90 di 90
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Nella seguente tabella sono sintetizzati i livelli massimi di falda rilevati nelle strumentazioni installate nel 2017 (disponibili 4 letture da maggio 2017 a dicembre 2019).

Piezometro	Livello falda (m da p.c.)
X3.3	1.8
X3.4	3.8
X3.5	3.7
X3.6	12.0
X3.7bis	1.8
X3.10	0.8
X3.13	2.7
X3.14	8.4
X3.17	18.5
X3.18	7.6
X3.19bis	4.7
X3.20	8.0
X4.1	6.9
X4.3	4.1
X4.4bis	5.6
X4.5	2.5
X4.6	5.7