



Anas SpA

Direzione Centrale Progettazione



Regione Lombardia

Provincia di Milano

Legge n. 345/97

Accordo di programma quadro in materia di trasporti

Realizzazione di un sistema integrato di accessibilità ferroviaria e stradale
all'aeroporto di Malpensa 2000

(CONVENZIONE DEL 29.10.1999)

Collegamento tra la S.S.n.11 "Padana Superiore" a Magenta
e la Tangenziale ovest di Milano
Variante di Abbiategrasso sulla S.S.n.494 e adeguamento in sede
del tratto Abbiategrasso Vigevano fino al nuovo ponte sul Ticino

PROGETTO DEFINITIVO - 1° STRALCIO FUNZIONALE

B - GEOLOGIA - GEOTECNICA

Relazione geotecnica

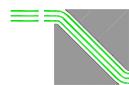
Revisioni	Controllato	Approvato	Data :Dicembre 2008.....	Scala :-.....
			Agg.to :Novembre 2014.....	All.to n.B.2.....

Progettazione :



Società Esercizi Aeroportuali s.p.a.
20090 Aeroporto Milano Linate tel. 02/74851

Progettazione redatta da :



errevia s. r. l.
RICERCA VIABILITÀ AMBIENTE

Centro operativo: 20090 TREZZANO s/N (MI), via Cristoforo Colombo n. 23

Il Progettista :

Il Direttore Tecnico
Dott. Ing. Alberto RINALDI

.....
.....

Visto

La Direzione Centrale Progettazione :

Dott. Ing. Nicola DINNELLA

.....

Visto

Il Responsabile del Procedimento :

Dott. Ing. Domenico PETRUZZELLI

.....

Relazione Geotecnica

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1	Elaborati progettuali	5
2.2	Normativa tecnica	6
3	INDAGINI ESEGUITE	6
3.1	Sondaggi a carotaggio continuo	10
3.2	Prove Penetrometriche Dinamiche - DPH	12
3.3	Analisi di laboratorio	14
3.4	Pozzetti esplorativi e classificazione terre	20
3.5	Profili sismici MASW e prove Down Hole	22
3.6	Indagini esistenti	24
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI	27
4.1	Correlazione SCPT - SPT	27
4.2	Materiali a grana grossa (sabbie e ghiaie)	37
4.2.1	Densità relativa	37
4.2.2	Angolo di resistenza al taglio	47
4.2.3	Caratteristiche di deformabilità	57
4.3	Materiali a grana fine (limi) saturi	67
4.3.1	Resistenza al taglio non drenata	67
4.3.2	Caratteristiche di deformabilità	68
4.4	MODELLO GEOLOGICO GEOTECNICO	69
4.5	Unità litotecniche	69
4.1	Parametri caratteristici	70
4.2	Stratigrafie di progetto opere maggiori	71
5	LIVELLI DI FALDA	84
6	ANALISI DEI CEDIMENTI RILEVATI	86

7 CONCLUSIONI ED INDICAZIONI PROGETTUALI

92

1 INTRODUZIONE

La presente relazione geotecnica riguarda il tracciato del 1° stralcio funzionale del nuovo collegamento viario tra la SS11 "Padana Superiore" a Magenta e la Tangenziale Ovest di Milano, Variante di Abbiategrasso sulla S.S. n. 494 e adeguamento in sede del tratto Abbiategrasso Vigevano fino al nuovo ponte sul Ticino nella fase di progettazione definitiva.

Nell'ambito del progetto dei lavori di realizzazione di un sistema di accessibilità stradale tra la zona a sud di Milano e l'aeroporto della Malpensa (A 4/ S.S. n° 11/S.S. n° 494/Tangenziale ovest di Milano/Variante di Abbiategrasso), sono state eseguite:

- N. 1 campagna di indagini geognostica nel gennaio-febbraio 2000, da parte della ditta TEA Srl su incarico di SEA Società Esercizi Aeroportuali S.p.A.;
- N. 1 campagna di indagine nel 2008 ad integrazione della precedente;
- N. 1 campagna di indagine nell'ottobre-novembre 2014, da parte della ditta Elletipi Srl su incarico di SEA Società Esercizi Aeroportuali S.p.A., finalizzata all'adeguamento del presente progetto alla vigente normativa (D.M. 14.01.2008).
Ad oggi la campagna di indagine no è stata ancora completata.

L'indagine, conforme alle prescrizioni del Nuovo Testo Unico delle Costruzioni (D.M. 14.01.2008: "Norme tecniche per le costruzioni"), si prefigge lo scopo di definire il modello geologico tecnico del sottosuolo propedeutico alla progettazione delle strutture di fondazione e di evidenziare eventuali criticità dal punto di vista geologico-geotecnico.

I tracciati stradali di progetto consistono :

- TRATTA A (Magenta – Albairate) collegamento in variante di lunghezza pari a circa 9 Km, con piattaforma stradale classificata come Strada di Tipo C1 Extraurbana Principale dalle "Norme Funzionali e Geometriche per la Costruzione delle Strade" stradali del DM 05.11.2001 che prevedono una sezione composta da una carreggiata formata da due corsie di m. 3,75 e fiancheggiate da banchine di larghezza di m 1.50 per un totale di pavimentato pari a 10.50m. Ha caposaldo iniziale sulla S.S. n.526 a Magenta, e caposaldo finale sulla S.P. n.114 ad Albairate;

- TRATTA C (Albairate – Ozzero) collegamento in variante di lunghezza pari a circa 8 Km, con piattaforma stradale classificata come Strada di Tipo C1 Extraurbana Principale dalle "Norme Funzionali e Geometriche per la Costruzione delle Strade" stradali del DM 05.11.2001 che prevedono una sezione composta da una carreggiata formata da due corsie di m. 3,75 e fiancheggiate da banchine di larghezza di m 1.50 per un totale di pavimentato pari a 10.50m. Ha caposaldo iniziale sullo svincolo n. 5 ad Albairate, e caposaldo finale sulla S.S. n.494 ad Abbiategrasso – Ozzero;
- VARIANTE DI PONTENUOVO DI MAGENTA collegamento in variante di lunghezza pari a circa 0,900 Km, con piattaforma stradale classificata come Strada di Tipo C1 Extraurbana Principale dalle "Norme Funzionali e Geometriche per la Costruzione delle Strade" stradali del DM 05.11.2001 che prevedono una sezione composta da una carreggiata formata da due corsie di m. 3,75 e fiancheggiate da banchine di larghezza di m 1.50 per un totale di pavimentato pari a 10.50m. Ha caposaldo iniziale sulla S.S.n.11 a Boffalora T. – Magenta, e caposaldo finale sulla S.P. n.225 a Boffalora T.

Lo studio, partendo dagli aspetti geologici generali, entra nel dettaglio del comparto, analizzando i terreni investigati ed assegnando i valori dei parametri geotecnici in riferimento all'opera da realizzare, dando le prescrizioni e i consigli necessari, nel settore di competenza, per una corretta progettazione ed esecuzione delle opere.

Le geometrie, la tipologia dei materiali utilizzati e la distribuzione planimetrica delle strutture sono dettagliate negli appositi elaborati grafici a supporto del progetto.

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Elaborati progettuali

- Tratta A (Magenta–Albairate) – Planimetria generale
- Tratta C (Albairate-Ozzero) – Planimetria generale
- Variante di Ponte Nuovo di Magenta – Planimetria generale

- Tratta A (Magenta–Albairate) – Profilo longitudinale tracciato principale (1:2000/200)
- Tratta C (Albairate-Ozzero) – Profilo longitudinale tracciato principale (1:2000/200)
- Variante di Ponte Nuovo di Magenta – Profilo longitudinale tracciato principale (1:2000/200)
-

2.2 Normativa tecnica

- D.M. 14.01.2008: "Norme tecniche per le costruzioni"
- D.M. 161 del 10 agosto 2012

3 INDAGINI ESEGUITE

Nella recente campagna di indagine (ottobre-novembre 2014) sono state eseguite le seguenti prove:

TRATTA A

	Tipo di prova	Nomenclatura	Piezometro	Down Hole
n.16	Sondaggi a carotaggio continuo fino alla profondità di 30.0 m	S14-05	-	x
		S14-06	x	-
		S14-07	-	-
		S14-08	x	-
		S14-09	-	x
		S14-10	x	-
		S14-11	-	-
		S14-12	x	-
		S14-15	x	-
		S14-16	-	x
		S14-17	x	-
		S14-18	x	-
		S14-19	-	x
		S14-20	x	-
S14-21	-	x		
S14-22	X			
n.2	Sondaggi a carotaggio continuo fino alla profondità di 30.0 m	S14-13	-	-
		S14-14	x	-
n.12	Prove penetrometriche dinamiche DPH eseguite fino a 15.0 m di profondità o a raggiungimento del rifiuto alla penetrazione	Da P14-03 a P14-14	-	-
n. 10	Pozzetti esplorativi e prelievo di campioni rimaneggiati per classificazione stradale (ex CNR UNI 10006)	da PZ14-03 a PZ14-12	-	-
n. 3	Analisi sismica tipo MASW	da MASW14-02 a MASW14-04	-	-
n. 40	Analisi ambientale	da CA14-06 a CA14-45	-	-

Tab. 4.I – Tratta A – Indagini eseguite (ottobre/novembre 2014)

TRATTA C

	Tipo di prova	Nomenclatura	Piezometro	Down Hole
n. 4	Sondaggi a carotaggio continuo fino alla profondità di 30.0 m	S14-23	-	x
		S14-24	x	-
		S14-25	x	-
		S14-26	x	-
n. 5	Sondaggi a carotaggio continuo fino alla profondità di 35.0 m	S14-31	x	-
		S14-32	-	x
		S14-33	x	-
		S14-34	-	x
		S14-35	x	-
n.1	Sondaggi a carotaggio continuo fino alla profondità di 20.0 m	S14-36	x	-
n.12	Prove penetrometriche dinamiche DPH eseguite fino a 15.0 m di profondità o a raggiungimento del rifiuto alla penetrazione	da P14-015 a P14-26	-	-
n.8	Pozzetti esplorativi e prelievo di campioni rimaneggiati per classificazione stradale (ex CNR UNI 10006)	da PZ14-13 a P14-21 (escluso PZ14-15)	-	-
n.6	Analisi sismica tipo MASW	da MASW14-05 a MASW14-10	-	-
n.15	Analisi ambientale	da CA14-45 a CA14-60	-	-

Tab. 4.I – Tratta C – Indagini eseguite (ottobre/novembre 2014)

VARIANTE DI PONTE NUOVO DI MAGENTA

	Prova	Nomenclatura	Piezometro	Down Hole
n. 4	Sondaggi a carotaggio continuo fino alla profondità di 35.0 m	S14-03	-	x
		S14-04	x	-
n.2	Prove penetrometriche dinamiche DPH eseguite fino a 15.0 m di profondità o a raggiungimento del rifiuto alla penetrazione	P14-01	-	-
		P14-02	-	-
n.2	Pozzetti esplorativi e prelievo di campioni rimaneggiati per classificazione stradale (ex CNR UNI 10006)	PZ14-01	-	-
		PZ14-02	-	-
n.1	Analisi sismica tipo MASW	MASW14-01	-	-
n.5	Analisi ambientale	da CA14-01 a CA14-05	-	-

Tab. 4.1.I – Variante Ponte Nuovo di Magenta – Indagini eseguite (ottobre/novembre 2014)

Inoltre per ciascun sondaggio geognostico sono state eseguite:

- n. 7 prove penetrometriche dinamiche tipo Standard Penetration Test (SPT), a diverse profondità;
- n. 3 analisi di laboratorio su campioni rimaneggiati.

e nei sondaggi S14-18, S14-19, S14-20, S14-21, S14-22 prelevati n.5 campioni indisturbati su cui sono state eseguite prove triassiali consolidate drenate.

Nel piano di indagine in progetto all'interno dei pozzetti esplorativi era prevista l'esecuzione di Prove di Carico su Piastra (CNR 146 del 1992) che non è stato possibile realizzare per inagibilità dei terreni dovuta alle forti precipitazioni che hanno caratterizzato tutto il mese di novembre e sostituite, in accordo con ANAS S.p.A., da prove di classificazione stradale delle terre.

Per i risultati delle analisi ambientali si rimanda al documento B.1-Relazione Geologica, Idrogeologica e Sismica.

Per una dettagliata visione dell'ubicazione delle indagini eseguite nell'area in oggetto si rimanda ai documenti B.8.1/2, B.12.1/2, B.16 (Planimetria ubicazione indagini geognostiche – Tratto A, Tratto C e Variante di Ponte Nuovo di Magenta) .

3.1 Sondaggi a carotaggio continuo

I sondaggi geognostici sono stati eseguiti adottando il metodo di perforazione a rotazione, con carotaggio continuo integrale utilizzando carotieri semplici di diametro di 101 mm.

Le profondità investigate variano da 20 m a 35 m dal piano campagna.

In tutti i sondaggi è stato rilevato terreno con comportamento granulare da sabbia fine a sabbia limosa fino a ghiaia con sabbia/sabbia con ghiaia. Sono presenti superficialmente livelli coesivi di spessore limitato (max 1.5 m) quali limi sabbiosi/limi con sabbie.

Per una dettagliata visione delle stratigrafie e della documentazione fotografica dei sondaggi sopra citati si rimanda al documento B.3 – Indagini Geognostiche.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono state condotte prove penetrometriche dinamiche tipo SPT, i cui numero di colpi $N_{SPT} = N_2 + N_3$ (N_2 N_3 = numero di colpi necessari per affondare il campionatore di 15 cm) sono riassunti nella seguente tabella.

Profondità	PONTE NUOVO		TRATTA A																		TRATTA C									
	S14-03	S14-04	S14-05	S14-06	S14-07	S14-08	S14-09	S14-10	S14-11	S14-12	S14-13	S14-14	S14-15	S14-16	S14-17	S14-18	S14-19	S14-20	S14-21	S14-22	S14-23	S14-25	S14-26	S14-31	S14-32	S14-33	S14-34	S14-35	S14-36	
0.50																														
1.00																														
1.50																														
2.00							12				8	35					29				19				12					
2.50													31											35						
3.00	8		25	20		37		37	29					28	31	19		19	42	21		20	7	20			54	71	20	
3.50																														
4.00		36			21						81																			
4.50																														
5.00												78																		
5.50								11																					18	
6.00	46		27						34		39		34									22	17	12		77		37		
6.50															25															
7.00						39	56												61							29				
7.50																														
8.00		100									100			26										16			28			
8.50																														
9.00	100			28	26			48	47		31	35				33		33		21		25	21					19		
9.50																														
10.00						49					10		40		30		22					23				27		31		
10.50																														
11.00				37			43							29					30						74		33		23	
11.50																														
12.00	87		21		25				65	73						32		33				26	23	22						
12.50		78																											26	
13.00						64		61				37			27															
13.50																														
14.00			26								34			32						23										
14.50												47																		
15.00	100	80							40																33		29	24		
15.50																														
16.00				44	27						36					29	23		37		23			51			34			
16.50																														
17.00			29			100		62						41				29						23						
17.50																														
18.00	30						58					36			28					22		31	22							
18.50																														
19.00		100									36		35												67	36			27	
19.50																														
20.00				25	27			39		41							22	35	35		22									
20.50																37														
21.00	35		32			65			37						28					24								26		
21.50																														
22.00							100							48			25													
22.50																														
23.00		35				38						46						35	40					26			29			
23.50																														
24.00				25	23				36													35	25			38				
24.50																37														
25.00								39		43										25	21				42					
25.50																														
26.00		35											46	29		29												29		
26.50																														
27.00				25			69					34						36	41			50	31				31			
27.50																47														
28.00			28		24															28				25		41				
28.50																														
29.00																						24								
29.50																														
30.00																									43		33			
30.50																														
31.00																														
31.50																								25				31		
32.00																														

Tab. 4.1.I – N_{SPT} – Numero di colpi vs profondità

3.2 Prove Penetrometriche Dinamiche - DPH

Le prove sono state eseguite con penetrometro dinamico tipo Pagani DPH (Dynamic Probing Heavy).

La prova permette di registrare il numero di colpi necessari per l'infissione di cm 20 delle aste nel terreno (N_{SCPT}) in modo continuo, fino alla profondità di fine prova, fornendo delle indicazioni sui parametri geotecnici in funzione della resistenza che il terreno stesso offre alla penetrazione.

Per una dettagliata visione dell'andamento delle prove si rimanda al documento B.3 – Indagini Geognostiche.

I risultati ottenuti sono riportati nella seguente tabella.

Profondità	PONTE NUOVO		TRATTA A												TRATTA C											
	P14-01	P14-02	P14-03	P14-04	P14-05	P14-06	P14-07	P14-08	P14-09	P14-10	P14-11	P14-12	P14-13	P14-14	P14-15	P14-16	P14-17	P14-18	P14-19	P14-20	P14-21	P14-22	P14-23	P14-24	P14-25	P14-26
0.00	3																									
0.20	2	7	4	7	3	4	3	4	5	6	3	2	1	1	4	4	5	5	5	5	1	2	2	5	1	6
0.40	1	5	6	6	3	7	25	2	4	8	5	6	5	5	7	7	7	6	6	7	2	5	4	5	2	9
0.60	5	3	7	8	3	11	31	2	6	10	7	7	7	9	5	6	4	6	6	5	13	8	3	6	2	13
0.80	6	2	23	19	3	7	28	4	6	7	8	8	6	9	4	5	4	4	5	4	13	6	3	5	3	10
1.00	5	2	21	24	4	7	17	5	5	5	7	6	7	7	3	4	5	3	4	2	9	5	3	4	4	10
1.20	6	6	12	34	4	6	16	7	8	5	5	4	4	6	3	4	3	4	3	4	8	5	3	1	4	12
1.40	5	4	7	20	4	5	16	6	9	5	4	5	5	6	7	3	3	7	4	8	7	4	4	1	6	7
1.60	5	7	5	17	2	5	11	5	9	3	5	4	4	4	8	3	7	9	7	9	4	4	5	18	7	7
1.80	5	5	6	14	2	5	10	2	7	3	5	4	4	4	9	6	8	9	9	12	4	3	7	29	7	11
2.00	5	4	6	11	2	6	7	2	9	2	4	4	4	3	11	7	9	9	9	9	2	2	9	25	8	15
2.20	6	4	10	10	1	4	8	3	11	3	4	3	4	4	9	8	13	10	9	9	2	2	11	11	11	16
2.40	5	3	11	12	2	3	8	5	9	3	3	4	3	3	9	7	10	9	8	10	2	1	10	5	13	13
2.60	7	4	15	14	2	1	12	7	6	2	3	4	2	2	10	9	7	6	7	7	3	1	8	5	8	8
2.80	8	5	13	15	2	1	8	8	8	4	4	4	3	1	9	10	6	7	6	6	2	2	8	3	6	2
3.00	7	3	16	18	1	2	7	7	9	8	3	3	2	2	7	10	6	6	6	7	2	2	9	2	8	1
3.20	6	4	16	19	1	1	9	7	10	6	3	3	5	1	6	9	7	6	6	6	4	3	9	1	6	4
3.40	9	1	16	22	1	1	10	6	7	6	3	2	4	1	7	7	7	6	7	5	4	3	8	2	5	15
3.60	5	3	29	27	1	1	11	5	7	7	2	1	2	2	5	6	6	5	6	6	3	3	6	6	5	17
3.80	3	3	36	39	1	2	19	5	8	7	3	1	2	2	6	5	5	4	5	4	4	2	6	6	5	14
4.00	9	15	9	24	2	3	25	5	9	3	3	1	3	1	4	5	4	4	4	4	4	4	9	7	5	12
4.20	24	21	5	17	2	3	26	6	8	1	3	2	3	2	4	4	4	3	1	1	3	6	10	11	8	13
4.40	33	17	5	15	3	2	27	2	6	2	4	3	8	4	3	4	3	1	1	1	4	4	9	13	7	16
4.60	20	13	5	16	3	3	20	7	7	1	4	4	6	5	1	2	1	1	2	3	4	5	8	8	8	16
4.80	8	10	8	12	3	9	13	7	5	2	7	6	6	3	2	2	1	2	4	2	5	5	7	4	9	17
5.00	11	13	13	11	2	7	9	5	4	1	8	8	4	4	3	3	4	4	4	4	5	4	9	6	7	18
5.20	24	14	10	9	4	3	8	6	4	1	8	5	5	3	3	4	4	3	3	4	6	4	8	7	8	16
5.40	43	22	8	9	9	6	5	7	6	1	7	4	5	3	3	3	4	4	4	4	6	5	7	9	7	15
5.60	40	27	8	6	11	9	7	4	6	2	7	7	5	3	4	4	3	4	4	2	6	5	6	11	6	15
5.80	26	22	7	8	10	7	7	7	6	1	8	7	6	3	3	4	5	3	5	4	8	5	8	12	7	22
6.00	28	21	13	15	10	4	6	7	6	4	7	6	9	1	4	5	7	6	6	7	7	6	7	11	9	25
6.20	34		13	17	9	4	5	7	5	4	6	7	3	4	5	4	5	5	5	4	4	8	10	8	26	
6.40	43		8	26	10	8	5	6	6	6	5	4	5	5	7	8	6	6	6	6	5	6	9	7	10	19
6.60	100		7	32	3	2	4	6	2	6	6	3	5	3	8	7	7	7	6	7	5	7	9	9	7	22
6.80			7	48	2	1	6	5	6	6	7	5	3	4	9	7	8	7	6	8	6	6	9	10	8	26
7.00			7	50	2	1	5	6	5	5	9	6	8	5	8	9	8	8	7	7	6	5	8	10	10	24
7.20			16		3	3	5	5	6	5	8	8	7	6	8	9	7	8	9	8	7	6	9	13	11	25
7.40			12		2	5	6	8	5	10	8	7	4	7	8	7	9	9	8	8	7	7	9	16	11	21
7.60			14		3	5	6	8	6	9	7	7	4	8	7	9	8	8	8	8	7	8	9	16	9	15
7.80			12		6	10	6	8	6	8	8	6	9	8	9	9	8	7	7	9	11	8	9	22	10	18
8.00			10		5	16	5	8	5	8	9	9	10	8	6	8	8	9	13	6	10	8	9	18	11	17
8.20			5		15	22	7	6	6	9	9	7	10	7	9	8	9	14	14	10	10	7	10	15	12	18
8.40			2		9	18	8	7	8	8	10	8	10	7	9	8	9	13	14	15	9	7	12	17	13	19
8.60			2		5	20	4	8	8	7	10	8	10	9	10	9	12	13	10	14	9	7	10	22	11	19
8.80			2		8	37	5	9	9	9	9	8	9	9	15	15	15	10	10	10	9	9	12	23	9	20
9.00			3		17	29	5	12	11	8	8	9	10	8	14	15	15	9	9	9	11	10	12	16	11	23
9.20			3		17	28	6	13	11	9	9	10	11	9	11	13	13	7	8	6	10	10	10	17	14	29
9.40			3		13	27	7	11	11	10	10	9	10	10	9	11	10	7	7	7	10	10	13	22	9	30
9.60			4		16	23	7	11	10	9	9	10	10	10	7	13	9	7	7	8	10	9	13	25	9	26
9.80			5		17	21	8	12	10	9	10	10	12	8	8	9	8	9	7	8	13	11	11	25	12	20
10.00			6		21	19	9	11	10	11	10	8	14	9	8	9	8	10	9	11	15	14	12	19	9	19
10.20			12		19	19	10	10	13	12	11	10	15	14	11	13	13	12	10	12	15	15	14	19	13	21
10.40			14		26	19	9	9	13	14	10	10	14	14	11	12	12	11	12	11	15	14	14	21	15	19
10.60			13		17	19	8	14	12	14	13	12	12	13	11	12	12	11	11	12	16	11	12	22	15	19
10.80			13		20	21	7	13	12	15	13	12	11	13	14	11	11	11	13	12	13	13	15	21	13	19
11.00			14		29	21	7	14	12	14	14	12	13	13	13	13	13	13	14	13	12	12	15	22	13	18
11.20			14		36	26	9	13	10	14	13	13	14	14	14	14	14	13	13	12	12	13	14	22	15	27
11.40			15		31	34	9	12	8	13	15	14	15	14	14	13	13	14	13	14	14	14	13	23	16	33
11.60			18		31	34	9	13	10	13	14	13	13	13	14	14	14	14	14	14	14	13	14	19	16	30
11.80			13		35	36	10	14	9	12	14	13	14	14	15	14	14	15	15	15	14	13	15	17	15	27
12.00			13		33	34	11	12	9	15	13	14	14	14	12	14	16	15	15	16	13	12	14	15	21	27
12.20			16		33	34	9	13	12	14	13	14	13	13	16	16	14	16	15	13	13	14	14	21	15	28
12.40			14		32	32	7	13	12	14	14	13	13	15	16	15	13	16	16	12	13	14	14	24	14	26
12.60			20		32	33	8	14	11	13	14	12	12	15	15	15	12	12	13	13	14	15	13	23	14	26
12.80			27		35	33	9	13	10	12	13	13	13	13	14	13	13	14	14	14	16	15	13	19	15	24
13.00			34		34	36	10	12	14	11	14	14	14	13	13	12	14	11	11	11	15	14	14	21	13	23
13.20			27		32	34	10	14	13	13	11	14	14	12	11	15	14	12	12	13	15	14	15	23	15	26
13.40			20		33	35																				

3.3 Analisi di laboratorio

Durante la fase esplorativa di esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati numerosi campioni di terreno rappresentativi delle litologie presenti nell'area di indagine. Nel complesso sono stati estratti:

- N. 85 campioni rimaneggiati dalle carote dei sondaggi: sui campioni sono state eseguite analisi granulometriche per setacciatura, per sedimentazione e ove possibile sono stati determinati i limiti di Atterberg.
- N. 5 campioni indisturbati sui quali sono state eseguite analisi granulometriche per setacciatura, per sedimentazione, ove possibile sono stati determinati i limiti di Atterberg e prove triassiali consolidate isotropicamente drenate.

Nelle seguenti tabelle vengono riassunti i risultati delle analisi granulometriche e delle analisi per la determinazione dei limiti di Atterberg disponibili.

SONDAGGIO	CAMPIONE	PROFONDITA' da p.c.	GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA	LL	LP	IP	W
		(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
S14 05	C1	7.6-8.0	54.8	38.0	7.3	-	-	-	-	8
	C2	12.0-12.4	1.8	94.2	4.0	-	-	-	-	18
	C3	24.0-24.4	0.0	86.3	12.6	1.1	-	-	-	29
S14 06	C1	7.0-7.4	38.1	48.6	12.2	1.1	-	-	-	11
	C2	15.0-15.4	54.1	33.3	11.7	0.9	-	-	-	10
	C3	22.6-23.0	1.9	86.4	10.8	0.9	-	-	-	25
S14 07	C1	7.6-8.0	34.1	59.6	6.2	-	-	-	-	14
	C2	18.0-18.4	24.4	47.9	23.4	4.3	26	18	9	11
	C3	26.6-27.0	0.0	77.4	20.3	2.0	-	-	-	23
S14 08	C1	8.0-8.4	0.0	26.2	68.3	5.5	27	20	7	20
	C2	16.0-17.0	75.4	20.2	4.4	-	-	-	-	9
	C3	26.6-27.0	1.1	90.9	8.0	-	-	-	-	30
S14 09	C1	8.0-8.5	36.7	48.3	14.0	0.9	-	-	-	13
	C2	14.6-15.0	32.9	42.6	23.5	1.0	-	-	-	9
	C3	26.0-26.6	18.9	74.4	6.7	-	-	-	-	18
S14 10	C1	5.2-5.7	0.0	27.8	66.3	5.9	26	17	9	25
	C2	15.0-15.5	46.5	36.5	15.9	1.1	-	-	-	10
	C3	22.6-23.0	0.0	91.3	8.7	-	-	-	-	24
S14 11	C1	8.0-8.6	25.7	60.9	12.5	0.9	-	-	-	20
	C2	15.3-15.8	3.4	80.2	15.5	1.0	-	-	-	23
	C3	26.5-27.0	0.2	84.1	15.0	0.8	-	-	-	26
S14 12	C1	8.6-9.0	61.3	35.3	3.4	-	-	-	-	9
	C2	14.6-15.0	0.3	69.3	28.4	2.1	-	-	-	18
	C3	27.6-28.0	0.1	87.7	11.2	0.9	-	-	-	26
S14 13	C1	7.6-8.0	3.2	73.0	22.4	1.4	-	-	-	15
	C2	16.6-17.0	0.3	88.5	10.7	0.5	-	-	-	26

S14 14	C1	5.6-6.0	13.5	58.2	26.8	1.5	-	-	-	16
	C2	11.6-12.0	0.7	84.8	13.9	0.6	-	-	-	29
S14 15	C1	8.0-8.4	17.8	72.6	9.6	-	-	-	-	18
	C2	15.6-16.0	1.7	79.0	8.3	-	-	-	-	22
	C3	20.6-21.0	1.2	66.0	30.7	2.1	-	-	-	14
S14 16	C1	7.6-8.0	0.0	65.5	32.5	2.0	-	-	-	16
	C2	14.6-15.0	0.0	82.3	16.6	1.1	-	-	-	18
	C3	24.0-24.6	0.0	95.3	4.7	-	-	-	-	16
S14 17	C1	8.0-8.4	42.9	51.6	5.4	-	-	-	-	15
	C2	11.0-11.4	10.2	82.0	7.8	-	-	-	-	22
	C3	24.6-25.0	2.2	84.4	12.6	0.7	-	-	-	25
S14 18	C1	7.6-8.0	34.7	46.9	17.5	0.9	-	-	-	10
	C2	10.0-10.6	0.3	79.6	19.0	1.2	-	-	-	18
	C3	19.6-20.0	0.1	66.5	31.7	1.7	-	-	-	17
	C4	28.6-29.0	0.0	92.4	7.6	-	-	-	-	29
S14 19	C1	7.0-7.4	31.8	62.4	5.8	-	-	-	-	13
	C2	13.0-13.6	0.0	96.0	4.0	-	-	-	-	28
	C3	17.6-18.0	0.0	94.6	5.4	-	-	-	-	26
	C4	23.6-24.0	0.0	95.6	4.4	-	-	-	-	26
S14 20	C1	7.6-8.0	62.4	33.8	3.9	-	-	-	-	7
	C2	14.4-15.0	2.0	90.1	8.0	-	-	-	-	24
	C3	21.6-22.0	0.0	90.2	9.8	-	-	-	-	27
	C4	25.0-25.4	0.0	88.2	10.9	0.9	-	-	-	25
S14 21	C1	8.6-9.0	45.4	49.4	5.2	-	-	-	-	9
	C2	12.0-12.6	3.7	60.7	33.8	1.8	-	-	-	13
	C3	17.6-18.0	20.3	65.6	12.9	1.2	-	-	-	22
	C4	24.6-25.0	0.0	83.0	15.9	1.1	-	-	-	24
S14 22	C1	7.0-7.4	28.4	65.5	6.1	-	-	-	-	13
	C2	11.6-12.0	0.0	61.7	32.1	6.2	29	21	8	26

	C3	18.4-19.0	1.5	53.8	42.0	2.6	-	-	-	13
	C4	26.0-26.4	3.5	79.5	15.9	1.1	-	-	-	25

Tab. 4.3.I – TRATTA A - Risultati delle analisi granulometriche e della determinazione dei limiti di Atterberg

SONDAGGIO	CAMPIONE	PROFONDITA' da p.c.	GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA	LL	LP	IP	W
		(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
S14 23	C1	70-7.4	27.7	53.8	17.2	1.4	-	-	-	13
	C2	14.6-15.0	0.0	95.6	4.4	-	-	-	-	25
	C3	23.6-24.0	0.0	88.3	11.0	0.8	-	-	-	31
S14 25	C1	4.5-5.0	7.6	68.5	19.1	4.8	-	-	-	22
	C2	9.0-9.5	0.0	65.8	27.7	6.5	36	27	9	20
	C3	24.0-24.5	0.0	65.9	31.4	4.7	35	26	8	19
S14 26	C1	7.0-7.5	13.5	64.4	18.0	4.1	32	23	8	14
	C2	17.0-17.5	2.8	67.0	25.4	4.9	34	26	8	17
	C3	28.0-28.5	0.0	87.1	12.3	0.6	-	-	-	27
S14 31	C1	6.6-7.0	0.0	67.6	27.6	4.8	27	18	8	26
	C2	18.0-18.4	0.0	94.2	5.8	-	-	-	-	27
	C3	27.0-27.4	0.0	96.7	3.3	-	-	-	-	25
S14 32	C1	8.0-8.4	6.8	73.6	18.1	1.4	-	-	-	19
	C2	17.0-17.4	0.0	65.2	30.3	4.5	26	18	8	17
	C3	21.0-21.4	0.0	68.0	29.4	2.6	-	-	-	18
S14 33	C1	7.6-8.0	7.3	80.8	11.1	0.8	-	-	-	24
	C2	15.0-15.4	0.0	67.4	27.3	5.3	28	18	10	20
	C3	30.0-30.4	0.0	89.5	9.7	0.9	-	-	-	26
S14 34	C1	8.4-9.0	1.3	81.9	15.7	1.1	-	-	-	14
	C2	15.6-16.0	0.0	66.0	31.5	2.5	-	-	-	19
	C3	24.6-25.0	0.0	91.3	8.7	-	-	-	-	31
S14 35	C1	8.0-8.4	0.0	79.4	19.4	1.2	-	-	-	23
	C2	19.6-20.0	0.0	67.2	30.8	1.9	-	-	-	18

SONDAGGIO	CAMPIONE	PROFONDITA' da p.c.	GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA	LL	LP	IP	W
S14 36	C3	28.6-29.0	0.0	72.5	25.8	1.7	-	-	-	17
	C1	7.6-8.0	0.0	68.6	29.3	2.1	-	-	-	24
	C2	13.0-13.4	0.0	33.0	60.9	6.1	27	17	10	27
	C3	16.6-17.0	0.0	89.9	9.3	0.8	-	-	-	26

Tab. 4.3.II – TRATTA C - Risultati delle analisi granulometriche e della determinazione dei limiti di Atterberg

SONDAGGIO	CAMPIONE	PROFONDITA' da p.c.	GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA	LL	LP	IP	W
		(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
S14 03	C1	7.5-8.0	1.2	17.9	74.9	6.0	26	19	7	21
	C2	13.5-14.0	60.6	32.8	6.6	-	-	-	-	10
	C3	21.0-21.5	1.2	71.7	25.9	1.2	-	-	-	18
S14 04	C1	8.0-8.5	34.6	47.7	16.3	1.3	-	-	-	5
	C2	11.6-12.0	0.0	23.0	71.3	5.7	27	18	9	21
	C3	26.0-26.5	0.0	68.0	27.9	4.2	30	19	11	21

Tab. 4.3.III – Variante di Ponte Nuovo di Magenta - Risultati delle analisi granulometriche e della determinazione dei limiti di Atterberg

Di seguito si riporta la legenda dei simboli sopra utilizzati.

LL = limite liquido;

LP = limite plastico;

IP = indice di plasticità.

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni indisturbati hanno rilevato in tutti sabbie medio fini con tracce di limo/ghiaia.

SONDAGGIO		CAMPIONE	PROFONDITA' da p.c. (m)	LITOLOGIA
S14	18	C2	10.0-10.6	sabbia medio fine limosa
S14	19	C2	13.0-13.6	sabbia medio fine
S14	20	C2	14.4-15.0	sabbia medio fine debolmente limosa
S14	21	C2	12.0-12.6	sabbia da grossa a fine con limo debolmente ghiaiosa
S14	22	C2	11.6-12.0	sabbia da grossa a fine con limo

Tab. 4.3.IV – Litologia dei campioni indisturbati

Le prove di laboratorio effettuate sono state quindi finalizzate a determinare il comportamento del terreno (sabbia sciolta, sabbia densa, etc.) per poi ricavare i valori di coesione drenata (c') e angolo di attrito (ϕ'). Di seguito si riportano i risultati delle interpolazioni delle prove, che confermano i valori di angolo di attrito ottenuti dalle prove in sito:

SONDAGGIO		CAMPIONE	PROFONDITA' da p.c. (m)	ϕ' (°)	c' (kPa)
S14	18	C2	10.0-10.6	34.7	9.8
S14	19	C2	13.0-13.6	38.1	1.5
S14	20	C2	14.4-15.0	34.7	4.0
S14	21	C2	12.0-12.6	35.7	0.2
S14	22	C2	11.6-12.0	34.7	3.7

Tab. 4.1.3.V – Litologia dei campioni indisturbati

Per una dettagliata visione dell'andamento delle prove di laboratorio si rimanda al documento B.3 – Indagini Geognostiche.

3.4 Pozzetti esplorativi e classificazione terre

Nel piano di indagine in progetto all'interno dei pozzetti esplorativi era prevista l'esecuzione di Prove di Carico su Piastra (CNR 146 del 1992) che non è stato possibile realizzare per inagibilità dei terreni e sostituite, in accordo con ANAS S.p.A., da prove di classificazione stradale delle terre.

Sono stati prelevati n. 20 campioni di terreno rimaneggiato ad una profondità variabile tra 0.3 m e 0.8 m da p.c. su cui sono state effettuate le seguenti analisi di laboratorio:

- Umidità terra (ASTM D 2216)
- Analisi granulometriche per setacciatura e sedimentazione (norma ASTM D 422)
- Classificazione Terra (HRB-AASHTO – classificazione equivalente alla CNR UNI 10006 che è ritirata) e USCS

Si rimanda al documento B.3.- Indagini geognostiche per la visione completa dei risultati delle analisi.

Di seguito si riportano la carta di plasticità ed in forma schematica i risultati:

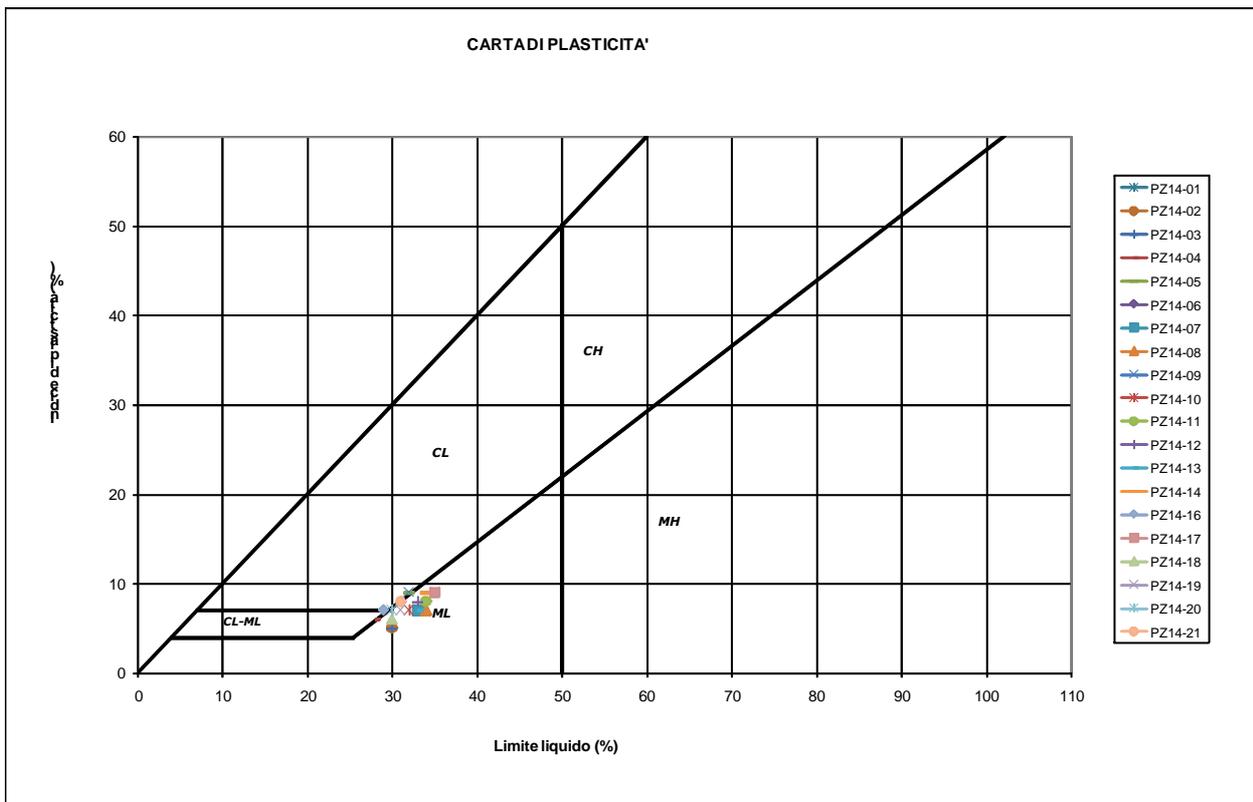


Fig. 3.4.2 – Carta di Plasticità

SONDAGGIO		PROFONDITA' da p.c.	GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA	G+S	L+A	Ig	W	LL	LP	IP	Ic	HRB-AASHTO	U.S.C.S.
		m	%	%	%	%	%	%		%	%	%	%	-	-	-
PZ14	01	0,6-1,0	92,1	1,8	6,1	0,0	93,9	6,1	0	6	-	-	-	-	A1a	
PZ14	02	0,4-0,7	58,9	29,0	9,1	3,1	87,9	12,2	0	8,4	30	25	5	4,36	A1a	ML
PZ14	03	0,3-0,7	24,7	36,6	33,8	4,9	61,3	38,7	1	15	30	25	5	3,17	A4	ML
PZ14	04	0,5-0,8	45,7	33,1	17,8	3,5	78,8	21,3	0	12	28	22	6	2,63	A1b	CL- ML
PZ14	05	0,4-0,7	18,5	32,1	44,7	4,8	50,6	49,5	3	16	32	22	9	1,7	A4	CL
PZ14	06	0,3-0,6	45,7	36,6	13,8	3,8	82,3	17,6	0	12	31	23	8	2,49	A2-4	ML
PZ14	07	0,5-0,8	3,5	37,3	53,9	5,3	40,8	59,2	6	21	33	26	7	1,74	A4	ML - CL
PZ14	08	0,4-0,7	1,1	32,0	61,0	5,9	33,1	66,9	7	20	34	27	7	1,89	A4	ML - CL
PZ14	09	0,4-0,8	2,0	31,5	59,5	7,0	33,5	66,5	7	37	32	23	9	-0,5	A4	ML - CL
PZ14	10	0,5-0,8	19,1	34,6	41,4	4,9	53,7	46,3	3	19	32	25	7	1,84	A4	ML
PZ14	11	0,4-0,7	19,3	35,1	40,4	5,2	54,4	45,6	3	20	34	26	8	1,73	A4	ML
PZ14	12	0,6-0,9	3,1	47,9	44,0	5,1	51,0	49,1	3	18	33	25	8	1,81	A4	ML
PZ14	13	0,4-0,7	16,4	37,5	41,8	4,3	53,9	46,1	3	19	33	26	7	2,07	A4	ML
PZ14	14	0,3-0,6	3,2	35,0	55,5	6,3	38,2	61,8	6	22	34	26	9	1,47	A4	ML
PZ14	16	0,4-0,8	44,0	31,6	21,1	3,3	75,6	24,4	0	17	29	22	7	1,71	A2-4	CL - ML
PZ14	17	0,5-0,8	3,3	30,6	57,5	8,5	33,9	66,0	7	26	35	26	9	1,03	A4	ML
PZ14	18	0,4-0,7	33,0	41,0	22,8	3,2	74,0	26,0	0	14	30	24	6	2,53	A2-4	ML
PZ14	19	0,6-0,9	26,1	50,6	18,8	4,5	76,7	23,3	0	25	31	24	7	0,86	A2-4	ML
PZ14	20	0,5-0,8	38,1	41,4	16,5	4,0	79,5	20,5	0	21	30	23	7	1,27	A2-4	ML
PZ15	21	0,4-0,7	33,3	36,7	25,1	5,0	70	30,1	0	24	31	23	8	0,9	A2-4	ML

Tab. 4.1.3.I – Risultati Classificazione Terre

Essendo:

W	umidità naturale
LL	limite liquido
LP	limite plastico
IP	indice plastico
Ic	indice di consistenza
Ig	indice di gruppo
HRB-AASHTO	classificazione secondo HRB-AASHTO
USCS	classificazione secondo USCS

Dalla classificazione USCS emerge che il terreno superficiale ha comportamento prevalentemente limoso con bassa plasticità. Inoltre il terreno di tipo A4, secondo la classificazione HRB-AASHTO, non risulta idoneo alla formazione di rilevati stradali.

E' da notare però che dalle stratigrafie dei sondaggi eseguiti si evidenzia uno strato superficiale di coltivo/terreno vegetale di spessore variabile tra 0.30 m e 0.80 m e la gran parte dei campioni prelevati ricade in questo livello.

Ne emerge quindi che i risultati ottenuti sono poco significativi per la caratterizzazione del terreno al di sotto dello scotico e dovranno essere verificati nelle fase successive del progetto.

3.5 Profili sismici MASW e prove Down Hole

Per la determinazione delle caratteristiche di risposta dinamica dei terreni presenti lungo la tratta stradale sono stati eseguite n. 9 prove sismiche di tipo down-hole e n.9 profili sismici con la metodologia MASW (Multi-Channel Analysis of Surface Waves, analisi delle onde superficiali di Rayleigh).

La prova down-hole è stata condotta nel foro dei sondaggi:

S14-03; S14-05; S14-09; S14-16; S14-19; S14-21; S14-23; S14-32; S14-34 opportunamente attrezzati ed i rilevamenti sono stati fatti ogni 1 m c.ca lungo la verticale d'indagine.

I rilievi down-hole, come gli stendimenti sismici (MASW), sono atti alla determinazione delle velocità delle onde di taglio ed alla verifica della loro variabilità in profondità. Con le prove down-hole si determina anche la velocità di propagazione delle onde longitudinali. In base a questi dati è stata calcolata la velocità delle onde di taglio nei primi 30 m (V_{s30}):

$$V_{s30} = 30 / \sum(h_i / v_i)$$

dove:

h_i = spessore (m) dello strato i-esimo;

v_i = velocità (m/s) di taglio i-esima.

I valori ottenuti

delle V_{s30} sono riportati nella seguente tabella:

SONDAGGIO	V_{s30} (m/s)	Categoria Sismica Suolo
S14-03	311.8	C
S14-05	247.4	C
S14-09	292.0	C
S14-16	263.0	C
S14-19	240.8	C
S14-21	246.4	C
S14-23	222.9	C
S14-32	295.3	C
S14-34	253.6	C
MASW14-01	356	C
MASW14-02	361	B
MASW14-03	352	C
MASW14-04	288	C
MASW14-05	270	C
MASW14-06	286	C
MASW14-07	275	C
MASW14-08	260	C
MASW14-09	265	C

Tab. 4.5.I – V_{s30} – classificazione sismica del suolo

Dai risultati delle prove è possibile inoltre determinare il modulo di taglio dinamico (G_d), funzione della velocità di propagazione delle onde di taglio, ed il Modulo di Young in condizioni dinamiche (E_d), attraverso le seguenti relazioni:

$$G_d = (v_s^2 \cdot \rho)$$

dove:

v_s = velocità delle onde di taglio;

ρ = densità di massa del terreno;

$$E_d = 2G_d \cdot (1 + \nu)$$

essendo:

G_d = modulo di taglio dinamico;

ν = coefficiente di Poisson.

I risultati delle prove con riportate le velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P) e di taglio (onde S), il coefficiente di Poisson ed i risultati delle interpretazioni (Modulo di taglio Dinamico (G_d) e Modulo di Young in condizione dinamiche (E_d)) sono riportati nel documento B.3 – Indagine geognostiche.

3.6 Indagini esistenti

Nelle aree interessate dal progetto erano state eseguite delle indagini (cfr. Elaborato B.3 – Indagini geognostiche) per la progettazione definitiva nel Febbraio 2000, altre indagini si riferiscono alla campagna di indagine di Aprile 2008.

Nelle tabelle seguenti sono riportate le indagini esistenti, la distanza indicativa dall'asse stradale, la profondità raggiunta, la litologia riscontrata, il numero di campioni rimaneggiati prelevati, la presenza di piezometri ed il livello della falda da piano campagna.

TRATTA A						
Prova	Prof. (m)	Dist. asse stradale (m)	Litologia	Campioni prelevati	Piezometro	Falda (m) da p.c.
S2 *	30,0	37,78	sabbia con ghiaia. Da 9,0 a 13,1 argilla sabbiosa con ghiaia. Da analisi granulometriche: C3 da 9,0 a 9,30 – ghiaia sabbiosa; C4 da 12,0 a 12,45 – sabbia limosa	6	X	8.0
S3*	30,0	62,5	Sabbia con ghiaia. Da 8,10-10,20 argilla sabbiosa (C3 da 9-9.30 conferma la stratigrafia)	6	X	5.5
1C*	11,4	63,8	-			
2*	11,4	90,16	-			
3*	15,0	256,69	-			
S4*	30,0	212,24	Sabbia debolmente limosa con ghiaia. Da 6,7 a 8,8 m argilla debolmente sabbiosa.	6	X	3.8
S5*	20,0	109,8	Sabbia limosa debolmente ghiaiosa	6	X	4.20
4*	15,0	114,11				
1 SCPT °	15,0	53,46				4.5
2 SCPT °	15,0	24,5				4.0

Tab. 4.6.I – Indagini esistenti – Tratta A

TRATTA C						
Prova	Prof. (m)	Dist. asse stradale (m)	Litologia	Campioni prelevati	Piezometro	Falda (m) da p.c.
3 SCPT °	15.0	0,0				5.0
S58	d.n.	54,4			X	
9*	15.0	77,19				
4 SCPT °	15.0	42,0				4.5
5 SCPT °	15.0	17,7				2.7
S8	30.0	92,6	Da 0,90 a 4,5 limo sabbioso. Da 4,5 m sabbia limosa da debolmente a addensata. Da analisi granulometriche: C1 da 3.0 a 3.30 – sabbia limosa debolmente argillosa	6	X	6.20
12*	15.0	0,0				
S9	20.0	0,0	Sabbia limosa/sabbia sciolta con ghiaia	6	X	8.20
13 *	15.0	22,58				
14*	15.0	150,7 4				
S10	11.4	208,7 3	Sabbia da limosa a debolmente limosa sciolta/debolmente addensata			4.60

* Indagini anno 2000 - ° Indagini anno 2008

Tab. 4.6.II – Indagini esistenti – Tratta C

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

4.1 Correlazione SCPT - SPT

Poiché le correlazioni empiriche esistenti in letteratura tra i risultati di una prova penetrometrica dinamica ed i principali parametri geotecnici del terreno fanno riferimento essenzialmente alle prove SPT, occorre applicare un fattore di correzione ai risultati delle prove DPH eseguite per tener conto delle diversità esecutive.

Il numero di colpi da utilizzare nel calcolo dei parametri geotecnici è quindi dato da:

$$N_{SPT} = C_f \times N \text{ (DPH)}$$

Essendo:

$$C_f = (M_1 H_1 PI_1 Ap_1) / (M_2 H_2 PI_2 Ap_2)$$

Dove:

M2 peso del maglio SPT

H2 volata del maglio SPT

PI2 passo di lettura SPT

Ap2 area punta SPT

M1 peso del maglio DPH

H1 volata del maglio DPH

PI1 passo di lettura DPH

Ap1 area punta DPH

Inoltre è stata applicata una correzione dei valori di N_{SPT} sotto falda (Terzaghi e Peck, 1948).

$$N_{SPT-C} = 15 + 0.5 * (N_{SPT} - 15)$$

Nelle seguenti figure si riportano i valori di N_{SPT} corretti, suddivisi per opere:

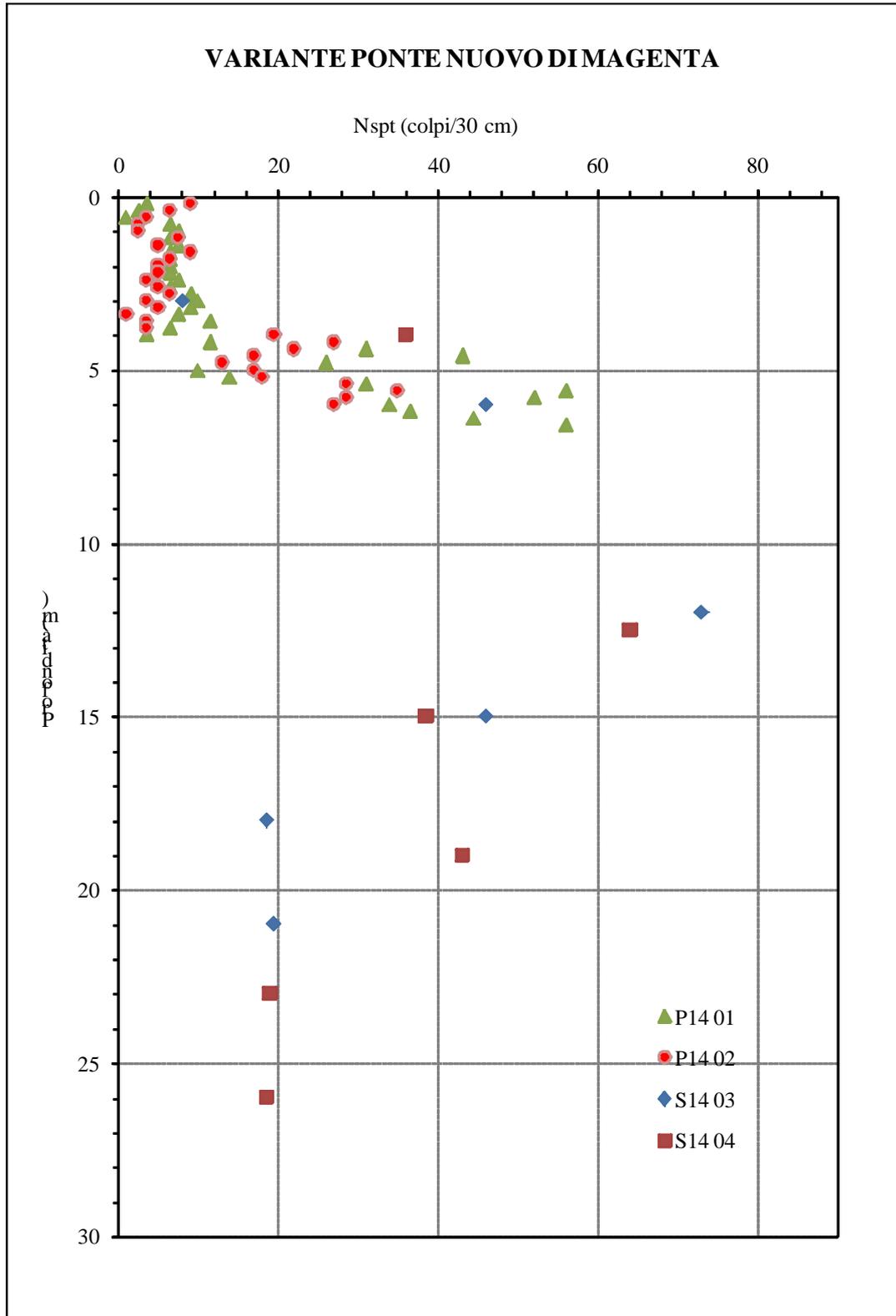


Fig. 5.1.1 – Valore di N_{SPT-C} vs. profondità (m)

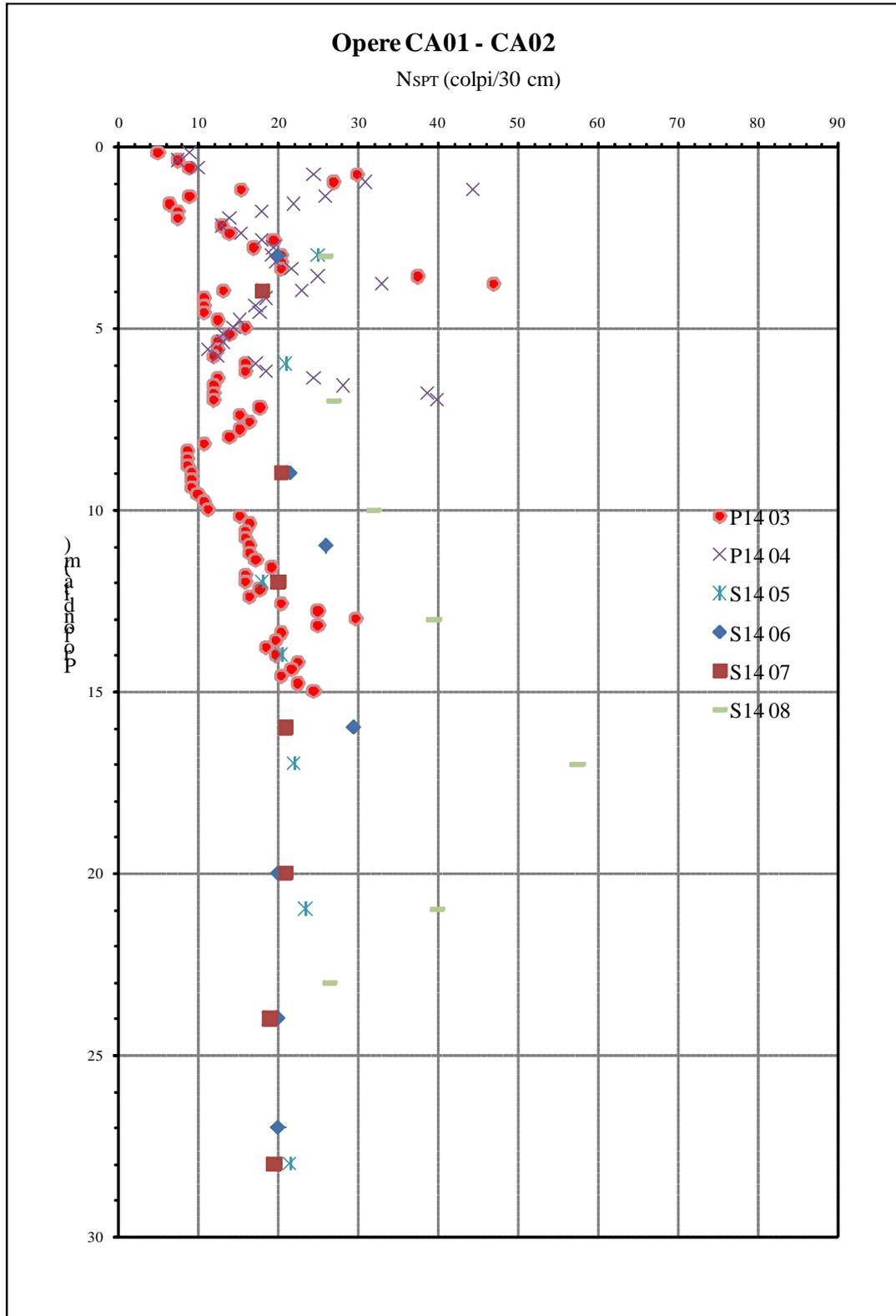


Fig. 5.1.2 – Valore di N_{SPT-C} vs. profondità (m)

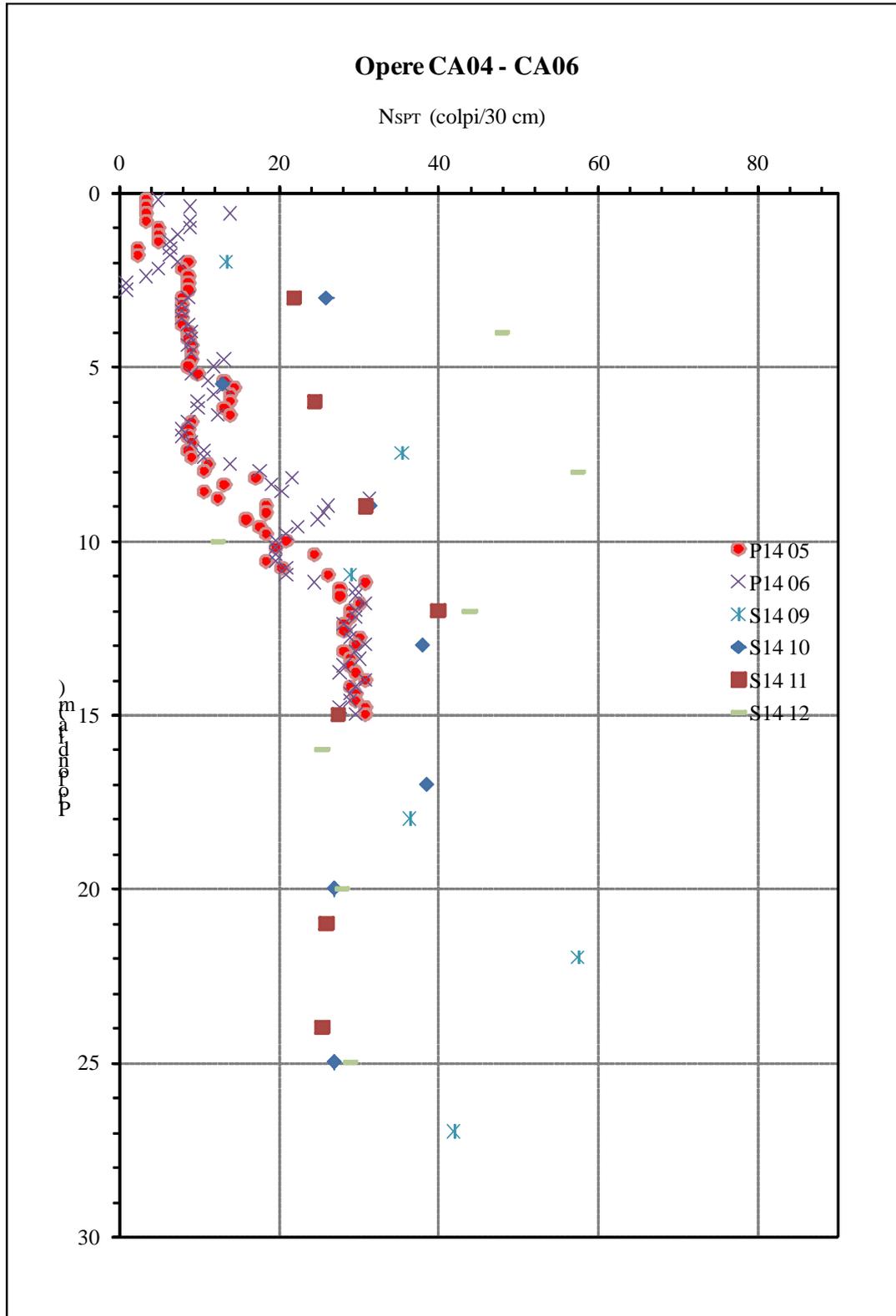


Fig. 5.1.3 – Valore di N_{SPT-C} vs. profondità (m)

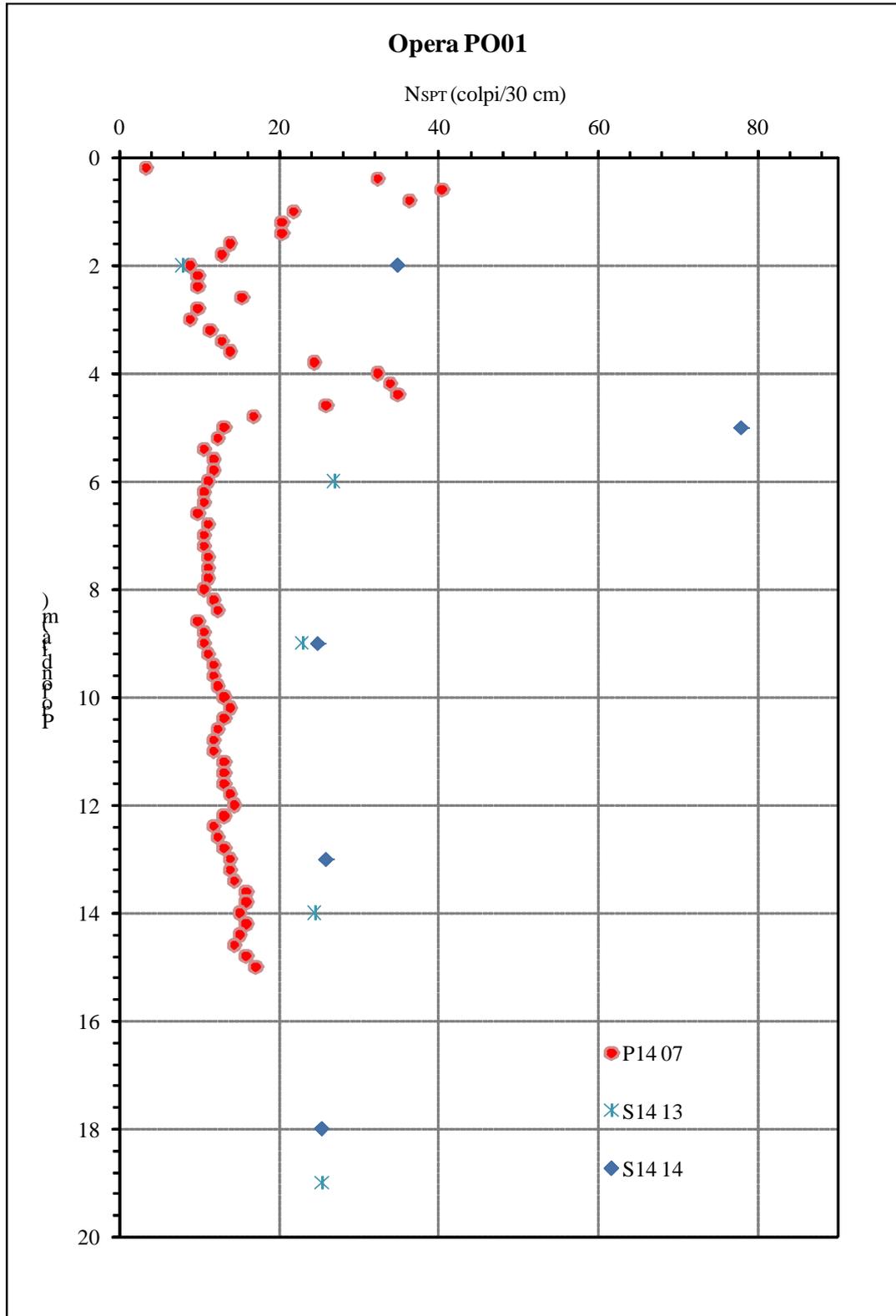


Fig. 5.1.4 – Valore di N_{SPT-C} vs. profondità (m)

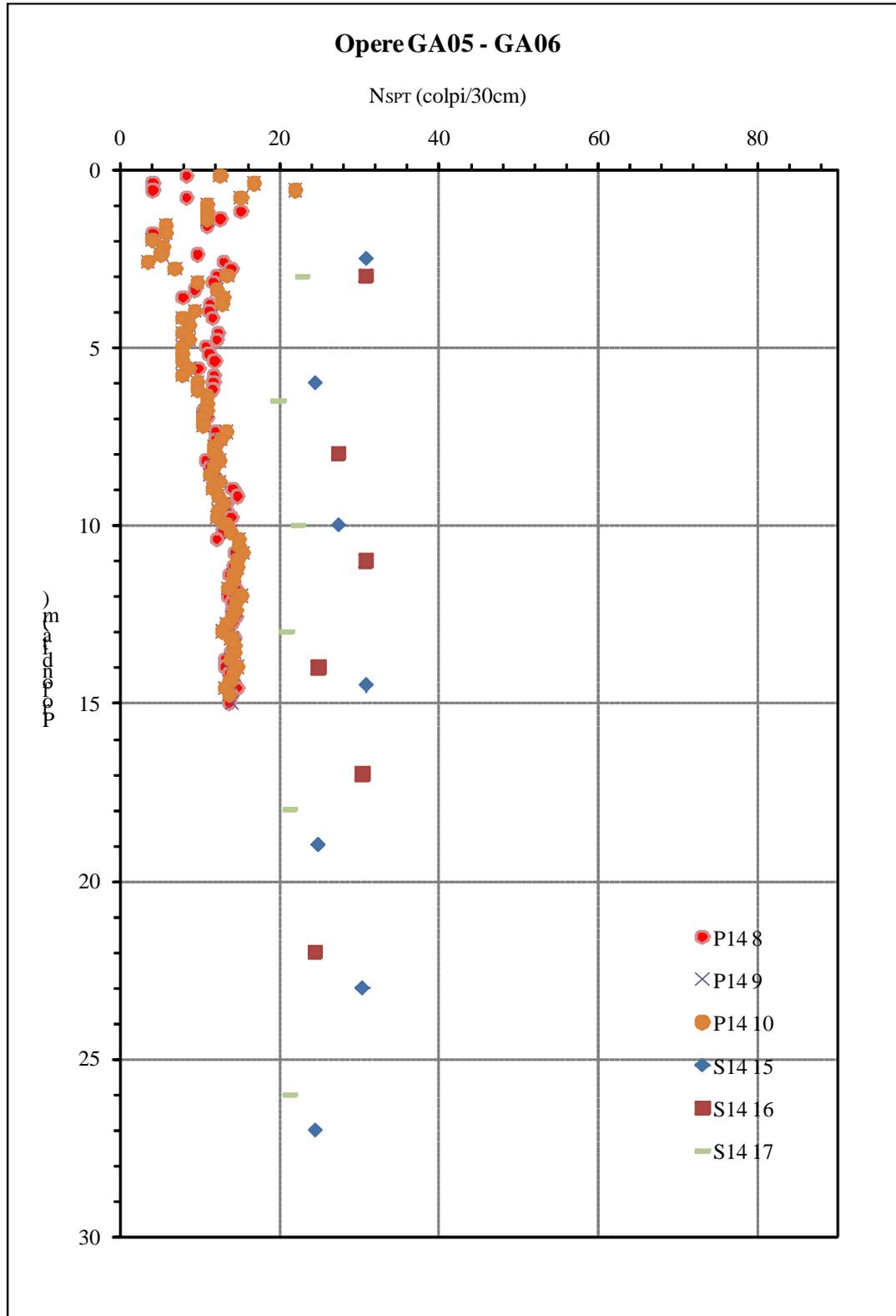


Fig. 5.1.5 – Valore di N_{SPT-C} vs. profondità (m)

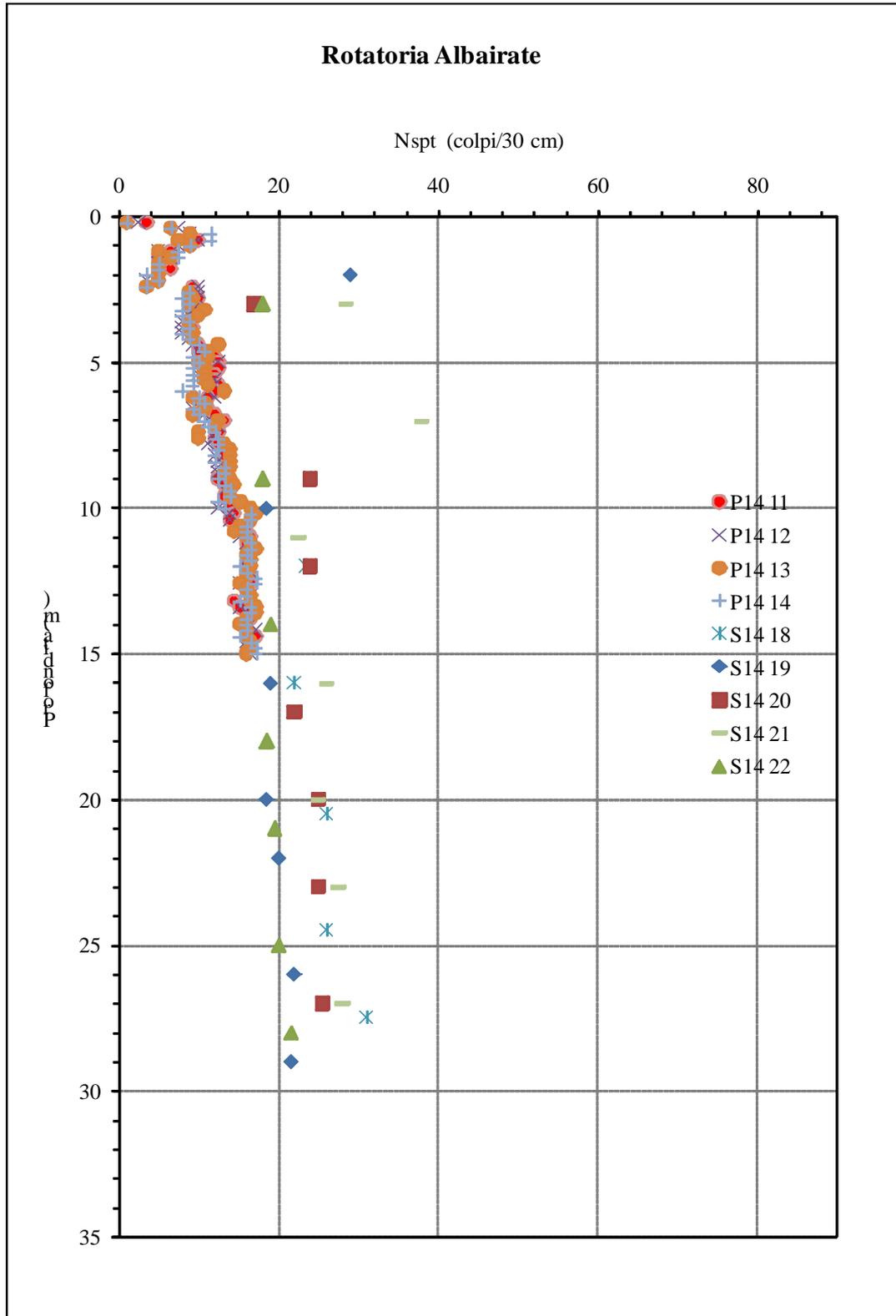


Fig. 5.1.6 – Valore di N_{SPT-C} vs. profondità (m)

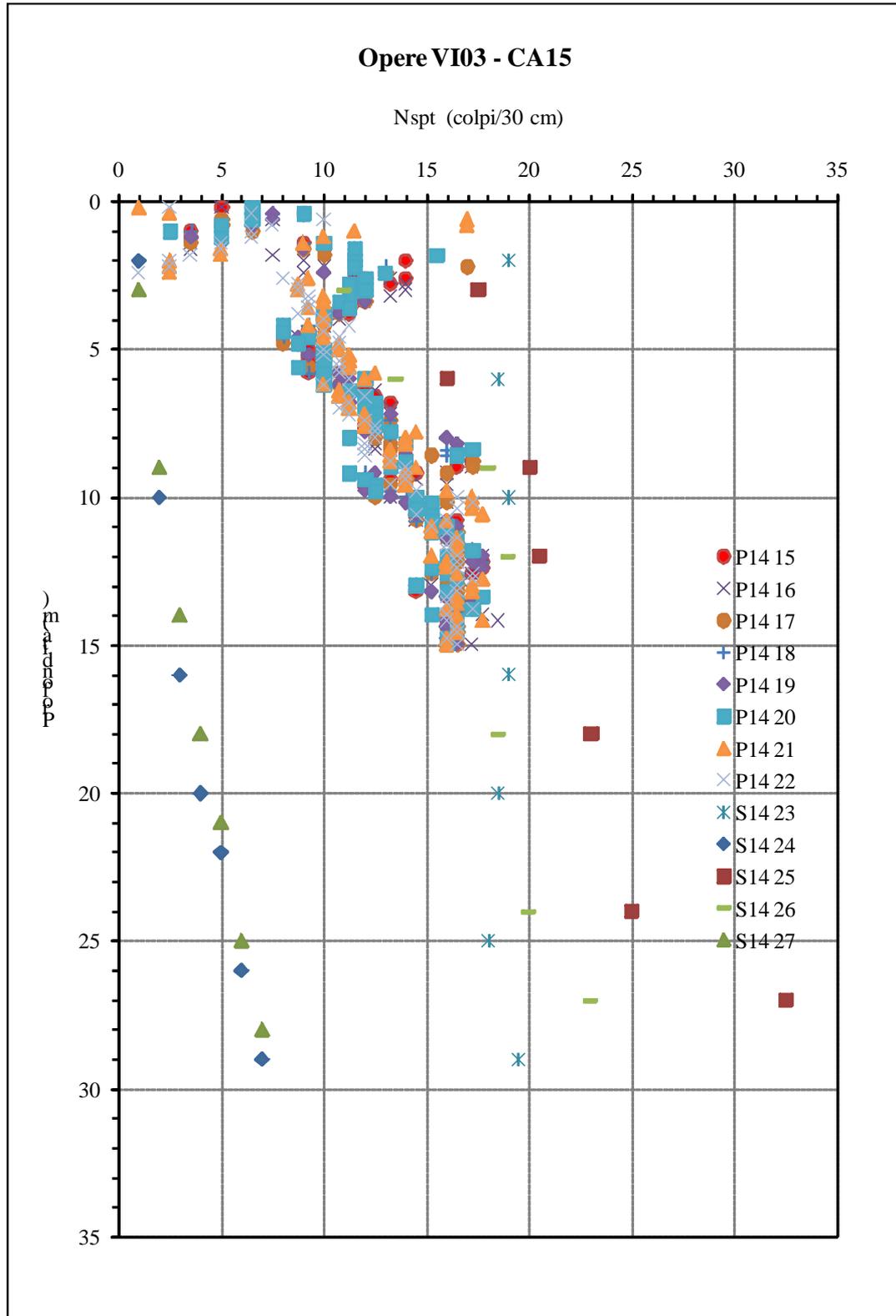


Fig. 5.1.7 – Valore di N_{SPT-C} vs. profondità (m)

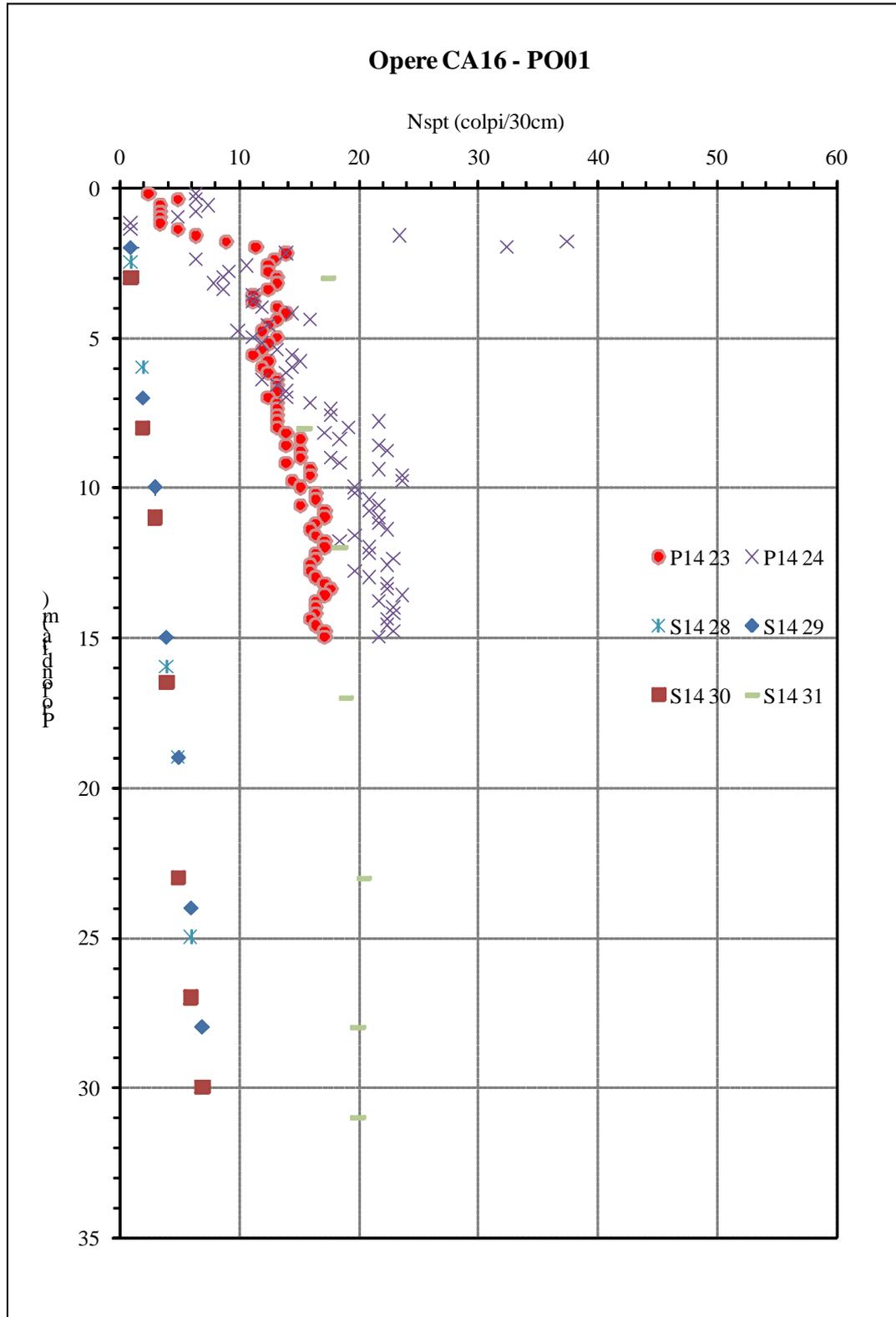


Fig. 5.1.8 – Valore di N_{SPT-C} vs. profondità (m)

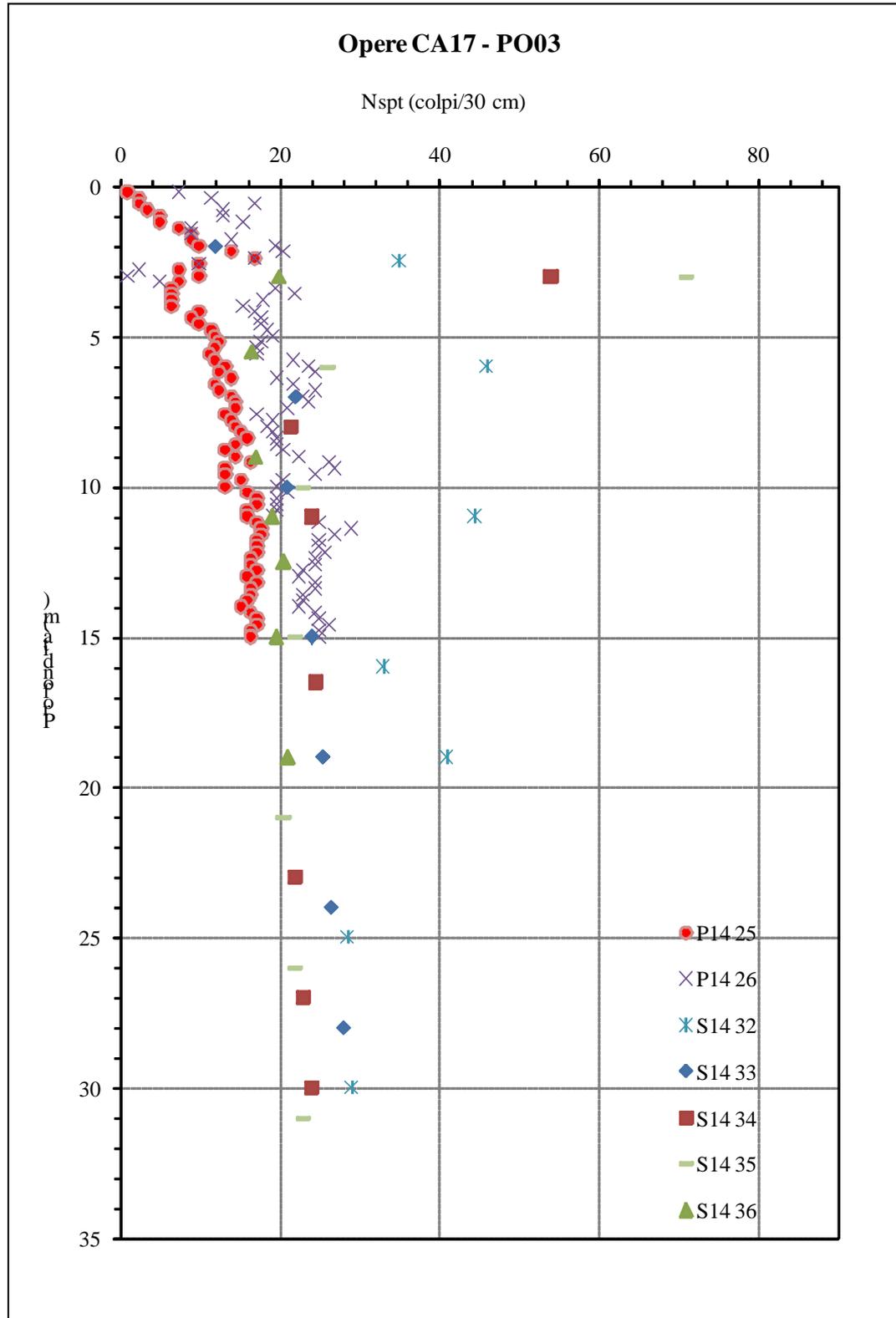


Fig. 5.1.9 – Valore di N_{SPT-C} vs. profondità (m)

L'elaborazione dei parametri geotecnici a partire dai valori di N_{SPT} normalizzati è stata condotta utilizzando le correlazioni riportate nei seguenti paragrafi.

4.2 Materiali a grana grossa (sabbie e ghiaie)

4.2.1 Densità relativa

Per il calcolo della densità relativa, sulla base di valori N_{SPT} , sono state adottate le seguenti correlazioni:

Meyerhof (1957): $Dr = 0.21 (N_{SPT} / (\sigma'_v / p_a + 0.7))^{0.5}$

Gibbs e Holtz (1957) $Dr = (N_{SPT} / (17 + 24 \sigma'_v / p_a))^{0.5}$

Gibbs e Holtz (1957) $Dr = 1.5 (N_{SPT} / F)^{0.222} - 0.6$

con $F = 0.65 (\sigma'_v / p_a)^2 + 16.8 (\sigma'_v / p_a) + 14$

Skempton (1986) $Dr = (C_N N_{SPT} / 60)^{0.5}$

con $C_N = 2 / (1 + \sigma'_v / p_a)$ per sabbie fini

$C_N = 3 / (2 + \sigma'_v / p_a)$ per sabbie grosse

Bazaara (1967) $Dr = (N_{SPT} / 20 (1 + 4.1 \sigma'_v / p_a))^{0.5}$ per $\sigma'_v \leq 75$ kPa

$Dr = (N_{SPT} / 20 (3.24 + 1.024 \sigma'_v / p_a))^{0.5}$ per $\sigma'_v \geq 75$ kPa

dove:

D_r densità relativa [%];

N_{SPT} numero di colpi normalizzato per un affondamento di 30 cm;

σ'_v pressione verticale efficace [kPa].

p_a pressione atmosferica [100 kPa].

Nelle seguenti figure si riportano i valori di D_r ottenuti utilizzando i diversi approcci definiti in precedenza e confrontandone criticamente i risultati. Nelle figure è visualizzato il valore medio della D_r per ciascuna profondità.

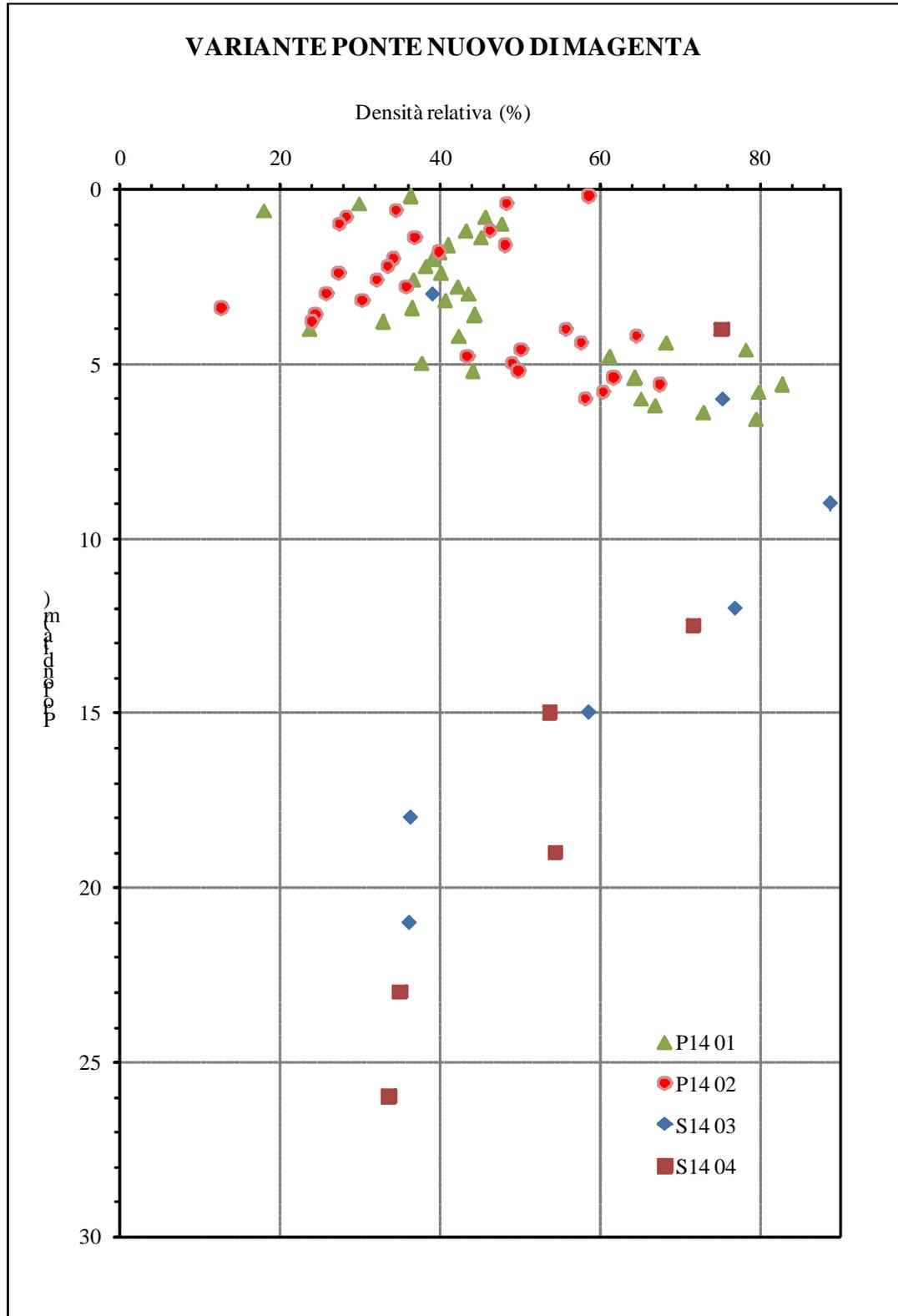


Fig. 5.2.1.1 – Valore di Dr vs. profondità (m)

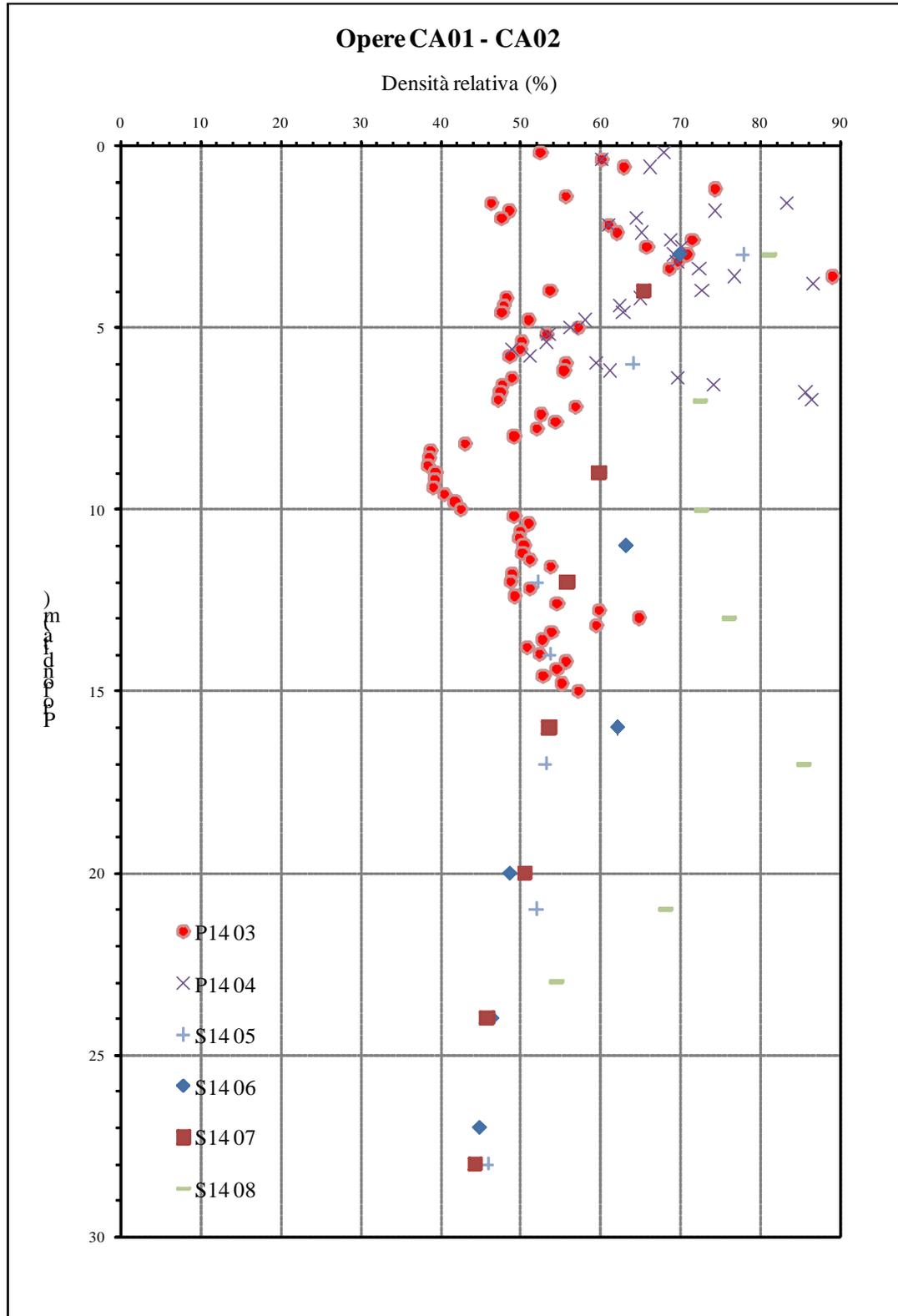


Fig. 5.2.1.2 – Valore di D_r vs. profondità (m)

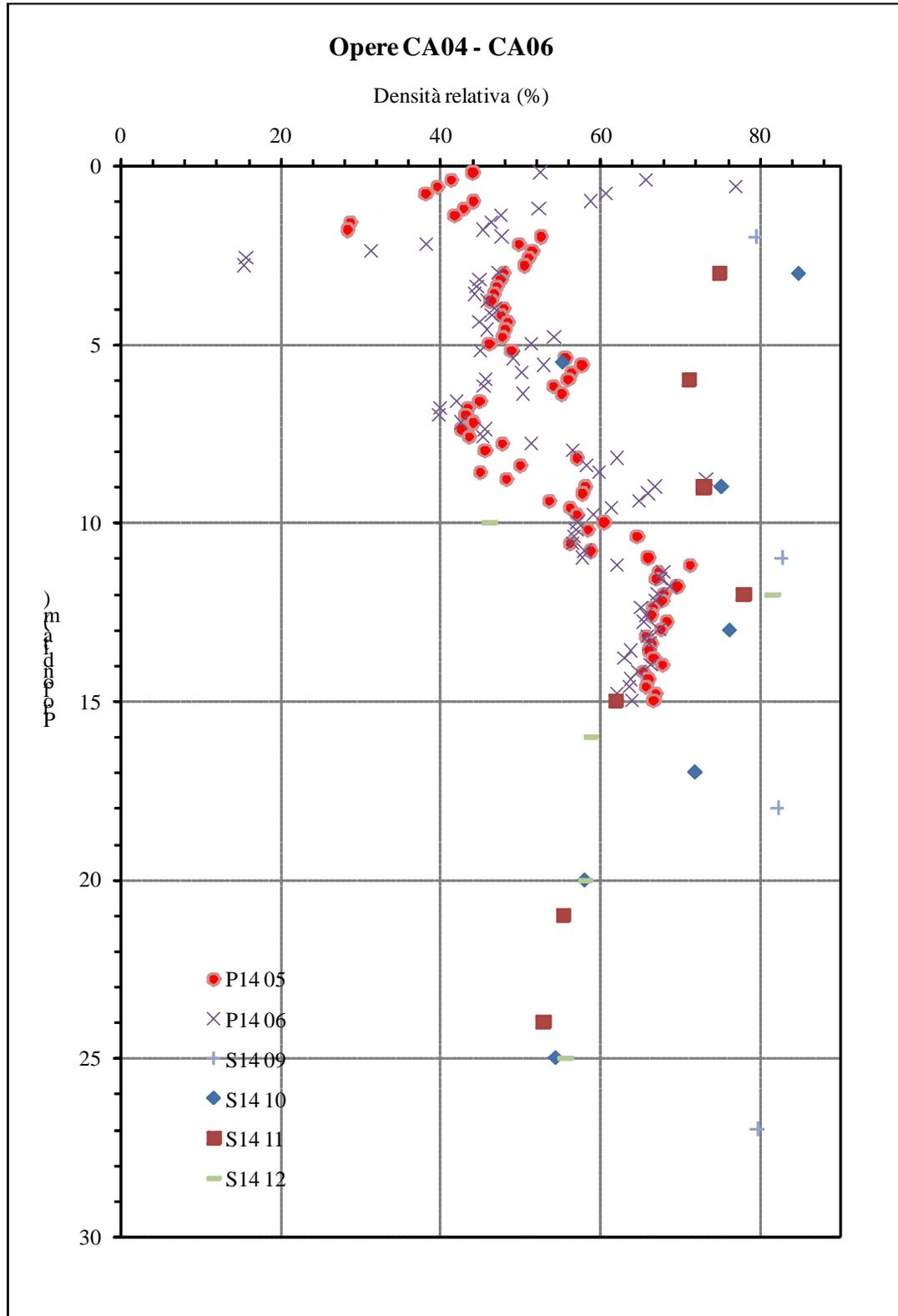


Fig. 5.2.1.3 – Valore di D_r vs. profondità (m)

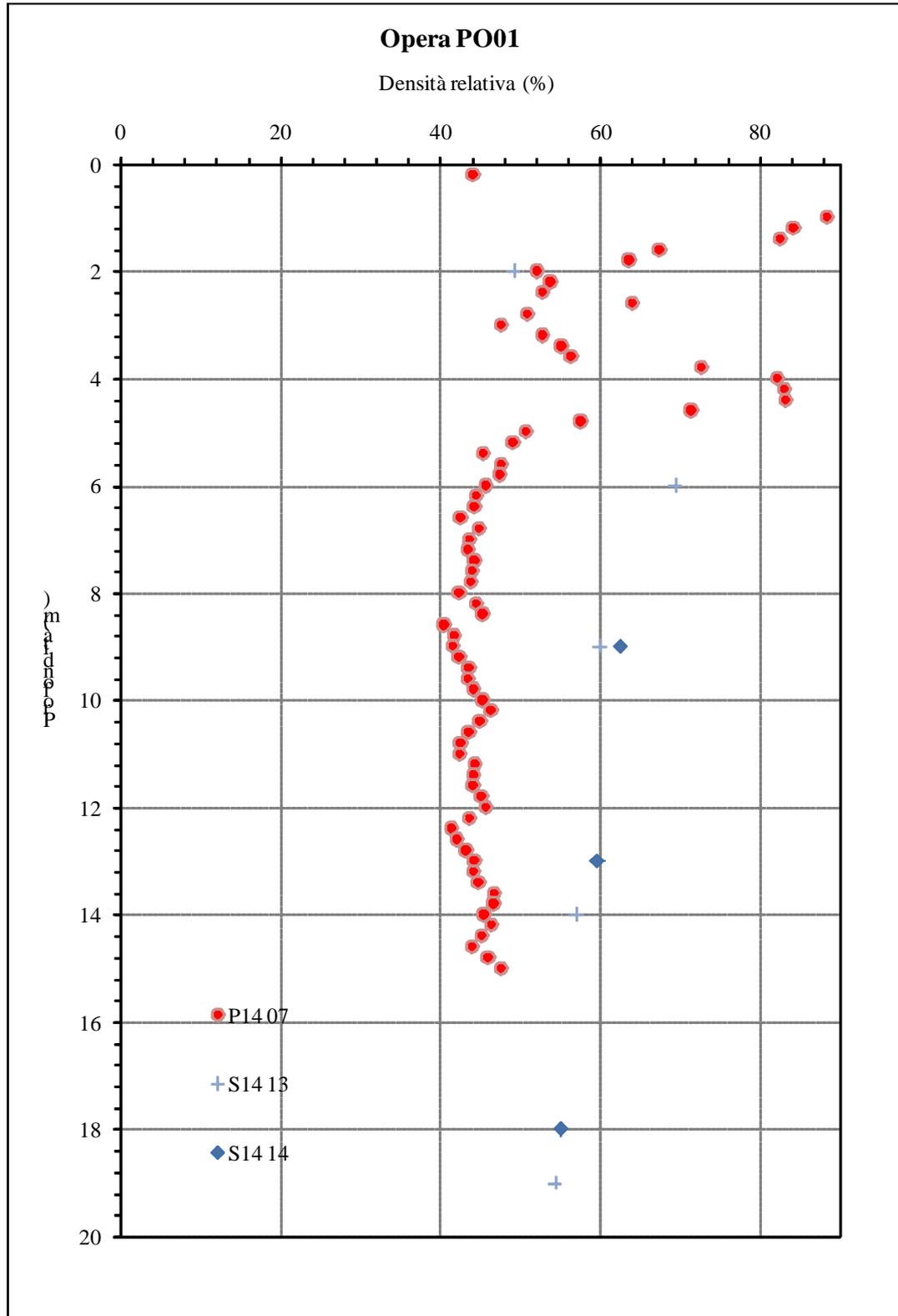


Fig. 5.2.1.4 – Valore di Dr vs. profondità (m)

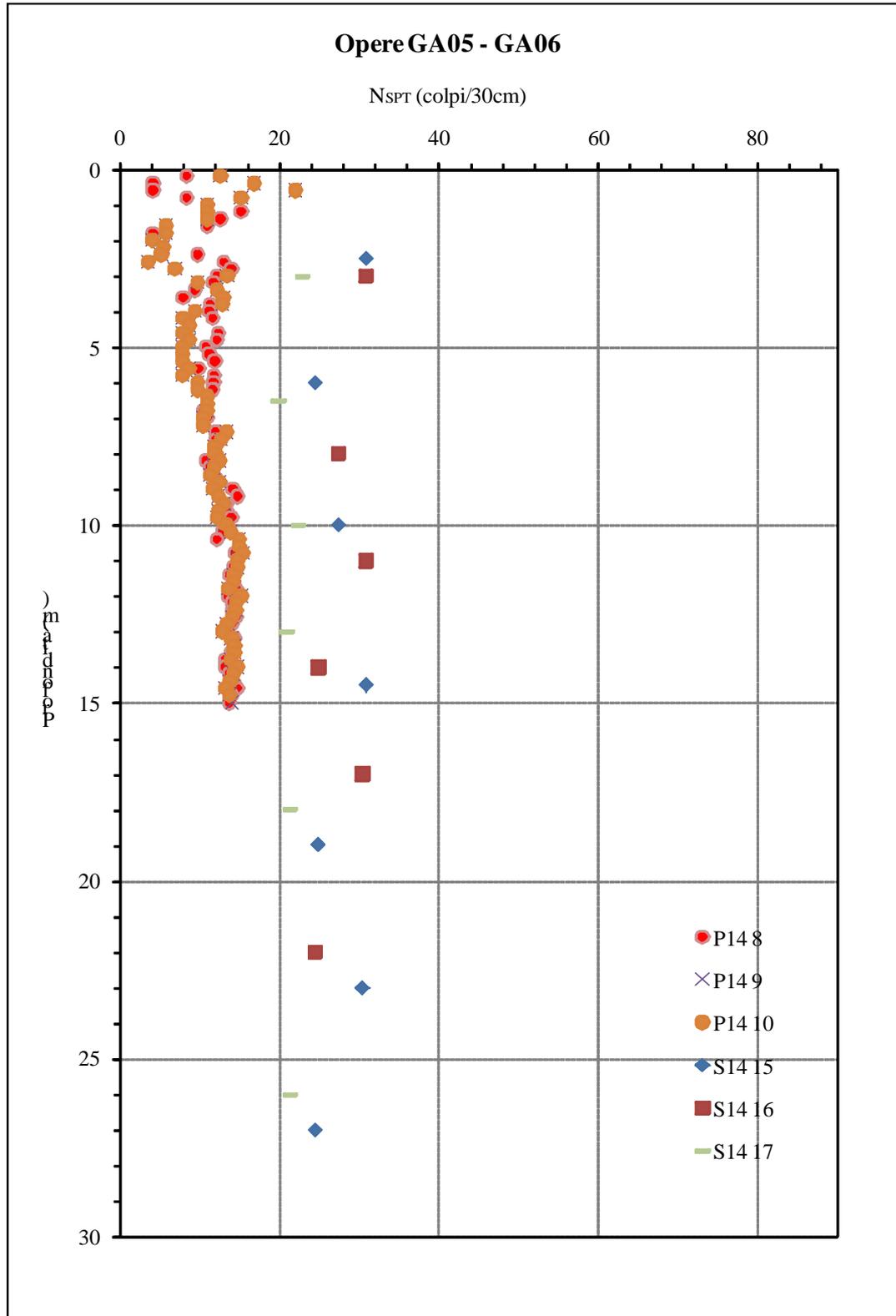


Fig. 5.2.1.5 – Valore di Dr vs. profondità (m)

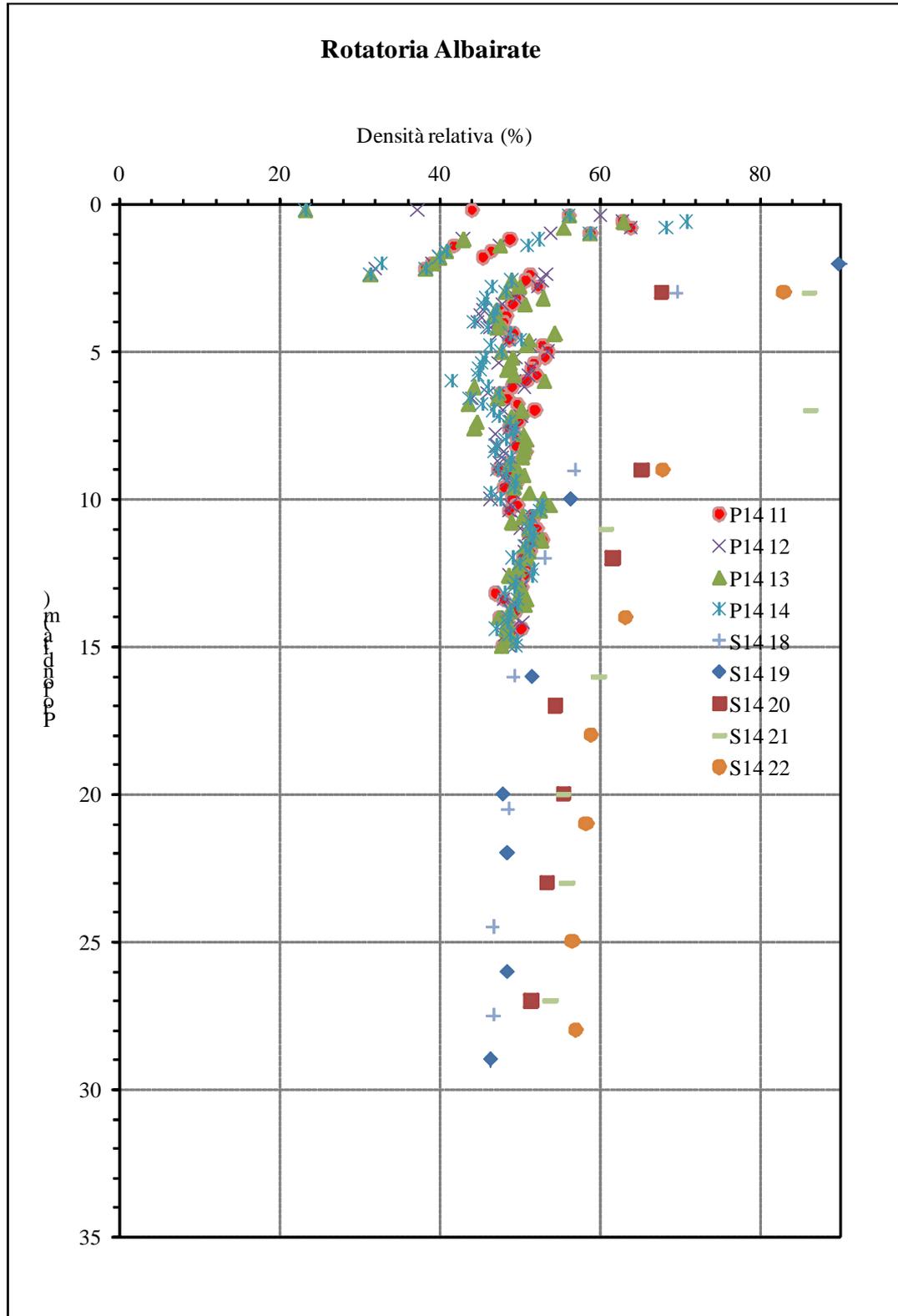


Fig. 5.2.1.6 – Valore di D_r vs. profondità (m)

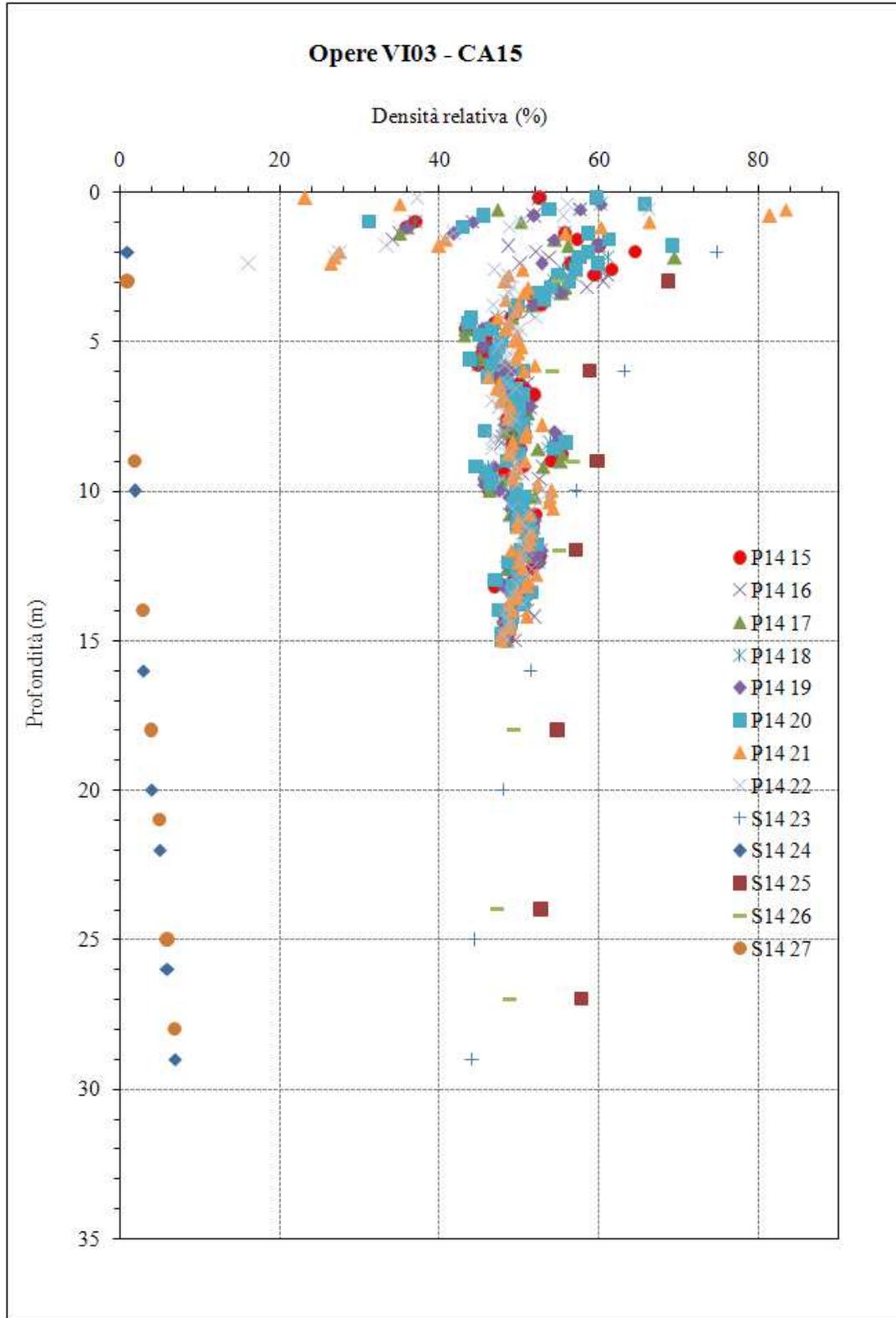


Fig. 5.2.1.7 – Valore di D_r vs. profondità (m)

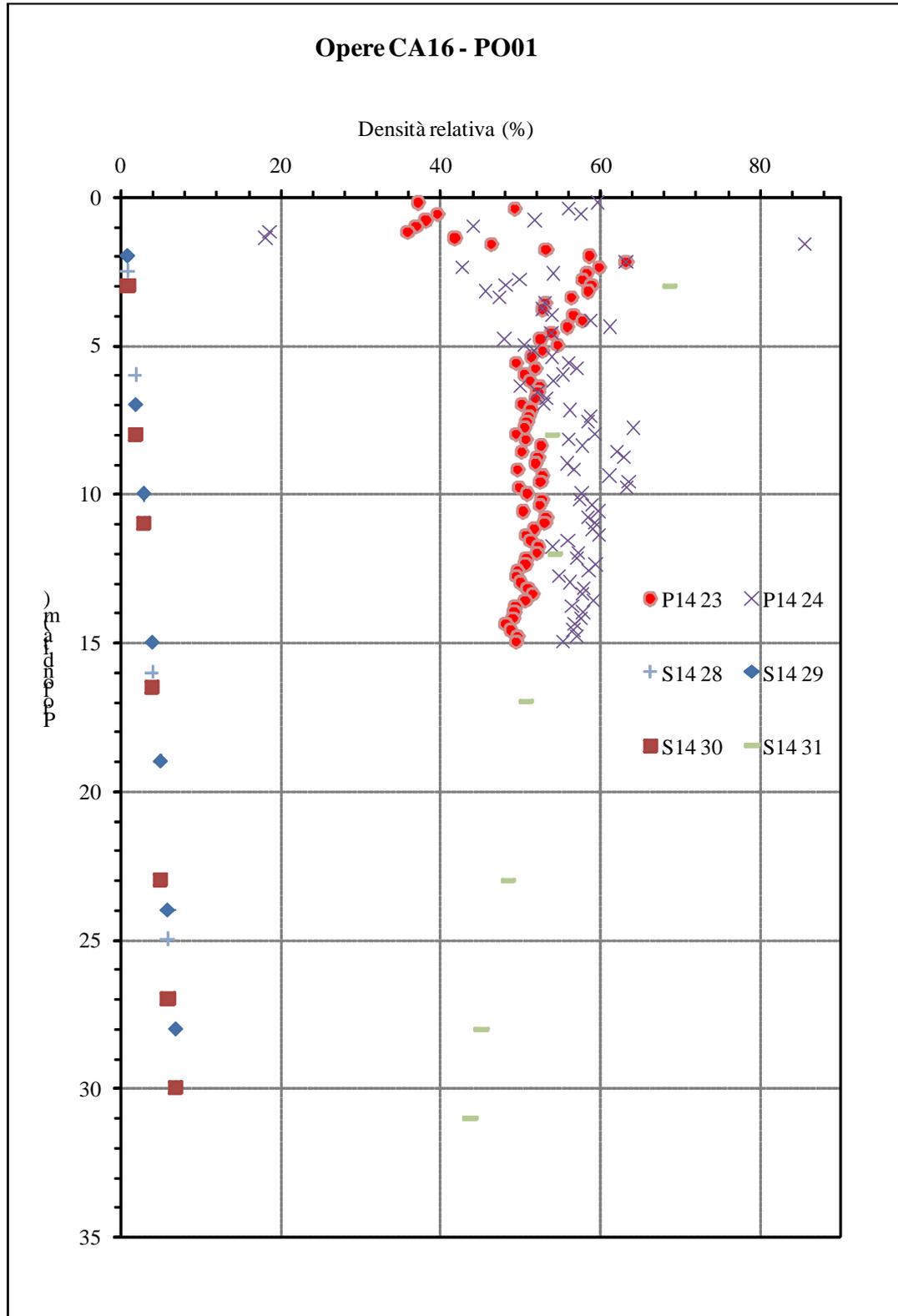


Fig. 5.2.1.8 – Valore di D_r vs. profondità (m)

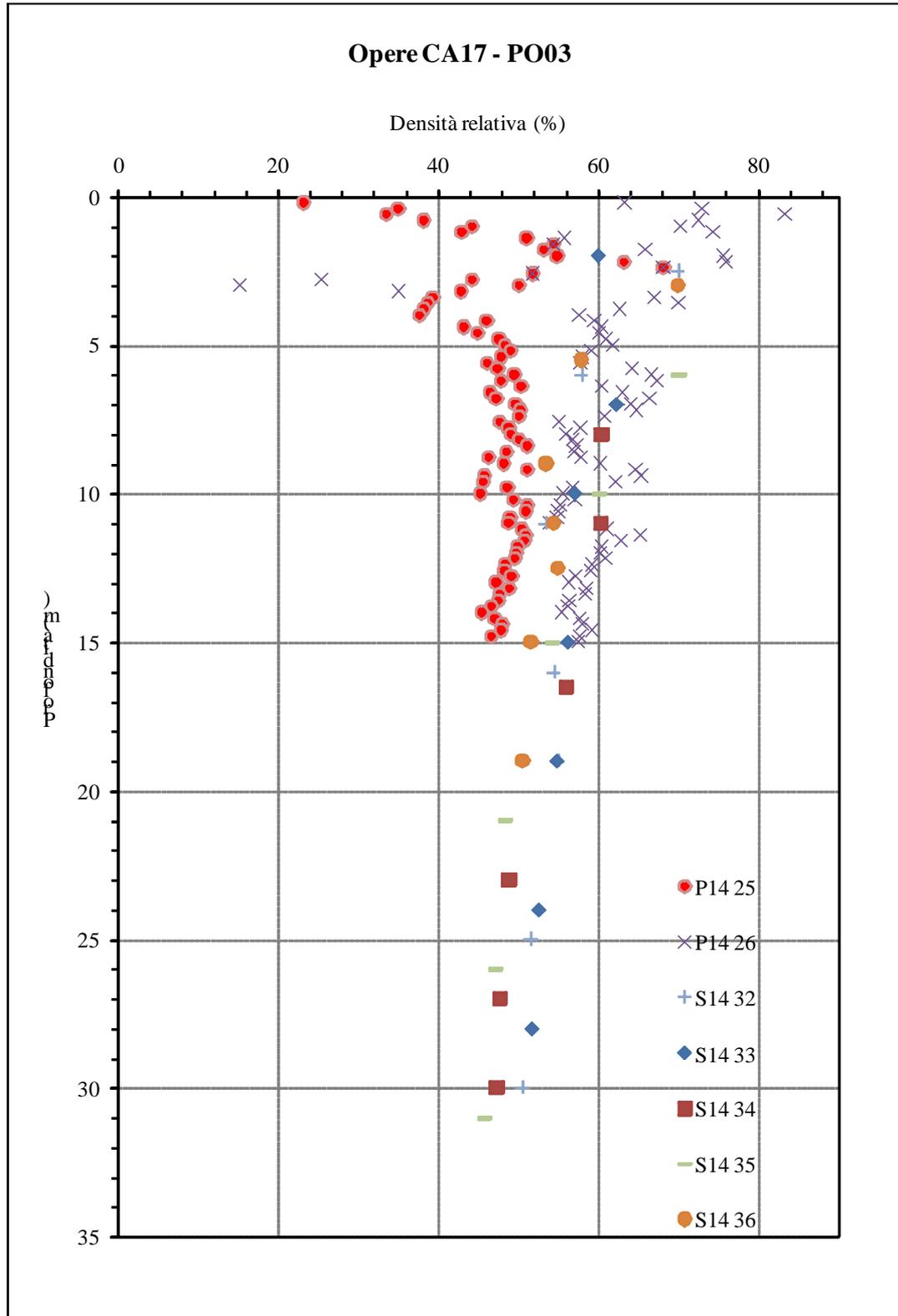


Fig. 5.2.1.9 – Valore di Dr vs. profondità (m)

4.2.2 Angolo di resistenza al taglio

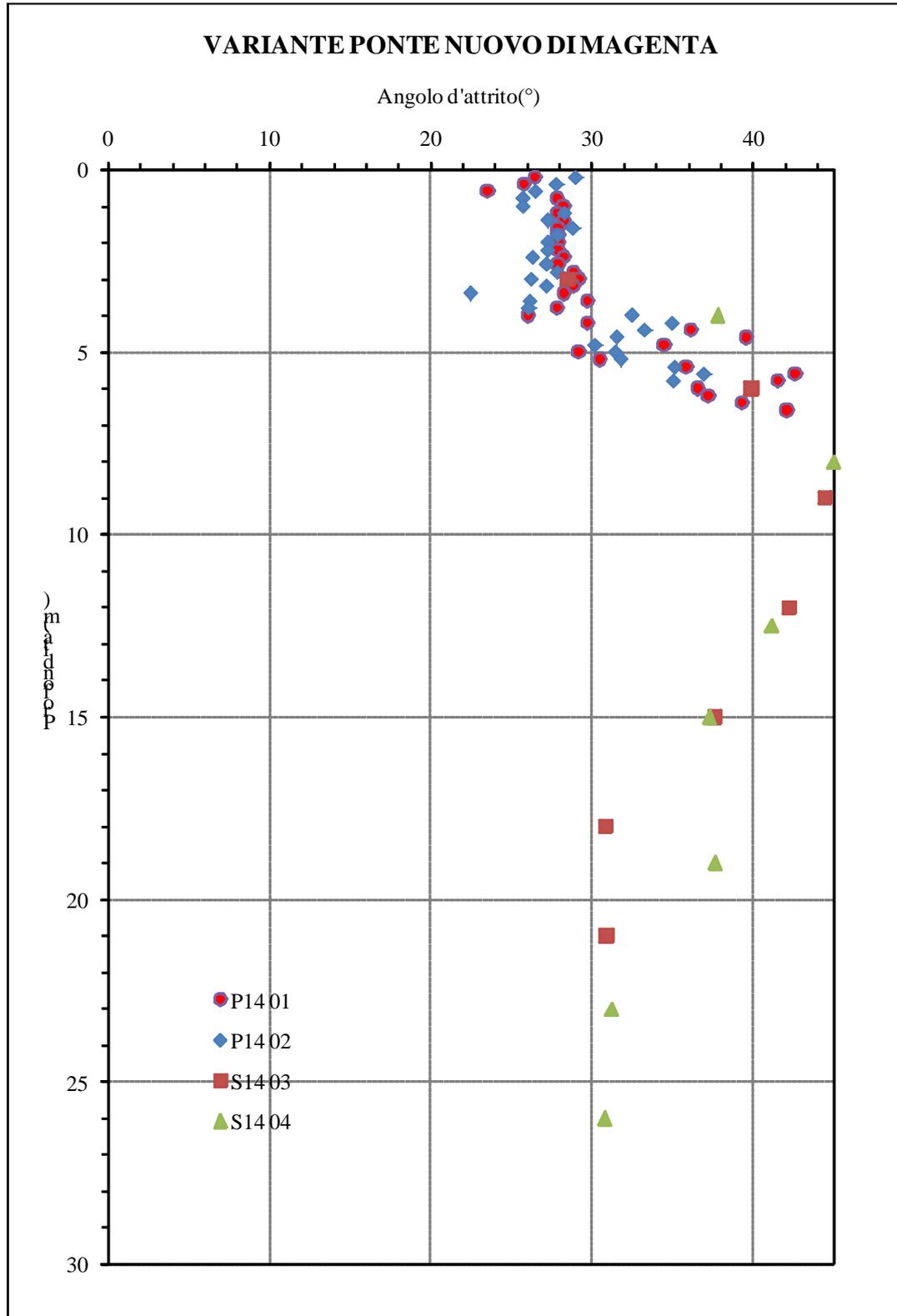
Per la definizione dell'angolo d'attrito sono state adottate le correlazioni di seguito riportate valide per sabbie fini, sabbie limose e sabbie ghiaiose:

Shioi & Fukuni (1982)	$\phi = (15 N_{SPT})^{0.5} + 15$
Shioi & Fukuni (1982)	$\phi = 0.3 N_{SPT} + 15$
Schmertmann (1975)	$\phi = \arctg (N_{SPT} / (12.2 + 20.3 \sigma'_v/p_a)^{0.34})$
Dunham (1954)	$\phi = (12 N_{SPT})^{0.5} + 25$
Peck-Hanson & Tghornburn (1974)	$\phi = 0.28 N_{SPT} + 27.2$

dove:

ϕ	angolo d'attrito [°];
N_{SPT}	numero di colpi normalizzato per un affondamento di 30 cm.

Nelle seguenti figure si riportano i valori di angolo d'attrito ottenuti utilizzando i diversi approcci definiti in precedenza e confrontandone criticamente i risultati. Nelle figure è visualizzato il valore medio per ciascuna profondità.



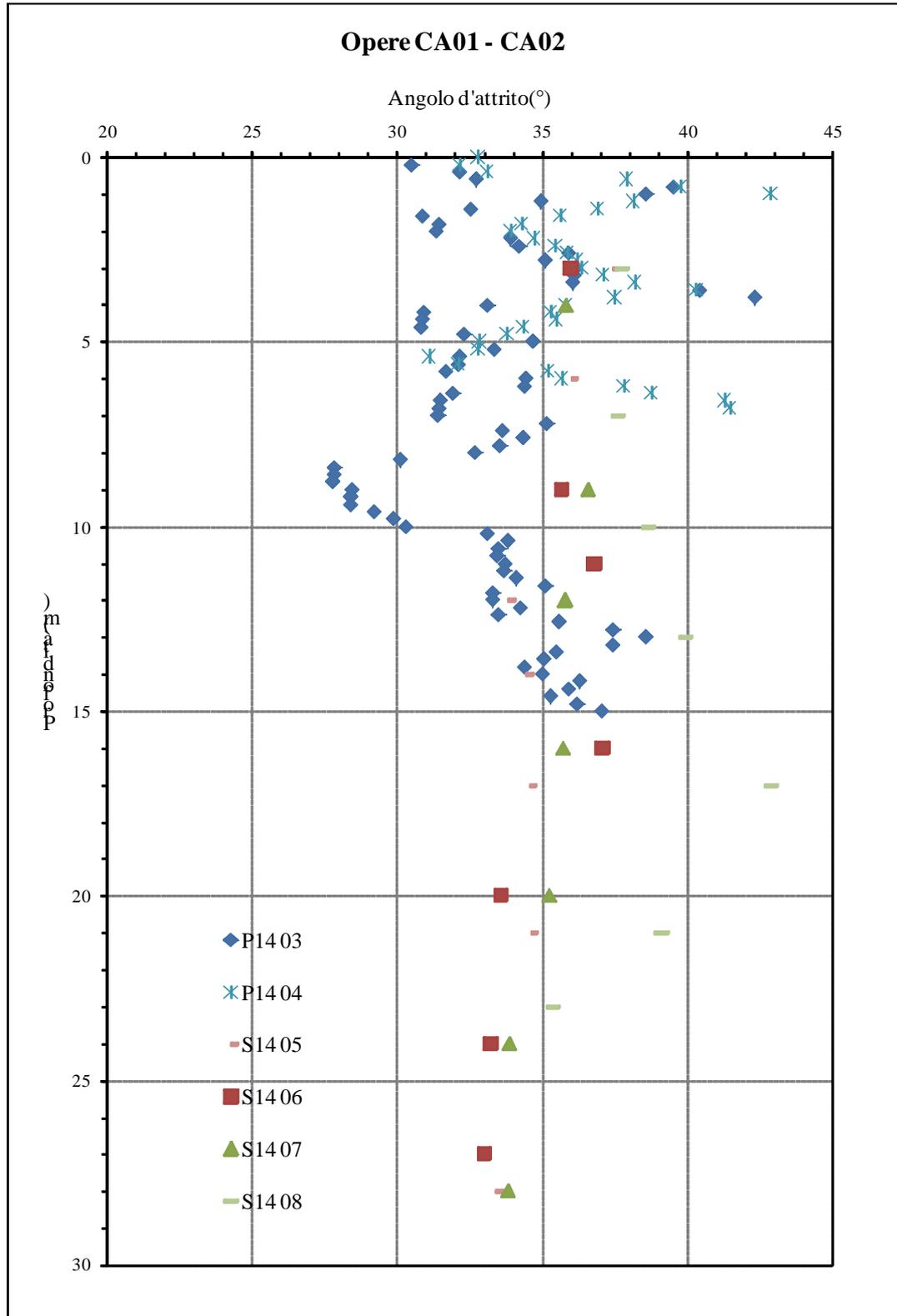


Fig. 5.2.2.2 – Valore angolo di attrito vs. profondità (m)

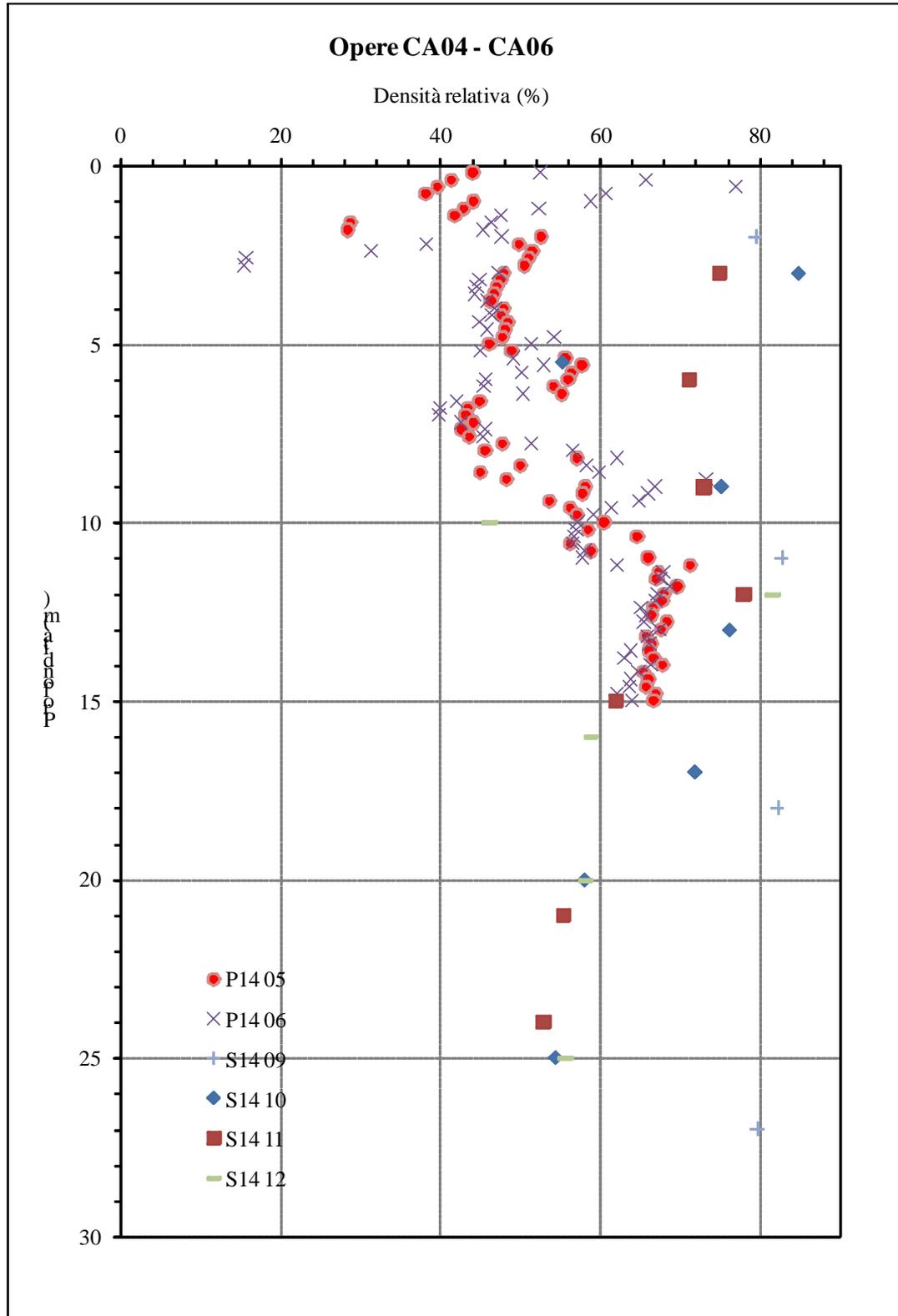


Fig. 5.2.2.3 – Valore angolo di attrito vs. profondità (m)

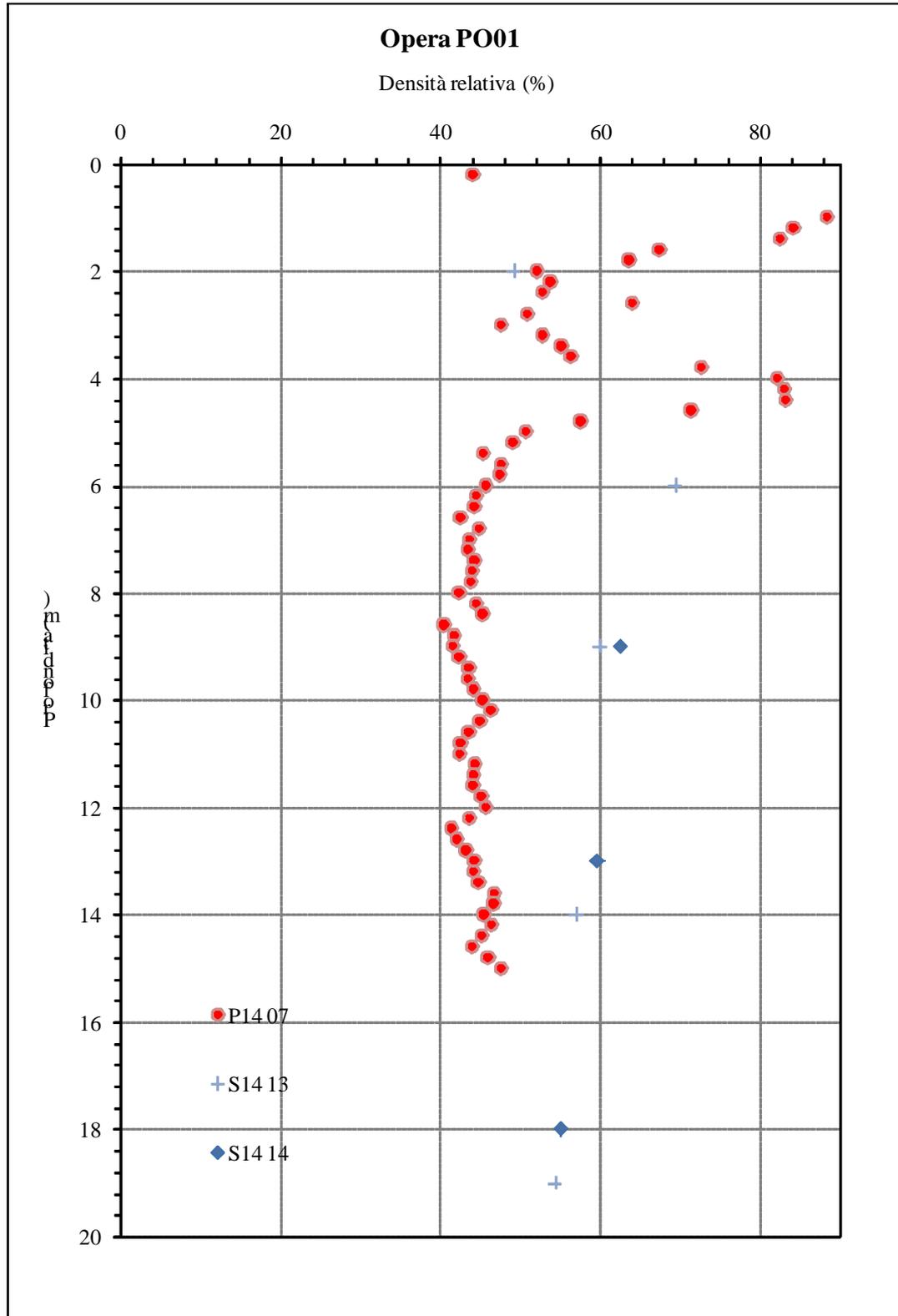


Fig. 5.2.2.4 – Valore angolo di attrito vs. profondità (m)

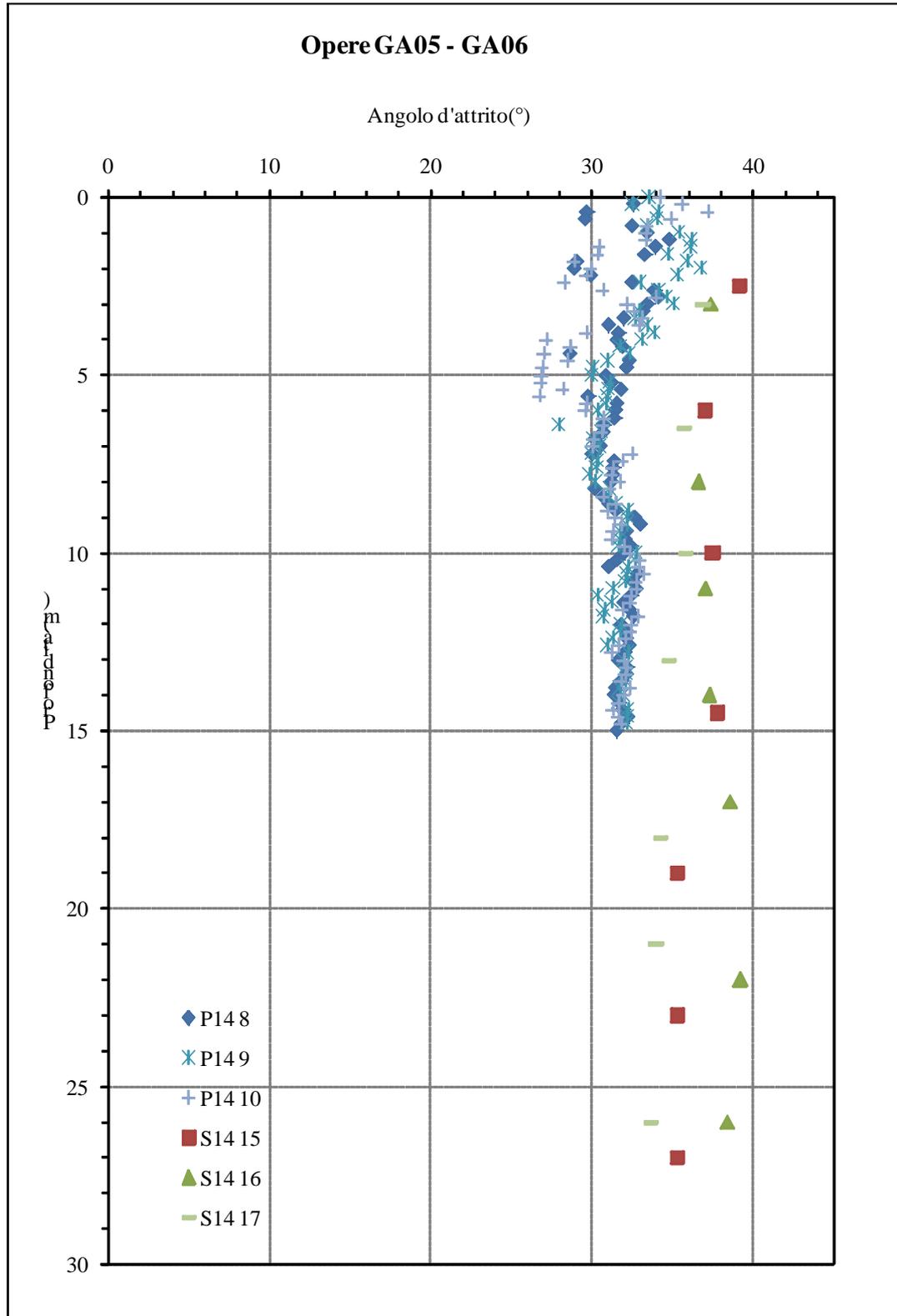


Fig. 5.2.2.5 – Valore angolo di attrito vs. profondità (m)

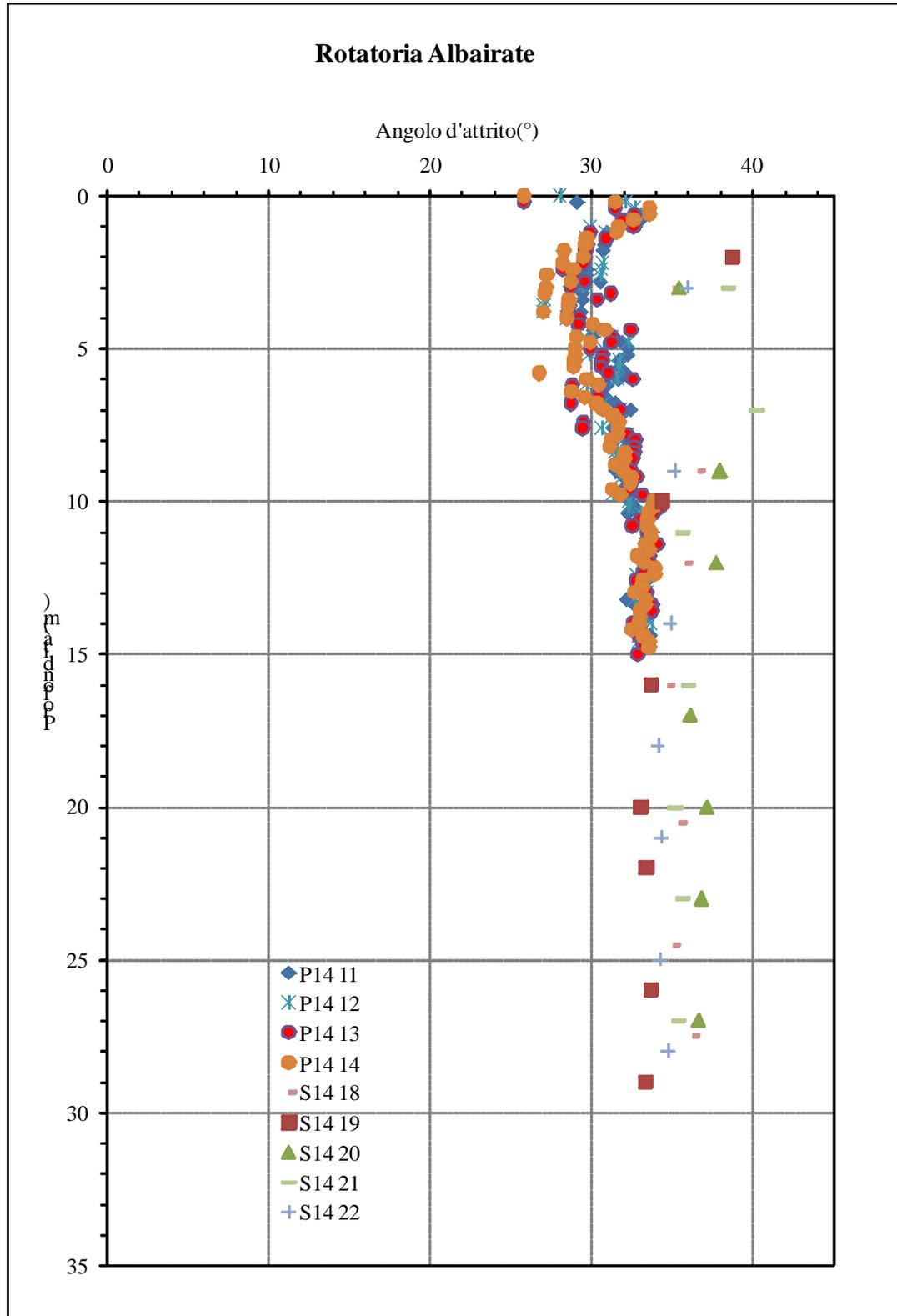


Fig. 5.2.2.6 – Valore angolo di attrito vs. profondità (m)

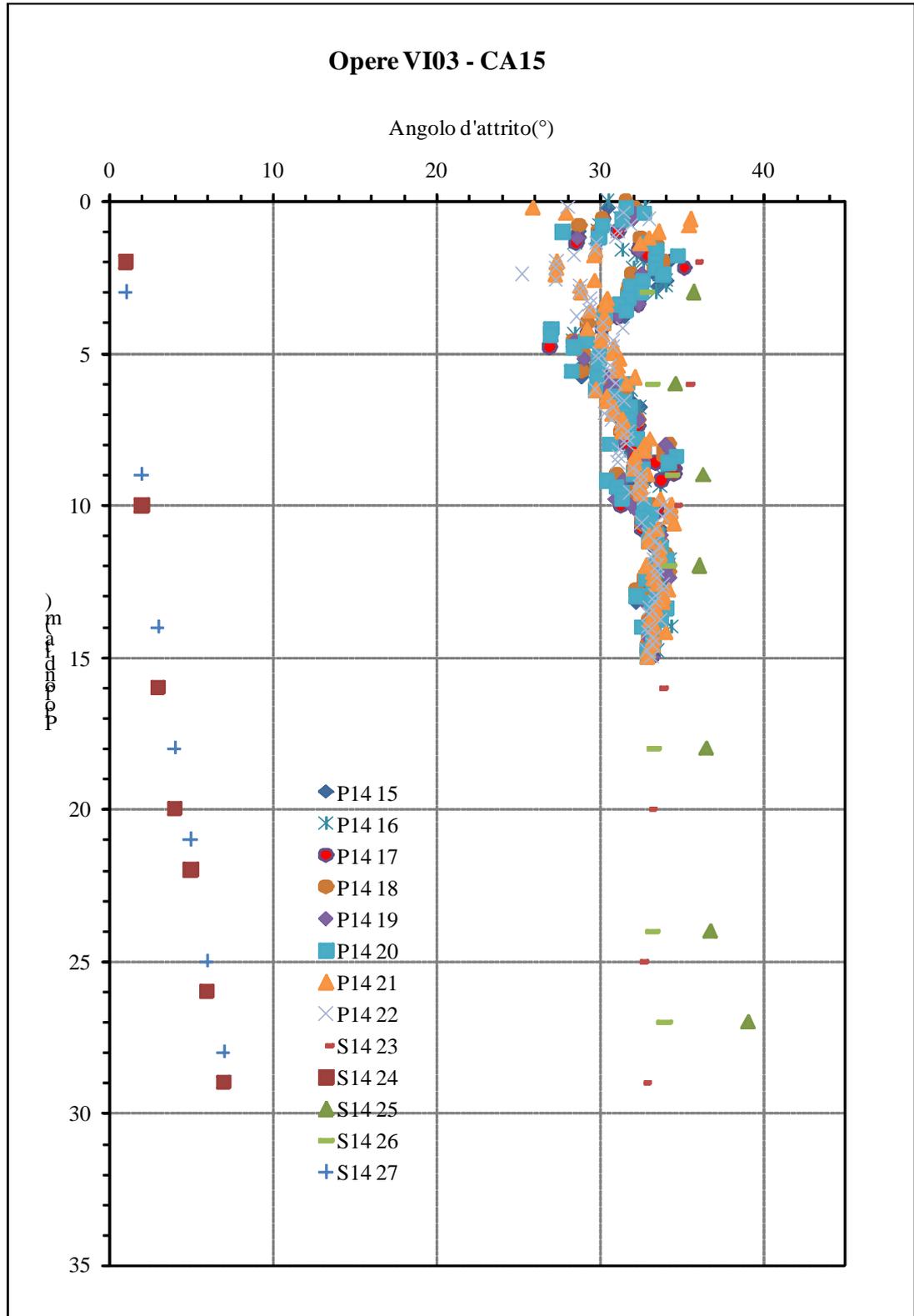


Fig. 5.2.2.7 – Valore angolo di attrito vs. profondità (m)

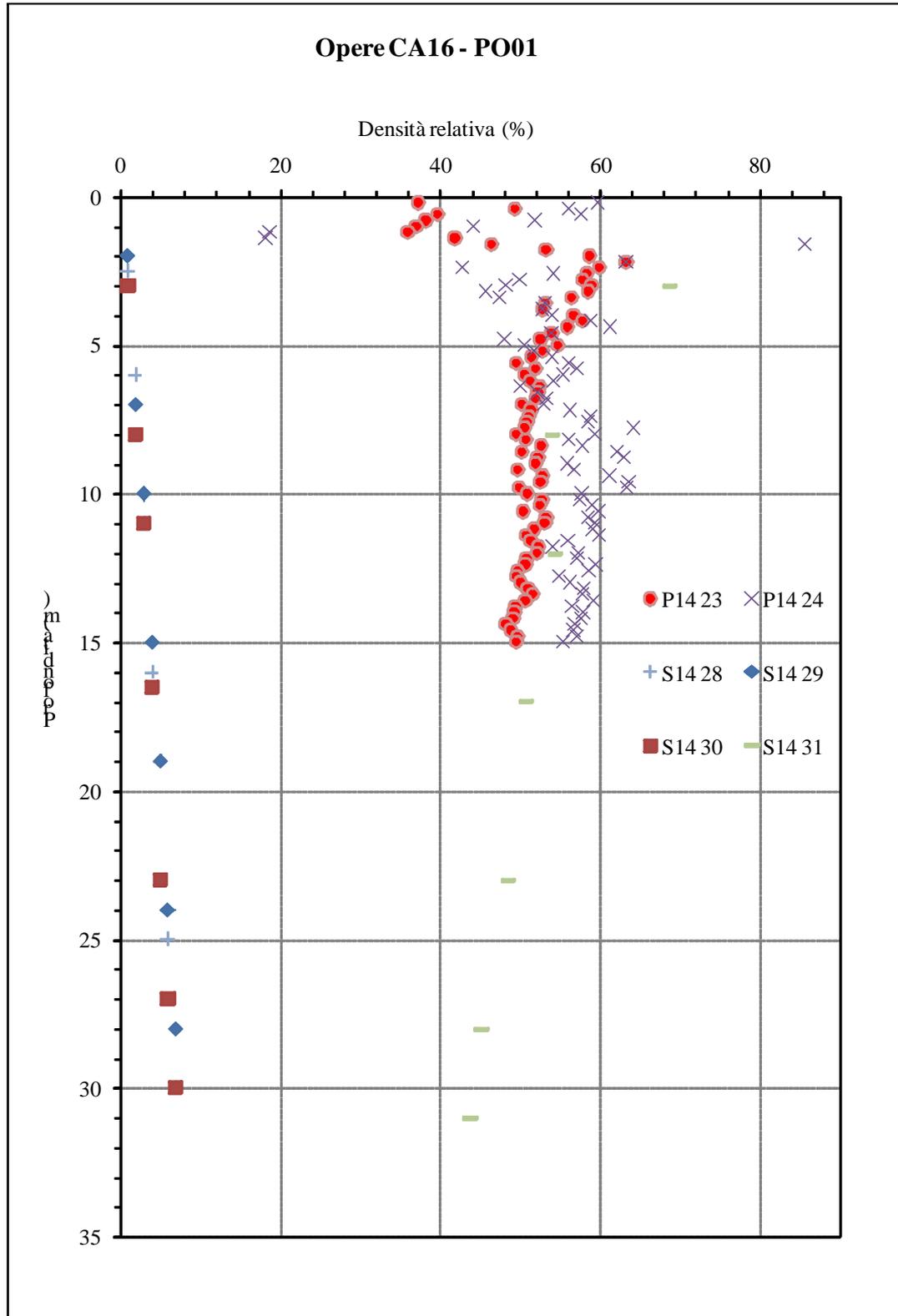


Fig. 5.2.2.8 – Valore angolo di attrito vs. profondità (m)

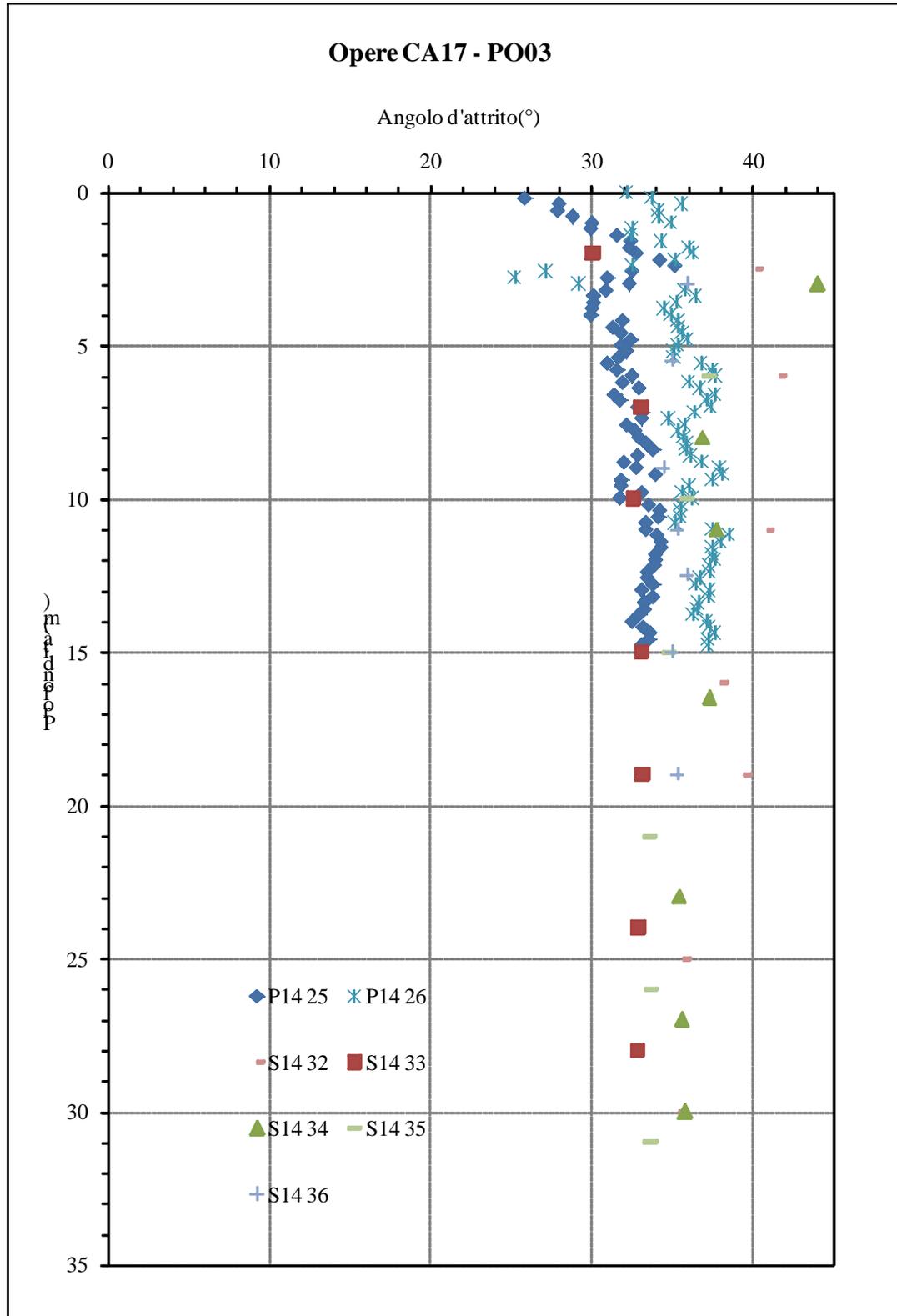


Fig. 5.2.2.9 – Valore angolo di attrito vs. profondità (m)

4.2.3 Caratteristiche di deformabilità

Moduli elastici "operativi"

Il modulo di Young secante cui corrisponde un grado di mobilitazione della resistenza pari al 25% di quella ultima è stato ricavato, a partire dai risultati delle prove SPT, prendendo in considerazione le seguenti correlazioni:

per le sabbie ghiaiose /con ghiaia

Terzaghi et Al. (1982)	$E = 7 (N_{SPT})^{0.5}$	[MPa]	
D'Apollonia et al. (1970)	$E = 0.756 N_{SPT} + 18.75$	[MPa]	
Begemann (1974)	$E = 1.2 (N_{SPT} + 6)$	$N_{SPT} < 15$	[MPa]
	$E = 4 + 1.2 (N_{SPT} + 6)$	$N_{SPT} < 15$	[MPa]

dove:

E = modulo di Young [MPa];

N_{SPT} = numero di colpi normalizzato per un affondamento di 30 cm.

per le sabbie fini / sabbie limose

Schultze & Menzebach	$E = 0.517 N_{SPT} + 7.46$	[MPa]	
D'Apollonia et Al (1970)	$E = 1.043 N_{SPT} + 36.8$	[MPa]	
Webb (1970)	$E = 0.478 N_{SPT} + 7.2$	[MPa]	(s. satura)
	$E = 0.32 N_{SPT} + 1.58$	[MPa]	(con fine plastico)

Nelle seguenti figure si riportano i valori di modulo di Young ottenuti utilizzando i diversi approcci definiti in precedenza e confrontandone criticamente i risultati. Nelle figure è visualizzato il valore medio per ciascuna profondità.

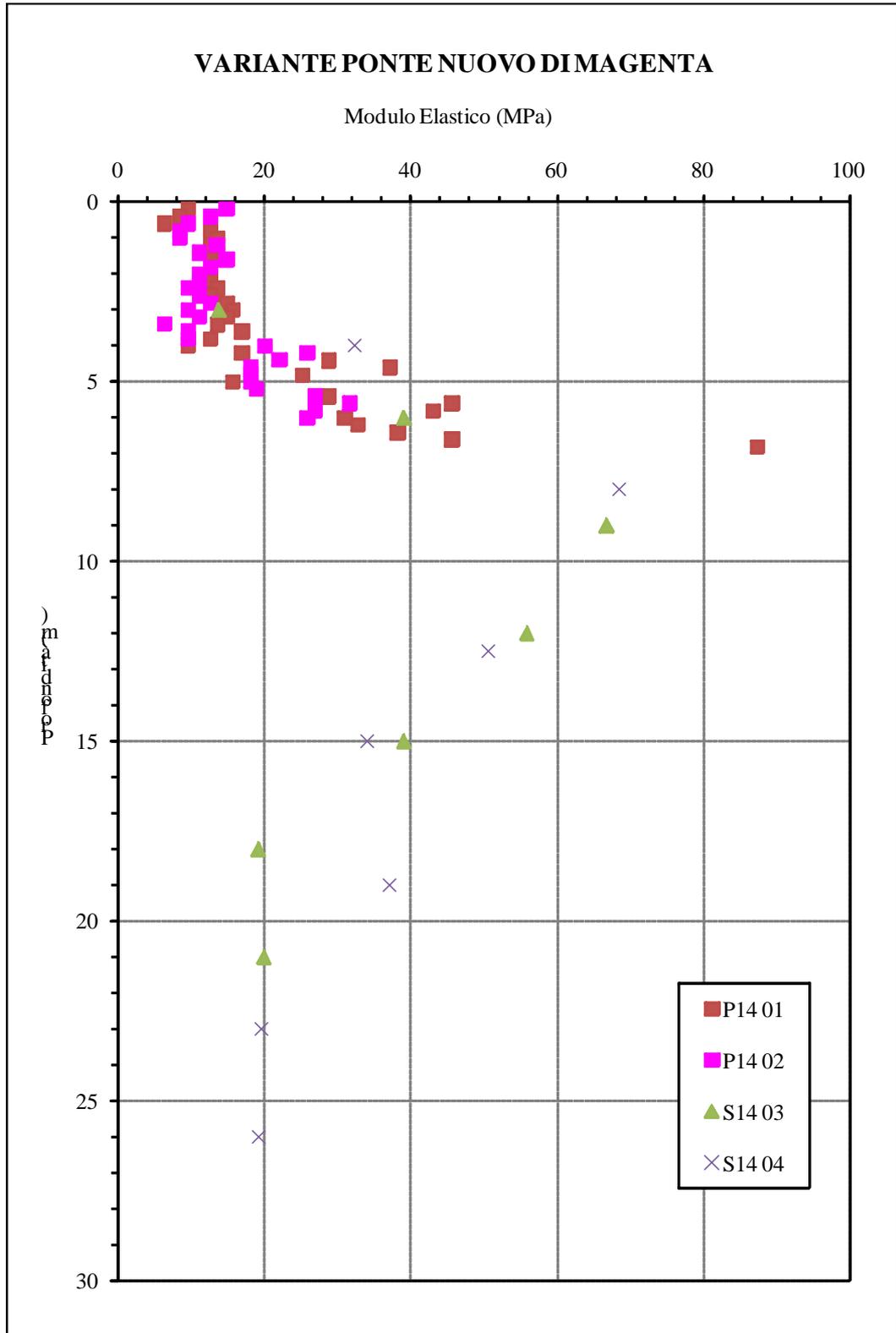


Fig. 5.2.3.1 – Valore Modulo elastico operativo vs. profondità (m)

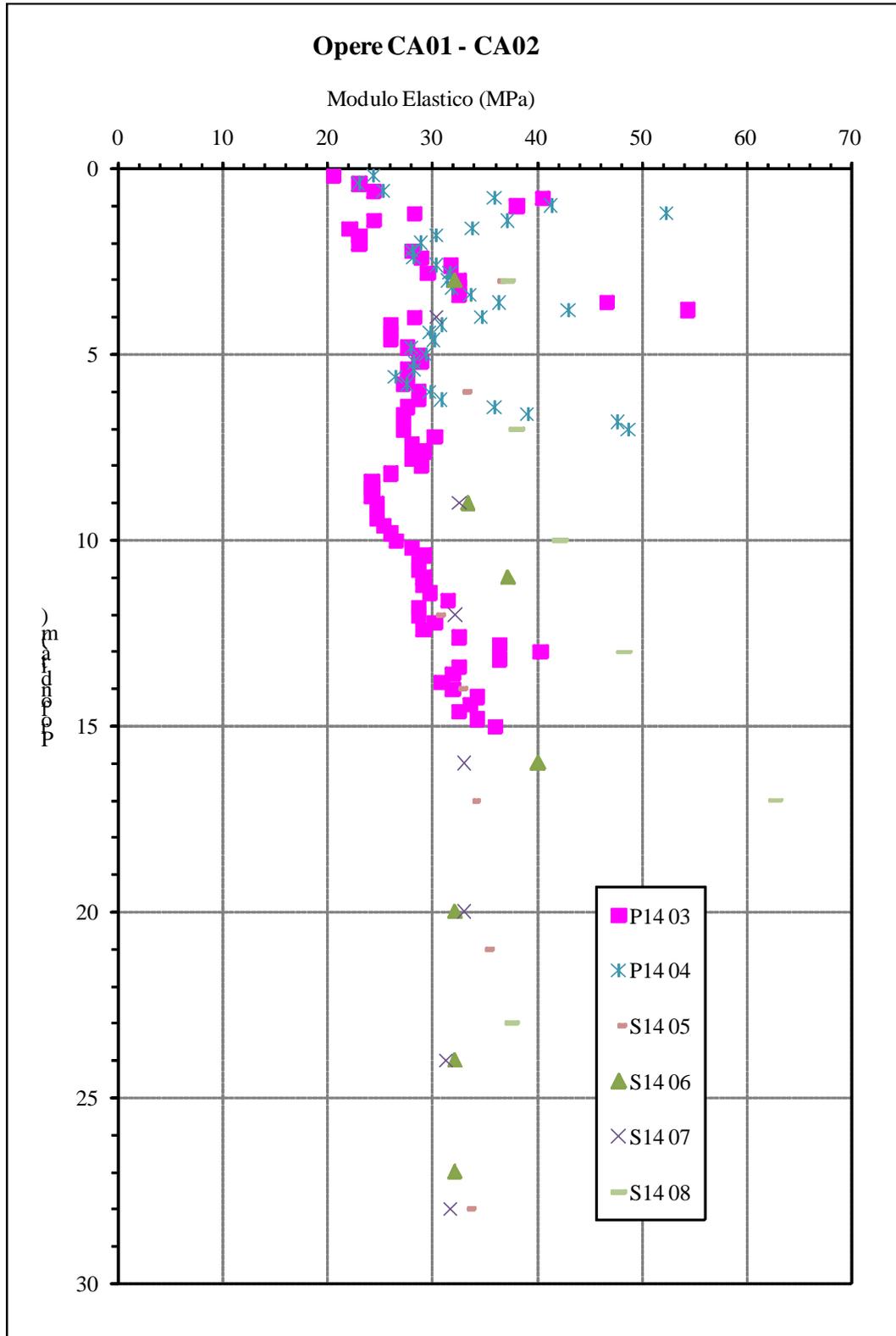


Fig. 5.2.3.2 – Valore Modulo elastico operativo vs. profondità (m)

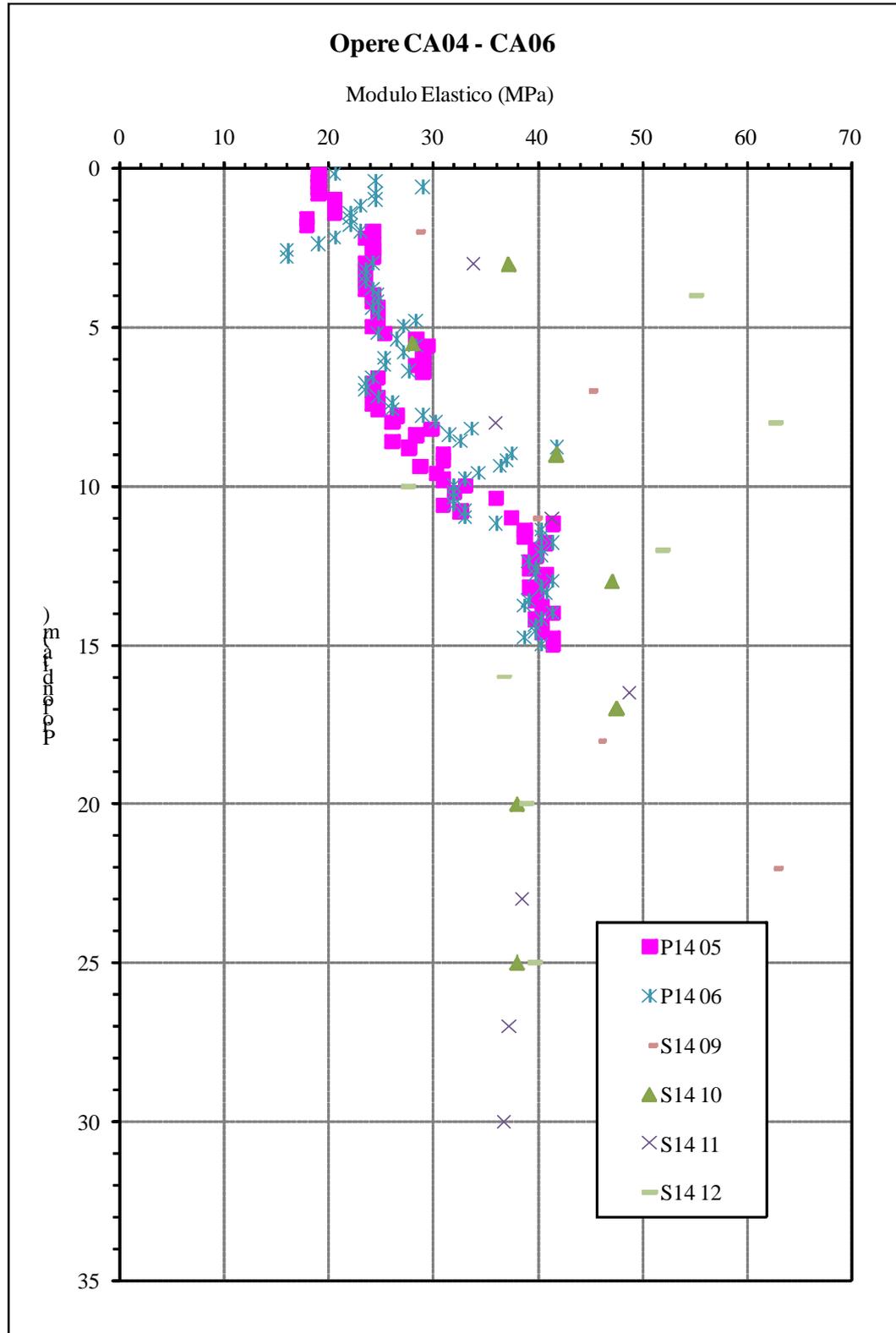


Fig. 5.2.3.3 – Valore Modulo elastico operativo vs. profondità (m)

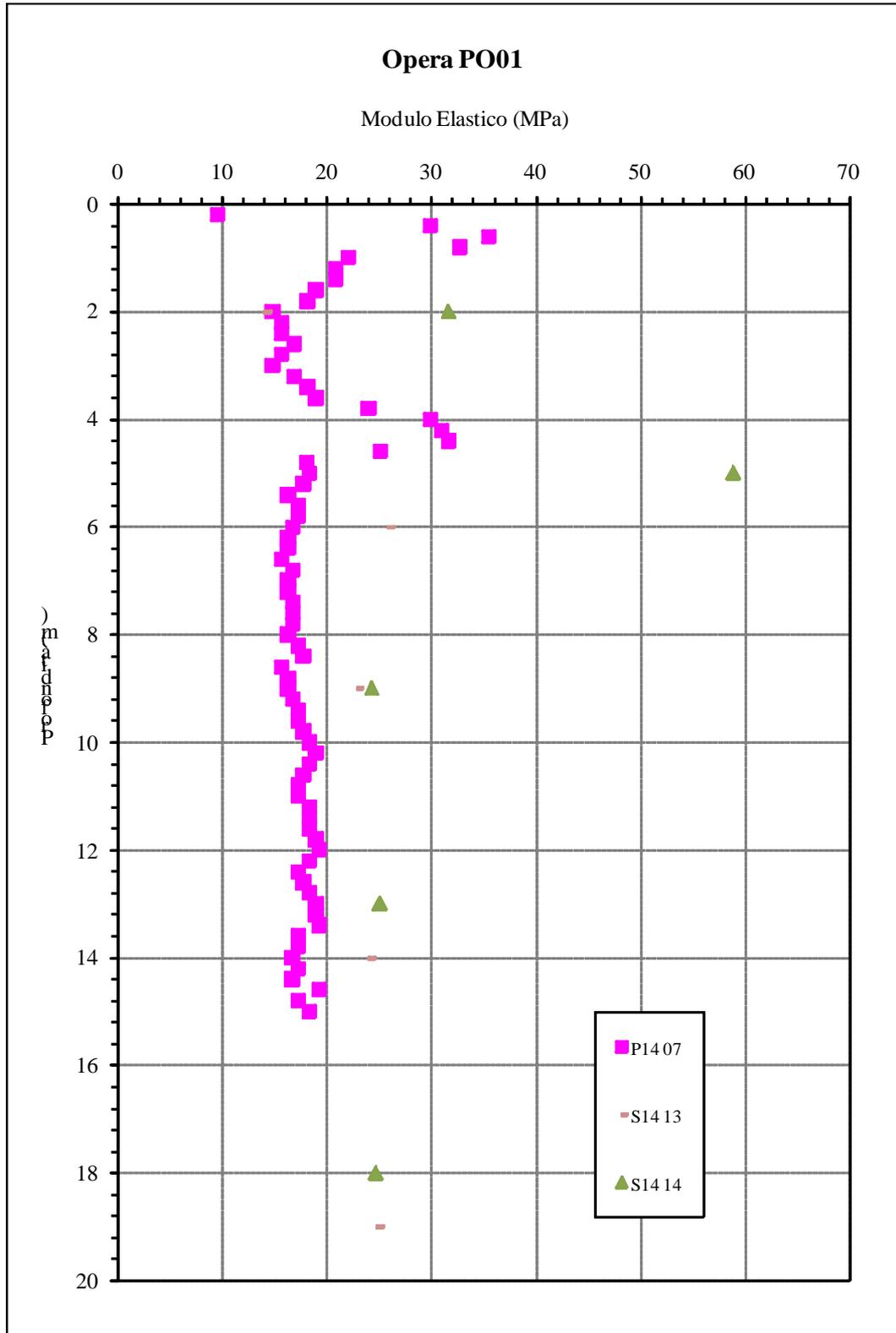


Fig. 5.2.3.4 – Valore Modulo elastico operativo vs. profondità (m)

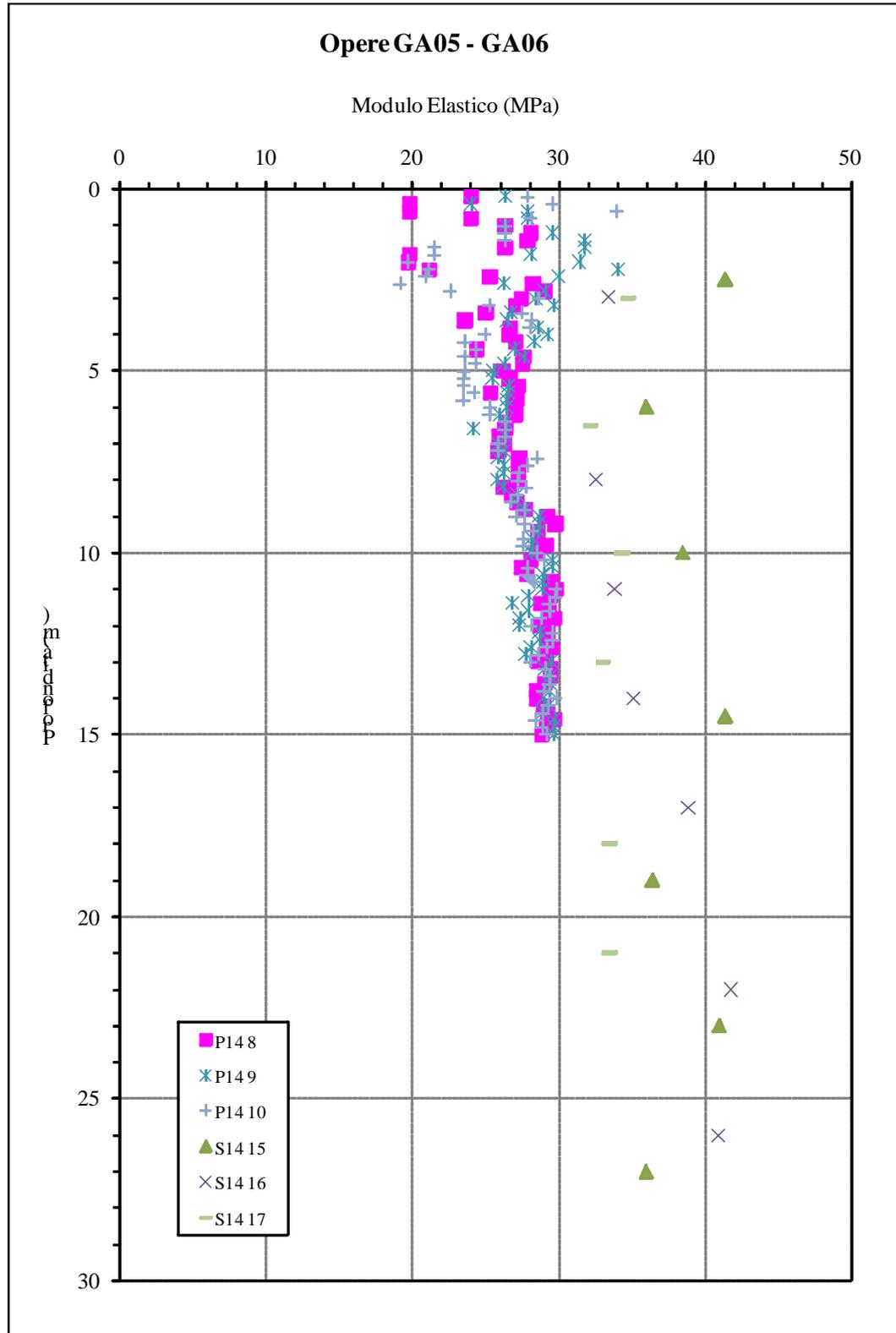


Fig. 5.2.3.5 – Valore Modulo elastico operativo vs. profondità (m)

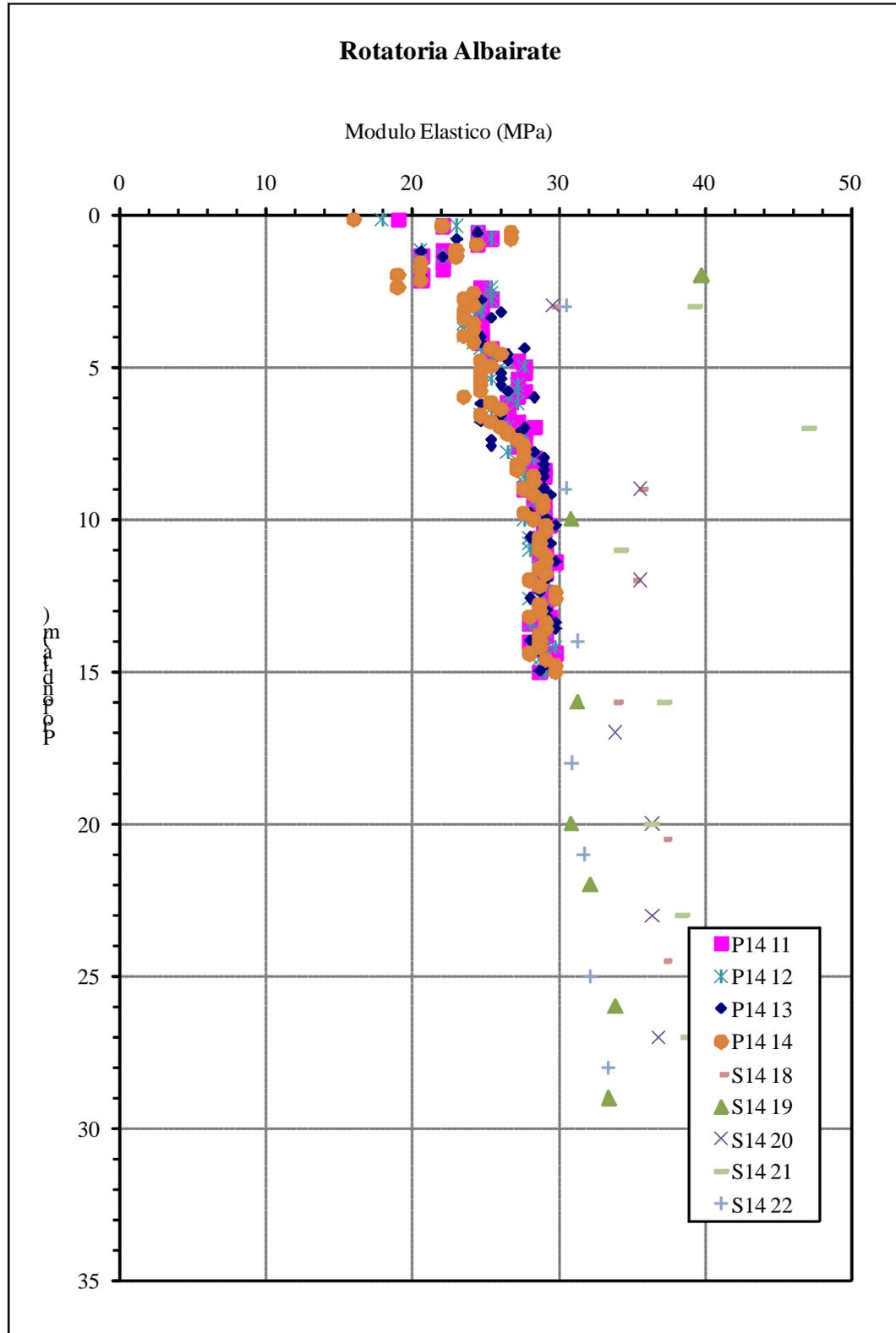


Fig. 5.2.3.6 – Valore Modulo elastico operativo vs. profondità (m)

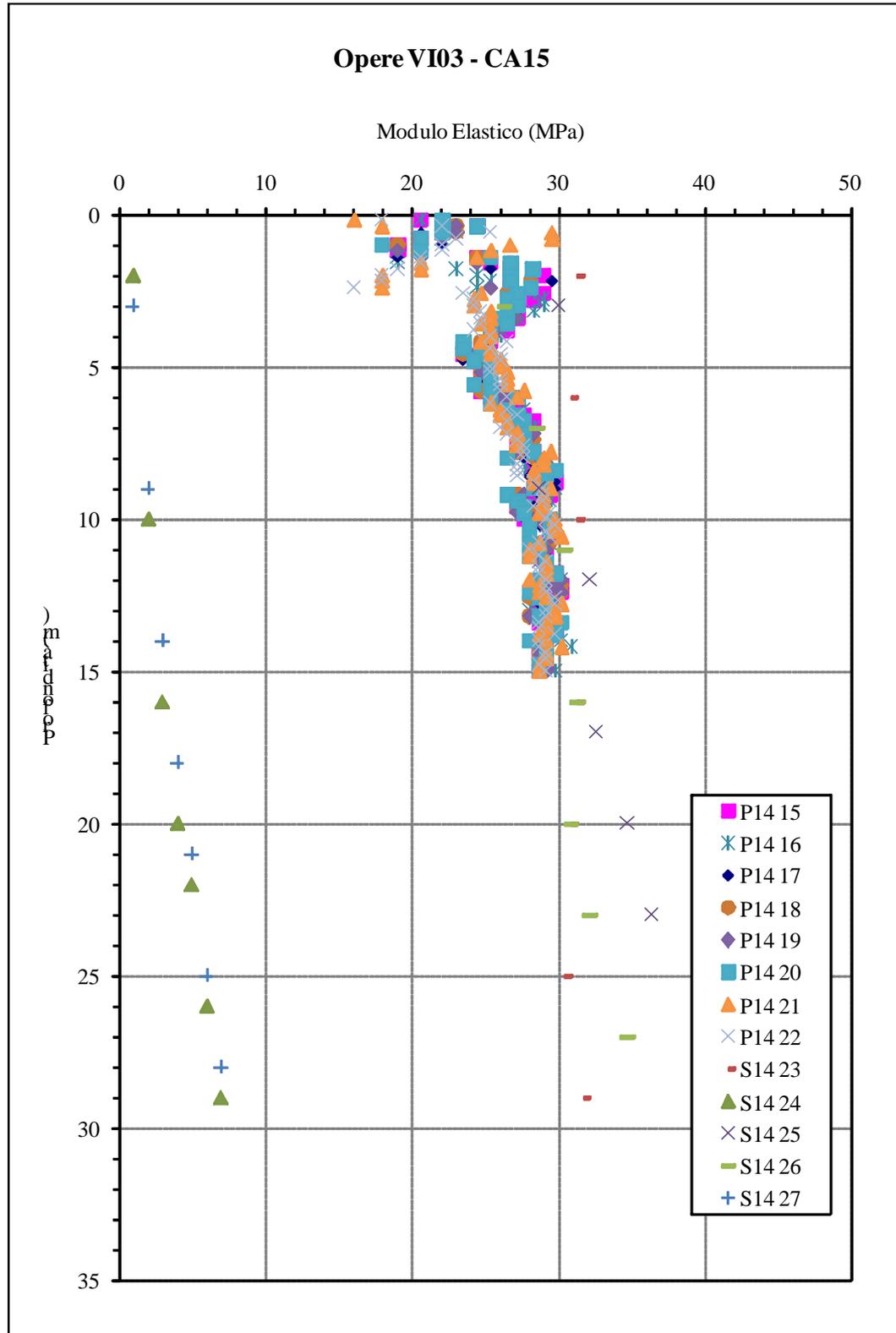


Fig. 5.2.3.7 – Valore Modulo elastico operativo vs. profondità (m)

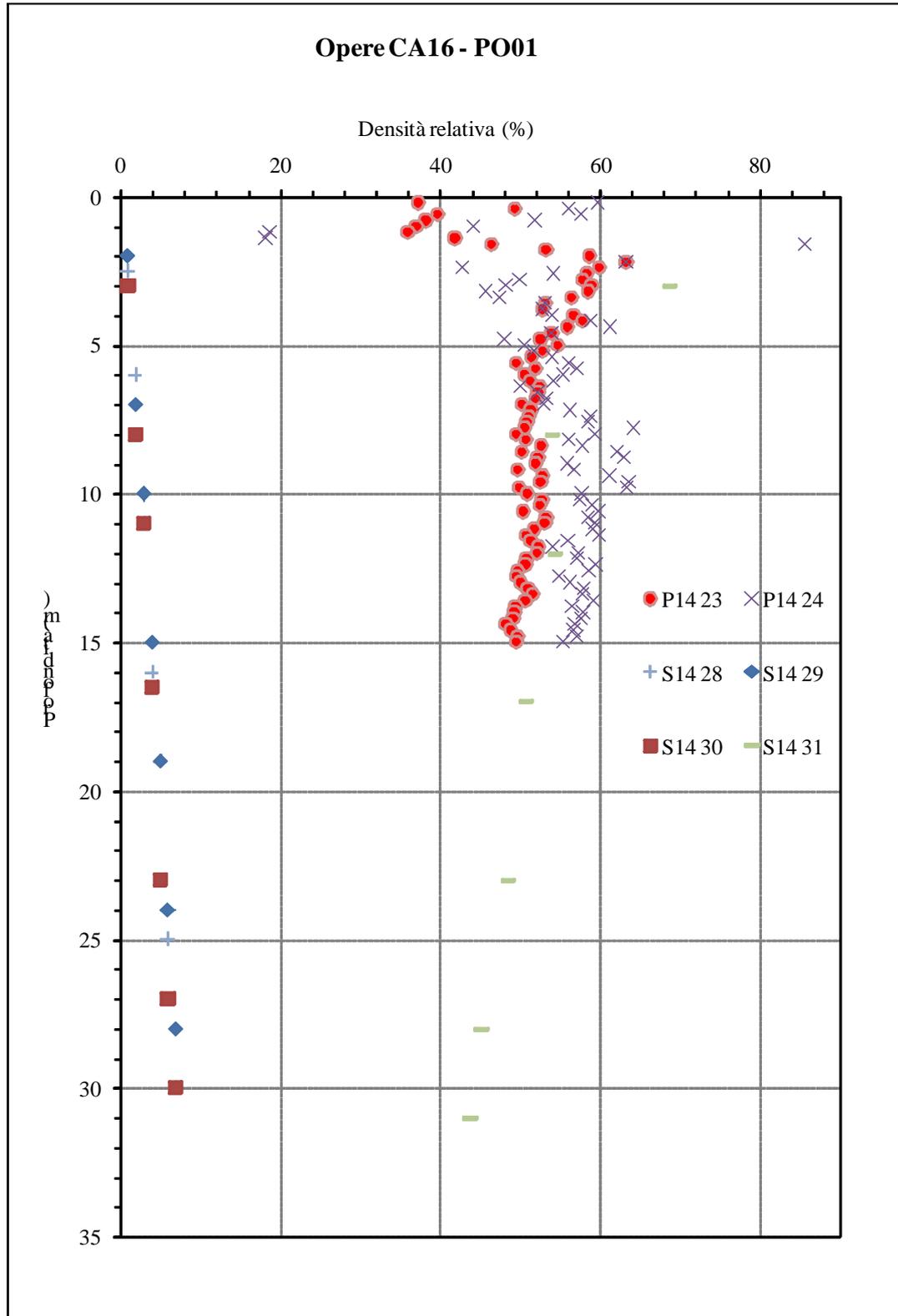


Fig. 5.2.3.8 – Valore Modulo elastico operativo vs. profondità (m)

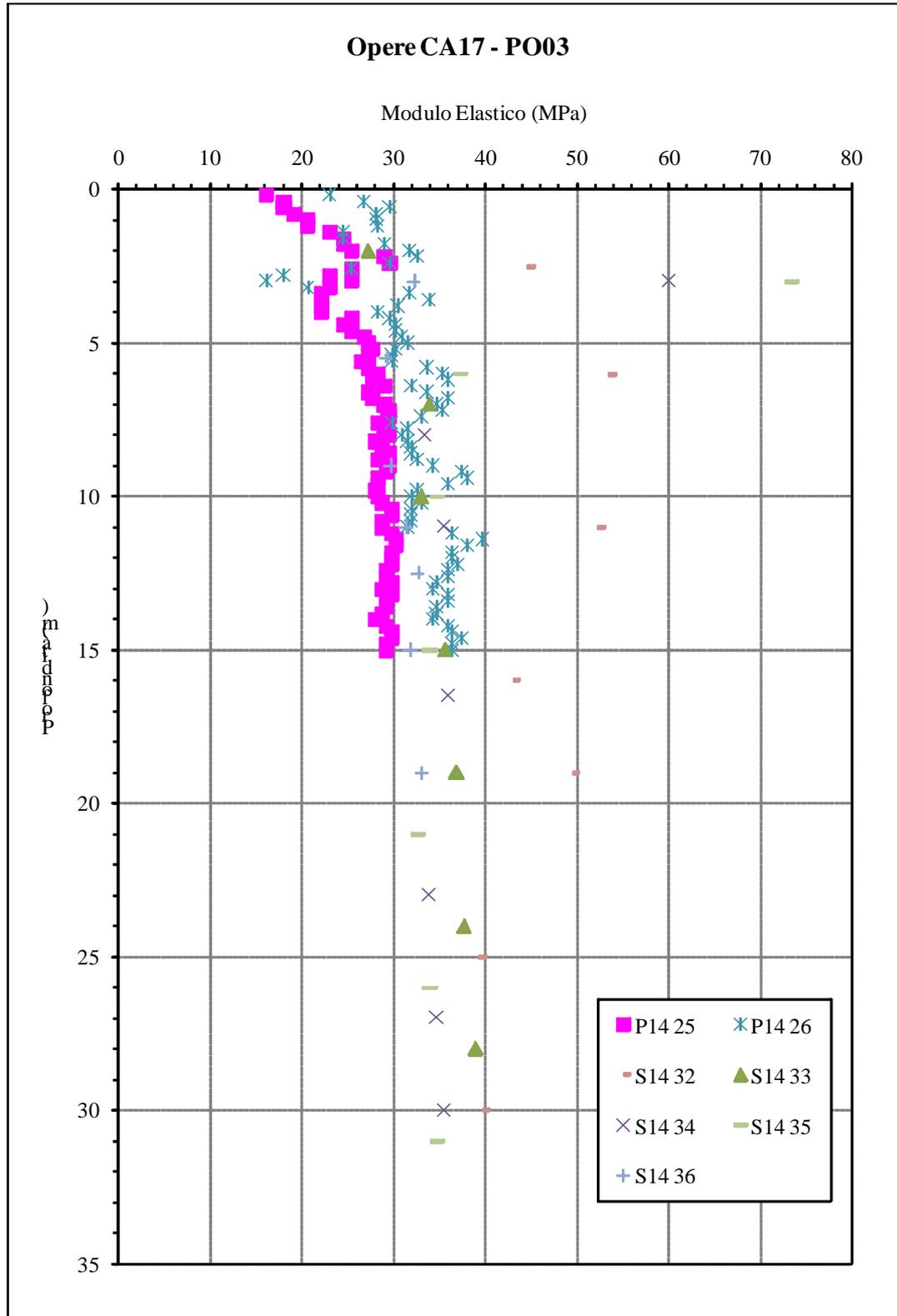


Fig. 5.2.3.9 – Valore Modulo elastico operativo vs. profondità (m)

Moduli di reazione orizzontale

I moduli di reazione orizzontale iniziali (E_{si}) da utilizzare nelle formulazioni semplificate alla Matlock-Reese [1960], possono essere ottenuti in accordo alla relazione seguente:

$$E_{si} = k_{hi} \cdot z \text{ (kPa)}$$

dove:

k_{hi} = gradiente del modulo di reazione orizzontale con la profondità (Reese et al. [1974], Elson [1984])

z = profondità da p.c., in m.

Densità relativa (%)	K_{hi} (kN/m ³)
35	10000
50	15000
70	25000

Tabella. 5.2.3.I – Gradiente modulo orizzontale funzione della profondità (Reese [1974] e Elson [1985])

4.3 Materiali a grana fine (limi) saturi

4.3.1 Resistenza al taglio non drenata

La coesione non drenata è stimata mediante correlazioni che legano i valori di N_{SPT} con c_u :

Terzaghi e Peck $c_u = 0.067 N_{SPT}$ [kg/cm²]

DM-7 (Design Manual of Soil mechanics) $c_u = 0.074 N_{SPT}$ [kg/cm²]

Shioi & Fukui $c_u = 0.025 N_{SPT}$ [kg/cm²]

dove

N_{SPT} = numero di colpi normalizzato per un affondamento di 30 cm

I valori ottenuti sono poi confrontati criticamente con i valori di c_u ottenuti dalle proprietà indice dei terreni coesivi. Le correlazioni utilizzate sono le seguenti:

Skempton (Terzaghi e Pech [1967]) $c_u = (0.11+0.0037IP) \sigma'_{vo}$ [kPa]

Karlsson-Viberg (1967) $c_u = (0.005 LL) \sigma'_{vo}$ [kPa]

dove:

LL limite liquido (%)
IP Indice di Plasticità (%)

4.3.2 Caratteristiche di deformabilità

Moduli edometrico

E' stato determinato secondo l'espressioni proposte da:

Stroud (1974) $M = 0.6 N_{SPT}$
Webb (1969) $M = 5 (N_{SPT} + 15)$ per sabbie sature
 $M = 10 / 3 (N_{SPT} + 15)$ per sabbia argillosa

dove:

N_{SPT} = numero di colpi normalizzato per un affondamento di 30 cm..

Moduli di reazione orizzontale

In accordo a Elson [1984] il modulo di reazione orizzontale (E_s) può essere assunto pari

a $E_s = 400 c_u$.

4.4 MODELLO GEOLOGICO GEOTECNICO

4.5 Unità litotecniche

Dall'analisi delle indagini geognostiche effettuate è stato possibile individuare quattro diverse unità litostratigrafiche che definiscono la stratigrafia nella tratta in oggetto. In tutte le tratte è stata trovata prevalentemente sabbia con depositi fini e/o ghiaiosi, ad esclusione di livelli metrici di limo sabbioso/limo con sabbia a profondità massima di 14 m da p.c.

Per chiarezza il modello elaborato è stato rappresentato tramite stratigrafie di progetto per ciascuna opera (cfr. § 5.2) e profilo geotecnico interpretativo (cfr. B.7.1 – B.11.1 – B.15) in modo da consentire una visione immediata delle sue caratteristiche.

Con riferimento al piano campagna attuale, è possibile riconoscere la seguente successione di strati:

UNITÀ G3/G3* Ghiaia con sabbia/ sabbia con ghiaia da mediamente (G3) a molto addensate (G3*), spesso intercalate dal livello L5.. Questo Unità si estende da p.c. fino a profondità massime di 22.0 m.

UNITÀ L5 Limo sabbioso a tratti debolmente argilloso/ limo con sabbia, poco e addensato si rileva solitamente all'interno dell'unità G3/G3* con spessori variabili tra 1.5 e 2.0 m. Nel solo sondaggio S14-36 raggiunge spessori di circa 5.0 m.

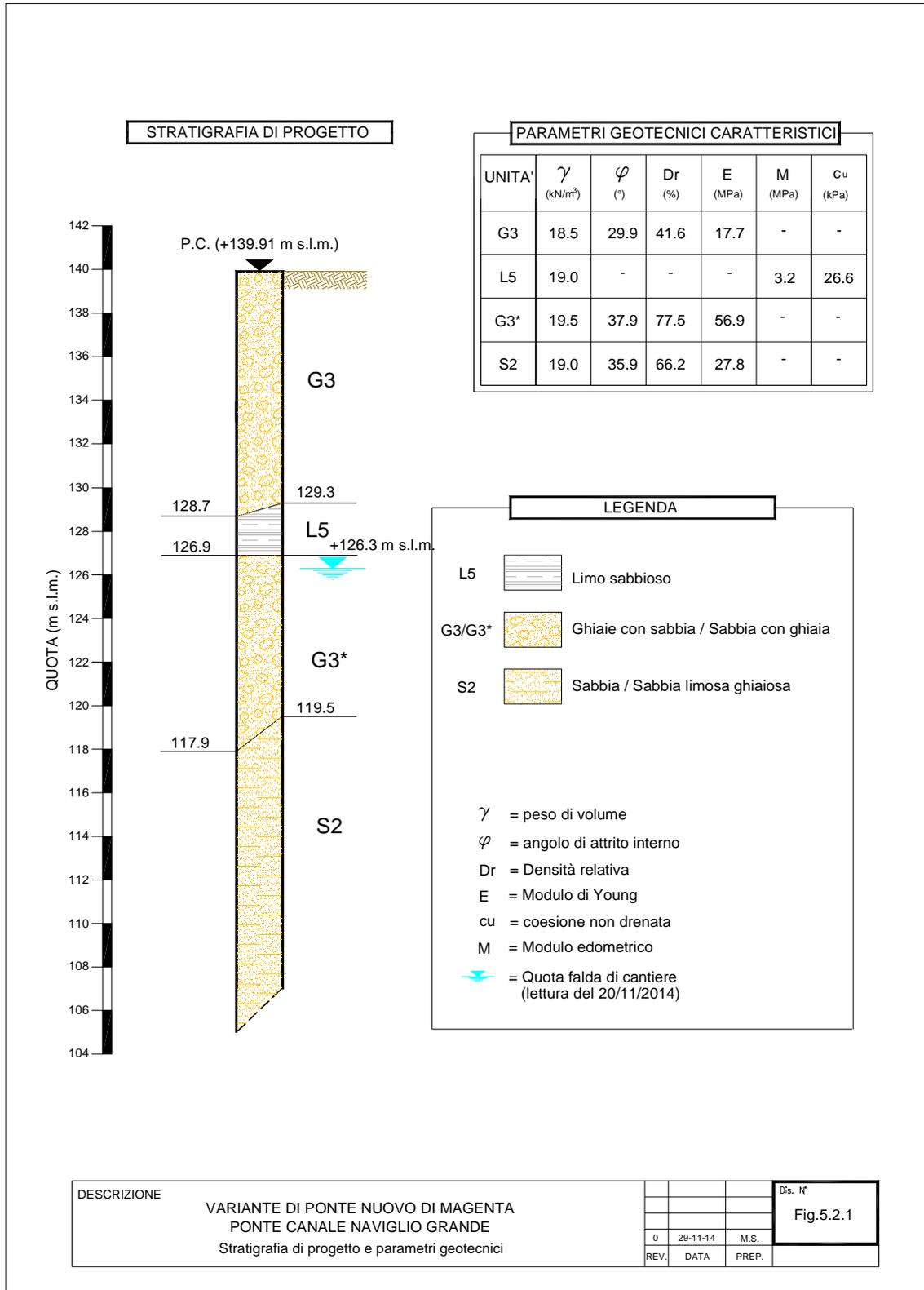
UNITÀ S2 Sabbia prevalentemente fine limosa talvolta ghiaiosa. Si rileva solitamente al di sotto dell'unità G3/G3* e si estende oltre la profondità raggiunta dai sondaggi costituendo un vero e proprio strato di base.

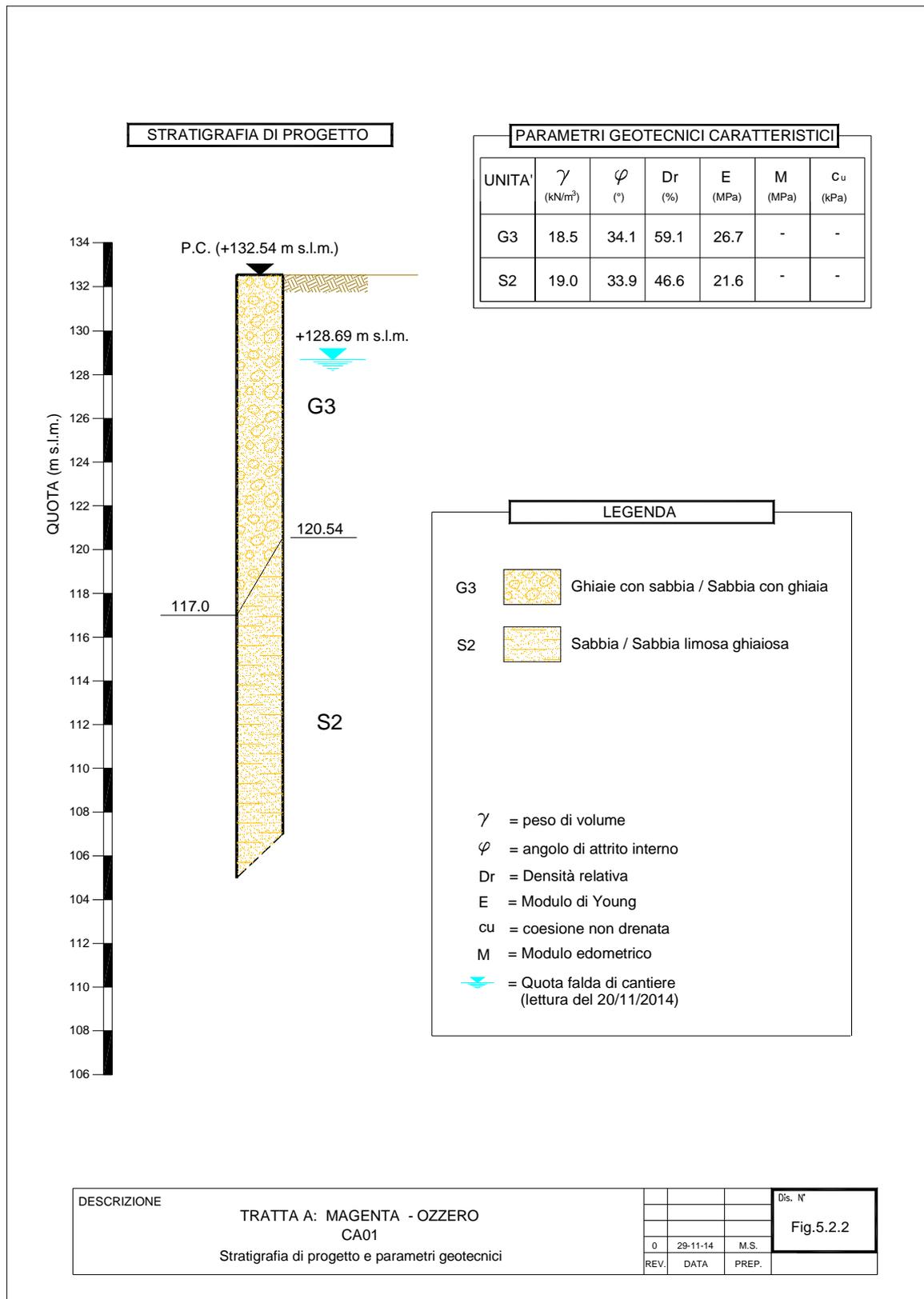
UNITÀ S1 Sabbia prevalentemente fine con passaggi a granulometria gradata media, mediamente addensata. Si rileva solo in alcune tratte al di sotto dell'unità G3/G3* e/o unità S2 e come quest'ultima si estende oltre la profondità raggiunta dai sondaggi costituendo lo strato di base.

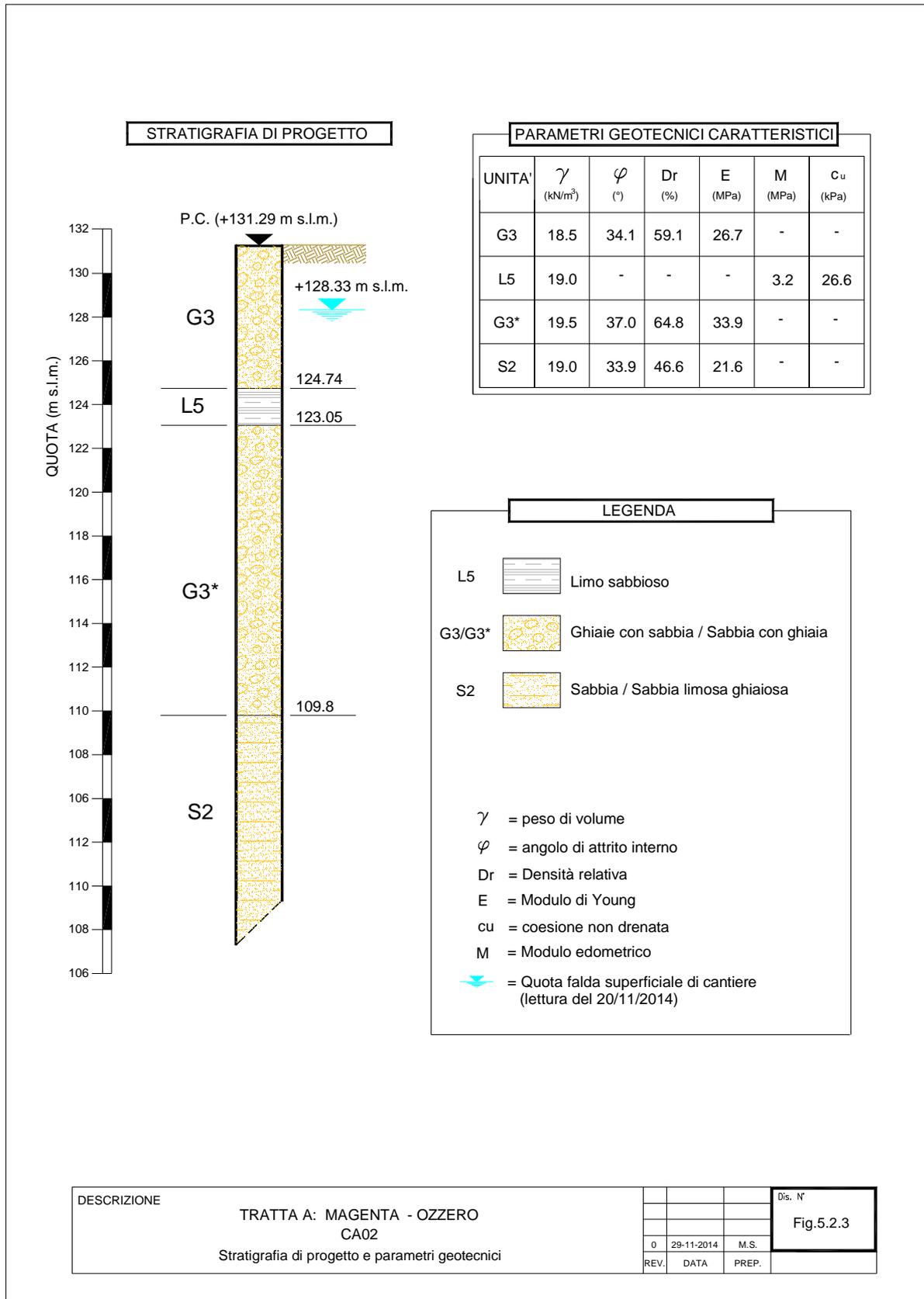
4.1 Parametri caratteristici

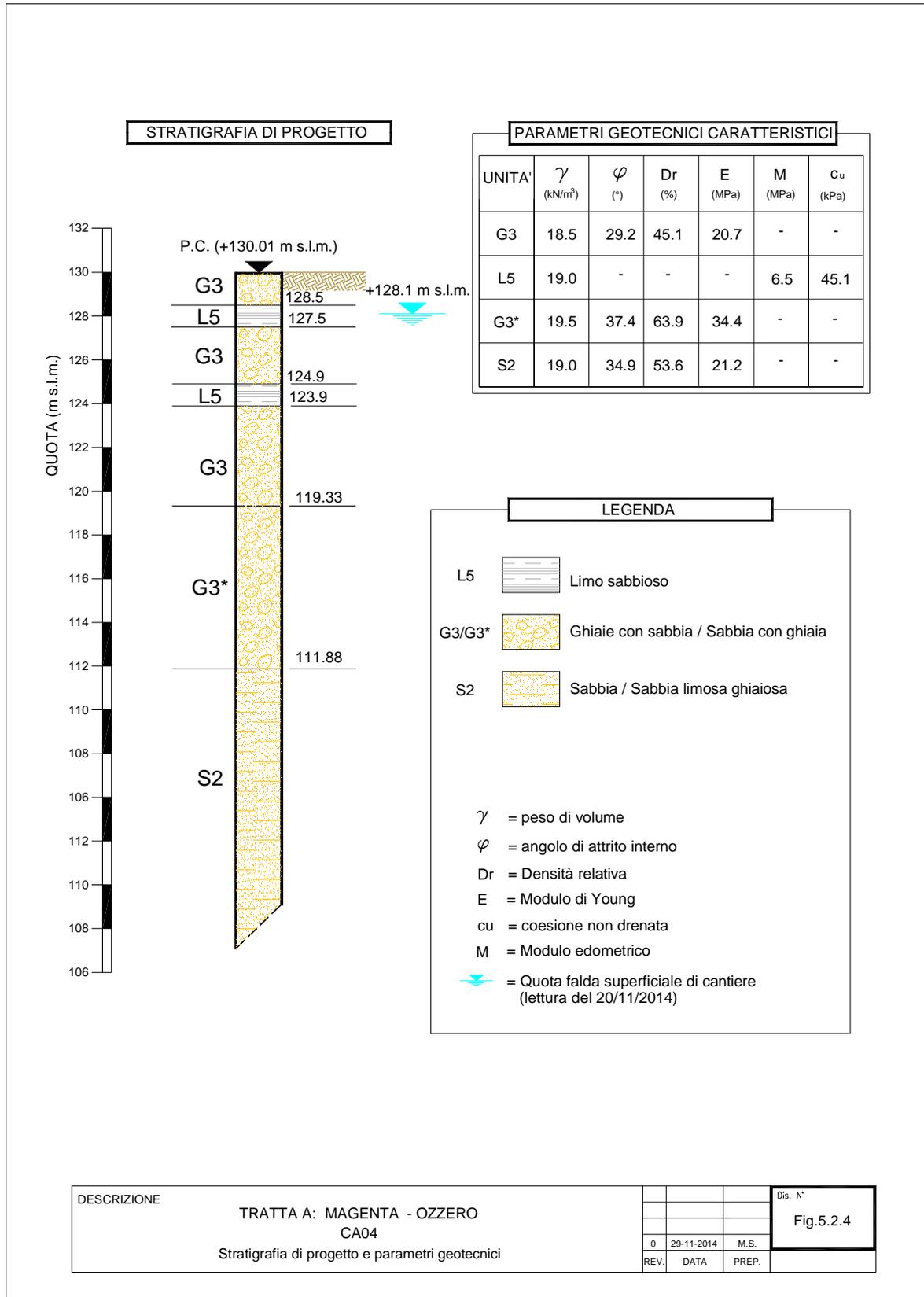
Nelle stratigrafie di progetto sono stati riportati i parametri geotecnici caratteristici (X_k), per ciascuna opera, secondo la definizione del Nuovo Testo Unico delle Costruzioni (D.M. 14/01/2008). I valori dei parametri sono desunti dall'analisi dei risultati delle prove effettuate, unitamente a considerazioni sulla tipologia dei terreni da analisi della letteratura e da esperienza pregressa: il valore proposto rappresenta una stima cautelativa che tiene conto del numero di dati a disposizione, della loro dispersione e della variabilità del sottosuolo.

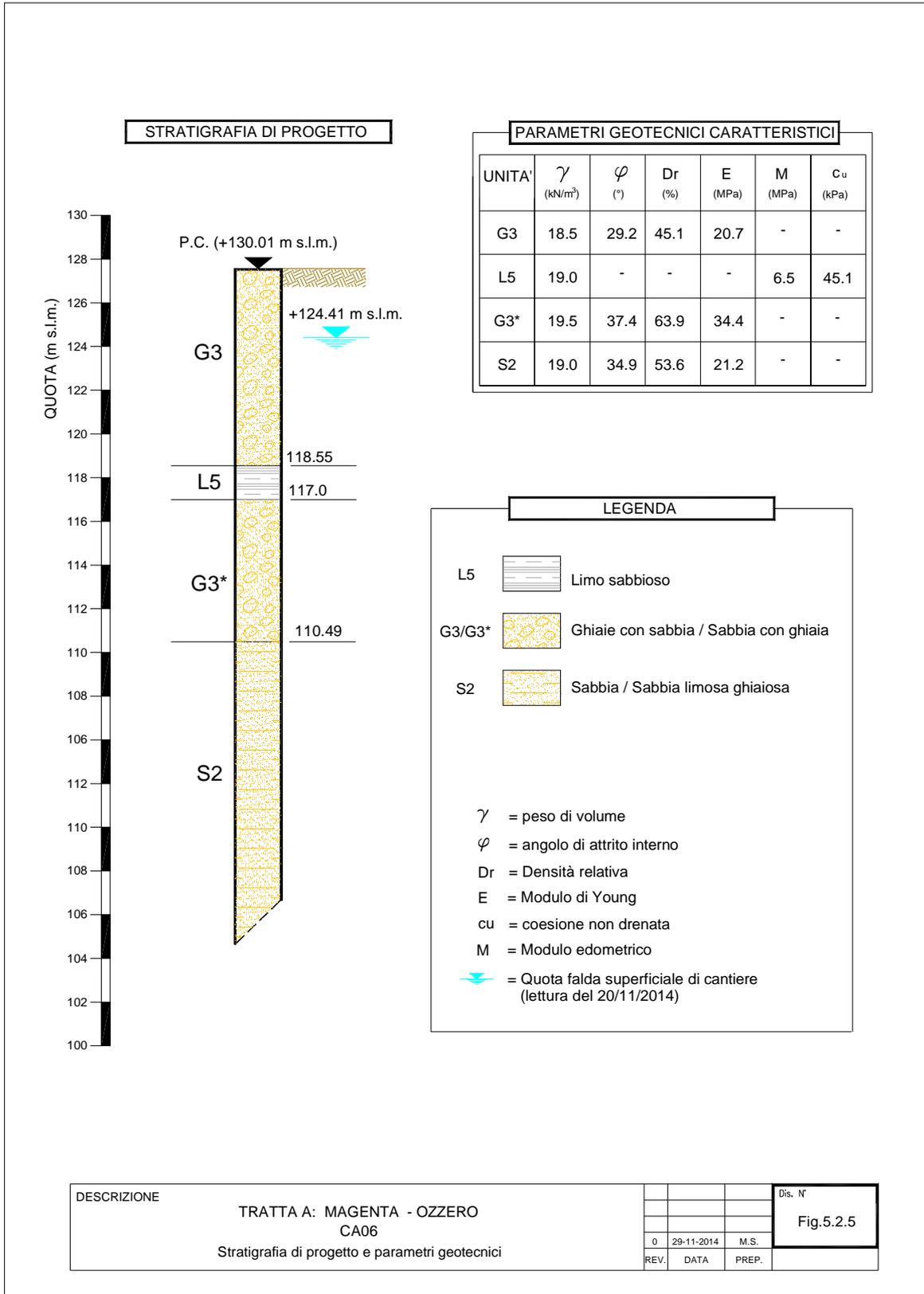
4.2 Stratigrafie di progetto opere maggiori

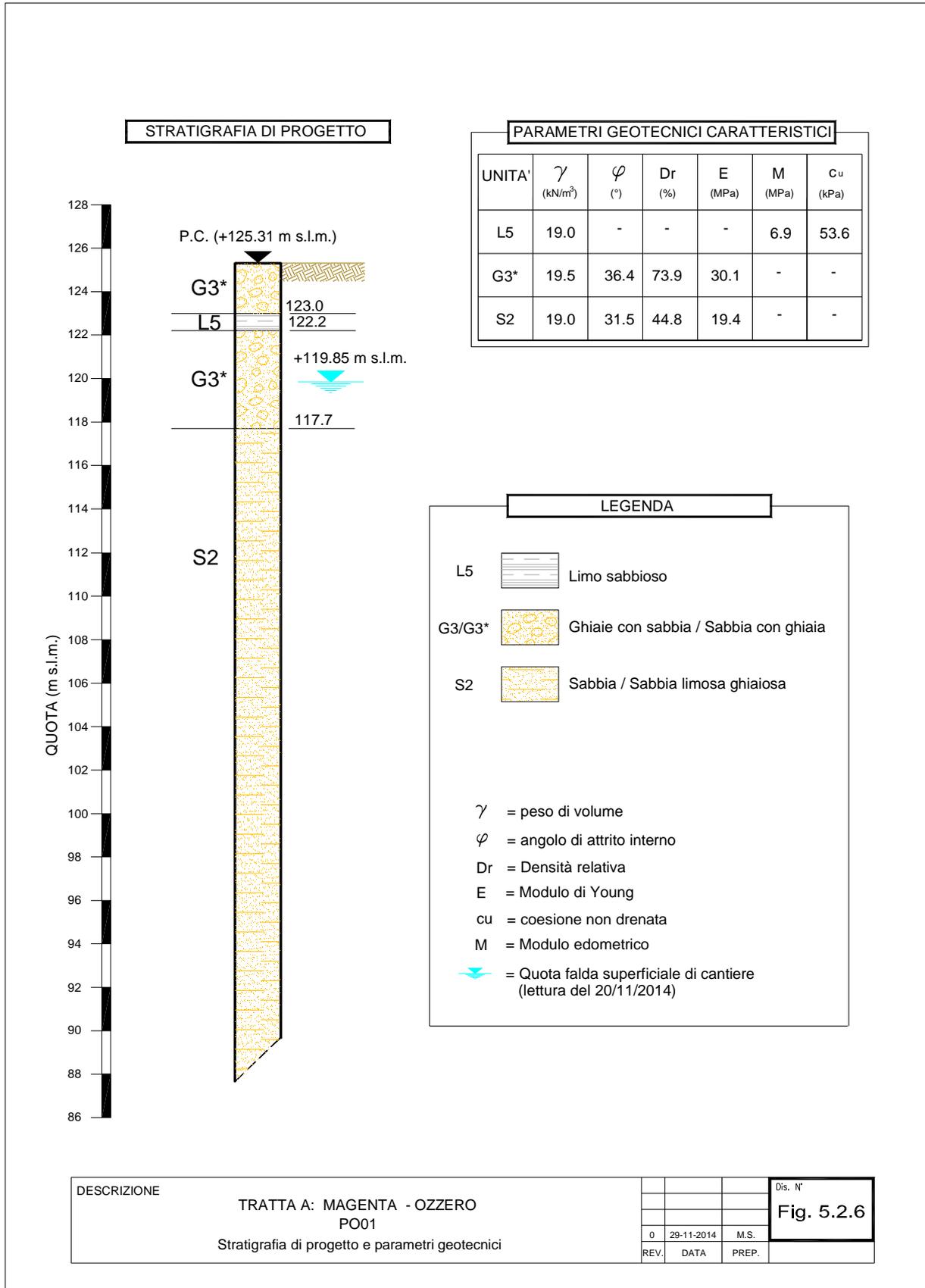




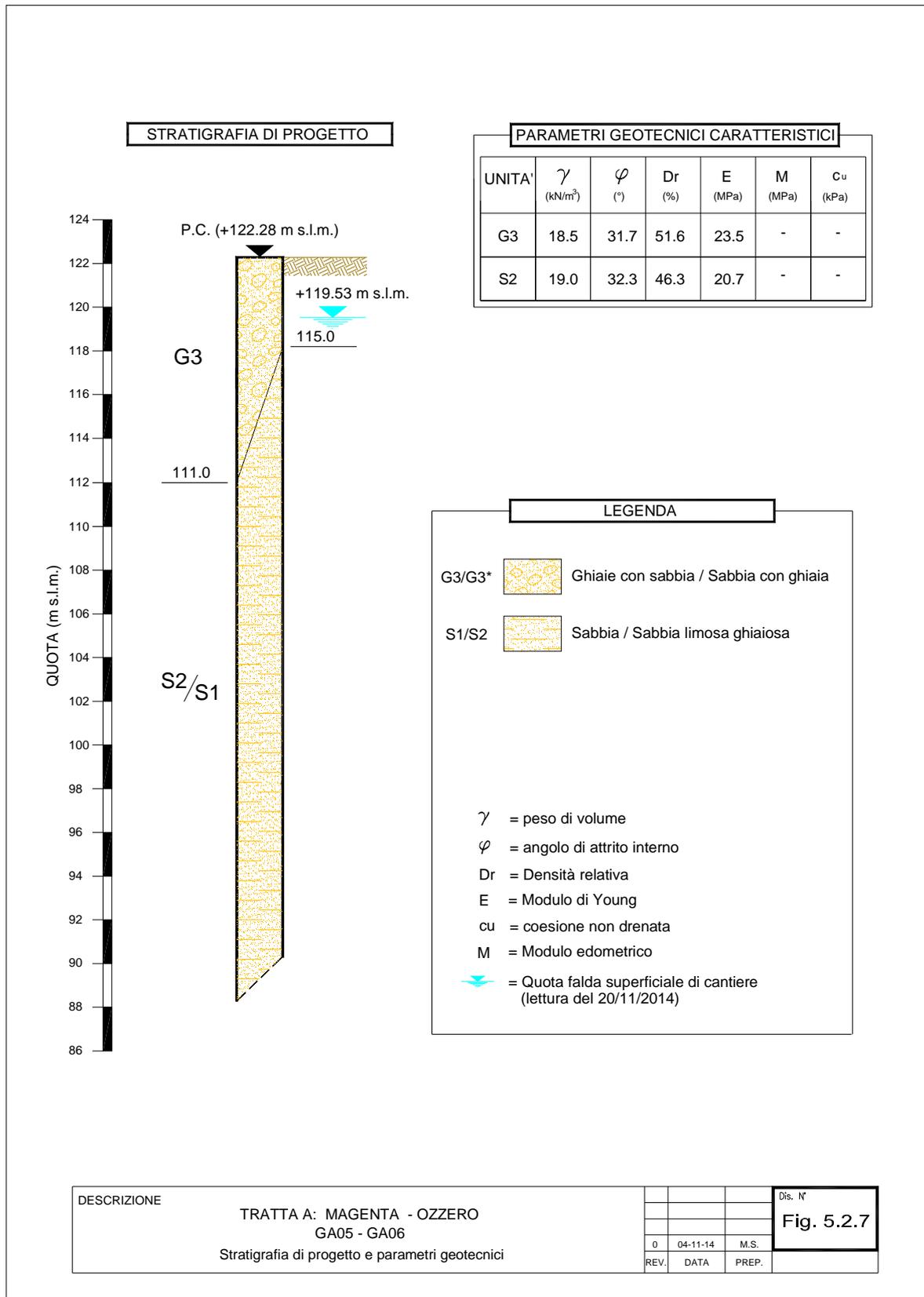


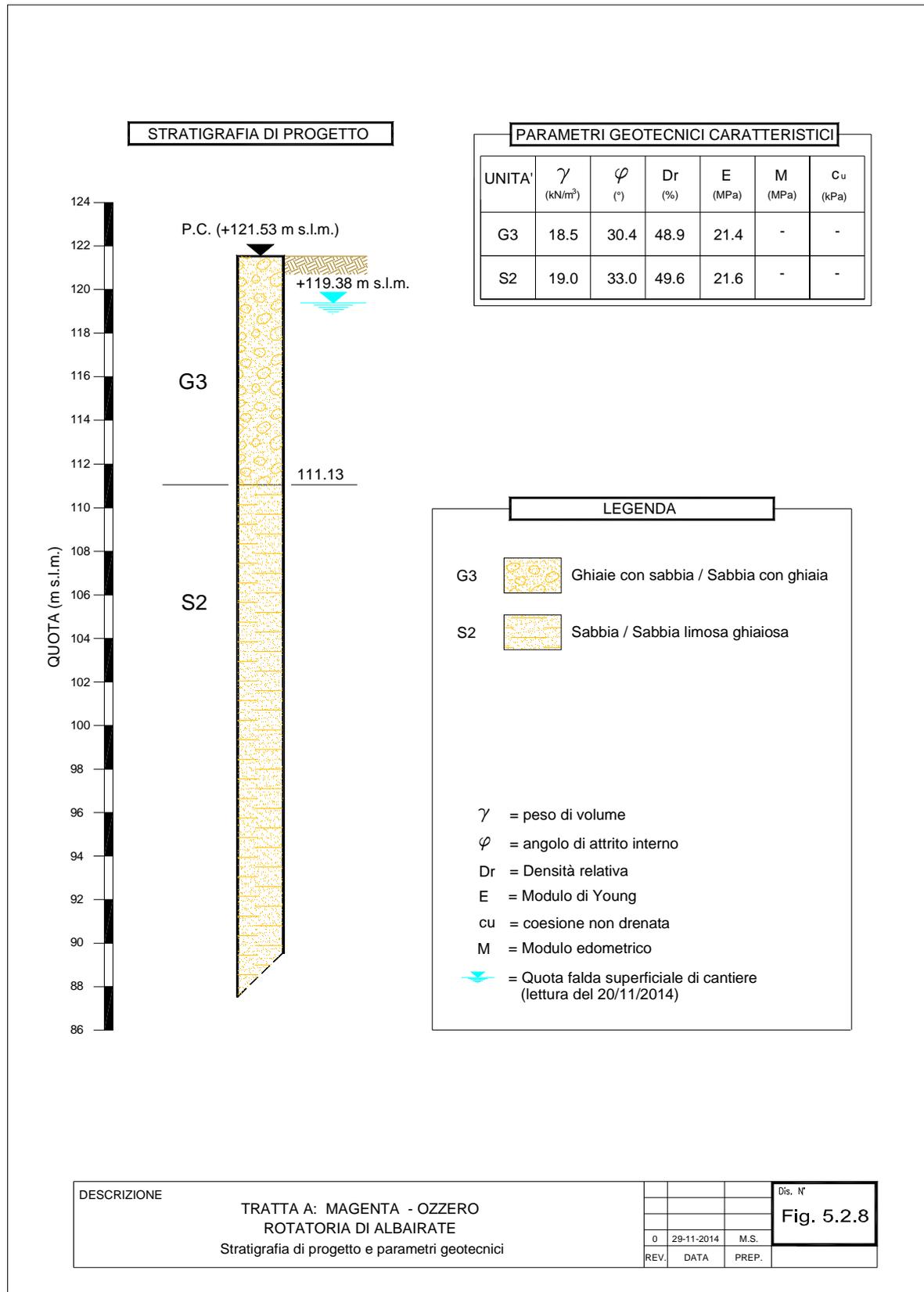


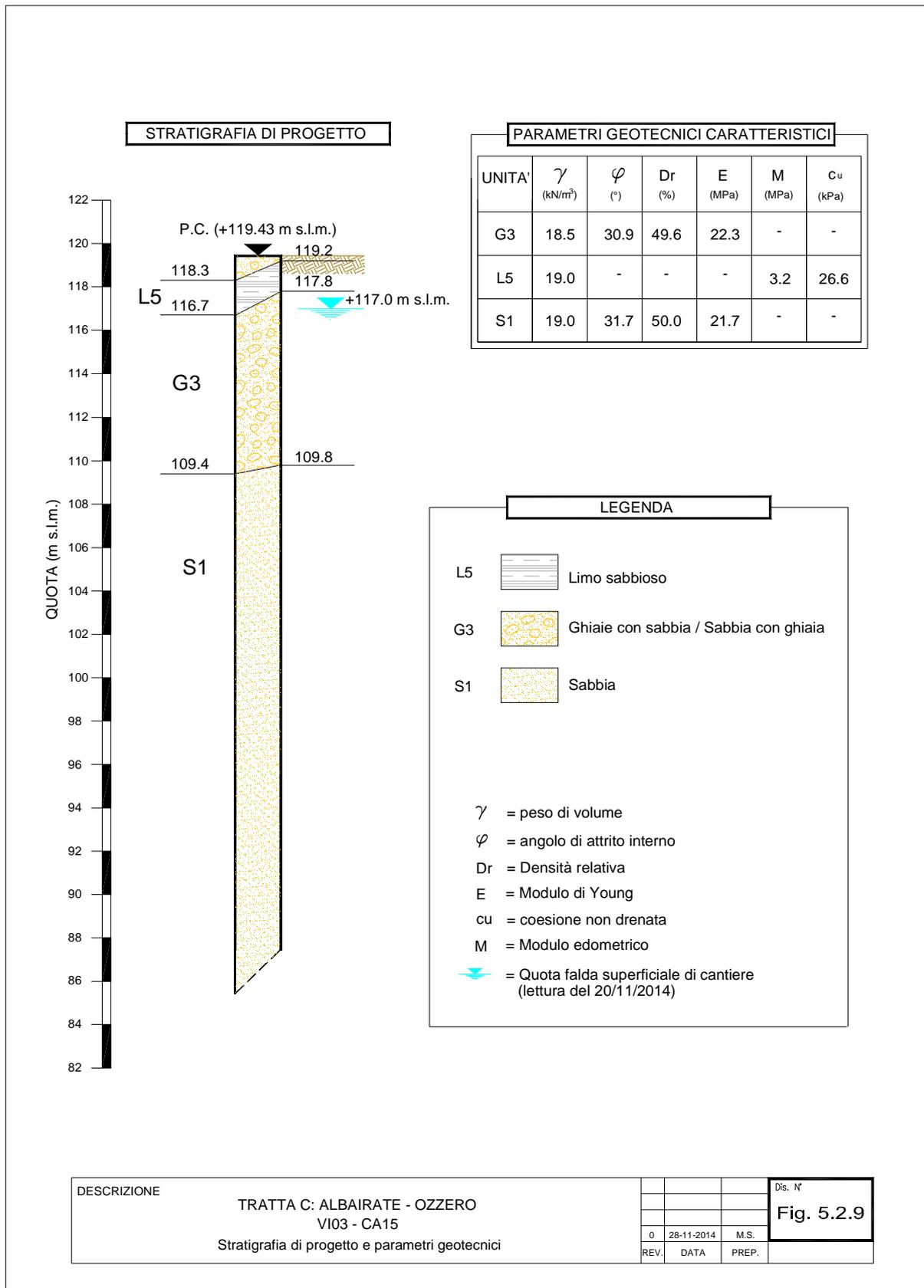


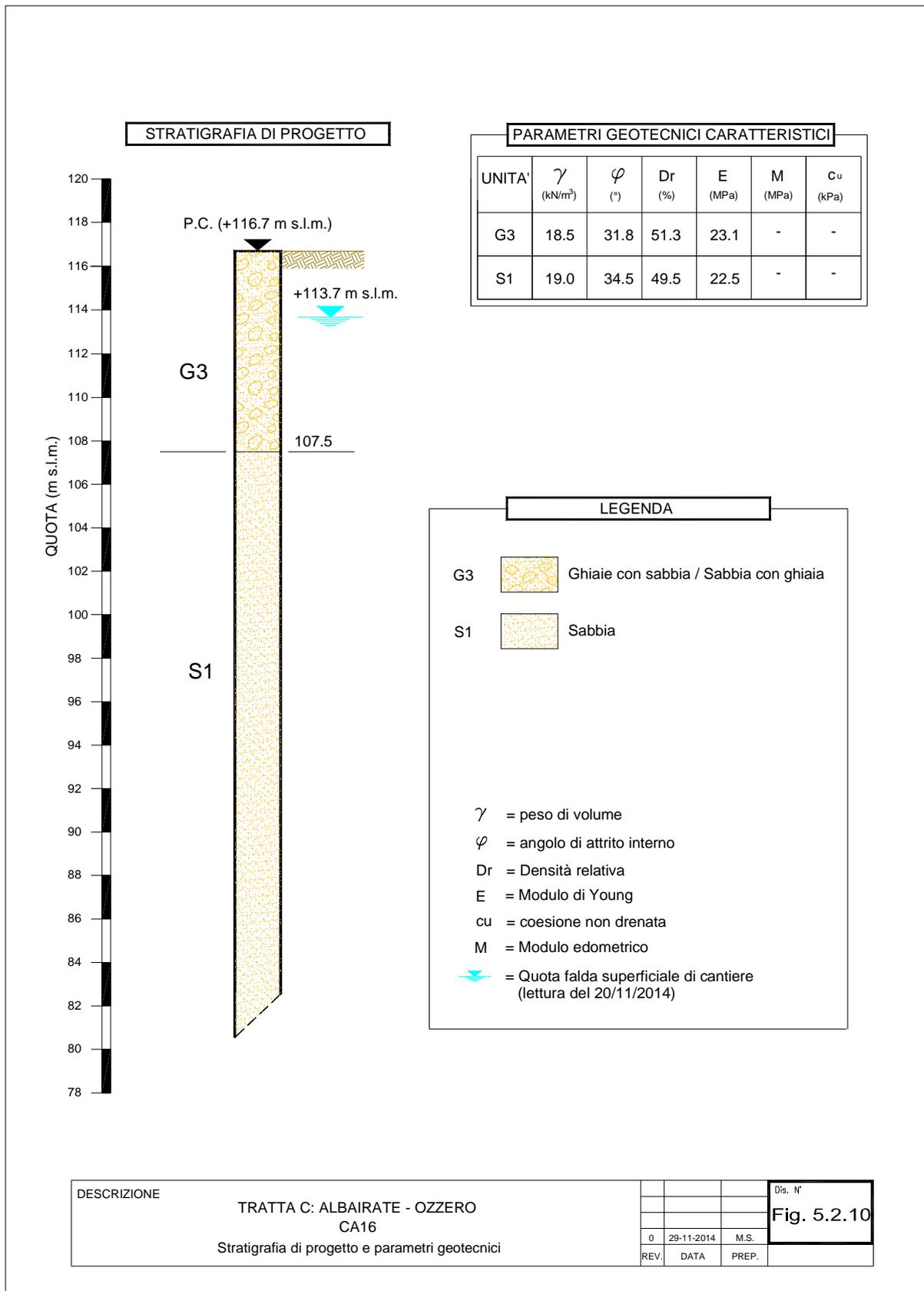


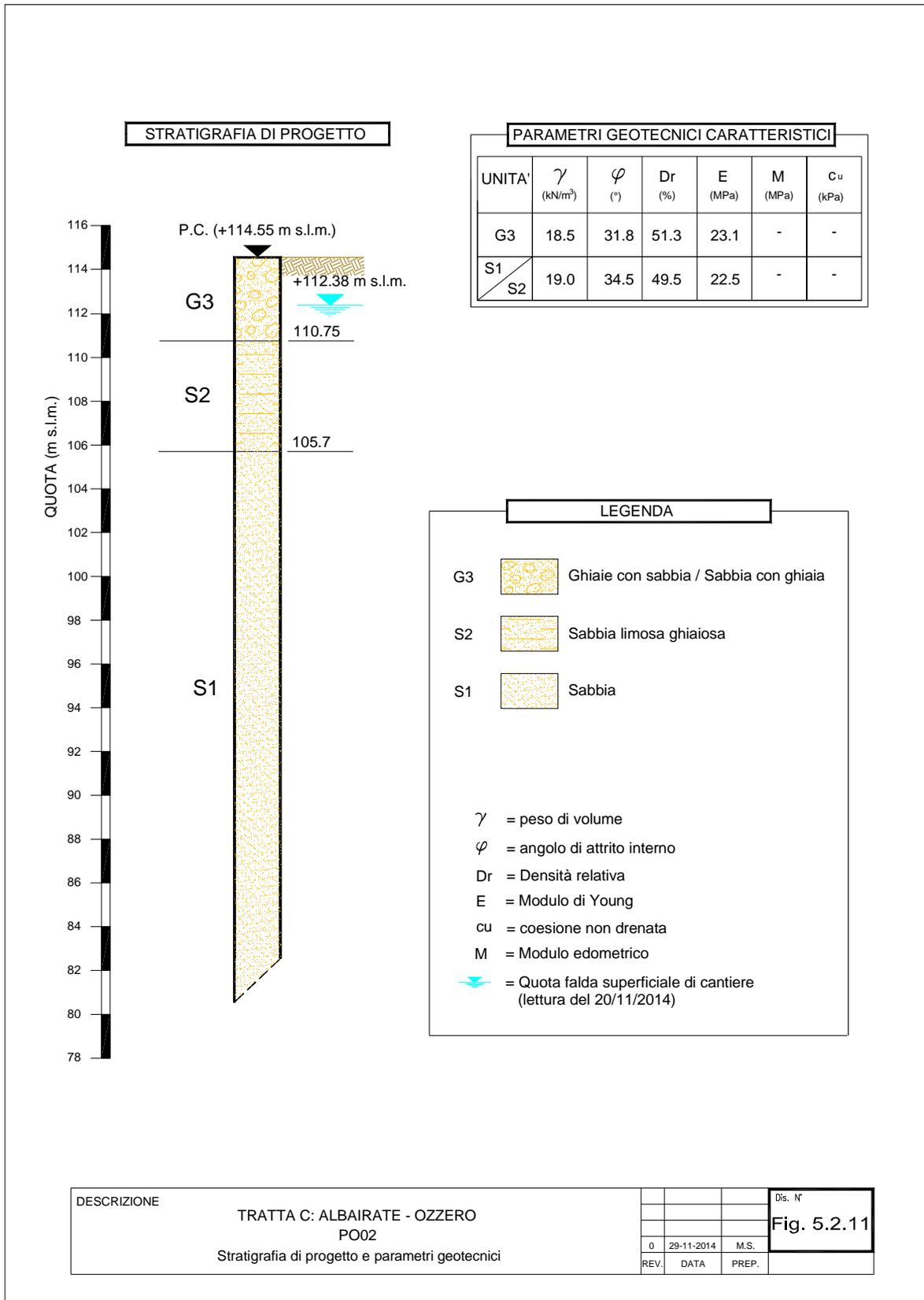
DESCRIZIONE <p style="text-align: center;">TRATTA A: MAGENTA - OZZERO PO01</p> <p style="text-align: center;">Stratigrafia di progetto e parametri geotecnici</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Dis. N°</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center; font-weight: bold;">Fig. 5.2.6</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">29-11-2014</td> <td style="text-align: center;">M.S.</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">DATA</td> <td style="text-align: center;">PREP.</td> <td colspan="5"></td> </tr> </table>								Dis. N°								Fig. 5.2.6	0	29-11-2014	M.S.						REV.	DATA	PREP.					
							Dis. N°																										
							Fig. 5.2.6																										
0	29-11-2014	M.S.																															
REV.	DATA	PREP.																															

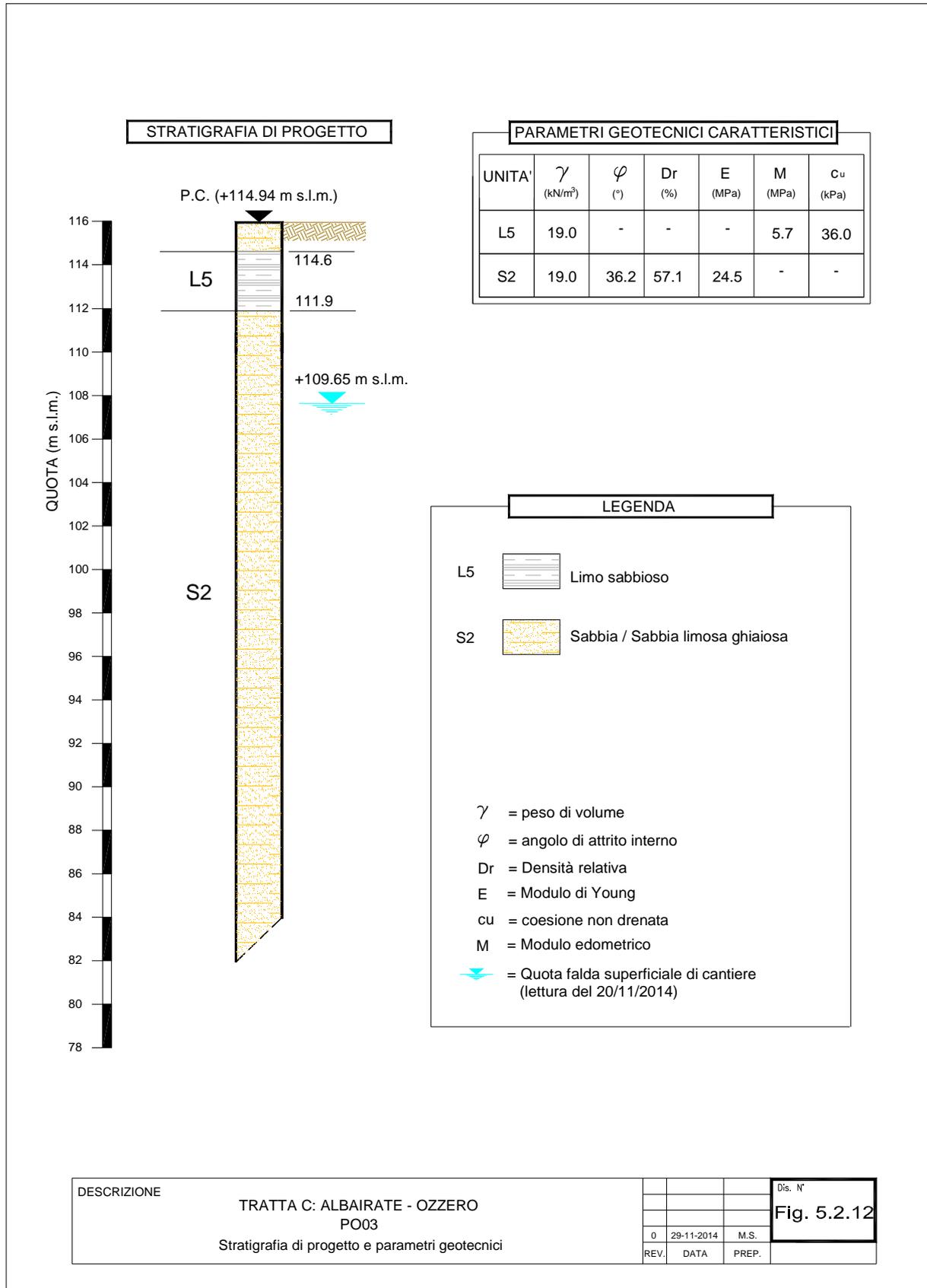


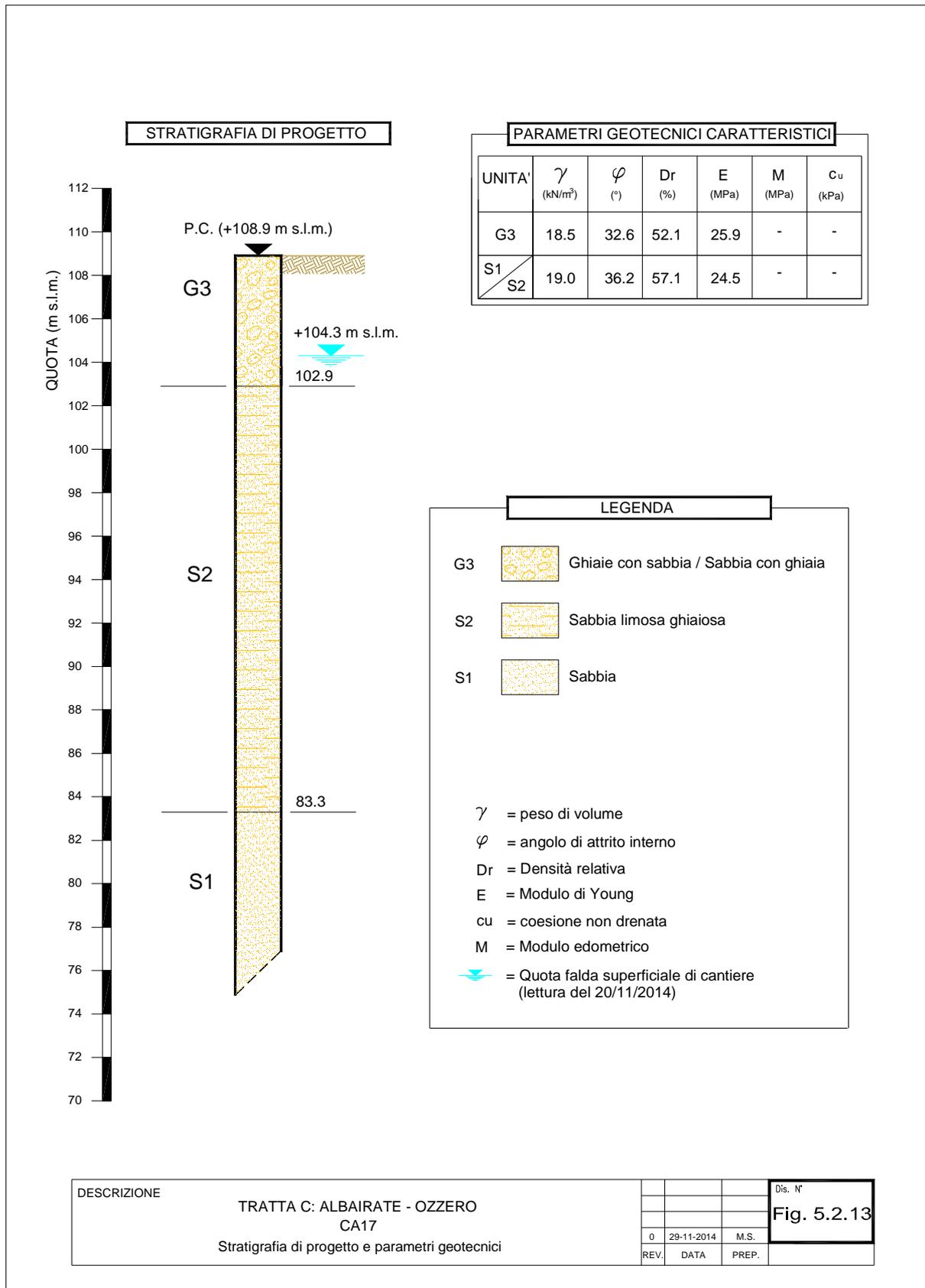












5 LIVELLI DI FALDA

Nell'area oggetto del presente studio il livello della superficie piezometrica risulta attestarsi ad una profondità di:

- circa 13.61 m ÷ 13.8 m dall'attuale piano campagna nella tratta Variante di Ponte Nuovo di Magenta
- a piano campagna con evidenti zone di ristagno (cfr. B.13 – Geologica e geomorfologica) tra la sezione 17 e la sezione 19 della Variante di Ponte Nuovo sul Naviglio
- circa 1.8 m ÷ 5.46 m dall'attuale piano campagna nella tratta A
- circa 2.5 m ÷ 5.76 m dall'attuale piano campagna nella tratta C

I rilevamenti sono stati fatti al termine di ogni sondaggio (tra il 20 ottobre e 11 novembre 2014) e a distanza di qualche giorno (20 novembre 2014). Quest'ultima lettura è stata fatta al termine di un periodo di intense piogge che hanno causato la formazione di ristagni idrici in superficie nelle aree interessate dal tracciato in progetto.

Nella tabella seguente sono riportate le profondità della falda misurata:

SONDAGGIO		Quota sondaggio (m s.l.m.)	Profondità falda (m) Misura dal 22/10 al 12/11	Profondità falda (m) Misura del 20/11	Quota falda (m s.l.m.) Misura dal 22/10 al 12/11	Quota falda Misura (m s.l.m.) del 20/11
S14	04	139,91	13,8	13,61	126,11	126,3
S14	06	132,54	4,2	3,85	128,34	128,69
S14	08	131,29	3,2	2,96	128,09	128,33
S14	10	129,9	1,8	-	128,1	
S14	12	127,38	3,7	2,97	123,68	124,41
S14	14	125,31	5,7	5,46	119,61	119,85
S14	15	122,28	3,6	2,75	118,68	119,53
S14	17	121,62	3,3	2,8	118,32	118,82
S14	18	121,36	2,9	2,21	118,46	119,15
S14	20	121,46	3,1	2,43	118,36	119,03
S14	22	121,53	-	2,15	121,53	119,38
S14	25	119,42	-	2,41	119,42	117,01
S14	26	119,43	-	2,93	119,43	116,5
S14	31	114,55	2,5	2,17	112,05	112,38
S14	33	114,94	4,9	5,29	110,04	109,65
S14	35	108,87	4,3	4,55	104,57	104,32
S14	36	107,08	3,9	5,76	103,18	101,32

Tab. 6.I – Profondità e quote del livello di falda

Dallo studio delle "Piezometrie e Soggiacenza della falda freatica della Provincia di Milano" da Marzo 2010 a Settembre 2013, si è evidenziata una oscillazione massima della falda di c.ca 4.0 m che a sud di Albairate si riduce a c.ca 3.0 m.

Si è osservato inoltre che il livello attuale della falda (ottobre/novembre 2014) ricade all'interno di questo range di oscillazione ed in particolare corrisponde al valore medio tra il livello di falda minimo e massimo rilevato dalle "Piezometrie e Soggiacenza della falda freatica della Provincia di Milano" da Marzo 2010 a Settembre 2013.

Ne consegue che in prima approssimazione si possa considerare come falda di progetto, utile al dimensionamento delle opere, il livello dell'attuale falda misurata in sito innalzata di + 2.0 m in tutti i tratti che si riduce a +1.5 m a Sud di Albairate.

Si consiglia il monitoraggio del livello idrico nei piezometri per una più accurata definizione dell'interferenza del livello idrico con le opere in progetto.

6 ANALISI DEI CEDIMENTI RILEVATI

Una parte importante dei collegamenti stradali in progetto verranno realizzati in rilevato ed in particolare i tratti:

- Variante di Ponte Nuovo di Magenta dalla sez. 1 alla sez. 18
- Tratta A dalla sez. 249 alla sez. 412
 dalla sez. 473 alla sez. 556
- Tratta C dalla sez. 25 alla sez. 288

L'altezza massima raggiunta dai rilevati risulta di 8.04 m (sez. 170 – Tratta C). Nella seguente tabella sono riportate, per ciascuna tratta, le sezioni con rilevato di altezza maggiore:

TRATTA	SEZIONE	ALTEZZA RILEVATO (m)
Var. Ponte Nuovo	17	5.81
A	393	6.56
A	533	1.15
C	85	7.76
C	167	7.3
C	170	8.04
C	216	6.0
C	276	3.2

Tab. 7.1 – Sezioni con rilevati di altezza maggiore

Confrontando criticamente le sezioni sopra riportate, considerando l'ingombro massimo del rilevato in progetto, la stratigrafia del terreno e la quota della falda superficiale, si è deciso di verificare le seguenti sezioni considerate le più gravose.

VARIANTE PONTE NUOVO DI MAGENTA – Sez.17 (rilevato di accesso al PO strada vicinale della costa)

Altezza rilevato 5.81 m
Falda 0.0 m da p.c. (zona di ristagno)

TRATTA C – Sez.85 (rilevato di accesso al VI03)

Altezza rilevato 7.76 m
Stratigrafia da 0.0 a 0.5 m strato di bonifica
 da 0.5 a 1.2 m unità L5
 da 1.2 a 8.9 m unità G3
 da 8.9 m unità S2
Falda 1.6 m da p.c.

TRATTA C – Sez. 167 (rilevato di accesso al PO02)

Altezza rilevato 7.30 m
Stratigrafia da 0.0 a 0.5 m strato di bonifica
 da 0.5 a 4.8 m unità G3
 da 4.8 m unità S1/S2
Falda 2.4 m da p.c.

TRATTA C – Sez. 216 (rilevato di accesso al PO03)

Altezza rilevato 6.0 m
Stratigrafia da 0.0 a 0.5 m strato di bonifica
 da 0.5 a 2.8 m unità L5
 da 2.8 m unità S2
Falda 4.7 m da p.c.

Un caso particolare risulta essere la Sezione 17 della Variante di Ponte Nuovo di Magenta in quanto ricade in una zona di ristagno in prossimità di un fontanile. Il rilevato andrà quindi a poggiare su terreno paludoso di cui non si conoscono le caratteristiche geotecniche per mancanza di indagini in sito rappresentative delle condizioni geologiche. Si rimanda a successivi approfondimenti, una volta terminata la campagna di indagine da parte di Elletipi srl..

Tutte e altre tre sezioni cadono in corrispondenza dei rilevati di accesso alle opere VI03, PO02 e PO03. Il cedimento è stimato in prossimità dell'inizio del rilevato di accesso, avente altezza pari all'altezza massima del rilevato stesso.

Dall'analisi delle stratigrafie dei sondaggi eseguiti si evidenzia uno strato superficiale di coltivo/terreno vegetale di spessore variabile tra 0.30 m e 0.80 m. Tale materiale dovrà essere asportato e sostituito con materiale idoneo adeguatamente compattato. Per questo strato di bonifica, ipotizzato di spessore pari a 50 cm, sono stati adottati i seguenti parametri:

$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ peso di volume del terreno

$\phi = 40^\circ$ angolo di attrito

$E = 60 \text{ MPa}$ Modulo di Young

Per i parametri geotecnici dei terreni si rimanda alle stratigrafie di progetto definite per le singole opere.

La valutazione dei cedimenti è stata realizzata mediante un programma di calcolo che considera la distribuzione delle pressioni su semispazio elastico, omogeneo ed isotropo (modello di Boussinesq). Il contributo degli strati al cedimento totale è calcolato fino a profondità per le quali lo sforzo verticale (indotto dal carico esterno allo SLE) è minore del 10% dell'effettivo sforzo geostatico verticale.

Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito usando una geometria che schematizza quella reale.

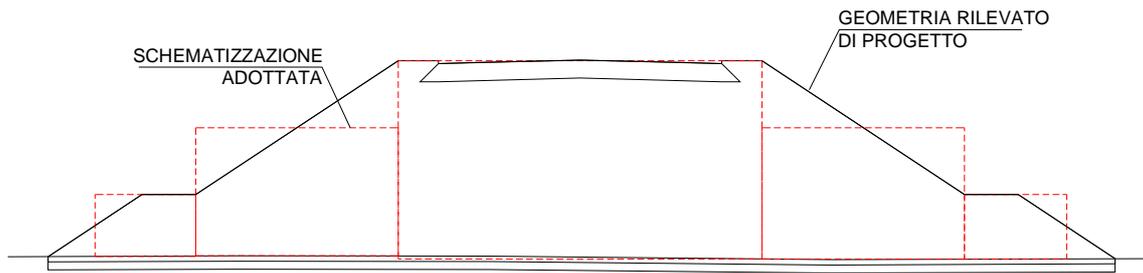


Fig. 7.1 – Schematizzazione del carico del rilevato per la stima dei cedimenti.

I cedimenti attesi sono calcolati come:

$$s = \sum_i \frac{1}{E_i} [\Delta\sigma_{zi} - \nu_i (\Delta\sigma_{xi} + \Delta\sigma_{yi})] \Delta l_i$$

essendo:

s cedimenti;

E_i modulo di Young dello strato i -esimo;

ν coefficiente di Poisson per lo strato i -esimo;

$\Delta\sigma_{xi}, \Delta\sigma_{yi}, \Delta\sigma_{zi}$ incremento di sforzo nello strato i -esimo, rispettivamente in direzione x, y, z ;

Δl_i spessore dello strato i -esimo

Il cedimento di consolidazione atteso può essere calcolato dalla seguente relazione proposta da Skempton:

$$S_c = \mu S_{ed}$$

dove:

$$S_{ed} = \sum \frac{\Delta\sigma_{zi}}{M_i} \cdot \Delta h_i$$

$$\mu = A + \alpha (1 - A)$$

con:

S_c = cedimenti di consolidazione;

μ = coefficiente correttivo;

S_{ed} = cedimento edometrico;

$\Delta\sigma_{zi}$ = incremento di sforzo nello strato i -esimo in direzione z ;

Δh_i = spessore dello strato i -esimo;

A = coefficiente di Skempton;

α = rapporto tra lo sforzo orizzontale e lo sforzo verticale.

Nelle seguenti figure si riportano i cedimenti stimati:

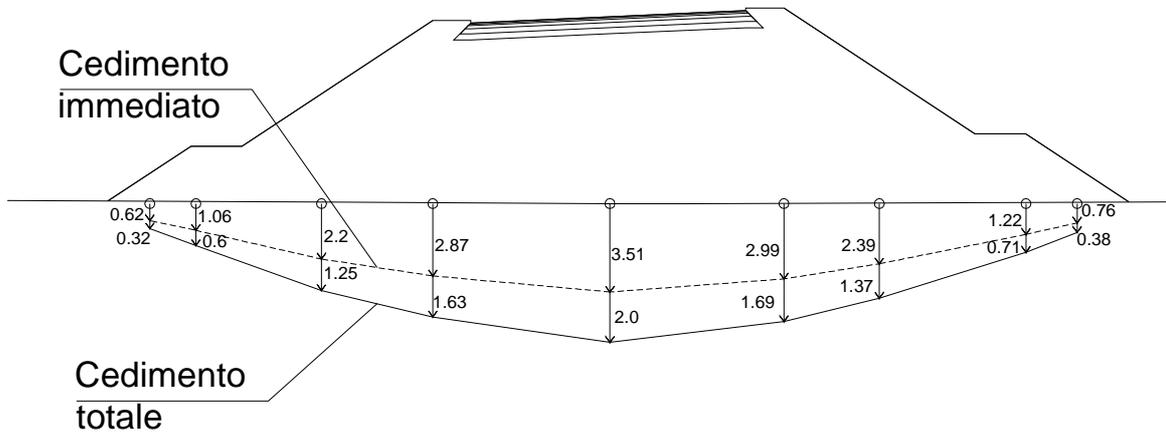


Fig. 7.2 - Sezione 85 – Cedimenti stimati.

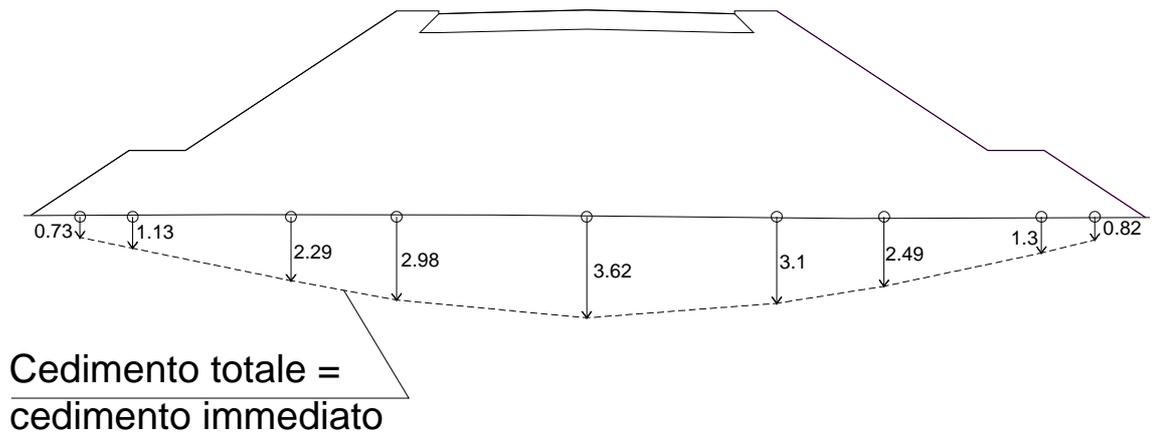


Fig. 7.3 – Sezione 167 – Cedimenti stimati.

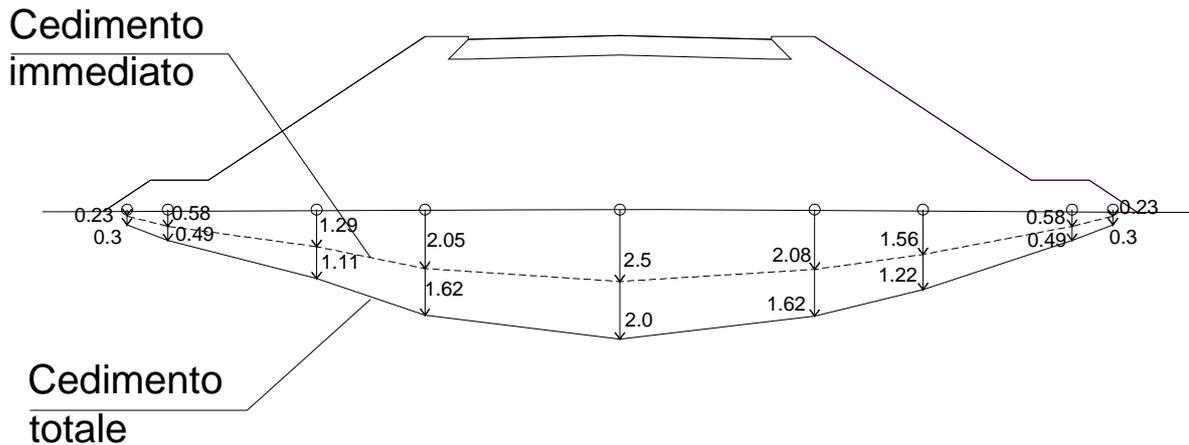


Fig. 7.4 – Sezione 216 – Cedimenti stimati.

La realizzazione dei rilevati determina l'insorgere di cedimenti massimi, nella mezzeria del rilevato, di:

Sez 85	3.51 cm cedimento immediato
	2.0 cm cedimento di consolidazione
Sez 167	3.62 cm cedimento immediato
Sez 216	2.5 cm cedimento immediato
	2.0 cm cedimento di consolidazione

I cedimenti immediati, derivanti dai carichi permanenti e dal terreno di natura granulare, sono assorbiti subito dal rilevato. I cedimenti di consolidazione, invece verranno scontati nel tempo

Si può osservare comunque che i cedimenti valutati in base alla stratigrafia di progetto risultano piuttosto modesti e ritenuti ammissibili per i rilevati in progetto.

7 CONCLUSIONI ED INDICAZIONI PROGETTUALI

Il tratto in esame, non presenta un'elevata criticità dal punto di vista geotecnico. I collegamenti stradali in progetto verranno realizzati sia in debole trincea sia soprattutto in rilevato; sono inoltre previste opere d'arte in corrispondenza degli svincoli.

L'intero tracciato in progetto è interessato dalla presenza di materiali sciolti e costituiti da terreni prevalentemente sabbioso-limosi debolmente ghiaiosi.

La granulometria diminuisce procedendo da nord verso sud, partendo da ghiaie sabbiose (Unità G3/ G3*) fino ad avere sabbie limose/con limi (Unità S2). In tutte le tratte è stato rilevato uno strato di base comune costituito da sabbie/ sabbie limose ghiaiose (Unità S1 e S2). Non sono stati rilevati importanti strati dal comportamento coesivo: è stata individuata la sola unità L5 (limo sabbioso/limo con sabbia) di spessori variabili tra 1.5 e 2.0 m (solo nel sondaggio S14-36 raggiunge spessori di c.ca 5.0 m).

La superficie piezometrica si rinviene a piano campagna con evidenti zone di ristagno (cfr. B.13 – Geologica e geomorfologica) tra la sezione 17 e la sezione 19 della Variante di Ponte Nuovo sul Naviglio; procedendo da Magenta verso Abbiategrasso a profondità comprese tra 13.6 e 1.8 m dal p.c; da Albairate a Cusago la falda si rinviene a debole profondità dal p.c. (2.15÷2.8 m), mentre nella zona a sud di Abbiategrasso la profondità della superficie piezometrica si attesta tra 3.9 e 5.76 m da p.c..

Si consiglia il monitoraggio del livello idrico nei piezometri per una accurata definizione dell'interferenza del livello idrico con le opere in progetto.

Molta attenzione bisogna porre in corrispondenza della Sezione 17 della Variante di Ponte Nuovo di Magenta in quanto ricade in una zona di ristagno ed emergenza idrica. Il rilevato andrà a poggiare su terreno paludoso di cui non si conoscono le caratteristiche geotecniche per mancanza di indagini.

Si dovrà quindi prevedere in fase esecutiva:

- Indagini in sito atte a definire le caratteristiche geotecniche del terreno;
- Studio del comportamento del rilevato;

- Sistemi di drenaggio nell'area finalizzate all'abbassamento del livello della falda per permettere la rimozione del terreno paludoso e/o di coltivo, il posizionamento di starti anticapillari (per evitare la risalita dell'acqua) e realizzazione del rilevato stesso.

Rilevati - prescrizioni

Per quanto riguarda il rilevato stradale tipo si possono in via preliminare individuare le seguenti parti (dal basso verso all'alto), con spessori e caratteristiche che possono eventualmente variare in funzione delle caratteristiche delle diverse tratte (spessori riporto, portanza dei terreni naturali, presenza di acqua, etc.):

- *sottofondo* (bonifica di 50 cm, previa asportazione dei terreni vegetali e sostituiti da idoneo materiale inerte)
- *telo in geotessuto/griglia*
- *strato di sabbia anticapillare*
- *rilevato* in misto granulare A1 – A3 della classificazione ex UNI-CNR 10006 *di fondazione* in strati successivi
- *base in conglomerato bituminoso*
- *binder*
- *tappeto di usura*

Dovrà essere asportato il terreno vegetale e la porzione di materiale scadente ed eventuale organico che verrà individuato durante le operazioni di scavo e sostituzione con materiali aridi granulari (70% ghiaia, 20% sabbia, 10% di fine intasante; classi A1 e A2-4 della classificazione delle terre ex CNR UNI 10006) adeguatamente compattati con rullo, operante su strati non superiori a 25 cm per più passate incrociate.

A causa della variabilità delle condizioni naturali del terreno e della differenza di spessore dei rilevati in progetto, si consiglia di posizionare uno strato di teli di geotessuto/griglia, messo in opera in modo adeguato, così da incrementare la resistenza meccanica e distribuire in modo più uniforme le tensioni sul sottofondo.

Per evitare fenomeni di risalita capillare si consiglia di posizionare uno strato uniforme di sabbia (A3) anticapillare, di spessore decimetrico.

Per la formazione dei rilevati si dovranno impiegare esclusivamente terre delle Categorie A1 A2 e A3, secondo la classificazione AASHO-CNR, prevista dalla norma UNI-CNR 10016. La terra riutilizzata dovrà essere previamente espurgata da erbe, canne, radici e da altre materie organiche.

Il rilevato dovrà essere assestato fino a raggiungere in ogni punto un peso specifico apparente al secco pari ad almeno il 90% di quello max ottenibile in laboratorio, operando con il metodo Proctor (standard). I rilevati saranno formati a strati successivi ognuno in altezza (strato sciolto) non superiore ai 50 cm. Ogni strato dovrà raggiungere il grado di costipamento sopra stabilito, prima che venga posto in opera lo strato successivo. Negli ultimi due strati, verso la superficie superiore e comunque per uno spessore complessivo non inferiore a 50 cm, il peso complessivo apparente dovrà raggiungere almeno il 95% di quello max ottenibile con il metodo AASHO (standard), secondo quanto previsto dalla norma CNR 69/78.

Il materiale dovrà essere costipato, con mezzi meccanici appropriati e approvati dalla D.L. dopo averlo bagnato, in modo da corrispondere all'umidità ottima secondo quanto ricavabile dalle prove di cui alla norma precedente. Il modulo di deformazione, determinato secondo le norme CNR-B.U. n.9 del 11.12.67, non dovrà essere inferiore a 300 kg/cm².

Per quanto riguarda la base in conglomerato bituminoso, il binder e il manto di usura, si rimanda agli specifici elaborati progettuali.

Per quanto riguarda l'effettiva messa in opera dei materiali sarà necessario, durante l'esecuzione del manufatto, modulare l'intervento sulla base delle caratteristiche reali dei terreni che verranno utilizzati; è quindi necessaria un'efficace supervisione delle diverse fasi in corso d'opera da parte della Direzione Lavori, programmando adeguate prove di controllo in sito (carico su piastra) ed in laboratorio (Proctor e CBR) come necessario per opere stradali eseguite a regola d'arte.

Nel progetto andranno naturalmente previste anche tutte le altre opere, quali drenaggi laterali e canalizzazione, etc.. In particolare si ricorda che:

- 1) Sarà necessario dimensionare adeguatamente le opere di drenaggio delle acque subsuperficiali e degli scarichi; andrà rispettato il più possibile l'attuale afflusso delle acque superficiali e sotterranee circolanti, evitando soluzioni di continuità fra le zone di monte e di valle dell'intervento: in particolare andranno adeguatamente dimensionate e posizionate le opere infrastrutturali esistenti e di progetto (fogne, smaltitori acque bianche, etc.)
- 2) Sarà necessario dimensionare gli angoli di scarpa del lato a valle del rilevato, anche mediante terre armate, tali da garantire la stabilità globale del sistema. Per questo si rimanda agli specifici elaborati progettuali (B.4 – Verifica stabilità)

Scavi - prescrizioni

Particolare attenzione dovrà essere posta durante le fasi di approfondimento e di apertura degli scavi. Le pareti dovranno avere pendenze idonee a garantire la stabilità a lungo termine tenendo conto dei fenomeni di precipitazione intensa ed eccezionale causa di erosioni e dissesti. Per quanto riguarda la stabilità degli scavi si ricorda che in materia di sicurezza sul lavoro valgono le norme degli art. 118, 119 e 120 del D.Lgs. 9/04/2008 n.81 (Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro) e la normativa del par. 6.8.6 (Fronti di scavo) del D.M. 14/01/2008.

Varese, 05/12/2014

Ing. Marta Sartorelli



A circular professional stamp in blue ink. The outer ring contains the text "ORDINE INGEGNERI DELLA PROV. DI VARESE". The inner circle contains the text "Dott. Ing. MARTA SARTORELLI" and "N. 2984". A handwritten signature in blue ink is written over the stamp.