

Centrale di Torrevaldaliga Nord

ALLEGATO – punto 12

Centrale Torrevaldaliga Nord

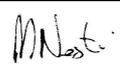
**Sostituzione delle unità a carbone esistenti con nuove unità a gas
presso la centrale termoelettrica di Torrevaldaliga Nord**

ALLEGATO - punto 12

Relazione geotecnica generale

(P12TN01735)

**Integrazioni e chiarimenti richiesti al punto 12 della Nota MiTE prot.n.35008
del 06.04.2021, allegato nota CTVIA n.1341 del 17.03.2021**

		RELAZIONE TECNICA TECHNICAL REPORT				Documento P12TN01735 <i>Document no.</i>				
						Pagina 1 di 62 <i>Sheet of</i>				
PROGETTO IMPIANTO di TORREVALDALIGA NORD <i>Project</i>		Trasformazione a carbone				Indice Sicurezza <i>Security Index</i>				
		A		N ₁		N ₂		N ₃		
TITOLO RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE <i>Title</i>										
CLIENTE Enel – Divisione Generazione ed Energy Management <i>Client</i>		Enel Produzione S.p.A								
JOB no : _____		Doc. no. -----								
INOLTRO AL CLIENTE [] PER APPROVAZIONE [] PER INFORMAZIONE [] NON RICHIESTO <i>Client submittal For approval For information only Not requested</i>										
SISTEMA ... <i>System</i>		TIPO DOCUMENTO TK <i>Document type</i>		DISCIPLINA C <i>Discipline</i>		FILE P12TN01735-01 <i>File</i>				
REV	DESCRIZIONE DELLE REVISIONI / <i>Revisions Description</i>									
00	Prima emissione									
01	Revisione – Modifiche alle pagg. 27, 28, 56, 57, 58, 59 e 60									
01	06/07/05		SP	 GARASSINO					DAL	PE
00	31/03/05		SP	GARASSINO					DAL	PE
REV	DATA <i>Date</i>	FASE <i>Phase</i>	SCOPO <i>Scope</i>	PREPARATO <i>Prepared by</i>	COLLABORAZIONI <i>Co-operations</i>			CONTROLLATO <i>Checked by</i>	APPROVATO <i>Approved by</i>	

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01 date 06/07/05
		Page 2 of 62

INDICE

1.	<i>INTRODUZIONE</i>	3
2.	<i>DOCUMENTI E NORMATIVA DI RIFERIMENTO</i>	4
3.	<i>INQUADRAMENTO GEOLOGICO</i>	5
3.1	<i>Inquadramento geografico</i>	5
3.2	<i>Inquadramento geologico-stratigrafico</i>	5
4.	<i>INDAGINI GEOTECNICHE</i>	10
4.1	<i>Sondaggi geotecnici</i>	12
4.2	<i>Prove penetrometriche dinamiche (SPT) in foro di sondaggio</i>	14
4.3	<i>Pocket Penetrometer Test</i>	18
4.4	<i>Prove di permeabilità</i>	19
4.5	<i>Prove pressiometriche</i>	21
4.6	<i>Prove SASW</i>	22
4.7	<i>Prove di laboratorio</i>	22
5.	<i>DESCRIZIONE STRATIGRAFICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE</i>	23
6.	<i>RISULTATI DELLE INDAGINI</i>	24
6.1	<i>Risultati prove SPT</i>	24
6.2	<i>Risultati pocket penetrometer test</i>	30
6.3	<i>Risultati prove di permeabilità</i>	31
6.4	<i>Risultati prove pressiometriche</i>	36
6.5	<i>Risultati prove SASW</i>	37
6.6	<i>Risultati prove di laboratorio</i>	39
7.	<i>PROFILI GEOTECNICI DI PROGETTO</i>	54
8.	<i>ALLEGATI</i>	61

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735	
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01	date 06/07/05
		Page	3

1. INTRODUZIONE

Il progetto riguardante la centrale termoelettrica di Torrevaldaliga Nord, presso il comune di Civitavecchia (Roma), prevede l'ampliamento e la trasformazione di quest'ultima in un impianto a carbone. Ciò ha reso necessaria la preliminare caratterizzazione geotecnica del sito in esame, per mezzo di una campagna di indagini svolta nel 2004.

I dati ottenuti dalla suddetta campagna sono stati integrati con quelli provenienti dalle 3 campagne precedenti condotte nel 1974, 1994 e 2003.

La presente relazione ha lo scopo di analizzare e valutare tutti dati ottenuti dalle diverse indagini in sito e in laboratorio sui terreni investigati e di fornire i profili geotecnici di progetto.

Nei capitoli successivi verrà esposta la trattazione alla luce delle indagini geotecniche disponibili e la definizione delle sezioni e delle stratigrafie di progetto da ritenersi valide ai fini della progettazione.

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735	
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01	date 06/07/05
		Page	4

2. DOCUMENTI E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Rif.[1] - INDAGINI GEOTECNICHE – CAMPAGNA 1974 – Sondaggi eseguiti da GEOSONDA.

Rif.[2] - INDAGINI GEOTECNICHE – CAMPAGNA 1994 – Sondaggi eseguiti da ISMES.

Rif.[3] - RAPPORTO STRATIGRAFICO SONDAGGI ESEGUITI NEL CANTIERE DI TV
NORD, AREA ITAR da TRIVELPOZZI.

Rif.[4] - PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO eseguite da IGETEST.

Rif.[5] - Enelpower - Impianto di Torrevaldaliga Nord - “Relazione geologica”, doc. P12TN01649.

Rif.[6] - Naval Service s.r.l. Ing. L. Barone, “Dossier finale – Rapporto lavorazioni – Terreno interessato dalla prossima costruzione dell’impianto per la riconversione a carbone della Centrale ENEL di Torrevaldaliga – Comune di Civitavecchia (Roma)”, 20.01.05.

Rif.[7] - Naval Service s.r.l. Ing. L. Barone, “Dossier finale – Rapporto prove in situ e di laboratorio – Terreno interessato dalla prossima costruzione dell’impianto per la riconversione a carbone della centrale ENEL di Torrevaldaliga Nord – Comune di Civitavecchia (Roma)”, 19.01.05.

Rif.[8] - “Le Pressiomètre Ménard. Notice general D.60 (edition 07/77)”, Centre d’Etudes Géotechniques Louis Ménard.

Rif.[9] - Norme ASTM D.4719-87, “Standard Test Methods for Pressurimeter Testing in Soils”, (1994).

Rif.[10] - Méthode d’essai LPC n.15-10 (1988). Essai Pressiométrique normal.

Rif.[11] - Norme Française NF 94-110, “Essai pressiométrique Ménard”.

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735	
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01	date 06/07/05
		Page	5 of 62

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.1 Inquadramento geografico

L'area della Centrale di Torrevaldaliga Nord si trova lungo la costa laziale settentrionale, nel Comune di Civitavecchia, in Provincia di Roma.

L'area in esame è limitata verso l'entroterra dai rilievi collinari della Tolfa, che raggiungono le quote massime in prossimità degli abitati di Allumiere e Tolfa, con il Monte Tolfaccia (579 m s.l.m.). La fascia costiera pianeggiante raggiunge verso Nord la Punta S. Agostino e la Foce del Fiume Mignone, mentre verso Sud si trova l'area industriale della Centrale di Torrevaldaliga Sud.

3.2 Inquadramento geologico-stratigrafico

L'area si inserisce in un contesto geologico piuttosto complesso che caratterizza il Margine Tirrenico a partire dal Miocene inferiore. Tale complessità deriva dal susseguirsi di diverse fasi evolutive legate prima a fenomeni compressivi attivi dal Miocene inferiore, che determinarono l'innalzarsi della catena appenninica, poi a fenomeni distensivi a partire dal Miocene superiore legati all'apertura del Tirreno. In seguito a tale regime compressivo - distensivo si sono delineati diversi sistemi di faglie, con andamento NW - SE e NE - SW, che hanno prodotto strutture tipo *horst-graben*, per cui il margine tirrenico risulta costituito da alti morfologici intercalati a depressioni, a volte molto profonde.

Le unità più antiche sono costituite da formazioni sedimentarie marine appartenenti a due gruppi principali :

-« *Unità Toscane* » di natura evaporitica, carbonatica e marnosa (Triassico-Oligocene), presenti estesamente ad elevate profondità, ma affiorante solo localmente e in ridotte dimensioni alla base dei Monti della Tolfa ;

-« *Unità Liguridi* » di natura torbiditica (flyschoidi), calcarea, marnosa, argillitica e arenacea (Cretaceo-Eocene). Nell' area in esame questa unità è sovrapposta tettonicamente alle unità toscane ed affiora estesamente su tutti i Monti della Tolfa, fino alle zone costiere.

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01 date 06/07/05
		Page 6 of 62

Le due unità sopra descritte costituiscono la base, nelle depressioni strutturali, di potenti successioni sedimentarie continentali, transizionali e marine (« *Successioni Neoautoctone* ») di natura argillosa, sabbiosa e conglomeratica.

Sempre associati ai fenomeni distensivi è lo sviluppo di fenomeni vulcanici, che ha portato alla messa in posto di successioni laviche e piroclastiche: le più vicine al sito sono anche le più antiche (circa 2.5 Ma) ed affiorano principalmente nel nucleo centrale dei Monti della Tolfa, altre più recenti costituiscono i Monti Vulsini e i Monti Sabatini.

Il sito in esame si trova all'estremità occidentale dei Monti della Tolfa, che costituendo un alto strutturale, sono stati interessati da fenomeni erosivi piuttosto che da deposizione di sedimenti; le successioni neoautoctone costituiscono infatti delle sottili coltri di depositi continentali detritici o travertinosi e di depositi marini terrazzati, legati a fenomeni di eustatismo.

Pertanto le formazioni che interessano direttamente il sito appartengono principalmente alle unità liguri e, secondariamente, a depositi marini neoautoctoni. Le unità liguri risultano qui suddivisibili in varie formazioni (Servizio Geologico, 1969; Fazzini e al., 1972; Ventriglia, 1988). Tra queste nell'area in esame risulta presente in modo esclusivo il « *Flysch argilloso-calcareo* » (Cretaceo sup.) costituito da un'alternanza di livelli da centimetrici a metrici di:

- argilliti grigie compatte, talvolta fogliettate a consistenza lapidea, con abbondanti venature biancastre, carbonatiche, argillose;
- marne grigie e grigio-azzurre, più o meno argillose o calcaree, litoidi, a luoghi intensamente fratturate fino a scagliettate (a volte ossidate sui piani di frattura), con venature calcitiche bianche; arenarie grigie e brune a grana fine, in parte alterate e ossidate.

L'alternanza è costituita principalmente dai livelli di argilliti e di marne, mentre le arenarie risultano nettamente subordinate. La formazione costituisce il generale substrato, posto a modeste profondità, che nell'area di centrale è ricoperto da sedimenti superficiali di diverso tipo.

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735	
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01	date 06/07/05
		Page	7

"*Depositi marini pleistocenici*" costituiti da calcari detritico-organogeni, vacuolari, conglomerati e arenarie grossolane con abbondanti resti di conchiglie, talora sciolti. Affiorano a monte della ferrovia in una stretta fascia lungo la linea di costa, dove presentano una stratificazione con debole inclinazione ($< 5^\circ$) verso mare. Lungo il litorale vanno a costituire la tipica costa bassa e rocciosa di questo tratto.

"*Depositi recenti marini e continentali*" costituiti da sabbia di spiaggia, depositi alluvionali dei corsi d'acqua, depositi detritici e colluviali superficiali (sabbie e limi più o meno argillosi, talora ghiaiosi) come prodotti dell'alterazione.

"*Travertini*" molto localizzati circoscrivibili ad un placca di ridotte dimensioni, la cui formazione è legata alla presenza di una piccola sorgente di acqua mineralizzata, posta poco a Nord del parco nafta della centrale.

"*Materiali di riporto*" che derivano dai lavori di regolarizzazione morfologica del sito della centrale, che ne hanno modificato, assieme agli sbancamenti, l'originaria situazione naturale. Sono materiali molto eterogenei costituiti da frammenti litoidi (anche artificiali) in matrice sabbiosa-limosa; lo spessore è molto variabile da zona a zona (da 2 a 12 m).

Gli affioramenti sono comunque di ridotte dimensioni e circoscrivibili nella zona a valle della ferrovia, in particolare nella fascia Nord dell'impianto.

Nella pagina seguente viene riportata la carta geologica dell'area, estratta da quella allegata al P.R.G. di Civitavecchia (Studio Idrogeotecnico Associato – Studio geologico, geomorfologico ed idrogeologico del territorio comunale di Civitavecchia). L'area di centrale vi è classificata come intensamente antropizzata e dunque priva di notazioni geologiche; nelle zone circostanti è posta in evidenza la presenza superficiale dei depositi calcarenitici e marini di spiaggia e, per il substrato roccioso affiorante, del flysch argilloso calcareo, gli argilloscisti e l'Unità Pietraforte.

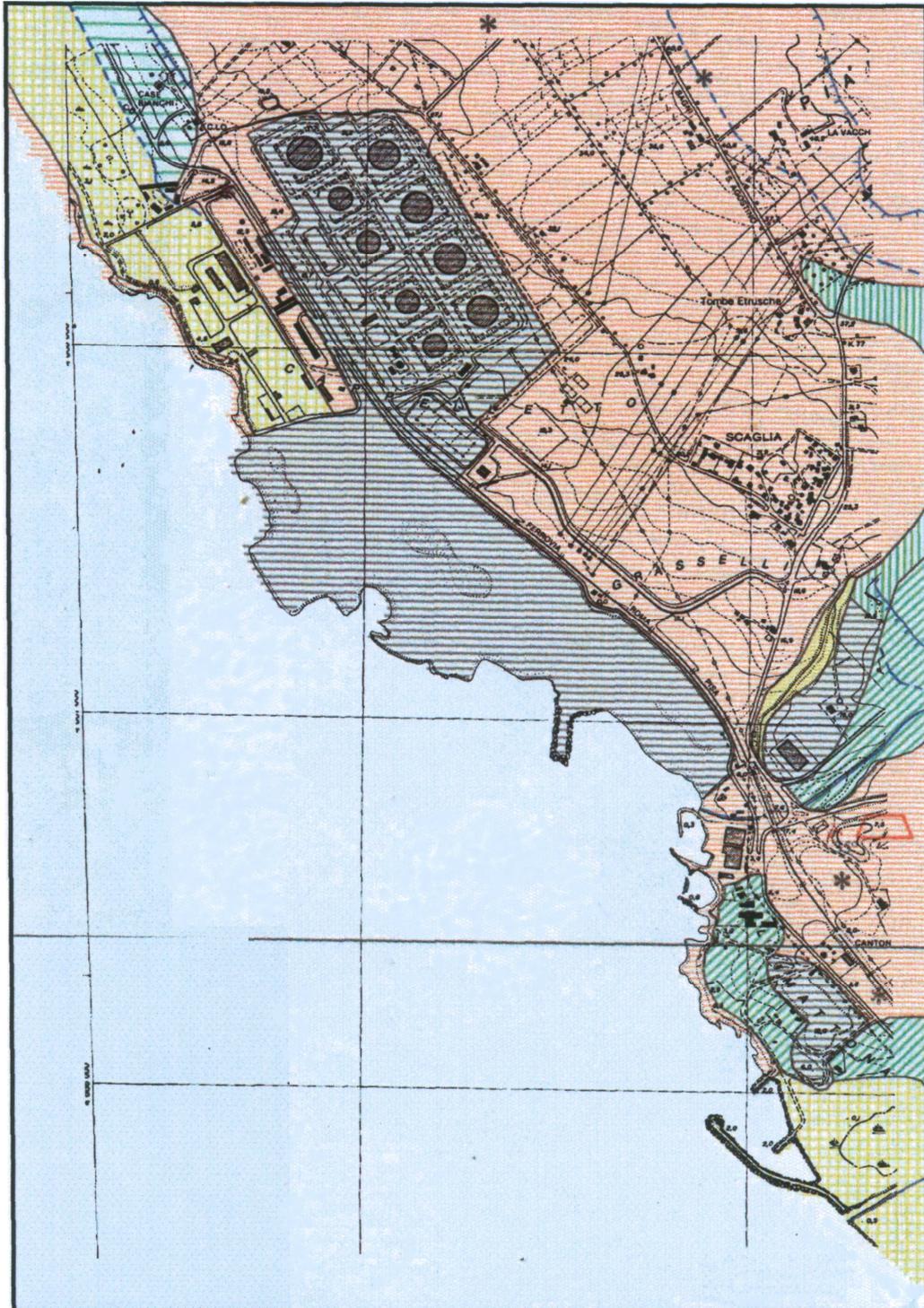
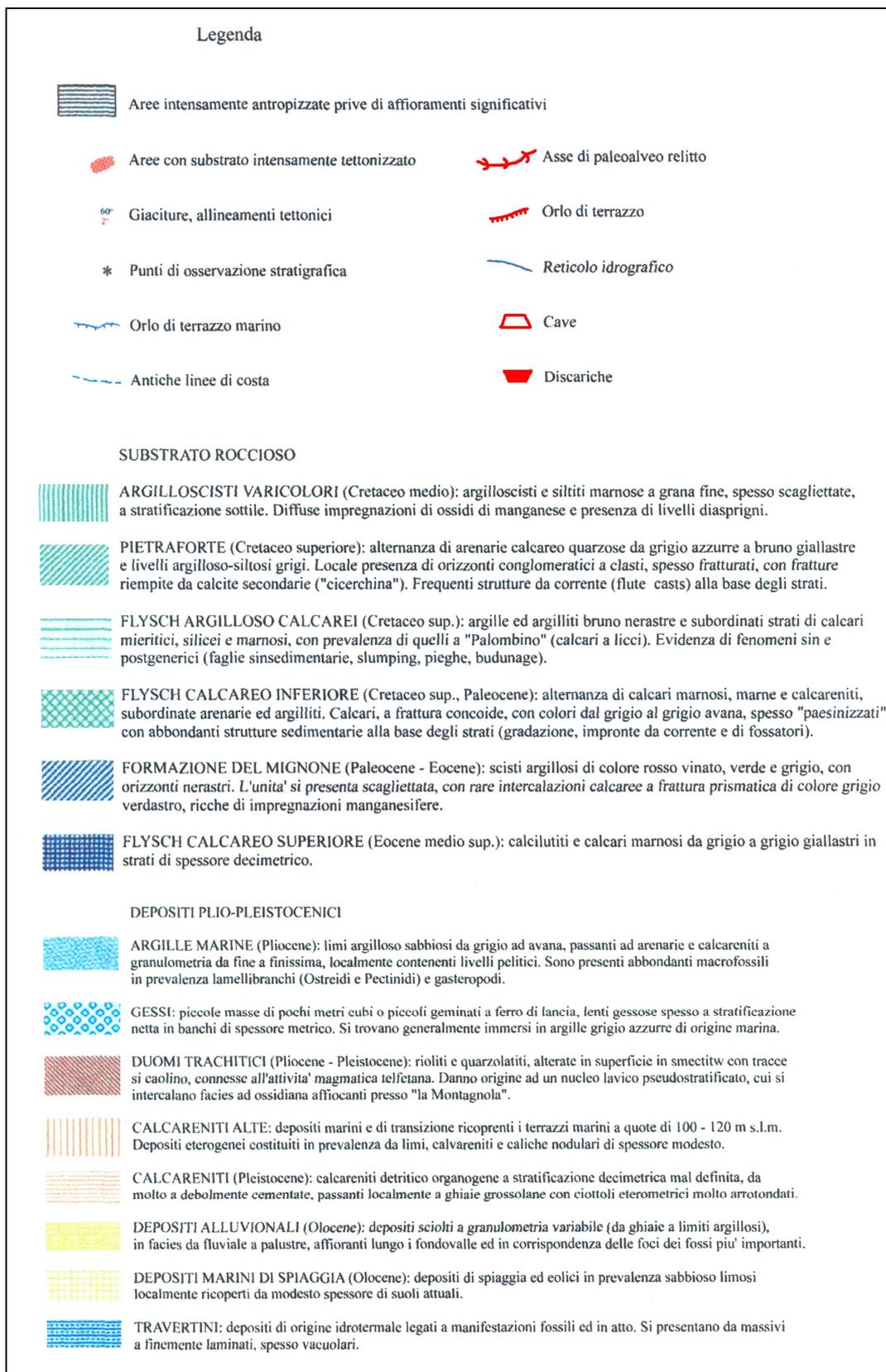


Figura 3.1 – Carta geologica (estratta da quella allegata al P.R.G di Civitavecchia, Studio Idrogeotecnico Associato – Studio geologico, geomorfologico ed idrogeologico del territorio comunale di Civitavecchia).


Figura 3.2 – Legenda carta geologica

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735	
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01	date 06/07/05
		Page	10 of 62

4. INDAGINI GEOTECNICHE

Nell'area in oggetto, tra il 1974 e il 2004 sono state condotte 4 diverse campagne geotecniche, l'ultima nell'anno 2004. Durante ognuna di esse sono stati eseguiti sondaggi geotecnici, con prelievo di campioni per successive analisi di laboratorio ed esecuzione di prove penetrometriche dinamiche standard, SPT. La successiva tabella 4.I riassume le campagne geotecniche.

CAMPAGNA	PROVE ESEGUITE
1974	Sondaggi, SPT, prove di laboratorio
1994	Sondaggi, SPT, prove di laboratorio
2003	Sondaggi, SPT, prove di laboratorio
2004	Sondaggi, SPT, prove pressiometriche, prove di laboratorio, prove SASW

Tabella 4.I – Campagne geotecniche nell'area

L'attività di laboratorio consta nell'esecuzione dei seguenti tipi di prove:

- classificazione di suoli: analisi granulometrica, limiti di Atterberg, contenuto d'acqua e peso di volume;
- prove edometriche (realizzate sui campioni indisturbati);
- prove di compressione triassiale consolidata drenata (realizzate sui campioni indisturbati);
- prove di compressione triassiale consolidata non drenata (realizzate sui campioni indisturbati)
- prove di compressione assiale sul campione in roccia;
- determinazione del contenuto di CaCO₃.

Nella figura 4.1 è riportata l'ubicazione dei sondaggi realizzati nelle diverse campagne di indagine.

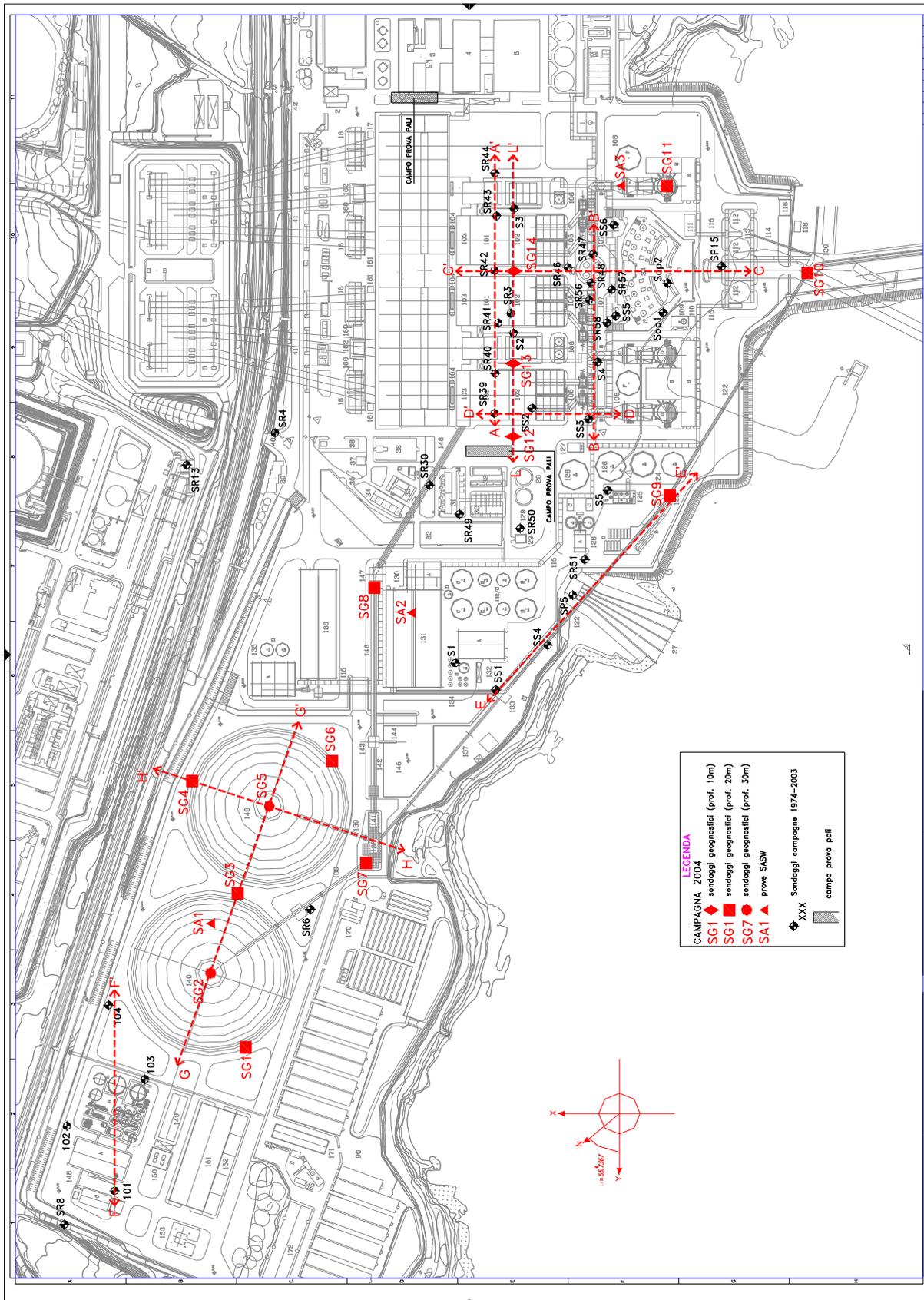


Figura 4.1 – Ubicazione dei sondaggi geotecnici

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735	
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01	date 06/07/05
		Page	12 of 62

4.1 Sondaggi geotecnici

Le diverse campagne geotecniche hanno portato alla realizzazione di sondaggi in perforo eseguiti adottando il metodo di perforazione a rotazione a testa idraulica, con carotaggio continuo.

Le profondità investigate variano tra i 10.00 m ed i 120.00 m dal piano campagna originario. In merito all'ubicazione topografica dei sondaggi si rimanda alla figura 4.1.

Nelle tabelle 4.1.I e 4.1.II sono riportate le principali informazioni relative a tali sondaggi.

Sondaggio	Campagna (anno)	Quota (m s.l.m.)	Profondità (m)
SR 3	1974	4.464	120.00
SR 4	1974	12.270	60.10
SR 6	1974	-	60.20
SR 8	1974	-	60.00
SR 13	1974	14.590	19.00
SR 30	1974	5.201	35.20
SR 39	1974	4.485	29.80
SR 40	1974	4.595	30.70
SR 41	1974	4.621	31.90
SR 42	1974	4.612	30.75
SR 43	1974	4.396	30.30
SR 44	1974	-	30.70
SR 46	1974	2.585	30.95
SR 47	1974	2.426	31.10
SR 48	1974	2.804	52.45
SR 49	1974	4.750	30.80
SR 50	1974	-	29.90
SR 51	1974	2.274	28.40
SR 56	1974	3.100	20.00
SR 57	1974	3.180	25.00
SR 58	1974	3.120	30.30
SP 5	1974	-	39.00
SP 15	1994	-	44.50
SS 1	1994	-	19.00
SS 2	1994	-	15.00
SS 3	1994	-	10.00
SS 4	1994	-	10.00
SS 5	1994	-	13.50
SS 6	1994	-	10.00
S 1	-	-	26.30
S 2	-	-	35.00
S 3	-	-	35.00
S 4	-	-	20.00
S 5	-	-	20.00
S 101	2003	11.000	10.00
S 102	2003	11.000	10.00
S 103	2003	11.000	10.00
S 104	2003	11.000	10.00
Sop 1	-	2.240	40.00
Sop 2	-	2.010	40.10

Tabella 4.1.I – Sondaggi geotecnici 1974-2003

Sondaggio	Campagna (anno)	Quota (m s.l.m.)	Profondità (m)
SG1	2004	5.546	20.0
SG2	2004	5.823	30.0
SG3	2004	5.674	20.0
SG4	2004	12.064	20.0
SG5	2004	5.826	30.0
SG6	2004	4.869	20.0
SG7	2004	5.364	20.0
SG8	2004	3.824	20.0
SG9	2004	2.030	20.0
SG10	2004	3.191	20.0
SG11	2004	2.973	20.0
SG12	2004	3.857	10.0
SG13	2004	3.857	10.0
SG14	2004	3.857	10.0

Tabella 4.1.II – Sondaggi geotecnici 2004

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735	
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01	date 06/07/05
		Page	14 of 62

4.2 Prove penetrometriche dinamiche (SPT) in foro di sondaggio

Durante lo svolgimento dei sondaggi, alle quote ritenute opportune, sono state effettuate prove penetrometriche dinamiche standard SPT.

Nelle tabelle 4.2.I e 4.2.II e nel grafico 4.2.1 vengono riassunti i risultati delle prove penetrometriche SPT eseguite in foro.

Sondaggio	Campagna (anno)	Profondità (m)	N _{SPT}
S1	-	8.50	65
		15.00	R
		21.00	R
		26.00	R
S2	-	4.50	15
		11.00	R
		16.00	R
S3	-	7.00	R
		10.00	R
		16.50	R
S4	-	2.00	32
		3.00	23
		5.00	21
		6.50	18
		8.00	11
S5	-	10.50	57
		1.50	17
		3.00	27
		5.00	R
S101	2003	8.50	R
		3.00	R
S102	2003	4.50	R
		3.30	R
S103	2003	9.00	R
		2.50	R
		5.00	R
		6.50	70
S104	2003	9.50	R
		4.00	R
		8.50	R

Tabella 4.2.I – Prove penetrometriche dinamiche (SPT) in foro di sondaggio 1974-2003

Sondaggio	Campagna (anno)	Profondità (m)	N _{SPT}
SG 1	2004	4.50	R
		7.50	R
SG 2	2004	4.50	R
		8.00	R
SG 3	2004	3.00	R
		6.00	R
SG 4	2004	9.00	R
		14.50	R
SG 5	2004	1.50	2
		4.00	19
		15.00	R
SG 6	2004	7.50	R
		10.50	R
SG 7	2004	9.00	R
		16.00	R
SG 8	2004	6.00	64
		12.00	73
		18.00	R
SG 9	2004	4.50	R
		9.00	R
SG 10	2004	9.00	32
		12.00	R
		15.00	R
SG 11	2004	10.50	R
SG 12	2004	3.00	4
		6.00	74
		8.00	R
SG 13	2004	-	-
SG 14	2004	1.5	17
		4.50	R

Tabella 4.2.II – Prove penetrometriche dinamiche (SPT) in foro di sondaggio 2004

A causa dell'elevata resistenza dei litotipi affrontati la maggior parte delle prove penetrometriche SPT in foro di sondaggio ha raggiunto il rifiuto. Solo durante l'esecuzione di alcuni sondaggi tali prove sono state completate senza raggiungere il rifiuto, comunque con valori di N_{SPT} a volte molto elevati.

La definizione dei parametri geotecnici, a partire dai dati ottenuti tramite le prove in sito, si basa su correlazioni empiriche che legano questi ultimi alle caratteristiche fisico-meccaniche dei suoli indagati. A tale proposito, da una prima osservazione del materiale estratto, si sono distinti fondamentalmente due tipi di materiale nettamente differenti: materiale granulare più superficiale e materiale coesivo sottostante.

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735	
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01	date 06/07/05
		Page	16 of 62

- DENSITA' RELATIVA

Per il calcolo della densità relativa (D_r) in base ai risultati ottenuti dalle prove SPT è stata utilizzata la seguente correlazione proposta da Gibbs e Holtz (1957):

$$\frac{D_r}{100} = \left[1.5 \left(\frac{N_{SPT}}{F} \right)^{0.222} \right] - 0.6$$

dove:

N_{SPT} = numero colpi / 30 cm;

$F = 0.0065\sigma^2 + 1.68\sigma + 14$;

σ = sforzo verticale [t/m^2].

- ANGOLO DI ATTRITO INTERNO

L'angolo d'attrito è stato determinato secondo la correlazione proposta da Sowers (1961):

$$\phi = 28 + 0.28 \cdot N_{SPT}$$

dove:

N_{SPT} = numero colpi / 30 cm.

- MODULO DI YOUNG

La definizione del Modulo di Young è stata eseguita utilizzando la seguente formula (Denver, 1982):

$$E = 7\sqrt{N_{SPT}}$$

dove:

N_{SPT} = numero colpi / 30 cm.

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document	
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	P12TN01735	
		Rev. 01	date 06/07/05
		Page	17 of 62

- COESIONE NON DRENATA

Per il calcolo della coesione non drenata (c_u) è stata utilizzata la seguente correlazione proposta da Terzaghi e Peck (1967):

$$\frac{c_u}{p_a} = 0.067 N_{SPT}$$

dove:

N_{SPT} = numero colpi / 30 cm;

p_a = pressione atmosferica = 100 kPa.

- MODULO CONFINATO

Il modulo confinato è stato determinato in accordo con la correlazione proposta da Stroud e Butler (1975):

$$M = f \cdot N_{SPT}$$

dove:

N_{SPT} = numero colpi / 30 cm;

f = 450 kN/m².

4.3 Pocket Penetrometer Test

Mediante l'utilizzo di un penetrometro tascabile sono state effettuate n. 15 prove suddivise in tre sondaggi, come illustrato nella seguente tabella:

Sondaggio	Quota sondaggio	Prova	Profondità
	[m s.l.m.]		[m]
SG 2	5.823	n. 1	2.50
		n. 2	3.00
		n. 3	4.00
		n. 4	5.00
		n. 5	6.00
		n. 6	6.50
		n. 7	7.50
		n. 8	26.00
SG 12	3.857	n. 1	4.00
		n. 2	6.00
		n. 3	6.50
		n. 4	7.00
		n. 5	7.50
SG 13	3.857	n. 1	4.50
		n. 2	6.50

Tabella 4.3.I – Dati relativi alle prove effettuate con penetrometro tascabile

La resistenza al taglio non drenata risulta, per le modalità con cui si è svolta la prova, pari a:

$$c_u = \frac{UCS}{2}$$

dove:

UCS = resistenza alla compressione semplice.

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735	
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01 date 06/07/05	
		Page 19 of 62	

4.4 Prove di permeabilità

Le prove di permeabilità sono del tipo “Lefranc” a carico variabile, caratterizzate da immissioni di acqua all’interno del foro di sondaggio a profondità stabilite e successiva misurazione della discesa del livello, per flusso naturale, a determinati intervalli.

Di seguito si riportano le tabelle dei dati relativi alle prove di permeabilità:

Sondaggio	Prova	Profondità	Diametro esterno	Diametro interno	Altezza iniziale da fondo foro
		[m]	[cm]	[cm]	[cm]
SG 2	A	4	13	11	320
	B	11	13	11	1070
	C	15	13	11	1520
SG 3	A	6	12.7	10.7	620
SG 5	A	4.5	12.7	10.7	470
	B	10	12.7	10.7	1070
	C	13	12.7	10.7	1370
SG 6	A	5.5	12.7	10.7	470
	B	10	12.7	10.7	920
	C	18	12.7	10.7	320
SG 7	A	3	12.7	10.7	320
	B	7.5	12.7	10.7	770
	C	18	12.7	10.7	1820
SG12	A	6	12.7	10.7	620
SG 14	A	5.5	12.7	10.7	620

Tabella 4.4.I – Dati relativi alle prove di permeabilità

Il valore del coefficiente di permeabilità si calcola tramite la seguente formula:

$$k = \frac{A}{FT} \quad [\text{m/s}]$$

dove:

A = Area della sezione del rivestimento [m²];

F = Fattore di forma [m];

T = Tempo di riequilibrio [s].

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01 date 06/07/05
		Page 20 of 62

Il fattore di forma F dipende dalla forma della cavità e dalla situazione stratigrafica; nel caso in esame, cioè un filtro cilindrico in terreno uniforme, il fattore di forma si calcola come segue:

$$F = \frac{3 \cdot \pi \cdot L}{\ln \left(1.5 \frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{1.5L}{D} \right)^2} \right)}$$

dove:

L = Lunghezza filtro = 1 m;

D = Diametro foro [m].

Il tempo di riequilibrio si calcola graficamente riportando su un diagramma i rapporti h/h_0 in scala logaritmica, in funzione dei corrispondenti valori di tempo, in scala decimale; h indica il livello d'acqua nel foro corrispondente al tempo t, mentre h_0 è il livello iniziale, entrambi i livelli sono riferiti alla quota della falda. Si traccia la retta che meglio collega i punti sperimentali e una retta parallela alla precedente passante per l'origine ($h/h_0=1$; $t=0$); il valore del tempo letto su quest'ultima retta, corrispondente al valore $h/h_0=0.37$, è il tempo di riequilibrio T.

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01 date 06/07/05
		Page 21 of 62

4.5 Prove pressiometriche

Le prove pressiometriche sono state effettuate mediante l'utilizzo di una sonda pressiometrica del tipo Ménard-Apogeo, seguendo le specifiche di Ménard (1965) (Rif.[8]) e nel rispetto di indicazioni tratte dalle normative citate nel Capitolo 2 (Rif. [11]).

Sono state eseguite 26 prove pressiometriche a profondità variabile suddivise in 9 sondaggi, come mostra la seguente tabella:

Sondaggio	Prova	Profondità	Diametro sonda	Diametro foro
		[m]	[mm]	[mm]
SG 1	n. 1	5.50	58	62
	n. 2	8.70	58	62
	n. 3	10.80	58	62
	n. 4	14.00	58	62
SG 2	n. 1	11.80	58	62
	n. 2	15.40	58	62
	n. 3	20.20	58	62
	n. 4	23.00	58	62
	n. 5	29.70	58	62
SG 3	n. 1	5.30	58	62
SG 4	n. 1	9.70	58	62
	n. 2	11.20	58	62
	n. 3	13.40	58	62
	n. 4	15.90	58	62
SG 5	n. 1	23.70	58	62
	n. 2	26.70	58	62
	n. 3	29.20	58	62
SG 7	n. 1	12.00	58	62
	n. 2	14.20	58	62
	n. 3	17.30	58	62
SG 11	n. 1	6.90	58	62
	n. 2	9.80	58	62
	n. 3	14.70	58	62
SG 12	n. 1	4.90	58	62
SG 13	n. 1	8.50	58	62

Tabella 4.5.I – Dati relativi alle prove pressiometriche

L'elaborazione dei dati raccolti è stata effettuata da Naval Service s.r.l. secondo quanto indicato in Rif.[7] (Allegato n. 6).

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735	
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01	date 06/07/05
		Page	22

4.6 Prove SASW

Sono state eseguiti tre rilievi sismici di tipo SASW rispettivamente nell'area di stoccaggio carbone, nella zona del nastro trasportatore ed in corrispondenza del futuro impianto di desolforazione fumi. Tali prove si eseguono rilevando la propagazione delle onde di Rayleigh, mediante dei geofoni ad asse verticale; si ricavano delle curve di dispersione e, applicando un metodo di inversione, si ricava la distribuzione verticale delle velocità delle onde di taglio (onde S).

Questo tipo di indagine ha consentito quindi di definire un modello della risposta sismica locale relativa all'area in esame, definendo la distribuzione verticale delle velocità sismiche nel sottosuolo.

I dati relativi alle prove SASW sono stati elaborati e interpretati dalla ISMES Geotecnica s.r.l. (Allegato n. 7).

4.7 Prove di laboratorio

Durante la fase esplorativa diretta mediante sondaggi geotecnici sono stati prelevati numerosi campioni di terreno a profondità variabile rappresentativi delle diverse litologie presenti nell'area di indagine.

Nel complesso sono state eseguite prove granulometriche, prove di classificazione, determinazione delle caratteristiche fisiche e volumetriche, determinazione dei limiti di Atterberg, calcimetrie, prove edometriche, prove di compressione triassiale CID (consolidata-drenata) e CIU (consolidata non drenata), prove di taglio diretto e prove di compressione uniassiale.

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01 date 06/07/05
		Page 23 of 62

5. DESCRIZIONE STRATIGRAFICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Le informazioni acquisite tramite le indagini geotecniche condotte nell'intera area integrate con le informazioni bibliografiche hanno permesso di definire la stratigrafia del terreno di fondazione; qui di seguito vengono descritte le principali caratteristiche litologiche dei livelli riconosciuti.

- **Terreno vegetale V** Livello presente in superficie, costituito prevalentemente da sabbia limosa e limo sabbioso argilloso di colore marrone con locali sfumature grigiastre, a tratti con ciottoli e trovanti. E' comunque un livello molto discontinuo e spesso assente.
- **Livello R** Livello superficiale, costituito prevalentemente da materiale di riempimento artificiale, sostanzialmente sabbia e ghiaia e ciottoli di colore nocciola-grigiastro in matrice limosa. Rinvenuto in gran parte dell'area fino ad una profondità massima di 9.0 m. Tale materiale è localmente denominato *Macco Calcare bio-organogeno del Tirreniano*, lo spessore è variabile da qualche decina di decimetri fino a un massimo di circa 1.5 m.
- **Livello A 1** Livello flyshoide costituito da argillite e marne argillose, di colore bruno-giallastro, con venature verdastre, fortemente alterato, considerato a volte come materiale granulare. E' stato rinvenuto in diversi sondaggi a ridosso del piano campagna, di solito ricoperto dal livello di terreno vegetale e/o il livello *Macco Calcare*.
- **Livello A 2** Livello più compatto del livello A 1, costituito da argille marnose-scistose con struttura scagliosa alternate a marne e livelli litoidi marnoso-calcarei; colore grigio nocciola tendente a grigio scuro verso il basso. La differenziazione dei litotipi riflette la risposta geomeccanica: a comportamento litoide le stratificazioni marnoso calcaree, a comportamento coesivo la frazione argillo-marnosa. Rappresentante la serie tipica del flysch tolfetano, è presente a profondità variabili.
- **Livello B** Livello costituito da sabbia limosa con ghiaia, di colore marrone grigiastro, di spessore variabile e discontinuo nell'intera area.

6. RISULTATI DELLE INDAGINI

6.1 Risultati prove SPT

I dati relativi alle prove SPT si riassumono nei seguenti diagrammi.

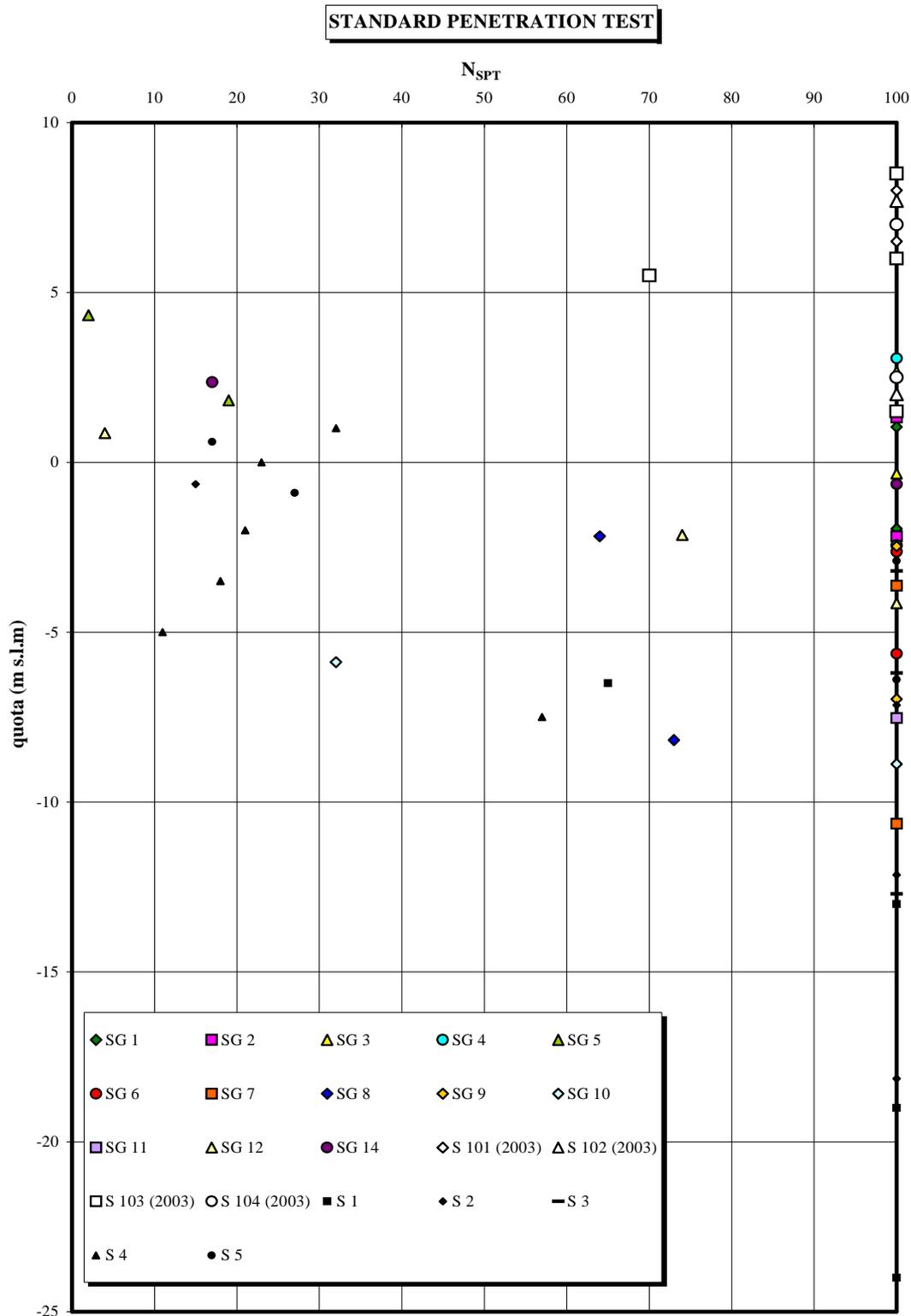
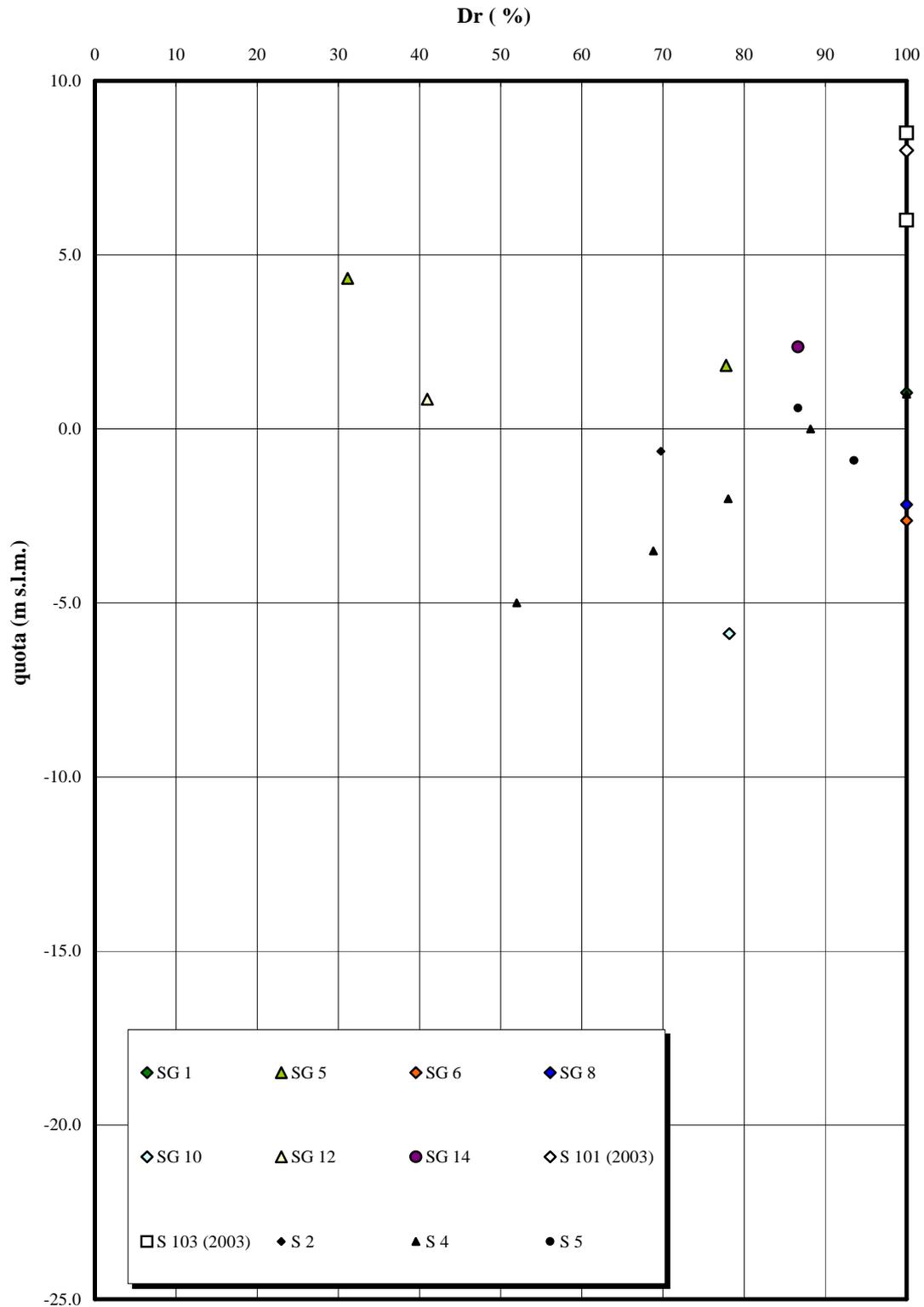
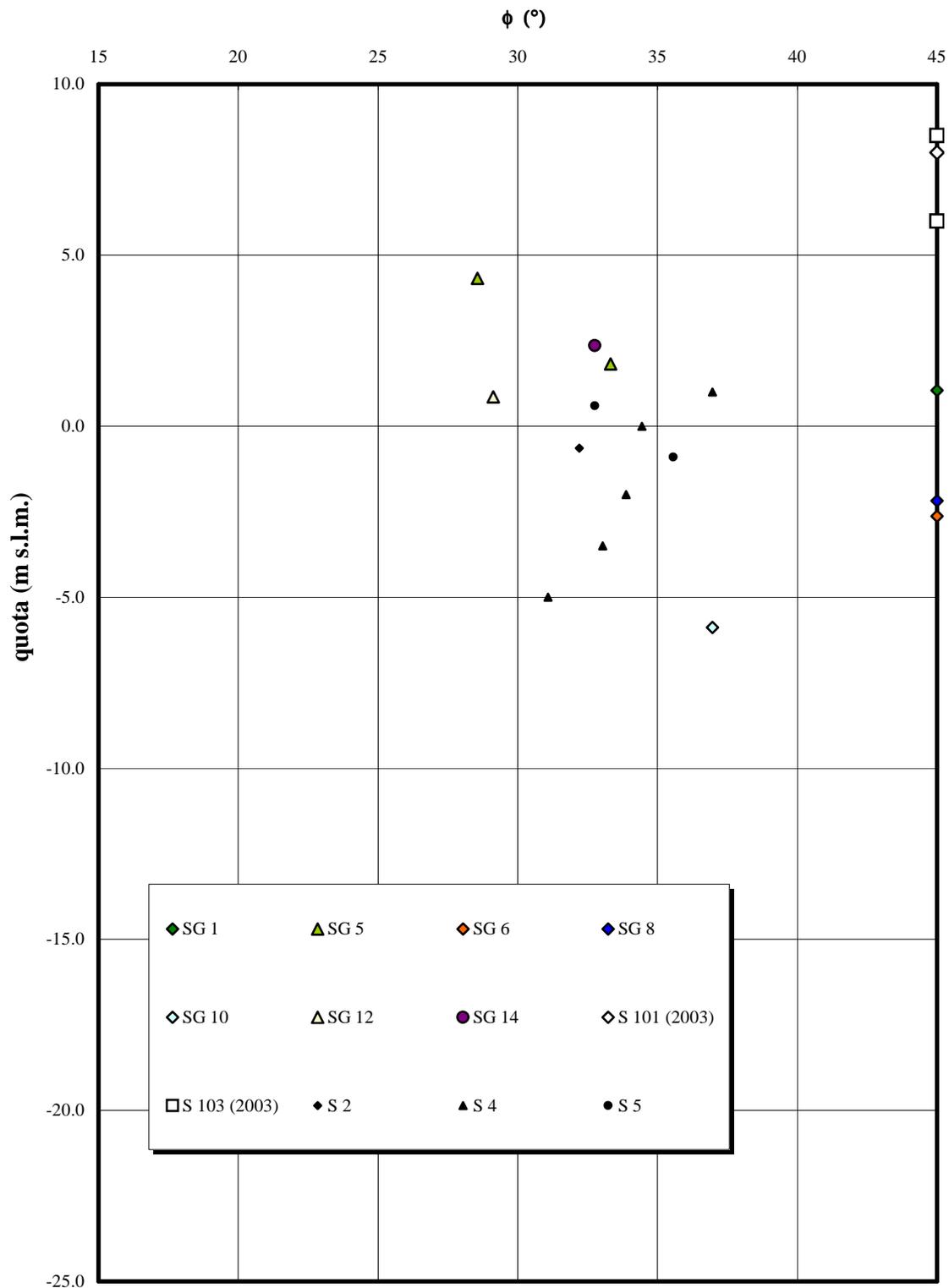
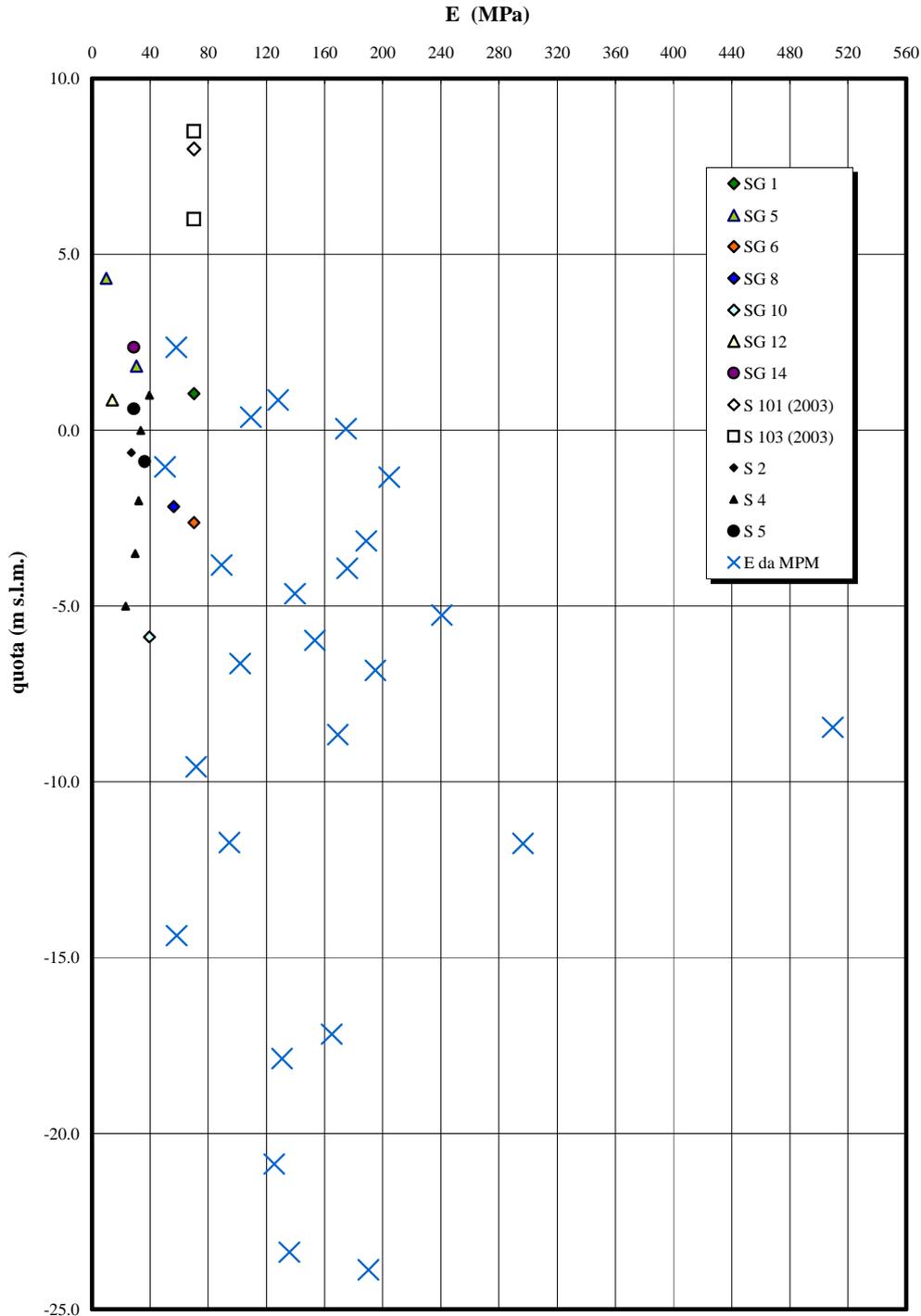


Figura 6.1 – Prove penetrometriche dinamiche

**DENSITA' RELATIVA
(Gibbs & Holtz, 1957)**

Figura 6.2 – Densità relativa

ANGOLO D'ATTRITO

Figura 6.3 – Angolo di attrito interno

MODULO DI YOUNG



* Pressiometro Menard

Figura 6.4 – Modulo di Young

COESIONE NON DRENATA

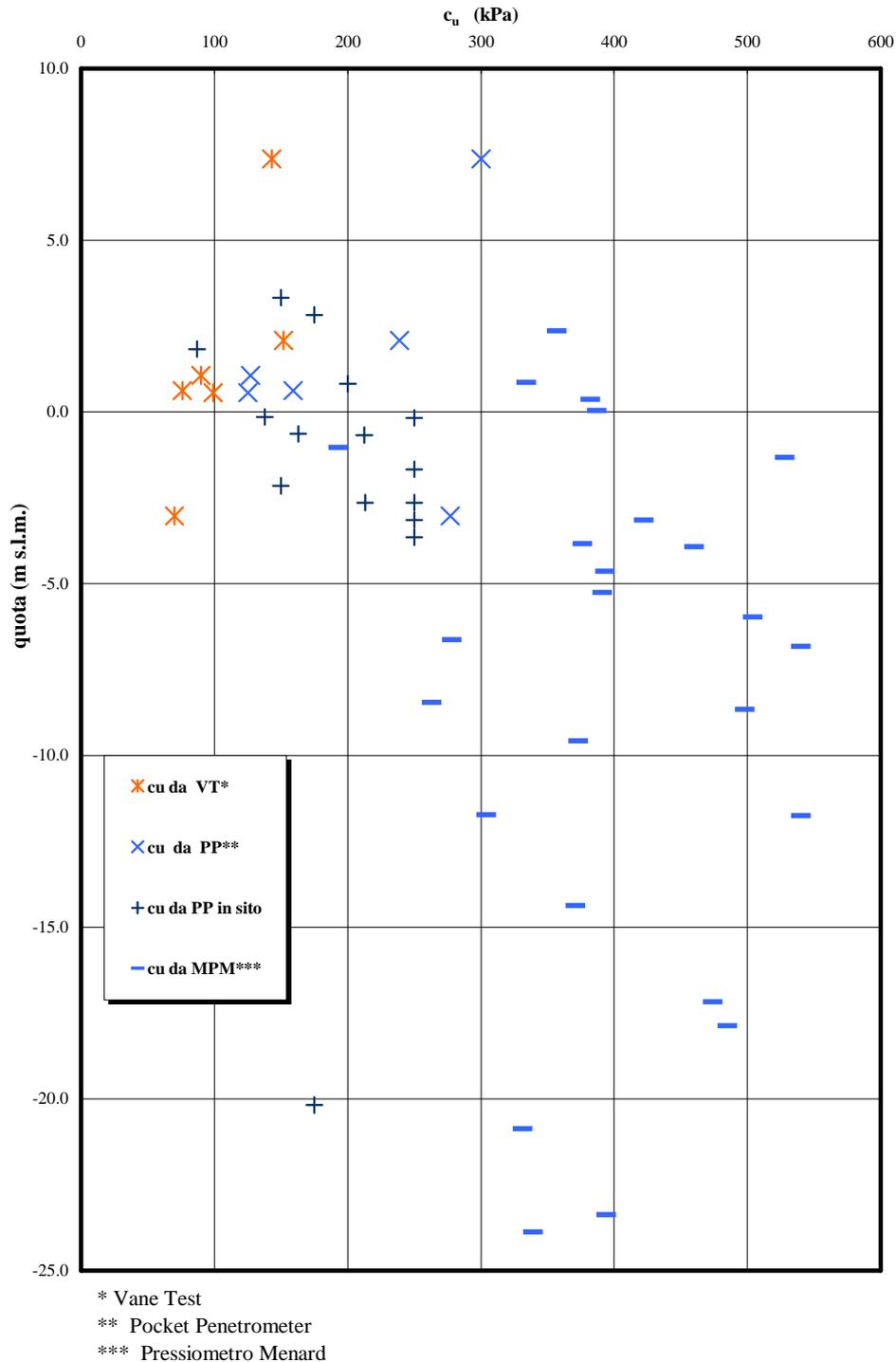
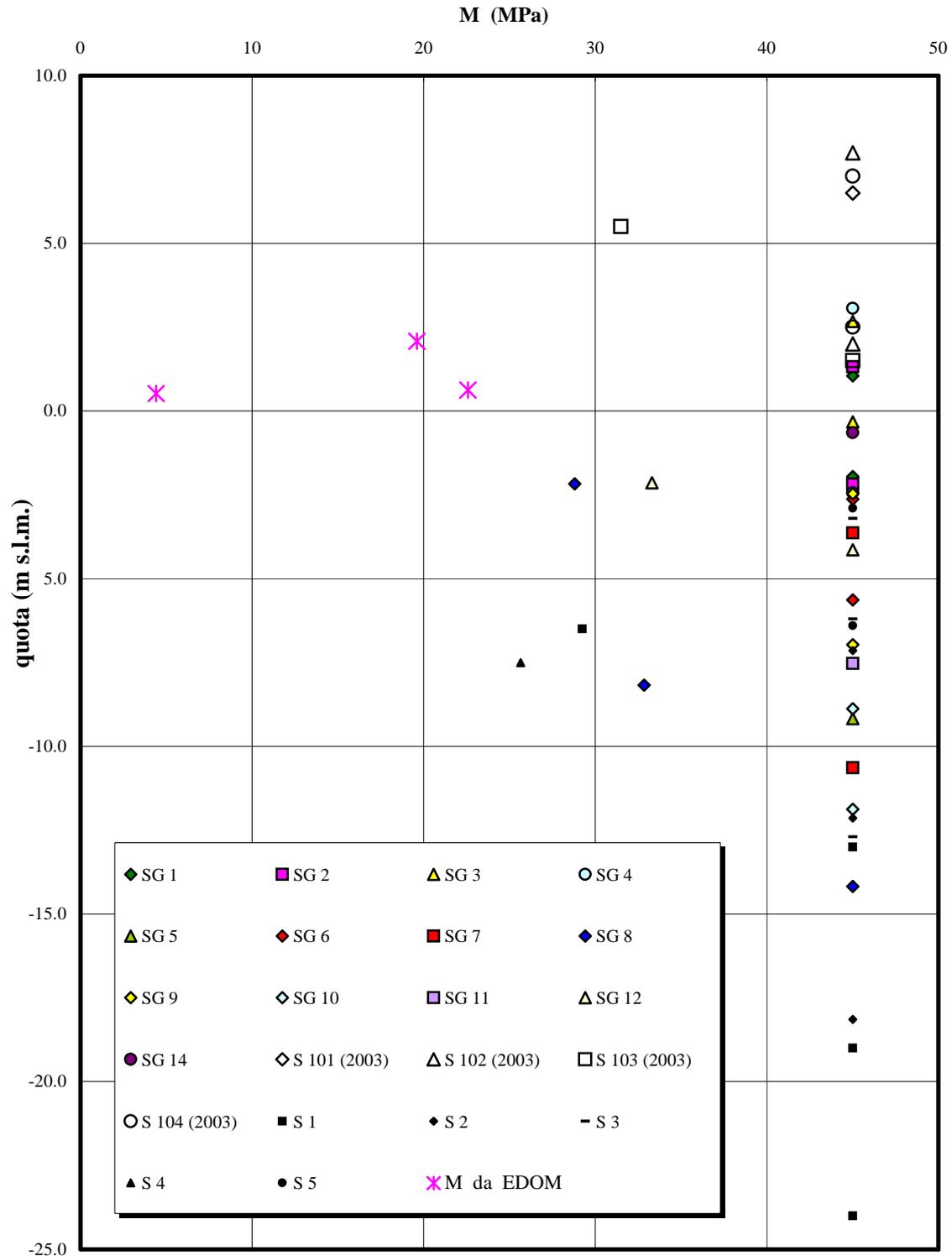


Figura 6.5 – Coesione non drenata

MODULO CONFINATO

Figura 6.6 – Modulo confinato

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735	
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01	date 06/07/05
		Page	30 of 62

6.2 Risultati pocket penetrometer test

Nella seguente tabella si riassumono i valori ricavati dalle prove con pocket penetrometer e si presentano i valori di coesione ricavati da questi, come indicato nel paragrafo 4.3.

Sondaggio	Quota sondaggio	Prova	Profondità	UCS	Coesione non drenata
	[m s.l.m.]		[m]	[kPa]	[kPa]
SG 2	5.823	n. 1	2.50	300	150
		n. 2	3.00	350	175
		n. 3	4.00	175	88
		n. 4	5.00	400	200
		n. 5	6.00	>450	>225
		n. 6	6.50	425	213
		n. 7	7.50	>450	>225
		n. 8	26.00	350	175
SG 12	3.857	n. 1	4.00	275	138
		n. 2	6.00	300	150
		n. 3	6.50	425	213
		n. 4	7.00	>450	>225
		n. 5	7.50	>450	>225
SG 13	3.857	n. 1	4.50	325	163
		n. 2	6.50	>450	>225

Tabella 6.2.I – Dati pocket penetrometer

6.3 Risultati prove di permeabilità

Di seguito si riportano le tabelle relative ai risultati ottenuti dalle prove di permeabilità:

PROVA A

Tempo	h	q
[s]	[cm]	[l]
0	0	0
30	34	3.1
60	63	5.7
120	92	8.3
240	115	10.3
480	134	12.0
960	153	13.7
1920	155	13.9
3840	155	13.9

$$k = 1.258 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

PROVA B

Tempo	h	q
[s]	[cm]	[l]
0	0	0
30	19	1.7
60	31	2.8
120	47	4.2
240	61	5.5
480	89	8.0
960	127	11.4
1920	147	13.2
3840	169	15.2

$$k = 3.281 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

PROVA C

Tempo	h	q
[s]	[cm]	[l]
0	0	0
30	51	4.6
60	80	7.2
120	101	9.1
240	105	9.4
480	111	10.0
960	125	11.2
1920	143	12.8
3840	167	15.0

$$k = 8.385 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$$

Tabella 6.3.I – Sondaggio SG2

Tempo	h	q
[s]	[cm]	[l]
0	0	0
30	22	2.0
60	39	3.4
120	61	5.5
240	76	6.8
480	87	7.8
960	101	9.1
1920	119	10.7
3840	135	12.1

$$k = 2.520 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

Tabella 6.3.II – Sondaggio SG3

PROVA A

Tempo	h	q
[s]	[cm]	[l]
0	0	0
30	50	4.5
60	88	7.9
120	135	12.1
240	172	15.4
480	188	16.9
960	200	18.0
1920	211	19.0
3840	218	19.6

$$k = 1.257 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

PROVA B

Tempo	h	q
[s]	[cm]	[l]
0	0	0
30	27	2.4
60	38	3.4
120	63	5.7
240	107	9.6
480	163	14.6
960	222	19.9
1920	240	21.6
3840	264	23.7

$$k = 6.289 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

PROVA C

Tempo	h	q
[s]	[cm]	[l]
0	0	0
30	34	3.0
60	46	4.1
120	71	6.4
240	131	11.8
480	168	15.1
960	240	21.6
1920	259	23.3
3840	268	24.1

$$k = 6.289 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

Tabella 6.3.III – Sondaggio SG5

PROVA A

Tempo	h	q
[s]	[cm]	[l]
0	0	0
30	1	0.09
60	1	0.09
120	1	0.09
240	1.2	0.10
480	1.5	0.13
960	2	0.18
1920	2.6	0.23
3840	3.3	0.30

$k = \sim 3 \cdot 10^{-8}$ m/s

PROVA B

Tempo	h	q
[s]	[cm]	[l]
0	0	0
30	0.7	0.06
60	0.7	0.06
120	0.8	0.07
240	0.8	0.07
480	1.1	0.10
960	1.6	0.14
1920	2.1	0.19
3840	2.7	0.24

$k = \sim 3 \cdot 10^{-8}$ m/s

PROVA C

Tempo	h	q
[s]	[cm]	[l]
0	0	0
30	/	/
60	1	0.09
120	20	1.80
240	33	2.96
480	55	4.94
960	89	8.00
1920	137	12.31
3840	190	17.07

$k = 2.07 \cdot 10^{-6}$ m/s

Tabella 6.3.IV – Sondaggio SG6

PROVA A

Tempo	h	q
[s]	[cm]	[l]
0	0	0
30	218	19.60
60	250	22.50
120	300	27.00
240	300	27.00
480	300	27.00
960	300	27.00
1920	300	27.00
3840	300	27.00

$k = 5.03 \cdot 10^{-9}$ m/s

PROVA B

Tempo	h	q
[s]	[cm]	[l]
0	0	0
30	95	8.50
60	148	13.30
120	210	18.90
240	228	20.50
480	300	27.00
960	315	28.30
1920	315	28.30
3840	315	28.30

$k = 3.35 \cdot 10^{-9}$ m/s

PROVA C

Tempo	h	q
[s]	[cm]	[l]
0	0	0
30	11	1.0
60	17	1.5
120	31	2.8
240	52	4.7
480	76	6.8
960	129	11.6
1920	162	14.6
3840	198	17.8

$k = 1.04 \cdot 10^{-6}$ m/s

Tabella 6.3.V – Sondaggio SG7

Tempo	h	q
[s]	[cm]	[l]
0	0	0
30	13	1.2
60	20	1.8
120	21	1.9
240	25	2.2
480	28	2.5
960	33	3.0
1920	44	3.9
3840	57	5.1

$k = 9.74 \cdot 10^{-8}$ m/s

Tabella 6.3.VI – Sondaggio SG12

Tempo	h	q
[s]	[cm]	[l]
0	0	0
30	1.0	0.09
60	1.0	0.09
120	1.2	0.11
240	1.4	0.13
480	1.7	0.15
960	2.0	0.18
1920	2.7	0.24
3840	3.5	0.31

$$k = \sim 3 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$$

Tabella 6.3.VII – Sondaggio SG14

La falda è stata rilevata ad una profondità variabile tra i 0.90 m e 2.80 m da piano campagna. In base a quanto già descritto nel paragrafo 4.4, di seguito viene riportato un esempio di grafico utilizzato per la determinazione del tempo di riequilibrio e una tabella riassuntiva con i valori di permeabilità ricavati per ogni singola prova.

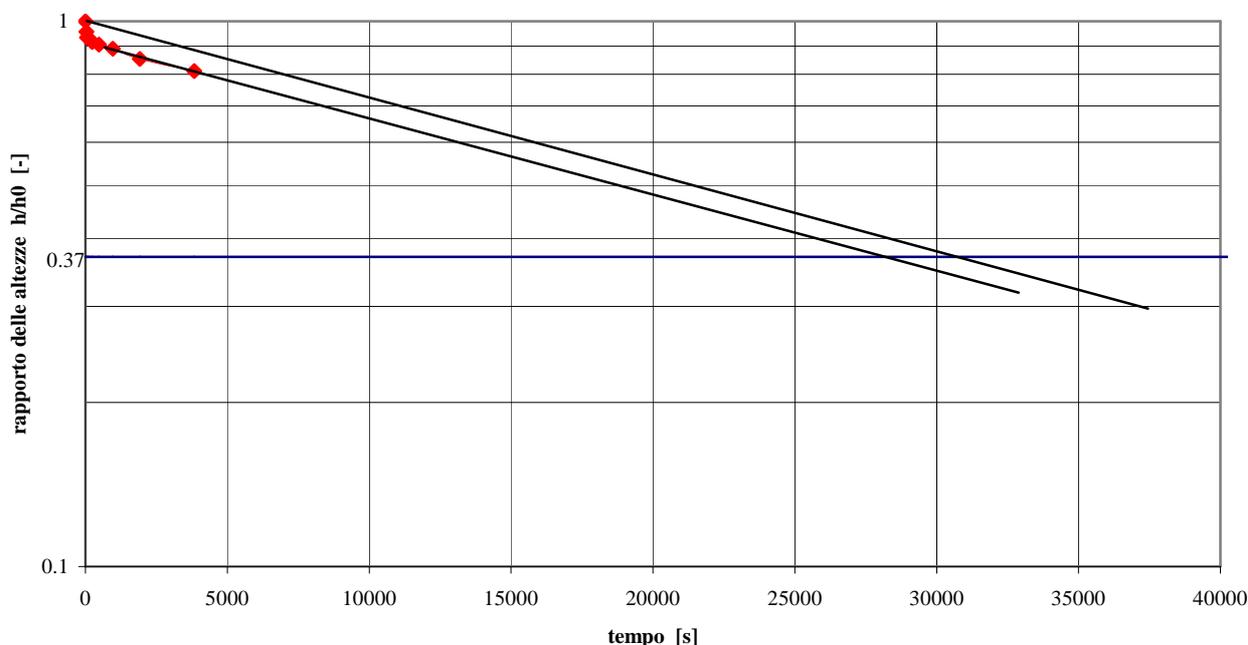
SG 12


Figura 6.3.1 – Per il sondaggio SG 12 è stato determinato un tempo di riequilibrio pari a 31000 s (intersezione tra la retta passante per l'origine e la retta $h/h_0 = 0.37$).

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01 date 06/07/05
		Page 34 of 62

Sondaggio	Profondità falda	Prova	Profondità	Quota	Permeabilità
	[m]		[m]	[m s.l.m.]	[m/s]
SG 2	2.00	A	4.00	1.80	$1.26 \cdot 10^{-5}$
		B	11.00	-5.20	$3.28 \cdot 10^{-6}$
		C	15.00	-9.20	$8.38 \cdot 10^{-7}$
SG 3	1.00	A	6.00	-0.33	$2.52 \cdot 10^{-6}$
SG 5	1.90	A	4.50	1.33	$1.26 \cdot 10^{-6}$
		B	10.00	-4.17	$6.29 \cdot 10^{-6}$
		C	13.00	-7.17	$6.29 \cdot 10^{-6}$
SG 6	1.70	A	5.50	-0.61	$\sim 3 \cdot 10^{-8}$
		B	10.00	-5.11	$\sim 3 \cdot 10^{-8}$
		C	18.00	-13.11	$2.07 \cdot 10^{-6}$
SG 7	2.20	A	3.00	2.36	$5.03 \cdot 10^{-5}$
		B	7.50	-2.14	$3.35 \cdot 10^{-5}$
		C	18.00	-12.64	$1.04 \cdot 10^{-6}$
SG 12	2.80	A	6.00	-2.14	$9.74 \cdot 10^{-8}$
SG 14	2.80	A	5.50	-1.64	$\sim 3 \cdot 10^{-8}$

Tabella 6.3.VIII – Valori di permeabilità

Nella pagina seguente viene riportato il diagramma di variazione di permeabilità con la profondità.

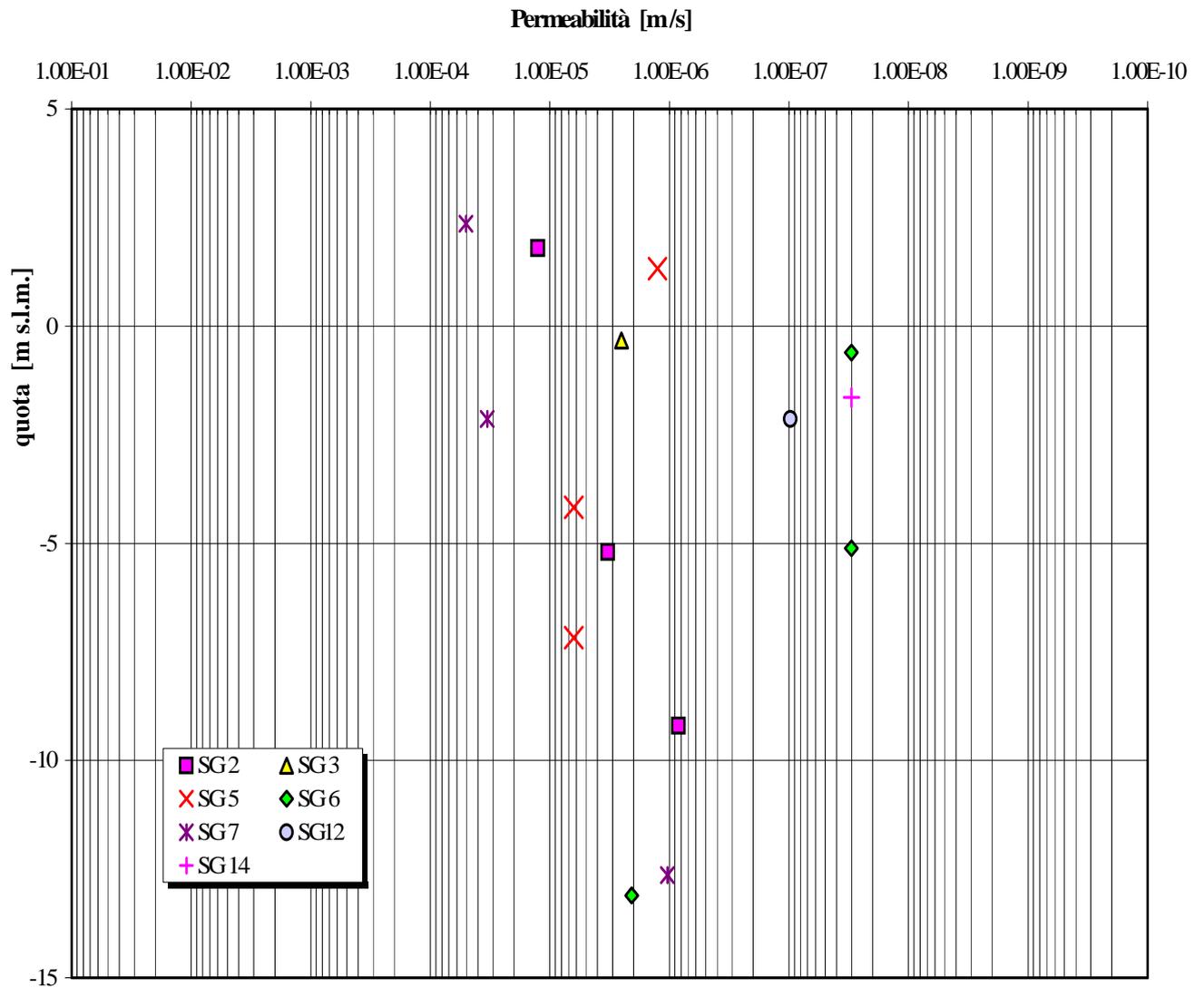


Figura 6.3.2 – Diagramma permeabilità

	Impianto di Torrevaldaliga Nord		Document P12TN01735	
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Rev. 01	date 06/07/05
			Page	36 of 62

6.4 Risultati prove pressiometriche

Le prove pressiometriche, come già detto nel paragrafo 4.5, sono state effettuate all'interno di nove sondaggi a diversa profondità.

Nella seguente tabella riassuntiva si riportano i risultati ottenuti da ogni singola prova.

Sondaggio	Prova	Profondità	Pressione di fluage PF	Pressione limite PI	Modulo di Menard Em	Modulo di Young E	Resistenza al taglio Cu
		[m]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[kPa]
SG 1	n. 1	5.50	2.63	4	57.65	174.7	387
	n. 2	8.70	1.65	2.6	62.22	188.5	422
	n. 3	10.80	2.71	4.1	79.37	240.5	391
	n. 4	14.00	1.05	1.85	16.81	509.5	263
SG 2	n. 1	11.80	2.19	3.2	50.55	153.2	504
	n. 2	15.40	1.47	2.3	23.67	71.7	373
	n. 3	20.20	1.20	2.3	19.24	58.3	371
	n. 4	23.00	1.75	2.8	54.43	165	474
	n. 5	29.70	2.42	3.8	62.73	190	339
SG 3	n. 1	5.30	1.31	2.2	36.07	109.3	382
SG 4	n. 1	9.70	1.46	2.2	19.07	57.8	357
	n. 2	11.20	2.15	3.3	42.27	128.08	334
	n. 3	13.40	3.82	5.7	67.44	204.3	528
	n. 4	15.90	1.58	2.4	29.43	89.2	376
SG 5	n. 1	23.70	2.17	3.1	43.11	130.65	485
	n. 2	26.70	2.24	3.35	41.37	125.35	331
	n. 3	29.20	1.75	2.6	44.8	135.76	394
SG 7	n. 1	12.00	1.13	1.7	33.67	102.04	278
	n. 2	14.20	2.01	3	55.75	168.9	498
	n. 3	17.30	2.3	3.5	97.82	296.4	540
SG 11	n. 1	6.90	1.68	2.65	57.93	175.6	460
	n. 2	9.80	3.41	5.25	64.28	194.78	540
	n. 3	14.70	1.24	1.85	31.17	94.45	304
SG 12	n. 1	4.90	0.84	1.25	16.53	50.08	193
SG 13	n. 1	8.50	2.66	4	46.09	139.6	393

Tabella 6.4.I – Risultati delle prove pressiometriche

Il valore PF indica la pressione di scorrimento finale del tratto a comportamento pseudoelastico della curva pressione – assorbimenti.

Il valore di PI indica invece la pressione limite che permette di raddoppiare il volume della cavità analizzata; questo termine sarà fondamentale nel calcolo della tipologia di fondazione.

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01 date 06/07/05
		Page 37 of 62

A completamento dell'elaborato pressiometrico in allegato n. 6 vengono illustrate le tarature di pressione e di volume relative ad ogni singola prova.

6.5 Risultati prove SASW

Le indagini hanno permesso di definire il profilo delle velocità delle onde di taglio S; i risultati di ogni singolo stendimento sono rappresentati dai seguenti diagrammi delle velocità calcolate in funzione della profondità.

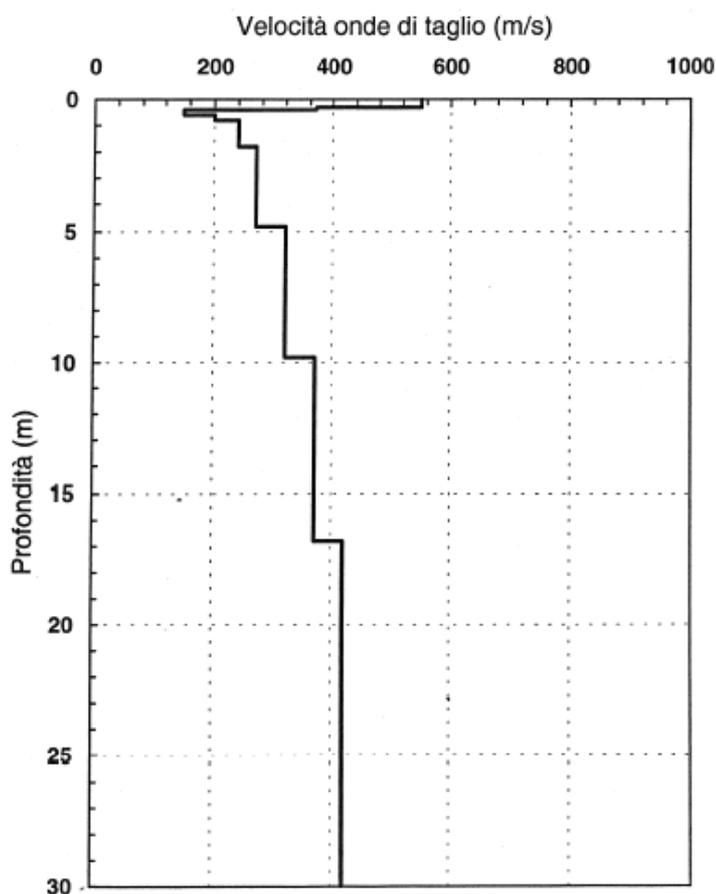
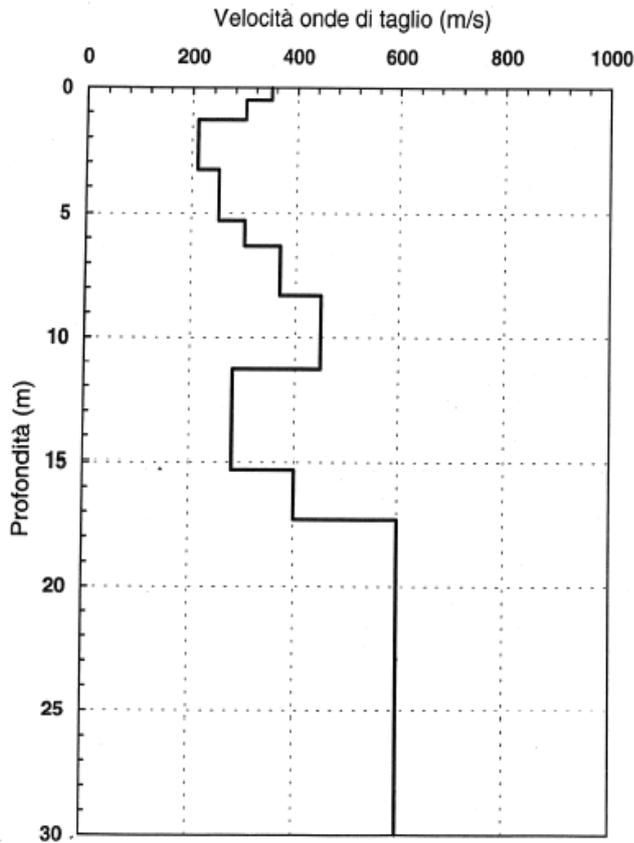
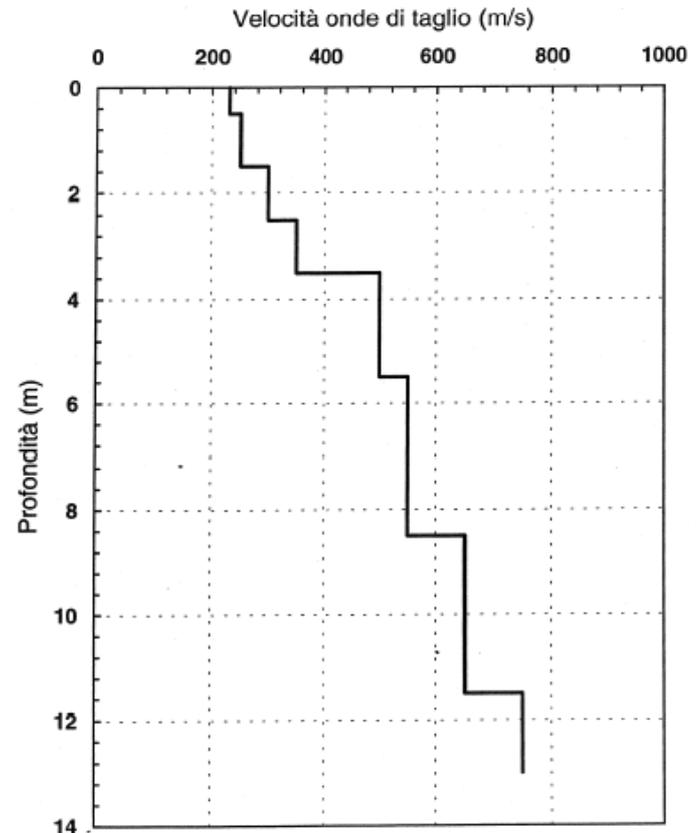


Figura 6.5.1 – Stendimento SA 1

**Figura 6.5.2** – Stendimento SA 2**Figura 6.5.3** – Stendimento SA 3

Si evidenzia che per ognuna delle 3 verticali indagate, le velocità delle onde di taglio S sono comprese tra 200 e 600 m/s.

In particolare nella prova SA 1 il profilo delle velocità evidenzia una brusca diminuzione da 600 a circa 180 m/s nel primo metro di profondità; ciò viene attribuito alla presenza di materiale granulare o materiale fortemente alterato. A partire dai 2 m di profondità la velocità comincia ad aumentare in modo costante fino alla profondità di circa 30 m dove viene raggiunta una velocità di poco superiore ai 400 m/s, ciò a testimoniare la presenza di materiali sempre più coerenti e compatti. A supporto di tale interpretazione, nei sondaggi SG 2 e SG 3 si osserva uno strato superficiale costituito da ghiaia e sabbia spesso circa 2 m al di sotto del quale è presente una alternanza di argilloscisti e marne argillose che diventano sempre più compatte con la profondità.

Nella prova SA 2, nei primi metri di profondità si osserva ancora una diminuzione della velocità, ma in modo meno brusco rispetto alla prova precedente, e comunque sempre interpretato come dovuto alla presenza di materiale granulare. Con la profondità si ha un generale aumento della

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735	
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01 date 06/07/05	
		Page 39 of 62	

velocità ad esclusione del tratto compreso tra 11 e 15 m dove la velocità torna a diminuire, probabilmente a causa della presenza di materiale fratturato o di una lente di materiale limoso. La velocità massima raggiunta è di 600 m/s alla profondità di 18 m, che si mantiene costante fino a 30 m, il materiale in questo tratto è probabilmente lo stesso. Anche per questa prova l'interpretazione trova riscontro nel sondaggio SG 8, che mette in evidenza, ancora, la presenza di uno strato superficiale costituito da sabbia e ghiaia che passa a limo sabbioso spesso circa 5 m al di sotto del quale è presente l'alternanza di argilloscisti e marne sempre più compatte. Il sondaggio non mette però in evidenza la presenza di materiale fratturato o lenti di materiale limoso, come precedentemente ipotizzato.

Nella prova SA 3 si osserva un aumento costante della velocità con la profondità, a testimoniare la presenza di materiale sempre più compatto; rispetto alle altre prove la velocità maggiore (600 – 700 m/s) viene raggiunta a profondità minore (circa 8 m) e ciò viene interpretato come dovuto alla diminuzione di spessore del materiale superficiale granulare / alterato. La profondità indagata in questa prova è di circa 13 m, ciò a causa della presenza di vibrazioni trasmesse al terreno da parte delle infrastrutture in prossimità dell'area di prova. L'interpretazione viene supportata dal sondaggio SG 11.

6.6 Risultati prove di laboratorio

Nelle seguenti tabelle e grafici vengono riassunti i risultati di tutte le prove eseguite sui campioni dei diversi sondaggi.

sondaggio	campione	profondità (m)	SG (%)	L (%)	A (%)	W (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IC (-)	$\gamma(1)$ (kN/m ³)	$\gamma(2)$ (kN/m ³)	$\gamma(3)$ (kN/m ³)	ϕ (°)	c' (kPa)	σ_r (MPa)	e_0 (-)	CaCO ₃ (%)
101	C1	6.50	0	45	55	8.39	70.11	31.45	38.59	1.59	20.7	21.64	19.92	28	80		0.377	0.45
	CD-A	4.80	5	75	20	12.43	61.22	30.09	31.13	1.56	20.8							
	CD-B	6.80	0	15	85	15.71	68.18	30.99	37.19	1.38	21.1							
102	C1	4.40	0	66	34	11.55	72.98	31.44	41.54	1.78	21.1							assente
	CD-A	7.40	0	8	92	13.40	63.81	30.21	33.60	1.50								
103	CD-A	7.60	0	22	78	9.81	70.98	36.00	34.98	1.74	20.8							
	C1	5.60	4	81	15	29.19	58.89	25.28	33.61	0.88		19.51	19.77	24	40		0.787	29.50
104	CD-A	6.60				3.88					24.5					12.85		
	C1	7.60	0	13	87	21.09	73.95	33.40	40.55	1.30		19.92	19.92	22	40		0.639	assente

Tabella. 6.6.I – Risultati delle prove di laboratorio per i campioni dei sondaggi 101, 102, 103 e 104

sondaggio	campione	profondità (m)	SG (%)	L (%)	A (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
S1	CR1	0.50	75	4	21			
	CR2	2.20	12	23	65	70.00	22.00	48.0
	CR3	6.00	40	41	19	43.00	22.00	21.0
	SPT1	8.50	18	48	34	48.00	20.00	28.0
	SPT2	14.70	65	10	25			
	CR6	21.00	10	50	40	51.00	18.00	33.0
S2	SPT1	4.20	83	13	4			
	CR4	11.70	52	29	19	35.00	17.00	18.0
S3	CR3	15.80	70	10	20	34.00	15.00	19.0
	CR5	28.00	50	32	18	35.00	17.00	18.0
	CR6	34.50	55	21	22	38.00	14.00	24.0
S4	CR1	3.00	77	4	19			
	SPT1	6.50	82	4	14			
	CR5	12.00	55	25	20	33.00	15.00	18.0
S5	CR4	18.00	97	3				

Tabella 6.6.II – Risultati delle prove di laboratorio per i campioni dei sondaggi S1, S2, S3, S4, S5

sondaggio	campione	profondità (m)	G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	W _n (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IC (%)	γ _n (kN/m ³)	γ _d (kN/m ³)	γ _{sat} (kN/m ³)	CaCO ₃ (%)
SG 2	CR A	5.20	18.46	11.54	32.00	38.00	19.80	33.10	20.20	12.90	1.00	19.51	17.58	21.06	31.9
	CR C	14.35	8.88	13.12	46.00	32.00	13.40	45.20	25.80	19.40	1.60	20.49	19.66	22.30	0.0
SG 3	CR B	15.40													24.5
	CR C	17.40													22.4
SG 4	CR D	4.70	0.55	10.95	23.50	65.00	20.50	51.70	26.40	25.30	1.20	19.24	17.3	20.85	1.0
SG 5	CRA	3.40	51.69	14.81	13.50	20.00	19.00	27.20	20.20	7.00	1.20	19.46	17.64	20.99	27.4
	CR B	3.75	5.84	6.16	41.50	46.50	16.80	48.80	26.60	22.20	1.40	19.88	18.3	21.37	4.1
	CR C	7.05													5.8
SG 6	CR A	7.90	7.81	21.19	27.00	44.00	17.10	41.20	18.20	23.00	1.00	20.07	18.06	21.14	3.1
SG 7	CR A	4.30	12.62	14.88	25.50	47.00	19.4					19.78	17.64	21.06	59.5
	CR B	8.70	0.15	6.35	37.50	56.00	13.2	61.6	29.6	32	1.5	21.32	19.83	22.45	8.4
SG 8	CR L	3.30	16.33	10.17	31.00	42.50	21.6	41.6	27.9	13.7	1.5	19.51	17.01	20.67	7.0
SG 10	CR B	18.40	25.68	37.32	19.00	18.00	7.7	37.2	23.9	13.3	2.2	21.35	22.16	23.86	3.7
SG 14	CR B	3.30	34.70	32.50	15.80	17.00	18.9	28.3	17.7	10.6	0.9	18.54	17.59	20.93	

Tabella 6.6.III – Risultati delle prove di laboratorio per i campioni dei sondaggi 2004 (parte 1).

sondaggio	campione	profondità (m)	VT c_u (kPa)	PP q_c (kPa)	PP c_u (kPa)	TD c' (kPa)	TD ϕ (°)	TX-CIU c' (kPa)	TX-CIU ϕ (°)	TX-CIU c_u (kPa)	EDOM M (MPa)	EDOM c_v (cm ² /s)
SG 2	CR A CR C	5.20 14.35	76.0	318.0 600.0	159.0 300.0	3.0	27.0				22.58	
SG 4	CR D	4.70	143.0	478.0	239.0			5.0	25.7	20.0		
SG 5	CRA CR B	3.40 3.75				10.0	27.0				19.60	2.79E-03
SG 6	CR A	7.90	70.0	254.0	127.0			22.0	24.7	31.0		
SG 7	CR A CR B	4.30 8.70	90.0	251.0	125.5			65.0	22.9	73.0		
SG 8	CRL	3.30				1.0	27.0				4.402	
SG 10	CR B	18.40				83.0	15.0					
SG 14	CR B	3.30	99.0	352.0	176.0							

Tabella 6.6.IV – Risultati delle prove di laboratorio per i campioni dei sondaggi 2004 (parte 2)

Di seguito si riporta la legenda dei simboli sopra utilizzati:

- SG = sabbia e ghiaia;
- L = limo;
- A = argilla;
- W = contenuto d'acqua;
- LL = limite liquido;
- LP = limite plastico;
- IP = indice di plasticità;
- IC = indice di consistenza relativa;
- $\gamma(1)$ = peso di volume ottenuto dall'analisi granulometrica;
- $\gamma(2)$ = peso di volume ottenuto dalla prova edometrica;
- $\gamma(3)$ = peso di volume ottenuto dalla prova di compressione triassiale;
- γ_n = peso di volume naturale;

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735	
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01	date 06/07/05
		Page	42

γ_d = peso di volume secco;

γ_{sat} = peso di volume saturo;

Φ = angolo d'attrito;

c' = coesione drenata;

c_u = coesione non drenata;

e_0 = indice dei vuoti iniziale;

$CaCO_3$ = contenuto in carbonato di calcio;

σ_r = pressione di rottura (per campione in roccia);

M = modulo confinato.

Nelle pagine seguenti vengono riportati i diagrammi relativi ai parametri calcolati dalle prove di laboratorio.

GRANULOMETRIA

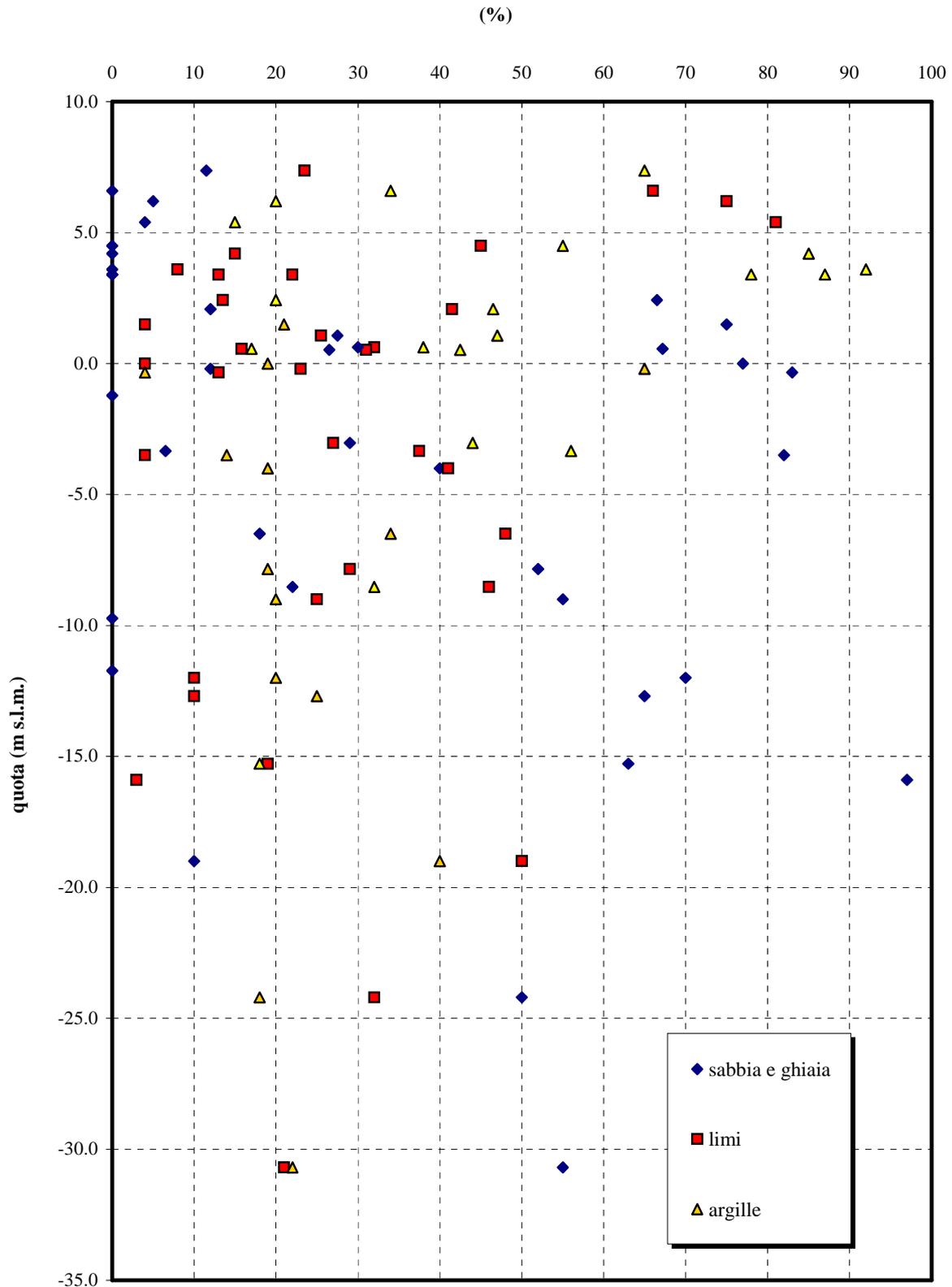


Figura. 6.6.1 – Risultati delle analisi granulometriche

PESO DI VOLUME

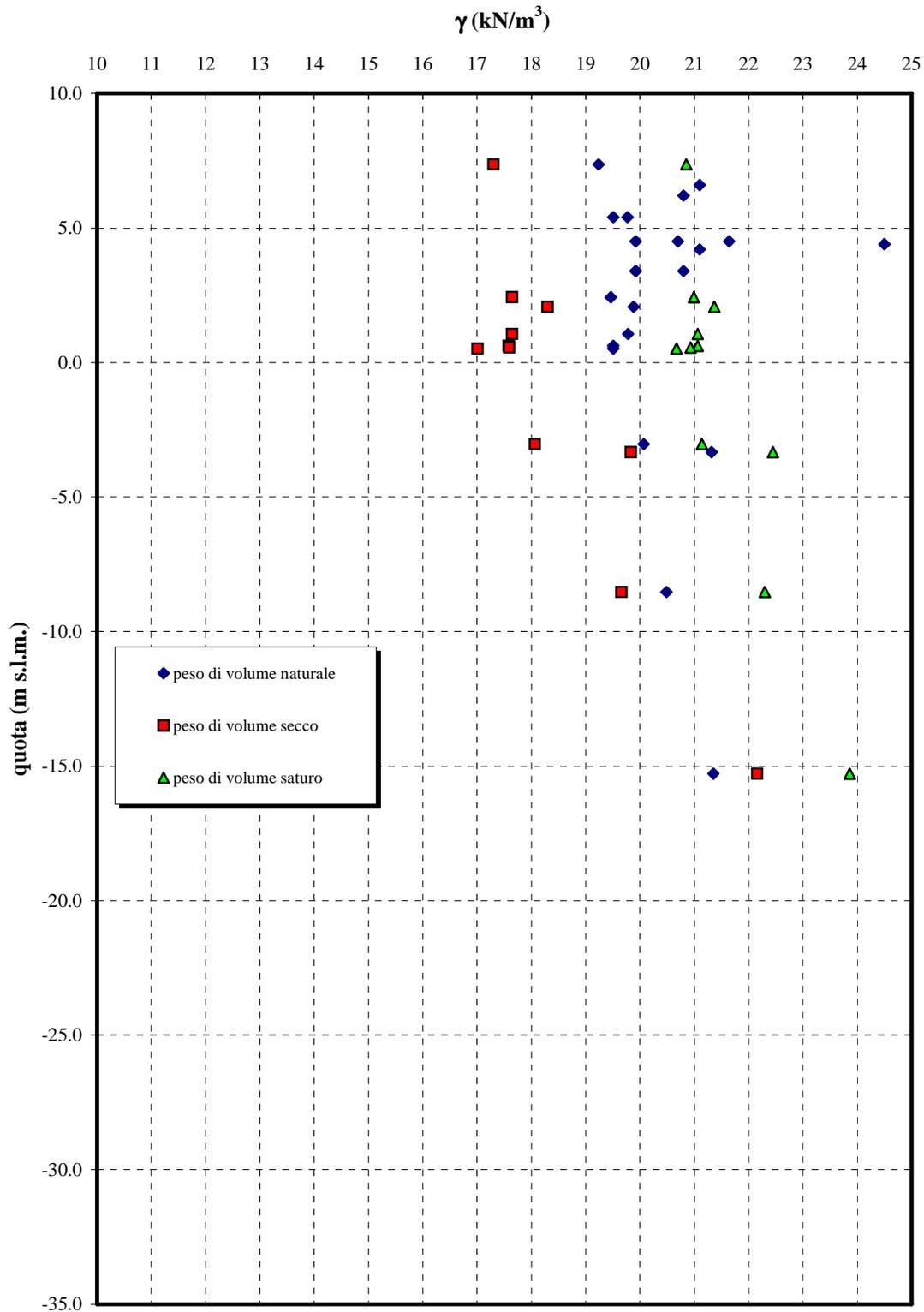
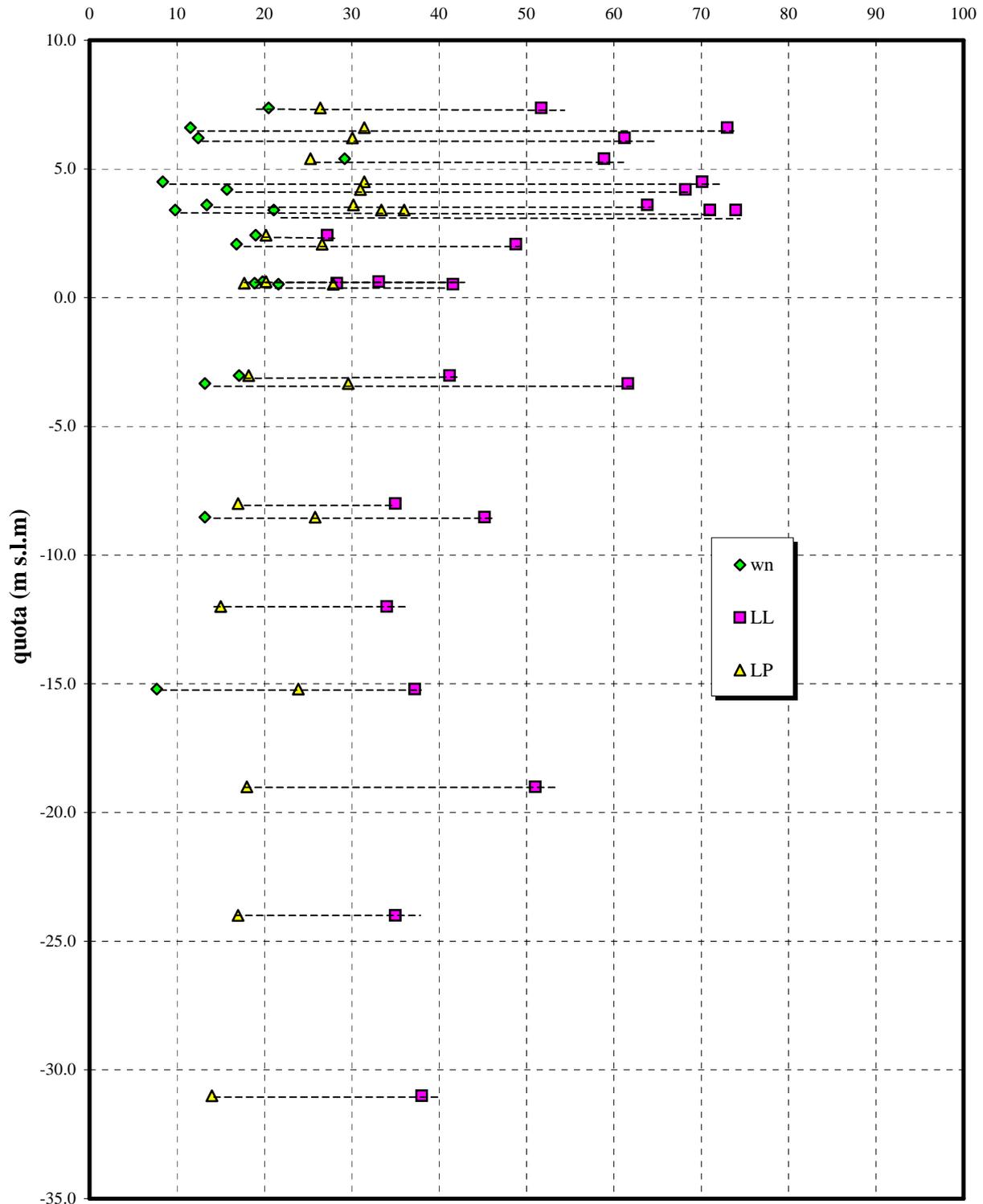


Figura 6.6.2 – Peso di volume

LIMITI DI ATTERBERG

wn, LL, LP (%)


Figura 6.6.3 – Contenuto d'acqua, limite liquido e limite plastico

INDICE DI PLASTICITA'

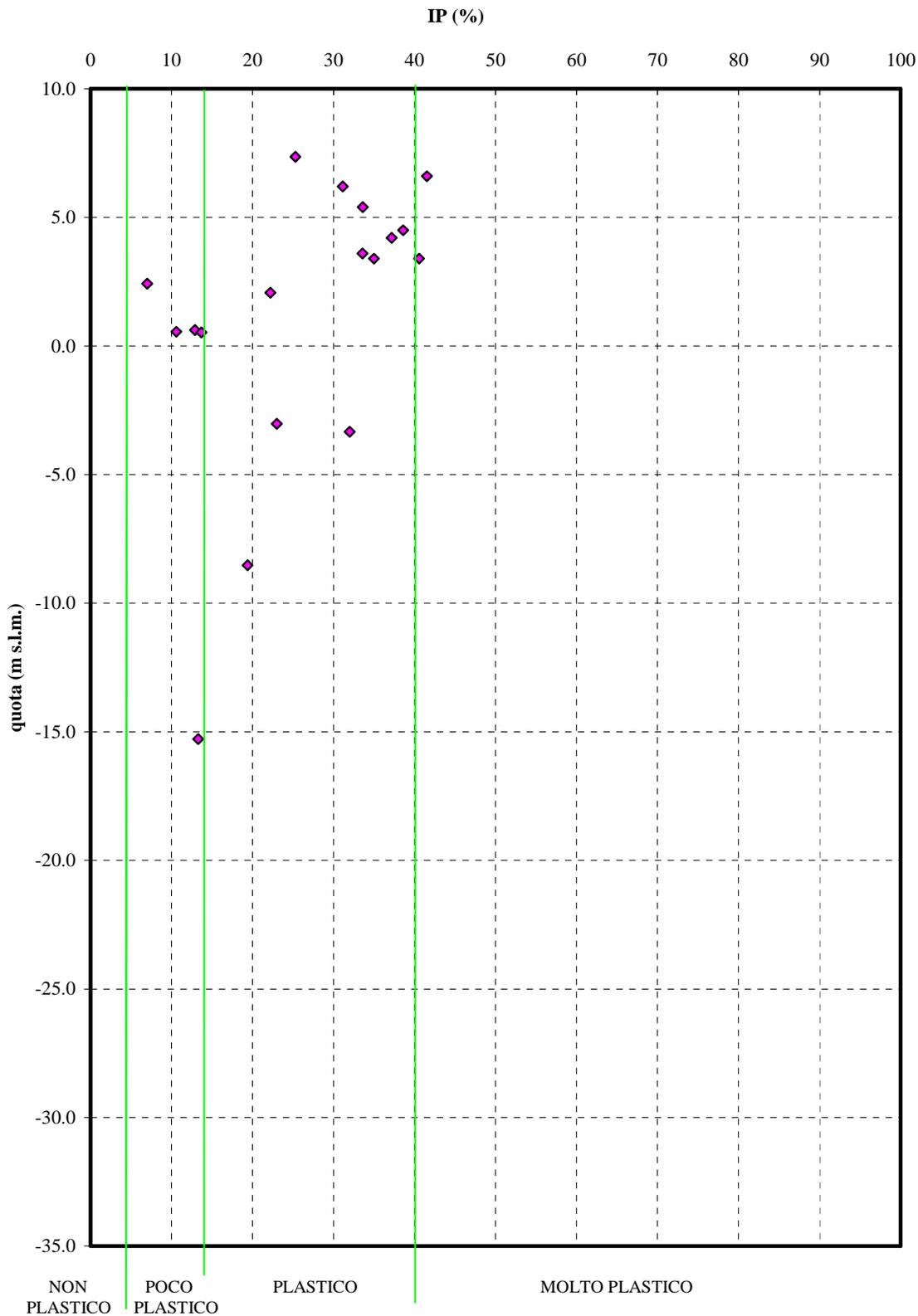


Figura 6.6.4 – Indice di plasticità (EPRI, 1990)

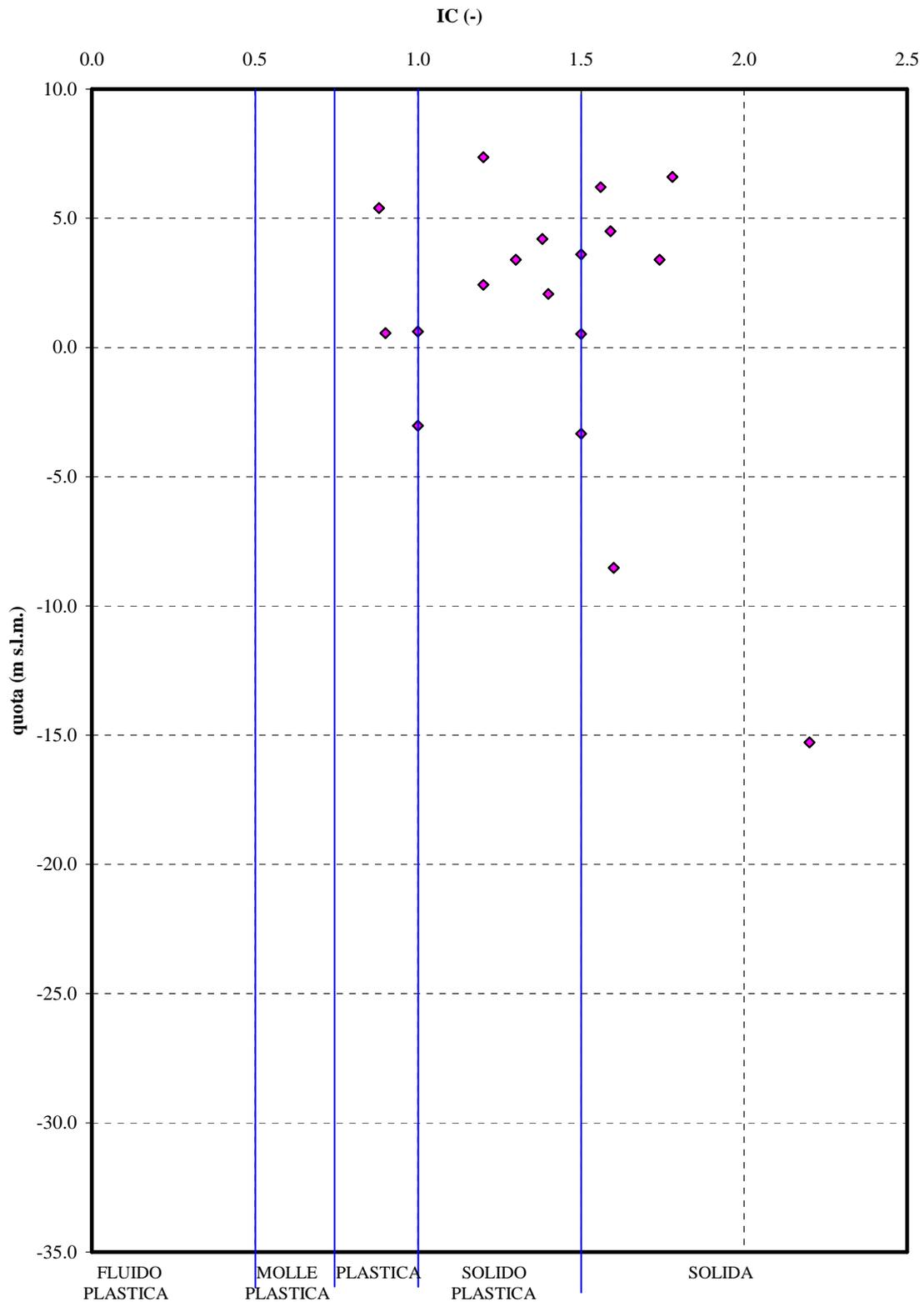
INDICE DI CONSISTENZA


Figura 6.6.5 – Indice di consistenza (Lancellotta R., 1987)

ANGOLO DI ATTRITO INTERNO

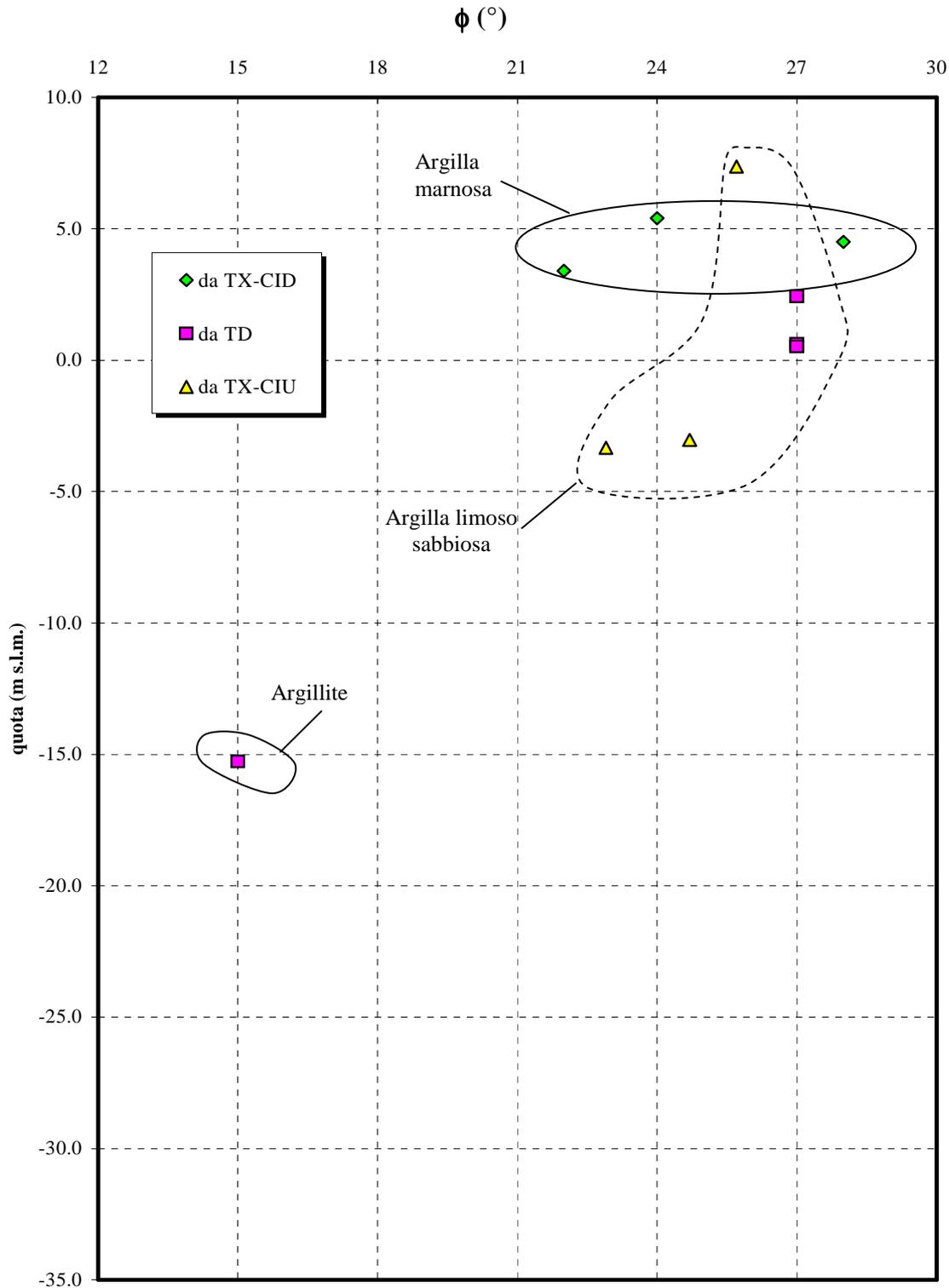
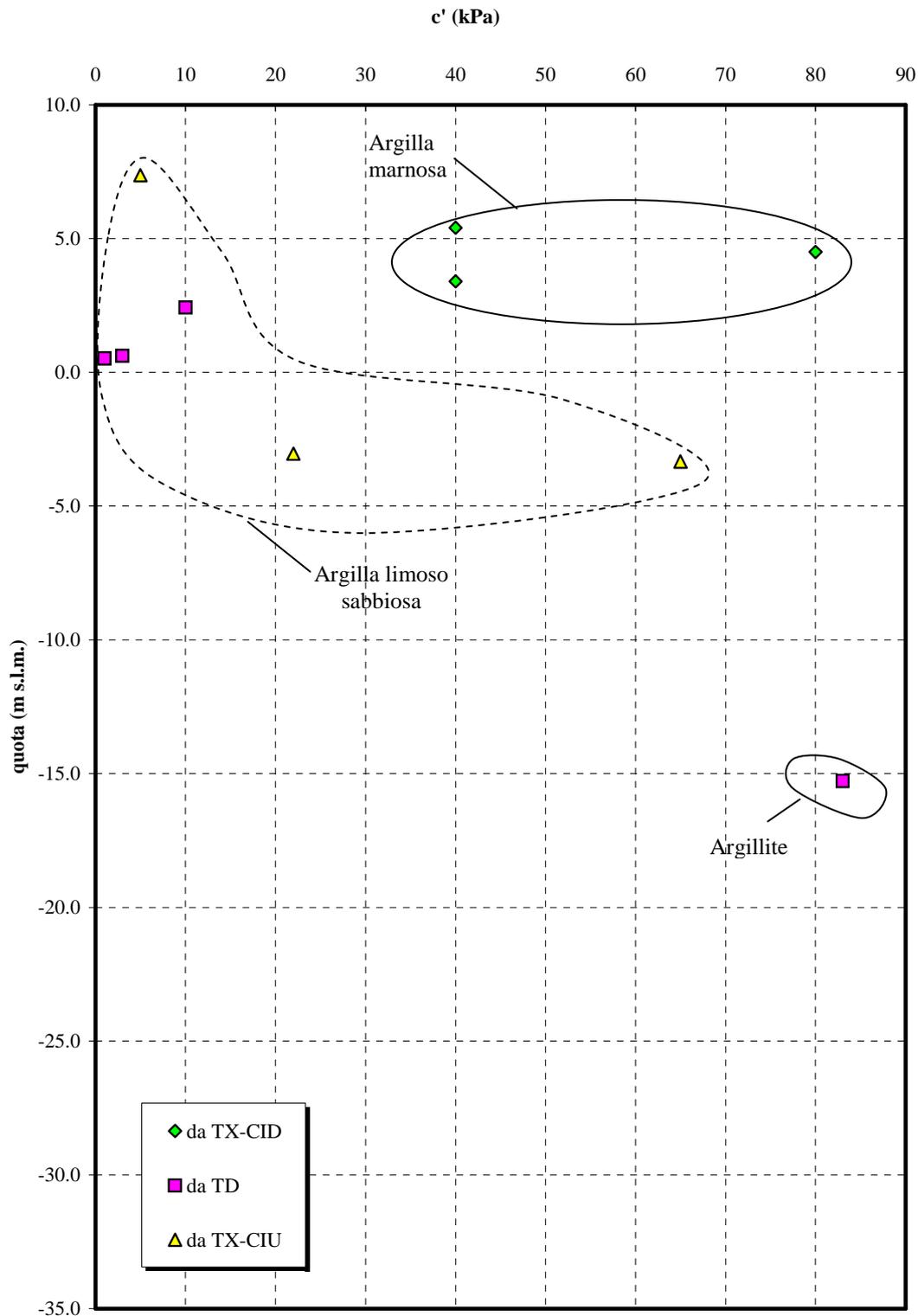


Figura 6.6.6 – Angolo d'attrito interno

COESIONE

Figura 6.6.7 – Coesione drenata

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735	
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01	date 06/07/05
		Page	50 of 62

Per quanto riguarda le prove edometriche eseguite sui diversi campioni di vari sondaggi, sono stati dedotti i parametri principali, ovvero il modulo edometrico M ed il coefficiente di consolidazione primario c_v , ove non direttamente forniti.

Il modulo edometrico è stato ricavato, per ogni livello di carico applicato durante la prova, secondo la relazione:

$$M = \frac{\Delta\sigma'}{\Delta\varepsilon'}$$

essendo:

$\Delta\sigma'$ = incremento di pressione;

$\Delta\varepsilon'$ = incremento di deformazione.

Il coefficiente di consolidazione primario, invece, è stato determinato in accordo con la procedura di Casagrande (1936), attraverso la relazione:

$$c_v = \frac{H^2 \cdot T_{v50}}{t_{50}}$$

dove:

H = percorso di drenaggio;

T_{v50} = fattore di tempo adimensionale, corrispondente ad un grado di consolidazione del 50%;

t_{50} = tempo corrispondente al 50% della consolidazione.

Nelle seguenti figure, 6.6.8 e 6.6.9, vengono diagrammati i risultati ottenuti in termini di modulo edometrico M e di coefficiente di consolidazione primario c_v .

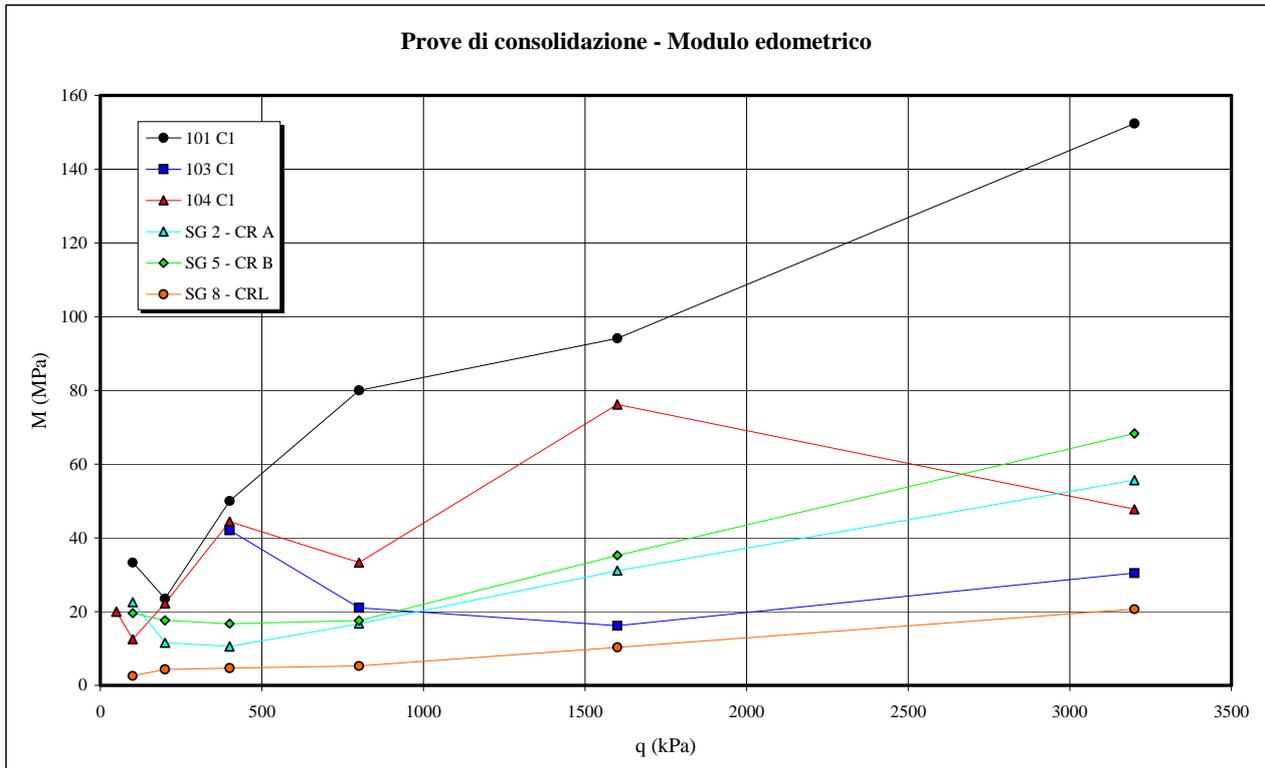


Figura 6.6.8 – Modulo edometrico

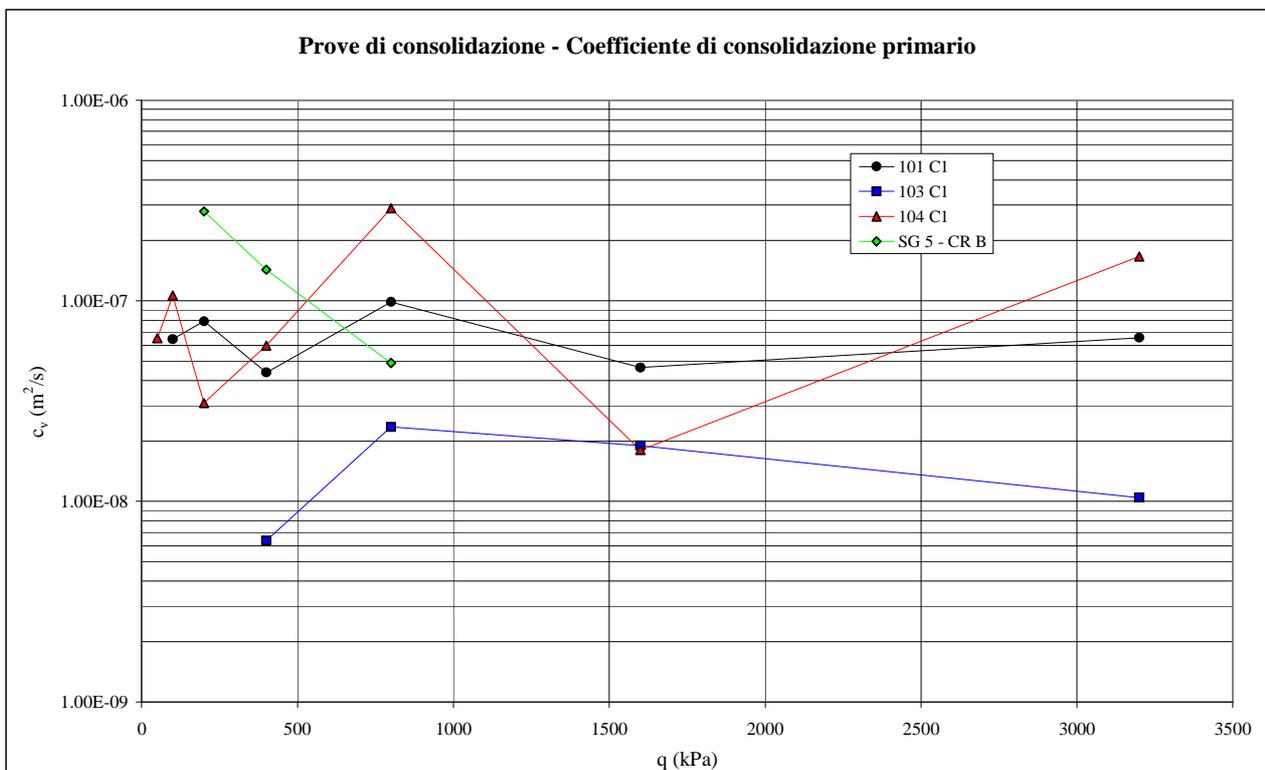


Figura 6.6.9 – Coefficiente di consolidazione primario

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735	
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01 date 06/07/05	
		Page 52 of 62	

Analisi calcimetrica

Per tutte le determinazioni del contenuto di CaCO₃ è stato utilizzato il metodo “Geisser Per Pesata”; l’analisi è stata condotta su campioni a diversa litologia, soprattutto in quelli argillosi e marnosi.

Di seguito sono riportati i risultati per ogni campione analizzato.

Sondaggio	N° campione	Litologia	Contenuto in CaCO ₃ (%)
S101	C1	Argilla – marnosa	0.45
S102	C1	Argilla – marnosa	Assente
S103	C1	Argilla – marnosa	29.50
S104	C1	Marne – argillose	Assente
SG 2	CR A	Limo argilloso	31.9
SG 2	CR C	Limo con argilla	0.0
SG 3	CR B	Arenaria	24.5
SG 3	CR C	Argillite	22.4
SG 4	CR D	Argilla limosa-sabbiosa	1.0 (tracce)
SG 5	CR A	Argilla con limo	27.4
SG 5	CR B	Argilla con limo	4.1
SG 5	CR C	Ghiaia-argillo-limosa	5.8
SG 6	CR A	Argilla con limo	3.1
SG 7	CR A	Argilla con limo	59.5
SG 7	CR B	Argilla	8.4
SG 8	CR L	Argilla limosa	7.0
SG 10	CR B	Argillite	3.7

Tabella 6.6.V – Risultati delle determinazioni di CaCO₃

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735	
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01 date 06/07/05	
		Page 53 of 62	

Prove su campioni di roccia

Su alcuni provini cilindrici di roccia sono state eseguite prove di resistenza a compressione monoassiale. La tabella seguente riassume i campioni e i risultati delle prove.

SONDAGGIO		SG 3	SG 3	SG 5
CAMPIONE		CR B	CR C	CR C
PROFONDITA'	(m)	15.40	17.40	7.10
γ_n	(kN/m ³)	26.49	22.17	19.56
RESISTENZA A ROTTURA	(kPa)	104274	1392	729
LITOLOGIA		Arenaria a cemento carbonatico con probabile componente terrigena	Argillite a debole fissilità con noduli concrezionali di origine carbonatica	Argilla molto dura, fessile, con frequenti nuclei di ossidazione

Tabella 6.6.VI – Prove di compressione uniassiale

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01 date 06/07/05
		Page 54 of 62

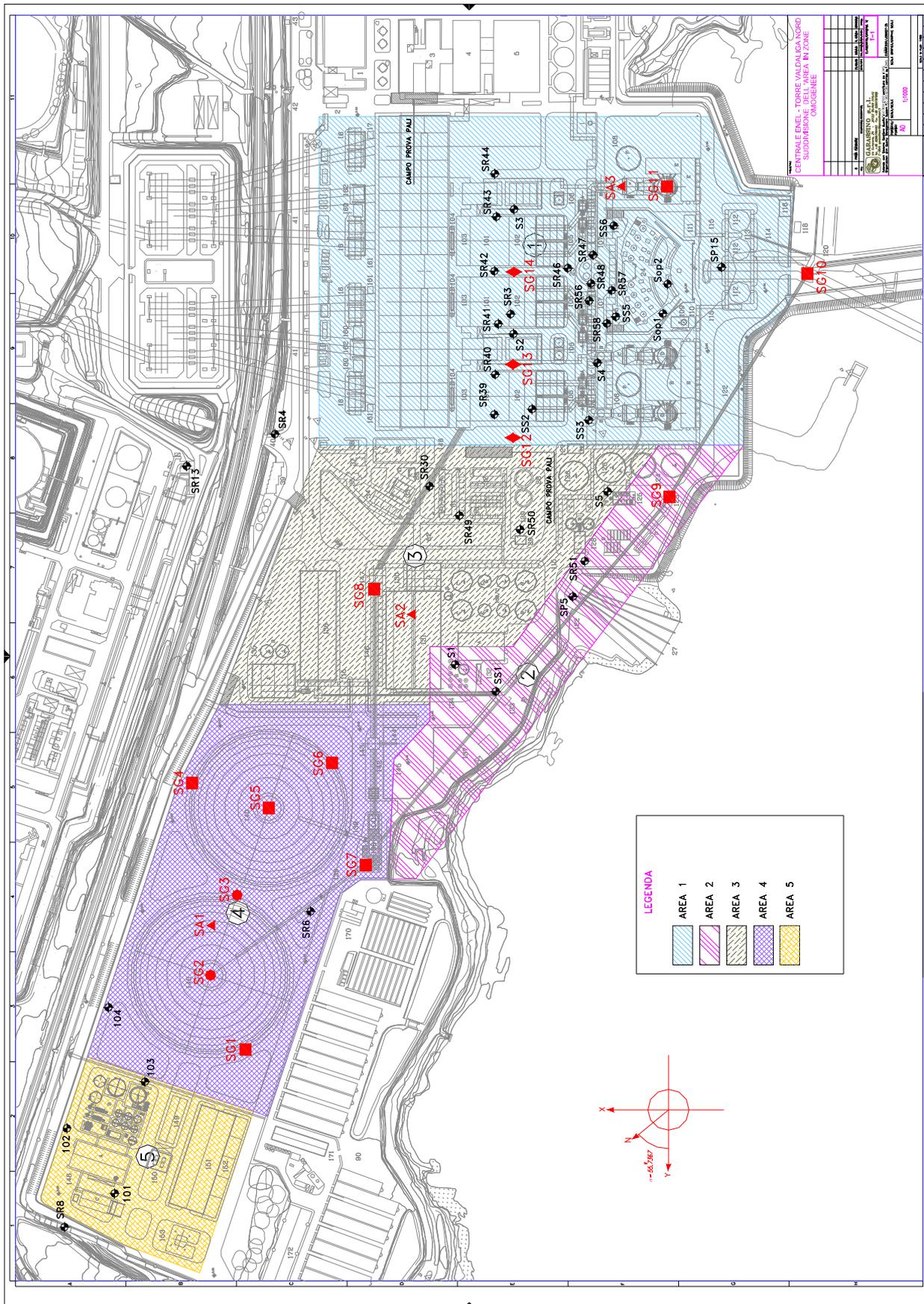
7. PROFILI GEOTECNICI DI PROGETTO

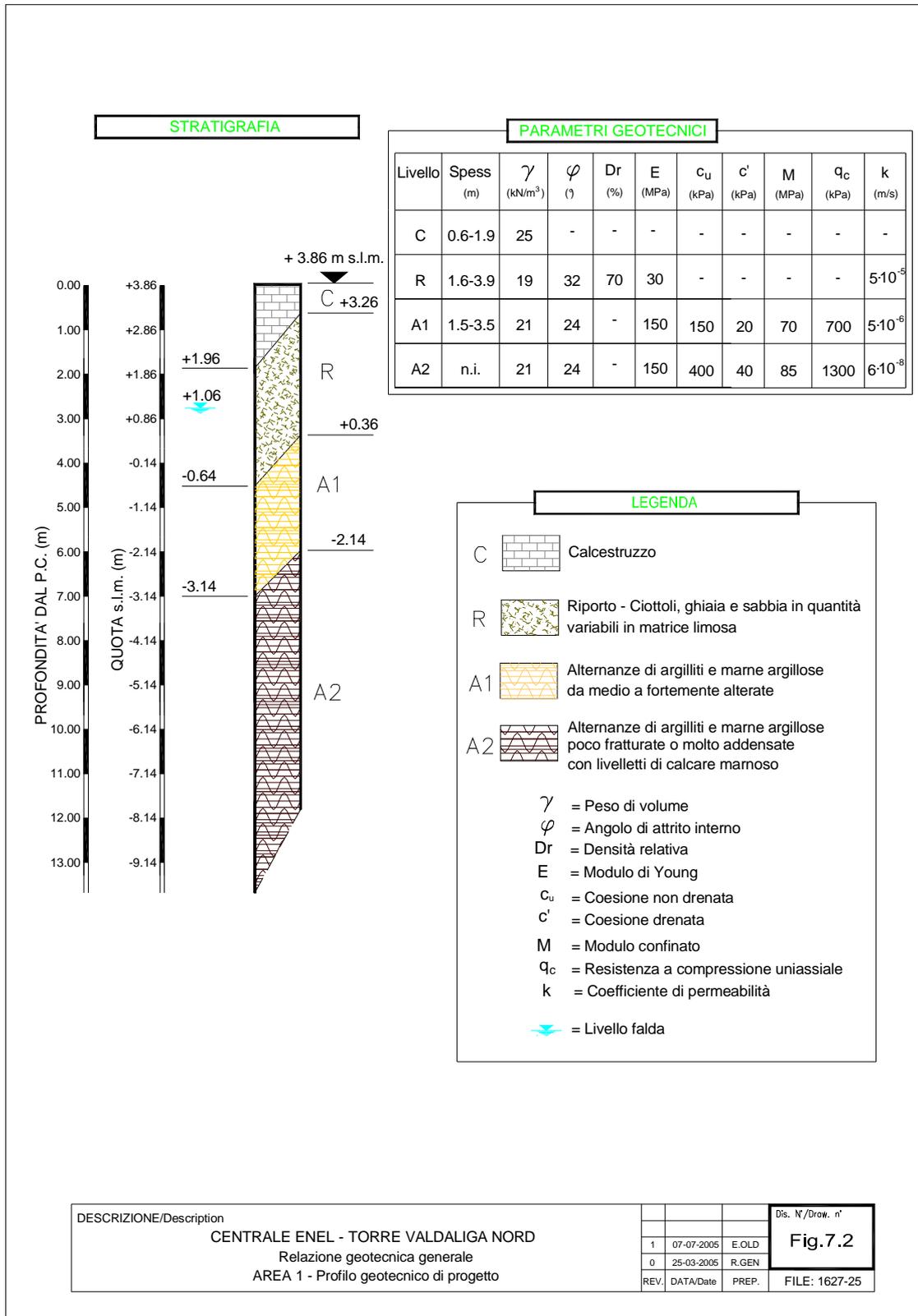
Sulla base delle informazioni acquisite dalle diverse campagne d'indagine condotte nell'area della Centrale ENEL di Torrevaldaliga Nord, è stato possibile tracciare delle sezioni stratigrafiche che rappresentano l'effettiva successione dei litotipi presenti nel terreno di fondazione (le sezioni sono riportate in Allegato n. 2).

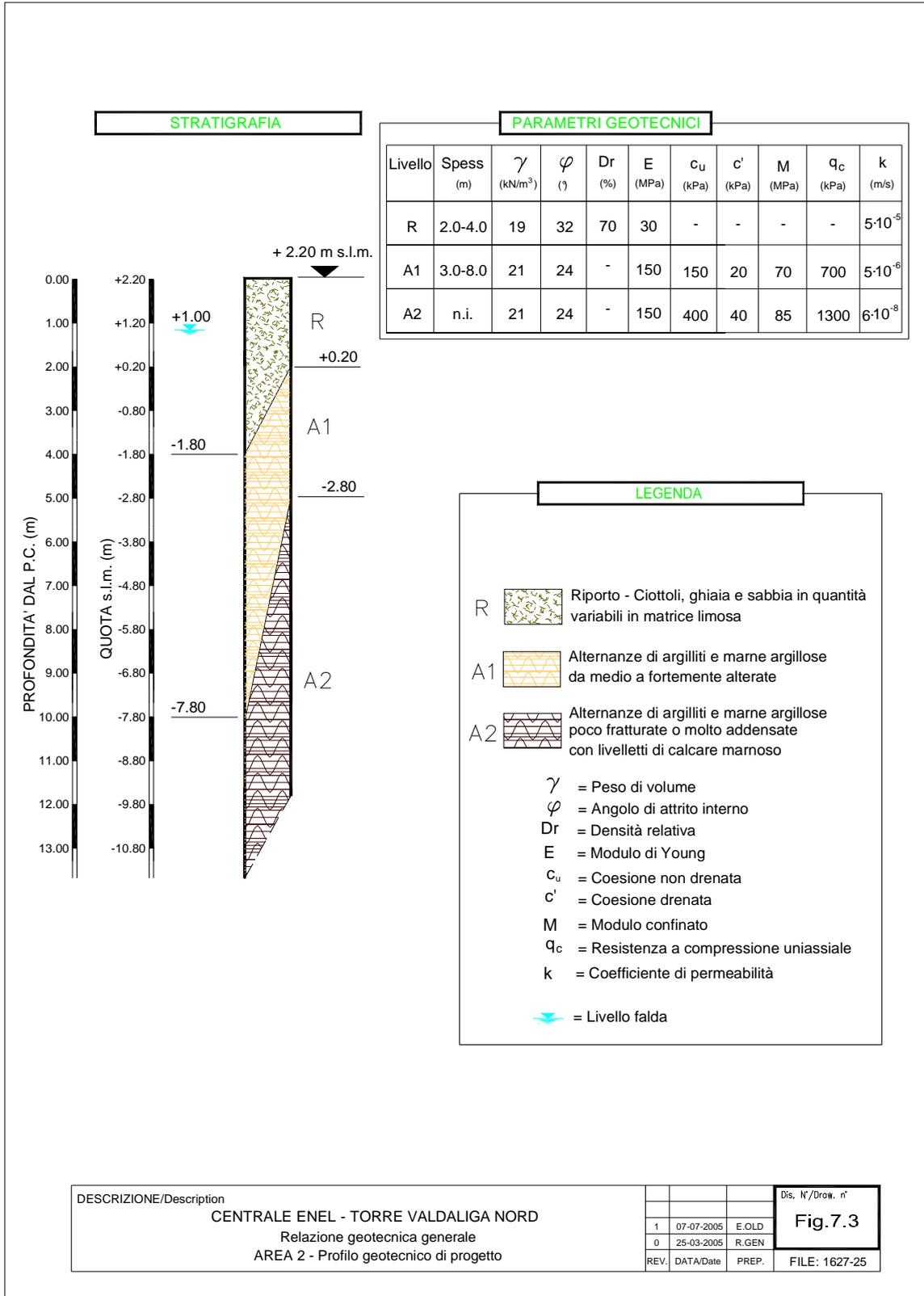
Dall'osservazione delle sezioni stratigrafiche prodotte si è ritenuto possibile suddividere l'intera area di centrale in 5 sotto-aree, per ognuna delle quali si è osservata una successione caratteristica più o meno omogenea (la planimetria con la suddivisione in aree è rappresentata in Allegato n. 1).

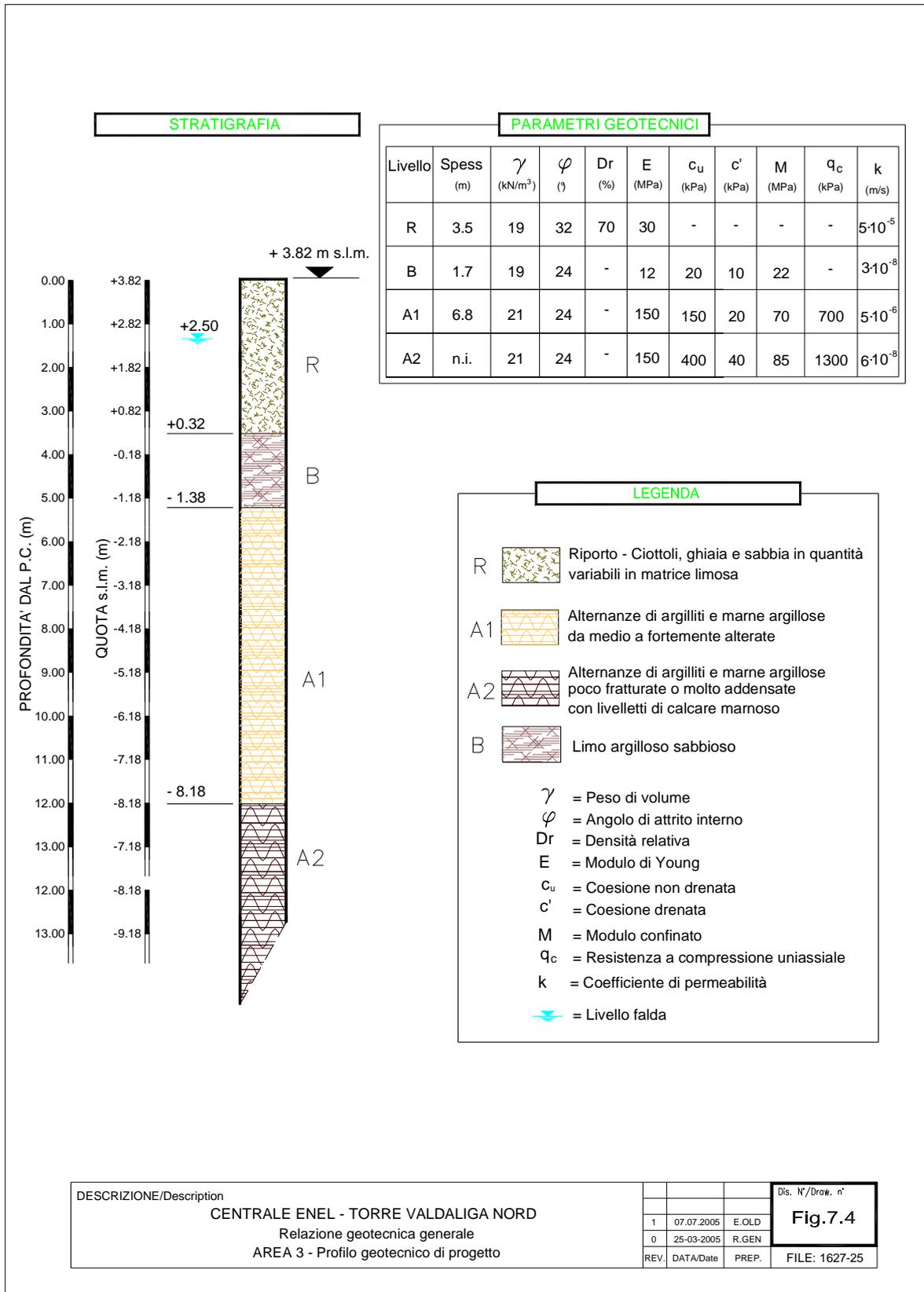
In questo capitolo si propone dunque, per ognuna di queste aree, la stratigrafia di progetto di competenza, da ritenersi valida ai fini della progettazione. In esse si possono riconoscere i livelli litologici riconosciuti durante l'esecuzione dei sondaggi e descritti nel capitolo 4; inoltre vengono riportati i parametri geotecnici attribuiti a ciascuna formazione, ricavati, come visto nei capitoli precedenti, sulla base dei risultati dalle prove condotte in sito e delle prove di laboratorio.

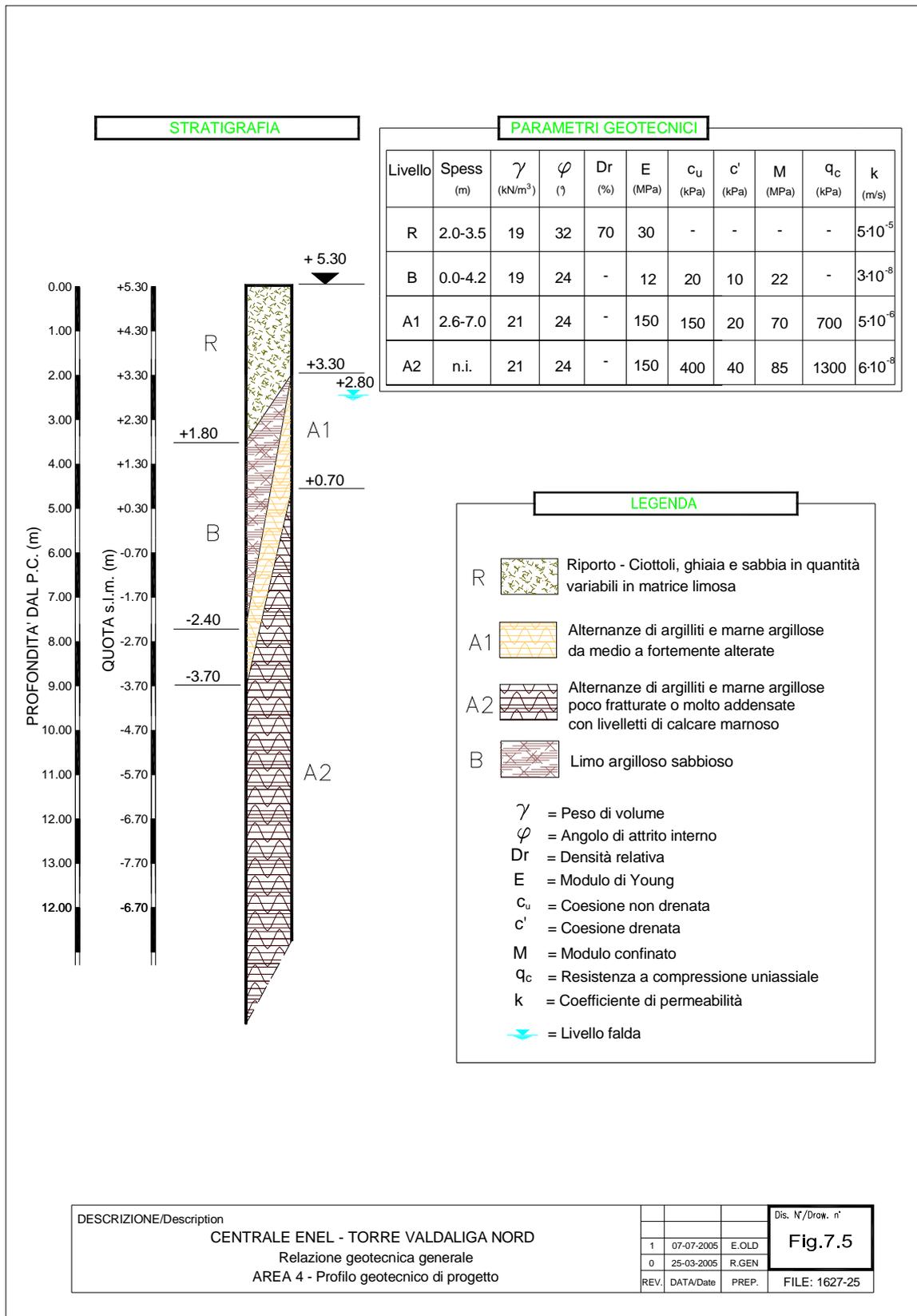
Nelle pagine seguenti vengono riportati la planimetria dell'impianto con la suddivisione in aree omogenee per stratigrafia e i 5 profili geotecnici di progetto, numerati a seconda dell'area di appartenenza.

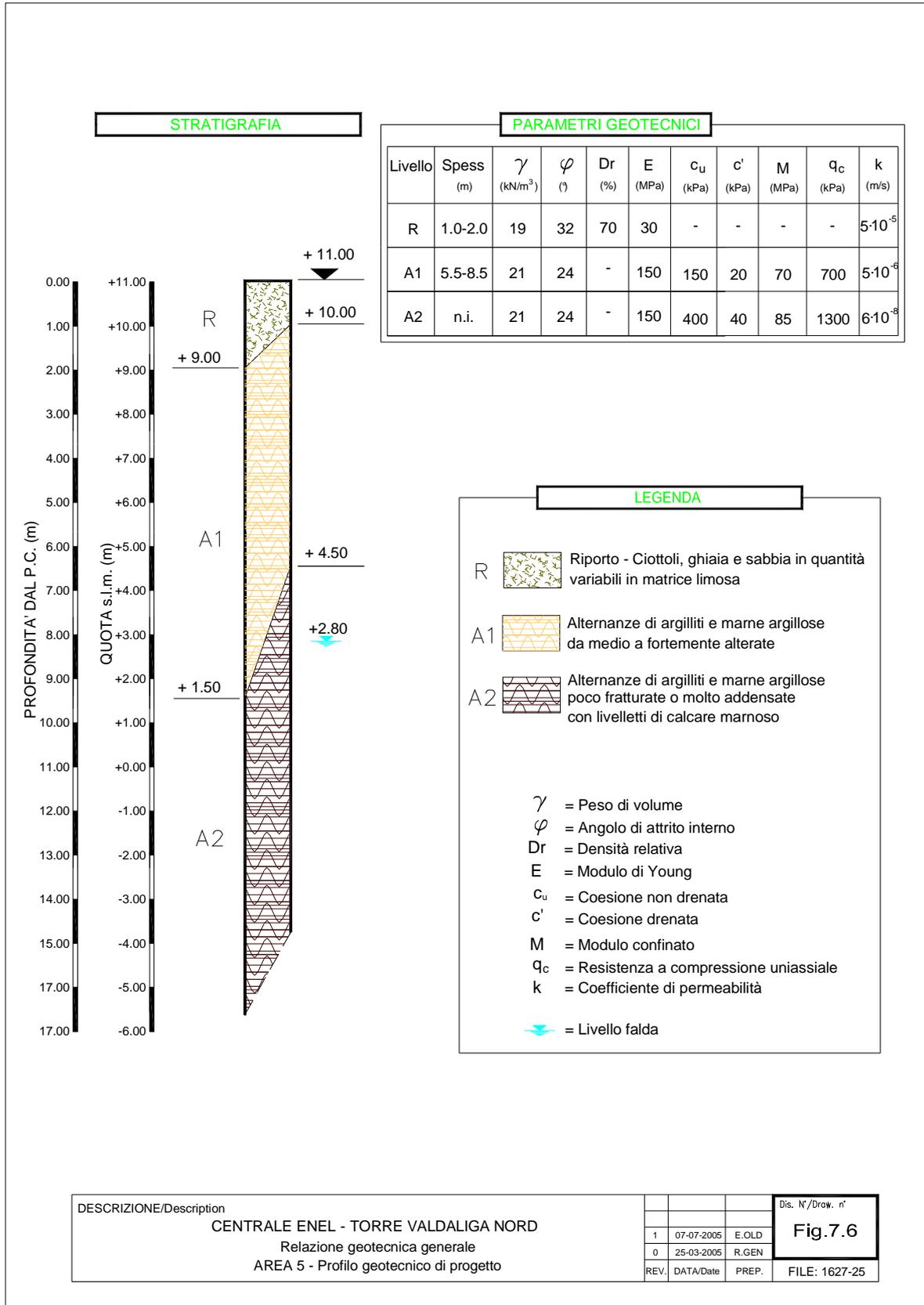












	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01 date 06/07/05
		Page 61 of 62

8. ALLEGATI

- ALLEGATO 1:** SUDDIVISIONE DELLA PLANIMETRIA IN AREE
- ALLEGATO 2:** PLANIMETRIA CON TRACCIA DELLE SEZIONI E SEZIONI STRATIGRAFICHE A-A', B-B', C-C', D-D', E-E', F-F', G-G', H-H' e L-L'.
- ALLEGATO 3:** STRATIGRAFIE SONDAGGI
- ALLEGATO 4:** PROVE DI LABORATORIO
- ALLEGATO 5:** PROVE DI PERMEABILITA'
- ALLEGATO 6:** PROVE PRESSIOMETRICHE
- ALLEGATO 7:** PROVE SASW

	Impianto di Torrevaldaliga Nord	Document P12TN01735
	RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Rev. 01 date 06/07/05
		Page 62 of 62

BIBLIOGRAFIA

Bishop W., Henkel D.J. (1976): “The measurement of soil proprieties in the triaxial test” – Edward Arnold.

Bazaraa, A.R.S.S. (1967): “Use of standard penetration test for estimating settlement of shallow foundations on sand”, PhD thesis, University of Illinois.

Bowles J.E. (1998): “Foundation – Analysis and Design”.

Carter M., S.P. Bentley (1991): “Correlation of Soil Properties”.

Comune di Civitavecchia –Ufficio Speciale Assetto del Territorio Pianificazione Urbanistica – Beni Culturali ed Ambientali _ Studio Idrogeotecnico Associato – Studio geologico, geomorfologico ed idrogeologico del territorio comunale di Civitavecchia.

Denver (1982): “Penetration Testing” – A.A. Balkema, pag 38.

Enelpower (2004): Studio di Impatto Ambientale per l’impianto di Torrevaldaliga Nord – Documento P12TN01656.

EPRI (1990): “Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design”, pag. 36.

Giuliani F. (1982): “New analytical correlations between SPT, overburden pressure and relative density” – Proceedings of the Second European Symposium on Penetration Testing, Amsterdam, 24-27 May 1982

Lancellotta R. (1987): “Geotecnica”.

Shioi Y., Fukuni J. (1982): “Application of N-Value to Design of Foundation in Japan” – Proceedings of the Second European Symposium on Penetration Testing, Amsterdam.

Sogin (2000): Indagine sul sito industriale di Torrevaldaliga Nord.

Terzaghi K., Peck R.B. (1967): “Soil Mechanics in Engineering Practice” – 2nd Ed., John Wiley and Sons, New York, pag. 729.