GEOMARE S.r.l.

COMMITTENTE: A.T.I. S.r.l.
PROGETTO: NUOVO PORTO TURISTICO - OSTIA (ROMA)

SONDAGGIO N° 2 **CAMPIONE N° 2** **PROFONDITA' m. 8,00-8,50**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Tipo della prova: Consolidata Drenata

Stato del campione: indisturbato

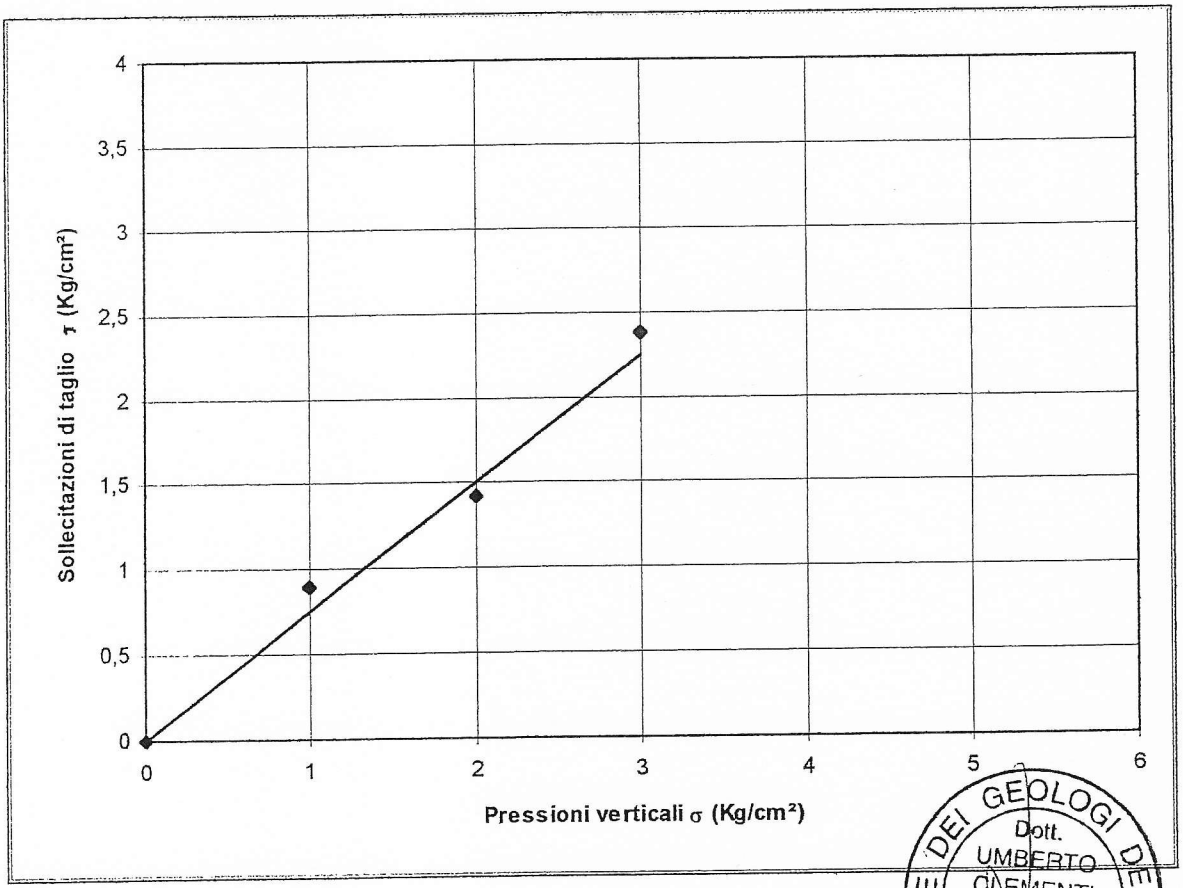
Dimensioni del provino: L = 6 mm
H = 3 mm

Velocità di deformazione: 0,67 mm/h

Provino n°	1	2	3	4
Contenuto in acqua Wi %	19,55	19,55	19,55	
Peso di volume γ: g/cm³	1,94	1,96	1,95	
Pressione verticale σ: Kg/cm²	1	2	3	
Deformazione verticale limite: mm	0,07	0,11	0,15	
Deformazione trasversale limite: mm	4	5	5	
Sollecitazione di taglio limite τ: Kg/cm²	0,89	1,42	2,38	
Contenuto in acqua finale Wf %				

Angolo di attrito interno: ϕ 37 °

Coesione: C = 0 Kg/cm²



ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO
Dott. UMBERTO CLEMENTI
Geologo
A.P. n. 902

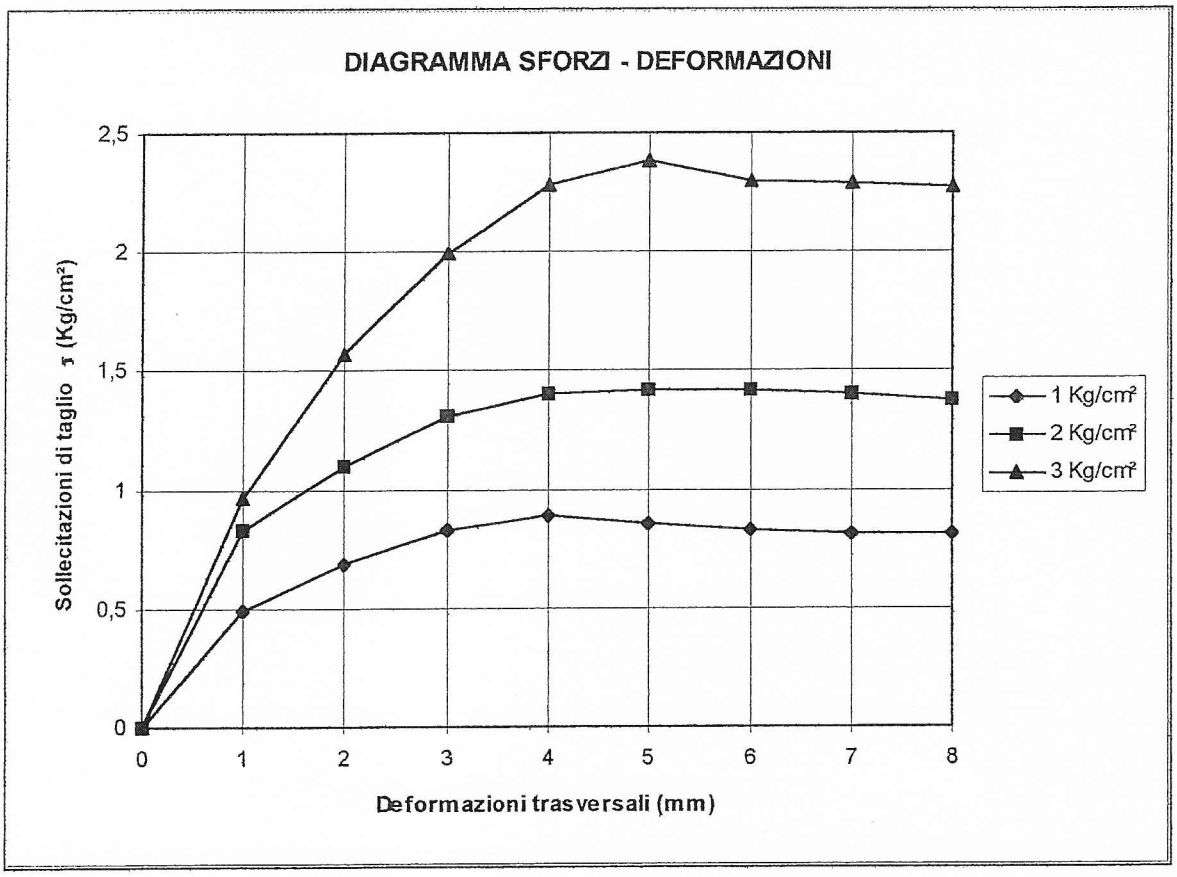
GEOMARE S.r.l.

COMMITTENTE: A.T.I. S.r.l.
PROGETTO: NUOVO PORTO TURISTICO - OSTIA (ROMA)

SONDAGGIO N° 2 **CAMPIONE N° 2** **PROFONDITA' m. 8,00-8,50**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Tipo della prova: Consolidata Drenata Stato del campione: indisturbato



ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO
Dott. UMBERTO CLEMENTI
Geologo
A.P. n. 902

GEOMARE S.r.l.

COMMITTENTE: A.T.I. S.r.l.
PROGETTO: NUOVO PORTO TURISTICO - OSTIA (ROMA)

SONDAGGIO N° 2 **CAMPIONE N° 2** **PROFONDITA' m. 8,00-8,50**

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

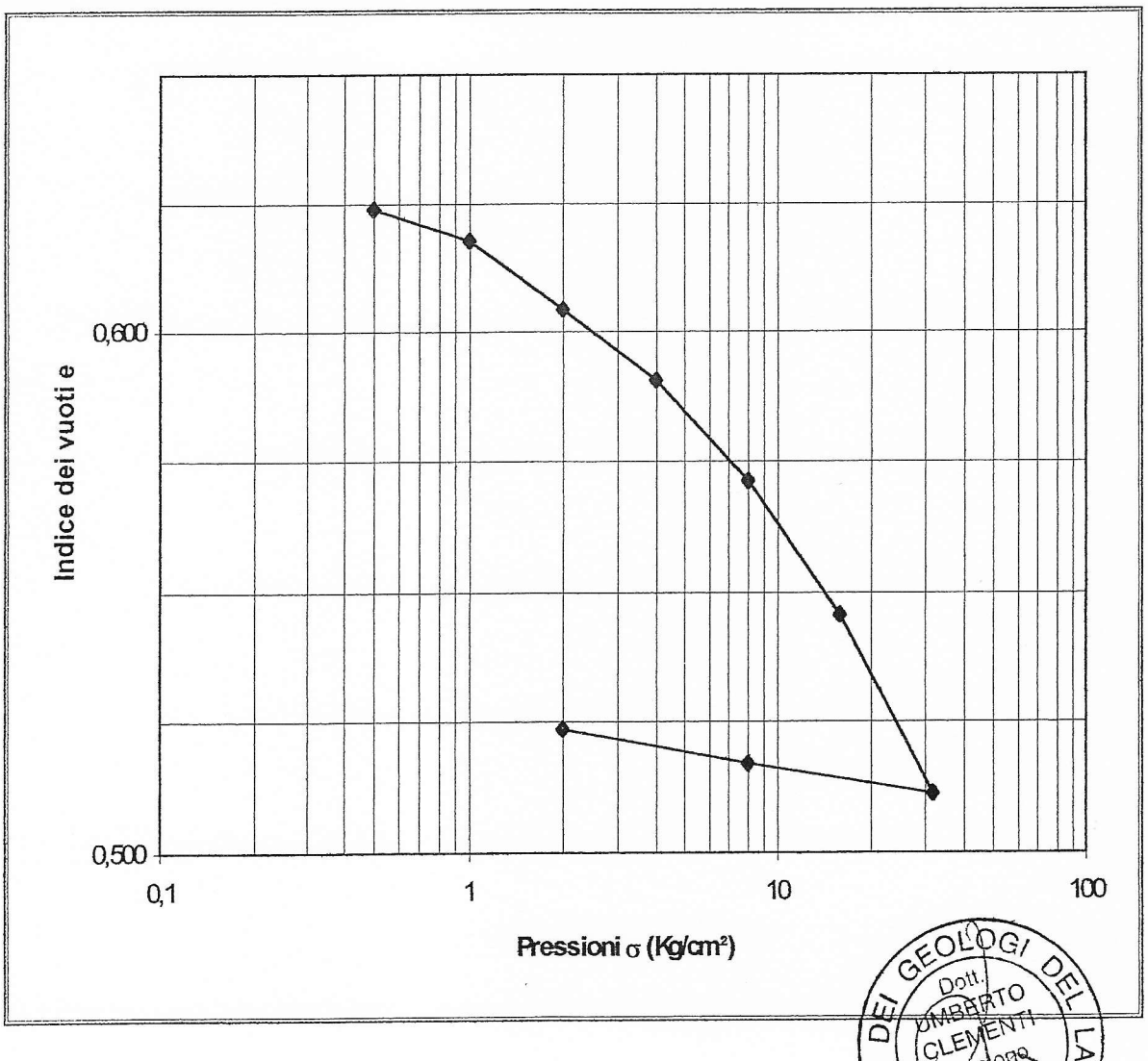
DIMENSIONI DEL PROVINO

Altezza h = 2 cm
Sezione A = 20 cm²
Volume V = 40 cm³

CARATTERISTICHE DEL PROVINO

Contenuto in acqua W% = 19,55
Indice dei vuoti iniziale e_0 = 0,632
Peso specifico dei granuli γ_s = 2,67 g/cm³
Peso di volume γ = 1,96 g/cm³

σ (Kg/cm²)	0,125	0,250	0,5	1	2	4	8	16	32
e			0,624	0,618	0,605	0,591	0,571	0,546	0,512
E (Kg/cm²)			100	124	123	230	323	493	714



DEI GEOLOGI DEL LA
Dott.
UMBERTO
CLEMENTI
Geologo

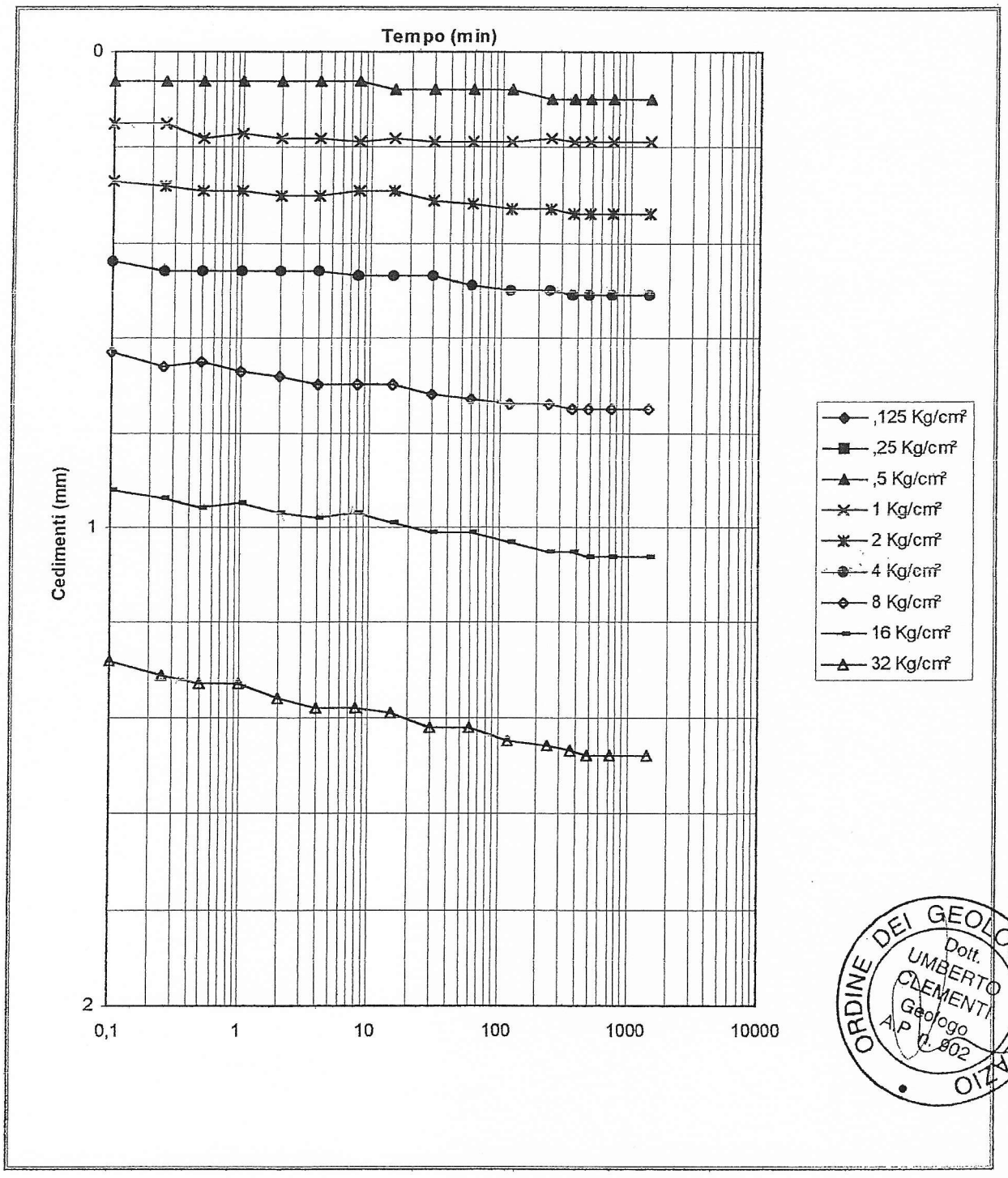
GEOMARE S.r.l.

COMMITTENTE: A.T.I. S.r.l.
PROGETTO: NUOVO PORTO TURISTICO - OSTIA (ROMA)

SONDAGGIO N° 2 **CAMPIONE N° 2** **PROFONDITA' m. 8,00-8,50**

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

(Curve cedimenti / log tempo)



ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO
Dott. UMBERTO CLEMENTI
Geologo
A.P. n. 802

GEOMARE S.r.l.

COMMITTENTE: A.T.I. S.r.l.
PROGETTO: NUOVO PORTO TURISTICO - OSTIA (ROMA)

SONDAGGIO N° 2 **CAMPIONE N° 3** **PROFONDITA' m. 10,00-10,50**

MODULO RIASSUNTIVO

Densità	$\gamma =$	1,81	g/cm³	Umidità naturale	$W_n =$	21,03	%
Densità secca	$\gamma_d =$	1,50	g/cm³	Limite di liquidità	$W_l =$	ND	%
Densità immersa	$\gamma_i =$	0,94	g/cm³	Limite di plasticità	$W_p =$	ND	%
Peso specifico granuli	$\gamma_s =$	2,70	g/cm³	Indice di plasticità	$I_p =$	ND	%
Indice dei vuoti	$e =$	0,805		Limite di ritiro	$W_s =$		%
Porosità	$n =$	44,61	%	Indice di consistenza	$I_c =$	ND	%
Grado di saturazione	$S_r =$	70,50	%	Classifificazione USC		SC	

GRANULOMETRIA

GHIAIA ⇒0%	SABBIA ⇒51%	LIMO ⇒31%	ARGILLA ⇒ 18%
D_{10}⇒ mm	D_{50}⇒ mm	D_{60}⇒ mm	D_{90}⇒ mm

SCISSOMETRO
τ_{fmax} = kg/cm²
τ_{fres} = kg/cm²

COMPRESSIONE SEMPLICE
σ_f = kg/cm²

SCATOLA DI TAGLIO
c = 0 kg/cm²
ϕ = 35°

COMPRESSIONE TRIASSIALE

CONSOLIDATA DRENATA	CONSOLIDATA NON DRENATA		NON CONSOLIDATA NON DRENATA
	Tensioni efficaci	Tensioni totali	
c_d = kg/cm²	c'_{cu} = kg/cm²	c_{cu} = kg/cm²	c_u = kg/cm²
ϕ_d =	ϕ'_{cu} =	ϕ_{cu} =	ϕ_u =

PROVA EDOMETRICA

σ (kg/cm²)	0.00-0.125	0.125-0.25	0.25-0.5	0.5-1	1-2	2-4	4-8	8-16	16-32
E (kg/cm²)									
c_v (cm²/s)									
k (cm/s)									

Note: Sabbia medio fine limosa di colore grigio bruno, mediamente addensata e sciolta.

Roma, 8 ottobre 1997

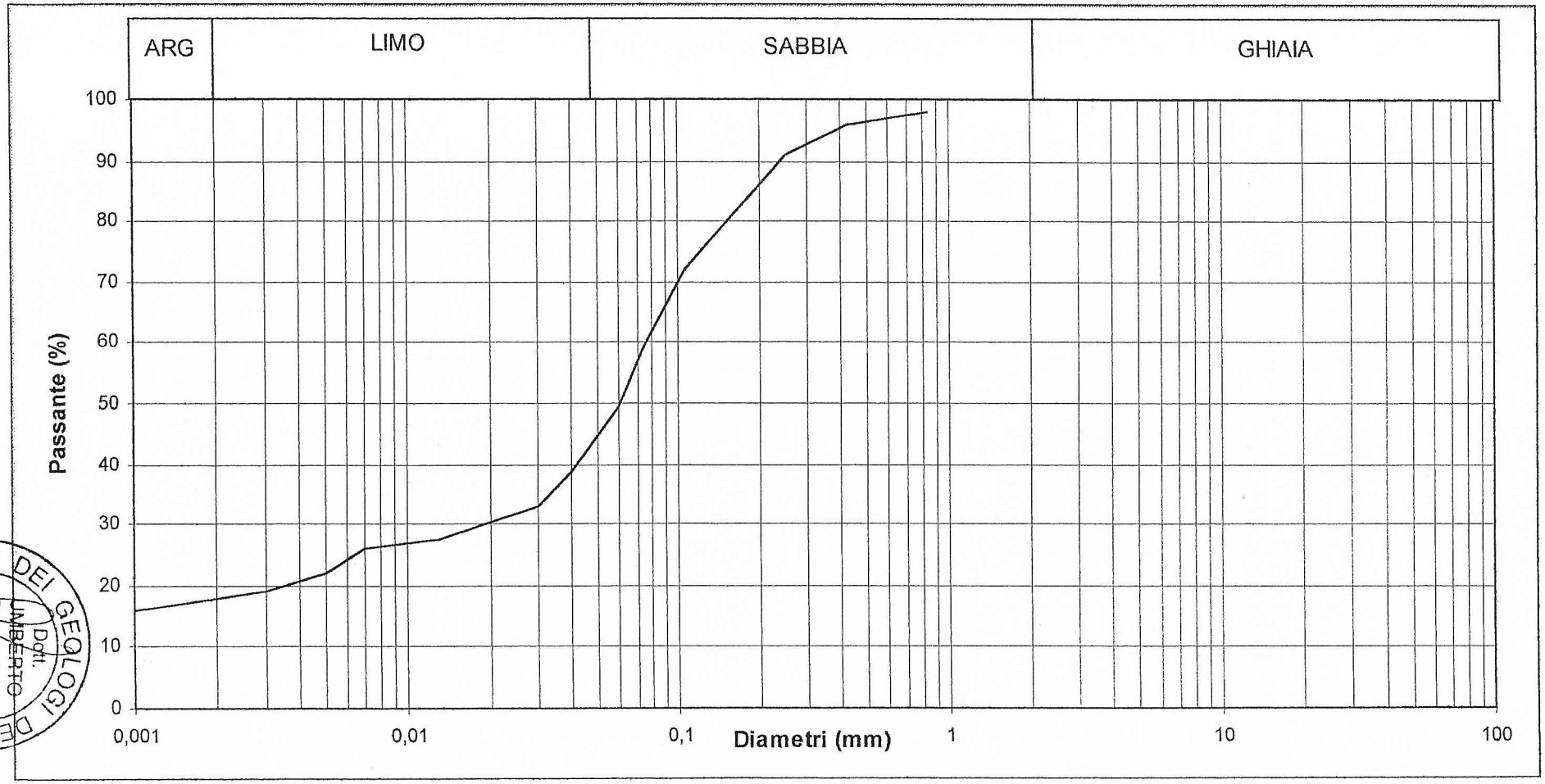
ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO
Dott. UMBERTO CLEMENTI
Geologo
A.P. n. 902

GEOMARE S.r.l.

COMMITTENTE: A.T.I. S.r.l.
PROGETTO: NUOVO PORTO TURISTICO - OSTIA (ROMA)

SONDAGGIO N° 2 **CAMPIONE N° 3** **PROFONDITA' m. 10,00-10,50**

ANALISI GRANULOMETRICA



ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO
Dott. UMBERTO CLEMENTI
Geologo
A.P. n. 902

GEOMARE S.r.l.

COMMITTENTE: A.T.I. S.r.l.
PROGETTO: NUOVO PORTO TURISTICO - OSTIA (ROMA)

SONDAGGIO N° 2 **CAMPIONE N° 3** **PROFONDITA' m. 10,00-10,50**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Tipo della prova: Consolidata Drenata

Stato del campione: indisturbato

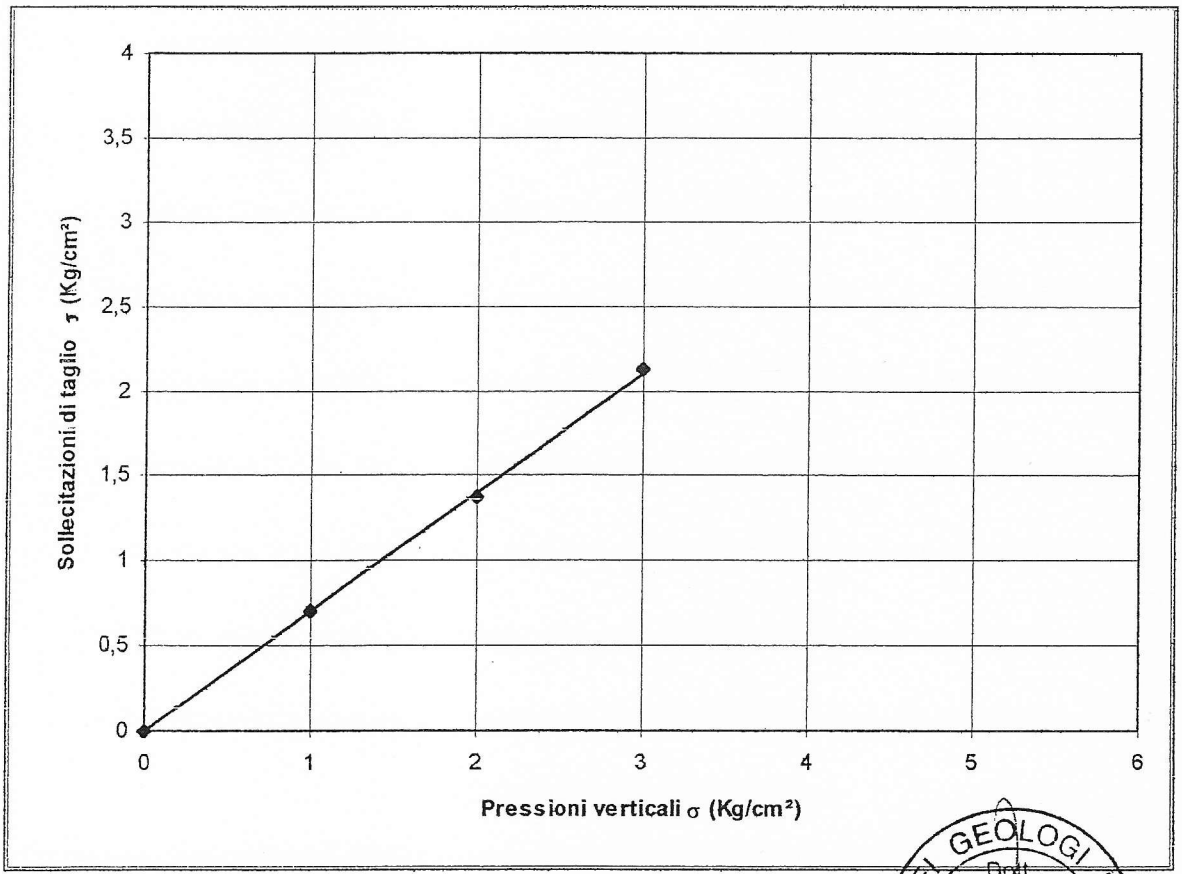
Dimensioni del provino: L = 6 mm
H = 3 mm

Velocità di deformazione: 0,67 mm/h

Provino n°	1	2	3	4
Contenuto in acqua Wi %	21,03	21,03	21,03	
Peso di volume γ: g/cm³	1,80	1,79	1,84	
Pressione verticale σ: Kg/cm²	1	2	3	
Deformazione verticale limite: mm	0,11	0,23	0,29	
Deformazione trasversale limite: mm	5	5	6	
Sollecitazione di taglio limite τ: Kg/cm²	0,71	1,37	2,13	
Contenuto in acqua finale Wf %				

Angolo di attrito interno: ϕ 35 °

Coesione: C = 0 Kg/cm²



ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO
Dott. UMBERTO CLEMENTI Geologo

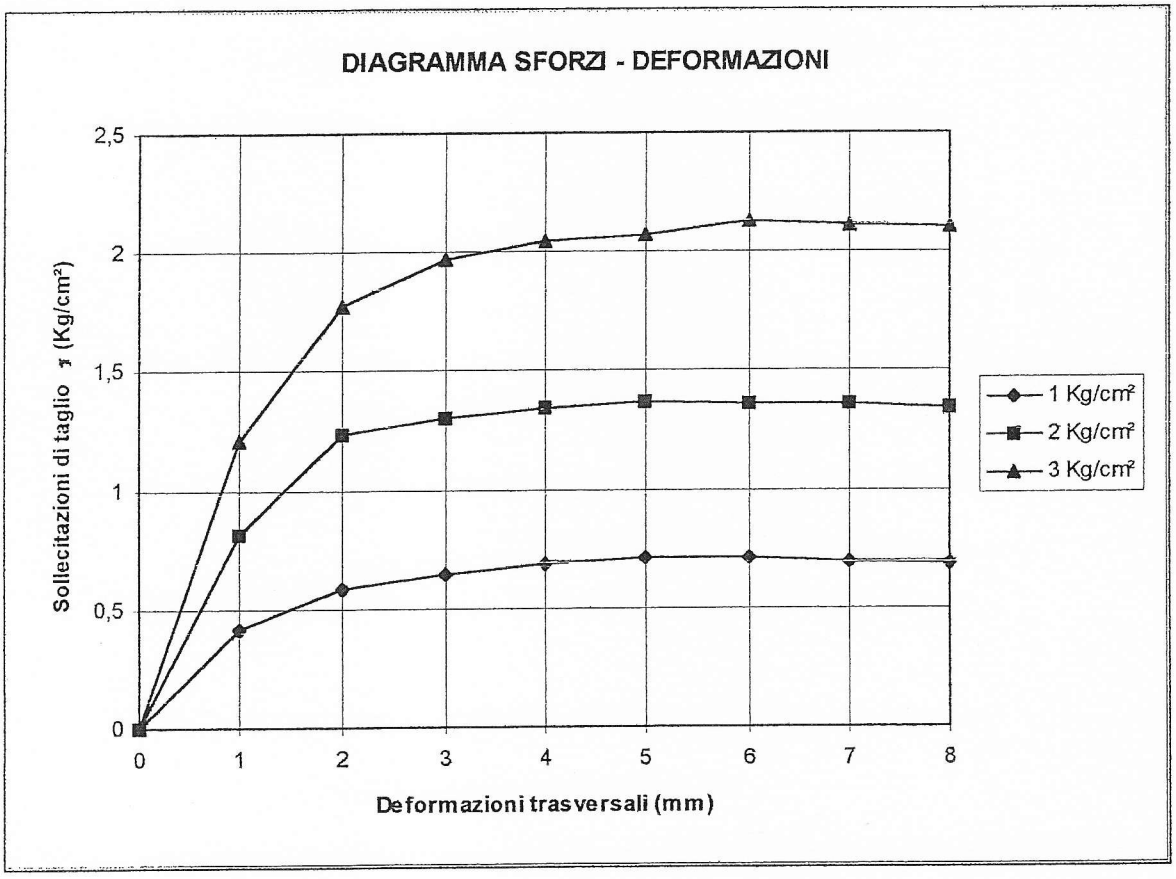
GEOMARE S.r.l.

COMMITTENTE: A.T.I. S.r.l.
PROGETTO: NUOVO PORTO TURISTICO - OSTIA (ROMA)

SONDAGGIO N° 2 **CAMPIONE N° 3** **PROFONDITA' m. 10,00-10,50**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Tipo della prova: Consolidata Drenata Stato del campione: indisturbato



ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO
Dott. UMBERTO CLEMENTI
Geologo
A.P. n. 902

GEOMARE S.r.l.

COMMITTENTE: A.T.I. S.r.l.
PROGETTO: NUOVO PORTO TURISTICO - OSTIA (ROMA)

SONDAGGIO N° 3 **CAMPIONE N° 1** **PROFONDITA' m. 3,00-3,50**

MODULO RIASSUNTIVO

Densità	$\gamma =$	1,73	g/cm³	Umidità naturale	$W_n =$	26,53	%
Densità secca	$\gamma_d =$	1,37	g/cm³	Limite di liquidità	$W_l =$	ND	%
Densità immersa	$\gamma_i =$	0,86	g/cm³	Limite di plasticità	$W_p =$	ND	%
Peso specifico granuli	$\gamma_s =$	2,69	g/cm³	Indice di plasticità	$I_p =$	ND	%
Indice dei vuoti	e =	0,967		Limite di ritiro	$W_s =$		%
Porosità	n =	49,17	%	Indice di consistenza	$I_c =$	ND	%
Grado di saturazione	$S_r =$	73,77	%	Classifificazione USC		SC	

GRANULOMETRIA

GHIAIA ⇒0 %	SABBIA ⇒57 %	LIMO ⇒22 %	ARGILLA ⇒21 %
D_{10}⇒ mm	D_{50}⇒ mm	D_{60}⇒ mm	D_{90}⇒ mm

SCISSOMETRO
τ_{fmax} = kg/cm²
τ_{fres} = kg/cm²

COMPRESSIONE SEMPLICE
σ_f = kg/cm²

SCATOLA DI TAGLIO
c = 0 kg/cm²
$\phi = 33°$

COMPRESSIONE TRIASSIALE

CONSOLIDATA DRENATA	CONSOLIDATA NON DRENATA		NON CONSOLIDATA NON DRENATA
	Tensioni efficaci	Tensioni totali	
c_d = kg/cm²	c'_{cu} = kg/cm²	c_{cu} = kg/cm²	c_u = kg/cm²
ϕ_d =	ϕ'_{cu} =	ϕ_{cu} =	ϕ_u =

PROVA EDOMETRICA

σ (kg/cm²)	0.00-0.125	0.125-0.25	0.25-0.5	0.5-1	1-2	2-4	4-8	8-16	16-32
E (kg/cm²)									
c_v (cm²/s)									
k (cm/s)									

Note: Sabbia medio fine limosa di colore bruno, mediamente addensata e sciolta, con minerali femici.

Roma, 8 ottobre 1997

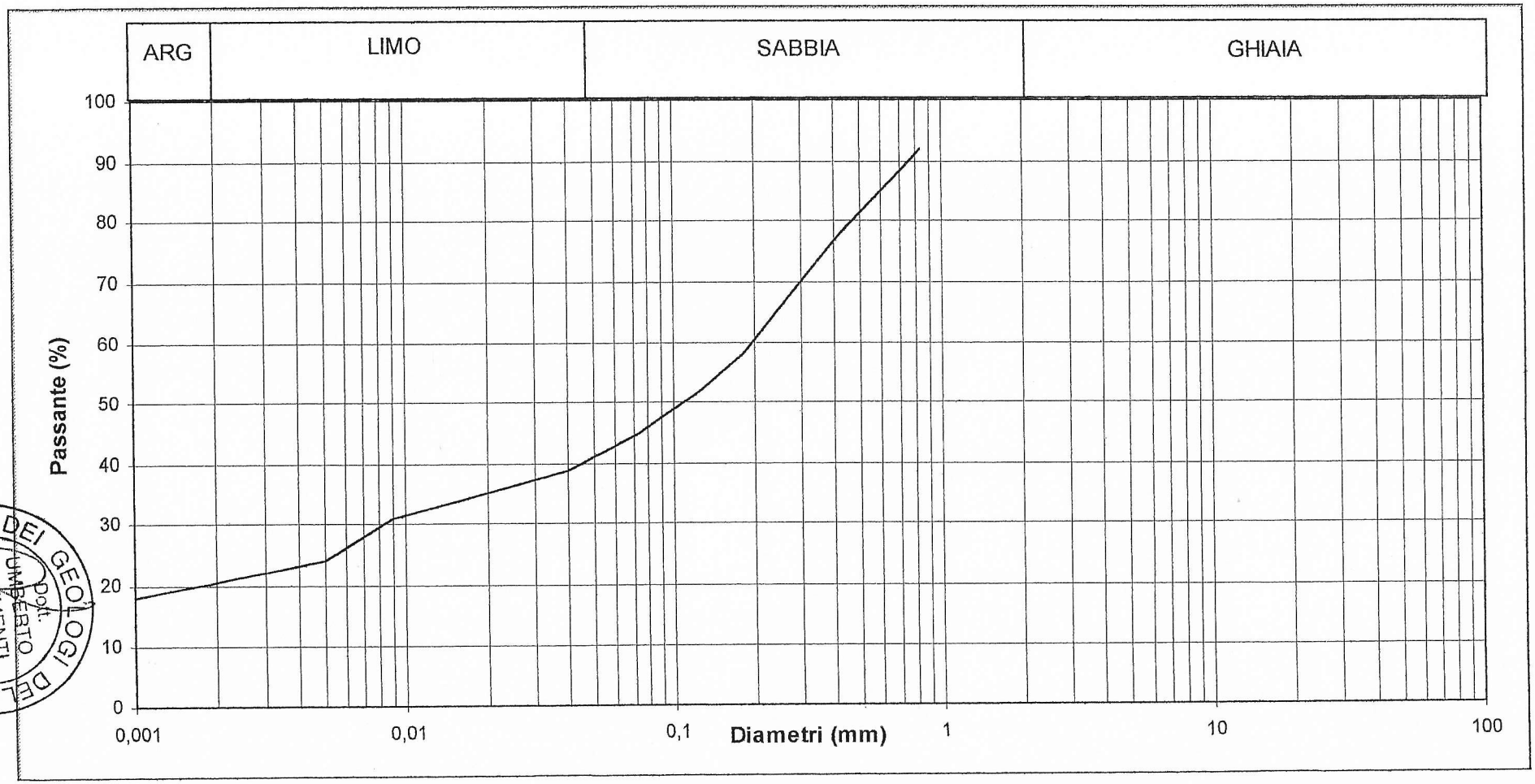
ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO
Dott. UMBERTO CLEMENTI
Geologo
A.P. n. 902

GEOMARE S.r.l.

COMMITTENTE: A.T.I. S.r.l.
PROGETTO: NUOVO PORTO TURISTICO - OSTIA (ROMA)

SONDAGGIO N° 3 **CAMPIONE N° 1** **PROFONDITA' m. 3,00-3,50**

ANALISI GRANULOMETRICA



ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO
Dott. UMBERTO CLEMENTI Geologo
A.P. n. 902

GEOMARE S.r.l.

COMMITTENTE: A.T.I. S.r.l.
PROGETTO: NUOVO PORTO TURISTICO - OSTIA (ROMA)

SONDAGGIO N° 3 **CAMPIONE N° 1** **PROFONDITA' m. 3,00-3,50**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Tipo della prova: Consolidata Drenata

Stato del campione: indisturbato

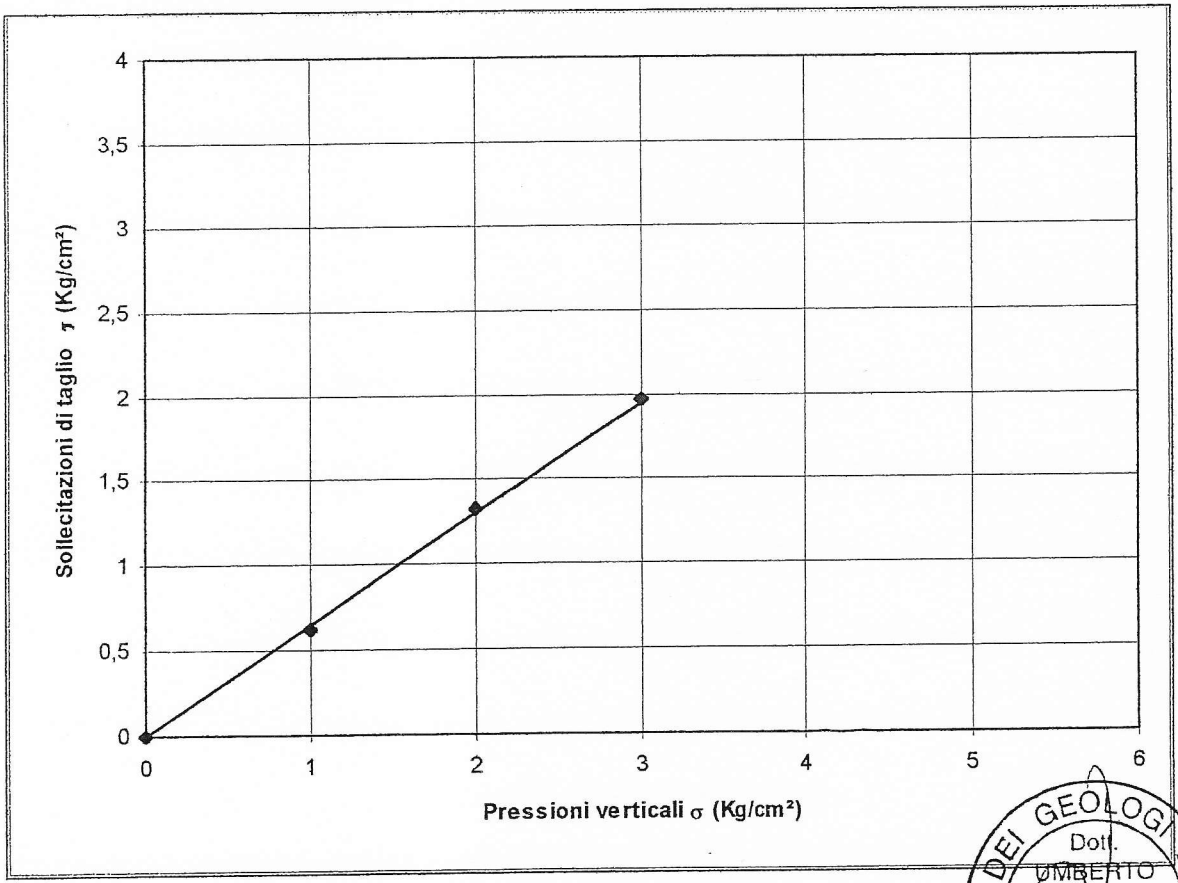
Dimensioni del provino: L = 6 mm
H = 3 mm

Velocità di deformazione: 0,67 mm/h

Provino n°	1	2	3	4
Contenuto in acqua Wi %	26,53	26,53	26,53	
Peso di volume γ: g/cm³	1,73	1,75	1,11	
Pressione verticale σ: Kg/cm²	1	2	3	
Deformazione verticale limite: mm	0,10	0,16	0,22	
Deformazione trasversale limite: mm	5,50	5,50	6,00	
Sollecitazione di taglio limite τ: Kg/cm²	0,62	1,33	1,97	
Contenuto in acqua finale Wf %				

Angolo di attrito interno: ϕ 33 °

Coesione: C = 0 Kg/cm²



ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO
Dott. UMBERTO CLEMENTI
Geologo
A.P. n. 902

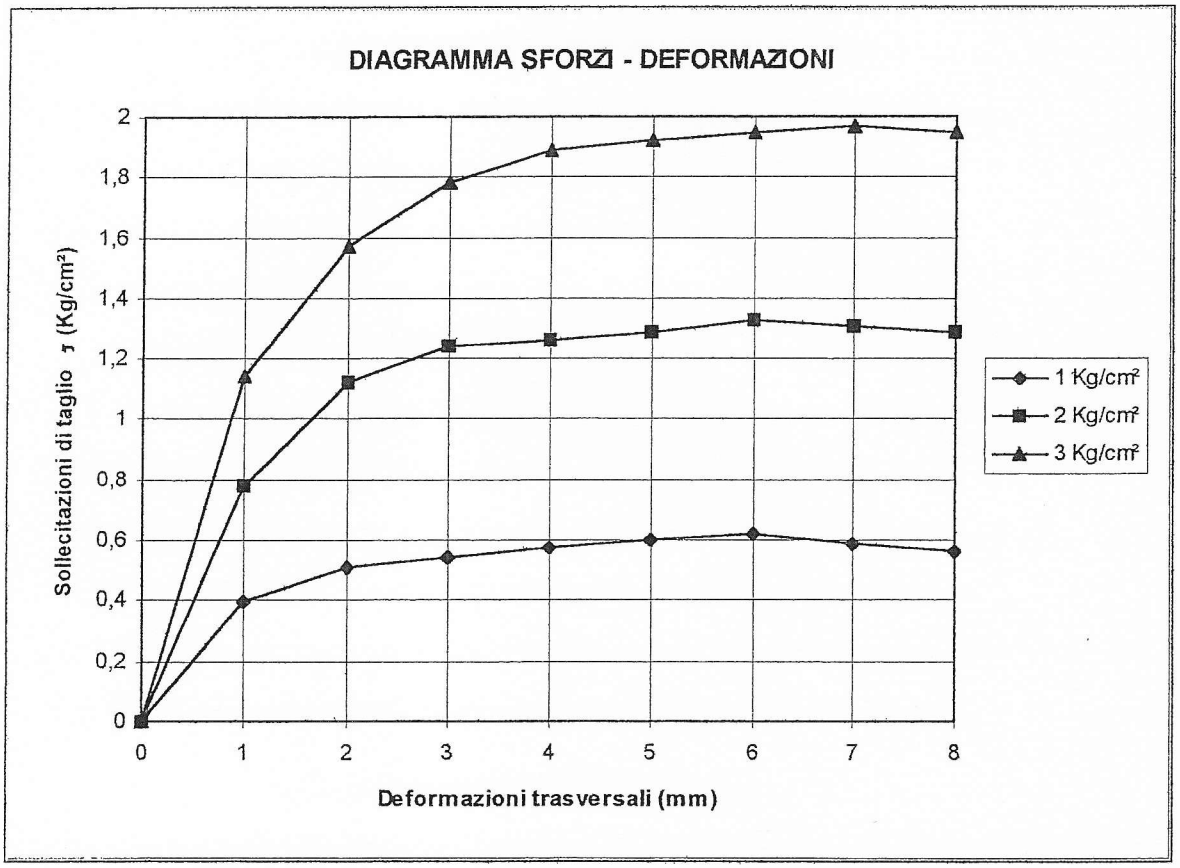
GEOMARE S.r.l.

COMMITTENTE: A.T.I. S.r.l.
PROGETTO: NUOVO PORTO TURISTICO - OSTIA (ROMA)

SONDAGGIO N° 3 **CAMPIONE N° 1** **PROFONDITA' m. 3,00-3,50**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Tipo della prova: Consolidata Drenata Stato del campione: indisturbato



ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO
Dott. UMBERTO CLEMENTI
Geologo
A. p. n. 902

GEOMARE S.r.l.

COMMITTENTE: A.T.I. S.r.l.
PROGETTO: NUOVO PORTO TURISTICO - OSTIA (ROMA)

SONDAGGIO N° 3 **CAMPIONE N° 2** **PROFONDITA' m. 7,00-7,50**

MODULO RIASSUNTIVO

Densità	$\gamma =$	1,83	g/cm³	Umidità naturale	$W_n =$	30,03	%
Densità secca	$\gamma_d =$	1,41	g/cm³	Limite di liquidità	$W_l =$	ND	%
Densità immersa	$\gamma_i =$	0,89	g/cm³	Limite di plasticità	$W_p =$	ND	%
Peso specifico granuli	$\gamma_s =$	2,74	g/cm³	Indice di plasticità	$I_p =$	ND	%
Indice dei vuoti	$e =$	0,947		Limite di ritiro	$W_s =$		%
Porosità	$n =$	48,64	%	Indice di consistenza	$I_c =$	ND	%
Grado di saturazione	$S_r =$	86,90	%	Classifificazione USC		SC	

GRANULOMETRIA

GHIAIA ⇒0%	SABBIA ⇒51%	LIMO ⇒32%	ARGILLA ⇒17 %
D_{10}⇒ mm	D_{50}⇒ mm	D_{60}⇒ mm	D_{90}⇒ mm

SCISSOMETRO
τ_{fmax} = kg/cm²
τ_{fres} = kg/cm²

COMPRESSIONE SEMPLICE
σ_f = kg/cm²

SCATOLA DI TAGLIO
c = 0 kg/cm²
ϕ = 34°

COMPRESSIONE TRIASSIALE

CONSOLIDATA DRENATA	CONSOLIDATA NON DRENATA		NON CONSOLIDATA NON DRENATA
	Tensioni efficaci	Tensioni totali	
c_d = kg/cm²	c'_{cu} = kg/cm²	c_{cu} = kg/cm²	c_u = kg/cm²
ϕ_d =	ϕ'_{cu} =	ϕ_{cu} =	ϕ_u =

PROVA EDOMETRICA

σ (kg/cm²)	0.00-0.125	0.125-0.25	0.25-0.5	0.5-1	1-2	2-4	4-8	8-16	16-32
E (kg/cm²)									
c_v (cm²/s)									
k (cm/s)									

Note: Sabbia medio fine limosa di colore grigio, mediamente addensata e sciolta.

Roma, 8 ottobre 1997

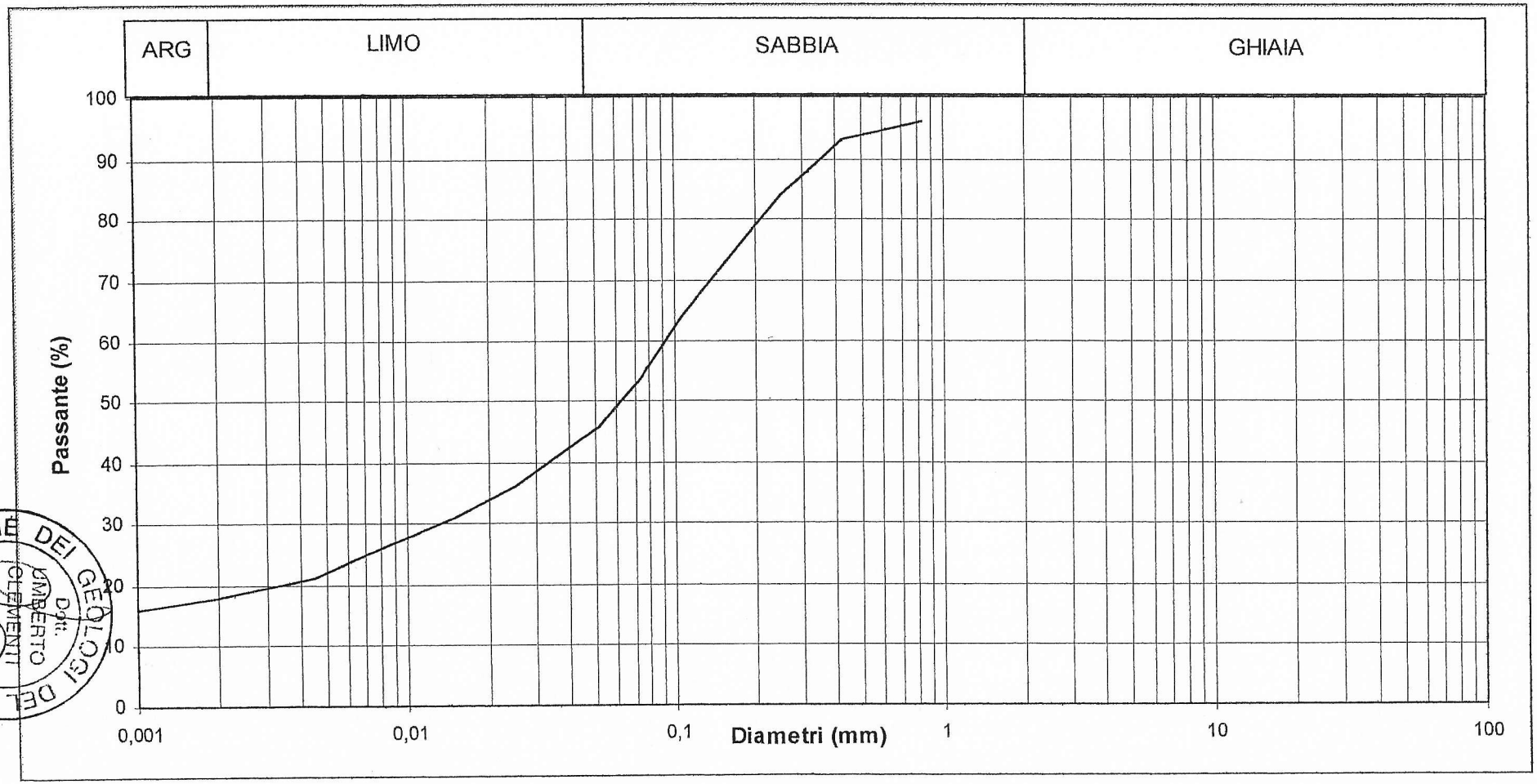
ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO
Dott. UMBERTO CLEMENTI
Geologo
A.P. n. 902

GEOMARE S.r.l.

COMMITTENTE: A.T.I. S.r.l.
PROGETTO: NUOVO PORTO TURISTICO - OSTIA (ROMA)

SONDAGGIO N° 3 **CAMPIONE N° 2** **PROFONDITA' m. 7,00-7,50**

ANALISI GRANULOMETRICA



ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO
Dott. UMBERTO CLEMENTI
Geologo
A.P. n. 902

GEOMARE S.r.l.

COMMITTENTE: A.T.I. S.r.l.
PROGETTO: NUOVO PORTO TURISTICO - OSTIA (ROMA)

SONDAGGIO N° 3 **CAMPIONE N° 2** **PROFONDITA' m. 7,00-7,50**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Tipo della prova: Consolidata Drenata

Stato del campione: indisturbato

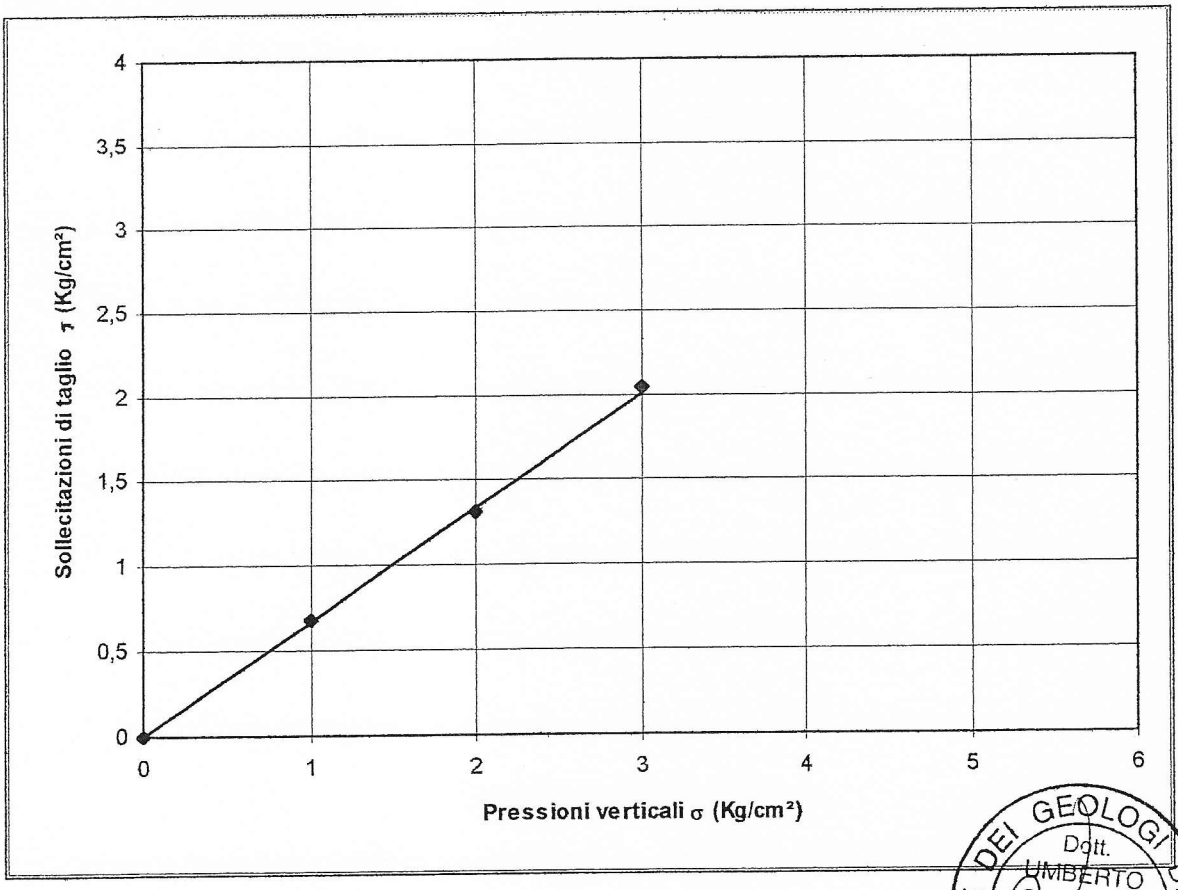
Dimensioni del provino: L = 6 mm
H = 3 mm

Velocità di deformazione: 0,67 mm/h

Provino n°	1	2	3	4
Contenuto in acqua Wi %	30,03	30,03	30,03	
Peso di volume γ: g/cm³	1,83	1,83	1,83	
Pressione verticale σ: Kg/cm²	1	2	3	
Deformazione verticale limite: mm	0,12	0,17	0,24	
Deformazione trasversale limite: mm	5,00	5,50	6,00	
Sollecitazione di taglio limite τ: Kg/cm²	0,66	1,32	2,05	
Contenuto in acqua finale Wf %				

Angolo di attrito interno: ϕ 34 °

Coesione: C = 0 Kg/cm²



ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO
Dott. UMBERTO CLEMENTI
Geologo
A.P. n. 902

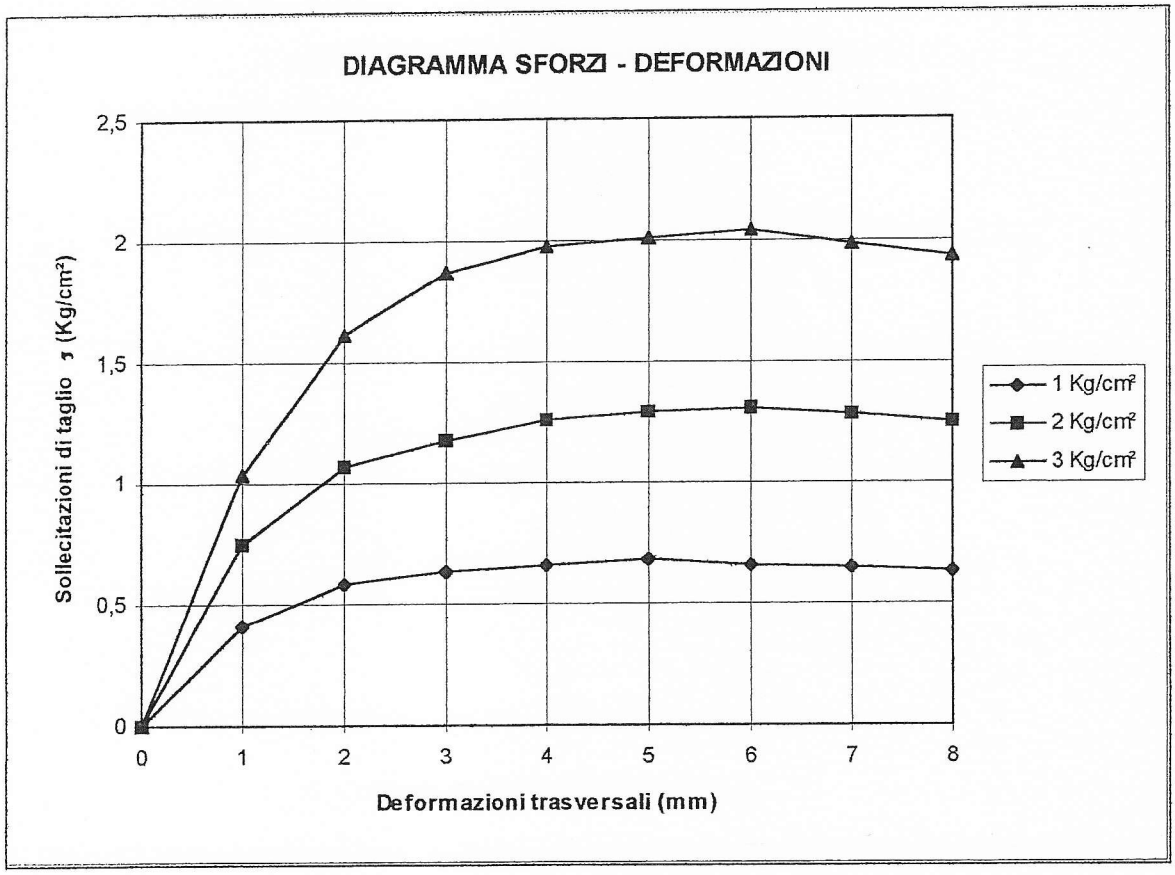
GEOMARE S.r.l.

COMMITTENTE: A.T.I. S.r.l.
PROGETTO: NUOVO PORTO TURISTICO - OSTIA (ROMA)

SONDAGGIO N° 3 **CAMPIONE N° 2** **PROFONDITA' m. 7,00-7,50**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Tipo della prova: Consolidata Drenata Stato del campione: indisturbato



ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO
Dott. UMBERTO CLEMENTI
Geologo
A.P. n. 302

GEOMARE S.r.l.

COMMITTENTE: A.T.I. S.r.l.
PROGETTO: NUOVO PORTO TURISTICO - OSTIA (ROMA)

SONDAGGIO N° 3 **CAMPIONE N° 3** **PROFONDITA' m. 12,00-12,50**

MODULO RIASSUNTIVO

Densità	$\gamma =$	1,77	g/cm³	Umidità naturale	$W_n =$	33,12	%
Densità secca	$\gamma_d =$	1,33	g/cm³	Limite di liquidità	$W_l =$	38	%
Densità immersa	$\gamma_i =$	0,84	g/cm³	Limite di plasticità	$W_p =$	18	%
Peso specifico granuli	$\gamma_s =$	2,71	g/cm³	Indice di plasticità	$I_p =$	20	%
Indice dei vuoti	$e =$	1,038		Limite di ritiro	$W_s =$		%
Porosità	$n =$	50,94	%	Indice di consistenza	$I_c =$	0,24	%
Grado di saturazione	$S_r =$	86,46	%	Classifificazione USC		CL	

GRANULOMETRIA

GHIAIA ⇒0 %	SABBIA ⇒31 %	LIMO ⇒51%	ARGILLA ⇒18 %
D_{10}⇒ mm	D_{50}⇒ mm	D_{60}⇒ mm	D_{90}⇒ mm

SCISSOMETRO
τ_{fmax} = kg/cm²
τ_{fres} = kg/cm²

COMPRESSIONE SEMPLICE
σ_f = kg/cm²

SCATOLA DI TAGLIO
c = 0 kg/cm²
$\phi = 34°$

COMPRESSIONE TRIASSIALE

CONSOLIDATA DRENATA	CONSOLIDATA NON DRENATA		NON CONSOLIDATA NON DRENATA
	Tensioni efficaci	Tensioni totali	
c_d = kg/cm²	c'_{cu} = kg/cm²	c_{cu} = kg/cm²	c_u = kg/cm²
$\phi_d =$	$\phi'_{cu} =$	$\phi_{cu} =$	$\phi_u =$

PROVA EDOMETRICA

σ (kg/cm²)	0.00-0.125	0.125-0.25	0.25-0.5	0.5-1	1-2	2-4	4-8	8-16	16-32
E (kg/cm²)	6	12	17	30	49	79	124	210	326
c_v (cm²/s)									
k (cm/s)									

Note: Limo sabbioso fine debolmente argilloso di colore grigio, a medio consistenza e plasticità, con tracce di sostanza organica.

Roma, 8 ottobre 1997

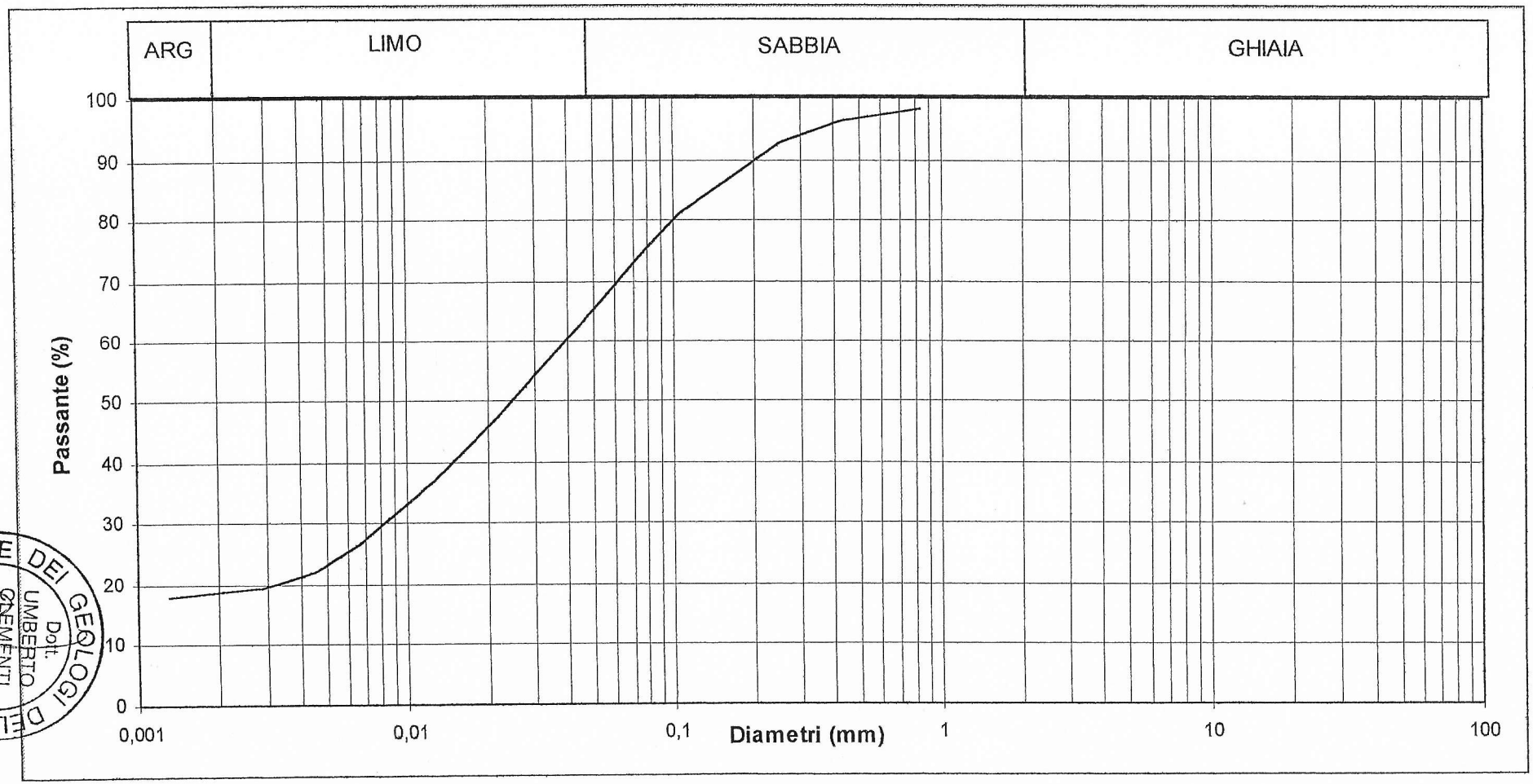
ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO
Dott. UMBERTO CLEMENTI
Geologo
A.P.L. n. 902

GEOMARE S.r.l.

COMMITTENTE: A.T.I. S.r.l.
PROGETTO: NUOVO PORTO TURISTICO - OSTIA (ROMA)

SONDAGGIO N° 3 **CAMPIONE N° 3** **PROFONDITA' m. 12,00-12,50**

ANALISI GRANULOMETRICA



ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO
Dott. UMBERTO CLEMENTI
Geologo
A.P. n. 902

2) MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLE INDAGINI

Al fine di valutare le caratteristiche geolitologiche dell'area in esame, l'andamento stratigrafico delle formazioni nel sottosuolo, nonché di definire il complesso delle caratteristiche idrauliche e geomeccaniche dei terreni di fondazione, è stato predisposto ed eseguito un programma di indagini così articolato:

a) all'interno dell'area compresa tra la fine del Lungomare Duca degli Abruzzi e Via dell'Idroscalo, dove è prevista la realizzazione di un nuovo porto turistico, è stato condotto uno studio geologico tecnico articolato in due fasi: nella prima sono stati eseguiti 4 sondaggi meccanici a rotazione ed a carotaggio continuo (numerati da 1 a 4), ciascuno della profondità di 20 m; nella seconda fase invece sono stati effettuati 10 sondaggi meccanici a rotazione ed a carotaggio continuo (contraddistinti con una sigla da T1 a T10), sempre della profondità di 20 m. In entrambe le campagne geognostiche si è utilizzata una sonda meccanica CMV MK 420 a funzionamento idraulico; quest'ultima nella prima fase era provvista di un sistema di perforazione a carotiere semplice di diametro esterno pari a 101 mm mentre nella seconda era dotata di un carotiere doppio (Ware Line) di diametro esterno pari a 110 mm. La percentuale di recupero conseguita è risultata nel complesso bassa (in media $R < 50\%$);

b) nel corso delle suddette perforazioni sono state svolte, nel complesso, 30 prove penetrometriche dinamiche S.P.T. (Standard Penetration Test) (8 nella prima fase e 22 nella seconda) utilizzando allo scopo un campionatore standard a punta aperta (con contenitore) ed un maglio da 140 lbs con caduta controllata da altezza pari a 75 cm. I risultati di queste prove, espressi in termini di avanzamento relativo colpi/piede, sono riportati sulle colonne stratigrafiche dei sondaggi, allegate alla presente relazione, in corrispondenza del livello di terreno indagato;

c) nel corso della seconda fase di studio sono stati effettuati, al largo della costa, 10 sondaggi sottomarini a carotaggio continuo (contraddistinti da una sigla da M1 a M10), ciascuno

della profondità di 10 m; a tale scopo si è utilizzata una sonda a funzionamento idraulico e provvista di un sistema di perforazione a carotiere semplice del diametro di 80 cm. La percentuale di recupero è risultata nel complesso bassa (R < del 50 %);

d) durante l'intera campagna di indagini geognostiche sono stati prelevati, con campionatore Shelby, 43 campioni indisturbati (13 nel corso della studio preliminare e 30, di cui 10 in mare e 20 a terra, durante la seconda campagna di indagini) che risultano opportunamente distribuiti all'interno delle singole formazioni incontrate nel sottosuolo, in modo da poterle caratterizzare dal punto di vista fisico - meccanico;

e) tutti i campioni sono stati successivamente analizzati in laboratorio al fine di determinare i parametri geotecnici del substrato interagente con le fondazioni;

f) in prossimità dei sondaggi geognostici di terra sono state eseguite 12 prove penetrometriche statiche, 4 nella prima fase (PA, PB, PC e PD) e 8 nella seconda (da P1 a P8), utilizzando un penetrometro da 20 ton a punta elettrica, dotato di un manicotto laterale, e con inclinometro inserito; i risultati delle prove sono rappresentati in diagrammi dove in ordinate sono indicate le profondità ed in ascisse i valori di resistenza alla punta (R_p), di resistenza d'attrito laterale (R_l), entrambi espressi in Kg/cm², e l'angolo di deviazione dalla verticale.

Per tutte le notizie relative alle determinazioni geolitologiche eseguite in sito, alla natura e consistenza dei tipi litologici attraversati, alle quote di prelievo dei campioni indisturbati, occorre riferirsi agli allegati ed agli elaborati grafici, nonché alle colonne stratigrafiche, riportate in appendice alla presente relazione.

Tutte le indagini eseguite sono state effettuate tenendo nel debito conto le raccomandazioni AGI del 1977, inerenti alle indagini e prospezioni geognostiche.

3) INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

L'area in esame si sviluppa in prossimità del delta del Fiume Tevere. In tale settore, alla fine del periodo glaciale Wurm (circa 20.000 anni fa), quando il livello del mare si trovava ad una quota più bassa di circa 120 m di quella attuale, la linea di costa risultava spostata di oltre 10 chilometri più ad ovest rispetto alla situazione odierna, mentre il Fiume Tevere, nel suo tratto terminale, scorreva all'interno di una valle ad orientamento all'incirca E-W, che oggigiorno risulta sepolta sotto una coltre di sedimenti recenti. Con il verificarsi dello scioglimento dei primi ghiacci ha avuto inizio un fenomeno di innalzamento del livello marino che ha provocato l'invasione, da parte delle acque del mare, della antica valle del Tevere; per tale motivo si è venuta a creare, all'incirca 13.000 anni fa, un'ampia laguna allungata secondo la direzione E-W, al cui interno sfociava il fiume stesso. In detta fase i sedimenti solidi apportati dal fiume non erano in quantità sufficiente a compensare il sollevamento batimetrico, provocando perciò la migrazione verso terra di un complesso costituito da una barriera esterna, da una laguna interna e dalla foce del Tevere.

All'incirca 8.000 anni fa, con un livello del mare ancora più basso di circa 25 m di quello odierno, la valle fu completamente sommersa e la laguna si estese ulteriormente in direzione NW-SE.

La stabilizzazione del livello marino alla quota attuale avvenne circa 5.000 anni fa e in tale periodo la linea di costa raggiunse il massimo spostamento verso terra; in questa fase gli apporti di sedimenti da parte del Tevere causarono l'avanzamento, all'interno della laguna, della sua foce, fino a consentirgli il raggiungimento della barriera esterna, e provocarono la suddivisione in due distinti settori della laguna stessa. Questa situazione era sicuramente presente in epoca romana, cioè circa 2.000 anni fa.

Successivamente l'avanzamento della foce del Tevere, sia di quella principale che di quella secondaria (il porto canale di Fiumicino scavato in epoca romana) è avvenuta con ritmi diversi nel corso del tempo. L'avanzamento più veloce è stato quello registrato tra il 1400 e l'inizio di questo secolo, probabilmente connesso ad eventi climatici.

Attualmente, dal punto di vista morfologico, il delta del Tevere può essere diviso in due settori: quello più esterno (verso il mare) è caratterizzato da cordoni dunari sabbiosi e quindi da un profilo topografico ondulato con quote massime intorno a 10 metri; il settore più interno è costituita invece da zone pianeggianti prossime al livello del mare o leggermente depresse al cui interno si rinvengono sedimenti limosi, argillosi e torbosi.

4) STRATIGRAFIA

Sulla base dei 24 sondaggi eseguiti (10 a mare e 14 a terra, 4 dei quali realizzati nel corso dello studio preliminare) la successione stratigrafica, procedendo dall'alto verso il basso, può essere così descritta (si vedano le relative stratigrafie allegate in appendice alla presente relazione):

- **Terreno di riporto**

All'interno dei sondaggi S1, S2, S3, S4 e T10 si è riscontrata la presenza di terreno di riporto o rimaneggiato di colore prevalentemente bruno, eterogeneo, a matrice sabbioso limosa, con ciottoli eterogenei ed eterometrici e con frammenti di laterizi. In corrispondenza dei sondaggi S3 e S4, tale litotipo si presenta alternato a livelli di sabbie fini limose di colore bruno deposte dal mare fra le differenti fasi di colmamento antropiche del margine del bacino marino.

Lo spessore di tale litologia è variabile tra i 2 e i 9,50 m, anche se nel sondaggio n° 2 sono state osservate solo delle sabbie rimaneggiate dall'attività antropica.

- **Sabbie**

Tale formazione risulta costituita da sabbie medio fini più o meno limose, ben classate, di colore bruno o grigio scuro, con minerali femici e al cui interno talvolta si rinvengono clasti eterogenei ed eterometrici di forma arrotondata; generalmente risultano da poco a mediamente addensate e sciolte.

Tale litotipo presenta uno spessore variabile, a mare, da 7,5 a 9 m e, lungo la linea di costa, da 6 a 14 m; inoltre risulta intercalato da livelli di limi sabbiosi a bassa consistenza.

- **Limi sabbiosi**

Intercalate alle sabbie ed al di sotto di queste, a partire dagli 8 m a mare e da 14-15 m lungo la linea di costa, si è riscontrata la presenza di limi sabbiosi e di sabbie fini limose di colore bruno o grigio azzurro, da poco a mediamente consistenti, con minerali femici e tracce di sostanze organiche.

- **Argille limose o limi argillosi**

In alcuni sondaggi marini, al di sotto delle sabbie o dei limi sabbiosi, si rinvengono dei limi argillosi debolmente sabbiosi di colore grigio scuro, a media o bassa consistenza e poco plastici, con sostanza organica diffusa ed alcuni livelli torbosi. Tale litologia risulta presente a partire da profondità variabili da 7,5 m a 9 m dal fondale marino.

Anche in alcuni dei sondaggi effettuati in prossimità della linea di costa (sondaggi da T6 a T10) si è riscontrata la presenza di argille limose debolmente sabbiose di colore grigio azzurro, da poco a mediamente consistenti e plastiche, con tracce di sostanza organica. Detto litotipo si rinviene al di sotto dei 15 - 18 m dal piano campagna.

Si segnala, infine, che durante l'esecuzione dei sondaggi lungo la linea di costa, si è riscontrata la presenza di alcune sacche di modesta estensione contenenti acqua in pressione mista a biogas.

5) CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Durante l'esecuzione dei sondaggi, nel corso delle due distinte campagne geognostiche, si è proceduto al prelievo di 43 campioni indisturbati (13 relativi all'indagine preliminare e 30 a quella finale, di cui 10 a mare e 20 a terra) che sono stati analizzati in laboratorio. Tali campioni risultano opportunamente distribuiti all'interno delle singole formazioni incontrate nel sottosuolo, in modo da poterle caratterizzare dal punto di vista fisico-meccanico. Su ognuno di essi sono state effettuate le seguenti analisi geotecniche: analisi granulometrica, determinazione dei parametri fisici (peso di volume, contenuto naturale in acqua, peso specifico dei grani, ecc.), prova di taglio consolidata drenata con apparato di Casagrande e, ove possibile, prova di compressione edometrica. La certificazione attestante l'andamento delle singole prove effettuate è allegata in appendice alla presente relazione.

Si ricorda che i singoli sondaggi sono stati così contraddistinti: quelli relativi all'indagine preliminare da S1 a S4; quelli realizzati lungo la linea di costa nel corso della seconda fase di studio da T1 a T10; quelli sottomarini da M1 a M10.

I litotipi analizzati sono i seguenti:

- **Terreno di riporto**

Durante la prima campagna di indagini geognostiche è stato prelevato un campione di terreno di riporto che è risultato eterogeneo, a granulometria sabbioso argillosa, mediamente consistente, con clasti eterometrici e numerosi frammenti di laterizi; i valori ottenuti dalle prove di laboratorio sono riportati nelle tabelle seguenti:

Campione	Profondità	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
S1C1	1,00-1,50	5%	55%	19%	21%

Camp.	prof.	W	γ	γs	C'	Φ'
S1C1	1,00-1,50	28,4	1,63	2,56	0	31
Unità di misura		%	g/cm³	g/cm³	Kg/cm²	gradi

dove: W = umidità naturale; γ = peso di volume; γs = peso specifico dei grani; C' = coesione drenata; Φ' = angolo di attrito interno.

Dall'analisi dei parametri geotecnici ottenuti, si può ricavare quanto segue:

⇒ sulla base della prova di taglio eseguita (prova consolidata drenata), il campione presenta una coesione drenata (C') nulla ed un angolo di attrito interno (Φ') medio (31°);

⇒ il campione analizzato risulta non plastico e presenta una frazione limoso argillosa del 40%.

- **Sabbie**

In questo gruppo sono compresi i campioni caratterizzati da una netta prevalenza della frazione sabbiosa. Dei campioni analizzati 6 risultano prelevati lungo la linea di costa e 2 a mare.

I valori ottenuti dalle prove di laboratorio sono riportati nelle seguenti tabelle:

CAMPIONI PRELEVATI A TERRA					
Campione	Profondità	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
S4C1	14,50-15,00	0%	77%	12%	11%
T2C1	5,00-5,50	0%	75%	19%	6%
T4C1	5,50-6,00	0%	79%	15%	6%
T4C2	13,00-13,50	0%	77%	16%	7%
T5C1	9,50-10,00	0%	85%	15%	0%
T6C1	9,00-9,50	2%	78%	14%	6%

CAMPIONI PRELEVATI A TERRA							
Camp	prof.	W	γ	γs	e	C'	Φ'
S4C1	14,5-15,0	30,66	1,90	2,76	0,898	0	36
T2C1	5,00-5,50	19,11	1,92	4,74	0,700	0	34
T4C1	5,50-6,00	23,34	1,92	2,76	0,773	0	36
T4C2	13,0-13,5	19,83	1,90	2,71	0,709	0	37
T5C1	9,50-10,00	27,55	1,65	2,72	1,103	0	33
T6C1	9,00-9,50	21,32	2,01	2,69	0,624	0	31
Unità di misura		%	g/cm³	g/cm³		Kg/cm²	gradi

dove: W = umidità naturale; γ = peso di volume; γs = peso specifico dei grani; e = indice dei vuoti; C' = coesione drenata; Φ' = angolo di attrito interno.

CAMPIONI PRELEVATI A MARE					
Campione	Profondità	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
M8C1	5,50-6,00	0%	95%	5%	0%
M10C1	7,00-7,50	0%	99%	1%	0%

CAMPIONI PRELEVATI A MARE							
Camp.	prof.	W	γ	γs	e	C'	Φ'
M8C1	5,50-6,00	31,82	1,71	2,75	1,120	0	39
M10C1	7,00-7,50	38,96	1,73	2,77	1,225	0	35
Unità di misura		%	g/cm³	g/cm³		Kg/cm²	gradi

dove: W = umidità naturale; γ = peso di volume; γs = peso specifico dei grani; e = indice dei vuoti; C' = coesione drenata; Φ' = angolo di attrito interno.

Sulla base dei risultati ottenuti dalle analisi di laboratorio, si possono formulare le seguenti considerazioni:

- dai risultati delle prove di taglio eseguite (prove consolidate drenate), i campioni analizzati presentano valori di coesione drenata (C') nulli e angoli di attrito interno (Φ') medio alti (31°-39°);
- tutti i campioni sono non plastici, risultano da poco a mediamente addensati e sciolti.

- **Sabbie limose**

Qui di seguito sono stati raggruppati tutti quei campioni che presentano una composizione granulometrica caratterizzata da una frazione sabbiosa ancora preponderante (maggiore del 50%) ma in cui la percentuale di limo e argilla risulta maggiore del 25%.

I risultati delle analisi di laboratorio sono sintetizzati nelle sottostanti tabelle:

CAMPIONI PRELEVATI A TERRA					
Campione	Profondità	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
S1C3	10,50-11,00	0%	54%	27%	19%
S1C4	17,00-17,50	0%	61%	26%	13%
S2C2	8,00-8,50	0%	53%	26%	21%
S2C3	10,00-10,50	0%	51%	31%	18%
S3C1	3,00-3,50	0%	57%	22%	21%
S3C2	7,00-7,50	0%	51%	32%	17%
S3C4	16,00-16,50	0%	55%	28%	17%
T1C1	3,00-3,50	0%	63%	29%	8%
T1C2	8,50-9,00	0%	60%	31%	9%
T6C2	16,00-16,50	0%	63%	31%	6%

CAMPIONI PRELEVATI A TERRA (II parte)					
Campione	Profondità	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
T7C1	7,00-7,50	0%	58%	29%	13%
T7C2	14,00-14,50	0%	51%	34%	15%
T9C1	5,00-5,50	0%	67%	19%	14%

CAMPIONI PRELEVATI A TERRA								
Camp.	prof.	W	γ	γs	e	C'	Φ'	Cc
S1C3	10,5-11,0	29,52	1,88	2,69	0,853	0	34	
S1C4	17,0-17,5	29,87	1,84	2,71	0,913	0	34	
S2C2	8,00-8,50	19,55	1,96	2,67	0,632	0	37	0,11
S2C3	10,0-10,5	21,03	1,81	2,70	0,805	0	35	
S3C1	3,00-3,50	26,53	1,73	2,69	0,967	0	33	
S3C2	7,00-7,50	30,03	1,83	2,74	0,947	0	34	
S3C4	16,0-16,5	28,92	1,81	2,72	0,937	0	33	
T1C1	3,00-3,50	25,21	1,69	2,69	0,993	0	32	
T1C2	8,50-9,00	18,80	1,76	2,73	0,843	0	30	
T6C2	16,0-16,5	31,96	1,79	2,74	1,020	0	31	0,24
T7C1	7,00-7,50	27,15	1,89	2,72	0,830	0	33	
T7C2	14,0-14,5	24,26	1,99	2,75	0,717	0	35	
T9C1	5,00-5,50	26,20	1,97	2,73	0,749	0	33	
Unità di misura		%	g/cm³	g/cm³		Kg/cm²	gradi	

dove: W = umidità naturale; γ = peso di volume; γs = peso specifico dei grani; e = indice dei vuoti; C' = coesione drenata; Φ' = angolo di attrito interno; Cc = indice di compressione.

CAMPIONI PRELEVATI A MARE					
Campione	Profondità	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
M1C1	8,00-8,50	0%	54%	42%	4%
M2C1	5,00-5,50	0%	57%	38%	5%
M4C1	4,50-5,00	0%	53%	29%	18%
M5C1	5,00-5,50	0%	59%	29%	12%
M7C1	9,00-9,50	0%	53%	36%	11%
M9C1	9,50-10,00	0%	70%	25%	5%

CAMPIONI PRELEVATI A MARE							
Camp.	prof.	W	γ	γs	e	C'	Φ'
M1C1	8,00-8,50	29,59	1,76	2,76	1,032	0	33
M2C1	5,00-5,50	23,97	1,67	2,68	0,989	0	32
M4C1	4,50-5,00	27,42	1,92	2,66	0,765	0	31
M5C1	5,00-5,50	27,40	1,97	2,75	0,778	0	32
M7C1	9,00-9,50	28,31	1,92	2,73	0,824	0	31
M9C1	9,50-10,00	32,36	1,72	2,76	1,124	0	33
Unità di misura		%	g/cm³	g/cm³		Kg/cm²	gradi

dove: W = umidità naturale; γ = peso di volume; γs = peso specifico dei grani; e = indice dei vuoti; C' = coesione drenata; Φ' = angolo di attrito interno.

Dall'analisi dei parametri geotecnici ottenuti si può osservare quanto segue:

$\Rightarrow$ le prove di taglio (prove consolidate drenate), eseguite su tutti i campioni analizzati, hanno fornito valori di coesione drenata (C') nulli mentre gli angoli di attrito interno (Φ') sono