REGIONE SICILIA

Provincia di Trapani

Comune di Marsala

PROGETTO DEFINITIVO MARINA DI MARSALA
FUTURO PIANO REGOLATORE PORTUALE

Tav.	Stato Progetto	Rev.	Data	Scala
AP	DEFINITIVO		**Aprile 2014**	

Descrizione

Relazione geotecnica

R.08

Committente

M.Y.R. Marsala Yachting Resort S.r.l.

Via Favara 452/c bis- T. +39 0923 722319

Marsala Yachting Resort

Capo Progetto e Marina Designer

Ing. Massimo Ombra

Ordine degli Ing. della Provincia di Trapani n°1046

Timbro e Firma

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Trapani
Ing. Massimo OMBRA
Marsala
n. 1046
TRAPANI

Progettisti

Coordinamento gruppo di progettazione:	Ing. Francesco Di Noto
Progettazione Architettonica:	Arch. Stefania Bacci
Progettazione Architettonica:	Itineralab Srl - Architetti Nuzzo
Ingegneria marittima / civile e studi ambientali:	Ing. Antonio D'Arrigo

Collaborazioni

Opere marittime:	Ing. Agostino La Rosa
Analisi strutturali e geotecniche:	Ing. Nicola Rustica
Impianti idrici:	Ing. Giovanni Berbiglia
Impianti elettrici e di illuminazione:	Ing. Pietro Inferrera / Ing. Massimo Brancatelli
Aspetti ambientali:	Ing. Domenico Mangano
Studi geologici e geotecnici:	Dott. Piero Merk Ricordi

QUESTO DOCUMENTO PUÒ ESSERE UTILIZZATO ESCLUSIVAMENTE PER LE FINALITÀ PREVISTE DAL CONTRATTO IN BASE AL QUALE LO STESSO È STATO FORNITO; LA RIPRODUZIONE, LA CESSIONE E COMUNQUE OGNI UTILIZZO PER FINALITÀ DIVERSE SONO VIETATE IN ASSENZA DI PREVENTIVA AUTORIZZAZIONE DA PARTE DEL RESPONSABILE DEL DOCUMENTO. IL CONTENUTO DEL DOCUMENTO È PROTETTO DALLE NORME SUL DIRITTO D'AUTORE E LA PROPRIETÀ INTELLETTUALE

REGIONE SICILIANA

COMUNE DI MARSALA

Provincia di Trapani

*****

PROGETTO DEL PORTO TURISTICO

Marina di Marsala

*****

Committente: M.Y.R. Marsala Yachting Resort S.r.l

*****

RELAZIONE GEOTECNICA

*****

INDICE

1. GENERALITÀ 1

1.1. PREMESSA 1
1.2. RELAZIONI DI RIFERIMENTO 1

2. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI 2

2.1. PREMESSA 2
2.2. STRATIGRAFIA 2
2.3. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SPT 5
2.4. CORRELAZIONI EMPIRICHE 14
2.5. CARATTERISTICHE DEI TERRENI SECONDO LE PROVE SPT 19
2.6. INDAGINI GEOFISICHE 22
2.7. PROVE DI LABORATORIO 23
2.8. CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI TERRENI 52
2.9. CALCOLO DEL MODULO DI REAZIONE 53

3. CONCLUSIONI 56

1. GENERALITÀ

1.1. PREMESSA

La presente relazione geotecnica si riferisce alle opere relative al ***"Progetto del Porto Turistico Marina di Marsala"***.

Nella presente relazione sono descritte

a) le stratigrafie per le varie zone dell'area portuale;
b) sono analizzatele prove penetrometriche eseguite;
c) sono ricavati mediante le correlazioni empiriche i valori dei parametri meccanici dei terreni;
d) sono descritte le indagini geofisiche per la determinazione della categoria di suolo dei terreni ai fini dei calcoli sismici;
e) sono analizzate le prove di laboratorio per la definizione delle proprietà indici, del modulo edometrico estratto dalla prova edometrica quando eseguita e per i valori delle caratteristiche meccaniche ricavate dalla prova di taglio diretto;

Definite quindi le caratteristiche meccaniche dei terreni, si sono calcoli i moduli di reazione utili per il calcolo degli edifici nelle variezone.

1.2. RELAZIONI DI RIFERIMENTO

Per la redazione della presente relazione geotecnica si è fatto riferimento alle seguenti relazioni:

[1] Relazione Geologica redatta dal Dott. Geol. Piero Merk Ricordi

[2] Aggiornamento e riorganizzazione dell'area portuale di Marsala – Progetto definitivo, Piano di Indagine Geognostica, Piano di Caratterizzazione Ambientale redatto da Si.Ar. Trivellazioni.

2. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

2.1. PREMESSA

La caratterizzazione dei terreni è stata eseguita sulla base delle indagini eseguite e riportate nella relazione [2]. La campagna di indagini si è articolata mediante l'esecuzione di n.ro 7 sondaggi meccanici a carotaggio continuo. sono stati eseguiti nel corso delle indagini dei campionamenti ambientali su otto aree distribuite nello specchio acqueo del Porto di Marsala.

I carotaggi sono stati eseguiti con una sonda idraulica a rotazione a carotaggio continuo con una profondità di investigazione da 10.00 m a 36.00 m misurata dal piano a quota batimetrica per i sondaggi eseguiti a mare e da boccaforo per i sondaggi eseguiti a terra. Nel corso dei sondaggi sono state eseguite delle prove penetrometriche dinamiche SPT e sono stati prelevati campioni indisturbati con cmpionatore tipo Schelby. I campioni sono stati successivamente portati in laboratorio delle terre per le analisi fisiche e meccaniche.

Le prove penetrometriche SPT sono state eseguite con cmpionatore Raymond utilizzando la punta conica. Il dispositivo di battuta impiegato è il maglio standard del peso do 63.5 kg con volata di 760 mm con dispositivo di sganciamento automatico tipo Pilcon. Per il collegamento tra il maglio ed in campionatore sono state utilizzate aste del diametro di 76 mm del peso di 11.4 kg/m.

Per i campionamenti di sedimenti marini sono stati impiegati campionatori vibranti "vibrocorer" I campioni di sedimenti marini sono stati inviati al laboratorio CE.FLT. srl di Avola (SR) per l'esecuzione delle analisi chimico, fisiche e batteriologice dei sedimenti del fondale marino. Sono state eseguite inoltre indagini sismiche e sondaggi elettici verticali (SEV).

2.2. STRATIGRAFIA

Le stratigrafie sono state desunte attraverso l'analisi di otto sondaggi a carotaggio continuo ubicati nelle varie zone del porto turistico. L'ubicazione dei sondaggi è riportata nella planimetria di Fig. 2.1.

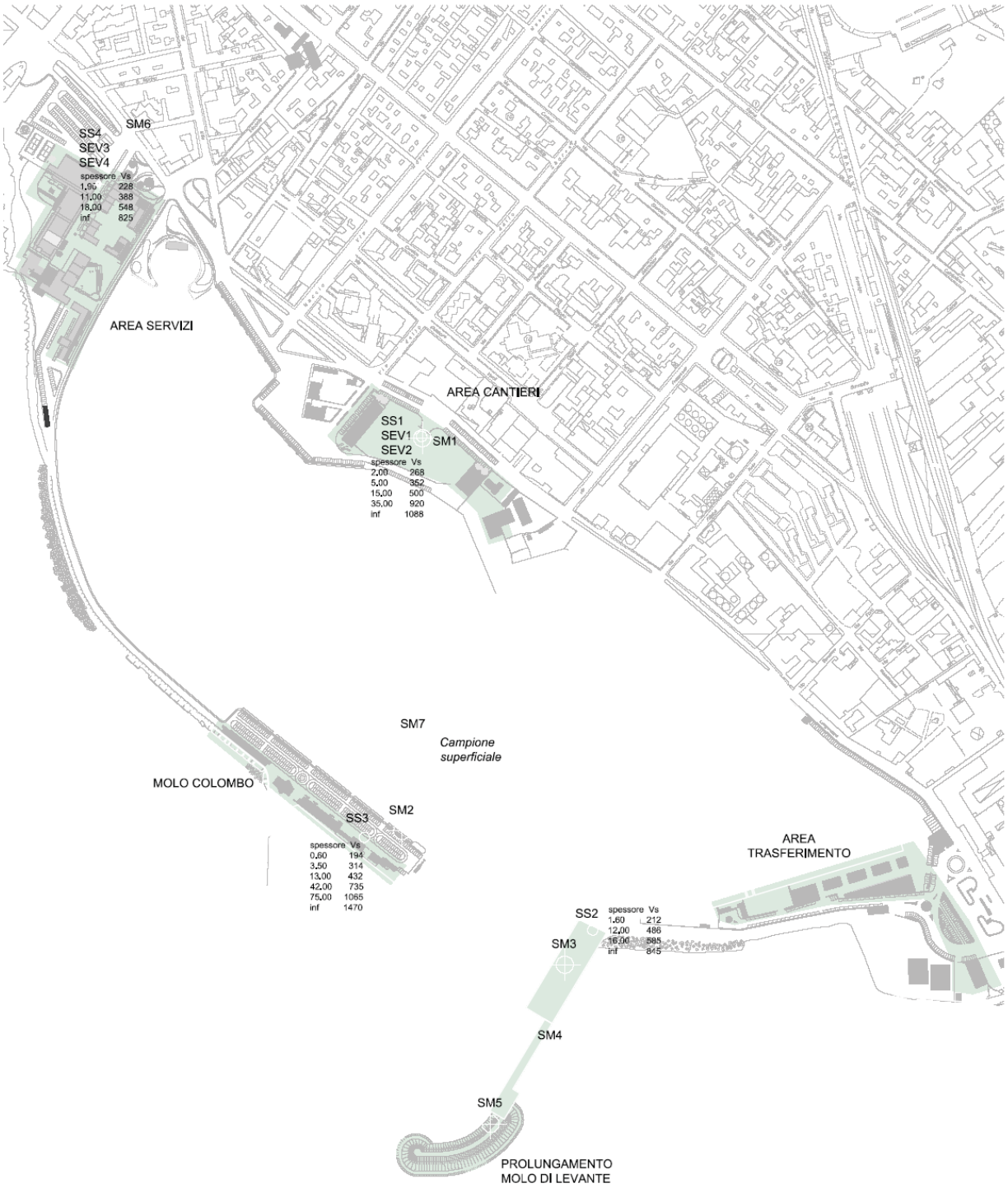


Fig. 2.1 – Planimetria con ubicazione dei sondaggi

Il ***sondaggio SM1*** si trova in corrispondenza dell'Area Cantieri ed è stato eseguito sulla terraferma. La stratigrafia presenta un primo strato di riporto dello spessore di 1.00 m costituito da sabbie e ghiaie, un secondo strato dello spessore di 1.00 m costituito da limi e lo strato di base che si raggiunge alla profondità di 2.00 m costituito da calcareniti che per i primi 2.00 m si presentano alterate e miste a limo di colore giallastro.

Il ***sondaggio SM2*** è posto in corrispondenza della testata del Molo Colombo. Il sondaggio è stato eseguito a mare dal pontone motorizzato. Si riscontra un primo strato dello spessore di circa 5.40 m che rappresenta l'acqua di mare, uno strato dello spessore di circa 40 cm costituito da limi con abbondanti residui algali e infine lo strato di base costituito dalle calcarenite mista a sabbia e limo.

In merito alle quote riportate nei sondaggi occorre specificare che la quota relativa al fondo è stata corretta in modo concorde con la quota del fondo nel punto considerato rilevata mediante rilievo batimetrico per cui tale quota non risulta concorde con quanto riportato nelle stratigrafie riportate di seguito.

Appare chiaro che a partire dalla definizione della quota del fondo la successione stratigrafica riportata è corretta.

Il ***sondaggio SM3*** è posto in corrispondenza della radice nel nuovo molo di sottoflutto del porto di Marsala. Il sondaggio è stato eseguito a mare da pontone e si riscontra un primo strato dello spessore di circa 5.00 m che definisce la distanza tra il pelo libero e il fondo marino cui segue la formazione di base costituita da calcareniti di colore giallastro con abbondante frazione limosa. Per definire la stratigrafia in corrispondenza dello sviluppo del molo di sottoflutto sono stati eseguiti i sondaggi SM4 e SM5. In corrispondenza del ***sondaggio SM4*** si riscontra oltre lo strato di acqua dello spessore di circa 4.00 m cui segue uno strato di limi di colore verdastro per uno spessore di 5.00 m. Segue la calcarenite di colore giallastro mista a sabbie e ghiaie. Il ***sondaggio SM5*** è stato posto in corrispondenza del molo di sottoflutto e in particolare in corrispondenza della radice della diga a gettata. Oltre allo strato di acqua che definisce il fondo marino dello spessore di circa 6.50 m si ha un primo strato di limo di colore giallastro dello spessore di 1.00 m cui segue lo strato di base di calcarenite mista a sabbia e limo.

Il ***sondaggio SM6*** è stato eseguito da terra in corrispondenza della zona dei servizi e presenta un primo strato dello spessore di circa 2.00 m di sabbie grossolane di riporto, cui segue lo strato di base di calcarenite mista a sabbia e limo.

Il ***sondaggio SM7*** è stato eseguito da mare con pontone in corrispondenza del costruendo molo di ridosso. Oltre allo spessore di acqua che definisce la quota del fondo marino pari a 6.20 m si trova uno strato di limo dello spessore di circa 5.00 m cui segue la formazione di base costituita da calcareniti giallastre miste a sabbie e limi fino alla profondità di indagine.

2.3. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SPT

In corrispondenza dei sondaggi descritti in precedenza sono state eseguite delle prove penetrometriche dinamiche SPT in particolare le prove eseguite in corrispondenza del sondaggio SM1 sono state condotte alla profondità di 4.00 m (calcareniti) e 11.00 m (calcareniti). In corrispondenza del sondaggio SM2 è stata eseguita una sola prova alla profondità di 9.00 m (calcareniti). In corrispondenza del sondaggio SM3 è stata eseguita una prova SPT alla profondità di 9.30 m (calcareniti) e in corrispondenza del sondaggio SM4 la prova SPT è stata eseguita alla profondità di 13.00 m (calcareniti). Le prove eseguite in corrispondenza del sondaggio SM5 (10.00 m calcareniti), del sondaggio SM6 (3,.50 m calcareniti) e del sondaggio SM7 (16.00 m calcareniti) sono state eseguite per la caratterizzazione delle calcareniti.

Quindi tutte le prove eseguite sono state eseguite per la caratterizzazione della formazione di base. Dalla Relazione sulle indagini in situ [2] si rilevano i dati relativi alle prove penetrometrice SPT. Come è noto la prova consiste nel misurare l'addensamento del terreno in base al numero di colpi necessari a produrre l'affondamento di 30 cm. Si registra quindi il numero di colpi occorrenti per far avanzare la punta conica SPT di 15 cm. Se dopo 50 colpi l'infissione è inferiore a 15 cm si registra l'infissione realizzata e si sospende la prova constatando il rifiuto all'infissione per limite strumentale. Quando il numero di colpi N1 < 50, si registra il numero di colpi N2 occorrenti per l'infissione di altri 15 cm e il numero di colpi N3 per ottenere altri 15 cm. Si assume in tal caso

Nspt = N2+N3

cioè Nspt corrisponde al numero di colpi occorrenti per infiggere l'asta di 30 cm.
Nel caso in esame le caratteristiche strumentali sono le seguenti:

- campionatore Φ50.8 – 35.0 mm;
- Lutile = 630 mm con valvola a sfera in sommità;
- massa battente 63.5 kg con altezzav di caduta 76.2 cm;
- aste collegate con campionatore aventi peso 11.50 kg/m
- dispositivo di sganciamento automatico;
- punta conica Φ51 mm, angolo 60°

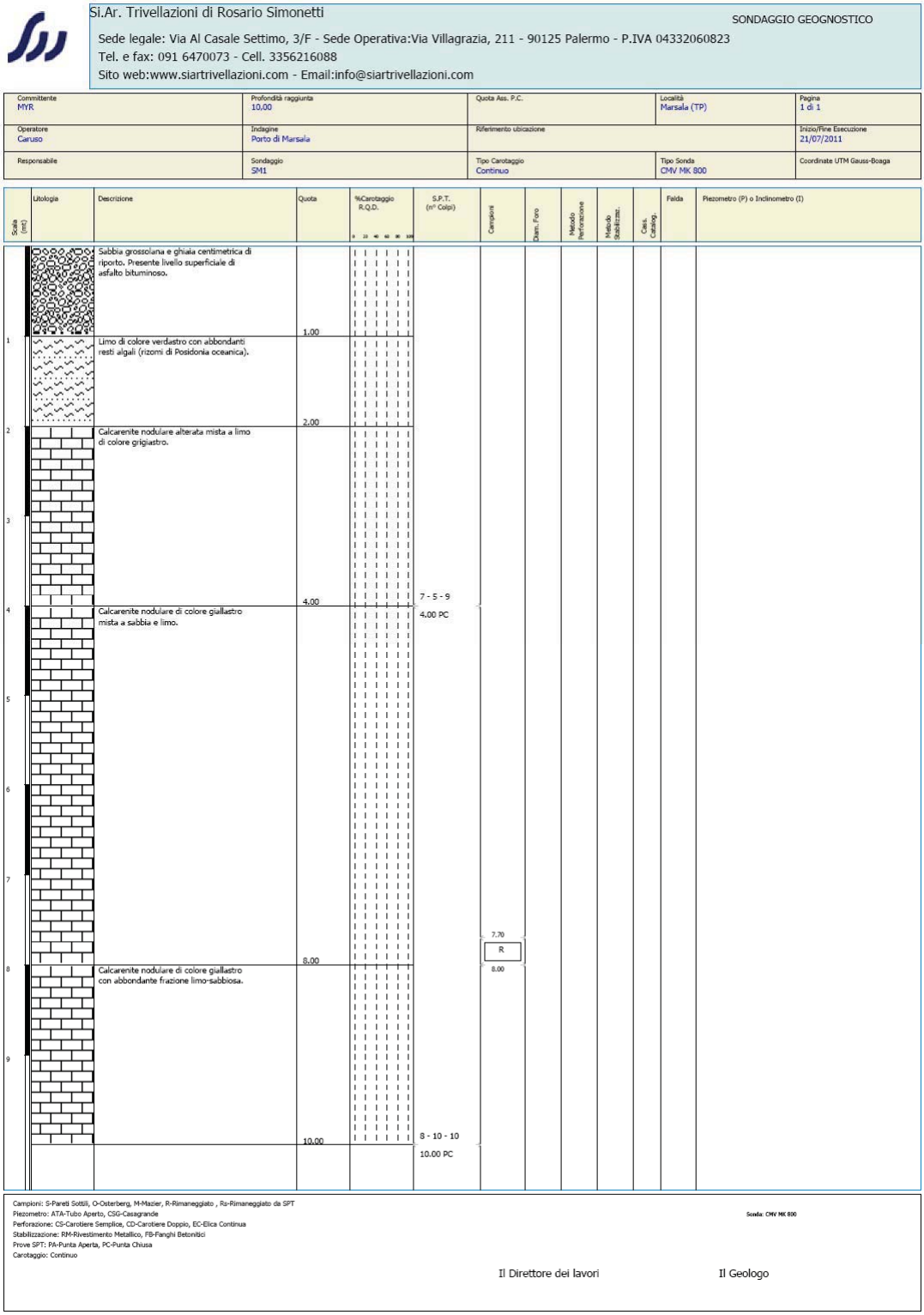


Fig. 2.2 – Stratigrafia in corrispondenza del sondaggio SM1

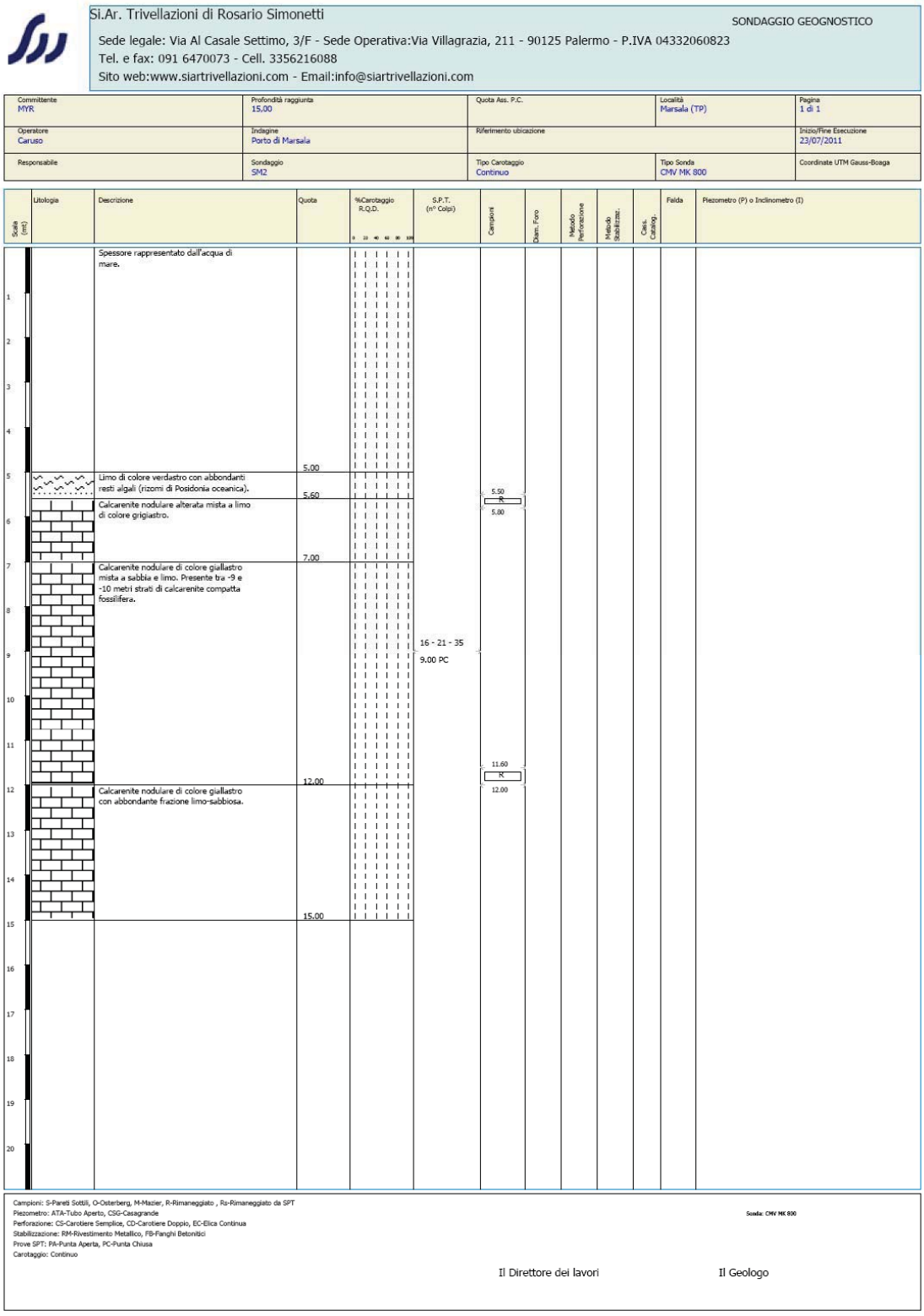


Fig. 2.3 – Stratigrafia in corrispondenza del sondaggio SM2

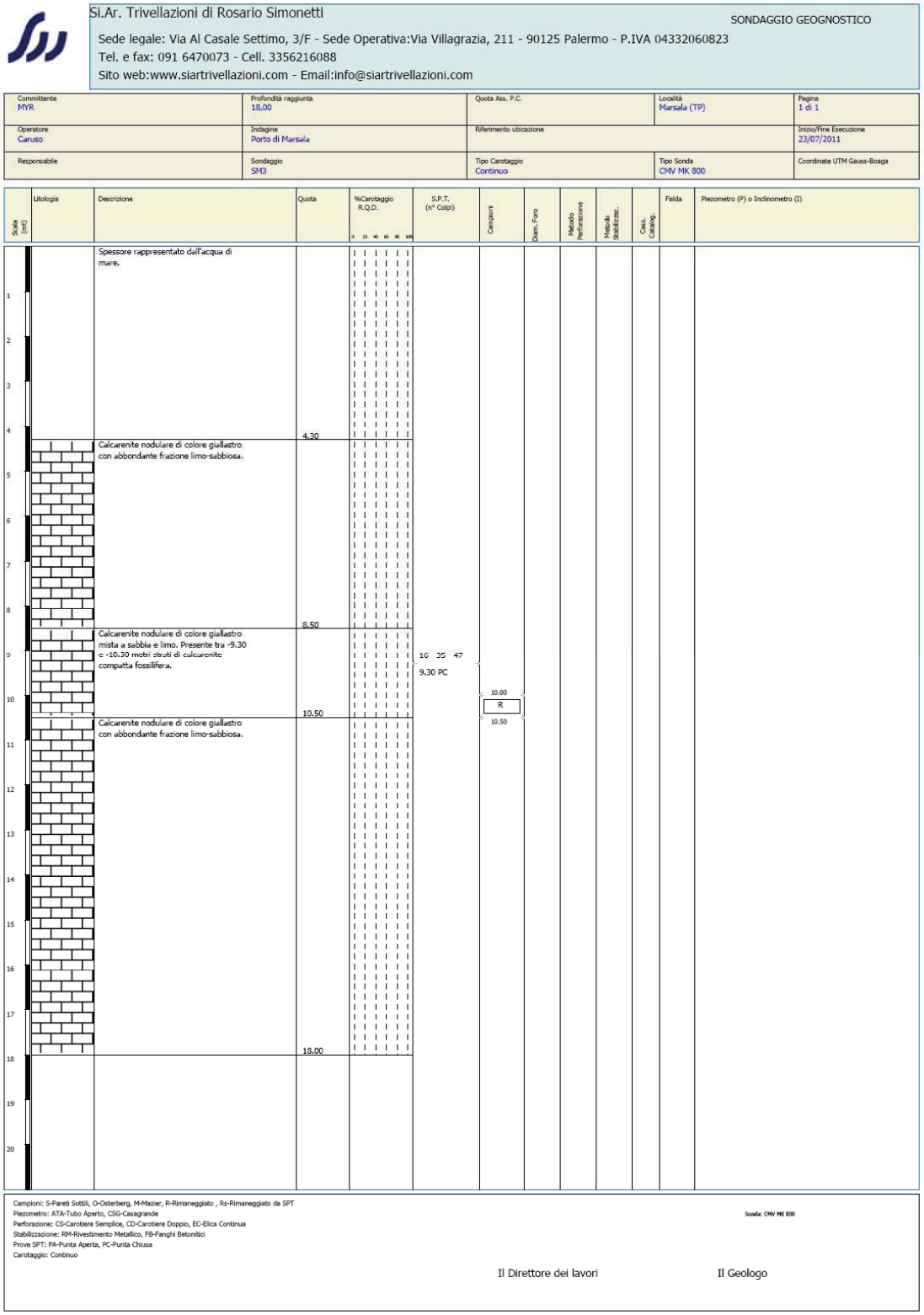


Fig. 2.4 – Stratigrafia in corrispondenza del sondaggio SM3

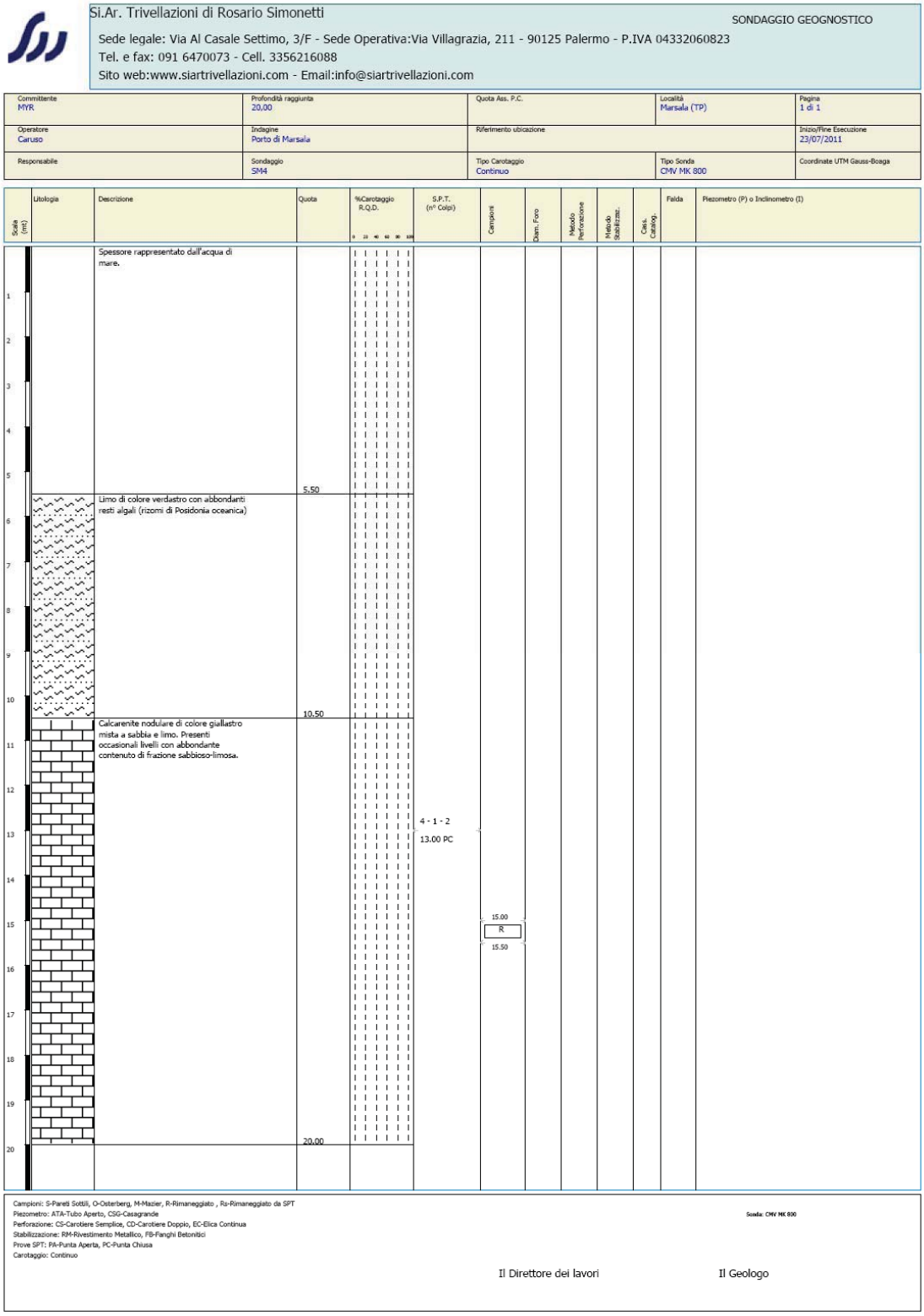


Fig. 2.5 – Stratigrafia in corrispondenza del sondaggio SM4

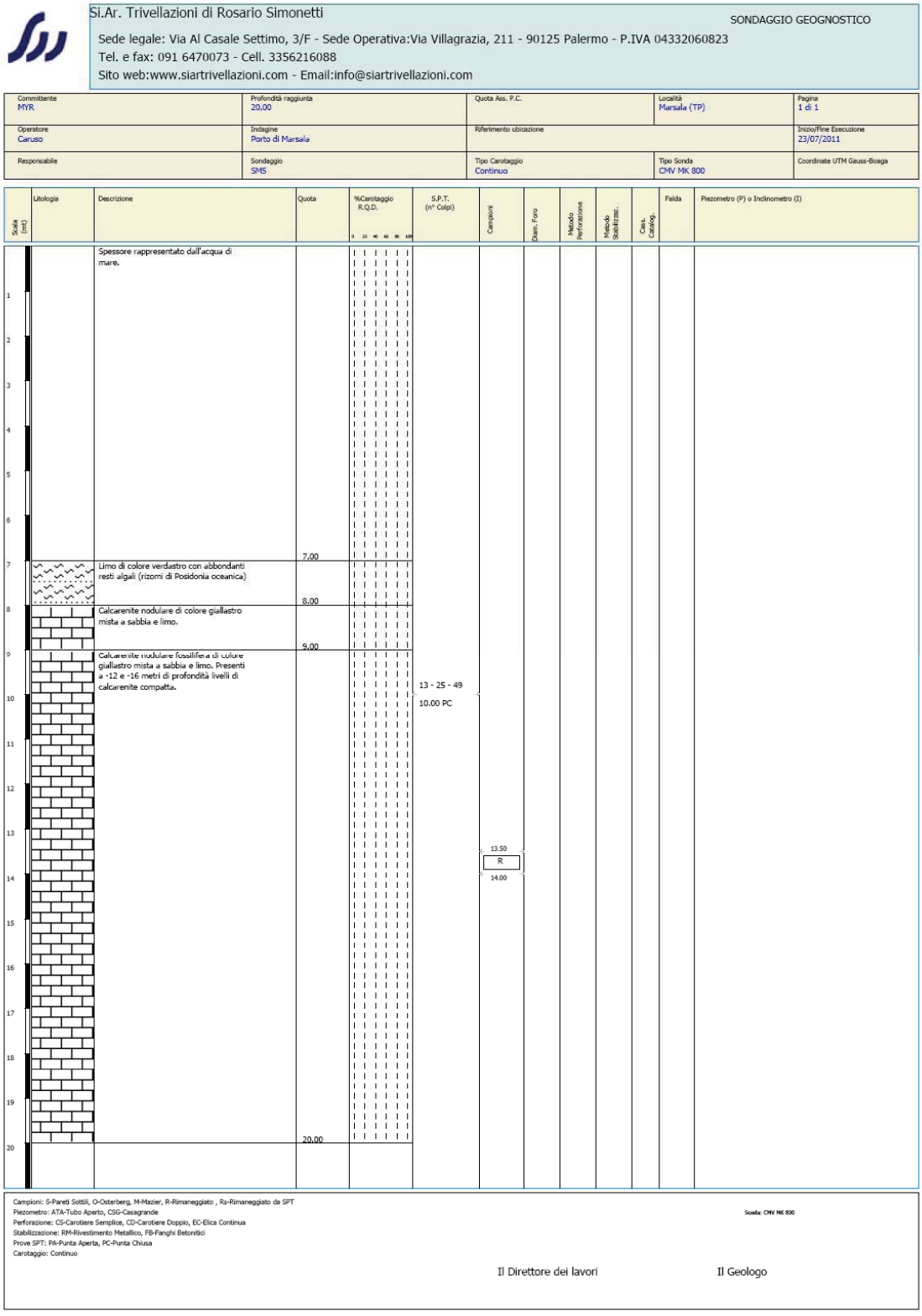


Fig. 2.6 – Stratigrafia in corrispondenza del sondaggio SM5

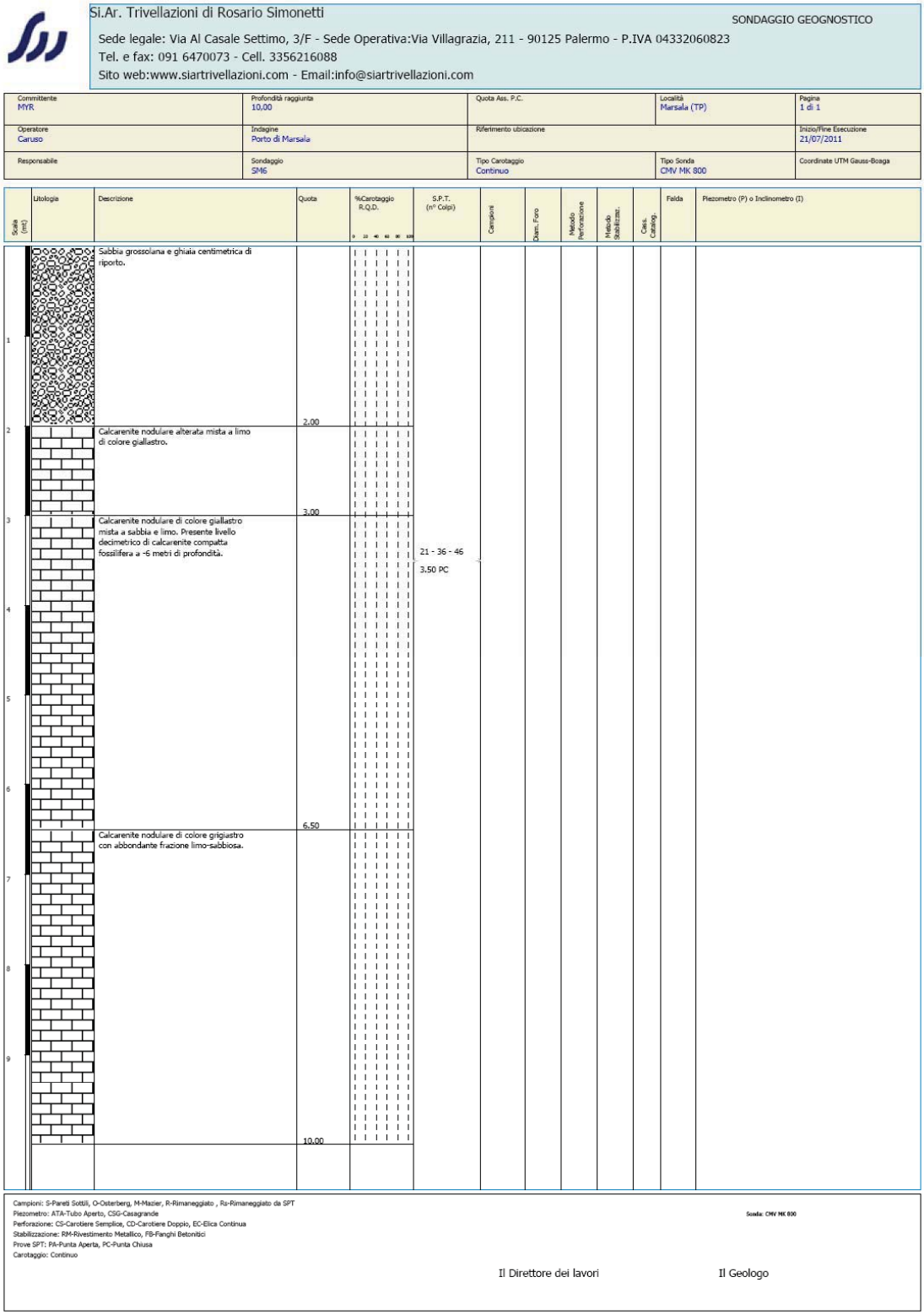


Fig. 2.7 – Stratigrafia in corrispondenza del sondaggio SM6

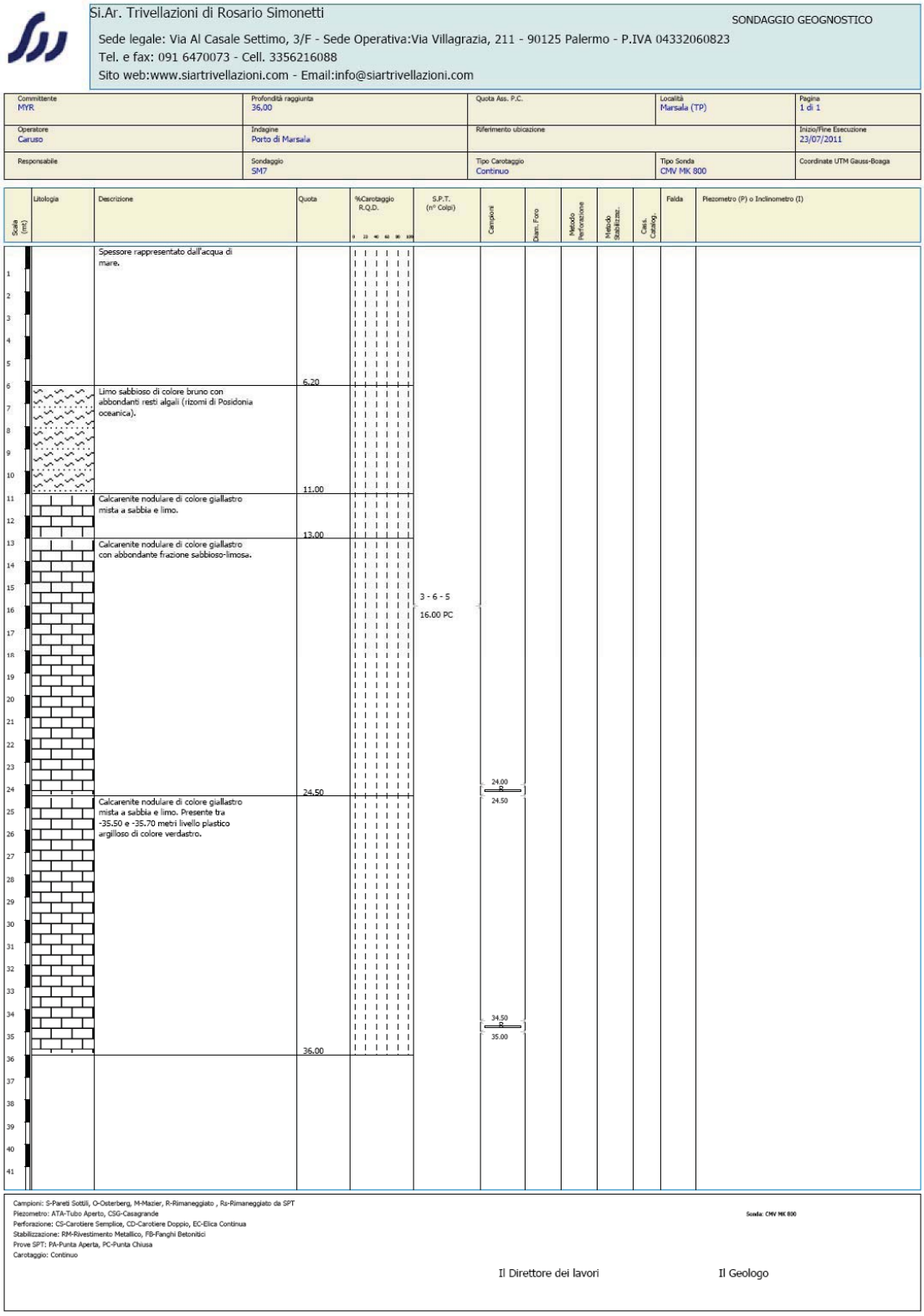


Fig. 2.8 – Stratigrafia in corrispondenza del sondaggio SM7

2.4. CORRELAZIONI EMPIRICHE

Di seguito si riportano le correzioni che devono essere operate per l'utilizzazione dei dati della prova N_{SPT} e le correlazioni tra il dato corretto e i principali parametri per la caratterizzazione geotecnica dei terreni.

Calcolo di $N_{1,60}$

Per la determinazione dei parametri geotecnici dei terreni occorre fare riferimento al valore di $N_{1,60}$ che rappresenta il numero di colpi normalizzato ad una pressione effettiva di confinamento di circa 100 kPa e un fattore di rendimento energetico di 0.6 nell'esecuzione della prova.

Il valore di $N_{1,60}$ è calcolato utilizzando la seguente espressione

$$N_{1,60} = (N_{SPT} * C_E * C_B * C_R * C_S) * C_N = N_{60} * C_N$$

in cui

N_{SPT} misura della resistenza penetrometrica in sito

C_N fattore di normalizzazione ad una pressione effettiva di 1 atm;

C_E fattore energetico

C_B fattore funzione del diametro del foro;

C_R fattore funzione della lunghezza delle aste;

C_S fattore funzione del metodo di campionamento.

A questo deve essere aggiunto un fattore funzione del peso della massa battente da utilizzare nel caso in cui il peso della massa battente sia diversao da quello standard.

Correzione per diversa massa battente

Tale valore deve essere corretto per tenere conto del diverso peso della massa battente rispetto a quella standard.

Il fattore di correzione è dato da

$$Cf = M1/M2$$

essendo M1 = 63.5 kg (peso della massa standard) e M2 il valore della massa utilizzata.

Nel nostro caso come si evince dalla [2] la massa battente M2 = 63.5 kg per cui è quella standard per cui il coefficiente di correzione cf = 1.00.

Normalizzazione rispetto al rendimento del dispositivo

Per normalizzare i risultati rispetto al rendimento del dispositivo, occorre considerare che uno dei fattori più influenti sul risultato è rappresentato dall'energia fornita al campionatore che dipende essenzialmente dal sistema di battitura, dalla forma e dalle dimensioni del maglio, dalla testa di battuta e dalla lunghezza delle aste utilizzate.

Per omogeneizzare ed uniformare i risultati di N_{SPT} questi vengono rapportati ad un rendimento di riferimento identificato pari al 60% di quello teorico.

La relazione che fornisce il numero di colpi corretto è data da

$$N_{60SPT} = (\frac{ER_M}{60})N_{SPT}$$

in cui

N_{60SPT} = numero di colpi corretto riferito ad un rendimento del 60%;

ER_M = rendimento mediomisurato espresso in %;

N_{SPT} = numero di colpi misurato

Occorre considerare che i sistemi di sganciamento automatico normalmente utilizzati hanno un rendimento di circa il 60%. per cui il coefficiente $C_E = N_{SPT,60}/N_{SPT} = 1.00$

Correzione per diverso diametro del foro

Se il foro ha un diametro compreso tra 65-115 mm il fattore di correzione $C_B = 1.00$. Se il foro ha un diametro di 150 mm il coefficiente assume il valore $C_B = 1.05$ mentre se il foro ha un diametro di 200 mm il coefficiente assume il valore $C_B = 1.15$.

Nel nostro caso si assume per il coefficiente il valore $C_B = 1.00$.

Correzione in funzione della lunghezza delle aste

Il coefficiente C_R funzione della lunghezza delle aste può essere dedotto dalla seguente Tabella 2.1.

Coefficiente CR funzione della lunghezza delle aste

L (m)	CR
< 3	0.75
3-4	0.80
4-6	0.85
6-10	0.95
10-30	1.00

Tabella 2.1 – Coefficiente CR funzione della lunghezza delle aste

Si valuta caso per caso il coefficiente da adottare nei calcoli di N_{60}.

Correzione in funzione del metodo di campionamento

In funzione del metodo di campionamento si utilizza un coefficiente correttivo C_S.

Il coefficiente vale 1.00 nel caso in cui si utilizza il Campionatore standard mentre assume valori compresi tra 1.10-1.30 nel caso in cui si utilizzano campionatorio senza astuccio. Nel caso in cui si utilizza una punta conica il numero dei colpi misurato con il cono è rapportato al numero di colpi N_{SPT} con la relazione

$$N_{SPT} = 0.75*N_{CONO}$$

Nel nostra caso, avendo utilizzato una punta conica del diametro Φ51 e angolo di apertura 60° è stata utilizzata quest'ultima relazione.

Correzione per la tensione litostatica

La profondità della prova influenza il valore di N ottenuto, in quanto al variare della profondità varia la tensione litostatica efficace con la relazione

$$\sigma_{vo'} = \gamma'*h$$

E' stato introdotto un fattore di correzione (GIBBS ed HOLTZ - 1957) ricavabile con la relazione

$$C_N = 0.77*\text{Log}(20/\sigma vo')$$

In alternativa il valore di C_N è calcolato con l'espressione proposta da Liao e Whitman (1986)

$$C_N = (Pa/\sigma vo')^{0.50}$$

Correzione per la presenza della falda

In presenza di acqua il numero di colpi diminuisce secondo la relazione di TERZAGHI E PECK (1948) valida per sabbie fini, in cui Nw é il valore di N sotto falda

$$N_w = 15+0.5*(N-15)$$

relazione che tiene conto della parte dell'energia che viene dissipata a causa della pressione interstiziale. Tuttavia tendenze\attuali della ricerca [Bowles – Fondazioni –

Mc Graw-Hill – pag. 149) non prevedano che vengono utilizzate correzioni per tenere conto della falda.

Correlazioni N_{SPT} – densità relativa

Per una valutazione del grado di addensamento medio si è fatto riferimento alla relazione proposta da MAYERHOF (1957) basata sui dati sperimentali di GIBBS ed HOLTZ (1957) che fornisce il valore della densità relativa

$$Dr(\%) = 21\sqrt{\frac{N_{SPT}}{\frac{\sigma'_{vo}}{Pa} + 0.7}}$$

Per valori di σ'vo piccoli la formula è sostituita dalla relazione

$$Dr(\%) = 21\sqrt{\frac{N_{SPT}}{3.5}}$$

Correlazioni N_{SPT} – angolo di attrito

Ottenuto il numero di colpi corretto si determina il valore dell'angolo di attrito interno utilizzando la relazione introdotta dallo JAPANESE NATIONAL RAILWAY

$$\varphi = 0.30*N_{spt}+27$$

valida per sabbie medio-grosse.

Per sabbie fini o limose si può utilizzare la relazione proposta dal Road Bridge Specification

$$\varphi = (15*N_{spt})^{0.5}+15$$

Se si tratta di sabbie medio grosse fino a debolmente ghiaiose si può utilizzare la relazione di Owasaki e Iwasaki per cui

$$\varphi = (20*N_{spt})^{0.5}+15$$

Le relazioni sono tutte valide per $\sigma'_{vo} > 1.5\text{-}2.00$ kg/cmq. Per valori della pressione litostatica compresa tra 0.5 e 0.80 kg/cmq e per sabbie in genere si può utilizzare la relazione di Sowers per cui

$$\varphi = 28+0.28*N_{spt}$$

Correlazioni N_{SPT} – parametri di deformabilità

Per quanto riguarda il modulo di elasticità del terreno questo può essere determinato con la relazione valida per sabbie e ghiaie

$$E = 1200*(Nspt+6)$$

Lo stesso modulo può essere determinato con la formula di Denver

$$E = s1*Nspt+s2$$

in cui s1 = 7.56 kg/cmq e s2 = 187.50 kg/cmq (secondo D'Apollonia e altri, 1970)

Il modulo di elasticità può essere determinato anche con la relazione proposta da Pasqualini (1983) per cui

$$E = 70*(Nspt)^{0.5}$$

Il modulo edometrico si può ottenere dal modulo elastico e dal coefficiente di Poisson con la relazione

$$Eed = (1-\upsilon)*E/((1-2\upsilon)*(1+\upsilon))$$

Correlazioni N_{SPT} – peso unità di volume

Il valore del peso dell'unità di volume può essere ricavato in funzione di Nspt adottando la seguente relazione

$$\gamma = 0.01* Nspt + 1.50$$

Correlazioni N_{SPT} – modulo dinamico di taglio

Il valore del modulo dinamico a taglio G0 è determinato con le relazioni proposte da Ohsaki e Iwasaki valido per sabbie pulite con fine platico (limi o argille)

$$G0 (ton/mq) = a * N_{SPT}\text{^}b$$

Dove N_{SPT} è il numero di colpi medio nello strato e a e b sono costanti che dipendono dalla granulometria del deposito.

Per sabbie pulite a = 650 e b = 0.94 mentre per sabbie con fine plastico a = 1182 e b = 0.76.

Di seguito si riportano le tabelle di calcolo dei parametri geotecnici desunti dai dati delle prove penetrometriche per ogni sondaggio.

Correlazioni N_{SPT} –Prova penetrometrica dinamica continua

I risultati della prova penetrometrica dinamica continua sono correlati con la prova SPT mediante la relazione

$$N_{SPT} = \beta_t * N$$

in cui

$$\beta_t = Q/Q_{SPT}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{SPT} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo è data dalla seguente espressione

$$Q = M^2 * H/[A*\delta*(M+M')]$$

in cui

M = peso massa battente;

M' = peso delle aste;

H = altezza di caduta;

A = area di base punta conica;

δ = passo di avanzamento.

2.5. CARATTERISTICHE DEI TERRENI SECONDO LE PROVE SPT

Tutte le prove penetrometriche sono state eseguite in corrispondenza dello strato di base costituito da calcareniti miste a sabbia e limo che costituisce il litotipo su cui devono essere realizzate tutte le opere strutturale relative alle opere marittime e le strutture edilizie per i servizi portuali.

Quindi la caratterizzazione geotecnica che segue si riferisce a tale strato di base.

Nella Tabella 2.2 si riportano i valori registrati nel corso delle prove e le elaborazioni per la determinazione del valore di $N_{1,60}$.

Ottenuti i valori di N1,50 con le correlazioni empiriche è possibile deeterminare i valori dei parametrio densità relativa Dr(%), angolo di attrito interno (φ) e modulo di elasticità E)kg/cmq). I valori ottenuti sono riportati nella Tabella 2.3. Nella Fig. 2.9 si riporta il grafico che riassume i risultati ottenuti in termini di N_{SPT} e $N_{1,60}$, nella

Fig. 2.10 si riportano i valori ottenuti per la Dr(%), nella Fig. 2.11 si riportano i valori ottenuti per φ e nella Fig. 2.12 si riportano i valori ottenuti per E (kg/cmq).

VALORI DI N1,60

Sond.	Q.fondo	Q.strato	Q.SPT	H.strato	N1	N2	N3	NSPT	CE	CB	CR	CS	N60	γ'	σ'	CN	N1,60
1	0.00	2.00	4.00	2.00	7	5	9	14	1.00	1.00	1.00	0.75	11	1.00	0.40	1.31	**14**
1	0.00	2.00	10.00	8.00	8	10	10	20	1.00	1.00	1.00	0.75	15	1.00	1.00	1.00	**15**
2	5.00	5.60	9.00	3.40	16	21	35	56	1.00	1.00	1.00	0.75	42	1.00	0.40	1.31	**55**
3	4.30	4.30	9.00	4.70	16	35	47	82	1.00	1.00	1.00	0.75	62	1.00	0.47	1.25	**77**
4	5.50	10.50	13.00	2.50	4	1	2	3	1.00	1.00	1.00	0.75	2	1.00	0.75	1.10	**2**
5	7.00	8.00	10.00	2.00	13	25	49	74	1.00	1.00	1.00	0.75	56	1.00	0.30	1.40	**78**
6	0.00	2.00	3.50	1.50	21	36	46	82	1.00	1.00	1.00	0.75	62	1.00	0.35	1.35	**83**
7	6.20	11.00	16.00	5.00	3	6	5	11	1.00	1.00	1.00	0.75	8	1.00	0.98	1.01	**8**

Tabella 2.2 – Valori di N_{SPT} e $N_{1,60}$

DETERMINAZIONE DI Dr(%) - φ - E

H.strato	N1,60	Dr(1)	φ(1)	φ(2)	φ	E(1)	E(2)	E(3)	E
2.00	14	74	31	32	**31**	236.83	291.35	259.44	**262.54**
8.00	15	62	32	32	**32**	252.32	301.10	271.35	**274.93**
3.40	55	83	43	48	**46**	731.34	602.88	518.87	**617.70**
4.70	77	99	50	54	**52**	997.66	770.66	614.80	**794.37**
2.50	2	27	28	22	**25**	101.65	206.18	110.02	**139.28**
2.00	78	99	50	54	**52**	1007.34	776.76	618.00	**800.70**
1.50	83	102	52	56	**54**	1070.41	816.50	638.50	**841.80**
5.00	8	47	29	28	**29**	171.85	250.40	201.92	**208.06**

Tabella 2.3 – Valori di Dr(%), φ, E

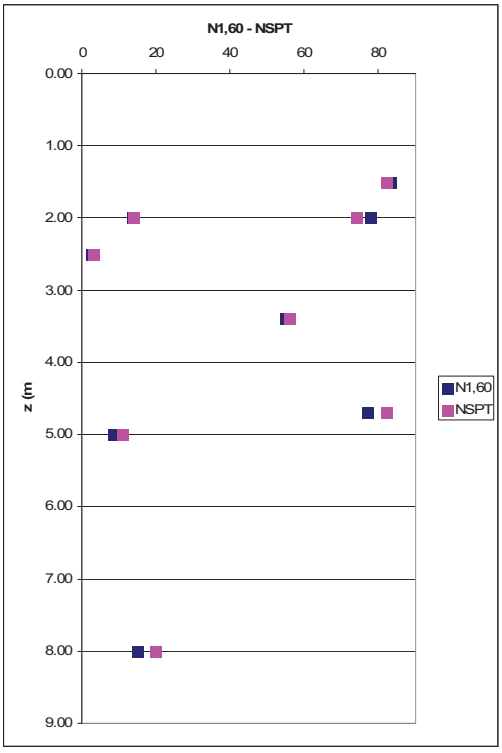


Fig. 2.9 – Diagramma dei valori di N_{SPT} e $N_{1,60}$

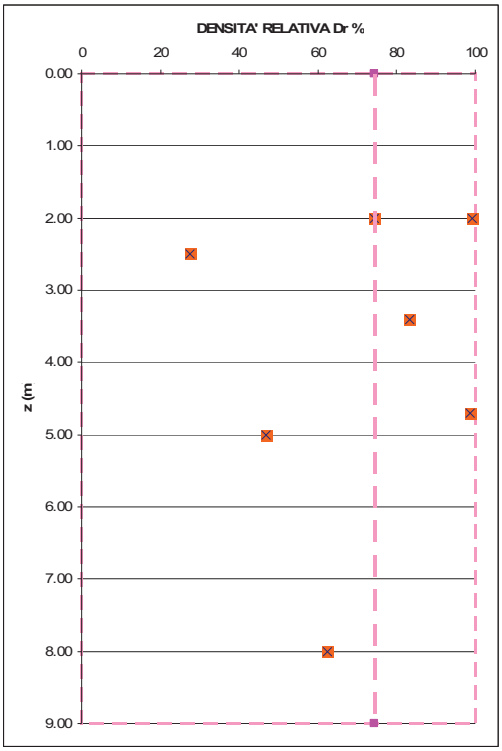


Fig. 2.10 – Diagramma dei valori di Dr(%)

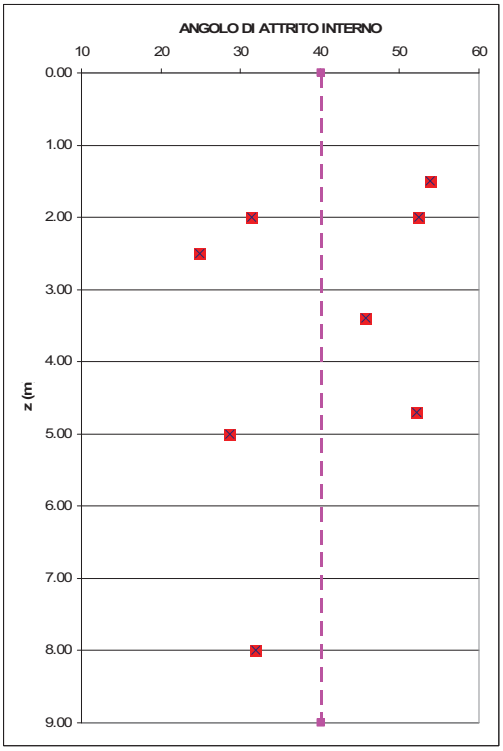


Fig. 2.11 – Diagramma dei valori di φ°

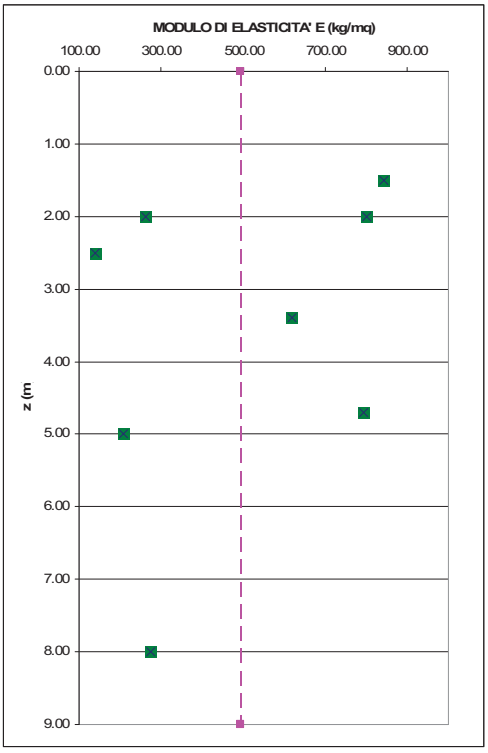


Fig. 2.12 – Diagramma dei valori di E (kg/cmq)

2.6. INDAGINI GEOFISICHE

Le indagini geofisiche condotte per il progetto definitivo del Porto Turistico di Marsala sono consistite nella esecuzione di 4 sondaggi elettrici verticali (SEV) e di 4 indagini sismiche. Dalle indagini è risultato che i terreni di fondazione sono costituiti da calcareniti e sabbie con locali intercalazioni di livelli limosi addensati. Tale complesso risulta ricoperto da una coltre di terreni di copertura sabbiosi associati a materiali di riporto. Il complesso arenaceo – sabbioso (calcareniti e sabbie) è interessato dalla presenza della falda idrica salata (acqua di mare). I SEV sono stati eseguiti il primo e il secondo SEV1 e SEV2 in corrispondenza dell'area cantieri.

In corrispondenza della stessa area è stato eseguito una traversa sismica SS1. Le risultanze dei sondaggi sismici verticali sono in linea con il sondaggio meccanico a rotazione e dalla indagine sismica è risultato che la V_{s30} = 497 m/sec.

I sondaggi elettric verticale SEV3 e SEV4 sono stati eseguiti in corrispondenza dell'area dei servizi in prossimità del sondaggio meccanico SM1. In corrispondenza dello stesso sondaggio è stata eseguita la traversa sismica SS4 in corrispondenza

della quale si è ottenuta una V_{s30} = 442 m/sec. Le altre indagini sismiche sono state eseguite in corrispondenza della radice del molo di levante in cui si è registrata una V_{s30} = 499 m/sec e in corrispondenza del Molo Colombo in cui si è registrata una V_{s30} = 485 m/sec.

Essendo tutti i valori di V_{s30} compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec la categoria sismica dei terreni di fondazione è la categoria B.

2.7. PROVE DI LABORATORIO

Oltre alle prove penetrometriche dinamiche, ai sondaggi elettrici verticali (SEV) e alle traverse sismiche sono stati prelevati nel corso dei sondaggi meccanici dei campioni che sono stati analizzati presso il laboratorio geotecnico CON.GEO.srl di Palermo. In particolare sono stati prelevati 8 campioni:

- in corrispondenza del sondaggio SM1 – 1 campione – C1
- in corrispondenza del sondaggio SM2 – 2 campioni – C1 – C2
- in corrispondenza del sondaggio SM3 – 1 campione – C1
- in corrispondenza del sondaggio SM4 – 1 campione – C1
- in corrispondenza del sondaggio SM5 – 1 campione – C1
- in corrispondenza del sondaggio SM7 – 2 campioni – C1 – C2

Nella Tabella 2.4 si riportano le quote di prelievo dei campioni e la corrispondente quota di prelievo del campione nella calcarenite.

Quote di prelievo dei campioni

Sond.	Camp.	Q. camp. (m)	Q.fondo (m)	H.strato (m)	Q.strato (m)
1	C1	7.70	0.00	2.00	5.70
2	C1	5.50	0.00	2.00	3.50
2	C2	11.60	5.00	5.60	6.00
3	C1	10.00	4.30	4.30	5.70
4	C1	15.00	5.50	10.50	4.50
5	C1	13.50	7.00	8.00	5.50
7	C1	24.00	6.20	11.00	13.00
7	C2	34.50	6.20	11.00	23.50

Tabella 2.4 – Quote prelievo campioni

Per ogni campione sono state determinate le seguenti caratteristiche fisiche:

- contenuto d'acqua;

- peso dell'unità di volume;
- peso specifico dei grani;

Sono state determinati inoltre i limiti di Attemberg quali il limite di liquidità e il limite di plasticità determinando quindi il valore dell'indice di plasticità dato dalla relazione

$$I_p = w_l - w_p$$

che indica l'ampiezza dell'intervallo di plasticità. E' stato determinato inoltre l'indice di consistenza definito dalla relazione

$$I_c = \frac{w_l - w_n}{w_l - w_p}$$

che definisce la posizione del provino rispetto ai limiti di consistenza. Se il valore del limite di consistenza $I_c > 1$ il provino si trova in stato solido o semisolido, se I_c è compreso tra 0 e 1 il provino si trova in stato plastico se $I_c = 0$ il provino si trova al limite di liquidità e se il valore è inferiore a 1 il provino si trova allo stato liquido.E' stata quindi determinata la curva granulometrica. Per quanto riguarda la determinazione delle caratteristiche meccaniche è stata eseguita su tutti i campioni una prova di taglio diretto mentre per tutti i campioni ad eccezione del campione C1 del sondaggio SM2 è stata eseguita una prova edometrica per la determinazione del modulo edometrico.

Di seguito sono riportati i risultati delle elaborazioni delle prove di laboratorio per ogni campione.

Sondaggio n.ro **SM1** **Campione n.ro** **C1**

- Caratteristiche generali

				Caratteristiche campione prova edometrica Iniziali		Finali	
γs =	2.640	ton/mc	(peso specifico dei grani)	2.640	ton/mc	2.640	ton/mc
γ =	1.905	ton/mc	(peso dell'unità di volume)	1.937	ton/mc	1.808	ton/mc
wn =	15.56	%	(contenuto naturale d'acqua)	11.53	%	3.17	%
γd =	1.648	ton/mc	(peso secco dell'unità di volume)	1.737	ton/mc	1.752	ton/mc
e =	0.601			0.520		0.506	
n =	37.56	%					
Gr =	68.30	%	(grado di saturazione)				

- Granulometria

Ghiaia (%) =	7.310
Sabbia (%) =	67.490
Limo (%) =	20.450
Argilla (%) =	4.750

Definizione granulometrica

Sabbia limosa con ghiaia

- Limiti di Attemberg

Limite Liquido (%)	16.92	wl
Limite Plastico (%)		wp Non misurabile
Indice plasrico (%)		Ip = wl-wp
Indice di consistenza		Ic = (wl-wn)/(Wl-wp)

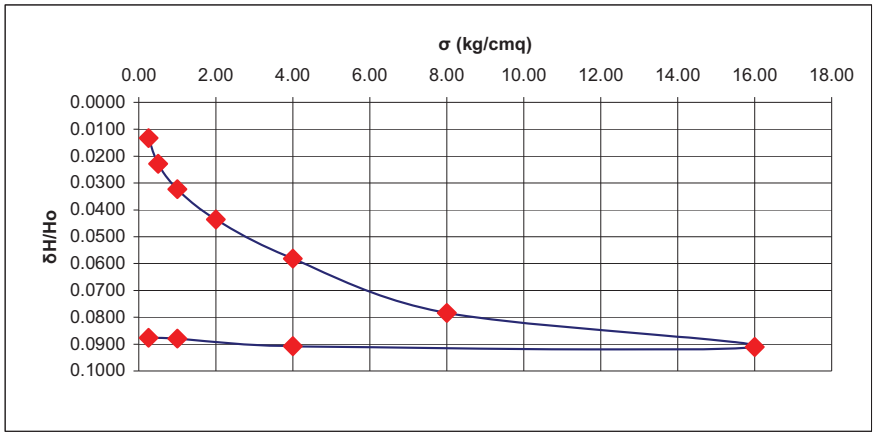
Tab. 2.5.1 – Campione C1 .- Sondaggio SM1 – Proprietà indici

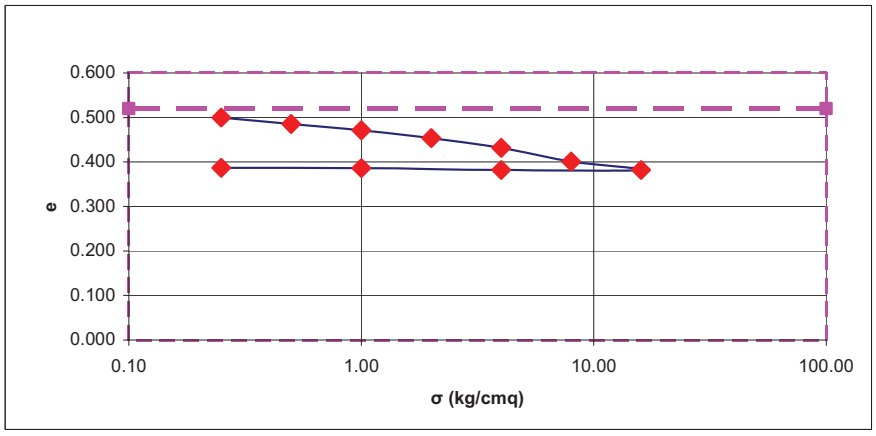
Sondaggio n.ro SM1 Campione n.ro C1

- Prova di compressibilità edometrica

Altezza iniziale del campione =	20.00	mm =	2.00 cm
Superficie provino =	20.00	cmq	
Peso provinvo =	69.47	gr	
Altezza fittizia della fase solida =	1.32	cm	

Carico (kg/cmq)	δH (mm)	H (cm)	δH/Ho	εz (%)	e	av	mv	Eed (kg/cmq)
					0.520			
0.25	0.2660	1.9734	0.0133	1.3300	0.500	0.081	0.053	19
0.50	0.4570	1.9543	0.0229	2.2850	0.485	0.058	0.038	26
1.00	0.6460	1.9354	0.0323	3.2300	0.471	0.029	0.019	53
2.00	0.8720	1.9128	0.0436	4.3600	0.454	0.017	0.011	88
4.00	1.1630	1.8837	0.0582	5.8150	0.432	0.011	0.007	137
8.00	1.5670	1.8433	0.0784	7.8350	0.401	0.008	0.005	198
16.00	1.8200	1.8180	0.0910	9.1000	0.382	0.002	0.002	632
4.00	1.8140	1.8186	0.0907	9.0700	0.382			
1.00	1.7590	1.8241	0.0880	8.7950	0.386			
0.25	1.7520	1.8248	0.0876	8.7600	0.387			





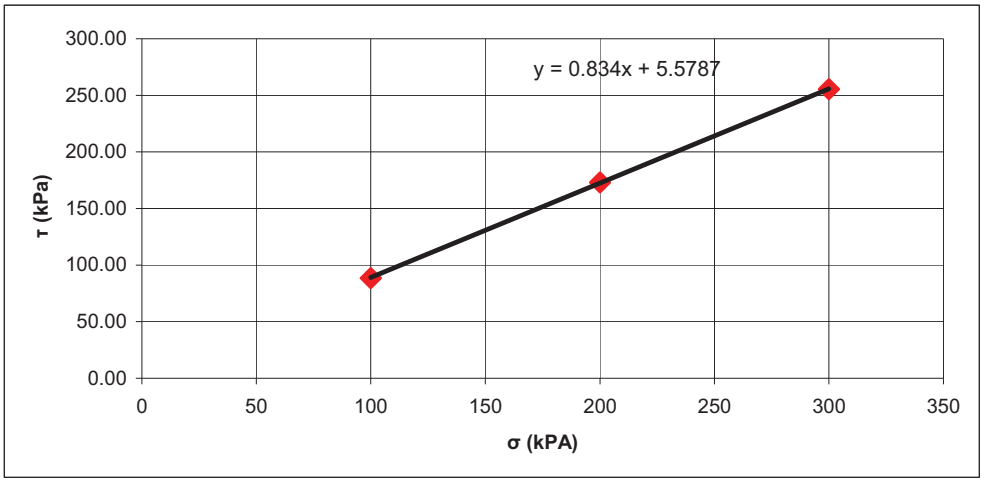
Tab. 2.5.2 – Campione C1 .- Sondaggio SM1 – Prova edometrica

Sondaggio n.ro **SM1** **Campione n.ro** **C1**

- Prova di Taglio Diretto

Provino	**Sv**	**So**	**So**	**Sezione del Provino**	Quadrata
	KPa	**N**	**KPa**	**Area del provino**	36 cmq
1	100	319.00	88.61		
2	200	623.25	173.13		
3	300	919.50	255.42		

coesione	c' =	5.57 KPa	0.056 kg/cmq
ang. Attrito interno	φ =	0.70 rad	39.848 °



Tab. 2.5.3 – Campione C1 .- Sondaggio SM1 – Prova taglio diretto

Sondaggio n.ro SM2 Campione n.ro C1

- Caratteristiche generali

γs =	2.024	ton/mc	(peso specifico dei grani)
γ =	1.114	ton/mc	(peso dell'unità di volume)
wn =	204.91	%	(contenuto naturale d'acqua)
γd =	0.365	ton/mc	(peso secco dell'unità di volume)
e =	4.540		
n =	81.95	%	
Gr =	91.36	%	(grado di saturazione)

- Granulometria

Ghiaia (%) =	0.000
Sabbia (%) =	34.520
Limo (%) =	51.980
Argilla (%) =	13.500

Definizione granulometrica

Limo sabbioso con argilla

- Limiti di Attemberg

Limite Liquido (%)	84.10	wl	
Limite Plastico (%)		wp	Non misurabile
Indice plasrico (%)		Ip = wl-wp	
Indice di consistenza		Ic = (wl-wn)/(Wl-wp)	

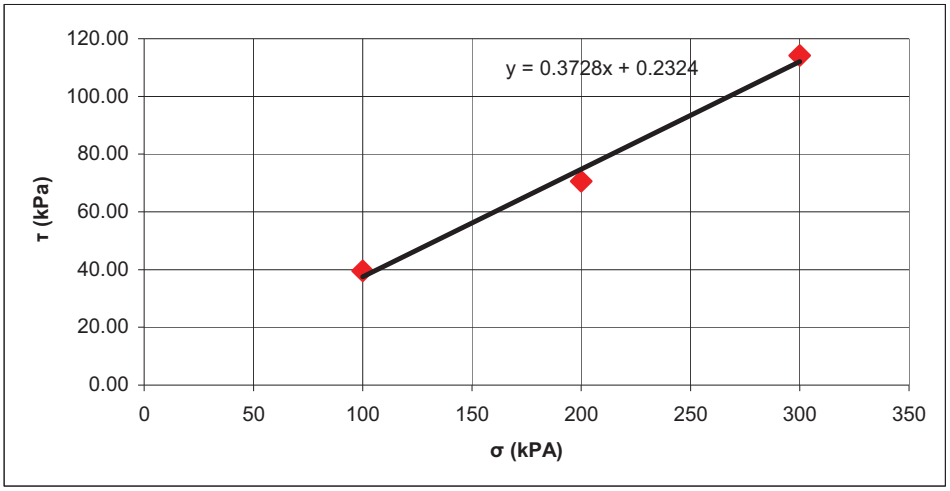
Tab. 2.6.1 – Campione C1 .- Sondaggio SM2 – Proprietà indici

Sondaggio n.ro **SM2** **Campione n.ro** **C1**

- Prova di Taglio Diretto

Provino	**Sv KPa**	**So N**	**So KPa**	**Sezione del Provino**	Quadrata
				Area del provino	36 cmq
1	100	142.50	39.58		
2	200	254.27	70.63		
3	300	410.88	114.13		

coesione	c' =	0.23 KPa	0.002 kg/cmq
ang. Attrito interno	φ =	0.36 rad	20.456 °



Tab. 2.6.2 – Campione C1 .- Sondaggio SM2 – Prova di Taglio Diretto

Sondaggio n.ro **SM2** **Campione n.ro** **C2**

- Caratteristiche generali

				Caratteristiche campione prova edometrica Iniziali		Finali	
γs =	2.701	ton/mc	(peso specifico dei grani)	2.701	ton/mc	2.701	ton/mc
γ =	2.200	ton/mc	(peso dell'unità di volume)	2.271	ton/mc	2.196	ton/mc
wn =	11.84	%	(contenuto naturale d'acqua)	11.93	%	7.3	%
γd =	1.967	ton/mc	(peso secco dell'unità di volume)	2.029	ton/mc	2.047	ton/mc
e =	0.373			0.331		0.320	
n =	27.17	%	(peso del provino a secco)				
Gr =	85.72	%	(grado di saturazione)				

- Granulometria

Ghiaia (%) =	1.610
Sabbia (%) =	48.510
Limo (%) =	31.660
Argilla (%) =	18.220

Definizione granulometrica

Sabbia limoso-argillosa

- Limiti di Attemberg

Limite Liquido (%)	15.67	wl
Limite Plastico (%)	12.05	wp
Indice plasrico (%)	3.62	Ip = wl-wp
Indice di consistenza	1.06	Ic = (wl-wn)/(Wl-wp)

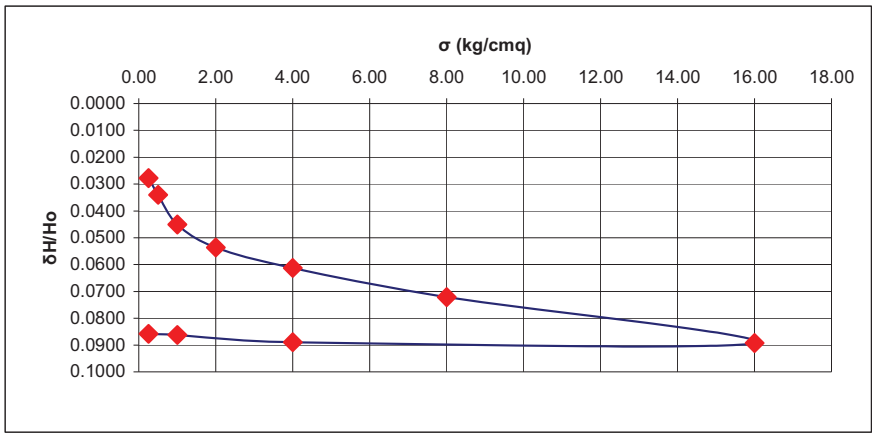
Tab. 2.7.1 – Campione C2 .- Sondaggio SM2 – Proprietà indici

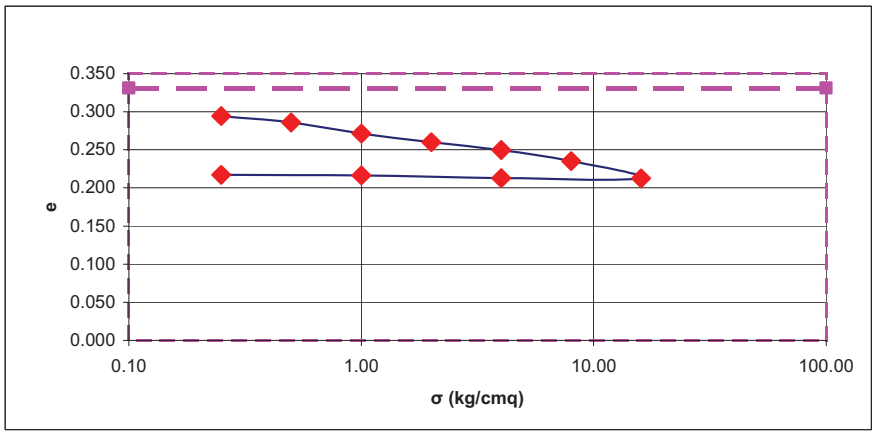
Sondaggio n.ro SM2 Campione n.ro C2

- Prova di compressibilità edometrica

Altezza iniziale del campione =	20.00	mm =	2.00 cm
Superficie provino =	20.00	cmq	
Peso provinvo =	81.16	gr	
Altezza fittizia della fase solida =	1.50	cm	

Carico (kg/cmq)	δH (mm)	H (cm)	δH/Ho	εz (%)	e	av	mv	Eed (kg/cmq)
					0.331			
0.25	0.5560	1.9444	0.0278	2.7800	0.294	0.148	0.111	9
0.50	0.6805	1.9320	0.0340	3.4025	0.286	0.033	0.025	40
1.00	0.9015	1.9099	0.0451	4.5075	0.271	0.029	0.022	45
2.00	1.0725	1.8928	0.0536	5.3625	0.260	0.011	0.009	117
4.00	1.2255	1.8775	0.0613	6.1275	0.250	0.005	0.004	261
8.00	1.4435	1.8557	0.0722	7.2175	0.235	0.004	0.003	367
16.00	1.7845	1.8216	0.0892	8.9225	0.212	0.003	0.002	469
4.00	1.7785	1.8222	0.0889	8.8925	0.213			
1.00	1.7235	1.8277	0.0862	8.6175	0.217			
0.25	1.7165	1.8284	0.0858	8.5825	0.217			





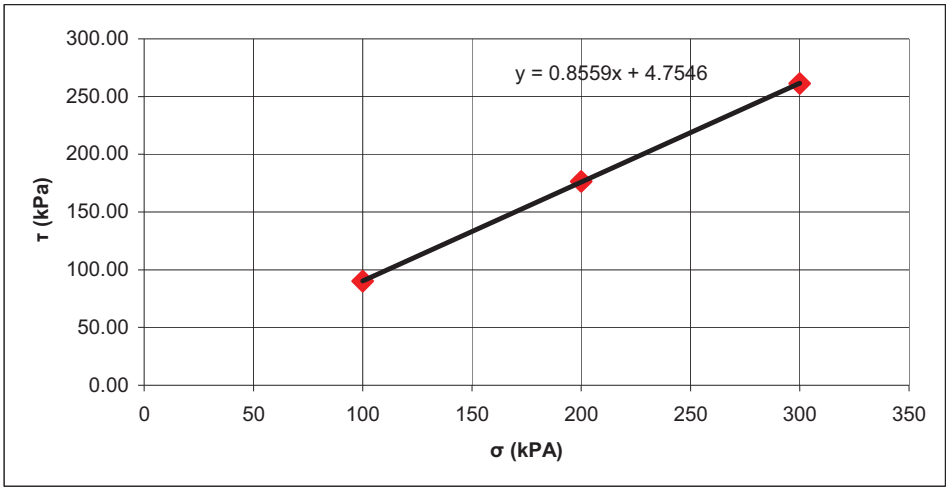
Tab. 2.7.2 – Campione C2 .- Sondaggio SM2 – Prova Edometrica

Sondaggio n.ro **SM2** **Campione n.ro** **C2**

- Prova di Taglio Diretto

Provino	**Sv**	**So**	**So**	**Sezione del Provino**	Quadrata
	KPa	**N**	**KPa**	**Area del provino**	36 cmq
1	100	324.00	90.00		
2	200	635.83	176.62		
3	300	940.24	261.18		

coesione	c' =	4.75 KPa	0.048 kg/cmq
ang. Attrito interno	φ =	0.71 rad	40.581 °



Tab. 2.7.3 – Campione C2 .- Sondaggio SM2 – Prova Taglio Diretto

Sondaggio n.ro **SM3** **Campione n.ro** **C1**

- Caratteristiche generali

				Caratteristiche campione prova edometrica Iniziali		Finali	
γs =	2.658	ton/mc	(peso specifico dei grani)	2.658	ton/mc	2.658	ton/mc
γ =	2.131	ton/mc	(peso dell'unità di volume)	2.15	ton/mc	2.14	ton/mc
wn =	13.09	%	(contenuto naturale d'acqua)	14.13	%	13.13	%
γd =	1.884	ton/mc	(peso secco dell'unità di volume)	1.884	ton/mc	1.892	ton/mc
e =	0.411			0.411		0.405	
n =	29.11	%	(peso del provino a secco)				
Gr =	84.74	%	(grado di saturazione)				

- Granulometria

Ghiaia (%) =	1.170
Sabbia (%) =	65.560
Limo (%) =	24.490
Argilla (%) =	8.780

Definizione granulometrica

Sabbia limoso-argillosa

- Limiti di Attemberg

Limite Liquido (%)	15.26	wl	
Limite Plastico (%)		wp	Non realizzabile
Indice plasrico (%)		Ip = wl-wp	
Indice di consistenza		Ic = (wl-wn)/(Wl-wp)	

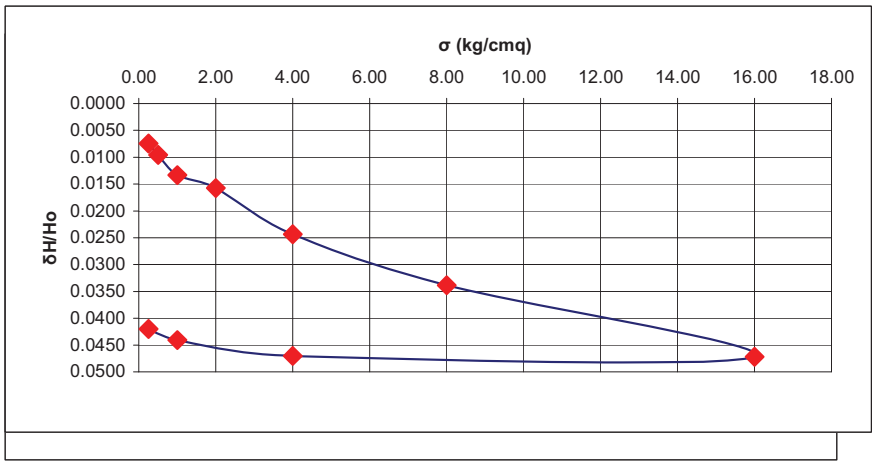
Tab. 2.8.1 – Campione C1 .- Sondaggio SM3 – Proprietà indici

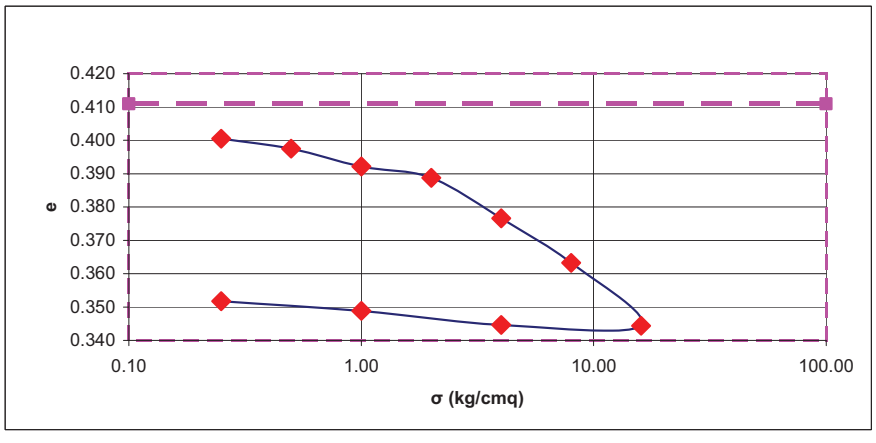
Sondaggio n.ro SM3 Campione n.ro C1

- Prova di compressibilità edometrica

Altezza iniziale del campione =	20.00	mm =	2.00 cm
Superficie provino =	20.00	cmq	
Peso provinvo =	75.35	gr	
Altezza fittizia della fase solida =	1.42	cm	

Carico (kg/cmq)	δH (mm)	H (cm)	δH/Ho	εz (%)	e	av	mv	Eed (kg/cmq)
					0.411			
0.25	0.1490	1.9851	0.0075	0.7450	0.400	0.042	0.030	34
0.50	0.1910	1.9809	0.0096	0.9550	0.397	0.012	0.008	119
1.00	0.2670	1.9733	0.0134	1.3350	0.392	0.011	0.008	132
2.00	0.3150	1.9685	0.0158	1.5750	0.389	0.003	0.002	417
4.00	0.4870	1.9513	0.0244	2.4350	0.377	0.006	0.004	233
8.00	0.6770	1.9323	0.0339	3.3850	0.363	0.003	0.002	421
16.00	0.9440	1.9056	0.0472	4.7200	0.344	0.002	0.002	599
4.00	0.9410	1.9059	0.0471	4.7050	0.345			
1.00	0.8810	1.9119	0.0441	4.4050	0.349			
0.25	0.8400	1.9160	0.0420	4.2000	0.352			





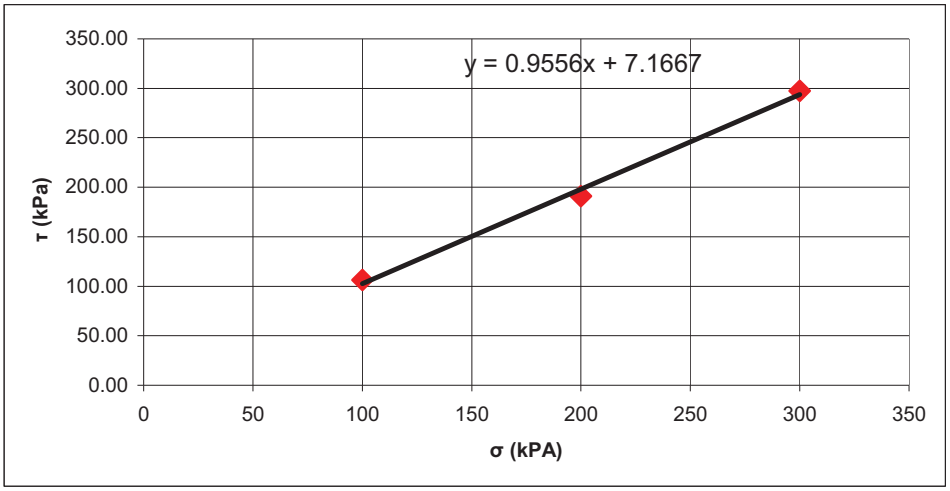
Tab. 2.8.2 – Campione C1 .- Sondaggio SM3 – Prova Edometrica

Sondaggio n.ro **SM3** **Campione n.ro** **C1**

- Prova di Taglio Diretto

Provino	**Sv**	**So**	**So**	**Sezione del Provino**	Quadrata
	KPa	**N**	**KPa**	**Area del provino**	36 cmq
1	100	383.00	106.39		
2	200	687.40	190.94		
3	300	1071.00	297.50		

coesione	c' =	7.17 KPa	0.072 kg/cmq
ang. Attrito interno	φ =	0.76 rad	43.722 °



Tab. 2.8.3 – Campione C1 .- Sondaggio SM3 – Prova di Taglio Diretto

Sondaggio n.ro **SM4** **Campione n.ro** **C1**

- Caratteristiche generali

				Caratteristiche campione prova edometrica Iniziali		Finali	
γs =	2.735	ton/mc	(peso specifico dei grani)	2.735	ton/mc	2.735	ton/mc
γ =	2.200	ton/mc	(peso dell'unità di volume)	2.254	ton/mc	2.183	ton/mc
wn =	14.69	%	(contenuto naturale d'acqua)	13.53	%	9.38	%
γd =	1.918	ton/mc	(peso secco dell'unità di volume)	1.985	ton/mc	1.996	ton/mc
e =	0.426			0.378		0.370	
n =	29.86	%	(peso del provino a secco)				
Gr =	94.36	%	(grado di saturazione)				

- Granulometria

Ghiaia (%) =	3.900
Sabbia (%) =	52.020
Limo (%) =	29.730
Argilla (%) =	14.350

Definizione granulometrica

Sabbia limosa con argilla

- Limiti di Attemberg

Limite Liquido (%)	15.67	wl
Limite Plastico (%)	14.13	wp
Indice plasrico (%)	1.54	Ip = wl-wp
Indice di consistenza	0.64	Ic = (wl-wn)/(Wl-wp)

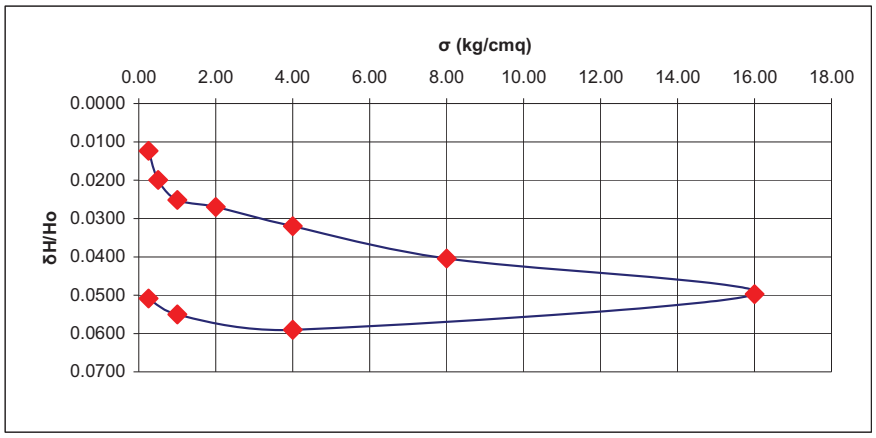
Tab. 2.9.1 – Campione C1 .- Sondaggio SM4 – Proprietà indici

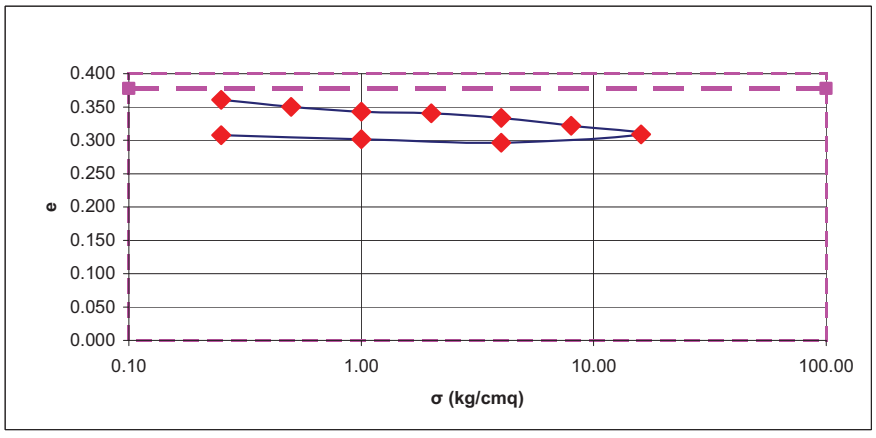
Sondaggio n.ro **SM4** **Campione n.ro** **C1**

- Prova di compressibilità edometrica

Altezza iniziale del campione =	20.00	mm =	2.00 cm
Superficie provino =	20.00	cmq	
Peso provinvo =	79.42	gr	
Altezza fittizia della fase solida =	1.45	cm	

Carico (kg/cmq)	δH (mm)	H (cm)	δH/Ho	εz (%)	e	av	mv	Eed (kg/cmq)
					0.378			
0.25	0.2470	1.9753	0.0124	1.2350	0.361	0.068	0.049	20
0.50	0.3980	1.9602	0.0199	1.9900	0.350	0.042	0.030	33
1.00	0.5030	1.9497	0.0252	2.5150	0.343	0.014	0.010	95
2.00	0.5400	1.9460	0.0270	2.7000	0.340	0.003	0.002	541
4.00	0.6400	1.9360	0.0320	3.2000	0.333	0.003	0.003	400
8.00	0.8090	1.9191	0.0405	4.0450	0.322	0.003	0.002	473
16.00	0.9950	1.9005	0.0498	4.9750	0.309	0.002	0.001	860
4.00	1.1800	1.8820	0.0590	5.9000	0.296			
1.00	1.1000	1.8900	0.0550	5.5000	0.302			
0.25	1.0170	1.8983	0.0509	5.0850	0.308			





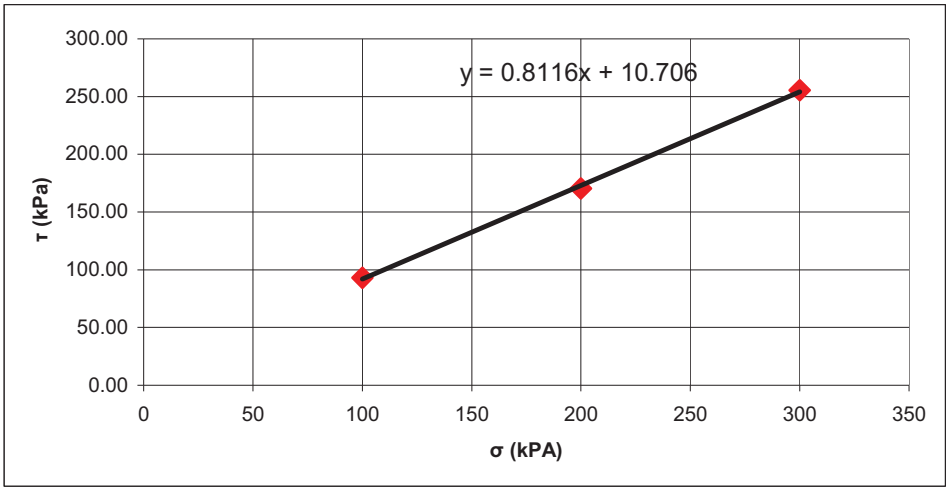
Tab. 2.9.2 – Campione C1 .- Sondaggio SM4 – Prova Edometrica

Sondaggio n.ro **SM4** **Campione n.ro** **C1**

- Prova di Taglio Diretto

Provino	**Sv**	**So**	**So**	**Sezione del Provino**	Quadrata
	KPa	**N**	**KPa**	**Area del provino**	36 cmq
1	100	335.28	93.13		
2	200	613.70	170.47		
3	300	919.60	255.44		

coesione	c' =	10.71 KPa	0.107 kg/cmq
ang. Attrito interno	φ =	0.68 rad	39.083 °



Tab. 2.9.3 – Campione C1 .- Sondaggio SM4 – Prova di Taglio Diretto

Sondaggio n.ro **SM5** **Campione n.ro** **C1**

- Caratteristiche generali

				Caratteristiche campione prova edometrica Iniziali		Finali	
γs =	2.638	ton/mc	(peso specifico dei grani)	2.638	ton/mc	2.638	ton/mc
γ =	1.983	ton/mc	(peso dell'unità di volume)	1.84	ton/mc	1.771	ton/mc
wn =	13.16	%	(contenuto naturale d'acqua)	18.83	%	13.13	%
γd =	1.752	ton/mc	(peso secco dell'unità di volume)	1.548	ton/mc	1.565	ton/mc
e =	0.505			0.704		0.685	
n =	33.57	%	(peso del provino a secco)				
Gr =	68.69	%	(grado di saturazione)				

- Granulometria

Ghiaia (%) =	3.580
Sabbia (%) =	64.710
Limo (%) =	22.340
Argilla (%) =	9.370

Definizione granulometrica

Sabbia limosa

- Limiti di Attemberg

Limite Liquido (%)	13.71	wl	
Limite Plastico (%)		wp	Non realizzabile
Indice plasrico (%)		Ip = wl-wp	
Indice di consistenza		Ic = (wl-wn)/(Wl-wp)	

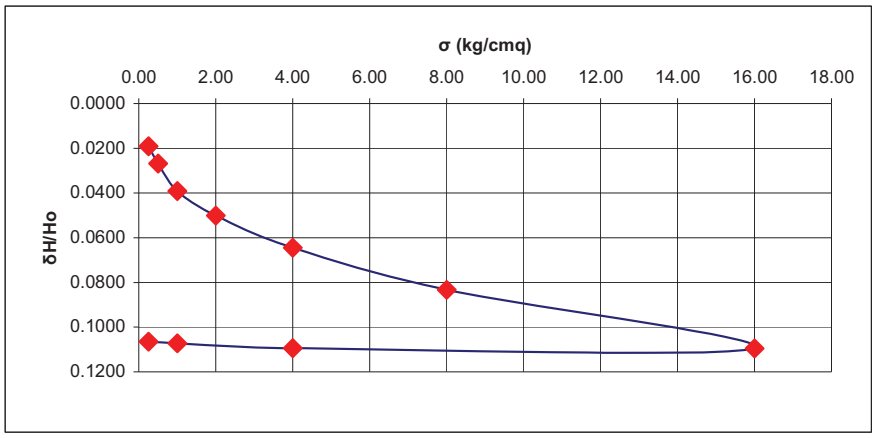
Tab. 2.10.1 – Campione C1 .- Sondaggio SM5 – Proprietà indici

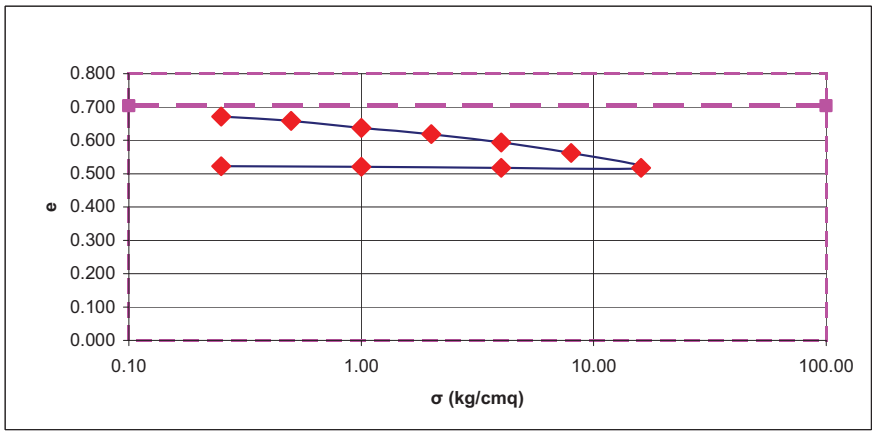
Sondaggio n.ro SM5 Campione n.ro C1

- Prova di compressibilità edometrica

Altezza iniziale del campione =	20.00	mm =	2.00 cm
Superficie provino =	20.00	cmq	
Peso provinvo =	61.94	gr	
Altezza fittizia della fase solida =	1.17	cm	

Carico (kg/cmq)	δH (mm)	H (cm)	δH/Ho	εz (%)	e	av	mv	Eed (kg/cmq)
					0.704			
0.25	0.3820	1.9618	0.0191	1.9100	0.671	0.130	0.076	13
0.50	0.5365	1.9464	0.0268	2.6825	0.658	0.053	0.031	32
1.00	0.7815	1.9219	0.0391	3.9075	0.637	0.042	0.024	41
2.00	1.0025	1.8998	0.0501	5.0125	0.618	0.019	0.011	90
4.00	1.2905	1.8710	0.0645	6.4525	0.594	0.012	0.007	139
8.00	1.6655	1.8335	0.0833	8.3275	0.562	0.008	0.005	213
16.00	2.1895	1.7811	0.1095	10.9475	0.517	0.006	0.003	305
4.00	2.1865	1.7814	0.1093	10.9325	0.517			
1.00	2.1445	1.7856	0.1072	10.7225	0.521			
0.25	2.1305	1.7870	0.1065	10.6525	0.522			





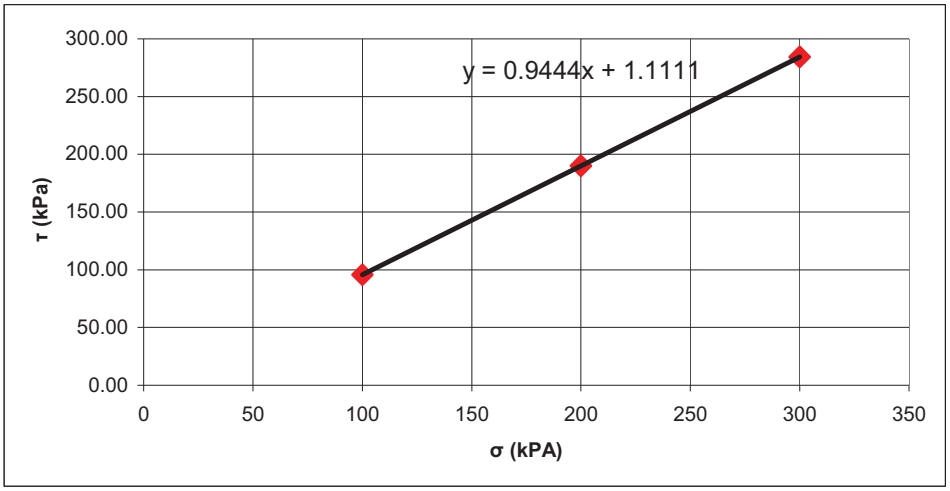
Tab. 2.10.2 – Campione C1 .- Sondaggio SM5 – Prova Edometrica

Sondaggio n.ro **SM5** **Campione n.ro** **C1**

- Prova di Taglio Diretto

Provino	**Sv**	**So**	**So**	**Sezione del Provino**	Quadrata
	KPa	**N**	**KPa**	**Area del provino**	36 cmq
1	100	344.00	95.56		
2	200	684.00	190.00		
3	300	1024.00	284.44		

coesione	c' =	1.11 KPa	0.011 kg/cmq
ang. Attrito interno	φ =	0.76 rad	43.384 °



Tab. 2.10.3 – Campione C1 .- Sondaggio SM5 – Prova di Taglio Diretto

Sondaggio n.ro **SM7** **Campione n.ro** **C1**

- Caratteristiche generali

				Caratteristiche campione prova edometrica Iniziali		Finali	
γs =	2.653	ton/mc	(peso specifico dei grani)	2.653	ton/mc	2.653	ton/mc
γ =	2.123	ton/mc	(peso dell'unità di volume)	2.091	ton/mc	2.005	ton/mc
wn =	13.92	%	(contenuto naturale d'acqua)	16.22	%	10.87	%
γd =	1.864	ton/mc	(peso secco dell'unità di volume)	1.799	ton/mc	1.808	ton/mc
e =	0.424			0.475		0.467	
n =	29.76	%	(peso del provino a secco)				
Gr =	87.18	%	(grado di saturazione)				

- Granulometria

Ghiaia (%) =	0.680
Sabbia (%) =	55.850
Limo (%) =	32.730
Argilla (%) =	10.740

Definizione granulometrica

Sabbia limosa con argilla

- Limiti di Attemberg

Limite Liquido (%)	16.02	wl	
Limite Plastico (%)		wp	Non realizzabile
Indice plasrico (%)		Ip = wl-wp	
Indice di consistenza		Ic = (wl-wn)/(Wl-wp)	

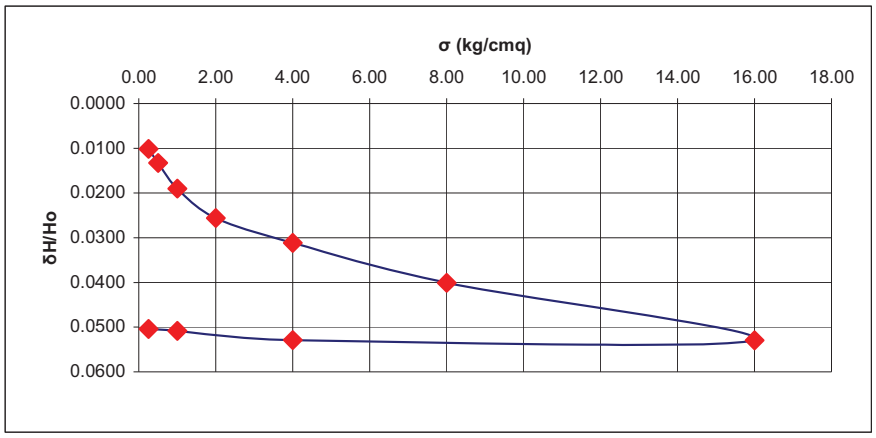
Tab. 2.11.1 – Campione C1 .- Sondaggio SM7 – Proprietà indici

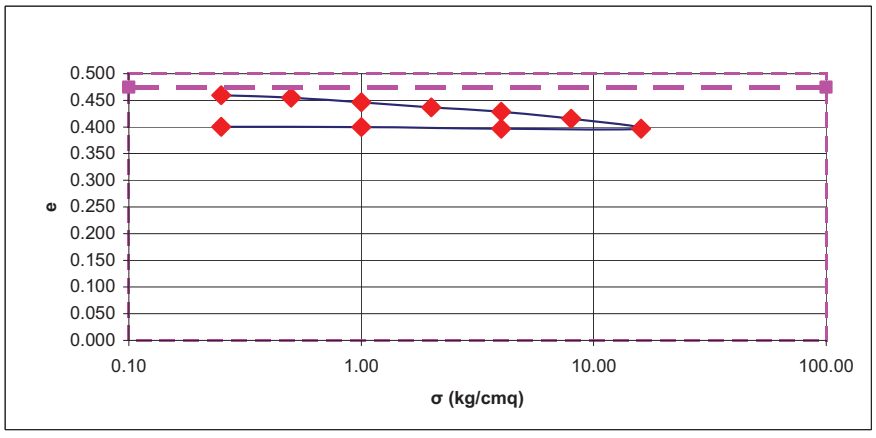
Sondaggio n.ro **SM7** **Campione n.ro** **C1**

- Prova di compressibilità edometrica

Altezza iniziale del campione =	20.00	mm =	2.00 cm
Superficie provino =	20.00	cmq	
Peso provinvo =	71.97	gr	
Altezza fittizia della fase solida =	1.36	cm	

Carico (kg/cmq)	δH (mm)	H (cm)	δH/Ho	εz (%)	e	av	mv	Eed (kg/cmq)
					0.475			
0.25	0.2030	1.9797	0.0102	1.0150	0.460	0.060	0.041	25
0.50	0.2655	1.9735	0.0133	1.3275	0.455	0.018	0.013	80
1.00	0.3805	1.9620	0.0190	1.9025	0.447	0.017	0.011	87
2.00	0.5115	1.9489	0.0256	2.5575	0.437	0.010	0.007	153
4.00	0.6225	1.9378	0.0311	3.1125	0.429	0.004	0.003	360
8.00	0.8015	1.9199	0.0401	4.0075	0.415	0.003	0.002	447
16.00	1.0585	1.8942	0.0529	5.2925	0.397	0.002	0.002	623
4.00	1.0575	1.8943	0.0529	5.2875	0.397			
1.00	1.0165	1.8984	0.0508	5.0825	0.400			
0.25	1.0075	1.8993	0.0504	5.0375	0.400			





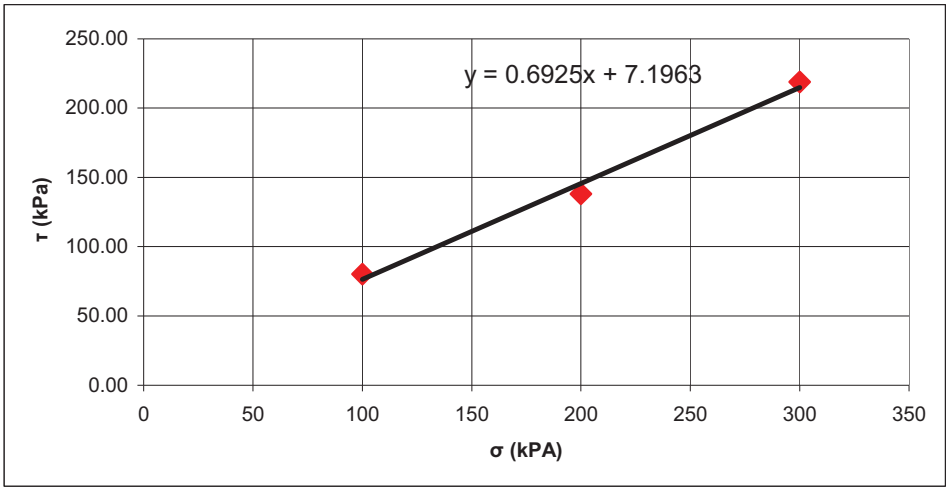
Tab. 2.11.2 – Campione C1 .- Sondaggio SM7 – Prova Edometrica

Sondaggio n.ro **SM7** **Campione n.ro** **C1**

- Prova di Taglio Diretto

Provino	**Sv**	**So**	**So**	**Sezione del Provino**	Quadrata
	KPa	**N**	**KPa**	**Area del provino**	36 cmq
1	100	289.00	80.28		
2	200	496.92	138.03		
3	300	787.60	218.78		

coesione	c' =	7.20 KPa	0.072 kg/cmq
ang. Attrito interno	φ =	0.61 rad	34.720 °



Tab. 2.11.3 – Campione C1 .- Sondaggio SM7 – Prova di Taglio Diretto

Sondaggio n.ro **SM7** **Campione n.ro** **C2**

- Caratteristiche generali

				Caratteristiche campione prova edometrica Iniziali		Finali	
γs =	2.747	ton/mc	(peso specifico dei grani)	2.747	ton/mc	2.747	ton/mc
γ =	1.744	ton/mc	(peso dell'unità di volume)	1.851	ton/mc	1.681	ton/mc
wn =	33.92	%	(contenuto naturale d'acqua)	36.68	%	23.25	%
γd =	1.302	ton/mc	(peso secco dell'unità di volume)	1.354	ton/mc	1.364	ton/mc
e =	1.109			1.028		1.014	
n =	52.59	%	(peso del provino a secco)				
Gr =	83.99	%	(grado di saturazione)				

- Granulometria

Ghiaia (%) =	0.510
Sabbia (%) =	43.160
Limo (%) =	29.050
Argilla (%) =	27.280

Definizione granulometrica

Sabbia limoso argillosa

- Limiti di Attemberg

Limite Liquido (%)	41.92	wl
Limite Plastico (%)	21.73	wp
Indice plasrico (%)	20.19	Ip = wl-wp
Indice di consistenza	0.40	Ic = (wl-wn)/(Wl-wp)

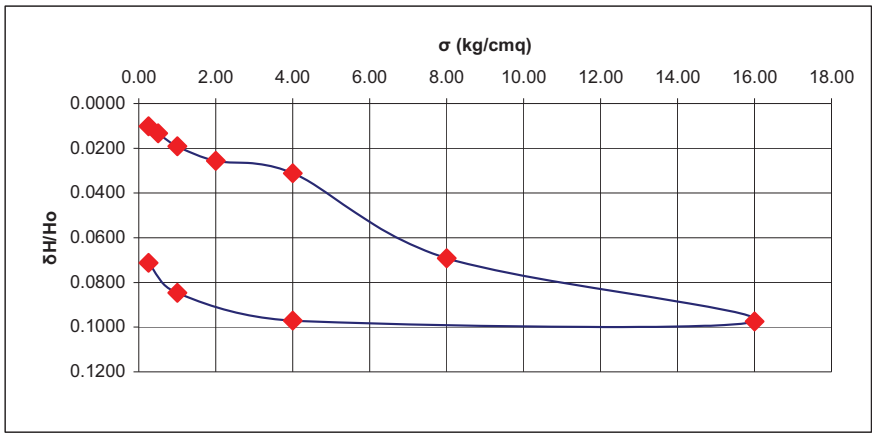
Tab. 2.12.1 – Campione C2 .- Sondaggio SM7 – Proprietà indici

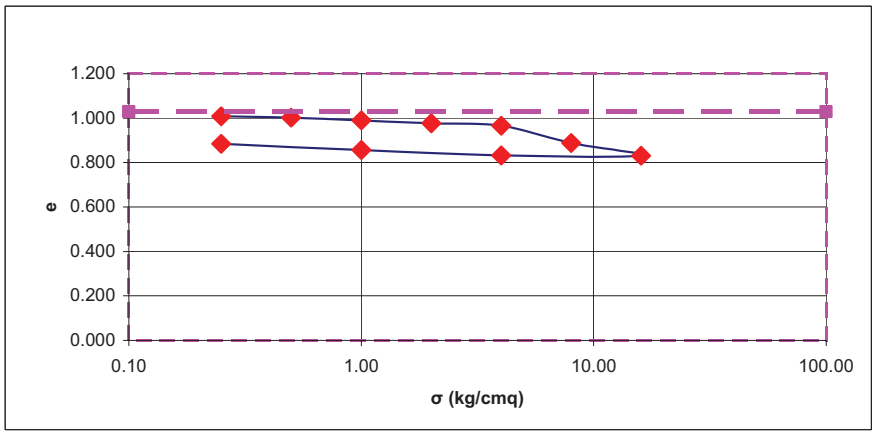
Sondaggio n.ro SM7 Campione n.ro C2

- Prova di compressibilità edometrica

Altezza iniziale del campione =	20.00	mm =	2.00 cm
Superficie provino =	20.00	cmq	
Peso provinvo =	54.17	gr	
Altezza fittizia della fase solida =	0.99	cm	

Carico (kg/cmq)	δH (mm)	H (cm)	δH/Ho	εz (%)	e	av	mv	Eed (kg/cmq)
					1.028			
0.25	0.2030	1.9797	0.0102	1.0150	1.008	0.082	0.041	25
0.50	0.2655	1.9735	0.0133	1.3275	1.001	0.025	0.013	80
1.00	0.3805	1.9620	0.0190	1.9025	0.990	0.023	0.011	87
2.00	0.5115	1.9489	0.0256	2.5575	0.977	0.013	0.007	153
4.00	0.6225	1.9378	0.0311	3.1125	0.965	0.006	0.003	360
8.00	1.3825	1.8618	0.0691	6.9125	0.888	0.019	0.010	105
16.00	1.9475	1.8053	0.0974	9.7375	0.831	0.007	0.004	283
4.00	1.9415	1.8059	0.0971	9.7075	0.832			
1.00	1.6915	1.8309	0.0846	8.4575	0.857			
0.25	1.4245	1.8576	0.0712	7.1225	0.884			





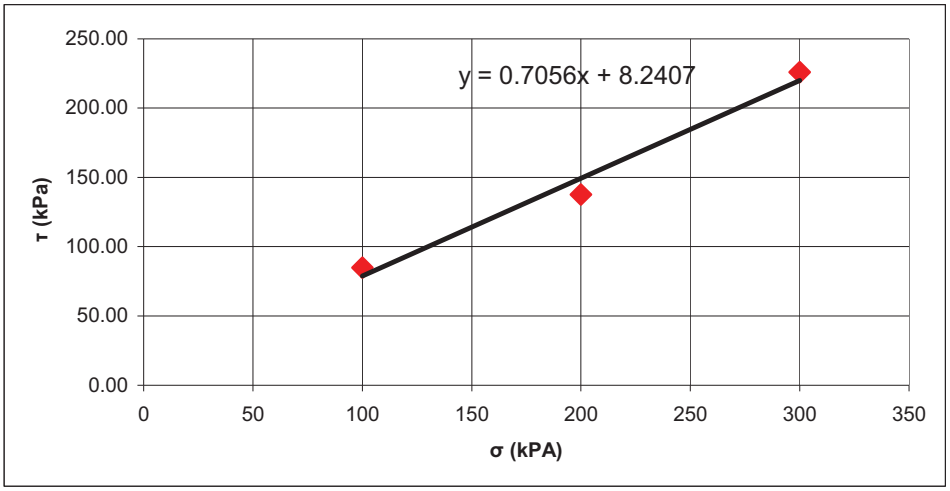
Tab. 2.12.2 – Campione C2 .- Sondaggio SM7 – Prova Edometrica

Sondaggio n.ro **SM7** **Campione n.ro** **C2**

- Prova di Taglio Diretto

Provino	**Sv**	**So**	**So**	**Sezione del Provino**	Quadrata
	KPa	**N**	**KPa**	**Area del provino**	36 cmq
1	100	305.00	84.72		
2	200	495.00	137.50		
3	300	813.00	225.83		

coesione	c' =	8.24 KPa	0.082 kg/cmq
ang. Attrito interno	φ =	0.61 rad	35.225 °



Tab. 2.12.3 – Campione C2 .- Sondaggio SM7 – Prova di Taglio Diretto

I valori ottenuti dalle analisi sono stati raggruppati in funzione della profondità del campione rispetto allo strato di calcarenite.

Nella Tabella 2.13 si riportano i valori delle proprietà dei terreni ottenute con le prove in laboratorio e ottenute con l'elaborazione delle prove penetrometriche dinamiche. Nella Tabella 2.14 si riportano i valori ottenuti sui campioni per i limiti di Attemberg, mentre nella Tabella 2.15 si riportano i valori delle caratteristiche geotecniche e meccaniche ottenute da prove di laboratorio su campioni e da prove in situ SPT. Nella Fig. 2.13 si riporta in diagramma relativo all'angolo di attrito interno per lo strato di calcareniti con sabbie e limo che costituiscono la formazione di base ottenuto con prove di taglio diretto in laboratorio e con prove in situ SPT.

Caratteristiche di geotecniche dei terreni

- Caratteristiche Generali

				Q.strato	N1,60	γs (ton/mc)	γ (ton/mc)	γd (ton/mc)	wn (%)	n (%)	Gr (%)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)
Sondaggio	**SM1**	SPT	1	2.00	14		1.640								
		Campione	C1	5.70		2.640	1.905	1.648	15.56	37.55	68.30	7.310	67.490	20.450	4.750
		SPT	2	8.00	15		1.650								
	SM2	Campione	C1	3.50		2.024	1.114	0.365	4.54	81.95	91.36	0.000	34.520	51.980	13.500
		SPT	1	3.40	55		2.050								
		Campione	C2	6.00		2.701	2.200	1.967	11.84	27.17	85.72	1.610	48.510	31.660	18.220
	SM3	SPT	1	4.70	77		2.270								
		Campione	C1	5.70		2.658	2.131	1.884	13.09	29.11	84.74	1.170	65.550	24.490	8.780
	SM4	SPT	1	2.50	2		1.520								
		Campione	C1	4.50		2.735	2.200	1.918	14.59	29.86	94.36	3.900	52.020	29.730	14.350
	SM5	SPT	1	2.00	78		2.280								
		Campione	C1	5.50		2.638	1.983	1.752	13.15	33.57	68.69	3.580	64.710	22.340	9.370
	SM6	SPT	1	1.50	83		2.330								
	SM7	SPT	1	5.00	8		1.580								
		Campione	C1	13.00		2.653	2.123	1.864	13.92	29.76	87.18	0.680	55.850	32.730	10.740
		Campione	C2	23.50		2.747	1.744	1.302	33.92	52.59	83.99	0.510	43.160	29.050	27.280
		MEDIA				2.60	1.92	1.59	15.08	40.20	83.04	2.35	53.98	30.30	13.37

Tab. 2.13– Valori delle proprietà ottenute da campioni e da prove SPT

- Limiti di Attemberg

				LL (%)	LP (%)	IP (%)	IC
Sondaggio	**SM1**	Campione	C1	16.82			
	SM2	Campione	C1	84.10			
		Campione	C2	15.67	12.05	3.62	1.06
	SM3	Campione	C1	15.26			
	SM4	Campione	C1	15.67	14.13	1.54	0.70
	SM5	Campione	C1	13.71			
	SM7	Campione	C1	16.02			
		Campione	C2	41.92	21.72	20.20	2.08

Tab. 2.14– Valori dei limiti di Attemberg

Nella Fig. 2.14 si riporta il diagramma del modulo edometrico ottenuto da prova edometrica e nella Fig. 2.15 si riporta il diagramma del modulo elastico ottenuto dall'elaborazione della prova SPT.

- Caratteristiche meccaniche dei terreni

			Q.strato (m)	c (kPa)	- Prova di taglio diretto c (kg/cmq)	φ (°)	φ (rad)	tan(φ)	Eed (kg/cmq)	SPT Prova	Q.strato (m)	SPT D1.60	Dr(%)	φ (°)	E (kg/cmq)
Sondaggio	**SM1**	Campione C1	5.70	5.57	0.056	39.84	0.695	0.834	632	SM1-1	2.00	14	74	31	262
	SM2	Campione C1	3.50	0.23	0.002	20.45	0.357	0.373		SM1-2	8.00	15	62	32	274
		Campione C2	6.00	4.75	0.048	40.58	0.708	0.856	469	SM2-1	3.40	55	83	46	617
	SM3	Campione C1	5.70	7.17	0.072	43.72	0.763	0.956	599	SM3-1	4.70	77	99	52	794
	SM4	Campione C1	4.50	10.71	0.107	39.08	0.682	0.812	860	SM4-1	2.50	2	27	25	139
	SM5	Campione C1	5.50	1.11	0.011	43.38	0.757	0.945	305	SM5-1	2.00	78	99	52	800
	SM7	Campione C1	13.00	7.20	0.072	34.72	0.606	0.693	623	SM6-1	1.50	83	102	54	841
		Campione C2	23.50	8.24	0.082	35.22	0.615	0.706	283	SM7-1	5.00	8	47	29	208
	0	MEDIA		5.62		38	0.657	0.772	539				74	40	492

Tab. 2.15– Caratteristiche meccaniche da prove di laboratorio e da prove in situ SPT

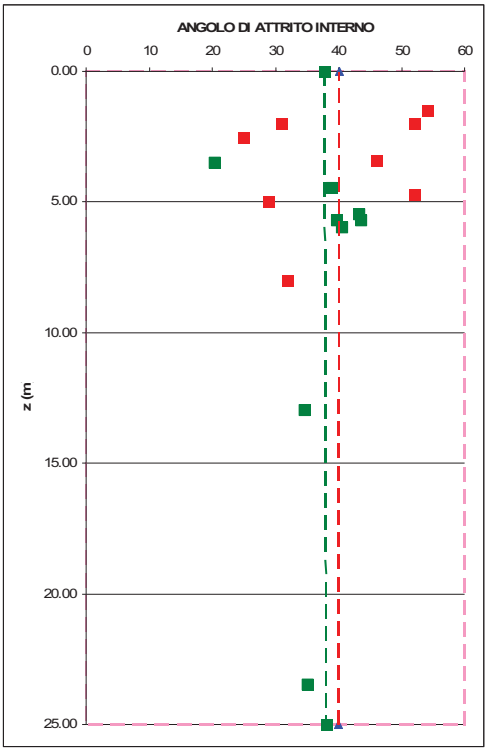


Fig. 2.13 – Diagramma di φ ottenuto da prove di laboratorio e SPT

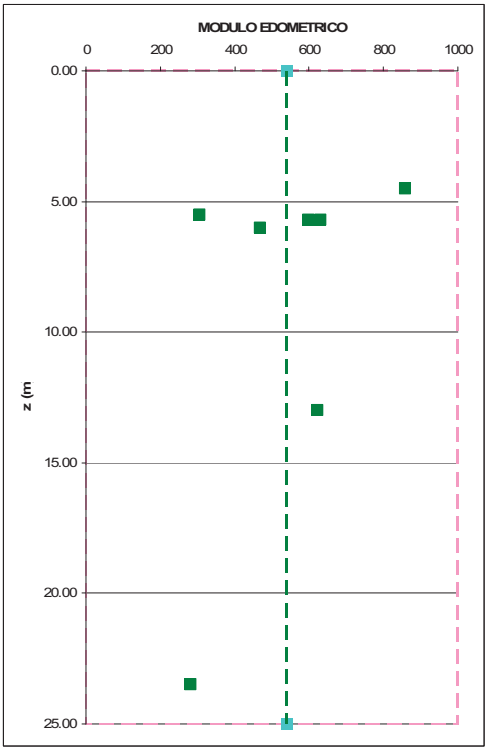


Fig. 2.14 – Diagramma di E_{ed} ottenuto da prove edometriche su campioni

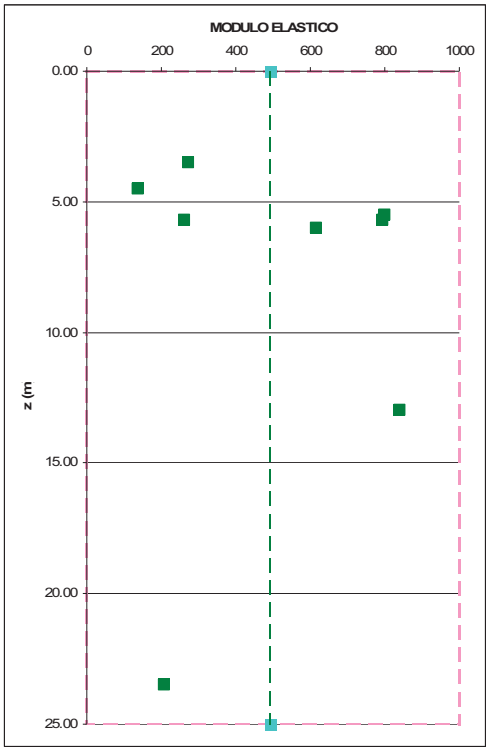


Fig. 2.15 – Diagramma di E ottenuto da elaborazioni di prove SPT

Il valore del coefficiente di Poisson che soddisfa l'equazione tra E_{ed} e E è pari a ν= 0.20 valore che si giustifica vista la rigidezza del terreno di base.

2.8. CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI TERRENI

I valori che si assumono come valori di progetto delle caratteristiche meccaniche dei terreni sono i seguenti:

- terreni di riporto

γ = 1.80 ton/mc

γ_{sat}= 1.90 ton/mc

c = 0.00 kg/cmq

φ = 25°

E = 200 kg/cmq

ν = 0.30

- formazione di base in calcareniti miste a sabbia e limo

γ = 1.92 ton/mc

γ_{sat}= 2.00 ton/mc

c = 0.06 kg/cmq

φ = 38°

E = 490 kg/cmq

E_{ed} = 540 kg/cmq

ν = 0.20

Per la caratterizzazione dello strato limoso si fa riferimento alla prova SPT eseguita in corrispondenza di uno straterello limoso in corrispondenza del sondaggio SM4 alla profondità di 13.00 m. In corrispondenza di questo strato è stato riscontrato un N_{SPT} = 3 e un $N_{1,60}$ = 2 per cui i valori dei parametri geotecnici ricavati sono

- limi

γ = 1.53 ton/mc

γ_{sat}= 1.70 ton/mc

c = 0.06 kg/cmq

φ = 22°

E = 13900 kg/cmq

ν = 0.20

2.9. CALCOLO DEL MODULO DI REAZIONE

L'espressione più generale del modulo di reazione è data da

$$k_s = C(A_s + B_s Z^n)\Phi$$

dove A_s è una costante sia per elementi verticali che per elementi orizzontali, B_s un coefficiente di profondità, Z la profondità in esame, n un esponente necessario a ottenere un andamento di k_s che approssimi al meglio i risultati ottenuti dalla prove di carico su pilastra e Φ un coefficiente di disturbo dello scavo che varia da 0.50 a 1.00. I valori di A_s e B_s possono essere ottenuti in funzione dei parametri occorrenti per il calcolo della capacità portante dei terreni di fondazione. In particolare

$$A_s = C(cN_c + 0.50\gamma N_\gamma)$$
$$B_s = \gamma N_q$$

Il coefficiente C = 40 in unità SI. I valori di N_c,N_q ed N_γ sono funzioni dell'angolo di attrito interno φ. I calcoli dei coefficienti di reazione sono riportati per il riporto e per lo strato di calcareniti nelle Tabelle 2.16.

Determinazione del coefficiente di reazione

Riporto

γ =	18.00	kN/mc	
c =	0.00	kN/mc	
φ =	25	°	0.436 rad
Z =	1.00	m	(profondità di calcolo)
Φ =	1.00		(coefficiente di disturbo dello scavo 0.50-1.00)
n =	1.00		

Coefficienti relativi al carico limite per fondazione superficiali

Nc =	20.721
Nq =	10.662
Nγ =	10.876

Coefficienti dell'equazione di ks

A =	97.89
B =	191.92
C =	40.00

ks =	11592.208	kN/mc	1.16 kg/cmc

Tabella 2.16.a – Coefficiente di reazione - Riporto

Determinazione del coefficiente di reazione

Calcareniti miste a sabbie e limi

γ =	19.20	kN/mc	
c =	6.00	kN/mc	
φ =	38	°	0.663 rad
Z =	1.00	m	(profondità di calcolo)
Φ =	1.00		(coefficiente di disturbo dello scavo 0.50-1.00)
n =	1.00		

Coefficienti relativi al carico limite per fondazione superficiali

Nc =	61.352
Nq =	48.933
Nγ =	78.024

Coefficienti dell'equazione di ks

A =	1117.14
B =	939.52
C =	40.00

ks =	82266.48	kN/mc	8.23 kg/cmc

Tabella 2.16.b – Coefficiente di reazione – Calcarenite con sabbia e limo

3. CONCLUSIONI

Nella presente relazione si riportano tutte le indagini eseguite per la caratterizzazione dei terreni di fondazione, le formule e i criteri adottati per tale caratterizzazione e i parametri che sono stati assunti alla base dei calcoli delle strutture.

Per facilità di lettura, le verifiche geotecniche delle singole opere sono riportate nelle singole relazioni di calcolo. Le verifiche geotecniche eseguite sono:

- per gli edifici su fondazione superficiali – la verifica carico limite per fondazione superficiale;
- per gli edifici con fondazioni su pali: - la verifica a carico limite dei pali;
- per i cassoni : verifica a carico limite della fondazione superficiale, verifica allo scorrimento e verifica a ribaltamento;
- per il molo di ridosso su pali: verifica dei pali di fondazione
- per la diga a gettata: verifica dei cedimenti e verifica di stabilità globale del manufatto.