



# PROVINCIA REGIONALE DI RAGUSA

## POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA

### PROGETTO DEFINITIVO

CUP F520C05000070003

#### GRUPPO DI PROGETTAZIONE (ATI):

**SIS S.r.l. (MANDATARIA)**  
**A&S Engineering S.r.l.**  
**BONIFICA ITALIA S.r.l.**  
**CO.RE. INGEGNERIA**  
**OMNISERVICE Engineering S.r.l.**

#### RESPONSABILI DI PROGETTO:

**Prof. Ing. Antonio Bevilacqua**  
Ordine Ingegneri di Palermo n. 4058  
**Dott. Ing. Franco Persio Bocchetto**  
Ordine Ingegneri di Roma n. 8664  
**Dott. Ing. Vincenzo Calzona**  
Ordine Ingegneri di Roma n. 16656  
**Dott. Ing. Pietro Agnello**  
Ordine Ingegneri di Agrigento n. 543

RESPONS. INTEG. PREST. SPECIALISTICHE  
Prof. Ing. Antonio Bevilacqua



#### UFFICIO DEL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  
Dott. Ing. Vincenzo Corallo

ASSISTENTE  
Dott. Ing. Salvatore Dipasquale

## STUDI ED INDAGINI - GEOTECNICA

### Relazione geotecnica generale


CODICE: PD-GE02-GET-RE01-B

SCALA: --

DATA: Ottobre 2010


NOME FILE: PD-GE02-GET-RE01-B.DOC

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Visto	Approvato
A	Luglio 2010	EMISSIONE PROGETTO DEFINITIVO	SPINA	ALAGNA	BEVILACQUA
B	Ottobre 2010	REVISIONE GIUSTA NOTA PROV. RG PROT. 052241 DEL 02/09/2010	SPINA	ALAGNA	BEVILACQUA

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>2</b>
<b>3. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>2</b>
<b>4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....</b>	<b>3</b>
<b>5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO PROGETTO PRELIMINARE .....</b>	<b>4</b>
<b>6. INQUADRAMENTO GEOTECNICO PROGETTO DEFINITIVO .....</b>	<b>7</b>
<b>7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....</b>	<b>7</b>
<b>7.1 ANALISI DEI RISULTATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE.....</b>	<b>9</b>
7.1.1 Terreno vegetale (TV) .....	13
7.1.2 Sabbie (S).....	14
7.1.3 Marne calcarenitiche sabbiose (MCS).....	17
7.1.4 Marne calcarenitiche argillose (MCA).....	20
7.1.5 Argille (A).....	23
7.1.6 Limi (L) .....	26
7.1.7 Calcareniti grigie (CG) .....	30
7.2 FALDA IDRICA.....	31
7.3 PROVE CBR .....	31
7.4 PROVE DI PERMEABILITA' .....	33
7.5 PROVE SISMICHE .....	34
7.6 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE .....	37

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 1. PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto lo studio geotecnico del progetto definitivo relativo ai lavori di “Potenziamento dei collegamenti stradali fra la S.S. n. 115 nel tratto Comiso – Vittoria, il nuovo Aeroporto di Comiso e la S.S. n. 514 Ragusa – Catania”.

Il tracciato stradale in esame presenta una lunghezza complessiva di km 14+150,87 e si sviluppa per un primo tratto, fino alla progressiva 6+000.00 circa, su sede stradale esistente mentre la rimanente parte su sede nuova.

Questa relazione fornisce l'inquadramento geologico delle aree interessate, a partire dallo studio geologico fornito dall'Amministrazione, la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione e le relative considerazioni sulla natura dei terreni stessi.

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO


La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di progettazione è la seguente:

- Decreto Ministeriale D.M. 14 gennaio 2008 “Norme tecniche per le costruzioni”
- Eurocodice 2 “Progettazione delle strutture in calcestruzzo”

## 3. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata redatta con riferimento alle risultanze del progetto preliminare e alla documentazione del progetto definitivo di seguito indicata:

- Relazione Idrologia
- Relazione idraulica
- Relazione geologica
- Carta geologico-morfologica
- Carta idrogeologica

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- Carta ubicazioni indagini geognostiche
- Profilo geologico del tracciato
- Risultanze geognostiche
- Risultanze prospezioni geosismiche
- Risultanze di laboratorio
- Risultanze rilievi topografici


#### 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in esame è compresa tra le quote 520÷550 m s.l.m. circa (Contrade Comparao, Cassarello, S. Marco) e quota 140 m s.l.m. circa (Torrente Fontana Volpe), in cui si possono distinguere tre zone morfologicamente differenti: una zona montana, dominio delle formazioni marine calcaree oligo-mioceniche in facies iblea, una zona di transizione pedemontana, di aspetto collinare, dominio dei sedimenti continentali pleistocenici ed una zona sub-pianeggiante, di Altipiano calcareo (substrato) che consta di formazioni marine terziarie, afferenti alla successione calcareo-calcarenitico-marnosa della Formazione Ragusa ed alla successione marnosa della Formazione Tellaro.

Il tracciato stradale in esame si sviluppa ai piedi della Scarpata di Comiso, all'interno del bacino idrografico del fiume Ippari, compreso tra le quote 340÷180 m s.l.m.; nel complesso l'area in esame presenta una debole pendenza che degrada di quota in direzione NE-SO da Contrada Coffa, territorio di Chiaramonte Gulfi, a Contrada Billona - Bosco Piano, territorio di Vittoria.

Il tracciato ricade nella zona di transizione pedemontana il cui substrato è costituito dalla successione calcareo-calcarenitico-marnosa (Formazione Ragusa) formata da alternanze di calcilutiti/calcareniti e marne. I terreni di copertura del substrato sono formati da un complesso di sedimenti che vanno dal marino al continentale; in particolare affiorano, dalle più recenti alle più antiche, le seguenti unità litostratigrafiche:

- a) *Terreni di Riporto*: sono terreni di natura antropica costituiti da materiale di risulta con spessore superiore anche ai dieci metri.
- b) *Coni di Detriti*: si tratta di paleo detriti costituiti da pietrisco e blocchi di natura carbonatica immersi in una matrice carbonatica arenitica arrossata

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- c) *Alluvioni recenti ed attuali*: si tratta di ciottoli calcarei eterometrici e di materiale sabbioso-limoso; affiorano lungo il Fiume Ippari ed lungo le altre incisioni torrentizie costituendo l'alveo di piena e di magra.
- d) *Depositi palustri, Terre rosse, Limi fluvio-lacustri e Depositi travertinosi*: i depositi palustri sono costituiti da sabbie e limi di colore bruno; le terre rosse sono costituite da limi argilloso-sabbiosi di colore rosso che derivano da processi di alterazione carsica di rocce carbonatiche e formano coperture residuali da sottili a spesse; i limi fluvio-lacustri e i depositi travertinosi consistono in limi biancastri, croste carbonatiche e depositi travertinosi torbosi, con spessori variabile da qualche metro a qualche decina di metri.
- e) *Conglomerati - ghiaie e sabbie carbonatiche, Sabbie gialle con livelli arenacei*: si tratta di conglomerati, ghiaie e sabbie varie che formano collinette dove gli spessori sembrano raggiungere e superare la decina di metri.
- f) *Depositi limnici*: sono calcari marnosi, marne, argille e silt biancastri, dall'aspetto talora brecciato o grumoso, affioranti lungo il corso del Torrente Fontana Volpe e del fiume Ippari;
- g) *Calcareniti bianco giallastre*: sono calcareniti grossolane contenenti resti di gusci di organismi marini.
- h) *Marne calcaree e calcari marnosi*: sono calcari marnosi e marne calcaree biancastre di aspetto trubeo, silts fossiliferi ed argille.


## 5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO PROGETTO PRELIMINARE

Il progetto preliminare, a seguito della campagna di indagini 2007/2008 ha individuato tre litotipi prevalenti quali:

- Limi bruni (L)
- Sabbie (S)
- Calcareniti marnose (CM)

Di seguito si riporta in breve la caratterizzazione del progetto preliminare, distinta per ogni litotipo.

### *Limi bruni (L)*

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Sono costituiti da un'alternanza di depositi palustri, depositi travertinosi con livelli di torba e terre rosse.

Per caratterizzare tale litotipo si è fatto riferimento ai risultati di laboratorio condotti sui campioni, ricadenti in tale litotipo, con particolare riferimento ai sondaggi S1, S5, S8, S11 ed S12. Da quanto si è evinto dalle risultanze delle indagini sia in situ che di laboratorio, il litotipo in esame presenta un comportamento essenzialmente di tipo coesivo; in sede di analisi preliminare sono stati assunti i seguenti range di valori dei vari parametri geotecnici, mediando i dati disponibili:

- Peso specifico  $\gamma = 18 \div 19 \text{ kN/m}^3$ ;
- Contenuto naturale d'acqua  $w_n = 20 \div 40 \%$ ;
- Angolo di attrito efficace  $\varphi' = 20 \div 25^\circ$ ;
- Coesione drenata  $c' = 50 \text{ kPa}$ ;
- Coesione non drenata  $c_u = 20 \div 50 \text{ kPa}$ ;
- Modulo elastico  $E = 20 \div 25 \text{ MPa}$ ;
- Modulo edometrico  $E_{ed} = 15 \div 20 \text{ MPa}$ ;
- Indice dei vuoti  $e_0 = 0.50 \div 0.60$ ;
- Coefficiente di consolidazione primaria  $c_v = 0.007 \div 0.008 \text{ cm}^2/\text{s}$ ;
- Coefficiente di permeabilità  $k = 5 \times 10^{-8} \div 7 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ ;
- $\text{OCR} = 2 \div 3$ .


### *Sabbie (S)*

Sono costituite da un'alternanza di sabbie con livelli arenacei, conglomerati, ghiaie e sabbie carbonatiche di spessori compresi tra 2÷12 m circa nella maggior parte dei casi affiorante mentre in altri come strato di base dei limi bruni.

I sondaggi geognostici che presentano tale litotipo sono S3, S4 ed S9, con potenze rispettivamente di circa 9 m, 5 m e 3 m.

Da quanto si evince dalle risultanze delle indagini in situ, il litotipo in esame presenta un comportamento essenzialmente di tipo incoerente denso, i cui parametri geotecnici da assumersi in sede di progettazione preliminare sono i seguenti:

- Peso specifico  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ ;

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- Angolo di attrito efficace  $\phi' = 30\div 40^\circ$ ;
- Coesione drenata  $c' = 0$  kPa;
- Modulo elastico  $E = 25\div 35$  MPa;
- Coefficiente di permeabilità  $k = 10^{-3}\div 10^{-5}$  m/s.


### *Calcareniti marnose (CM)*

Sono depositi limnici costituiti da calcari marnosi, silts biancastri e travertini che raggiungono potenze fino a 20 m poggiando sul substrato calcarenitico marnoso della Formazione Ragusana.

Per caratterizzare tale litotipo si è fatto riferimento ai risultati di laboratorio condotti sui campioni ricadenti nel litotipo in esame, con particolare riferimento ai sondaggi S4, S6, S8, S10, S11, S12, S13, S15 ed S16.

Da quanto si è evinto dalle risultanze delle indagini sia in situ che di laboratorio, il litotipo in esame presenta un comportamento essenzialmente di tipo coesivo; in sede di analisi preliminare sono stati assunti i seguenti range di valori dei vari parametri geotecnici, mediando i dati disponibili:

- Peso specifico  $\gamma = 18\div 19$  kN/m<sup>3</sup>;
- Contenuto naturale d'acqua  $w_n = 25\div 35$  %
- Angolo di attrito efficace  $\phi' = 30\div 40^\circ$ ;
- Coesione drenata  $c' = 20\div 40$  kPa;
- Coesione non drenata  $c_u = 100\div 250$  kPa;
- Modulo elastico  $E = 20\div 40$  MPa;
- Modulo edometrico  $E_{ed} = 25\div 50$  MPa;
- Indice dei vuoti  $e_0 = 0.6\div 0.7$ ;
- Coefficiente di consolidazione primaria  $c_v = 0.008\div 0.009$  cm<sup>2</sup>/s;
- Coefficiente di permeabilità  $k = 6\times 10^{-8} \div 1.5\times 10^{-7}$  cm/s;
- OCR = 3.

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 6. INQUADRAMENTO GEOTECNICO PROGETTO DEFINITIVO

Sono stati confermati i litotipi da progetto preliminare, con ulteriori distinzioni date le maggiori indicazioni fornite dalla campagna di indagini 2009/2010; in particolare è possibile distinguere 7 litotipi:

- Terreno Vegetale (TV)
- Sabbie (S)
- Marne calcarenitiche sabbiose (MCS)
- Marne calcarenitiche argillose (MCA)
- Argille (A)
- Limi (L)
- Calcareniti grigie (CG)

Rispetto al progetto preliminare sono state affinate le differenze per le calcareniti marnose, distinguendole in una tipologia a prevalenza sabbiosa (MCS), una tipologia a prevalenza limo-argillosa (MSA) e una tipologia più compatta indicata come Calcareniti Grigie (CG).

Un'ulteriore differenziazione è stata effettuata per i limi bruni, nei quali nel progetto preliminare ricadevano sia quelli a componente prevalentemente argillosa sia quelli a componente prevalentemente limosa. In sede di progetto definitivo è stata operata la differenziazione in Argille (A) e Limi (L).


Infine viene data evidenza del terreno vegetale (TV), caratterizzato mediante le prove penetrometriche dinamiche continue (DPSH).

## 7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati all'area in esame si è fatto riferimento ai risultati della campagna di indagini geognostiche del 2010 ed il relativo studio geologico, condotto dall'Amministrazione, in particolare dal personale afferente il 13° Settore Geologia della Provincia Regionale di Ragusa e condotto dalla GLOBALGEO s.r.l., mediante l'utilizzo delle attrezzature geognostiche dirette ed indirette e geotecniche di laboratorio in dotazione agli stessi.

In particolare nella campagna di indagini del 2010 sono state condotte le seguenti indagini da



 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

parte dell'Amministrazione:


- n. 5 sondaggi meccanici a rotazione, a carotaggio continuo e con uso di doppio carotiere ove previsto, della profondità di 30,00 metri cadauno, denominati S.PD.1, S.PD.2, S.PD.5, S.PD.7, S.PD.8,
- n. 22 prove S.P.T. in foro;
- n. 7 campioni indisturbati nel corso dei sondaggi S.PD.1, S.PD.5, S.PD.7 e S.PD.8;
- n. 3 prove di permeabilità tipo Lefranc a carico variabile nel foro di sondaggio S.PD.1;
- n. 8 prove penetrometriche dinamiche continue standardizzate (SCPT) di tipo pesante DPSH, denominate da PP\_PD.01 a PP\_PD.08;
- n. 5 prove sismiche in foro tipo down-hole, mediante condizionamento dei fori di sondaggio S.PD.1, S.PD.2, S.PD.5, S.PD.7 e S.PD.8;

Da parte della GLOBALGEO s.r.l. sono state effettuate le seguenti indagini:

- n. 7 sondaggi meccanici a rotazione, a carotaggio continuo e con uso di doppio carotiere ove previsto, denominati S.PD.3, S.PD.4, S.PD.6, S.PD.9, S.PD.10, S.PD.11, S.PD.12;
- n. 3 campioni indisturbati;
- n. 10 campioni Rimaneggiati;
- n. 18 campioni per prove CBR;
- n. 14 prove S.P.T. in foro;
- n. 6 piezometri a Tubo Aperto per i fori di sondaggio S.PD.3, S.PD.4, S.PD.6, S.PD.9, S.PD.11 e S.PD.12;
- n. 6 pozzetti di Protezione;
- n. 6 prove di permeabilità Lefranc a carico variabile.

Le caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi interessati sono state accertate tramite analisi di laboratorio quali:

- determinazioni del contenuto naturale d'acqua;
- determinazioni del peso di volume su terra;
- determinazioni del peso specifico del solido;
- analisi granulometriche per setacciatura e sedimentazione;

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- analisi calcimetriche;
- prove di taglio diretto;
- prove di compressione edometrica;
- prove di rottura per compressione semplice;
- prove di costipamento tipo AASHO modificata;
- prove CBR con imbibizione pari a 96 ore.

Dalle risultanze di tali indagini, riportate nella “Relazione geologica” fornito dall’Amministrazione, è possibile condurre delle analisi sui dati relativi ai singoli litotipi riscontrati in sito, in modo da effettuare una caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione che interessano il tracciato stradale in progetto.

## 7.1 ANALISI DEI RISULTATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE


L’analisi dei risultati delle indagini è stata condotta aggregando i dati per tipologia di litotipo interessato, in modo da poter definire per ciascuno di essi dei range di parametri geotecnici caratteristici da utilizzare nelle scelte progettuali.

Da quanto si evince dall’analisi geologica e geomorfologica dell’area in cui ricade il tracciato stradale in progetto si distinguono sette litotipi prevalenti, quali:

- Terreno Vegetale (TV)
- Sabbie (S)
- Marne calcarenitiche sabbiose (MCS)
- Marne calcarenitiche sabbiose (MCA)
- Argille (A)
- Limi (L)
- Calcareniti grigie (CG)

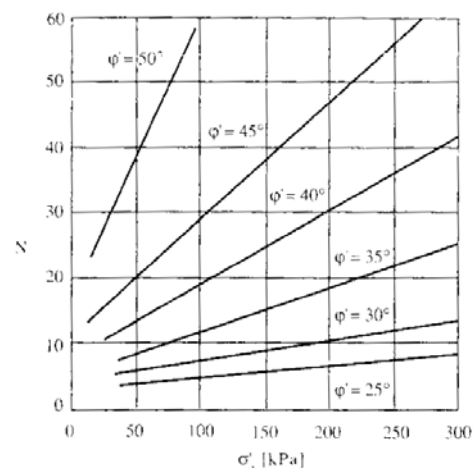
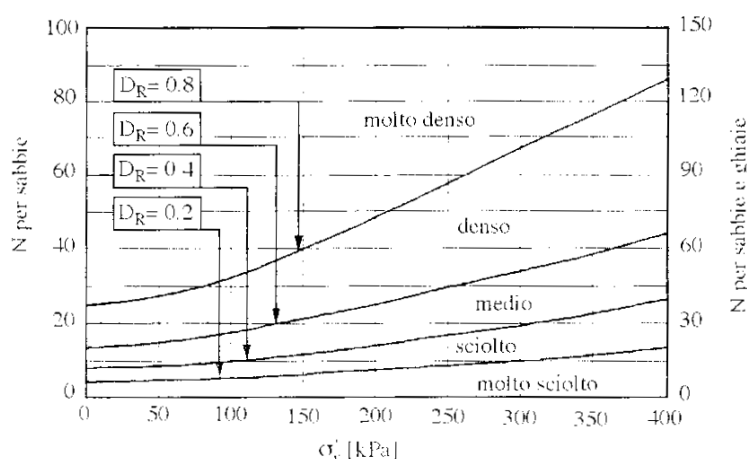
Per caratterizzare geotecnicamente i terreni, in base alle prove eseguite durante la campagna di indagine, sono state seguite alcune correlazioni che di seguito sono descritte.

Le prove SPT consentono la stima dei parametri di resistenza nel caso di terreni incoerenti, in

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

quanto in letteratura sono presenti sufficienti correlazioni per la loro valutazione.

Noto il numero di colpi delle prove SPT è possibile stimare i valori della densità relativa e dell'angolo di attrito interno, mediante i seguenti grafici (Viggiani, 1993):



Nella campagna di indagini 2009/2010 sono state condotte oltre alle prove SPT, anche prove DPSH, che consiste nel far penetrare nel terreno mediante battitura una punta conica di dimensioni e forma standardizzate.


Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi  $N_{spt}$  ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con  $N_{spt}$ . Per poter effettuare il passaggio tra penetrometro standard e penetrometro dinamico pesante DPSH si possono sfruttare le seguenti relazioni in funzione dei numeri di colpi e delle energie specifiche delle diverse attrezzature di prova:

$$N_{spt} = \beta t N$$

dove:

- $\beta t = Q / Q_{spt}$ ;
- $Q$ : energia specifica per colpo;
- $Q_{spt}$ : energia specifica della prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

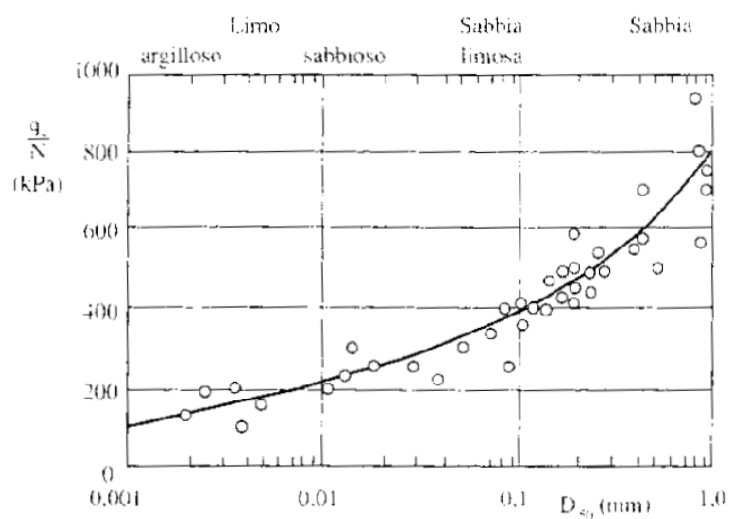
 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui


- M = peso massa battente;
- M' = peso aste;
- H = altezza di caduta;
- A = area base punta conica;
- $\delta$  = passo di avanzamento.

Per i terreni coesivi, le correlazioni disponibili per la stima dei parametri sono per lo più riferite ai risultati delle prove CPT e pertanto si utilizza dapprima il grafico di correlazione  $N_{SPT}$ -qc (Robertson et altri, 1982) riportato di seguito e successivamente, noto il diametro passante al 50%, vengono utilizzate le correlazioni disponibili in letteratura per la caratterizzazione geotecnica del litotipo in esame.



Definita la resistenza penetrometrica alla punta si stimano i seguenti parametri geotecnici:

*coesione non drenata:*

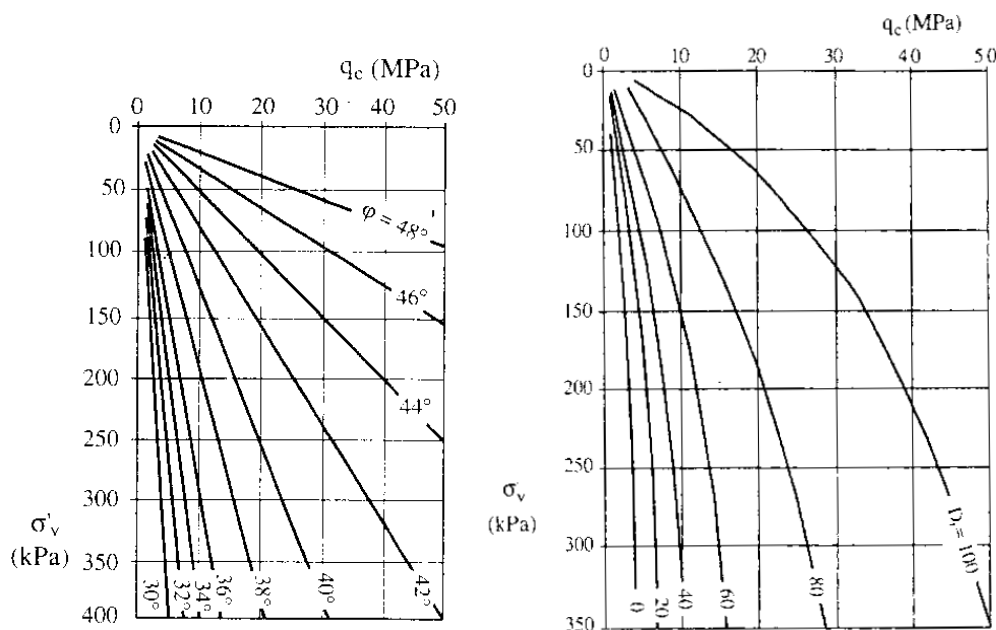
 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

$$c_u = 0.22 \cdot \sigma'_{v0} \cdot OCR^{0.8} \text{ (Ladd, 1985)}$$

dove:

- $OCR = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v0}}$  = grado di consolidazione
- $\sigma'_p$  = tensione di preconsolidazione, determinata mediante i diagrammi indice dei vuoti
- (e)-tensione litostatica verticale efficace ( $\sigma'_{v0}$ ) ricavata dalle prove edometriche.

*densità relativa* (Baldi et altri, 1986) ed *angolo di attrito efficace* (Viggiani, 1993):




*modulo elastico:*

$$E = m \cdot (\sigma'_{v0} \cdot p'_a)^{0.5} \text{ (Jambu, 1967)}$$

dove

- $\sigma'_{v0}$  = pressione litostatica efficace;
- $p'_a$  = pressione atmosferica (100 kPa);
- $m$  = coefficiente funzione del tipo di terreno e del grado di addensamento, che può essere espresso mediante le seguenti:

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- $m = 70 \cdot e^{0.02 \cdot Dr}$  per limi
- $m = 110 \cdot e^{0.02 \cdot Dr}$  per sabbie
- $m = 170 \cdot e^{0.02 \cdot Dr}$  per ghiaie

modulo edometrico:  $E_{ed} = 1.2 \div 1.5 \cdot E$  (Viggiani, 1993)

Di seguito si riporta la caratterizzazione geotecnica di ciascuno strato di terreno interessato dal tracciato in progetto.

### 7.1.1 Terreno vegetale (TV)


Sono costituiti da un'alternanza di depositi superficiali, molto degradati o riportati in situ, descritti come terre nere, terre rosse, terre vegetali, terre agrarie.

Per caratterizzare tale litotipo si è fatto riferimento ai risultati delle prove dinamiche continue in situ di tipo pesante DPSH, condotti sui campioni, ricadenti in tale litotipo, dei sondaggi PP\_PD.01, PP\_PD.02, PP\_PD.03, PP\_PD.04, PP\_PD.05, PP\_PD.06, PP\_PD.07, PP\_PD.08.

Negli elaborati relativi alle indagini in situ mediante penetrometro dinamico continuo DPSH, per la stima dei parametri di compressibilità del terreno vegetale, si considera una media del valore di  $N_{20}$  per i metri dello stesso. Per passare da  $N_{20}$  a  $N_{spt}$  si considera un coefficiente  $\beta$  pari a 1.489 così come indicato nell'elaborato relativo alle indagini di cui sopra. I valori della densità relativa sono stati ottenuti a partire dai grafici in funzione del numero di colpi  $N_{spt}$ , mentre il modulo elastico è stimato con la relazione di Jambu.

Campione	$N_{20}$	$N_{spt}$	DR (%)	E (kPa)
PP_PD.01	5	7	40	6967
PP_PD.02	5	7	40	6967
PP_PD.03	6	9	55	9405
PP_PD.04	4	6	30	5704
PP_PD.05	4	6	30	5704
PP_PD.06	5	7	40	6967
PP_PD.07	5	7	40	6967
PP_PD.08	5	7	40	6967

Tabella 1: Risultanze sondaggi da PP\_PD.01 a PP\_PD.08.

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Da quanto si è evinto dalle risultanze delle indagini in situ il litotipo in esame presenta un comportamento essenzialmente di tipo incoerente; in sede di analisi sono stati assunti i seguenti range di valori dei vari parametri geotecnici, mediando i dati disponibili:

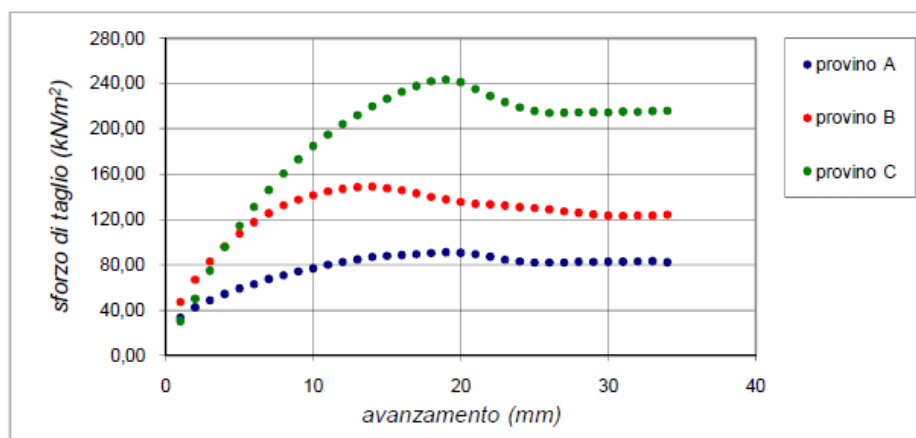
- Peso specifico  $\gamma = 17 \div 19 \text{ kN/m}^3$ ;
- Modulo elastico  $E = 5 \div 8 \text{ MPa}$ .

### 7.1.2 Sabbie (S)


Sono costituite da un'alternanza di sabbie con livelli arenacei, conglomerati, ghiaie e sabbie carbonatiche di spessori compresi tra 2÷12 m circa nella maggior parte dei casi affiorante mentre in altri come strato di base delle marne e delle argille.

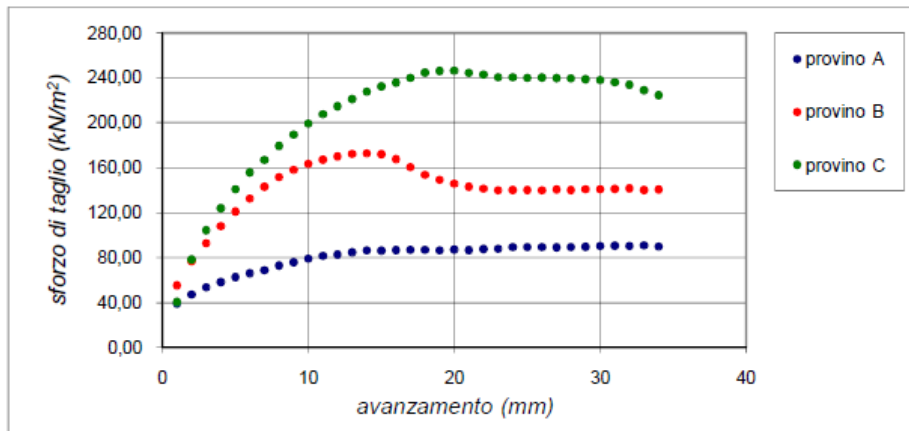
I sondaggi geognostici che presentano tale litotipo sono SPD1, SPD8 e per una maggiore validazione delle scelte dei parametri si considera anche il sondaggio appartenente alla campagna di indagine del progetto preliminare S12.

I risultati disponibili per la caratterizzazione geotecnica sono quelli relativi alle prove di taglio diretto condotte nei sondaggi sopracitati.



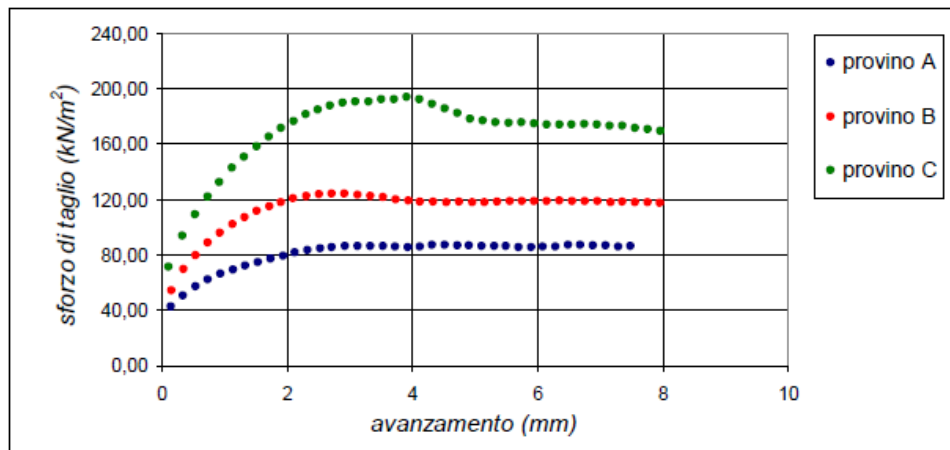
*Fig. 7.1 – Prova di taglio campione SPD1-C2*

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



*Fig. 7.2 – Prova di taglio campione SPD8-C1*


Dal confronto di queste prime due prove di taglio si denota un comportamento molto simile in termini di tensioni – spostamenti. Il valore di orizzontalità della curva, indicativo dello stato a volume costante si raggiunge intorno ai 25 mm di spostamento orizzontale.

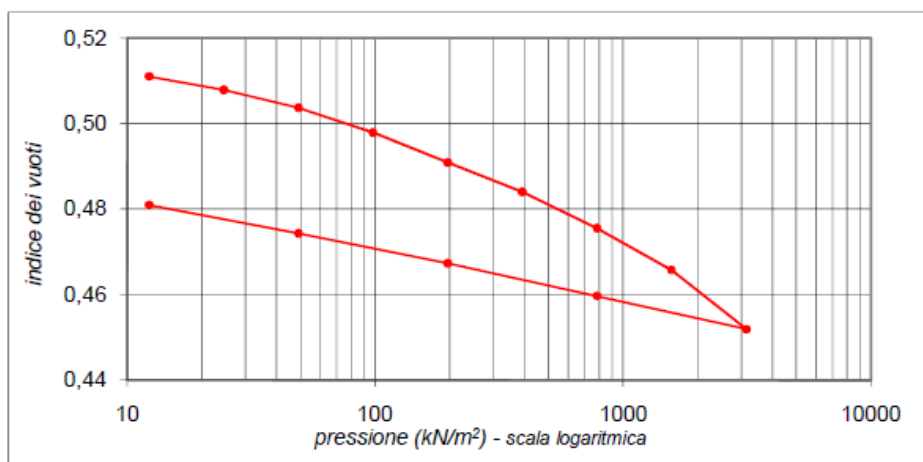


*Fig. 7.3 – Prova di taglio campione S12-C2*

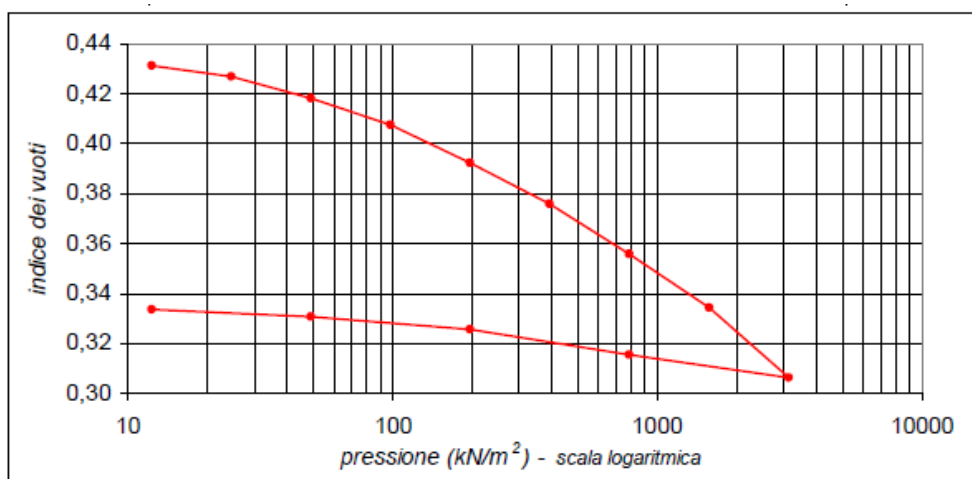
Dall'analisi della precedente prova di taglio si evidenzia un raggiungimento dello stato a volume costante dell'ordine dei 4 mm, inferiore alle due precedenti, indice probabilmente di una componente più limosa nel campione.



 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------




*Fig. 7.4 – Prova edometrica campione SPD1-C2*



*Fig. 7.5 – Prova edometrica campione S12-C2*

Dal confronto tra le due prove di compressione edometrica si evidenzia per la prima un comportamento più elastico, rispondente ad un provino a componente più sabbiosa, mentre per la seconda un comportamento meno elastico ad ulteriore testimonianza della maggiore quantità di particelle a grana fine, tipico dei terreni più limosi.

Per la caratterizzazione della coesione e dell'angolo di resistenza a taglio sono state sfruttate le prove di taglio diretto. Per il calcolo della densità relativa sono state sfruttate le prove di compressione edometrica e per la determinazione del modulo elastico  $E$  è stato utilizzata la relazione di Jambu. Nella tabella seguente si riporta la caratterizzazione alla luce delle

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

considerazioni appena descritte.

Sondaggio	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$w_n$ (%)	$c'$ (kPa)	$\varphi'$ (°)	Dr (%)	E (kPa)
SPD1	19.46	15.68	8.88	37.8	38	28600
SPD8	19.48	24.38	14.84	38.4	-	-
S12	21.30	18.07	26.45	28.5	32	23300

*Tabella 2: Caratterizzazione geotecnica mediante i sondaggi.*


Da quanto si evince dalle risultanze delle indagini in situ, il litotipo in esame presenta un comportamento essenzialmente di tipo incoerente con presenza di matrice limosa che comporta la determinazione di bassi valori di coesione; i parametri geotecnici da assumersi in sede di progettazione definitiva sono i seguenti:

- Peso specifico  $\gamma = 17.50 \div 19.50$  kN/m<sup>3</sup>;
- Contenuto naturale d'acqua  $w_n = 15 \div 25$  %
- Angolo di attrito efficace  $\varphi' = 30 \div 35^\circ$ ;
- Coesione drenata  $c' = 5 \div 15$  kPa;
- Modulo elastico  $E = 20 \div 30$  MPa.

### 7.1.3 Marne calcarenitiche sabbiose (MCS)

Sono depositi di tipo calcareo-sabbioso di colore bianco crema alternata a livelli più sabbiosi di colore bianco-giallastro.

Tale deposito si trova prevalentemente nel tratto iniziale del tracciato. Per caratterizzare tale litotipo si è fatto riferimento ai risultati di laboratorio condotti sui campioni ricadenti nel litotipo in esame. Dei sondaggi SPD1 e SPD2 sono state effettuate analisi fisico-chimiche delle terre e prove SPT in foro :

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Campione	Prof. (m)	N spt	$\phi'$ (°)
SPD1-SPT1	2.50÷2.95	50	42
SPD1-SPT2	5.70÷6.20	77	50
SPD1-C3	27.00÷27.60	-	-
SPD2-SPT1	0.50÷0.95	36	38
SPD2-SPT2	1.50÷1.95	33	37
SPD2-SPT3	3.20÷3.65	73	48


*Tabella 3: Risultanze sondaggi da prove SPT, SPD1 SPD2*

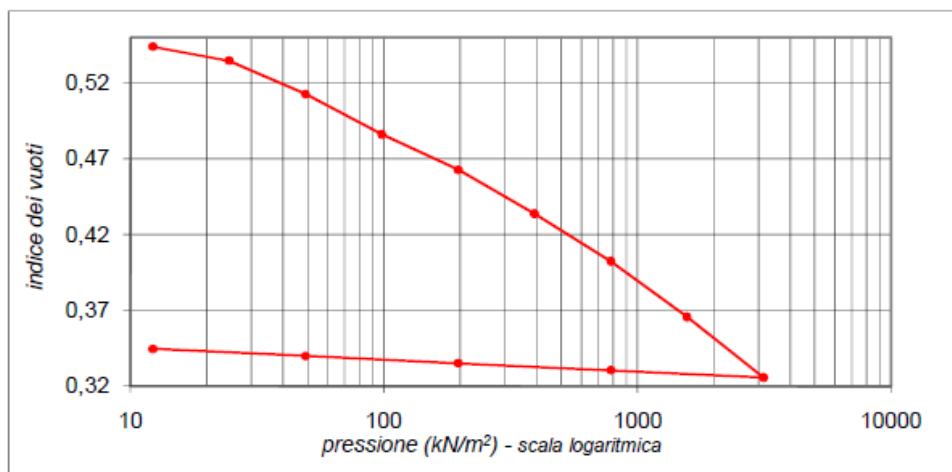
In funzione del numero di colpi Nspt si ottengono valori dell'angolo di resistenza a taglio abbastanza elevato.

Andando analizzare le descrizioni geologiche dei campioni di riferimento si evidenzia una componente a grana fine che conferisce un certo grado di cementazione al litotipo.

Dal momento che gli angoli di resistenza a taglio ottenuti dalle correlazioni sono in qualche caso certamente elevati, si ipotizza un valore della coesione variabile tra 0 e 10 kPa, e un angolo di resistenza a taglio cautelativamente compreso fra i 30° e i 35°.

Per determinare la densità relativa si fa riferimento alla prova di compressione edometrica del campione SPD1-C3. Per la determinazione del modulo elastico si considera la relazione di Jambu. Per la determinazione del modulo edometrico si fa riferimento alla correlazione di Viggiani.

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------




*Fig. 7.6 – Prova edometrica campione SPD1-C3*

Sondaggio	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$w_n$ (%)	Dr (%)	E (kPa)	Eed (kPa)
SPD1-C3	19.15	26.24	42	35500	48000

*Tabella 4: Caratterizzazione geotecnica mediante i sondaggi*

Da quanto si è evinto dalle risultanze delle indagini sia in situ che di laboratorio, il litotipo in esame presenta un comportamento prevalentemente di tipo incoerente; in sede di analisi definitiva sono stati assunti i seguenti range di valori dei vari parametri geotecnici, mediando i dati disponibili:

- Peso specifico  $\gamma = 18 \div 19.15$  kN/m<sup>3</sup>;
- Contenuto naturale d'acqua  $w_n = 25 \div 30$  %;
- Angolo di attrito efficace  $\varphi' = 30 \div 35^\circ$ ;
- Coesione drenata  $c' = 0 \div 10$  kPa;
- Modulo elastico  $E = 30 \div 40$  MPa;
- Modulo edometrico  $E_{ed} = 40 \div 50$  MPa.

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### 7.1.4 Marne calcarenitiche argillose (MCA)

Sono depositi costituiti da calcari marnosi sabbiosi, silts biancastri e grigiasti che raggiungono potenze fino a 20 m poggiando sul substrato calcarenitico marnoso della Formazione Ragusana.

Esso è presente quasi interamente in tutto il tracciato; terreni geotecnicamente inquadrabili come tali possono trovarsi superficialmente e anche in formazione.


Per caratterizzare tale litotipo si è fatto riferimento ai risultati di laboratorio condotti sui campioni ricadenti nel litotipo in esame; in particolare si è fatto riferimento al sondaggio della campagna definitiva SPD5, SPD6 e in ausilio ai sondaggi S12 ed S13 della campagna di indagine in sede di progetto preliminare. Dei sondaggi sopracitati sui quali sono state effettuate analisi fisico-chimiche delle terre e prove di taglio diretto i cui risultati sono di seguito riassunti:

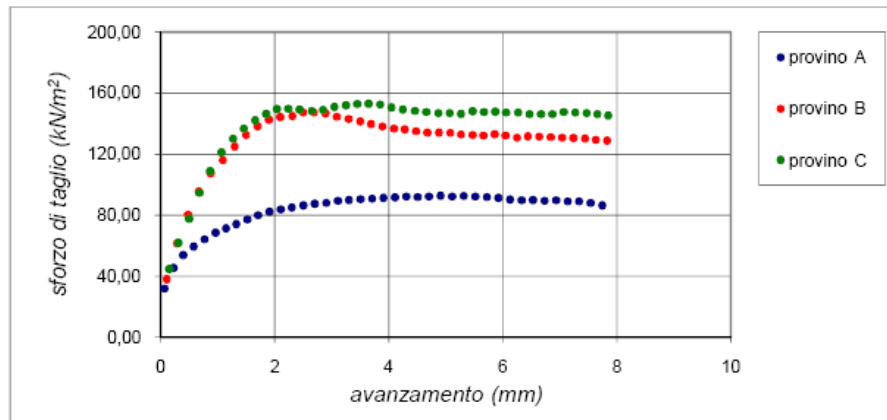
Campione	Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	w <sub>n</sub> (%)
SPD5-C1	1.50÷2.20	18.27	15.08
SPD6-CR1	1.50÷1.70	18.69	19.3
S13-C1	3.60÷3.90	17.52	22.86
S12-C3	9.50÷10.30	18.99	30.41
S12-C4	13.30÷14.00	17.75	19.88

*Tabella 5: Caratterizzazione fisica mediante i sondaggi*

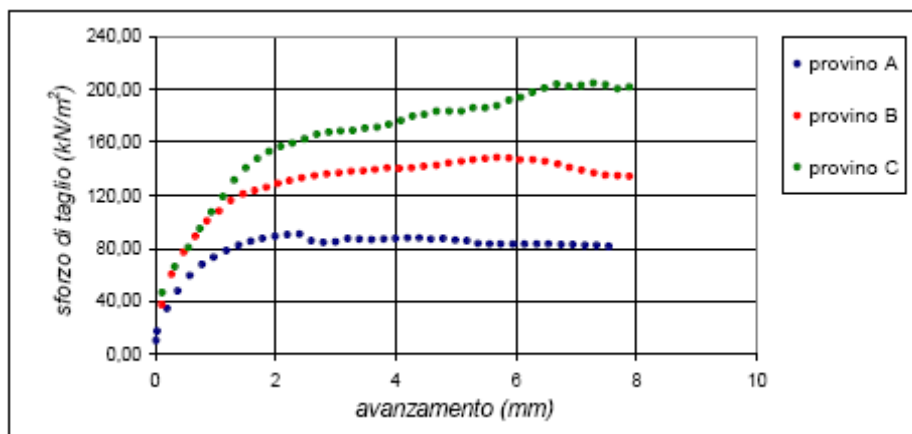
Per la determinazione delle caratteristiche meccaniche e di deformabilità si è fatto riferimento alle prove di taglio diretto e alle prove edometriche disponibili per il litotipo in questione.

Per la determinazione della densità relativa si è fatto riferimento ai valori dell'indice dei vuoti ricavati dalla prova di compressione edometrica. Per la determinazione del modulo elastico e del modulo edometrico si è fatto riferimento alla relazione di Jambu e successivamente a quella di Viggiani. La determinazione del coefficiente di consolidazione è stato ricavato direttamente dall'interpretazione della prova edometrica così come il grado di sovraconsolidazione OCR. Infine a partire da questi ultimi valori è stata determinata la resistenza non drenata con la correlazione di Ladd.

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



*Fig. 7.7 – Prova di taglio diretta SPD5-C1*




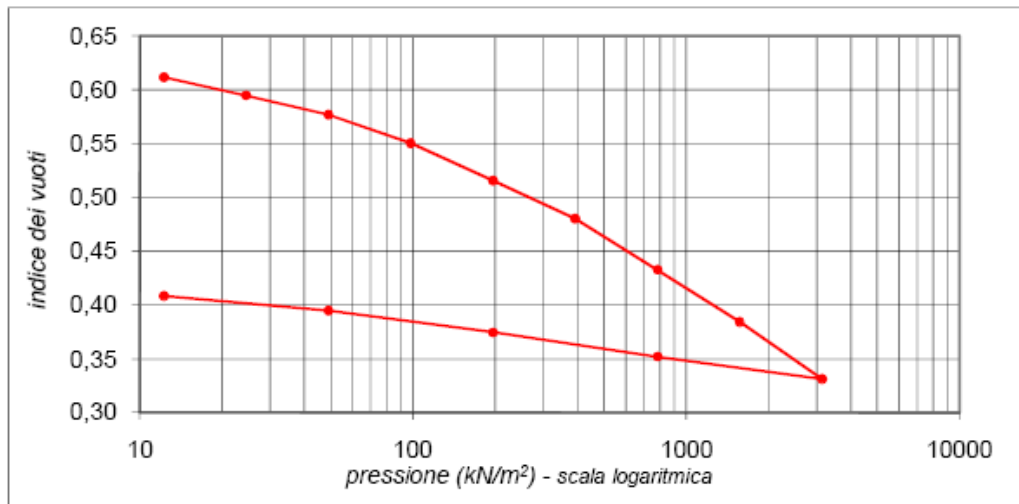
*Fig. 7.8 – Prova di taglio campione S13-C1*

Dal confronto delle due prove di taglio diretto, si evidenzia una certa omogeneità sui diagrammi tensioni-spostamenti, in quanto il comportamento a “volume costante” si raggiunge nell’ordine dei 4 mm.

Campione	Prof. (m)	c' (kPa)	$\phi'$ (°)
SPD5-C1	1.50÷2.20	70.73	17
S13-C1	3.60÷3.90	34.50	30

*Tabella 6: Caratterizzazione geotecnica mediante prove di taglio diretto*

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------




*Fig. 7.9 – Prova edometrica SPD5-C1*

Campione	DR (%)	Cv (cm²/s)	$\sigma'_p$ (kPa)	OCR	Cu (kPa)	E (kPa)	Eed (kPa)
SPD5-C1	34	0.00221	105	3	22	1830	2200

*Tabella 7: Caratterizzazione geotecnica mediante prova di compressione edometrica*

Per maggiori dettagli sulla variazione dei coefficienti di consolidazione e dell'indice dei vuoti al variare dei diversi step di carico si faccia riferimento allo specifico elaborato sulle risultanze delle prove di laboratorio.

I valori ottenuti da tale campione sono sicuramente modesti poiché lo stesso è stato prelevato da uno strato abbastanza superficiale. Tuttavia tale unità geotecnica presenta banchi di spessore superiore, per cui il livello di tensione di agente risulta sicuramente maggiore di quello del provino in esame. Dalla stessa prova di compressione edometrica a disposizione di tale studio per il litotipo in questione risultano valori del modulo di compressione edometrica molto variabili con il livello tensionale, raggiungenti anche l'ordine dei 50 MPa. Tutto ciò premesso, da quanto si è evinto dalle risultanze delle indagini sia in situ che di laboratorio, il litotipo in esame presenta un comportamento essenzialmente di tipo coesivo; in sede di analisi sono stati assunti i seguenti range di valori dei vari parametri geotecnici caratteristici, mediando i dati disponibili:

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- Peso specifico  $\gamma = 17.50 \div 19 \text{ kN/m}^3$ ;
- Contenuto naturale d'acqua  $w_n = 20 \div 30 \%$
- Angolo di attrito efficace  $\phi' = 15 \div 25^\circ$ ;
- Coesione drenata  $c' = 30 \div 50 \text{ kPa}$ ;
- Coesione non drenata  $c_u = 50 \div 120 \text{ kPa}$ ;
- Modulo elastico  $E = 30 \div 32 \text{ MPa}$ ;
- Modulo edometrico  $E_{ed} = 40 \div 44 \text{ MPa}$ .

### 7.1.5 Argille (A)

Sono depositi costituiti da argille di colore variabile, dal marrone al rossastro, dal grigio al verdastro.

Esso è presente quasi interamente in tutto il tracciato; terreni geotecnicamente inquadrabili come tali non si trovano mai superficialmente.


Per caratterizzare tale litotipo si è fatto riferimento ai risultati di laboratorio condotti sui campioni ricadenti nel litotipo in esame; in particolare si è fatto riferimento al sondaggio della campagna definitiva SPD5 e in ausilio i sondaggi S11 e S10 della campagna di indagine di progetto preliminare. Dei sondaggi sopracitati sui quali sono state effettuate analisi fisico-chimiche delle terre e prove di taglio diretto i cui risultati sono di seguito riassunti:

Campione	Prof. (m)	$\gamma$ ( $\text{kN/m}^3$ )	$w_n$ (%)
SPD5-C2	11.90÷12.60	18.82	28.62
S11-C3	14.70÷15.20	19.57	27.40
S10-C2	9.30÷9.70	19.74	26.35

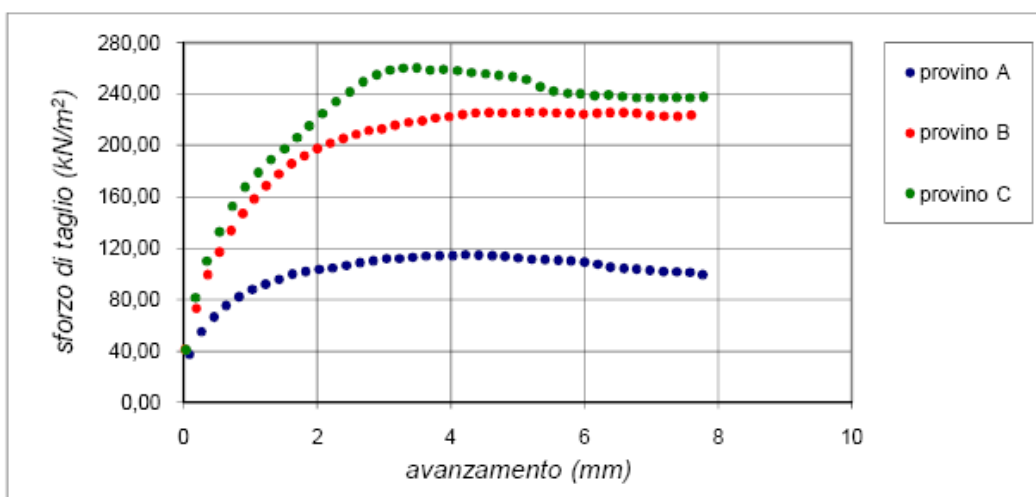
*Tabella 8: Caratterizzazione geotecnica mediante i sondaggi*

Per la determinazione delle caratteristiche meccaniche e di deformabilità si è fatto riferimento alle prove di taglio diretto e alle prove edometriche disponibili per il litotipo in questione.

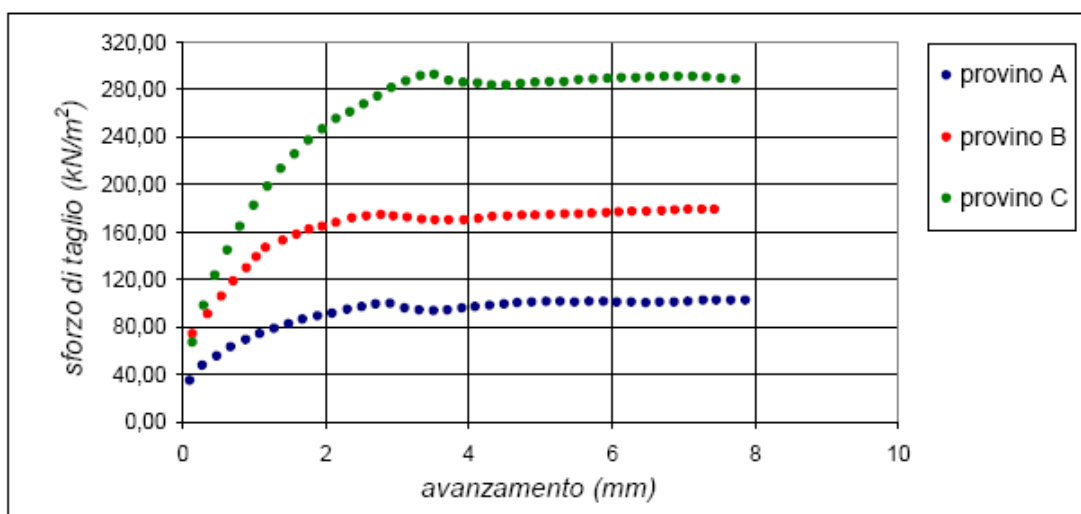


 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------


Per la determinazione della densità relativa si è fatto riferimento ai valori dell'indice dei vuoti ricavati dalla prova di compressione edometrica. Per la determinazione del modulo elastico e del modulo edometrico si è fatto riferimento alla relazione di Jambu e successivamente a quella di Viggiani. La determinazione del coefficiente di consolidazione è stato ricavato direttamente dall'interpretazione della prova edometrica così come il grado di sovraconsolidazione OCR. Infine a partire da questi ultimi valori è stata determinata la resistenza non drenata con la correlazione di Ladd.



*Fig. 7.10 – Prova di taglio diretta SPD5-C2*



*Fig. 7.11 – Prova di taglio diretta S10-C2*

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Dal confronto delle due prove di taglio diretto, si evidenzia una certa omogeneità sui diagrammi tensioni-spostamenti, in quanto il comportamento a “volume costante” si raggiunge nell’ordine dei 4 mm.

Campione	Prof. (m)	c' (kPa)	$\phi'$ (°)
SPD5-C2	11.90÷12.60	30.88	26.02
S10-C2	9.30÷9.70	28.45	32.40

Tabella 9: Caratterizzazione geotecnica mediante prove di taglio diretto

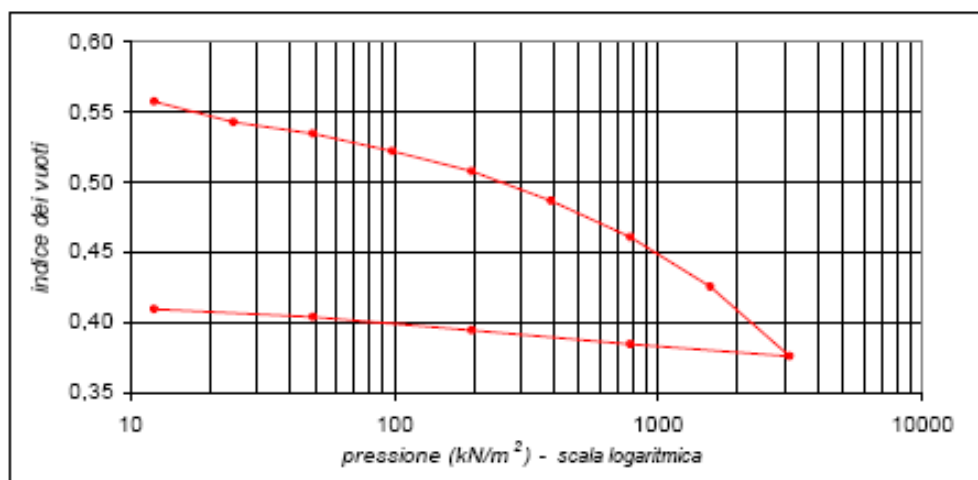



Fig. 7.12 – Prova edometrica S10-C2

Campione	DR (%)	Cv (cm²/s)	$\sigma'_p$ (kPa)	OCR	Cu (kPa)	E (kPa)	Eed (kPa)
S10-C2	35	0.00869	200	1	46	20000	27000

Tabella 10: Caratterizzazione geotecnica mediante prova di compressione edometrica

Per maggiori dettagli sulla variazione dei coefficienti di consolidazione e dell’indice dei vuoti al variare dei diversi step di carico si faccia riferimento allo specifico elaborato sulle risultanze delle prove di laboratorio.

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Dalla stessa prova di compressione edometrica a disposizione di tale studio per il litotipo in questione risultano valori del modulo di compressione edometrica molto variabili con il livello tensionale, raggiungenti anche l'ordine dei 50 MPa. Tutto ciò premesso, da quanto si è evinto dalle risultanze delle indagini sia in situ che di laboratorio, il litotipo in esame presenta un comportamento essenzialmente di tipo coesivo; in sede di analisi sono stati assunti i seguenti range di valori dei vari parametri geotecnici caratteristici, mediando i dati disponibili:

- Peso specifico  $\gamma = 18.00 \div 19.50 \text{ kN/m}^3$ ;
- Contenuto naturale d'acqua  $w_n = 25 \div 30 \%$ ;
- Angolo di attrito efficace  $\varphi' = 24 \div 30^\circ$ ;
- Coesione drenata  $c' = 25 \div 30 \text{ kPa}$ ;
- Coesione non drenata  $c_u = 40 \div 60 \text{ kPa}$ ;
- Modulo elastico  $E = 20 \div 30 \text{ MPa}$ ;
- Modulo edometrico  $E_{ed} = 27.5 \div 34.5 \text{ MPa}$ .

### 7.1.6 Limi (L)


Sono depositi costituiti da limi sabbioso argillosi, limi debolmente argillosi grigi, limi sabbiosi e limi con inclusi calcarenitici.

Essi sono presenti prevalentemente nella parte centrale del tracciato e si trovano in profondità.

Per caratterizzare tale litotipo si è fatto riferimento ai risultati di laboratorio condotti sui campioni ricadenti nel litotipo in esame; in particolare si è fatto riferimento al sondaggio della campagna definitiva SPD7 e in ausilio il sondaggio S4 della campagna di indagine in sede di progetto preliminare. Dei sondaggi sopracitati sui quali sono state effettuate analisi fisico-chimiche delle terre e prove di taglio diretto i cui risultati sono di seguito riassunti:

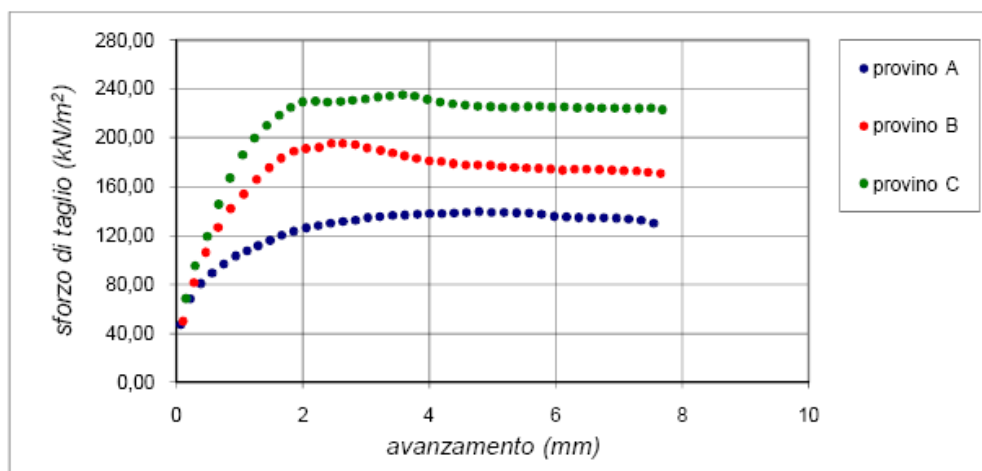
Campione	Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$w_n$ (%)
SPD7-C1	8.80÷9.40	18.11	27.64
S4-C2	8.70÷9.40	19.15	30.08

*Tabella 11: Caratterizzazione geotecnica mediante i sondaggi*

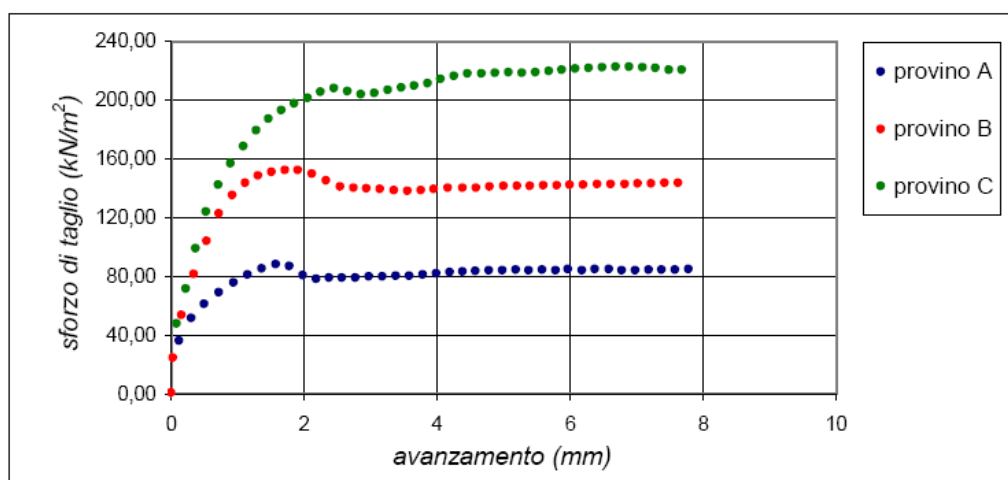
 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Per la determinazione delle caratteristiche meccaniche e di deformabilità si è fatto riferimento alle prove di taglio diretto e alle prove edometriche disponibili per il litotipo in questione.

Per la determinazione della densità relativa si è fatto riferimento ai valori dell'indice dei vuoti ricavati dalla prova di compressione edometrica. Per la determinazione del modulo elastico e del modulo edometrico si è fatto riferimento alla relazione di Jambu e successivamente a quella di Viggiani. La determinazione del coefficiente di consolidazione è stato ricavato direttamente dall'interpretazione della prova edometrica così come il grado di sovraconsolidazione OCR. Infine a partire da questi ultimi valori è stata determinata la resistenza non drenata con la correlazione di Ladd.



*Fig. 7.13 – Prova di taglio diretta SPD7-C1*

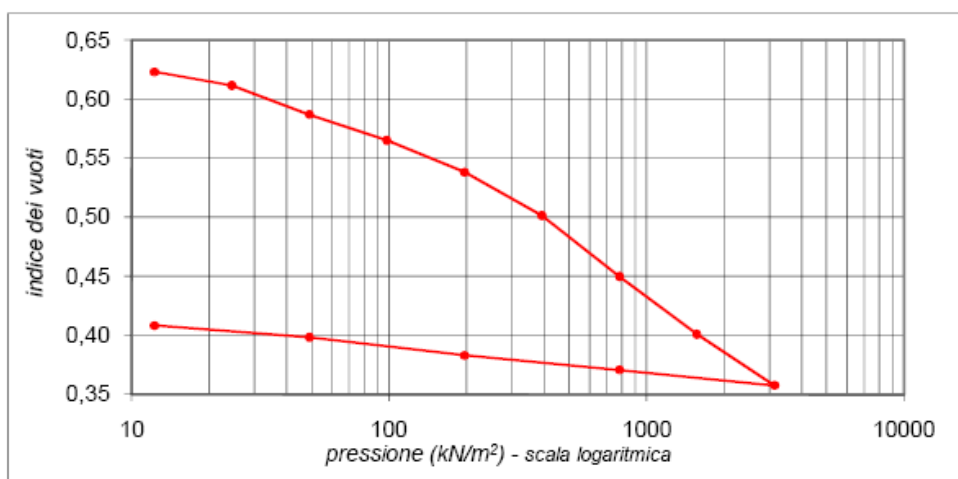


*Fig. 7.14 – Prova di taglio diretta S4-C2*

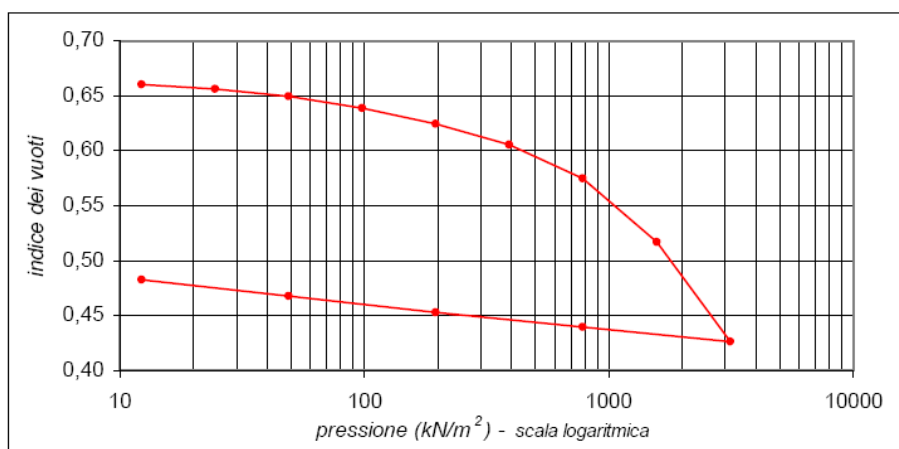
L'andamento delle prove di taglio diretto mostra un raggiungimento delle condizioni a "volume costante", quando gli spostamenti di aggirano nell'ordine dei 4 mm.

Campione	Prof. (m)	c' (kPa)	$\phi'$ (°)
SPD7-C1	8.80÷9.40	78.83	17.90
S4-C2	8.70÷9.40	20.18	34.30


*Tabella 12: Caratterizzazione geotecnica mediante prove di taglio diretto*



*Fig. 7.15 – Prova edometrica SPD7-C1*



*Fig. 7.16 – Prova edometrica S4-C2*

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Dal confronto delle due prove edometriche in esame si evidenzia come la prima prova abbia un comportamento elastico superiore; infatti sfruttando le correlazioni sopra citate si ottengono valori del modulo edometrico dell'ordine dei 25 MPa. La seconda prova edometrica risulta avere un comportamento meno elastico della precedente ed una curvatura più accentuata, ottenendo valori del modulo edometrico dell'ordine dei 16 MPa. Tuttavia per entrambi i provini si ottiene dalla costruzione di Skempton per la determinazione della pressione di preconsolidazione lo stesso valore a testimonianza di una storia tensionale pregressa molto simile.


Campione	DR (%)	Cv (cm <sup>2</sup> /s)	$\sigma'_p$ (kPa)	OCR	Cu (kPa)	E (kPa)	Eed (kPa)
SPD7-C1	34	0.00906	200	1.7	60	18800	25500
S4-C2	15	0.00847	200	1.7	60	12400	16800

*Tabella 13: Caratterizzazione geotecnica mediante prova di compressione edometrica*

Per maggiori dettagli sulla variazione dei coefficienti di consolidazione e dell'indice dei vuoti al variare dei diversi step di carico si faccia riferimento allo specifico elaborato sulle risultanze delle prove di laboratorio.

Tutto ciò premesso, da quanto si è evinto dalle risultanze delle indagini sia in situ che di laboratorio, il litotipo in esame presenta un comportamento essenzialmente di tipo coesivo; in sede di analisi sono stati assunti i seguenti range di valori dei vari parametri geotecnici caratteristici, mediando i dati disponibili:

- Peso specifico  $\gamma = 18.00 \div 19.50$  kN/m<sup>3</sup>;
- Contenuto naturale d'acqua  $w_n = 25 \div 30$  %;
- Angolo di attrito efficace  $\varphi' = 20 \div 30^\circ$ ;
- Coesione drenata  $c' = 20 \div 50$  kPa;
- Coesione non drenata  $c_u = 50 \div 70$  kPa;
- Modulo elastico  $E = 12 \div 18$  MPa;
- Modulo edometrico  $E_{ed} = 16 \div 25$  MPa.

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### 7.1.7 Calcareni grigie (CG)

Sono depositi costituiti da calcarenite organogena grigia, dura in alternanza con livelli limoso-sabbiosi nerastri. I livelli duri hanno spessore tra 0.6 e 1.0 m.

Sono presenti nella parte terminale del tracciato e si trovano a profondità elevate. Per la caratterizzazione dello strato si fa riferimento al sondaggio S11, in particolare ai campioni C4 e C5, sui quali oltre le analisi fisico chimiche è stata effettuata una prova di resistenza a compressione semplice.

Dal sondaggio sopracitato è possibile ricavare i seguenti parametri:


Campione	Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	w <sub>n</sub> (%)	$\sigma_c$ (MPa)
<b>S11-C4</b>	22.50÷22.60	19.57	27.40	-
<b>S11-C5</b>	29.80÷30.00	21.61	-	19.84

*Tabella 14: Caratterizzazione geotecnica mediante i sondaggi*

Considerando una possibile degrado dei primi metri del banco, alla luce della natura si considerano a vantaggio di sicurezza i seguenti parametri caratteristici di riferimento:

- Peso specifico  $\gamma = 17.50 \div 19 \text{ kN/m}^3$ ;
- Contenuto naturale d'acqua  $w_n = 20 \div 30 \%$ ;
- Angolo di attrito efficace  $\phi' = 15 \div 25^\circ$ ;
- Coesione drenata  $c' = 30 \div 50 \text{ kPa}$ ;
- Coesione non drenata  $c_u = 50 \div 120 \text{ kPa}$ ;
- Modulo elastico  $E = 30 \div 32 \text{ MPa}$ ;
- Modulo edometrico  $E_{ed} = 40 \div 44 \text{ MPa}$ .

Eseguita l'analisi dei risultati delle indagini e la conseguente caratterizzazione dei vari litotipi che interessano i terreni di fondazione del tracciato stradale in progetto, è stato redatto un "Profilo Geotecnico" del tracciato in cui viene riportata la collocazione delle varie opere d'arte in progetto,

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

in modo da poter individuare per ciascuna di esse le relative condizioni litologiche.

## 7.2 FALDA IDRICA

Nel corso dei sondaggi meccanici effettuati lungo il tracciato durante la campagna di indagini del progetto definitivo, il livello della falda idrica, ove presente, si attesta a profondità non di interesse per le opere in esame.

Infatti si presenta a quota 7.50 m dal p.c. nel sondaggio SPD1, a quota 10.30 m dal p.c. nel sondaggio SPD5, a quota 6.60 m dal p.c. nel sondaggio SPD6, a quota 8.60 dal p.c. nel sondaggio SPD9, a quota 10 m dal p.c. nel sondaggio SPD11 e infine a quota 6.00 m dal p.c. nel sondaggio SPD12.

Sono state effettuate successivamente alcune letture piezometriche nei piezometri installati durante la campagna di indagini per il progetto definitivo.


In particolare per il sondaggio SPD3 non è stata rilevata la presenza di falda idrica così come per il sondaggio SPD4; per il sondaggio PD6 è stata rilevata una quota della falda pari a -6.20 m rispetto il p.c.; per il sondaggio SPD9 è stata rilevata una quota della falda pari a -8.00 m dal p.c.; per il sondaggio SPD11 è stata rilevata una quota della falda pari a -12.5 m dal p.c. e infine per il sondaggio SPD12 è stata rilevata una quota della falda pari a -9.00 m dal p.c..

Le misure piezometriche sono state eseguite durante il mese di giugno, mentre l'esecuzione dei sondaggi è stata effettuata durante i mesi invernali ( gennaio – marzo). Come si evince dalle letture vi è una depressione della falda sicuramente dovuta alla stagione estiva. Durante i mesi invernali si ipotizza una risalita della falda alle quote rilevate durante l'esecuzione dei sondaggi che può essere maggiore in base alle condizioni meteorologiche stagionali.

## 7.3 PROVE CBR

Per valutare l'idoneità dei sottofondi stradali, in maniera tale da contenere gli effetti dell'ormaiamento della pavimentazione, è possibile valutare la portanza del sottofondo mediante delle specifiche prove che sono per l'appunto le prove CBR. Tali prove consistono nel valutare la resistenza alla penetrazione del terreno che andrà a costituire il sottofondo della sovrastruttura stradale, dopo aver preparato i provini secondo una procedura standardizzata. Per il calcolo della pavimentazione stradale e così come previsto contrattualmente il modulo resiliente del sottofondo



 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------


deve essere maggiore di 50 MPa. Dalla prova CBR è possibile valutare il modulo resiliente mediante la relazione:

$$M_r = 10 \text{ CBR (MPa)}$$

Nella tabella seguente sono riportati i risultati delle prove CBR eseguiti durante la campagna di indagine del progetto definitivo.

Campione	Indice CBR (%)	Modulo resiliente (MPa)
C1	8	80
C1bis	27	270
C2	9	90
C2bis	26	260
C3	11	110
C4	25	250
C5	25	250
C6	20	200
C7	24	240
C8	14	140
C9	13	140
C10	12	120
C11	11	110
C12	23	230
C14	11	110
C16	6	60
C17	8	80
C18	8	80

*Tabella 15: Indici CBR e moduli resilienti*

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Dalle risultanze delle indagini di laboratorio si evince che in nessun caso l'indice CBR risulta inferiore al 5% e di conseguenza il modulo resiliente del sottofondo risulta sempre maggiore di 50 MPa.

#### 7.4 PROVE DI PERMEABILITA'


Dalla campagna di indagini in fase di progettazione definitiva è stata caratterizzata la permeabilità dei vari litotipi in esame mediante prove di permeabilità di tipo Lefranc. In particolare sono state effettuate prove di permeabilità per i seguenti sondaggi: SPD1, SPD3, SPD4, SPD9.

Nella tabella seguente sono riportati i valori del coefficiente di permeabilità.

Sondaggio	Prof. (m)	Litotipo	k (cm/s)
SPD1	4.00	S	$1.79 \times 10^{-4}$
SPD1	5.00	S	$8.99 \times 10^{-5}$
SPD1	10.00	S	$2.07 \times 10^{-4}$
SPD3	5.50	MCA	$2.346 \times 10^{-2}$
SPD3	15.50	MCS	$5.113 \times 10^{-5}$
SPD4	3.00	S	$2.847 \times 10^{-4}$
SPD4	11.00	A	$7.574 \times 10^{-6}$
SPD9	2.50	L	$5.555 \times 10^{-5}$
SPD9	9.00	MCS	$2.347 \times 10^{-6}$

*Tabella 16: coefficienti di permeabilità secondo prove Lefranc*

I risultati delle prove di permeabilità sembrano attinenti ai litotipi interessati, a meno del campione SPD3, ricadente nell'unità geologica MCA, che presenta una permeabilità elevata per la natura argillosa della formazione. Analizzando la stratigrafia del sondaggio SPD3, si evince effettivamente che gli strati più superficiali della formazione di circa 10 m, presentano una scarsa matrice argillosa tanto da ritenere che il terreno abbia un comportamento pressoché da materiale

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

incoerente; pertanto il valore di permeabilità determinato nello strato MCA a circa 5.50 m risulta attendibile.

Per profondità maggiori, prevale la matrice argillosa della marna calcarenitica, per cui si attendono valori di permeabilità minori; infatti considerando i coefficienti di permeabilità derivanti dalle prove di compressione edometrica caratterizzanti l'unità geotecnica MCA, si ottengono coefficienti di permeabilità dell'ordine dei  $10^{-6}$ ÷ $10^{-7}$  cm/s.

Pertanto dalla precedente tabella e dalle precedenti considerazioni si può concludere che i coefficienti di permeabilità dei litotipi in esame possono essere riassunti come segue:


- Sabbie (S):  $k = 8.99 \times 10^{-5} \div 2.847 \times 10^{-4}$  cm/s;
- Marne calcarenitiche sabbiose (MCS):  $k = 2.347 \times 10^{-6} \div 5.113 \times 10^{-5}$  cm/s;
- Marne calcarenitiche argillose superficiali (MCAs):  $k = 2.3 \times 10^{-2}$  cm/s;
- Marne calcarenitiche argillose profonde (MCAp):  $k = 5 \times 10^{-7} \div 5 \times 10^{-6}$  cm/s;
- Argille (A):  $k = 7.574 \times 10^{-6}$ ;
- Limi (L):  $k = 5.555 \times 10^{-5}$ .

## 7.5 PROVE SISMICHE

La campagna di indagini condotta dall'Amministrazione provinciale consta di n. 6 prove sismiche in foro tipo Down Hole condotte mediante condizionamento dei fori di sondaggio S1, S2, S6, S9, S11 ed S12 durante la campagna di indagini del progetto preliminare e di n. 5 prove sismiche dello stesso tipo nei fori di sondaggio SPD1, SPD2, SPD5, SPD7, SPD8 durante la campagna di indagini del progetto definitivo.

Ciò ha permesso di ricostruire i relativi profili verticali e di avere delle informazioni sulle velocità  $V_p$  e  $V_s$  necessari per effettuare una microzonazione sismica dell'area interessata al tracciato stradale in progetto, in termini di classificazione dei suoli.


Le risultanze delle misure in foro tipo Down Hole sono di seguito riportate:

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Prova	Prof. (m)	Spessore (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	V <sub>s30</sub> (m/s)
DH-S1	0.0÷2.8	2.8	377	179	
	2.8÷13.2	10.4	1139	649	
	13.2÷30.0	16.8	2105	944	<b>606</b>
DH-S2	0.0÷3.2	3.2	461	201	
	3.2÷13.1	9.9	1548	703	
	13.1÷30.0	16.9	2299	886	<b>611</b>
DH-S6	0.0÷3.0	3	536	255	
	3.0÷10.7	7.7	737	335	
	10.7÷16.4	5.7	1442	275	
	16.4÷30.0	13.6	1876	475	<b>357</b>
DH-S9	0.0÷4.3	4.3	420	162	
	4.3÷12.6	8.3	1510	776	
	12.6÷17.3	4.7	2049	1124	
	17.3÷30.0	12.7	1470	836	<b>530</b>
DH-S11	0.0÷7.5	7.5	701	361	
	7.5÷13.9	6.4	1720	463	
	13.9÷16.1	2.2	641	258	
	16.1÷25.9	9.8	1256	560	
	25.9÷30.0	4.1	2047	796	<b>456</b>
DH-S12	0.0÷5.5	5.5	493	211	
	5.5÷26.8	21.3	1021	416	
	26.8÷30	3.2	2422	739	<b>368</b>

*Tabella 17: Risultati prove down-hole Progetto Preliminare*

Le prove down hole evidenziate in grigio sono quelle in asse tracciato di progetto, mentre le DH-S2 e DH-S6 sono notevolmente esterne all'ingombro stradale pertanto non risultano significative per la caratterizzazione sismica.

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Prova	Prof. (m)	Spessore (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	V <sub>s30</sub> (m/s)
<b>DH-SPD1</b>	0.0÷5.4	5.4	424	202	
	5.4÷10.8	5.4	491	325	
	10.8÷30.0	19.2	2343	760	<b>436</b>
<b>DH-SPD2</b>	0.0÷6.4	6.4	1120	641	
	6.4÷9.1	2.7	2120	1032	
	9.1÷30.0	20.9	1254	564	<b>604</b>
<b>DH-SPD5</b>	0.0÷2.1	2.1	400	163	
	2.1÷8.8	6.7	848	305	
	8.8÷11.0	4.3	1844	225	
	11.0÷30.0	19	1436	401	<b>312</b>
<b>DH-SPD7</b>	0.0÷2.1	2.1	394	205	
	2.1÷11.0	8.9	779	358	
	11.0÷20.4	9.4	1452	602	
	20.4÷21.8	1.4	997	370	
	21.8÷30.0	8.2	1464	527	<b>428</b>
<b>DH-SPD8</b>	0.0÷1.9	1.9	350	222	
	1.9÷4.3	2.4	623	412	
	4.3÷13.1	8.8	819	341	
	13.1÷22.4	9.3	1654	691	
	22.4÷24.3	1.9	799	434	
	24.3÷30.0	5.7	2206	875	<b>466</b>

*Tabella 18: Risultati prove down-hole Progetto Definitivo*


Le prove sismiche in foro sono state condotte, tra preliminare e definitivo, in modo sufficientemente distribuite lungo tutto il tracciato, in particolare le down hole di P.D. sono state previste in corrispondenza delle principali opere d'arte in progetto.

Come si evince dalle risultanze sismiche, le velocità delle onde di taglio Vs30 riscontrate si attestano sempre tra i 360 m/s e 800 m/s, fatta eccezione per il sondaggio DH-SPD5 che presenta una Vs30 pari a 313 m/s.

I sondaggi precedenti al DH-SPD5, forniscono valori di velocità maggiori di 360 m/s mentre il sondaggio seguente DH-S12, della campagna di indagini 2007-2008, fornisce un valore della Vs30 pari a 368 m/s, frontiera tra suolo "B" e suolo "C".

Esaminando il profilo geologico è evidente che il tracciato stradale tra la progr. 4+160.00 e la progr. 5+700.00, l'andamento stratigrafico risulta pressoché uniforme, pertanto è possibile dedurre che tale tratto presenti sempre una velocità Vs30 inferiore a 360 m/s.

In definitiva, si può concludere che le velocità delle onde di taglio Vs30 riscontrate si attestano per quasi l'intero tracciato tra i 360 m/s e 800 m/s, portando a concludere che la risposta sismica locale è assoggettabile ad un suolo di tipo B. Per il tratto tra la progr. 4+000.00 e la progr.

 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

5+700.00 invece, le Vs30 sono inferiori a 360 m/s e quindi è possibile assumere la categoria di suolo "C".

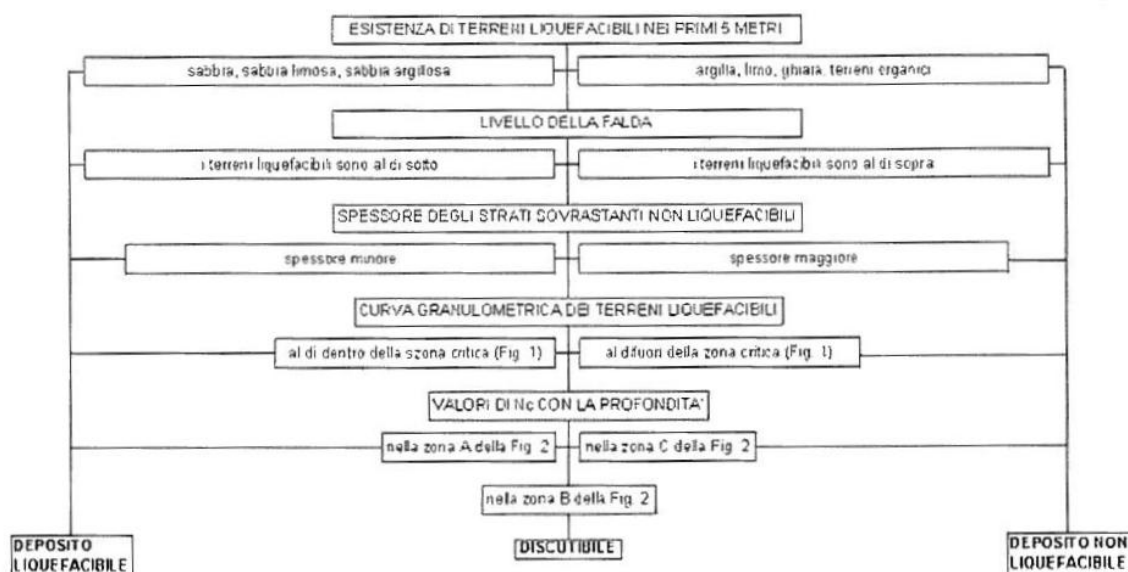
In allegato si riporta la planimetria con la classificazione sismica del territorio per il tracciato in progetto. Su tale elaborato è indicato la sequenza delle formazioni geologiche, l'ubicazione delle opere d'arte, l'accelerazione orizzontale massima del terreno di progetto per le opere.


## 7.6 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

La liquefazione è quel fenomeno associato alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

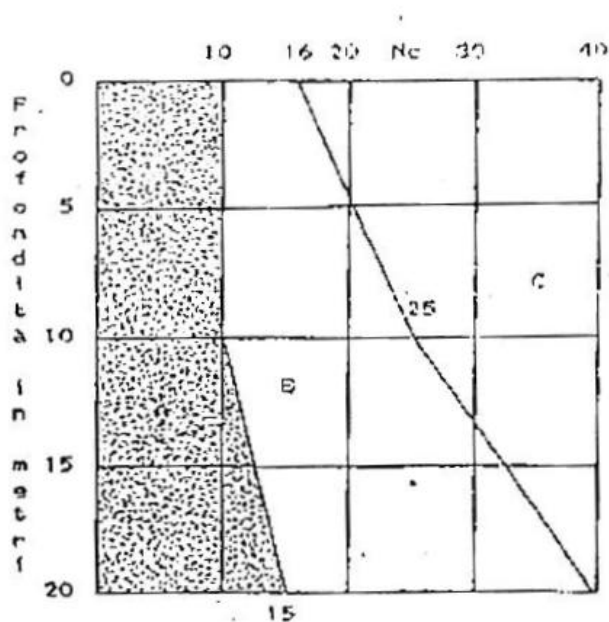
Tale fenomeno è particolarmente pericoloso per le opere d'arte in quanto la perdita di capacità portante avviene in maniera repentina, portando al collasso geotecnico delle fondazioni. Pertanto nel presente paragrafo si esamina l'eventualità di tale fenomeno per le opere in progetto.

Per valutare la suscettibilità dei terreni presenti si fa riferimento alle indicazioni della Circolare 31 Gennaio 1995, n. 2222, allegato G1, ove è presente un flowchart di analisi che permette di valutare la possibilità di rischio di liquefazione del deposito (figura sotto).



 Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA  PROGETTO DEFINITIVO  <b>Relazione Geotecnica Generale</b>	SIS S.r.l. (Mandataria) A&S Engineering S.r.l. BONIFICA ITALIA S.r.l. CO.RE. INGEGNERIA OMNISERVICE Engineering S.r.l.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

I valori che permettono di escludere il rischio di liquefazione sono riportati nell'Allegato G2 della circolare 2222 del 1995 (figura sotto).



Il primo aspetto caratterizzante perché si possa verificare il fenomeno della liquefazione è la presenza della falda negli strati interessati. Per quanto riportato nelle indagini effettuate, non si è mai riscontrata presenza di falda fino a profondità significative, ad eccezione del Cavalcavia alla progressiva 5+255 dove la falda si attesta a quota 10.30 m dal p.c. e dalla quota 10.70 alla 11.80 è presente un banco di sabbia limosa. Al di sotto di tale strato però è presente un banco di argilla con potenza pari a 11.70 m che certamente non è liquefacibile. Alla luce di queste considerazioni si può concludere che le opere ricadenti nel tracciato in progetto non sono soggette a rischio di liquefazione del sedime di fondazione.