

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA

U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

PROGETTO DEFINITIVO

**METROFERROVIA DI RAGUSA.
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE**

GEOTECNICA
Relazione Geotecnica Generale

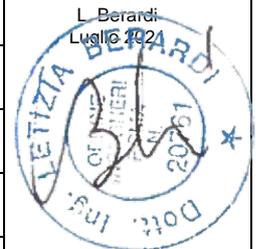
SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

R S 3 Y 1 B D 1 0 G E O C 0 0 0 0 0 0 1 A

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	F. Eusepi	Luglio 2021	G. Scasserra	Luglio 2021	S. Vanfiori	Luglio 2021	L. Berardi Luglio 2021



File: RS3Y01BD10GEOC0000001A.doc

n. Elab.:

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	2 di 80

INDICE

1.	PREMESSA	5
2.	INTRODUZIONE	6
3.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	7
1.1	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO.....	7
1.2	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO	7
1.3	BIBLIOGRAFIA.....	7
4.	ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	10
5.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E ASSETTO STRATIGRAFICO	11
6.	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO (NTC2018)	13
1.4	AZIONE SISMICA	13
1.5	VITA NOMINALE.....	13
1.6	CLASSE D'USO	14
1.7	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO	15
1.7.1	<i>Categorie di Sottosuolo</i>	<i>15</i>
1.7.2	<i>Condizioni topografiche</i>	<i>15</i>
1.8	STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO	16
1.9	PARAMETRI SISMICI.....	17
7.	INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE	22
1.10	AREA DI STUDIO CISTERNAZZI/COLAJANNI.....	22
1.10.1	<i>Indagini.....</i>	<i>22</i>
1.10.2	<i>interpretazione delle letture piezometriche.....</i>	<i>26</i>
1.10.3	<i>Interpretazione delle prove sismiche per la determinazine di Vs, 30.....</i>	<i>27</i>
1.11	AREA DI STUDIO STAZIONE DI RAGUSA	30
1.11.1	<i>Indagini.....</i>	<i>30</i>
1.11.2	<i>PROFILO FREATICO.....</i>	<i>31</i>

8.	CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	31
1.12	GENERALITÀ	31
1.13	MATERIALI A GRANA FINE	32
1.13.1	<i>Classificazione</i>	32
1.13.2	<i>Stato tensionale iniziale</i>	32
1.13.3	<i>Resistenza al taglio in condizioni non drenate</i>	33
1.13.4	<i>Parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci</i>	33
1.13.5	<i>Caratteristiche di deformabilità</i>	33
1.13.6	<i>Coefficienti di permeabilità</i>	35
1.14	MATERIALI A GRANA GROSSA	36
1.14.1	<i>Stato iniziale del deposito</i>	36
1.14.2	<i>Densità relativa</i>	37
1.14.3	<i>Angolo di resistenza al taglio</i>	39
1.14.4	<i>Caratteristiche di deformabilità</i>	40
1.14.5	<i>Coefficienti di permeabilità</i>	42
1.15	FORMAZIONI ROCCIOSE	43
1.15.1	<i>Stima del Geological Strength Index (GSI)</i>	43
1.15.2	<i>Resistenza dell'ammasso roccioso</i>	44
1.15.3	<i>Caratteristiche di deformabilità</i>	45
1.15.4	<i>Calcareniti</i>	46
9.	DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO PER LE DUE AREE OGGETTO DI STUDIO	48
10.	CARATTERIZZAZIONE DELLE UNITA' STRATIGRAFICHE GEOTECNICHE	53
1.16	RISULTATI ED INTERPRETAZIONE TERRENI STAZIONE DI RAGUSA	53
1.16.1	<i>Caratteristiche fisiche e parametri di stato</i>	53
1.16.2	<i>Caratteristiche di Resistenza</i>	54
1.16.3	<i>Caratteristiche di deformabilità</i>	55
1.16.4	<i>Permeabilità</i>	57
1.16.5	<i>Interpretazione delle prove sulle unità rocciose</i>	57



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
 P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
 LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
 GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	4 di 80

1.16.6	Sintesi dei parametri geotecnici e dei livelli di falda di progetto	69
1.17	DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI PER CISTERNAZZI E COLAJANNI	70
1.17.1	Caratterizzazione dell'unità Calcari	70
1.17.2	Caratterizzazione dell'unità Calcareniti alterate/Terre Rosse e Riporti	77
11.	ANALISI DI PERICOLOSITA' RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE.....	78
12.	PROBLEMATICHE GEOTECNICHE	79



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC0000001	A	5 di 80

1. PREMESSA

Il 23 Gennaio 2017 è stato siglato un Protocollo d'Intesa tra RFI, Regione Sicilia e Comune di Ragusa con il quale è stato istituito un gruppo di lavoro congiunto finalizzato alla realizzazione della "Metropolitana di superficie" nel territorio del comune di Ragusa, con la previsione della realizzazione di nuovi impianti per il servizio ferroviario passeggeri e l'adeguamento di impianti esistenti.

In data 15 Gennaio 2018 è stata sottoscritta la convenzione tra il Comune di Ragusa e la Presidenza del Consiglio dei Ministri per la realizzazione dell'intervento "Riqualificazione della periferia storica di Ragusa: ripristinare accessibilità e connessione con la città moderna attraverso la Ferrovia Urbana".

In particolare, la realizzazione degli interventi proposti è finalizzata al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- Maggiore competitività del trasporto ferroviario rispetto al trasporto collettivo su gomma;
- Maggiore accessibilità al sistema ferroviario;
- Sviluppo del servizio metropolitano nella zona urbana di Ragusa.

Le fermate della nuova linea "Metroferrovia" sono state concepite come un sistema omogeneo che si sviluppa sul territorio comunale.

Gli interventi previsti per il raggiungimento degli obiettivi sopra elencati sono i seguenti:

- nuova fermata Colajanni e adeguamento stazione di Ragusa nell'ambito del lotto 1°
- nuova stazione Cisternazzi/Ospedale, nell'ambito del lotto 1B

Si precisa altresì che ai fini della caratterizzazione geotecnica si è deciso di considerare come dati di base tutte le prove e i sondaggi eseguiti da Italferr per la nuova stazione Cisternazza/Ospedale, la nuova fermata Colajanni e l'adeguamento della stazione di Ragusa perché, soprattutto per la formazione lapidea, è stato ritenuto opportuno fare riferimento ai dati complessivi al fine di ottenere una caratterizzazione più robusta.

GEOTECNICA GENERALE	-	RELAZIONE	GEOTECNICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
				RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	6 di 80

2. INTRODUZIONE

La presente relazione riporta i risultati dello studio geotecnico svolto nell'ambito del progetto definitivo descritto in premessa

Nella figura seguente è mostrata l'ubicazione delle aree oggetto di studio.

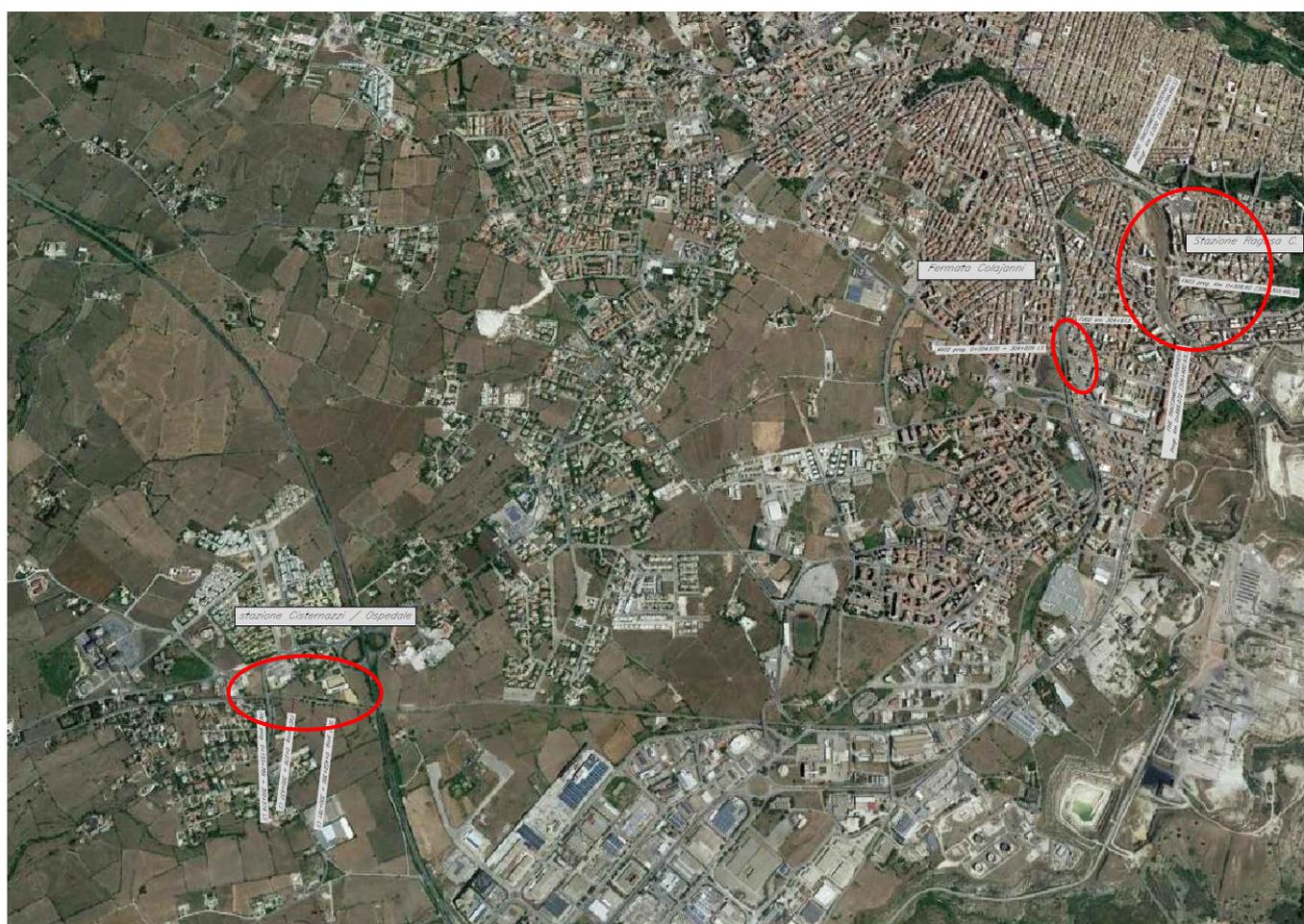


Figura 1- immagine aerea di inquadramento



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
 P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
 LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
 GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	7 di 80

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

1.1 DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO

Relazione geotecnica generale	R	S	3	Y	1	A	D	1	0	G	E	O	C	0	0	0	0	0	0	1
Relazione geotecnica generale	R	S	3	Y	1	B	D	1	0	G	E	O	C	0	0	0	0	0	0	1
Profilo geotecnico - stazione Cisternazzi/Ospedale	R	S	3	Y	1	B	D	1	0	F	7	O	C	0	0	0	0	0	0	1
Profilo geotecnico - fermata Colajanni	R	S	3	Y	1	A	D	1	0	F	7	O	C	0	0	0	0	0	0	1
Profilo geotecnico - stazione Ragusa	R	S	3	Y	1	A	D	1	0	F	6	G	E	0	0	0	6	0	0	1
Relazione di calcolo degli scavi e delle paratie di sostegno	R	S	3	Y	1	B	D	1	0	R	H	O	C	0	0	0	0	0	0	3
Rilevati ferroviari – relazione di calcolo	R	S	3	Y	1	B	D	1	0	R	H	O	C	0	0	0	0	0	0	1

1.2 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO

- [1] D.M. 17 gennaio 2018 (G.U. 20 febbraio 2018 n. 42) - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
- [2] Circolare 21 Gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. n. 35 del 11 febbraio 2019) - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- [3] Eurocodice EN 1997-1: Progettazione Geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- [4] Eurocodice EN 1998-5: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazione, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- [5] RFI DTC SI CS MA IFS 001 C - Manuale di Progettazione delle Opere Civili.
- [6] RFI DTC SI CS SP IFS 001 – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili.
- [7] AGI (1977) Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- [8] AGI (2005) Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee guida.

1.3 BIBLIOGRAFIA

- [9] Bolton (1986) "The strength and dilatancy of sands" *Geotechnique* 36, n° 1.
- [10] Brown E.T., Hoek E. (1988) "Discussion on paper n° 20431 by R. Ucae entitled "Determination of shear failure envelope in rock masses" *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, vol. 114, n° 3.
- [11] Clayton C.R.I. (1995) "The Standard Penetration Test (SPT): Methods and use" CIRIA Report n° 143, 1995.
- [12] Hoek E., Brown E.T. (1988) "The Hoek-Brown failure criterion – A 1988 update" *Proc. of 15th Canadian Rock Mechanics Symposium, Toronto, Canada.*
- [13] Hoek E., Kaiser P.K., Bawden W.F. (1997) "Support of underground excavations in hard rock" Rotterdam, A.A. Balkema.
- [14] Hoek E., Carranza-Torres C.T., Corkum B. (2002) "Hoek-Brown failure criterion- 2002 edition" *Proc. North American Rock Mechanics Society Meeting in Toronto, July.*
- [15] Jamiolkowski M., Ghionna V.N., Lancellotta R., Pasqualini E. (1988) "New correlations of penetration tests for design practice" *Proceedings of I International Symposium on Penetration Testing, ISOPT I, Orlando.*
- [16] Koutsoftas D.C. and Ladd C.C. (1985) Design strength of an offshore clay. *JGED, ASCE*, 3,337–355.
- [17] Lancellotta, R (2009). *Geotechnical Engineering – Second Edition.* Taylor & Francis.
- [18] Marinos, P., Hoek, E., 2000. *GSI: A geologically friendly tool for rock mass strength estimation, GEOENG 2000, Melbourne, Australia.*
- [19] Ohta Y., Goto N. (1978) "Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes" *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol.6.
- [20] Skempton A.W. (1986) "Standard Penetration Test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation" *Geotechnique* 36, n° 3.
- [21] H. B. Seed, and I. M. Idriss, "Soil moduli and damping factors for dynamic response analysis," Report EERC 70-10, University of California, Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, CA, 1970.
- [22] Somerville S.H. (1986) "Control of groundwater for temporary works" CIRIA Report 113.
- [23] Stroud M.A. (1974) "The standard penetration test in insensitive clays and soft rocks" *Proceedings ESOPT I.*



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	9 di 80

[24] Stroud M.A. (1988) "The Standard Penetration Test – Its application and interpretation" Penetration Testing in UK, Proceedings of the Geotechnical Conference organized by ICE, Birmingham.

[25] Vucetic M., Dobry R. (1991). Effects of the soil plasticity on cyclic response. Journal of Geotech. Eng. Div. ASCE. Vol. 117.



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	10 di 80

4. ELABORATI DI RIFERIMENTO

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica - Area di Ragusa Centrale	R	S	3	Y	1	A	D	6	9	R	G	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica - Area della nuova fermata di Colajanni	R	S	3	Y	1	A	D	6	9	R	G	G	E	0	0	0	1	0	0	2	A
Carta geologica e geomorfologica con profilo geologico - Area di Ragusa Centrale	R	S	3	Y	1	A	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Carta geologica e geomorfologica con profilo geologico - Area della nuova fermata di Colajanni	R	S	3	Y	1	A	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	2	A
Carta idrogeologica con profilo idrogeologico - Area di Ragusa Centrale	R	S	3	Y	1	A	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	2	0	0	1	A
Carta idrogeologica con profilo idrogeologico - Area della nuova fermata di Colajanni	R	S	3	Y	1	A	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	2	0	0	2	A
Sondaggi e stratigrafie (Sondaggio S2 - Ragusa Centrale)	R	S	3	Y	1	A	D	6	9	S	G	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Indagini geofisiche	R	S	3	Y	1	A	D	6	9	I	G	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Prove di laboratorio (Campioni del sondaggio S2 - Ragusa Centrale)	R	S	3	Y	1	A	D	6	9	P	R	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica - Area della nuova stazione di Cisternazzi	R	S	3	Y	1	B	D	6	9	R	G	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Carta geologica e geomorfologica con profilo geologico - Area della nuova stazione di Cisternazzi	R	S	3	Y	1	B	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Carta idrogeologica con profilo idrogeologico - Area della nuova stazione di Cisternazzi	R	S	3	Y	1	B	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	2	0	0	1	A
Sondaggi e stratigrafie	R	S	3	Y	1	B	D	6	9	S	G	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Indagini geofisiche	R	S	3	Y	1	B	D	6	9	I	G	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Prove di laboratorio	R	S	3	Y	1	B	D	6	9	P	R	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A

	LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE					
	GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D10GE	DOCUMENTO OC000001	REV. A

5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E ASSETTO STRATIGRAFICO

Le aree di studio di Cisternazzi e Colajanni ricadono interamente all'interno della Formazione di Ragusa, membro Irminio, composta da calcareniti e da calciruditi e marne sabbiose, ascrivibili al Miocene inferiore-medio.

La formazione in esame è divisa in due membri :

- quello inferiore, denominato membro Leonardo (Ocm), è rappresentato da un'alternanza di calcisiltiti e marne di età Oligocene superiore ed affiora principalmente nelle maggiori depressioni morfologiche e lungo la valle del F. Irminio da Ragusa a Cozzo Streppenosa;
- quello superiore, noto come membro Irminio (Mcm), è dato da calcareniti e da calciruditi e marne sabbiose, ascrivibili al Miocene inferiore-medio.

Lo spessore totale della formazione varia da 200 a 550 m.

Di seguito si riportano gli stralci della carta geologica del Piano Regolatore Generale della città di Ragusa con indicata l'ubicazione delle aree oggetto di interventi.

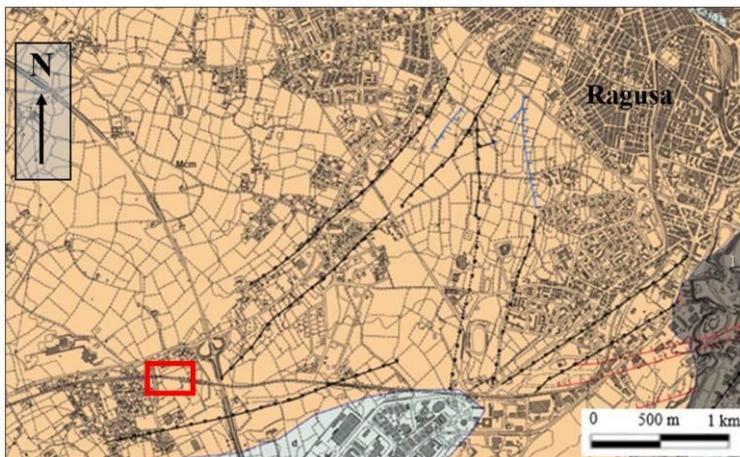


Figura 5-1: Stralcio, non in scala, della Carta Geologica del PRG del Comune di Ragusa (scala originale 1:10.000, anno 2014). In rosso si evidenzia l'area di progetto della stazione di Cisternazzi/Ospedale.

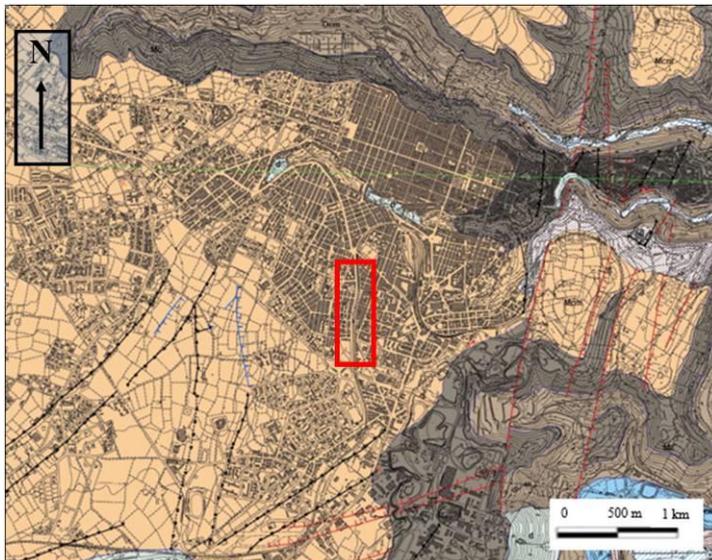


Figura 5-2: Stralcio, non in scala, della Carta Geologica del PRG del Comune di Ragusa (scala originale 1:10.000, anno 2014). In rosso si evidenzia l'area di progetto della fermata di via Colajanni.

Per quanto riguarda la stazione di Ragusa l'assetto stratigrafico della zona di interesse progettuale vede la presenza di piccoli spessori (1.5-2.0m) di terrei antropici (*R*), costituiti da ghiaie e sabbie grossolane con ciottoli, che sovrastano il M.bo Irminio della formazione Ragusa (**Mcm**). Quest'ultimo risulta a sua volta distinto nella parte più superficiale (spessore di circa 7 metri) di limi argillosi-sabbiosi e in quella sottostante calcarenitico-marnosa, a sua volta differenziata in uno spessore di circa 5.5 m più fratturato *Ca(Ma)* sopra il calcare massivo (*Ca*).



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	13 di 80

6. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO (NTC2018)

1.4 AZIONE SISMICA

Con riferimento alla normativa vigente (NTC-2018), le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Gli spettri di risposta di progetto sono stati definiti per tutti gli stati limite considerati, e, note la latitudine e la longitudine del sito, si sono ricavati i valori dei parametri necessari alla definizione dell'azione sismica e quindi del relativo spettro di risposta. Più avanti sono indicati i valori di a_g , F_0 e T_c^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

1.5 VITA NOMINALE

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. Per la definizione della Vita Nominale da assegnare ad ogni singolo manufatto facente parte di una infrastruttura ferroviaria si rimanda al "MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI" - RFI DTC SI AM MA IFS 001 A del 28.03.2018.

TIPO DI COSTRUZIONE ⁽¹⁾	Vita Nominale [V_N] ⁽¹⁾
OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE ESISTENTI OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE PROGETTATE CON LE NORME VIGENTI PRIMA DEL DM 14/01/2008 A VELOCITÀ CONVENZIONALE ($V < 250$ Km/h)	50
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ ($V < 250$ km/h)	75
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ ($V \geq 250$ Km/h)	100
OPERE DI GRANDI DIMENSIONI: PONTI E VIADOTTI CON CAMPATE DI LUCE MAGGIORE DI 150 m	≥ 100 ⁽²⁾

(1) - La medesima V_N si applica anche ad apparecchi di appoggio, coprigiunti e impermeabilizzazione delle stesse opere.

(2) - Da definirsi per il singolo progetto a cura di RFI.

	LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE					
	GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D10GE	DOCUMENTO OC000001	REV. A

Tabella 1: Vita Nominale in funzione del tipo di costruzione.

Tenendo conto delle indicazioni precedenti le strutture di progetto avranno **Vita Nominale $V_N = 50$ anni**, ad eccezione del fabbricato tecnologico previsto nella Stazione Centrale di Ragusa che avrà **Vita Nominale $V_N = 75$ anni**.

1.6 CLASSE D'USO

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

TIPO DI COSTRUZIONE	Classe d'uso	Coefficiente d'uso [C_U]
GRANDI STAZIONI	C IV	2,0
OPERE D'ARTE DEL SISTEMA DI GRANDE VIABILITÀ FERROVIARIA	C III	1,5
ALTRE OPERE D'ARTE	C II	1,0

Tabella 2: Tabella Classe d'uso Coeff. d'uso in funzione del tipo di costruzione per l'infrastruttura ferroviaria.

Per le strutture di progetto si considera una classe d'uso tipo II con coefficiente d'uso $C_U=1.0$ fatta eccezione per le pensiline di stazione Cisternazzi e fermata Colajanni per le quali si assume classe d'uso tipo III con coefficiente d'uso $C_U=1.5$ in quanto non è noto se la piazza comunale (Colajanni) antistante la pensilina possa essere destinata a funzioni suscettibili di grande affollamento (fermata bus, area mercatale, eventi, ecc.). Per

	LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE					
	GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D10GE	DOCUMENTO OC000001	REV. A

analogia progettuale nella stazione Cisternazzi si è deciso di assumere comunque CU III. Per il fabbricato ACC stazione Cisternazzi e relativa paratia afferente si assume classe d'uso tipo IV con coefficiente d'uso $C_U=2.0$

Pertanto l'azione sismica di verifica viene associata ad un periodo di riferimento VR pari a:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.0 = 50 \text{ anni}$$

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.5 = 75 \text{ anni per le pensiline}$$

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 2.0 = 100 \text{ anni per l'ACC}$$

$$V_R = V_N \times C_U = 75 \times 2.0 = 150 \text{ anni per il fabbricato tecnologico}$$

1.7 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO

1.7.1 Categorie di Sottosuolo

I terreni di progetto possono essere caratterizzati come appartenenti a terreni di **Categoria B**, come riportato al paragrafo 1.10.3

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 3: Categorie di sottosuolo.

1.7.2 Condizioni topografiche

In condizioni topografiche superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
-----------	--



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	16 di 80

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le categorie topografiche appena definite si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m. L'area interessata risulta classificabile come **T1**.

1.8 STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

L'azione sismica di progetto deve essere determinata in funzione degli Stati Limite di verifica ed alle corrispondenti probabilità P_{VR} di realizzarsi nel periodo di riferimento V_R sopra definito.

Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in presenza di sisma, così come definiti nelle NTC2018 al par. 3.2.1 sono:

Stato Limite Ultimo (SLU):

- Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in corrispondenza del quale la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
- Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.

Stato limite di Esercizio (SLE):

- Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico.
- Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.

Il tempo di ritorno T_R dell'azione sismica di verifica è legato al periodo di riferimento V_R ed alla probabilità di superamento P_{VR} dalla relazione:



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
 P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
 LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
 GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	17 di 80

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

I valori di periodo di ritorno dell'azione sismica, per i diversi Stati Limite e classi d'uso delle strutture sono riportati in Tabella 4

Tabella 4 Periodi di ritorno per l'azione sismica di progetto, in funzione delle opere considerate, per i diversi stati limite.

	Infrastruttura ferroviaria generica	Pensiline	ACC	Fabbricati tecnologici
STATO LIMITE	T _R , anni			
SLO	30	45	60	90
SLD	50	75	101	151
SLV	475	712	949	1424
SLC	975	1462	1950	2475

1.9 PARAMETRI SISMICI

I parametri sismici vengono individuati tramite il software Spettri NTC

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

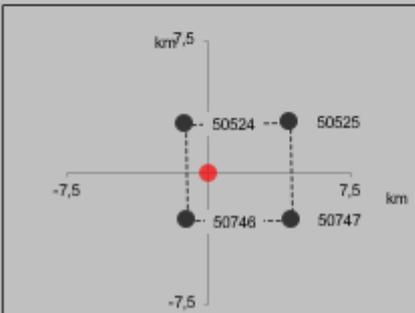
Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Figura 6-1 Individuazione pericolosità del sito

Di seguito i parametri sismici per ogni vita di riferimento relativi alla stazione Cisternazzi:

Tabella 5 Parametri per VR=50anni

SL	T _R (anni)	a _g (g)	F ₀ (-)	T _c * (s)
SLO	30	0,033	2,523	0,221
SLD	50	0,047	2,517	0,25
SLV	475	0,192	2,317	0,394
SLC	975	0,277	2,369	0,456

Tabella 6 Parametri per VR=75anni

SL	T _R (anni)	a _g (g)	F ₀ (-)	T _c * (s)
SLO	45	0,043	2,518	0,249

SLD	75	0,060	2,525	0,278
SLV	712	0,236	2,346	0,428
SLC	1462	0,338	2,367	0,487

Tabella 7 Parametri per VR=100anni

SL	T _R (anni)	a _g (g)	F ₀ (-)	T _c * (s)
SLO	60	0,052	2,523	0,267
SLD	101	0,072	2,505	0,289
SLV	949	0,273	2,367	0,454
SLC	1950	0,390	2,366	0,509

Di seguito i parametri sismici per ogni vita di riferimento relativi alla fermata Colajanni:

Tabella 8 Parametri per VR=50anni

SL	T _R (anni)	a _g (g)	F ₀ (-)	T _c * (s)
SLO	30	0,034	2,494	0,228
SLD	50	0,050	2,492	0,259
SLV	475	0,206	2,313	0,382
SLC	975	0,295	2,366	0,458

Tabella 9 Parametri per VR=75anni

SL	T _R (anni)	a _g (g)	F ₀ (-)	T _c * (s)
SLO	45	0,046	2,492	0,252
SLD	75	0,064	2,523	0,279
SLV	712	0,252	2,342	0,423
SLC	1462	0,361	2,357	0,489

Tabella 10 Parametri per VR=100anni

SL	T _R (anni)	a _g (g)	F ₀ (-)	T _c * (s)
SLO	60	0,056	2,511	0,268
SLD	101	0,078	2,471	0,288
SLV	949	0,291	2,364	0,455
SLC	1950	0,417	2,351	0,513

Di seguito i parametri sismici per ogni vita di riferimento relativi alla Stazione di Ragusa:

Tabella 11 Parametri per VR=50anni

SL	T _R (anni)	a _g (g)	F ₀ (-)	T _c * (s)
SLO	30	0.035	1.200	0.042
SLD	50	0.051	1.200	0.061
SLV	475	0.209	1.200	0.251
SLC	975	0.298	1.118	0.333

Tabella 12 Parametri per VR=75anni

SL	T _R (anni)	a _g (g)	F ₀ (-)	T _c * (s)
SLO	45	0.047	1,2	0.056
SLD	75	0,065	1,2	0.077
SLV	712	0,255	1,161	0.296
SLC	1462	0,366	1,055	0.386

Tabella 13 Parametri per VR=150anni

SL	T _R (anni)	a _g (g)	F ₀ (-)	T _c * (s)
SLO	90	0.073	1.200	0.088
SLD	151	0.106	1.200	0.127
SLV	1424	0.361	1.060	0.383



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	21 di 80

SLC	2475	0.477	1.000	0.477
-----	------	-------	-------	-------



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	22 di 80

7. INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE

La caratterizzazione geotecnica dei terreni e la successiva definizione del Modello Geotecnico di sottosuolo, sono ottenuti sulla base dei risultati delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite.

1.10 AREA DI STUDIO CISTERNAZZI/COLAJANNI

1.10.1 Indagini

La campagna geognostica ha compreso la realizzazione di:

- n°1 sondaggio a carotaggio continuo (S1) spinto fino alla profondità di 30 m dal p.c., realizzato a 580.55 mslm, con installazione di piezometro a “tubo aperto” per il monitoraggio della falda, prove di permeabilità Lugeon e prelievo di campioni lapidei sui quali sono state eseguite prove di laboratorio di compressione monoassiale. Il sondaggio è stato effettuato nell’area di progetto della stazione di Cisternazzi/Ospedale;
- Per quanto riguarda la nuova fermata di Colajanni, dove le opere previste sono di modesta rilevanza (pensiline), ai sensi del § 6.2.2 delle NTC2018 si è fatto riferimento al sondaggio eseguito nella stazione Centrale di Ragusa, che dista dal sito in esame di circa 500 m e che ha indagato la stessa formazione presente nel sito in esame. Tale sondaggio a carotaggio continuo (S2), è spinto fino alla profondità di 30 m dal p.c., con esecuzione di prove in foro SPT;
- n°2 prove geofisiche di tipo MASW e n°1 prova HVSr eseguite in prossimità dei sondaggi S1 e S2 sopra citati per la definizione dell’azione sismica di progetto.
- n°1 sezione sismica LS1 in onde P ed onde S realizzata per una lunghezza di 830 m lineari lungo la ferrovia esistente per la definizione dell’assetto stratigrafico di dettaglio in corrispondenza della nuova fermata di via Colajanni.

Sono state inoltre eseguite le seguenti prove di laboratorio:

- N° 3 prove di compressione monoassiale su campioni di calcareniti prelevati nel sondaggio S1
- N°1 prova triassiale C.I.U. su campione di calcareniti fratturate /terre rosse prelevato nel sondaggio S2
- N° 2 prove di compressione monoassiale su campioni di calcareniti prelevati nel sondaggio S2

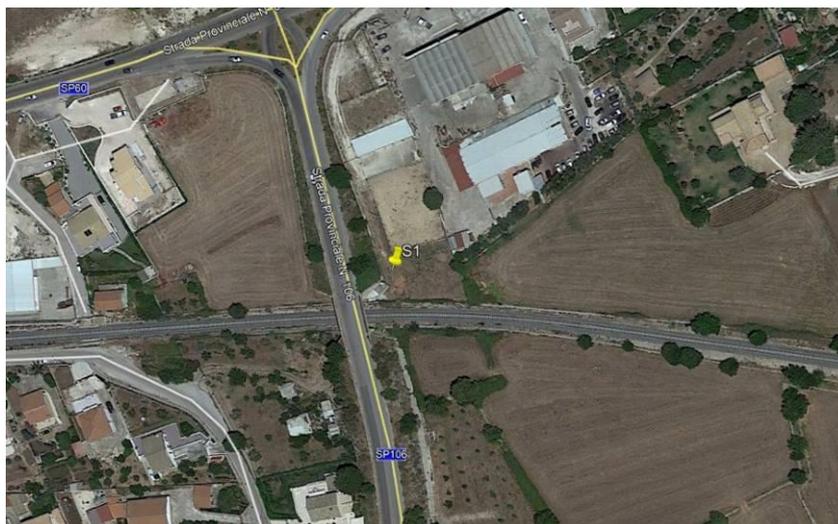


Figura 7-1: Ubicazione del Sondaggio S1 (580.55 mslm) – stazione di Cisternazzi/Ospedale.



Figura 7-2: Ubicazione del Sondaggio S2 (515.12 mslm) – Stazione Centrale di Ragusa .

Profondità p.c. (m)	Potenza strat. (m)	Simbologia	Consistenza		DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	Indice di carotaggio		Prelievo campioni		Prove in foro	
			Pocket	Vane Test		% carot.	RGD	Modalità	Profondità (m)	S.P.T.	
			σ (kg/cm ²)	Cu (kg/cm ²)						prof. (m p.c.)	N° Colpi
0,30	0,30				Terreno di riporto costituito da misto granulare di natura calcarea						
0,70	0,40				Terreno pedogenizzato con resti organici costituito da sabbia limosa di colore marrone scuro tendente al rossastro						
1,80	1,10				Calcarea massivo fratturato; è presente materiale di riempimento sia limoso che granulare plastico talora presente, di colore giallo ocra	60%					
						0%					
	3,90				Calcarea massivo da poco a molto fratturato con superfici di discontinuità (tra 2,00 e 2,60; 4,00-4,40 m) suborizzontali che presentano patine di alterazione di colore giallo ocra. Sono presenti patine di alterazione (moderata) di colore arancio sulle superfici di discontinuità (moderatamente distanziate)	52%		CR1	4,60-4,80		3,00-4,00
5,70						13%					
6,20	0,50				Calcarea biocostruito						
						37%					
								CR2	8,00-8,30		
						23%					
						57%					
						22%					
						69%		CR3	14,00-14,60		
						85%					
					Calcarea massivo da poco a molto fratturato e superfici di discontinuità con orientazioni da suborizzontali a 45° rispetto alla direzione di perforazione. È presente riempimento plastico coevo talora rigido e granulare di colore rosso arancio. Talora visibile sulle superfici di discontinuità patine di ossidazione per decolorazione. Ad intervalli si nota una stratificazione evidente in special modo dove è maggiormente visibile la componente biocostruita (Biocalcarente) dove risulta evidente la presenza di fossili (frammenti di bivalvi, molluschi). Tali passaggi si rinvengono ai seguenti intervalli di quota dal p.c.: 7,60-8,60; 10,45-11,00; 12,70-13,60; 13,90-15,65; 19,20-20,50; 21,00-21,90; 22,20-22,40; 24,00-24,65; 26,00-26,40. In questi intervalli sono presenti livelli di matre calcaree di colore balneastro	32%					
	23,80					58%		CR4	18,15-18,75		
						53%					
						66%					
						84%					
						70%		CR5	24,15-24,65		20,00-25,00
						43%					
						93%					
						92%		CR6	28,20-28,60		
						50%					
30,00											

Figura 7-3 Log Sondaggio S1

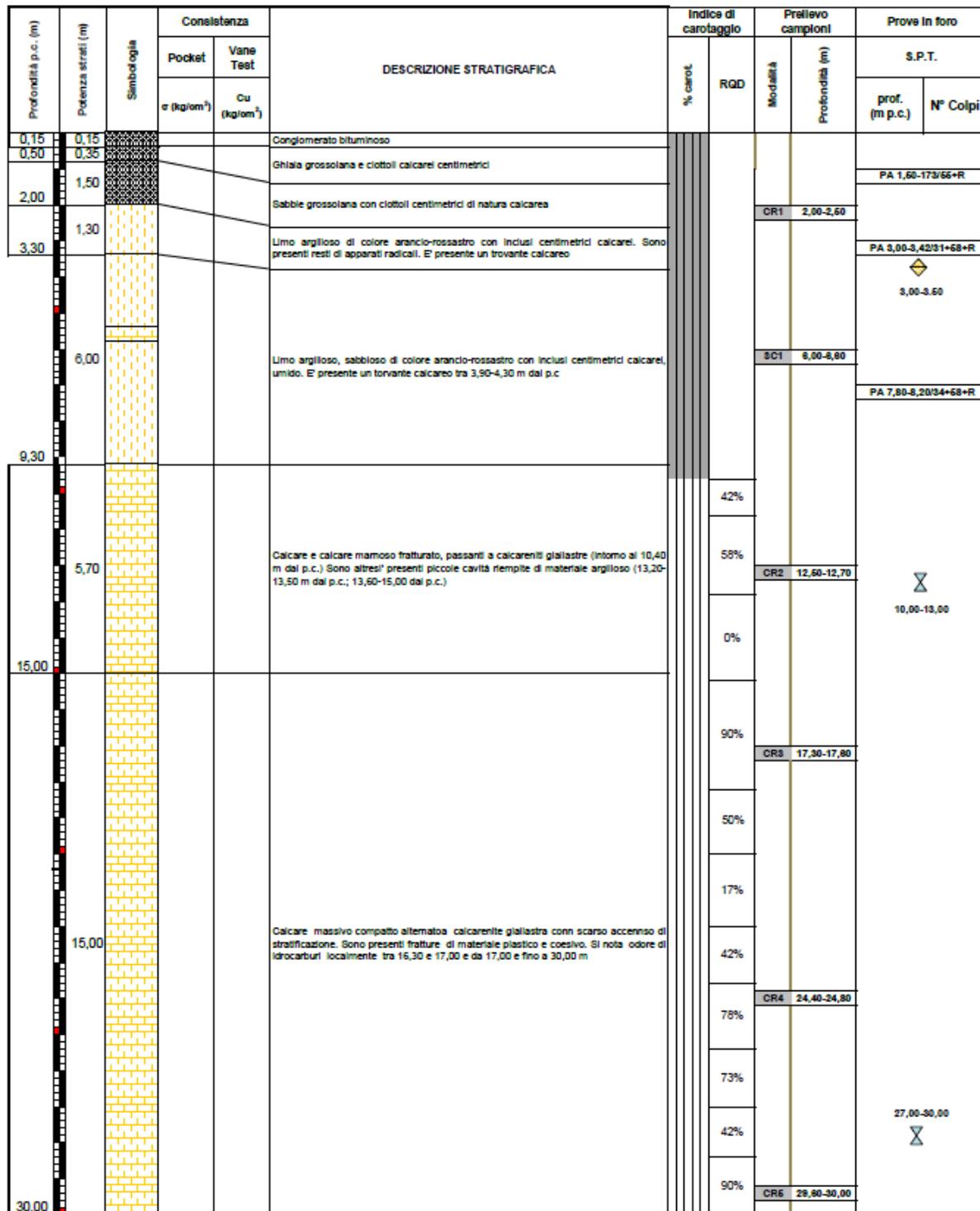


Figura 7-4 Log Sondaggio S2



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	26 di 80

1.10.2 interpretazione delle letture piezometriche

Per la definizione della quota di falda si riportano i dati ottenuti durante l'esecuzione dei sondaggi:

SONDAGGIO	Profondità falda (m dal p.c.)
S1	8,00 in data 13/11/19 (*)
S1	18,00 in data 14/11/19
S1	23,20 in data 15/11/19
S1	19,20 in data 29/11/19

SONDAGGIO	Profondità falda (m dal p.c.)
S2	8,00 in data 14/11/19 (*)
S2	16.70 in data 15/11/19
S2	16.00 in data 16/11/19

Si osserva che le prime letture, effettuate durante l'esecuzione del sondaggio, sono state ritenute poco attendibili poiché affette dal disturbo dei fluidi di circolazione utilizzati per la perforazione.

Nel profilo geotecnico la superficie piezometrica è stata posizionata a 20 m dal piano campagna per quanto concerne il sito della stazione di Cisternazzi/Ospedale e a 16 metri da pc per il sito della fermata Colajanni.



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	27 di 80

1.10.3 Interpretazione delle prove sismiche per la determinazine di V_s , 30

Con riferimento al calcolo della $V_{s,eq}$ e alle categorie di sottosuolo individuate dalle NTC 18 (Tab. 3.2.II del Doc. [1]), si è svolta l'analisi applicando l'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

I valori della $V_{s,eq}$ del sito in oggetto, ricavati sulla base delle velocità registrate dalle prove MASW e riportate nell'elaborato specialistico, sono riportati di seguito.

prova	$V_{s,eq}$ [m/s]
MASW 1	376

prova	$V_{s,eq}$ [m/s]
MASW 2	383

$V_{s,eq, media}$ [m/s]
379.5

I valori riportati indicano una **categoria di sottosuolo B**, essendo la velocità compresa tra 360 m/s e 800 m/s, propria di rocce tenere quali quelle rinvenute dai sondaggi effettuati. In Figura 7-5 la scelta della categoria sulla base della tabella fornita dalle NTC

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE					
	GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D10GE	DOCUMENTO OC000001	REV. A

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Figura 7-5 Individuazione categoria di sottosuolo

FOTO AEREA (Google Earth)



Figura 7-6: Ubicazione della prova MASW 1 - stazione di Cisternazzi/Ospedale.

FOTO AEREA (Google Earth)

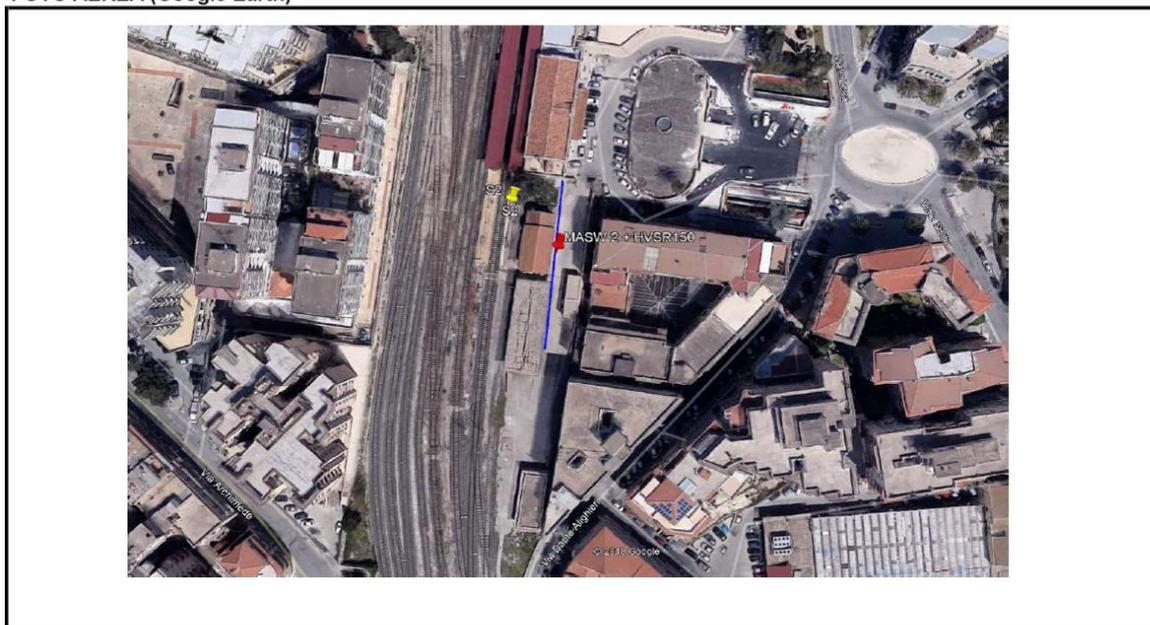


Figura 7-7: Ubicazione della prova MASW 2- Stazione Centrale di Ragusa.

Per tutti i dettagli sulle attrezzature impiegate e le modalità esecutive, si rimanda ai documenti specifici

1.11 AREA DI STUDIO STAZIONE DI RAGUSA

1.11.1 Indagini

Indagini in sito

- n. 1 sondaggio a carotaggio continuo (S2) spinto fino alla profondità di 30m e attrezzato con piezometro a tubo aperto;
- misure di *pocket penetrometer* sulle carote di sondaggio estratte;
- esecuzione di 1 prova *Lefranc* e 1 prova *Lugeon* per la misura di permeabilità;
- esecuzione di 3 prove penetrometriche in foro tipo SPT;
- prelievo di 1 campione indisturbato durante le perforazioni;
- prelievo di 5 campioni rimaneggiati durante le perforazioni.
- Esecuzione di 1 MASW per la determinazione del profilo di velocità delle onde di taglio Vs;

Prove di laboratorio sui campioni prelevati

Sono state effettuate le seguenti prove di laboratorio su 3 dei 4 campioni indisturbati prelevati:

- n.1 analisi granulometrica e proprietà indice;
- n.1 prova triassiale TxCU;
- n.1 prova edometrica;
- n.4 prove per la determinazione della massa volumica apparente (roccia);
- n.2 prove di resistenza a compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni (roccia).

In Figura 7-8 si riporta l'ubicazione del sondaggio S2 e della sismica a rifrazione.



Figura 7-8: Planimetria con ubicazione indagini

	LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE					
	GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D10GE	DOCUMENTO OC0000001	REV. A

È stato inoltre tenuto conto dei dati ricavati dalla campagna indagini eseguita per il PD relativo alla stazione Cisternazzi/Ospedale e fermata Colajanni. In particolare, il sondaggio compreso nella citata campagna indagini ha indagato le stesse calcareniti che costituiscono il substrato del progetto qui discusso, per cui si è deciso di tener conto delle informazioni pregresse per una caratterizzazione più affidabile del litotipo di interesse.

I dati pregressi di interesse in questo documento risultano:

Indagini in sito

- n. 1 sondaggio a carotaggio continuo (S1) spinto fino alla profondità di 30m;
- esecuzione di 2 prove di permeabilità di tipo *Lugeon*;
- prelievo di 6 campioni rimaneggiati durante le perforazioni.

Prove di laboratorio sui campioni prelevati

- n.6 prove per la determinazione della massa volumica apparente (roccia);
- n.3 prove di resistenza a compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni (roccia).

1.11.2 PROFILO FREATICO

Il modello idrogeologico dell'area è riportato in un capitolo dedicato nella Relazione geologica e indicato anche nei profili idrogeologici

La falda risulta parzialmente confinata, a profondità medie di circa 50-150 m, all'interno dell'acquifero della serie calcarenitica del membro Irminio della Formazione di Ragusa.

La falda, quindi, non risulta interferire con le opere previste nel presente progetto.

8. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

1.12 GENERALITÀ

I criteri di interpretazione delle indagini geotecniche, di seguito descritti, tengono conto del fatto che il sondaggio eseguito in corrispondenza della Stazione di Ragusa ha intercettato essenzialmente la sola formazione di Ragusa, a meno di uno spessore di circa 1.5-2.0 metri di Riporto/Rilevato (**R**). La formazione di Ragusa si presenta caratterizzata da uno spessore di circa 7 m (sottostante i materiali antropici) di terreni limoso argillosi con ciottoli (**LA**), al di sotto dei quali si riscontrano i calcari marnosi fratturati (**Caf**) per circa 5.5m e quelli massivi di substrato (**Ca**) fino a fine sondaggio (vedi anche profilo geotecnico).

Per quanto detto, dal punto di vista dei criteri di caratterizzazione geotecnica, si farà qui riferimento all'unità **LA** come materiale con comportamento essenzialmente a grana fina, ed al calcare di base, fratturato e massivo, con approccio tipico della meccanica delle rocce.



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	32 di 80

L'individuazione del tipo di materiale, e quindi la scelta del metodo di interpretazione, è stata fatta principalmente sulla base della descrizione stratigrafica, delle indicazioni geologiche e delle prove in sito e di laboratorio.

1.13 MATERIALI A GRANA FINE

La caratterizzazione geotecnica dei terreni a grana fina è generalmente affidata sia all'interpretazione delle prove di laboratorio, sia all'interpretazione delle prove in sito; tali prove sono programmate ed effettuate allo scopo di classificare i materiali e di determinarne:

- lo stato iniziale;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- i coefficienti di permeabilità.

1.13.1 Classificazione

La classificazione dei terreni a grana fina sarà effettuata in modo convenzionale facendo riferimento ai risultati delle prove di laboratorio in termini di:

- Distribuzione granulometrica;
- Peso dell'unità di volume;
- limiti di *Atterberg* (limite liquido e limite plastico);
- contenuti d'acqua naturale;
- indici di plasticità e di consistenza.

1.13.2 Stato tensionale iniziale

La valutazione dello stato tensionale iniziale verrà fatta sulla base:

- di quanto desumibile dagli studi di carattere geologico;
- dell'interpretazione delle prove in sito (nel caso specifico SPT).

In particolare, lo stato tensionale in sito sarà stimato sulla base dei risultati in termini di grado di sovraconsolidazione meccanico ($GSC=OCR=\sigma_{vmax}'/\sigma_{vo}'$), essendo σ_{vmax}' la pressione di preconsolidazione.

La pressione di preconsolidazione σ_{vmax}' ed il grado di sovraconsolidazione $GSC=OCR=\sigma_{vmax}'/\sigma_{vo}'$ verranno valutati sulla base della seguente espressione (Koutsoftas and Ladd, 1985):

$$\frac{s_u}{\sigma_{vo}'} = (0.22 \pm 0.03) \cdot OCR^{0.8}$$

dove



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	33 di 80

- $s_u=c_u$ = resistenza al taglio in condizioni non drenate in compressione e carico determinata con l'interpretazione delle prove SPT in accordo a quanto descritto nel paragrafo successivo;
- σ_{vo}' = pressione verticale efficace geostatica.

1.13.3 Resistenza al taglio in condizioni non drenate

La resistenza al taglio non drenata c_u dei terreni argillosi-marnosi saturi sotto falda verrà valutata facendo riferimento ai risultati delle prove di laboratorio disponibili e a correlazioni empiriche per l'interpretazione delle prove SPT, confrontate con i dati ottenuti dalle misure di *Pocket Penetrometer*.

1.13.3.1 Prove di laboratorio

Nella definizione della resistenza al taglio non drenata da prove di laboratorio si farà principalmente riferimento, laddove presenti, a prove condotte su campioni indisturbati saturi di buona qualità

1.13.3.2 Valutazione di c_u da prove SPT

La resistenza al taglio non drenata può essere stimata adottando la correlazione empirica proposta da Stroud (1974). In base a tale correlazione risulta quanto segue:

$$c_u \cong (4,5 \div 5,5) \cdot N_{SPT} \quad (\text{kPa})$$

1.13.4 Parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci

I parametri di resistenza di picco in termini di sforzi efficaci verranno determinati, laddove possibile, sulla base dei risultati delle prove di laboratorio disponibili: taglio diretto (TD) e triassiali consolidate non drenate (TX-CIU). In caso di indisponibilità di prove, i parametri di resistenza in termini di sforzi efficaci verranno determinati sulla base della letteratura.

1.13.5 Caratteristiche di deformabilità

1.13.5.1 Moduli elastici iniziali

I moduli iniziali di taglio (G_0) e di Young (E_0) possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio V_s utilizzando le seguenti equazioni:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	34 di 80

essendo:

- γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m³;
- ν' = rapporto di Poisson del terreno;
- V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/s.

La velocità di propagazione delle onde di taglio V_s può essere ricavata da misure ottenute da prove geofisiche o eventualmente estratte da correlazioni con altre prove in sito tipo SPT.

1.13.5.2 Velocità delle onde di taglio V_s da prove SPT

Valori indicativi delle velocità delle onde di taglio V_s possono essere ricavati ricorrendo alla correlazione con N_{SPT} proposta da Ohta e Goto (1978) e di seguito riportata:

$$V_s = 54.33 \cdot (N_{SPT})^{0.173} \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \left(\frac{Z}{0.303} \right)^{0.193}$$

In cui α è il fattore che dipende dall'età del deposito (Olocene=1.000, Pleistocene=1.303) e β dalle caratteristiche granulometriche dei terreni indagati (argille=1.000, sabbie=1.086).

1.13.5.3 Moduli elastici "operativi" in condizioni drenate

La determinazione dei moduli "operativi" è basata sulla valutazione delle curve di decadimento del modulo in funzione del livello di deformazione o di spostamento indotto; si tratta di curve ottenute da specifiche prove di laboratorio o ricavabili dalla letteratura tecnica. Tipiche curve di del modulo di taglio G in funzione del livello di deformazione di taglio γ indotto, sono quelle proposte da Vucetic & Dobry (1991), sono riportate nella Figura 8-1.

Va tuttavia rilevato che la procedura associata all'utilizzo delle curve di decadimento, risulta rigorosamente applicabile in problemi di scarico e/o di scarico e ricarico tensionale; nel caso di problemi di "primo carico" caratterizzati da incrementi di tensione rispetto alla condizione geostatica, potrebbe condurre ad una sottostima degli spostamenti.

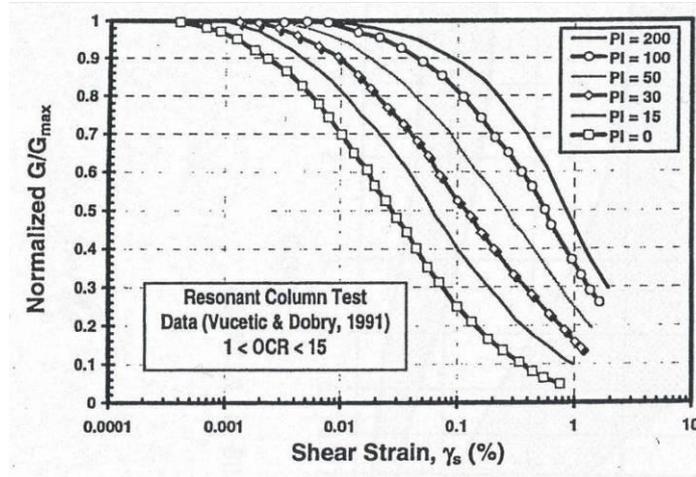


Figura 8-1: Curve G/G_{max} – □ di Vucetic & Dobry (1991)

Nel caso in cui la progettazione faccia ricorso a metodi di calcolo elastico-lineari o elastico-lineari-plastici i moduli di Young “operativi” E_{op} saranno convenzionalmente assunti pari a:

- $1/5 \cdot E_0$ nel caso di problemi di scarico e/o di scarico-ricarico;
- $1/10 \cdot E_0$ nel caso di problemi di “primo carico”.

1.13.6 Coefficienti di permeabilità

Nella definizione delle caratteristiche di permeabilità si farà riferimento ai risultati delle prove di permeabilità in foro.

Si rileva che anche i valori dei coefficienti di permeabilità ottenuti dalla prove in foro si riferiscono a pressioni verticali efficaci pari a quelle geostatiche, ovvero ad indici dei vuoti pari a quelli iniziali e_0 .

La variazione del coefficiente di permeabilità con l’indice dei vuoti corrente, potrà essere stimata sulla base della seguente espressione:

$$\log k = \log k_0 - \frac{e_0 - e}{C_k}$$

essendo:

- k = coefficiente di permeabilità corrente;
- k_0 = coefficiente di permeabilità corrispondente all’indice dei vuoti iniziale e_0 ;
- e = indice dei vuoti corrente;
- e_0 = indice dei vuoti iniziale;
- $C_k = 0.5 \cdot e_0$.



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	36 di 80

1.14 MATERIALI A GRANA GROSSA

Lungo il tracciato in oggetto i materiali a grana grossa sono essenzialmente costituiti dalle sabbie, sabbie limose e sabbie con limo, denominate $S_{L/CAL}$.

In conseguenza del fatto che in tali materiali risulta difficile prelevare campioni indisturbati, la caratterizzazione geotecnica è affidata principalmente all'interpretazione delle prove in situ (mediante correlazioni empiriche) e delle prove di classificazione di laboratorio effettuate su campioni rimaneggiati.

Si rileva che le correlazioni empiriche riportate nei paragrafi seguenti sono rigorosamente applicabili ove è ragionevole ritenere che le prove interpretate siano avvenute in condizioni drenate, ovvero nei seguenti casi:

- Terreni sopra falda purché caratterizzati da percentuali di fine (limo e argilla) inferiori a $\approx 50\%$.
- Terreni sotto falda purché caratterizzati da percentuali di fine (limo e argilla) inferiori a $\approx 35\%$.

L'interpretazione delle prove in situ è finalizzata a determinare principalmente le seguenti caratteristiche:

- stato iniziale del deposito;
- parametri di resistenza al taglio;
- parametri di deformabilità;
- coefficienti di permeabilità.

1.14.1 Stato iniziale del deposito

In accordo con Jamiolkowski et al. (1988) ogni analisi geotecnica richiede la conoscenza dello stato iniziale del deposito in termini di:

- Tensioni geostatiche iniziali e storia tensionale;
- Pressioni interstiziali;
- Macrostruttura;
- Indice dei vuoti iniziale e_0 e densità relativa D_r .

Indicazioni sulle tensioni geostatiche e sulla storia tensionale possono essere ricavate con una certa approssimazione dagli studi di carattere geologico. In questa sede si faranno le seguenti ipotesi:

- I livelli prettamente sabbiosi non sono mai stati soggetti a pressioni litostatiche superiori a quelle attuali; essi verranno trattati pertanto come depositi normalmente consolidati, caratterizzati da un coefficiente di spinta a riposo $k_0 = (1 - \sin\phi') = 0.4 \div 0.5$.

Va rilevato che in tali depositi una leggera sovraconsolidazione potrebbe essere stata generata dai prelievi idrici ad uso agricolo ed industriale. Tuttavia, le implicazioni connesse col considerare o non considerare gli effetti di tale leggera sovraconsolidazione risultano relativamente contenute e confinate nell'ambito delle approssimazioni insite nell'interpretazione delle prove geotecniche in situ.

- I livelli di sabbie limose e sabbie con limo hanno subito storie desumibili dall'interpretazione delle prove di laboratorio sui campioni indisturbati, in accordo a quanto riportato nel paragrafo 1.13.2.



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	37 di 80

Le **pressioni interstiziali** possono essere ricavate sulla base della strumentazione (piezometri) messa in opera, nonché dalle risultanze dagli studi di carattere idrogeologico.

La **macrostruttura** del deposito può essere ricavata dall'analisi delle cassette catalogatrici e da osservazioni in sito su fronti di scavo, cave, etc..

L'**indice dei vuoti in sito (e_o)** e la **densità relativa (D_r)** possono essere ricavate con una certa approssimazione dall'interpretazione delle prove penetrometriche statiche e dinamiche e dalle prove geofisiche in foro di sondaggio come riportato nei paragrafi successivi.

Come noto, la densità relativa D_r è definita dal seguente rapporto:

$$D_r = \frac{e_{\max} - e_o}{e_{\max} - e_{\min}}$$

essendo:

- e_{\max} = indice dei vuoti massimo del materiale (-)
- e_{\min} = indice dei vuoti minimo del materiale (-)
- e_o = indice dei vuoti in sito del materiale (-)

La valutazione di e_{\max} ed e_{\min} è normalmente effettuata in laboratorio facendo riferimento alle seguenti procedure:

- ASTM D4253 e D4254 per i materiali sabbiosi;
- Kokusho & Tanaka (1994) per i materiali ghiaiosi.

1.14.2 Densità relativa

1.14.2.1 Densità relativa dalle prove penetrometriche statiche in sabbia, CPT

In sabbie silicee, non cementate, la densità relativa D_r può essere legata alla resistenza di punta del penetrometro statico in base alla seguente legge (Lancellotta, 1983):

$$D_R = 68 \log\left(\frac{q_c}{\sqrt{p_a \sigma'_{v0}}} - 1\right)$$

1.14.2.2 Densità relativa dalle prove penetrometriche dinamiche in sabbia, SPT

In accordo a quanto indicato In Skempton (1986) la densità relativa D_r può essere correlata al valore N_{SPT} con la seguente legge:

$$D_r = \left(\frac{1}{A + B \cdot \sigma_{vo}'} \cdot N_{SPT} \right)^{0.5}$$

essendo:

- A, B = costanti empiriche indicate in Tabella 8-1;
- σ_{vo}' = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota di esecuzione della prova SPT (kg/cm²)
- N_{SPT} = numero di colpi per 30 cm di infissione
- $(K_o)_{nc}$ = $1 - \sin\phi'$ = coefficiente di spinta a riposo per terreni normalmente consolidati (-)
- $(k_o)_{sc}$ = $(K_o)_{nc} \cdot (GSC)^{0.5}$ = coefficiente di spinta a riposo per terreni sovra consolidati (-)
- GSC = grado di sovra consolidazione (-)
- D_r = densità relativa (-)

Tabella 8-1: Costanti empiriche A e B (Skempton, 1986)

Tipo di materiale	A	B
Sabbie fini normalmente consolidate	27,5	27,5
Sabbie grosse normalmente consolidate	43,3	21,7
Sabbie sovra consolidate	27,5÷43,3	$(21,7 \div 27,5) \cdot \frac{1 + 2 \cdot (k_o)_{sc}}{1 + 2 \cdot (k_o)_{nc}}$

In questa sede, ove non specificato espressamente, si assumeranno valori di A e B corrispondenti alle sabbie fini normalmente consolidate.

Nel caso di raggiungimento delle condizioni di rifiuto, l'interpretazione geotecnica del dato sperimentale viene effettuata facendo riferimento ad un valore N_{SPT} calcolato come segue:

$$N_{SPT} = \frac{50}{a} \cdot 30 \quad \text{se il rifiuto viene raggiunto nel primo tratto di 15 cm}$$

$$N_{SPT} = \frac{50}{b} \cdot 30 \quad \text{se il rifiuto viene raggiunto nel secondo tratto di 15 cm}$$

$$N_{SPT} = N_2 + \frac{50}{c} \cdot 15 \quad \text{se il rifiuto viene raggiunto nel terzo tratto di 15 cm}$$

essendo (a), (b) e (c) gli affondamenti misurati (in centimetri) per un numero di colpi pari a 50, rispettivamente nel primo, secondo e terzo tratto di 15 cm.

Verranno inoltre scartati i valori (troppo bassi o troppo alti) che si scostano decisamente dalla linea di tendenza caratteristica.

1.14.3 Angolo di resistenza al taglio

L'angolo di resistenza al taglio di picco ϕ' può essere determinato facendo riferimento al metodo proposto da Bolton (1986) in base al quale:

$$\phi' = \phi_{cv}' + m \cdot DI$$

$$DI = D_r \cdot [Q - \ln(p_f')] - 1$$

essendo:

$$\phi' = \text{angolo di resistenza al taglio di picco riferito a pressioni } \sigma_{ff}' = 272 \text{ kPa } (^\circ)$$

Q = coefficiente che dipende dalla composizione mineralogica e dalla forma delle particelle, assunto pari a 10

$$p_f' = 1,4 \cdot \sigma_{ff}' \text{ (vedi Jamiokowski et al. 1988) (kPa)}$$

$$\sigma_{ff}' = \text{tensione efficace normale alla superficie di rottura} = 272 \text{ kPa}$$

m = costante empirica dipendente dalle condizioni di deformazione prevalenti a rottura (vedi Tabella 8-2)

$$\phi_{cv}' = \text{angolo di resistenza al taglio a volume costante o di stato critico } (^\circ)$$

$$D_r = \text{densità relativa } (-)$$

I valori di D_r utilizzati per definire l'angolo di resistenza al taglio, sono quelli determinati dalle prove SPT.

Tabella 8-2: Valori della costante empirica m secondo Bolton (1986)

Condizioni di rottura	m(°)
Prova triassiale di compressione ($\sigma_2' = \sigma_3'$)	3
Prova triassiale in Estensione o di deformazione piana ($\sigma_2' \neq \sigma_3'$)	5
σ_2' = tensione principale efficace intermedia	
σ_3' = tensione principale efficace minore	

I valori dell'angolo di resistenza al taglio ϕ_{cv}' sono ricavabili da prove di laboratorio (triassiali o di taglio diretto) su provini ricostituiti a basse densità relative o, in assenza di queste ultime, ipotizzabili in base a quanto indicato nella Tabella 8-3 (vedi ad esempio Youd, 1972; Stroud, 1988).

Tabella 8-3: Valori dell'angolo di resistenza al taglio ϕ_{cv}' per sabbie silicee secondo quanto riportato in Stroud (1988) e Youd (1972)

	Sabbie ben gradate	Sabbie uniformi
Sabbie a spigoli vivi	$\phi_{cv}' = 38^\circ$	$\phi_{cv}' = 34^\circ$
Sabbie a spigoli arrotondati	$\phi_{cv}' = 33^\circ$	$\phi_{cv}' = 30^\circ$



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
 P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
 LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
 GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	40 di 80

1.14.4 Caratteristiche di deformabilità

1.14.4.1 Moduli elastici iniziali

I moduli iniziali di taglio (G_0) e di Young (E_0) possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio V_s utilizzando le seguenti equazioni:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

essendo:

- γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m^3
- ν' = rapporto di Poisson del terreno;
- V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/s .

La velocità di propagazione delle onde di taglio V_s può essere ricavata direttamente da prove geofisiche “down hole”, “cross hole” e SCPTU o indirettamente, interpretando i risultati delle prove CPTU e SPT come descritto nel paragrafi successivi.

1.14.4.2 Moduli elastici iniziali da prove SPT

La velocità delle onde di taglio da prove SPT in sabbie e ghiaie normalmente consolidate, silicee non cementate, può essere ricavata sulla base alla correlazione proposta da Ohta & Goto (1978) (vedi anche Baldi et al. 1989); in base a tale correlazione vale quanto segue:

$$V_s = C \cdot (N_{\text{SPT}})_{60\%}^{0.171} \cdot (z)^{0.199} \cdot f_A \cdot f_G \quad (\text{m/sec})$$

essendo:

- $C = 67,3$
- z = profondità dal p.c. in metri
- f_A = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito (vedi la Tabella 8-4)
- f_G = coefficiente funzione della composizione granulometrica (vedi la Tabella 8-5)

**Tabella 8-4: Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_A
 (funzione dell'epoca geologica del deposito)**

f_A	Olocene	Pleistocene
	1,0	1,3

Tabella 8-5: Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_G
(funzione della composizione granulometrica del deposito)

f_G	Ghiaie	Sabbie ghiaiose	Sabbie grosse	Sabbie medie	Sabbie fini
	1,45	1,15	1,14	1,07	1,09

Dai valori della velocità delle onde di taglio V_s si ottiene il modulo di taglio iniziale G_0 secondo quanto segue:

$$G_0 = \rho \cdot V_s^2$$

essendo:

$$\rho = \text{Densità del materiale}$$

1.14.4.3 Moduli elastici "operativi"

Il comportamento dei terreni a grana grossa risulta non lineare; i moduli di deformazione risultano infatti funzione sia delle pressioni efficaci medie correnti p' sia del livello di deformazione indotto o del grado di mobilitazione della resistenza al taglio.

In relazione a quanto sopra la scelta dei moduli di deformazione per le analisi ingegneristiche viene a dipendere anche dal metodo di analisi adottato.

Nel caso in cui la progettazione faccia ricorso a metodi di calcolo elastico-non lineari, i dati di ingresso per le analisi sono:

- I moduli elastici iniziali di cui al paragrafo 1.14.4.1.
- Curve di decadimento del modulo in funzione del livello di deformazione indotto. Tipiche curve di decadimento del modulo di taglio G per sabbie, in funzione del livello di deformazione γ indotto, tratte da Seed & Idriss (1970), sono riportate nella Figura 8-2.

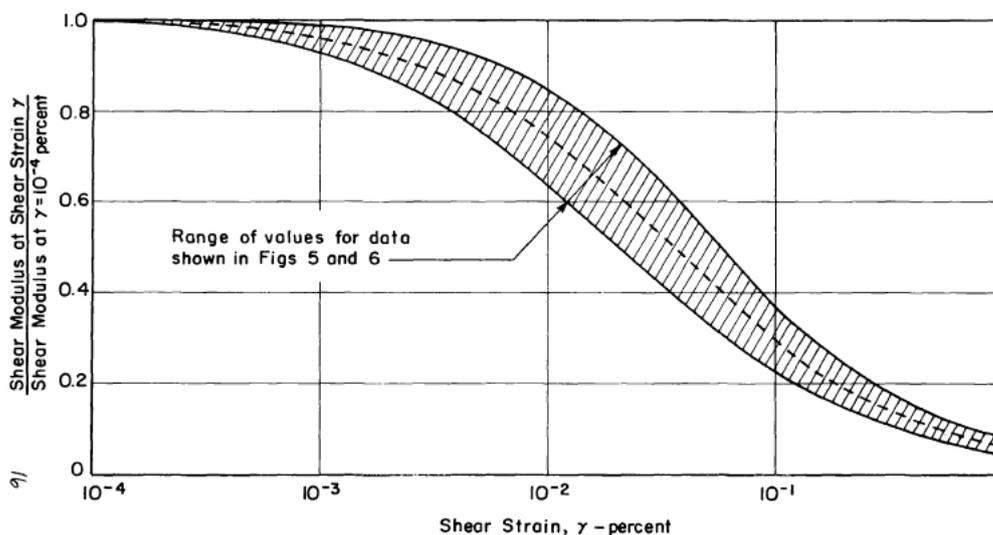


Figura 8-2: Curve di decadimento del modulo G per sabbie (Seed & Idriss, 1970)

Nel caso in cui la progettazione faccia ricorso a metodi di calcolo elastico-lineari o elastico-lineari-plastici, per la stima dei moduli “operativi” da associare allo specifico problema al contorno verranno fatte le seguenti assunzioni “convenzionali”:

- nell’analisi di fondazioni profonde e dirette i moduli di Young “operativi” E_{op} sono pari a circa $1/5 \cdot E_0$, ciò in considerazione del fatto che:
 - gli spostamenti totali e differenziali ammissibili per l’opera sono molto contenuti (i cedimenti ammissibili sono infatti generalmente inferiori a $0.01 \cdot B$, essendo B la dimensione minore della fondazione).
 - da ciò deriva che, in base alla normativa vigente e alla pratica corrente, tale tipo di opere è caratterizzato infatti da coefficienti di sicurezza nei confronti della rottura per capacità portante generalmente superiori a $2.5 \div 3$;
- nel calcolo dei cedimenti dei rilevati i moduli di Young “operativi” E_{op} sono pari a circa $(1/5 \div 1/10) \cdot E_0$ o, in alternativa, pari a quelli desumibili dalle correlazioni empiriche riportate successivamente; per tali strutture in terra possono essere infatti ammessi cedimenti totali e differenziali maggiori di quelli delle fondazioni profonde e dirette.

1.14.5 Coefficienti di permeabilità

I coefficienti di permeabilità k sono determinabili sulla base dei risultati delle prove di permeabilità *Lefranc* e *Lugeon* in foro di sondaggio; in alternativa o per conferma essi possono essere stimati sulla base della letteratura disponibile.

1.15 FORMAZIONI ROCCIOSE

La caratterizzazione geotecnica dei clacari/calcareniti verrà fatta facendo tendenzialmente riferimento ai criteri di rottura proposti e aggiornati da Hoek & Brown a partire dal 1980. In particolare:

- verrà stimato il GSI (Geological Strength Index);
- l'inviluppo delle resistenze dell'ammasso roccioso verrà valutato sulla base di quanto riportato in Hoek et al (2002) e poi approssimato attraverso una relazione lineare (Mohr-Coulomb) nell'intervallo di pressione di confinamento che è più appropriata per il problema in esame;
- verranno stimate le caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso attraverso note correlazioni fornite dalla letteratura.

1.15.1 Stima del Geological Strength Index (GSI)

La valutazione del parametro GSI verrà fatta sulla base dello schema suggerito da Hoek et al. (1995) riportato in Figura 8-3, avendo a disposizione i risultati delle prove di laboratorio (con particolare riferimento alle prove di compressione uniassiale) e i valori di RQD, di spaziatura, condizione delle discontinuità e condizioni idrauliche dai rapporti tecnici delle campagne indagini disponibili.

Parametro	Misura o descrizione						
	Indice						
1. σ_f (MPa)	> 200	200 ÷ 100	100 ÷ 50	50 ÷ 25	25 ÷ 10	10 ÷ 3	3 ÷ 1
	15	12	7	4	2	1	0
2. RQD (%)	100 ÷ 90	90 ÷ 75	75 ÷ 50	50 ÷ 25	25 ÷ 10	10 ÷ 3	< 25
	20	17	13	8	5	3	0
3. \bar{s} (m)	> 2	2 ÷ 0.6	0.6 ÷ 0.2	0.2 ÷ 0.06	0.06 ÷ 0.02	0.02 ÷ 0.01	< 0.01
	20	15	10	8	6	5	0
4. Condizione delle discontinuità	Pareti molto scabre, giunti non continui, chiusi, roccia non alterata	Pareti poco scabre, apertura < 1 mm, roccia poco alterata	Pareti poco scabre, apertura < 1 mm, roccia molto alterata	Pareti laminate, riempimento < 5 mm, apertura 1 ÷ 5 mm, giunti continui	Pareti laminate, riempimento < 5 mm, apertura > 5 mm, giunti continui	Riempimento mat. sciolto > 5 mm, apertura > 5 mm, giunti continui	
	25	20	12	6	0		
5. Condizioni idrauliche							
	10						

Figura 8-3: Schema per la valutazione degli indici parziali del sistema di classificazione GSI (da Hoek et al, 1995)

	LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE					
GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D10GE	DOCUMENTO OC000001	REV. A	FOGLIO 44 di 80

1.15.2 Resistenza dell'ammasso roccioso

La resistenza dell'ammasso roccioso verrà stimata attraverso l'applicazione del metodo descritto da Hoek et al. (2002) che utilizza l'indice GSI per passare dal criterio di Hoek-Brown della roccia intatta a quello per l'ammasso.

La formulazione del citato criterio è:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

in cui

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

con

- GSI = Geological Strength Index (par. 6.4.1);
- m_i = coefficiente relativo alla roccia intatta;
- σ_1 = tensione principale efficace maggiore
- σ_3 = tensione principale efficace minore
- σ_{ci} = resistenza alla compressione semplice della roccia intatta ottenuta dalle prove di laboratorio;
- D= fattore di disturbo.

Per ogni litotipo il coefficiente m_i in generale verrà valutato sulla base dei risultati di prove triassiali su provini di roccia intatta e di un criterio di rottura analogo a quello dell'ammasso roccioso, con GSI=100. In mancanza di dati sperimentali si farà riferimento a quanto riportato nella Tabella 8-6.

Tabella 8-6: Valori tipici e campo di parametri di resistenza secondo il criterio di Hoek-Brown per vari tipi di rocce



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
 P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
 LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
 GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	45 di 80

	σ_{ci} (MPa)	m_i
Marne - Siltiti	10÷60	10 (7÷11)
Arenarie	40÷200	14 (7÷22)
Calcari	50÷200	8 (5.5÷14)
Graniti - Granodioriti	100÷300	28 (26÷32)

1.15.3 Caratteristiche di deformabilità

1.15.3.1 Moduli elastici iniziali

I moduli iniziali di taglio (G_0) e di Young (E_0) possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio V_s utilizzando le seguenti equazioni:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale della roccia in kN/m^3 ;

ν' = rapporto di Poisson;

V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/s .

La velocità di propagazione delle onde di taglio V_s può essere ricavata direttamente da prove geofisiche “down hole”, “cross hole”, sismiche a rifrazione, MASW, ecc.

1.15.3.2 Moduli operativi

I moduli di Young “operativi” $E_{op}=E_{rm}$ dell’ammasso roccioso possono essere stimati sulla base della seguente espressione (Hoek and Diederichs, 2006):

$$E_{rm} = E_i \left(0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right)$$

In cui E_i è il modulo relativo alla roccia intatta.

1.15.4 Calcareniti

Per la caratterizzazione delle calcareniti si è fatto riferimento alla classificazione per mezzo dell'Indice RMR (Rock Mass Rating), introdotto da Beniaowski nel 1976. Tale indice, costituito da un numero da 0 a 100, è ottenuto come somma di 5 indici parziali:

- Resistenza a compressione uniassiale;
- Indice di qualità RQD (percentuale di recupero modificata di un sondaggio);
- Spaziatura delle discontinuità;
- Condizione delle discontinuità;
- Condizioni idrauliche.

A ciascun parametro viene attribuito un valore numerico. La somma dei valori dei cinque parametri fornisce il punteggio complessivo che rappresenta qualità dell'ammasso (RMR).

Parametri	Intervalli di valori							
Resistenza roccia sana	Resistenza al «Point Load test» (MPa)	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Per questi bassi valori è preferibile la prova di compressione monoassiale		
	Resistenza a compressione monoassiale (MPa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
Coefficienti numerici	15	12	7	4	2	1	0	
Rock Quality Designation RQD (%)	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25			
Coefficienti numerici	20	17	13	8	3			
Spaziatura delle discontinuità	> 2 m	0,6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			
Coefficienti numerici	20	15	10	8	5			
Condizione dei giunti	Superfici molto rugose. Discontinuità chiuse e non persistenti. Pareti non alterate	Superfici debolmente rugose. Apertura delle discontinuità < 1 mm. Pareti leggermente alterate	Superfici debolmente rugose. Apertura delle discontinuità < 1 mm. Pareti completamente alterate	Superfici lisce o riempimenti argillosi di potenza < 5 mm o discontinuità collegate e con apertura di 1 - 5 mm	Riempimenti di argilla molle di potenza > 5 mm o discontinuità collegate e con apertura > 5 mm, persistenti			
	Coefficienti numerici	30	25	20	10	0		
Presenza di acqua	Venute d'acqua in 10 m di galleria (l/min)	Nulla	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
	Rapporto tra la pressione dell'acqua nelle discontinuità e la massima sollecitazione principale	0	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
Condizioni generali della roccia	Perfettamente asciutta	Umida	Bagnata	Stillicidi	Venute d'acqua			
Coefficienti numerici	15	10	7	4	0			

Figura 8-4: Classificazione delle rocce completa di Beniaowski.

Dal valore di RMR ottenuto è possibile ricavare i parametri: coesione e angolo di resistenza al taglio mediante le seguenti correlazioni semplificate (Beniaowski, 1989):

$$c = 5 \cdot (RMR - 1)$$

$$\varphi = 4.5 + \frac{RMR}{2}$$

	LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE					
GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D10GE	DOCUMENTO OC000001	REV. A	FOGLIO 47 di 80

Il valore di RMR può essere messo inoltre in diretta correlazione con il Geological Strength Index GSI tramite la relazione proposta da Hoek, Kaiser e Bowden (Support of underground excavations in hard rock, 1995), valida per valori di $RMR'_{89} > 23$:

$$GSI = RMR'_{89} - 5$$

Dove

RMR'_{89} = RMR valutato come la tabella del 1989 (Figura 10-16), in condizioni di ammasso asciutto (rating = 15)

Per quanto riguarda la determinazione del Modulo di Young, si sono valutati i valori di E_i da letteratura per i calcari (Lama, Vutukuri, Handbook on Mechanical Properties of Rocks, 1978), e successivamente si è stimato un valore E_m per l'ammasso roccioso tramite la relazione (Hoek e Diederichs, 2006)

$$E_m = E_i \left(0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right)$$

Dove D è un fattore di disturbo (Figura 8-5)

Tali valori di rigidezza vengono confrontati con i valori di rigidezza ottenuti dalla MASW.

Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of D
	Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.	$D = 0$
	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass. Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.	$D = 0$ $D = 0.5$ No invert
	Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.	$D = 0.8$
	Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.	$D = 0.7$ Good blasting $D = 1.0$ Poor blasting
	Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal. In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.	$D = 1.0$ Production blasting $D = 0.7$ Mechanical excavation

Figura 8-5 Linee guida per la scelta del fattore di disturbo D

9. DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO PER LE DUE AREE OGGETTO DI STUDIO

Il modello geotecnico dei siti è stato elaborato a partire dai risultati dello studio geologico e sulla base di tutte le indagini in sito e di laboratorio disponibili.

A partire dalle unità geologiche sono state definite le unità geotecniche, individuate per omogenee per caratteristiche di rigidità, resistenza e permeabilità. Per ogni unità geotecnica sono stati definiti i parametri di rigidità, resistenza e permeabilità da utilizzare nei dimensionamenti. Tali valori sono stati scelti, in funzione del livello deformativo e tensionale interessato da ciascuna opera in progetto, e pertanto non vanno considerati come caratteristiche intrinseche dei materiali.

Per la successiva fase di progettazione, si raccomanda la esecuzione di una campagna di indagini integrativa e di prove atte a caratterizzare più puntualmente le caratteristiche geotecniche di resistenza e deformabilità.

Per la Stazione di **Ragusa** la stratigrafia e le unità geotecniche individuate sono le seguenti:

- **R:** si tratta del materiale antropico esistente, con spessore intercettato dal sondaggio di circa 1.5-2.0m (ghiaia e sabbia grossolana con ciottoli). Dal punto di vista geotecnico la caratterizzazione è stata effettuata sulla base della descrizione del materiale;
- **LA:** a partire dalla base dell'unità **R**, e fino ad una profondità di circa 9.3 metri (come da sondaggio S2) è stata individuata l'unità qui discussa e riferibile alla parte limoso argillosa del Membro Irminio della Formazione di Ragusa *Mcm*. Dall'esame dei dati disponibili e delle descrizioni stratigrafiche relative al sondaggio S2, è stato ritenuto opportuno caratterizzare tale spessore considerandone il comportamento meccanico complessivo come materiale e grana fina;
 - **Ca e Caf:** geologicamente riconducibile alla facies calcarenitica dell'unità *Mcm*, viene intercettata a partire da circa 9.3 metri di profondità ed è caratterizzata da calcari fratturati (*Caf*) e calcari massivi compatti alternati a calcareniti giallastre (*Ca*).

Le tipologie di materiale sopra definite sono state utilizzate per classificare i terreni incontrati lungo le verticali d'indagine e procedere poi alla definizione dei profili geotecnici di dettaglio.

In Tabella 9-1 si riporta la denominazione delle unità geotecniche individuate insieme alla rispettiva unità geologica di appartenenza.

Tabella 9-1: Corrispondenza tra unità geotecniche e geologiche

Unità Geotecnica	Unità Geologica
R Materiale di riporto/rilevato ferroviario esistente	R Materiale di riporto/rilevato ferroviario esistente
LA Limo Argilloso	Mcm - L(A) + L(A,S) Calcareniti: Limo Argilloso-sabbioso con trovanti ed inclusi calcarei
Caf Calccare fratturato	Mcm - Ca(Ma) Calcareniti: Calcari e calcari marnosi fratturati
Ca Calccare massivo	Mcm - Ca Calcareniti: Calcareniti e calcari massivi

Per la **nuova stazione di Cisternazzi/Ospedale** il sondaggio S1 realizzato in adiacenza alla nuova stazione ha individuato, al di sotto di 40 cm di materiali di riporto, e di ulteriori 30 cm di terreno pedogenizzato, calcareniti massive a variabile grado di fratturazione sino alla massima profondità investigata di 30 m da p.c. Le unità geotecniche presenti sono:



Riporto



Calcareniti fratturate



Calcareniti

Per l'area della **nuova fermata Colajanni** il profilo geotecnico è stato elaborato a partire dai risultati della stesa sismica LS1 realizzata per una lunghezza di circa 830 m lineari in asse al tracciato ferroviario esistente (cfr. elaborato "Indagini geofisiche. Nel profilo geotecnico è anche riportato il riferimento al sondaggio S2 eseguito presso la stazione di Ragusa, a circa 500 m di distanza dall'area di progetto di via Colajanni. Il dato diretto ottenuto dalla stesa sismica e la verticale di indagine eseguita sulle medesime formazioni geologiche hanno consentito un'adeguata ricostruzione delle condizioni del sito sia in termini stratigrafici, sia di proprietà meccaniche, considerando anche la tipologia delle opere in progetto (pensiline e marciapiedi).

Si osserva che la stratigrafia derivante dal sondaggio S2 è stata presa a riferimento solo ai fini del calcolo dei micropali di fondazione delle pensiline, per tener conto di possibili variazioni stratigrafiche locali rispetto a quanto rilevato dallo stendimento sismico LS1, che risulta esterno all'area di ingombro delle pensiline.

Le unità geotecniche presenti sono:



Calcareniti alterate/Terre Rosse



Calcareniti

Profilo Geotecnico
Stazione Cisternazzi / Ospedale
Scala 1:1000 / 100

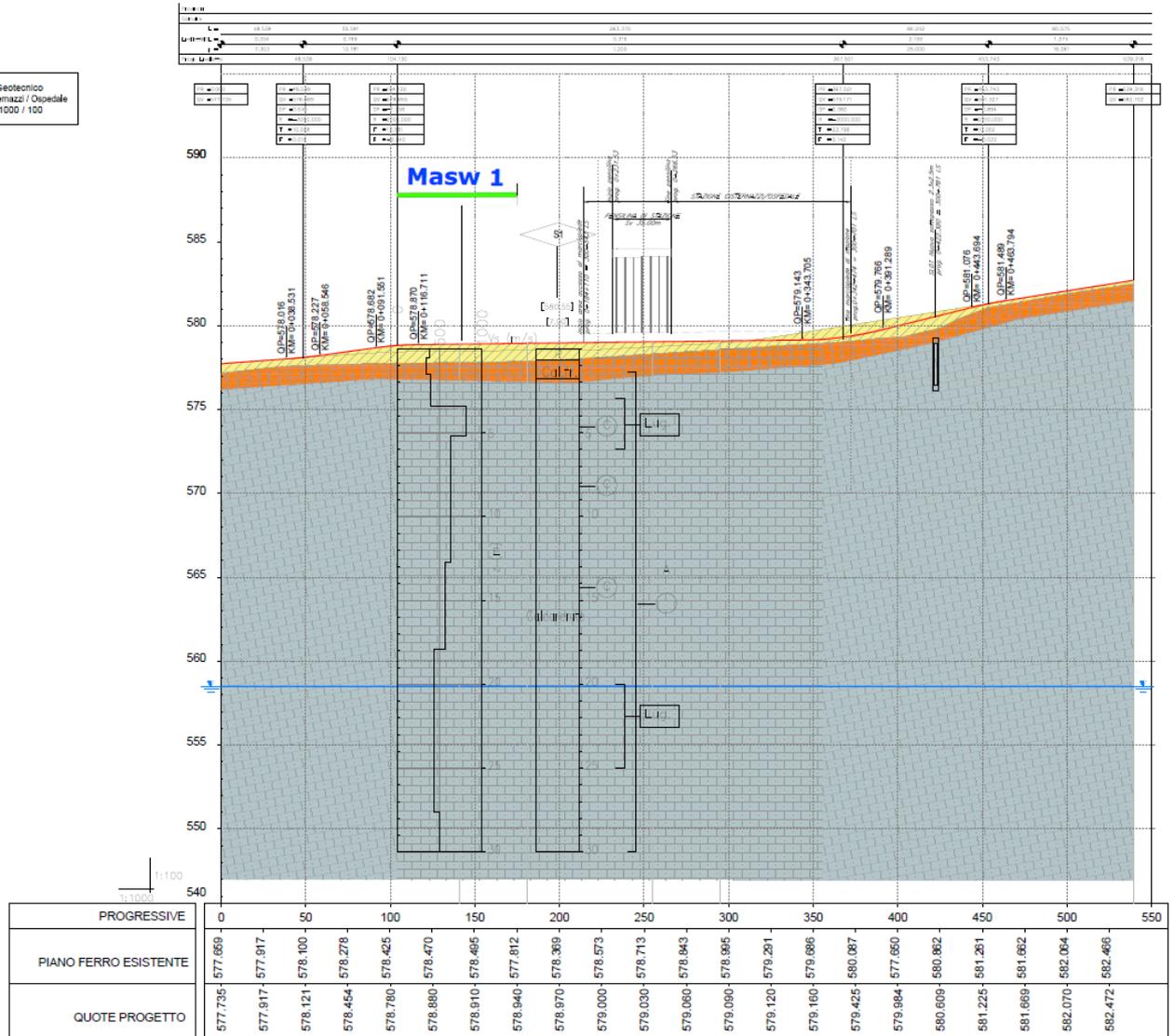


Figura 9-1: Profilo Geotecnico Sta.ne Ospedale/Cisternazzi.

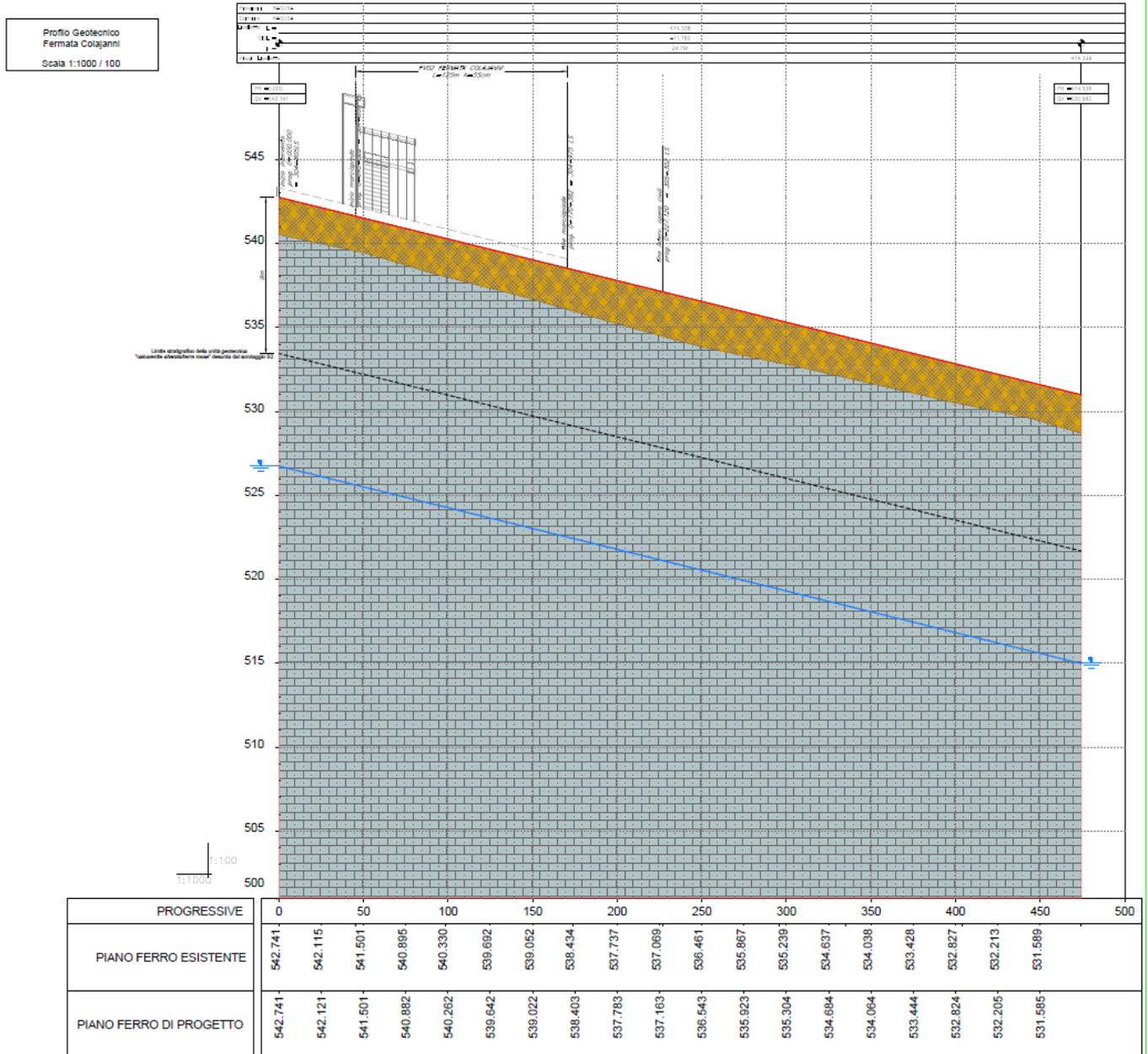


Figura 9-2: Profilo Geotecnico fermata Colajanni



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	53 di 80

10. CARATTERIZZAZIONE DELLE UNITA' STRATIGRAFICHE GEOTECNICHE

1.16 RISULTATI ED INTERPRETAZIONE TERRENI STAZIONE DI RAGUSA

La caratterizzazione stratigrafica è stata eseguita basandosi prevalentemente sulle descrizioni riportate nel sondaggio di riferimento, ivi comprese le indicazioni dei valori RQD per la parte di substrato roccioso, oltre che sui risultati delle prove in sito e di laboratorio per valutare i parametri geotecnici di resistenza e rigidità.

Si è tenuto in conto inoltre delle interpretazioni delle prospezioni sismiche disponibili.

Nei paragrafi seguenti si riportano i risultati delle prove in sito, interpretati sulla base di quanto discusso nei capitoli precedenti.

Nel seguito sono presentati i risultati delle prove condotte in laboratorio e dei dati ottenuti dalle indagini in sito, riportandone la loro interpretazione, per l'unità limoso argillosa *LA*, quindi con particolare riferimento ai metodi indicati per terreni a grana fina di cui al par. 1.13.

1.16.1 Caratteristiche fisiche e parametri di stato

I principali parametri inerenti alle caratteristiche fisiche e le relative proprietà indice sono riassunti nella Tabella 10-1 e riguardano l'unico campione indisturbato prelevato nell'unità di interesse.

Tabella 10-1: Parametri fisici e proprietà indice ottenute da prove di laboratorio sull'unità *LA*

Camp.	Unità	Prof.	γ	G	S	L	A	W_n	W_L	I_p	I_c
		(m)	(kN/m ³)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(-)
S2 C11	<i>LA</i>	6.3	18.1	1.91	7.11	31.68	59.31	29.3	64.3	32.3	1.08

La distribuzione granulometrica del campione analizzato evidenzia una sostanziale assenza di ghiaia e una minima presenza sabbiosa; prevale l'argilla rispetto al limo, con rapporto quasi doppio.

Per quanto riguarda il peso dell'unità di volume, l'unico dato fornisce 18.1 kN/m³.

L'indice di plasticità risulta $I_p=32.3$, riferibile a materiali PLASTICI ($15 < I_p < 40$), e la consistenza risulta SEMISOLIDA ($I_c \geq 1$).

Il litotipo è classificabile come argilloso inorganico di medio/alta plasticità, non attivo.

	LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE					
	GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D10GE	DOCUMENTO OC0000001	REV. A

1.16.2 Caratteristiche di Resistenza

1.16.2.1 Coesione non drenata

In Figura 10-1 si riporta l'andamento della coesione non drenata c_u con la profondità, ottenuta per l'unità **LA** a partire dalle misure di *pocket penetrometer* sulle carote estratte.

Il grafico mostra c_u molto poco variabili tra circa 170 e 200 kPa, con netta predominanza del limite superiore, quindi abbastanza rappresentativo, senza individuare un evidente *trend* con la profondità. Tutti i valori si collocano comunque molto al di sopra della legge lineare di Koutsoftas and Ladd (1985) con OCR=1 (materiali normalmente consolidati), manifestando quindi una evidente sovra-consolidazione.

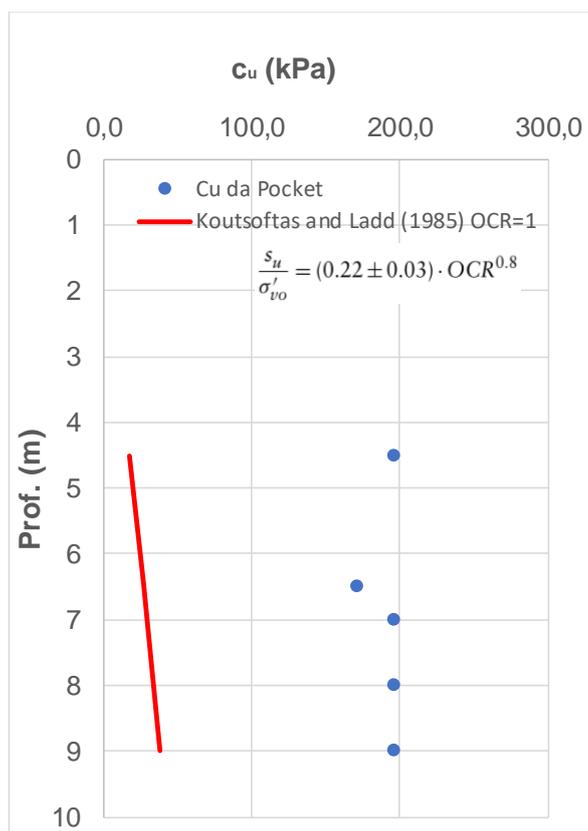


Figura 10-1: sondaggio S2: Andamenti di c_u (da *pocket penetrometer*) con la profondità e confronto con andamento per terreni NC (Koutsoftas and Ladd, 1985 – con OCR=1)

1.16.2.2 Parametri di resistenza drenati

La resistenza in termini drenati dell'unità **LA** è ricavabile dalla sola prova triassiale CU eseguita sul campione prelevato S2-CI1.

La prova ha fornito i seguenti valori di angolo di attrito e coesione efficace: $\varphi' = 24.3^\circ$ - $c' = 11.5$ kPa. Seppur coerenti con la descrizione granulometrica del materiale sottoposto a prova, il valore di c' ottenuto sembrerebbe



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	55 di 80

leggermente sottostimare il contributo coesivo atteso dall'intero strato, soprattutto considerando lo stato di consistenza discusso in precedenza. In ogni caso, a scopo cautelativo, vista anche la disponibilità di un solo dato, il citato valore sarà considerato sufficientemente rappresentativo.

1.16.3 Caratteristiche di deformabilità

In Figura 10-2 è riportato il profilo delle Vs ottenute dalla prova MASW effettuata sul sito di interesse. Come riscontrabile dal grafico, lo spessore relativo all'unità LA è caratterizzato da valori di Vs variabili da 400 a 650 m/s circa, quindi riferibili ad una buona rigidezza del materiale. Infatti, gli intervalli di valori di G_0 e E_0 , calcolati considerando un coefficiente di Poisson $\nu=0.3$, risultano rispettivamente $G_0=290\div770$ MPa e $E_0=760\div2000$ MPa circa.

Ricavando il modulo operativo come $E'=1/10 E_0$ (sulla base di quanto riportato nel paragrafo 1.13.5.3), ne deriverebbe quindi $E_0=76\div200$ MPa, con valori che si pongono in netta contraddizione con quanto desumibile dalla prova edometrica effettuata sul campione S2-CI1 (Doc.[4]), la quale fornisce moduli edometrici per gli intervalli di tensione di interesse non superiori a 10 MPa.

Tenendo conto dei sempre influenti effetti di disturbo del campionamento sugli esiti delle prove edometriche, richiamando l'elevato stato di consistenza già discusso per l'unità qui valutata, in questa sede è stato assunto un intervallo operativo del modulo di Young pari a $E'=15\div30$ MPa.

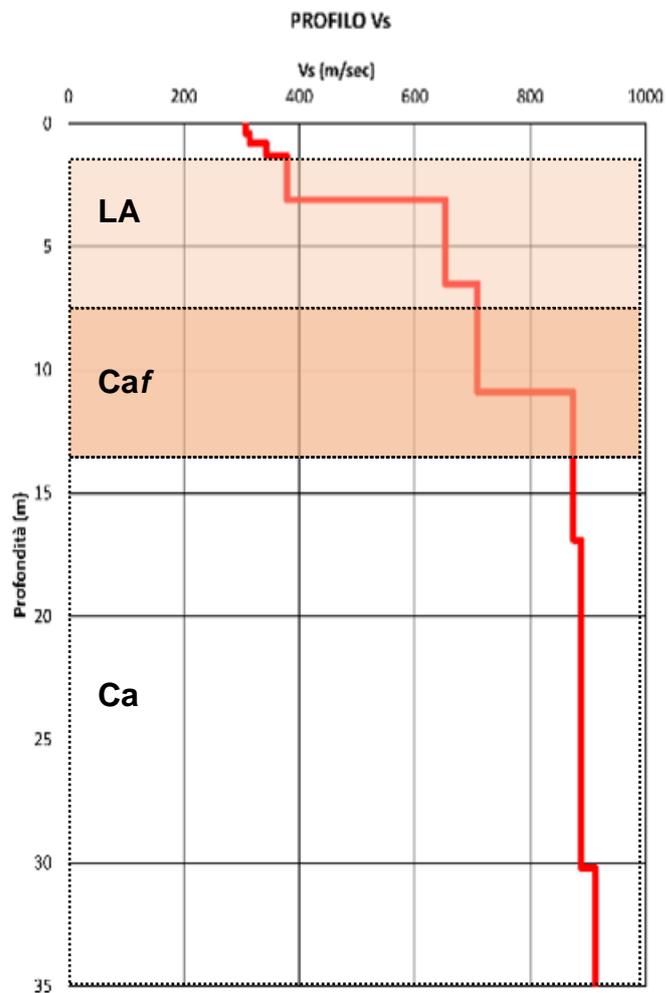


Figura 10-2: Andamento con la profondità delle Vs misurate dalla MASW

1.16.4 Permeabilità

Nell'ambito del sondaggio S2 sono state eseguite una prova *Lefranc*, nella parte più superficiale, e una prova *Lugeon* nella parte calcarenitica di base.

La prima prova citata, relativa ad una profondità di 3.0-3.5m circa, ha fornito valori di permeabilità $k=10^{-5}$ m/s circa, quindi non rappresentativi dello spessore limoso argilloso *LA* in quanto fortemente condizionata dal piccolo spessore più superficiale, con presenza di ciottoli, di tale unità.

Per quanto riguarda la prova *Lugeon*, molto profonda (27.0-30.0 m), quindi attribuibile al calcare massivo *Ca*, i risultati hanno fornito valori di permeabilità piuttosto basse (circa 4×10^{-8} m/s), con diagramma interpretabile come moto turbolento e riconducibile ad ammassi rocciosi con fratture molto chiuse (vedi Relazione Geologica - Doc.[1]).

1.16.5 Interpretazione delle prove sulle unità rocciose

Il sondaggio S2 ha intercettato, dopo i 9m circa di profondità, ed alla base dello spessore limoso argilloso precedentemente discusso, la formazione calcareo/calcarenitica che in questa relazione e nel relativo profilo geotecnico è stata indicata come *Caf* e *Ca*, rispettivamente per la sua quota parte superiore più fratturata (prof.=9.3÷15m) e per quella massiva inferiore (prof.>15 m). Tale unità è stata anche indagata per il PD della fermata Colajanni (Doc.[5]), nell'ambito del quale è stato eseguito il sondaggio S1 che ha intercettato le calcareniti in esame a partire da 10m di profondità; si farà pertanto riferimento alle informazioni ottenute anche dal suddetto sondaggio, limitatamente alla parte inferiore a 10m dalla testa foro.

1.16.5.1 Parametri della roccia intatta

Sui campioni di roccia intatta sono state eseguite, nei sondaggi S1 e S2, complessivamente n.10 prove di densità e 5 prove di compressione uniassiale con misura del modulo; i risultati con sintetizzati nella Tabella 10-2, nella quale vengono anche distinti i campioni tra l'unità fratturata e quella compatta di base.

Tabella 10-2: Valori di densità, resistenza uniassiale e moduli ottenuti su campioni di roccia intatta

Sondaggio	Campione	Unità	prof.	ρ			σ_R [MPa]	Et_50 [MPa]	E_sec [MPa]	Em [MPa]	Et_50 [GPa]	E_sec [GPa]	Em [GPa]
			[m]	[kg/m ³]	[kN/m ³]								
S2	CR2	Calcareniti Fratturate	12.6	1887	18.5	31.99	45855	50290	52914	45.9	50.3	52.9	
	CR3	Calcareniti Compatte	17.45	1761	17.3	7.92	11480	11156	11967	11.5	11.2	12.0	
	CR4	Calcareniti Compatte	24.6	2295	22.5								
	CR5	Calcareniti Compatte	29.75	1900	18.6								
S1	CR1	Calcareniti Fratturate	4.75	2279	22.4	41.04	22047	29314	26555	22.0	29.3	26.6	
	CR2	Calcareniti Compatte	8.15	1864	18.3	8.73	3496	4936	5830	3.5	4.9	5.8	
	CR3	Calcareniti Compatte	14.25	1796	17.6	12.93	3885	5221	5382	3.9	5.2	5.4	
	CR4	Calcareniti Compatte	19.45	1858	18.2								
	CR5	Calcareniti Compatte	24.4	1932	19.0								
	CR6	Calcareniti Compatte	28.35	1841	18.1								
				media	19.0								
				mediana	18.4								

I valori della densità risultano molto variabili e compresi tra 17.3 e 22.5 kN/m³, senza manifestare differenze evidenti tra Calcarenite Compatta e Calcarenite Fratturata (come atteso, essendo i valori riferiti alla roccia intatta); i due valori riferiti a quest'ultima sono infatti 18.5 e 22.4 kN/m³. I valori nel loro complesso restituiscono un valore medio di 19 kN/m³.

I valori di resistenza a compressione e del modulo tangente Et₅₀ sono stati inseriti in Figura 10-3, a titolo di confronto, nel grafico di *Deer e Miller (1996)*; anche in questo caso i valori risultano molto dispersi ed in numero

statisticamente non molto significativo, per cui è stato deciso di assumere valori prossimi all'estremo inferiore (punto verde nel grafico), cioè:

- $\sigma_f=12$ MPa
- $E_{t50}=4$ GPa

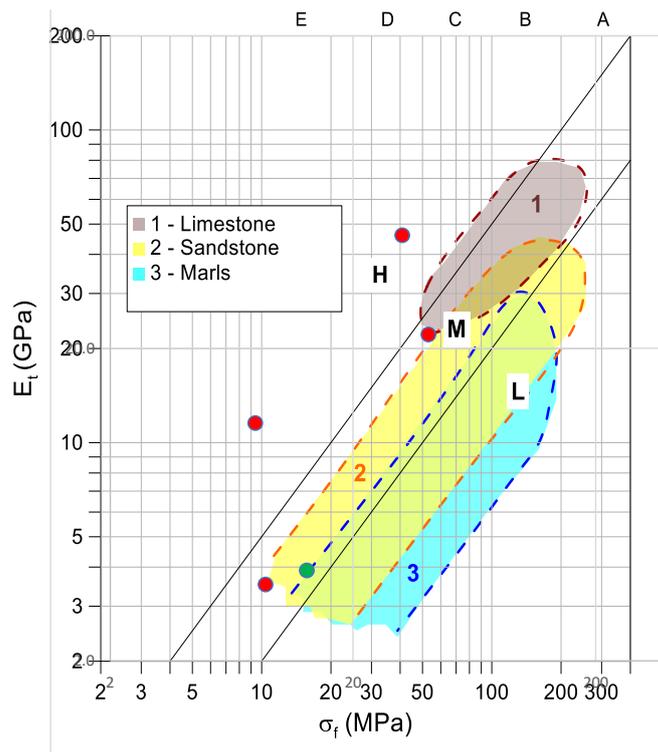


Figura 10-3: Valori indicativi di resistenza uniassiale e modulo tangente secondo Deere e Miller (1996)

La scelta effettuata classifica le Calcareniti oggetto di studio tra le rocce di Classe E, con *resistenza molto bassa*, come da tabella degli autori citati (Tabella 10-3).

Tabella 10-3: Classificazione delle rocce in base alla resistenza a compressione uniassiale secondo Deere e Miller (1996)

Classe	Descrizione	σ_f (MPa)
A	Resistenza molto alta	> 200
B	Resistenza alta	100 ÷ 200
C	Resistenza media	50 ÷ 100
D	Resistenza bassa	25 ÷ 50
E	Resistenza molto bassa	< 25

1.16.5.2 Parametri dell'ammasso roccioso

Rock Quality Index (RQD)

Nella Figura 10-4 che segue sono riportati, in forma grafica, i valori di RQD indicati nelle stratigrafie dei sondaggi S2 e S1. I dati della parte fratturata risultano abbastanza dispersi, con 3 dati su 7 molto bassi, mentre per la Calcarenite compatta i valori di RQD sono più congruenti e tendenzialmente crescenti con la profondità.

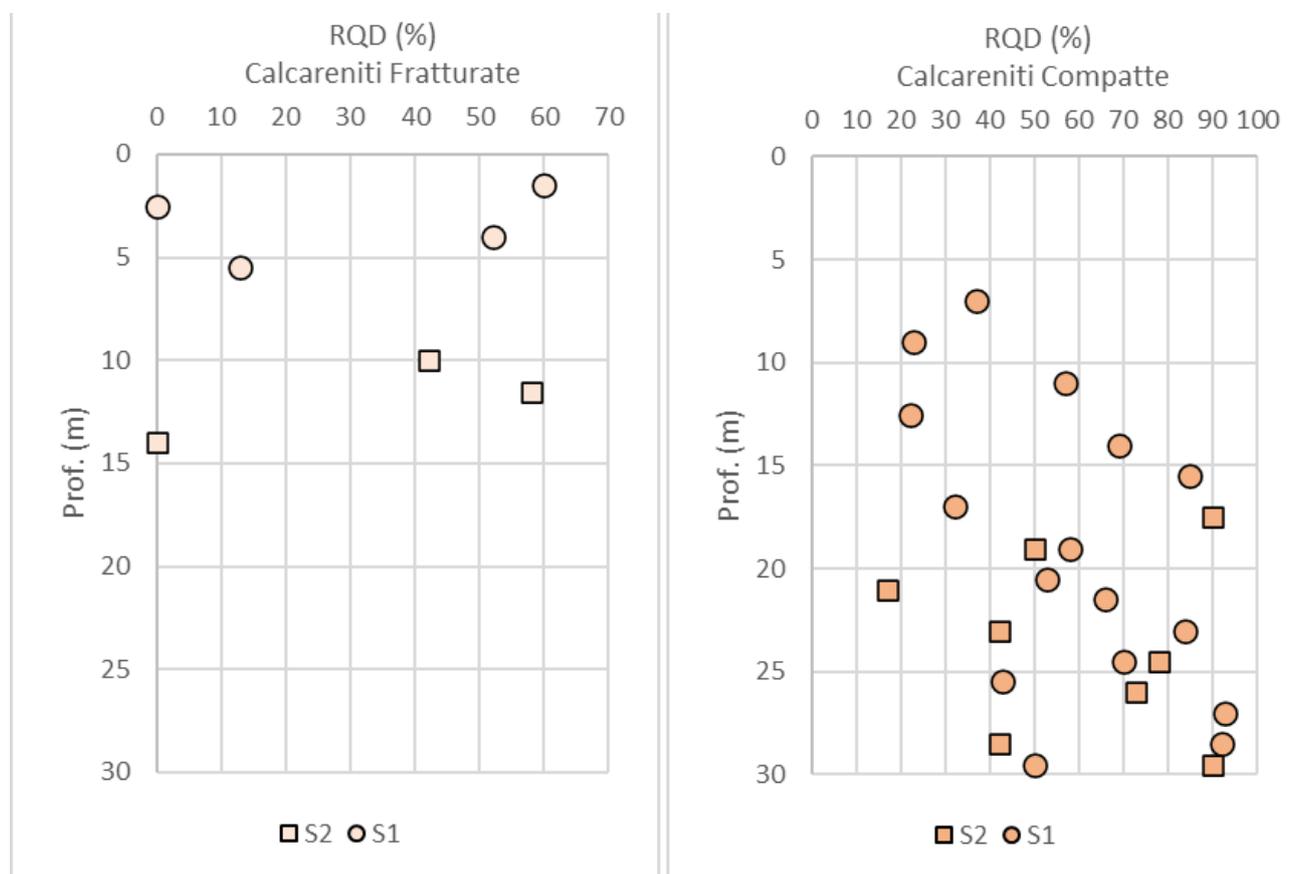


Figura 10-4: Valori di RQD estratti dai sondaggi S1 e S2, per la roccia più fratturata (sx) e quella compatta di base (dx)

Spaziatura media

La spaziatura media delle discontinuità riscontrate è stata calcolata sulla base delle informazioni riportate nel rilievo geomeccanico eseguito osservando il materiale in cassetta dei sondaggi S1 e S2 (Doc.[4] e Doc.[5]). Il valore "s_media" in Tabella 10-4 viene calcolato come rapporto tra lunghezza del tratto esaminato (L) e il numero di discontinuità individuate, decurtate di quelle "Meccaniche", assumendo per semplicità una spaziatura regolare. In tabella sono evidenziati alcune righe che rappresentano particolari condizioni, in particolare:

- Il tratto di S2 colorato in arancione, tra 13 e 15 m di profondità, risulta descritto con "Presenza di piccole cavità riempite di materiale argilloso (13.20-13.50m dal p.c.; 13.60-15.00 m dal p.c.)"

— I tratti in rosso risultano particolarmente fratturati, come da esempio in **Figura 10-5** in cui è riportato lo stralcio fotografico della cassetta 5 del sondaggio S2 a profondità da 20 a 22m.



Figura 10-5: Stralcio fotografico sondaggio S2 – prof.=20-22 m

Tabella 10-4: Sommario delle discontinuità da rilievo geomeccanico in cassetta per S1 e S2, con indicazione dei principali valori di interesse.

Sondaggio	Unità	Profondità (m)			Lunghezza tratto esaminato L (m)	Discontinuità				
		da	a	media		da #	a #	ToT	ToT escluse Meccaniche	s_media (m)
S2	Calcareniti fratturate	9.3	11.3	10.3	2	2	12	11	8	0.25
	Calcareniti fratturate	11.3	12	11.65	0.7	13	16	4	2	0.35
	Calcareniti fratturate	12	13	12.5	1	17	21	5	2	0.50
	Calcareniti fratturate	13	14		1					
	Calcareniti fratturate	14	15		1					
	Calcareniti Compatte	15	16	15.5	1	22	23	2	0.1	>3
	Calcareniti Compatte	16	17	16.5	1	24	30	7	7	0.14
	Calcareniti Compatte	17	18	17.5	1	31	34	4	1	1.00
	Calcareniti Compatte	18	19	18.5	1	35	36	2	1	1.00
	Calcareniti Compatte	19	20.2	19.6	1.2	37	41	5	4	0.30
	Calcareniti Compatte	20.2	21.4	20.8	1.2			1		
	Calcareniti Compatte	21.4	22	21.7	0.6	42	44	3	2	0.30
	Calcareniti Compatte	22	23	22.5	1	45	49	5	0.1	>3
	Calcareniti Compatte	23	24	23.5	1	50	51	2	0.1	>3
	Calcareniti Compatte	24	25	24.5	1	52	53	2	1	1.00
	Calcareniti Compatte	25	26	25.5	1	51	56	6	2	0.50
	Calcareniti Compatte	26	27	26.5	1	57	58	2	0.1	>3
Calcareniti Compatte	27	28	27.5	1	59	62	4	0.1	>3	
Calcareniti Compatte	28	29	28.5	1	63	66	4	1	1.00	
Calcareniti Compatte	29	30	29.5	1	67	71	5	0.1	>3	
S1	Calcareniti fratturate	1	2.3	1.65	1.3	1	9	9	5	0.26
	Calcareniti fratturate	2.3	2.6	2.45	0.3					
	Calcareniti fratturate	2.6	4	3.3	1.4	10	18	9	2	0.70
	Calcareniti fratturate	4	5	4.5	1	19	24	6	3	0.33
	Calcareniti fratturate	5	5.7	5.35	0.7					
	Calcareniti Compatte	5.7	7	6.35	1.3	1	11	11	8	0.16
	Calcareniti Compatte	7	8	7.5	1	12	19	8	4	0.25
	Calcareniti Compatte	8	9	8.5	1	20	25	6	3	0.33
	Calcareniti Compatte	9	9.4	9.2	0.4					
	Calcareniti Compatte	9.4	10	9.7	0.6	26	29	4	3	0.20
	Calcareniti Compatte	10	11	10.5	1	1	8	8	5	0.20
	Calcareniti Compatte	11	12	11.5	1	9	13	5	3	0.33
	Calcareniti Compatte	12	13	12.5	1	14	17	4	2	0.50
	Calcareniti Compatte	13	14	13.5	1	18	27	10	8	0.13
	Calcareniti Compatte	14	15	14.5	1	28	31	4	4	0.25
	Calcareniti Compatte	15	16	15.5	1	1	2	2	1	1.00
	Calcareniti Compatte	16	17	16.5	1	3	14	12	3	0.33
	Calcareniti Compatte	17	17.4	17.2	0.4					
	Calcareniti Compatte	17.4	18	17.7	0.6	15	17	3	1	0.60
	Calcareniti Compatte	18	19	18.5	1	18	29	12	3	0.33
	Calcareniti Compatte	19	20	19.5	1	30	32	3	3	0.33
	Calcareniti Compatte	20	21	20.5	1	1	5	5	2	0.50
	Calcareniti Compatte	21	22	21.5	1	6	10	5	1	1.00
	Calcareniti Compatte	22	23	22.5	1	11	16	6	1	1.00
	Calcareniti Compatte	23	24	23.5	1	17	18	2	2	0.50
	Calcareniti Compatte	24	25	24.5	1	19	23	5	2	0.50
	Calcareniti Compatte	25	26	25.5	1	1	6	6	1	1.00
	Calcareniti Compatte	26	27	26.5	1	7	8	2	0.1	>3
	Calcareniti Compatte	27	28	27.5	1	9	13	5	3	0.33
	Calcareniti Compatte	28	29	28.5	1	14	18	5	2	0.50
Calcareniti Compatte	29	30	29.5	1	19	27	9	5	0.20	

Condizione delle Discontinuità

Il rilievo geomeccanico in cassetta comprende una descrizione di massima della discontinuità, come riscontrabile da una delle schede riproposte in Figura 10-6 ad allegate ai rapporti tecnici sulle indagini (Doc. [4]).

Con riferimento alla legenda ed al significato dei parametri visibile in figura, la descrizione inerente alla calcarenite indagata generalmente descrive le discontinuità riscontrate con:

- Forma Irregolare (I);

- Apertura <0.1 mm (Classe B);
- Ossidazione: Assente (1) o Mediamente ossidata (2);
- Riempimento: assente.

A partire da tali indicazioni sono stati, quindi, assegnati gli indici necessari alla caratterizzazione dell'ammasso roccioso che verrà esplicitata a seguire.

RILIEVO MECCANICO S2 (ISRM)

R.d.P. n° SA-19-521 Del 25/11/19

Committente:	ITAFERR SPA		
Oggetto Lavoro:	AQ 200001236 -Ord.1000375583 - Esecuzione Indagini geognostiche per il Progetto della Metroferrovia di Ragusa - Nuova fermata di Licitra, Adeguamento Stazione Ragusa C.Le e Stazione Ragusa Ibla		
Commessa n°:	RS04.2D01.A01.E165.I.R02	Verbale di Accettazione n°	
Località:	Ragusa	Data esecuzione sondaggio:	16-16-11-2019
Coordinate WGS84 :	36°55'8.18"N 14°43'33.05"E	Quota (m.s.l.m):	
Coordinate Gauss-Boaga:	475581.00 m E -4085915.00 m N		515,12

N.disc	Inclinaz. (°)	Tipo Discontinuità F= frattura S= strato C= Scistosita' M=meccanica	Forma	Apertura	Ossidazione	Riempimento
			P= piana O = ondulata I = irregolare	A se = 0,00 mm B se < 0,1 mm C se 0,1-10 mm D se > 10mm	1 Assente 2 lievemente ossidata 3 moderatamente ossidata 4 profondamento ossidata	
1	Sub orizz	F	P	B	1	-
2	Sub orizz	F	I	B	2	P
3	45	F	I	B	2	P
4	Sub orizz	F	I	B	2	-
5	Sub orizz	S	I	B	1	-
6	Sub orizz	F	I	B	1	-
7	Sub orizz	S	I	B	1	-
8	Sub orizz	F	I	B	1	-
9	Sub orizz	M	I	B	1	-
10	Sub orizz	M	I	B	1	-
11	Sub orizz	M	I	B	1	-
12	Sub orizz	F	I	B	1	-
13	Sub orizz	M	I	B	1	-

Figura 10-6: Tipologico delle schede incluse nel rilievo geomeccanico sui sondaggi

Geological Strength Index (GSI)

Sulla base di quanto fin qui discusso, riferendosi agli indici parziali suggeriti da Hoek (vedi par. 1.15.1), sono stati calcolati i valori di GSI per tutti i tratti relativi ai due sondaggi S1 e S2, riferiti alle Calcareniti ed esplicitati nelle Tabelle 8-5 e 8-6.

I valori sono stati anche resi in forma grafica, sia come profilo, sia come diagramma a barre, in entrambi i casi affiancati a relativi andamenti di RQD e Spaziatura Media (Figure 8-7 e 8-8).

A partire dagli andamenti sopra riportati si è deciso di assumere i seguenti valori:

- GSI=30 per Calcari/Calcareniti Fratturate **Caf**
- GSI=50 per Calcari/Calcareniti Compatte **Ca**

Tabella 10-5: Sommario indici e calcolo GSI su sondaggio S1

Sondaggio	Unità	profondità (m)			σf		RQD		Spaziature		Condizioni discontinuità	Cond Idrauliche	GSI
		da	a	media	valore (MPa)	Indice	valore (%)	Indice	valore (m)	Indice	Indice	Indice	
S1	Calcareniti fratturate	1	2.3	1.65	12	1.2	60	11	0.3	15	12	10	49.2
	Calcareniti fratturate	2.3	2.6	2.45	12	1.2	0	3	0.0	5	3	10	22.2
	Calcareniti fratturate	2.6	4	3.3	12	1.2	52	13	0.7	20	12	10	56.2
	Calcareniti fratturate	4	5	4.5	12	1.2	52	13	0.3	15	12	10	51.2
	Calcareniti fratturate	5	5.7	5.35	12	1.2	13	3	0.0	5	3	10	22.2
	Calcareniti Compatte	5.7	7	6.35	12	1.2	37	9	0.2	9	12	10	41.2
	Calcareniti Compatte	7	8	7.5	12	1.2	37	9	0.3	15	12	10	47.2
	Calcareniti Compatte	8	9	8.5	12	1.2	23	6	0.3	15	12	10	44.2
	Calcareniti Compatte	9	9.4	9.2	12	1.2	0	3	0.0	5	3	10	22.2
	Calcareniti Compatte	9.4	10	9.7	12	1.2	57	10	0.2	9	12	10	42.2
	Calcareniti Compatte	10	11	10.5	12	1.2	57	10	0.2	9	3	10	33.2
	Calcareniti Compatte	11	12	11.5	12	1.2	57	10	0.3	15	12	10	48.2
	Calcareniti Compatte	12	13	12.5	12	1.2	22	6	0.5	17	12	10	46.2
	Calcareniti Compatte	13	14	13.5	12	1.2	22	6	0.1	8	12	10	37.2
	Calcareniti Compatte	14	15	14.5	12	1.2	69	12	0.3	15	12	10	50.2
	Calcareniti Compatte	15	16	15.5	12	1.2	85	18	1.0	22.5	12	10	63.7
	Calcareniti Compatte	16	17	16.5	12	1.2	32	8	0.3	15	12	10	46.2
	Calcareniti Compatte	17	17.4	17.2	12	1.2	0	3	0.0	5	3	10	22.2
	Calcareniti Compatte	17.4	18	17.7	12	1.2	32	8	0.6	20	12	10	51.2
	Calcareniti Compatte	18	19	18.5	12	1.2	58	10	0.3	15	12	10	48.2
	Calcareniti Compatte	19	20	19.5	12	1.2	58	10	0.3	15	12	10	48.2
	Calcareniti Compatte	20	21	20.5	12	1.2	66	12	0.5	17	12	10	52.2
	Calcareniti Compatte	21	22	21.5	12	1.2	84	18	1.0	22.5	12	10	63.7
	Calcareniti Compatte	22	23	22.5	12	1.2	84	18	1.0	22.5	12	10	63.7
	Calcareniti Compatte	23	24	23.5	12	1.2	70	12	0.5	17	12	10	52.2
	Calcareniti Compatte	24	25	24.5	12	1.2	70	12	0.5	17	12	10	52.2
	Calcareniti Compatte	25	26	25.5	12	1.2	43	7	1.0	22.5	12	10	52.7
	Calcareniti Compatte	26	27	26.5	12	1.2	93	19	3.0	30	12	10	72.2
	Calcareniti Compatte	27	28	27.5	12	1.2	93	19	0.3	15	12	10	57.2
Calcareniti Compatte	28	29	28.5	12	1.2	92	10	0.5	17	12	10	50.2	
Calcareniti Compatte	29	30	29.5	12	1.2	50	8	0.2	9	12	10	40.2	

Tabella 10-6: Sommario indici e calcolo GSI su sondaggio S2

Sondaggio	Unità	profondità (m)			σf		RQD		Spaziature		Condizioni discontinuità	Cond Idrauliche	GSI
		da	a	media	valore (MPa)	Indice	valore (%)	Indice	valore (m)	Indice	Indice	Indice	
S2	Calcareniti fratturate	9.3	11.3	10.3	12	1.2	42	7	0.3	15	12	10	45.2
	Calcareniti fratturate	11.3	12	11.65	12	1.2	58	10	0.4	16	12	10	49.2
	Calcareniti fratturate	12	13	12.5	12	1.2	58	10	0.5	17	12	10	22.2
	Calcareniti fratturate	13	14	13.5	12	1.2	0	3	0.0	5	3	10	22.2
	Calcareniti fratturate	14	15	14.5	12	1.2	0	3	0.0	5	3	10	22.2
	Calcareniti Compatte	15	16	15.5	12	1.2	90	19	3.0	30	12	10	72.2
	Calcareniti Compatte	16	17	16.5	12	1.2	90	19	0.1	8	12	10	50.2
	Calcareniti Compatte	17	18	17.5	12	1.2	90	19	1.0	22.5	12	10	64.7
	Calcareniti Compatte	18	19	18.5	12	1.2	50	8	1.0	22.5	12	10	53.7
	Calcareniti Compatte	19	20.2	19.6	12	1.2	50	8	0.3	15	12	10	46.2
	Calcareniti Compatte	20.2	21.4	20.8	12	1.2	17	3	0.0	5	3	10	22.2
	Calcareniti Compatte	21.4	22	21.7	12	1.2	42	7	0.3	15	12	10	45.2
	Calcareniti Compatte	22	23	22.5	12	1.2	42	7	3.0	30	12	10	60.2
	Calcareniti Compatte	23	24	23.5	12	1.2	78	15	3.0	30	12	10	68.2
	Calcareniti Compatte	24	25	24.5	12	1.2	78	15	1.0	22.5	12	10	60.7
	Calcareniti Compatte	25	26	25.5	12	1.2	73	13	0.5	17	12	10	53.2
	Calcareniti Compatte	26	27	26.5	12	1.2	73	13	3.0	30	12	10	66.2
	Calcareniti Compatte	27	28	27.5	12	1.2	42	7	3.0	30	12	10	60.2
	Calcareniti Compatte	28	29	28.5	12	1.2	42	7	1.0	22.5	12	10	52.7
	Calcareniti Compatte	29	30	29.5	12	1.2	90	19	3.0	30	12	10	72.2

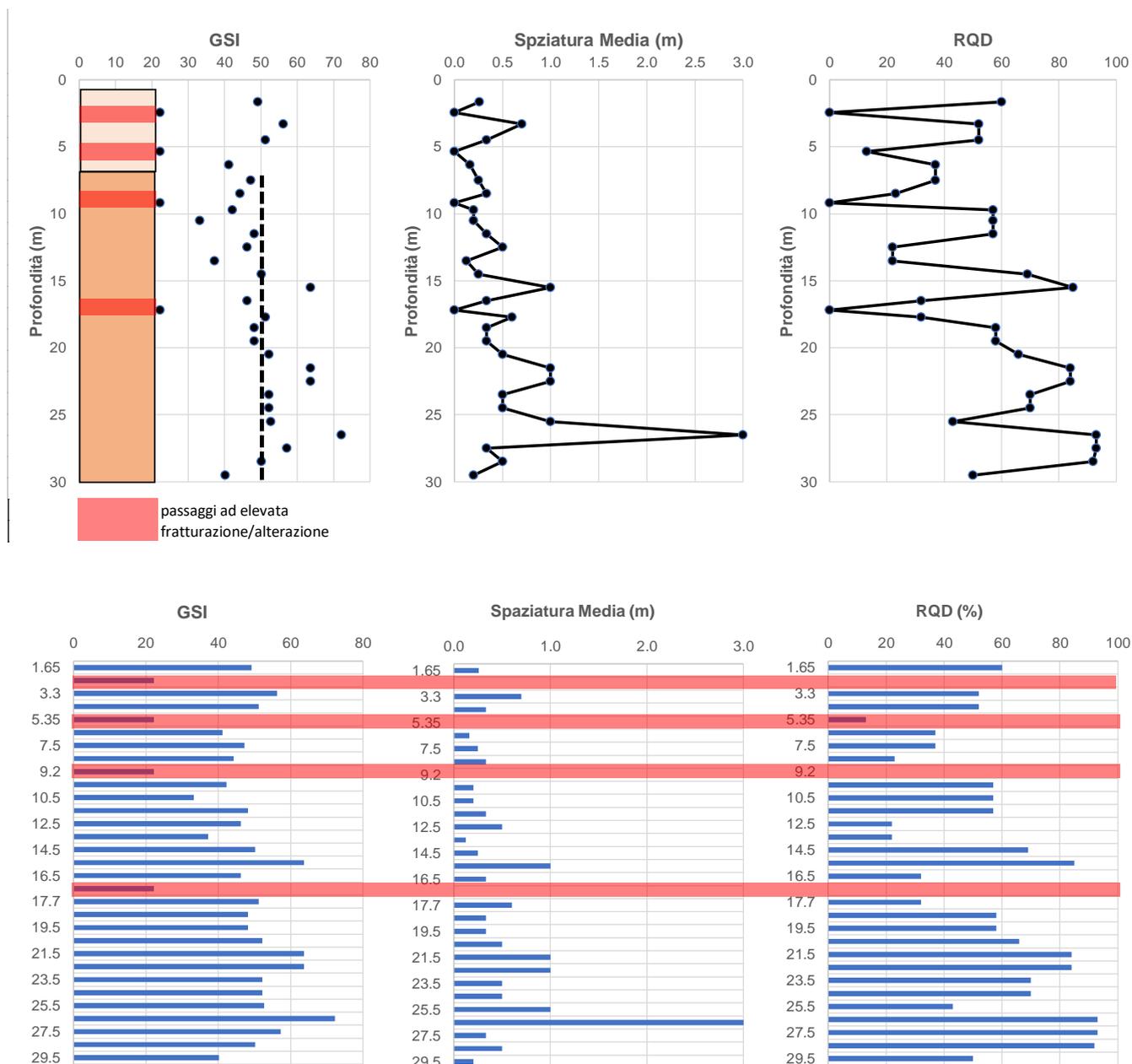


Figura 10-7: GSI, RQD e Spaziatura Media su sondaggio S1 – Profili (in alto) e Digramma a barre (in basso)

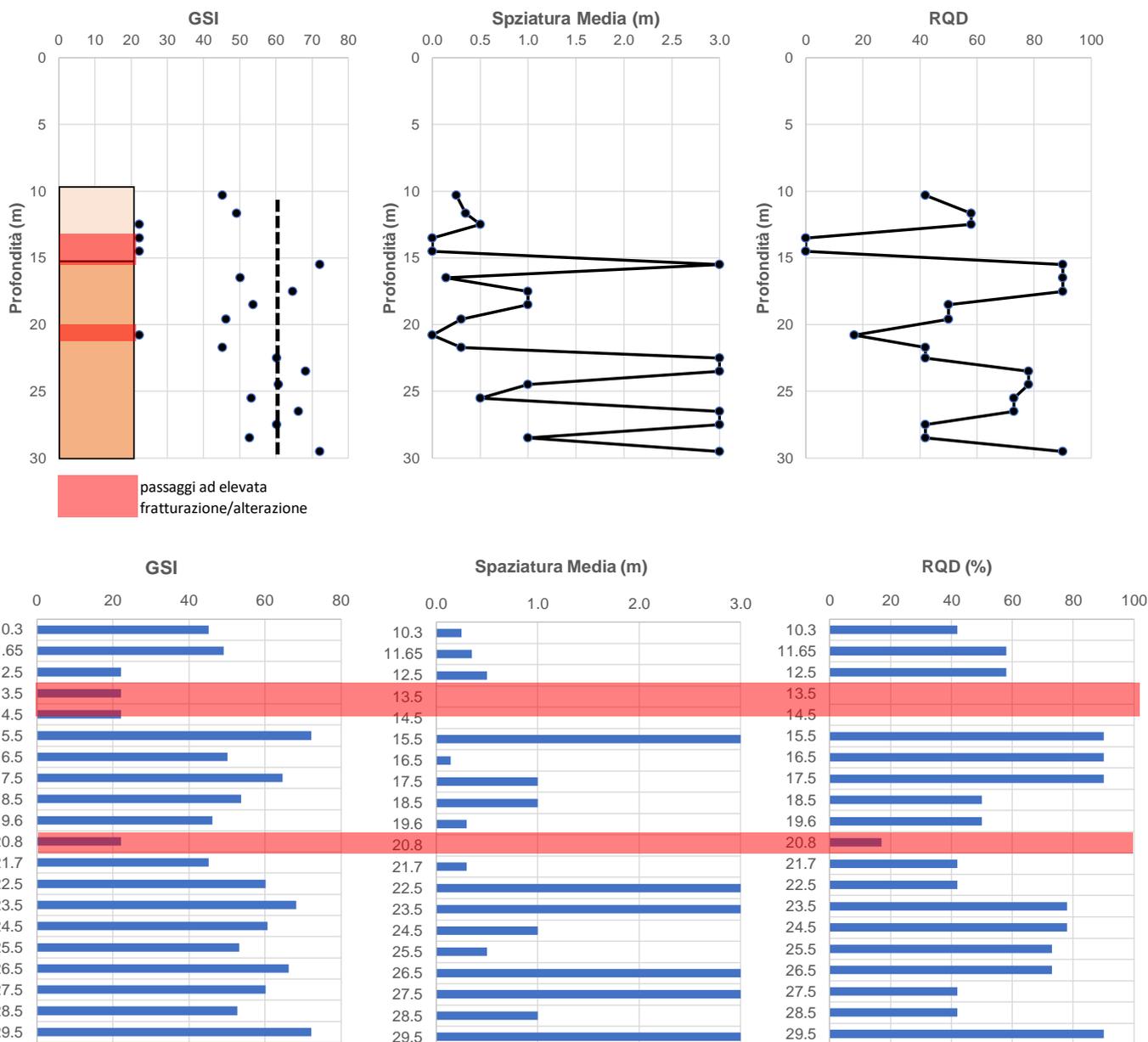


Figura 10-8: GSI, RQD e Spaziatura Media su sondaggio S2 – Profili (in alto) e Digramma a barre (in basso)

Caratterizzazione dell'ammasso roccioso: Resistenza

La caratterizzazione delle Calcareniti Fratturate *Caf* è stata effettuata sulla base dei parametri di seguito esplicitati:

- $m=9$ (stimato come valore medio dei calcari, ma anche come valore medio delle rocce con bassa resistenza (vedi di seguito valori tipici suggeriti da Hoek-Brown).

- GSI=30;
- $\sigma_{ci}=12$ MPa;
- D=0.5.

L'involuppo di Mohr-Coulomb è stato quindi fatto assumendo un intervallo $\sigma_3 = 0 \div \sigma_v' / 2 = 0 \div 150$ kPa, cioè tra piano campagna e circa 15 metri di profondità. I parametri dell'involuppo di rottura risultano pari a:

- $m_b = 0.32$;
- $s = 0.000088$;
- $a = 0.52$.

Con riferimento al grafico di Figura 10-9, ne sono derivati:

- $c' = 40$ KPa
- $\varphi' = 40^\circ$

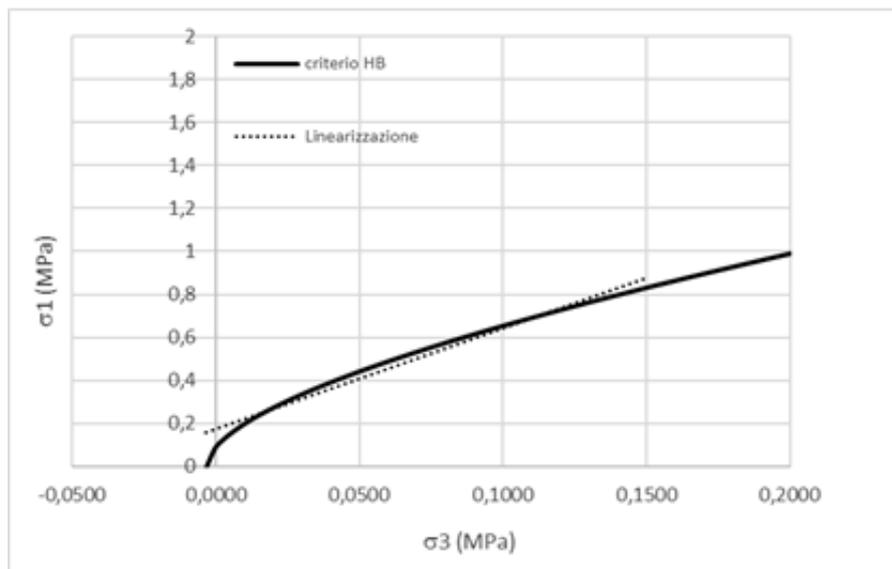


Figura 10-9: Criterio di rottura Hoek-Brown e involucro di Mohr-Coulomb per unità Caf

Per quanto riguarda le Calcareniti più profonde (Ca) i parametri diventano:

- $m=9$;
- GSI=50;
- $\sigma_{ci}=12$ MPa;
- D=0.5.

con involucro di Mohr-Coulomb considerato assumendo un intervallo di profondità da 5 a 30m, quindi $\sigma_3 = 50 \div 300$ kPa circa, per tener conto del fatto che le calcareniti compatte sono state riscontrate sempre al di sotto di coperture o calcareniti fratturate. I parametri dell'involucro di rottura risultano pari a:

- $m_b = 0.83$;
- $s = 0.001273$;
- $a = 0.51$.

Con riferimento al grafico di Figura 10-10, ne sono derivati

- $c' = 156$ KPa
- $\varphi' = 41^\circ$

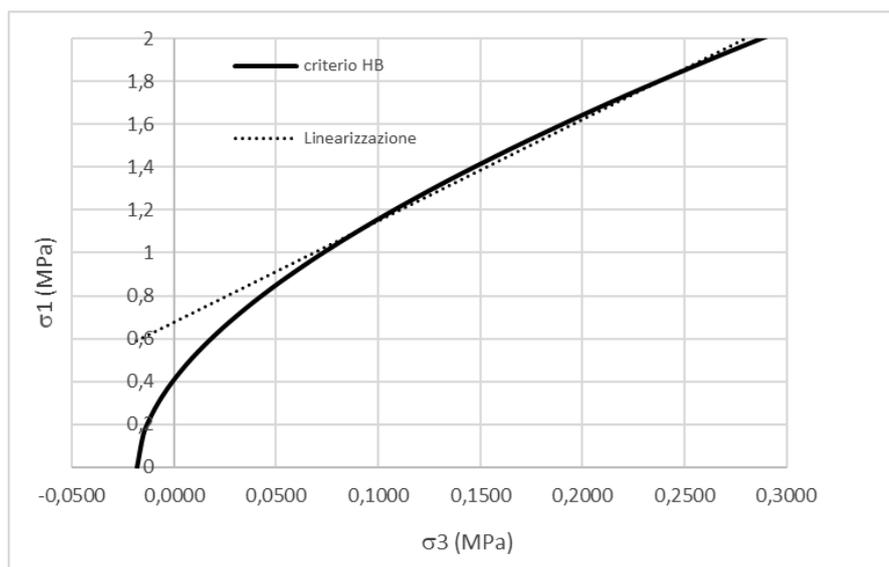


Figura 10-10: Criterio di rottura Hoek-Brown e involucro di Mohr-Coulomb per unità C_a

È opportuno evidenziare che i parametri di resistenza qui indicati, per C_{af} e C_a vanno intesi come derivanti da una caratterizzazione generale dell'ammasso nelle condizioni geostatiche, ma i valori operativi andranno calibrati in relazione ai livelli di tensione previsti allo stato di progetto.

Caratterizzazione dell'ammasso roccioso: Deformabilità

Il modulo dell'ammasso è stato calcolato applicando la formula di Hoek e Diederichs (2006):

$$E_{rm} = E_i \left(0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right).$$

Che per le due unità conduce a:

- $E_{rm}=171$ MPa per la calcareniti fratturate **Caf**
- $E_{rm}=573$ MPa per la calcareniti più compatte **Ca**

Caratterizzazione dell'ammasso roccioso: Permeabilità

In merito alle caratteristiche di permeabilità, la relazione geologica (Doc.[1]) evidenzia che i dati misurati dalla prova *Lugeon* risultino troppo bassi per l'ammasso roccioso in considerazione, e suggerisce di utilizzare valori da dati bibliografici, in particolare dal Piano di Tutela delle Acque della Sicilia, articolo 44 del Decreto Legislativo 11 Maggio 1999, n°152 e successive modifiche ed integrazioni - approvato in Dicembre 2005, da cui deriva $k=10^{-7}-10^{-6}$ m/s.

Anche il confronto di Figura 10-11 con tipici valori di permeabilità per ammassi rocciosi suggeriti da Brace (1980), conferma quanto osservato nella relazione geologica, cioè che i valori di $k=10^{-8}$ risultano esterni agli intervalli di letteratura per calcari o arenarie-marne.

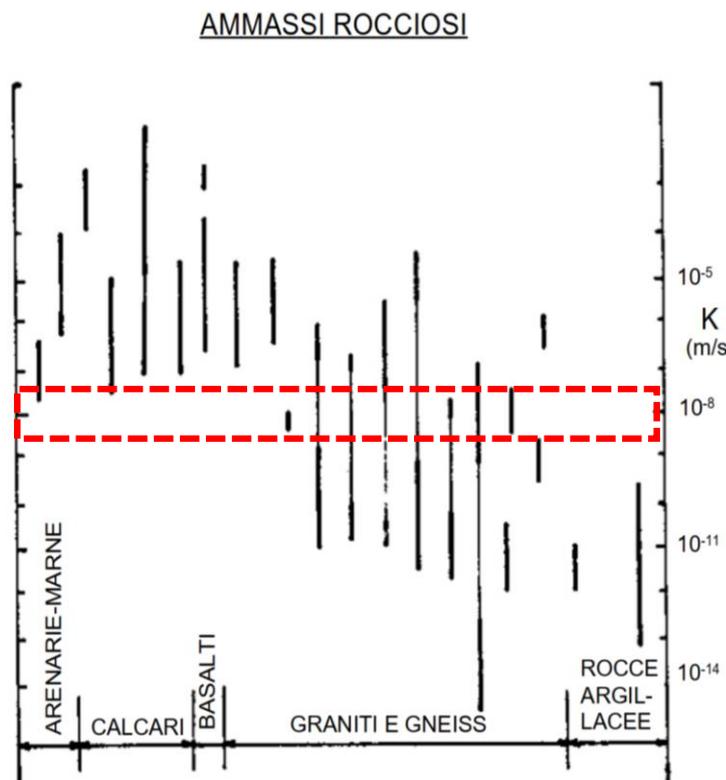


Figura 10-11: Valori di riferimento della permeabilità per ammassi rocciosi (Brace, 1980) e confronto con dati misurati dalle prove in foro *Lugeon* nel sondaggio S2 (in rosso)

1.16.6 Sintesi dei parametri geotecnici e dei livelli di falda di progetto

Dall'analisi delle prove ad oggi disponibili, condotte sia in sito che in laboratorio, e presentate ai paragrafi precedenti, sono stati determinati i parametri geotecnici associati alle unità stratigrafiche di interesse progettuale, come riportato nella successiva Tabella 10-7. Per quanto riguarda il riporto/rilevato (**R**), in assenza di informazioni, sono stati assunti valori basati sulla letteratura in relazione alla descrizione ghiaioso-sabbiosa degli stessi.

La falda risulta molto profonda e non interferisce con le opere e con le verifiche geotecniche ad esse associate.

Tabella 10-7: Parametri geotecnici caratteristici associati alle unità stratigrafiche

Unità	γ	φ'	c'	c_u	E_{op}	k
	kN/m³	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(m/s)
R	19	30-33	0÷2	-	20	-
LA	18	23÷25	10÷20	200	10÷30	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁶
Ca^(*)	19	40-42	30-40	-	150-180	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁵
Ca^(**)	19	40-44	140-160	-	500-700	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁶

(*) per $\sigma'_v=0\div150$ kPa

(**) per $\sigma'_v=50\div300$ kPa



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC0000001	A	70 di 80

1.17 DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI PER CISTERNAZZI E COLAJANNI

A partire dai dati ricavati dalle indagini in sito e di laboratorio sono stati ricavati i valori caratteristici per le singole unità geotecniche con cui sono stati modellati i terreni rinvenuti nelle aree oggetto di interventi.

Si osserva che le indagini disponibili hanno evidenziato una sostanziale omogeneità delle caratteristiche geologiche e geotecniche delle formazioni rinvenute nei due siti di intervento e, considerando anche la limitata distanza delle due aree in esame, si è ritenuto più che ragionevole assumere gli stessi valori dei parametri caratteristici per le stesse unità geotecniche rinvenute nei due siti.

Di seguito è descritta la procedura per la determinazione dei valori caratteristici delle singole unità geotecniche.

I parametri di progetto, assunti nel dimensionamento e la verifica delle singole opere, sono stati determinati sulla base dei valori dei parametri caratteristici di seguito descritti, applicando i coefficienti parziali γ_M , in accordo all'approccio prescritto dalla normativa. I valori dei parametri di progetto sono calcolati nelle relazioni di calcolo delle opere.

Di seguito la legenda dei valori nelle tabelle sotto riportata:

- γ = Peso di volume del terreno [kN/m³];
- RMR = rock mass rating [-];
- GSI = Geological Strength Index [-];
- c' = Coesione efficace [kPa];
- φ' = Angolo di resistenza al taglio [°];
- E' = Modulo di rigidezza [MPa];
- K = permeabilità idraulica [m/s].

1.17.1 Caratterizzazione dell'unità Calcari

Il valore medio del peso di volume è pari a 20.6 kN/m³.

La resistenza a compressione uniassiale di questa unità è stata ricavata dalle prove di laboratorio di compressione uniassiale, confrontate con valori di resistenza a compressione monoassiale ricavata anche per altri progetti Italferr nell'area in esame (Doc. RS4100R79RHGE0001001A – interventi di potenziamento Siracusa-Ragusa-Gela). Le prove di laboratorio effettuate per il progetto in esame hanno restituito i seguenti valori sui calcari:

z (m)	σ_{ci} (MPa)
4.5	41.04
8	8.73

14

12.93

I valori ricavati da altri progetti Italferr nell'area in esame, forniscono, per la resistenza monoassiale, valori pari a 53MPa e 27.2MPa, misurati tramite martello di Schmid

In virtù di tutti i valori a disposizione, si ritiene di poter cautelativamente considerare una resistenza a compressione variabile nel range della classifica di Beniaowski tra 5MPa e 25MPa

- Resistenza a compressione monoassiale (σ_{ci}) = 10÷25 MPa → rating= 2

Il valore dell'RQD è stato ricavato dalle carote prelevate dal sondaggio S1, e risulta confermato anche dal sondaggio S2. I valori di RQD sono riportati nella colonnina stratigrafica di Figura 7-4 e riassunti qui di seguito. Per le profondità di interesse, si può assumere un range per RQD pari a 25 ÷ 50 % → rating= 8

Sondaggi	Unità	prof. [m]	RQD (%)
S1	Calcarentiti Fratturate	1,5	60
	Calcarentiti Fratturate	2,5	0
	Calcarentiti Fratturate	4	52
	Calcarentiti Fratturate	5,5	13
	Calcarentiti Compatte	7	37
	Calcarentiti Compatte	9	23
	Calcarentiti Compatte	11	57
	Calcarentiti Compatte	12,5	22
	Calcarentiti Compatte	14	69
	Calcarentiti Compatte	15,5	85
	Calcarentiti Compatte	17	32
	Calcarentiti Compatte	19	58
	Calcarentiti Compatte	20,5	53
	Calcarentiti Compatte	21,5	66
	Calcarentiti Compatte	23	84
	Calcarentiti Compatte	24,5	70
	Calcarentiti Compatte	25,5	43
	Calcarentiti Compatte	27	93
Calcarentiti Compatte	28,5	92	
Calcarentiti Compatte	29,5	50	

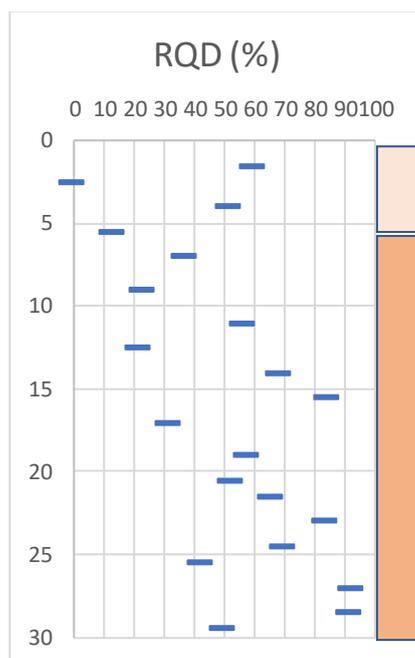


Figura 10-12 RQD nel sondaggio S1

Sondaggi	Unità	prof. [m]	RQD (%)
S2	Calcareniti Fratturate	10	42
	Calcareniti Fratturate	11,5	58
	Calcareniti Fratturate	14	0
	Calcareniti Compatte	17,5	90
	Calcareniti Compatte	19	50
	Calcareniti Compatte	21	17
	Calcareniti Compatte	23	42
	Calcareniti Compatte	24,5	78
	Calcareniti Compatte	26	73
	Calcareniti Compatte	28,5	42
	Calcareniti Compatte	29,5	90

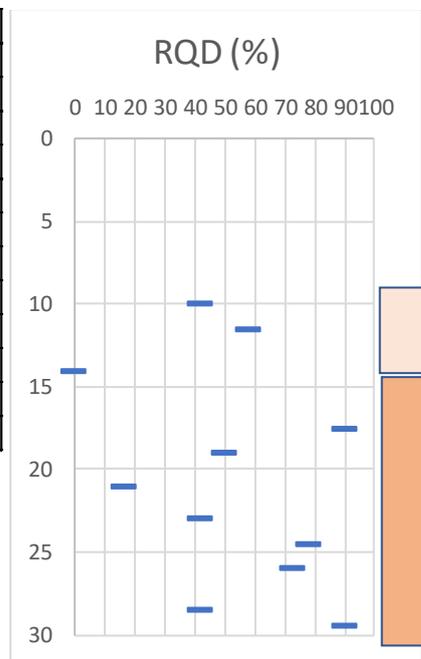


Figura 10-13 RQD nel sondaggio S2

Per la spaziatura e le condizioni delle discontinuità si è fatto riferimento sia al rilievo geomeccanico eseguito sulle cassette dei sondaggi S1 e S2, evitando di considerare le discontinuità meccaniche, sia ai valori di spaziatura presenti per un materiale simile nella relazione geotecnica siracusa gela codificata RS4100R79RHGE0001001A .

Sia i valori ottenuti da rilievo geomeccanico (valori riportati nella colonna finale della Figura 10-14), sia i valori ricavati in siti vicini per gli altri progetti citati ricadono nell'intervallo di spaziatura delle discontinuità pari a 0.3-0.6 m → rating= 10

Sondaggio	Unità	Profondità (m)			Lunghezza tratto esaminato	Discontinuità				s_media (m)
		da	a	media	L (m)	da #	a #	ToT	ToT escluse Meccaniche	
S2	Calcareniti fratturate	9.3	11.3	10.3	2	2	12	11	8	0.25
	Calcareniti fratturate	11.3	12	11.65	0.7	13	16	4	2	0.35
	Calcareniti fratturate	12	13	12.5	1	17	21	5	2	0.50
	Calcareniti fratturate	13	14		1					
	Calcareniti fratturate	14	15		1					
	Calcareniti Compatte	15	16	15.5	1	22	23	2	0.1	>3
	Calcareniti Compatte	16	17	16.5	1	24	30	7	7	0.14
	Calcareniti Compatte	17	18	17.5	1	31	34	4	1	1.00
	Calcareniti Compatte	18	19	18.5	1	35	36	2	1	1.00
	Calcareniti Compatte	19	20.2	19.6	1.2	37	41	5	4	0.30
	Calcareniti Compatte	20.2	21.4	20.8	1.2			1		
	Calcareniti Compatte	21.4	22	21.7	0.6	42	44	3	2	0.30
	Calcareniti Compatte	22	23	22.5	1	45	49	5	0.1	>3
	Calcareniti Compatte	23	24	23.5	1	50	51	2	0.1	>3
	Calcareniti Compatte	24	25	24.5	1	52	53	2	1	1.00
	Calcareniti Compatte	25	26	25.5	1	51	56	6	2	0.50
	Calcareniti Compatte	26	27	26.5	1	57	58	2	0.1	>3
	Calcareniti Compatte	27	28	27.5	1	59	62	4	0.1	>3
Calcareniti Compatte	28	29	28.5	1	63	66	4	1	1.00	
Calcareniti Compatte	29	30	29.5	1	67	71	5	0.1	>3	
S1	Calcareniti fratturate	1	2.3	1.65	1.3	1	9	9	5	0.26
	Calcareniti fratturate	2.3	2.6	2.45	0.3					
	Calcareniti fratturate	2.6	4	3.3	1.4	10	18	9	2	0.70
	Calcareniti fratturate	4	5	4.5	1	19	24	6	3	0.33
	Calcareniti fratturate	5	5.7	5.35	0.7					
	Calcareniti Compatte	5.7	7	6.35	1.3	1	11	11	8	0.16
	Calcareniti Compatte	7	8	7.5	1	12	19	8	4	0.25
	Calcareniti Compatte	8	9	8.5	1	20	25	6	3	0.33
	Calcareniti Compatte	9	9.4	9.2	0.4					
	Calcareniti Compatte	9.4	10	9.7	0.6	26	29	4	3	0.20
	Calcareniti Compatte	10	11	10.5	1	1	8	8	5	0.20
	Calcareniti Compatte	11	12	11.5	1	9	13	5	3	0.33
	Calcareniti Compatte	12	13	12.5	1	14	17	4	2	0.50
	Calcareniti Compatte	13	14	13.5	1	18	27	10	8	0.13
	Calcareniti Compatte	14	15	14.5	1	28	31	4	4	0.25
	Calcareniti Compatte	15	16	15.5	1	1	2	2	1	1.00
	Calcareniti Compatte	16	17	16.5	1	3	14	12	3	0.33
	Calcareniti Compatte	17	17.4	17.2	0.4					
	Calcareniti Compatte	17.4	18	17.7	0.6	15	17	3	1	0.60
	Calcareniti Compatte	18	19	18.5	1	18	29	12	3	0.33
	Calcareniti Compatte	19	20	19.5	1	30	32	3	3	0.33
	Calcareniti Compatte	20	21	20.5	1	1	5	5	2	0.50
	Calcareniti Compatte	21	22	21.5	1	6	10	5	1	1.00
	Calcareniti Compatte	22	23	22.5	1	11	16	6	1	1.00
	Calcareniti Compatte	23	24	23.5	1	17	18	2	2	0.50
	Calcareniti Compatte	24	25	24.5	1	19	23	5	2	0.50
	Calcareniti Compatte	25	26	25.5	1	1	6	6	1	1.00
	Calcareniti Compatte	26	27	26.5	1	7	8	2	0.1	>3
	Calcareniti Compatte	27	28	27.5	1	9	13	5	3	0.33
Calcareniti Compatte	28	29	28.5	1	14	18	5	2	0.50	
Calcareniti Compatte	29	30	29.5	1	19	27	9	5	0.20	

Figura 10-14 Spaziature sondaggi S1-S2

- Condizioni delle discontinuità = apertura < 0.1mm. Cautelativamente però, e vista la possibile presenza di materiale di riempimento nelle fessure, viene individuata una classe inferiore, ovvero aperture tra 1 e 5mm → rating = 10
- Condizioni idrauliche = asciutto → rating = 15

Parametri	Intervallo di valori							
Resistenza roccia sana	Resistenza al «Point Load test» (MPa)	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Per questi bassi valori è preferibile la prova di compressione monoassiale		
	Resistenza a compressione monoassiale (MPa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
Coefficienti numerici		15	12	7	4	2	1	0
Rock Quality Designation RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
Coefficienti numerici		20	17	12	8	3		
Spaziatura delle discontinuità		> 2 m	0,6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
Coefficienti numerici		20	15	10	8	5		
Condizione dei giunti		Superfici molto rugose. Discontinuità chiuse e non persistenti. Pareti non alterate	Superfici debolmente rugose. Apertura delle discontinuità < 1 mm. Pareti leggermente alterate	Superfici debolmente rugose. Apertura delle discontinuità < 1 mm. Pareti completamente alterate	Superfici lisce o riempimenti argillosi di potenza < 5 mm o discontinuità collegate e con apertura di 1 - 5 mm	Riempimenti di argilla molle di potenza > 5 mm o discontinuità collegate e con apertura > 5 mm, persistenti		
Coefficienti numerici		30	25	20	10	0		
Presenza di acqua	Venute d'acqua in 10 m di galleria (l/min)	Nulla	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
	Rapporto tra la pressione dell'acqua nelle discontinuità e la massima sollecitazione principale	0	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
Condizioni generali della roccia		Perfettamente asciutta	Umida	Bagnata	Stillicidi	Venute d'acqua		
Coefficienti numerici		15	10	7	4	0		

Figura 10-15: Classificazione delle rocce completa di Beniaowski.

Questi valori confrontati con la relativa tabella di classificazione forniscono un valore di RMR = 45.

Attraverso questo valore si possono determinare coesione e angolo di attrito equivalenti per mezzo delle espressioni semplificate (Beniaowski, 1989):

$$c = 5 \times (\text{RMR} - 1) = 220 \text{ KPa}$$

$$\Phi = 4.5 + \text{RMR}/2 = 27^\circ$$

Cautelativamente, da questa analisi, per la coesione si assume un range di valori con valore inferiore pari a 100 kPa per bassi stati tensionali e valore superiore pari a 220 kPa, mentre per l'angolo di resistenza al taglio un range pari a 26-27°.

A titolo di ulteriore verifica, si noti che i valori dei parametri meccanici sono perfettamente in linea con quanto riportato nella tabella di Beniaowski relativa a fornire range di parametri meccanici sulla base di RMR. Come riportato in Figura 10-16, per un RMR compreso tra 41 e 60 (i.e. il caso in esame), i valori di coesione e angolo d'attrito attesi sono coerenti con il range individuato

	LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE					
	GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D10GE	DOCUMENTO OC000001	REV. A

Rating	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21
Class number	I	II	III	IV	V
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock
D. MEANING OF ROCK CLASSES					
Class number	I	II	III	IV	V
Average stand-up time	20 yrs for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span
Cohesion of rock mass (MPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Friction angle of rock mass (deg)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

Figura 10-16 Tabella Beniaowski

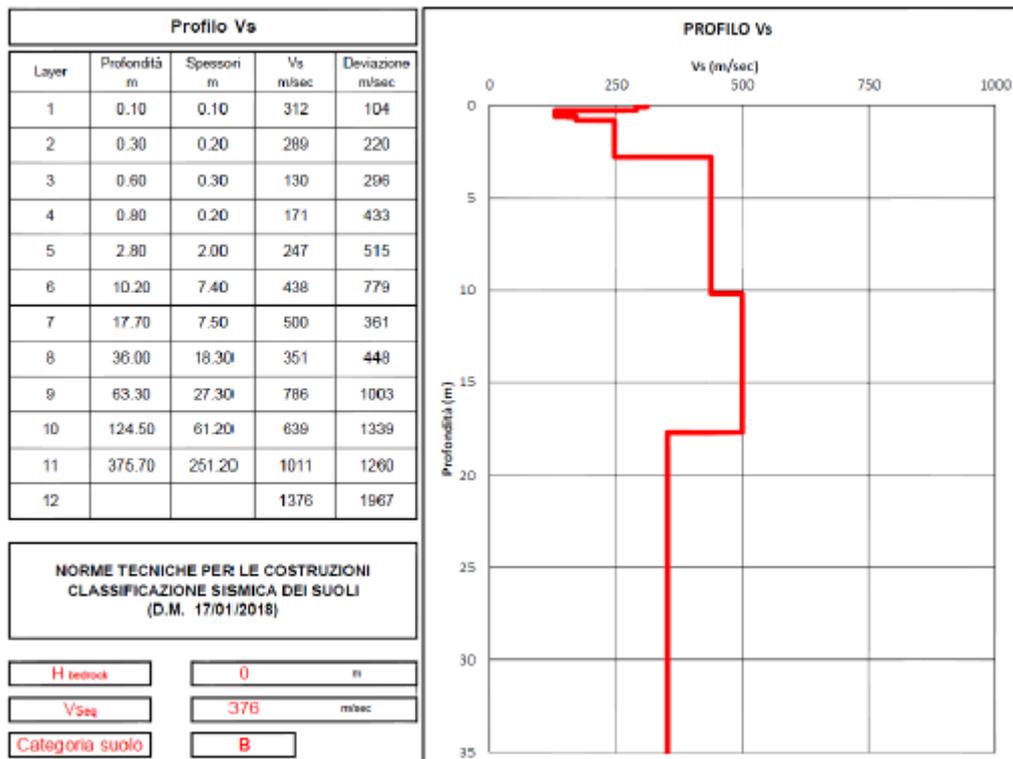
Il valore di RMR può essere messo in diretta correlazione con il GSI tramite la relazione riportata al par. 8, ovvero $GSI = RMR'_{89-5} = 45 - 5 = 40$.

Per quanto riguarda la determinazione del Modulo di Young, considerati dapprima i valori da letteratura per i calcari, i quali possiedono rigidezze variabili in un range ampio, si è scelto di ipotizzare un valore per il materiale roccioso pari a $E_i = 20\text{GPa}$ sulla base di tali dati (Lama, Vutukuri, Handbook on Mechanical Properties of Rocks, 1978), Si può stimare un valore per l'ammasso roccioso tramite la relazione (Hoek e Diederichs, 2006)

$$E_{rm} = E_i \left(0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right)$$

Con $RMR=45$, $GSI=40$ e un fattore di disturbo assunto pari a $D=0.5$, si ottiene $E_{rm} = 1.5\text{ GPa}$.

Si confrontano tali valori con i valori derivanti dalle vs della MASW, assumendo $\rho = 2000\text{ kg/mc}$ e $\nu = 0.3$.



Risulta:

vs (m/s)	438	500	351
G (GPa)	0,38	0,50	0,25
E (GPa)	1,00	1,30	0,64

Si ottiene dunque un range pari a $E=0.6 \div 1.3$ GPa

Cautelativamente, considerati i valori ottenuti con le diverse formulazioni, si può adottare un range pari a $0.5 \div 1.5$ GPa, mentre nelle analisi può porsi un valore medio pari a 1 GPa.

Riguardo il valore di k (m/s) coerentemente con quanto riportato nella relazione geologica sulla base delle prove Lugeon svolte e nella letteratura di riferimento, si adotta il valore $k = 10^{-7}$ m/s

In sintesi:

Unità GEOTECNICA	γ [kN/m ³]	RMR	c' [kPa]	ϕ [°]	E [GPa]	K (m/s)
Calcari (C)	20.6	45	100 -220	26-27	0.5 – 1.5	10^{-7}



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
 P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
 LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
 GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC000001	A	77 di 80

1.17.2 Caratterizzazione dell'unità Calcareniti alterate/Terre Rosse e Riporti

La stratigrafia prevede uno strato superficiale di calcareniti alterate/terre rosse. I valori sono desunti dalla prova triassiale TXCIU svolta presso il sondaggio S2, riportata nell'elaborato relativo alle prove di laboratorio. Il range di valori scelto, ottenuto involupando i cerchi di rottura, è riportato in tabella.

Per le caratteristiche dei riporti rilevati dal sondaggio S1 nei pressi della stazione Cisternazzi, si può far riferimento cautelativamente agli stessi parametri, ponendosi però nei limiti inferiori per quanto riguarda la coesione efficace (indicativamente, $c'=0$, $\phi=28^\circ$).

Per quanto riguarda i valori di permeabilità, si è assunto un valore pari a 10^{-7} coerentemente con le indicazioni di letteratura riguardo tali tipi di terreni

In sintesi

Unità GEOTECNICA	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ [°]	E [MPa]	K (m/s)
calcareniti alterate/terre rosse	20	0-10	24-29	15-20 (Fermata Colajanni) 10-20 (Stazione Cisternazzi)	10^{-7}

11. ANALISI DI PERICOLOSITA' RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

Le NTC2018 al paragrafo 7.11.3.4.2 stabiliscono che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero minori di 0.1 g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{CIN} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{CIN} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve rappresentate nelle figure seguenti (coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$).

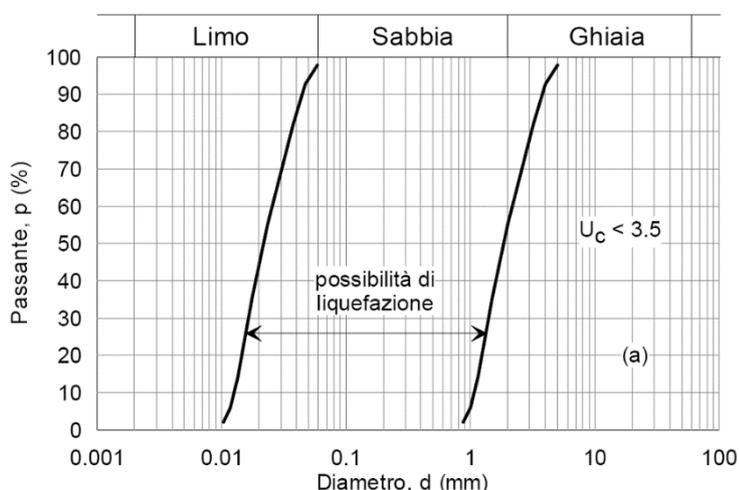


Figura 11-1: Ambito di potenziale liquefacibilità dei terreni ($U_c < 3.5$).

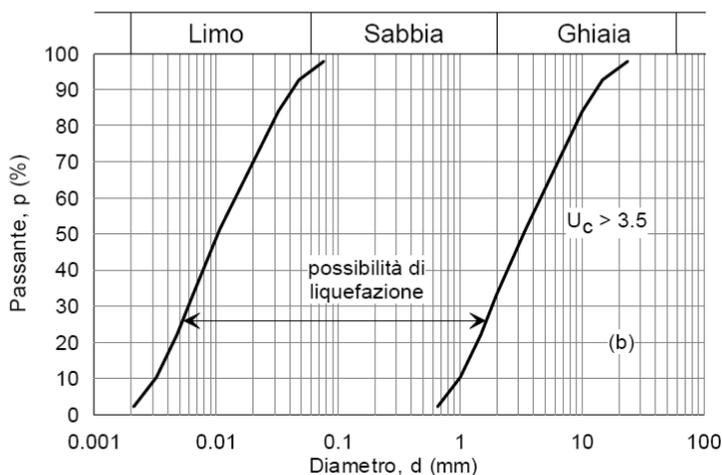


Figura 11-2: Ambito di potenziale liquefacibilità dei terreni ($U_c > 3.5$).

Tutto ciò premesso, i due siti sono non suscettibili rispetto al rischio di liquefazione in quanto la falda si trova a profondità maggiore dei 15 m prescritti da normativa, ovvero $z_w=20$ m, e non interagisce con le opere in progetto. Anche nel caso si verificassero sostanziali modifiche del livello di falda, la granulometria dei terreni di sottosuolo (calcarei) escluderebbe il verificarsi del fenomeno della liquefazione.

12. PROBLEMATICHE GEOTECNICHE

Le principali problematiche geotecniche connesse alla realizzazione delle opere incluse nel presente progetto sono riconducibili a:

- dimensionamento e verifica delle fondazioni dirette dei fabbricati tecnologici;
- verifica delle paratie di micropali previste per la realizzazione del sottopasso e dei vani scala.

I risultati delle analisi relative ai due punti citati sono contenuti negli specifici elaborati di progetto a cui si rimanda; gli esiti del calcolo evidenziano la compatibilità delle opere progettate sia con i limiti imposti dalla Normativa, sia con i vincoli prescritti dal Manuale di Progettazione RFI.

Particolare attenzione è stata posta nei riguardi della delicata problematica inerente il dimensionamento e alla verifica delle opere di sostegno degli scavi per la realizzazione del sottopasso e dei vani scala della Stazione di Ragusa. Stante la ristrettezza degli spazi disponibili e la necessità di preservare la stabilità delle opere preesistenti ubicate in adiacenza agli scavi, il progetto prevede la realizzazione di paratie costituite da micropali accostati, aventi



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI/OSPEDALE

GEOTECNICA - RELAZIONE GEOTECNICA
GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10GE	OC0000001	A	80 di 80

caratteristiche di rigidità adeguate in modo da limitare le deformazioni.

Il caso di maggior riguardo, in tal senso, è quello della paratia che lambisce la banchina centrale esistente e sulla quale è presente la pensilina storica in ferro e ghisa. L'opera di sostegno è funzionale alla realizzazione del vano scala: considerata la stretta adiacenza ad alcuni plinti della pensilina, per la paratia è stato previsto un sistema di puntelli provvisori in testa che garantiscono di contenere al minimo le deformazioni dell'opera in fase costruttiva. In configurazione definitiva è prevista la presenza di puntone definitivo costituito dal solaio di copertura del vano scala.

Come ulteriore cautela nei confronti della pensilina storica, durante le fasi costruzione della paratia, al fine di limitare gli effetti delle vibrazioni in fase di scavo o di urti accidentali da parte dei macchinari, si prevede la predisposizione di protezioni dei pilastri in ghisa e puntellature della pensilina, costituite da tavolame in legno.

È da evidenziare che la geometria delle fondazioni dei pilastri in ghisa della pensilina esistente sono state assunte costituite cautelativamente da plinti di dimensioni 1.5x1.5 m², sebbene i progetti disponibili negli archivi storici FS per pensiline simili rappresentano plinti "a dado" di dimensioni molto inferiori, usualmente dell'ordine di 1x1 m². La disposizione dei micropali della paratia è stata definita in modo da lasciare un franco minimo di 10 cm rispetto all'ingombro massimo ipotizzato per il plinto di fondazione (il franco rispetto all'ingombro reale della fondazione è ragionevolmente significativamente maggiore)

Propedeuticamente alla redazione del progetto esecutivo dovrà essere predisposto un saggio conoscitivo al fine di confermare l'ipotesi progettuale adottata in questa sede relativamente alle dimensioni del plinto di fondazione dei pilastri in ghisa.