

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

U.O. PRODUZIONE SUD E ISOLE

PROGETTO ESECUTIVO

RADDOPPIO DELLA TRATTA CATENANUOVA-RADDUSA

NUOVA VIABILITA' AL KM 13+000

RELAZIONE GEOTECNICA

SCALA:

-

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

RS0S 00 E 78 RH GE0005 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	A.Ingletti	lug.2015	D.CAPUTO	lug.2015	P. Carlesimo	lug.2015	D.TIBERTI ott.2015
A	Emissione a seguito di validazione	A.Ingletti	ott.2015	D.CAPUTO	ott.2015	P. Carlesimo	ott.2015	 Produzione Sud e Isole Dott. Ing. Danilo TIBERTI Ordine Ingegneri di Napoli N° 10876

File:RS0S00E78RHGE0005001B.doc

n. Elab.:

92

INDICE

1	PREMESSA	4
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO.....	6
4	INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE.....	7
4.1	CAMPAGNA GEOGNOSTICA DEL 2013.....	7
4.1.1	<i>Sondaggi</i>	7
4.1.2	<i>Indagini sismiche</i>	8
4.1.3	<i>Prove di laboratorio</i>	9
4.1.4	<i>Pocket penetrometer</i>	12
4.1.5	<i>Prove Lefranc</i>	14
4.2	CAMPAGNE GEOGNOSTICHE DEL 2015	14
4.2.1	<i>Prove Lefranc</i>	17
4.2.2	<i>Pozzetti esplorativi</i>	17
4.2.3	<i>Caratteristiche della falda</i>	19
4.2.4	<i>Indagini geofisiche</i>	19
4.2.5	<i>Risultati</i>	21
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	22
5.1	DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE INTERCETTATE.....	23
5.2	CRITERI DI VALUTAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI.....	25
5.2.1	<i>Depositi incoerenti</i>	25
5.2.2	<i>Depositi coesivi</i>	26
5.3	UNITÀ BA – DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI.....	29
5.4	UNITÀ BB – DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI.....	29
5.5	UNITÀ AAC – ARGILLE MARNOSE GRIGIE.....	34



PROGETTO ESECUTIVO
TRATTA CATENANUOVA – RADDUSA AGIRA
NUOVA VIABILITA' AL KM 13+000

RELAZIONE GEOTECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS0S	00	E78 RH	GE0005001	B	3 di 52

6	CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	42
6.1	RISPOSTA SISMICA	42
6.2	LIQUEFAZIONE.....	49
7	PONTE VALLONE PETROSO.....	52

1 PREMESSA

Nel presente documento si riporta la caratterizzazione geotecnica relativa al Progetto Esecutivo della Nuova Viabilità NI10 prevista circa al km 13+000 della Linea Ferroviaria Messina – Catania – Palermo, nella tratta Catenanuova – Raddusa Agira.

La caratterizzazione geotecnica generale dei terreni lungo il tracciato della viabilità in oggetto, viene svolta sulla base:

- di un'elaborazione ed interpretazione dei risultati di indagini in sito e laboratorio ad oggi disponibili su tutta la linea FS Catenanuova – Raddusa Agira per le unità geotecniche direttamente interessate nella viabilità NI10;
- degli studi di carattere geologico ed idrogeologico disponibili.

Il tracciato della viabilità in progetto, dalla progressiva chilometrica 0+000 a 0+618, più il ramo della viabilità del cimitero, si sviluppa prevalentemente in rilevato, con altezze massime di rilevato di 4.5 m circa. L'opera d'arte principale è costituita da un ponte per lo scavalco del Vallone Petroso, tra le progressive chilometriche 0+580 e 0+600 circa.

In particolare nella presente relazione sono affrontati i seguenti aspetti:

- breve inquadramento geologico, morfologico e idrogeologico;
- descrizione delle indagini geotecniche eseguite in sito ed in laboratorio;
- rilievo del livello di falda;
- descrizione dei criteri in base ai quali sono stati interpretati i risultati delle indagini geotecniche effettuate;
- interpretazione dei risultati delle indagini geotecniche e definizione dei parametri geotecnici, in termini di proprietà fisiche e meccaniche (resistenza al taglio e deformabilità), per le unità geotecniche intercettate lungo la viabilità;
- classificazione sismica del sito;
- fondazioni del ponte Vallone Petroso: parametri geotecnici di progetto.

2 **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

2.1 **Normativa di riferimento**

La presente relazione è stata redatta in conformità alla seguente normativa:

- Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-08 (NTC-2008);
- Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;
- DM 6/5/2008 – Integrazione al D.M. 14-01-2008 di approvazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni;
- Specifica RFI del 21/12/11 per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie.

2.2 **Documenti di riferimento**

La presente relazione è stata redatta con riferimento ai seguenti documenti.

- D.1. RS0S 00 E 69 RG GE0001 001 A – Direttrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo. Nuovo collegamento Palermo-Catania. Progetto Esecutivo. Raddoppio della tratta Catenanuova – Raddusa Agira Nuova viabilità al km 13+000 – Relazione geologica.
- D.2. RS0S 00 E 69 N6 GE0001 001 A – Direttrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo. Nuovo collegamento Palermo-Catania. Progetto Esecutivo. Raddoppio della tratta Catenanuova – Raddusa Agira Nuova viabilità al km 13+000 – Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico.
- D.3. RSJ1 02 R 78 RH GE0005 003 B – Direttrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo. Nuovo collegamento Palermo-Catania. Progetto Preliminare. Raddoppio della tratta Catenanuova – Raddusa Agira. Relazione geotecnica zona 3. Novembre 2013.
- D.4. RSJ1 02 R 78 F5 GE0005 001-2 B – Direttrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo. Nuovo collegamento Palermo-Catania. Progetto Preliminare. Raddoppio della tratta Catenanuova – Raddusa Agira. Profilo geotecnico. Novembre 2013.
- D.5. RS0T 00 D 78 F6 GE0005 001-2 B – Direttrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo. Nuovo collegamento Palermo-Catania. Progetto Definitivo. Raddoppio della tratta Catenanuova – Raddusa Agira. Nuova viabilità al km 13+000 – Profilo geotecnico. Febbraio 2015.
- D.6. RS0T 00 D 78 RH GE0005 001-2 B – Direttrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo. Nuovo collegamento Palermo-Catania. Progetto Definitivo. Raddoppio della tratta Catenanuova – Raddusa Agira. Nuova viabilità al km 13+000 – Relazione geotecnica. Febbraio 2015.

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

La nuova viabilità in progetto, denominata NI10, è localizzata circa al km 13+000 della tratta ferroviaria Catenanuova-Raddusa Agira e interessa il territorio comunale di Catenanuova in provincia di Enna (EN).

L'area si trova in sinistra idrografica del fiume Dittaino e impegna un piccolo settore di territorio posto a quote comprese fra +130 e +153 m s.l.m. circa. Dal punto di vista morfologico l'area è caratterizzata dalla presenza di un ampio settore sub-pianeggiante riconducibile alla piana alluvionale delle media valle del fiume Dittaino.

La successione stratigrafica lungo il tracciato ferroviario e in generale nell'area in esame è caratterizzata dalla presenza dal basso verso l'alto di:

- **unità Ionidi**: successioni meso-cenozoiche che in particolare sono rappresentate da:

- **Argille e arenarie glauconitiche di Catenanuova (AAC)**. Questi terreni rappresentano il substrato dell'area in esame. Si tratta di argille limose e argille marnose con frequenti livelli di sabbie limose passaggi di marne argillose e locali intercalazioni di arenarie.

- **depositi continentali quaternari**: formati da sedimenti clastici plistocenici e olocenici di genesi detritico-colluviale, alluvionale e lacustre:

- **Depositi alluvionali terrazzati (bn)**: ghiaie e ciottoli in matrice sabbioso limosa.
- **Depositi alluvionali recenti (bb)**: argille limose e limi argillosi sabbiosi con locali livelli sabbiosi e rare ghiaie.
- **Depositi alluvionali attuali (ba)**: ghiaie in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa.
- **Depositi palustri (e)**: argille limose e limi argillosi con abbondante frazione organica e intercalazioni limose, limoso sabbiose.
- **Depositi eluvio-colluviali (b2)**: limi argilloso-sabbiosi con resti vegetali e frequenti ghiaie e ciottoli .

Dal punto di vista geologico, la nuova viabilità ricade poco a nord dell'alveo attuale del fiume Dittaino, al margine dei settori di piana alluvionale recente. Quindi l'area è caratterizzata dalla presenza di terreni alluvionali recenti (**bb**) costituiti prevalentemente da limi argillosi, con spessori mediamente di 15-19 m e poggiano sul substrato argilloso marnoso delle Argille e arenarie glauconitiche di Catenanuova (**AAC**). Inoltre in corrispondenza dell'alveo di Vallone Petroso, si rinvencono lembi di depositi alluvionali attuali (**ba**) costituiti da terreni ghiaioso-sabbiosi con locali passaggi limoso-sabbiosi.

Dal punto di vista idrogeologico l'area è caratterizzata dalla presenza di un esteso acquifero alluvionale, al cui interno è presente una falda freatica a carattere perenne con superficie piezometrica a profondità variabile tra 7 e 10 m da p.c..

4 INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE

Al fine di caratterizzare i terreni presenti in tutta l'area di intervento sono state condotte le seguenti indagini:

- campagna geognostica eseguita tra maggio 2013 e luglio 2013 dall'impresa GEMERID s.r.l., che è consistita in indagini in sito, in laboratorio e indagini geofisiche;
- campagna geognostica di febbraio 2015, eseguita dalla ditta Vicenzetto S.r.l. di Villa Estense (PD), è consistita in un solo sondaggio per la progettazione definitiva della viabilità in oggetto;
- campagna geognostica di aprile 2015, eseguita dalla ditta Vicenzetto S.r.l. di Villa Estense (PD), consistita nell'esecuzione di n.3 pozzetti esplorativi e di un'indagine sismica a rifrazione per la progettazione esecutiva della viabilità in oggetto.

4.1 Campagna geognostica del 2013

La campagna geognostica del 2013 è stata finalizzata alla redazione del Progetto Preliminare del tracciato ferroviario tratta Catenanuova-Raddusa Agira. Nella suddetta campagna sono state realizzate le seguenti indagini in sito:

- n° 10 sondaggi geognostici a carotaggio per profondità comprese fra i 30m e i 40m, attrezzati con piezometri a tubo aperto;
- n. 5 prospezioni sismiche MASW;
- n.2 prospezioni sismiche a rifrazione;

durante le perforazioni dei sondaggi sono state eseguite le seguenti attività:

- riconoscimento stratigrafico e geotecnico;
- prelievo di n° 15 campioni indisturbati per l'esecuzione di prove di laboratorio;
- prelievo di n° 61 campioni rimaneggiati per il riconoscimento geotecnico
- n° 67 prove penetrometriche dinamiche Standard Penetration Test (SPT);
- rilievo del livello di falda;
- rilievo di alcuni valori di Pocket Penetrometer in corrispondenza dei livelli coesivi;
- n° 15 prove Lefranc;
- n° 1 prove Lugeon.

4.1.1 Sondaggi

La tabella seguente riassume le principali caratteristiche dei sondaggi: profondità, campioni prelevati, prove geotecniche eseguite in foro e strumentazione installata.

Tabella 1 – Riepilogo dei sondaggi e delle prove eseguite

Sondaggio	in asse	quota boccaforo	profondità di	campioni prelevati			prove in foro			falda rilevata
		m s.l.m.	m	campioni indisturbati (CI)	campioni rimaneggiati litoidi	campioni rimaneggiati terrosi (CR)	SPT	Lefranc	Lugeon	m da p.c.
S1	si	148.50	30.00	2	0	5	8	1	0	-6.56
S2	no	160.00	30.00	1	1	0	7	1	0	-2.05
S3	si	150.40	30.00	0	6	2	3	1	1	-9.1
S4	no	154.00	40.00	1	0	8	10	2	0	-5.77
S5	si	163.70	40.00	3	0	4	10	2	0	-3.62
S6	si	171.90	40.00	2	0	7	7	2	0	-7.59
S7	no	149.00	40.00	2	2	4	10	2	0	-7.85
S8	si	185.30	30.00	1	0	7	4	1	0	-10.36
S9	si	198.79	30.00	1	0	6	4	1	0	-9.573
S11	si	204.00	40.00	2	0	9	4	2	0	-14.35

4.1.2 Indagini sismiche

Allo scopo di caratterizzare dal punto di vista elastico i terreni, e definire le categorie di sottosuolo su cui si dovranno erigere le nuove infrastrutture, è stata realizzata una indagine geofisica che è consistita in due fasi:

- una prima fase di indagini elettromagnetiche al fine di scongiurare la presenza di residuati bellici nella zona in cui si dovevano realizzare i sondaggi geognostici;
- una seconda fase di indagine più propriamente di carattere geotecnico detta consistente in:
 - n° 5 indagini MASW
 - due prospezioni di sismica a rifrazione tomografica (da 150 m cadauna).

In sintesi si riportano nella tabella seguente i risultati delle prove MASW:

Tabella 2 – Determinazione della categoria di sottosuolo da prove MASW

Sigla	Tipologia indagine	V _{s30}	Categoria di sottosuolo	Assetto litostratigrafico
S4	Prova MASW	403	B	Depositi alluvionali terrazzati in appoggio sulle Argille e arenarie glauconitiche di Catenanuova
S6	Prova MASW	321	C	Depositi alluvionali recenti in appoggio sulla Formazione Terravecchia
S7	Prova MASW	447	B	Depositi alluvionali terrazzati in appoggio sulle Argille e arenarie glauconitiche di Catenanuova
S9	Prova MASW	367	B	Depositi alluvionali terrazzati in appoggio sulla Formazione Terravecchia
S10	Prova MASW	282	C	Depositi alluvionali recenti in appoggio sulla Formazione Terravecchia

Per i certificati di prova relativi alle indagini sismiche eseguite si rimanda ai documenti specifici.

4.1.3 Prove di laboratorio

Sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio sui campioni prelevati nei fori di sondaggio:

- Analisi granulometrica per setacciatura e sedimentazione;
- Determinazione del contenuto d'acqua naturale;
- Determinazione dei limiti di consistenza di Atterberg;
- Determinazione del peso dell'unità di volume γ_{nat} ;
- Determinazione del peso specifico dei grani G_s ;
- Prove di taglio diretto;
- Prove di compressioni triassiale (del tipo CD, UU, CU)
- Prove di compressione ad espansione laterale libera E.L.L.

Nelle seguenti tabelle si riassume i risultati delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati durante questa campagna geognostica.

Per i certificati delle indagini si rimanda ai documenti di riferimento.

Tabella 3 – Laboratorio indagini 2013

COMMITTENTE: ITALFERR S.p.A.		LAVORO: P. P. Linea Catania-Palermo		LOCALITA': Tratta Catenanuova - Raddusa Agira		N° COMMESSA: 13.017.01		TABELLA RIASSUNTIVA PROVE DI LABORATORIO SU: TERRE ROCCE MATER. STRADALI										SGAILAB - Laboratori e Ricerche S.r.l.								
DATA ARRIVO: Luglio 2013		STATO DEL CAMP.		CONTEN. ACQUA		PESO UNITA' VOLUME		PESO SPECIF. DEL TERRENO		GRANULOMETRIA					LIMITI DI ATTERBERG		CLASSIFICAZIONE		TAGLIO AL CASAGRANDE		PROVA EDOMETRICA		COMPRESIONE MONDASSIALE			
n.	CAMP.	prof. mt.	PP	VT	W %	VOLUME Mg/m ³	VOLUME Mg/m ³	%	G	S	L	L-A	A	WI %	Ip %	UNI 10008	USCS	c' KPa	φ °	c KPa	φ °	Eed KPa	Cv cm ² /s	K cm/s	ε _v %	σ _c KPa
S4	CI1	7.50																								
S4	CR2	9.10																								
S4	CR3	13.00	R						10.44	18.08	54.00	71.48	17.48	33	12	A-6	CL									
S4	CR4	17.30							6.74	20.36	45.93	72.90	26.97													
S4	CR5	22.30	R						0.72	5.82	73.18	93.46	20.28	37	10	A-4	ML									
S4	CR6	30.00							0.07	3.64	66.09	96.30	30.21													
S4	CR7	34.60																								
S5	CI1	3.00	I	220	87.5	24.15	1.97	1.59	2.76	0.10	6.62	43.94	89.27	49.33	52	21	A-7-5	MH			c _{cu} 42	UU	φ _{cu} 0.0			
S5	CR1	4.60								0.05	5.93	35.51	54.11	50.00												
S5	CI2	6.70	I	>600	>250	19.09	1.80	1.51	2.77	0.04	7.35	45.80	92.61	46.81	47	18	A-7-6	ML			c' 18	CU	φ 25.0			
S5	CR2	9.00								0.00	4.62	36.03	95.38	59.35												
S5	CI3	14.00	I	100	50	21.04	1.87	1.55	2.56	0.99	18.37	48.76	80.64	31.88	57	20	A-7-5	MH							3.54	88.49
S5	CR3	15.10								0.45	18.19	41.11	81.37	40.26												
S5	CR4	27.30	R							1.29	4.29	67.10	94.43	27.33	53	28	A-7-6	CH								
S6	CR1	2.00								0.35	5.07	56.62	94.69	38.07												
S6	CI1	4.00	I	410	175	19.66	2.00	1.67	2.59	0.00	12.01	45.21	87.99	42.78	54	29	A-7-6	CH			c' 3	CU	φ 25.3			
		4.50		500						0.00	9.35	38.37	90.65	52.28												

TERRE
I = INDISTURBATO
R = RIMANEGGIATO
S = SEMIDISTURBATO

CD PROVA TRIASSIALE CONSOLIDATA E DRENATA
CU PROVA TRIASSIALE CONSOLIDATA NON DRENATA
UU PROVA TRIASSIALE NON CONSOLIDATA NON DRENATA
C_{cu} - φ_{cu} = parametri consolidati non drenati
C' - φ' = parametri efficaci
C_{uu} - φ_{uu} = parametri non consolidati non drenati
CD PROVA DI TAGLIO AL CASAGRANDE CONSOLIDATA E DRENATA

AGIS
ASTM

4.1.5 Prove Lefranc

Di seguito si riporta la sintesi delle prove di permeabilità tipo Lefranc e tipo Lugeon eseguite nei fori di sondaggio.

Sondaggio	Prova	Tipologia	Profondità	Permeabilità	Unità geologica di riferimento
Sigla	-	-	m da p.c.	m/s	-
S01	LE1	Lefranc	5.0-6.5	7.80E-06	Depositi alluvionali terrazzati
S02	LE1	Lefranc	8.0-9.0	2.37E-07	Depositi eluvio-colluviali
S03	LE1	Lefranc	5.0-6.0	1.06E-07	Depositi alluvionali recenti
S03	LU1	Lugeon	11.8-12.8	3.34E-6	Argille e arenarie glauconitiche di Catenanuova
S04	LE1	Lefranc	4.5-5.5	8.80E-06	Depositi alluvionali terrazzati
S04	LE2	Lefranc	9.0-10.0	4.54E-08	Argille e arenarie glauconitiche di Catenanuova
S05	LE1	Lefranc	4.5-6.0	3.80E-06	Depositi alluvionali recenti
S05	LE2	Lefranc	14.0-15.0	5.87E-09	Flysch Numidico
S06	LE1	Lefranc	7.0-8.0	3.83E-07	Depositi alluvionali recenti
S06	LE2	Lefranc	13.0-14.0	7.15E-09	Formazione Terravecchia – Argille brecciate
S07	LE1	Lefranc	4.6-5.6	2.23E-06	Depositi alluvionali terrazzati
S07	LE2	Lefranc	14.5-15.5	4.55E-09	Argille e arenarie glauconitiche di Catenanuova
S08	LE1	Lefranc	10.5-11.5	4.99E-09	Formazione Terravecchia
S09	LE1	Lefranc	9.0-10.0	6.46E-08	Depositi alluvionali terrazzati
S11	LE1	Lefranc	5.0-6.0	1.46E-06	Depositi alluvionali terrazzati
S11	LE2	Lefranc	14.0-15.0	4.69E-09	Formazione Terravecchia

Figura 3 – Prospetto sintetico delle diverse prove di permeabilità realizzate nei fori di sondaggio.

4.2 Campagne geognostiche del 2015

Nella campagna geognostica del febbraio 2015 è stato realizzato un sondaggio geognostico a carotaggio continuo di lunghezza 40.0 m attrezzato con piezometro del tipo a tubo aperto.

Nella figura seguente si riportano le colonne stratigrafiche del sondaggio eseguito.

VICENZETTO		SCHEMA DI SONDAGGIO				COMMESSA 039cm14					
		SECONDO RACCOMANDAZIONI AGI (1977)									
		VERBALE DI ACCETTAZIONE N°				PAG. 2 DI 2					
Rev 0	Data	CERTIFICATO N°		SPERIMENTATORE		DIRETTORE					
	Febbraio 2015			Dott. P. Pasqualeto		Dott. Geol. T. Vicenzetto					
COMMITTENTE ITALFERR											
PROGETTO LINEA PALERMO - CATANIA TRATTA CATENANUOVA RADDUSA											
PERFORAZIONE N. D35		DATA INIZIO 04/02/2015		ULTIMAZIONE 10/02/2015							
COORDINATE: Nord		Est		QUOTA P.C. =							
RESPONSABILE Dott. G. Abbate		OPERATORE G. Diascenzo		ATTREZZATURA CMV							
Da m	20,00	A m	40,00	Profondità Finale m	40,00	PAG. 2	DI 2				
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA				PROFONDITA' m da p.c.	SIMBOLOGIA STRATIGRAFICA	CAMPIONI		S.P.T.			
						NUMERO	PROFONDITA' m da p.c.	POCKET PENETROMETER Kg/cm ²	TORVALE Kg/cm ²	N	H
Argilla limosa e argilla limosa marnosa di colore grigio bluastrò; microscaglieletata o scaglieletata; a 30,00 - 30,30m, 32,00 - 32,20m, 35,00 - 35,20m livelli argillitici, duri, di colore grigio scuro, a frattura concorde con superficie traslucida								>4,5	>1		
								>4,5	>1		
						CR3	38,65				
							38,80				
				40,00							

Figura 4 – Sondaggio D35

L'indagine è stata realizzata in corrispondenza dell'opera di scavalco del fiume Petroso.

Durante il sondaggio sono state svolte le seguenti attività:

- accurata descrizione stratigrafica;
- prove SPT;
- prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati;

- due prove di permeabilità in foro di tipo Lefranc;
- installazione di piezometro del tipo a tubo aperto e rilievo del livello di falda;
- misure di Pocket Penetrometer (PP) e Torvane (TV) nei livelli coesivi (fondo scala strumenti: PP = 4.5 kg/cm²; TV = 1.0 kg/cm²).

Nella seguente tabella si sintetizzano le attività svolte in sito.

Tabella 4 – Indagine febbraio 2015

sondaggio	Profondità [m]	Quota boccaforo [m] s.l.m.	N. prove SPT	n. campioni indisturbati	n. campioni rimaneggiati	Piezometro TA	Prova Lefranc, profondità [m]
D35	40.0	+132.92	5	1	3	[3÷16]	[6÷8] [25.50÷30.0]
TA [m]: profondità tratto filtrante							

Le prove di laboratorio vengono trattate nel seguito.

4.2.1 Prove Lefranc

Nel sondaggio D35 sono state eseguite due prove Lefranc:

Sondaggio	Tipologia	Profondità	Permeabilità	Unità geologica di riferimento
Sigla	-	m da p.c.	m/s	-
D35	Lefranc	6.0-8.0	1.80E-07	Argilla limosa
D35	Lefranc	25.50-30.0	1.13E-08	Argilla limosa scagliosa

4.2.2 Pozzetti esplorativi

Nel corso della campagna di indagine del 2015 sono stati eseguiti 4 pozzetti, di cui 3 sono di interesse per la tratta in esame.

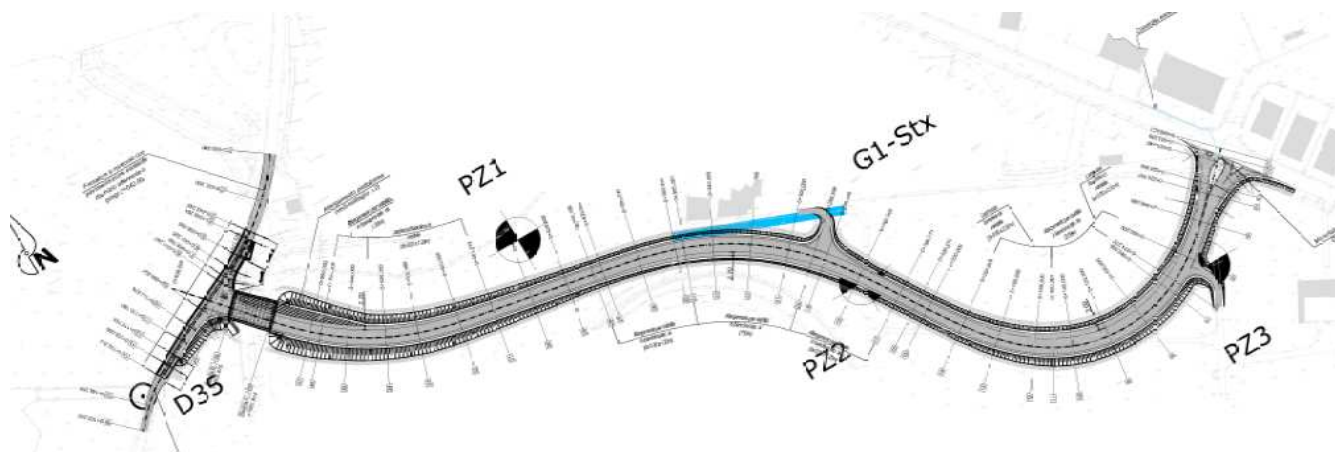


Figura 5 – Ubicazione pozzetti



PROGETTO ESECUTIVO
TRATTA CATENANUOVA – RADDUSA AGIRA
NUOVA VIABILITA' AL KM 13+000

RELAZIONE GEOTECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS0S	00	E78 RH	GE0005001	B	18 di 52

I pozzetti, finalizzati alla definizione delle caratteristiche litologiche e granulometriche dei materiali costituenti la porzione più superficiale del sottosuolo, presentano una profondità di 3m e sono stati eseguiti con escavatore meccanico.

All'interno di ciascun pozzetto si è proceduto a una descrizione stratigrafica dei materiali affioranti sulle pareti dello scavo. Tutti i pozzetti evidenziano la presenza di un primo strato di terreno agrario di 0.40m, seguito da uno strato di sabbia limosa mediamente addensata, eccetto che per il pozzetto PZ1 in cui si rinviene un limo sabbioso argilloso.

Nelle figure seguenti si riportano le colonne stratigrafiche dei pozzetti eseguiti.



Figura 6 – Pozzetto Pz1



Figura 7 – Pozzetto Pz2



Figura 8 – Pozzetto Pz3

4.2.3 Caratteristiche della falda

Per la misura della quota di falda si è fatto riferimento alle misure piezometriche realizzate in fase di indagine del 2015.

PIEZOMETRO	Ubicazione		Quota piezometro metri s.l.m.	TUBO PIEZOMETRICO Lunghezza e Tipo	TUBO PIEZOMETRICO Verifica fondo foro	Note	Riferimenti proprietari	13-14/05/2015				
	X*	Y*						h. pozzetto	lettura da testa pozzetto	metri dal p.c.	FALDA metri s.l.m.	note
11	D35	2492077.54	4157201.01	132.92	Norton 18.00 m	18.00 m circa	area con libero accesso	-	-	7.70	125.22	

Il livello di falda misurato nel piezometro di interesse (posto all'interno del sondaggio D35) il 13-14/05/2015 è di 7.7m, quindi in quota assoluta è di +125.22 m s.l.m.

4.2.4 Indagini geofisiche

Al fine di caratterizzare la risposta sismica dell'area in esame è stata eseguita una tomografia sismica (vedi Figura 9). Le indagini sismiche a rifrazione sono state condotte con lo scopo principale di caratterizzare attraverso le variazioni complesse di velocità di propagazione delle onde P e delle onde SH i depositi di pianura sulla tratta indagata.

DETTAGLIO ST_X

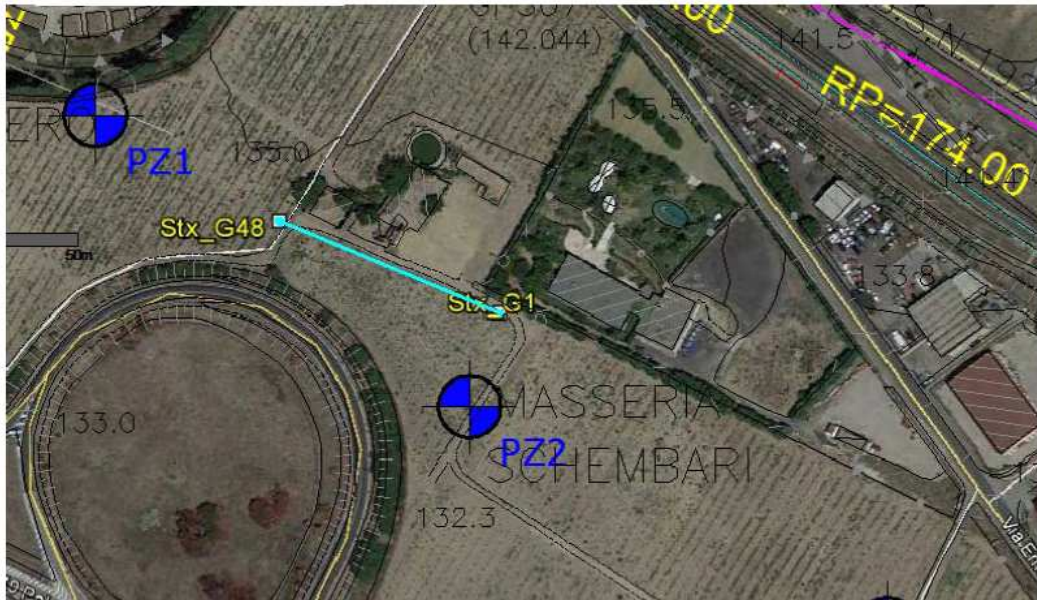


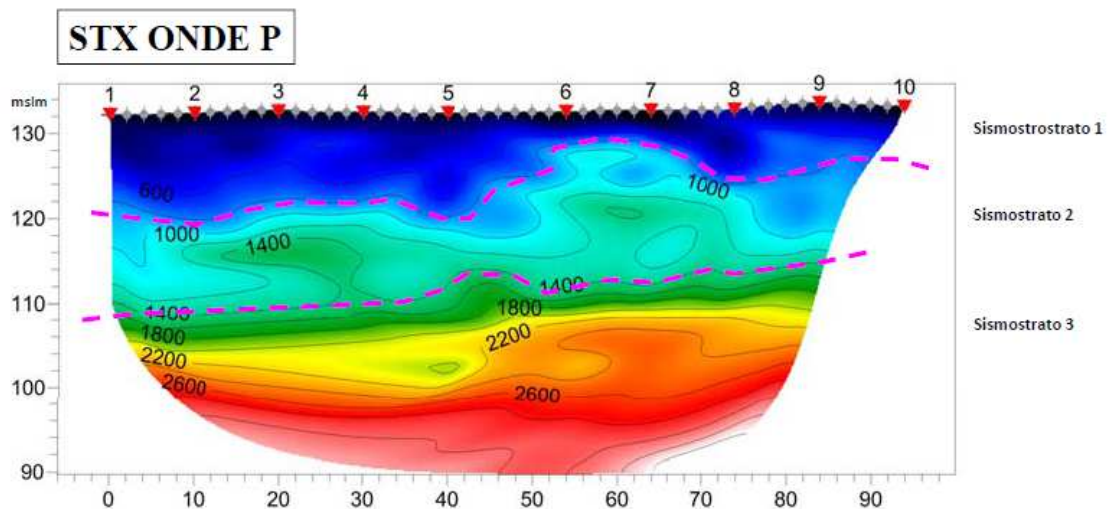
Figura 9 – Ubicazione prove geofisiche

Nelle sezioni sismiche sono individuate n. 3 unità sismiche con le seguenti caratteristiche:

I strato: $V_p = 200-900$ m/sec $V_s = 150-350$ m/sec. Lo spessore di questo strato superficiale ha una profondità massima di 13m.

II strato: $V_p = 900-1400$ m/sec $V_s = 350-600$ m/sec, con profondità massima di 12m.

III strato: $V_p = 1600-1800$ m/sec $V_s = 600-1000$ m/sec.



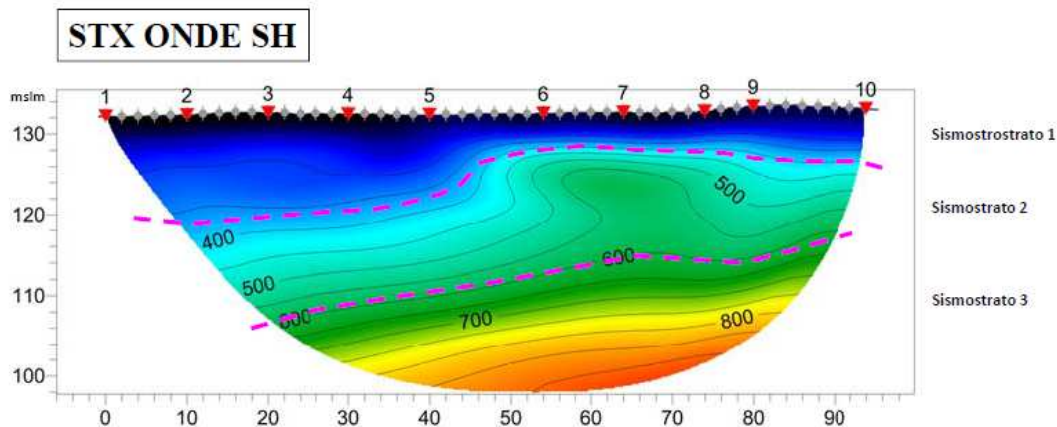


Figura 10 – Sezioni tomografiche

4.2.5 Risultati

Le indagini geofisiche hanno permesso quindi di identificare i seguenti sismo strati:

- Sismostrato 1 - alternanze tra argille limose debolmente sabbiose e limi argilloso sabbiosi;
- Sismostrato 2 - alternanze tra limi argillosi sabbiosi ghiaiosi e ghiaie poligeniche ed in profondità argilla limosa e argilla limosa marnosa per lo più a struttura scagliosa, a stratificazione indistinta;
- Sismostrato 3 - argilla limosa e argilla limosa marnosa, microscagliettata o scagliettata con livelli argillitici duri.

Il valore di V_{S30} ricavato dal modello è risultato pari a:

$$V_{S30} = 244 \text{ m/sec}$$

Adottando la classificazione vigente in materia antisismica ai sensi del DM 14/01/2008, i terreni individuati nella presente indagine appartengono alla CATEGORIA LITO-STRATIGRAFICA C.

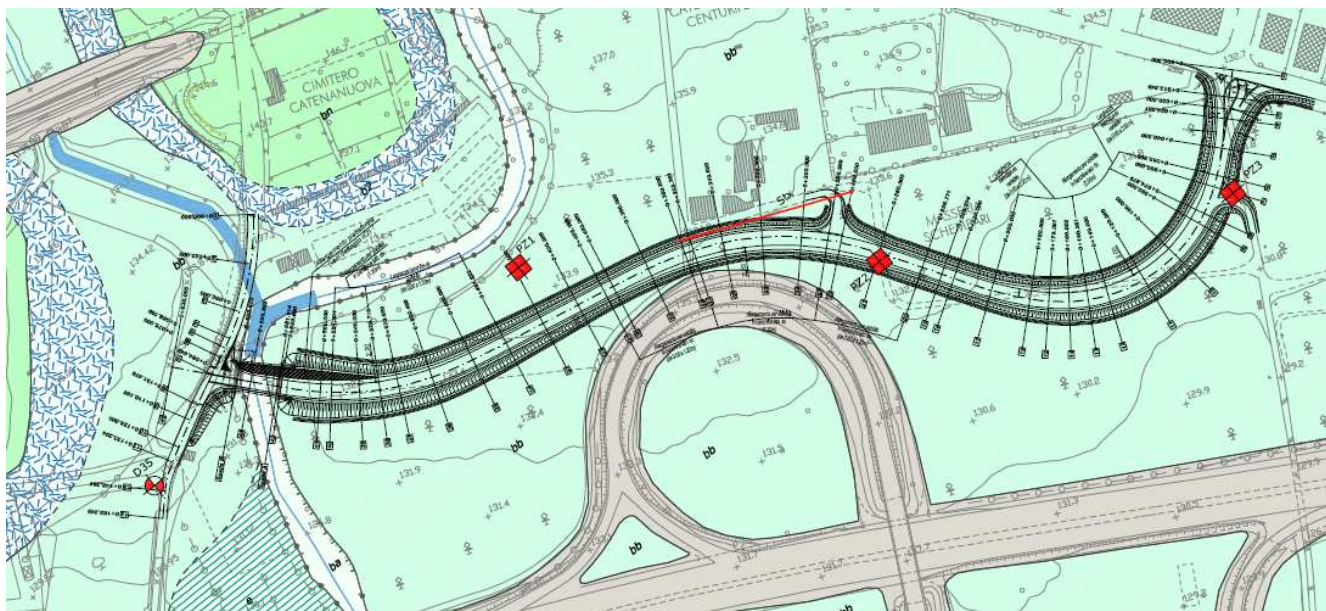


Figura 12 – Stralcio della carta geologica indicante la zona di intervento

5.1 Definizione delle unità geotecniche intercettate

Sulla base dei risultati delle indagini (in sito ed in laboratorio) delle campagne geognostiche eseguite nell'area in esame, si perviene ad una caratterizzazione geotecnica dei terreni e quindi alla definizione della stratigrafia e dei parametri geotecnici di progetto.

Nel seguito viene prima brevemente descritta la successione stratigrafica lungo il tracciato con individuazione delle unità geotecniche intercettate dalle indagini; successivamente vengono presentate le caratteristiche litologiche ed i valori dei parametri geotecnici delle unità di interesse progettuale.

Unità geotecniche:

- **Unità ba – Depositi alluvionali attuali:** tale unità, a comportamento granulare, è costituita da ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolari ad arrotondate, con matrice sabbiosa, sabbioso-limosa da scarsa ad abbondante e localmente da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi con locali ghiaie. Nel tracciato in esame sono rinvenibili in corrispondenza dell'alveo del Vallone Petroso con spessore massimo stimato intorno ai 2 m circa.
- **Unità bb – Depositi alluvionali recenti:** si tratta di terreni coesivi, costituiti da argille limose e limi argillosi di colore grigio e nocciola, a struttura indistinta o laminata, con locali passaggi sabbioso-limosi, rare ghiaie poligeniche da sub-angolari ad arrotondate e rari clasti calcarei. L'unità è presente al di sotto di uno spessore di coltre vegetale di 0.45 m fino alla profondità di 16.5 m circa.
- **Unità AAC – Argille marnose grigie:** tale unità a comportamento prevalentemente coesivo, è rappresentata da argille limose e argille marnose di colore grigio e grigio-verdastro a struttura scagliosa,



PROGETTO ESECUTIVO
TRATTA CATENANUOVA – RADDUSA AGIRA
NUOVA VIABILITA' AL KM 13+000

RELAZIONE GEOTECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS0S	00	E78 RH	GE0005001	B	24 di 52

con talvolta livelli di sabbie limose grigie, livelli argillitici duri e locali intercalazioni di arenarie medio-fini grigie e giallastre, in strati da sottili a medi.

Ai fini della caratterizzazione dei terreni è stato fatto riferimento ai risultati delle:

- prove penetrometriche dinamiche SPT eseguite nei fori di sondaggio;
- prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati prelevati nel corso dei sondaggi nei terreni coesivi;
- prove Pocket Penetrometer.

5.2 Criteri di valutazione dei parametri geotecnici

5.2.1 Depositi incoerenti

Per i depositi prevalentemente incoerenti, i parametri geotecnici di resistenza al taglio e di deformabilità possono essere stimati sulla base dell'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

Sono stati considerati i valori minimi di densità relativa ottenuti dalle varie correlazioni che di seguito vengono esposte.

5.2.1.1 Stato di addensamento

Correlazione di Skempton

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 5;

σ'_{vo} = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova SPT (kg/cm²);

N_{SPT} = numero di colpi per 30 cm di infissione ;

D_r = densità relativa (-).

Tabella 5 – 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 sovraconsolidate	27,5+43,3	$(21,7+27,5) \cdot \frac{1+2 \cdot (ko)_{sc}}{1+2 \cdot (ko)_{nc}}$

Nel caso in esame sono state cautelativamente considerate le costanti empiriche relative a sabbie fini normal consolidate.

Correlazione di Gibbs e Holtz

In accordo a quanto indicato da Gibbs e Holtz (1957) la densità relativa D_r può essere correlata al valore N_{SPT} con la seguente espressione:

$$D_R = \sqrt{\frac{N_{SPT}}{(16 + 23 \cdot \sigma'_{vo})}}$$

5.2.1.2 Parametri di resistenza

Per la stima dell'angolo di resistenza al taglio dalle prove SPT sono state utilizzate le correlazione di seguito illustrate.

Correlazione di Shioi-Fukuni

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\varphi = \sqrt{15N_{SPT}} + 15$$

5.2.1.3 Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi incoerenti possono essere stimate dall'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

Correlazione di Schmertmann

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$E(kg / cmq) = 2BN_{SPT}$$

dove B è una costante variabile in funzione della litologia:

B	Litologia
4	sabbia fine
6	sabbia media
10	sabbia grossolana

Nel caso in esame è stata cautelativamente considerata la costante empirica relativa a sabbia fine.

Correlazione di Schultze e Menzebach

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$E(kg / cmq) = 5.27N_{SPT} + 76$$

5.2.2 Depositi coesivi

Per i depositi coesivi la caratterizzazione geotecnica è stata fatta oltre che dall'interpretazione delle prove in sito, anche dai risultati delle prove di laboratorio sui campioni indisturbati eseguiti sui campioni prelevati nei sondaggi.

5.2.2.1 Caratteristiche di resistenza

Per la determinazione delle caratteristiche di resistenza dei depositi coesivi ci si è basati sui risultati delle prove di laboratorio che sono essenzialmente prove di taglio diretto (TD), prove di compressione triassiale, e prove di compressione semplice.

La resistenza al taglio in condizioni non drenate è stata valutata principalmente sulla base delle prove di compressione ad espansione laterale libera (ELL), sulla base di prove triassiali non consolidate non drenate (UU) e delle prove speditive di Pocket Penetometer (PP) .

La resistenza al taglio non drenata è stata anche desunta delle prove penetrometriche dinamiche SPT in base alla seguente correlazione di Stroud (1974):

$$c_u \cong (5.0 \div 5.5) \cdot N_{SPT} \quad (\text{kPa})$$

La resistenza al taglio in condizioni drenate è stata valutata sulle risultanze delle prove di laboratorio triassiali consolidate non drenate (CU), delle prove triassiali consolidate drenate (CD) e delle prove e delle prove di taglio diretto (TD).

Inoltre, seppur come indicazione, è possibile utilizzare la correlazione proposta da Peck (1953) per i litotipi di natura incoerente che presentano una forte componente limosa. In questo senso l'angolo d'attrito risulta limitatamente influenzato dalla DR per cui si suppone che quello di picco e quello a volume costante in tale caso coincidano:

$$\varphi'p (\text{°}) = \varphi'cv (\text{°}) = 0.30 N_{SPT} + 20$$

5.2.2.2 Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi coesivi possono essere stimati:

- dalle prove in sito;
- da correlazioni di letteratura.

Stroud correla inoltre il modulo di deformazione operativo ai valori di NSPT secondo la seguente espressione:

$$E'_v = 130 \cdot c_u = 130 \cdot f_1 \cdot N$$

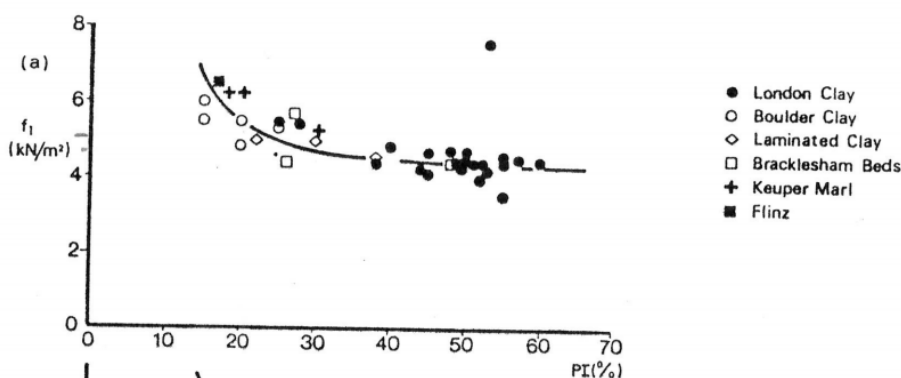
dove:

E'_v = modulo di deformazione operativo (kPa)

c_u = resistenza al taglio non drenata (kPa);

f_1 = fattore in funzione dell'indice di plasticità IP, (vedasi figura seguente)

N = valori di N_{SPT} .



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO ESECUTIVO TRATTA CATENANUOVA – RADDUSA AGIRA NUOVA VIABILITA' AL KM 13+000					
	RELAZIONE GEOTECNICA	COMMESSA RS0S	LOTTO 00	CODIFICA E78 RH	DOCUMENTO GE0005001	REV. B

Figura 13 – Fattore f_l in funzione di IP

Per quanto riguarda la stima dei moduli di deformazione in condizioni non drenate (E_u) per la stima dei cedimenti immediati dei rilevati si è utilizzata la correlazione seguente $E_u = k \cdot c_u$, dove c_u è la resistenza al taglio in condizioni non drenate ed il coefficiente k è valutato con il grafico di figura seguente.

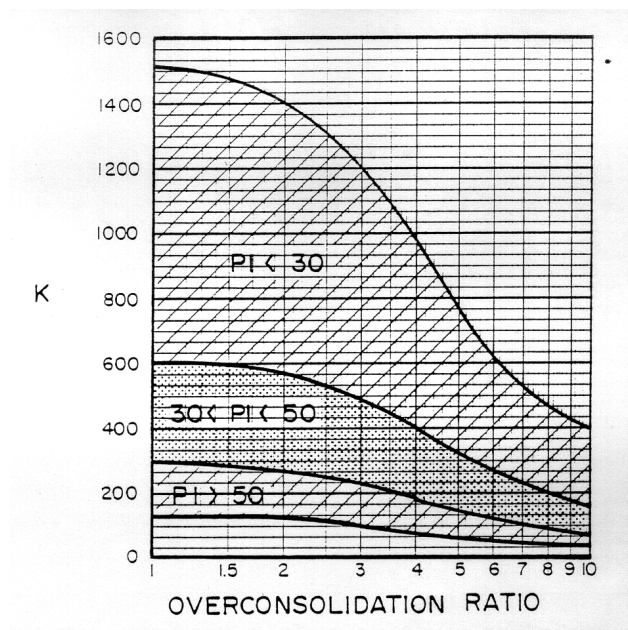


Figura 14 – Duncan & Buchigani

5.2.2.3 Caratteristiche di consolidazione

I valori del coefficiente di consolidazione primaria verticale sono stati determinati con la seguente correlazione nel manuale NAVFAC-DM 7.1. (1971), in funzione del limite liquido (LL):

$$c_v = 0.009 (LL - 0.1) \quad [\text{cm}^2/\text{s}]$$

Il coefficiente di consolidazione secondaria, è stato stimato con la correlazione proposta nel NAVFAC-DM 7.1 (1982, vedasi figura seguente), in funzione del contenuto naturale di acqua (w_n).

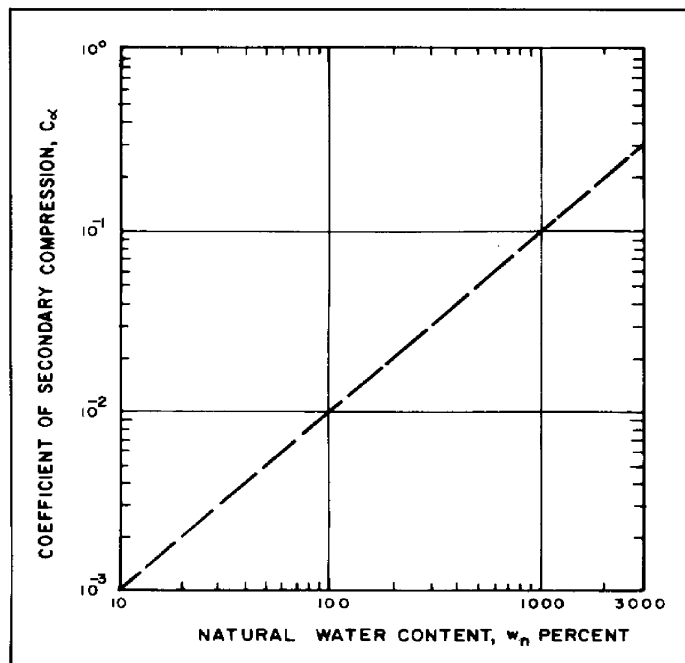


Figura 15 – Abaco di calcolo del coefficiente di consolidazione secondaria da w_n (NAVFAC, 1982)

5.3 Unità ba – Depositi alluvionali attuali

Tale unità non è stata intercettata nel sondaggio appositamente eseguito per il Progetto Definitivo della viabilità NI10 e nemmeno dai sondaggi eseguiti per il Progetto Preliminare di tutta la linea ferroviaria.

Sulla base dei rilievi in sito e delle carte geologiche, l'unità è rinvenibile in corrispondenza dell'alveo del Vallone Petroso con spessore massimo stimato intorno ai 2 m circa.

Pertanto, sulla base delle informazioni bibliografiche riportate in letteratura, si propongono i seguenti valori di progetto dei parametri geotecnici:

- Peso per unità di volume $\gamma_{nat} = 18.5 \div 19.5 \text{ kN/m}^3$
- Densità relativa $D_r = 30 \div 50 \%$
- Coesione efficace $c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito efficace $\phi' = 24 \div 30^\circ$
- Coefficiente di permeabilità $k = 10^{-6} \div 10^{-1} \text{ m/s}$
- Modulo di Young operativo $E' = 10 \text{ MPa}$

5.4 Unità bb – Depositi alluvionali recenti

L'unità è costituita prevalentemente da argille limose e limi argillosi con locali passaggi sabbioso-limosi e/o rare ghiaie; è stata rinvenuta nel sondaggio D35 sotto il terreno di riporto (di spessore 0.45 m) fino alla profondità di 16.5 m dal p.c..

La caratterizzazione geotecnica di questo litotipo è stata fatta considerando l'interpretazione delle prove SPT, i risultati delle prove Pocket Penetrometer e delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati in tale unità. In particolare, dato l'esiguo numero di dati a disposizione, per la caratterizzazione ci si è basati anche sui risultati delle prove in sito e delle prove di laboratorio dei campioni dei sondaggi di linea (S3, S5, S6 e S8).

Nella seguente tabella si sintetizzano i dati relativi ai sondaggi di linea e al sondaggio D35 eseguito nella campagna di indagine fatta nel 2015.

Tabella 6 – Prove SPT inerenti al litotipo bb – sondaggi di linea

sondaggio	prof. prova m da p.c.	quota boccaforo m s.l.m.	prof. prova m s.l.m.	litotipo	n. colpi			N _{SPT}	Stroud		Peck	
					1	2	3		c _u	E'	φ'	
									kPa	MPa	°	
S3	1	3.00	160.00	157.00	bb	6	12	11	23	115	14.95	27
S3	2	6.00	160.00	154.00	bb	19	33	r	r			
S5	1	1.90	163.70	161.80	bb	7	10	10	20	100	13	26
S5	2	5.00	163.70	158.70	bb	3	8	7	15	75	9.75	25
S6	1	3.00	171.90	168.90	bb	5	9	16	25	125	16.25	28
S6	2	6.00	171.90	165.90	bb	6	11	9	20	100	13	26
S8	1	3.00	185.30	182.30	bb	12	15	21	36	180	23.4	31

Tabella 7 – Prove SPT inerenti al litotipo bb – sondaggio integrativo (2015)

Sondaggio	prof. prova m da p.c.	quota boccaforo m s.l.m.	prof. prova m s.l.m.	litotipo	n. colpi			Nspt	Stroud		Peck
					1	2	3		c _u	E'	φ'
									kPa	MPa	°
D35	4.3	132.92	128.62	bb-2015	7	7	7	14	70	9.1	24
D35	8.3	132.92	124.62	bb-2015	7	10	15	25	125	16.25	28
D35	13.3	132.92	119.62	bb-2015	4	5	7	12	60	7.8	24
D35	15.95	132.92	116.97	bb-2015	39	50	r				

Nella Tabella 7 sono mostrati i valori di N_{SPT} delle prove eseguite nel sondaggio D35 e nei sondaggi di linea (Tabella 6); si osserva che i valori sono generalmente compresi fra 12 e 25 colpi/30 cm, con buon accordo dei valori del sondaggio ubicato appositamente sulla viabilità in progetto e di quelli dei sondaggi di linea.

Per quanto concerne i dati di laboratorio, ci si è basati sia sui risultati delle prove dei sondaggi del Progetto Preliminare che su quelle eseguite nella campagna del 2015 per il sondaggio SD35. Nella seguente tabella sono sintetizzati i risultati delle prove di laboratorio eseguite sul litotipo in esame.

Pocket penetrometer	Profondità	Consistenza
2.5	6.3	Molto consistente
3.75	6.8	Molto consistente
3.5	7.2	Molto consistente
>4.5	7.5	Duro
3.25	7.8	Molto consistente
4	8.2	Duro
4	8.8	Duro
3.5	9	Molto consistente
3.5	9.4	Molto consistente
2.5	9.8	Molto consistente
4.5	10	Molto consistente
1.75	10.4	Consistente
1.25	10.6	Consistente
1	11.3	Consistente
1	11.4	Consistente
1	12	Consistente
1.75	12.4	Consistente
1.5	12.6	Consistente
1	13	Consistente
1.5	13.3	Consistente
1	13.5	Consistente
1.5	14	Consistente

Tabella 11 – Risultati Torvane litotipo bb – sondaggio integrativo D35 (2015)

Torvane	Profondità
kg/cm ²	m
0.8	0.45
>1	1
>1	1.5
>1	2
>1	2.2
0.9	2.5
0.8	2.8
>1	3
>1	3.8
0.9	4
0.8	4.1
0.8	4.3
0.85	4.5
0.8	4.8

Torvane	Profondità
0.7	5.2
0.9	5.4
>1	6
0.8	6.3
>1	6.8
0.9	7.2
>1	7.5
0.95	7.8
>1	8.2
>1	8.8
>1	9
0.9	9.4
0.75	9.8
>1	10
0.4	13.5
0.7	14

Nella figure successive sono mostrati i valori della resistenza al taglio non drenata (c_u) ottenuta dall'interpretazione delle prove SPT, dalle prove di Pocket Penetrometer e dalle prove di laboratorio (prove eseguite nella fase di progetto preliminare).

Dall'interpretazione delle prove a disposizione si osservano valori della coesione non drenata compresi tra 40 e 125 kPa, con dei massimi di 225 kPa registrati dalle prove Pocket Penetrometer. Il valore minimo invece che si rinviene è di 40kPa attraverso il Torvane test.

Nella Figura 17 sono mostrati i risultati delle prove di resistenza di laboratorio.

Nella Figura 18 sono mostrati i valori del modulo di deformazione elastico stimati dalle prove in sito; generalmente compresi fra 8 e 23 MPa.

Quindi per l'unità in esame si possono considerare le seguenti caratteristiche geotecniche:

- Peso per unità di volume $\gamma_{nat} = 19.0 \div 20.5 \text{ kN/m}^3$
- Coesione non drenata $c_u = 80 \text{ kPa}$
- Coesione efficace $c' = 20 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito efficace $\phi' = 20^\circ$
- Coefficiente di permeabilità $k = 10^{-10} \div 10^{-7} \text{ m/s}$
- Modulo di Young operativo $E' = 8 \div 23 \text{ Mpa}$

Dal momento che nei depositi alluvionali in oggetto si possono rilevare locali livelli sabbiosi e rare ghiaie (pag.26 della relazione geologica), circostanza evidenziata anche nei pozzetti esplorativi (paragr.4.2.2) dove sono rivenute sabbie limose mediamente addensata, si ritiene opportuno verificare le opere con fondazione diretta, anche con i seguenti parametri geotecnici:

- Coesione efficace $c' = 5 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito efficace $\phi' = 25^\circ$

5.5 Unità AAC – Argille marnose grigie

Tale unità a comportamento prevalentemente coesivo, è rappresentata da argille limose e argille marnose di colore grigio e grigio-verdastro, con frequenti livelli di sabbie limose grigie, passaggi di marne argillose grigio-verdastre e locali intercalazioni di arenarie medio-fini grigie e giallastre. L'unità è stata intercettata dal sondaggio D35 da 16.5 m dal p.c. fino alla massima profondità indagata (40.0 m).

Per la caratterizzazione geotecnica di tale deposito ci si è basati anche sui risultati delle prove in sito e delle prove di laboratorio dei campioni dei sondaggi di linea (S1, S2, S3, S4 e S7) e del sondaggio D35. Nella seguente tabella si sintetizzano i dati relativi ai sondaggi.

In corrispondenza dell'unità sono stati prelevati campioni rimaneggiati, indisturbati e sono stati eseguite prove SPT.

Dai valori di N_{SPT} delle prove eseguite nel sondaggio D35 e nei sondaggi di linea, si osserva che i valori sono generalmente maggiori di 60 colpi/30 cm, con molti valori a rifiuto ($N_{SPT}=100$) ad indicare l'elevata consistenza del deposito e con andamento crescente con la profondità.

Tabella 12 – Prove SPT inerenti al litotipo AAC – sondaggi di linea

sondaggio	prof. prova m da p.c.	quota boccaforo m s.l.m.	prof. prova m s.l.m.	litotipo	n. colpi			N _{SPT}	Stroud		Peck	
					1	2	3		c _u	E'	φ'	
									kPa	MPa	°	
S1	3	8.50	148.50	140.00	AAC	8	17	24	41	205	26.65	32
S1	4	11.00	148.50	137.50	AAC	32	r	26	r			
S1	5	14.00	148.50	134.50	AAC	28	29	33	62	310	40.3	39
S1	6	17.00	148.50	131.50	AAC	22	40	r	r			
S1	7	20.00	148.50	128.50	AAC	20	38	55	93	465	60.45	48
S1	8	23.00	148.50	125.50	AAC	23	40	58	98	490	63.7	49
S2	3	11.00	160.00	149.00	AAC	22	r		r			
S2	4	16.60	160.00	143.40	AAC	r			r			
S2	5	19.00	160.00	141.00	AAC	46	r		r			
S2	6	22.50	160.00	137.50	AAC	r			r			
S2	7	28.00	160.00	132.00	AAC	42	r		r			
S3	3	10.00	160.00	150.00	AAC	r			r			
S4	2	8.50	154.00	145.50	AAC	19	31	48	79	395	51.35	44
S4	3	11.00	154.00	143.00	AAC	17	30	51	81	405	52.65	44
S4	4	13.70	154.00	140.30	AAC	41	84	16	100	500	65	50
S4	5	17.00	154.00	137.00	AAC	31	72	28	100	500	65	50
S4	6	20.30	154.00	133.70	AAC	28	69	31	100	500	65	50
S4	7	23.50	154.00	130.50	AAC	37	r		r			
S4	8	26.70	154.00	127.30	AAC	30	78	22	100	500	65	50
S4	9	29.40	154.00	124.60	AAC	37	73	17	90	450	58.5	47
S4	10	32.10	154.00	121.90	AAC	38	r		r			
S7	3	11.10	149.00	137.90	AAC	14	30	40	70	350	45.5	41
S7	4	14.00	149.00	135.00	AAC	13	32	46	78	390	50.7	43
S7	5	17.00	149.00	132.00	AAC	16	33	44	77	385	50.05	43
S7	6	20.00	149.00	129.00	AAC	14	35	47	82	410	53.3	45
S7	7	23.00	149.00	126.00	AAC	18	39	r	r			
S7	8	26.00	149.00	123.00	AAC	20	37	49	86	430	55.9	46
S7	9	29.00	149.00	120.00	AAC	18	41	r	r			
S7	10	32.00	149.00	117.00	AAC	21	40	51	91	455	59.15	47

Tabella 13 – Prove SPT inerenti al litotipo AAC – sondaggi di linea

Sondaggio	prof. prova m da p.c.	quota boccaforo m s.l.m.	prof. prova m s.l.m.	litotipo	n. colpi			Nspt	Stroud		Peck
					1	2	3		c _u	E'	φ'
									kPa	MPa	°
D35	19.3	132.92	113.62	AAC	50	r					

Tabella 14 – Risultati pocket penetrometer litotipo AAC – sondaggio integrativo D35

Pocket penetrometer	Profondità	Consistenza
kg/cm ²	m	
>4.5	17	Duro
>4.5	18	Duro
>4.5	19	Duro
>4.5	21	Duro
>4.5	29	Duro

Tabella 15 – Risultati Torvane litotipo AAC – sondaggio integrativo D35

Torvane	Profondità
kg/cm ²	m
>1	17
>1	18



PROGETTO ESECUTIVO
TRATTA CATENANUOVA – RADDUSA AGIRA
NUOVA VIABILITA' AL KM 13+000

RELAZIONE GEOTECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS0S	00	E78 RH	GE0005001	B	36 di 52

>1	19
>1	21
>1	21

Per quanto concerne i dati di laboratorio, ci si è basati essenzialmente sui risultati delle prove dei sondaggi del Progetto Preliminare e di quelle del sondaggio SD35. Nella seguente tabella sono sintetizzati i risultati delle prove di laboratorio eseguite sul litotipo in esame.

Nella Figura 17 sono mostrati i valori della resistenza al taglio non drenata (c_u) ottenuta dall'interpretazione delle prove SPT e dalle prove di Pocket Penetrometer.; queste ultime hanno raggiunto tutte il fondo scala dello strumento, dall'interpretazione delle prove SPT si osservano valori generalmente compresi fra 300 e 500 kPa.

Nella Figura 17 sono mostrati i risultati delle prove di resistenza di laboratorio.

Nella Figura 18 sono mostrati i valori del modulo di deformazione elastico stimati dalle prove in sito; generalmente compresi fra 50 e 65 MPa.

Tabella 16 – Risultati prove di laboratorio inerenti al litotipo AAC – sondaggi di linea

SONDAGGIO n.	CAMP. n.	prof. mt.	STATO DEL CAMP.	POCKET PENET. PP KPa	VANE TEST VT KPa	CONTEN. D'ACQUA W %	PESO UNITA' VOLUME Mg/m ³	PESO SECCO UNITA' VOLUME Mg/m ³	PESO SPECIF. DEL TERRENO γ _s Mg/m ³	GRANULOMETRIA					LIMITI DI ATTERBERG		CLASSIFICAZIONE		TAGLIO AL CASA-GRANDE			TAGLIO TRIASSIALE			PROVA EDOMETRICA			COMPRESIONE MONOASSIALE						
										g %	s %	l %	L+A %	A %	w _L %	w _p %	UNI 10006	USCS	c' KPa	φ' °	c KPa	φ °	E _{ed} KPa	C _v cm ² /s	K cm/s	e _v %	e _c KPa							
S1	CI2	9.70 10.00	I	>600	>250	23.20	1.87	1.52	2.69	0.09 0.00	18.33 16.01	52.82 45.20	81.57 83.99	28.75 38.79	46	15	A-7-5	CL	25.5	25.2	23	43	φ' 27.6	φ 15.8										
S1	CR3	10.60 11.00	R							0.28 0.08	7.00 1.81	66.80 56.15	97.07 98.11	2.85 41.96	57	25	A-7-5	MH																
S1	CR4	14.60 15.00	R							0.00 0.00	2.46 0.51	66.53 58.55	97.54 99.49	31.01 40.94	42	18	A-7-6	CL																
S1	CR5	18.60 19.00	R												48	22	A-7-6	CL																
S2	CI1	9.70 10.00	I	nd	nd	13.54	1.60	1.41	2.69	5.03 2.86	11.93 13.30	43.24 34.10	83.04 83.84	39.80 49.74	47	23	A-7-6	CL																
S2	CR3	12.00 12.40																																
S2	CR4	18.50 18.90	R							0.37 0.07	12.32 11.65	68.76 61.54	87.31 88.28	18.55 26.74	33	12	A-6	CL																
S2	CR5	24.60 25.00																																
S2	CR6	28.40 28.80	R							18.29 5.74	23.30 34.61	37.09 30.25	58.42 59.66	21.33 29.41	35	14	A-6	CL																
S4	CR3	13.00 13.50	R							10.44 6.74	18.08 20.36	54.00 45.93	71.48 72.90	17.48 26.97	33	12	A-6	CL																
S4	CR5	22.30 22.80	R							0.72 0.07	5.82 3.64	73.18 66.09	93.46 96.30	20.28 30.21	37	10	A-4	ML																
S7	CR2	20.60 20.90	R							0.30 0.00	2.94 3.17	62.08 46.44	96.76 96.83	34.68 50.39	42	17	A-7-6	CL																
S7	CR3	28.60 29.00	R							0.07 0.00	1.88 0.77	57.74 44.43	98.06 99.23	40.32 54.80	49	22	A-7-6	CL																
S7	CR4	34.60 35.00	R							1.64 0.23	13.63 14.15	54.08 43.36	84.73 85.62	30.65 42.26	73	45	A-7-6	CH																

SOND. n.	CAMP. n.	Prof. mt.	STATO DEL CAMP.	PESO DI VOLUME APP. γ Mg/m ³	CONTEN. D'ACQUA W %	TENORE CARBON. %	PARAM. DINAMICI		COMPRESIONE STRUMENTATA					
							Vel. Ultra v m/s	Mod.el.din Ed MPa	Sforzi σ _c N/mm ²	Def.vert. ε _v %	Def.oriz. ε ₀ %	C.Poiss ν /	E Sec. E Tang. KN/mm ²	
S7	CL2	7.00 7.20	IN	2.652					203.15				0.206	64.36 59.67

Tabella 17 – Risultati prove di laboratorio inerenti al litotipo AAC – sondaggio integrativo D35 (2015)

IDENTIFICAZIONE				CARATTERISTICHE FISICHE					CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE						CARATTERISTICHE DI CONSISTENZA				
Sond	Camp	Prof. media	Litotipo (Raccomandazioni A.G.I. 1977)	W _n	e	n	γ _n	γ _s	G	S	G+S	L	A	L+A	Class. U.S.C.S.	Limiti di Atterberg			
		m		%		%	kN/m ³	kN/m ³	%	%	%	%	%	%		LL (%)	LP (%)	IP (%)	IC
D35	CR3	38.72	ARGILLE MARNOSE					26.60	0.13	10.32	10.45	45.71	43.84	89.55	ML	42.00	26.00	15.00	2.80

Le prove di laboratorio eseguite sui campioni, assieme ai risultati delle prove SPT, hanno restituito i seguenti parametri geotecnici:

- Peso per unità di volume $\gamma_{nat} = 19.5 \div 20.5 \text{ kN/m}^3$
- Coesione non drenata $c_u = 300 \div 350 \text{ kPa}$
- Coesione efficace $c' = 20 \div 25 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito efficace $\phi' = 25 \div 28^\circ$
- Coefficiente di permeabilità $k = 10^{-9} \div 10^{-6} \text{ m/s}$
- Modulo di Young operativo $E' = 50 \div 65 \text{ MPa}$

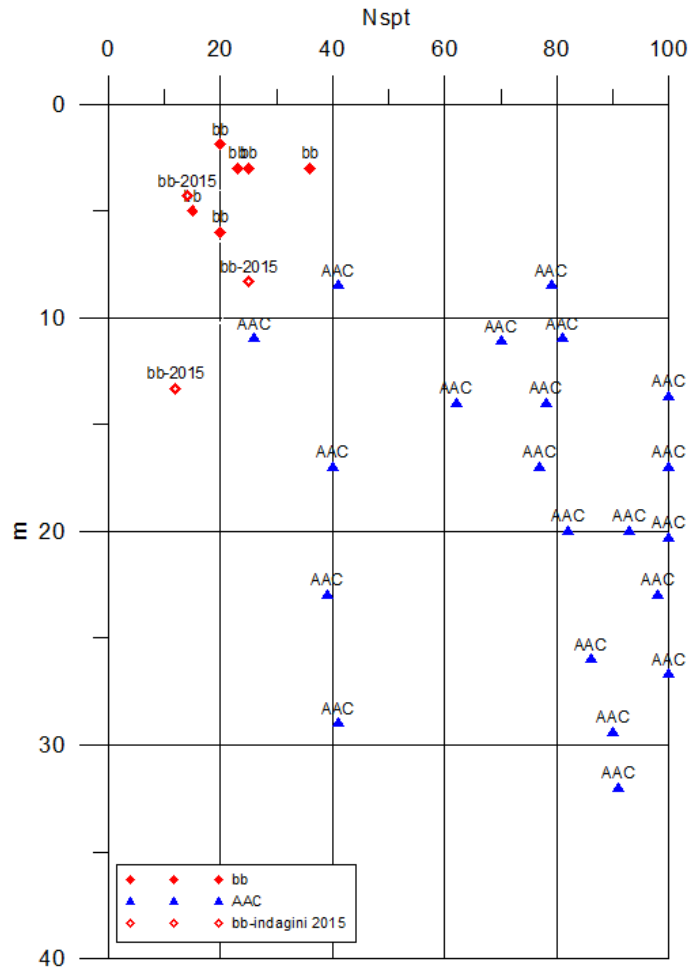


Figura 16 – Valori di N_{spt}

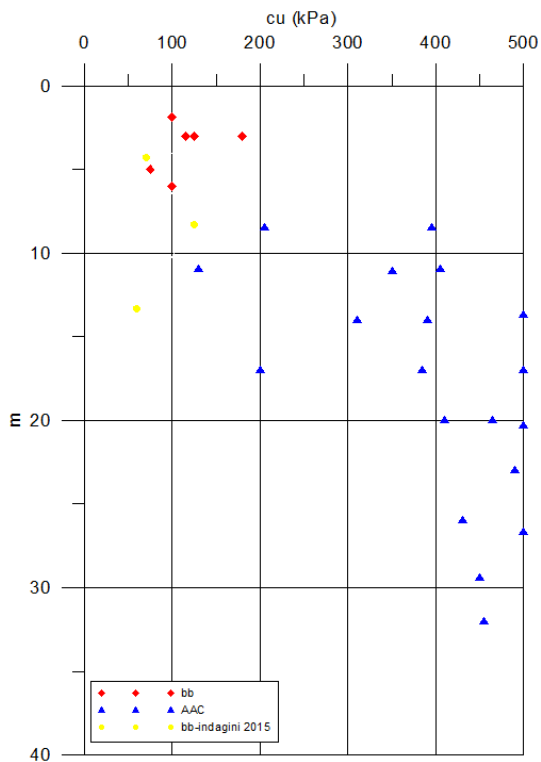


Figura 17 – Resistenza al taglio non drenata (ricavata da elaborazione Nspt)

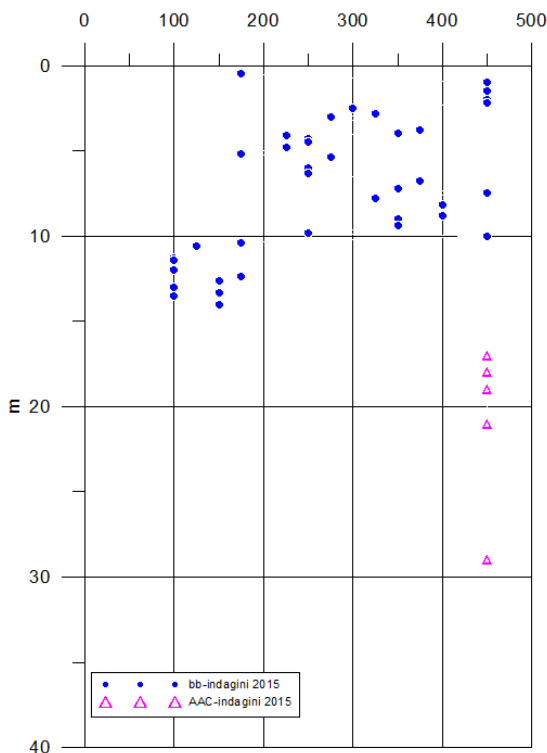


Figura 18 – Resistenza qu (ricavata da pocket penetrometer test)

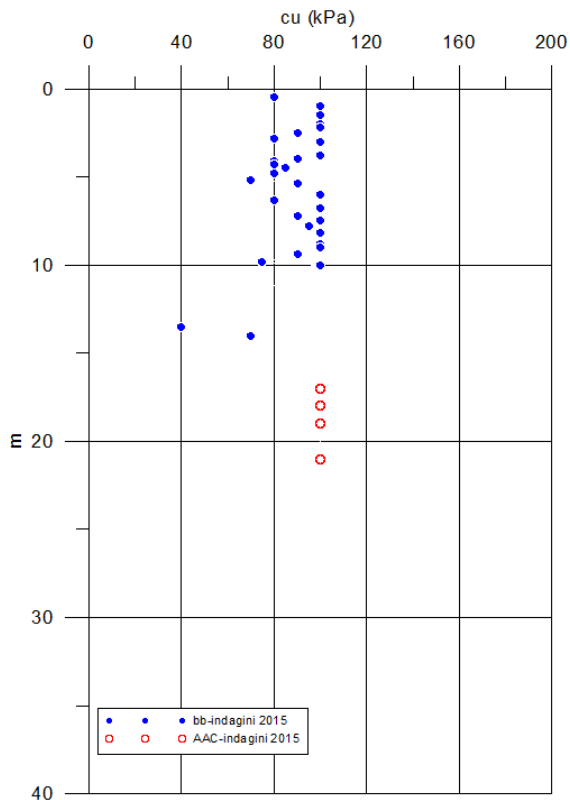


Figura 19 – Resistenza al taglio non drenata (ricavata da torvane)

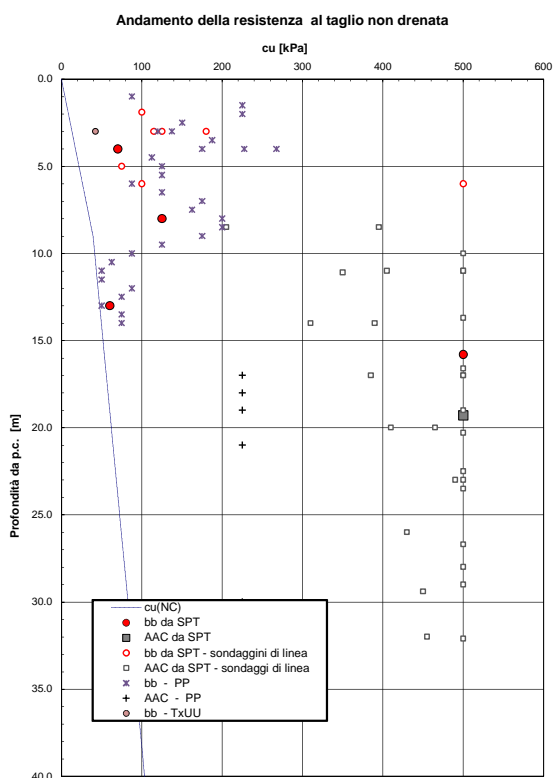


Figura 20 – Resistenza al taglio non drenata

Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio

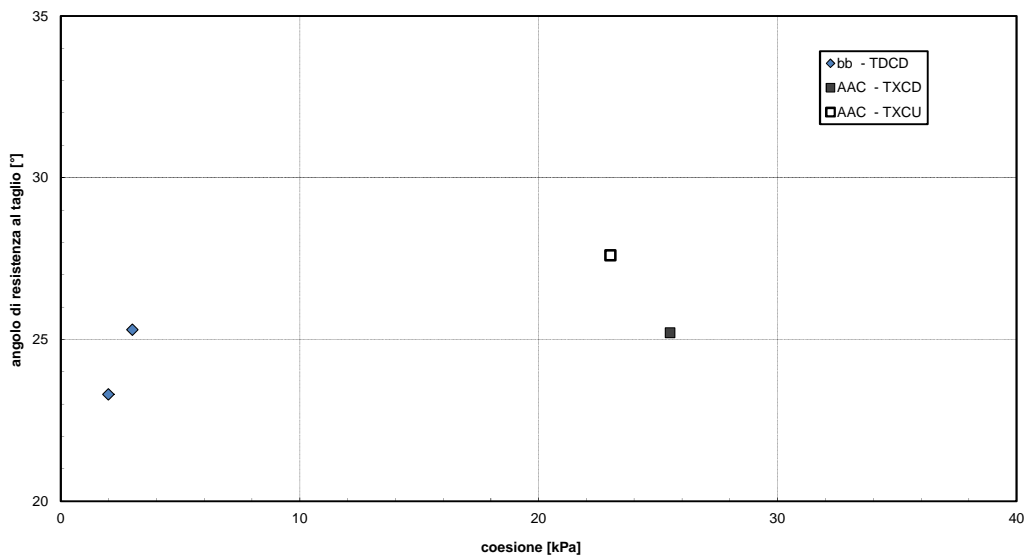


Figura 21 – Resistenza al taglio e coesione drenata

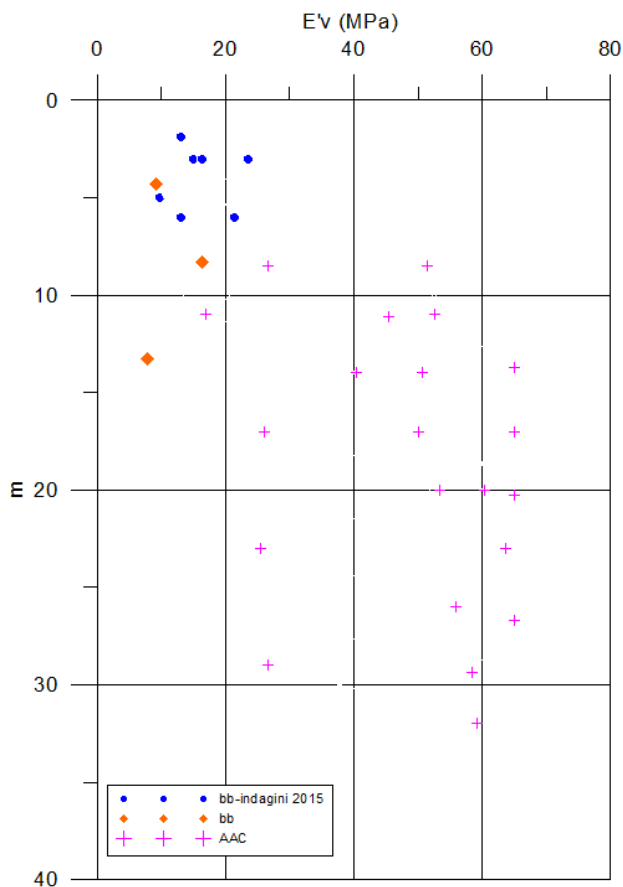


Figura 22 – Modulo elastico di deformazione operativo

6 CLASSIFICAZIONE SISMICA

6.1 Risposta sismica

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

I risultati dello studio di pericolosità sono forniti, in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km) e nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima (a_g), del valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (F_0), del periodo di inizio del tratto costante dello spettro in accelerazione orizzontale (T_c^*);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno (T_r) ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

Pertanto, per individuare, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche occorre fissare:

- la vita di riferimento (V_R) della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento (P_{VR}) associate a ciascuno degli stati limite considerati.

Infatti, fissata la vita di riferimento (V_R), T_r è esprimibile in funzione di P_{VR} mediante l'espressione:

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

La vita di riferimento è calcolata come:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

dove

V_N è la vita nominale dell'opera e C_U è la classe d'uso.

Si è posto $V_N=50$ anni e $C_U = 1.5$, sicché $V_R = 75$ anni.

Nota l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido (a_g), l'accelerazione di picco (a_{max}) è valutata sulla base della risposta sismica locale:

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove S_S è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione stratigrafica, S_T è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione topografica.

La classificazione della categoria di sottosuolo viene eseguita sulla base di misure dirette dei valori di velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità $V_{s,30}$.

Si può ricavare il parametro $V_{s,30}$ mediante la relazione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

Per la viabilità NI10 in esame si considera una categoria di sottosuolo di tipo C come si evince dall'indagine sismica a rifrazione (paragrafo 4.1.25).

Nel seguito si riportano i parametri e gli spettri dell'azione sismica SLD e SLV nella zona di Catenanuova (EN), caratterizzata dalla massima accelerazione del suolo, per un sottosuolo di categoria C, in condizioni topografiche T1.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE
14,6929

LATITUDINE
37,5709

Ricerca per comune

REGIONE
Sicilia

PROVINCIA
Enna

COMUNE
Catenanuova

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata

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".

Nodi del reticolo intorno al sito



INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="45"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="75"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="712"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="1462"/>

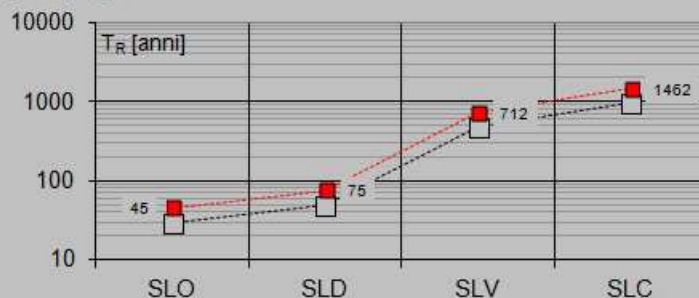
Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

.....■..... Strategia scelta

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

RELAZIONE GEOTECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS0S	00	E78 RH	GE0005001	B	45 di 52

Parametri e spettro di progetto SLD:

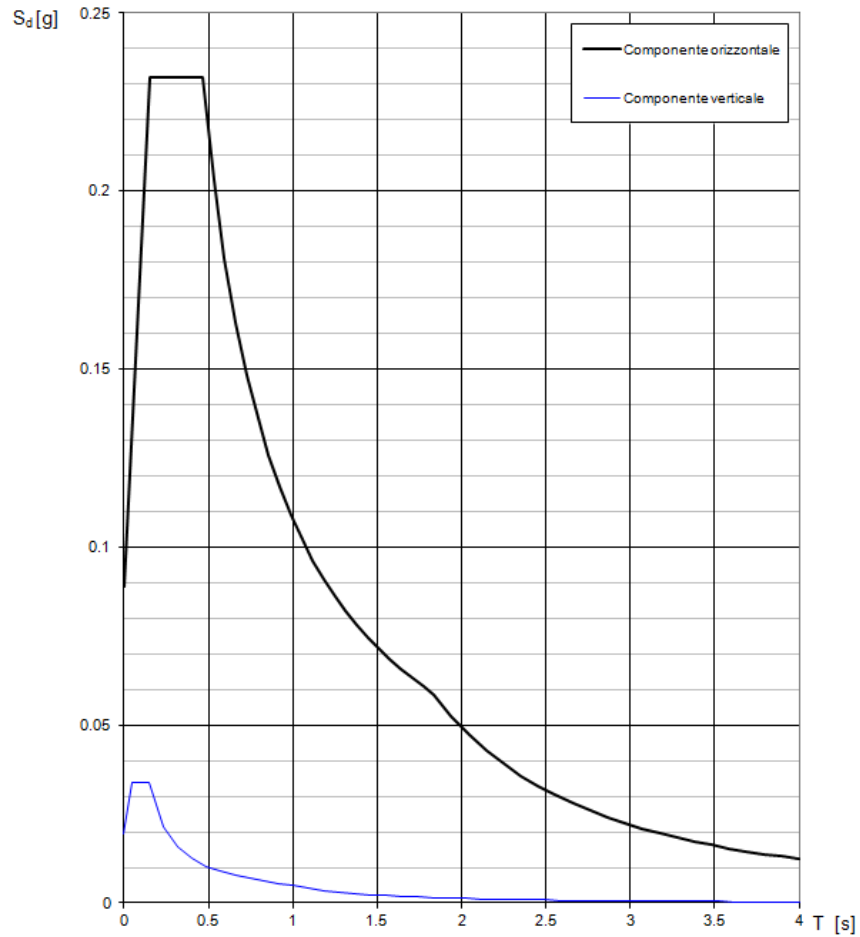
Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
ag	0.059
F0	2.606
Tc*	0.296
SS	1.5
CC	1.568
ST	1.000
q	1.5

Parametri dipendenti

S	1.5
η	1
T _B	0.155
T _C	0.464
T _D	1.840

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLD



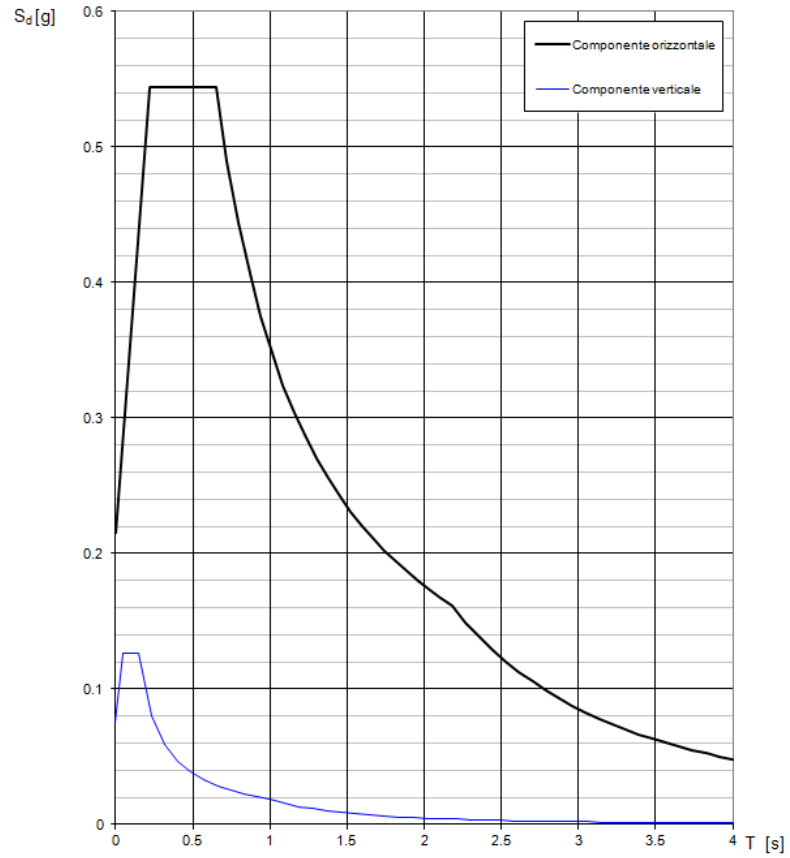
Parametri e spettro di progetto SLV:

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
ag	0.146
F0	2.524
Tc*	0.486
SS	1.479
CC	1.332
ST	1.000
q	1.5

Parametri dipendenti

S	1.5
η	1
T _B	0.216
T _C	0.647
T _D	2.195



6.2 Liquefazione

Per quanto concerne la suscettibilità alla liquefazione dei terreni di fondazione, le NTC08 al paragrafo 7.11.3.4.2 affermano che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di free-field minori di 0.1 g;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in Figura 23 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 24 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

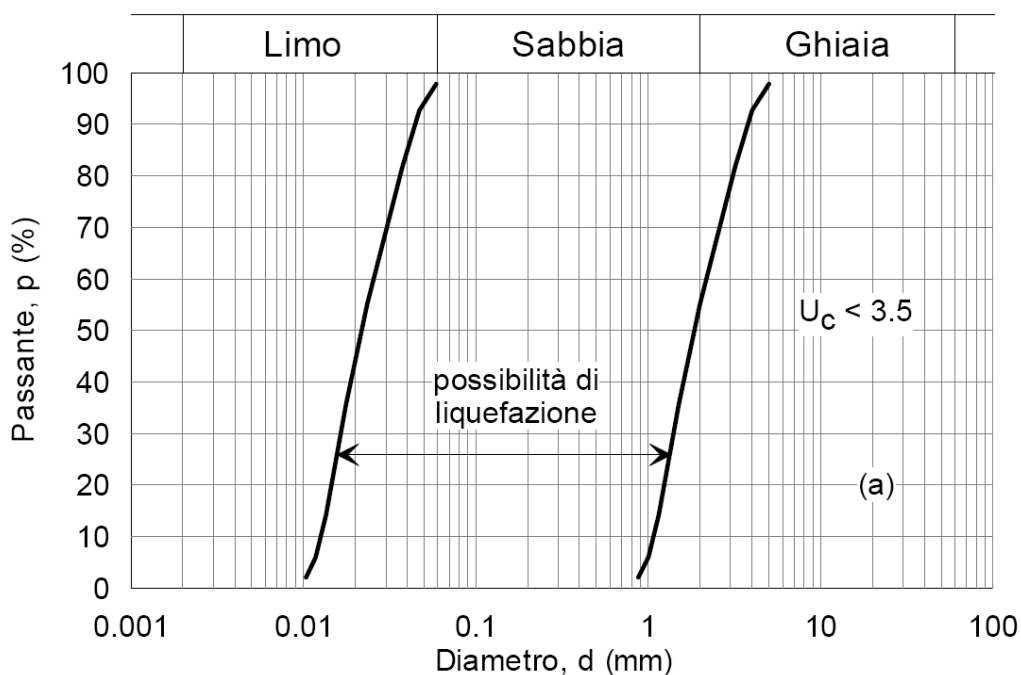


Figura 23 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per $U_c < 3.5$

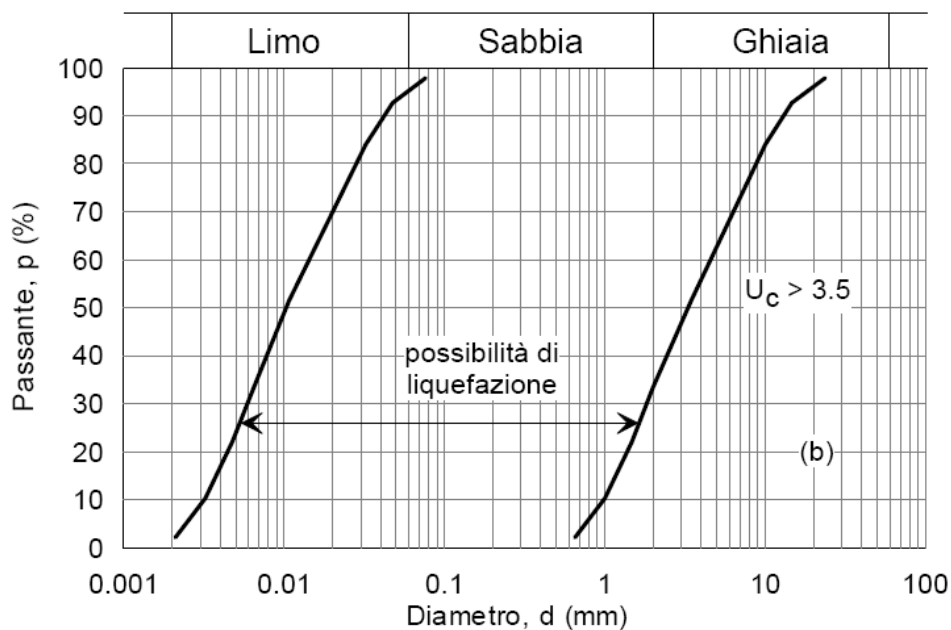


Figura 24 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per $U_c > 3.5$

Per il tracciato della viabilità in esame si rileva:

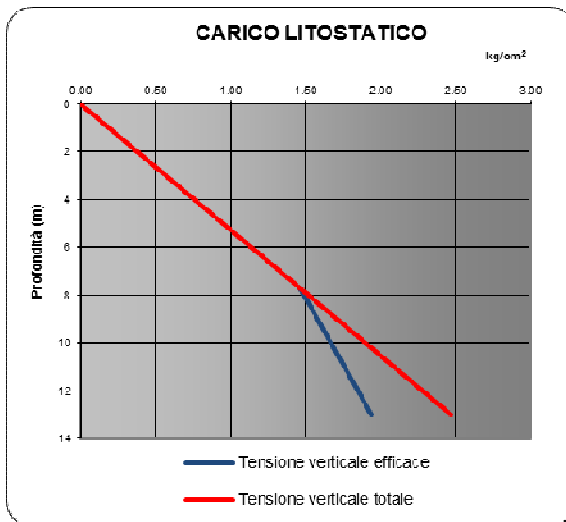
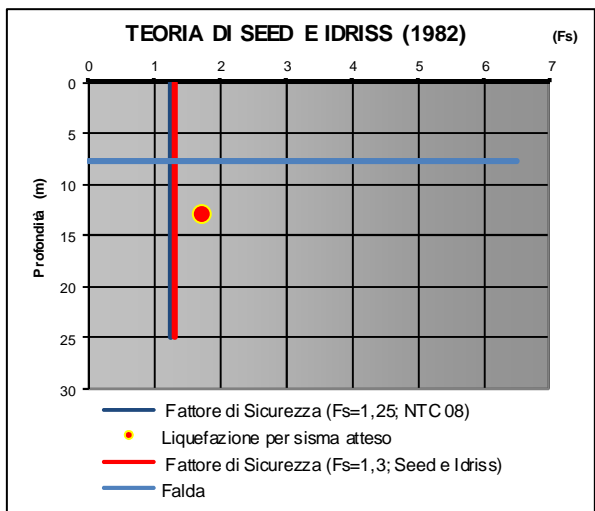
- profondità della falda = -7.7m dal.pc.;
- il deposito alluvionale è costituito prevalentemente da argille limose e limi argillosi (contenuto di $L+A \approx 85\%$, $S \approx 15\%$);
- i valori di N_{spt} sono compresi fra 12 e 25 colpi/30 cm.

Trattandosi di terreni coesivi la cui curva granulometrica impegna in minima parte il fuso individuato dalla normativa, la verifica, sebbene superflua, viene comunque eseguita.

Con riferimento ad una accelerazione massima attesa al piano campagna $=0.216$ e ad una Magnitudo $M=7$ si ottiene per la profondità di 13m ($N_{spt}=12$):

METODO DI SEED E IDRIS (1982)

FORMULE:		RISULTATI:	
$N_a = N_r + N_{std} \cdot \left(\frac{p_a}{\sigma_v'} \right)^{0.5}$		Spessore	STRATO 15
$CRR = \frac{N_a}{90}$		N_a	17.937
$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma_{vav}'} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vav}'}{\sigma_{vav}'} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$		$M_w = 7$	CSR 0.115
$r_d = 1 - 0,015 \cdot z$			0.81
1.3	< $F_s = CRR/CSR$	$M_w = 7$	F_s 1.739 Verificato
1.25	< $F_s = CRR/CSR$	$M_w = 7$	F_s (NTC 08) 1.739 Verificato
RISCHIO di Liquefazione (Iwasaki et al., 1978)		Molto Basso	
PROBABILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001) [P_L (%)]		0.05	
SUSCETTIBILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001)		Liquef. incerta	



Ne risulta che il terreno di fondazione non è suscettibile alla liquefazione.

7 PONTE VALLONE PETROSO

E' previsto un ponte per lo scavalco del Vallone Petroso, per il quale si prevedono fondazioni profonde su pali trivellati di grande diametro (D=1000 mm, D=1200 mm), in relazione ai carichi agenti in fondazione ed alla natura dei terreni in esame.

In corrispondenza dell'opera è stato eseguito il sondaggio D35, per il dimensionamento delle fondazioni si distingue la seguente stratigrafia e si possono associare i seguenti parametri geotecnici cautelativi in accordo a quanto riportato nel capitolo 5:

Unità bb – argilla limosa da 0.0 a 16.5 m: (quota assoluta del letto delle argille limose=116.30 m s.l.m.m)

$\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 20^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 20 \text{ kPa}$	coesione drenata
$c_u = 80 \text{ kPa}$	resistenza al taglio non drenata

Unità AAC – argille marnose da 16.5 a 40.0 m:

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 25^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 10 \text{ kPa}$	coesione drenata
$c_u = 300(\text{I}) \div 350(\text{II}) \text{ kPa}$	resistenza al taglio non drenata

(I) per il calcolo della portata laterale

(II) per il calcolo della portata alla base

Falda: a profondità di 7.7 m dal p.c. (+125.22 m s.l.m.).