

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



LINEA CATANIA - SIRACUSA

DIREZIONE TECNICA

U.O. OPERE GEOTECNICHE

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

Collegamento ferroviario con il Porto di Augusta

Fase 1

GEOTECNICA

Relazione per la valutazione della suscettibilità a liquefazione

SCALA:

-

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

RS62 00 R 11 RG GE0006 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato
A	Emissione esecutiva	PINI	Novembre 2022	L. Cosciotti	Novembre 2022	P. Carlesimo	Novembre 2022	L. Berardi Novembre 2022



File: RS6200R11RGGE0006002A.doc

n. Elab.:

1	INTRODUZIONE	3
1.1	Normativa e standard di riferimento	4
1.2	Bibliografia.....	4
1.3	Documenti di riferimento progettuali.....	5
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO/ GEOTECNICO DELL'AREA DI PROGETTO.....	6
2.1	Assetto geologico-strutturale regionale.....	6
2.2	Assetto geologico locale	7
2.2.1	Sintema di Lentini.....	7
2.2.2	Depositi continentali quaternari.....	7
2.2.3	Depositi marini e transazionali quaternari.....	9
2.3	Assetto strutturale	9
3	UNITÀ GEOTECNICHE	10
4	INQUADRAMENTO SISMICO	12
4.1	Azione sismica di riferimento per le verifiche a liquefazione.....	13
4.2	Vita nominale e periodo di riferimento	13
4.3	Stati limite, probabilità di superamento e periodi di ritorno.....	14
4.4	Effetti di sito.....	15
4.5	Stima della magnitudo di riferimento.....	16
5	ANALISI DI SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	18
5.1	Condizioni di esclusione dalla verifica a liquefazione previste dalla norma.....	19
5.2	Metodologia di valutazione della sicurezza a liquefazione.....	20
5.2.1	Valutazione delle condizioni di innesco della liquefazione	20
5.2.2	Valutazione del rischio associato alla liquefazione.....	21
5.2.3	Stima dei parametri CRR e CSR	21
5.3	Verifica delle condizioni di esclusione	23
5.3.1	Unità R – Coltri eluvio colluviali, depositi marini ed antropici	24
5.3.2	Unità UG1 – Sintema di Lentini.....	26
6	CONCLUSIONI	27

1 INTRODUZIONE

Si riportano di seguito le analisi sviluppate per verificare la sussistenza di condizioni di rischio a liquefazione per l'area interessata dall'infrastruttura in progetto.

Le valutazioni sono basate sui dati a disposizione e consistono in una sistematica verifica delle condizioni che permettono di escludere la possibilità d'innescio del fenomeno previste dalla normativa tecnica vigente. Nei casi in cui le condizioni di esclusione non risultassero verificate si procede alla stima dell'indice di potenziale liquefazione e alla definizione del livello di rischio associato, dando indicazione degli interventi di riduzione del livello di rischio.

	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE PER LA VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS62	00	R11RG	GE0006002	A	4 di 27

NORMATIVA, BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

1.1 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO

Si riporta di seguito l'elenco delle normative a cui si è fatto riferimento per la stesura della presente relazione:

- [1] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", G.U. n.29 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.30.
- [2] Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"
- [3] RFI DTC SI MA IFS 001 F del 2022- "MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI".
- [4] UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [5] UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- [6] AGI (1977) Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- [7] AGI (2005) Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee guida.

1.2 BIBLIOGRAFIA

- [8] Boulanger, R. W. and Idriss, I. M. (2004). State normalization of penetration resistances and the effect of overburden stress on liquefaction resistance, in Proceedings, 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, and 3rd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, D. Doolin et al., eds., Stallion Press, Vol. 2, pp. 484–91.
- [9] Idriss, I.M. and Boulanger, R.W. (2008), "Soil liquefaction during earthquakes", MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA.
- [10] Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Crowley H., Calvi G.M., Boschi E., 2011. Seismic Hazard Assessment (2003-2009) for the Italian Building Code. Bull. Seismol. Soc. Am. 101(4), 1885-1911. DOI: 10.1785/0120100130. (<https://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

1.3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO PROGETTUALI

- [11] Indagini Geognostiche: Sondaggi e prove in foro (Doc. RS6200R69SGGE0001001B)
- [12] Indagini Geognostiche: Prove di Laboratorio (Doc. RS6200R69PRGGE0001001B)
- [13] Indagini Geognostiche: Indagini Geofisiche (Doc. RS6200R69IGGE0001001A)
- [14] Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica (Doc. RS6200R69RGGE0001001B)
- [15] Carta geologico con elementi di geomorfologia e profilo geologico (Doc. RS6200R69L5GE0001001B)
- [16] Relazione geotecnica generale (Doc. RS6200R11RGGE0006001B)

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO/ GEOTECNICO DELL'AREA DI PROGETTO

2.1 ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE REGIONALE

L'area di studio ricade nel settore orientale della Sicilia, lungo il margine NE dei Monti Iblei. La zona di interesse si colloca a breve distanza dal litorale ionico e presenta una morfologia tipicamente basso-collinare, con ampie superficie terrazzate blandamente degradanti verso la costa. L'assetto geologico è caratterizzato dalla presenza di una spessa successione pelitica pleistocenica, su cui poggiano depositi di panchina tardo-pleistocenici e sedimenti marini, continentali e transizionali quaternari.

Il territorio siciliano presenta una conformazione geologica s.l. piuttosto articolata e complessa, strettamente legata ai differenti processi geodinamici e morfoevolutivi che si sono verificati nell'area durante il Quaternario (Lentini et al. 1991; Finetti et al. 1996; Monaco et al. 2000, 2002; Carbone 2011), quali l'attività vulcano-tettonica, le variazioni del livello marino e l'attività antropica.

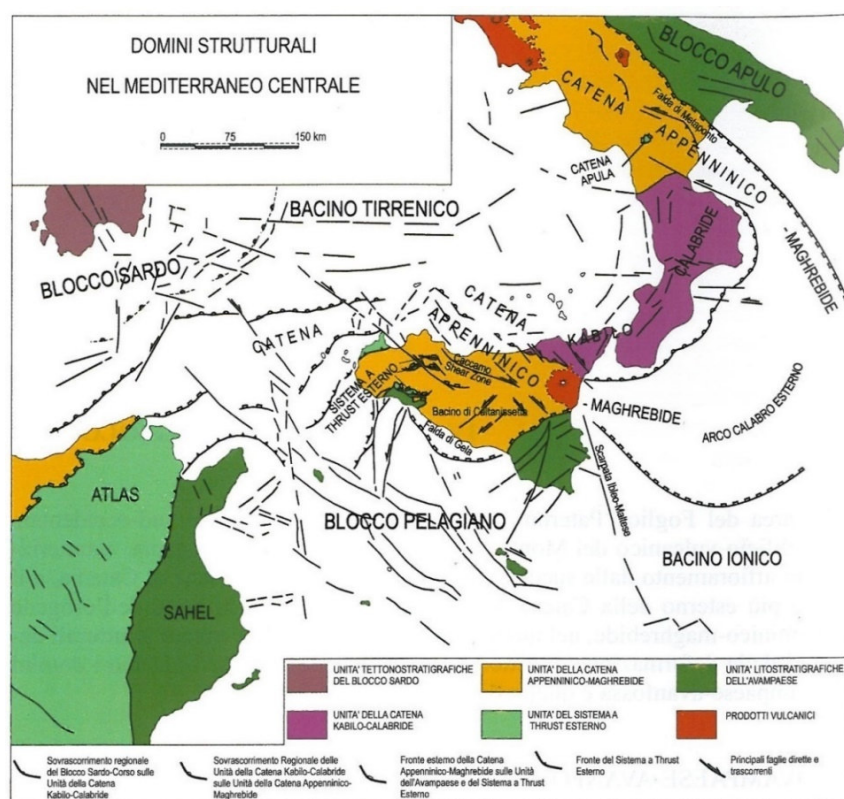


Figure 2-1 – Domini strutturali ed elementi tettonici nel Mediterraneo centrale (da Lentini et al. 1995, modificato).

2.2 ASSETTO GEOLOGICO LOCALE

Le analisi effettuate ed i rilievi di campo condotti hanno permesso di distinguere differenti unità geologiche, appartenenti alle sequenze sedimentarie di substrato e a successioni clastiche di copertura. In particolare, le perimetrazioni e le descrizioni geologico-strutturali delle unità individuate nell'area derivano da un'integrazione tra le informazioni riportate in letteratura ed i dati raccolti attraverso il rilevamento geologico di superficie e le numerose indagini geognostiche a disposizione.

Nei settori di stretto interesse progettuale sono state individuate e perimetrate le unità geologiche, descritte di seguito, dal basso verso l'alto stratigrafico. Si sottolinea che, seguendo i criteri definiti dal Servizio Geologico (Pasquaré et al. 1992), le successioni sono state suddivise utilizzando unità stratigrafiche convenzionali, talora ulteriormente suddivise in membri e litofacies caratterizzate da peculiari caratteristiche litologiche, sedimentologiche e stratigrafiche.

2.2.1 Sintema di Lentini

Il substrato geologico dell'intera area di studio è suddivisibile in due unità, il Sintema Lentini e il Sintema Augusta (Supersintema degli Iblei Settentrionali). Si tratta di successioni marine di piattaforma continentale e spiaggia, ampiamente affioranti in tutto il settore di intervento.

La successione in esame è formata da argille limose e argille limoso-marnose di colore grigio e grigio-azzurro, giallastre per alterazione (LEI2), massive o debolmente stratificate, con diffusi residui carboniosi, locali resti fossili e sottili livelli di sabbie e sabbie limose di colore giallastro; alla base dell'unità sono presenti lenti, spesse fino a 2 m, di sabbie e calcareniti ricche di molluschi, tra cui *Arctica islandica*; in superficie è localmente presente un paleosuolo bruno con rari resti di vertebrati.

2.2.2 Depositi continentali quaternari

2.2.2.1 Depositi alluvionali recenti

I presenti litotipi si rinvencono, in lembi di limitata estensione, in corrispondenza di due piccoli corsi d'acqua presenti nella porzione meridionale dell'area di studio, immediatamente a nord del Porto di Augusta. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine e piana inondabile, costituiti da una singola litofacies a composizione sabbioso-limosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sui depositi del Sintema Lentini e mostrano uno spessore massimo di circa 4 m. Dal punto di vista cronologico, l'unità è riferibile al periodo Olocene – Attuale.

L'unità è composta prevalentemente da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro (bb2), a struttura indistinta o debolmente laminata, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate; si rinvencono intercalazioni di argille limose grigie con abbondante materiale organico e lenti di ghiaie poligeniche in scarsa matrice sabbioso-limosa grigiastra.

2.2.2.2 Depositi alluvionali attuali

I depositi in esame affiorano unicamente in corrispondenza degli alvei attuali di piccoli corsi d'acqua presenti nella porzione meridionale della zona di intervento, in prossimità del Porto di Augusta. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale e argine, costituiti da una singola litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e presentano uno spessore massimo di circa 1 m. Sotto il profilo cronostatigrafico, l'unità è riferibile al periodo Olocene – Attuale.

Dal punto di vista litologico, l'unità è composta da ghiaie poligeniche ed eterometriche (ba1), da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante; si rinvencono frequenti passaggi di sabbie e sabbie limose di colore grigio e marrone, a struttura indistinta, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.

2.2.2.3 Coltri eluvio-colluviali

Tali terreni si rinvencono diffusamente come copertura delle unità geologiche di substrato, sia alla base dei rilievi presenti in prossimità della costa che all'interno delle principali depressioni impluviali. Si tratta di depositi continentali di versante, dilavamento e di alterazione del substrato, costituiti da una singola litofacies a composizione limoso-argilloso. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e sono caratterizzati da uno spessore massimo di circa 4 m. Anche questa unità è riferibile al periodo Olocene – Attuale.

L'unità è formata essenzialmente da limi argillosi e argille limoso-sabbiose di colore marrone, grigio e brunastro (b2), a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di limi sabbiosi e sabbie limose di colore marrone e giallastro, a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE PER LA VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS62	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006002	REV. A	FOGLIO 9 di 27

2.2.2.4 Riporti antropici

I presenti depositi si rinvencono diffusamente in corrispondenza delle principali strutture e infrastrutture antropiche, oltre che in tutta la zona del Porto di Augusta. Si tratta di depositi continentali di genesi antropica, costituiti da una singola litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e presentano uno spessore massimo di circa 9 m. L'unità è interamente riferibile al periodo Attuale.

In generale, i riporti sono composti da ghiaie poligeniche ed eterometriche (h), da angolose a sub-angolose, con locali frammenti di laterizi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, marrone e avana, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie e sabbie limose grigie, marroni e giallastre, a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e abbondanti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.

2.2.3 Depositi marini e transazionali quaternari

Depositi di spiaggia attuali si rinvencono nel settore sud-orientale dell'area di studio, in prossimità del litorale ionico. Si tratta di depositi marini di spiaggia e cordone litoraneo, costituiti da una singola litofacies a composizione sabbioso-limosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sui depositi del Sintema Lentini e sono caratterizzati da uno spessore massimo di circa 8 m. Dal punto di vista cronostatigrafico, i terreni in esame sono riferibili all'Olocene – Attuale.

L'unità è formata da sabbie medie e grossolane ben classate di colore giallo-biancastro (g2), in strati da molto sottili a medi, generalmente amalgamati, con locali intercalazioni di limi e sabbie fini; si rinvencono diffusi e discontinui lag conchigliari con abbondanti resti di *Tellina* sp., *Cardidae* e rari gasteropodi; talora sono presenti lenti e/o livelli di sabbie ghiaiose di colore biancastro.

2.3 ASSETTO STRUTTURALE

L'area di studio presenta quindi un assetto strutturale estremamente semplice e regolare, in quanto connesso a successioni marine e continentali piuttosto recenti. I termini pelitici del substrato, riferibili al Subsintema di Scordia (LEI2) mostrano un assetto prevalentemente sub-orizzontale o debolmente inclinato verso la costa. Solo nei settori esterni del Bacino di Augusta è possibile osservare un assetto blandamente immergente verso il depocentro, con angoli che comunque non superano quasi mai i 5-10° circa.

I depositi terrazzati del Sintema di Augusta (AUG) poggiano con una superficie fortemente erosiva sui depositi pelitici più antichi e presentano un assetto generalmente immergente verso la costa. Solo localmente è possibile osservare una debole inclinazione verso la zona centrale del Bacino di Augusta, con angoli generalmente inferiori a quelli del Subsintema di Scordia (LEI2).

In tutta l'area di interesse progettuale non sono stati osservati elementi tettonici quali faglie, thrust e pieghe. L'assenza di questi elementi è connessa sia alla presenza di diffuse coperture oloceniche, che tendono a mascherare le strutture più antiche, che all'età relativamente recente dei termini di substrato e alla natura prevalentemente pelitica degli stessi.

3 UNITÀ GEOTECNICHE

A partire dal modello geologico locale e sulla base dell'interpretazione dei risultati delle indagini disponibili, sono state le seguenti unità geotecniche di riferimento, rimandando alla Relazione Geotecnica Generale per i relativi approfondimenti [16].

Per l'individuazione delle unità geotecniche sono stati analizzati i dati stratigrafici corrispondenti alle verticali di sondaggio disponibili ed i risultati delle prove in sito e di laboratorio eseguite sui campioni estratti nei sondaggi indicati.

Tabella 1: Sintesi delle unità geotecniche individuate

Unità Geotecnica	Unità Geologica	Descrizione
R	h Riporti antropici	<i>Ghiaie poligeniche ed eterometriche (h), da angolose a sub-angolose, con locali frammenti di laterizi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, marrone e avana, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie e sabbie limose grigie, marroni e giallastre, a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e abbondanti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.</i>
	b2 Coltri eluvio-colluviali	<i>Limi argillosi e argille limoso-sabbiose di colore marrone, grigio e brunoastro (b2), a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di limi sabbiosi e sabbie limose di colore marrone e giallastro, a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate.</i>
	ba1 Depositi alluvionali attuali	<i>Ghiaie poligeniche ed eterometriche (ba1), da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante; si rinvencono frequenti passaggi di sabbie e sabbie limose di colore grigio e marrone, a struttura indistinta, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.</i>
	bb2 Depositi alluvionali recenti	<i>Sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro (bb2), a struttura indistinta o debolmente laminata, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate; si rinvencono intercalazioni di argille limose grigie con abbondante materiale organico e lenti di ghiaie poligeniche in scarsa matrice sabbioso-limosa grigiastrea.</i>

Unità Geotecnica	Unità Geologica	Descrizione
	g2 Depositi di spiaggia attuali	<i>Sabbie medie e grossolane ben classate di colore giallo-biancastro (g2), in strati da molto sottili a medi, generalmente amalgamati, con locali intercalazioni di limi e sabbie fini; si rinvengono diffusi e discontinui lag conchigliari con abbondanti resti di Tellina sp., Cardidae e rari gasteropodi; talora sono presenti lenti e/o livelli di sabbie ghiaiose di colore biancastro.</i>
	gn2/gn3 Depositi marini terrazzati	<i>Depositi marini di spiaggia, laguna e cordone litoraneo composto da due distinte litofacies:</i> - gn2, litofacies composta da sabbie e sabbie limose massive disposte in strati da molto sottili a medi, con locali intercalazioni di ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate e sabbie limoso-argillose ed argille limose; - gn3, argille limose e argille sabbiose con locali ghiaie e ciottoli poligenici da sub-angolosi ad arrotondati; si rinvengono intercalazioni di sabbie, sabbie limose, sabbie limoso-argillose.
UG1	LEI2 Sintema di Lentini	<i>La successione in esame è formata da argille limose e argille limoso-marnose di colore grigio e grigio-azzurro, giallastre per alterazione (LEI2), massive o debolmente stratificate, con diffusi residui carboniosi, locali resti fossili e sottili livelli di sabbie e sabbie limose di colore giallastro; alla base dell'unità sono presenti lenti, spesse fino a 2 m, di sabbie e calcareniti ricche di molluschi, tra cui Arctica islandica; in superficie è localmente presente un paleosuolo bruno con rari resti di vertebrati.</i>

In base alla descrizione geologica, le porzioni in falda delle unità delle coltri eluvio colluviali, i depositi alluvionali recenti, i depositi di spiaggia ed i depositi marini terrazzati, limitatamente alla facies sabbiosa gn2, che compongono l'unità geotecnica R, si mostrano potenzialmente suscettibili alla liquefazione.

4 INQUADRAMENTO SISMICO

Richiamando quanto già riportato nella Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrogeologica e Sismica [14], nel presente paragrafo vengono riassunti gli aspetti principali relativi alla sismicità dell'area oggetto di studio.

L'azione sismica è definita in accordo con la normativa tecnica vigente (NTC 2018 [1]), a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, espressa in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sottosuolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

La definizione dell'azione sismica include le ordinate dello spettro di risposta elastico di accelerazione $S_e(T)$ corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R per la vita utile della struttura.

In sintesi, la forma degli spettri di risposta di progetto (considerati su sottosuolo rigido di riferimento) è definita dai seguenti parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima per sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- 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.

Nei paragrafi seguenti verrà definita la vita di riferimento dell'opera (V_R), in base alla classificazione delle parti d'opere in progetto. Successivamente, verranno definiti gli stati limite di interesse per la verifica strutturale, arrivando a definire i periodi di ritorno (T_R) corrispondenti dell'azione sismica da considerare, determinata a sua volta per condizioni di suolo rigido ed a livello del piano campagna in corrispondenza di alcuni punti di interesse.

Attualmente, la pericolosità sismica è stimata con una precisione maggiore e, di fatto, le variazioni tra le caratteristiche sismiche di aree adiacenti sono continue e graduali. Successivamente verrà mantenuta, infatti, la classificazione secondo la quale il territorio nazionale è suddivisibile in quattro differenti classi sismiche, ma a scopo esclusivamente amministrativo.

4.1 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO PER LE VERIFICHE A LIQUEFAZIONE

4.2 VITA NOMINALE E PERIODO DI RIFERIMENTO

La Vita Nominale V_N di un'opera, intesa come il periodo temporale entro cui l'opera stessa può essere usata per lo scopo al quale è destinata purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così definita dalle NTC2018:

- $V_N \leq 10$ anni, per opere provvisorie e opere provvisionali;
- $V_N \geq 50$ anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale;
- $V_N \geq 100$ anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

Nel caso in esame, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è stato assunto in sede progettuale:

$$V_N = 75 \text{ anni}$$

Le opere sono suddivise dalle NTC2018 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita sulla base dell'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. In particolare, le classi d'uso sono così definite:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. Per le quali si ha un coefficiente d'uso $C_U = 0.7$.
- Classe II: ... *omissis* ... Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza ... *omissis* Per le quali $C_U = 1.0$.
- Classe III: ... *omissis* ... Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso IV, e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza ... *omissis* ... Per le quali $C_U = 1.5$.
- Classe IV: ... *omissis* ... Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, 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

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE PER LA VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS62	00	R11RG	GE0006002	A	14 di 27

A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico ... omissis ... Per le quali $C_U = 2$.

Nel caso in esame si assume:

Classe d'uso II ($C_U = 1$)

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

$$V_R = V_N \times C_U = 75 \times 1 = 75 \text{ anni}$$

4.3 STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODI DI RITORNO

L'azione sismica di progetto deve essere determinata in funzione della probabilità di superamento P_{VR} dipendente dagli Stati Limite di verifica e correlata a periodo di ritorno (T_R) e periodo di riferimento (V_R) attraverso la seguente formulazione

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

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 rigidezza nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontale. Ad esso è associata una probabilità di superamento $P_{VR}=10\%$;
- 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. Ad SLC è associata una $P_{VR}=5\%$.

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 ($P_{VR}=81\%$);
- Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo ($P_{VR}=63\%$).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE PER LA VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS62	00	R11RG	GE0006002	A	15 di 27

Considerando il periodo di riferimento assunto ($V_R=75$ anni), ai quattro stati limite sopra descritti corrispondono i tempi di ritorno T_R riportati in Tabella:

Tabella 2: Periodi di ritorno per l'azione sismica, per i diversi stati limite ($V_R = 75$ anni).

STATO LIMITE	T_R [anni]
SLO	45
SLD	75
SLV	712
SLC	1462

4.4 EFFETTI DI SITO

Per i fini del presente studio, gli effetti di amplificazione stratigrafica e topografica sono stati valutati sulla base dell'approccio semplificato fornito dalle NTC2018, le quali definiscono un fattore di sito S di amplificazione sismica come funzione sia della categoria di sottosuolo (S_S), sia dell'andamento della superficie topografica (attraverso il coefficiente S_T):

$$S = S_S \cdot S_T$$

In particolare, il sottosuolo viene categorizzato a fini sismici in base alla velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ (in m/s) definita come:

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

dove:

- h_i = spessore dell' i -esimo strato;
- $V_{S,i}$ = valore di velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;
- N = numero di strati;
- H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da $V_s > 800$ m/s.

Per il sito in esame, si dispone dei risultati di 3 prove sismiche di superficie tipo MASW e 2 in foro tipo Down-Hole che forniscono valori di $V_{S,eq}$ riportati nella tabella seguente.

	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE PER LA VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS62	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006002	REV. A	FOGLIO 16 di 27

Tabella 3: Risultati prove sismiche e categoria di sottosuolo

Prova	$V_{s,eq}$ [m/s]	Categoria sismica di suolo
MASW 1	196	C
MASW 2	193	C
MASW 3	219	C
BH13-DH	178	C
BH14-DH	229	C

L'area di progetto non presenta rilievi con pendenza maggiore di 15° ed è stato classificato in categoria T1 ($S_T = 1$) [14].

Il fattore di amplificazione $S = S_S \cdot S_T$ e l'accelerazione massima in superficie $a_{max} = S \cdot a_g$ associati allo SLV sono riportati in tabella:

Tabella 4 Valori di a_g , F_0 , T_c^* per ogni Stato Limite considerato

Stato limite	P_{VR}	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)
SLV	10%	712	0.284	2.31	0.45

Tabella 5 Valori dei coefficienti di sito S e dell'accelerazione di massima in superficie

CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO	S	C_c	a_{max} (g)
C	1,306	1,370	0,371

4.5 STIMA DELLA MAGNITUDO DI RIFERIMENTO

La magnitudo massima di riferimento per le valutazioni sulla liquefacibilità delle formazioni suscettibili presenti nell'area di progetto può essere stimata a partire dai risultati dall'analisi di disaggregazione della pericolosità sismica, sviluppata dall'Istituto di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e resa disponibile via web per l'intero territorio nazionale.

La disaggregazione fornisce le coppie magnitudo-distanza epicentrale caratteristiche degli eventi che concorrono a definire l'intervallo di accelerazione massima al substrato rigido di base (indicata

nelle mappe di pericolosità con l'acronimo PGA) per una data probabilità di superamento, indicandone il contributo percentuale alla pericolosità (vedi immagine seguente).

Per le verifiche di sicurezza nei confronti della liquefazione si fa riferimento allo stato limite di salvaguardia della vita umana (SLV), che, nel caso specifico, è associato ad una probabilità di superamento $P_{VR} = 10\%$ in una vita di riferimento $V_R = 75$ anni, corrispondente ad un periodo di ricorrenza $T_R = 712$ anni

La carta di pericolosità sismica del territorio nazionale (modello MPS04, [10]) indica gli intervalli di PGA associati a pericolosità di superamento comprese tra 2 e 81% ma in un intervallo temporale di 50 anni. Tramite la correlazione tra T_R , V_R e P_{VR} mostrata in precedenza, si ricava il valore di P_{VR} a cui corrisponde un periodo di ricorrenza in 50anni immediatamente maggiore di quello associato allo stato limite di verifica (SLV). Nel caso specifico si farà riferimento ai risultati dell'analisi di disaggregazione di PGA per una probabilità del 5% in 50anni ($T_R = 975$ anni).

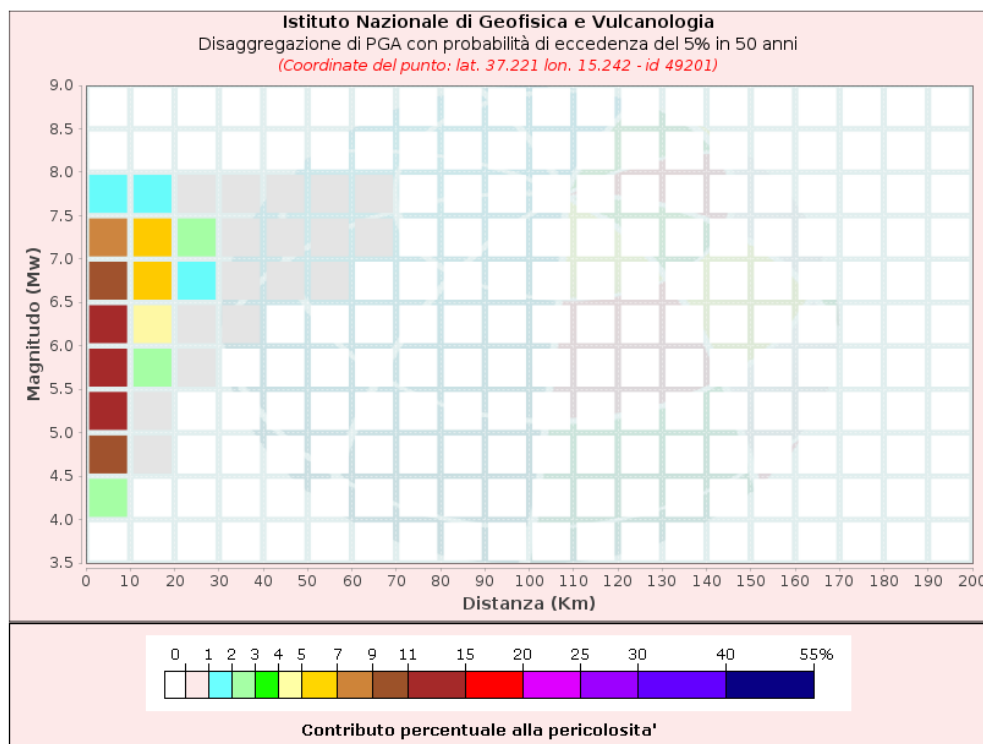


Figure 4-1 – Disaggregazione della pericolosità sismica in PGA per il sito in esame, relativa ad una probabilità di eccedenza del 5% in 50anni

I valori di magnitudo associati ai massimi contributi percentuali sono compresi tra 5.5 e 6.5 (7.0).

	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE PER LA VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS62	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006002	REV. A	FOGLIO 18 di 27

A scopo cautelativo, per la stima del rischio a liquefazione associato alle formazioni che non verificano le condizioni di esclusione di norma, si assumerà il valore **M = 6.5**.

5 ANALISI DI SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Il termine liquefazione comprende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi con prevalenza della frazione sabbiosa, a causa di sovrappressioni interstiziali innescate da sollecitazioni da azioni cicliche dinamiche. L'avvenuta liquefazione si manifesta, in presenza di manufatti, attraverso la perdita di capacità ultima e/o lo sviluppo di elevati cedimenti e rotazioni nella fase di consolidazione post sisma.

La normativa tecnica vigente (NTC 2018, paragrafo 7.11.3.4.1) stabilisce che:

“Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.”

Allo scopo di accertare la stabilità del sito di progetto rispetto alla liquefazione, è stata condotta una valutazione di suscettibilità in base ai dati a disposizione e tenendo in conto delle condizioni di esclusione da ulteriori verifiche indicate nel dettaglio al paragrafo 7.11.3.4.2 della normativa tecnica (NTC 2018).

Il fenomeno della liquefazione è profondamente influenzato dalla magnitudo dell'evento sismico atteso, in superficie, dallo stato del deposito (in termini di densità relativa, D_r) e dalla composizione granulometrica del terreno. Un terreno a grana grossa, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto alla liquefazione quanto minore è il suo stato di addensamento. Il rischio di liquefazione aumenta al crescere della sollecitazione ciclica indotta dal sisma, che dipende dalla magnitudo.

Il problema principale che si pone in fase di progettazione è valutare la stabilità del sito di progetto rispetto alla liquefazione quando il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa.

5.1 CONDIZIONI DI ESCLUSIONE DALLA VERIFICA A LIQUEFAZIONE PREVISTE DALLA NORMA

Le NTC 2018 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 (cfr. a_{max}) 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 $(N1)_{60,cs} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche SPT normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche CPT, normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve rappresentate in Figura 16 (coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$) e Figura 17 (coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$).

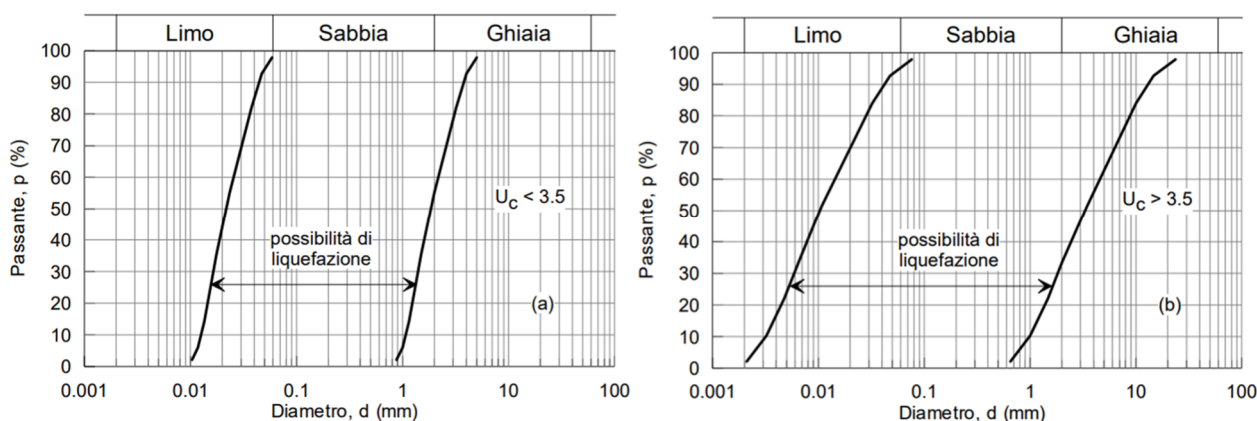


Figure 5-1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per $U_c < 3.5$ e $U_c > 3.5$.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA					
RELAZIONE PER LA VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE	COMMESSA RS62	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006002	REV. A	FOGLIO 20 di 27

5.2 METODOLOGIA DI VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA A LIQUEFAZIONE

Se le condizioni di norma non sono verificate si procede alla verifica delle condizioni d'innescò della liquefazione, e in caso affermativo, alla valutazione del rischio associato.

5.2.1 Valutazione delle condizioni di innescò della liquefazione

La possibilità di innescò della liquefazione al livello del singolo strato suscettibile è valutabile calcolando il fattore di sicurezza a liquefazione, dato dal rapporto:

$$FSL = CRR / CSR$$

in cui:

- CRR è il rapporto di resistenza ciclica
- CSR è il rapporto di tensione ciclica

e verificando che sia

$$FSL \geq 1.25.$$

Il valore di soglia si basa sulle indicazioni dell'eurocodice EC8.

La NTC2018, infatti, non specifica un valore limite di FSL, assumendo, al paragrafo 7.11.3.4.3, che "l'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista".

Esiste, invece, un'indicazione generale fornita dall' EC8, che definisce liquefacibile un terreno in cui la sollecitazione di taglio ciclico attesa superi l'80% del valore che ha indotto la liquefazione durante i terremoti passati. Questa nota è traducibile nella condizione:

$$CSR > 0.80 CRR$$

considerando che la resistenza a taglio ciclica (CRR) sia calcolata sulla base di formulazioni derivanti dall'elaborazione delle esperienze pregresse, legate alle evidenze sismologiche dell'area di analisi. In base a questa assunzione la condizione di innescò è:

$$FSL \geq 1.25.$$

Considerata l'approssimazione insita nella definizione dei parametri caratteristici del sisma atteso incluso il valore di magnitudo di progetto, si preferisce, a vantaggio di sicurezza, attenersi alle indicazioni dell'EC8, valutando caso per caso la possibilità di assumere un margine di sicurezza meno stringente, come indicato da NTC2008.

5.2.2 Valutazione del rischio associato alla liquefazione

La valutazione del rischio associato alla liquefazione di un deposito suscettibile si esegue stimando l'indice di potenziale liquefazione (IPL) dato dalla seguente funzione integrale (Iwasaki, 1978):

$$\int_0^{z_{crit.}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

in cui:

- $F(z) = 0$ per $FSL > 1$
- $F(z) = 1 - FSL$ per $FSL < 1$
- $w(z) = 10 - 10 \cdot (z / z_{crit.})$, con $z_{crit.} = 15 \div 20m$ (profondità oltre la quale si possono escludere gli effetti della liquefazione, da dati di letteratura).

L'indice di potenziale liquefazione è associato agli effetti della liquefazione sull'intero sottosuolo coinvolto dal fenomeno. L'innescò della liquefazione al livello del singolo strato, infatti, non implica che le conseguenze in superficie siano tali da configurare condizioni di rischio elevato.

Il livello di rischio associato alla liquefazione è definito come in tabella:

Valore di IPL	Rischio
0	Molto basso
0 – 5	Basso
5 – 15	Alto
>15	Molto alto

5.2.3 Stima dei parametri CRR e CSR

La sollecitazione ciclica equivalente prodotta dal sisma è data dal **rapporto di tensione ciclica, CSR**, e può essere stimata, ad una determinata profondità, attraverso la relazione semplificata di Seed e Idriss (1971):

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{a_{max,s}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$

dove:

- $a_{max,s}$ è l'accelerazione orizzontale massima attesa in superficie;
- σ_v e σ'_v sono rispettivamente la tensione verticale totale e la tensione verticale efficace alla profondità considerata;

- r_d è un coefficiente riduttivo che tiene conto della deformabilità del sottosuolo e permette di definire la variazione dell'azione sismica con la profondità dal piano campagna e si può ricavare, per profondità non superiori a 20m, mediante l'espressione di Idriss e Boulanger (2004):

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M]$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$

dove:

- z è la profondità dal piano campagna;
- M magnitudo momento dell'evento sismico atteso.

La formula è convenzionalmente riferita ad eventi di magnitudo $M = 7.5$; per eventi di magnitudo $M \leq 7.5$ è necessario moltiplicare il fattore di conversione, MFS (Magnitude Scale Factor) definito dalla seguente correlazione empirica (Idriss e Boulanger, 2004):

$$MSF = 6.9 \cdot \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0.058 \leq 1.8$$

Il **rapporto di resistenza ciclica, CRR**, quantifica la resistenza disponibile, normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace agente alla profondità esaminata:

$$CRR = \frac{\tau_l}{\sigma'_{v0}}$$

e può essere valutato mediante correlazioni empiriche con la resistenza penetrometrica misurata in prova dinamica (SPT) o statica (CPTU).

I metodi per la valutazione del CRR dai risultati di prove in sito sono applicabili nel caso di piano campagna sub-orizzontale e stati tensionali efficaci ridotti. Tuttavia, anche in assenza di tali condizioni, è possibile ottenere una stima approssimata attraverso l'introduzione di opportuni fattori correttivi.

Per la valutazione del CRR dai valori di resistenza in prova penetrometrica dinamica SPT, il valore della resistenza penetrometrica corretta deve essere ricondotto ad un valore equivalente per sabbie pulite, secondo la formula:

$$(N_1)_{60CS} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60}$$

in cui $\Delta(N_1)_{60}$ è stimato con la relazione di Idriss e Boulanger (2004):

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left(1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left(\frac{15.7}{FC + 0.01}\right)^2\right)$$

Il parametro FC è la frazione granulometrica passante al vaglio N.200 (0.074mm) espressa in percentuale e valutata sulla base delle analisi granulometriche condotte sul materiale estratto dai campioni indisturbati e rimaneggiati disponibili.

Il valore $(N_1)_{60CS}$, (resistenza penetrometrica per sabbia pulita) permette di calcolare il CRR mediante la correlazione seguente:

$$CRR = \exp \left[\frac{(N_1)_{60CS}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{126} \right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{23.6} \right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{25.4} \right)^4 - 2.8 \right]$$

rappresentata graficamente in figura.

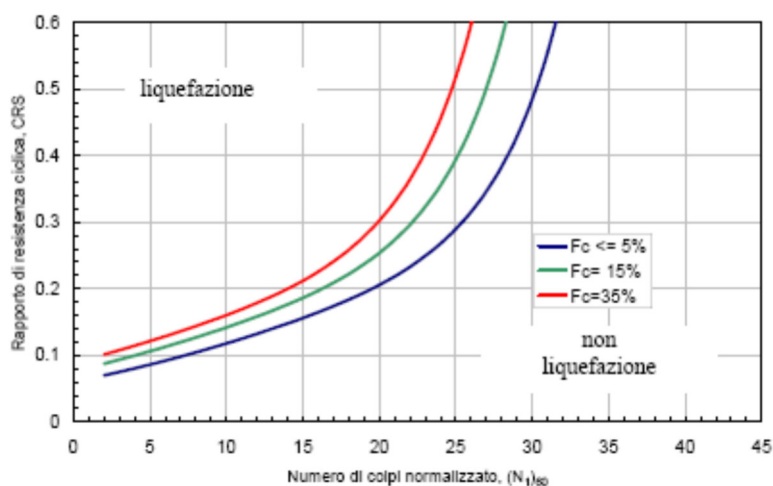


Figura 5-1: Curve per il calcolo del rapporto di resistenza ciclica CRR dai risultati di prove SPT

5.3 VERIFICA DELLE CONDIZIONI DI ESCLUSIONE

La verifica a liquefazione consiste nell'analisi delle condizioni di esclusione definite dalla norma e, in caso di esito negativo, nel calcolo dell'indice di potenziale liquefazione e del livello di rischio ad esso associato.

Nel caso specifico si può assumere che i punti 1 e 2 indicati dalla norma non sono mai verificati, essendo la falda di progetto a profondità comprese tra 1.5 e 7.0m dal pc e l'accelerazione massima attesa in superficie pari a 0.371g.

Si procede quindi a verificare le restanti condizioni di esclusione.

5.3.1 Unità R – Coltri eluvio colluviali, depositi marini ed antropici

L'unità geotecnica R raggruppa le formazioni superficiali dei depositi eterogenei di origine alluvionale, marina ed antropica. Le curve granulometriche dei pochi campioni disponibili sono riportate di seguito e confrontate con i limiti di possibile liquefazione definiti dalla norma.

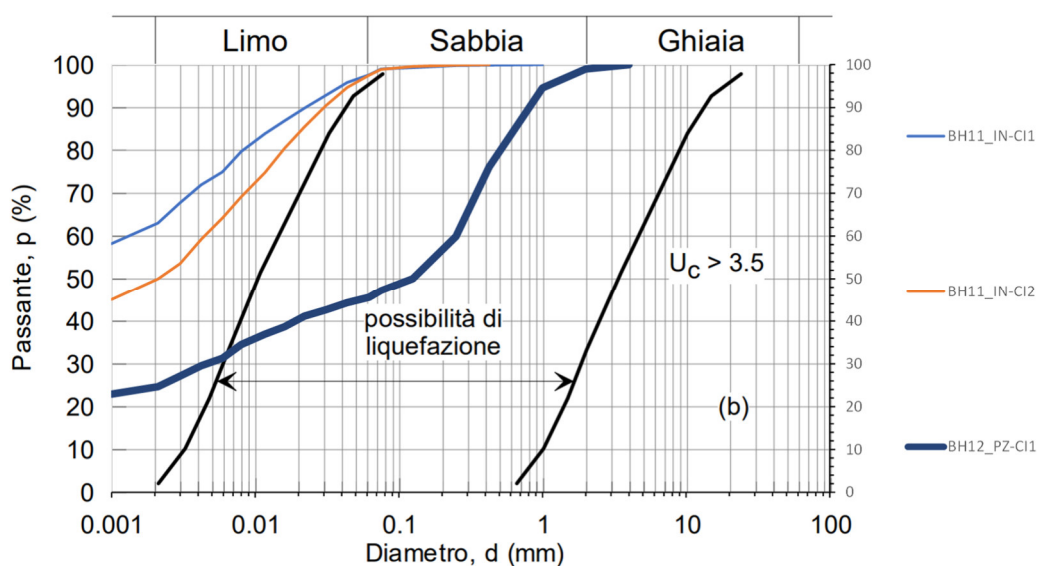


Figure 5-2 – Confronto tra le curve granulometriche dei campioni prelevati nell'unità geotecnica R ed i limiti di esclusione di norma.

Si osserva che in base alla condizione 4 di norma solo il campione CI1, prelevato nel sondaggio BH12 a profondità di circa 1.65m dalla quota di bocca foro, mostra una curva granulometrica compresa nei limiti di liquefacibilità. Nonostante il terreno identificato come potenzialmente liquefacibile si trovi al disopra del livello di falda, si ritiene opportuno procedere comunque con gli approfondimenti basati sulla definizione dell'IPL, tenendo conto di possibili oscillazioni del livello di falda non riscontrate nel periodo di osservazione.

I risultati della verifica basata sui valori disponibili di resistenza penetrometrica SPT, sono riportati di seguito:

Sondaggio	Profondità di prova	Unità geotecnica	Numero di colpi/30cm	Soggecienza di falda	Peso naturale	Tensione vert. Litostatica	Numero di coli corretto	Spessore dello strato di riferimento		Numero di colpi corretto	Pressione vert totale	Accelerazione max in superficie	Magnitudo momento	Coeff. di variazione delle tensioni con la prof.tà	Rapporto di sollecitazione ciclica	Passante al 0,0075mm	Numero di colpi corretto, per sabbia pulita	Rapporto di resistenza ciclica corretto per FC	Fattore di correzione per magnitudo M< 7,5	Fattore di sicurezza a liquefazione	Esito dell'analisi	Indice di Potenziale Liquefazione (Iwasaki, 1978)	Livello di rischio associato
	z	UG	N _{spt}	ZW	γ _n	σ _{vo}	(N ₁) ₆₀	dz	m	(N ₁) ₆₀	σ _{vo}	a _{max} /g	M	r _d	CSR	FC	(N ₁) _{60,cs}	CRR _{7,5}	MSF	FL		IPL	RISCHIO
	[m]			[m]	[kN/m ³]	[kN/m ²]		[m]			[kN/m ²]					[%]							
BH11_IN	2.7	R	8	4.8	18.0	49	8	3.0	0.595	8.0	49.1	0.371	6.5	0.971	Fuori falda	25	15.3	Fuori falda	1.30	Fuori falda	Fuori falda	-	-
BH11_IN	5.2	R	10	4.8	18.0	90	10	3.0	0.604	10.0	94.1	0.371	6.5	0.928	0.2	25	17.3	0.166	1.30	1.0	Liquefacibile	0.5	BASSO
BH12_PZ	2.7	R	20	5.3	19.0	51.8	20	3.0	0.491	20.0	51.8	0.371	6.5	0.971	Fuori falda	25	27.3	Fuori falda	1.30	Fuori falda	Fuori falda	-	-

La verifica analitica individua una condizione di potenziale liquefacibilità per la porzione sotto falda dell'unità R, in corrispondenza del sondaggio BH11, a cui si associa un livello di rischio basso.

La limitata quantità di dati disponibili, e le incertezze sul livello di falda, non consentono di definire con certezza lo spessore e l'estensione dello strato liquefacibile all'interno dell'unità R.

La specifica prova SPT, infatti, risulta essere stata eseguita all'interno della formazione geologica gn3, composta da argille limose e argille sabbiose con intercalazioni di sabbie. Il valore N_{SPT} = 10colpi/30cm, in corrispondenza del quale si individua la potenziale liquefacibilità, è probabilmente associato ad una lente di limitato spessore all'interno della formazione in esame.

Inoltre, l'indice di potenziale liquefazione associato allo specifico valore del numero di colpi rappresenta l'integrazione della condizione critica su uno spessore teorico di 3.0m, che è l'interasse di esecuzione delle prove SPT.

Per avere un quadro di dettaglio dell'estensione e dello spessore degli strati potenzialmente liquefacibili, sviluppare una valutazione di dettaglio del livello di rischio associato, si ritiene necessario integrare il livello conoscitivo attuale con ulteriori sondaggi o prove eseguite in sito.

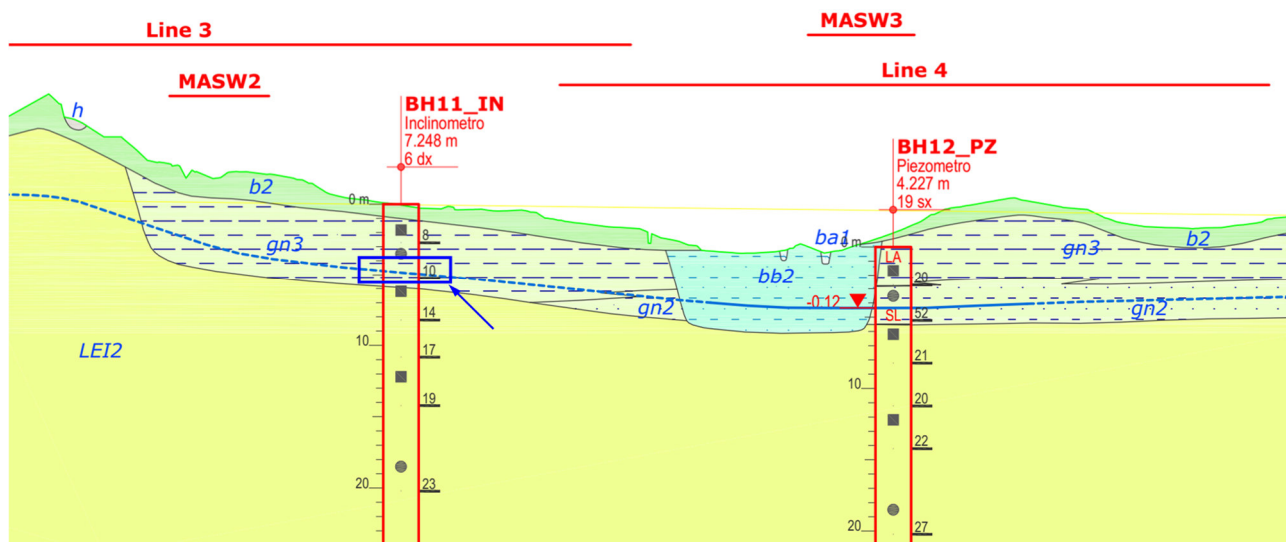
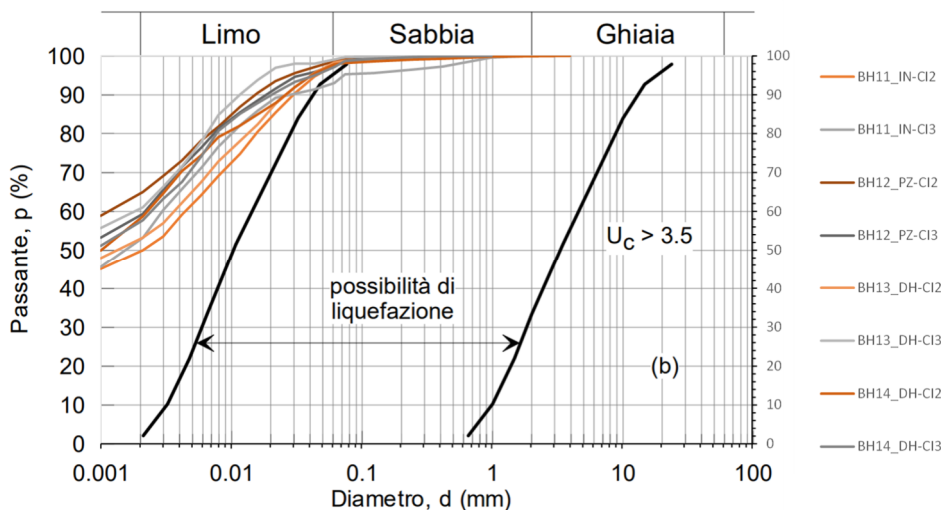


Figure 5-3 – Stralcio del profilo geologico con indicazione della prova SPT che indica la potenziale liquefacibilità

5.3.2 Unità UG1 – Sintema di Lentini

Per la verifica della condizione di esclusione n.4 prevista dalla norma si dispone, in questo caso, di n.8 campioni prelevati a diverse profondità, sotto falda.

Le curve granulometriche dei campioni disponibili sono riportate di seguito, confrontate coi limiti di possibile liquefazione definiti dalla norma.



Le curve risultano esterne ai limiti di norma, per cui si esclude la necessità di ulteriori verifiche per l'unità UG1.

6 Conclusioni

Le valutazioni di rischio connesso alla liquefazione per l'area in esame, condotte sulla base dei dati disponibili, considerando il livello di falda di progetto individuato al livello conoscitivo attuale, non evidenziano condizioni di rischio elevato.

Attese le incertezze sul livello di falda e considerato il numero e la distribuzione dei dati disponibili per le valutazioni di sicurezza, si ritengono necessari ulteriori approfondimenti basati su prove integrative in grado di fornire maggiori dettagli in merito alla localizzazione di lenti o strati potenzialmente liquefacibili.