



COMUNE DI CETRARO



MESSA IN SICUREZZA BACINO E MIGLIORAMENTO FUNZIONALITÀ AREA PORTUALE

Progetto Esecutivo

A – ELABORATI GENERALI E STUDI SPECIALISTICI

A.03

RELAZIONE SISMICA

Data:

06-05-2022

Scala:

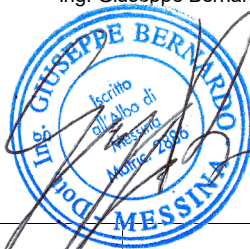
PROGETTAZIONE:



Architetto
MICHELE GONINO
Geologo
CATERINA CUCINOTTA

PROJECT MANAGER

ing. Giuseppe Bernardo



PROGETTISTA

ing. Giuseppe Bernardo
arch. Michele Gonino
ing. Massimo Tondello
ing. Pasquale Filicetti
ing. Gianfranco Crudo

GEOLOGO

geol. Caterina Cucinotta

GRUPPO DI LAVORO

ing. Giuseppe Cutrupi
ing. Roberta Chiara De Clario
ing. Simone Fiumara
arch. Francesca Gangemi
arch. Emanuela Panarello
ing. Silvia Beriotto
ing. Nicola Sguotti

REVISIONI	Rev. n°	Data	Motivazione

R.U.P.

Visti/Approvazioni

ing. F. Antonuccio

Codice elaborato:

DNC120_PE_A.03_2022-05-01_R0_Rel sismica_CTR.docx

INDICE

1	PREMESSA	4
2	MODELLO GEOTECNICO DI SOTTOSUOLO	5
2.1	<i>CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA, PENETROMETRICA E SISMICA LOCALE</i>	5
2.2	<i>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA</i>	7
3	VALORI CARATTERISTICI DELL'AZIONE SISMICA	9
4	SUCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	11
4.1	<i>ESCLUSIONE DELLA VERIFICA A LIQUEFAZIONE</i>	11
4.2	<i>VERIFICA A LIQUEFAZIONE DEI TERRENI IN CONDIZIONI SISMICHE</i>	12

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2-1 Profilo stratigrafico AREA PORTUALE	5
Figura 2-2 Profilo penetrometrico AREA PORTUALE	6
Figura 2-3 Profilo stratigrafico AREA SVINCOLO	7
Figura 2-4 Profilo e parametri geotecnici di riferimento	8
Figura 2-5 Parametri geotecnici di riferimento	8
Figura 3-1 Parametri sismici	9
Figura 4-1 Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione - Rif. Fig. 7.11.1 D.M. 17/01/2018	12
Figura 4-3 Magnitudo massima attesa nella zona sismogenetica in oggetto	14

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1-1 – Prove in sito eseguite	4
Tabella 4-1 Verifica a liquefazione – AREA PORTUALE	15

1 PREMESSA

La presente Relazione Sismica nell'ambito del Progetto Esecutivo dei lavori di "Messa in sicurezza bacino e miglioramento funzionalità area portuale" nel Comune di Cetraro (CUP I37D18000000002 – CIG 74230541F2), riporta lo studio sulla pericolosità sismica di base e sulla risposta sismica locale.

L'area oggetto di intervento è collocata nella Regione Calabria in Provincia di Cosenza, individuabile geograficamente attraverso le seguenti coordinate WGS84-G:

- Longitudine 15,942042
- Latitudine 39,517634

Il progetto si riferisce ad una serie di interventi all'interno dell'area portuale per la riqualificazione dell'infrastruttura, nonché nella realizzazione di uno svincolo stradale a servizio del porto. Per la descrizione dettagliata degli interventi di progetto si rimanda all'elaborato A.01 "Relazione generale".

Lo Studio Geologico dell'area oggetto di intervento è stato redatto dal Dott. Geol. Caterina Cucinotta. Tale studio si propone lo scopo di ricostruire gli aspetti geologico-strutturali dell'ambito d'interesse, nonché le caratteristiche stratigrafiche e fisico-meccaniche dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area, il tutto al fine di individuare un modello geologico-tecnico da porre a base della progettazione.

Nella fattispecie, lo studio si basa sui risultati ottenuti durante la campagna di indagine costituita da:

Tabella 1-1 – Prove in sito eseguite

Tipo di prova/sigla	Tipo di prova/descrizione	Quantità eseguita
S	Sondaggio : perforazione a carotaggio continuo	n° 3 (m 15+16+20)
SPT	Prove penetrometriche dinamiche discontinue	n° 10
DPSH o SCPT	Prove penetrometriche dinamiche continue	n° 2 (m 5,40 + 20,70)
D-H	Prove sismiche in foro (Down-Hole)	n° 2 (m 12 + 20)
C	Prelievo campione a disturbo limitato/disturbato	n° 6
HV	Prove di acquisizione rumore sismico	n° 9

In particolare, dei tre Sondaggi a Carotaggio Continuo due (S1 e S2) sono stati eseguiti nell'area portuale, rispettivamente a -15,00 m e a -20,00 m da p.d.c., mentre il sondaggio S3 è stato eseguito nell'area dello svincolo stradale a -20,00 m dal p.d.c.

Inoltre, nel corso delle prove, sono stati prelevati n°54 campioni (n°6 prelevati nei sondaggi S1 e S2 e n°48 prelevati nei tratti di spiaggia emersa e sommersa) sui quali sono state eseguite prove geotecniche di laboratorio.

I risultati delle indagini condotte hanno permesso la caratterizzazione stratigrafica e la ricostruzione di due profili geotecnici, uno per l'area portuale e uno per l'area dello svincolo stradale, in funzione del comportamento fisico-meccanico dei materiali costituenti il sottosuolo

2 MODELLO GEOTECNICO DI SOTTOSUOLO

2.1 Caratterizzazione stratigrafica, penetrometrica e sismica locale

La caratterizzazione stratigrafica della porzione di sottosuolo di interesse ingegneristico ("volume geotecnico significativo"), nel caso in esame circoscritto fino alla profondità di circa 15 – 20 m dal piano-campagna come riportato nell'elaborato B.03 "Relazione geologica", è stata ricostruita sulla base dei sondaggi geognostici (profilo lito-stratigrafico) e delle prove in sito e di laboratorio, attraverso la definizione di un profilo penetrometrico (prove SPT e SCPT), di un profilo sismico (prove D-H) e di un profilo granulometrico (analisi granulometriche).

AREA PORTUALE

I profili lito-stratigrafici, almeno fino a 20 m da p.c., interessano i depositi costieri recenti senza raggiungere il substrato. Tali depositi, con riferimento alla prevalenza dell'una o dell'altra frazione granulometrica, sono stati distinti in sabbie e ghiaie.

Nell'immagine seguente è riportato il profilo stratigrafico relativo all'area portuale, in cui:

- R indica il materiale di riempimento;
- S indica la sabbia prevalente da media a fine;
- G indica la ghiaia prevalente e/o sabbia grossolana con ciottoli.

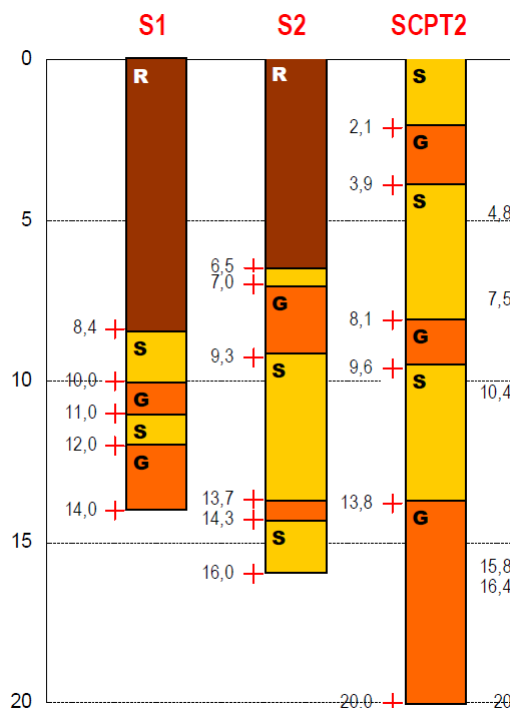


Figura 2-1 Profilo stratigrafico AREA PORTUALE

Il profilo penetrometrico è stato ricostruito attraverso la curva di tendenza esponenziale

$$N_{60} = 8.694 * \text{EXP}(0.113 * z)$$

In cui:

- z è la profondità
- N_{60} sono i valori che derivano dai risultati delle prove SPT e CPT.

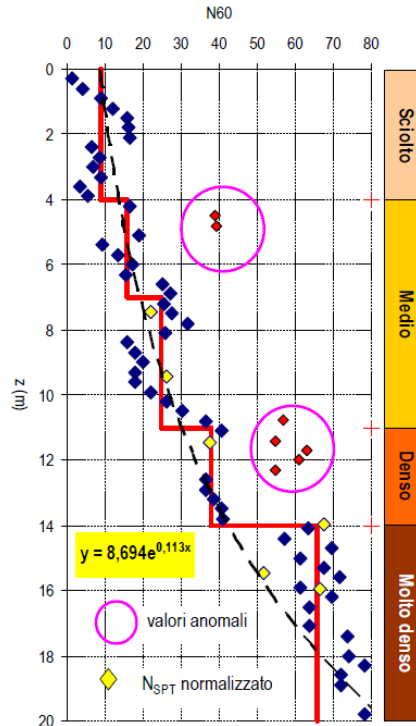


Figura 2-2 Profilo penetrometrico AREA PORTUALE

Il profilo sismico presenta un andamento di V_s che si sviluppa tramite una curva di potenza, tipica dei terreni a comportamento granulare:

$$V_s = 245,43 * z^{0,2022}$$

In base ai valori di V_s è possibile inquadrare il suolo nel campo di quelli intermedi, compresi tra i terreni soffici e quelli rigidi.

SVINCOLO STRADALE

Il profilo lito-stratigrafico nel sondaggio S3 impegna il substrato geologico costituito dalle interdigitazioni tra la litofacies filladico-scistosa, a grado di alterazione e fratturazione variabile e quella carbonatica, mascherati in affioramento da una coltre detritica, di spessore metrico.

Nell'immagine seguente è riportato il profilo stratigrafico relativo all'area dello svincolo stradale, in cui:

- d_t) coltre detritica con breccie di natura prevalentemente calcarea;
- sf_a) scisti filladici estremamente alterati fino ad argillificati;
- sf_f) scisti filladici fratturati ed alterati;
- c) calcari e calcareniti, entrambi molto fratturati;
- s_f) scisti filladici integri.

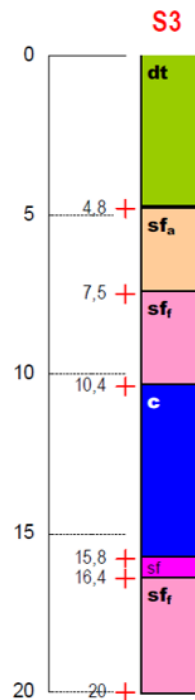


Figura 2-3 Profilo stratigrafico AREA SVINCOLO

Per quanto riguarda il profilo penetrometrico, le prove SPT forniscono valori di $N_{SPT} > 50$, imputabili alla eterogeneità granulometrica (presenza di tutte le classi granulometriche rimescolate in modo caotico), stratigrafica e di consistenza del deposito detritico-eluviale.

Il profilo sismico presenta fino a circa 8,5 m dal p.c., corrispondente alla coltre detritico-eluviale, un andamento definito dalla curva di potenza $V_s = 225,08 * z^{0,3186}$, mentre per profondità $> 8,5$ m dal p.c. presenta le caratteristiche di terreno rigido e un incremento delle velocità di taglio ($V_s > 700$ m/s) oltre 11 m dal p.c., che porta a classificare il sottosuolo a comportamento lapideo.

2.2 Caratterizzazione geotecnica e geomeccanica

La lettura delle stratigrafie dei sondaggi e i risultati delle analisi geotecniche hanno permesso di definire due orizzonti stratigrafici in base al comportamento fisico-meccanico, che costituiscono il sottosuolo nell'ambito del volume geotecnico significativo:

- **Terreni di copertura (C)** - da incoerente (o granulare) a poco coesivo, correlati rispettivamente al deposito costiero nell'area portuale e alla coltre detritico-eluviale nell'area dello svincolo stradale, classificati dal punto di vista sismico come suoli intermedi;
- **Substrato rigido (S)** - da semi-lapideo a lapideo, per il substrato epimetamorfico e carbonatico con caratteristiche di suoli rigidi.

A seguire si riportano il profilo geotecnico di riferimento e i valori caratteristici dei parametri geotecnici e geomeccanici.

Il profilo geotecnico di riferimento dell'area portuale è ricostruito con gli orizzonti sabbioso-ghiaiosi dei terreni di copertura (C) (indicati con il pedice port) distinti in base ai valori di N_{60} con numeri crescenti dall'alto verso il basso.

RELAZIONE SISMICA

Il profilo geotecnico di riferimento dell'area dello svincolo stradale (pedice strad) è ricostruito con gli orizzonti distinti in base alle caratteristiche litologiche (d_t = detrito; s_f = facies metamorfica, alterata (a) e fratturata (f); c = facies carbonatica) e alla rigidità (rigido o lapideo).

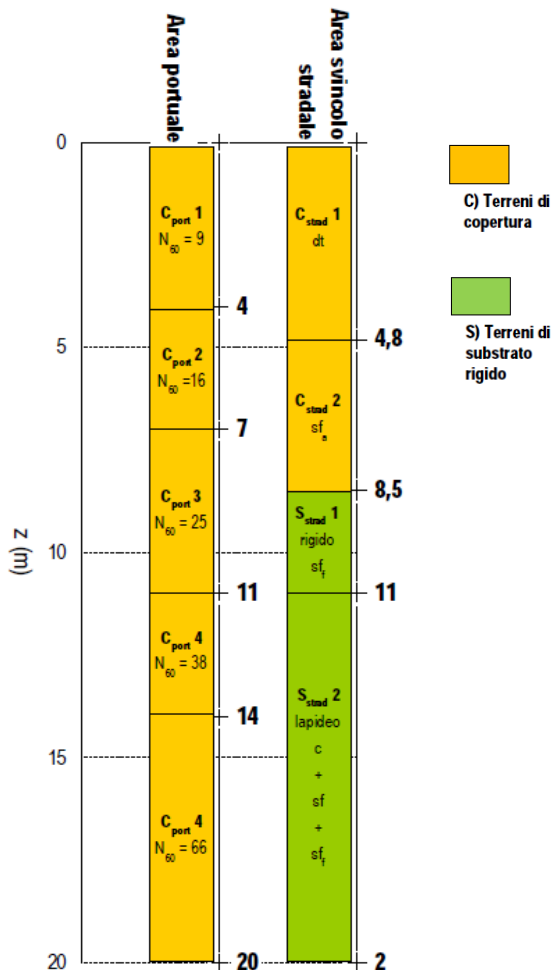


Figura 2-4 Profilo e parametri geotecnici di riferimento

Orizzonte sismico e litotecnico	TERRENI DI COPERTURA							TERRENI DI SUBSTRATO	
	AREA PORTUALE					AREA DELLO SVINCOLO STRADALE		S _{strad} 1 (rigido)	S _{strad} 2 (lapideo)
	C _{port} 1)	C _{port} 2)	C _{port} 3)	C _{port} 4)	C _{port} 5)	C _{strad} 1)	C _{strad} 2)		
Parametro geotecnico	C _{port} 1)	C _{port} 2)	C _{port} 3)	C _{port} 4)	C _{port} 5)	C _{strad} 1)	C _{strad} 2)	S _{strad} 1 (rigido)	S _{strad} 2 (lapideo)
$\gamma_k = \gamma_n$ (kN/m ³)	19,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
$\phi'k$ (°)	26	28	29	30	31	26	30	28	30
c'k (kPa)	~ 0					10		133	181
Ek, Edk(MPa)	41	56	66	74	84	42	73	1.080	1.383

Figura 2-5 Parametri geotecnici di riferimento

3 VALORI CARATTERISTICI DELL'AZIONE SISMICA

Si riportano di seguito i parametri relativi alla zona di interesse, al fine della valutazione della sicurezza e delle prestazioni attese delle opere in progetto.

Localizzazione sito:

- Regione Calabria - Provincia di Cosenza - Comune di Cetraro

Coordinate geografiche:

- Longitudine 15,942042
- Latitudine 39,517634

Dati di input per il progetto:

- Tipo di costruzione 2
- Vita nominale V_N 50 anni
- Classe d'uso II
- Coefficiente d'uso 1,0
- Periodo di riferimento per l'azione sismica $V_R = V_N \times C_U$ 50
- Parametri T_R , a_g , F_0 , T_C^* :

Parametri sismici	T_R [anni]	a_g [m/s ²]	F_0 [...]	T_C^* [s]
<input type="radio"/> SLO	30	0,460	2,368	0,291
<input type="radio"/> SLD	50	0,583	2,423	0,323
<input type="radio"/> SLV	475	1,513	2,499	0,429
<input type="radio"/> SLC	975	1,966	2,549	0,449

Figura 3-1 Parametri sismici

Per quanto riguarda la categoria di sottosuolo, sulla base dei risultati delle indagini e secondo quanto indicato nell'elaborato B.03 "Relazione geologica", è necessario distinguere l'area dello svincolo stradale dall'area portuale.

AREA SVINCOLO STRADALE

- Categoria sottosuolo: **B** "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.";
- Categoria topografica: **T2** "Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ ";
- Coefficiente stratigrafico $S_s = 1,20$ (SLV);
- Coefficiente amplificazione topografica $S_T = 1,10$.

AREA PORTURALE

- Categoria sottosuolo: **C** "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.";
- Categoria topografica: **T1** "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$;"
- Coefficiente stratigrafico $S_s = 1,47$ (SLV);
- Coefficiente amplificazione topografica $S_T = 1,00$.

4 SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

La liquefazione è un fenomeno che comporta la perdita di resistenza dei terreni saturi sotto sollecitazioni statiche e dinamiche, in conseguenza delle quali il terreno raggiunge una condizione di fluidità pari a quella di una massa viscosa. Il fenomeno interessa i terreni incoerenti saturi, che nel corso di un evento sismico subiscono una forte riduzione della resistenza al taglio, a seguito del quale il terreno può scorrere o fluire, nel caso di un pendio, o assestarsi, nel caso di una giacitura orizzontale. Ciò avviene quando, sotto l'azione delle sollecitazioni cicliche indotte da un sisma, la pressione interstiziale dell'acqua aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento, cioè quando gli sforzi efficaci si riducono a zero. La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende dalle proprietà geotecniche, dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso, nonché dalle caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata.

Tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa), tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione. Anche la distribuzione, la forma delle particelle e il grado di uniformità influenzano notevolmente il fenomeno, per le implicazioni che questi fattori hanno sulla resistenza al taglio e per il modo di dissiparsi della pressione interstiziale in eccesso.

Per quanto riguarda la storia delle sollecitazioni sismiche su un deposito si può affermare che precedenti deformazioni moderate influiscano positivamente sulla resistenza del deposito, mentre una storia caratterizzata da alti livelli di deformazione (deposito già soggetto a liquefazione) ha effetti negativi sul potenziale di liquefazione.

I depositi sabbiosi con più alto potenziale di liquefazione sono i più recenti. A parità di composizione e di altre condizioni lo stesso deposito, se più antico, avrà sviluppato legami intergranulari e cementazioni sempre più forti con il tempo. Inoltre la struttura di un deposito antico sarà resa più stabile e omogenea per gli effetti delle vibrazioni indotte da precedenti terremoti di piccola entità.

4.1 Esclusione della verifica a liquefazione

Le NTC 2018, al § 7.11.3.4.2 - "Esclusione della verifica a liquefazione", individuano le condizioni per le quali è possibile omettere la verifica a liquefazione. In particolare, la verifica a liquefazione può non effettuarsi quando si verificano una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano di campagna, per piano di campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella seguente figura nel caso (a) di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e nel caso (b) di terreni con coefficiente di

uniformità $U_c > 3,5$).

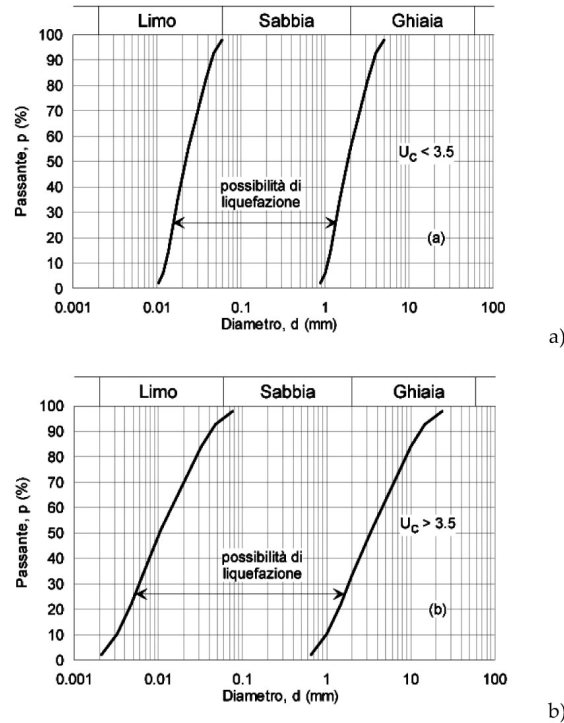


Figura 4-1 Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione - Rif. Fig. 7.11.1 D.M. 17/01/2018

Dal momento che nessuna delle precedenti condizioni previste dalla norma risulta verificarsi è necessaria la verifica a liquefazione al fine valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

Nella relazione geologica è stata condotta una analisi per verificare la stabilità sismica del sito, considerando, in base alla sismicità e alle condizioni idro-geologiche locali, la possibilità che si innescino fenomeni di liquefazione nell'area portuale. Tale studio, attraverso la ricostruzione di un profilo in funzione della velocità sismica critica, consente di escludere la possibilità che si verifichino tali fenomeni.

A vantaggio di sicurezza, è stata condotta un'ulteriore verifica sia nell'area dello svincolo che nell'area portuale, come di seguito riportato.

4.2 Verifica a liquefazione dei terreni in condizioni sismiche

I metodi semplificati per il calcolo della suscettibilità a liquefazione dei terreni si basano sui risultati di prove in situ quali le prove penetrometriche statiche (CPT), dinamiche (Standard Penetration Test) o le prove sismiche a rifrazione (misure di velocità delle onde di taglio V_s).

Il fattore di sicurezza F_s nella verifica di resistenza alla liquefazione di un livello di terreno è per definizione il rapporto tra la capacità di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di resistenza ciclica **CRR** (*Cyclic Resistance Ratio*), e la domanda di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di tensione ciclica **CSR**:

$$F_S = \frac{CRR}{CSR}$$

4.2.1 Calcolo della domanda di resistenza a liquefazione CSR

La variabile **CSR** è stata stimata attraverso l'equazione semi empirica proposta da SEED e IDRIS (1971):

$$CSR = 0,65 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}\right) \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

con

- a_{max} accelerazione orizzontale di picco prodotta dal terremoto in superficie;
- g accelerazione di gravità;
- σ_v tensione verticale litostatica totale;
- σ'_v tensione verticale litostatica efficace;
- r_d coefficiente di riduzione delle tensioni valutabile mediante le seguenti espressioni:
 - $r_d = 1 - 0,00765 z$ $z \leq 9,15$ m
 - $r_d = 1,174 - 0,0267 z$ $9,15 \leq z \leq 23$ m
 - $r_d = 0,774 - 0,008 z$ $23 \leq z \leq 30$ m
 - $r_d = 0,5$ $z \geq 30$ m
 con z profondità dal piano di campagna espressa in metri.
- MSF coefficiente correttivo funzione della magnitudo M del sisma pari a:

$$MSF = \left(\frac{M}{7,5}\right)^{-3,3} \quad \text{per } M \leq 7,5$$

$$MSF = \frac{10^{2,24}}{M^{2,56}} \quad \text{per } M > 7,5$$

4.2.2 Calcolo della capacità di resistenza a liquefazione da prove in situ CRR con il Metodo dell'Eurocodice 8 (SISMICA)

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (**CRR**) da prove sismiche a rifrazione (V_S) è stata stimata con la seguente correlazione grafica (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) tra lo sforzo ciclico normalizzato τ_e/σ'_{v0} e la velocità di propagazione normalizzata delle onde V_{S1} :

La velocità di propagazione normalizzata delle onde si valuta attraverso la relazione:

$$V_{S1} = C_N \cdot V_S$$

con

- $C_N = \left(\frac{1}{\sigma'_v}\right)^{0,25} \leq 2,0$ normalizzazione rispetto alla pressione di confinamento, nella quale σ'_v è la pressione verticale efficace espressa in kg/cm^2 ;



RELAZIONE SISMICA

- V_S velocità misurata dell'onda di taglio S espressa in m/sec.

L'abaco fa riferimento a terremoti $M_w = 7.5$. Per magnitudo M_w diverse da 7.5, $CRR_{7.5}$ va scalato utilizzando il fattore MSF, ricavato nel paragrafo 4.2.1.

Il metodo si basa sulla determinazione del fattore di sicurezza $F_s = CRR/CSR$, indicativo della propensione o meno del terreno a liquefare.

Il deposito è potenzialmente liquefacibile se risulta $F_s \leq 1,25$.

4.2.3 Verifica a liquefazione

La magnitudo momento massima M_{wmax} per la Zona Sismogenetica di interesse denominata "Calabria tirrenica, Iblei 929" risulta pari a 7,29, come riportato nell'estratto da Gruppo di Lavoro per la Redazione della Mappa di pericolosità Sismica" – 2004.

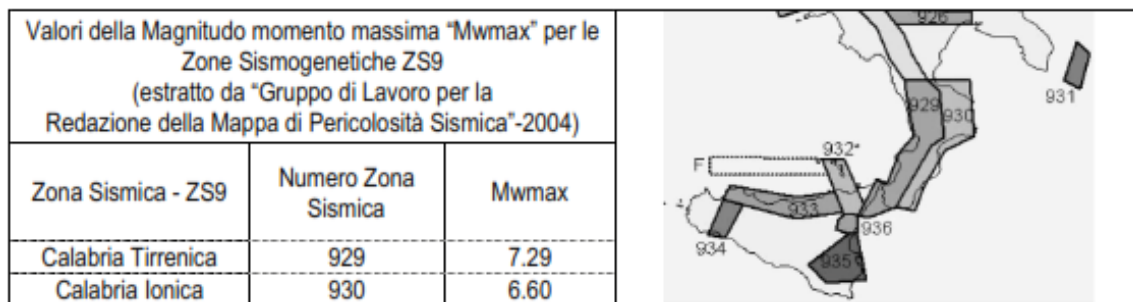


Figura 4-2 Magnitudo massima attesa nella zona sismogenetica in oggetto

Nelle tabelle che seguono si riportano i dati di input e i risultati della verifica a liquefazione, sia per l'area dello svincolo che per l'area portuale. Analizzando i valori del coefficiente di sicurezza F_s ottenuti, che risultano superiori a 1,25, si evince che la suddetta verifica a liquefazione è soddisfatta.

AREA DELLO SVINCOLO

Considerando che Il profilo sismico del sondaggio S3 presenta, a profondità > 8,5 m dal p.c. le caratteristiche di terreno rigido e un incremento delle velocità di taglio ($V_s > 700$ m/s) oltre 11 m dal p.c., che porta a classificare il sottosuolo a comportamento lapideo, la verifica a liquefazione è stata eseguita fino a profondità pari a 8,50 m da p.c., dove i valori di V_s sono caratterizzati da una curva esponenziale del tipo: $V_s = 225,08 * z^{0,3186}$

Verifica liquefazione													
a_{max}/g	$\gamma_w(kN/m^3)$	Magnitudo											
0,154	10,10	7,29											
Tipologia terreno	$\gamma(kN/m^3)$	z_i	σ_{vo}	σ'_{vo}	r_d	MSF	CSR	C_N	C_N	V_s	V_{s1}	$CRR=CRR7,5xMSF$	F_s
C _{strad} 1	20,00	4,80	0,96	0,48	0,96	1,10	0,18	1,20	1,20	371	446,85	0,49	2,79
C _{strad} 2	20,00	8,50	1,70	0,84	0,93	1,10	0,17	1,04	1,04	445	464,71	0,49	2,87

RELAZIONE SISMICA

$F_{s_{min}}=2,79 > FS=1,25$

AREA PORTUALE

Il profilo sismico in quest'area si sviluppa tramite una curva di potenza, del tipo:

$V_s = 245,43 * z^{0,2022}$

Tabella 4-1 Verifica a liquefazione – AREA PORTUALE

Verifica liquefazione															
a_{max}/g	$\gamma_w(kN/m^3)$	Magnitudo													
0,154	10,10	7,29	Tipologia terreno	γ (kN/m ³)	Z_i	σ_{vo}	σ'_{vo}	r_d	MSF	CSR	C_N	V_s	V_{s1}	$CRR_{7,29}$	FS
C _{port 1}	19,00	4,00	0,76	0,36	0,97	1,10	0,19	1,29	324,84	420,53	0,49	2,62			
C _{port 2}	20,00	7,00	1,33	0,62	0,95	1,10	0,18	1,13	363,75	409,43	0,49	2,68			
C _{port 3}	20,00	11,00	2,09	0,98	0,88	1,10	0,17	1,01	398,56	400,68	0,49	2,89			
C _{port 4}	20,00	14,00	2,66	1,25	0,80	1,10	0,16	0,95	418,48	396,09	0,49	3,17			
C _{port 5}	20,00	20,00	3,80	1,78	0,64	1,10	0,12	0,87	449,78	389,40	0,49	3,97			

$F_{s_{min}}=2,62 > FS=1,25$