



Autorità di Sistema Portuale  
dei Mari Tirreno Meridionale  
e Ionio



**S. I. L. E. M. s. r. L. unipersonale**  
Società Italiana Lavori Edili  
Marittimi



**LAVORI DI COMPLETAMENTO DELLE BANCHE DI RIVA DEL PORTO IN  
LOCALITA' TAUREANA DI PALMI 1° LOTTO**

**Progetto Definitivo**

**A - ELABORATI GENERALI E STUDI AMBIENTALI**

**A.03**

**RELAZIONE SISMICA**

Data:  
**13-06-2023**

Scala:

PROGETTAZIONE:



**PROJECT MANAGER**

ing. Antonino Sutera



**PROGETTISTI**

ing. Antonino Sutera  
ing. Giuseppe Bernardo



**GRUPPO DI LAVORO**

ing. Giovanni Arena  
arch. Francesca Gangemi  
ing. Fabrizio Mentisano  
ing. Leone Naciti  
ing. Marco N. Papa  
ing. Federica Sorace  
ing. Fabio Vinci

**GEOLOGO**

geol. Caterina Cucinotta

Revisioni

Data

Motivazione

D.E.C.

VERIFICATORE

R.U.P.

Ing. Maria Carmela De Maria

IL RESPONSABILE  
DELL'ATTUAZIONE



RELAZIONE SISMICA

---

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>MODELLO GEOTECNICO DI SOTTOSUOLO</b>	<b>5</b>
2.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE	5
2.2	DETERMINAZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO-TECNICO E SISMICO	10
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA</b>	<b>12</b>
3.1	ASPETTI GENERALI	12
3.2	CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO SULLA BASE DELLE RISULTANZE DELLE INDAGINI GEOFISICHE	12
3.3	CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO	13
3.4	VALORI CARATTERISTICI DELL'AZIONE SISMICA	14
<b>4</b>	<b>SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE VALORI CARATTERISTICI DELL'AZIONE SISMICA</b>	<b>17</b>
4.1	ESCLUSIONE DELLA VERIFICA A LIQUEFAZIONE	17
4.2	VERIFICA A LIQUEFAZIONE DEI TERRENI IN CONDIZIONI SISMICHE	18

## RELAZIONE SISMICA

**1 PREMESSA**

La presente *Relazione Sismica* (Elaborato A.03) nell’ambito del Progetto Definitivo dei “Lavori di completamento delle banchine di riva del porto in località Taureana di Palmi - I° Lotto” nel Comune di Palmi (CUP F64D18000120005 – CIG 94298530DF), riporta lo studio sulla pericolosità sismica di base e sulla risposta sismica locale del sito in questione.

L’area oggetto di intervento è collocata nella Regione Calabria in Provincia di Reggio Calabria ed è individuabile geograficamente attraverso le seguenti coordinate WGS84 (in gradi decimali):

- Longitudine: 15.863185°
- Latitudine: 38.390959°

Il progetto si riferisce ad una serie di interventi all’interno dell’area portuale per il completamento dell’infrastruttura, che prevede, in particolare, la realizzazione delle banchine di riva e di tutte le opere a tergo della stessa. Per una descrizione più dettagliata degli interventi di progetto si rimanda alla *Relazione generale* (Elaborato A.01).

La *Relazione geologica* dell’area oggetto di intervento è stato redatto dal Dott. Geol. Caterina Cucinotta (Elaborato A.02). 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 indagini prevista e acquisita nel presente progetto (*Piano delle indagini geognostiche e geotecniche* - Elaborato B.01) e sui risultati delle indagini pregresse, acquisite in data 13/03/2023 presso la sede dell’Autorità di Sistema Portuale dei Mari Tirreno Meridionale e Ionio, archiviate mediante il “*Verbale di riunione del 13/03/2023*”. Nel complesso, i dati acquisiti provengono dall’insieme di prove riportate in Tabella 1.1 e ubicate come in Figura 1.1:

	Tipo di prova/sigla	Tipo di prova/descrizione	Quantità eseguita
Presente progetto	S	Sondaggio: perforazione a carotaggio continuo	n° 2
	DH	Down Hole: prova sismica in foro	n° 2
Pregresse	S	Sondaggio: perforazione a carotaggio continuo	n° 3
	SPT	Prova penetrometrica dinamica discontinua	n° 3
	MASW	Multichannel Analysis of Surface Waves: prova sismica su stendimento in superficie	n° 1
	HVSR	Horizontal to Vertical Spectral Ratio: prova sismica in superficie mediante tomografo	n° 1
	RIFRAZIONE	Acquisizioni sismiche a rifrazione: prova sismica su stendimento in superficie	n° 1

**Tabella 1.1 - Tabella riassuntiva delle prove eseguite e delle indagini pregresse acquisite**

RELAZIONE SISMICA



Figura 1.1 – Ubicazione delle indagini effettuate e delle indagini preresse

Nel corso delle prove inoltre, sono stati prelevati campioni indisturbati sui quali sono state eseguite prove geotecniche di laboratorio.

I risultati delle indagini condotte hanno permesso la caratterizzazione stratigrafica e la ricostruzione dei profili geotecnici, in funzione del comportamento fisico-meccanico dei materiali costituenti il sottosuolo.



## RELAZIONE SISMICA

## 2 MODELLO GEOTECNICO DI SOTTOSUOLO

### 2.1 Indagini geognostiche

Nella programmazione della nuova campagna di indagini geognostiche si è tenuto conto delle indagini pregresse, messe a disposizione dall'Autorità di Sistema Portuale dei Mari Tirreno Meridionale e Ionio ed effettuate da GEOCONSULTANLAB srl (2022) - *Indagini geologiche e geofisiche per la banchina del porto di Palmi (12/11/2022), allegato alla "Relazione geologica e risposta sismica locale redatta in data 21/11/2022 a seguito delle indagini geologiche specifiche presso la banchina del Porto di Palmi (RC), a firma del Prof. Geol. G. Roland - per cui sono stati previsti:*

- sondaggi stratigrafici (n. 2), con perforazione ad andamento verticale, a rotazione, a carotaggio continuo, spinti fino alla profondità di 32 m dal piano-campagna;
- prelievo di campioni a disturbo limitato/indisturbati (n. 12), da sottoporre a prove di laboratorio;
- prove geofisiche tipo Down-Hole (n. 2), all'interno di ogni foro di sondaggio;
- prove di laboratorio (n. 12) sui campioni prelevati per la definizione di parametri fisici e granulometrici.

Le informazioni ricavabili dalle prove di laboratorio restano evidentemente condizionate dal grado di qualità dei campioni prelevati, per cui nel caso in esame e nelle condizioni migliori, in presenza di terreni granulari, si ipotizza un carotaggio di campioni "a disturbo limitato", a meno di non ricorrere a sofisticate e onerose tecniche di indagine.

Le indagini pregresse, ubicate nella precedente carta delle indagini, consistono in un sondaggio stratigrafico, spinto fino a 30 m dal p.c., nell'esecuzione di n. 3 prove penetrometriche dinamiche e discontinue tipo S.P.T. (Standard Penetration Test), in prove geofisiche (MASW, HVSR e sismica a rifrazione) e in n. 2 prove di laboratorio (analisi granulometrica + determinazione parametri fisici).

#### 2.1.1 Indagini pregresse

Relativamente alle indagini pregresse si fa riferimento al rapporto di prova redatto dalla GEOCONSULTANLAB srl di Manocalzati (AV), messo a disposizione dall'Autorità di Sistema Portuale dei Mari Tirreno Meridionale e Ionio. In particolare, per quanto riguarda i risultati degni di nota si riporta:

- **sondaggio stratigrafico:** si distinguono due orizzonti, sabbiosi e ghiaiosi, da addensati a molto addensati (Tabella 2.1);

da m (dal p.c.)	a m (dal p.c.)	Spessore (m)	Descrizione litologica	Z (SPT)	N <sub>SPT</sub>
0	10,0	10,0	Sabbia a grana medio-grossolana di colore beige con ghiaie subordinate di dimensioni eterometriche. A luoghi si rinvencono intercalazioni di sabbie medie ben classate con tessitura omogenea, struttura massiva ed addensate	4,00÷4,45	54
				7,50÷7,95	64
10,0	30,0	20,0	Sabbie a grana grossolana di colore beige, frammiste a ciottoli e ghiaie subordinate di dimensioni eterometriche, a luoghi cementate, disgregate meccanicamente durante la perforazione. Tessitura eterogenea, struttura caotica. Molto addensate	15,00÷?	R

Tabella 2.1 - Riepilogo sondaggi stratigrafici

- **prova SPT:** i valori di N<sub>SPT</sub> risultano sempre > 50, certamente condizionati dalla frazione ghiaiosa, più grossolana, ma comunque a segnalare uno stato di addensamento elevato, come risulta dalla nota correlazione qualitativa proposta da TERZAGHI & PECK (1948), a cui GIBBS & HOLTZ (1957)

RELAZIONE SISMICA

associano valori della densità relativa (Tabella 2.2);

N <sub>SPT</sub>	ADDENSAMENTO (Terzaghi & Peck, 1948)	DENSITÀ RELATIVA (%) (Gibbs & Holtz, 1957)
< 4	Molto sciolto	< 15
4 ÷ 10	Sciolto	15 ÷ 35
10 ÷ 30	Medio	35 ÷ 65
30 ÷ 50	Denso	65 ÷ 85
> 50	Molto denso	> 85

Tabella 2.2 - Riepilogo sondaggi SPT

- **livello falda idrica:** nella stratigrafia viene segnalato a poco più di 2 m dal p.c., mentre nel testo del rapporto si riporta a 4 m dal p.c.;
- **prove di laboratorio** (analisi granulometrica): i depositi rientrano nel campo della possibilità di liquefazione, sia pure non elevata, come risulta dalla posizione della curva granulometrica sui fusi granulometrici critici riportati nelle linee guida AGI-2015 e nelle vigenti NTC 2018 (vedi Tabella 2.3);

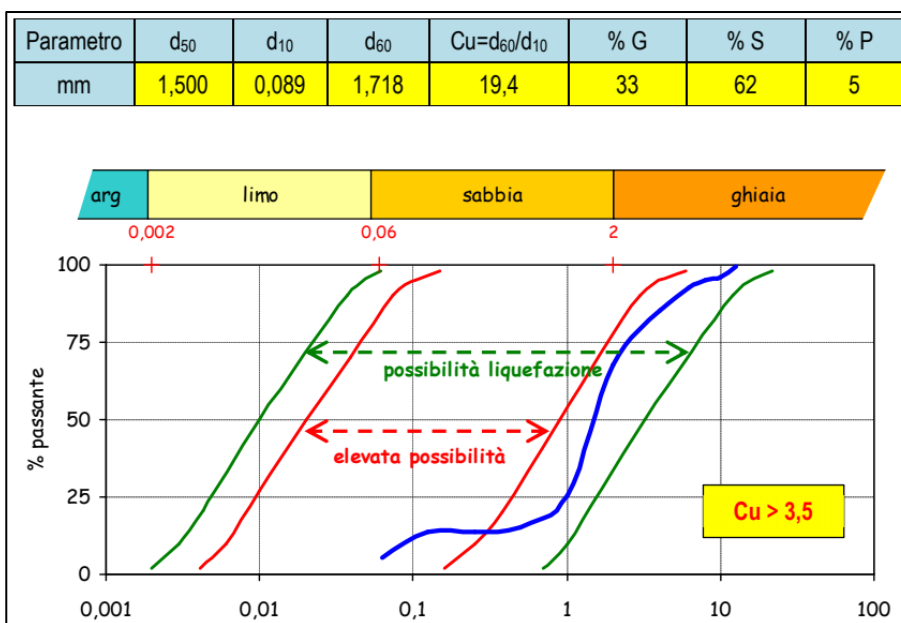


Tabella 2.3 - Curva granulometrica su fusi granulometrici critici per la liquefazione

- prove di laboratorio (parametri fisici - Tabella 2.4):

W <sub>n</sub> (%)	γ <sub>n</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	γ <sub>d</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	G <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	e (-)	n (%)	S <sub>r</sub> (%)	γ <sub>sat</sub> (kN/m <sup>3</sup> )
26,85	15,30	12,06	21,86	0,812	44,81	72,29	16,55

Tabella 2.4 - Parametri fisici da prove di laboratorio

- **prove geofisiche:** dalla prova MASW risulta che il bedrock sismico si attesta intorno a 64 m dal p.c.; dal punto di vista sismo-stratigrafico si possono distinguere due orizzonti, limitati dalla V<sub>s</sub>=400 m/s, che risultano coerenti con la ricostruzione lito-stratigrafica; per la velocità sismica equivalente si ricava un valore:

$$V_{s,eq} = 464 \text{ m/s}$$

mentre dall'elaborazione dei risultati della prova H/V risulta V<sub>s,eq</sub>=431 m/s, che in qualunque caso rimanda alla categoria di sottosuolo B (da NTC 2018).

## RELAZIONE SISMICA

**2.1.2 Indagini eseguite**

Le indagini geognostiche eseguite presentano delle variazioni rispetto a quelle programmate, in termini di quantità e di posizionamento (Figura 2.1).



**Figura 2.1 - Piano delle indagini geognostiche eseguite**

Esse consistono in:

- **sondaggio stratigrafico:** n. 2 perforazioni a rotazione a carotaggio continuo, spinti fino alla profondità di 32 m (S1) e 26 m (S2) dal piano-campagna, fino ad impegnare per uno spessore adeguato il substrato cristallino; si tenga conto che il sondaggio S1 risulta riposizionato per motivi di natura logistica, mentre la perforazione dell'S2 è stata interrotta prima di raggiungere la profondità programmata nell'ambito del substrato cristallino;
- **livello falda idrica:** si attesta intorno a 3,5 m dal p.c.;
- **prove geofisiche:** il foro di sondaggio S1 è stato attrezzato per eseguire una prova DH (Down-Hole) per uno spessore di 30 m con passo di misura delle onde  $V_p$  e  $V_s$  di 2 m; il previsto DH nel sondaggio S2 non è stato eseguito, dato che già alla profondità di circa 10 m è presente il substrato cristallino con  $V_s > 800$  m/s.
- **prove di laboratorio** (su roccia intatta): i risultati delle prove di compressione su spezzoni di carote prelevate durante le perforazioni di sondaggio (resistenza a compressione uniassiale e peso di volume apparante) sono riportate in , elaborati in termini di valore medio; il valore medio normalizzato ad un provino di diametro 50 cm, calcolato secondo HOEK & BROWN (1980)



## RELAZIONE SISMICA

Camp	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\sigma_c$ (Mpa)	$\sigma_{cc}$ (Mpa)
S1CL3	27,0352	80,16	87,63
S1CL5	25,8365	113,61	124,19
S2CL2	25,8365	113,61	124,19
S2CL3	26,5757	133,02	145,41
Media	26,32	110,10	120,35

Tabella 2.5 – Risultati prove di compressione su roccia

- **prove di laboratorio** (su terre): le analisi granulometriche consentono di classificare sabbie ghiaiose e ghiaie con sabbia, frazione pelitica assente, diametro medio variabile tra 1,2 e 2,2 mm, a definire nel complesso un deposito ben gradato ( $C_u > 6$ ); le curve granulometriche, con riferimento al fuso critico previsto dalla normativa tecnica ( $C_u > 3,5$ ), rientrano tutte nel campo della liquefazione possibile, ma non elevata (Figura 2.2);

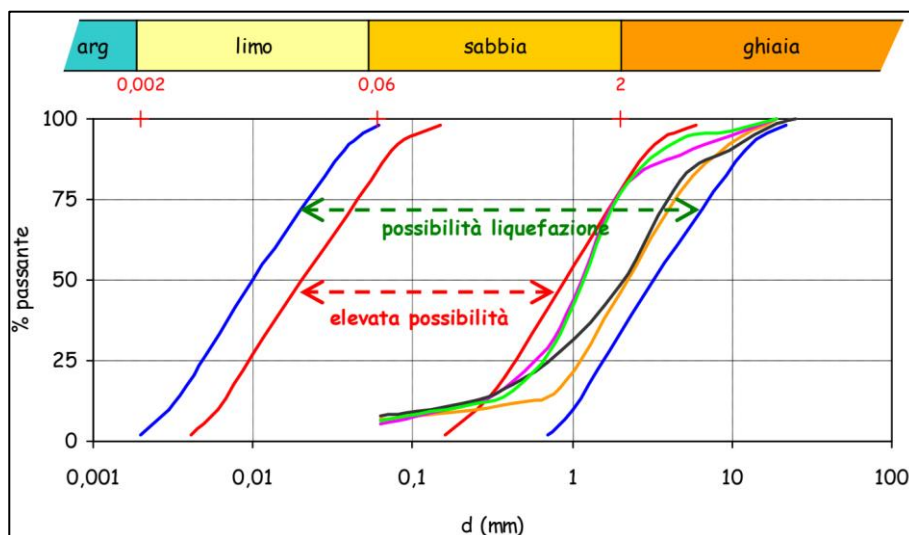


Figura 2.2 - Curva granulometrica su fusi granulometrici critici per la liquefazione

- **prove di laboratorio** (su terre): i parametri fisici sono riportati in Tabella 2.6 ed elaborati come valori medi.

Camp. (m)	Wn (%)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	Gs (kN/m <sup>3</sup> )	e (-)	n (%)	Sr (%)
S1CR1 4,00-4,30	3,01	17,6	26,8	0,57	0,36	14,18
S1CR2 7,50-7,80	8,61	17,9	26,8	0,63	0,39	22,70
S1CR4 15,00-15,40	7,25	17,8	26,9	0,62	0,38	51,27
S2CR1 3,00-3,40	6,43	17,6	26,7	0,61	0,38	22,93
Valore medio	6,33	17,7	26,8	0,61	0,38	27,77

Tabella 2.6 - Parametri fisici delle terre da prove di laboratorio

## 2.1.3 Indagini integrative

Le indagini geognostiche eseguite sono state integrate con l'inserimento di due tomografie elettriche (TE01

**RELAZIONE SISMICA**

e TE02 - Figura 2.3) con misure di resistività elettrica verticale finalizzata all'individuazione di trovanti rocciosi immersi nel deposito detritico-alluvionale, come osservato durante il corso dei sondaggi stratigrafici e dei sopralluoghi eseguiti.

Le sezioni elettrostratigrafiche sono state rielaborate in modo da individuare nel sottosuolo, segnatamente per fasce di profondità, la presenza di trovanti rocciosi, in quanto non radicati in profondità, o del substrato metamorfico sub-affiorante, che evidentemente condizionano la tipologia degli interventi e le modalità di scavo e sbancamento.



**Figura 2.3 - Piano delle indagini geoelettriche integrative (Tomografia elettrica TE01 e TE02)**

Nella sezione elettrostratigrafica rielaborata (Figura 2.4) risulta una diffusa presenza di trovanti rocciosi, in quanto non radicati e non connessi con il substrato metamorfico, nella fascia di profondità fino a 3 metri. Questa presenza tende a diminuire in modo più o meno drastico nel sottosuolo fino alla profondità di circa 16 metri, dove è presente il substrato metamorfico, che in corrispondenza del sondaggio S2 si rialza fino a circa 11 m dal p.c. e in corrispondenza del sondaggio S2 si approfondisce fino a 24 m dal p.c., coerentemente coi risultati dei sondaggi S1 e S2.

## RELAZIONE SISMICA

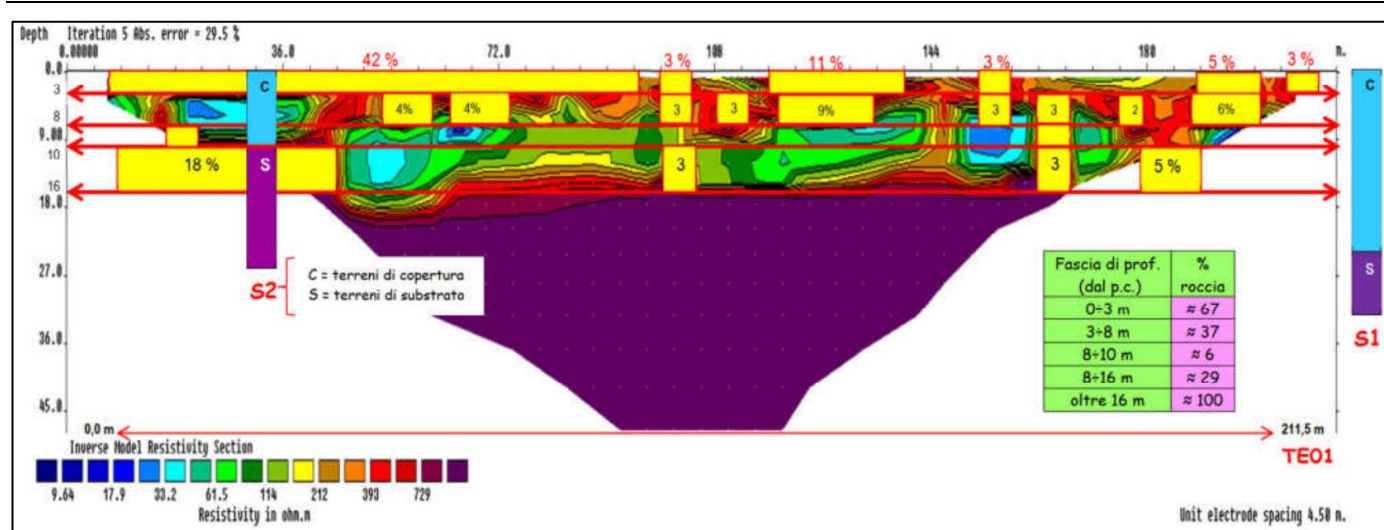


Figura 2.4 - Sezione elettrostratigrafica rielaborata (in giallo tratti con presenza di roccia per fasce di profondità)

## 2.2 Determinazione del modello geologico-tecnico e sismico

Per "modello geologico-tecnico e sismico" si intende sia il "modello geologico", riferito all'area di influenza geologica progettuale per quanto riguarda gli assetti lito-stratigrafici, i lineamenti geomorfologici e idrogeologici, sia il "modello geotecnico", riferito alla caratterizzazione stratigrafico-geotecnica del "volume significativo" di sottosuolo, ma anche una valutazione della pericolosità sismica locale.

Il profilo lito-sismo-stratigrafico, superato uno strato di terreni eterogenei di riporto (a comportamento granulare, sciolto), con una diffusa presenza di trovanti rocciosi nei primi 3 m dal p.c., consente di definire una serie di orizzonti geotecnici, dotati di discreta omogeneità di comportamento e caratterizzati come "terreni di copertura", da molto addensati fino a praticamente litificati e rigidi ( $V_s > 800$  m/s), e come "terreni di substrato", a comportamento lapideo, fratturato, afferenti alla formazione gneissico-migmatitica, presente lungo la scarpata a tergo dell'area portuale ed emergente sulla costa sotto forma di scogli.

Il livello statico della falda si attesta intorno a 3,5 m dal p.c., ma le caratteristiche di addensamento e rigidità del sottosuolo saturo consentono di escludere l'insorgenza di fenomeni di liquefazione in occasione di eventi sismici. I terreni al tetto del bedrock sismico subiscono un effetto di amplificazione sismica di tipo stratigrafico, mentre non si avverte alcun effetto di amplificazione topografica, in base alle condizioni morfologiche e di acclività locali.

In conclusione, si riporta il profilo stratigrafico-geotecnico del sito, oltre ai dati geotecnici (parametri geotecnici caratteristici) e di pericolosità sismica (effetti di sito ed effetti locali), che assieme rappresentano il "modello geologico-tecnico e sismico" di riferimento (Figura 2.5).



RELAZIONE SISMICA

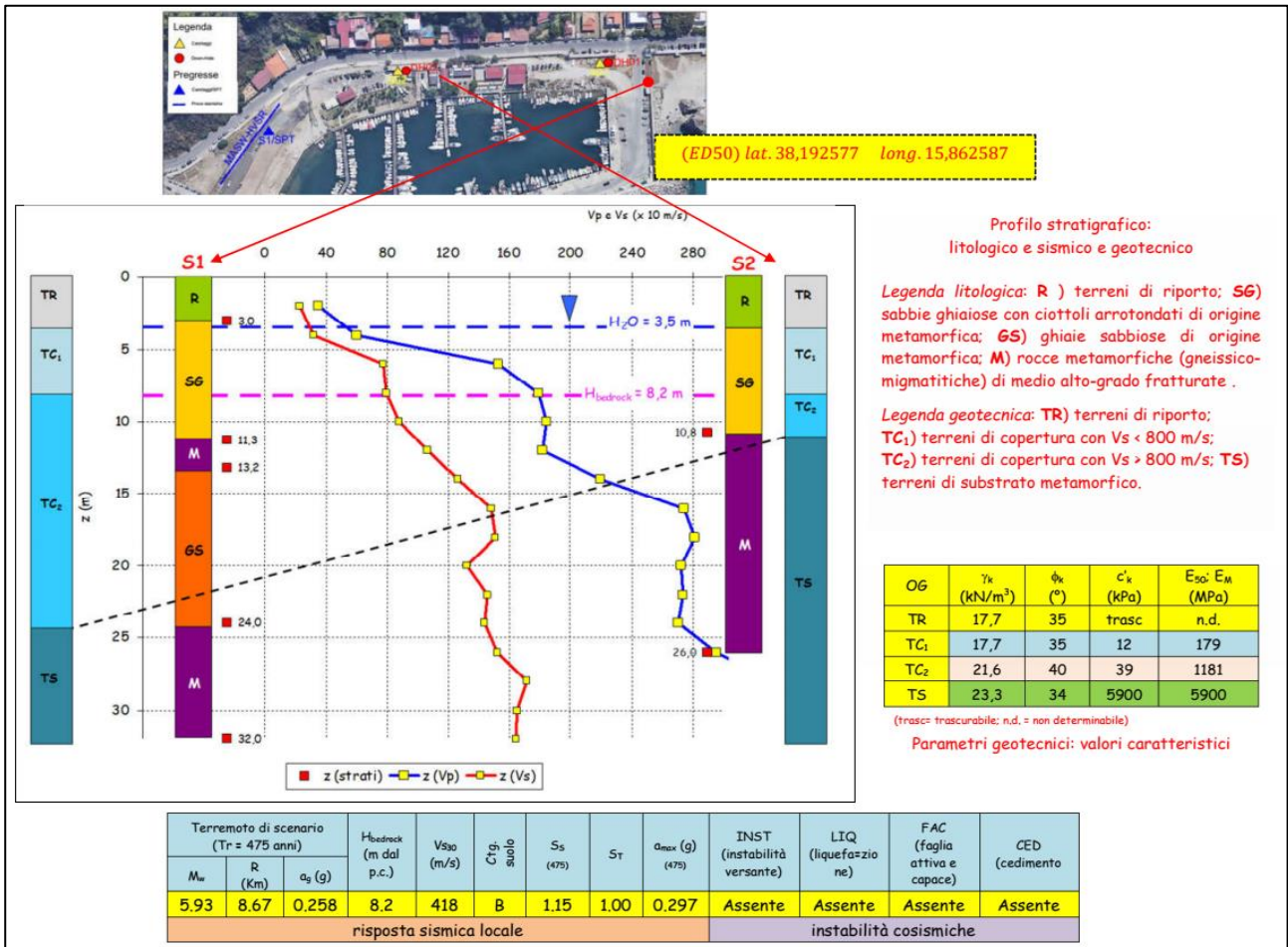


Figura 2.5 - Modello geologico-tecnico e sismico

Per completezza, in Figura 2.6 è riportato il quadro della zonazione sismica del sito e la carta della pericolosità sismica locale, ripresa dal PSC del Comune di Palmi.

EFFETTI	SIGLA	ZONA	SITUAZIONE-TIPO	EFFETTI NEL SITO E LIVELLO DI PROBABILITÀ
	A	Zona stabile	Substrato geologico affiorante ( $V_s \geq 800$ m/s) con morfologia pianeggiante o poco inclinata ( $i < 15^\circ$ )	
EFFETTI DI SITO (RISPOSTA SISMICA LOCALE)	B <sub>1</sub>	Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali per effetto litologico	Terreni di copertura, coltri di alterazione del substrato, substrato molto fratturato ( $J_v > 10 - 15$ ) o substrato affiorante con $V_s < 800$ m/s per spessori $> 5$ m	CERTO
	B <sub>2</sub>	Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali per effetto morfologico	Discontinuità morfologiche, quali pendii con $i > 15^\circ$ e $h > 30$ m, bordi di terrazzo o zone di ciglio di scarpata con $h > 10$ m, creste rocciose sottili ( $L_{cresta} \ll L_{base}$ e $i > 30^\circ$ )	ASSENTE
EFFETTI LOCALI (INSTABILITÀ)	C <sub>1</sub>	Zona suscettibile di instabilità	Instabilità di versante (tipo di frane e attività)	ASSENTE
	C <sub>2</sub>		Liquefazione in terreni sabbiosi, sabbioso-limosi e sabbioso-ghiaiosi con soggiacenza della falda idrica $< 15$ m dal p.c.	ASSENTE
	C <sub>3</sub>		Faglia attiva e capace	ASSENTE
	C <sub>4</sub>		Cedimenti differenziali in aree di contatto stratigrafico o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse; densificazione nei terreni granulari asciutti	ASSENTE

Figura 2.6 - Zonazione sismica del sito

### 3 INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA

#### 3.1 Aspetti generali

Il Comune di Palmi con D.G.R. n. 47/04 ricade in Zona Sismica 1 (livello di sismicità "Alta" – Figura 3.1).

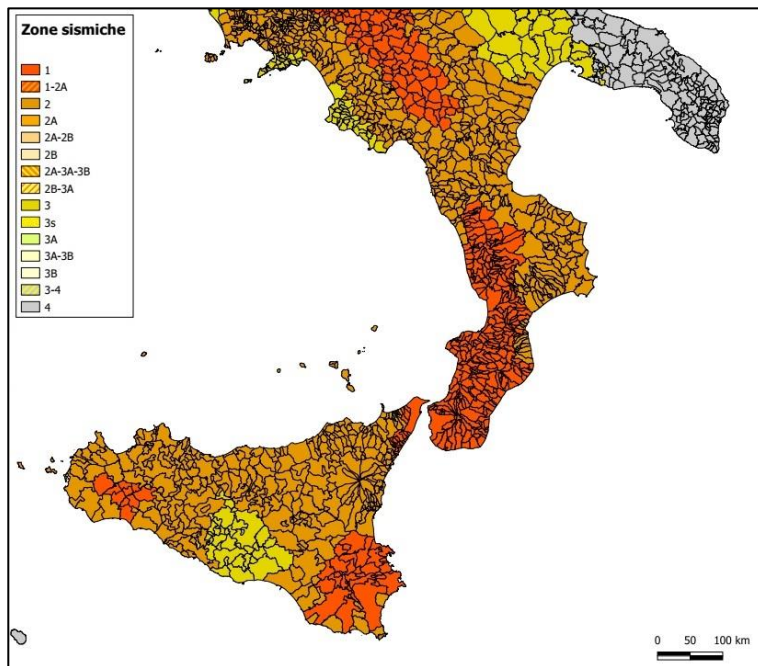


Figura 3.1 - Classificazione sismica al 31 Dicembre 2022

#### 3.2 Caratteristiche sismiche del territorio sulla base delle risultanze delle indagini geofisiche

Sulla base delle indagini sismiche eseguite nell'area è stato possibile determinare la categoria del suolo di fondazione del sito di interesse. Le indagini geofisiche in particolare, hanno rilevato "terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per la categoria C, con profondità del substrato  $H < 30\text{ m}$ ". Ne consegue che il sottosuolo nell'area investigata è stato classificato come categoria di suolo "E" (Figura 3.2).

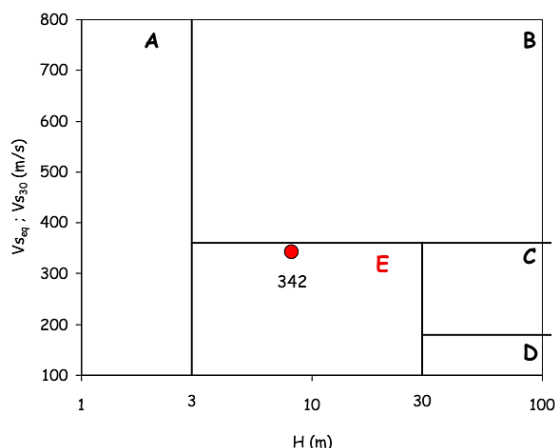


Figura 3.2 - Classificazione del sottosuolo nel sito in progetto



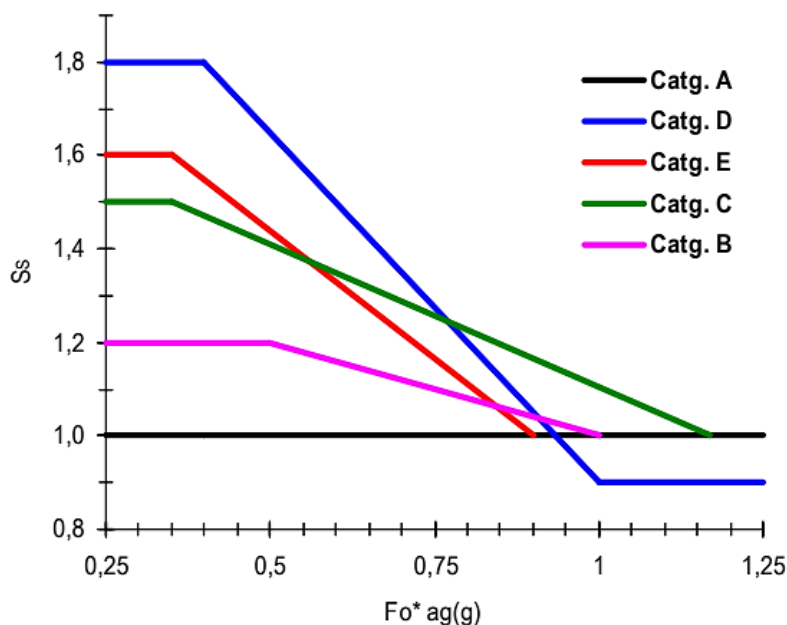
## RELAZIONE SISMICA

Sulla base di tale risultato è possibile valutare l'amplificazione stratigrafica del sito, definendo il coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_S$ .

In generale, per sottosuolo di categoria A il coefficiente  $S_S$  vale 1, mentre per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E il coefficiente  $S_S$  può essere calcolato, in funzione dei valori di  $F_0$  e  $T_C^*$  relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.IV delle NTC 2018 (Tabella 3.1) riportate anche in forma grafica (Figura 3.3), nelle quali  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$  è l'accelerazione di gravità e  $T_C^*$  è espresso in secondi.

Tab. 3.2.IV – Espressioni di  $S_S$  e di  $C_C$ 

Categoria sottosuolo	$S_S$	$C_C$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 3.1 - Espressioni per il calcolo di  $S_S$  e  $C_C$  (Tab. 3.2.IV da NTC 2018)Figura 3.3 - Graficizzazione del coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_S$  in funzione del prodotto  $F_0 \cdot a_g(g)$  e della categoria di suolo

### 3.3 Caratteristiche sismiche del territorio

Sulla base delle indagini sismiche eseguite è stato dunque possibile assegnare una categoria di suolo "E" per il sito in esame risultata categoria "E", ovvero "terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per la categoria C, con profondità del substrato  $H < 30 \text{ m}$ ".

Inoltre, sarà necessario tenere conto di quanto riportato nelle NTC 2018, ossia che alle opere in questione vengano attribuite accelerazioni massime orizzontali con probabilità di superamento del 10% in 50 anni maggiore di  $0.05 \text{ g}$ , pari ad un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico sulla

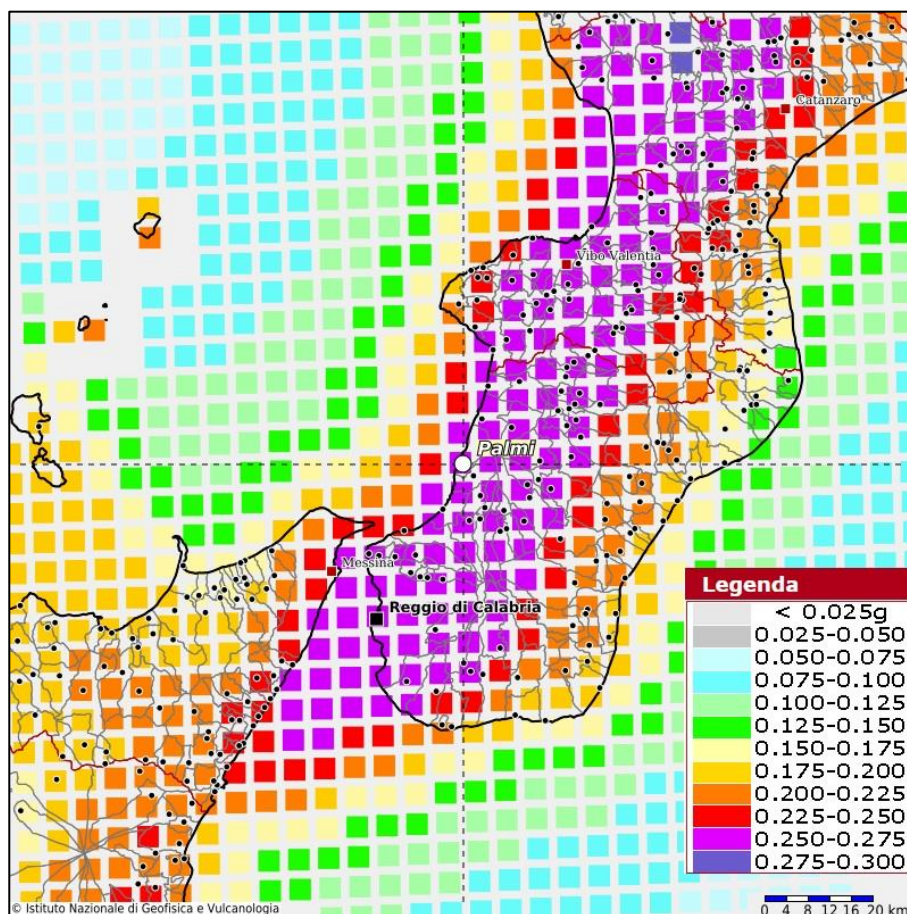
**RELAZIONE SISMICA**

formazione di base (suoli di categoria "A") pari ad  $a_g=0.15g$ .

In particolare, le NTC 2018 e l'OPCM del 28 aprile 2006 n. 3519 superano il concetto della classificazione del territorio in zone, imponendo nuovi e precisi criteri di verifica dell'azione sismica nella progettazione delle nuove opere ed in quelle esistenti, valutata mediante una analisi della risposta sismica locale. In assenza di queste analisi, la stima preliminare dell'azione sismica può essere effettuata sulla scorta delle "categorie di sottosuolo" e della definizione di una "pericolosità di base" fondata su un reticolo di punti di riferimento, costruito per l'intero territorio nazionale.

Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di  $a_g$  e dei principali "parametri spettrali" riferiti all'accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica (fattore di amplificazione massima  $F_0$  e periodo di inizio del tratto a velocità costante  $T_C^*$ ). Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica vengono forniti dall'INGV e pubblicati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Secondo le NTC, l'area strettamente in esame è caratterizzata da un'accelerazione compresa tra 0.25 e 0.275 g, come evidenziato in Figura 3.4 in cui è riportata la mappa di pericolosità sismica per il sito in questione, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi (categoria A,  $V_{s,eq}>800$  m/sec).



**Figura 3.4 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi**

### 3.4 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:

RELAZIONE SISMICA

**Localizzazione sito:**

- Regione Calabria – Provincia di Reggio Calabria – Comune di Palmi

**Coordinate geografiche:**

- Longitudine: 15.863185°
- Latitudine: 38.390959°

**Dati di input per il progetto:**

- Vita nominale  $V_N$ : 50 anni
- Classe d’uso: II
- Coefficiente d’uso  $C_U$ : 1.0
- Periodo di riferimento per l’azione sismica  $V_R = V_N \times C_U$
- Parametri  $T_R$ ,  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$

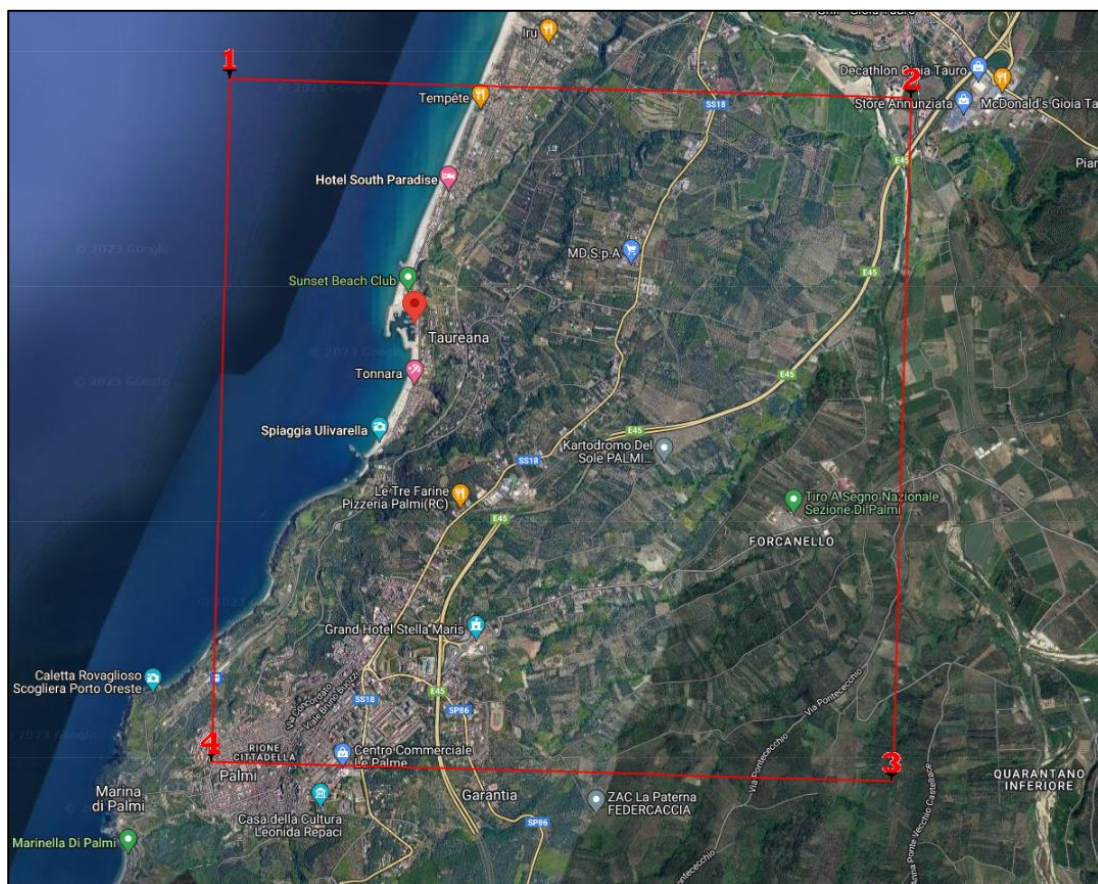


Figura 3.5 - Localizzazione coordinate notevoli del sito con evidenziazione dei vertici della maglia di appartenenza

L’interpolazione spaziale tra tali punti è avvenuta mediante il programma *GeoStru* che ha restituito i valori dei parametri sismici sito-specifici. In Tabella 3.2 sono riportati, nel dettaglio, suddetti parametri sismici.

Stato Limite	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0.065	2.308	0.279
SLD	50	0.087	2.277	0.299
SLV	475	0.259	2.423	0.365
SLC	975	0.348	2.462	0.390

Tabella 3.2 - Tabella riepilogativa parametri sismici caratteristici del sito

## RELAZIONE SISMICA

---

In definitiva, per quanto riguarda la categoria di sottosuolo, sulla base dei risultati delle indagini eseguite e acquisite e secondo quanto indicato nell'elaborato A.02 "Relazione geologica", è possibile attribuire all'area di interesse le seguenti caratteristiche:

- Categoria sottosuolo: *E* - "Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per la categoria *C*, con profondità del substrato  $H < 30$  m";
- Categoria topografica: *T1* - "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ";
- Coefficiente stratigrafico  $S_S = 2.00 - 1.10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} = 1.310$  (SLV);
- Coefficiente amplificazione topografica  $S_T = 1.00$ .



## RELAZIONE SISMICA

## 4 SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE VALORI CARATTERISTICI DELL'AZIONE SISMICA

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  $U_c > 3,5$ .



## RELAZIONE SISMICA

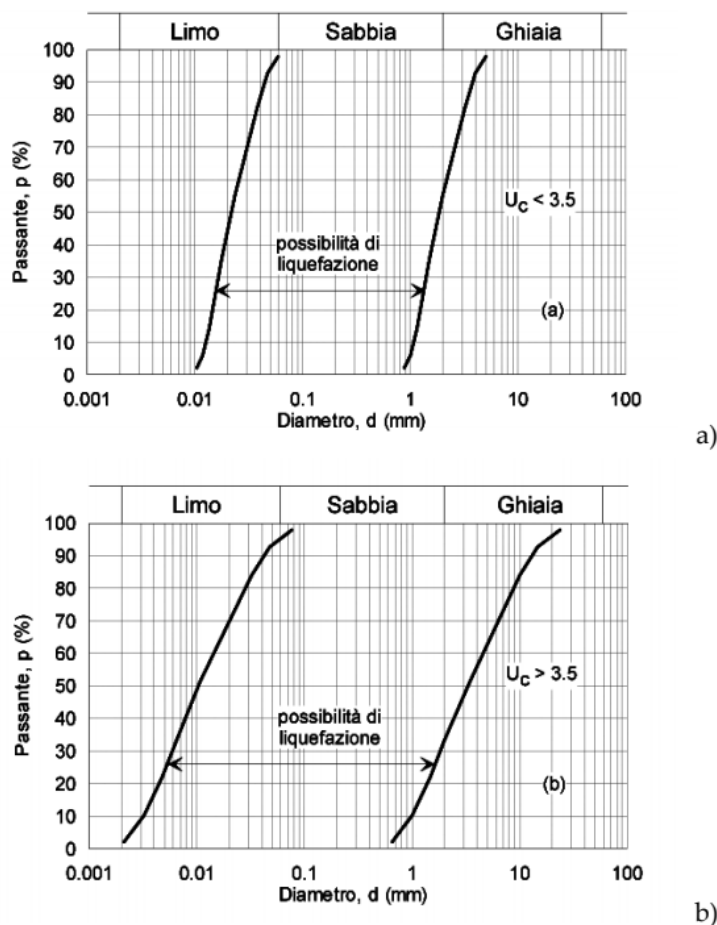


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Figura 4.1 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (Fig. 7.11.1 da NTC 2018)

## 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**:

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

Nel presente caso, l'insorgenza di fenomeni di liquefazione resterebbe confinata in un ristretto campo di probabilità per le condizioni di soggiacenza della falda idrica, nonostante la presenza di depositi granulari a frazione ghiaiosa rilevante, tenuto conto che nella letteratura più recente (CAO ET AL., 2013; ROLLINS ET AL., 2021; SALVATORE ET AL., 2022) sono riportati casi di liquefazione in ghiaie o comunque in terreni con granulometria anche esterna ai fusi critici di normativa, precedentemente riportati in Tabella 2.3 e Figura 2.2 (NTC 2018).

Nel caso in esame, comunque, in base al profilo sismico ricostruito tramite la prova DH (Down-Hole), il rischio di liquefazione può essere sicuramente escluso, tenuto conto che il valore minimo di  $V_s$  nell'orizzonte saturo risulta:

## RELAZIONE SISMICA

$$V_s=321 \text{ m/s} \cong V_{s1}=371 \text{ m/s}$$

e ricade nel campo della non-liquefazione (Figura 4.2) a prescindere dal valore di CSR con riferimento alle curve  $V_{s1}$ -CRR per terreni ghiaiosi (CAO ET AL., 2011; ROLLINS ET AL., 2022).

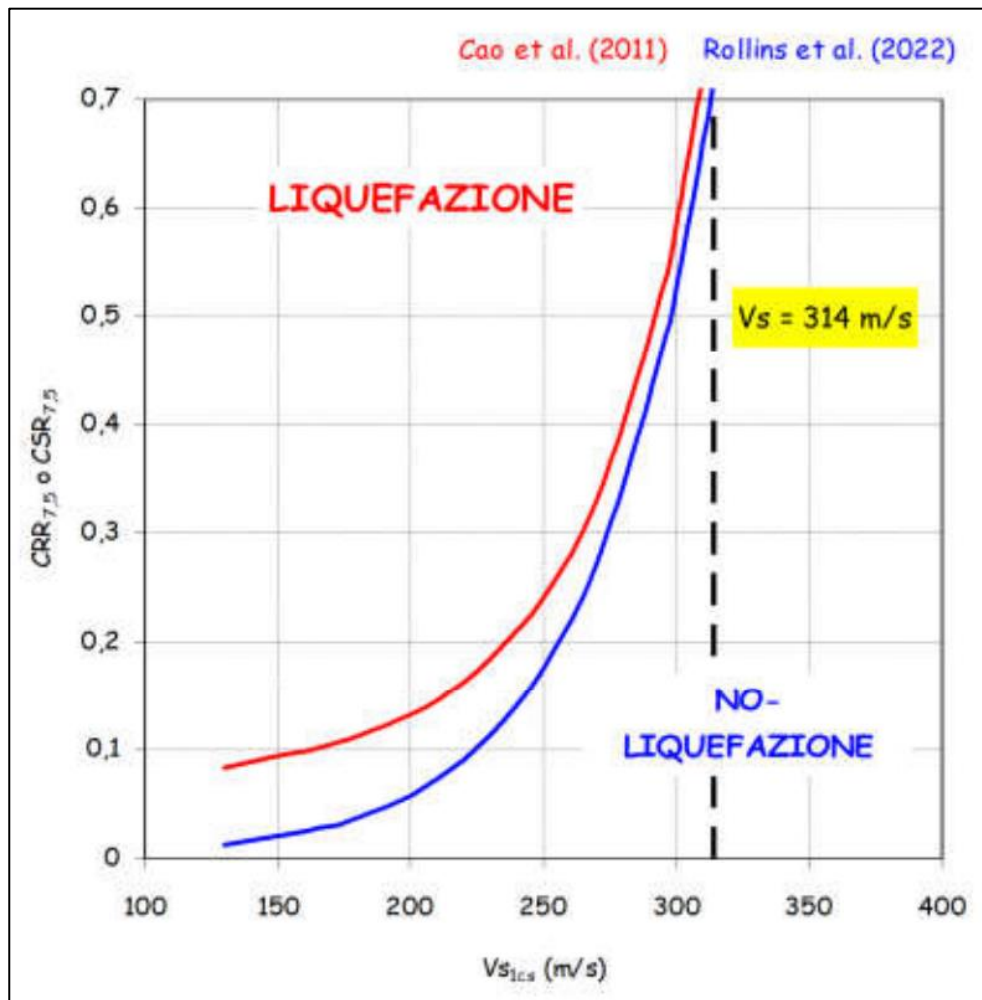


Figura 4.2 - Verifica a liquefazione – Curve  $V_{s1}$ -CRR per terreni ghiaiosi (da *Relazione Geologica*)