



AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DELLO STRETTO

PORTI DI MESSINA, MILAZZO, TREMESTIERI, VILLA SAN GIOVANNI E REGGIO CALABRIA

LAVORI DI AMPLIAMENTO DEL MOLO NORIMBERGA DEL PORTO DI MESSINA - INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DELLA RADICE OVEST E AMPLIAMENTO DEL MOLO NORIMBERGA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA



SCALA:

1 8

0 0 7

P R

0 0 7

- 1

G E N

ELAB./TAV.:

R.07

TITOLO:

Relazione sismica e sulle strutture

PROGETTAZIONE:

Capogruppo Mandataria:



MODIMAR Srl - Via Monte Zebio 40 - ROMA

Dott. Ing. Paolo Contini

Mandante:



Dott. Ing. Niccolò Saraca

Mandante:



Dott. Ing. Antonino Sutera

Mandante:



Dott. Ing. Alfredo Ingletti

REVISIONI	REV. n°	DATA	MOTIVAZIONE
	1	28/04/2023	INTEGRAZIONE PROGETTO DI AMPLIAMENTO DEL MOLO E AGGIORNAMENTO TITOLO PFTE
	0	27/01/2021	EMISSIONE

R.U.P.:

Ing. Massimiliano MACCARONE

VISTI/APPROVAZIONI:

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	18	007	PR	007	-1	GEN

AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE DELLO STRETTO

PORTI DI MESSINA, MILAZZO, TREMESTIERI, VILLA SAN GIOVANNI E REGGIO CALABRIA

**“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del Porto di Messina”
Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del
molo Norimberga**

Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	18	007	PR	007	-1	GEO

Sommario

1	Premessa.....	3
2	Normativa e raccomandazioni di riferimento.....	4
3	Inquadramento dell’intervento in progetto	5
4	Inquadramento Geologico e Geomorfologico locale.....	10
5	Normativa e classificazione sismica	12
5.1	Sismicità storica.....	15
6.	Indagini geofisiche.....	20
6.1	Prospezione sismica MASW	20
6.2	Definizione del sottosuolo	22
6.3	Tomografie elettriche a mare	24
7	AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	27
7.1	Vita nominale, classe d’uso e periodo di riferimento	27
7.2	Stati Limite di progetto.....	27
7.3	Categoria di sottosuolo e amplificazione stratigrafica.....	27
7.4	Parametri degli spettri elastici di progetto	29
7.5	Stima della magnitudo attesa per il sito di studio.....	32
8	Verifica a liquefazione.....	34
8.1	METODI SEMI – EMPIRICI PER LA VERIFICA A LIQUEFAZIONE	34
8.1.1	Metodo di Seed e Idriss (1982)	34
8.1.2	36
8.1.3	Verifica a liquefazione del sito	36
9	Conclusioni.....	40

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEN

1 Premessa

Il porto di Messina con il suo bacino storico antistante la struttura urbana, gli approdi al di fuori di questo a nord e quelli di più recente realizzazione in località Tremestieri è tra i più grandi ed importanti scali di tutto il Mediterraneo. Posizionato su una delle rotte essenziali per il commercio, è anche tra i principali scali turistici, il primo in Italia nel settore con un traffico annuo crescente di croceristi. Con tradizioni antichissime, ha da sempre ricoperto un ruolo fondamentale per lo sviluppo economico e sociale della città di Messina.

Al fine di migliorare la ricettività del porto di Messina nei confronti delle navi da crociera e commerciali dell’ultima generazione, di eliminare alcune criticità sia ai fini della sicurezza che per il miglioramento della funzionalità dell’infrastruttura portuale rappresentate anche dagli operatori portuali, dalla Capitaneria di Porto e dalla Corporazione Piloti dello Stretto, è stato redatto un Adeguamento Tecnico Funzionale del PRP del porto di Messina avente per oggetto la modifica della configurazione dell’ampliamento del Molo Norimberga previsto nel nuovo PRP.

L’Adeguamento Tecnico Funzionale proposto dopo aver ottenuto la dichiarazione di non contrasto con i vigenti strumenti di pianificazione urbanistica del Comune di Messina è stato adottato dal Comitato Portuale con Delibera del n. 43 del 30-01-2019 e presentato al Consiglio superiore dei Lavori Pubblici per ottenere il parere di competenza. Nelle more dell’ottenimento del parere del C.S.LL.PP. e della consiguiente approvazione dell’ATF da parte della Regione Sicilia, vista l’attuale necessità di procedere a specifici approfondimenti inerenti la radice del Molo Norimberga, già interessata da intervento di riempimento di alcune sgrottature evidenziate a seguito di una specifica campagna di rilievi, l’ADSP ha incaricato l’RTP scrivente, esecutrice dei servizi in oggetto, di dare corso ad una campagna di rilievi ed indagini ed alla redazione di un progetto-stralcio dei lavori di consolidamento della parte radicale ovest e di ampliamento del Molo Norimberga.

Il presente Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica è una revisione della precedente versione del PFTE 2021 che interessava i soli lavori di consolidamento della radice ovest del molo Norimberga; nella presente revisione del PFTE sono stati inseriti anche i lavori inerenti all’ampliamento del molo Norimberga. Sia i lavori di consolidamento della radice ovest che di ampliamento sono già previsti nell’ambito dell’ATF.

A partire dal modello geotecnico locale ricostruito interpretando le indagini geognostiche eseguite, nella presente relazione viene determinata l’azione sismica di progetto in accordo alla Normativa vigente (NTC 2018).

Le indagini geofisiche eseguite nella campagna d’indagine del 2021 (Marzo/Aprile), hanno permesso di definire la categoria di fondazione per il sito oggetto dell’intervento in progetto.

L’NTC 2018, al § 7.11.3.4.2 “Esclusione della verifica a liquefazione”, contiene le linee guida per valutare la suscettibilità alla liquefazione sismica dei terreni.

Il sito, caratterizzato da depositi incoerenti e con una profondità della falda a circa 2.50 da p.c. è soggetto alla verifica alla liquefazione.

Sulla base delle prove SPT viene eseguita la verifica del potenziale a liquefazione dei terreni sabbiosi all’interno di profondità pari a 15 m.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEO

2 Normativa e raccomandazioni di riferimento

- ✓ Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n.36 del 27.07.2007;
- ✓ Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n.3274 (e successive modifiche ed integrazioni) *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica.*
- ✓ Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17/01/2018 - G.U. n° 08 del 20.02.2018).
- ✓ Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”. Circolare N. 7 del C.S.LL.PP. - 21/01/2019.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEN

3 Inquadramento dell’intervento in progetto

Il porto Messina è costituito da un'ampia insenatura racchiusa dalla tipica falce naturale che si apre sulla sponda occidentale dello Stretto di Messina. Lo specchio acqueo portuale è di circa 820.000 m² mentre le aree a terra, occupano circa 50 ettari. L'imboccatura del porto, orientata a NW, è larga circa 400 metri e si estende tra il Forte San Salvatore e la sede operativa della capitaneria di Porto.

I fondali (essenzialmente sabbiosi) raggiungono, nella zona NE del porto, una profondità massima di 65 m. La profondità media, a circa 100 m dal filo delle banchine, è dell’ordine di 40 m, mentre i fondali in banchina sono compresi tra i 6,5 m e 13 m; questo consente l'accesso e l'attracco anche a navi di grosso tonnellaggio. Le zone attualmente banchinate sono quelle dell’area nord-nord ovest del bacino portuale interno alla zona Falcata ed i due sporgenti Norimberga e Libia, quest’ultimo occupato dai bacini di carenaggio e, in parte, da presidi militari (Arsenale e Marina Militare) che si estendono fino alla testata del forte S. Salvatore. Tra il molo Norimberga ed il fronte dei banchinamenti anzidetto si interpongono gli invasi delle Ferrovie dello Stato. Le banchine di nord-ovest, attrezzate con gru, fisse e mobili, e dotate di binari per i collegamenti ferroviari, si estendono per un totale di circa 1.770 metri. L’andamento di dette banchine (Rizzo, Peloro, Marconi, I settembre, Colapesce e Vespri), segue l’originario profilo di battigia, in considerazione delle difficoltà di avanzamento delle banchine verso mare dettate dai fondali particolarmente acclivi, che al centro del porto raggiungono anche la quota di 50 m sotto il l.m.m. La banchina interessata dall’intervento di consolidamento, per uno sviluppo di circa 20 m a partire dalla radice ovest del molo Norimberga è di tipo a “massi sovrapposti” realizzati in conglomerato cementizio (v. Figura 1), appoggiati su uno scanno in pietrame, a contenimento del materiale di riporto sottostante il piazzale di banchina. Planimetricamente la banchina è radicata alla banchina ovest del molo Norimberga con un angolo di circa 120°. L’attuale quota del fondale prospiciente è mediamente – 9.m s.l.m.; la quota del piazzale a ridosso del ciglio banchina è di circa + 2,5 m s.l.m. Al piede della banchina sono state rilevate sgrottature temporaneamente sanate con interventi locali di riempimento che compromettono la sua stabilità. La banchina interessata dall’intervento per uno sviluppo di circa 20 m a partire dalla radice ovest del molo Norimberga è di tipo a “massi sovrapposti” realizzati in conglomerato cementizio (vedi Figura 1), appoggiati su uno scanno in pietrame, a contenimento del materiale di riporto sottostante il piazzale di banchina. Planimetricamente la banchina è radicata alla banchina ovest del molo Norimberga con un angolo di circa 120°. L’attuale quota del fondale prospiciente è mediamente – 9.m s.l.m.; la quota del piazzale a ridosso del ciglio banchina è di circa + 2,5 m s.l.m. Al piede della banchina sono state rilevate sgrottature temporaneamente sanate con interventi locali di riempimento che compromettono la sua stabilità.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEO

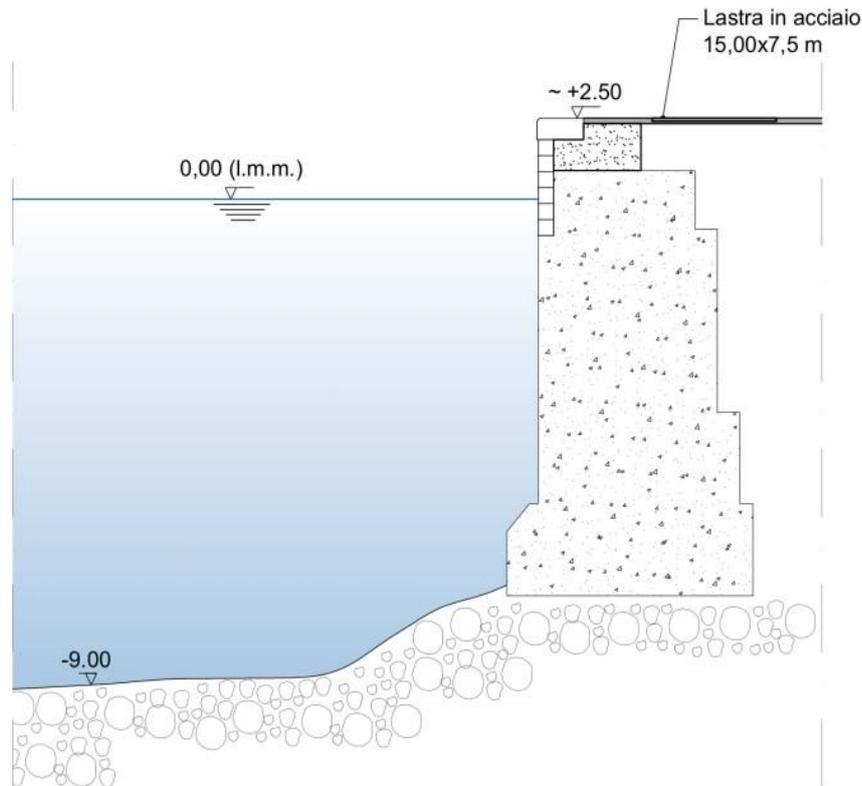


Figura 1 Radice ovest del molo Norimberga del tipo a massi sovrapposti

Il tratto di radice del molo a cui l'intervento in oggetto si dovrà raccordare è caratterizzato dalla medesima tipologia strutturale, consolidata e rifoderata sul fronte d'accosto nei primi anni 2000 secondo lo schema mostrato in Figura 2.

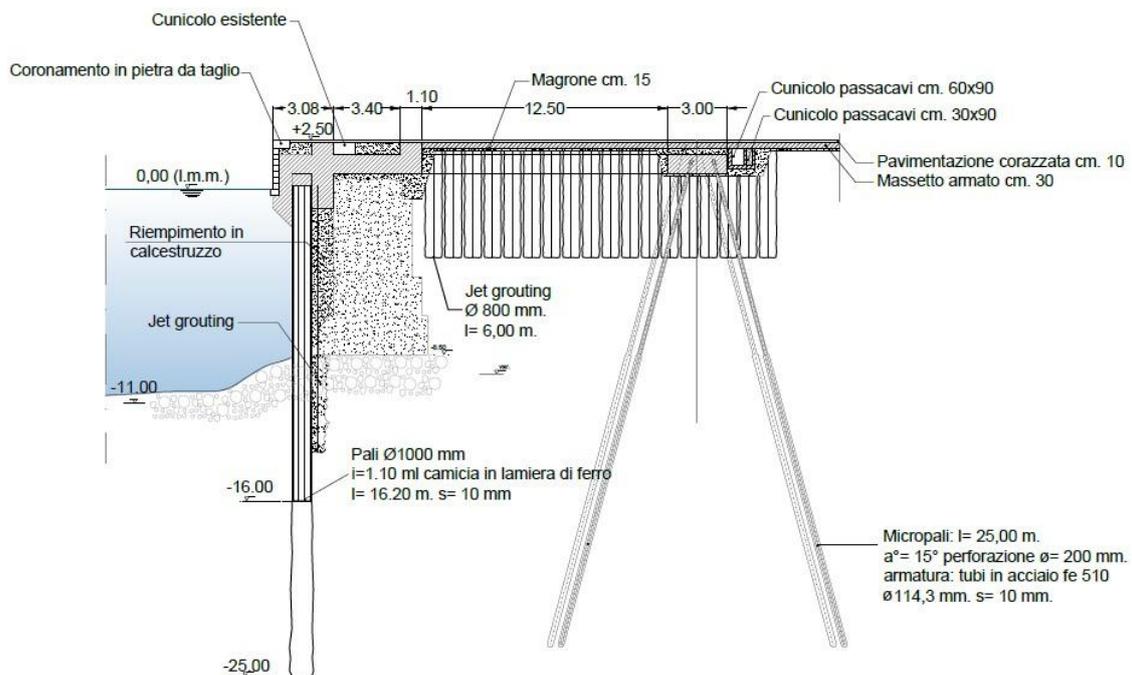


Figura 2 Intervento di consolidazione e rifoderamento del molo Norimberga eseguito nei primi anni del 2000

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEN

Le caratteristiche tecniche dei muri di banchina esistenti interessati dagli interventi in oggetto e l’attuale condizione di stabilità ridotte dalla vetustà dell’opera di sostegno a massi sovrapposti interessata da particolari fenomeni di sgrottamento, hanno portato a scegliere una soluzione a basso impatto in termini di azioni indotte durante la fase realizzativa, preferendo la tecnologia del palo trivellato in calcestruzzo armato a palancolati vibro infissi o pali battuti.

Gli interventi individuati consistono la resecazione dell’attuale banchina a massi sovrapposti che si attesta nella radice ovest del molo Norimberga (vedi Figura 3) andando a realizzare un nuovo fronte di accosto per navi Ro-Ro e Ro-Pax che si raccorderà ortogonalmente al molo stesso e si estenderà, a partire dalla radice ovest, per circa 20 m, permettendo di superare le attuali criticità inerenti all’attracco delle navi Ro-Ro e Ro-Pax, e facilitandone l’apertura del portellone di poppa verso terra.

Il nuovo fronte banchina verrà realizzato con pali in c.a. trivellati di grosso diametro ($\Phi 1000$ mm) affiancati, allineati perpendicolarmente al fronte esistente della banchina ovest del molo Norimberga, ed intirantati ad un sistema d’ancoraggio realizzato o attraverso con un cavalletto di micropali o alternativamente attraverso una paratia di pali trivellati in c.a. di ancoraggio. L’interspazio tra i pali affiancati di banchina è previsto con un trattamento di jet-grouting di intasamento al fine di scongiurare la perdita del materiale di riempimento a tergo della banchina.

Nell’ambito dell’intervento è previsto il miglioramento delle caratteristiche geotecniche del terreno a tergo della banchina mediante l’esecuzione di colonne in jet-grouting.

Lo studio di due differenti sistemi di ancoraggio alternativi (vedi In Figura 4) è stato svolto a seguito dell’individuazione dell’interferenza dettata dalla presenza di edifici nel piazzale retrostante al nuovo banchinamento e dell’attuale mancanza di informazioni geotecniche puntuali dell’area di intervento, rimandando dunque la scelta della soluzione di ancoraggio ottimale alla successiva fase di progettazione definitiva.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEO

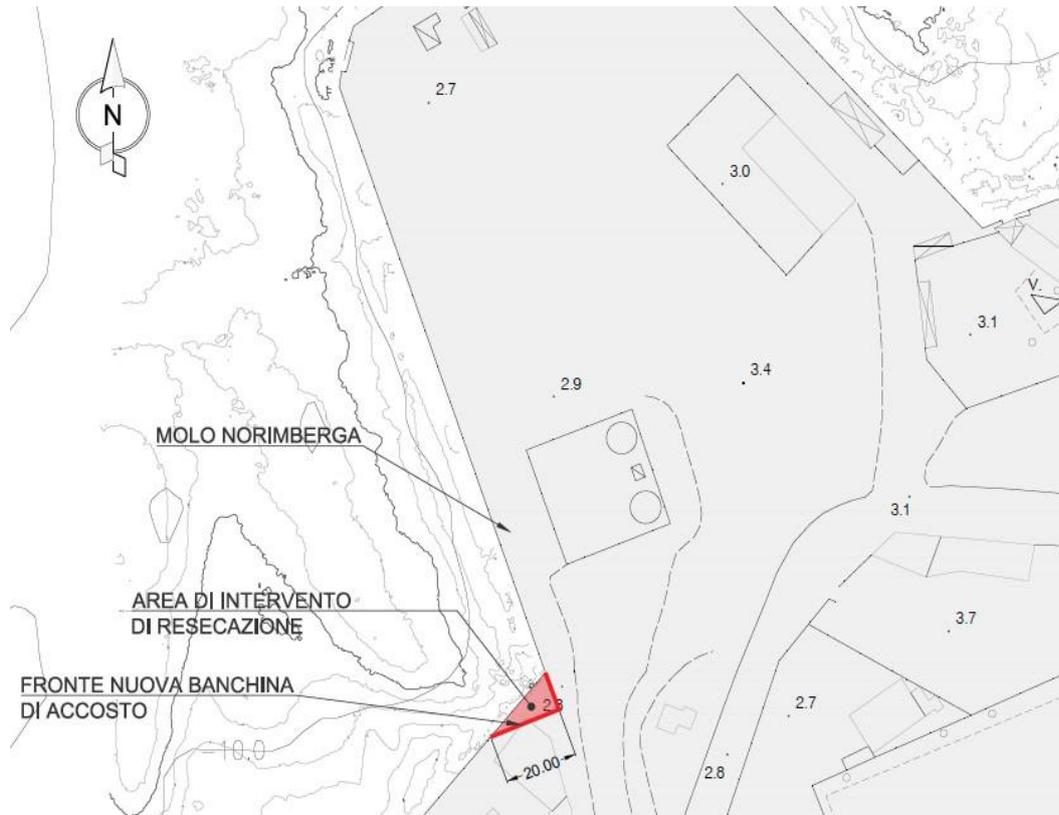


Figura 3 Area di intervento

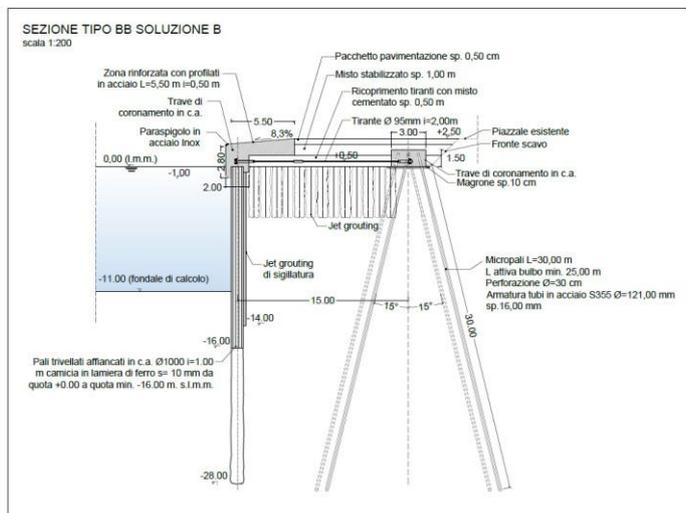
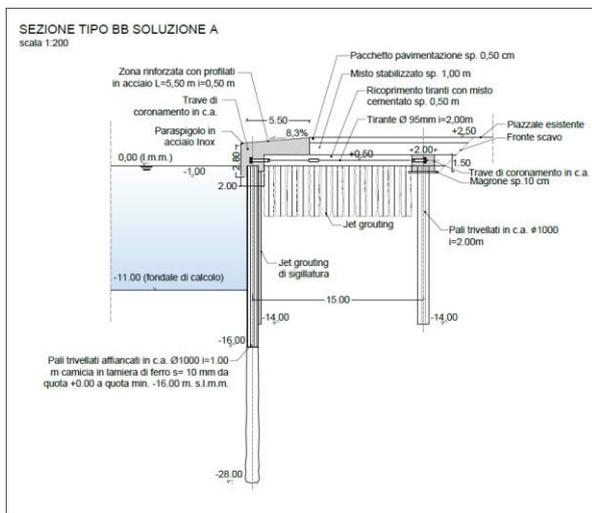


Figura 4 Soluzioni progettuali alternative

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 28 aprile 2023					
		18	007	PR	007	-1	GEN

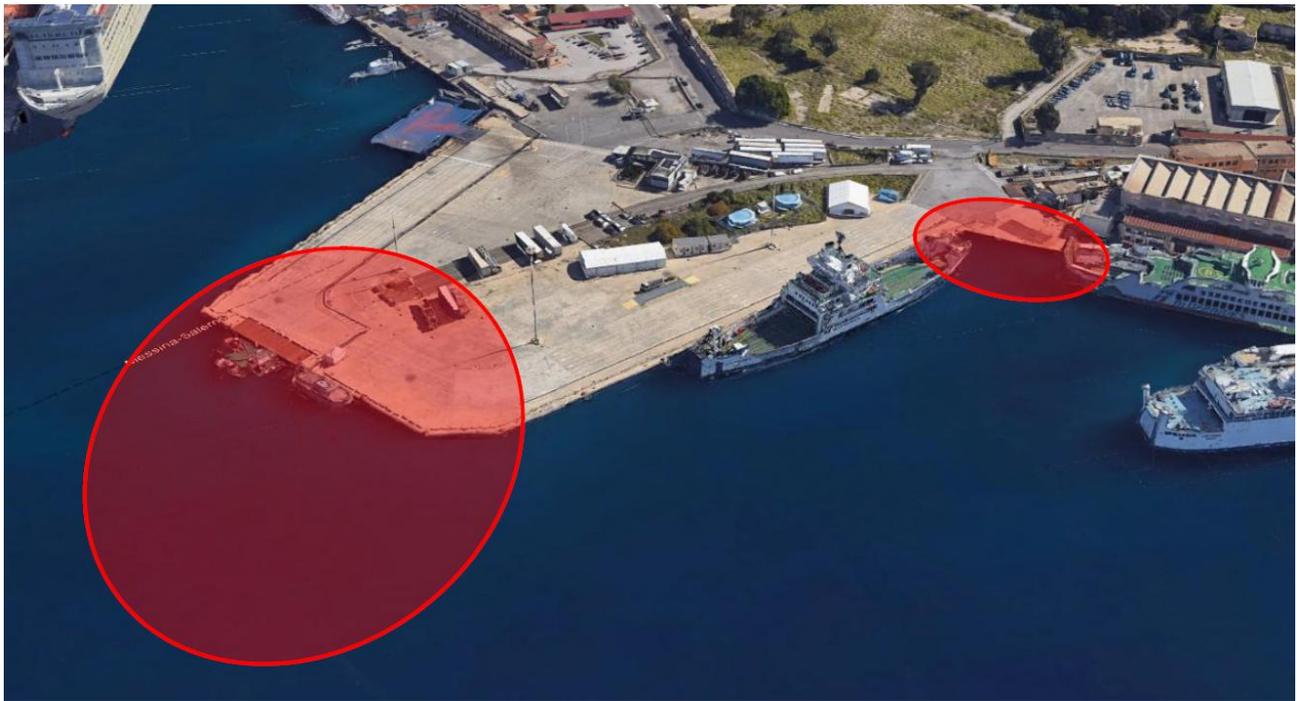


Figura 5 Vista aerea dell'area di intervento con indicazione della zona di consolidamento della radice ovest e di ampliamento

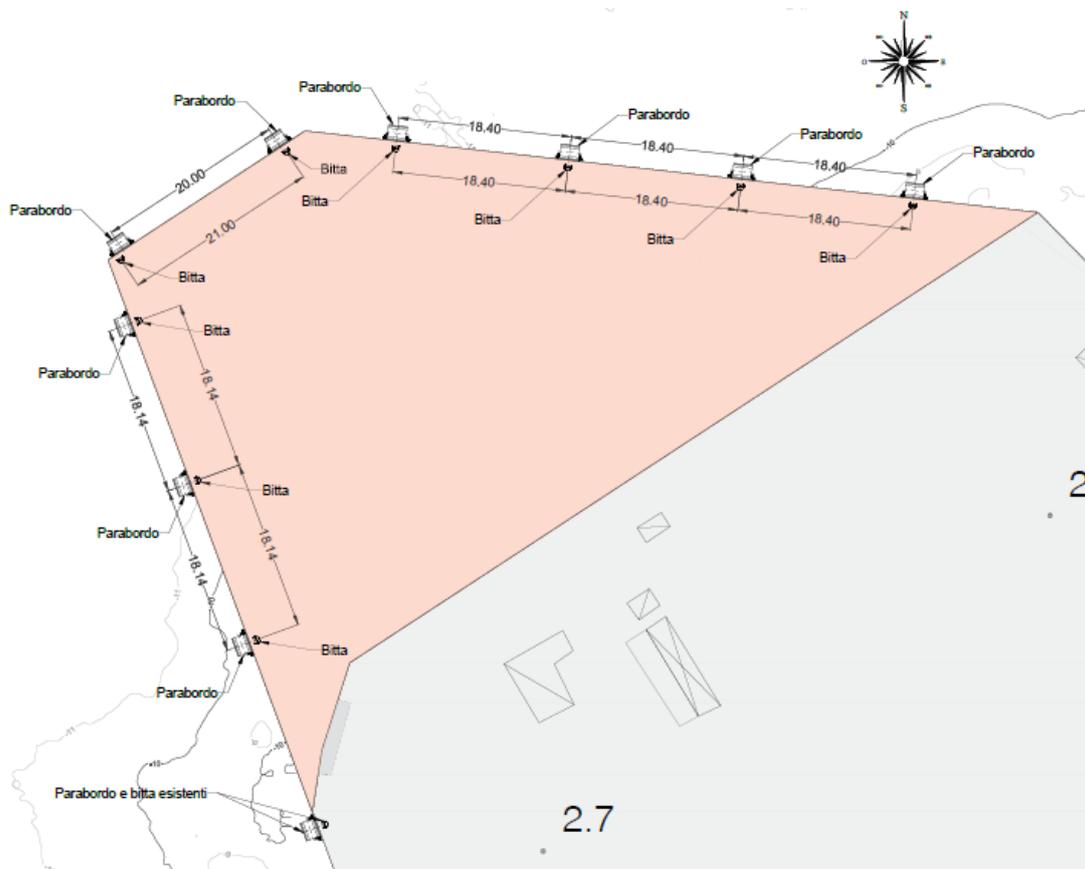


Figura 6 Planimetria di progetto dell'opera finita

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 28 aprile 2023					
		18	007	PR	007	-1	GEO

4 Inquadramento Geologico e Geomorfológico locale

L’area di intervento è ubicata nella parte centrale dell’area portuale di Messina al margine orientale del tessuto urbano della città in corrispondenza dell’attuale banchina Norimberga (Figura 5). Si tratta di un’area di intensa urbanizzazione caratterizzata da una morfologia sub-pianeggiante il cui assetto è stato modificato negli anni dall’azione antropica con consistenti opere di sbancamento e rinterro.



Figura 7 Vista aerea del sito di progetto (da Google Earth)

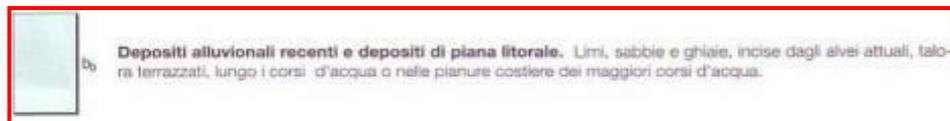
Dal punto di vista geologico, l’intera fascia portuale risulta costituita da depositi clastici noti come “Sabbie e Ghiaie di Messina” ascrivibili all’epoca del Miocene medio – Quaternario su cui poggiano a loro volta i depositi marini terrazzati di età pleistocenica ed i depositi di piana litorale.

In dettaglio, sulla base dei sondaggi geognostici, nell’area in esame si riscontrano i depositi di origine fluviale costituiti in prevalenza da sabbie ben classate, sabbie limose e limi sabbiosi.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 28 aprile 2023					
		18	007	PR	007	-1	GEN



Figura 8 Stralcio foglio n.601 della Carta Geologica d'Italia



DEPOSITI DEL PLEISTOCENE MEDIO - SUPERIORE

depositi transizionali e continentali



Figura 9 Unità geologiche individuate nell'area portuale di Messina

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEO

5 Normativa e classificazione sismica

L’ordinanza N. 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 “*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*” ha fornito un’evoluzione in materia di classificazione sismica del territorio nazionale e delle normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Prima di tale ordinanza, per la valutazione dell’azione sismica, il riferimento era rappresentato dalla mappa sismica valida dal 1984 (Fig.2).

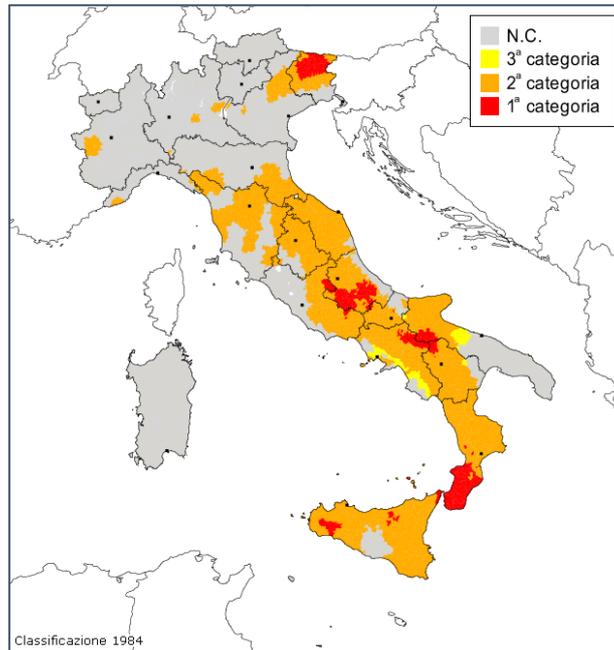


Figura 10 Classificazione sismica 1984

Con l’entrata in vigore dell’Ordinanza n.3274, la classificazione sismica si estende a tutto il territorio nazionale con l’individuazione di quattro zone con grado di pericolosità crescente (Fig. 3).

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEN

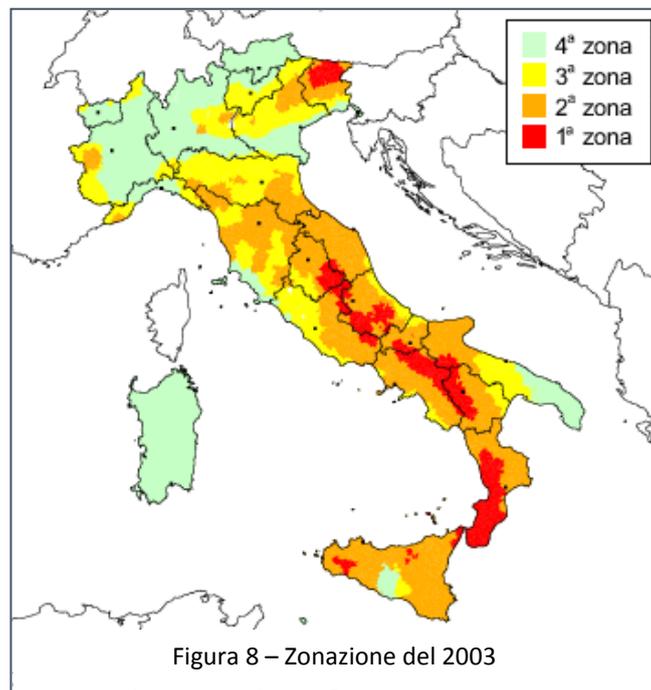


Figura 11 Zonizzazione del 2003

A ciascuna delle 4 zone sismiche è stato associato il valore della massima accelerazione sismica al suolo prevista (Tabella 2).

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a_g/g]
1	>0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Tabella 1: Valori di accelerazione sismica

Le “Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC-2008) del 14-01-2008 in vigore dal 1 Luglio 2009 aggiornano l’Ordinanza N. 3274, che stabiliva l’attribuzione alle diverse località del territorio nazionale un valore di scuotimento sismico di riferimento, espresso in termini di incremento dell’accelerazione al suolo portando a 4 il numero delle zone sismiche (Tabella n.1).

Le NTC – 2008 forniscono una nuova modalità di valutazione dell’intensità dell’azione sismica avendo come base una mappa di pericolosità sismica prodotta dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V.).

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 28 aprile 2023					
		18	007	PR	007	-1	GEO

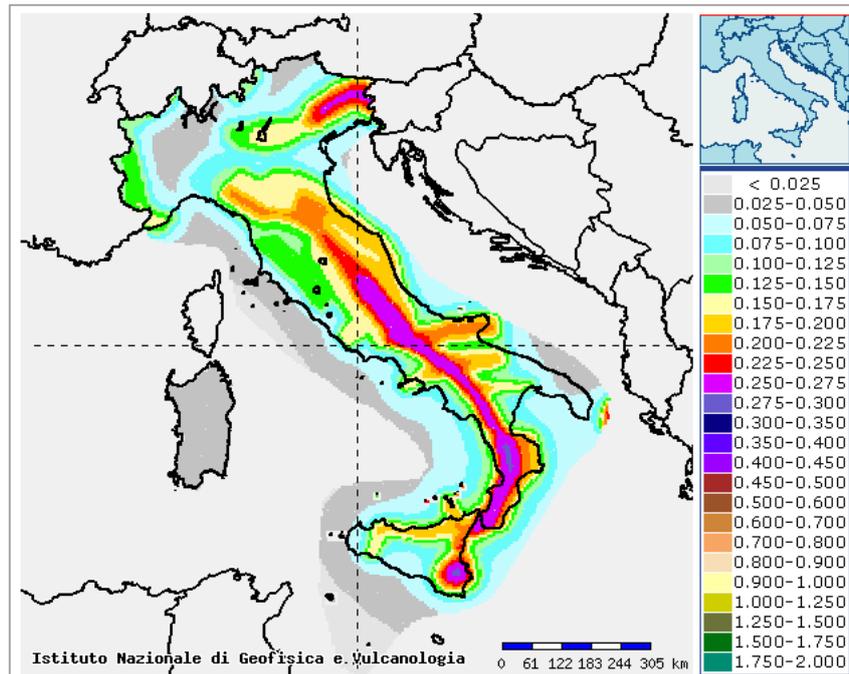


Figura 12 Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b)

L'intero territorio nazionale, in questo sistema di mappatura, è stato suddiviso in riquadri, ciascuno lato dei quali misura 10 km (reticolo di riferimento). Ogni vertice di questi riquadri indica, tramite simbolo colorato, il valore dell'accelerazione sismica $a(g)$ prevista al suolo definita come parametro dello scuotimento da utilizzare come riferimento per la valutazione dell'effetto sismico da applicare all'opera in oggetto di studio (Fig. 4).

Sulla base di tale classificazione, e successivi aggiornamenti (NTC 2018), l'area oggetto dell'intervento ha un'accelerazione sismica compresa tra **0.250-0.275**.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEN



Figura 13 Mappa di pericolosità sismica

5.1 Sismicità storica

Nell'area oggetto di studio si sono verificati n°177 eventi sismici dal 1169 al 2020 con magnitudo minima pari a 3.46 e magnitudo massima pari a 7.32, così come riportato nella tabella sottostante (Tabella 29 – Figura 6), estratta dal sito dell'I.N.G.V. (https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/).

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	18	007	PR	007	-1	GEO

Effetti	In occasione del terremoto del						NMDP	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale		
7	1169	02	04	07			Sicilia sud-orientale	8	10 6.50
8	1172	09	26	13	40		Messina	1	8 5.56
6-7	1255	11	17	10			Messina	1	6-7 4.86
6-7	1429	11	10	16	20		Messina	1	6-7 4.86
5	1448						Messina	1	5 4.16
7-8	1494	05	29	02	15		Messina	1	7-8 5.33
7-8	1499	11	09				Messina	1	7-8 5.33
7	1509	02	25	22	20		Stretto di Messina	4	8 5.56
5	1513	08	25				Messina	1	5 4.16
5	1542	12	10	15	15		Sicilia sud-orientale	32	10 6.68
5	1549	04					Messina	1	5 4.16
3-4	1566	11	30				Etna - Versante settentrionale	2	6-7 3.47
7	1599	08					Stretto di Messina	2	7 5.10
5	1601						Messina	1	5 4.16
F	1609	07	20				Calabria centrale	5	8-9 5.80
6	1613	08	25	05			Monti Nebrodi	2	8 5.56
6-7	1635	08	12				Messina	3	5-6 4.40
7	1638	03	27	15	05		Calabria centrale	213	11 7.09
6-7	1649	01					Stretto di Messina	2	5-6 4.40
5	1659	11	05	22	15		Calabria centrale	126	10 6.57
5	1693	01	09	21			Sicilia sud-orientale	30	8-9 6.07
8	1693	01	11	13	30		Sicilia sud-orientale	179	11 7.32

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica					Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
						Data: 28 aprile 2023					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto					18	007	PR	007	-1	GEN

6	1693 04 01 07 50	Ionio meridionale	4	6 4.63	5	1841 01 03 22	Stretto di Messina	3	6-7 4.86
3	1694 05 16	Sicilia orientale	7	5-6 4.40	5	1841 08 15 02	Stretto di Messina	2	5 4.16
3	1694 09 08 11 40	Irpinia-Basilicata	251	10 6.73	4-5	1848 01 11 12	Golfo di Catania	41	7-8 5.51
5-6	1706 03 19	Stretto di Messina	4	5-6 4.76	6	1851 04 11 06	Stretto di Messina	2	5 4.16
5	1711 02 21	Stretto di Messina	2	5 4.16	3	1854 02 12 17 50	Cosentino	89	10 6.34
5	1711 03 14	Stretto di Messina	2	5 4.16	3	1869 11 28	Vibonese	21	5-6 4.60
6	1715 03	Sicilia nord-orientale	2	6 4.63	2-3	1870 10 04 16 55	Cosentino	54	9-10 6.24
5	1716 12 01	Catania	2	6 4.63	4-5	1876 09 12 23 08	Reggio di Calabria	5	5 4.16
5	1717 04 22	Monti Peloritani	7	6-7 4.91	3	1884 01 10 20 35	Etna - Versante settentrionale	14	6 3.19
5-6	1717 06 15	Ionio meridionale	2		F	1884 05 04 20 13	Calabria centrale	8	4 4.29
5-6	1720 09 12	Calabria meridionale	2	5-6 4.40	2-3	1887 12 03 03 45	Calabria settentrionale	142	8 5.55
NF	1726 09 01 21 55	Tirreno meridionale	8	7-8 5.48	4-5	1889 10 05 13 52	Calabria meridionale	10	5 4.53
3-4	1727 01 07	Val di Noto	14	6-7 4.64	3	1892 01 22 23 47	Monti Iblei	26	5 4.41
F	1729 06 29 13	Golfo di Patti	4	6-7 4.86	3	1892 03 16 12 38	Alicudi	28	7 5.24
5	1732 03 28	Monti Peloritani	3	5 4.16	3	1893 04 22 03 20	Monti Nebrodi	33	6-7 4.83
4	1735 09 06	Vibonese	5	6 4.82	3	1894 02 20	Monti Peloritani ?	16	5 4.33
7	1743 02 20	Ionio settentrionale	84	9 6.68	7	1894 11 16 17 52	Calabria meridionale	303	9 6.12
5	1743 12 07 07 45	Calabria centrale	27	8-9 5.88	3	1894 12 27	Filicudi	12	6 4.99
8-9	1749 08	Messina	1	8-9 5.80	5	1895 03 09 22 04	Tirreno meridionale	7	5 4.67
F	1770 06 08	Stretto di Messina	2	5-6 4.40	5	1895 07 26 17 44	Calabria meridionale	14	5 4.32
5	1777 06 06 16 15	Tirreno meridionale	9		4-5	1895 11 18 16 32	Oppido Mamertina	17	5 4.61
6-7	1780 03 28	Sicilia nord-orientale	10	7-8 5.52	4-5	1896 04 01 07 18 3	Calabria meridionale	11	5 4.27
7-8	1780 04 09	Stretto di Messina	3	6-7 4.86	F	1896 09 17 14 51	Calabria meridionale	11	5 4.38
8	1783 02 05 12	Calabria meridionale	356	11 7.10	5	1897 02 11 23 33 0	Ionio meridionale	96	5 5.03
8-9	1783 02 06 00 20	Stretto di Messina	8		5	1897 05 28 22 40 0	Ionio	132	6 5.46
6-7	1783 02 07 13 10	Calabria centrale	191	10-11 6.74	6-7	1898 08 12	Sicilia nord-orientale	69	6-7 4.82
6	1783 03 01 01 40	Calabria centrale	18		2-3	1898 09 17 14 26	Monforte San Giorgio	9	5-6 4.01
7-8	1783 03 28 18 55	Calabria centrale	323	11 7.03	3	1898 11 03 05 59	Calatino	48	5-6 4.51
5	1783 04 26 02 10	Sicilia nord-orientale	2	5-6 4.40	4-5	1901 12 13 00 10 2	Calabria	46	5 4.81
7-8	1785 03 17 03 33	Stretto di Messina	4	6-7 4.86	NF	1903 07 13 08 19	Calatino	46	5 4.14
7	1786 03 10 14 10	Golfo di Patti	10	9 6.14	7	1905 09 08 01 43	Calabria centrale	895	10-11 6.95
5	1787 09 20 04	Messina	1	5 4.16	5	1907 10 23 20 28 1	Aspromonte	274	8-9 5.96
4	1789 02 07	Calabria meridionale	3	7 5.10	3	1908 11 05 16 50	Calabria meridionale	24	6 4.58
5-6	1817 10 19 02 30	Messina	1	5-6 4.40	3	1908 12 10 06 20	Monti Peloritani	64	7 5.11
5	1818 02 20 18 15	Catanese	128	9-10 6.28	10-11	1908 12 28 04 20 2	Stretto di Messina	772	11 7.10
NF	1818 09 08 09 50	Monti Madonie	24	7-8 5.34	7-8	1909 01 23 18 28	Stretto di Messina	21	7 5.15
NF	1819 02 24 23 20	Monti Madonie	24	7-8 5.37	8	1909 07 01 06 24	Stretto di Messina	35	8 5.49
5-6	1823 03 05 16 37	Sicilia settentrionale	107	8 5.81	3	1909 11 20 12 51	Stretto di Messina	2	3-4 3.46
F	1830 07 13 15	Reggio di Calabria	3	5-6 4.40	3-4	1909 11 20 20 50	Stretto di Messina	2	4 3.70
4	1831 01 28	Milazzo	4	5-6 4.40	2	1910 03 31 18 38	Catanzarese	3	4-5 3.93
5	1839 08 27	Stretto di Messina	2	5 4.16					

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica		Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
			Data: 28 aprile 2023					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEO

3	1910 06 13 23 43	Calabria meridionale	14	5 4.36	3	1968 05 19 09 37 3	Tirreno meridionale	11	4.90
6	1910 11 18 02 42	Tirreno meridionale	4	5 4.16	2	1970 08 16 10 45 2	Ionio meridionale	5	4.36
2	1910 12 12 06 07	Calabria centrale	5	4 3.70	4	1971 02 19 18 50 2	Monti Peloritani	17	5 4.54
5	1911 03 11 03 29	Calabria meridionale	8	5 4.42	6	1975 01 16 00 09 4	Stretto di Messina	346	7-8 5.18
5-6	1912 12 22 08 05	Stretto di Messina	56	5-6 4.68	NF	1976 09 17 01 23 5	Monti Nebrodi	40	5-6 4.55
3-4	1913 06 28 08 53 0	Calabria settentrionale	151	8 5.64	2	1977 06 05 13 59	Monti Nebrodi	108	6-7 4.61
NF	1913 10 04 18 26	Molise	205	7-8 5.35	4	1977 08 15 21 10 3	Calabria centrale	37	5.21
NF	1915 01 13 06 52 4	Marsica	1041	11 7.08	5	1978 03 11 19 20 4	Aspromonte	126	8 5.22
NF	1915 01 18 23 30	Cosentino	15	6-7 4.97	6	1978 04 15 23 33 4	Golfo di Patti	330	8 6.03
5	1915 09 11 08 25	Stretto di Messina	3	5 4.16	F	1979 01 16 19 27 1	Golfo di Patti	11	5 4.35
F	1916 07 03 23 21	Isola di Stromboli	18	5-6 4.66	NF	1980 02 20 02 34 0	Cosentino	34	6-7 4.42
5-6	1919 03 18 14 17	Messina	2	5 4.16	4-5	1980 05 28 19 51 2	Tirreno meridionale	44	5-6 5.66
4	1921 06 19 12 52 4	Calabria meridionale	13	5 4.43	3-4	1980 11 23 18 34 5	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.81
5-6	1923 08 16 12 50	Stretto di Messina	4	4-5 3.93	3	1980 12 09 05 50 1	Golfo di Sant'Eufemia	15	6-7 4.67
3	1926 08 17 01 42	Isole Eolie	35	7-8 5.28	5	1985 05 14 05 44 3	Stretto di Messina	3	4-5 3.84
6-7	1928 03 07 10 55	Calabria centro-meridionale	30	7-8 5.87	3-4	1987 02 02 16 08 4	Sicilia centro-orientale	22	4.44
4-5	1929 02 22 08 17	Stretto di Messina	2	4 3.70	4	1990 12 13 00 24 2	Sicilia sud-orientale	304	5.61
3	1930 03 26 10 52	Tirreno meridionale	11	6-7 4.92	NF	1995 07 23 18 44 2	Isole Eolie	58	6 4.63
2	1930 10 09 04 33 4	Ionio settentrionale	10	5 4.78	2	1998 02 08 01 12 3	Aspromonte	39	5 3.91
5	1932 05 22 17 01	Sicilia nord-orientale	11	4 4.99	4	1999 02 14 11 45 5	Golfo di Patti	101	6 4.66
3	1934 09 11 01 19	Sicilia centro-settentrionale	28	5-6 4.84	3-4	2000 03 17 03 52 4	Calabria meridionale	52	5 4.05
2-3	1936 04 07 05 41	Calabria centrale	17	5-6 4.72	2	2001 05 17 11 43 5	Tirreno meridionale	206	4 4.97
4	1936 10 08 08 04	Patti	16	5-6 4.61	3-4	2002 04 05 04 52 2	Isole Eolie	21	5-6 4.49
4	1939 01 27 20 10 1	Isole Eolie	33	7 5.10	4	2002 09 06 01 21 2	Tirreno meridionale	132	6 5.92
2	1940 01 15 13 19 2	Tirreno meridionale	60	7-8 5.29	3	2002 10 29 10 02 2	Etna - Bongiardo (S. Venerina)	38	8 4.75
NF	1941 05 22 06 16	Isola di Stromboli	7	7-8 5.33	4	2006 02 27 04 34 0	Monti Peloritani	55	5 4.38
6	1946 03 15 07 02	Stretto di Messina	2	5 4.16	NF	2009 12 19 09 01 1	Etna - Maletto	64	6 4.39
3-4	1947 05 11 06 32 1	Calabria centrale	254	8 5.70	3	2011 06 23 22 02 4	Monti Nebrodi	54	5-6 4.70
4	1947 10 17	Messina	4	4 3.70	3	2013 01 04 07 50 0	Monti Nebrodi	38	5 4.37
NF	1949 10 08 03 08	Sicilia sud-orientale	32	7 5.10	3	2013 08 15 23 06 5	Monti Peloritani	49	5-6 4.38
4	1950 04 10 03 55	Stretto di Messina	2	4-5 3.93	3	2014 01 14 03 43 4	Isole Eolie	20	4.10
5	1950 07 18 23 52 4	Sicilia nord-orientale	27	5-6 4.71	2-3	2020 12 22 20 27 2	Ragusano	25	5 4.52
5	1950 12 09 14 45 3	Stretto di Messina	6	5-6 4.40					
4-5	1953 02 25 00 07 4	Vibonese	56	5-6 4.88					
4	1959 12 23 09 29	Piana di Catania	108	6-7 5.11					
5	1961 03 24 10 36	Calabria meridionale	59	5-6 4.62					
3	1963 06 13 08 37 4	Isole Eolie	9	6 4.67					
3	1967 08 15 07 06 3	Tirreno meridionale	7	4.57					
4	1967 10 31 21 08 0	Monti Nebrodi	60	8 5.33					
NF	1967 12 09 03 09 5	Adriatico centrale	22	4.36					
2-3	1968 01 15 02 01 0	Valle del Belice	162	10 6.41					

Tabella 3 – Storia sismica del comune di Messina

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 28 aprile 2023					
		18	007	PR	007	-1	GEN

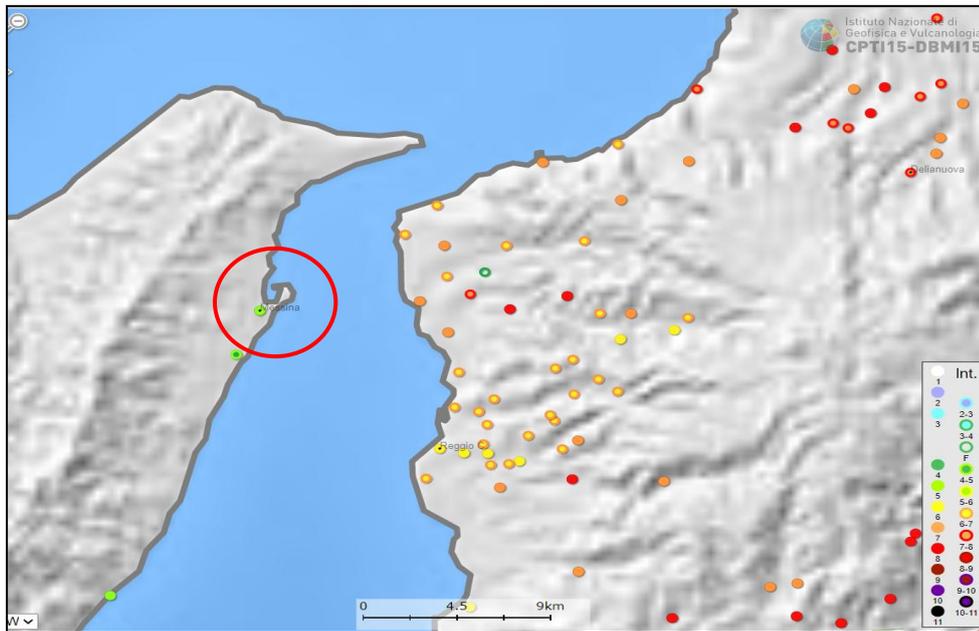


Figura 14 Evento del 23 ottobre 1907



Figura 15 Diagramma storia sismica Messina

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 28 aprile 2023					
		18	007	PR	007	-1	GEO

6. Indagini geofisiche

La caratterizzazione stratigrafica, geotecnica e sismica del sito di progetto è stata desunta dai risultati di precedenti campagne di indagini eseguite a supporto di interventi precedenti sul Molo, quelle prese in esame sono le seguenti in questo studio:

- ✓ Indagini propedeutiche alla progettazione definitiva/esecutiva. Lavori di ampliamento della banchina Norimberga del Porto di Messina.

In dettaglio sono state eseguite le seguenti indagini:

- ✓ 5 Sondaggi a carotaggio continuo;
- ✓ Prove penetrometriche dinamiche (SPT) nei fori di sondaggio;
- ✓ DPSH;
- ✓ Prove geotecniche di laboratorio su provini rimaneggiati e ricostruiti in laboratorio.
- ✓ Masw (attiva – passiva).

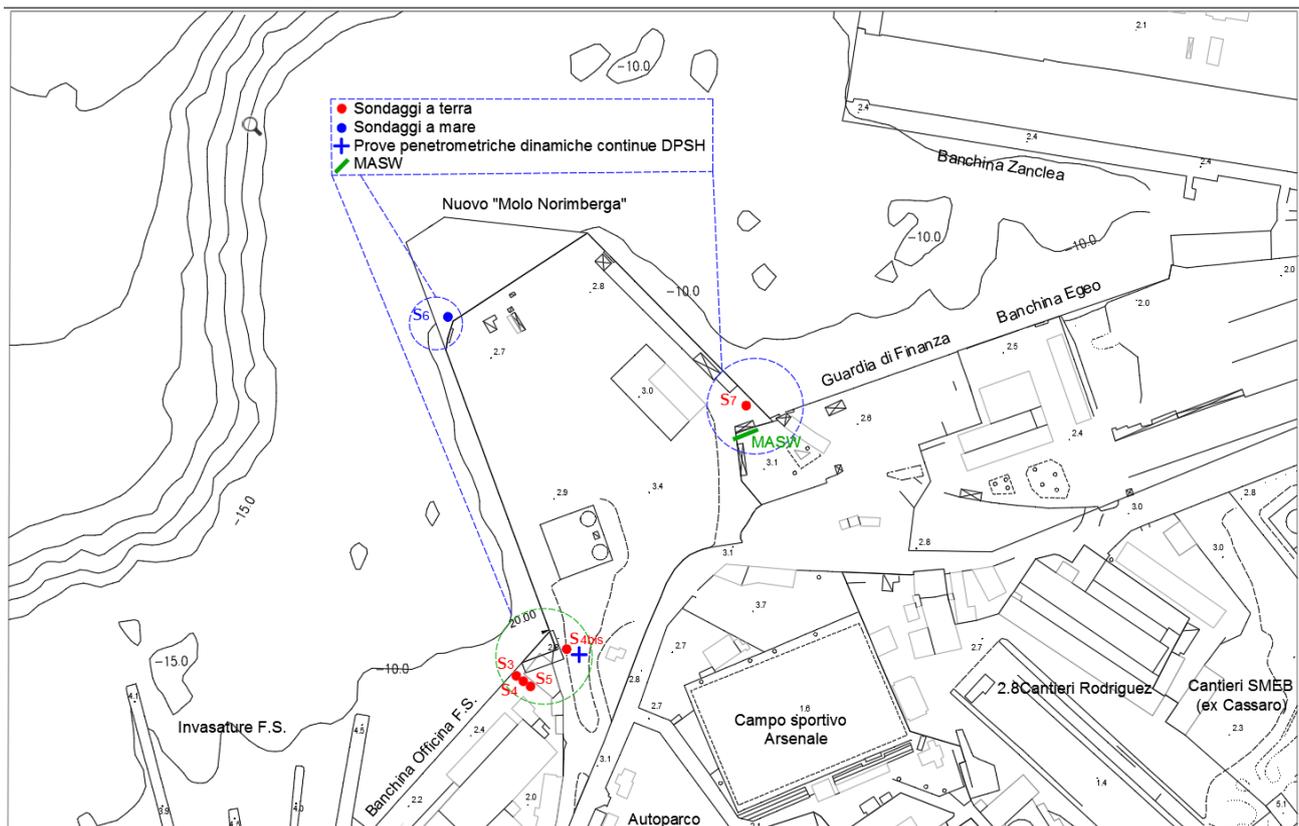


Figura 16 Ubicazione indagini geognostiche

Di seguito si illustrano in dettaglio gli esiti delle indagini geofisiche.

6.1 Prospezione sismica MASW

Al fine di verificare la categoria di fondazione come previsto dalle “Nuove Norme tecniche per le costruzioni” (NTC – 2018), una campagna di indagini geognostiche caratterizzata dall’esecuzione di prospezione sismiche di tipo Masw (*Multichannell Analytical Surface Waves*).

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 28 aprile 2023					
		18	007	PR	007	-1	GEN

La prospezione sismica Masw è stata eseguita utilizzando 24 geofoni (4.5 Hz), con una distanza intergeofonica di 1.50 m, associata ad una sismica passiva.

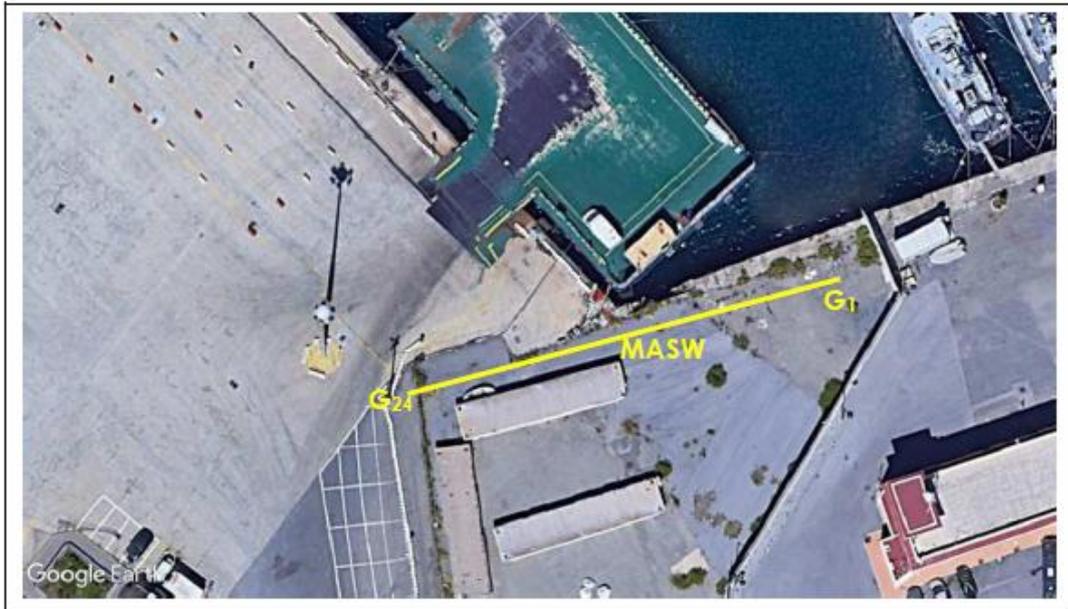


Figura 17 Ubicazione prova Masw (Radice Molo Norimberga).

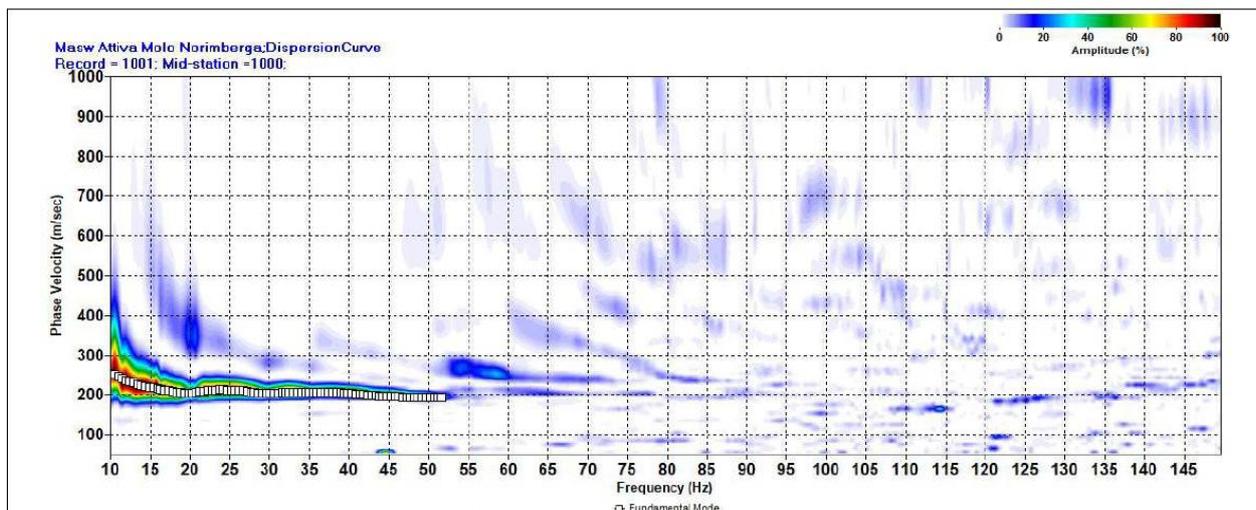


Figura 18 Curva di dispersione relativa Masw attiva

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEO

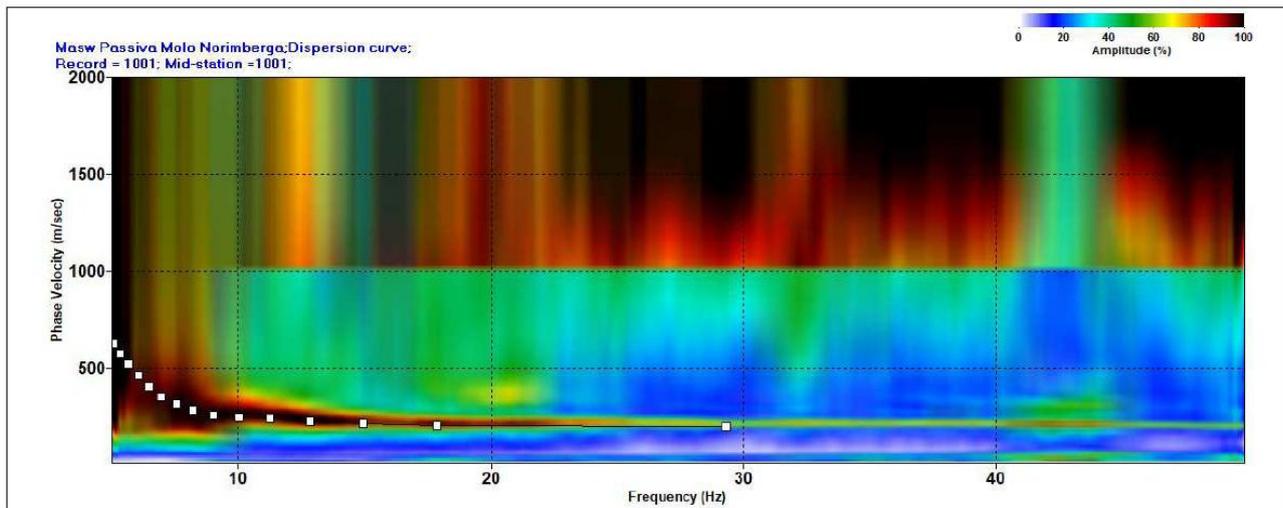


Figura 19 Curva di dispersione Masw passiva

6.2 Definizione del sottosuolo

Sulla base della elaborazione della prospezione sismica Masw (attiva-passiva) è stato individuato il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) alla profondità di 41.60 m dal p.c. dal piano campagna.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEN

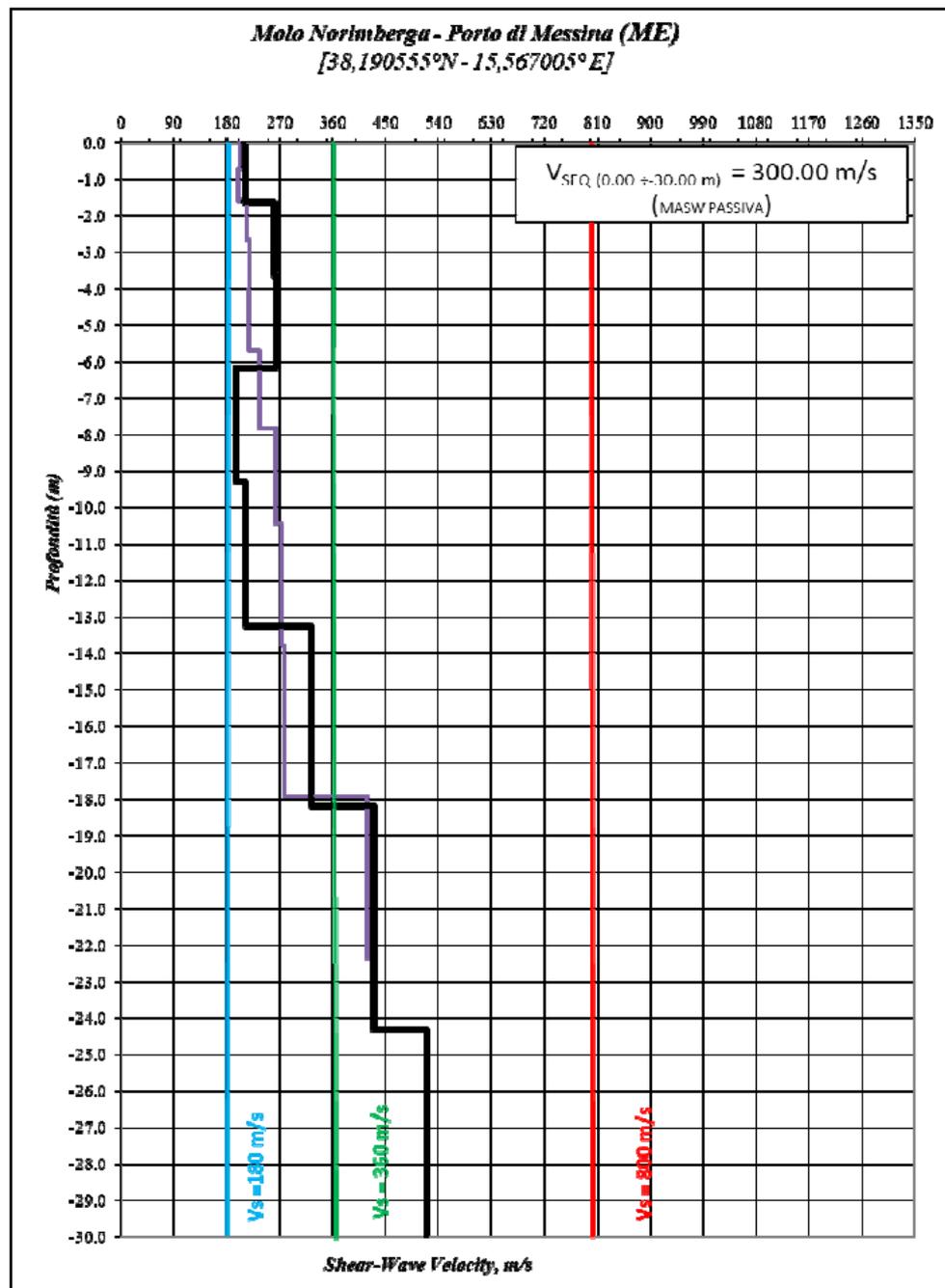


Figura 20 Profilo medio delle onde Vs

Il calcolo della $V_{s,eq}$ che definisce per il sito una classe di sottosuolo di tipo C.

$$V_{s,eq} = 300 \text{ m/s}$$

Categoria C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30m, 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.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 28 aprile 2023					
		18	007	PR	007	-1	GEO

6.3 Tomografie elettriche a mare

Nell’ambito delle indagini geofisiche sono state eseguite n. 5 traverse sismiche a mare.

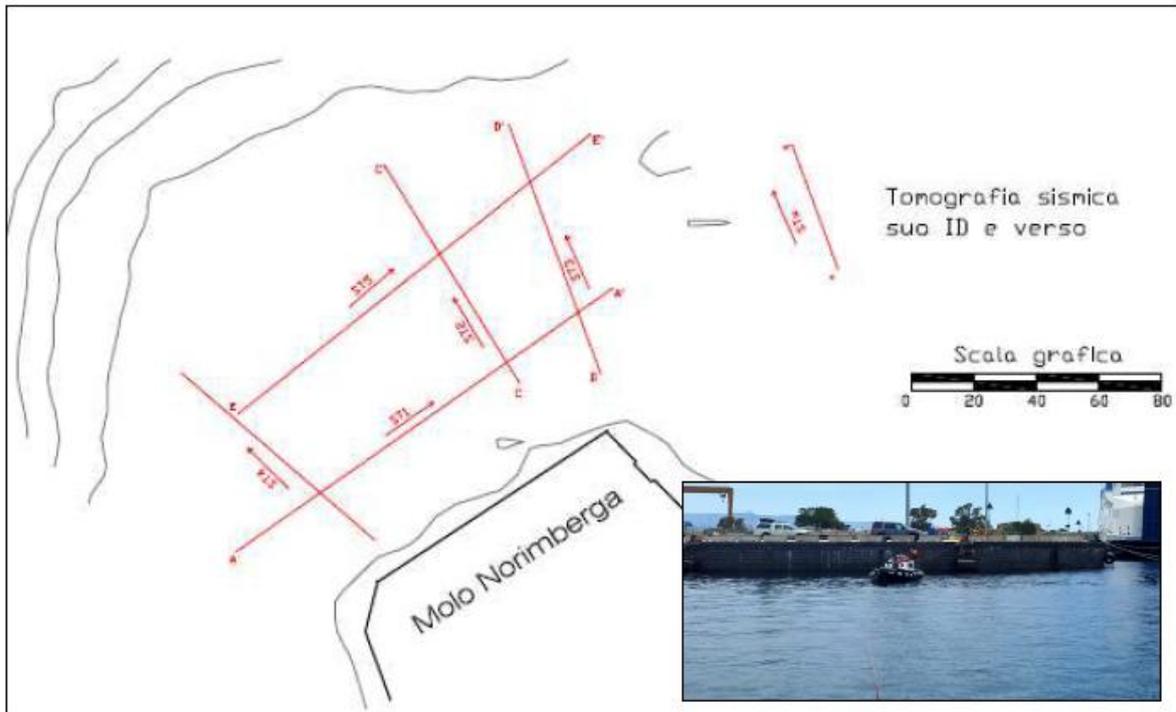


Figura 21 Schema localizzazione traverse sismiche a mare

L’elaborazione delle prove ha permesso, sulla base della velocità di propagazione delle onde sismiche P, la ricostruzione del fondo marino.

Le velocità delle onde P è compresa tra 900 m/sec e 3780 m/sec. Tali valori sono da attribuire alla variazione dello stato di addensamento dei sedimenti ed alla consistenza dei sedimenti di natura prevalentemente sabbioso-ghiaiosa che costituiscono il substrato dell’area di studio.

Le tomografie hanno permesso di definire la seguente stratigrafia:

- ✓ 1° sismostrato:
Vp < 1500 m/s P È attribuibile a sabbie grossolane matrice limo-sabbiosa Litologicamente è riferibile al sedime di fondo non consolidato. Lo spessore massimo rilevato è di circa 3 metri ed è dato compreso tra 2-4 m;
- ✓ 2° sismostrato.
1501 < Vp < 2800 m/s P Terreni di natura sabbioso ghiaiosa addensate;
- ✓ 3° sismostrato.
Vp > 2800 m/s P Substrato addensato.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEN

Le variazioni di velocità riscontrate sino da imputare allo stato di addensamento dei sedimenti di fonale e del substrato. Si rileva una marcata variazione di velocità tra il sedime di fondo non consolidato ($V_p < 1500$ m/s) e la successione sabbiosa ghiaiosa addensata ($V_p > 2500$ m/s).

Lo spessore del sedime di fondo non consolidato aumenta nell’area prossima al molo raggiungendo valori di circa 3 metri (area con riquadro nero).

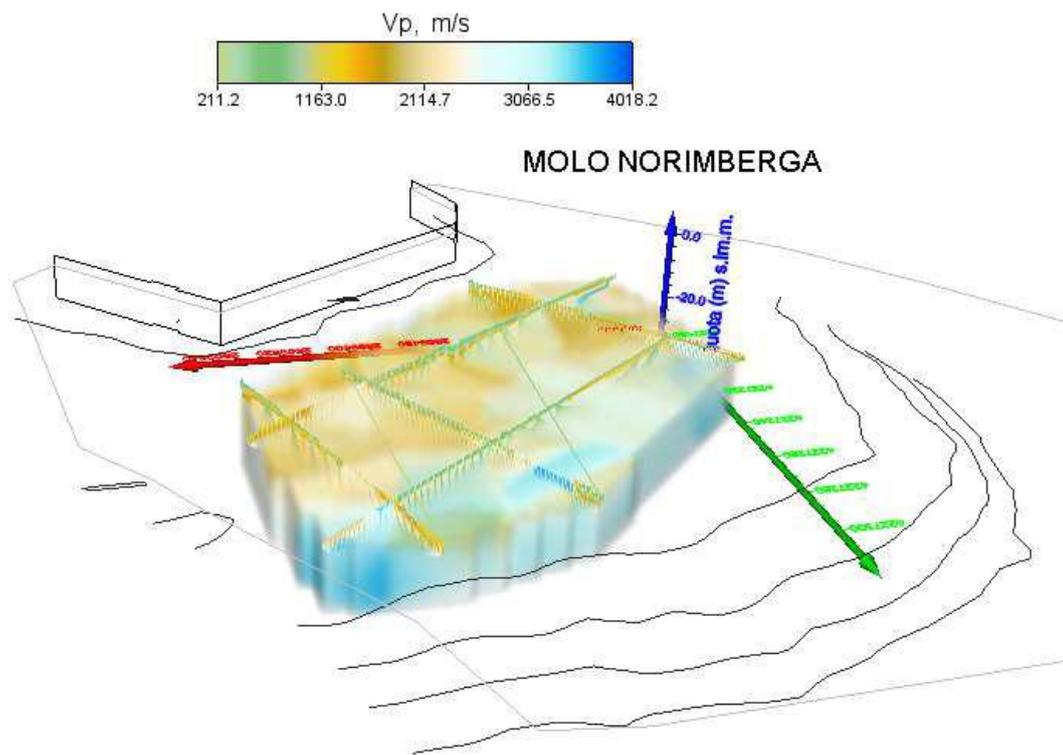


Figura 22 Modello di velocità 3D interpolata e sezioni 2D

L’area a più alta velocità si rileva nella parte esterna al molo esistente come evidenziato nella figura 5.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEO

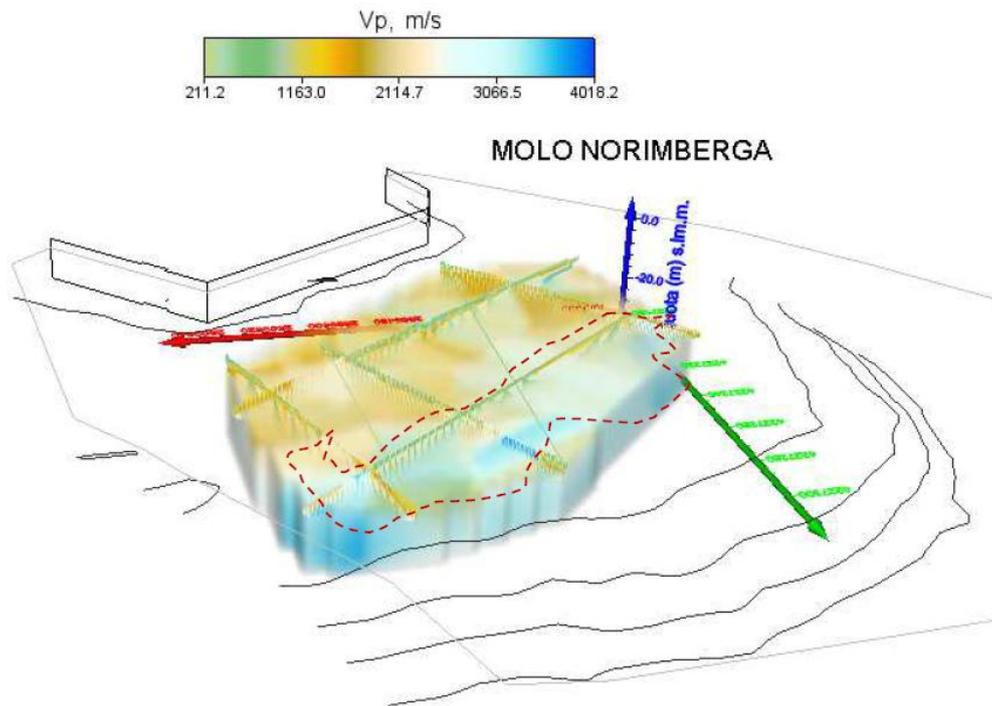


Figura 23 Modello di velocità 3D interpolato e sezione 2D

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	"Lavori d'ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina" Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEN

7 AZIONE SISMICA DI PROGETTO

7.1 Vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. Le costruzioni in oggetto sono classificabili, secondo il DM 2018, come "Opera ordinaria, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale", per la quale viene prevista una vita nominale ≥ 50 anni (rif. NTC 2018 - Tab. 2.4.I - § 2.4.1).

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, la costruzione è definita di Classe II, ossia "Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti."

L'azione sismica di progetto è valutata a partire dai seguenti parametri:

Vita nominale $V_N=50$ anni (opera di importanza ordinaria)

Classe d'uso II

Coefficiente d'uso $C_U = 1$

Vita di riferimento $V_R = V_N \square C_U \square 50$ anni

7.2 Stati Limite di progetto

Gli Stati limite di riferimento presi in considerazione per l'azione sismica di progetto sono:

- o Stato limite di salvaguardia della vita SLV;
- o Stato limite di danno SLD.

Per ciascun Stato Limite viene ricavato il periodo di ritorno dell'azione sismica di progetto nota la probabilità di accadimento PVR e la vita di riferimento V_R :

$$T_R = \frac{-V_R}{\ln(1 - PVR)} \quad \text{con}$$

$PVR=10\%$ SLV

$PVR=63\%$ SLD

7.3 Categoria di sottosuolo e amplificazione stratigrafica

L'azione sismica di progetto sul sito di progetto deve tener conto dell'effetto di amplificazione stratigrafico e topografico mediante specifiche analisi di risposta sismica locale. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano riconducibili alle categorie

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEO

definite in Tabella 2, si ricorre all’approccio semplificato previsto dalla Normativa sulla base della classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio “ V_S ”. I valori delle V_S sono ottenuti mediante specifiche prove, oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all’approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_{Seq} (in m/s), definita dalla seguente espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{Si}}}$$

dove

h_i spessore dell’i-esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;

N numero di strati; H

profondità del substrato.

Il substrato viene definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s. Per le fondazioni su pali, la profondità del substrato è riferita a partire dalla quota testa pali.

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

Tabella 2: Categorie di sottosuolo per l’analisi di risposta sismica semplificata
(Rif. Tab. 32.II – NTC 2018)

Per sottosuolo di categoria A, i coefficienti S_S e C_C per la definizione dell’amplificazione stratigrafica sono uguali a 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E, i coefficienti S_S e C_C possono essere calcolati in funzione dei valori di F_0 e T_C^* relativi al sottosuolo di categoria A mediante le espressioni fornite in Tabella 3, nelle quali $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ e T_C^* è espresso in secondi.

Categoria di sottosuolo	SS	CC
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.28}$
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	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.5}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.40}$

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEN

Tabella 3: Valori dei coefficienti S_S e C_c (Rif. Tab. 3.2.IV – NTC 2018)

Per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati in Tabella 4 in funzione delle categorie topografiche e dell’ubicazione dell’opera o dell’intervento. La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l’altezza del pendio o del rilievo, dalla sommità o dalla cresta fino alla base, dove S_T assume valore unitario.

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

Tabella 4: Categoria topografica del sito (Rif. Tab. 32.III – NTC 2018)

Categoria Topografica	Ubicazione dell’opera	ST
T1	-	1.0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

Tabella 5: Valori del coefficiente di amplificazione topografica S_T (Rif. Tab. 2.V – NTC 2018)

Sulla base della NTC, il sito di progetto ricade in classe topografica T1 (piano campagna orizzontale, assenza di effetti stratigrafici bidimensionali). La categoria stratigrafica è la C. In definitiva, l’azione sismica del sito è ottenuta a partire dalle ordinate spettrali su suolo rigido (Cat. A) e orizzontale (cat. T1) mediante i coefficienti amplificativi S_S e S_T ricavati per:

Categoria di Sottosuolo **C**

Categoria topografica **T1**

7.4 Parametri degli spettri elastici di progetto

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, che costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica di base è definita in termini di:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- 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.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 28 aprile 2023					
		18	007	PR	007	-1	GEO

L’accelerazione orizzontale massima attesa a_g è riferita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (Categoria A) con superficie topografica orizzontale (Categoria T1), nonché, di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $Se(T)$, valutato per uno smorzamento convenzionale del 5%. I valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* relativi alla pericolosità sismica, su reticolo di riferimento nell’intervallo di riferimento, sono forniti nelle tabelle riportate nell’ALLEGATO B delle NTC.

Gli spettri elastici di progetto per ogni Stato Limite considerato sono stati determinati utilizzando il software “Spettri NTC” presente sul sito del CS.LL.PP. Di seguito, sono mostrate le schermate di compilazione del programma.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate
 LONGITUDINE: 15.55505
 LATITUDINE: 38.19430

Ricerca per comune
 REGIONE: Piemonte
 PROVINCIA: Torino
 COMUNE: Agliè

Elaborazioni grafiche:
 Grafici spettri di risposta
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche:
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito
 km7.5
 -7.5 7.5 km

Reticolo di riferimento
 Controllo sul reticolo:
 Sito esterno al reticolo
 Interpolazione su 3 nodi
 Interpolazione corretta

Interpolazione:
 superficie rigata

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

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

Figura 24 Fase 1 – Localizzazione area d’intervento (Spettri NTC)

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N : 50 info
 Coefficiente d'uso della costruzione - c_U : 1 info

Valori di progetto
 Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R : 50 info
 Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R : info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	30
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	50
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	475
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	975

Elaborazioni:
 Grafici parametri azione
 Grafici spettri di risposta
 Tabella parametri azione

Strategia di progettazione
 10000
 1000
 100
 10
 T_R [anni]
 SLO SLD SLV SLC
 30 50 475 975

LEGENDA GRAFICO
 - - - - - Strategia per costruzioni ordinarie
 - - - - - Strategia scelta

INTRO FASE 1 **FASE 2** FASE 3

Figura 25 Fase 2 - Selezione Vita Nominale

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture Data: 28 aprile 2023					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	18 007 PR 007 -1 GEN					

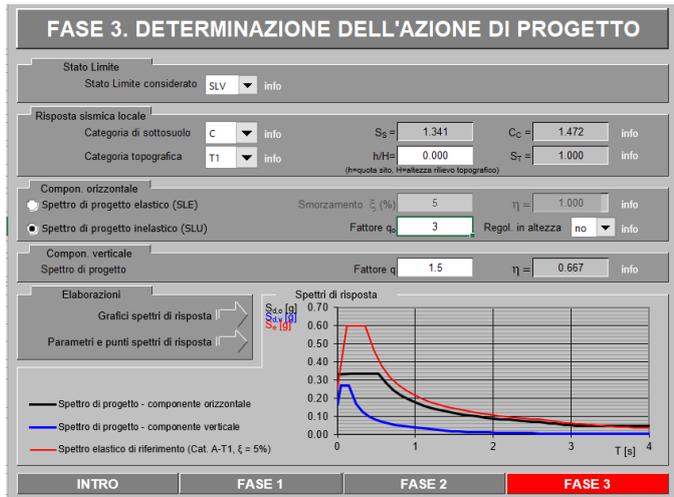


Figura 26 Fase 3 per SLV

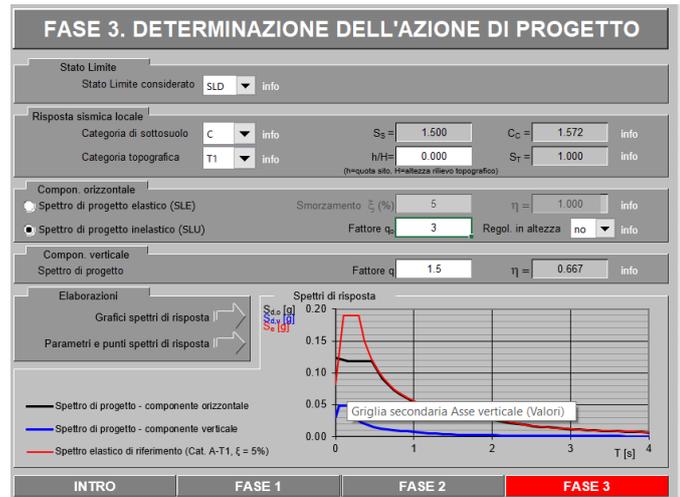


Figura 27 Fase 3 per SLD

Nelle successive tabelle sono sintetizzati i parametri degli spettri per componente orizzontale e verticale sia per lo SLV, sia per lo SLD.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale: SLV - SLD

Orizzontali

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_n	0.248 g
F_{ov}	2.411
T_c	0.359 s
S_s	1.341
C_c	1.472
S_T	1.000
q	2.400

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_n	0.082 g
F_{ov}	2.316
T_c	0.294 s
S_s	1.500
C_c	1.572
S_T	1.000
q	2.400

Parametri dipendenti

S	1.341
η	0.417
T_B	0.176 s
T_C	0.529 s
T_D	2.593 s

Parametri dipendenti

S	1.500
η	0.417
T_B	0.154 s
T_C	0.462 s
T_D	1.928 s

Tabella 7: Parametri dello spettro elastico per gli Stati Limite considerati (Componente orizzontale)

Verticali

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{nv}	0.167 g
S_s	1.000
S_T	1.000
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{nv}	0.032 g
S_s	1.000
S_T	1.000
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.622
S	1.000
η	0.667

Parametri dipendenti

F_v	0.895
S	1.000
η	0.667

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 28 aprile 2023					
		18	007	PR	007	-1	GEO

Tabella 8: Parametri dello spettro elastico per gli Stati Limite considerati (Componente verticale)

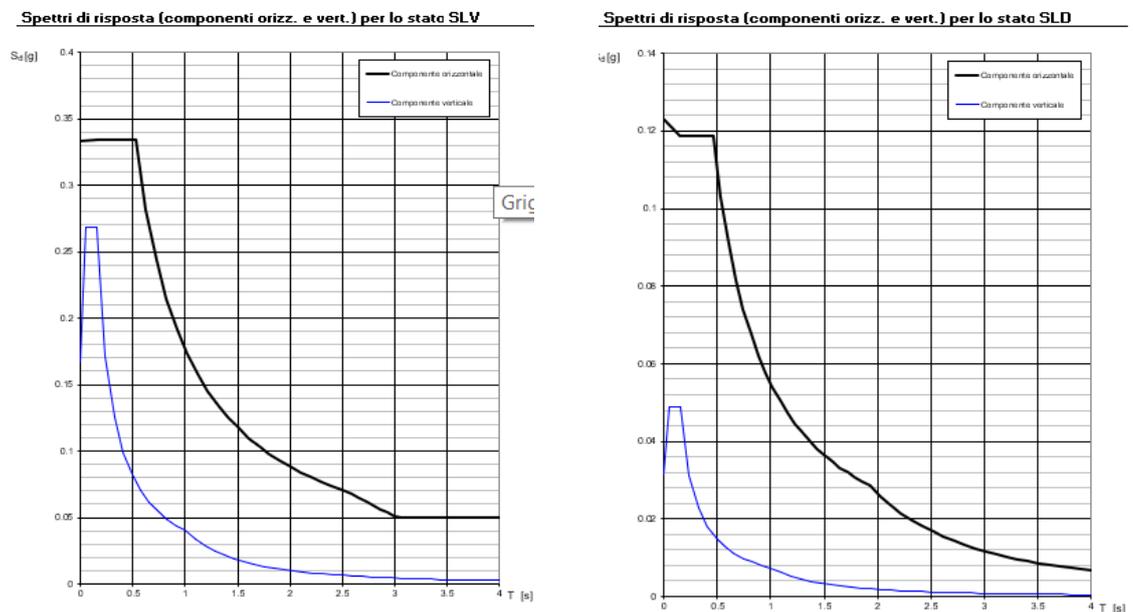
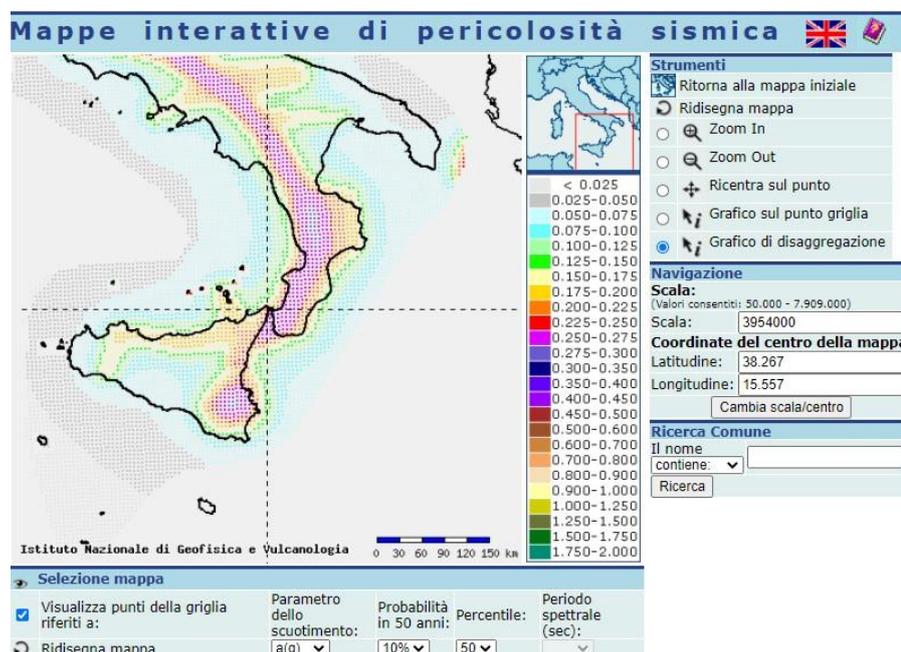


Figura 28 Spettro elastico per componente verticale e orizzontale (SLV a sx, SLD a dx)

7.5 Stima della magnitudo attesa per il sito di studio

Per la verifica a liquefazione dei terreni viene considerata l'azione sismica più conservativa, ovvero il sisma di progetto ricavato considerando una probabilità di superamento in 50 anni pari al 10%. Un parametro necessario per la verifica a liquefazione del sito è la magnitudo M_w che può essere stimata sulla base della disaggregazione sismica per il terremoto di scenario (Spallarossa e Barani, 2008), inteso come l'evento di magnitudo M a distanza epicentrale R che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica al sito in esame. La magnitudo attesa risulta pari a $M_w=5.84$.

Nelle successive figure sono mostrati i dati estrapolati dal sito dell'INGV.



Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 28 aprile 2023					
		18	007	PR	007	-1	GEN

Figura 29 Mappa di pericolosità sismica in funzione del parametro a_g

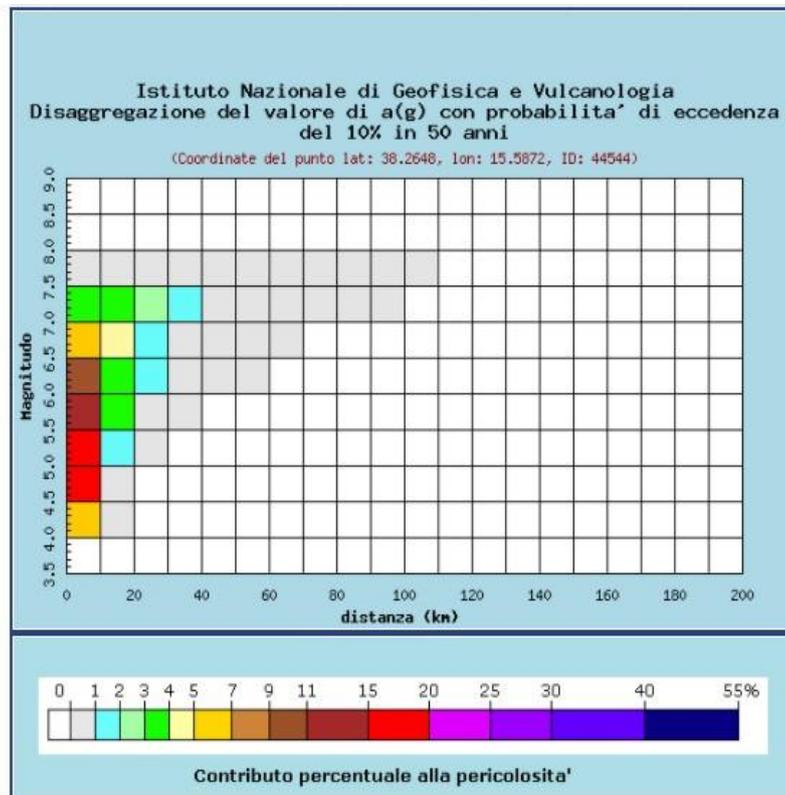


Figura 30 Contributo percentuale alla pericolosità sismica per coppie M-R

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.840	8.680	0.678

Figura 31 Valore medio della Magnitudo momento per il sisma di progetto

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEO

8 Verifica a liquefazione

Secondo il § 7.11.3.4 della NTC 2018, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) Accelerazioni massime attese in condizioni di campo libero inferiori a 0.1 g;
- 2) Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna;
- 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 verticale efficace 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 Figura 19 (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e in Figura 19 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

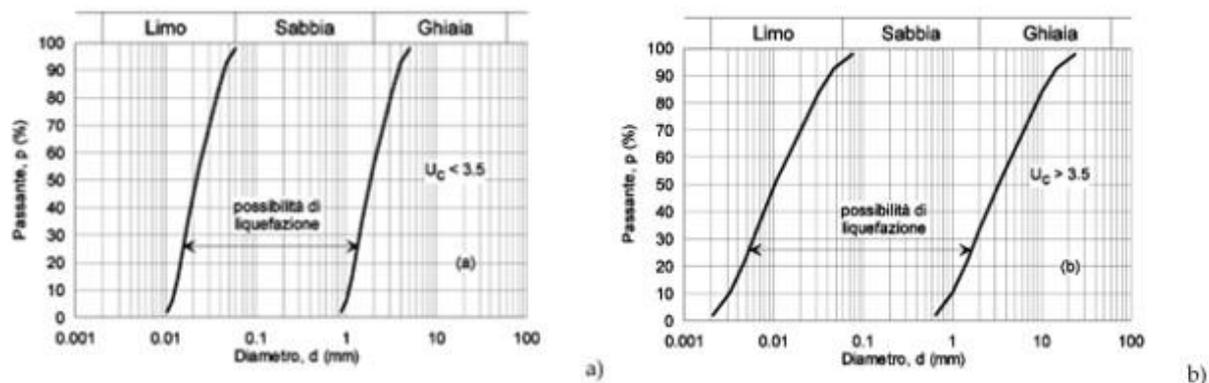


Figura 32 Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Quando nessuna delle condizioni precedenti risulta soddisfatta e il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

8.1 METODI SEMI – EMPIRICI PER LA VERIFICA A LIQUEFAZIONE

8.1.1 Metodo di Seed e Idriss (1982)

Il metodo proposto da Seed e Idriss (1982) prevede la determinazione degli sforzi di taglio indotti dal sisma attraverso una procedura basata sull'ipotesi di terreno omogeneo. Ipotizzando la propagazione verticale di onde sismiche di taglio, una colonna di terreno di altezza z si muove rigidamente in direzione orizzontale e pertanto lo sforzo di taglio massimo alla profondità z è dato da:

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEN

$$\tau_{max} = \frac{a_{max}}{g} \cdot \gamma \cdot z$$

con

a_{max} accelerazione massima in superficie [m/s²];

g accelerazione di gravità [9.81 m/s];

γ peso dell’unità di volume naturale [kN/m³];

τ_{max} sforzo di taglio massimo alla profondità z [kN/m²].

Considerando la deformabilità del terreno, lo sforzo di taglio viene ridotto mediante un coefficiente riduttivo r_d . L’espressione finale della tensione tangenziale media τ_{AV} normalizzata alla pressione litostatica si esprime come:

$$\frac{\tau_{AV}}{\sigma_{V0}} = CSR_{7.5} = 0.65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{V0}}{\sigma'_{V0}} \cdot r_d$$

Per magnitudo inferiori a 7.5 bisogna fattorizzare la precedente espressione per il coefficiente *MSF* (Magnitudo Scaling Factor):

$$CSR = \frac{CSR_{7.5}}{MSF}$$

Il metodo di Seed e Idriss (1982) è il più noto e utilizzato dei metodi semplificati e richiede solo la conoscenza di pochi parametri geotecnici: la granulometria, il numero dei colpi nella prova SPT, la densità relativa, il peso di volume. Per determinare il valore del coefficiente riduttivo r_d viene utilizzata la formula empirica proposta da Iwasaki et al. (1978):

$$r_d = 1 - 0.015 \cdot z$$

mentre per il valore del fattore correttivo della magnitudo è funzione della magnitudo stessa.

La resistenza alla liquefazione CRR viene calcolata in funzione della magnitudo, del numero di colpi, della pressione verticale effettiva e della densità relativa. Si calcola inizialmente il numero dei colpi corretto alla quota desiderata per tenere conto della pressione litostatica mediante la seguente espressione:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \cdot C_N \cdot C_F \cdot C_R \cdot C_B \cdot C_S$$

con

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{V0}} \right)^{0.5} \leq 1.304$$

P_a pressione atmosferica (1.0 kg/cm²);

σ'_{V0} pressione efficace litostatica (in kg/cm²);

C_E, C_B, C_R, C_S coefficienti posti come unitari.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEO

Le espressioni successive risultano valide per sabbie con diametro corrispondente al 50% di passante $D_{50} > 0.25$ mm.

Per sabbie limose e limi occorre provvedere alla correzione del valore di $(N_1)_{60}$ secondo l’espressione seguente:

$$(N_1)_{60,cs} = (N_1)_{60} + 7.5$$

Per tenere conto della percentuale di fine FC superiore al 5% si applica la seguente correzione:

$$(N_1)_{60,cs} = A + B \cdot (N_1)_{60}$$

con

$A = 0$ e $B = 1$ per $FC \leq 5\%$

$A = \exp(1.76 - (190/FC^2))$ e $B = 0.99 + (FC^{1.5}/1000)$ per $5\% < FC < 35\%$

$A = 5$ e $B = 1.2$ per $FC \geq 35\%$

8.1.2

8.1.3 Verifica a liquefazione del sito

Alla pagina successiva sono mostrati i risultati delle verifiche a liquefazione eseguite mediante il Metodo precedentemente descritto. In linea generale, si può concludere che per le profondità potenzialmente a rischio (10 – 15 m), non sussiste il rischio di liquefazione dei terreni. Tuttavia, sarà necessario eseguire ulteriori verifiche nelle successive fasi di progettazione.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	"Lavori d'ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina" Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEO

(Seed et al. 1985)											
Sondaggio	Tipo	Magnitudo	Ag [g]	Ss	ST	a _{max} [m/s]	Profondità [m]	Soggiacenza falda [m]	N _{SPT}	FC [%]	□□ [kN/m3]
SPT1_S1	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	2.70	2.50	43.00	2.50	20.00
SPT2_S1	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	12.00	2.50	15.00	2.50	20.00
SPT3_S1	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	15.00	2.50	41.00	2.50	20.00
SPT1_S2	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	2.50	2.50	17.00	2.50	20.00
SPT2_S2	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	3.80	2.50	35.00	2.50	20.00
SPT3_S2	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	13.50	2.50	18.00	2.50	20.00
SPT1_S3	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	3.50	2.50	22.00	2.50	20.00
SPT2_S3	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	13.00	2.50	10.00	2.50	20.00
SPT3_S3	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	15.00	2.50	36.00	2.50	20.00
SPT1_S4	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	3.70	2.50	Rif	2.50	20.00
SPT2_S4	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	11.50	2.50	18.00	2.50	20.00
SPT3_S4	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	16.00	2.50	42.00	2.50	20.00
SPT1_S5	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	1.80	2.50	62.00	2.50	20.00
SPT2_S5	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	10.00	2.50	42.00	2.50	20.00
SPT3_S5	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	15.00	2.50	43.00	2.50	20.00
SPT1_S6	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	12.00	2.50	36.00	2.50	20.00
SPT2_S6	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	15.00	2.50	41.00	2.50	20.00
SPT1_S7	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	2.70	2.50	23.00	2.50	20.00
SPT2_S7	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	10.00	2.50	14.00	2.50	20.00
SPT3_S7	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	15.00	2.50	48.00	2.50	20.00
SPT1_S8	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	3.70	2.50	52.00	2.50	20.00
SPT2_S8	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	11.00	2.50	22.00	2.50	20.00

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture Data: 28 aprile 2023					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	18	007	PR	007	-1	GEO

(Seed et al. 1985)												
Sondaggio	Tipo	Magnitudo	Ag [g]	Ss	ST	a _{max} [m/s]	Profondità [m]	Soggiacenza falda [m]	N _{SPT}	FC [%]	□□ [kN/m3]	
SPT2_S10	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	20.00	2.50	43.00	2.50	20.00	
SPT1_S11	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	15.00	2.50	18.00	2.50	20.00	
SPT2_S11	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	19.00	2.50	60.00	2.50	20.00	
SPT1_S12	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	2.70	2.50	17.00	2.50	20.00	
SPT3_S8	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	12.00	2.50	46.00	2.50	20.00	
SPT1_S9	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	5.20	2.50	11.00	2.50	20.00	
SPT2_S9	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	10.50	2.50	15.00	2.50	20.00	
SPT3_S9	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	15.00	2.50	37.00	2.50	20.00	
SPT1_S10	Sabbie	5.84	0.247	1.162	1.00	2.81	16.50	2.50	35.00	2.50	20.00	

Tabella 9: Verifica a liquefazione – Parametri di input per il metodo di Seed

(Seed et al. 1985)													
□ _{vo} [kPa]□	□ ['] _{vo} [kPa]□	C _N [-]	(N ₁) ₆₀	r _d [-]	A [-]	B [-]	(N ₁) _{60CS}	MSF [-]	CRR _{7.5} [-]	CSR [-]	F _s [-]	Esito	
54.00	52.04	1.30	56.07	0.98	0.00	1.00	56.07	2.28	NO_Liquefazione	0.19	NO_Liquefazione	NON LIQUEFACIBILE	
240.00	146.81	0.83	12.38	0.85	0.00	1.00	12.38	2.28	0.13	0.26	1.18	NON LIQUEFACIBILE	
300.00	177.38	0.75	30.78	0.77	0.00	1.00	30.78	2.28	NO_Liquefazione	0.24	NO_Liquefazione	NON LIQUEFACIBILE	
50.00	50.00	1.30	22.17	0.98	0.00	1.00	22.17	2.28	0.25	0.18	3.07	NON LIQUEFACIBILE	
76.00	63.25	1.26	44.01	0.97	0.00	1.00	44.01	2.28	NO_Liquefazione	0.22	NO_Liquefazione	NON LIQUEFACIBILE	
270.00	162.09	0.79	14.14	0.81	0.00	1.00	14.14	2.28	0.15	0.25	1.37	NON LIQUEFACIBILE	
70.00	60.19	1.29	28.36	0.97	0.00	1.00	28.36	2.28	0.38	0.21	4.12	NON LIQUEFACIBILE	
260.00	157.00	0.80	7.98	0.83	0.00	1.00	7.98	2.28	0.09	0.26	0.83	LIQUEFACIBILE	

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	"Lavori d'ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina" Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica								Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture Data: 28 aprile 2023				
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto								18	007	PR	007	-1

300.00	177.38	0.75	27.03	0.77	0.00	1.00	27.03	2.28	0.34	0.24	3.17	NON LIQUEFACIBILE
230.00	141.71	0.84	15.12	0.87	0.00	1.00	15.12	2.28	0.16	0.26	1.41	NON LIQUEFACIBILE
320.00	187.57	0.73	30.67	0.75	0.00	1.00	30.67	2.28	NO_Liquefazione	0.24	NO_Liquefazione	
36.00	42.87	1.30	80.85	0.99	0.00	1.00	80.85	2.28	NO_Liquefazione	0.15	NO_Liquefazione	NON LIQUEFACIBILE
200.00	126.43	0.89	37.35	0.91	0.00	1.00	37.35	2.28	NO_Liquefazione	0.27	NO_Liquefazione	NON LIQUEFACIBILE
300.00	177.38	0.75	32.29	0.77	0.00	1.00	32.29	2.28	NO_Liquefazione	0.24	NO_Liquefazione	NON LIQUEFACIBILE
(Seed et al. 1985)												
σ_{vo} [kPa]	σ'_{vo} [kPa]	C_N [-]	$(N_1)_{60}$	r_d [-]	A [-]	B [-]	$(N_1)_{60CS}$	MSF [-]	$CRR_{7.5}$ [-]	CSR [-]	F_s [-]	Esito
240.00	146.81	0.83	29.71	0.85	0.00	1.00	29.71	2.28	0.45	0.26	3.90	NON LIQUEFACIBILE
300.00	177.38	0.75	30.78	0.77	0.00	1.00	30.78	2.28	NO_Liquefazione	0.24	NO_Liquefazione	NON LIQUEFACIBILE
54.00	52.04	1.30	29.99	0.98	0.00	1.00	29.99	2.28	0.46	0.19	5.57	NON LIQUEFACIBILE
200.00	126.43	0.89	12.45	0.91	0.00	1.00	12.45	2.28	0.13	0.27	1.15	NON LIQUEFACIBILE
300.00	177.38	0.75	36.04	0.77	0.00	1.00	36.04	2.28	NO_Liquefazione	0.24	NO_Liquefazione	NON LIQUEFACIBILE
74.00	62.23	1.27	65.92	0.97	0.00	1.00	65.92	2.28	NO_Liquefazione	0.22	NO_Liquefazione	NON LIQUEFACIBILE
220.00	136.62	0.86	18.82	0.88	0.00	1.00	18.82	2.28	0.20	0.26	1.75	NON LIQUEFACIBILE
240.00	146.81	0.83	37.97	0.85	0.00	1.00	37.97	2.28	NO_Liquefazione	0.26	NO_Liquefazione	NON LIQUEFACIBILE
104.00	77.51	1.14	12.49	0.96	0.00	1.00	12.49	2.28	0.14	0.24	1.29	NON LIQUEFACIBILE
210.00	131.52	0.87	13.08	0.89	0.00	1.00	13.08	2.28	0.14	0.27	1.21	NON LIQUEFACIBILE
300.00	177.38	0.75	27.78	0.77	0.00	1.00	27.78	2.28	0.36	0.24	3.38	NON LIQUEFACIBILE
330.00	192.66	0.72	25.22	0.73	0.00	1.00	25.22	2.28	0.30	0.23	2.89	
400.00	228.33	0.66	28.46	0.64	0.00	1.00	28.46	2.28	0.39	0.21	4.21	
300.00	177.38	0.75	13.52	0.77	0.00	1.00	13.52	2.28	0.15	0.24	1.36	NON LIQUEFACIBILE
380.00	218.14	0.68	40.62	0.67	0.00	1.00	40.62	2.28	NO_Liquefazione	0.22	NO_Liquefazione	
54.00	52.04	1.30	22.17	0.98	0.00	1.00	22.17	2.28	0.25	0.19	2.96	NON LIQUEFACIBILE

Tabella 10: Verifica a liquefazione – Metodo di Seed

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione sismica e sulle strutture					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	007	-1	GEO

9 Conclusioni

Nella presente relazione è stata definita l’azione sismica di progetto in accordo alla Normativa vigente, con cui eseguire il dimensionamento e le verifiche geotecniche e strutturali.

Coerentemente con il livello di indagine disponibile sui terreni individuati nel sottosuolo è stata definita la pericolosità sismica di base e la verifica a liquefazione in accordo con la normativa vigente.