

VISTI E APPROVAZIONI:



**Autorità di Sistema Portuale
del Mare Adriatico Meridionale**

PORTO DI BRINDISI

PROGETTO DEFINITIVO

**POTENZIAMENTO DEGLI ORMEGGI NAVI RO - RO A COSTA MORENA OVEST
REALIZZAZIONE DI UN PONTILE CON BRICCOLE**

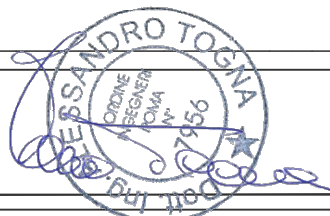
IL PRESIDENTE:

IL SEGRETARIO GENERALE:

IL DIRIGENTE AREA TECNICA:

IL PROGETTISTA:

Prof. Ing. Alessandro TOGNA



IL COORD.RE SICUREZZA PROG.:

Prof. Ing. Alessandro TOGNA

IL RESP.LE DEL PROCEDIMENTO:

IL DIRETTORE DEI LAVORI:

IL COORD.RE SICUREZZA ESEC.:

ELABORATO N.:

ELABORATO:

**RELAZIONE TECNICA
CALCOLI DELLE STRUTTURE**

R04

DATA :

NOVEMBRE 2018

AGGIORNAMENTO NORMATIVO

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MARE ADRIATICO MERIDIONALE - PORTO DI BRINDISI

POTENZIAMENTO DEGLI ORMEGGI NAVI RO-RO A COSTA MORENA OVEST - REALIZZAZIONE DI UN PONTILE CON BRICCOLE

PROGETTO DEFINITIVO

CALCOLI DELLE STRUTTURE

Indice

1	Premessa	2
2	Normativa di riferimento	3
3	Caratteristiche dell'opera.....	4
3.1	Vita nominale.....	4
3.2	Classe d'uso	4
3.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica.....	4
3.4	Classificazione sismica.....	4
4	Caratteristiche dei materiali.....	5
4.1	Acciaio per carpenteria metallica	5
5	Caratteristiche dei terreni di fondazione	6
6	Analisi dei carichi	9
6.1	Carichi permanenti strutturali	9
6.2	Tiro alla bitta	9
6.3	Forze di accosto	9
6.4	Forze di ormeggio dovute al moto ondoso	10
6.5	Forze di ormeggio dovute al vento.....	10
6.6	Carichi variabili	10
6.7	Azione sismica.....	11
7	Combinazioni di carico	17
7.1	Stato limite ultimo (SLU)	17
7.2	Stati limite di esercizio (SLE)	19
8	Calcolo della struttura.....	20
8.1	Modello strutturale	20
8.2	Sollecitazioni di calcolo	22
9	Verifiche agli stati limite.....	23
9.1	Verifiche agli stati limite ultimi di tipo strutturale	24
9.2	Verifiche agli stati limite ultimi di tipo geotecnico.....	25
9.3	Verifiche agli stati limite di esercizio.....	26

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

1 PREMESSA

Oggetto della presente relazione sono i calcoli delle strutture delle briccole del nuovo terminale marittimo per l'attracco e l'ormeggio di navi tipo RO/RO e RO/PAX a Costa Morena Ovest nel Porto di Brindisi.

Il progetto prevede la realizzazione di 6 briccole in struttura metallica disposte le prime cinque ad interasse costante di 30,00 m a partire dalla banchina e di 60,00 m l'ultima, collegate tra loro con passerelle in acciaio. Ciascuna briccola è costituita da 6 pali di acciaio a sezione anulare di diametro $\Phi 1420$ e spessore 30 mm infissi alla -43,00 m s.m.m. e disposti su due file di tre pali parallelamente alla direzione dell'accosto delle navi. La quota di sommità delle briccole è fissata alla +4,50 m s.m.m. Tutti i pali sono collegati in testa, sia lungo i lati che lungo le diagonali, da travi reticolari realizzate con profili tubolari i cui correnti superiori ed inferiori hanno diametro $\Phi 508$ e spessore 20 mm, mentre i diagonali hanno diametro $\Phi 355,6$ e spessore 20 mm. L'interasse tra i correnti superiori ed inferiori è pari a 3,00 m.

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Il presente progetto è stato redatto in conformità alla vigente normativa nazionale riportata sinteticamente nel seguito:

- L. 5/11/1971 n. 1086 – Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso e da struttura metallica.
- L. 2/2/1974 n. 64 – Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- DM 14/1/2008 – Norme tecniche per le costruzioni.
- Circolare n. 617/2009 – Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008.
- DM 17/1/2018 – Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni".
- UNI EN 1993-1-1 – Progettazione delle strutture di acciaio.

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

3 CARATTERISTICHE DELL'OPERA

Nei paragrafi seguenti sono riportati la vita nominale e la classe d'uso delle nuove opere ed il periodo di riferimento per il calcolo delle azioni sismiche.

3.1 Vita nominale

La vita nominale dell'opera, 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 mantenendo specifici livelli prestazionali, è stata assunta pari a $V_N = 50$ anni ("costruzioni tipo 2: Costruzioni con livello di prestazioni ordinarie").

3.2 Classe d'uso

La classe d'uso dell'opera in rapporto alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche è stata assunta pari a II ("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.").

3.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Il periodo di riferimento (V_R), in relazione al quale sono valutate le azioni sismiche sulla struttura, è ottenuto moltiplicando la vita nominale ($V_N = 50$ anni) per il coefficiente d'uso associato alla relativa classe d'uso ($C_U = 1,00$) da cui si ricava:

$$V_R = 50 \text{ anni}$$

3.4 Classificazione sismica

Il Comune di Brindisi (BR) ai sensi della DGR Puglia n. 153/2004 è classificato in zona sismica 4.

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Le caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati nella realizzazione delle opere strutturali sono sinteticamente riportate nel seguito.

4.1 Acciaio per carpenteria metallica

Acciaio tipo S355

Valori nominali della resistenza di snervamento f_y e della resistenza ultima a trazione f_u per acciai laminati a caldo:

- Spessore $t \leq 40$ mm
 $f_y = 355$ N/mm²
 $f_u = 510$ N/mm²
- Spessore 40 mm $< t \leq 80$ mm
 $f_y = 335$ N/mm²
 $f_u = 470$ N/mm²

Modulo di elasticità:

$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

Modulo di elasticità tangenziale:

$$G = 81.000 \text{ N/mm}^2$$

Coefficiente di Poisson in campo elastico:

$$\nu = 0,30$$

Coefficiente di dilatazione termica lineare:

$$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per K (} T \leq 100^\circ\text{C)}$$

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

5 CARATTERISTICHE DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Le caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione sono state ricavate sulla base della nuova campagna di indagini eseguita nel giugno 2012 (n° 4 prove penetrometriche NSPT).

Nella tabella seguente è riportato lo schema geotecnico indicativo individuato dal geol. Rocco Gnoni riferito al fondale di -15,00 m s.m.m.

Tabella 1 – Schema geotecnico indicativo

Profondità dal fondale marino (-15,00 m s.m.m.) m	Descrizione	Caratteristiche geomeccaniche		
		kN/m ³	°	kPa
0,00-18,00	Sabbia limosa sciolta	13,00	26	0
18,00-21,00	Sabbia limosa argillosa mediamente addensata	19,80	26-27 26,5	33-37 35
15,00-20,00	Limo argilloso azzurro	20,00	18-20 19	30-40 35

Nella tabella sono stati riportati i valori medi del peso di volume, dell'angolo di attrito e della coesione efficace dei diversi strati di terreno. Tali valori sono stati inoltre assunti come valori caratteristici dei parametri geomeccanici dei terreni di fondazione.

I valori di calcolo dei suddetti parametri sono stati ricavati applicando ai valori caratteristici i coefficienti di sicurezza definiti per la combinazione M1. Essendo questi coefficienti unitari, nel caso in esame i valori di calcolo coincidono con quelli caratteristici.

Il terreno a contatto con i pali è stato schematizzato con molle a comportamento elastoplastico perfetto poste ad interasse di 1.00 m, la cui rigidezza è stata assunta crescente con la profondità secondo l'espressione di Reese e Matlock:

$$k_m = n_h \times i_m \times z_m$$

dove z_m è la profondità delle molle a partire dalla quota del fondale, i_m è l'interasse delle molle ed n_h è un coefficiente che tiene conto dello stato di addensamento del terreno, calcolato come:

$$n_h = \gamma' \times A / 1,35$$

Per il valore del coefficiente A sono stati assunti i seguenti valori di letteratura (Viggiani C., Fondazioni, Hevelius Edizioni, Benevento, 2000):

- Sabbia limosa sciolta: A = 200
- Sabbia limosa argillosa: A = 600

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

- Limo argilloso grigio azzurro: $A = 1.500$

La reazione limite delle molle del terreno (valori limiti di plasticizzazione) è stata assunta crescente linearmente con la profondità secondo la seguente espressione:

$$R_{\text{calc}} = 3 \times k_p \times \gamma' \times z_m \times D \times i_m$$

dove k_p è il coefficiente di spinta passiva del terreno calcolato con la teoria di Rankine, γ' è il peso di volume immerso del terreno, z_m è la profondità delle molle a partire dalla quota del fondale, D è il diametro del palo ed i_m è l'interasse delle molle.

La resistenza caratteristica (R_k) del terreno è stata ottenuta dividendo la reazione limite delle molle ottenuta dal calcolo per il coefficiente ξ_3 funzione del numero di verticali indagate (per n. 4 verticali indagate si ha $\xi_3 = 1,55$; a favore di sicurezza si considera $\xi_3 = 1,60$):

$$R_k = R_{\text{calc}} / \xi_3$$

La resistenza di calcolo (R_d) del terreno è stata quindi calcolata applicando i coefficienti di sicurezza della combinazione R3 ($\gamma_{R3} = 1,15$):

$$R_d = R_k / \gamma_{R3}$$

Inoltre a vantaggio di sicurezza, in condizioni statiche, come nel caso dei terreni coesivi, la reazione del terreno è stata assunta nulla fino alla profondità pari a circa $z = 1.5 \times D \sim 2.50$ m.

Nella tabella seguente sono riportate le rigidità delle molle con la profondità ed i valori di calcolo delle resistenze del terreno.

Tabella 2 – Rigidezza delle molle e resistenza di calcolo del terreno

q	z	k _m	R _{calc}	ξ ₃	R _k	γ _{R3}	R _d
m s.l.m.	m	kN/m	kN	-	kN	-	kN
-15,00	0,00	Strato di terreno trascurato in termini di resistenza laterale					
-16,00	1,00						
-17,00	2,00	800	58,91	1,60	36,82	1,15	32,02
-18,00	3,00	1.200	88,37	1,60	55,23	1,15	48,03
-19,00	4,00	1.600	117,83	1,60	73,64	1,15	64,04
-20,00	5,00	2.000	147,29	1,60	92,05	1,15	80,05
-21,00	6,00	2.400	176,74	1,60	110,47	1,15	96,06
-22,00	7,00	2.800	206,20	1,60	128,88	1,15	112,07
-23,00	8,00	3.200	235,66	1,60	147,29	1,15	128,08
-24,00	9,00	3.600	265,12	1,60	165,70	1,15	144,09
-25,00	10,00	4.000	294,57	1,60	184,11	1,15	160,09
-26,00	11,00	4.400	324,03	1,60	202,52	1,15	176,10
-27,00	12,00	4.800	353,49	1,60	220,93	1,15	192,11
-28,00	13,00	5.200	382,95	1,60	239,34	1,15	208,12

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

-29,00	14,00	5.600	412,40	1,60	257,75	1,15	224,13
-30,00	15,00	6.000	441,86	1,60	276,16	1,15	240,14
-31,00	16,00	6.400	471,32	1,60	294,57	1,15	256,15
-32,00	17,00	6.800	500,78	1,60	312,99	1,15	272,16
-33,00	18,00	7.200	530,23	1,60	331,40	1,15	288,17
-34,00	19,00	80.222	2.007,98	1,60	1.254,99	1,15	1.091,29
-35,00	20,00	84.444	2.113,67	1,60	1.321,04	1,15	1.148,73
-36,00	21,00	88.667	2.219,35	1,60	1.387,09	1,15	1.206,17
-37,00	22,00	237.111	1.786,77	1,60	1.116,73	1,15	971,07
-38,00	23,00	247.889	1.867,98	1,60	1.167,49	1,15	1.015,21
-39,00	24,00	258.667	1.949,20	1,60	1.218,25	1,15	1.059,35
-40,00	25,00	269.444	2.030,42	1,60	1.269,01	1,15	1.103,49
-41,00	26,00	280.222	2.111,63	1,60	1.319,77	1,15	1.147,63
-42,00	27,00	291.000	2.192,85	1,60	1.370,53	1,15	1.191,77
-43,00	28,00	301.778	2.274,07	1,60	1.421,29	1,15	1.235,91
-44,00	29,00	312.556	2.355,28	1,60	1.472,05	1,15	1.280,05

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

6 ANALISI DEI CARICHI

Nel seguito è riportata l'analisi dei carichi agenti sulle briccole del nuovo terminale marittimo per l'attracco e l'ormeggio di navi tipo RO/RO e RO/PAX. L'analisi si riferisce alla struttura tipo della briccola sottoposta alle azioni più gravose. Per i carichi dovuti al tiro alla bitta ed alle forze di ormeggio ed accosto si rimanda alla relativa relazione specialistica.

6.1 Carichi permanenti strutturali

I carichi permanenti strutturali dovuti al peso proprio degli elementi di acciaio sono stati valutati assumendo per l'acciaio un peso di volume pari a:

$$g_{1k} = 78,50 \text{ kN/m}^3$$

Nei calcoli è stato inoltre tenuto conto anche del peso proprio del terreno all'interno dei pali che può essere schematizzato come un carico lineare uniformemente distribuito lungo i pali:

- Sabbia limosa sciolta: $g_{1k} = 2,70 \times 1,45 = 3,92 \text{ kN/m}$
- Sabbia limosa argillosa: $g_{1k} = 9,50 \times 1,45 = 13,78 \text{ kN/m}$
- Limo argilloso grigio azzurro: $g_{1k} = 9,70 \times 1,45 = 14,07 \text{ kN/m}$

6.2 Tiro alla bitta

Sulle briccole è prevista l'installazione di 2 bitte da 100 t, una per ciascun fronte di accosto, posizionate centralmente. Poiché le azioni dovute all'ormeggio e trasmesse dalle due bitte al pontile hanno verso opposto nei calcoli è portata in conto solo la forza agente su una bitta.

Si assume inoltre che il tiro alla bitta agisca ortogonalmente al fronte di accosto e nel piano orizzontale dell'impalcato.

Nei calcoli il valore caratteristico del tiro alla bitta è pari a:

$$Q_{1k} = 1000 \text{ kN}$$

I coefficienti di combinazione dell'azione sono i seguenti ("vento"):

$$\Psi_{0j} = 0.6 \quad \Psi_{1j} = 0.2 \quad \Psi_{2j} = 0.0$$

6.3 Forze di accosto

Sulle briccole è prevista l'installazione di 5 parabordi, due su un fronte di accosto e tre sull'altro, posizionati in corrispondenza dei pali. Poiché le reazioni dei parabordi dovute all'accosto hanno verso opposto, nei calcoli è portata in conto solo la forza agente sui parabordi posizionati sullo stesso lato ed agente nella stessa direzione del tiro alla bitta. Si assume inoltre che le forze agiscono

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

ortogonalmente al fronte di accosto della briccola e nel piano orizzontale dell'impalcato.

Nei calcoli il valore caratteristico delle forze di accosto è pari a:

$$Q_{2ak} = 3 \times 600 \text{ kN}$$

I coefficienti di combinazione dell'azione sono i seguenti ("vento"):

$$\Psi_{0j} = 0.6 \quad \Psi_{1j} = 0.2 \quad \Psi_{2j} = 0.0$$

6.4 Forze di ormeggio dovute al moto ondoso

L'azione del moto ondoso sulla nave all'ormeggio è stata calcolata, in accordo con lo studio di agitazione ondosa al quale si rimanda per maggiori dettagli, assumendo un'onda residua al pontile pari a 1,50 m, corrispondente ad un evento estremo all'imboccatura con $H_s = 5,00$ m con fattore di amplificazione (riduzione) pari a 0,30.

In accordo con la relazione tecnica delle azioni sulle briccole per effetto del moto ondoso incidente sulla nave all'ormeggio la massima forza sulla briccola si ha per le navi più grandi (GRT = 15.000 t) in presenza di onde con periodo $T = 6.0$ s per le quali risulta una forza complessiva sulla briccola pari a:

$$Q_{2bk} = 61 \text{ kN}$$

I coefficienti di combinazione dell'azione sono i seguenti ("vento"):

$$\Psi_{0j} = 0.6 \quad \Psi_{1j} = 0.2 \quad \Psi_{2j} = 0.0$$

6.5 Forze di ormeggio dovute al vento

L'azione del vento sulla nave all'ormeggio è stata calcolata, in accordo con relazione tecnica delle azioni sulle briccole alla quale si rimanda per maggiori dettagli, assumendo un vento orario di 20 m/s ed applicando un fattore di raffica di 1,25 da cui si ottiene un vento mediato sui 30 secondi di 25 m/s.

La massima forza sulla briccola si ha per le navi grandi (GRT = 15.000 t) scariche per le quali risulta una forza complessiva sulla briccola pari a:

$$Q_{2ck} = 329 \text{ kN}$$

I coefficienti di combinazione dell'azione sono i seguenti ("vento"):

$$\Psi_{0j} = 0.6 \quad \Psi_{1j} = 0.2 \quad \Psi_{2j} = 0.0$$

6.6 Carichi variabili

Il valore del sovraccarico dei pontili è stato definito in base alla sua destinazione d'uso ed ai valori già adottati negli ultimi anni nella progettazione di altre analoghe strutture portuali. Pertanto il sovraccarico variabile considerato agente come un carico uniformemente distribuito sull'impalcato è stato assunto pari a:

Calcoli delle strutture	10 di 26
-------------------------	----------

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

$$Q_{3k} = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

I coefficienti di combinazione dell'azione sono i seguenti ("Cat. B: uffici"):

$$\Psi_{0j} = 0,7 \quad \Psi_{1j} = 0,5 \quad \Psi_{2j} = 0,3$$

6.7 Azione sismica

6.7.1 Pericolosità sismica del sito

Come indicato al capitolo 3.2 delle NTC2018, la pericolosità sismica nazionale è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/> e riportati in allegato al DM 14/1/2008 in corrispondenza dei nodi di un reticolo di riferimento con passo di 0.05°. In corrispondenza di ogni nodo del reticolo di riferimento, per ciascuna delle probabilità di superamento (P_{VR}) nel periodo di riferimento (V_R) sono assegnati i valori dei seguenti parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- 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.

Ai fini della definizione del periodo di riferimento dell'azione sismica (V_R), con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni previste nel presente progetto sono assegnate alla classe d'uso II, alla quale appartengono le costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento (V_R) che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale (V_N) per il coefficiente d'uso (C_U), definito in funzione della classe d'uso (DM 17/1/2018 Tab. 2.4.II):

$$V_R = V_N \times C_U$$

Per costruzioni in classe II, il coefficiente d'uso (C_U) è pari a 1,0. Pertanto la vita di riferimento per le azioni sismiche (V_R) delle opere strutturali è pari a 50 anni.

6.7.2 Stati limite e relative probabilità di superamento

Nei confronti delle azioni sismiche, gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono le seguenti:

- **SLO:** $P_{VR} = 81\%$
- **SLD:** $P_{VR} = 63\%$
- **SLV:** $P_{VR} = 10\%$
- **SLC:** $P_{VR} = 5\%$

a cui corrispondono i seguenti periodi di ritorno dell'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite:

- **SLO:** $T_R = 30$ anni
- **SLD:** $T_R = 50$ anni
- **SLV:** $T_R = 475$ anni
- **SLC:** $T_R = 975$ anni

I parametri sismici per la definizione dell'azione sismica in ciascuno degli stati limite considerati sono riportati nella tabella seguente:

Calcoli delle strutture	12 di 26
-------------------------	----------

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

Tabella 3 – Parametri sismici
Regione Puglia, Provincia di Brindisi, Comune di Brindisi
(Fonte Spettri NTCver1.0.3)

STATO LIMITE	T _R [anni]	a _g [g]	F _o [-]	T _c * [s]
SLO	30	0,013	2,330	0,151
SLD	50	0,018	2,288	0,188
SLV	475	0,044	2,521	0,446
SLC	975	0,055	2,603	0,515

6.7.3 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

La categoria di sottosuolo di riferimento per il sito in esame è la categoria B (“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s,30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero N_{SPT,30} > 50 nei terreni a grana grossa e c_{u,30} > 250 kPa nei terreni a grana fina). Tale categoria è stata ricavata dalla relazione geologico - tecnica redatta dal geol. Rocco Gnoni nel giugno 2010 nella quale sono riportati i risultati della prova *down hole* eseguita.

La categoria topografica di riferimento è invece la categoria T1 (“Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°”).

6.7.4 Classe di duttilità

La struttura è calcolata in classe di duttilità bassa (CD“B”).

6.7.5 Tipologia strutturale

La struttura sismo-resistente dell’opera può essere classificata come “strutture a mensola o a pendolo inverso”, costituite da membrature pressoinflesse in cui le zone dissipative sono collocate alla base.

6.7.6 Fattore di struttura

Il fattore di struttura q è dato da:

$$q = q_0 \times K_R = 1,50$$

dove:

- q₀ = 1,50 (classe di duttilità CD“B” e strutture a mensola o a pendolo inverso);
- K_R = 1.00 (struttura regolare in altezza)

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	---	---------------------

6.7.7 Spettri di progetto per gli stati limite ultimi

Ai fini del progetto o della verifica delle strutture le capacità dissipative delle strutture sono state messe in conto attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovraresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni.

In tal caso, lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata, con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Per il sito in esame ed i parametri sismici di progetto gli spettri di risposta sono riportati nella figura seguente.

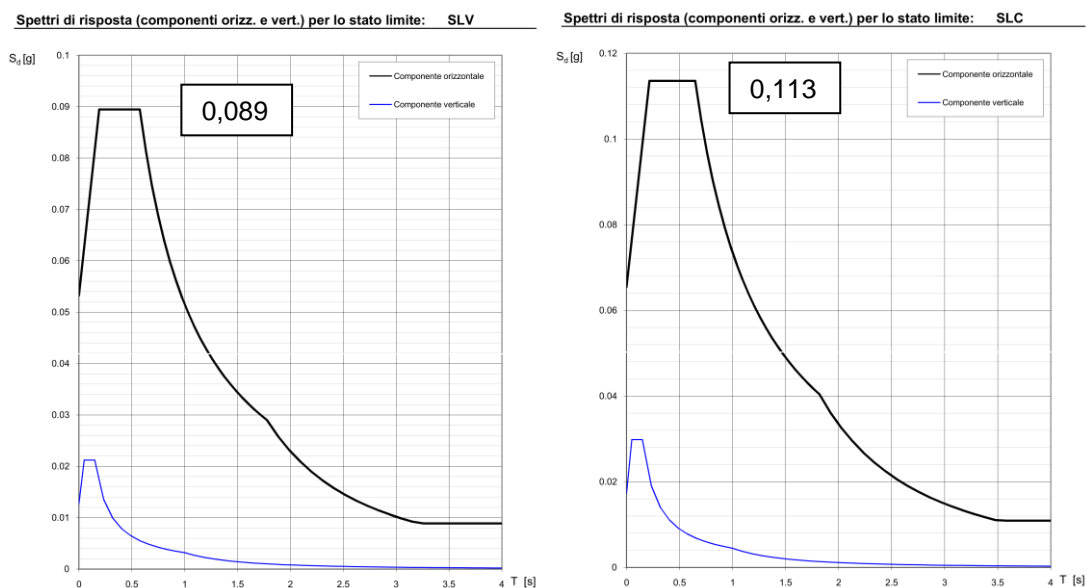


Figura 1 – Spettri di progetto per gli stati limite ultimi

Lo stato limite ultimo si considera conseguito qualora sono rispettate le verifiche allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

6.7.8 Spettri di progetto per gli stati limite di esercizio

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata.

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	---	---------------------

Per il sito in esame ed i parametri sismici di progetto gli spettri di risposta sono riportati nella figura seguente.

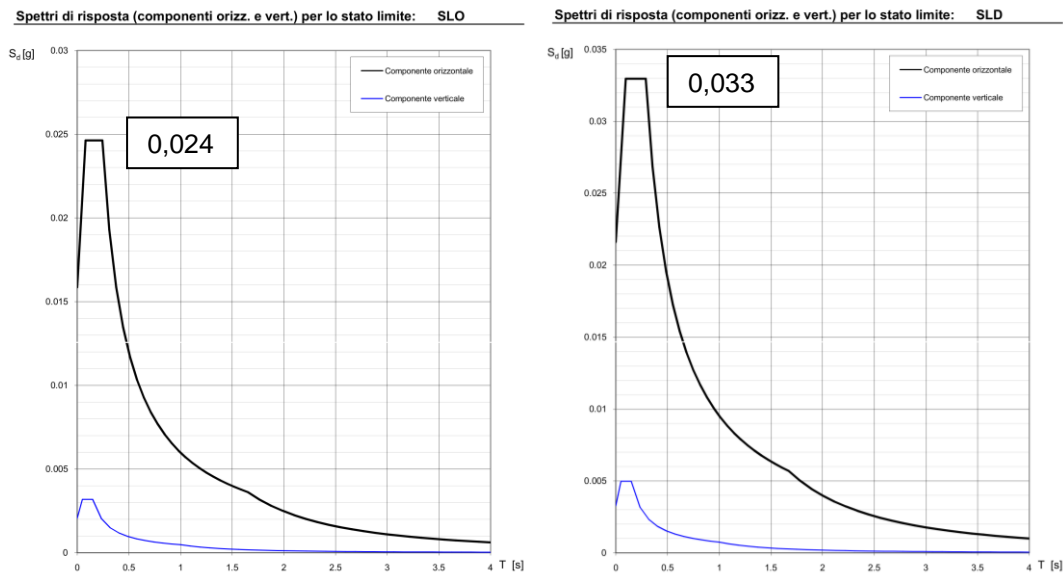


Figura 2 – Spettri di progetto per gli stati limite di esercizio

Lo stato limite di esercizio si considera conseguito qualora sono rispettate le verifiche allo stato limite di danno (SLD).

6.7.9 Tipo di analisi

Il metodo di riferimento per determinare gli effetti dell'azione sismica utilizzato è l'analisi modale con spettro di risposta o "analisi lineare dinamica", in cui l'equilibrio è stato trattato dinamicamente e l'azione sismica è stata modellata direttamente attraverso lo spettro di progetto.

L'analisi dinamica lineare è stata eseguita come segue:

- determinando i modi di vibrare della costruzione (analisi modale);
- calcolando gli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, per ciascuno dei modi di vibrare individuati;
- combinando gli effetti dei modi.

Sono stati considerati tutti i modi con massa partecipante superiore al 5% ed aventi complessivamente una massa partecipante totale superiore all'85%.

Gli effetti relativi a ciascun modo sono stati combinati utilizzando una combinazione quadratica completa (CQC) degli effetti relativi modo.

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

6.7.10 Risposta alle diverse componenti dell'azione sismica

Avendo valutato la risposta della struttura mediante analisi dinamica in campo lineare la risposta può essere calcolata separatamente per ciascuna delle tre componenti. Gli effetti sulla struttura (sollecitazioni, deformazioni, spostamenti, ecc.) sono combinati successivamente, applicando la seguente espressione:

$$E = 1.00 \times E_x + 0.30 \times E_y + 0.30 \times E_z$$

con rotazione dei coefficienti moltiplicativi e conseguente individuazione degli effetti più gravosi.

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

7 COMBINAZIONI DI CARICO

I calcoli sono stati eseguiti combinando i carichi secondo le combinazioni riportate nei paragrafi seguenti.

7.1 Stato limite ultimo (SLU)

Ai fini delle verifiche agli stati limite ultimi in condizioni statiche e dinamiche nei confronti dei seguenti stati limite:

- *SLU di tipo strutturale (STR):*
 - *raggiungimento della resistenza dei pali;*
 - *raggiungimento della resistenza della struttura di collegamento dei pali;*
- *SLU di tipo geotecnico (GEO):*
 - *collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;*
 - *collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali;*
 - *collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione;*

è stato adottato l'Approccio 2 nel quale si impiega un'unica combinazioni dei gruppi di coefficienti parziali (Combinazione A1+M1+R3), rispettivamente definiti per le azioni (**A1**), per la resistenza dei materiali (**M1**) ed, eventualmente, per la resistenza globale del sistema (**R3**).

Nelle verifiche effettuate con l'Approccio 2 finalizzate al dimensionamento strutturale il coefficiente γ_R non è stato portato in conto.

7.1.1 Condizioni statiche

In condizioni statiche i coefficienti parziali per le azioni (**A1**) sono i seguenti:

- Carichi permanenti, G_{1k} (pesi propri): $\gamma_F = \gamma_{g1} = 1,0-1,3$
- Carico variabile n. 1, Q_{1k} (tiro alla bitta): $\gamma_F = \gamma_{q1} = 1,5$
- Carico variabile n. 2, $Q_{2ak}, Q_{2bk}, Q_{2ck}$ (accosto/ormeggio): $\gamma_F = \gamma_{q2} = 1,5$
- Carico variabile n. 3, Q_{3k} (sovraccarico): $\gamma_F = \gamma_{q3} = 1,5$

I coefficienti parziali per i parametri geotecnici **M1** adottati sono i seguenti:

- Tangente dell'angolo di resistenza a taglio, $\tan\Phi'_k$: $\gamma_M = 1,00$
- Coesione efficace, c'_k : $\gamma_M = 1,00$
- Resistenza non drenata, c_{uk} : $\gamma_M = 1,00$
- Peso dell'unità di volume, γ : $\gamma_M = 1,00$

I coefficienti **R3** adottati sono (pali infissi):

Calcoli delle strutture	17 di 26
-------------------------	----------

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

- Resistenza alla base: $\gamma_R = 1,15$
- Resistenza laterale in compressione: $\gamma_R = 1,15$
- Resistenza laterale in trazione: $\gamma_R = 1,25$

Le combinazioni di carico definite sono pertanto le seguenti:

- **SLU-1:** $\gamma_{g1} \times G_{1k} + \gamma_{q1} \times Q_{1k}$ con $\gamma_{g1} = 1,0$ per massimizzare l'azione di sfilamento nei pali e $\gamma_{q1} = 1,3$ per massimizzare il carico alla punta dei pali
- **SLU-2a:** $\gamma_{g1} \times G_{1k} + \gamma_{q2} \times Q_{2ak}$
- **SLU-2b:** $\gamma_{g1} \times G_{1k} + \gamma_{q2} \times Q_{2bk}$
- **SLU-2c:** $\gamma_{g1} \times G_{1k} + \gamma_{q2} \times Q_{2ck}$
- **SLU-3:** $\gamma_{g1} \times G_{1k} + \gamma_{q3} \times Q_{3k}$

7.1.2 Condizioni dinamiche

In condizioni sismiche lo stato limite ultimo si considera conseguito qualora sono rispettate le verifiche allo stato limite di salvaguardia della vita (**SLV**).

I coefficienti parziali per le azioni (**A1**) sono posti uguali a **1.0**, mentre quelli per i parametri geotecnici **M1** ed i coefficienti **R3** sono uguali a quelli adottati per le condizioni statiche.

L'azione sismica è stata inoltre combinata con le altre azioni portando in conto le masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_{1k} + \Psi_{23} \times Q_{3k}$$

Le combinazioni di carico definite sono pertanto le seguenti:

- **SLV-1:** $E_1 + G_{1k} + \Psi_{23} \times Q_{3k}$
- **SLV-2:** $E_2 + G_{1k} + \Psi_{23} \times Q_{3k}$
- **SLV-3:** $E_3 + G_{1k} + \Psi_{23} \times Q_{3k}$

dove:

- $E_1 = 1.00 \times E_x + 0.30 \times E_y + 0.30 \times E_z$
- $E_2 = 0.30 \times E_x + 1.00 \times E_y + 0.30 \times E_z$
- $E_3 = 0.30 \times E_x + 0.30 \times E_y + 1.00 \times E_z$

Le strutture delle briccole, essendo realizzate in acciaio, risultano dal punto di vista sismico, opere leggere con valori delle masse molto bassi. La stessa massa associata al sovraccarico variabile risulta modesta. Ciò comporta piccoli valori delle forze inerziali orizzontali e verticali del tutto trascurabili se confrontati con i valori delle azioni derivanti dall'ormeggio e dall'accosto delle imbarcazioni.

Per tale motivo le verifiche allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) in condizioni dinamiche sono state omesse.

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

7.2 Stati limite di esercizio (SLE)

Ai fini delle verifiche agli stati limite di esercizio per i parametri geotecnici sono stati assunti coefficienti parziali unitari.

7.2.1 Condizioni statiche

Ai fini delle verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) nei confronti della fessurazione e delle tensioni nei materiali sono state definite le seguenti combinazioni di carico:

Combinazioni rare:

- **SLE-RAR-1:** $G_{1k} + Q_{1k}$
- **SLE-RAR-2a:** $G_{1k} + Q_{2ak}$
- **SLE-RAR-2b:** $G_{1k} + Q_{2bk}$
- **SLE-RAR-2c:** $G_{1k} + Q_{2ck}$
- **SLE-RAR-3:** $G_{1k} + Q_{3k}$

Combinazioni frequenti:

- **SLE-FRE-1:** $G_{1k} + \Psi_{11} \times Q_{1k}$
- **SLE-FRE-2a:** $G_{1k} + \Psi_{12} \times Q_{2ak}$
- **SLE-FRE-2b:** $G_{1k} + \Psi_{12} \times Q_{2bk}$
- **SLE-FRE-2c:** $G_{1k} + \Psi_{12} \times Q_{2ck}$
- **SLE-FRE-3:** $G_{1k} + \Psi_{13} \times Q_{3k}$

Combinazioni quasi permanenti:

- **SLE-QPE-1:** $G_{1k} + \Psi_{23} \times Q_{3k}$

7.2.2 Condizioni dinamiche

In condizioni sismiche lo stato limite di esercizio si considera conseguito qualora sono rispettate le verifiche allo stato limite di danno (SLD). Più in dettaglio le verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio degli elementi strutturali, degli elementi non strutturali e degli impianti si effettuano rispettivamente in termini di “resistenza”, di “contenimento del danno” e di “mantenimento della funzionalità”.

Nel caso in esame la struttura risulta priva di elementi non strutturali e di impianti per i quali sono richieste le suddette verifiche degli elementi strutturali. Per tale motivo le verifiche allo stato limite di esercizio in condizioni dinamiche sono state omesse.

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

8 CALCOLO DELLA STRUTTURA

Le sei briccole in struttura metallica del nuovo terminale marittimo lungo la banchina di Costa Morena Ovest sono composte da sei pali ciascuna collegati in testa da un sistema di travi reticolari. Tutte le briccole hanno le medesime caratteristiche geometriche e strutturali. Pertanto vista la modularità dell'opera il calcolo della struttura è stato eseguito con riferimento alla struttura tipo di una bricola.

8.1 Modello strutturale

La struttura è stata modellata con l'ausilio del codice di calcolo agli elementi finiti SAP2000. Il modello strutturale è stato costruito a partire dalla geometria della bricola assegnando i materiali e le sezioni seguenti:

Materiali:

Acciaio S355: $\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$; $m = 7,85 \text{ t/m}^3$; $E = 210.000 \text{ MPa}$; $\nu = 0.30$;
 $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$

Sezioni:

D1420 sp. 30 mm = Pali; $A = 0,131 \text{ m}^2$; $J = 0,0317 \text{ m}^4$; $W_{el} = 0,0446 \text{ m}^3$;
 $W_{pl} = 0,058 \text{ m}^3$; S355

D508 sp. 30 mm = Correnti; $A = 0,0451 \text{ m}^2$; $J = 0,00129 \text{ m}^4$; $W_{el} = 0,0051 \text{ m}^3$;
 $W_{pl} = 0,00686 \text{ m}^3$; S355

D355.6 sp. 20 mm = Diagonali/Montanti; $A = 0,0211 \text{ m}^2$; $J = 0,0002979 \text{ m}^4$;
 $W_{el} = 0,001676 \text{ m}^3$; $W_{pl} = 0,002255 \text{ m}^3$; S355

I pali sono vincolati alla punta alla traslazione verticale e lateralmente con molle a comportamento elastoplastico perfetto poste ad interasse di 1,00 m (si veda paragrafo relativo alle caratteristiche dei terreni di fondazione). La prima molla è stata posizionata alla -17,00 m s.m.m. mentre il vincolo alla punta alla -43,00 m s.m.m. La quota di sommità dei pali è alla +4,50 m s.m.m.

I carichi permanenti strutturali ed i carichi variabili sono applicati e combinati secondo quanto descritto nei relativi paragrafi di analisi dei carichi e combinazioni di carico. In particolare, i carichi variabili sono stati assegnati come forze concentrate verticali in testa ai pali in funzione della loro area di influenza.

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

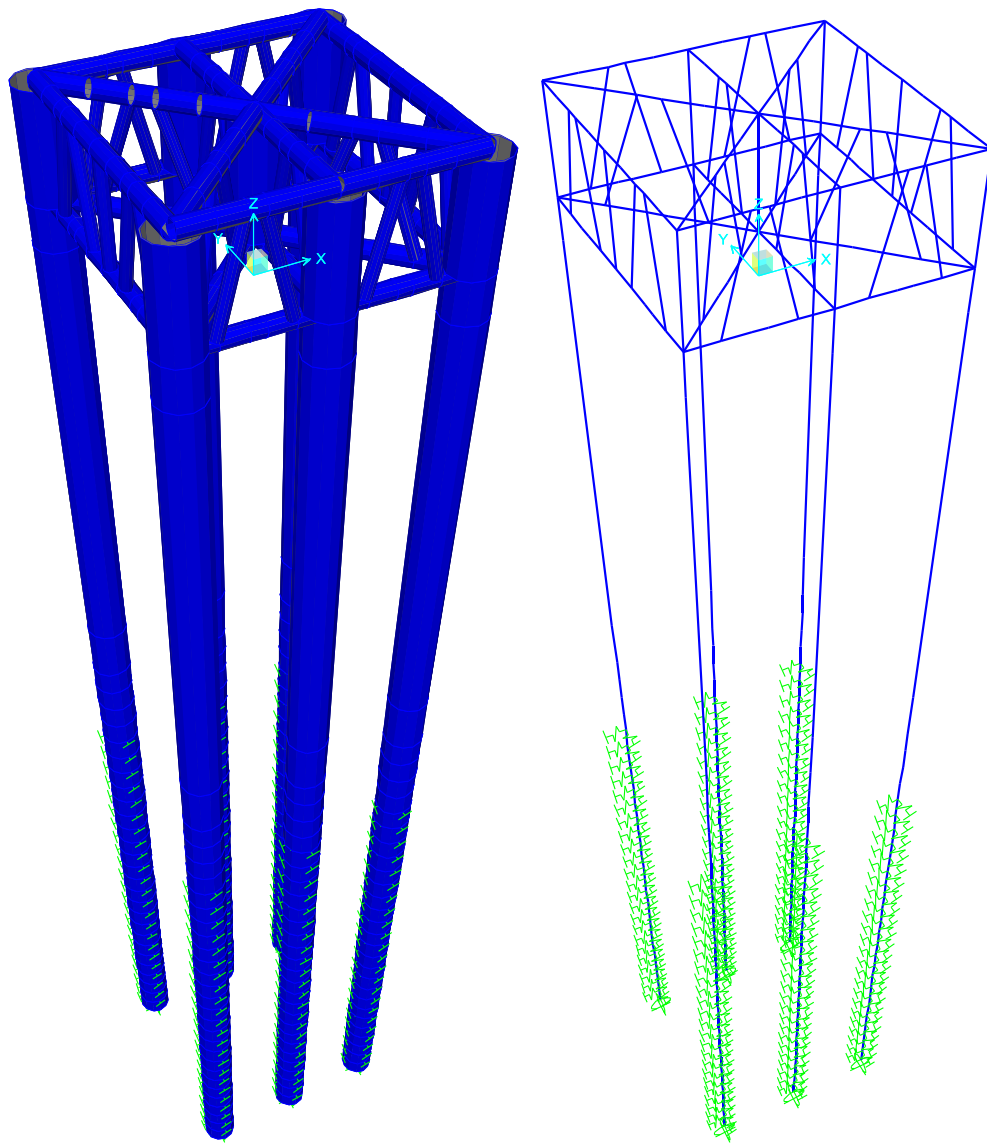


Figura 3 : Modello FEM – Extrude View (sx) – Wireframe View (dx)

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

8.2 Sollecitazioni di calcolo

Nella tabella seguente per ciascun elemento strutturale sono riportati i risultati dell'analisi numerica svolta con l'indicazione delle massime sollecitazioni agenti e della relativa combinazione di carico.

Tabella 4 – Sollecitazioni di calcolo massime

Elemento	Tipo verifica	Combinazione	N_{Ed}	M_{Ed}
-	-	-	kN	kNm
Pali Φ1420 sp. 30 mm	<i>Strutturale</i>	SLU-2a	+1.865	5.739
			-1.588	5.599
Correnti Φ508 sp. 30 mm	<i>Strutturale</i>	SLU-2a	+2.241	420
			-1.794	1.179
Diagonali/Montanti Φ355,6 sp. 20 mm	<i>Strutturale</i>	SLU-2a	+1.508	210
			-1.425	239

Elemento	Tipo verifica	Combinazione	R_{Ed}
-	-	-	kN
Pali Φ1420 sp. 30 mm	<i>Geotecnica</i>	SLU-2a	+2.777
Pali Φ1420 sp. 30 mm	<i>Geotecnica</i>	SLU-2a	-983

Nella combinazione di carico SLU-2, che risulta essere quella dimensionante, le prime quattro molle con cui è stato schematizzato il terreno si sono plasticizzate, aumentando così l'altezza libera del palo da 21.50 m a 26.50 m.

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

9 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

Nel presente paragrafo sono riportate le verifiche agli stati limite dei principali elementi strutturali della bricola per le combinazioni di carico più gravose.

Le caratteristiche meccaniche delle sezioni resistenti sono riportate per ciascun elemento strutturale nella tabella seguente.

Tabella 5 – Caratteristiche di resistenza delle sezioni
 (Fonte: Prospetto 6.7 UNI EN 1993-1-1:2005)

Elemento	Classe	Area	Modulo di resistenza	Coefficiente di imperfezione
-	-	m ²	m ³	-
Pali Φ1420 sp. 30 mm	3	0,131	W _{el} = 0,0446	0,49 (curva di instabilità c)
Correnti Φ508 sp. 20 mm	1	0,016	W _{pl} = 0,0048	0,49 (curva di instabilità c)
Diagonali/Montanti Φ355,6 sp. 20 mm	1	0,011	W _{pl} = 0,0023	0,49 (curva di instabilità c)

Ipotizzando un tasso di corrosione medio pari a 0,07 mm/anno sia internamente che esternamente alle membrature tubolari, nella tabella seguente sono riportate per ciascun elemento strutturale le caratteristiche meccaniche delle sezioni resistenti a 50 anni.

Tabella 6 – Caratteristiche di resistenza delle sezioni
 (Fonte: Prospetto 6.7 UNI EN 1993-1-1:2005)

Elemento	Classe	Area	Modulo di resistenza	Coefficiente di imperfezione
-	-	m ²	m ³	-
Pali Φ1413 sp. 23 mm	3	0,100	W _{el} = 0,0343	0,49 (curva di instabilità c)
Correnti Φ501 sp. 13 mm	2	0,016	W _{pl} = 0,0048	0,49 (curva di instabilità c)
Diagonali/Montanti Φ348,6 sp. 13 mm	2	0,011	W _{pl} = 0,0023	0,49 (curva di instabilità c)

Cautelativamente tutte le verifiche sono state eseguite con riferimento al modulo di resistenza elastico delle sezioni.

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

9.1 Verifiche agli stati limite ultimi di tipo strutturale

Le verifiche agli stati limite ultimi strutturali sono state eseguite nei confronti dell'instabilità di "membrature uniformi soggette a flessione e compressione assiale" in accordo con la norma europea UNI EN 1993-1-1:2005.

Le membrature devono pertanto soddisfare la seguente relazione:

$$N_{Ed}/(\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}) + k_{zz} \times (M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}) / (M_{z,Rk}/\gamma_{M1}) \leq 1,00$$

dove:

- $\chi_z = 1/[\Phi + (\Phi^2 - \lambda^2)^{0,5}]$ con:
 - $\Phi = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\lambda - 0,2) + \lambda^2]$
 - $\alpha = 0,49$ (coefficiente di imperfezione)
 - $\lambda = (A \times f_y / N_{cr})^{0,5}$
 - $N_{cr} = \pi^2 \times E \times I / L_{cr}^2$
- $\gamma_{M1} = 1,05$ (Tabella 4.2.V NTC 2008);
- $\Delta M_{z,Ed} = 0,00$ per sezioni in classe 1, 2 e 3;
- $N_{Rk} = f_y \times A$
- $M_{z,Rk} = f_y \times W$
- $k_{zz} = c_{mz} / (1 - \chi_z N_{Ed} / N_{Rk})$
- $c_{mz} = 1,00$

Nelle tabelle seguenti sono riportate le verifiche rispettivamente a tempo 0 ed a 50 anni tenendo conto della riduzione di spessore dell'acciaio dovuta alla corrosione.

Tabella 7 – Verifiche agli stati limite ultimi a T = 0 anni

Elemento	N_{Ed}	M_{Ed}	N_{Ek}	M_{Ek}	η
-	kN	kNm	kN	kNm	-
Pali Φ1420 sp. 30 mm	+1.865	5.739	46.507	15.827	$0,44 \leq 1,00$
Correnti Φ508 sp. 20 mm	+2.241	420	10.885	1.278	$0,40 \leq 1,00$
Diagonali/Montanti Φ355,6 sp. 20 mm	+1.508	210	7.495	596	$0,61 \leq 1,00$

Tabella 8 – Verifiche agli stati limite ultimi a T = 50 anni

Elemento	N_{Ed}	M_{Ed}	N_{Ek}	M_{Ek}	η
-	kN	kNm	kN	kNm	-
Pali Φ1420 sp. 30 mm	+1.865	5.739	35655	12192	$0,57 \leq 1,00$
Correnti Φ508 sp. 20 mm	+2.241	420	7075	841	$0,52 \leq 1,00$
Diagonali/Montanti Φ355,6 sp. 20 mm	+1.508	210	4866	394	$0,93 \leq 1,00$

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

9.2 Verifiche agli stati limite ultimi di tipo geotecnico

Nel seguito si riporta il calcolo delle resistenze alla punta e laterale a compressione ed a trazione da utilizzare nella verifica a carico limite dei pali.

Calcolo della resistenza alla punta (teoria di Terzaghi)

D _e	A _{est}	L	φ _d *	N _q	σ' _v	P _c	ξ ₃	P _k	γ _{R3}	P _d
m	m ²	m	°	-	kN/m ²	kN	-	kN	-	kN
1,420	1,58	28,00	34,50	31,30	145,00	7187,30	1,60	4492,06	1,15	3906,14

Calcolo della resistenza laterale (Modalità esecutiva: profilato d'acciaio battuto)

Trazione

z	γ'	σ' _v	A	φ _d	k	μ	σ' _h	s	S _c	ξ ₃	S _{k,i}	γ _{R3}	S _{td,i}
m	kN/m ³	kN/m ²	-	°	-	-	kN/m ²	kN/m	kN	-	kN	-	kN
0,00	2,70	0,00	Sciolto	26,00	0,70	0,36	0,00	111,44	497,14	1,60	310,71	1,25	-248,57
18,00		48,60					12,38						
18,00	9,50	48,60	Denso	26,50	1,00	0,36	17,69	68,63	306,15	1,60	191,34	1,25	-153,07
21,00		77,10					28,06						
21,00	9,70	77,10	Denso	29,00	1,00	0,36	28,06	282,93	1262,18	1,60	788,86	1,25	-631,09
28,00		145,00					52,78						
									2065,47		1290,92		-1032,73

Compressione

z	γ'	σ' _v	A	φ _d	k	μ	σ' _h	s	S _c	ξ ₃	S _{k,i}	γ _{R3}	S _{cd,i}
m	kN/m ³	kN/m ²	-	°	-	-	kN/m ²	kN/m	kN	-	kN	-	kN
0,00	2,70	0,00	Sciolto	26,00	0,70	0,36	0,00	111,44	497,14	1,60	310,71	1,15	270,19
18,00		48,60					12,38						
18,00	9,50	48,60	Denso	26,50	1,00	0,36	17,69	68,63	306,15	1,60	191,34	1,15	166,38
21,00		77,10					28,06						
21,00	9,70	77,10	Denso	29,00	1,00	0,36	28,06	282,93	1262,18	1,60	788,86	1,15	685,97
28,00		145,00					52,78						
									2065,47		1290,92		1122,54

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale - Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

RESISTENZA A COMPRESSIONE

Valore	P	S	Q _{lim}
-	kN	kN	kN
Calcolo	7187,30	2065,47	9252,77
Caratteristico	4492,06	1290,92	5782,98
Progetto	3906,14	1122,54	5028,68

RESISTENZA A TRAZIONE

Valore	P	S	Q _{lim}
-	kN	kN	kN
Calcolo	0,00	-2065,47	-2065,47
Caratteristico	0,00	-1290,92	-1290,92
Progetto	0,00	-1032,73	-1032,73

Il massimo carico di compressione alla punta del palo si ha nella combinazione SLU-2. La verifica al carico limite risulta soddisfatta essendo:

$$R_d = P_d + S_{c,d} = 5.028 \text{ kN} > E_d = 2.777 \text{ kN}$$

Il massimo carico di trazione alla punta del palo si ha nella combinazione SLU-2. La verifica al carico limite risulta soddisfatta essendo:

$$R_d = S_{t,d} = |-1.033 \text{ kN}| > E_d = |-983 \text{ kN}|$$

9.3 Verifiche agli stati limite di esercizio

Le verifiche agli stati limite di esercizio sono state eseguite nei confronti degli spostamenti orizzontali della briccola. La combinazione più gravosa è la SLE-2 per la quale si ha uno spostamento orizzontale massimo pari a:

$$\delta_{Q2k} = 0,146 \text{ m}$$

che risulta circa uguale ad 1/150 dell'altezza (0,143 m), misurata dalla quota di sommità (+4,50 m s.m.m.) alla quota della prima molla del terreno (-17,00 m s.m.m.).