



COMUNE DI AUGUSTA

LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL FORTE VITTORIA E MESSA IN SICUREZZA DEL FORTE GARCIA, RICOMPRESI NELLA CIRCOSCRIZIONE TERRITORIALE DEL PORTO DI AUGUSTA, DELIBERA PRESIDENZIALE n. 26/18 del 22/03/2018.

RELAZIONE GEOTECNICA

COMMITTENTE

Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Orientale

IL GEOLOGO

Dott. Domenico La Ferla
O.R.G. Sicilia N° 1492

INDICE

1.0 Premessa	Pag. 3
1.1 Caratteristiche geologiche dell'area in studio	Pag. 6
1.2 Calcolo della capacità portante	Pag. 8
2.0 Calcolo delle caratteristiche dell'onda attesa	Pag. 18
2.1 Valutazione della forza agente	Pag. 27
3.0 Considerazioni conclusive	Pag. 33
Tavola 1 – Pianta e sezioni della banchina da realizzare	Pag. 34

1.0 Premessa

Su incarico dell'Autorità di Sistema Portuale del Mare di Sicilia Orientale è stato condotto uno studio geotecnico che riguarda il progetto: "Lavori di manutenzione straordinaria del Forte Vittoria e messa in sicurezza del Forte Garcia, ricompresi nella circoscrizione territoriale del Porto di Augusta, Delibera Presidenziale n. 26/18 del 22/03/2018".

Il progetto prevede oltre alla manutenzione del Forte Vittoria e alla messa in sicurezza del Forte Garcia, la sostituzione di un pontile galleggiante con una banchina in muratura della lunghezza di circa 20 metri.

La banchina da realizzare ha la sua radice in prossimità dell'ingresso del Forte Vittoria e mediante una pedana di raccordo, la nuova banchina sarà collegata alla terra ferma.

La struttura della nuova banchina sarà realizzata con cassoni in cemento armato che saranno appoggiati sul fondale limitrofo alla costa e successivamente riempiti con materiale inerte.

Per permettere l'affondamento dei cassoni, questi saranno senza base e copertura, una volta messi in posizione e affondati per circa 30 cm nel fondale, questi saranno tappati con un getto di calcestruzzo, riempiti con pietrame di cava e chiusi con una botola in cemento armato.

Sopra la botola, una volta posizionati tutti i cassoni, sarà realizzato un massetto armato e successivamente una pavimentazione costituita da malta e pietrame.

Per garantire la realizzazione della banchina saranno posizionati 5 cassoni lunghi 4 metri e larghi 2,5 metri; in relazione al fondale, l'altezza dei cassoni varierà da 2,5 a 3,5 metri compresa la pavimentazione. In definitiva la banchina avrà una pianta di 2,5 metri per 20 metri con una passerella di raccordo alla terra ferma lunga circa 9,5 metri. L'altezza rispetto al livello del mare medio della banchina sarà di circa 90 cm.

Lo studio è stato effettuato in ottemperanza alle normative vigenti ed in particolare ai:

* D.M. 21.01.1981 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, ecc..".

* D.M. 29/05/1985 "norme per la compilazione dei progetti di opere dello Stato" e successive modifiche ed integrazioni

* D.M. 11.03.1988 e successive modifiche ed integrazioni.

D.M. LL.PP. del 23/09/1981 sostituito dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003 "primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni di zone sismiche"; modificata e integrata con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3316 del 02/10/2003, modificata e integrata con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3431 del 03/05/2005 che dichiarano il territorio del C.ne di Augusta Zona ad Alto Rischio Sismico appartenente alla **zona sismica 2**. D.M. LL.PP. del 14/01/2008 (G.U. n° 29 del 4/02/2008) "norme tecniche per le costruzioni" e la circolare del 02/02/2009 n° 617 istruzioni per l'applicazione delle "nuove norme tecniche per le costruzioni".

D.M. del 17/01/2018 "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni".

L'immagine sotto riportata illustra l'ubicazione della nuova banchina, che sarà posizionata nello specchio acqueo di pertinenza del Porto di Augusta (**Fig. 1**).



Figura 1: Ubicazione della nuova banchina in prossimità del Forte Vittoria.

Le coordinate geografiche in cui verrà realizzata la banchina, riferite al sistema WGS84 risultano:

latitudine 37°,236429 N longitudine 15°,205123 E.

Il fondale in cui sarà installata la banchina varia da circa -1,2 m a circa -2,5 m s.l.m.m. Nella **Figura 2** si riporta un particolare fotografico dell'area dei Forti Garcia e Vittoria con l'ubicazione della nuova banchina.



Figura 2: Particolare fotografico dei Forti Garcia e Vittoria.

L'altezza della parte emersa della nuova banchina, rispetto la quota s.l.m. del mare sarà di circa 0,9 m.

Nei paragrafi che seguono saranno esplicitate le caratteristiche geologiche e le caratteristiche del fondale interessato dall'installazione della nuova banchina.

Sarà inoltre valutata la capacità portante della banchina, le sue caratteristiche di resistenza e il possibile effetto del moto ondoso atteso, in prossimità dell'area interessata dalla banchina stessa. Tali analisi permetteranno di valutare le forze agenti sulla struttura di fondazione e verificarne il suo dimensionamento.

1.1 Caratteristiche geologiche dell'area in studio

Il fondale che sarà interessato dall'installazione della banchina ha una profondità variabile da circa -1,2 m a circa -2,5 m s.l.m.m. Tale fondale dal punto di vista geologico, escludendo la parte superficiale di circa 30 cm costituita da melma sabbiosa, è interessato da un importante strato di argilla che nell'area in studio presenta uno spessore superiore ai 100 metri. In maniera sporadica, tal volta, nella parte sommitale, al di sopra delle argille si ritrovano trovanti calcarenitici di modeste dimensioni immersi nel materiale melmoso. L'area ben conosciuta dal punto di vista geologico è stata inoltre interessata da varie perforazioni a carotaggio continuo eseguite per caratterizzare la limitrofa area del porto Commerciale di Augusta.

Nella **Figura 3** si riporta l'ubicazione dei sondaggi eseguiti per caratterizzare la limitrofa area del porto Commerciale di Augusta.

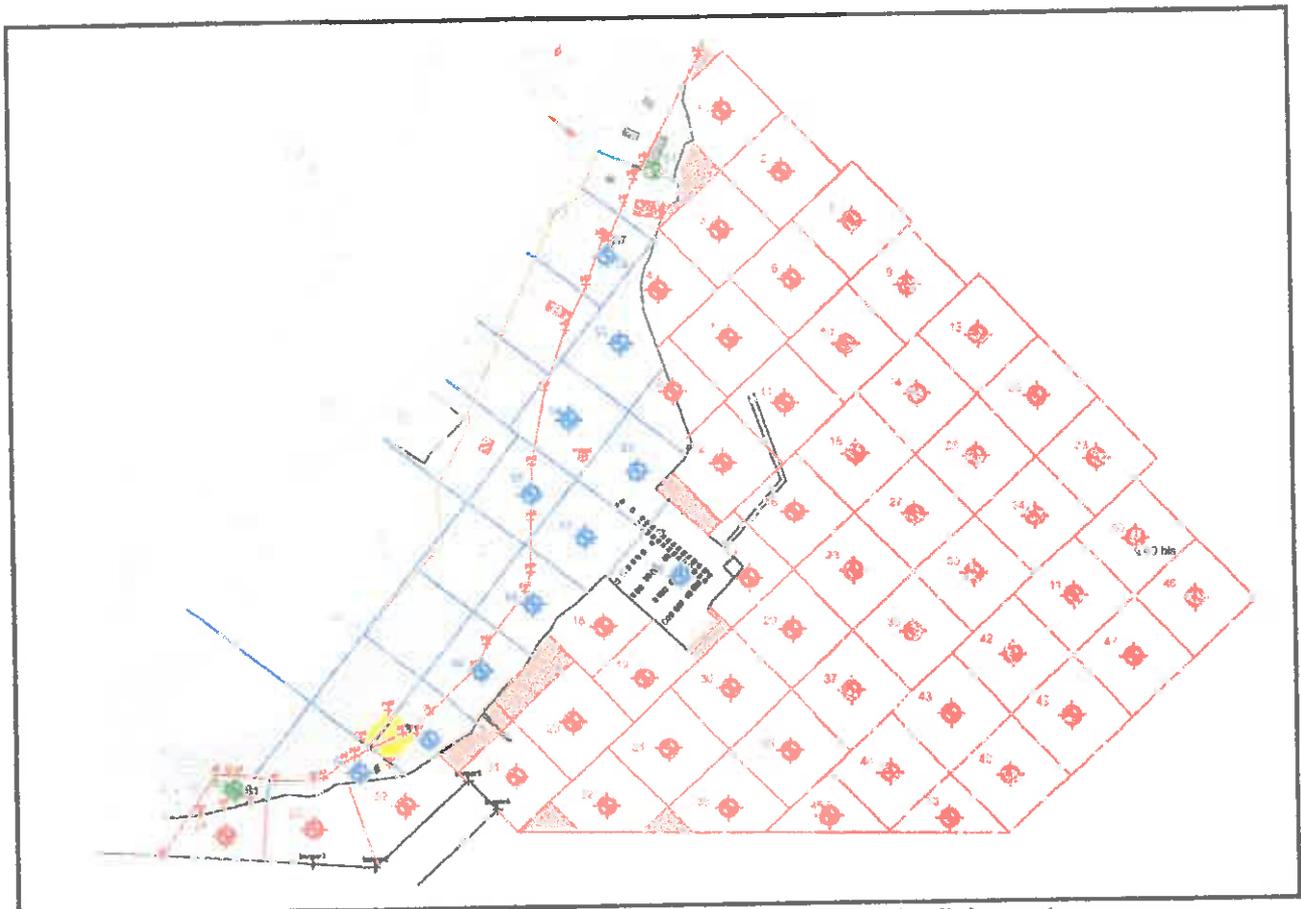


Figura 3: Ubicazione sondaggi porto Commerciale di Augusta.

Dal punto di vista geotecnico, i terreni di fondazione tipo, della zona in studio, escludendo lo strato superficiale calcarenitico che non si ritrova nel fondale in cui sarà installata la futura banchina, sono caratterizzati dalle "argille azzurre". Questa formazione, dai dati di analisi di laboratorio di campioni prelevati nel corso di campagne geognostiche eseguite in prossimità dell'area in studio, risulta avere caratteristiche geotecniche (peso specifico, coesione, angolo di attrito interno, etc.) tali, da ottenere idonei valori della capacità portante mediante l'utilizzo di fondazioni adeguate. Le proprietà geotecniche dei terreni di fondazione sono state ricavate da prove di laboratorio effettuate su campioni di terreni prelevati in prossimità dell'area in studio, in occasione di precedenti lavori geognostici. Nella **Tabella 1** si riportano le caratteristiche geotecniche di interesse.

Tabella 1 Caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi di fondazione.

		Argille-giallastre (Qag)	Argille grigio-azzurre (Qa)
Contenuto in acqua	W (%)	17-27	13-25
Peso di volume	γ (kN/m ³)	18,7	19,0
Peso specifico dei granuli	γ_s (kN/m ³)	24,5-26,5	25,5-27,4
Peso secco	γ_d (kN/m ³)	13,7-15,7	14,7-15,7
Indice dei vuoti	e_s (-)	0,6-0,9	0,6-0,8
Porosità	n (-)	40-50	35-45
Saturazione	S (%)	60-80	45-65
Coesione non drenata	C_{uk} (kPa)	50-100	150-250
Coesione efficace	C_k (kPa)	30	50
Angolo di attrito	f (°)	22	25

Relativamente alla categoria di sottosuolo, le prove sismiche MASW eseguite nell'area per precedenti lavori hanno dato come categoria di sottosuolo la **Categoria C**.

La categoria di sottosuolo C, come riportato nel paragrafo 3.2.2 del D.M. LL.PP. del 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni». (GU Serie Generale n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8) risulta:

Categoria 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.

- relativamente alla costante di **Winkler** questa risulta pari a **5 kg/cm³**.

1.2 Calcolo della capacità portante

Per il calcolo della capacità portante della fondazione della banchina sono stati utilizzati i seguenti dati cautelativi:

- Struttura costituita da 5 cassoni in cemento armato intasati con materiale inerte, affondati per circa 30 cm nel fondale e appoggiati nel litotipo argilloso, di seguito si riportano le caratteristiche principali dei cassoni:

	Dimensione	Affondamento	Litotipo di fondazione
Cassone 1	2,5x4,0 m h=2,3 m	circa 0,3 m	Argille giallastre
Cassone 2	2,5x4,0 m h=2,8	circa 0,3 m	Argille-giallastre
Cassone 3-4-5	2,5x4,0 m h=3,3	circa 0,3 m	Argille-giallastre

- Pavimentazione al disopra dei cassoni di circa 20 cm di spessore.
- Peso totale della banchina circa 4000 kN
- Caratteristiche geotecniche come di seguito sintetizzate:

da 0,0 a -0,3 m di profondità	materiale melmoso non considerato nel calcolo;
da -0,3 a -1,0 m di profondità	argille giallastre con: peso specifico $\gamma = 18,7 \text{ kN/m}^3$ coesione efficace $C_k = 30 \text{ kPa}$ angolo di attrito 22°
da -1,0 a -30,0 m di profondità	argille azzurre con: peso specifico $\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$ coesione efficace $C_k = 50 \text{ kPa}$ angolo di attrito 25°

In condizioni cautelative il calcolo è stato eseguito utilizzando le caratteristiche geotecniche delle argille giallastre.

La capacità portante delle fondazioni della banchina è stata calcolata utilizzando la formula di **BRINCH-HANSEN** (1970) valida per terreni sciolti, utilizzando i seguenti parametri:

- una profondità di posa delle fondazioni di - 0,30 m;
- un fondale sub-orizzontale;
- un piano di posa delle fondazioni quasi orizzontale;
- un litotipo di fondazione dato dalle *argille giallastre* con:

peso di volume $\gamma = 18,7$ $\phi = 22,0^\circ$; $C_k = 30 \text{ kPa}$

- il calcolo è stato eseguito sia in condizioni statiche (APPROCCIO 2 - Combinazione (A1+M1+R3)) che in condizioni sismiche (APPROCCIO 1 - Combinazione (A2+M2+R2)) considerando tutto il corpo banchina, utilizzando le seguente dimensioni:

Banchina: $B = 2,5 \text{ m}$ $H = 3,0 \text{ m}$ ($H_{am} = 0,3 \text{ m}$) $L = 20,0 \text{ m}$

La verifica della capacità portante è stata inoltre eseguita considerando l'effetto di una possibile onda anomala con capacità di impatto di 200 kN sulla componente orizzontali (Hl) e 400 kN sulla componente orizzontale (Hb), per maggiore sicurezza è stato inoltre considerato un momento di 200 kN (Mb) e un momento di 400 kN (Ml) agente nelle direzioni sopra menzionate. Di seguito si riportano gli elaborati di calcolo.

1 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

1.1 Calcestruzzo

Peso specifico del calcestruzzo	γ_{ds}	25,00 kN/m ³
Peso specifico del magrone	$\gamma_{dls, mag}$	24,00 kN/m ³
Altezza del sottofondo in magrone	H_{mag}	0,10 m

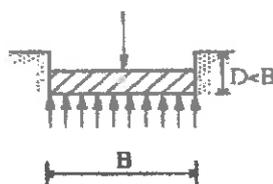
2 PARAMETRI SISMICI SLV

TROVA I PARAMETRI SISMICI (per $F_0 \geq 10^4$)

Accelerazione massima su suolo rigido	a_g	0,228 m/s ²
Coefficiente di amplificazione spettrale	F_0	2,507
Periodo di inizio tratto a velocità costante	T_c^*	0,269 s
Categoria di sottosuolo		C
Categoria topografica		T1
Accelerazione di gravità	g	9,806 m/s ²
Accelerazione orizzontale riferita al suolo rigido adimensionale	a_r/g	0,061
Coefficiente di amplificazione topografica	S_T	1,000
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	S_S	1,500
Prodotto $S_S^* S_T$	S	1,500
Accelerazione orizzontale riferita al sito adimensionale	a_{lim}/g	0,092
Coefficiente funzione della categoria di sottosuolo	C_c	1,619
Periodo del tratto ad accelerazione costante	T_B	0,145 s
Periodo del tratto a velocità costante	T_C	0,436 s
Periodo del tratto a spostamento costante	T_D	1,244 s
Coefficiente di smorzamento viscoso	ξ	5%
Coefficiente di correzione per smorzamento viscoso diverso dal 5%	η	1
Coefficiente sismico orizzontale	k_h	0,035
Coefficiente sismico verticale	k_v	$\pm 0,017$
Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito	β_m	0,38

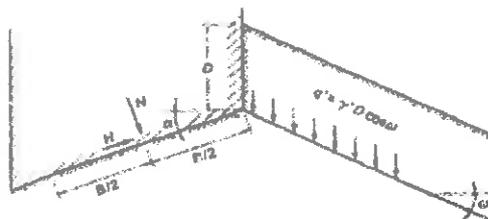
2.DATI FONDAZIONE

2.1 Geometria fondazione



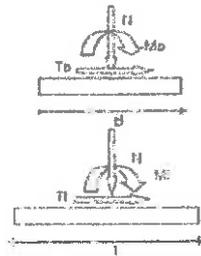
Lato corto	B	2,50 m
Lato lungo	L	20,00 m
Altezza del fondazione	H	5,00 m
Affondamento della zattera, misurato rispetto al piano di posa	D	0,30 m

2.2 Geometria terreno e piano di posa



Inclinazione piano posa	α	0,00°
Inclinazione piano campagna	ω	0,00°

2.3 Sollecitazioni



Forza normale alla base
 Forza parallela al lato lungo
 Forza parallela al lato corto
 Momento che arrotonda all'angolo al lato corto
 Momento che arrotonda all'angolo al lato lungo

Forza tagliante complessiva: $H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2}$

Eccentricità del carico nella direzione b
 Eccentricità del carico nella direzione l

CARICHI STATICI			
	Gax	Gyz	Cx
V	3500,0 kN	5000,0 kN	400,0 kN
Hx			200,0 kN
Hb			400,0 kN
Mb			200,0 kN
Ml			400,0 kN
H	0,0 kN	0,0 kN	447,2 kN

e _{bx}	0,00 m	0,00 m	[m]
e _{by}	0,00 m	0,00 m	[m]

3 GEOTECNICA

3.1 Falda

Altezza falda
 Quota della falda dal livello campagna
 Peso specifico acqua

Hfalda	0,00 m
Tw	10,0 kN/m ³

3.2 Parametri geotecnici

Argilla sabbiosa

Densità relativa
 Modello elastico
 Modello edometrico
 Coefficiente di Poisson
 Costante di Mohr

Dr	
E	140270 kPa
M	120214 kPa
v	0,27
Kw	1211/m ²

Angolo di attrito
 Coesione
 Resistenza a taglio non drenata
 Peso specifico del terreno sopra la falda dal lato di valle
 Peso specifico del terreno sotto il piano di posa

φ'	22,05°
c'	0,10 kPa
c _u	50,00 kPa
γ _{terzo}	17,00 kN/m ³
γ _{sat}	18,70 kN/m ³

6 SELEZIONE DELLA COMBINAZIONE

Approccio e combinazione utilizzata

APPROCCIO 1 - Combinazione (A1+M2+R2)

Condizione di verifica

SISMICA

Si esegue analisi sismica pseudo-statica Secondo la teoria di Paolucci e Pecker (1997)

AZIONE	A	
γ _{sz}	1,10	0,90
γ _{sz}	1,00	0,90
γ _{sz}	1,00	0,90

GEOTECNICA	M
Ten(φ' _{1/2})	1,05
C _{1/2}	1,25
C _{1/2}	1,50
γ _k	1,00

EFFETTI	R
capacità portante	1,00
scorrimento	1,10

**VERIFICA AL COLLASSO PER CARICO LIMITE PER IL SISTEMA TERRENO-FONDAZIONE
CONDIZIONI DRENATE**

1 COMBINAZIONE DI CALCOLO E PARAMETRI SISMICI

Condizione di verifica: APPROCCIO 1 Combinazione (A2+M2+R2)
Secondo la combinazione SISMICA

Acc. (a)	g
y _{g1}	1,00
y _{g2}	1,00
y _{gk}	1,00

MACROFILTRA	R
Tan(φ) _{pk}	0,25
c _{pk}	0,25
c _{uk}	0,40
γ _s	1,00

RESISTENZA	R
capacità portante	1,80
scorrimento	1,00

Accelerazione massima su suolo rigido
Coefficiente di amplificazione sismica
Periodo di inizio tratto a velocità costante
Categoria di sottosuolo
Categoria topografica
Coefficiente di riduzione dell'accelerazione
Coefficiente di riduzione di tensione
Coefficiente di riduzione verticale

a _g	0,528 m/s ²
F ₀	2,507
T _g	0,366 s
z	0
z ₀	0
β ₀	0,330
R _h	0,085
R _v	0,017

2 DATI DI PROGETTO

angolo di attacco
condizione
P.D. terreno sopra il piano di posa.
P.D. terreno sotto il piano di posa.
P.D. terreno sopra il piano di posa.

q _{cd}	17,91 kPa
c _{cd}	0,25 kPa
γ _{sat,cd}	17,9 kN/m ³
γ _{sat,cd}	18,7 kN/m ³
γ _{sat,cd}	18,7 kN/m ³
α	0,00 °
ω	0,00 °
h _{scor}	0,52 m

Rosa
Lunghezza
Altezza
Larghezza
Lunghezza
Altezza
Altezza
Altezza

E	2,52 m
L	0,50 m
B*	2,25 m
L*	1,00 m
H	3,30 m
D	0,30 m
H _{tot}	3,11 m

Carico verticale
Carico orizzontale
Momento di flessione
Momento di flessione

V _d	4552 kN
H _d	0,00 kN
M _{bd}	672,75 kNm
M _{td}	872,7 kNm

Talpa

N _s	455,6 kN
----------------	----------

3 FATTORI DI CAPACITA' PORTANTE

N _y	4,02	Secondo Vesic (1971)
N _c	13,03	Secondo Vesic (1971)
N _q	9,21	Secondo Prandtl (1921)

4 COEFFICIENTI CORRETTIVI

Coefficiente di forma	
S _y	1,000
S _c	1,000
S _h	1,000

Coefficiente di profondità	
d _y	1,000
d _c	1,000
d _h	1,000

Coefficiente di inclinazione del carico	
i _y	0,800
i _c	0,597
i _h	0,968

Coefficiente di inclinazione del piano di posa della fondazione	
b _y	1,000
b _c	1,000
b _h	1,000

Coefficiente di inclinazione del piano di posa della fondazione	
g _y	1,000
g _c	1,000
g _h	1,000

Coefficiente di tempo di rottura del polsamento	
w _y	1,000
w _c	1,000
w _h	1,000

Coefficiente di resistenza di Fellenz (1971)	
z _y	0,934
z _c	0,989
z _h	0,921

5 REGOLA DI MEYERHOF

e_b	0,15 m
B^*	2,20 m

e_L	0,19 m
L^*	19,61 m

6 CARICO LIMITE

q_{lim}	297,6	[kN/m ²]
-----------	-------	----------------------

Q_{lim}	12858,5	[kN]
-----------	---------	------

7 VERIFICA CAPACITA' PORTANTE

E_d	4532,0	[kN]
R_d	7143,6	[kN]
e_d	104,9	[kPa]
r_d	165,3	[kPa]

$E_d \leq R_d$	verificato
	1,58

8 VERIFICA A SCORRIMENTO

E_d	604,8	[kN]
R_d	1556,7	[kN]

$E_d \leq R_d$	verificato
	2,57

9 VERIFICA A PUNZONAMENTO

$\delta_{1,1}$ 15,00° $\delta_{1,4}$ 15,03°

Tensione normale media

$\sigma'_{v,media}$	11,44 kPa
---------------------	-----------

Modulo di Young del terreno

E	140250 kPa
---	------------

Indice di rigidezza

I_r 2025,5

Indice di rigidezza

$I_{r,crit}$ 43,5

TIPO ROTTURA: GENERALE $I_r > I_{r,crit}$

1 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

1.1 Calcestruzzo

Peso specifico del calcestruzzo
 Peso specifico del magrone
 Altezza del sottofondo in magrone

γ_{cs}	25,00 kN/m ³
$\gamma_{ch, mag}$	23,00 kN/m ³
H_{mag}	6,10 m

2 PARAMETRI SISMICI SLV

TROVA I PARAMETRI SISMICI (es: $F_0; T_c^*$)

Accelerazione massima su suolo rigido
 Coefficiente di amplificazione spettrale
 Periodo di inizio tratto a velocità costante
 Categoria di sottosuolo
 Categoria topografica

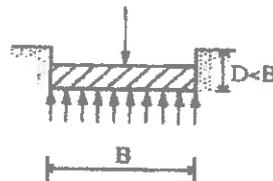
a_g	0,598 m/s ²
F_0	2,507
T_c^*	0,269 s
	C
	T1

Accelerazione di gravità
 Accelerazione orizzontale riferita al suolo rigido adimensionale
 Coefficiente di amplificazione topografica
 Coefficiente di amplificazione stratigrafica
 Prodotto $S_s^* S_T$
 Accelerazione orizzontale riferita al sito adimensionale
 Coefficiente funzione della categoria di sottosuolo
 Periodo del tratto ad accelerazione costante
 Periodo del tratto a velocità costante
 Periodo del tratto a spostamento costante
 Coefficiente di smorzamento viscoso
 Coefficiente di correzione per smorzamento viscoso diverso dal 5%
 Coefficiente sismico orizzontale
 Coefficiente sismico verticale
 Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

g	9,809 m/s ²
a_h/g	0,461
S_T	1,000
S_s	1,500
S	1,300
$a_s(max)/g$	0,692
C_s	1,619
T_B	0,145 s
T_C	0,436 s
T_D	1,824 s
ξ	5%
η	1
K_h	0,035
K_v	±0,017
β_{sl}	0,36

2.DATI FONDAZIONE

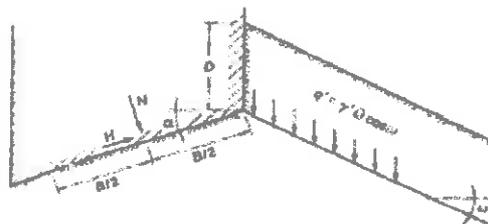
2.1 Geometria fondazione



Lato corto
 Lato lungo
 Altezza del fondazione
 Affondamento della zattera, misurato rispetto al piano di posa

B	7,50 m
L	20,00 m
H	3,00 m
D	0,30 m

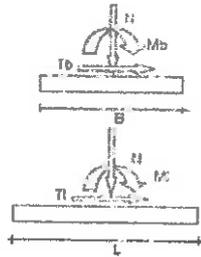
2.2 Geometria terreno e piano di posa



Inclinazione piano posa
 Inclinazione piano campagna

α	0,00°
ω	0,06°

2.3 Selezioni



- Forza normale alla base
- Forza parallela al lato lungo
- Forza parallela al lato corto
- Momento che ruota attorno al lato corto
- Momento che ruota attorno al lato lungo

Forza risultante combinata $T = \sqrt{H_x^2 + H_y^2}$

CARICHI STATICI			
	G ₁	G ₂	G ₃
W	2500,0 kN	500,0 kN	500,0 kN
H1			200,0 kN
Hb			400,0 kN
Mb			200,0 kNm
Ml			2000,0 kNm
H	0,0 kN	1,0 kN	1,7 kN

- Eccentricità del carico nella direzione b
- Eccentricità del carico nella direzione l

e _b	0%	0,00 m	[m]
e _l	0%	0,00 m	[m]

3 GEOTECNICA

3.1 Felside

- Attività Felside
- Quota della falda dal piano campagna
- Peso specifico acqua

Hfalda	0,10 m
γ _w	10,0 kN/m ³

3.2 Parametri geotecnici

Argilla sabbiosa

- Densità relativa
- Modulo elastico
- Modulo elastomerico
- Coefficiente di Poisson
- Costante di Winkler
- Angolo di attrito
- Coesione
- Resistenza a taglio non drenata
- Peso specifico del terreno sopra la zattera di lavoro di colla
- Peso specifico del terreno sotto il piano di posa

U _r	-
E	130250 kPa
E ₀	120215 kPa
ν	0,25
K _w	22 N/cm ²
φ'	22,00 °
c'	20,00 kPa
c _u	50,00 kPa
γ _{sat}	17,00 kN/m ³
γ _{corp}	16,70 kN/m ³

6 SELEZIONE DELLA COMBINAZIONE

Approccio di combinazione adottato:

APPROCCIO 2 — Combinazione (A1+M1+R5)

Condizione di verifica:

STATICA

AZIENDA	A	
γ _{G1}	1,30	1,90
γ _{G2}	1,70	1,90
γ _{G3}	1,50	1,00

GEOTECNICA	M
Tan(φ')	1,00
c _a	1,00
c _{int}	1,00
γ _s	1,00

REINTEGRAZIONE	R
capacità portante	2,00
scorrimento	1,10

5 REGOLA DI MEYERHOF

e _L	0,42 m
B*	1,66 m

e _L	0,48 m
L*	19,04 m

6 CARICO LIMITE

q _{lim}	469,0	[kN/m ²]
------------------	-------	----------------------

Q _{lim}	14820,6	[kN]
------------------	---------	------

7 VERIFICA CAPACITA' PORTANTE

E _d	4982,0	[kN]
R _d	6443,7	[kN]
e _s	157,9	[kPa]
r _d	204,3	[kPa]

$E_d \leq R_d$	verificato
	1,29

8 VERIFICA A SCORRIMENTO

E _d	670,8	[kN]
R _e	1627,6	[kN]

$E_d \leq R_d$	verificato
	2,43

9 VERIFICA A PUNZONAMENTO

δ _L	δ _d
15,00°	15,00°

Tensione normale media

σ ['] _{v,medio}	9,54 kPa
-----------------------------------	----------

Modulo di Young del terreno

E	140250 kPa
---	------------

Indice di rigidezza

I _r	1657,0
----------------	--------

Indice di rigidezza

I _{r,crit}	62,9
---------------------	------

TIPO ROTTURA: GENERALE I_r > I_{r,crit}

I calcoli eseguiti nei due casi, applicando la formula della capacità portante di **BRINCH-HANSEN** (1970) valida per terreni sciolti, in condizioni sismiche e statiche, con le componenti orizzontali considerate, hanno dato i seguenti risultati:

Condizioni Sismiche (APPROCCIO 1 - Combinazione (A2+M2+R2))

Azioni di progetto

componente verticale $G_{k1} = 3.500,00 \text{ kN}$ $G_{k2} = 500,00 \text{ kN}$ $Q_k = 400,00 \text{ kN}$

componente orizzontale $H_I = 200,00 \text{ kN}$

componente orizzontale $H_b = 400,00 \text{ kN}$

momento $M_b = 200,00 \text{ kN}$

momento $M_I = 400,00 \text{ kN}$

Verifica allo scorrimento

Coeff. di sicurezza allo scorrimento $E_d \leq R_d = 2,57$ **VERIFICATO**

Carico limite e verifica

Carico limite $q_{lim} = 297,6 \text{ kN/mq}$

Carico limite complessivo $Q_{lim} = 12.858,5 \text{ kN}$

Coeff. di sicurezza al carico limite $E_d \leq R_d = 1,58$ **VERIFICATO**

Condizioni Statiche (APPROCCIO 2 - Combinazione (A1+M1+R3))

Azioni di progetto

componente verticale $G_{k1} = 3.500,00 \text{ kN}$ $G_{k2} = 500,00 \text{ kN}$ $Q_k = 400,00 \text{ kN}$

componente orizzontale $H_I = 200,00 \text{ kN}$

componente orizzontale $H_b = 400,00 \text{ kN}$

momento $M_b = 200,00 \text{ kN}$

momento $M_I = 400,00 \text{ kN}$

Verifica allo scorrimento

Coeff. di sicurezza allo scorrimento $E_d \leq R_d = 2,43$ **VERIFICATO**

Carico limite e verifica

Carico limite $q_{lim} = 469,9 \text{ kN/mq}$

Carico limite complessivo $Q_{lim} = 14.820,6 \text{ kN}$

Coeff. di sicurezza al carico limite $E_d \leq R_d = 1,29$ **VERIFICATO**

Sia la verifica allo scorrimento che la verifica al carico limite in ambe due i casi risultano soddisfatte come si evince dai dati sopra riportati.

2.0 Calcolo delle caratteristiche dell'onda attesa

Il seguente approfondimento è stato redatto per verificare l'influenza che le onde del mare possono avere sulla nuova banchina da realizzare poggiata nel litotipo argilloso. A tale scopo è stata eseguita una ricerca bibliografica sui dati meteo - marini relativi all'area in studio, per acquisire le caratteristiche delle onde attese durante tutto il periodo dell'anno. Di seguito si riportano i dati del regime anemologico e quelli relativi alle caratteristiche delle onde attese.

Regime Anemologico

Al fine di caratterizzare compiutamente l'area in esame, i dati sul lungo periodo, relativi alle stazioni di Siracusa ed Augusta, sono stati integrati con i più recenti dati, resi disponibili dalla stazione CIPA di Priolo C.D.R. (staz. della rete CIPA), relativi al 2007.

Nelle tabelle sottostanti, che fanno riferimento al codice internazionale dei venti (scala Beaufort), vengono riportate le tipiche frequenze dei venti, convenzionalmente raggruppate in sei classi di velocità (nodi) e in dodici classi di direzione del vento a cui se ne aggiunge una per i venti variabili (calma di vento: velocità del vento inferiore ad 1 m/s).

In generale, nella zona in esame la velocità del vento presenta variazioni diurne con un valore massimo verso mezzogiorno ed un valore minimo di notte e di mattino.

Per effetto del diverso riscaldamento del mare e della terraferma si determina la brezza di terra e di mare: la prima durante la notte e la seconda durante il giorno.

La brezza di mare si alza verso le ultime ore della mattina e cessa al tramonto del sole; la brezza di terra comincia a soffiare un pò prima della mezzanotte ed è seguita da calma verso il levar del sole.

Distribuzioni delle frequenze annuali delle direzioni del vento in funzione delle classi di velocità (valori espressi in millesimi) rilevate presso la Stazione di Augusta

Settori		Classi di Velocità (nodi)						
N°	Gradi	0-1	2-4	5-7	8-12	13-23	24-99	Totale
1	0,0-22,5		9,02	11,53	15,88	6,11	0,26	42,80
2	22,5-45,0		9,11	16,06	19,88	9,50	0,23	54,78
3	45,0-67,5		11,50	12,45	16,28	6,05	0,40	46,68
4	67,5-90,0		8,55	8,22	10,44	1,99	0,19	29,39
5	90,0-112,5		7,25	9,65	9,23	1,99	0,09	28,21
6	112,5-135,0		16,90	21,14	27,79	5,88	0,19	71,69
7	135,0-157,5		13,33	13,78	20,93	7,82	0,39	56,25
8	157,5-180,0		10,88	8,35	12,09	6,24	0,70	38,25
9	180,0-202,5		7,06	5,29	6,70	4,62	0,92	24,06
10	202,5-225,0		4,30	4,17	5,52	1,55	0,29	15,84
11	225,0-247,5		9,02	12,15	15,38	5,04	0,25	41,84
12	247,5-270,0		17,09	17,55	21,24	7,93	0,12	63,94
13	270,0-292,5		22,35	22,75	18,64	7,05	0,34	71,12
14	292,5-315,0		17,60	21,79	15,81	5,00	0,16	60,35
15	315,0-337,5		21,69	18,51	15,60	3,51	0,33	59,64
16	337,5-360,0		11,64	11,13	13,45	3,97	0,23	40,43
Variabili (0-1nodo)		253,69						
Totale		253,69	197,39	214,65	245,07	84,05	5,15	1000

Dai dati sopra riportati si può osservare che le situazioni di calma di vento non costituiscono una percentuale elevata per la stazione di Augusta (25,36%) e che, generalmente, i venti hanno una velocità compresa tra i 1 e 6 m/s (considerando che 1 nodo è pari a circa 0,514 m/s).

Distribuzioni delle frequenze annuali delle direzioni del vento in funzione delle classi di velocità (valori espressi in millesimi) rilevate presso la Stazione di Siracusa.

Settori		Classi di velocità (nodi)						
N°	Gradi	0-1	2-4	5-7	8-12	13-23	24-99	Totale
1	0,0-22,5		19,18	20,48	26,94	9,66	0,19	76,46
2	22,5-45,0		17,21	19,46	22,18	8,61	0,10	67,57
3	45,0-67,5		13,88	15,76	15,41	4,66	0,06	49,78
4	67,5-90,0		10,84	12,92	8,60	2,16	0,10	34,62
5	90,0-112,5		7,70	8,62	7,60	2,01	0,12	26,05
6	112,5-135,0		9,04	11,25	9,82	5,26	0,36	35,72
7	135,0-157,5		10,49	13,18	18,36	10,20	0,75	52,98
8	157,5-180,0		15,41	13,40	22,59	16,76	0,65	68,81
9	180,0-202,5		12,37	10,00	17,49	12,75	0,45	53,06
10	202,5-225,0		10,28	8,06	9,74	4,16	0,21	32,46
11	225,0-247,5		12,18	10,68	9,29	3,28	0,03	35,46
12	247,5-270,0		18,22	13,07	9,05	4,52	0,06	44,92
13	270,0-292,5		19,75	13,52	9,02	4,74	0,06	47,10
14	292,5-315,0		16,03	13,03	8,53	4,10	0,10	41,78
15	315,0-337,5		16,84	12,51	14,09	5,64	0,11	49,19
16	337,5-360,0		20,26	19,80	27,88	9,23	0,30	77,47
	Variabili (0-1 nodi)	206,5						
	Totale	206,5	229,6	215,74	236,58	107,76	3,66	1000

Anche nel caso della stazione di Siracusa la percentuale delle calme di vento risulta poco consistente (20,6 %) e la velocità prevalente è compresa tra 1 e 6 m/s.

Distribuzioni delle frequenze annuali delle direzioni del vento in funzione delle classi di velocità (valori espressi in millesimi) rilevate presso la Stazione della rete CIPA (Priolo C.D.R.)

Settori		Classi di Velocità (nodi)						
N°	Gradi	0-1	2-4	5-7	8-12	13-23	24-99	Totale
1	0,0-22,5		41,65	25,59	15,42	3,83	0,00	86,49
2	22,5-45,0		14,54	8,15	3,67	1,40	0,00	27,77
3	45,0-67,5		33,04	31,57	11,53	2,74	0,00	78,88
4	67,5-90,0		11,23	9,15	2,85	0,45	0,00	23,69
5	90,0-112,5		9,29	13,50	4,82	0,00	0,00	27,61
6	112,5-135,0		46,72	34,79	6,23	0,11	0,00	87,85
7	135,0-157,5		7,50	9,74	6,77	0,25	0,00	24,25
8	157,5-180,0		16,46	7,11	2,79	0,25	0,00	26,61
9	180,0-202,5		6,84	2,38	0,84	0,23	0,00	10,28
10	202,5-225,0		4,26	1,79	0,61	0,07	0,00	6,73
11	225,0-247,5		15,74	4,94	2,40	0,23	0,00	23,30
12	247,5-270,0		28,76	18,71	12,91	2,06	0,05	62,48
13	270,0-292,5		51,07	30,80	20,72	4,12	0,05	106,76
14	292,5-315,0		57,57	11,78	8,15	2,08	0,00	79,58
15	315,0-337,5		14,63	2,60	1,27	0,32	0,00	18,82
16	337,5-360,0		8,29	1,61	1,04	0,23	0,00	11,16
	Variabili (0-1 nodi)	297,74						
	Totale	297,74	367,5	214,20	102,02	18,37	0,09	1000

Per la stazione di Priolo, le situazioni di calma di vento fanno registrare un 29%. La velocità prevalente, in analogia ai dati delle stazioni precedenti si mantiene compresa tra 1 e 6 m/s.

Nella tabella successiva si riportano per le stazioni di Augusta e Siracusa i settori cui compete la massima frequenza stagionale.

Massime frequenze stagionali delle direzioni del vento (valori espressi in millesimi)

Trimestre	Augusta		Siracusa		Priolo	
	Max Frequenza	Settore (gradi)	Max Frequenza	Settore (gradi)	Max Frequenza	Settore (gradi)
dic-gen-feb.	100,89	247,5-292,5	78,38	247,5-292,5	167,91	270,0-292,5
mar-apr-mag	104,31	112,5-135,0	99,07	337,5-22,5	128,81	292,5-315,0
giu-lug-ago	78,15	247,5-292,5	68,80	337,5-22,5	173,10	112,5-135,0
set-ott-nov	81,63	112,5-135,0	91,35	337,5-45,0	147,90	247,5-270

Nella carta topografica sotto riportata viene rappresentato, con una linea di colore blu, il settore di interesse che evidenzia la porzione di specchio acqueo soggetta ai moti ondosi che possono interferire con l'area in studio.



Figura 4: Moti ondosi che possono interferire con l'area in studio.

Da tale grafico si evince facilmente che il settore di interesse varia da circa -57° a 123° rispetto alla direzione del nord, per complessivi 180° .

Osservando le frequenze massime riportate nella tabella precedente si evince che l'area in studio risulta interessata da venti spiranti dai settori orientali ($112,5 - 135,0$) soprattutto nel periodo che va da mar-apr-mag e da set-ott-nov.

Di seguito si riportano anche i dati relativi alla persistenza della direzione dei venti nelle tre stazioni prese in considerazione.

Massima persistenza delle direzioni del vento nella Stazione di Augusta: Frequenze Cumulate Stagionali

Settore	Dic.-Gen.-Feb.		Mar.-Apr.-Mag.		Giu.-Lug.-Ago.		Set.-Ott.-Nov.	
	Max persistenza		Max persistenza		Max persistenza		Max persistenza	
	ore	nodi	Ore	nodi	ore	nodi	ore	nodi
N	18	19,67	18	12,08	12	10,38	15	13,20
NE	18	15,02	18	11,14	12	10,92	18	16,00
E	15	7,00	18	11,71	9	8,08	10	9,17
SE	18	12,00	18	10,17	12	8,81	18	10,83
S	18	14,58	12	10,92	15	5,00	12	11,75
SW	18	9,67	18	9,50	15	9,20	18	9,75
W	18	10,13	15	11,67	15	10,60	18	9,43
NW	18	6,50	15	23,60	9	7,25	12	9,33

Massima persistenza delle direzioni del vento nella Stazione di Siracusa: Frequenze Cumulate Stagionali

Settore	dic-gen-feb		Mar-apr-mag		giu-lug-ago		set-ott-nov	
	Max persistenza		Max persistenza		Max persistenza		Max persistenza	
	Ore	Nodi	ore	nodi	ore	nodi	ore	nodi
N	4,5	14,60	39	9,46	33	11,73	33	10,09
NE	66	14,05	42	7,86	21	5,43	33	11,18
E	30	12,45	39	15,62	18	8,50	24	14,75
SE	21	8,57	27	12,78	10	6,00	30	12,10
S	36	10,75	30	9,90	24	6,50	30	7,80
SW	39	8,31	42	5,43	12	12,25	18	11,00
W	27	9,94	27	9,33	21	9,00	18	14,17
NW	24	9,13	15	10,83	24	9,63	18	6,50

**Massima persistenza delle direzione del vento nella Stazione di Priolo C.D.R.:
Frequenze Cumulate Stagionali**

Settore	dic-gen-feb		Mar-apr-mag		giu-lug-ago		set-ott-nov	
	Max persistenza		Max persistenza		Max persistenza		Max persistenza	
	Ore	Nodi	ore	nodi	ore	nodi	ore	nodi
N	7	1,35	8	2,67	7	1	5	2,43
NE	23	2,73	29	3,12	11	1,3	18	2,12
E	5	1,66	3	0,79	6	1,77	5	1,83
SE	29	2,65	10	1,8	11	2,05	12	0,9
S	9	1,11	9	1,57	5	1,31	13	1,39
SW	8	0,75	7	1,71	5	0,21	6	0,48
W	28	2,57	33	2,14	8	0,08	18	1,9
NW	13	1,78	13	2,4	9	0,57	10	1,18

Per effettuare la verifica della stazione di monitoraggio agli effetti della spinta dovuta al moto ondoso, si fa riferimento ad uno studio di dati statistici effettuato dall'Istituto di Microbiologia dell'Università di Catania che riporta dati elaborati dalle osservazioni di oltre un decennio effettuate dalla stazione Meteorologica dell'Aeronautica Militare, dati relativi alla zona antistante la rada di Augusta.

Si riporta nella tabella seguente la **scala Douglas** che mette in relazione lo stato del mare con l'altezza delle onde in metri:

Stato del mare (forza)	Descrizione	Altezza significativa Ho (m)
1	Calmò a quasi calmo	0 - 0,1
2	Poco mosso	0,1 - 0,5
3	Mosso	0,5 - 1,25
4	Molto mosso	1,25 - 2,5
5	Agitato	2,5 - 4
6	Molto agitato	4 - 6
7	Grosso	6 - 9
8	Molto Grosso	9-14
9	Tempestoso	Oltre 14

La tabella sotto riportata illustra le distribuzioni annuali dello stato del mare, in cui si vede come la situazione più frequente sia di mare forza 2 (altezza significativa dell'onda $H_o = 10 - 50$ cm) con una frequenza superiore a 555/1000 dei casi. Con frequenza del 20% è osservabile la situazione di mare calmo e con la stessa frequenza per condizioni di mare mosso ($H_o = 0.50 - 1.25$ m). Condizioni maggiormente gravose si trovano a probabilità molto inferiori.

Nella tabella è riportata la distribuzione in frequenza nei dodici mesi dello stato del mare osservato nella rada di Augusta.

Mese	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tot
Gennaio	91	522	285	77	26	0	0	0	0	1.000
Febbraio	192	450	293	66	0	0	0	0	0	1.000
Marzo	24	544	275	57	0	0	0	0	0	1.000
Aprile	164	601	213	22	0	0	0	0	0	1.000
Maggio	195	642	140	23	0	0	0	0	0	1.000
Giugno	253	668	79	0	0	0	0	0	0	1.000
Luglio	242	581	172	5	0	0	0	0	0	1.000
Agosto	297	500	96	16	0	0	0	0	0	1.000
Settembre	261	584	143	13	0	0	0	0	0	1.000
Ottobre	156	570	230	33	12	0	0	0	0	1.000
Novembre	187	536	225	48	5	0	0	0	0	1.000
Dicembre	58	494	319	105	23	4	0	0	0	1.000

Dall'osservazione di questa tabella si può concludere che mediamente, per circa 3/4 del tempo nella zona in oggetto sono presenti da stati di calma a stati con ondazione con altezze significative pari a 50 cm. I periodi più gravosi sono quelli dei mesi di gennaio e dicembre in cui con probabilità di circa 26 per 1000 si possono avere altezze significative di 2,5 - 4,0 m (forza 5) e a dicembre con probabilità del 4 per 1000 con altezze di 4,0 - 6,0 m (forza 6). Ad ogni modo si precisa che relativamente allo stato del mare pari a forza 6, tale condizione non risulta interessare l'area in esame visto che nel mese di dicembre la direzione dei venti è dominante nel settore ovest, che non influenza la zona in oggetto.

Chiaramente tale aspetto di probabili onde con altezza da 2,5 a 4,0 m (forza 5) interessa le zone dove il fondale permette tali altezze; infatti nelle zone in cui il fondale si riduce di profondità, non si avranno queste altezze in quanto tali onde subiscono la forza di attrito dovuta al fondale stesso che tende a ridurle notevolmente.

Bisogna considerare inoltre che l'area in studio è all'interno della rada di Augusta e quindi protetta dalle barriere naturali e artificiali del porto.

Oltre alla protezione dovuta alle barriere del porto, come facilmente si evince dalla carta topografica, lo specchio acque prospiciente la nuova banchina da realizzare, presenta una lunghezza non superiore ai 1500 metri, condizione che non permette il formarsi di onde di particolare entità. Infatti, il ridotto spazio dalla costa opposta all'isolotto dei Forti Garcia e Vittoria, non permette alle onde di ingrossarsi anche con venti molto persistenti.

Nella carta nautica sotto riportata si evince che i fondali in prossimità dell'area interessata dall'opera in oggetto si riducono in maniera importante. Infatti, si può vedere che partendo dalla costa opposta all'isola dei forti Garcia e Vittoria dove sarà ubicata la banchina, per circa 458 metri il fondale va da 0 a -10 m s.l.m., nel tratto centrale per circa 730 metri il fondale varia da -10 a -15 m s.l.m. e infine nella parte terminale di circa 120 m, in prossimità della futura banchina, il fondale varia da -10 a meno di -2 metri s.l.m..

Infatti, avvicinandosi all'isola il fondale si riduce notevolmente, determinando una protezione naturale che riduce in maniera importante le onde massime attese.

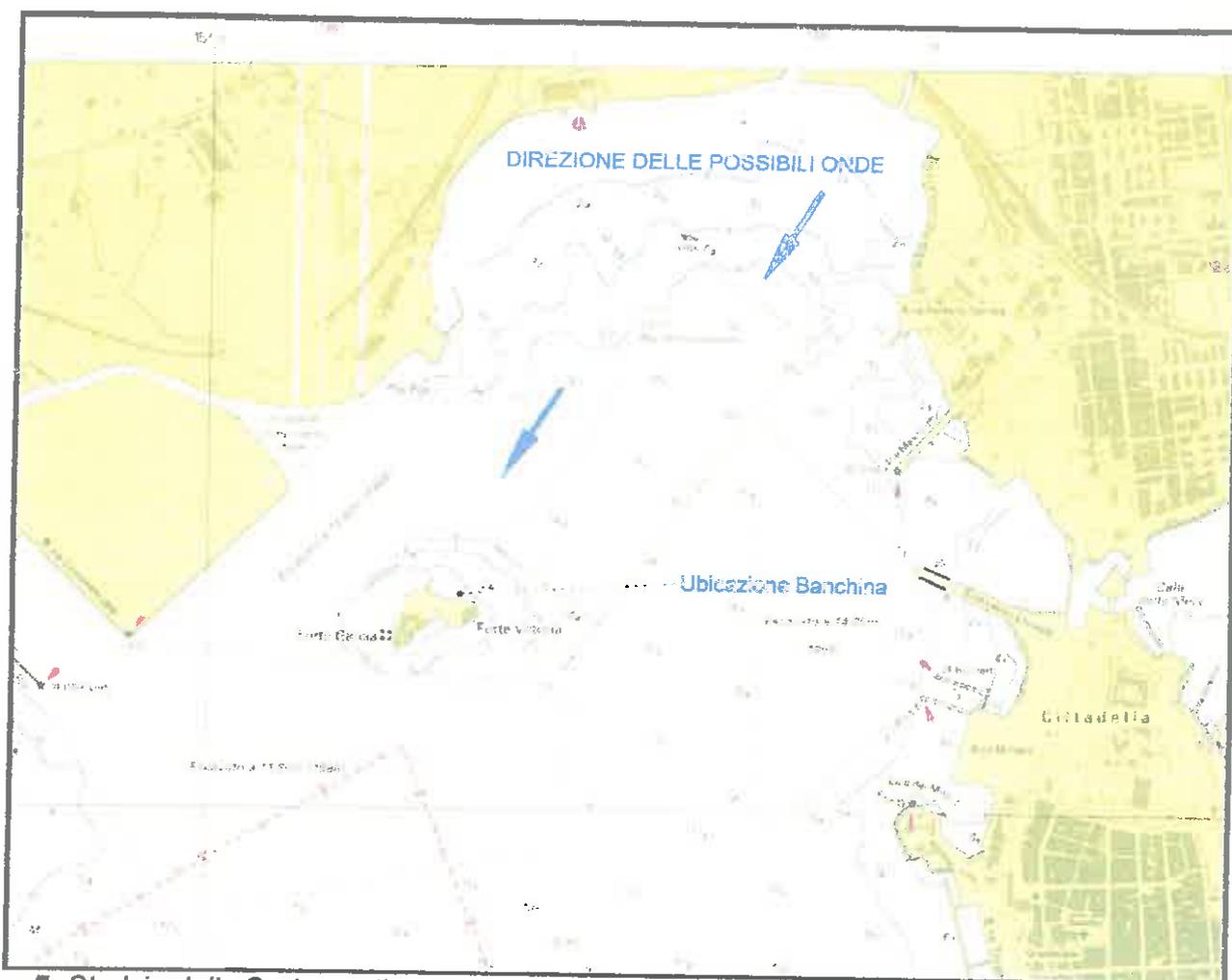


Figura 5: Stralcio della Carta nautica di Augusta.

In conclusione per quanto sopra esposto per le verifiche che riguarderanno i seguenti paragrafi è stata considerata un'onda massima attesa di **1,2 metri**, condizione senza alcun dubbio cautelativa sia per il ridotto specchio acqueo che per i valori batimetrici dell'area in studio che risultano poco significativi, area tra l'altro ubicata all'interno delle protezioni della rada di Augusta.

2.1 Valutazione della forza agente

Per la valutazione della forza derivante dal moto ondoso, agente sulla nuova banchina, senza tener conto, cautelativamente delle circostanze di attenuazione dell'energia, è stata applicata la Teoria di Sainflou che permette di ricavare la risultante delle forze agenti sulla banchina dovute all'onda massima attesa di progetto. Tale condizione permetterà di verificare se i moduli delle componenti orizzontali (H_I e H_b) imputati per il calcolo della capacità portante della banchina, risultano congrui e correttamente dimensionati.

componente orizzontale $H_I = 200,00 \text{ kN}$

componente orizzontale $H_b = 400,00 \text{ kN}$

momento $M_b = 200,00 \text{ kN}$

momento $M_I = 400,00 \text{ kN}$

La Teoria di Sainflou permette di calcolare le forze risultanti agenti nella banchina sia in fase di cresta che in fase di cavo. Di seguito si riportano gli elaborati di calcolo.

TEORIA DI SAINFLOU

FASE DI CRESTA

DATI:					
Altezza d'onda	H	m		1,20	
Tempo di ritorno	T_r	anni		100	
Altezza d'onda significativa	$H_{1/3}$	m		0,40	
Periodo	T	s		4,69	
Altezza per verifica preliminare di non frangimento in fase di cresta	$H_{1/20}$	m		0,56	
Peso specifico dell'acqua marina	ρ	t/mc		1,02	
Profondità della scogliera di protezione	d	m		2,40	
Massima quota del muro paraonde	hc	m		2,40	
Tirante d'acqua	h'	m		2,40	
Accelerazione di gravità	g	m/sec ²		9,80	
Pi greco	π			3,14	
Altezza dell'onda incidente	H	m		0,56	
Larghezza della scogliera	b	m		2,50	
$L_0 =$	$gt^2/2\pi$	m	34,33	Lunghezza d'onda	
$K_d =$	$2\pi d/L$		0,44		
$s =$	$(\pi H^2/L) \cdot \tanh(2\pi d/L)$	m	0,07	Sopraelevazione del livello medio per effetto della riflessione	
$h^* =$	$H + s$	m	0,63		
$P_1 =$	$g^*(H/\cosh K_d) \cdot (h^*/(d+h^*))$	t/mq	0,62	Pressione max l.m.m.	
$P_2 =$	$P_1 \cdot ((h^*-hc)/h^*)$	t/mq	0,00	Pressione quota muro paraonde	
$P_3 =$	$(g^*((H/\cosh K_d) \cdot (h^*/d))) - (P_1 \cdot ((h^*/d) - 1))$	t/mq	0,52	Variazione di pressione sul fondo dovuta alla riflessione	
$P_4 =$	P_3	t/mq	0,52		
$R_1 =$	$((P_1 \cdot h^*)/2)$	t/m	0,19	Risultante diagramma triangolare superiore	

Relazione Geotecnica

R2 =	$((P1+P3)/2)*d$	R3 =	t/m	1,36	Resultante diagramma trapezio inferiore
R =	$((((h^3+H^3+s^3)*(g*h^3)+P3)/2)-(g*h^2)/2)$	R =	t/m	1,56	Resultante per condizione di massimo affioramento
yg1 =	$h^2/3$	yg1 =	m	0,21	Punto di applicazione di R1 rispetto alla base del triangolo
yg2 =	$d/3*((2*P1+P3)/(P1+P3))$	yg2 =	m	1,23	Punto di applicazione di R2 rispetto alla base del trapezio
d1 =	$yg1+d$	d1 =	m	2,61	Punto di applicazione di R1 rispetto alla base del diagramma
d2 =	$yg2$	d2 =	m	1,23	Punto di applicazione di R2 rispetto alla base del diagramma
yR =	$((R1*d1)+(R2*d2))/R$	yR =	m	1,41	Punto di applicazione di R rispetto alla base del diagramma

FASE DI CAVO

DATI:

Tempo di ritorno	Tr	anni	10
Altezza d'onda significativa	H1/3	m	0,40
Periodo	t	s	4,69
Altezza per verifica preliminare di non frangimento in fase di cresta	H1/100	m	0,67
Peso specifico dell'acqua marina	g	t/mc	1,02
Profondità della scogliera di protezione	d	m	2,40
Massima quota del muro paraonde	hc	m	2,40
Tirante d'acqua	h'	m	2,40
Accelerazione di gravità	g	m/sec ²	9,80
Pigreco	p	n	3,14
Altezza dell'onda incidente	H	m	0,67
Larghezza della scogliera	b	m	2,50

L0 = $g^2/2p$ m 34,33 Lunghezza d'onda

Kd = 2pd/L Relazione Geotecnica 0,44

$s =$	$(\rho H^2/L) \cdot \coth(2pd/L)$	$s =$	0,10	Sopraelevazione del livello medio per effetto della riflessione
$h' =$	$H - s$	$h' =$	0,57	
$P1 =$	$g \cdot h'$	$P1 =$	0,58	
$P3 =$	$(g \cdot ((H/\cosh Kd) \cdot (h' - h'')/(d - h'))) - (P1 \cdot ((h' - d)/(d - h') - 1))$	$P3 =$	1,20	Variazione di pressione sul fondo dovuta alla riflessione
$P4 =$	$P3$	$P4 =$	1,20	
$R1 =$	$((P1 \cdot h'')/2)$	$R1 =$	0,17	Risultante diagramma triangolare superiore
$R2 =$	$((P1 + P3)/2) \cdot (d - h')$	$R2 =$	1,63	Risultante diagramma trapezio inferiore
$R =$	$((g \cdot h'^2)/2) - ((h' - h'') \cdot (g \cdot h') - P3)/2$	$R =$	1,60	<u>Risultante per condizione di minimo affioramento</u>
$yg1 =$	$h'/3$	$yg1 =$	0,19	Punto di applicazione di R1 rispetto alla base del triangolo
$yg2 =$	$(d - h')/3 \cdot ((2 \cdot P1 + P3)/(P1 + P3))$	$yg2 =$	0,81	Punto di applicazione di R2 rispetto alla base del trapezio
$d1 =$	$yg1 + (d - h')$	$d1 =$	2,02	Punto di applicazione di R1 rispetto alla base del diagramma
$d2 =$	$yg2$	$d2 =$	0,81	Punto di applicazione di R2 rispetto alla base del diagramma
$yR =$	$((R1 \cdot d1) + (R2 \cdot d2))/R$	$yR =$	0,92	<u>Punto di applicazione di R rispetto alla base del diagramma</u>

Dagli elaborati di calcolo si sono ottenuti i seguenti risultati:

Fase di cresta

risultante per condizioni di massimo affioramento **1,56 t/m**

Fase di cavo

risultante per condizioni di minimo affioramento **1,80 t/m**

Tali valori prossimi a 1,8 t/m determinano una forza indotta dal moto ondoso massimo determinata da:

$$H_b = 20 \text{ m} * 1,8 \text{ t/m} = \text{circa } 36 \text{ t (353 kN)}$$

$$H_i = 2,5 \text{ m} * 1,8 \text{ t/m} = \text{circa } 4,5 \text{ t (44 kN)}$$

Relativamente al calcolo di verifica allo scorrimento e della capacità portante eseguito i valori considerati risultano:

componente orizzontale $H_b = 400,00 \text{ kN} > 353 \text{ kN}$

componente orizzontale $H_i = 200,00 \text{ kN} > 44 \text{ kN}$

I dati delle componenti orizzontali considerati nel calcolo risultano cautelativi e adeguati.

Per maggiore sicurezza è stata eseguita una ulteriore verifica relativa all'energia determinata dall'onda massima attesa.

L'energia complessivamente contenuta in un'onda si compone di un'energia potenziale, derivante dalla sopra elevazione della superficie liquida rispetto allo stato di quiete, e di un'energia cinetica, dovuta al fatto che le particelle fluide sono dotate di movimento.

L'energia potenziale deriva dallo spostamento di una massa (l'acqua) dalla posizione di equilibrio rispetto al campo gravitazionale. Quando l'acqua è in quiete, essa presenta il minimo di energia potenziale. Lo spostamento verso l'alto di un insieme di particelle, con il conseguente spostamento della superficie libera, provoca un aumento di energia potenziale.

Analogamente per quanto riguarda l'energia cinetica. Le particelle d'acqua di un'onda si muovono con una certa velocità e quindi con una certa energia cinetica.

L'energia potenziale associata ad un'onda sinusoidale si ricava determinando l'energia media per unità di superficie associata all'onda come differenza tra la presenza e l'assenza dell'onda. Si considera una media temporale per un intero periodo, e l'integrale spaziale lungo la verticale; la derivazione è complessa, tuttavia è importante conoscere il risultato relativo ad un'unità di area (1 metro lungo la x, ed 1 metro in direzione trasversale):

$$\overline{(EP)} = \frac{\rho g H^2}{16}$$

Dunque l'energia potenziale totale di un'onda per unità di area dipende solo dall'altezza dell'onda. Per quanto concerne l'energia cinetica, associata al movimento delle particelle si procede in maniera analoga e si ottiene:

$$\overline{(EC)} = \frac{1}{16} \rho g H^2$$

l'energia cinetica totale di un'onda per unità di area dipende solo dall'altezza dell'onda ed è inoltre uguale all'energia potenziale.

L'energia totale media E per unità di superficie di un'onda è data dalla somma dell'energia potenziale e dell'energia cinetica, dunque:

$$E = \overline{EP} + \overline{EC} = \frac{1}{8} \rho g H^2$$

Considerando che per le condizioni del fondale e per quanto sopra esposto, l'altezza massima dell'onda attesa non può superare 1,5 metri e che il peso specifico dell'acqua è circa $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$ l'energia totale media E sarà uguale a:

$$E = 2.825 \text{ kg/s}^2$$

Relativamente alla forza agente su un ostacolo questa sarà data dalla seguente formula:

$$F = k \cdot A \cdot \rho \cdot C^2 / 2g$$

dove

$k = 0,6$ coefficiente di reazione

$C =$ velocità delle onde

$A =$ area dell'ostacolo colpito dalle onde

Per ricavare la velocità delle onde applichiamo la seguente formula:

$$c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} \operatorname{tgh} 2\pi \frac{h}{\lambda}}$$

Ricordando che la lunghezza d'onda λ calcolata è uguale a circa 34,33 m, la velocità sarà di circa $C = 3,80 \text{ m/s}$.

Relativamente all'area della sezione dell'ostacolo si considera la superficie laterale della banchina 20 m x 3 m.

Considerando la superficie laterale della banchina la forza corrispondente che aggirà su tutta la banchina sarà:

$$F = 0,6 \cdot 20 \cdot 3 \cdot 1025 \cdot (3,80^2 / 2g) = 27.140 \text{ Kg (267 kN)}$$

e la forza agente sarà applicata poco al di sopra del l.m.m..

Anche tale elaborazione risulta inferiore a quanto valutato in progetto:

componente orizzontale $H_b = 400,00 \text{ kN} > 267 \text{ kN}$

Anche in questo caso i dati della componente orizzontale considerati nel calcolo risultano cautelativi e adeguati.

3.0 Considerazioni conclusive

In conclusione, dalle elaborazioni eseguite e da quanto esposto nei precedenti paragrafi, la realizzazione della nuova banchina dal punto di vista geotecnico, per le dimensioni e per il sistema costruttivo che sarà utilizzato risulta adeguatamente dimensionata per fronteggiare le massime onde attese che potrebbero interessare la banchina stessa.

Si precisa che l'area dell'intervento è situata all'interno della rada del porto di Augusta che gode di imponenti difese sia naturali, per la sua posizione strategica, sia artificiali, realizzate dall'uomo per rendere il porto ancora più sicuro. Anche la posizione in cui è prevista la realizzazione della nuova banchina risulta ottimale; infatti la stessa verrà realizzata a nord dell'isola su cui sono presenti i Forti Garcia e Vittoria. In tale zona di costa, lo specchio acqueo risulta particolarmente limitato, lunghezza inferiore ai 1500 metri, condizione che non permette alle onde, anche con venti di lunga persistenza, di ingrossarsi e infrangersi in maniera significativa sulla costa in cui insisterà la nuova opera da realizzare. Diversi studi eseguiti per la realizzazione del porto Commerciale di Augusta hanno evidenziato che la massima onda attesa nell'area di interesse è stimabile in circa 1,2 metri di altezza, con un tempo di ritorno di circa 100 anni. In fase di verifica della capacità portante della banchina, le elaborazioni eseguite, hanno tenuto conto delle componenti orizzontali aggiuntive collegate a possibili onde massime.

I calcoli infatti sono stati eseguiti considerando le seguenti forze orizzontali e momenti:

componente orizzontale $H_I = 200,00 \text{ kN}$
componente orizzontale $H_b = 400,00 \text{ kN}$
momento $M_b = 200,00 \text{ kN}$
momento $M_I = 400,00 \text{ kN}$

valori cautelativi se si considera che la risultante delle forze orizzontali calcolate, tenendo conto dell'onda massima attesa, sono inferiori 355 kN nella condizione più sfavorevole (componente orizzontale $H_b = 400,00 \text{ kN} > 353 \text{ kN}$).

Le elaborazioni inoltre dal punto di vista geotecnico sono state eseguite utilizzando in maniera cautelativa il litotipo argilloso giallastro superficiale, non tenendo conto dell'imponente strato di argille grigio - azzurre con caratteristiche fisico meccaniche superiori come si può facilmente rilevare dal paragrafo 1.1 *Caratteristiche geologiche dell'area in studio*.

In conclusione dai dati ottenuti dalle elaborazioni eseguite in Condizioni Sismiche (APPROCCIO 1 - Combinazione (A2+M2+R2)) e Condizioni Statiche (APPROCCIO 2 - Combinazione (A1+M1+R3)) i valori dei coefficienti di sicurezza calcolati e quelli relativi alla capacità portante risultano verificati e congrui in relazione all'opera prevista in progetto e alla sua ubicazione.

IL GEOLOGO

Dott. Domenico La Ferla

O.R.G. Sicilia N° 1492

