

Proponente



IONIO FUEL S.r.l.
Riviera di Chiaia, 276 - 80121 NAPOLI



DEPOSITO COSTIERO DI RIGASSIFICAZIONE PER IL GNL (Gas Naturale Liquefatto) nel Comune di Crotona area industriale CO.R.A.P. "Ionio Fuel - Crotona LNG"

Società di Ingegneria incaricata per la progettazione



LASTPROJECT

LAST PROJECT S.R.L.

Sede legale ed uffici:

80121 Napoli (NA) – Riviera di Chiaia n.°276
Tel +39 081 0607954 – Fax +39 081 19361324
P.IVA: 07557711210

DEPOSITO COSTIERO DI RIGASSIFICAZIONE DI GNL DA 20.000 MC NEL COMUNE DI CROTONE IN ZONA INDUSTRIALE CO.R.A.P. PROVINCIA DI CROTONE



SAIPEM

People, Skills, Equipment.

Saipem S.p.A.



Festa S.p.A.

MOLINO • FACCHINELLI • ZERBINI
SOCIETÀ PER AZIONI
CORPORATE FINANCE

Molino Facchinelli Zerbinì & Partners S.r.l.

ICARO

ICARO S.r.l.

Gruppo di lavoro Last Project S.r.l.

Consulenze specialistiche

Studio di Impatto Ambientale

Arch. Maddalena Proto

Opere Antincendio

Arch. Luigi Vartuli

Opere Strutturali

Ing. Alfredo Stompanato

Sicurezza Cantieri

Arch. Rosa Vartuli

Opere Civili

Arch. Maddalena Proto

Arch. Luigi Vartuli

Ingegneria Gestionale

Dott. Ing. Valentina Vartuli

Studio di fattibilità

Dott. Luca Lamagna

Geologia e Geotecnica

Geol. Alessandro Amato

Opere Idrauliche

Ing. Giovanni Bruno

Opere marittime

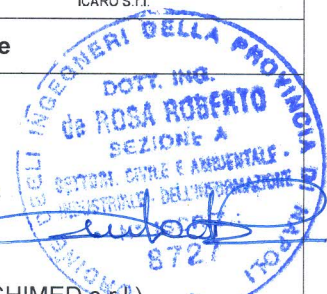
Ing. Roberto de Rosa (ARCHIMED S.r.l.)

Studio di Impatto acustico ed elettromagnetico

Ing. Carmine Iandolo

Rapporto preliminare di sicurezza

ICARO S.r.l.



STUDIO DI ORMEGGIO – CALCOLO BRICCOLE – SISTEMA DI ANCORAGGIO PIATTAFORMA

01- ELABORATI TECNICI E SPECIALISTICI

NOME FILE

P.01_ES_20_SSA_R00

Progetto Definitivo

FORMATO

CODICE ELAB

P 01 ES 20 SSA R00

REV. A

A4

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A		Febbraio 2020			

INDICE

1. PREMESSA	4
2. NAVI DI RIFERIMENTO	5
3. ACCESSO ALL'ORMEGGIO IN TERMINALE	6
3.1. PREMESSA.....	6
3.2. AREA DI ANCORAGGIO.....	6
3.3. SERVIZIO DI PILOTAGGIO	6
3.4. SERVIZIO DI RIMORCHIO	6
3.5. COMUNICAZIONI.....	6
3.6. LIMITI OPERATIVI METEOROLOGICI	6
3.7. MANOVRA DI PARTENZA E DI ARRIVO	7
3.8. MANOVRA DI ORMEGGIO	7
3.9. MANOVRA DI DISORMEGGIO.....	8
4. CARATTERISTICHE DELL'ORMEGGIO AL TERMINALE OFF-SHORE	8
4.1. PREMESSA.....	8
4.2. POSIZIONAMENTO IN TERMINALE E FONDALI DISPONIBILI.....	9
4.3. CALCOLO DEL PESCAGGIO MASSIMO DELLE NAVI ALL'ORMEGGIO IN TERMINALE	10
4.3.1. INTRODUZIONE	10
4.3.2. LIVELLO DEL MARE	11
4.3.3. FRANCO NETTO SOTTOCHIGLIA MINIMO.....	12
4.3.4. MASSIMI SPOSTAMENTI VERTICALI DELLE NAVI IN TERMINALE	12
4.3.5. CALCOLO DEL PESCAGGIO MASSIMO DELLE NAVI ALL'ORMEGGIO IN TERMINALE	12
4.4. ARREDI PER L'ORMEGGIO IN TERMINALE.....	13
4.4.1. PREMESSA.....	13
4.4.2. SISTEMA DI ORMEGGIO – SOLUZIONE N°1	14
4.4.3. ORMEGGI DELLE NAVI	16
4.5. EFFETTI DELL'ELICA SUL FONDALE.....	18
4.6. ANALISI DELL'OPERATIVITÀ MEDIA ANNUA DEL TERMINALE	19
4.6.1. PREMESSA.....	19
5. CARATTERISTICHE DEL TERMINALE OFF-SHORE.....	21
6. CARATTERISTICHE NAVI PER APPROVVIGIONAMENTO E DISTRIBUZIONE GNL	22
7. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	23
8. CARATTERIZZAZIONE METEOMARINA	24
8.1. I VENTI	24
8.2. IL MOTO ONDOSI	24
9. SISTEMA DI ANCORAGGIO PIATTAFORMA	26
9.1. SEQUENZA ESECUTIVA	27
9.2. MATERIALI	28
9.2.1. CALCESTRUZZO	28
9.2.2. ARMATURA.....	29
9.3. CONCLUSIONI	30

10. IL PROGETTO	30
10.1. NORMATIVE.....	30
10.2. DATI DI INPUT	31
10.2.1. PROFONDITÀ FONDALI.....	31
10.2.2. DATI GEOTECNICI.....	31
10.2.3. CARATTERISTICHE DIMENSIONALI PIATTAFORMA	31
10.2.4. ENERGIA DI ACCOSTO	31
10.2.5. REAZIONE SULLA STRUTTURA DI ACCOSTO.....	34
10.2.6. FORZE DI ORMEGGIO DOVUTE AL VENTO	35
10.2.7. TIRO BITTA	35
10.3. VERIFICA DELLE STRUTTURE	35
10.3.1. DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA STRUTTURALE E PROBLEMI DI CALCOLO	36
10.3.2. CARICHI AGENTI E COMBINAZIONI DI CARICO	36
10.3.3. VERIFICA DELLA RESISTENZA DEL TERRENO E ANALISI STRUTTURALE DEL PALO...	36
11. CONCLUSIONI	39

1. PREMESSA

L'intervento in oggetto ha come obiettivo quello di realizzare un Terminal per il LNG (**Liquefied Natural Gas**) nella zona industriale di Crotona. L'impianto è stato localizzato in un'area che intercetta il tracciato delle reti di trasporto del gas GPL (Gas Petrolio Liquefatto) esistenti a servizio dell'area vasta di Crotona.

L'obiettivo principale è quello di garantire agli utenti civili e industriali della Calabria la possibilità di utilizzare il gas metano come fonte energetica alternativa a quelle già presenti sul proprio territorio.

Il Terminal sarà caratterizzato da una struttura Off-Shore per la connessione e lo scarico del GNL dalle navi metaniere, un complesso di tubazioni criogeniche per il trasporto del fluido nella zona impianto, un sistema di stoccaggio, pompaggio, e rigassificazione del GNL.

Nel Terminale saranno installati 18 serbatoi criogenici, 9 gruppi di pompaggio, 40 vaporizzatori ad aria ambiente (AAV) ed una stazione per il filtraggio, la misura e l'odorizzazione del gas naturale propedeutica all'immissione nelle reti di trasporto. Attraverso le baie di carico per le autocisterne si potrà trasportare il GNL su gomma in tutta la Regione, o rifornire le navi, favorendo così l'attuazione delle direttive europee sull'utilizzo del GNL come combustibile per le imbarcazioni.

Il progetto proposto rientra nelle linee guida del Piano Energetico Ambientale della Regione Calabria.

La scelta progettuale adottata è inoltre in piena sinergia con le direttive europee e nazionali, sulla realizzazione di infrastrutture per i combustibili alternativi (Direttiva 2014/94/UE e D.Lgs.257/2016).

Con il Terminale di IONIO FUEL, l'area industriale ed il porto di Crotona potrebbe diventare, senza ulteriori infrastrutturazioni, un polo nel Mediterraneo per il rifornimento delle navi che utilizzano il GNL come carburante per il trasporto marittimo. Le infrastrutture sono infatti progettate per creare un efficiente "*Bunkering Point*" (ship to ship, truck to ship, o pipe to ship) e garantire quindi la disponibilità di un combustibile pulito alternativo.

Il Terminale è stato progettato per essere un importante punto di "*Entry*" nel sistema dei metanodotti della Calabria e svolgere a pieno le sue funzioni anche collegandosi alla rete di trasporto del gas già esistente a servizio dell'area vasta di Crotona.

La presente relazione contiene lo studio dell'ormeggio in piattaforma e si redige allo scopo di verificare, sulla base delle navi di riferimento, le seguenti condizioni progettuali relative a quanto segue:

- Accesso all'ormeggio in piattaforma
- Caratteristiche dell'ormeggio in piattaforma, con specifico riferimento a posizionamento in piattaforma, fondali disponibili, arredi di ormeggio e schema di ormeggio, studio degli ormeggi delle navi, effetti dell'elica sul fondale, analisi dell'operatività media annua del terminale.

La relazione, è stata svolta a seguito delle valutazioni e della richiesta di integrazione da parte della Ministero dell'Interno dipartimento dei Vigili del Fuoco del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile del Comando



Provinciale Vigili del Fuoco di Crotone con nota Form. Registro Ufficiale. 0000535.U.23-01-2020 in cui si è richiesto l'approfondimento del seguente punto 20 dal quale sono scaturiti valutazione sia sullo studio di ormeggio che sul calcolo delle briccole:

- Punto 20 “Per quanto in fase NOF, si richiede maggior dettaglio sulle modalità costruttive dell'unità logica terminal off-shore, con particolare riferimento sulle modalità di posa ed ancoraggio della struttura sul fondale marino”.

2. NAVI DI RIFERIMENTO

Nelle figure seguenti si mostrano le navi di riferimento per le quali sono stati effettuati i relativi calcoli:

Coral Methane



Capacità Nominale	7.400 m ³
L _{pp}	110,2 m
Dislocamento a Pieno Carico	10.842 t
T Pieno carico	7.1 m
T Zavorra	5.5 m
Area Laterale in Zavorra	1,484 m ²
Area Laterale in Pieno Carico	1,292 m ²
Area Frontale in Zavorra	411 m ²
Area Frontale in Pieno Carico	381 m ²
Numero di linee di Ormeggio	16
Capacità dei verricelli	31 t

JS Ineos Inspiration



Capacità Nominale	27.500 m ³
L _{pp}	170,8 m
Dislocamento a Pieno Carico	32.088 t
T Pieno carico	7.1 m
T Zavorra	8.7 m
Area Laterale in Zavorra	2.325 m ²
Area Laterale in Pieno Carico	2,036 m ²
Area Frontale in Zavorra	702 m ²
Area Frontale in Pieno Carico	660 m ²
Numero di linee di Ormeggio	14

Pioneer Knutsen



Capacità Nominale	1.000 m ³
L _{pp}	63,4 m
Dislocamento a Pieno Carico	1.938 t
T Pieno carico	3.6 m
T Zavorra	3.3 m
Area Laterale in Zavorra	2.700 m ²
Area Laterale in Pieno Carico	2,265 m ²
Area Frontale in Zavorra	626 m ²
Area Frontale in Pieno Carico	561 m ²
Numero di linee di Ormeggio	10

3. ACCESSO ALL'ORMEGGIO IN TERMINALE

3.1. PREMESSA

Il presente paragrafo illustra le condizioni di accesso al Terminale di progetto per le navi LNG (GNL) di riferimento.

3.2. AREA DI ANCORAGGIO

L'area di ancoraggio viene concordata con l'Autorità Marittima/Guardia Costiera, nel caso di attese dovute alle avverse condizioni meteo ed è predisposta al fine di ottimizzare il consumo di combustibile. Le condizioni di localizzazione del Terminale permettono una disponibilità piuttosto ampia delle aree di ancoraggio.

3.3. SERVIZIO DI PILOTAGGIO

Il servizio di pilotaggio sarà stabilito sulla base delle indicazioni impartite dalla locale Autorità Marittima e presumibilmente verrà effettuato sia in partenza che in arrivo.

Le operazioni potranno essere eseguite entro i limiti stabiliti dall'Autorità Portuale ed in base ad un'attenta valutazione delle previsioni meteo nel paragrafo in esame.

3.4. SERVIZIO DI RIMORCHIO

Il servizio di rimorchio sarà stabilito sulla base delle indicazioni impartite dalla locale Autorità Marittima e presumibilmente verrà effettuato sia in partenza che in arrivo.

Il numero idoneo di rimorchiatori di adeguata potenza è indicativamente pari a 3 o 4, ognuno con una potenza di almeno 50 tonnellate di tiro.

3.5. COMUNICAZIONI

Nelle comunicazioni con il Terminale la nave sarà dotata di un sistema di comunicazione primario e di uno di emergenza (tale sistema è solitamente incluso nel sistema di scambio dati nave/terminale). Il sistema permetterà inoltre il collegamento alla rete telefonica nazionale per le chiamate di emergenza.

3.6. LIMITI OPERATIVI METEOROLOGICI

Si indicano di seguito i limiti operativi di riferimento per le manovre delle navi LNG:

Tipologia di operazione in terminale delle navi LNG	Altezza d'onda significativa [m]		Velocità del vento [m/s]	
	Dir. Traversale	Dir. Longitudinale	Dir. Traversale	Dir. Longitudinale
Ormeggio	1-1,2	1,2-1,5	12	16
Carico/Scarico	1-1,5	1,5-2,2	15	20
Disconnessione linee	1.2-1.8	1,5-2,0	20	25
Imbarco pilota dai rimorchiatori	2,0 – 2,5		20	25

3.7. MANOVRA DI PARTENZA E DI ARRIVO

Il transito nel Terminale sarà effettuato, con l'assistenza di due rimorchiatori, uno di prora e uno di poppa. La velocità da mantenere sarà sempre la minima possibile per garantire alla nave il mantenimento della posizione al centro del terminale. Fuori dal terminale la nave procederà lentamente verso l'area di sbarco del pilota e mollerà i due rimorchiatori.

3.8. MANOVRA DI ORMEGGIO

Come indicato nei paragrafi successivi, le navi ormeggeranno al terminale solo con il fianco sinistro e con la prora verso l'uscita dalla piattaforma. Tale posizionamento è stato studiato per favorire la manovra di partenza anche in condizioni meteorologiche gravose.

La manovra di approccio al terminale prevede tipicamente le seguenti fasi:

- Manovra di evoluzione in modo da disporre la nave parallelamente al Terminale e con il manifold del vapore allineato al punto di riferimento dei bracci del carico;
- Manovra di avvicinamento al terminale da effettuarsi mediante l'azione di 2 rimorchiatori che provvederanno a spingere la nave verso la piattaforma, mantenendo la nave per quanto possibile, parallela ed allineata alla piattaforma stessa. La velocità di avvicinamento sarà controllata e non eccederà i 3 cm/sec, in modo tale da non danneggiare i parabordi durante l'impatto. A tale scopo la piattaforma sarà dotata di un sistema di monitoraggio della velocità di avvicinamento e della distanza, con pannelli indicatori visibili dalla nave, durante la manovra di avvicinamento. L'attivazione del sistema sarà automatico ed in funzione della distanza e della posizione della nave.
- Manovra di ormeggio che inizierà quando la nave sarà in posizione, allineata come concordato con il terminale e mantenuta in posizione dai rimorchiatori. I cavi saranno passati agli ormeggiatori per quanto possibile nella seguente sequenza e uno per volta: springs di prora e di poppa (con questi cavi sarà confermata la posizione finale della nave rispetto il terminale), traversini di prora e di poppa, cavi alla lunga di prora e di poppa.

I cavi di ormeggio potranno essere messi in tensione solamente quando gli ormeggiatori/terminale si saranno allontanati dalle bitte. La tensione da applicare ai cavi sarà comunicata al comandante e sarà uguale per tutti i cavi di ormeggio. L'assetto finale della nave all'ormeggio si riassume di seguito:

- Allineamento delle flange delle traverse di carico della nave con i bracci di carico del terminale, come da istruzioni del terminale;
- Carico equamente distribuito sui parabordi del terminale;
- Nave parallela alla piattaforma.

3.9. MANOVRA DI DISORMEGGIO

La manovra di disormeggio segue l'ordine opposto alla manovra di ormeggio, nel seguente modo:

- Operazioni di sganciamento dei cavi di ormeggio (cercando di seguire le sequenze contrarie alle sequenze di ormeggio e tenendo in conto che gli spring saranno gli ultimi cavi ad essere mollati);
- Manovra di spinta dei rimorchiatori delle navi sui parabordi, effettuata in modo da contrastare le azioni meteorologiche che provocherebbero l'allontanamento della nave dalla piattaforma.
- Manovra di partenza della nave assistita dai rimorchiatori.

4. CARATTERISTICHE DELL'ORMEGGIO AL TERMINALE OFF-SHORE

4.1. PREMESSA

Il presente par. illustra le caratteristiche dell'ormeggio in piattaforma con riferimento alle navi di progetto.

Le caratteristiche delle navi di riferimento sono mostrate nella figura seguente:

Vessel Name	Lpp	B	Draft T Boat min	Draft T Boat max	Tide	Draft T min	Draft T max	Bottom depth h min
[]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Coral Melman	110,2	18,6	5,5	7,7	0,14	5,34	7,48	8,54
Coral Energy	146,1	22,7	5,4	6,2	0,35	5,78	8,58	8,54
Pioneer Knutsen	63,4	11,8	3,3	3,6	0,35	3,68	3,98	8,54

Figura 1 - Navi di riferimento

Si noti che:

- Il pescaggio massimo varia a seconda delle condizioni di carico da 4 m a 8,6 m circa;
- La lunghezza varia da 65 m a 150 m circa.

Si noti che la profondità minima al di sotto del Terminale è pari a 12 m.

4.3. CALCOLO DEL PESCAGGIO MASSIMO DELLE NAVI ALL'ORMEGGIO IN TERMINALE

4.3.1. INTRODUZIONE

La nave di riferimento per l'analisi è la JS Ineos Inspiration di dimensioni più elevate, che presenta un pescaggio variabile in relazione alle condizioni di carico da 5,4 m ad 8,2 m. Nel presente paragrafo si calcolano le condizioni di carico limite per l'accesso al Terminale.

Il calcolo viene condotto secondo le linee guida AIPCN raccolte nella pubblicazione "HARBOUR APPROACH CHANNELS DESIGN GUIDELINES, PIANC REP. NO. 121 (2014)", come già effettuato per la relazione n°1.

In conformità alle succitate linee guida si identificano i seguenti parametri:

- Profondità del fondale h ;
- Massima immersione della chiglia della nave T_{max} (al netto di specifici fattori di tolleranza da quantificare nel caso specifico);
- Tirante idrico UKC_{netto} , "franco netto sotto chiglia" (net underkeel clearance).

Sulla base di tali considerazioni la profondità minima dei fondali nelle aree portuali necessaria a garantire la manovrabilità della nave di progetto in sicurezza è data dalla seguente relazione:

dove:

$$h_{min} - \Delta h_{marea} = T_{max} + UKC_{netto} + \Delta T_{ormeggio} + \Delta T_{dragaggio}$$

Δh_{marea} : massimi "abbassamenti" del livello marino dovuti alla bassa marea di progetto;

T_{max} : massimo pescaggio della nave nelle condizioni di carico di progetto;

UKC_{netto} : franco netto sottochiglia

$\Delta T_{ormeggio}$: incremento di pescaggio della nave dovuto all'esposizione dello scafo ai fattori meteomarini (vento, moto ondososo, correnti)

$\Delta T_{dragaggio}$: incremento di pescaggio della nave dovuto alle tolleranze di dragaggio.

La somma del termine UKC_{netto} con il termine $\Delta T_{ormeggio}$ viene detta "franco lordo sottochiglia". Il fattore $T_{ormeggio}$ di progetto è dato dalla combinazione dei movimenti di pitch, roll e heave che massimizzano l'incremento del pescaggio della nave in condizioni meteomarine limite per l'operatività.

La figura seguente illustra i movimenti che influenzano direttamente il pescaggio della nave:

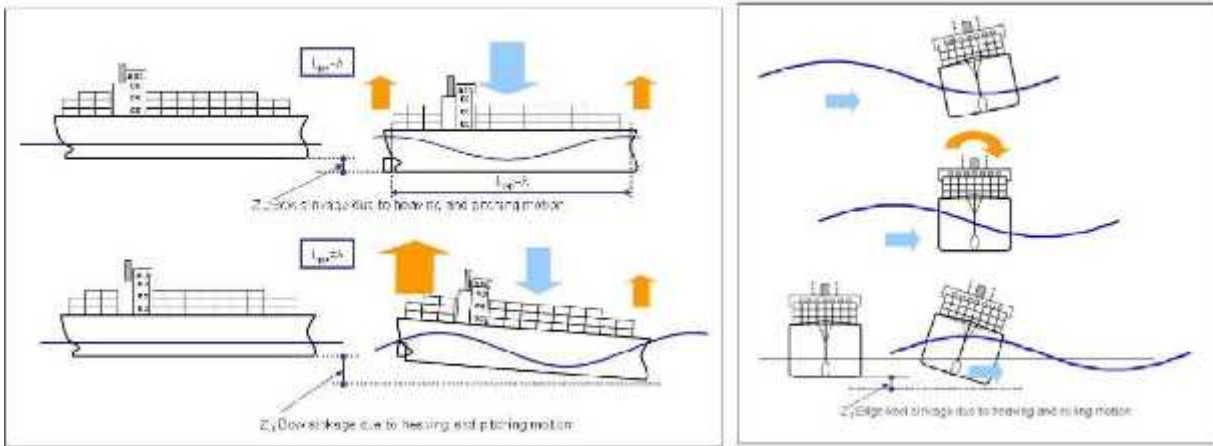


Figura 4 - Movimenti della nave che influenzano il pescaggio

La somma del termine UKC_{netto} con il termine $T_{ormeggio}$ e con il termine $T_{dragaggio}$ viene detta “franco lordo sotto-chiglia” (gross underkeel clearance) e rappresenta il tirante minimo richiesto sottochiglia al lordo di tutte le varie tolleranze sul pescaggio della nave. La figura seguente, illustra lo schema di riferimento per il calcolo:

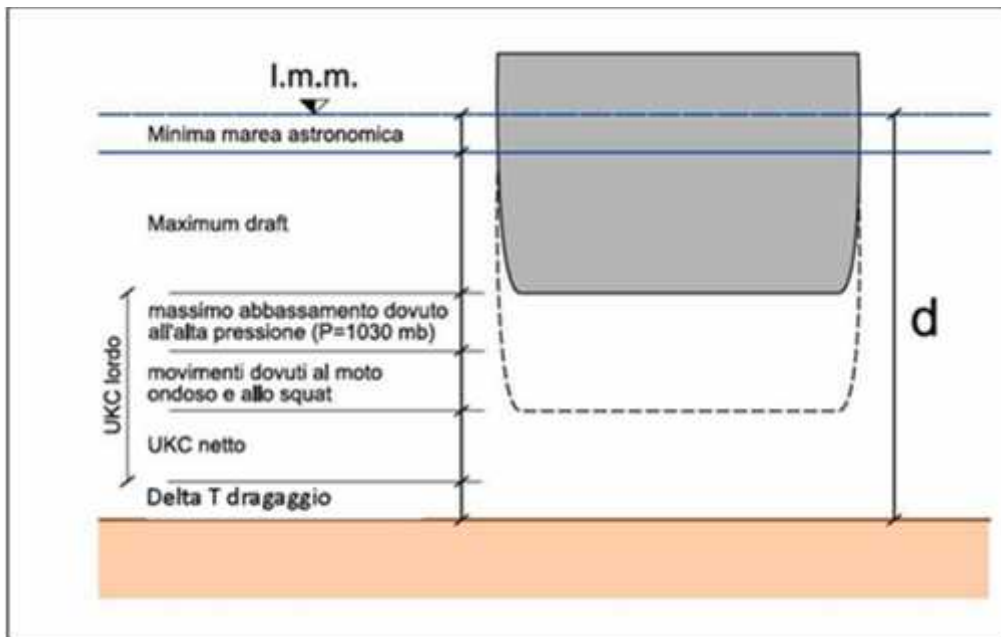


Figura 5 - Calcolo del franco lordo sotto-chiglia

4.3.2. LIVELLO DEL MARE

In base alle considerazioni su esposte, l'innalzamento massimo del livello marino, al netto delle variazioni a lungo termine è pari a $\Delta h_{marea} = -0.38$ m.

4.3.3. FRANCO NETTO SOTTOCHIGLIA MINIMO

Il franco netto sottochiglia è un parametro riferito alle più sfavorevoli condizioni di manovrabilità della nave, all'interno dell'area portuale in condizioni di vento e di onda, ed è pari alla distanza minima tra la chiglia ed il fondale di progetto, nelle suddette condizioni limite.

Si tratta dunque di un franco minimo di sicurezza (sotto chiglia), valutato in considerazione del massimo pescaggio della nave e considerando l'abbassamento del livello marino associato alla bassa marea di riferimento che dipende dalla natura del fondale (sabbioso o roccioso), dalle condizioni di manovra, e dal "danno" accettabile che si vuole ammettere per il rischio di incagliamento/arenamento dell'imbarcazione.

Nel presente progetto, in considerazione quanto riportato nel Rapporto 121-2014 del PIANC si assume nelle aree di manovra, per tutte le navi di progetto, un franco netto sotto chiglia UKCnetto pari a 50 cm.

4.3.4. MASSIMI SPOSTAMENTI VERTICALI DELLE NAVI IN TERMINALE

Si consideri che per la valutazione dei massimi spostamenti verticali delle navi all'ormeggio in terminale, la condizione operativa limite è la seguente (come indicato nei paragrafi precedenti):

- Velocità del vento < 20 m/s (da qualsiasi direzione);
- Altezza d'onda massima < 1,2-1,5 m.

Tale condizione determina il raggiungimento del valore limite degli spostamenti ammessi in Terminale al fine di consentire le operazioni delle navi LNG.

Per tale condizione, a favore della sicurezza si considera una massima oscillazione della nave LNG pari a $T_{ormeggio}=50$ cm (che tiene conto delle eventuali sesse).

In tale fattore si includono anche le tolleranze di dragaggio ($T_{dragaggio}$), tenendo comunque presente che presumibilmente verranno effettuate le normali operazioni di dragaggio periodico dei fondali da parte dell'Autorità Portuale.

4.3.5. CALCOLO DEL PESCAGGIO MASSIMO DELLE NAVI ALL'ORMEGGIO IN TERMINALE

Nelle condizioni succitate, e considerando che la minima profondità in terminale risulta pari ad 8,54 m, il pescaggio massimo delle navi di progetto all'ormeggio al Terminale risulta pari a 7,16 m circa come s'illustra nella figura seguente:

Boat	Capacity	Vessel Name	Lpp	B	Drill T Heel min	Drill T Heel max	Tide	Drill T min	Drill T max	Bottom depth h min	UKC	Vertical displacements	Drill T Design
[m]	[mc]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	13.000	Coral Methan	110,3	18,6	5,5	7,1	0,38	5,88	7,48	8,54	0,50	0,50	7,16
2	13.000	Coral Energy	146,1	22,7	5,4	8,1	0,38	5,78	8,58	8,54	0,50	0,50	7,16
3	5.400	Pioneer Knutsen	61,4	11,8	1,3	3,0	0,38	1,68	1,98	8,54	0,50	0,50	7,16

Figura 6 - Pescaggio delle navi di riferimento

Si noti quanto segue:

- La Coral Methan presenta un pescaggio massimo pari a 7,48 m (nelle condizioni di pieno carico) e dunque l’accesso al Terminale può effettuarsi con una percentuale di carico pari a circa il 95% (corrispondente al pescaggio calcolato pari a 7,16 m);
- La Coral Energy presenta un pescaggio massimo pari a 8,58 m (nelle condizioni di pieno carico) e dunque l’accesso al Terminale può effettuarsi con una percentuale di carico pari a circa l’83% (corrispondente al pescaggio calcolato pari a 7,16 m);
- La Pioneer Knutsen presenta un pescaggio massimo pari a 3,6 m (nelle condizioni di pieno carico) e dunque l’accesso al Terminale può effettuarsi con una percentuale di carico al 100 % (corrispondente al pescaggio calcolato pari a 7,16 m).
- I pescaggi sopraindicati si riferiscono a navi cariche di metano. Nel caso che il carico sia di GPL, la percentuale di carico, che garantirebbe lo stesso pescaggio limite pari a 7,16 m aumenterebbe (considerando il minor peso specifico del GPL rispetto al metano).

4.4. ARREDI PER L’ORMEGGIO IN TERMINALE

4.4.1. PREMESSA

Di seguito si illustrano due soluzioni proposte:

- Sistema di ormeggio – Soluzione n°1 (soluzione prescelta), che prevede al posto delle bitte l’installazione di ganci a scocco indipendenti;
- Sistema di ormeggio – Soluzione n°2, che prevede l’utilizzo delle bitte.

La soluzione prescelta è la Soluzione n°1, che risulta funzionale all’ormeggio in progetto ed in termini di sicurezza risulta più vantaggiosa. In ambedue le soluzioni si adottano i fender.

4.4.2. SISTEMA DI ORMEGGIO – SOLUZIONE N°1

Il sistema di ormeggio proposto prevede l'installazione in Terminale di:

- 4 ganci di ormeggio tripli;
- 4 ganci di ormeggio doppi;
- 4 fender.

Lo schema di ormeggio della nave, si illustra nella figura seguente:

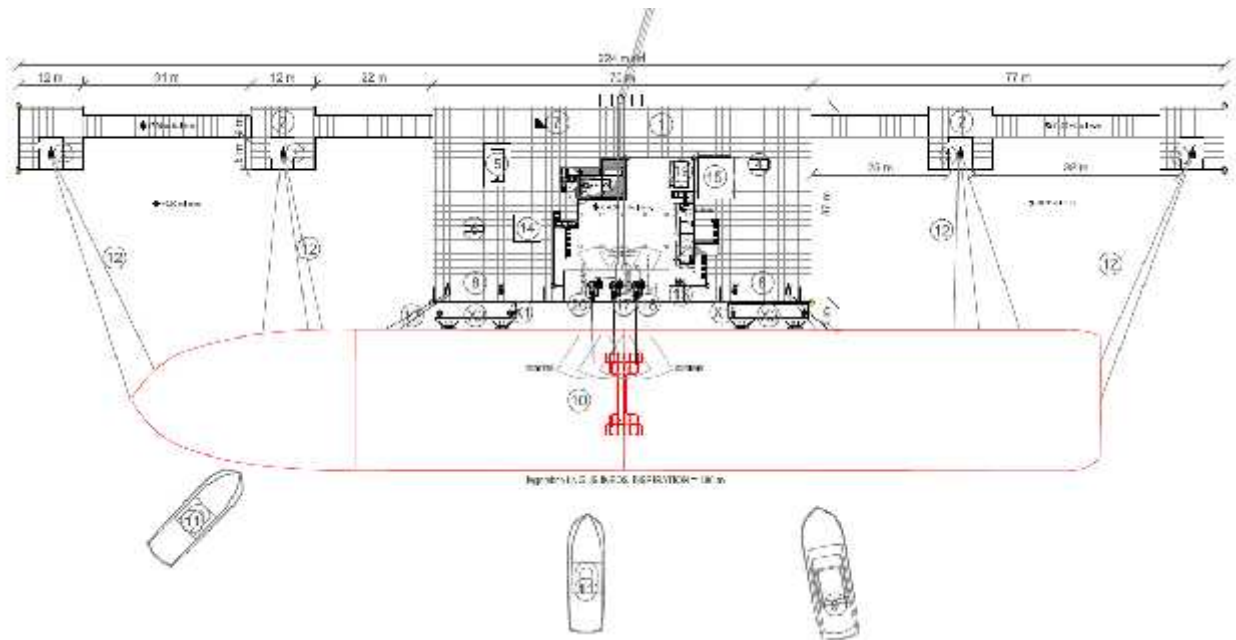
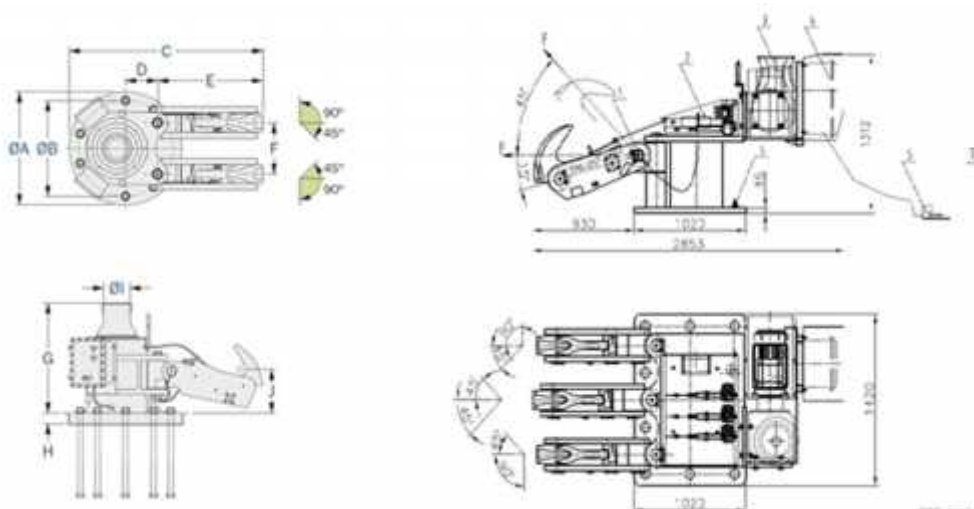


Figura 7 - Layout funzionale di ormeggio JS Ineos Inspiration

Per la soluzione n°1, si propone la tipologia di ganci a scocco da 60 t, conforme ai risultati del calcolo ed individuati nella figura seguente:



STANDARD MODEL NUMBERS

Model Number	Qty QRH	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	HD Bolt QTY	Shipping Mass kg
CB45 Series (Safe Working Load = 45 tonnes)													
CB45-01	Single	1100	900	2050	550	950	-	1215	120	305	480	4	1330
CB45-02	Double	1100	900	1935	435	950	450	1215	120	305	480	5	1670
CB45-03	Triple	1300	1100	1970	300	950	510	1215	120	305	480	6	2190
CB45-04	Quad.	1500	1300	2140	440	950	450	1215	160	305	480	10	2980
CB60 Series (Safe Working Load = 60 tonnes)													
CB60-01	Single	1100	900	2005	550	905	-	1215	120	305	435	4	1430
CB60-02	Double	1100	900	1890	435	905	450	1215	120	305	435	5	1870
CB60-03	Triple	1300	1100	1925	300	905	510	1215	120	305	435	6	2490
CB60-04	Quad.	1500	1300	2095	440	905	450	1215	160	305	435	10	3380

Figura 8 - Tipologia di Ganci a scocco proposti nella soluzione n°1

Si prevede di utilizzare come riferimento il layout ottimale delle linee di ormeggio suggerito da OCIMF di seguito illustrato:

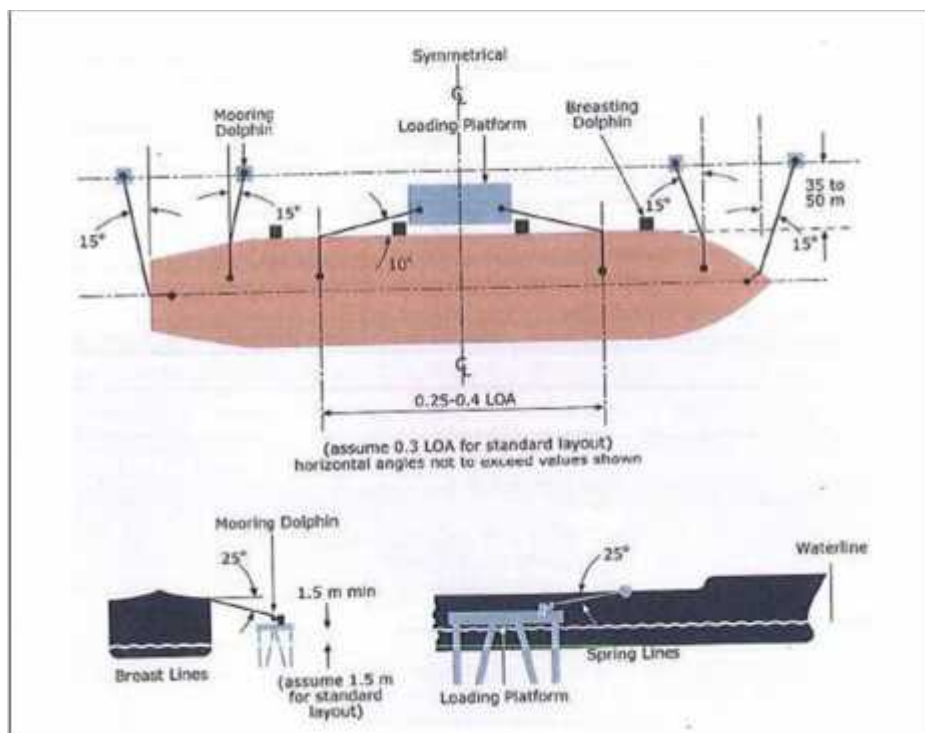


Figura 9 - Layout ottimale sistema di ormeggio – Soluzione n°1

La sistemazione ottimale prevede dunque:

- Interasse ganci tripli disposti più all'esterno (3+3) pari a 22,5 m circa;
- Interasse ganci doppi disposti più all'interno (2+2) pari a 10/15 m circa.

4.4.3. ORMEGGI DELLE NAVI

I valori limite di tensione raccomandati dall'OCIMF, in riferimento alle diverse tipologie dei cavi d'ormeggio in dotazione alle navi, in riferimento allo stato tensionale delle linee di ormeggio sono riassunti di seguito per ogni materiale:

- Acciaio: Tensione limite 55% del carico minimo di rottura della cima (MBL);
- Polietilene: Tensione limite 50% del carico minimo di rottura della cima (MBL);
- Poliamide: Tensione limite 45% del carico minimo di rottura della cima (MBL).

L'inclinazione orizzontale e verticale delle cime d'ormeggio, secondo le raccomandazioni contenute nei diversi regolamenti e linee guida (British Standard Code of Practice for Maritime Structures (BS 6349: Part4:1994), ROM 0.2-90 e PIANC) si riassume di seguito:

- Cime di prua e di poppa: $45^{\circ} \pm 15^{\circ}$;
- Traversi di prua e di poppa: $90^{\circ} \pm 30^{\circ}$;
- Springs: $5^{\circ}/10^{\circ}$.

La figura seguente mostra lo schema indicativo degli ormeggi consigliato da OCIMF:

	Numero di Linee	Tipo
Cavi alla lunga prodieri / traversini prodieri	6	Acciaio o sintetici
Spring prodieri	2	
Spring poppieri	4	
Cavi alla lunga poppieri / traversini poppieri	4	
Tutti i cavi sui verricelli		Yes
Fonte: Mooring arrangement meets OCIMF Publication: Mooring Equipment Guidelines Edition 3/2008		

Figura 10 - Schema di ormeggio

Le linee di ormeggio individuate nella presente relazione in base alle caratteristiche (n°linee, MBL, materiale,...) ed in relazione alle infrastrutture delle navi (passacavi e panama installati), si illustrano di seguito:



Pioneer Knutsen (bettolina):

- 2 cavi alla lunga di prua;
- 1 spring di prua;
- 1 spring di poppa;
- 3 cavi alla lunga di poppa.

Coral Methane (mini LNG 7500 m3):

- 3 cavi alla lunga di prua;
- 2 traversini di prua;
- 1 spring di prua;
- 1 spring di poppa;
- 2 traversini di poppa;
- 3 cavi alla lunga di poppa.

Coral Energy (mini LNG 15000 m3):

- 2 cavi alla lunga di prua;
- 3 traversini di prua;
- 2 spring di prua;
- 2 spring di poppa;
- 3 traversini di poppa;
- 2 cavi alla lunga di poppa.

Ai fini di rispettare le indicazioni presenti sulle linee guida OCIMF, essendo tutte le linee di materiale sintetico, lo stress ammissibile in ciascuna linea deve essere pari al 50% del proprio MBL (Minimum Breaking Load - Carico di rottura minimo).

Si identificano in via preliminare le caratteristiche delle linee di ormeggio, ideali per l'ormeggio in esame. Si tratta di linee di ormeggio ad alta resistenza (tipo Dynamax HMPE 12) con spezzone in Nylon da 11m (lunghezza minima suggerita da OCIMF). Inoltre, si sottolinea l'opportunità che i freni dei verricelli abbiano una tenuta pari all'80% del MBL delle linee di ormeggio. Le caratteristiche delle linee di ormeggio ipotizzate sono indicate in figura:



In base alle tabelle delle dotazioni delle navi, alla tipologia delle bitte, si identificano linee di ormeggio ideali per l'attracco aventi diametro pari a 28 mm (MBL 71 t).

Figura 11 - Linee di ormeggio

4.5. EFFETTI DELL'ELICA SUL FONDALE

La pratica costruttiva delle navi metaniere produce tipologie di navi, nelle quali l'elica presenta dimensioni sempre inferiori a quelle della parte immersa della metaniera.

Sulla base di tale assunzione dunque, si può affermare che:

- l'estremità delle pale non superi mai la quota inferiore del fasciame del fondo (chiglia) in modo che anche in caso di situazioni di emergenza (tipicamente incaglio), l'elica non rischi di subire danni. Tale condizione è anche avvalorata dal fatto che per l'approdo in progetto è stata considerato un franco sottochiglia adeguato;
- in caso di nave in minima immersione (condizione di zavorra) l'estremità delle pale non

fuoriesce dal pelo libero dell'acqua, in modo tale da consentire anche in questa condizione un corretto rendimento dell'elica, garantendo adeguate performace di spinta e manovrabilità alla nave.

In considerazione delle limitate velocità con cui la nave gasiera accederà al Porto, non si segnalano evidenze in merito agli eventuali effetti dell'elica sul fondale, in quanto l'azione dell'elica delle navi gasiere risulta infatti normalmente inferiore a quella delle attuali navi in transito da/verso il Porto Canale di Cagliari.

4.6. ANALISI DELL'OPERATIVITÀ MEDIA ANNUA DEL TERMINALE

4.6.1. PREMESSA

Le condizioni di operatività di un Terminale dipendono dai movimenti subiti dalla nave all'ormeggio che dipendono da:

- Altezza d'onda significativa massima accettabile (e relativo periodo d'onda);
- Operazioni nel Terminale;
- Dislocamento della nave.

Pertanto il calcolo dell'operatività media annuale del terminale può essere ricondotto al calcolo dell'agitazione ondosa presente mediamente lungo la piattaforma ed al relativo confronto con le condizioni limite di operatività.

Si indicano di seguito i limiti operativi di riferimento per l'operatività in terminale delle navi LNG:

Tipologia di operazione nel Terminale delle navi LNG	Altezza d'onda significativa [m]	
	Dir. Traversale (Sway)	Dir. Longitudinale (Surge)
Ormeggio	1-1,2	1,2-1,5
Carico/Scarico	1,0-1,5	1,5-2,2
Disconnessione linee	1,2-1,8	1,5-2,0
Imbarco pilota dai rimorchiatori	2,0 – 2,5	2,0 – 2,5

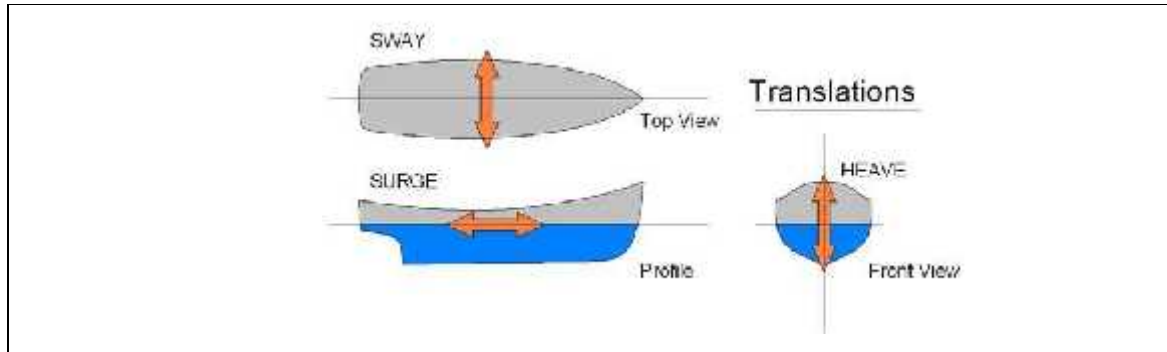


Figura 12 - Limiti di operatività

La valutazione dell'analisi dell'operatività media annua del Terminale in oggetto, viene effettuata in riferimento ai seguenti scenari:

- Scenario n°1: valutazione della frequenza di accadimento dell'altezza d'onda a largo che genera un'agitazione ondosa pari alla condizione limite per le operazioni associate al terminale LNG.;
- Scenario n°2: valutazione della frequenza di accadimento dell'altezza d'onda generata dalle navi in transito lungo la piattaforma.

La prima valutazione viene eseguita attraverso la formazione di un modello numerico tridimensionale, in grado di valutare l'agitazione interna portuale dovuta ad una forzante di moto ondoso applicata sull'imboccatura. Dal calcolo, si deduce che l'operatività media del Terminale è limitata principalmente dal moto ondoso, che risulta critico in relazione ad eventi caratterizzati da tempi di ritorno dell'ordine di 2 anni.

La seconda valutazione fa riferimento allo studio della navigabilità e manovrabilità portuale, ove è stato valutato il fenomeno del "Pashing Ship" generato dal passaggio di una nave Porta Container in prossimità della piattaforma in oggetto. Dal calcolo si deduce che l'operatività media della piattaforma è limitata principalmente dal moto ondoso, che risulta critico in relazione al passaggio di navi aventi DWT superiori a 100.000 t circa.

Ambedue le valutazioni tengono conto delle riflessioni che il moto ondoso subisce nell'impatto contro la nave o la piattaforma.

4.7 CALCOLO BRICCOLE

Il presente paragrafo costituisce la relazione di progetto delle briccole previste per l'ancoraggio dell'unità logica *Terminale Off- Shore di ricezione GNL*, collegata al deposito costiero.

- ganci a scocco
- motore alimentato a BOG
- generatore di emergenza
- cabina fornitura elettrica
- vasca di raccolta GNL, con relativo canale di raccolta del GNL, posto parallelamente alla linea di accosto, destinato alla raccolta di eventuali rilasci di GNL dai bracci di scarico.

Il piano superiore avrà il calpestio realizzato con uno strato di finitura in calcestruzzo, con una pendenza adeguata a convogliare eventuali perdite di GNL dai bracci di carico verso il perimetro e permettere lo scolo dell'acqua piovana.

Su tale piano superiore sono posti:

- n.4 bracci di carico/scarico GNL;
- sala controllo;
- sistemi antincendio;
- luci di segnalazione;
- sala strumenti;
- Ko-drum vapore di ritorno.
- un cordolo in c.a. per delimitare l'area di pertinenza dei bracci di scarico.

6. CARATTERISTICHE NAVI PER APPROVVIGIONAMENTO E DISTRIBUZIONE GNL

L'approvvigionamento di GNL al Deposito verrà garantito tramite navi gasiere di piccola taglia (mini LNG Carriers), aventi caratteristiche analoghe a quelle di capacità comprese tra i 7.500 e i 27.500 mc utilizzate come riferimento per la progettazione.

La distribuzione sarà effettuata attraverso bettoline aventi caratteristiche analoghe a quelle di navi di piccola taglia da circa 1.000÷2.000 mc utilizzate come riferimento per la progettazione.

Di seguito sono riportati i dati principali di due navi, considerate rappresentative ai fini dello sviluppo del progetto, la selezione definitiva delle navi impiegate sarà effettuata nella fase esecutiva del progetto:

- per l'approvvigionamento:
 - Coral Methane
 - JS Inspiration Ineos
- per la distribuzione:
 - Pioneer Knutsen

Coral Methane



Capacità Nominale	7.400 m ³
L _{PP}	110,2 m
Dislocamento a Pieno Carico	10.842 t
T Pieno carico	7,1 m
T Zavorra	5,5 m
Area Laterale in Zavorra	1,484 m ²
Area Laterale in Pieno Carico	1,292 m ²
Area Frontale in Zavorra	411 m ²
Area Frontale in Pieno Carico	381 m ²
Numero di linee di Ormeggio	16
Capacità dei verricelli	31 t

JS Ineos Inspiration



Capacità Nominale	27.500 m ³
L _{PP}	170,8 m
Dislocamento a Pieno Carico	32.088 t
T Pieno carico	7,1 m
T Zavorra	8,7 m
Area Laterale in Zavorra	2.325 m ²
Area Laterale in Pieno Carico	2,036 m ²
Area Frontale in Zavorra	702 m ²
Area Frontale in Pieno Carico	660 m ²
Numero di linee di Ormeggio	14

Pioneer Knutsen



Capacità Nominale	1.000 m ³
L _{PP}	63,4 m
Dislocamento a Pieno Carico	1.938 t
T Pieno carico	3,6 m
T Zavorra	3,3 m
Area Laterale in Zavorra	2.700 m ²
Area Laterale in Pieno Carico	2,265 m ²
Area Frontale in Zavorra	626 m ²
Area Frontale in Pieno Carico	561 m ²
Numero di linee di Ormeggio	10

7. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Come già descritto negli altri elaborati di progetto, le aree oggetto dell'intervento e, quindi, anche il fondale marino sul quale andrà posizionata la piattaforma off-shore, sono costituite, in generale, da un deposito sedimentario alluvionale e argilloso; tuttavia, nella fase successiva di progettazione, saranno eseguite indagini puntuali geognostiche, al fine di individuare la profondità esatta degli strati e i parametri medi fisico-meccanici dei fondali, necessari per il definitivo dimensionamento delle briccole della piattaforma a mare.



8. CARATTERIZZAZIONE METEOMARINA

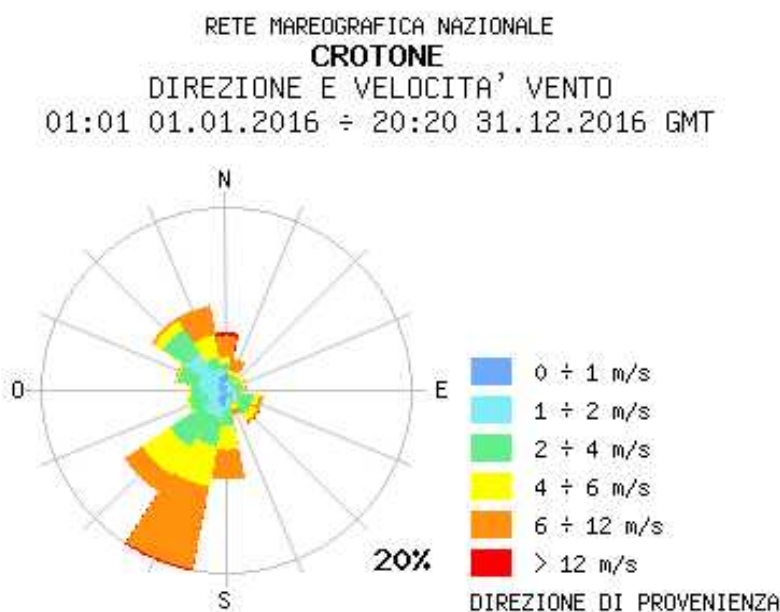
Anche in questo caso, per la caratterizzazione meteomarina dell'areale interessato dalla nuova piattaforma off-shore, si fa riferimento a quanto riportato negli altri elaborati di progetto.

L'area in esame ricade in Calabria a Crotone sulla costa ionica e mostra caratteristiche topografiche e climatologiche riferibili alle aree costiere del Mediterraneo.

8.1. I VENTI

I dati delle registrazioni effettuate sulla direzione e velocità del vento dalla rete mareografica nazionale di Crotone adatti allo studio sono quelli effettuati dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

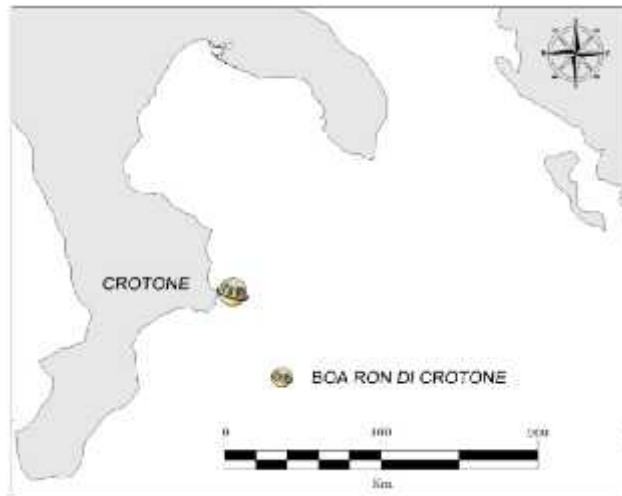
Nella figura che segue sono riportati i principali venti registrati dalla rete mareografica di Crotone nell'intervallo temporale gennaio-dicembre 2016; i dati rappresentati individuano la netta prevalenza degli stati di vento più frequenti da Nord-Ovest (Maestrale) e Sud-Ovest (Libeccio), mentre gli stati di vento più intensi, con velocità > 12 m/s, avvengono da Nord (Tramontana).



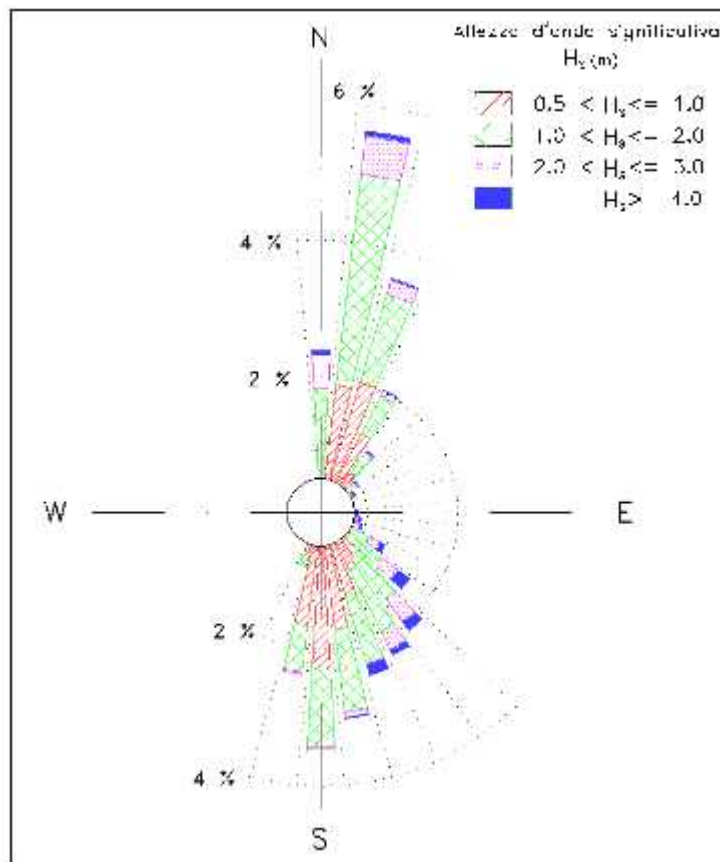
8.2. IL MOTO ONDOSO

Per la determinazione del moto ondoso al largo del litorale in esame si è fatto riferimento alle misure effettuate dalla stazione ondometrica di Crotone.





Nella figura che segue sono rappresentate le distribuzioni percentuali annuali degli eventi di moto ondoso, suddivisi per classi di altezza d'onda significativa (H_s) e direzione di provenienza ($^{\circ}N$), registrate dalla boa di Crotone, mentre nella tabella successiva gli eventi sono suddivisi per classi di H_s e di periodo medio (T_m).



Hs (m)	CLASSI DI PERIODO DI PICCO Tp (s)							Tot.
	(Tp<4)	(4<Tp<6)	(6<Tp<8)	(8<Tp<10)	(10<Tp<12)	(12<Tp<14)	(14<Tp)	
<0.25	7.845	7.412	1.542	0.260	0.028	0.006	0.517	17.611
0.25÷0.75	15.338	23.423	7.030	0.906	0.125	0.004	1.034	47.860
0.75÷1.25	0.712	10.503	6.545	1.066	0.019		0.041	18.887
1.25÷1.75	0.004	3.203	4.073	1.363	0.058			8.702
1.75÷2.25		0.508	2.128	1.071	0.147	0.002	0.002	3.859
2.25÷2.75		0.022	0.833	0.660	0.154		0.004	1.672
2.75÷3.25			0.249	0.361	0.151		0.002	0.764
3.25÷3.75			0.080	0.147	0.134	0.004		0.366
3.75÷4.25			0.002	0.054	0.093		0.002	0.151
4.25÷4.75			0.006	0.015	0.063	0.004		0.089
4.75÷5.25				0.004	0.024			0.028
>5.25				0.002	0.011			0.013
Tot.	23.90	45.07	22.49	5.91	1.01	0.02	1.60	100.00

Dall'analisi di queste si nota che per eventi con Hs > 0.5 m (escluse le calme):

- la distribuzione spaziale delle frequenze di accadimento degli eventi risulta essere caratterizzata da una accentuata bidirezionalità lungo le direzioni N-NE e S-SE;
- la maggiore frequenza di accadimento si ha per i settori di mezzogiorno (160°-200°N) con circa il 12,2% degli eventi e per quello di tramontana (340°-20°N) con circa l'11,8%, mentre dal settore di scirocco provengono il 7,8% delle mareggiate;
- gli eventi aventi Hs superiore ai 3 m provengono principalmente da scirocco (frequenza 0,57%, pari a 2 gg/anno) e da tramontana (frequenza 0,15%, pari a 0,5 gg/anno);
- dai settori di mezzogiorno e tramontana provengono gli eventi di maggiore frequenza in tutte le stagioni dell'anno.

9. SISTEMA DI ANCORAGGIO PIATTAFORMA

Le strutture off-shore mantengono la propria stabilità grazie alla massa della struttura (fondazioni a gravità) oppure grazie al conficcamento dei pali nel terreno. Tali pali possono essere analizzati separatamente dalla sovrastruttura immaginandoli liberi di muoversi in sommità. Lo svincolare i movimenti alla testa del palo comporta comunque di considerare la compatibilità (congruenza) con la piattaforma sovrastante. A seguito di varie ricerche bibliografiche, ricerche specialistiche e confronti diretti con gli addetti ai lavori, si è addivenuti di utilizzare per la piattaforma del Terminale off-shore delle fondazioni profonde con l'utilizzo di pali ad elica continua.

I comuni pali di fondazione sono così classificati rispetto al procedimento costruttivo:

- infissi (senza asportazione di terreno, prefabbricati o gettati in opera),
- trivellati (con asportazione di terreno),



- trivellati ad elica continua tipo CFA (parziale asportazione di terreno).

Quest'ultima tipologia di pali è stata considerata la più idonea nel progetto in esame in quanto risulterebbe avere una parziale asportazione di terreno pertanto più sostenibile rispetto alle altre tipologie esistenti.

La soluzione progettuale ha pertanto considerato l'inserimento dei pali con una orditura e sequenza come di seguito riportati nel grafico di progetto.

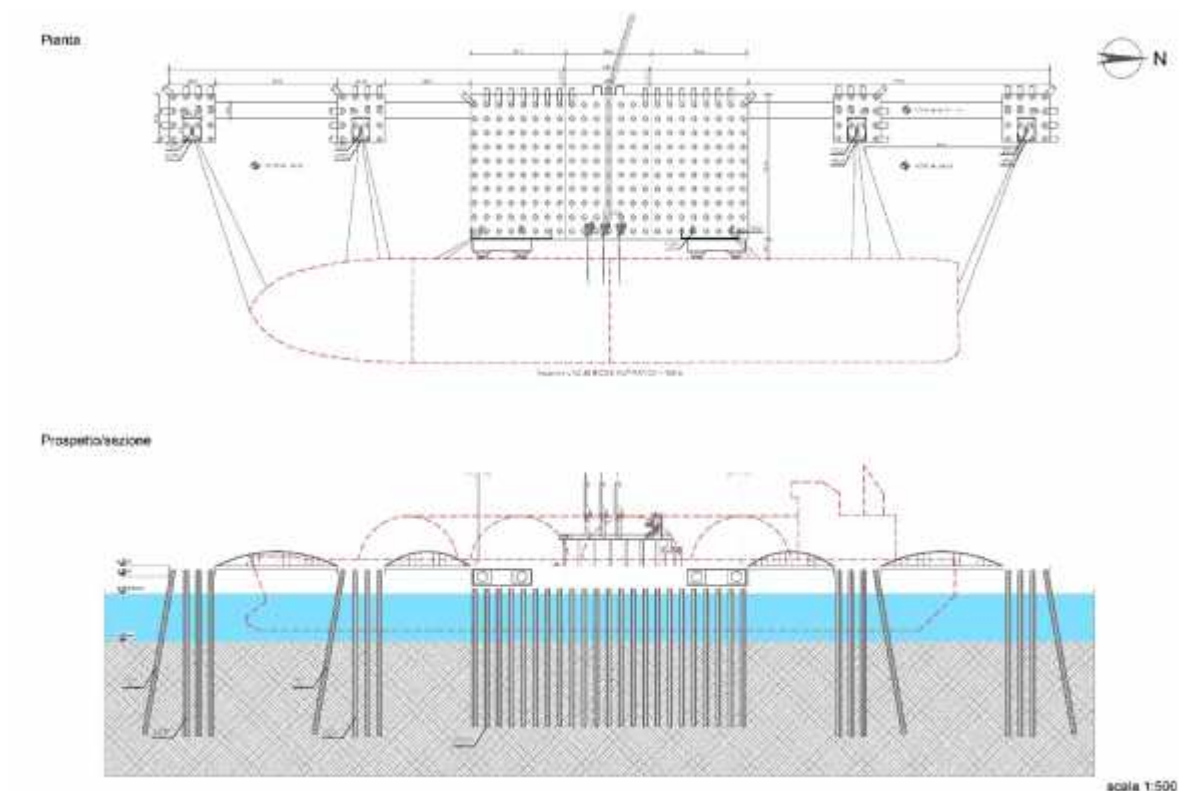
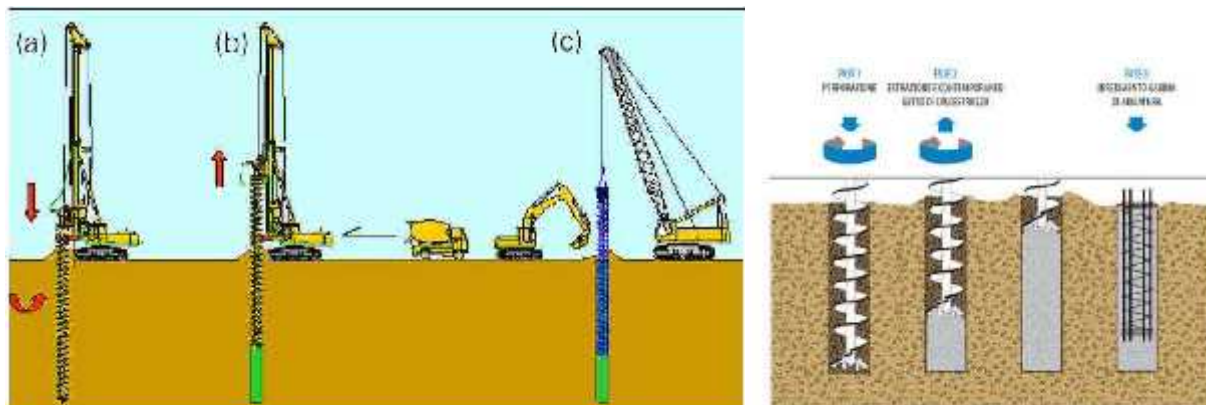


Figura 14 - Opere marittime - Terminale di ricezione GNL off-shore: modalità di posa ed ancoraggio della struttura sul fondale marino della piattaforma operativa

9.1. SEQUENZA ESECUTIVA

I pali CFA sono un tipo di fondazione “trivellata”, in cui il palo è realizzato con un processo continuo fino alla profondità finale desiderata.

La trivella è composta da un'elica continua, che, durante la perforazione, trattiene nello spazio tra le sue spire il terreno, fornendo un supporto laterale e mantenendo la stabilità del foro; raggiunta la profondità di progetto, l'elica è fatta risalire dal foro e il calcestruzzo è pompato attraverso il gambo vuoto della stessa; il pompaggio simultaneo del calcestruzzo e il ritiro dell'elica forniscono un supporto continuo al foro. Il rinforzo/gabbia di acciaio viene inserito nel foro riempito di calcestruzzo liquido subito dopo il ritiro dell'elica.



9.2. MATERIALI

9.2.1. CALCESTRUZZO

Il calcestruzzo usato per i pali CFA tipicamente contiene una miscela di cemento Portland, ceneri volanti, acqua, aggregati e, spesso, additivi che permettono di ritardare l'indurimento del calcestruzzo, per mantenerne una maggiore lavorabilità.

Cemento

Viene normalmente utilizzato il cemento di tipo I o di tipo I / II, cementi Portland con un dosaggio di circa 3,5÷4,5 kN/m³; cementi speciali, resistenti all'attacco dal solfato, devono essere usati in ambienti in cui il contenuto di solfato è estremamente elevato, come nelle acque sotterranee.

Additivi pozzolanici

L'additivo pozzolanico più comunemente usato sono le ceneri volanti; tuttavia, se finemente macinati, vengono usati anche il fumo di silice e le scorie d'altoforno.

L'uso di additivi pozzolanici tende a ritardare il tempo di indurimento della pasta di cemento, aumentandone così la lavorabilità. Come conseguenza negativa dell'utilizzo degli additivi pozzolanici si riscontra un ritardo dello sviluppo della resistenza iniziale della miscela.

Acqua

L'acqua usata per la miscelazione del calcestruzzo deve essere dolce (esente da contaminazione organica e materiale putrefatto) e dovrebbe avere bassi contenuti di cloruro solfato; il rapporto acqua/cemento è di circa 0,45.

Aggregati

Tutti gli aggregati devono soddisfare particolari specifiche in base al tipo di calcestruzzo che si vuole ottenere; sono da preferirsi inerti arrotondati del diametro massimo di 15 mm. In generale non devono essere di origine



silicea, ma solo di origine calcarea e devono seguire una granulometria ben diversificata. Inoltre, la ghiaia arrotondata è fortemente preferibile rispetto al pietrisco, grazie ai benefici in termini di lavorabilità dell'impasto, di pompaggio e di posizionamento.

Fluidificanti

I fluidificanti migliorano la lavorabilità del calcestruzzo a pari valore del rapporto acqua/cemento. Tali additivi inoltre, poiché determinano una diminuzione della tensione superficiale dell'acqua di impasto, consentono di ridurre il fabbisogno d'acqua per la data consistenza desiderata. Pertanto senza modificare il dosaggio di cemento ne risulta un aumento della resistenza caratteristica a compressione e un miglioramento della durabilità.

Ritardanti

I ritardanti di presa e di indurimento hanno la funzione di ridurre il grado di idratazione del cemento nelle prime ore, soprattutto in climi caldi quando le alte temperature ($>20^{\circ}\text{C}$) accelerano l'idratazione del cemento con perdita di lavorabilità. Sono costituiti prevalentemente da prodotti organici, quali gluconato, glucosio, zuccheri, che non modificano sostanzialmente le prestazioni del calcestruzzo.

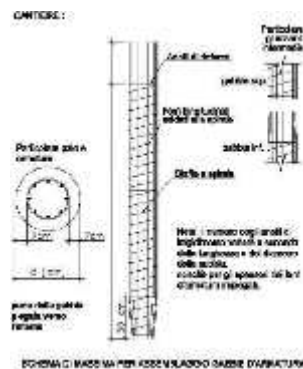
9.2.2. ARMATURA

Materiale per l'armatura

Le barre di armatura per pali CFA sono in acciaio; i documenti dell'acciaieria devono indicarne il numero, il tipo e il peso: il certificato dell'acciaieria attesta la classe di resistenza dell'acciaio.

Forma dell'armatura

Le gabbie di rinforzo devono essere fabbricate in modo che il loro sollevamento e la loro mobilitazione non provochi deformazioni permanenti. La posa della gabbia di armatura avviene dopo il getto di calcestruzzo, pertanto è necessario impiegare gabbie non superiori a 15 metri in elemento unico. La posa avviene nel calcestruzzo fresco mediante introduzione della gabbia che affonda in virtù del peso proprio o eventualmente spinta con l'ausilio di idoneo vibratore agente sulla testa della gabbia o in posizioni intermedie all'interno di essa, con il supporto di un cestello metallico.



Per la forma dell'armatura bisogna tener presenti le seguenti raccomandazioni:

- a parità di sezione totale del ferro, privilegiare elevati valori del rapporto diametro-numero barre;
- minor numero possibile di giunzioni fra elementi di gabbia;
- conferire alla gabbia una terminazione conica verso il fondo, in modo da agevolare la penetrazione della medesima nel calcestruzzo;
- adottare un copriferro mai inferiore a 8÷10 cm.

9.3. CONCLUSIONI

Si riepilogano gli aspetti vantaggiosi dei pali CFA:

- assenza di decompressione, con conseguente incremento dei valori di portanza del palo;
- penetrabilità, in quanto adatti, in genere, in qualsiasi tipo di terreno;
- silenziosità e assenza di vibrazioni;
- rapidità ed economicità, in quanto la sequenza esecutiva (perforazione, getto del cls) è unica;
- installazione eseguibile in terreni di qualsiasi natura, di scarsa o media resistenza, indifferentemente in presenza o assenza d'acqua, anche instabili, senza uso di tubi di rivestimento e/o della bentonite (con tutte le difficoltà inerenti allo smaltimento).

10. IL PROGETTO

10.1. NORMATIVE

Oltre alle norme, leggi e regolamenti già descritti nell'allegata Relazione tecnico-illustrativa, il progetto cui si riferisce il presente documento è stato redatto sulla base delle ulteriori seguenti leggi, normative e indicazioni:

- nuove norme tecniche di cui al D.M. 17/01/2018;
- OPCM 3431 del 03/05/2005;
- Legge n.1086 del 5/11/1971 "*Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato e precompresso ed a struttura metallica*";
- Legge n.64/1974 "*Provvedimenti per costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*";
- P.I.A.N.C. (Permanent International Association of Navigation Congress)
- Guideline for the Design of Fenders System: 2002

Si è inoltre tenuto conto delle indicazioni contenute nelle seguenti pubblicazioni tecniche di settore:

- "*Optimization by means of plastic design of flexible breasting dolphins*" in P.I.A.N.C. Magazine AIPCN n.120 (luglio 2005);
- "*Criteria For Movements of Moored Ships in Harbours - A practical Guide. Report of the*

International Study Commission on the Standardization of Roll-on/Roll-off Ships and Berths”,
P.I.A.N.C Supplement to Bulletin n.33/1979.

10.2. DATI DI INPUT

Nei paragrafi che seguono vengono definiti, ai fini del calcolo delle strutture, i dati di input, compresi quelli relativi alle forze dovute all'accosto della nave e ai tiri sulle bitte.

10.2.1. PROFONDITÀ FONDALI

Si evidenzia che attualmente la profondità d'imbasamento della nuova piattaforma è di circa -11 m su l.m.m.: tuttavia, considerato che gli stessi sono generalmente caratterizzati da un dinamismo, prima della fase successiva di progettazione andranno eseguite verifiche batimetriche.

10.2.2. DATI GEOTECNICI

Come già esposto in precedenza, le aree oggetto dell'intervento e, quindi, anche il fondale marino sul quale andrà posizionata la piattaforma off-shore, sono costituite, in generale, da un deposito sedimentario alluvionale e argilloso; si evidenzia che la verifica dei dati geotecnici è rimandata a una fase successiva, non appena saranno state eseguite indagini puntuali, al fine di individuare la profondità esatta degli strati e i parametri medi fisico-meccanici dei fondali, necessari per il definitivo dimensionamento delle briccole.

10.2.3. CARATTERISTICHE DIMENSIONALI PIATTAFORMA

Per una completa descrizione delle caratteristiche dimensionali e planimetriche della piattaforma si rimanda agli elaborati grafici.

10.2.4. ENERGIA DI ACCOSTO

Le ipotesi alla base dei calcoli sviluppati derivano fundamentalmente dalle azioni orizzontali dovute all'accosto delle navi, di cui si prevede l'ormeggio; l'energia di accosto e, quindi, la forza che da questa deriva, è funzione delle caratteristiche delle navi e delle caratteristiche del sito.

Con riferimento alla pubblicazione dell'AIPCN-PIANC “Guideline for the Design of Fender Systems: 2002”, che è la normativa di riferimento utilizzata in Europa, si sono ricavate l'energia assorbita dal fender e la relativa forza trasmessa alla struttura durante la manovra di accosto.

L'energia generata dalla manovra di accosto e che deve essere assorbita dal fender è data dalla relazione:

$$E_d = 0.5 * M * v^2 * C_e * C_m * C_s * C_c * C_{ab}$$

dove:



STUDIO DI ORMEGGIO - CALCOLO BRICCOLE - SISTEMA DI ANCORAGGIO PIATTAFORMA

DEPOSITO COSTIERO DI RIGASSIFICAZIONE DI GAS NATURALE LIQUEFATTO (GNL) DA 20.000 mc NEL COMUNE DI CROTONE IN ZONA INDUSTRIALE C.O.R.A.P.

 $\bar{N} M'$ massa di progetto - dislocamento [t]

 $\bar{N} v$ velocità di accosto

 $\bar{N} Ce$ coeff. di eccentricità

 $\bar{N} Cm$ coeff. di massa virtuale

 $\bar{N} Cs$ coeff. di rigidezza (softness coeff.)

 $\bar{N} Cc$ coeff. di accosto (cushion coeff.)

 $\bar{N} Cab$ coeff. di impatto anomalo

Il calcolo è stato eseguito per navi Gas Carrier con DWT= 30.000 t, corrispondente a navi da 252 m.

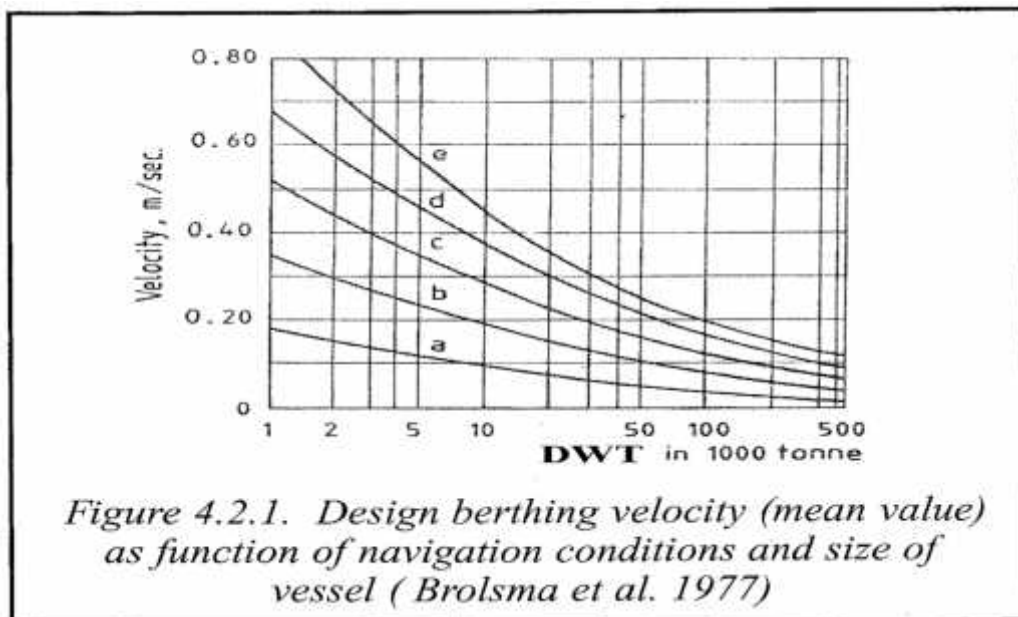
 Il valore della massa M' (confidenza 95%) si ricava dalla seguente tabella, dalla quale, in corrispondenza al DWT di progetto, si legge il valore $M' = 58.500$ t.

:

Appendix C. Table C-2 VESSEL DISPLACEMENTS. Confidence Limits: 50%, 75%, 95%									
Type	Dead Weight Tonnage (t)	Displacement (t)			Type	Dead Weight Tonnage (t)	Displacement (t)		
		50%	75%	95%			50%	75%	95%
General Cargo Ship	1,000	1,850	1,690	1,850	Ro/Ro	1,000	1,970	2,170	2,540
	2,000	3,040	3,250	3,360		2,000	3,730	4,130	4,820
	3,000	4,460	4,750	5,210		3,000	5,430	6,030	7,010
	4,000	7,210	7,690	8,440		5,000	8,710	9,670	11,200
	7,000	9,900	10,600	11,600		7,000	11,900	13,200	15,300
	10,000	13,900	14,800	16,200		10,000	16,500	18,500	21,300
	15,000	20,300	21,600	23,700		15,000	24,000	2,700	31,000
	20,000	26,000	28,400	31,000		20,000	31,300	34,800	41,400
	30,000	39,000	41,600	45,600		30,000	45,600	50,600	58,800
	40,000	51,100	54,500	59,800		Passenger	1,000	830	1,010
Bulk Carrier	5,000	6,740	6,920	7,190	2,000		1,380	1,910	2,500
	7,000	9,270	9,520	9,880	3,000		2,270	2,740	3,590
	10,000	13,000	13,300	13,800	5,000		3,580	4,320	5,650
	13,000	19,100	19,600	20,300	7,000		4,830	5,830	7,630
	20,000	25,000	25,700	26,700	10,000		6,640	8,010	10,500
	30,000	36,700	37,700	39,100	15,000		9,530	11,500	15,000
	50,000	59,600	61,100	63,500	20,000		12,300	14,900	19,400
	70,000	81,900	84,000	87,200	30,000		17,700	21,300	27,900
	100,000	115,000	118,000	122,000	50,000		27,900	33,600	44,000
	150,000	168,000	173,000	179,000	70,000	37,600	45,300	59,300	
200,000	231,000	237,000	246,000	Ferry	1,000	810	1,230	2,240	
250,000	273,000	280,000	291,000		2,000	1,600	2,430	4,430	
Container Ship	7,000	10,200	10,700		11,500	3,000	2,390	3,620	6,390
	10,000	14,300	15,100		16,200	5,000	3,940	5,970	10,900
	15,000	21,100	22,200		23,900	7,000	5,480	8,310	15,100
	20,000	27,800	29,200		31,400	10,000	7,770	11,800	21,500
	25,000	34,300	36,100		38,800	15,000	11,600	17,500	31,900
	30,000	40,800	43,000		46,200	20,000	15,300	23,300	42,300
	40,000	53,700	56,500		60,800	30,000	22,800	34,600	63,000
	50,000	66,500	69,000		75,200	40,000	30,300	45,900	83,500
	60,000	79,100	82,200	89,400	Gas Carrier	1,000	2,210	3,480	2,910
	Oil Tanker	1,000	1,450	1,580		1,800	2,000	4,080	4,500
2,000		2,810	3,070	3,480		3,000	5,850	6,520	7,680
3,000		4,140	4,520	5,130		5,000	9,100	10,200	12,000
5,000		6,740	7,360	8,360		7,000	12,300	13,800	16,200
7,000		9,300	10,200	11,500		10,000	16,900	18,900	22,000
10,000		13,100	14,300	16,200		15,000	24,100	27,000	31,700
15,000		19,200	21,000	23,900		20,000	31,100	34,800	40,900
30,000		37,300	40,800	46,300		30,000	44,800	49,700	58,500
50,000		60,800	66,400	75,500		50,000	69,700	78,000	91,800
70,000		83,900	91,600	104,000	70,000	94,000	105,000	124,000	
100,000	118,000	129,000	146,000	100,000	128,000	144,000	169,000		
150,000	174,000	190,000	216,000						
200,000	229,000	250,000	284,000						
300,000	337,000	368,000	418,000						

 La velocità di accosto è ricavabile dal grafico che segue (Brolsma 1977), adottato dalle *British Standard on Fender* (BS 6349 Part 4) e che fornisce valori della velocità per cinque tipologie di accosto:

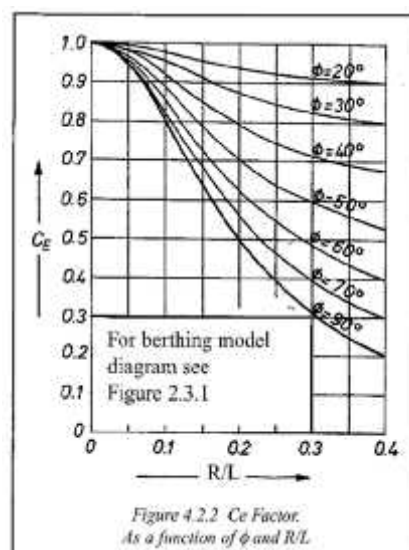
:



- a. Good berthing conditions, sheltered
- b. Difficult berthing conditions, sheltered
- c. Easy berthing conditions, exposed
- d.* Good berthing conditions, exposed
- e.* Navigation conditions difficult, exposed

Nel caso in questione, a vantaggio di sicurezza ci si pone tra le curve “a” e “b”, ricavando come valore della velocità di accosto: $v = 0.15$ m/s per $DWT = 30.000$ t.

Il coefficiente di eccentricità C_e è in generale ricavabile dal grafico seguente:



Nel caso in esame, si utilizza il coefficiente di eccentricità $C_e = 0,40$ nell'ipotesi che il punto di ormeggio possa essere pari al 30% della lunghezza della nave misurato dalla prua.

Il coefficiente di massa virtuale C_m è stato ricavato mediante la seguente relazione:

$$C_m = 1 + (2D/B) = 1,4$$

dove:

D = pescaggio nave

B = larghezza nave

Il coefficiente di rigidità C_s , funzione dell'elasticità del fender e della scocca della nave, è variabile tra 0.9÷1: a vantaggio di sicurezza si assume $C_s = 1$.

Il coefficiente di accosto C_c è funzione della tipologia di accosto: per strutture di accosto non continue, come le briccole previste in progetto, si assume un valore pari a: $C_c = 1$.

Il coefficiente di impatto anomalo C_{ab} serve a garantire le incertezze dovute a:

Ñ danneggiamento del fender durante l'accosto;

Ñ alta frequenza delle operazioni di accosto che generano una maggiore probabilità di impatto anomalo;

Ñ vulnerabilità della struttura di accosto che supporta il fender;

Ñ si assume un valore del coefficiente di impatto anomalo pari a $C_{ab} = 2$.

In definitiva, il valore di energia di accosto risulta pari 938 kNm, ovvero 75,0 tm.

Nella pagina successiva si riporta il foglio di calcolo utilizzato per determinare il valore dell'energia di accosto, dove sono riportati i valori dei vari coefficienti.

10.2.5. REAZIONE SULLA STRUTTURA DI ACCOSTO

La forza di accosto trasmessa alla struttura è funzione sia della tipologia di nave che della tipologia di fender prevista nel progetto.

Una volta fissata la tipologia della nave e quindi i parametri che da questa derivano, essa dipende esclusivamente dalle caratteristiche del fender (geometria, materiale, caratteristiche prestazionali).

La reazione trasmessa sulla struttura è ricavabile dalle tabelle fornite dai diversi produttori di fender in funzione dell'energia assorbita.

Nel caso in esame si è previsto di utilizzare un fender con le seguenti caratteristiche prestazionali:

Ñ Energia assorbita= 938,00 kNm

Ñ Reazione trasmessa= 1.230,7 kN

Al valore dell'energia assorbita dal fender E_d , in precedenza calcolata, corrisponde quindi una reazione sulla briccola, in seguito alle manovre di accosto, prossima a 123,07 t.

10.2.6. FORZE DI ORMEGGIO DOVUTE AL VENTO

La pressione del vento sulla nave è stata determinata mediante la seguente relazione (Matteotti – Lineamenti di costruzioni marittime):

$$Q=0.0006*v^2 =0.0006*30^2= 0.54 \text{ Kpa}= 54 \text{ kg/mq}$$

dove “v” è la velocità del vento in m/s.

Indicando con S_l la superficie laterale della nave esposta al vento e pari a 2.325 mq, la forza che la nave trasmette alle strutture di accosto può essere così espressa:

$$F= Q *S_l = 54*2.325= 125.550 \text{ kg}$$

Trascurando, a vantaggio di sicurezza, che parte del carico derivante dall’azione del vento viene assorbito dagli ormeggi, la forza totale sulle briccole è distribuita su almeno 3 appoggi, per cui, sempre a vantaggio di sicurezza, si assume:

$$\text{azione del vento} = F/3 = 41.850 \text{ kg};$$

pertanto l’azione del vento risulta meno gravosa della forza derivante dall’accosto della nave.

10.2.7. TIRO BITTA

Per il tiro su ciascuna bitta, prevalentemente dovuto al vento sulle fiancate, si possono assumere i seguenti valori esposti in letteratura (Matteotti – Lineamenti di costruzioni marittime - 3° edizione - SGEEditoriali):

TAB. 7. IV

Tiro di ormeggio Q_b per tipo di nave (portata DWT)

Dislocamento D [t]	Tiro sulla bitta T [kN]
fino a 2.000	100
fino a 10.000	300
fino a 20.000	600
fino a 50.000	800
fino a 100.000	1.000
fino a 200.000	1.500
> di 200.000	2.000

N.B.: La linea del tiro è ipotizzata orizzontale. Per bitte isolate il valore riportato in tabella viene raddoppiato.

a vantaggio di sicurezza, si assume un valore di tiro pari a $T= 800 \text{ kN}$.

Questa forza agisce con inclinazioni, sia orizzontali che verticali, che fanno sì che anche questa azione sia meno gravosa della forza derivante dall’accosto della nave.

10.3. VERIFICA DELLE STRUTTURE

In questa seconda parte della relazione vengono espone le valutazioni effettuate per il corretto dimensionamento e quindi per la verifica delle strutture

10.3.1. DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA STRUTTURALE E PROBLEMI DI CALCOLO

La tipologia strutturale prevista in progetto è quella della realizzazione di briccole con un unico palo di grande diametro **D = 2.000 mm**.

Anche sulla base di precedenti esperienze si è valutato che questa tipologia, ampiamente diffusa e documentata nella letteratura di settore, consentirà un risparmio, soprattutto in termini di tempo di realizzazione.

Lo schema statico è quindi estremamente semplice, trattandosi di una mensola ammortata in un suolo che viene schematizzato come elastico.

Dapprima si è valutato la resistenza laterale del terreno rispetto alle azioni previste; poi, una volta accertata la possibilità di realizzare questa tipologia di struttura, si è effettuata un'analisi strutturale del palo per determinare le sollecitazioni agenti e quindi le armature necessarie.

10.3.2. CARICHI AGENTI E COMBINAZIONI DI CARICO

I carichi agenti sui pali e la loro tipologia, oltre al peso proprio degli stessi che viene automaticamente tenuto in conto dai programmi di calcolo, sono:

Fon – forza orizzontale dovuta all'accosto della nave	75 t	Variabile non contemporaneo
Fov – forza orizzontale dovuta all'azione del vento	42 t	Variabile non contemporaneo
Ft -forza inclinata dovuta al tiro delle cavi di ormeggio	80 t	Variabile non contemporaneo
Fp – carichi verticali trasmessi dalla passerella	10 t	permanente
PP – peso proprio testata briccola (argani,fender)	15 t	permanente

Nelle verifiche effettuate, le forze dovute all'accosto della nave, che rappresentano la condizione più gravosa per come sono state determinate, sono assimilate ad una combinazione di carico limite ultimo: infatti, le stesse sono state ricavate assumendo un coefficiente d'impatto anomalo assimilabile ad un coefficiente di sicurezza (Cab) pari a = 2.

10.3.3. VERIFICA DELLA RESISTENZA DEL TERRENO E ANALISI STRUTTURALE DEL PALO

La verifica a rottura per carichi orizzontali è condotta secondo la teoria di Broms (cfr. Fondazioni, Carlo Viggiani, ed. Hevelius 2000), che ipotizza un comportamento rigido plastico sia per il palo che per il terreno.

Per un terreno incoerente si assume che la resistenza del terreno vari linearmente con la profondità:

$$p = 3 \cdot K_p \cdot \gamma \cdot z \cdot d$$

dove:

$\bar{N} K_p$ coefficiente di spinta passiva

$\bar{N} \gamma$ peso dell'unità di volume



$\bar{N} z$ profondità

$\bar{N} d$ diametro del palo.

Affinché le verifiche risultino soddisfatte dovrà verificarsi la seguente:

$$Ed \leq Rd$$

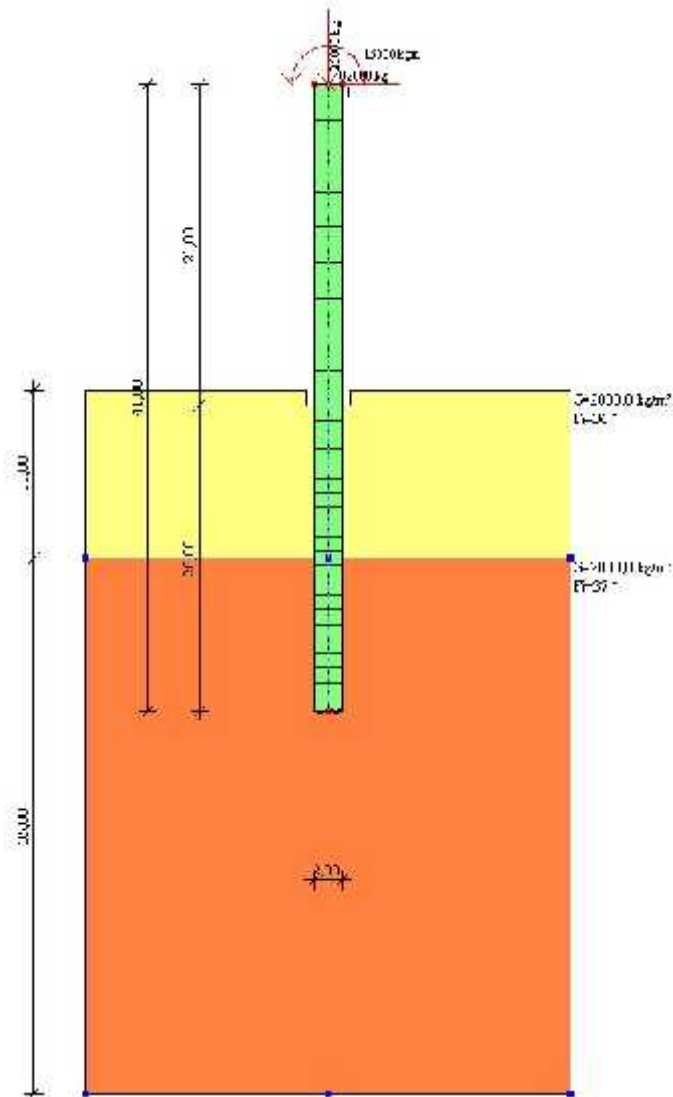
con:

$\bar{N} Ed$ = sollecitazione di progetto

$\bar{N} Rd$ = resistenza di progetto.

In questo caso, la lunghezza di infissione effettiva del palo, pari a 20,0 m, anche se risulta sovradimensionata al fine delle verifiche di portanza del palo, risulta necessaria per le verifiche secondo la teoria di Broms.

Di seguito viene rappresentata la schematizzazione del sistema palo terreno:



Dati generali

- Descrizione: palo trivellato D200 (2.000 mm)
- Diametro punta: 2,00 m
- Lunghezza: 20,00 m
- Sporgenza dal terreno: 21,00 m
- Accelerazione sismica: 0,35
- Coeff. Poisson strato punta palo (max 0.5): 0,50
- Profondità falda da piano campagna 0.01 m
- Fattori di sicurezza
- Sicurezza instabilità 5,00
- Carico limite laterale 1,00
- Carico limite punta 1,00
- Caratteristiche calcestruzzo:
 - Rck 350,00 kg/cm²
 - Modulo elastico 337.217 kg/cm²
 - Peso Specifico 2.500,00 kg/m³
- Caratteristiche armatura:
 - B450C
 - Fyk (Tensione caratteristica di snervam.) 4.300,00 kg/cm²
 - Modulo elastico 2.100.000,00 kg/cm²
- Modello ad elementi finiti:
 - Max spostamento lineare del terreno: 0,01 m
 - Tipo analisi: Lineare
 - Massimo numero di iterazioni: 60,00
 - Fattore di riduzione molla fondo scavo: 1,00
 - Numero di elementi: 30,00
 - Nodo sulla superf. del terreno [$< n^{\circ}$ nodi]: 10,00
 - Modulo di reazione Ks: Bowles

È effettuata anche una verifica strutturale della sezione maggiormente sollecitata secondo l'Eurocodice vigente.

11. CONCLUSIONI

Nella presente relazione si sono riportate le valutazioni effettuate per il corretto dimensionamento e la verifica delle strutture delle briccole previste in progetto.

La tipologia individuata (monopalo) risponde alle caratteristiche prestazionali richieste in termini di resistenza alle forze orizzontali (in particolare a quelle derivanti dall'ormeggio delle navi) e ai carichi verticali.

La realizzazione di questo tipo di opere comporta un sensibile risparmio, soprattutto in termini di tempi di realizzazione.

Da quanto esposto, si può affermare che la sezione del palo (bricola della piattaforma a mare) risulta dimensionata in modo tale da soddisfare le verifiche prescritte dalla normativa vigente; inoltre, i parametri di calcolo applicati sono cautelativi, potendo soddisfare le condizioni di stabilità e sicurezza della piattaforma off-shore in caso di eventi marini di eccezionale intensità, quali maremoti (con riferimento alle mappe del rischio elaborate da ISPRA).

In ogni caso, le valutazioni effettuate andranno avvalorate dai calcoli da eseguire in una fase successiva, non appena saranno pervenute le indagini batimetriche e le indagini geotecniche-geognostiche puntuali, al fine di individuare la profondità esatta degli strati e i parametri medi fisico-meccanici dei fondali; in tale occasione, come prescritto dal Comando Provinciale dei VV.F. con nota prot. 535.U del 23/01/2020, si potrà procedere anche alla verifica delle conseguenze indotte alla piattaforma off-shore in caso di maremoti, apportando eventuali modifiche, che potranno consistere esclusivamente in una maggiore lunghezza dei pali.

Il Tecnico

Ing. Roberto de Rosa