

# Decal Mediterraneo srl

## Progetto definitivo degli interventi per il ripristino funzionale del Pontile consortile di Punta Cugno



### RELAZIONE TECNICA



## Decal Mediterraneo SRL

### Progetto definitivo degli interventi per il ripristino funzionale del **Pontile consortile di Punta Cugno**



#### RELAZIONE TECNICA



VERSIONE	1.00	1.10	1.2
DATA	21/01/2010	08/04/2010	24/05/2011
REDATTO	AG; MC; FN	AG; MC; FN	AG; MC; FN
APPROVATO	FN	FN	FN
NOTE			

## Edizioni del documento

**Edizione 1.0** – (21/01/2011). Prima emissione del documento.

**Edizione 1.1** – (08/04/2011). Revisione interna del documento e trasmissione del documento alla DECAL in bozza.

**Edizione 1.2** – (24/05/2011). Revisione del documento ed integrazione delle osservazioni DECAL. Trasmissione del documento alla DECAL

## Indice

1. Introduzione .....	6
2. Informazioni generali e descrizione dell'opera .....	7
3. Normativa di riferimento.....	11
4. Analisi qualitativa delle condizioni attuali della struttura.....	12
4.1. Rilievo fotografico delle strutture del Pontile.....	12
4.2. Strutture in c.a. ....	15
4.3. Strutture in acciaio.....	18
5. Analisi quantitativa tecnica della struttura .....	20
5.1. Pontile carrabile di collegamento .....	21
5.2. Piattaforme e bricole di accosto.....	21
5.2.1. Energia d'accosto.....	22
5.2.2. Energia assorbita dalla bricola .....	26
5.2.3. Verifica spessore minimo.....	32
5.2.4. Ipotesi spessore effettivo ipotizzato.....	33
6. Interventi .....	35
6.1. Calcestruzzo .....	35
6.2. Acciaio .....	35
6.3. Metodologia di intervento .....	36

## Elenco delle figure

Figura 1: Corografia generale del porto d'Augusta .....	8
Figura 2: Vista dall'alto del pontile .....	9
Figura 3: Pontile e accosto nave 7000 DWT .....	12
Figura 4: Vista passerella pedonale nel tratto terminale .....	13
Figura 5: Geometria pontile (vista da accosto 60000 DWT).....	13
Figura 6: Briccola quadripalo di accosto.....	14

Figura 7: Fender.....	14
Figura 8: Intradosso pontile carrabile.....	16
Figura 9: Dettaglio baggioli di appoggio.....	16
Figura 10: Evidenza rottura a taglio briccola di estremità in c.a. ....	17
Figura 11: Rimozione protezione esterna e degrado pali infissi in acciaio .....	19
Figura 13: Geometria pontile e disposizione di massima delle palificate .....	20
Figura 14: Schema di urto imbarcazione di riferimento contro fender .....	22
Figura 15: Fonte BS 6349.....	24
Figura 16: Confronto PIANC 2002 e BS 6349.....	24
Figura 17: Istruzioni PIANC 2002 confrontate con le BS 6349.....	25
Figura 18: Schema tipo di fender cilindrico.....	26
Figura 19: Modellazione briccola quadripalo .....	29
Figura 20: Applicazione delle forze .....	30
Figura 21: Diagrammi di calcolo risultanti per taglio e momento.....	31
Figura 22: Andamento tipico della velocità media di corrosione uniforme dell'acciaio al carbonio in acqua di mare.....	33

## Elenco delle tabelle

Tabella 1: Valori di reazione per tipo di Fender cilindrico.....	27
--	----

## 1. Introduzione

La presente relazione tecnica, che si inserisce nel contesto del progetto definitivo degli interventi di ripristino funzionale delle strutture del Pontile Consortile di Punta Cugno (Pontile), descrive il quadro conoscitivo delle condizioni manutentive del Pontile e fornisce un'analisi ingegneristica quantitativa degli interventi.

In particolare, essendo la struttura attualmente affetta da significativi problemi di:

1. Stato dei calcestruzzi e dei copriferri in particolare della struttura principale, delle piattaforme e delle briccole di accosto (cfr. Cap. 4.2)
2. Corrosione dei pali di sostegno ed assenza del sistema di protezione catodica (cfr. Cap. 4.3)

si rendono necessari sia interventi di consolidamento strutturale degli elementi portanti esistenti che interventi di adeguamento ed integrazione strutturale ed impiantistica per l'equipaggiamento del Pontile come terminal petrolifero. Il presente lavoro fa specifico riferimento agli interventi di consolidamento ed adeguamento delle opere civili.

Ciò premesso, il presente documento è strutturato come segue: dopo una prima sezione di inquadramento generale sull'area territoriale di pertinenza e circa la normativa di riferimento inserita rispettivamente nei capitoli 1 e 4, si riporta la descrizione dell'opera nelle condizioni attuali sia dal punto di vista qualitativo nel capitolo 4 che quantitativo nel capitolo 5 (stato di fatto dell'opera), dopo il quale si inserisce nel successivo capitolo 6 la caratterizzazione ingegneristica degli interventi.

## 2. Informazioni generali e descrizione dell'opera

Una descrizione generale e tecnica dell'opera è inclusa in questa sezione che acquisisce e sintetizza le informazioni ed i dati della relazione generale tecnico-illustrativa del progetto originale dell'opera. Le informazioni che seguono sono utili alla caratterizzazione tecnica di riferimento dell'opera "as-built", come da realizzazione trenta anni orsono, utile per lo sviluppo di un quadro conoscitivo generale alla base della redazione dell'analisi qualitative e quantitative delle condizioni e funzionalità attuali della struttura oggetto del capitolo 4 e seguenti.

Il pontile di Punta Cugno fu realizzato negli anni '70 mediante un finanziamento dalla Cassa per il Mezzogiorno nell'ambito del progetto speciale n. 2 "Infrastrutture per lo sviluppo della Sicilia Sud-Orientale" formulato dal CIPE nell'agosto del 1972 nell'ambito della riorganizzazione della Rada del porto di Augusta. Il progetto del Pontile, basato su una variante al Piano Regolatore dei Porto del Augusta approvata con voto n. 963 del 14 Novembre 1973 dalla III Sezione dei C.S.LL.PP., si inserisce nella zona industriale consortile tra il fiume Mulinello ed il fiume Marcellino per la movimentazione di prodotti petrolchimici e petrolio grezzo.

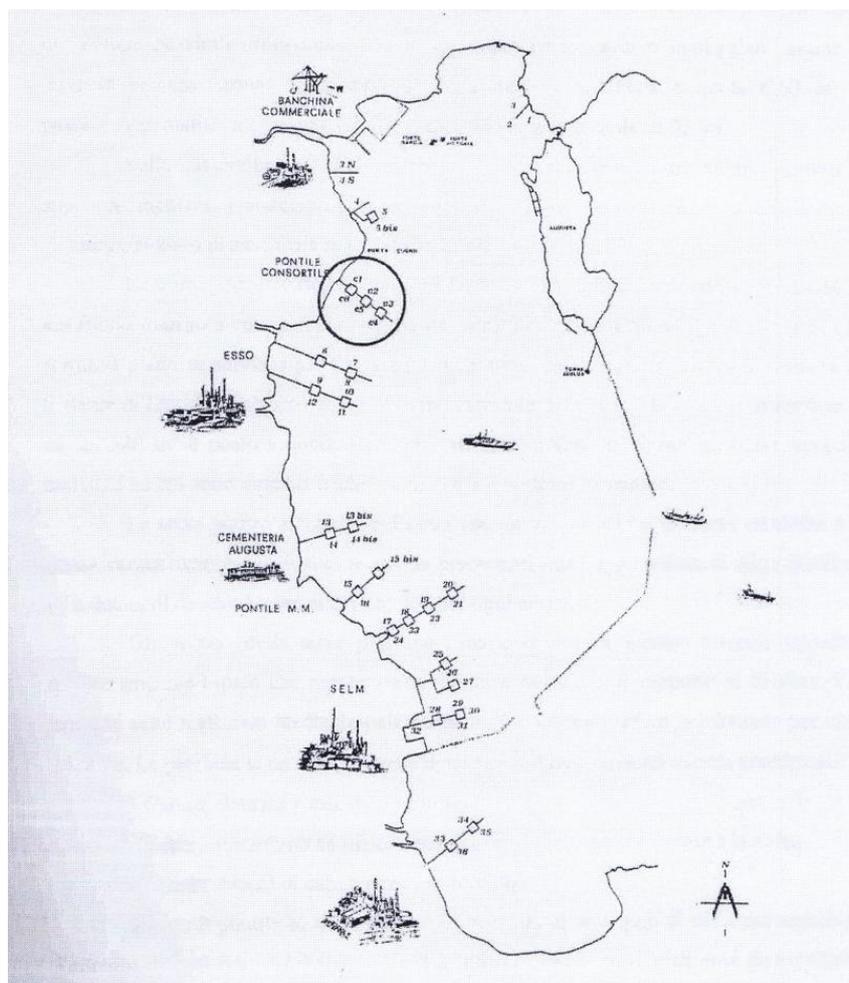
Il progetto del pontile prevedeva la costruzione di quattro piattaforme collegate tra loro mediante passerelle carrabili, pedonali e porta tubi. Le quattro piattaforme consentivano l'accosto dei seguenti tipi di natanti:

- Piattaforma n. 1: due navi da 7.000 DWT;
- Piattaforma n. 2: due navi da 7.000 DWT;
- Piattaforma n. 3: due navi da 60.000 DWT;

La piattaforma n. 4 era originalmente prevista per l'attracco di due navi da 250.000 DWT ma non fu mai realizzata.

Il Pontile - ubicato a circa 800 m a Sud dei precedenti pontili di Punta Cugno, orientato per 128° N lungo circa 740 m circa - è costituito da una struttura fondata su pali di acciaio infissi nel fondo marino. Alla radice del Pontile fu realizzata una colmata a caratterizzare un terrapieno con mantellata di protezione che connette la struttura a terra, mentre a mare furono necessari significativi scavi (dragaggi) per garantire la profondità per l'attracco delle navi di progetto soprattutto in corrispondenza delle piattaforme di accosto.

Procedendo dalla zona inshore alla zona offshore, si trovano, nell'ordine, una rampa di accesso al piano di calpestio del pontile lunga 52.50 m, un tratto di raccordo tra il muro di contenimento della rampa e la prima stilata del pontile di 15.30 m, quindi la struttura principale del pontile con piattaforme annesse, ma strutturalmente indipendenti per una lunghezza totale di 585.50 m alla fine della quale si trovano due passerelle al segnalamento di testata per una ulteriore lunghezza complessiva di 181.00 m.



**Figura 1: Corografia generale del porto d'Augusta**

Sul pontile si trovano, procedendo da terra verso mare, un primo tratto di passerella carrabile lungo 109.5 m che immette in una prima piazzola di 31x51 m. (accosti C1 e C6 per navi fino a 7000 DWT, vedi Figura 2 e Figura 12). Segue un secondo tratto carrabile di 146.00 m quindi una piazzola di 31x51 m. (accosti, C2 e C5 per navi fino a 7000 DWT). Un terzo tratto di passerella sempre carrabile lungo 218 m porta alla terza piazzola di 40x51 m (accosti C3 e C4 per navi fino a 60000 DWT). Una passerella carrabile in carpenteria metallica di 163.30 m porta infine alla passerella pedonale, con lunghezza pari a 17.70 m, di collegamento tra le bricole di ormeggio quadripalo di testata (si veda Figura 12).



**Figura 2: Vista dall'alto del pontile**

Le passerelle carrabili sono state originalmente realizzate con un telaio realizzato con profilati IPE 140 (aventi dimensioni esterne pari a 154 cm di base e 248 cm di altezza) e sono fondate su pali in acciaio di diametro pari a 1420 mm e spessore 16.5 mm infissi nel fondale.

Le stilate sono formate da due pali. Le passerelle sono state progettate per supportare un'autogru di 15 tonnellate.

Su ogni stilata ad una quota di +1.50 m è poggiato un traversone in calcestruzzo armato, di lunghezza pari a 12.40 m nei primi due tratti del pontile e 10.20 in nell'ultimo tratto, su cui poggiano le tubazioni.

Le tubazioni sono sostenute da una struttura in cemento armato precompresso. Sopra i traversoni si appoggiano anche le travi in cemento armato precompresso sulle quali è sistemata a quota 6.50 m la passerella carrabile in cemento armato avente una larghezza utile di 3.5 m. Sulla passerella sono inoltre presenti due marciapiedi larghi 90 cm muniti di apposita ringhiera. I marciapiedi sono dotati di appositi cunicoli ispezionabili dedicati all'alloggiamento di cavi della rete elettrica e telefonica.

Le prime due piattaforme sono realizzate su pali infissi mediamente per 13.60 m nel fondo marino e collegati tra loro da una struttura, posta a quota +4.00 m circa, che forma il piano di servizio per l'appoggio delle tubazioni, stagno e tale da contenere un battente di liquido di almeno 25cm. Il piano carrabile delle piazzole è posto a quota +6.50 m con una superficie di circa 1580 m<sup>2</sup>. Gli accosti sono realizzati mediante supporti metallici su cui sono montati fender di gomma e bottazzi in azobbè.

La terza piazzola è stata realizzata ancora su pali ed ha la stessa struttura e le stesse caratteristiche funzionali delle due precedenti, ma ha una superficie di circa 2040 m<sup>2</sup> ed era originariamente dotata di quattro bracci di carico, due per ogni accosto.

Gli accosti della terza piazzola sono costituiti da quattro briccole tripalo e quattro briccole bipalo che reggono una struttura metallica di supporto ai fender. Tali briccole sono realizzate mediante pali verticali da 1420 mm infissi nel fondale per circa 14.50 m. Le piazzole sono state progettate per sopportare i seguenti carichi accidentali:

- Cabina elettrica e sala di controllo;
- Fabbricato adibito ad uffici e servizi;
- Quattro bracci di carico per ogni accosto.

Lungo il pontile sono distribuite 12 briccole di ormeggio di cui 4 monopalo per l'attracco di navi fino a 7.000 DWT e 8 quadripalo per l'attracco di navi fino a 60.000 DWT, in modo tale da impedire possibili urti contro il pontile durante le manovre di accosto e di disormeggio vista la grande varietà nelle dimensioni delle navi di progetto. Le briccole sono state originariamente progettate per assorbire circa metà dell'energia cinetica di una nave con dinamica di accosto corrispondente alle seguenti ipotesi:

- Nave da 7.000 DWT : V=30 cm/sec;
- Nave da 60.000 DWT: V = 17 cm/sec;

Sulle briccole di ormeggio ed agli angoli delle tre piazzole sono ubicati ganci a scocca.

Le tubazioni di servizio di cui è dotato il pontile sono state previste per il trasporto di:

- Aria compressa (una linea da quattro pollici);
- Acqua potabile (una linea da quattro pollici);
- Zavorra (due linee da quattro pollici);
- Antincendio (una linea da venti pollici);
- Acqua industriale (una linea da sedici pollici);
- Bunkers (due linee da otto pollici);

Inoltre sono presenti delle tubazioni di servizio per l'alimentazione dell'impianto antincendio costituito da:

- un impianto fisso a schiuma meccanica, costituito da cannoni posti su torrette;
- un impianto fisso ad ugelli per acqua nebulizzata;
- una rete idrica, con diametro pari a venti pollici, collegata ad idranti a colonna.

Sono state altresì previste idonee apparecchiature per il convogliamento delle zavorre di lavaggio, la pulizia delle tubazioni ("pigs"), il collegamento alle torce di tutti gli scarichi delle valvole di sicurezza, l'impianto di protezione contro le scariche atmosferiche con parafulmine per la protezione dell'intera zona interessata dal pontile, nonché una linea telefonica.

I fondali sono stati dragati in parte fino alla quota -5.80 in ed in parte fino alla quota -13.30 m in corrispondenza delle tre piattaforme per permettere l'accosto, rispettivamente, di navi da 7.000 DWT e di navi da 60.0000 DWT.

La scogliera di contenimento, a monte del riempimento dell'area, è costituita da un nucleo ai tout-venant opportunamente protetto attraverso una mantellata in massi di seconda e terza categoria e con pendenza pari a 1:2.5 al fine di minimizzare gli eventuali fenomeni di riflessione dovuti all'onda incidente.

Il progetto originale del pontile è stato redatto dalla società Italimpianti S.p.A. di Genova ed approvato con parere favorevole della Delegazione Speciale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici reso con voto n. 311 del 12 Novembre 1975. Il Consiglio di Amministrazione della Cassa per il Mezzogiorno ha approvato il progetto con deliberazione n. 3438/PS del 19 Dicembre 1975.

### 3. Normativa di riferimento

La norma di riferimento, utilizzata nel contesto del progetto definitivo degli interventi di ripristino funzionale del Pontile, è l'attuale testo unico delle costruzioni, il **D.M. 14 gennaio 2008**.

Nei casi in cui il testo non fornisca indicazioni specifiche, si sono adottati i seguenti codici:

- Normativa inglese *BS 6349 – 1994 Maritime structures — Part 4: Code of practice for design of fendering and mooring systems* (d'ora innanzi *BS 6349*)
- *PIANC – Guidelines for the design of fender systems, 2002* (d'ora innanzi *PIANC 2002*)

## 4. Analisi qualitativa delle condizioni attuali della struttura

Al fine di valutare lo stato di fatto delle opere è stato effettuato un sopralluogo in situ il 23 novembre 2010 le cui risultante sono inserite qui di seguito con particolare riguardo a:

- Documentazione fotografica rappresentante la geometria degli elementi principali ed accessori del pontile (cfr. Cap. 4.1)
- Analisi qualitativa delle condizioni dei calcestruzzi della struttura principale del pontile (cfr. Cap. 4.2)
- Analisi qualitativa delle condizioni dei pali di sostegno(Cap. 4.3).

### 4.1. Rilievo fotografico delle strutture del Pontile

Un estratto della documentazione fotografica è inserito qui di seguito.



**Figura 3: Pontile e accosto nave 7000 DWT**



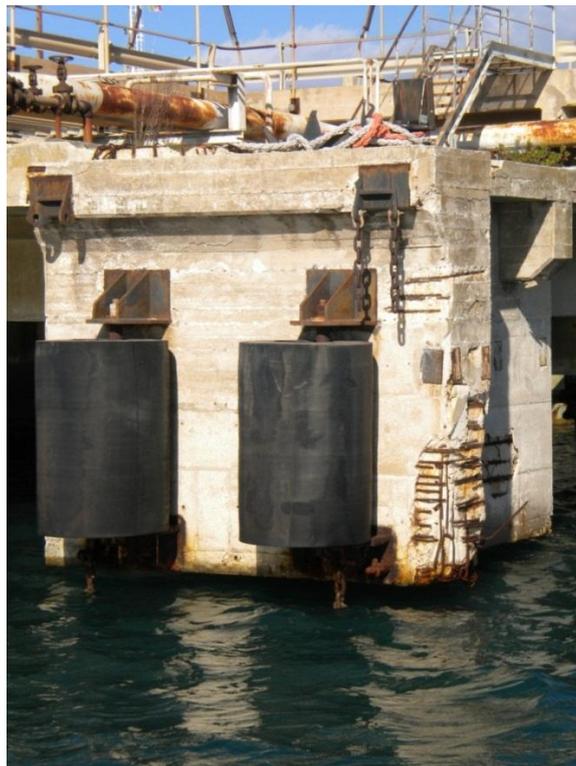
**Figura 4: Vista passerella pedonale nel tratto terminale**



**Figura 5: Geometria pontile (vista da accosto 60000 DWT)**



**Figura 6: Briccola quadripalo di accosto**



**Figura 7: Fender**

## 4.2. Strutture in c.a.

Le strutture principali in c.a. che costituiscono l'opera sono le seguenti:

- Travi in cemento armato di sostegno tubazioni e passerella carrabile
- Baggioli di appoggio delle travi del pontile
- Briccole e piattaforme di accosto

Le prime presentano un ottimo stato di conservazione lungo tutto il pontile, non essendo state soggette nel corso del tempo all'azione dell'acqua di mare a causa della loro naturale sopraelevazione rispetto al livello medio marino. Tutte le altre opere che invece hanno subito l'azione dell'acqua marina (e quindi baggioli, briccole e piattaforme) presentano nelle interfacce di contatto evidenti stati di ammaloramento e degrado con parziali o totali distacchi del copriferro e successiva corrosione delle armature.

Questi elementi, infatti, sono stati molto probabilmente soggetti nel corso della loro storia a fenomeni di:

- *Erosione*, dovuta all'usura provocata dall'acqua in movimento e contenente particelle solide sospese
- *Cavitazione*, nei casi di velocità del moto ondoso superiore ai 12 m/s circa ( $\approx 43$  Km/h) che genera fenomeni di rimozione del materiale
- *Attacchi chimico – fisici* come:
  - *Dilavamento*, a causa del contatto dell'acqua con atmosfera ricca di anidride carbonica, causa della degenerazione chimica della matrice di calcestruzzo
  - *Solfati*, presenti in abbondanza in acqua di mare, la cui reazione con gli alluminati del cemento causa un aumento di volume per cui le parti corticali si gonfiano e producono fessurazioni che espongono la massa interna al degrado
  - *Cloruri*, NaCl nell'acqua di mare che reagisce con gli aggregati del calcestruzzo causando un rigonfiamento localizzato che si manifesta nel tempo con fessurazioni di forma irregolare, concausa dell' seguente distacco superficiale
  - *Carbonatazione*, fenomeno di diminuzione del PH nella matrice cementizia che crea le condizioni favorevoli al processo di corrosione dell'acciaio dovuto all'ingresso di ossigeno e di umidità

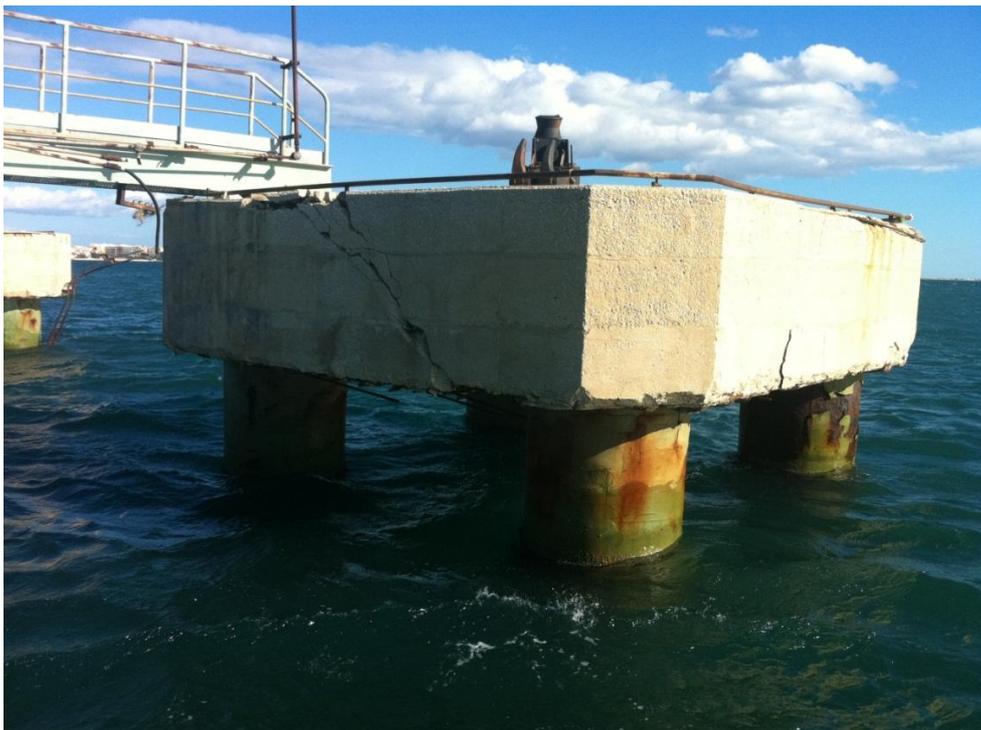
Nel caso delle briccole quadripalo terminali si evidenzia una rottura a taglio dell'intero blocco di testata, dovuto all'impatto dirompente dell'urto di un'imbarcazione avvenuto in passato.



**Figura 8: Intradosso pontile carrabile**



**Figura 9: Dettaglio baggioli di appoggio**



**Figura 10: Evidenza rottura a taglio briccola di estremità in c.a.**

### 4.3. Strutture in acciaio

Gli elementi di sostegno delle strutture in cemento armato sono costituiti da palificate in acciaio al carbonio infisse nel fondale. Avendo a disposizione solo il rilievo visivo in emersione, si può ragionevolmente assumere che esse siano state soggette ad un fenomeno di corrosione pressoché omogeneo ed uniforme tra tutti i pali del pontile, briccole e piattaforme (essendo esposti allo stesso tipo di ambiente, assunzione estendibile anche alle palificate nella parte più coperta delle piattaforme).

Per un'analisi più in dettaglio del fenomeno, si è fatto riferimento in questa fase tecnica alle condizioni caratteristiche già studiate dalla letteratura tecnica odierna.

Tipicamente le condizioni idrodinamiche e la diversa disponibilità di ossigeno portano a poter distinguere quattro zone di corrosione lungo il palo : atmosferica, delle maree, di immersione e del fango:

1. *Zona atmosferica*: parte da una certa altezza al di sopra del livello medio del mare, ove la struttura non è più continuamente bagnata dagli spruzzi, e dove si verifica il fenomeno di corrosione atmosferica
2. *Zona degli spruzzi e delle maree*: si estende dal livello della bassa marea fino alla zona atmosferica ed è suddivisa in:
  - a. *Area interessata al succedersi delle maree*
  - b. *Area soggetta agli spruzzi*: in questa è sempre presente un sottile strato di ambiente salino ed è quella dove si raggiungono le velocità di corrosione più elevate, circa di un ordine di grandezza più elevate nella zona di continua immersione
3. *Zona di continua immersione*: costituite da zone in contatto continuo con l'acqua di mare
4. *Zona del fango*: poste al di sotto del fondo marino, avendo contenuto di ossigeno molto basso sono soggetti ad una velocità di corrosione molto bassa

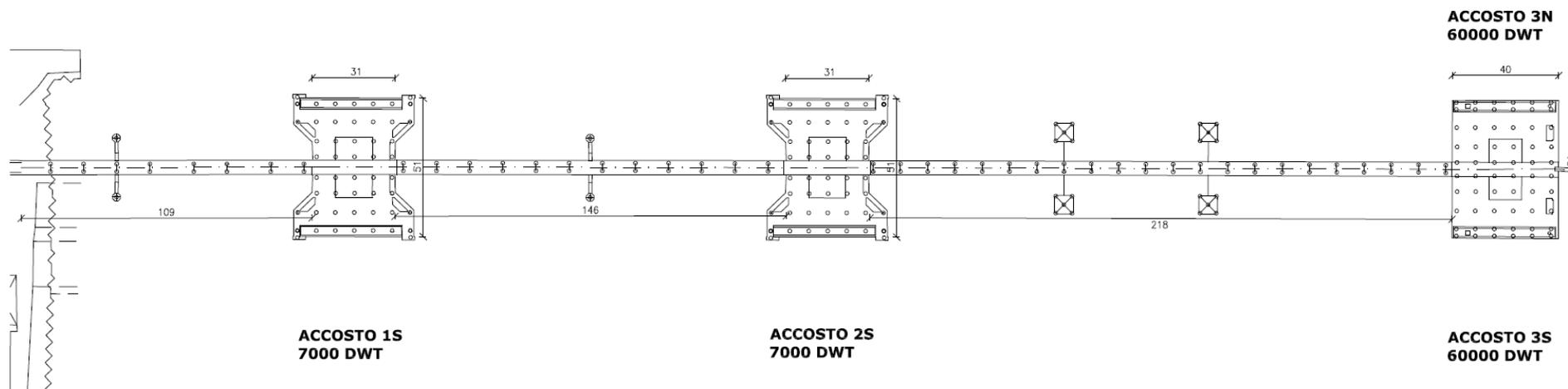
Per contrastare questi fenomeni è stata applicato un rivestimento organico intorno ai pali e si è adottata la protezione catodica. Entrambi questi elementi sono venuti meno nella maggior parte dei pali in corrispondenza delle prime due zone (le altre non sono state ispezionate ma, come spiegato precedentemente, presentano di natura condizioni meno favorevoli allo sviluppo della corrosione) causando la riduzione dello spessore resistente degli elementi in acciaio.



**Figura 11: Rimozione protezione esterna e degrado pali infissi in acciaio**

## 5. Analisi quantitativa tecnica della struttura

Il ripristino del pontile in questa fase interessa gli accosti 1S (ex. C6) e 2S (ex. C5) per navi da 7000 DWT e 3S (ex. C4) e 3N (ex. C3) per navi da 60000 DWT. Sono interessati dall'intervento circa 250 pali secondo la geometria indicata in figura:



**Figura 12: Geometria pontile e disposizione di massima delle palificate**

La precisione della disposizione in pianta delle palificate è affetta da mancanza di ulteriori informazioni oltre al primo sopralluogo e al contenuto dell'introduzione. Sarà necessario quindi in seconda fase una campagna di rilievo più accurata per comprendere l'effettiva distribuzione.

A causa delle esigue informazioni a disposizione in questa fase, si è deciso di scindere l'analisi in due parti:

- il pontile di collegamento delle piattaforme
- le piattaforme e le relative bricole d'accosto

## 5.1. Pontile carrabile di collegamento

Il pontile è soggetto a carichi di prevalente natura verticale, dovendo sopportare il peso delle travi in c.a. appoggiate sui baggioli che collegano la coppia di pali. Le travi permettono di avere un passaggio carrabile sull'estradosso e di sopportare il peso delle tubazioni e impianti.

Non essendo mutata la destinazione d'uso del pontile (progettato per permettere l'accesso alle piattaforme dove accostano navi da 7000 e 60000 DWT), avendo le palificate un ottimo comportamento a carichi verticali ed essendo i baggioli in condizioni di ammaloramento ma non di incipiente collasso, si può evitare in questa fase tecnica uno studio delle azioni di progetto.

## 5.2. Piattaforme e briccole di accosto

Le briccole e le piattaforme sono soggette all'urto della nave in accosto che rappresenta l'azione più gravosa che insiste su questa struttura, oltre ad essere l'unica concretamente valutabile in questa fase dell'analisi. L'elemento più vulnerabile è rappresentato dal palo in acciaio.

Nei seguenti paragrafi si procederà quindi come segue:

- Si assume come azione dimensionante la condizione più gravosa di urto dell'imbarcazione da 60000 DWT su una briccola quadripalo d'accosto, progettata per assorbirne la metà dell'energia cinetica dell'accosto della nave
- Si assume come palo di progetto la tipologia indicata nel capitolo introduttivo
- Si progetta il fender adatto a trasmettere la reazione al palo e, tramite modellazione numerica, si determinerà l'energia assorbibile dalla briccola
- Si verifica la resistenza del palo di progetto assumendo lo spessore nominale
- Si stima lo spessore attuale e si traggono le conclusioni per l'intervento da adottare

### 5.2.1. Energia d'accosto

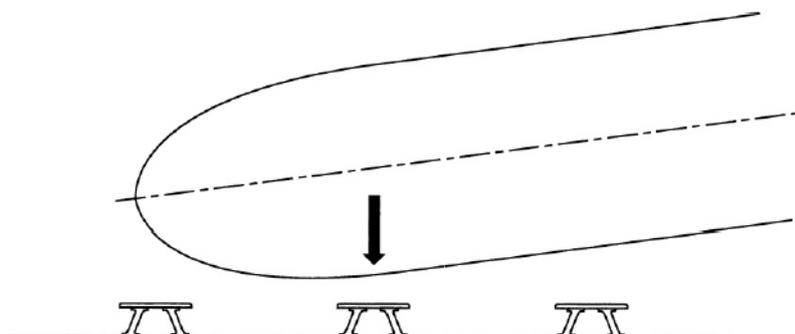


Figura 13: Schema di urto imbarcazione di riferimento contro fender

Le bricole d'accosto dissipano l'energia trasmessa dall'urto della nave attraverso la trasformazione di questa energia in lavoro di deformazione elastica.

Per la verifica dell'accosto occorre pertanto determinare l'energia di progetto che dovrà essere assorbita dalle bricole; tale valore è calcolato come:

$$E = 0.5 C_M M_D V_B^2 C_E C_S C_C$$

dove:

- $M_D$  = massa della nave
- $V_B$  = componente normale della velocità di accosto
- $C_M$  = coefficiente di massa virtuale
- $C_E$  = coefficiente di eccentricità
- $C_C$  = coefficiente di configurazione dell'accosto
- $C_S$  = coefficiente di assorbimento

Nel caso in esame i diversi parametri assumono i valori di seguito calcolati.

### COEFFICIENTE DI MASSA VIRTUALE $C_M$

Il coefficiente di massa considera l'effetto della circolazione dell'acqua attorno alla nave nella fase di accosto, provocando un aumento della massa totale del sistema da considerare nel calcolo finale dell'energia. L'equazione di riferimento è:

$$C_M = 1 + \frac{2D}{B}$$

dove:

- D = pescaggio medio della nave
- B = larghezza media della nave

Nel caso in esame si ha:

$$C_M = 1 + (2 \times 10 / 31) = 1.65$$

### MASSA DELLA NAVE

Il dislocamento complessivo della nave ( $M_D$ ) è dato dalla somma tra il peso della nave (LWT) e la portata lorda massima (DWT).

In questo caso si ha come configurazione di progetto il "tanker" da 60000 DWT.

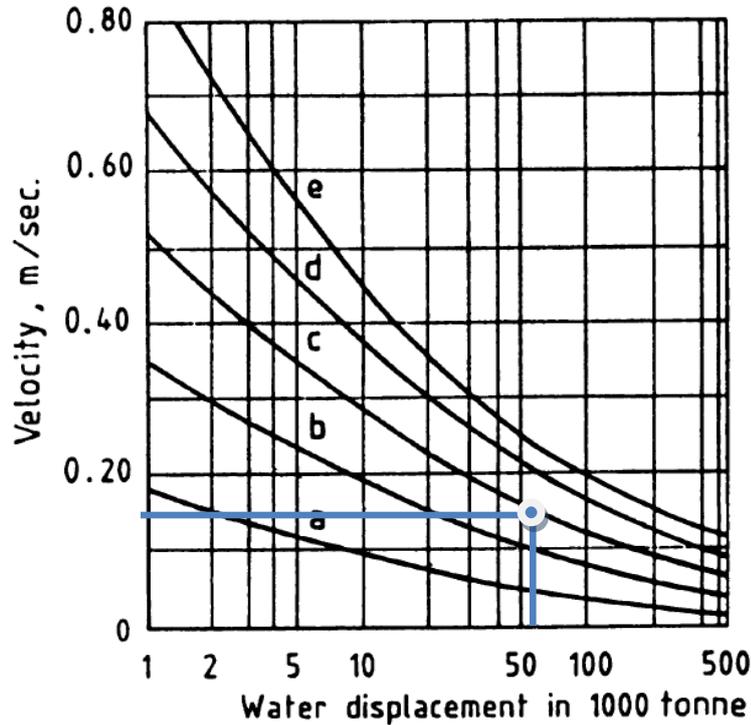
Dai dati forniti dalla Direzione Tecnica di Decal per l'impianto di Marghera, assunto come riferimento in questa fase di assenza di ulteriori dati, risulta che il dislocamento delle navi che usualmente impegnano l'accosto è pari a:

$$M_D = 49000 \text{ t.}$$

### VELOCITÀ DI ACCOSTO

La componente normale della velocità dipende dal grado di difficoltà dell'accosto, dall'esposizione dello stesso e dalla grandezza della nave.

Nel caso in esame, assumendo un dislocamento pari a 60000 DWT e la curva c) (attracco facile, pontile esposto), si ha come velocità di progetto  $V = 0.17$  m/sec, come la configurazione indicata nella fase di progettazione originaria.



**Figure 1 — Design berthing velocity as function of navigation conditions and size of vessel (Brolsma et al, 1977)**

Figura 14: Fonte BS 6349

La curva di Brolsma, 1977 per la tipologia di attracco c) è compatibile con le ultime linee guida internazionali (PIANC, 2002) come mostrato in figura:

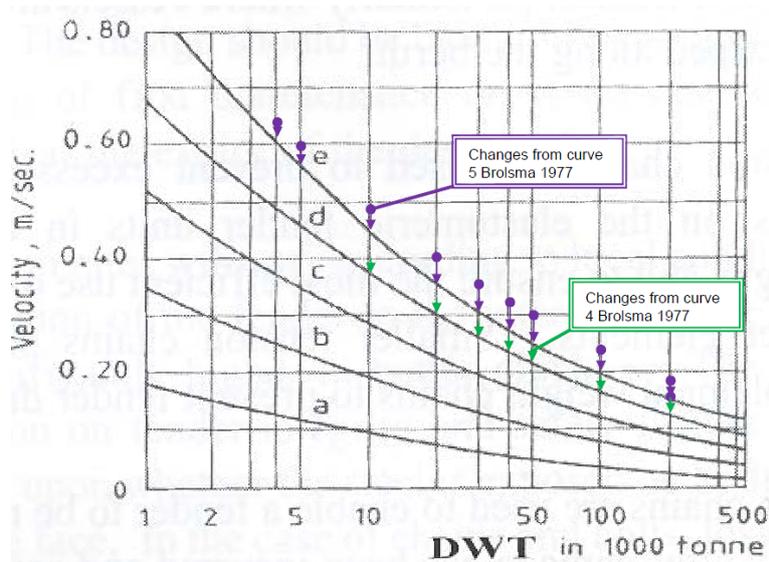


Figura 15: Confronto PIANC 2002 e BS 6349

### COEFFICIENTE DI ECCENTRICITÀ $C_E$

Il coefficiente di eccentricità è influenzato dall'angolo di approccio della nave e dall'eccentricità del centro di gravità della nave stessa rispetto al punto di impatto. Esso considera l'energia dissipata dalla rotazione della nave attorno al punto di impatto con i fenders. Facendo riferimento alle istruzioni PIANC, 2002 seguenti:

Typical Block Coefficients( $C_B$ )		
Type of Vessel	$C_B$ BS 6349	$C_B$ PIANC 2002
Tankers	0.72~0.85	0.85
Bulk Carriers	0.72~0.85	0.72~0.85
Container Ships	0.65~0.75	0.60~0.80
General Cargo	0.60~0.75	0.72~0.85
RoRo Vessels	0.65~0.70	0.70~0.80
Ferries	0.50~0.65	0.55~0.65

Figura 16: Istruzioni PIANC 2002 confrontate con le BS 6349

Si può assumere  $C_E = 0.85$ .

### COEFFICIENTE DI CONFIGURAZIONE DELL'ACCOSTO $C_C$

Dipende dalla tipologia dell'accosto che, nel caso di specie (palo isolato non collegato ad una struttura fissa), può essere considerato una struttura "aperta". In tal caso si ha:

$$C_C = 1$$

### COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO $C_S$

Si deve tener conto che non tutta l'energia di accosto è assorbita dalle briccole, ma una parte viene consumata nelle deformazioni elastiche che subiscono le fiancate delle navi. Tale fenomeno viene considerato mediante il coefficiente di assorbimento che risulta sperimentalmente pari a circa:

$$C_S = 0.9$$

Si ha dunque che l'energia di progetto assorbita dalla briccola risulta pari a:

$$E_N = 0.5 \times 49000 \times 0.17^2 \times 1.65 \times 0.85 \times 1 \times 0.9 = \mathbf{894 \text{ KN m}}$$

Dai dati di progetto si ha che le briccole sono progettate per assorbire la metà di questa energia cinetica, e pertanto:  $E_N = \mathbf{447 \text{ KN m}}$ .

## 5.2.2. Energia assorbita dalla briccola

L'energia complessiva che la briccola (palo + fender) è in grado di assorbire è rappresentata dalla somma tra l'energia assorbita dal fender e quella assorbita dalla deformazione elastica del palo.

### ENERGIA ASSORBITA DAI FENDERS

Come si può notare in Figura 7 lo schema presente è quello di due fenders molto ravvicinati tra loro. Per considerare quindi degli più prossimi a quelli installati in questa fase di modellazione, si sono considerati i *MCO CYLINDRICAL RUBBER FENDERS* :

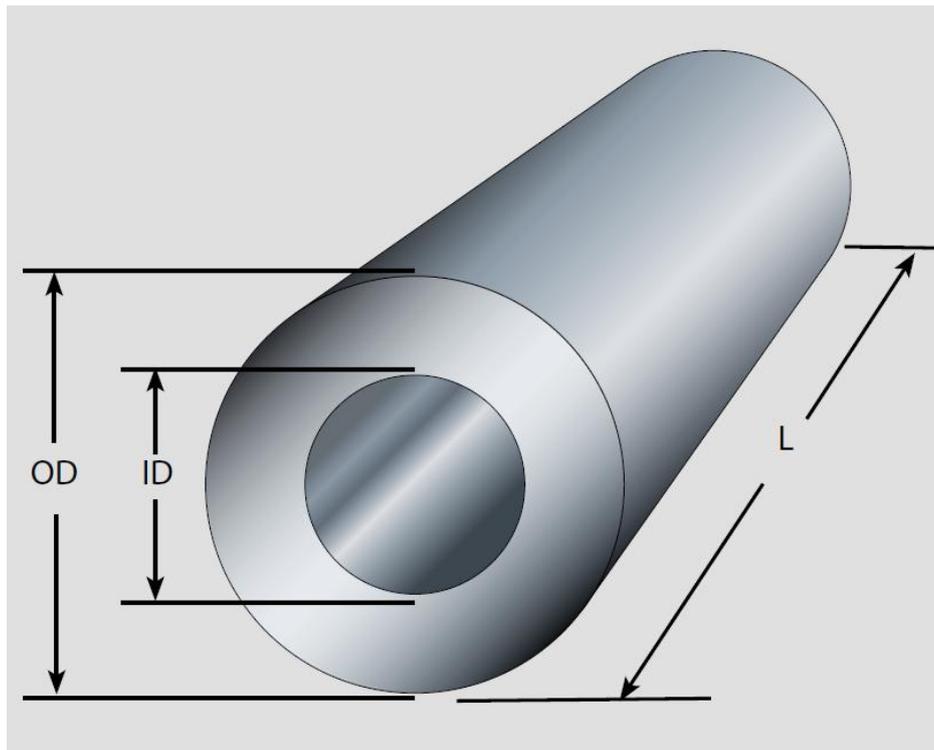


Figura 17: Schema tipo di fender cilindrico

Oververo fender cilindrici in gomma. Per semplicità si assume di considerare un solo fender capace di assorbire parte dell'energia di accosto.

In particolare è stato adottato un fender **MCO 1600 G4**.

Tabella 1: Valori di reazione per tipo di Fender cilindrico

MCO Cylindrical Type Rubber Fender												
			Reaction				Energy					
Outer Dia in. mm	Inner Dia in. mm	Weight lb/ft kg/m	G2		G4		G2		G4			
			kips	kN	kips	kN	ft-kips	kN-m	ft-kips	kN-m		
6	150	3 75	11	16	9.89	44.0	16.4	73.0	1.11	1.50	1.70	2.30
8	200	4 100	26	39	13.5	60.0	21.4	95.0	1.92	2.60	3.10	4.20
10	250	5 125	31	46	16.9	75.0	27.0	120	2.95	4.00	4.79	6.50
12	300	6 150	44	66	20.0	89.0	32.1	143	4.42	6.00	6.63	9.00
14	350	7 175	60	90	23.4	104	37.5	167	5.90	8.00	9.58	13.0
16	400	8 200	79	118	26.8	119	42.9	191	7.37	10.0	12.5	17.0
20	500	10 250	124	184	33.3	148	53.7	239	11.8	16.0	19.2	26.0
24	600	12 300	178	265	40.2	179	64.3	286	17.7	24.0	27.3	37.0
28	700	14 350	243	361	46.8	208	75.1	334	22.8	31.0	36.9	50.0
32	800	16 400	317	471	53.3	237	86.1	383	30.2	41.0	48.6	66.0
36	900	18 450	401	596	60.3	268	96.7	430	38.3	52.0	61.9	84.0
40	1000	20 500	495	736	66.8	297	108	479	47.2	64.0	75.9	103
44	1100	22 550	598	890	74.4	331	119	528	56.7	77.0	95.1	129
48	1200	24 600	712	1060	81.6	363	129	574	70.0	95.0	112	152
52	1300	26 650	836	1244	88.1	392	140	623	79.6	108	132	179
56	1400	28 700	969	1442	94.9	422	151	670	94.3	128	153	208
60	1500	30 750	1113	1656	101	451	161	718	108	147	175	238
64	1600	32 800	1266	1884	108	481	174	776	130	176	208	282
68	1700	34 850	1430	2127	115	511	185	824	152	206	249	338
72	1800	36 900	1602	2384	122	541	196	872	182	247	299	406
76	1900	38 950	1786	2657	128	570	207	920	212	288	359	487
80	2000	40 1000	1979	2944	147	653	237	1054	237	321	430	584

La loro energia assorbibile è di **282 KN m** e sono capaci di trasmettere al resto della struttura una forza di **776 KN** . Poiché ogni briccola comprende un gruppo di 4 pali (accosti 3S e 3N per navi da 60000 DWT) e assumendo una distribuzione uniforme delle forze (testata in cls infinitamente rigida), si ha che sul palo singolo la forza in testata è pari a  $776 / 4 = 194 \text{ KN}$  .

#### ENERGIA ASSORBITA DALLA DEFORMAZIONE ELASTICA DEL PALO

Per calcolare le reazioni offerte dal palo è stato necessario effettuare una modellazione numerica, nella quale si sono effettuate le seguenti ipotesi semplificative:

##### Caratteristiche del gruppo di pali

- Si è considerata solo la spinta orizzontale dell'urto, ignorando il peso degli impianti che sovrastano il palo
- I pali hanno tutti diametro di 1420 mm e sono infissi nel fondale per circa 14.5 m in un terreno monostrato, e si sviluppano in altezza per 13.30 m (quota dragaggio navi da 60000 DWT) + circa

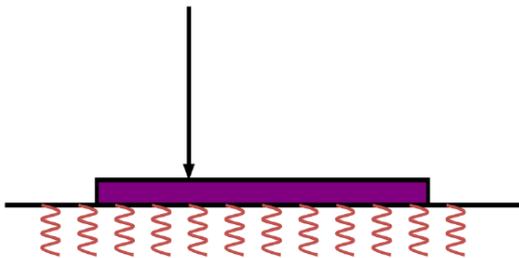
1.20 m (quota collegamento di testata) per un totale di 14.50 m. In totale la lunghezza considerata per i pali è stata pari a 29 m.

- Si è assunto che i pali siano cavi e in acciaio avente modulo elastico  $E = 205 \text{ GPa}$

#### Caratteristiche del fondale

- Per quanto riguarda il terreno viene utilizzato il *modello di Winkler* che lo caratterizza con una relazione lineare fra il cedimento ( $w$ ) in un punto della superficie limite e la pressione ( $p$ ) agente nello stesso punto, indipendentemente da altri carichi applicati in punti differenti. Il terreno 'alla Winkler' viene assimilato ad un letto di molle elastiche mutuamente indipendenti di rigidezza  $k$ .

$$p(x) = k \cdot w(x)$$



Il palo è modellabile quindi come una trave continua caricata all'estremità dalla forza  $H$  derivante dalla risultante dei carichi orizzontali ripartita sul singolo palo.

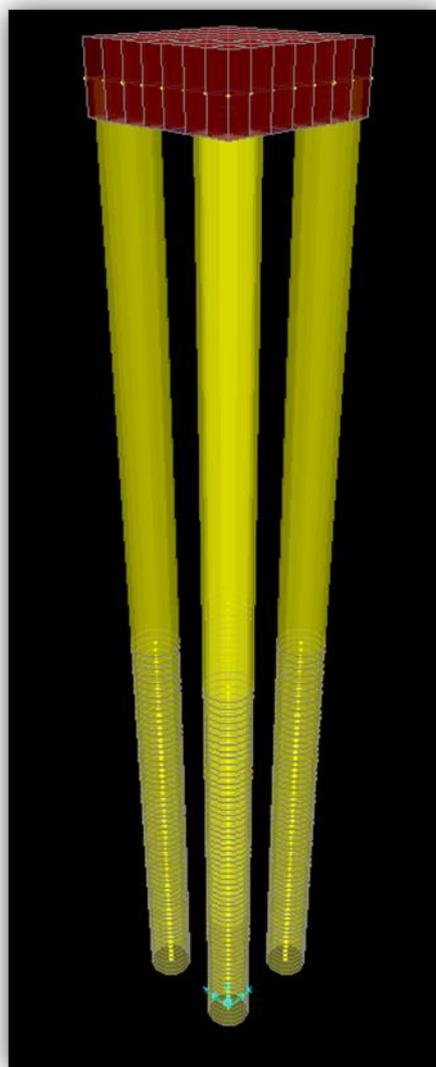
- Assumendo il fondale composto da sabbia densa, la rigidezza varia linearmente con la profondità e secondo *Viggiani, Fondazioni*, il parametro che la caratterizza è pari a  $n_h = \frac{A \gamma}{1.35}$  con  $A = 600$  (sabbia densa) e  $\gamma = 19 - 10 = 9 \text{ KN/m}^3$  (valore medio per sabbie) ottenendo  $4000 \text{ KN/m}^3$

I valori di rigidezza sono poi scalati per considerare l'effetto gruppo dei pali orizzontali. Utilizzando le indicazioni fornite da *Davis (1980)*, per gruppi di cinque o più pali si ha  $n_{h,g} = 0.25 n_h$  con  $n_h$  valore di rigidezza precedentemente calcolato, quindi in questo caso  $1000 \text{ KN/m}^3$ .

- Non sono state effettuate verifiche geotecniche per le palificate (calcolo carichi limite o cedimenti) a causa sia dell'assenza di informazioni che di una significativa variazione dei carichi rispetto alla configurazione di progetto originale. L'assunzione precedente sul tipo di terreno e la relativa rigidezza per l'interazione con la struttura si può considerare comunque valida in questa fase.

**SOLUZIONE NUMERICA**

E' stata effettuata la modellazione agli elementi finiti del palo immerso nel terreno stratificato.



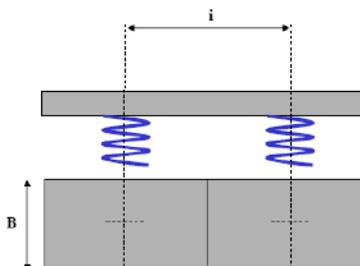
**Figura 18: Modellazione briccola quadripalo**

Ogni palo della briccola è stato modellato tramite elementi di tipo “frame” con proprietà di sezione di tipo tubolare e materiale acciaio con le caratteristiche prima definite. I pali hanno la rotazione in testa vincolata e sono collegati dal blocco in cemento armato.

La discretizzazione dei pali è tale da avere nodi ogni 0.25 m a partire dalla quota fondale fino alla quota di fondo palo.

La modellazione della reazione del terreno è rappresentata da “molle” applicate direttamente applicate agli elementi frame (“Linear springs”).

Per modellare correttamente la reazione di tipo costante ai nodi andrà applicata una rigidità “equivalente”, ottenuta considerando la larghezza di fondazione B e l’interasse tra i nodi di calcolo. :



e quindi  $k_{SAP} = k B i$  . In questo caso  $B = 1.42$  m e  $i = 0.25$  m, quindi  $n_{h,sap} = 1000 \times 1.42 \times 0.25 = 355$  KN/m .

Si considera l’applicazione di una coppia di forze date ciascuna dalla metà della reazione del fender per simulare il comportamento dell’accosto esistente.

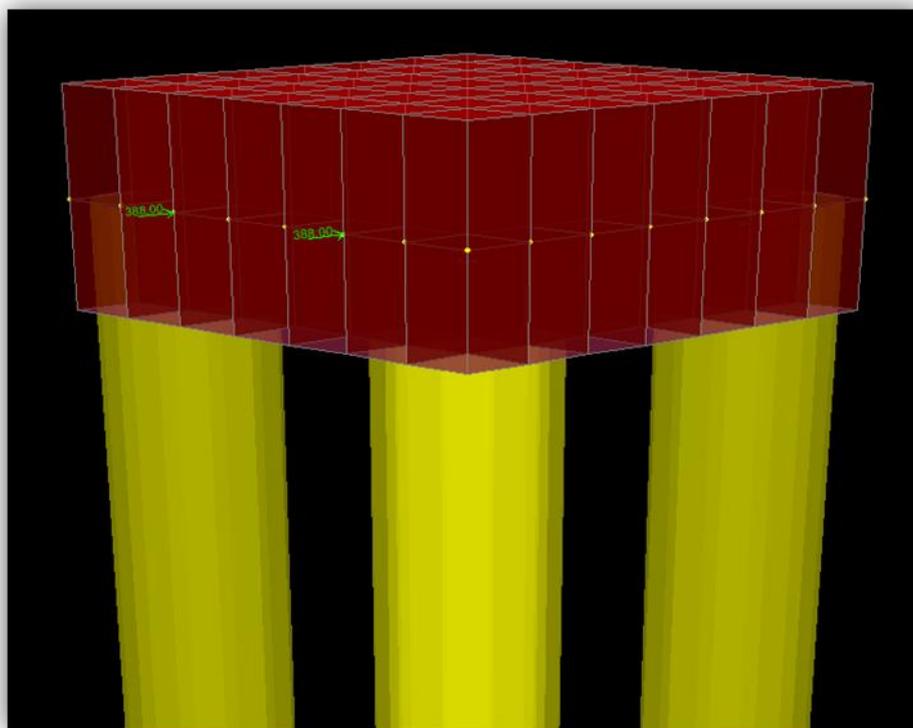


Figura 19: Applicazione delle forze

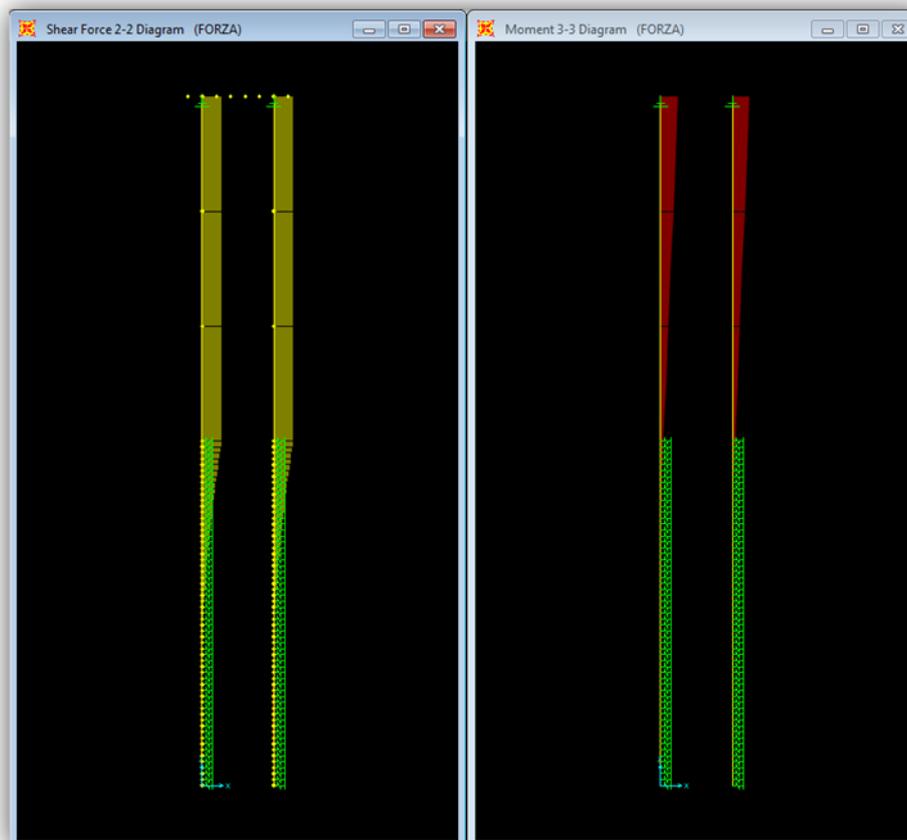


Figura 20: Diagrammi di calcolo risultanti per taglio e momento

La sezione più sollecitata è quella in testa del palo soggetta a:

- Taglio **V = 194 KN**
- Momento **M = 3428 KN m**
- Spostamento in testa  **$\delta_x = 0.17$  m**

Si può calcolare quindi il lavoro di deformazione compiuto dal palo (pari all'energia che esso può assorbire):

$$L = \frac{1}{2} R_F \delta_x$$

con  $R_F$  = reazione trasmessa dal Fender, in questo caso pari a 771 KN (si considera direttamente il contributo dei 4 pali insieme).

In questo caso  $E = L = 4 * 0.5 * 771 * 0.17 = 264$  **KN m**. Si ha quindi che l'energia complessivamente assorbita dal fender e dal palo è pari a  $E_{br} = 264 + 282 = 546$  **KN m**.

L'energia cinetica per l'accosto è pari a:  $E_N = 447$  **KN m**

La configurazione adottata risulta quindi sufficiente a garantire una capacità di energia extra del 22% (fattore ragionevole di sicurezza pari a 1.22 in questa fase tecnica).

### 5.2.3. Verifica spessore minimo

Si assume che il palo abbia come spessore minimo il valore nominale utilizzato per le palificate del pontile, ovvero **16 mm**, valore ragionevole in considerazione della resistenza che la tubazione deve offrire alle percussioni nelle fasi di battitura del palo.

Le proprietà geometriche della sezione considerata sono le seguenti:

$$A = 706 \text{ cm}^2$$

$$A_v = 449 \text{ cm}^2 \text{ (per sezioni tubolari di classe 4 l'area di taglio da considerare è } A_v = 2A / \pi \text{)}$$

$$J = 1739152 \text{ cm}^4$$

$$W = 24493 \text{ cm}^3$$

In questa fase si è effettuata una semplice verifica delle tensioni ideali allo SLU della trave in acciaio (assumendo che il palo sia una sezione di tipo 4), considerando un coefficiente di amplificazione delle sollecitazioni per azioni di tipo accidentale pari ad 1.5 .

Si ha quindi  $M_{Ed} = 1.5 * 3428 = 5142 \text{ KN m}$  e  $V_{ed} = 1.5 * 194 = 291 \text{ KN}$ .

La verifica da effettuare è  $\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau^2} < f_{yd}$  con  $\sigma_x = \frac{M_{Ed}}{W}$ ,  $\tau = \frac{V_{Ed}}{A_v}$  e  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{m,0}}$  ( $\gamma_{m,0} = 1,10$ ).

Come tipologia di acciaio si considera cautelativamente un acciaio strutturale del tipo **Fe360** avente tensione caratteristica di snervamento pari a 235 MPa e quindi tensione di progetto di  $f_{yd} = \mathbf{213.6 \text{ MPa}}$  .

Si ha quindi:

$$\sigma_x = 209,9 \text{ MPa}, \tau = 6,5 \text{ MPa} \text{ e quindi } \sigma_{id} = \mathbf{210 \text{ MPa}} < f_{yd} = 213.6 \text{ MPa}.$$

Si può quindi assumere **16 mm** come spessore minimo di progetto in corrispondenza degli accosti e si può ragionevolmente estendere questa assunzione anche agli accosti per le navi da 7000 DWT . Ne consegue che per le zone soggette a urto (quindi le piattaforme e le briccole) non è necessario modificare la geometria delle palificate essendo sufficienti il diametro e lo spessore di quelli presenti. Si ritiene dunque necessario, ai fini della resistenza, il solo ripristino delle condizioni iniziali ovvero garantire una configurazione equivalente allo spessore originale di 16 mm.

## 5.2.4. Ipotesi spessore effettivo ipotizzato

In assenza di una campagna di indagini tramite spessimetri e quindi in base alle considerazioni qualitative precedenti si possono effettuare solo delle ipotesi di massima sul possibile stato di corrosione dei pali al giorno d'oggi.

Si procede quindi come segue:

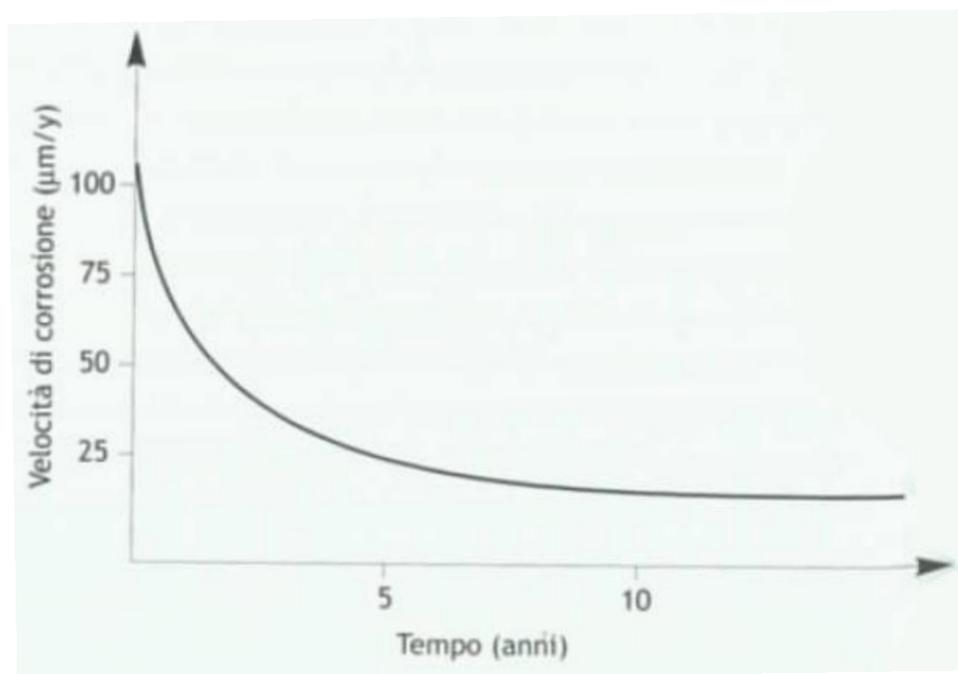
- Si determina la velocità di corrosione dei pali in ambiente marino in base alle informazioni della letteratura tecnica disponibile (*Corrosione e protezione dei materiali metallici*, Pietro Pedferri d'ora in poi per semplicità *Pedferri 2007*)
- Si stima lo spessore residuo dei pali con un congruo margine di sicurezza
- Si effettuano le considerazioni finali per la successiva stima quantitativa dell'intervento

### VELOCITA' DI CORROSIONE (Pedferri 2007)

La velocità di corrosione è determinata dalla quantità massima di ossigeno che può arrivare sulla struttura, ovvero pari alla densità di corrente limite di ossigeno.

Esperienze in campo hanno mostrato che la velocità di corrosione dell'acciaio al carbonio esposto al mare aperto è pressoché indipendente dalla località geografica e diminuisce lentamente nel tempo (Figura 21) in seguito alla formazione di strati protettivi.

Nei primi anni di esposizione le velocità medie di corrosione sono comprese fra 0.08 – 0.12 mm/y, mentre su strutture esposte da lungo tempo la velocità diminuisce fino a 0.02 mm/y dopo 20 anni.



**Figura 21: Andamento tipico della velocità media di corrosione uniforme dell'acciaio al carbonio in acqua di mare**

Va anche considerata la corrosione locale per vaiolatura (*pitting*) molto pericolosa poiché:

- La profondità delle cavità può giungere in breve tempo a interessare l'intero spessore della parete metallica
- La natura statistica del suo innesco conduce a una sua localizzazione non sempre identificabile a priori
- La sua caratteristica spesso puntiforme può far sì che la sua presenza possa essere facilmente mascherata da depositi di varia natura e sfuggire anche ad un'attenta ispezione
- In strutture in assenza di protezione catodica, la velocità di corrosione raggiunge 1 mm/y

### **SPESSORE RESIDUO**

Sulla base delle considerazioni precedenti si possono fare le seguenti ipotesi.

La struttura è stata costruita intorno al 1974, ovvero 2011 – 1974 = 37 anni fa, dotando tutti i pali di strato di rivestimento e protezione catodica, entrambi venuti meno dopo un periodo non definito. Si può assumere una vita utile dell'opera di altri 10 anni (quindi in ipotesi di assenza intervento) e che la protezione abbia limitato la velocità di degrado dei primi anni di vita. Lo spessore residuo di riferimento sarà pertanto  $0.02 \times 47 = 0.94$ , ovvero circa **1 mm**.

Questo degrado in condizioni ordinarie di palo immerso in mare aperto considera però solo la semplice corrosione dovuta alla riduzione dell'ossigeno. Si associano nella realtà, il *pitting* la cui entità non è determinabile ed ad altre azioni come quelle connesse alla velocità del moto ondoso e alla rimozione meccanica di strati di acciaio degradato che riducono lo strato protettivo della parte sottostante. L'entità delle incertezze è tale da far variare notevolmente la stima precedente.

Ne consegue che in questa fase non è possibile fare ulteriori assunzioni senza prima un'adeguata campagna di rilievo degli spessori effettivi tramite spessimetri ad ultrasuoni.

Nel successivo capitolo sugli interventi, pertanto, si considerano le ipotesi di ripristino dello spessore nominale assumendo un grado di degrado medio sia per gli interventi di sola protezione che per gli interventi di ripristino.

## 6. Interventi

Sulla base delle informazioni disponibili a seguito del sopralluogo e successive valutazioni qualitative e quantitative sullo stato di fatto con particolare riferimento alla necessità di ripristino parziale della funzionalità della struttura portante del pontile (cfr vs Email del 21 dicembre 2010), si reputano necessari i seguenti interventi:

### 6.1. Calcestruzzo

#### **Baggioli**

I baggioli di collegamento dei pali del pontile presentano un generale stato di degrado nella parte superficiale dell'intradosso con distacco del copriferro e corrosione barre di armatura. Si dovranno pertanto risanare almeno 40 baggioli delle dimensioni di circa 4mx2m con pulizia dello strato di ruggine e applicazione materiale protettivo, per un totale di 320 m<sup>2</sup>.

#### **Briccole di accosto**

Sono da ripristinare i copriferri e le armature di 6 testate di altrettante briccole quadripalo delle dimensioni di circa 4mx4m che presentano fenomeni localizzati di degrado non elevati negli spigoli mentre si riscontrano fenomeni più elevati sempre negli intradossi, per un totale di 96m<sup>2</sup>.

#### **Piattaforme**

L'ispezione visiva non ha permesso di valutare lo stato del calcestruzzo nei tratti esterni delle piattaforme di appoggio. E' ragionevole però aspettarsi il medesimo stato di degrado presente negli altri elementi sopracitati, rendendo quindi anche qui necessario un intervento di ripristino nelle zone più sollecitate, stimate larghe almeno 3m x 40m per tutti e 4 gli accosti, per un totale di 480m<sup>2</sup>.

In totale sono necessari lavori di ripristino della funzionalità di parti in c.a. per almeno **996** m<sup>2</sup>.

### 6.2. Acciaio

Assumendo di avere un grado di corrosione uniforme per ogni palo, e assumendo di dover garantire lo spessore minimo prima determinato in corrispondenza di tutti i possibili accosti (piattaforme e briccole sia da 60000 che da 7000 DWT), risulta necessario effettuare operazioni di pulizia (rimozione strato esistente) e applicazione strato di protezione contro la corrosione per tutti i **250** pali. In particolare per **120** di essi può risultare necessario un intervento di consolidamento strutturale essendo posti in zone soggette al possibile urto di imbarcazioni.

### 6.3. Metodologia di intervento

La complessità e la notevole dimensione della geometria del pontile, la presenza di fondali di altezza non trascurabile e la complessità dell'accesso alle palificate sottostanti le piattaforme limitano notevolmente il campo delle possibili soluzioni.

Escludendo in questa prima analisi la possibilità di "lavorare a secco" per le caratteristiche batimetriche della zona, per la significativa dimensione dell'intero pontile rispetto alle limitate zone di intervento, una prima ipotesi di intervento finalizzata nell'immediato a stabilire l'ordine di grandezza del risultato dell'analisi economica degli interventi è così caratterizzata:

#### **Fasi di intervento sui pali:**

Si considerano lavorazioni da effettuare su pali  $\phi 1420$  per 3m di altezza a palo misurata a partire dall'intradosso della piattaforma.

- rimozione della protezione esterna del palo con recupero e invio a smaltimento del rivestimento rimosso e successiva pulitura a mezzo di getti d'acqua a pressione/idrosabbatura su tutta la superficie sulla quale si interviene;
- applicazione da parte dei sommozzatori di uno strato di primer e di due o cinque strati di tessuto in fibra di vetro (il numero di strati dipende se l'intervento è di protezione o di consolidamento) impregnati con resina epossidica a piè d'opera dalla squadra di supporto;
- applicazione di un film protettivo in HDPE (tipo domopack) intorno al tessuto per il tempo necessario alla polimerizzazione e per proteggere il composito dal dilavamento dovuto alle onde.

#### **Fasi di intervento sugli elementi in c.a.:**

- Rimozione meccanica dello strato ammalorato del calcestruzzo fino ad arrivare al materiale sano e compatto, con recupero e smaltimento del materiale inerte distaccato.
- Preparazione delle superfici con idropulizia ad alta pressione
- ripristino del profilo originario della sezione con malta a ritiro compensato applicata a spruzzo con idonea intonacatrice;
- applicazione di uno strato di primer e di due strati di tessuto in fibra di vetro impregnati con resina epossidica