

PROGETTO

SVILUPPO PROGETTO NUOVO

TERMINALE OFFSHORE TIPO CALM

UBICAZIONE

TERMINALE PETROLIFERO DI MULTEDO

PORTO PETROLI GENOVA

PROPONENTE



PORTO PETROLI GENOVA S.p.A.
Radice Pontile Alfa Porto Petroli
16155 – GENOVA

UNITA' FUNZIONALE

DOCUMENTI DEL PRGETTO DEFINITIVO

TITOLO DOCUMENTO

Relazione di Calcolo Meccanico delle Condotte

CONSULENZA

D'APPOLONIA

VIA SAN NAZARO, 19 - 16145 GENOVA, ITALIA
TEL. +39 010 362 8148 FAX +39 010 362 1078 P. IVA 03476550102
e-mail dappolonia@dappolonia.it www.dappolonia.it

28/02/2013	Emissione Finale	 Maria Francesca Cozzi	 Alessandro Odasso	 Gian Paolo Vassallo	 Carlo Vardanega
DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	CONTROLL.	APPROVATO	SOTT.

DATA	SCALA	ACCORDO n°	DOC. N.				REV	FG
28/02/2013			12	469	OFF	R	001	0

**NUOVO TERMINALE OFF SHORE
RELAZIONE DI CALCOLO MECCANICO
DELLE CONDOTTE****INDICE**

	<u>Pagina</u>
LISTA DELLE TABELLE	II
LISTA DELLE FIGURE	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
1 SCOPO	1
2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	1
2.1 DOCUMENTI DI PROGETTO	1
2.2 NORMATIVE	1
2.3 SPECIFICHE ENI	1
3 CONCLUSIONI	2
4 DATI DI BASE E ASSUNZIONI DI PROGETTO	3
4.1 DATI DI PROCESSO	3
4.2 CARATTERISTICHE DELL'ACCIAIO	3
4.3 CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL RIVESTIMENTO ESTERNO E DELL'APPESANTIMENTO	3
5 CRITERI DI PROGETTO	4
5.1 DIMENSIONAMENTO A PRESSIONE INTERNA (BURSTING)	5
5.1.1 DNV OS-F101 Submarine Pipeline Systems	5
5.1.2 ISO 13623 - Petroleum and Natural Gas Industries – Pipeline Transportation Systems/ ENI Design criteria	6
5.2 LOCAL BUCKLING	6
5.2.1 Local Buckling - Dimensionamento a pressione esterna di collasso	6
5.2.2 Local Buckling - Dimensionamento a Pressione di Propagazione	7
5.2.3 Local buckling – Criterio di carico combinato	7
6 METODOLOGIA	9
6.1 MINIMO SPESSORE PER PRESSIONE INTERNA	9
6.2 MINIMO SPESSORE PER PRESSIONE ESTERNA DI COLLASSO	9
6.3 MINIMO SPESSORE PER PRESSIONE DI PROPAGAZIONE	10
6.4 SELEZIONE DELLO SPESSORE COMMERCIALMENTE DISPONIBILE	10
6.5 CAPACITÀ FLETTENTE RESIDUA IN ACCORDO A DNV-OS-F101	10
7 RISULTATI	12
7.1 PRESSIONE INTERNA	12
7.2 COLLASSO PER PRESSIONE ESTERNA	12
7.3 PRESSIONE DI PROPAGAZIONE	13
7.4 SELEZIONE DELLO SPESSORE	13
7.5 SOLLECITAZIONI COMBINATE	14
APPENDICE A	

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-001_00	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO MECCANICO DELLE CONDOTTE	DAPP Ref.:
		12-469-H10
		Rev.:
		0

LISTA DELLE TABELLE

<u>Tabella No.</u>	<u>Pagina</u>
Tabella 3.1: Spessori Selezionati	2
Tabella 5.1: Classi di sicurezza	4
Tabella 5.2: Fattori di progetto per tensione circonferenziale	6
Tabella 5.3: Fattori di resistenza e carico per carico combinato	8
Tabella 7.1: Minimo spessore per pressione interna	12
Tabella 7.2: Minimo spessore per pressione esterna di collasso	12
Tabella 7.3: Minimo spessore per pressione di propagazione	13
Tabella 7.4: Spessore selezionato	13
Tabella 7.5: Momenti funzionali ammissibili – DNV-OS-F101	14

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-001_00	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO MECCANICO DELLE CONDOTTE	DAPP Ref.:
		12-469-H10
		Rev.:
		0

MECHANICAL SIZING SVILUPPO PROGETTO NUOVO TERMINALE OFFSHORE TIPO CALM

1 SCOPO

Scopo del presente documento è il dimensionamento meccanico delle condotte che verranno utilizzate per il trasporto di greggi fra la monoboa di caricamento di nuova installazione al largo dei pontili Porto Petroli di Genova e le stazioni di stoccaggio e rilancio alle reti di distribuzione.

Il dimensionamento meccanico riportato nel presente rapporto è una verifica a sola pressione interna ed esterna. Per le analisi di stabilità e varo si rimanda ai documenti di progetto riportati in Sezione 2.1.

Gli spessori minimi a pressione interna ed esterna dovranno essere verificati anche con le sollecitazioni combinate a carico e a spostamento controllato in modo che lo spessore selezionato soddisfi tutte le verifiche previste. Per la selezione dello spessore è stata comunque considerata anche la capacità a momento della sezione di tubo soggetto a pressione interna e carico assiale.

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 DOCUMENTI DI PROGETTO

Rif. 1.	12-469-GEN-R-001	Basic Engineering Design Data
Rif. 2.	12-469-OFF-R-004	Offshore Pipeline – On-Bottom Stability
Rif. 3.	12-469-OFF-R-007	Offshore Pipeline – Expansion Analysis and loop design
Rif. 4.	12-469-OFF-R-011	Layability Analysis

2.2 NORMATIVE

Rif. 5.	DNV OS-F101	Submarine pipeline systems – Edition 2007,
Rif. 6.	ISO 13623	Petroleum and natural Gas industries - Pipeline transportation system 2000;

2.3 SPECIFICHE ENI

Rif. 7.	23025-SLI-OFF-PRG	ENI Standard - Design criteria of Offshore pipelines
---------	-------------------	--

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-001_00	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO MECCANICO DELLE CONDOTTE	DAPP Ref.:
		12-469-H10
		Rev.:
		0

3 CONCLUSIONI

La seguente tabella riassume i minimi spessori richiesti in accordo ai differenti criteri di progetto e in accordo Zone 1 e 2 (o Location Class 1 e 2) definite nella Tabella 2-2 Sezione C300 della normativa in Rif. 5.

La Tabella 3-1 riporta inoltre la selezione finale dello spessore.

Tabella 3.1: Spessori Selezionati

SPESSORE SELEZIONATO PER 32" - OFFSHORE PIPELINE – API-5L-X65					
Condizione	Criterio	Spessore minimo richiesto (mm)		Spessore selezionato (mm)	
		Zone1	Zone2	Zone1	Zone2
Operating	Pressione Interna (DNV – OS-F101)	4.35	4.74	22.2	
Hydrotest		3.11			
Operating	Pressione Interna (ISO 13623)	3.00	3.25		
Hydrotest		3,8			
Installazione (As-Laid) (SC Low)	Pressione Esterna di collasso (DNV – OS-F101)	11.46			
Dopo commissioning (SC Medium)		13.54			
Installazione (As Laid) (SC Low)	Pressione di Propagazione (DNV – OS-F101)	16.52			
Dopo commissioning (SC medium)		18.64			

**NUOVO TERMINALE OFF SHORE
RELAZIONE DI CALCOLO MECCANICO
DELLE CONDOTTE****4 DATI DI BASE E ASSUNZIONI DI PROGETTO****4.1 DATI DI PROCESSO**

Diametro nominale	32'' (812,8mm)
Pressione di progetto (D_p)	19 barg
Pressione di Hydrotest (1.25 D_p)	23.75 barg
Altezza di riferimento	0 m
Temperatura di Progetto	70 °C
Peso specifico del fluido interno	990 kg/m ³
Densità dell'acqua	1026 kg/m ³
Profondità massima	65 m
Spessore di corrosione	tc _{corr} = 1,5 mm

4.2 CARATTERISTICHE DELL'ACCIAIO

Tipo di acciaio considerati nel presente studio:	API-5L Grade X-65
Tensione di snervamento minima specifica	SMYS = 448 MPa
Tensione di rottura minima specifica	SMTS = 530 MPa
Modulo di Young	E = 207 000 MPa
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0,3$
Coefficiente di dilatazione termica lineare	$11,7 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Densità dell'acciaio	7850 kg/m ³
Ovalizzazione	0,5 %
Tipologia di fabbricazione del tubo	con saldatura longitudinale

4.3 CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL RIVESTIMENTO ESTERNO E DELL'APPESANTIMENTORivestimento anticorrosivo esterno

Materiale	3LPE - Polietilene
Peso specifico	960 kg/m ³
Spessore	4 mm

Appesantimento

Materiale	Gunite
Peso specifico a secco	3 040 kg/m ³

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-001_00	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO MECCANICO DELLE CONDOTTE	DAPP Ref.:
		12-469-H10
		Rev.:
		0

5 CRITERI DI PROGETTO

Il dimensionamento meccanico è stato condotto sulla base del metodo agli stati limite adottato dalle normative internazionali DNV OS-F 101 “Submarine pipeline systems” (Rif. 5).

La norma DNV copre tutti gli aspetti della progettazione, dalla fase di installazione alle diverse fasi operative a cui la condotta potrà trovarsi.

Gli spessori sono stati verificati a pressione interna anche in accordo alle norme ISO in Rif. 6.

Gli spessori sono stati verificati secondo i criteri di pressione interna (operativa e di collaudo), pressione esterna, e propagazione del buckling.

Tali spessori dovranno essere verificati anche con le sollecitazioni combinate a carico e a spostamento controllato in modo che lo spessore selezionato soddisfi tutte le verifiche previste.

Lo spessore minimo richiesto è stato scelto come il valore minimo che soddisfa tutte le verifiche eseguite con i criteri descritti di seguito.

Le normative internazionali utilizzate per il dimensionamento dello spessore della condotta, prevedono:

1. Dimensionamento a sola Pressione Interna (Operativa e di collaudo);
2. Dimensionamento a Pressione esterna (Collasso)
3. Dimensionamento a Pressione di Propagazione;
4. Buckling Combinato

Il dimensionamento a Pressione Interna, Pressione Esterna, Pressione di propagazione e buckling combinato è stato eseguito considerando le seguenti Classi di sicurezza:

Tabella 5.1: Classi di sicurezza

Location	Pressione interna	Collaudo	Collasso		Propagation buckling	
	Operativo	System test	Installazione	Dopo Commissioning	Installazione	Dopo Commissioning
ZONE 1 (>500m)	MEDIUM	LOW	LOW	MEDIUM	LOW	MEDIUM
ZONE 2 (<500m)	HIGH	LOW	LOW	MEDIUM	LOW	MEDIUM

Il fluido è classificato, in accordo alla Tabella 2.1 del Rif. 5 come Category B – Oil and Petroleum Products.

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-001_00	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO MECCANICO DELLE CONDOTTE	DAPP Ref.:
		12-469-H10
		Rev.:
		0

Per tutti gli aspetti coperti dalle norme DNV-OS-F101 sono applicate le seguenti note:

- Requisiti supplementari U non applicabili;
- Poiché la temperatura di progetto del fluido trasportato è 70°C, l'effetto di de-rating del materiale è stato considerato;
- Il fattore di fabbricazione α_{fab} è stato considerato uguale a 0.93.

5.1 DIMENSIONAMENTO A PRESSIONE INTERNA (BURSTING)

Il minimo spessore per pressione interna dovrà essere in accordo con i Rif. 5 e Rif. 6 come segue:

5.1.1 DNV OS-F101 Submarine Pipeline Systems

La resistenza a pressione interna dovrà soddisfare il seguente criterio in accordo a Rif. 6 Sect. 5 D202:

$$p_{ix} - p_e \leq \frac{p_b(t_1)}{\gamma_m \cdot \gamma_{sc}}$$

dove:

p_{ix} : "local incidental pressure" durante la condizione operative (p_{ii}) e uguale alla pressione di test locale durante il collaudo (p_{lt})

- γ_{sc} è il fattore relativo alla classe della classe di sicurezza, preso pari a 1,308 (Tab. 5-5 Rif.6);
- γ_m è il fattore del materiale, preso pari a 1,15 (Tab. 5-4 delle Rif. 5).

f_y ed f_u sono rispettivamente la tensione caratteristica di snervamento (SMYS) e di rottura (SMTS), riducendo i valori in base alla temperatura massima di progetto e applicando il fattore di anisotropia $\alpha_A = 0,95$ e il fattore del materiale $\alpha_U = 0,96$ definiti dalla norma.

Si è conservativamente assunto che non vengano richiesti particolari controlli per i materiali (*requirement "U"*).

La resistenza a pressione interna ($p_b(t_1)$) è data da:

$$p_b(t_1) = \frac{2 \cdot t_1}{OD - t_1} \cdot f_{cb} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}}$$

Dove:

$$f_{cb} = \text{Min} \left[f_y; \frac{f_u}{1.15} \right]$$

$$t_1 = t_{nom} - t_{fab} \text{ in condizioni temporanee}$$

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-001_00	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO MECCANICO DELLE CONDOTTE	DAPP Ref.:
		12-469-H10
		Rev.:
		0

$$t_1 = t_{nom} - t_{fab} - c.a. \text{ in condizioni operative}$$

dove t_{fab} è la tolleranza di fabbricazione e c.a. è lo spessore di corrosione del tubo.

5.1.2 ISO 13623 - Petroleum and Natural Gas Industries – Pipeline Transportation Systems/ ENI Design criteria

In accordo alle norme in Rif. 6, devono essere soddisfatte le seguenti relazioni:

$$\sigma_{hp} \leq F_h \cdot SMYS$$

La tensione circonferenziale (σ_{hp}) è calcolata come segue:

$$\sigma_{hp} = (P_i - P_e) \frac{OD - t_c}{2t_c}$$

Il fattore di progetto per tensione circonferenziale F_h è definito per le differenti zone come segue:

Tabella 5.2: Fattori di progetto per tensione circonferenziale

Zone	F_h
1	0.77
2	0.67
Collaudo	0.96

Lo spessore minimo è calcolato come:

$$t = t_c + t_{fab} + c.a. \text{ (condizione operativa)}$$

$$t = t_c + t_{fab} \text{ (condizioni temporanee)}$$

dove t_{fab} è la tolleranza di fabbricazione del tubo e c.a. è lo spessore di corrosione.

5.2 LOCAL BUCKLING

5.2.1 Local Buckling - Dimensionamento a pressione esterna di collasso

**NUOVO TERMINALE OFF SHORE
RELAZIONE DI CALCOLO MECCANICO
DELLE CONDOTTE**

Il minimo spessore per collasso dovuto a pressione esterna è definito in accordo alla Sezione 5 D402 of Rif. 5. Il seguente criterio dovrà essere soddisfatto per ogni punto:

$$p_e \leq \frac{p_c}{\gamma_{sc} \cdot \gamma_m}$$

La pressione di collasso deriva dall'equazione 5.10 of Rif. 5 - Sect.5 D401:

$$(p_c - p_{el}) \cdot (p_c^2 - p_p^2) = p_c \cdot p_{el} \cdot p_p \cdot f_0 \frac{D}{t_1}$$

dove:

$$p_{el} = \frac{2E \left(\frac{t_1}{OD} \right)^3}{1 - \nu^2}$$

$$p_p = 2f_y \cdot \alpha_{fab} \cdot \frac{t_1}{OD}$$

$$f_0 = \frac{OD_{max} - OD_{min}}{OD}$$

$$t_1 = t_{nom} - t_{corr} - t_{fab}$$

L'ovalizzazione f_0 non dovrà essere minore di 0.005 (0.5%).

5.2.2 Local Buckling - Dimensionamento a Pressione di Propagazione

In accordo alla norma in Rif. 5 - Sect.5 D501, la pressione di propagazione dovrà essere calcolata con la seguente formula:

$$p_e < \frac{p_{pr}}{\gamma_m \cdot \gamma_{SC}} \quad P_{pr} = 35f_y \alpha_{fab} \left(\frac{t_2}{OD} \right)^{2.5}$$

dove:

$$t_2 = t_{nom} - t_{corr}$$

I calcoli devono essere eseguiti considerando l'intero spessore di corrosione.

5.2.3 Local buckling – Criterio di carico combinato

La verifica a local buckling per sollecitazioni combinate di sforzo assiale e momento flettente derivante dalle condizioni esterne e variazione di pressione è stata effettuata secondo i criteri di accettazione per "load controlled condition (LCC) ed è stata applicata in accordo ai criteri e alle formule presentati in Rif. 5- Sect. 5 D600.

$$\left\{ \gamma_{sc} \gamma_m \frac{|M_{sd}|}{\alpha_c M_p} + \left\{ \frac{\gamma_{sc} \gamma_m S_{sd}}{\alpha_c S_p} \right\}^2 \right\}^2 + \left(\alpha_p \frac{P_i - P_e}{\alpha_c p_b} \right)^2$$

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-001_00	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO MECCANICO DELLE CONDOTTE	DAPP Ref.:
		12-469-H10
		Rev.:
		0

Per $D/t \leq 45$, $p_i \geq p_e$

$$\left(\gamma_{sc} \gamma_m \left(\frac{M_d}{\alpha_c M_p} \right) + \left(\frac{\gamma_{sc} \gamma_m S_d}{\alpha_c S_p} \right)^2 \right)^2 + \left(\gamma_{sc} \gamma_m \frac{p_e - p_{\min}}{p_c} \right)^2$$

Per $D/t \leq 45$, $p_i < p_e$

con:

- t_2 $t - t_{\text{corr}}$
- M_d Momento flettente di progetto
- S_d Sforzo assiale di progetto
- ΔP_d Sovrappressione di progetto
- M_p Momento plastico resistente
- S_p Resistenza allo sforzo assiale caratteristica
- P_b Pressione (*bursting*)
- α_c Parametro di incrudimento

Le classi di sicurezza e i relativi fattori di resistenza (γ_{sc}) e carico (γ_c) usati sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 5.3: Fattori di resistenza e carico per carico combinato

Fattori di resistenza e carico per la verifica a Local Buckling per carico combinato				
Condizione di progetto	Zona	Classe di sicurezza	Condition Load Factor	Safety class resistance factor
			γ_c	γ_{sc}
As-laid	Zone 1 and 2	Low	1.07	1.04
Pressure Test	Zone 1 and 2	Low	1.00 (1.07x0.93)	1.04
Operating	Zone 1	Medium	1.07	1.138
	Zone 2	High	1.07	1.308

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-001_00	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO MECCANICO DELLE CONDOTTE	DAPP Ref.:
		12-469-H10
		Rev.:
		0

6 METODOLOGIA

Le analisi eseguite nel presente rapporto al fine di selezionare lo spessore di acciaio sono state divise nei seguenti punti:

- Valutazione del minimo spessore richiesto per pressione interna;
- Valutazione del minimo spessore richiesto per pressione esterna di collasso;
- Valutazione del minimo spessore richiesto per pressione di propagazione;
- Selezione dello spessore commercialmente disponibile.

In aggiunta è stata valutata la capacità residua flettente in condizioni sia temporanee che operative valutate sulla base del criterio di carico combinato (norme DNV);

6.1 MINIMO SPESSORE PER PRESSIONE INTERNA

Il minimo spessore per pressione interna è definito in accordo al criterio riportato al paragrafo 5.1.

I calcoli sono stati eseguiti in accordo ai seguenti dati:

- Minima profondità acqua di 0.0m.
- Spessore di corrosione uguale a 1.5mm (tubo totalmente corrosivo);
- L'effetto di De-rating è considerato uguale a 12 Mpa in accordo alla Figura 2 of Sec.5-C 303 di Rif. 5.

Lo spessore è definito sulla base del peggior caso tra la condizione Operativa e il collaudo idraulico.

6.2 MINIMO SPESSORE PER PRESSIONE ESTERNA DI COLLASSO

Il minimo spessore per collasso è definito in accordo al criterio riportato al paragrafo 5.2.1

I calcoli sono stati eseguiti in accordo ai seguenti dati:

- Nessuna pressione interna;
- Spessore non corrosivo per condizione di "Installazione";
- Spessore di corrosione uguale a 1.5mm (tubo totalmente corrosivo) per condizione "Dopo Commissioning";
- L'effetto di De-rating considerato uguale a 12 Mpa in accordo alla Figura 2 of Sec.5-C 303 di Rif. 5.
- Massima profondità d'acqua. I contributi relativi alle maree, al surge e all'altezza d'onda vengono tenuti in conto come segue:

$$WDd = \max WD (LAT) + MHWS + Surge + 1yrC_{max} = 68.6m$$

dove:

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-001_00	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO MECCANICO DELLE CONDOTTE	DAPP Ref.:
		12-469-H10
		Rev.:
		0

WDd è la profondità di progetto

Cmax è la massima altezza di cresta associata al periodo di ritorno di 1 anno

MHWS + Surge è la variazione complessiva del livello marino

Lo spessore è definito sulla base del peggior caso tra le due fasi temporanee di “Installazione” e “Dopo Commissioning” .

6.3 MINIMO SPESSORE PER PRESSIONE DI PROPAGAZIONE

Il minimo spessore per pressione di propagazione è definito in accordo al criterio riportato al paragrafo 5.2.2.

I calcoli sono stati eseguiti in accordo ai seguenti dati:

- Nessuna pressione interna;
- Spessore non corrosivo per condizione di “Installazione”;
- Spessore di corrosione uguale a 1.5mm (tubo totalmente corrosivo) per condizione “Dopo Commissioning”;
- Effetto di De-rating considerato uguale a 12Mpa in accordo alla Sec.5-C 303 di Rif. 5.
- Massima profondità d’acqua, i contributi relativi alle maree, al surge e all’altezza d’onda vengono tenuti in conto come descritto al punto precedente:

Lo spessore è definito sulla base del peggior caso tra le due fasi temporanee di “Installazione” e “Dopo Commissioning” .

6.4 SELEZIONE DELLO SPESSORE COMMERCIALMENTE DISPONIBILE

Lo spessore ricavato è stato definito comparando il valore risultante dalle analisi descritte nei paragrafi precedenti con gli spessori commerciali disponibili relativi al 32”.

6.5 CAPACITÀ FLETTENTE RESIDUA IN ACCORDO A DNV-OS-F101

Per la selezione dello spessore deve essere considerata la capacità a momento della sezione di tubo soggetto a pressione interna e carico assiale.

Per la forza assiale effettiva si applica la seguente Formula 4.11 Section 4 G309 Rif. 5:

$$S = H + \frac{A_S \cdot p_i \cdot ID \cdot v}{2 \cdot t} - \alpha \cdot \Delta T \cdot E \cdot A_S - p_i \cdot A_i$$

$$\approx H - p_i \cdot A_i \cdot [1 - 2v] - A_S \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot E$$

$$S = 7891 \text{ kN}$$

Per lo spessore di tubo selezionato il momento funzionale ammissibile sarà comparato con il momento flettente raggiunto nelle seguenti condizioni di carico durante dedicate analisi

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-001_00	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO MECCANICO DELLE CONDOTTE	DAPP Ref.:
		12-469-H10
		Rev.:
		0

riportate nei rapporti tecnici in Rif. 2, Rif. 3, **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e Rif. 4 :

1. Tubo vuoto durante l'installazione e quindi soggetto a sovrappressione esterna (Rif. 5 Sect. 5 D607). Il momento flettente ammissibile per buckling combinato in LCC sarà calcolato in accordo al metodo agli stati limite.
2. Tubo sul fondo in condizione operativa e quindi soggetto a sovrappressione interna (Rif. 5 Sect. 5 D605). Il momento ammissibile per buckling combinato LCC sarà calcolato in accordo al metodo agli stati limite. Nelle condizioni operative è stato considerato l'effetto di de-rating uguale a 12 MPa e uno spessore di corrosione di 1.5mm.

In accordo alle norme DNV-OS-F101 la combinazione di tensione longitudinale e circonferenziale per local buckling sia in condizioni temporanee che operative sarà verificata in accordo con Rif. 5 Sect.5 D605-607 (Code check <1).

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-001_00	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO MECCANICO DELLE CONDOTTE	DAPP Ref.:
		12-469-H10
		Rev.:
		0

7 RISULTATI

La definizione dello spessore è stata eseguita in accordo alle seguenti norme e standard:

- DnV OS-F101-October 2007, Rif. 5
- ISO 13623, Rif. 6

I risultati sono riassunti nei seguenti paragrafi:

7.1 PRESSIONE INTERNA

La verifica a pressione interna è stata eseguita sia per la Zona 1 che per la Zona 2.

I valori minimi di spessore sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 7.1: Minimo spessore per pressione interna

32" Offshore Pipeline – Minimo spessore richiesto per pressione interna (Bursting (mm))			
Condizione	Criterio	32" pipeline	
		Zona 1	Zona 2
Operativa	Pressione Interna (OS-F101)	4.35	4.74
Collaudo idraulico		3.11	
Operativa	Pressione Interna (ISO 13623)	3.00	3.25
Collaudo idraulico		3,8	

7.2 COLLASSO PER PRESSIONE ESTERNA

La verifica a pressione interna è stata eseguita sia per la Zona 1 che per la Zona 2.

I valori minimi di spessore sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 7.2: Minimo spessore per pressione esterna di collasso

32" Offshore Pipeline – Minimo spessore richiesto per pressione esterna (mm)		
Condizione	Criterio	32" pipeline
		Zona1/Zona2
Installazione - As Laid	Pressione esterna di collasso (DNV – OS-F101)	11.46
Dopo commissioning		13.54

32" offshore pipeline – Minimo spessore per pressione esterna

Una massima profondità d'acqua di 68.6 m è stata considerata inclusi gli aggiustamenti dovuti ai valori di marea, surge e altezza d'onda.

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-001_00	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO MECCANICO DELLE CONDOTTE	DAPP Ref.:
		12-469-H10
		Rev.:
		0

7.3 PRESSIONE DI PROPAGAZIONE

La verifica a pressione interna è stata eseguita sia per la Zona 1 che per la Zona 2.

I valori minimi di spessore sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 7.3: Minimo spessore per pressione di propagazione

32" Offshore Pipeline – Minimo spessore richiesto per pressione di propagazione (mm)		
Condizione	Criterio	32" pipeline
		Zone1/Zone2
Installazione - As-Laid (SC low)	Pressione di propagazione (DnV – OS-F101)	16.52
Dopo commissioning (SC medium)		18.64

7.4 SELEZIONE DELLO SPESSORE

La seguente tabella riassume i minimi spessori richiesti in accordo ai differenti criteri di progetto e riporta la selezione finale dello spessore.

Tabella 7.4: Spessore selezionato

SPESSORE SELEZIONATO PER 32" - OFFSHORE PIPELINE					
Condizione	Criterio	Spessore minimo richiesto (mm)		Spessore selezionato (mm)	
		Zone1	Zone2	Zone1	Zone2
Operating	Pressione Interna (DnV – OS-F101)	4.35	4.74	22.2	
Hydrotest		3.11			
Operating	Pressione Interna (ISO 13623)	3.00	3.25		
Hydrotest		3,8			
Installazione (As-Laid) (SC Low)	Pressione Esterna di collasso (DnV – OS-F101)	11.46			
Dopo commissioning (SC Medium)		13.54			
Installazione (As Laid) (SC Low)	Pressione di Propagazione (DnV – OS-F101)	16.52			
Dopo commissioning (SC medium)		18.64			

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-001_00	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO MECCANICO DELLE CONDOTTE	DAPP Ref.:
		12-469-H10
		Rev.:
		0

7.5 SOLLECITAZIONI COMBinate

Lo scopo di questa verifica è garantire che lo spessore selezionato è in grado di assorbire carichi esterni flettenti quando è soggetto a Forza assiale effettiva e pressione interna o esterna.

A tal fine è stato calcolato il Momento funzionale ammissibile (MFA) definito come il momento che combinato con Forza assiale e Pressione interna o esterna fa raggiungere al tubo uno Unity Check pari a 1.0.

- tubo vuoto durante l'installazione e quindi soggetto a sovrappressione esterna (Rif. 5 Sect. 5 D607). Il momento flettente ammissibile per buckling combinato in LCC sarà calcolato in accordo al metodo agli stati limite;
- tubo sul fondo in condizione operative e quindi soggetto a sovrappressione interna (Rif. 5 Sect. 5 D605). Il momento ammissibile per buckling combinato LCC sarà calcolato in accordo al metodo agli stati limite. Nelle condizioni operative è stato considerato l'effetto di de-rating uguale a 12 MPa e uno spessore di corrosione di 1.5mm.

Tabella 7.5: Momenti funzionali ammissibili – DNV-OS-F101

32" Offshore Pipeline – MOMENTO FUNZIONALE AMMISSIBILE- DNV-OS-F101							
Pipe	Spessore di corrosione [mm]	Zona	WT [mm]	Installazione ⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁴⁾		Operativo ^{(2) (3)(5)}	
				MFA [KNm]	UNITY CHECK	MFA [KNm]	UNITY CHECK
32" ⁽¹⁾	1.5	Zona 1	22.2	3490	0.99	1350	0.952
		Zona 2				900	0.955

Note:

- Il calcolo è basato su un tiro residuo sul fondo di 100 ton e una forza assiale di 800 kN (Tiro al tensionatore) che dovrà essere confermato dalle analisi di varo
- Un Momento flettente ambientale pari al 30% dei momenti funzionali ambientali è stato considerato nei calcoli
- I risultati sono riferiti alla condizione di "fully restrained" ($\Delta T = T_{d \min} - T_{SEA \max}$)
- Nelle condizioni "temporanee il tubo è stato considerato non corrosivo"
- In condizioni operative il tubo è stato considerato corrosivo per la verifica di resistenza e non corrosivo per il calcolo della forza assiale

MFC/AO/GV/CV:sls

**NUOVO TERMINALE OFF SHORE
RELAZIONE DI CALCOLO MECCANICO
DELLE CONDOTTE****APPENDICE A****Minimo spessore per pressione interna – Zona 1 - DNV-OS-F101**

 OS-F101 - SUBMARINE PIPELINE SYSTEMS - 2007 Pressure Containment (bursting)		OS-F101:2007 V01-03 01/03/2009 DNV ENENO 714	
 Developed by DNV ENENO714			
PORTO PETROLI - 32" Pipeline Wall Thickness Verification			
PRESSIONE INTERNA - ZONA 1 PRESSIONE ESTERNA - AFTER C			
Date:	Sign:	Date:	Sign:
Prepared:		Verified:	
RELEVANT INPUT PARAMETERS:		Operation	System test
Nominal outer steel diameter:	OD	812,80 mm	
Nominal steel wall thickness:	t _{nom}	22,20 mm	
Fabrication tolerance:	t _{fab}	12,50 %	
Corrosion allowance:	t _{corr}	1,50 mm	
Specified minimum yield stress:	SMYS	448,2 MPa	
Specified minimum tensile strength:	SMTS	530,9 MPa	
Derating in yield stress due to temperature:	f _{y,temp}	12,0 MPa	
Derating tensile strength due to temperature:	f _{u,temp}	12,0 MPa	
Material strength factor:	α _U	0,96	1,00
Internal pressure at reference level:	p _{int,ref}	19,0 barg	28,5 barg
Reference level for internal pressure:	Z _{ref}	0,0 m	0,0 m
Density of internal fluid:	ρ _{int}	990,0 kg/m ³	1026,0 kg/m ³
Incidental to design pressure ratio:	γ _{inc}	1,10	1,00
Depth:	d	61,4 m	61,4 m
Density of external fluid:	ρ _{ext}	1026,0 kg/m ³	1026,0 kg/m ³
Safety Class:		MEDIUM	SYSTEM TEST
Corroded wall thickness:		YES	NO
Derated material properties:		YES	NO
INTERMEDIATE RESULTS:		Operation	System test
Characteristic yield stress:	f _y	418,75 MPa	448,20 MPa
Characteristic ultimate strength:	f _u	498,14 MPa	530,90 MPa
Steel wall thickness used in code check:	t _{1/t2}	17,93 mm	19,43 mm
Pressure containment resistance, yielding limit state:	p _{b,s}	218,08 barg	253,43 barg
Pressure containment resistance, bursting limit state:	p _{b,u}	225,59 barg	261,03 barg
Pressure containment resistance, minimum of p _{b,s} & p _{b,u} :	p _b	218,08 barg	253,43 barg
Material resistance factor:	γ _m	1,15	1,15
Safety class resistance factor:	γ _{SC}	1,138	1,046
Local design pressure:	p _{ld}	25,31 barg	35,04 barg
Local incidental/test pressure:	p _{lx}	27,21 barg	35,04 barg
External pressure:	p _e	6,18 barg	6,18 barg
Pressure difference:	p _{lx} - p _e	21,03 barg	28,86 barg
PRESSURE CONTAINMENT, BURSTING:		Operation	System test
Code check, utility:		0,13 OK	0,14 OK
Minimum required nominal wall thickness:		4,35 mm	3,11 mm



Porto Petroli di Genova S.p.A.

Doc N°
12-469-OFF-R-001_00

NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO MECCANICO DELLE CONDOTTE

DAPP Ref.:

12-469-H10

Rev.:

0

Minimo spessore per pressione esterna (collasso e Pressione di Propagazione) – Dopo Commissioning – DNV-OS-F101

	OS-F101 - SUBMARINE PIPELINE SYSTEMS - 2007	OS-F101:2007 V01-03	
	System Collapse and Propagating Buckling	01/03/2009	
DNV	Developed by DNV ENENO714	DNVENENO 714	
PORTO PETROLI - 32" Pipeline Wall Thickness Verification			
PRESSIONE INTERNA - ZONA 1			
PRESSIONE ESTERNA - AFTER COMMIS			
Date: Sign:		Date: Sign:	
Prepared:		Verified:	
RELEVANT INPUT PARAMETERS:		Collapse	Prop. Buckling
Nominal outer steel diameter:	OD	812,80	mm
Nominal steel wall thickness:	t _{nom}	22,20	mm
Corrosion allowance:	t _{corr}	1,50	mm
Out-of-roundness:	f ₀	0,50	%
Young's modulus:	E	2,070E+05	MPa
Poisson's ratio:	ν	0,30	
Specified minimum yield stress:	SMYS	448,2	MPa
Derating in yield stress due to temperature:	f _{y,temp}	12,0	MPa
Fabrication factor:	α _{fab}	0,93	
Material strength factor:	α _U	0,96	
Depth:	d	68,6	m
Density of external fluid:	ρ _{ext}	1026,0	kg/m ³
Safety Class:		MEDIUM	MEDIUM
Corroded wall thickness:		YES	YES
Derated material properties:		NO	NO
INTERMEDIATE RESULTS:		Collapse	Prop. Buckling
Characteristic yield stress:	f _y	430,3	MPa
Steel wall thickness used in code check:	t ₁ /t ₂	17,93	mm
Elastic collapse pressure:	p _{el}	48,8	barg
Plastic collapse pressure:	p _p	176,5	barg
Characteristic collapse pressure:	p _c	45,7	barg
Material resistance factor:	γ _m	1,15	1,15
Safety class resistance factor:	γ _{SC}	1,14	1,14
External pressure:	p _e	6,9	barg
Minimum sustainable pressure:	p _{min}	0,0	barg
SYSTEM COLLAPSE AND PROPAGATING BUCKLING:		Collapse	Prop. Buckling
Code checks, utility:		0,20	OK
Minimum wall thickness:		13,54	mm
		18,64	mm



Porto Petroli di Genova S.p.A.

Doc N°
12-469-OFF-R-001_00

NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO MECCANICO DELLE CONDOTTE

DAPP Ref.:

12-469-H10

Rev.:

0

Minimo spessore per pressione interna – Zona 2 - DNV-OS-F101

	OS-F101 - SUBMARINE PIPELINE SYSTEMS - 2007 Pressure Containment (bursting) Developed by DNV ENEN0714	OS-F101:2007 V01-03 01/03/2009 DNV ENEN0 714	
PORTO PETROLI - 32" Pipeline Wall Thickness Verification PRESSIONE INTERNA - ZONA 2 PRESSIONE ESTERNA -INSTALLI			
Date:	Sign:	Date:	
Prepared:		Sign:	
Verified:			
RELEVANT INPUT PARAMETERS:		Operation	System test
Nominal outer steel diameter:	OD	812,80 mm	
Nominal steel wall thickness:	t _{nom}	22,20 mm	
Fabrication tolerance:	t _{fab}	12,50 %	
Corrosion allowance:	t _{corr}	1,50 mm	
Specified minimum yield stress:	SMYS	448,2 MPa	
Specified minimum tensile strength:	SMTS	530,9 MPa	
Derating in yield stress due to temperature:	f _{y,temp}	12,0 MPa	
Derating tensile strength due to temperature:	f _{u,temp}	12,0 MPa	
Material strength factor:	α _U	0,96	1,00
Internal pressure at reference level:	p _{int,ref}	19,0 barg	28,5 barg
Reference level for internal pressure:	Z _{ref}	0,0 m	0,0 m
Density of internal fluid:	ρ _{int}	990,0 kg/m ³	1026,0 kg/m ³
Incidental to design pressure ratio:	γ _{inc}	1,10	1,00
Depth:	d	61,4 m	61,4 m
Density of external fluid:	ρ _{ext}	1026,0 kg/m ³	1026,0 kg/m ³
Safety Class:		HIGH	SYSTEM TEST
Corroded wall thickness:		YES	NO
Derated material properties:		YES	NO
INTERMEDIATE RESULTS:		Operation	System test
Characteristic yield stress:	f _y	418,75 MPa	448,20 MPa
Characteristic ultimate strength:	f _u	498,14 MPa	530,90 MPa
Steel wall thickness used in code check:	t ₁ /t ₂	17,93 mm	19,43 mm
Pressure containment resistance, yielding limit state:	p _{b,s}	218,08 barg	253,43 barg
Pressure containment resistance, bursting limit state:	p _{b,u}	225,59 barg	261,03 barg
Pressure containment resistance, minimum of p _{b,s} & p _{b,u} :	p _b	218,08 barg	253,43 barg
Material resistance factor:	γ _m	1,15	1,15
Safety class resistance factor:	γ _{SC}	1,308	1,046
Local design pressure:	p _{ld}	25,31 barg	35,04 barg
Local incidental/test pressure:	p _{lx}	27,21 barg	35,04 barg
External pressure:	p _e	6,18 barg	6,18 barg
Pressure difference:	p _{lx} - p _e	21,03 barg	28,86 barg
PRESSURE CONTAINMENT, BURSTING:		Operation	System test
Code check, utility:		0,15 OK	0,14 OK
Minimum required nominal wall thickness:		4,74 mm	3,11 mm



Porto Petroli di Genova S.p.A.

Doc N°
12-469-OFF-R-001_00

**NUOVO TERMINALE OFF SHORE
RELAZIONE DI CALCOLO MECCANICO
DELLE CONDOTTE**

DAPP Ref.:

12-469-H10

Rev.:

0

Minimo spessore per pressione esterna (collasso e Pressione di Propagazione) – Installazione – DNV-OS-F101

	OS-F101 - SUBMARINE PIPELINE SYSTEMS - 2007	OS-F101:2007 V01-03	
	System Collapse and Propagating Buckling	01/03/2009	
	Developed by DNV ENEN0714	DNVENEN0714	
PORTO PETROLI - 32" Pipeline Wall Thickness Verification			
PRESSIONE INTERNA - ZONA 2 PRESSIONE ESTERNA -INSTALLAZIONE			
Date:	Sign:	Date:	Sign:
Prepared:		Verified:	
RELEVANT INPUT PARAMETERS:		Collapse	Prop. Buckling
Nominal outer steel diameter:	OD	812,80 mm	
Nominal steel wall thickness:	t _{nom}	22,20 mm	
Corrosion allowance:	t _{corr}	1,50 mm	
Out-of-roundness:	f ₀	0,50 %	
Young's modulus:	E	2,070E+05 MPa	
Poisson's ratio:	v	0,30	
Specified minimum yield stress:	SMYS	448,2 MPa	
Derating in yield stress due to temperature:	f _{y,temp}	12,0 MPa	
Fabrication factor:	α _{fab}	0,93	
Material strength factor:	α _U	0,96	
Depth:	d	68,6 m	
Density of external fluid:	ρ _{ext}	1026,0 kg/m ³	
Safety Class:		LOW	LOW
Corroded wall thickness:		NO	NO
Derated material properties:		NO	NO
INTERMEDIATE RESULTS:		Collapse	Prop. Buckling
Characteristic yield stress:	f _y	430,3 MPa	430,3 MPa
Steel wall thickness used in code check:	t _{1/t2}	19,43 mm	22,20 mm
Elastic collapse pressure:	p _{el}	62,1 barg	NA
Plastic collapse pressure:	p _p	191,3 barg	NA
Characteristic collapse pressure:	p _c	57,8 barg	NA
Material resistance factor:	γ _m	1,15	1,15
Safety class resistance factor:	γ _{SC}	1,04	1,04
External pressure:	p _e	6,9 barg	6,9 barg
Minimum sustainable pressure:	p _{min}	0,0 barg	-
SYSTEM COLLAPSE AND PROPAGATING BUCKLING:		Collapse	Prop. Buckling
Code checks, utility:		0,14 OK	0,48 OK
Minimum wall thickness:		11,46 mm	16,52 mm