

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 PROGETTO DEFINITIVO

TITOLO DOCUMENTO

SPECIFICA TUBAZIONI OFF-SHORE

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
		MFC	AO	GV	CV
DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	CONTROLL.	APPROVATO	SOTT.

DATA	SCALA	ACCORDO QUADRO	DOC. N.				REV	FG
28/02/2013			12	469	OFF	R	012	1



**NUOVO TERMINALE OFF SHORE
SPECIFICA TUBAZIONI OFF-SHORE**

INDICE

	<u>Pagina</u>
LISTA DELLE TABELLE	I
1 SCOPO	1
2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	1
2.1 STANDARD DI RIFERIMENTO	1
2.2 DOCUMENTI DI PROGETTO	1
2.3 ALTRI DOCUMENTI	1
3 DATI DI PROCESSO DELLE CONDOTTE	1
4 METODOLOGIA	2
4.1 DEFINIZIONE DELLO SPESSORE DI CORROSIONE	3
4.2 SCELTA DEL MATERIALE	3
4.3 DEFINIZIONE DELL' ISOLANTE TERMICO DELLE CONDOTTE	4
4.3.1 Metodologia	4
4.3.2 Risultati	5



**NUOVO TERMINALE OFF SHORE
SPECIFICA TUBAZIONI OFF-SHORE**

LISTA DELLE TABELLE

Tables No.


Page

Tabella 3.1: Composizione Chimica del Fluido di Spiazzamento

2

Tabella 4.1: Salto Termico nelle Condotte

6

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-012_00	NUOVO TERMINALE OFF SHORE SPECIFICA TUBAZIONI OFF-SHORE	DAPP Ref.:
		12-469-H9
		Rev.:
		0

1 SCOPO

La presente revisione di questo documento tiene conto, rispetto alla prima emissione, degli sviluppi del progetto con particolare riferimento alla configurazione delle condotte ed al tipo di isolamento specificati nella sezione 3.2.

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 STANDARD DI RIFERIMENTO

Rif. 1. API RP 14E Guide for Basic and Front End Engineering Design

2.2 DOCUMENTI DI PROGETTO

Rif. 2. 12-469-GEN-R-002 Feasibility Study Endorsement Report

Rif. 3. 12-469-GEN-G-001 Basic Engineering Design Data

2.3 ALTRI DOCUMENTI

Rif. 4. AT_RSP_PEO_EN_005 ANNESSO TECNICO PER LO PROGETTO del
 NUOVO TERMINALE MONO-ORMEGGIO OFFSHORE DEL PORTO
 PETROLI DI GENOVA

3 DATI DI INPUT

3.1 DATI DI PROCESSO DELLE CONDOTTE

I dati di processo sono di seguito riassunti:

Portata di design per ciascuna condotta: $Q = 3800 \text{ m}^3/\text{h}$

Pressione garantita al BL lato mare (Rif. 4): $p_b = 14 \text{ bar}$

Pressione richiesta al BL lato terra (Rif. 4): $\Delta p_s = 9 \text{ bar}$

Lunghezza condotte (preliminare) $L = 3300 \text{ m}$

Tutte le pressioni sono riferite alla quota 0.0m sul livello medio mare.

Temperatura di design: $T_d = + 70 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura operativa di sbarco dei prodotti al BL lato mare: $T_o = + 60 \text{ }^\circ\text{C}$

Il fluido per lo spiazzamento dei prodotti dopo lo scarico sarà greggio con basso pour point.

Portata minima di spiazzamento: $q = 2000 \text{ m}^3/\text{h}$

Le caratteristiche di tutti i fluidi trasportabili non sono note. La progettazione delle condotte sarà quindi basata su un fluido avente le seguenti caratteristiche:

Densità: $\rho_f = 990 \text{ kg/m}^3$

Viscosità cinematica: $\nu_f = 800 \text{ cSt a } 50^\circ\text{C}$

Conducibilità termica: $\lambda_f = 0.12 \text{ kcal}/(\text{mh}^\circ\text{C})$, valore assunto

Calore specifico: $c_f = 0.5 \text{ kcal}/(\text{kg}^\circ\text{C})$, valore assunto

I prodotti che saranno usati per lo spiazzamento del greggio ad elevato pour point hanno la composizione specificata di seguito:

Tabella 3.1: Composizione Chimica del Fluido di Spiazzamento

	Crude	
	URAL NOVOROSSISK	AZERI ex BATUMI
POUR POIN [°C]	-9	-3
DENSITY	0,873	0,847
VcSt_20C	23,5	9,6
API	31	35
SULPHUR	1,35	0,15
ACIDITY	0,3	0,4
NICKEL	17,9	2,8
VANADIUM	60,4	0,3
KUOP	11,9	12,0
ASPHALTENES	1,1	0,2
CCR	4,4	1,4

3.2 DATI MECCANICI DELLE CONDOTTE

I dati meccanici delle condotte sono di seguito riassunti:

Diametro: 32"


Spessore: 22.2mm

Tipo di rivestimento 3LPE

Spessore del rivestimento: 4mm

Configurazione delle condotte:

- Tratto non interrato di condotta di lunghezza pari a 1500m rivestito con 4mm di 3LPE e con 80mm di gunite per una lunghezza di 1100m e con 120mm di gunite per una lunghezza di 400m.

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-PIP-R-012_00	NUOVO TERMINALE OFF SHORE SPECIFICA TUBAZIONI OFF-SHORE	DAPP Ref.:
		12-469-H9
		Rev.:
		0

- b) Tratto di condotta non gunitata all'interno della TOC di lunghezza pari a 1800m e rivestito con 4mm di 3LPE.

4 METODOLOGIA

4.1 DEFINIZIONE DELLO SPESSORE DI CORROSIONE

Le composizioni chimiche dei prodotti usati per lo spiazzamento sono elencate in Tabella 3.1. Le composizioni chimiche dei prodotti scaricati dalle navi non sono note e quindi non è possibile valutare la loro eventuale aggressività corrosiva.

Poiché il fattore principale perché vi sia corrosione è che sia presente acqua in fase libera e presenza di agenti corrosivi, per la valutazione dello spessore di corrosione si sono fatte le seguenti assunzioni:

- il greggio (sia quello usato per lo spiazzamento sia quello di scarica) è stabilizzato e quindi ha un basso contenuto di acqua;
- non conoscendo i tempi di stazionamento del fluido (per cui ci sia la possibilità di che avvenga la separazione dell'eventuale acqua presente) si ipotizza che il greggio non stazioni nelle condotte per un tempo troppo lungo da consentire la separazione;
- il greggio scaricato è già stato trattato ed è quindi esente da H₂S e CO₂.

Sulla base di queste assunzioni e dei dati a disposizione si può solamente verificare che la velocità del fluido sia inferiore alla velocità di erosione definita dalla API RP 14E (Rif. 1):

$$V_e = \frac{C}{\sqrt{\rho}} \quad (1)$$

dove V_e è la velocità di erosione
 C è una costante definita nella norma API
 ρ è la densità del fluido.

Il valore di C raccomandato da Rif. 1 per condotte in acciaio al carbonio è uguale a 125 lb^{0.5}ft^{-0.5}s⁻¹ da cui si ricava:


$$V_e = 4.85 \text{ m/s}$$

Il valore di V_e è quindi inferiore alla massima velocità media del fluido nella condotta pari a 3.11 m/s calcolata in Rif. 2.

Sulla base delle assunzioni fatte un sovra spessore minimo di corrosione pari a 1.5mm sembra adeguato allo scopo di lavoro del tubo in questione.

4.2 SCELTA DEL MATERIALE

La scelta di acciaio al carbonio API-5L con grado da definire e spessore di corrosione di 1.5mm sembra adeguata in base alle assunzioni fatte e alla composizione chimica dei prodotti elencati in Tabella 3.1. In mancanza della composizione chimica del greggio di scarica e sulla base delle assunzioni fatte al paragrafo precedente si assume che la scelta sia adeguata anche per il fluido di scarica.

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-PIP-R-012_00	NUOVO TERMINALE OFF SHORE SPECIFICA TUBAZIONI OFF-SHORE	DAPP Ref.:
		12-469-H9
		Rev.:
		0

4.3 ANALISI TERMICA

L'analisi termica è stata eseguita sulla base delle seguenti assunzioni:

- 1) Un primo tratto di lunghezza pari a 1500m rivestito con 4mm di 3LPE e 80mm di gunita. Questa assunzione è conservativa perché considera lo spessore minimo di gunita su tutto il tratto non interrato. In questo tratto la condotta viene considerata esposta all'acqua di mare e soggetta a convezione forzata esterna.
- 2) Tratto di condotta di lunghezza 1800m rivestito con 4mm di 3LPE all'interno della TOC (Trivellazione Orizzontale Controllata). Lo scambio termico con l'esterno di questo tratto è governato dalla conducibilità termica del terreno; il valore di 2.5W/(m°C) è stato assunto nelle Design basis in mancanza di dati è tipico di terreni tipo sabbie limose / limi sabbiosi ma non è correlato alla zona di interesse. Poiché la gunita ha una conducibilità termica inferiore (2.3W/m°C) si ritiene più conservativo considerare la condotta nella stessa configurazione di cui al punto 1 e cioè con gunita spessa 80mm e non interrata. L'assunzione di non interramento è una condizione ulteriormente conservativa perché lo scambio termico per convezione con l'acqua di mare è sicuramente maggiore di quello corrispondente alla condotta all'interno della TOC.

4.3.1 Metodologia

Lo scambio termico fra il fluido che scorre in una condotta e l'ambiente esterno è governato dall'equazione di Fourier

$$d\phi = K_T \cdot dx(T_e - T_f) \quad \text{dove} \quad (3)$$

$d\phi$ è il calore disperso nell'unità di tempo nel tratto dx

K_T è il coefficiente di scambio termico nel tratto dx

$T_e = +10^\circ\text{C}$ è la temperatura esterna dell'acqua sul fondo, Rif. 2

T_f è la temperatura di bulk del fluido nel tratto dx

La variazione temperatura del fluido è data dalla relazione

$$dT_f = \frac{d\phi}{c_f q} \quad \text{dove} \quad (4)$$

c_f è il calore specifico del fluido

q è la portata.

Le condotte sono due tubazioni in acciaio rivestite con due strati di materiale:

- uno strato di rivestimento che ha sia scopo anticorrosivo che di isolante termico.
- un strato di appesantimento di gunita.

Per un tubo costituito da tre strati in cui scorre un fluido caldo che scambia calore con l'esterno, rappresentato in questo caso dall'acqua di mare, il coefficiente di scambio termico è dato dalla relazione (5)

$$K_T := \frac{\pi}{\left(\frac{1}{2 \cdot \lambda_{st}} \cdot \ln \left(\frac{d_{et}}{d_{it}} \right) + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{is}} \cdot \ln \left(\frac{d_{eis}}{d_{iis}} \right) + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{con}} \cdot \ln \left(\frac{d_{econ}}{d_{icon}} \right) + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right)} \quad (5)$$

dove

h_i ed h_e sono i contributi allo scambio termico per convezione forzata interna ed esterna che vengono calcolati in base ai numeri di Nusselt:

Nu_{oil} numero di Nusselt per convezione forzata interna dato dalla relazione (6) di Dittus Boelter.

Nu_w numero di Nusselt per la convezione forzata esterna dato dalla relazione (7) di Churchill Bernstein, dove Re e Pr sono rispettivamente il numero di Reynolds ed il numero di Prandtl.

d_e , d_i sono i diametri esterni ed interni dei vari strati

Nella (5) si è indicato con λ_{is} la conducibilità dello strato di rivestimento che assumerà valori diversi qualora si consideri come materiale il polietilene o il polipropilene.

$\lambda_{st} = 48.46 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$ è la conducibilità termica dell'acciaio

$\lambda_{is} = 0.35 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$ è la conducibilità termica del 3LPE

$\lambda_{con} = 2.3 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$ è la conducibilità termica della gunite

$$Nu_{oil} := 0.024 Re^{0.8} \cdot Pr^{0.3} \quad (6)$$


$$Nu_w := 0.3 + \frac{0.62 Re^{\frac{1}{2}} \cdot Pr^{\frac{1}{3}}}{\left[1 + \left(\frac{Re}{282000} \right)^{\frac{5}{8}} \right]^{\frac{4}{5}}} \left[1 + \left(\frac{0.4}{Pr} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{4}{4}} \quad (7)$$

Le manichette di collegamento fra PLEM e nave sono corte rispetto alla lunghezza delle condotte e con basso coefficiente di scambio termico ($k=0.21 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$). Il loro contributo è stato calcolato con la stessa metodologia e il salto termico è pari a 0.01°C per 100m di manichetta per cui è trascurabile nell'analisi globale.

Uguagliando la (3) e la (4) ed integrando numericamente nella variabile dx si ottiene l'andamento della temperatura lungo la linea.

4.3.2 Risultati

Il calcolo è stato eseguito implementando le equazioni con Mathcad. Nella Tabella 4.1 sono riassunti i risultati alla portata di progetto ed alla portata di spiazzamento. Di seguito è riportato il calcolo del solo caso b) che è quello raccomandato in Rif. 2. Il foglio riporta anche i valori relativi alle caratteristiche del terreno che sono assunte ma che non vengono usate nel calcolo.

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-PIP-R-012_00	NUOVO TERMINALE OFF SHORE SPECIFICA TUBAZIONI OFF-SHORE	DAPP Ref.:
		12-469-H9
		Rev.:
		0

La Tabella 4.1 mostra che il salto termico nelle condotte è sempre inferiore ai 5°C richiesti pur considerando le assunzioni conservative fatte nel tratto di condotta nella TOC in cui lo scambio termico con il terreno è inferiore rispetto a quello in acqua.

Tabella 4.1: Salto Termico nelle Condotte

Condizione	Portata	T_{iniziale}	T_{finale}
Scarico	3800 m ³ /h	70 °C	67.00 °C
Spiazzamento	2000 m ³ /h	70 °C	65.59 °C

Calcolo della cadente termica CON ISOLANTE POLIETILENE 4 mm

Geometria della condotta

Diametro interno:	$D_i := 768.4\text{mm}$	
Spessore tubo:	$t_t := 22.2\text{mm}$	
Spessore isolante:	$\lambda_{is} := 4\text{mm}$	
Spessore concrete:	$t_{con} := 80\text{mm}$	
Lunghezza totale della condotta:	$L_x := 3300\text{m}$	
Diametro esterno totale:	$D_e := D_i + 2 \cdot (t_t + \lambda_{is} + t_{con})$	$D_e = 0.9808\text{m}$
Diametro interno tubo:	$d_{it} := D_i$	$d_{it} = 0.7684\text{m}$
Diametro esterno tubo	$d_{et} := d_{it} + 2 \cdot t_t$	$d_{et} = 0.8128\text{m}$
Diametro interno isolante	$d_{iis} := d_{et}$	$d_{iis} = 0.8128\text{m}$
Diametro esterno isolante	$d_{eis} := d_{iis} + 2 \cdot \lambda_{is}$	$d_{eis} = 0.8208\text{m}$
Diametro interno concrete	$d_{icon} := d_{eis}$	$d_{icon} = 0.8208\text{m}$
Diametro esterno concrete:	$d_{econ} := d_{icon} + 2 \cdot t_{con}$	$d_{econ} = 0.9808\text{m}$

Caratteristiche dei Materiali

Conduttività termica dell'acciaio $\lambda_{st} := 48.46 \frac{W}{m \cdot K}$

Conduttività termica dell'isolante $\lambda_{is} := \frac{0.35W}{m \cdot K}$

Conduttività termica del concrete $\lambda_{con} := 2.3 \frac{W}{m \cdot K}$ $\lambda_{con} = 2.3 \frac{W}{m \cdot K}$

Caratteristiche del Fluido interno (olio)

Densità del fluido: $\rho_{oil} := 990 \frac{kg}{m^3}$

Conduttività termica del fluido: $\lambda_{oil} := 0.12 \frac{kcal}{m \cdot hr \cdot K}$ $\lambda_{oil} = 0.13956 \frac{W}{m \cdot K}$

Calore specifico $c_{oil} := 0.50 \frac{kcal}{(kg \cdot \Delta^{\circ}C)}$

Temperatura iniziale del fluido $T_0 := 70^{\circ}C$

viscosità cinematica $\nu_{oil} := 800 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

viscosità dinamica $\mu_{oil} := \rho_{oil} \nu_{oil}$ $\mu_{oil} = 0.792 \frac{kg}{m \cdot s}$

Caratteristiche del Fluido esterno (acqua)

Densità del fluido:	$\rho_w := 1026 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	
Conduttività termica del fluido:	$\lambda_w := 0.58 \frac{\text{kcal}}{\text{m}\cdot\text{hr}\cdot\text{K}}$	$\lambda_w = 0.67454 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$
Calore specifico	$c_w := 1 \frac{\text{kcal}}{(\text{kg}\cdot\text{K})}$	
Temperatura acqua	$T_w := 10^\circ\text{C}$	
viscosità cinematica	$\nu_w := 1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$	
viscosità dinamica	$\mu_w := \rho_w \cdot \nu_w$	$\mu_w = 1.026 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$

Caratteristiche del Flusso interno

Portata del fluido:	$Q := 3800 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$	
$M := Q \cdot \rho_{oil}$	$M = 1.045 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$	
Velocità del fluido	$v := \frac{Q}{\frac{D_i^2}{4} \cdot \pi}$	$v = 2.27623 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
numero di Raynolds	$Re := \rho_{oil} \cdot v \cdot \frac{D_i}{\mu_{oil}}$	$Re = 2.18632 \times 10^3$
numero di Prandtl	$Pr := c_{oil} \frac{\mu_{oil}}{\lambda_{oil}}$	$Pr = 1.188 \times 10^4$
$Nu_{oil} := 0.024 Re^{0.8} \cdot Pr^{0.3}$		
$Nu_{oil} = 188.11667$	$h_i := \lambda_{oil} Nu_{oil}$	$h_i = 26.25356 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$

Caratteristiche del Flusso esterno (Acqua)

velocità del fluido

$$v_w := 0.54 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

numero di Reynolds

$$Re := \rho_w \cdot v_w \cdot \frac{D_e}{\mu_w} \quad Re = 5.08032 \times 10^5$$

numero di Prandtl

$$Pr := c_w \cdot \frac{\mu_w}{\lambda_w} \quad Pr = 6.36828$$

Numero di Nusselt:

$$Nu_w := 0.3 + \frac{0.62 Re^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}}}{\left[1 + \left(\frac{Re}{282000} \right)^{\frac{5}{8}} \right]^{\frac{4}{5}}} \cdot \left[1 + \left(\frac{0.4}{Pr} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^4$$

$$Nu_w = 1.61464 \times 10^3$$

Coefficiente di scambio per convezione forzata interna: $h_i := \lambda_{oil} \cdot Nu_{oil}$

$$h_i = 26.25356 \frac{W}{m \cdot K}$$

conducibilità dell'acqua $K_w := 0.58 \frac{W}{m \cdot K}$

Coefficiente di scambio per convezione forzata esterna: $h_e := (K_w \cdot Nu_w)$

$$h_e = 936.49324 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$K_T := \frac{\pi}{\left(\frac{1}{2 \cdot \lambda_{st}} \cdot \ln \left(\frac{d_{et}}{d_{it}} \right) + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{is}} \cdot \ln \left(\frac{d_{eis}}{d_{iis}} \right) + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{con}} \cdot \ln \left(\frac{d_{econ}}{d_{icon}} \right) + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right)}$$

$$K_T = 37.67225 \frac{W}{m \cdot K} \quad \text{Transfer Coefficient}$$

Cadente termica

$$i := 1, 2.. 3300$$

$$x_1 := i \cdot m$$

$$x_1 = 1 \text{ m}$$

$$a := K_T \cdot \frac{(x_1)}{M \cdot c_{oil}} \quad a = 2.3129 \times 10^{-5}$$

$$T_{\omega} := a \cdot (T_w - T_0) + T_0$$

$$T_{3300} = 65.59082^\circ\text{C}$$