

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

Relazione di Calcolo Loop di Esansione

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 | F G |
| 28-02-2013 | | | 12 | 469 | OFF | R | 007 | 0 |

| | | |
|--|---|--------------------------|
|  Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-007_00 | NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO LOOP DI ESAPANSIONE | DAPP Ref.: 12-469-H44 |
| | | Rev.: 0 |

INDICE

| | <u>Pagina</u> |
|---|---------------|
| 1 SCOPO | 1 |
| 1.1 ABBREVIAZIONI E SIMBOLI | 1 |
| 1.2 UNITÀ DI MISURA | 2 |
| 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO | 3 |
| 2.1 DOCUMENTI DI PROGETTO | 3 |
| 2.2 NORMATIVE | 3 |
| 2.3 SPECIFICHE ENI | 3 |
| 3 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI | 4 |
| 3.1 ESPANSIONE DELLA CONDOTTA | 4 |
| 3.2 SPOOL DESIGN | 4 |
| 3.3 VERIFICA DELLE FLANGE | 4 |
| 4 DATI DI BASE ED ASSUNZIONI DI PROGETTO | 5 |
| 4.1 BATTERY LIMITS | 5 |
| 4.2 DATI GEOTECNICI | 5 |
| 4.3 CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA CONDOTTA E DELLO SPOOL | 5 |
| 4.4 DATI DI PROCESSO | 6 |
| 4.5 LAYOUT DELLO SPOOL | 6 |
| 5 CARICHI DI PROGETTO | 8 |
| 5.1 CASI DI ANALISI | 8 |
| 5.2 CARICHI OPERATIVI | 8 |
| 5.2.1 Peso della condotta e buoyancy | 8 |
| 5.2.2 Carichi Termici | 8 |
| 5.2.3 Carichi per Pressione Interna | 9 |
| 6 METODOLOGIA DI CALCOLO | 10 |
| 6.1 COMBINAZIONI DI CARICO | 10 |
| 6.2 MODELLO STRUTTURALE | 10 |
| 6.2.1 Vincoli | 11 |
| 6.2.2 Modellazione del terreno | 12 |
| 6.3 ESPANSIONE DELLA CONDOTTA | 12 |
| 6.4 VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI STRESS NELLO SPOOL | 13 |
| 6.5 VERIFICA DELLE FLANGE | 15 |
| 7 RISULTATI | 16 |
| 7.1 ESPANSIONE | 16 |
| 7.1.1 Stress | 16 |
| 7.2 VERIFICA DELLE FLANGE | 17 |
| 8 APPENDICE – VERIFICHE DNV | 21 |

1 SCOPO

Scopo del presente documento è il dimensionamento dello Spool da 32", elemento di connessione tra le Sealines da 32" ed il PLEM, che verranno utilizzati 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 per le reti di distribuzione.

Per il dimensionamento dello Spool sono stati seguiti i criteri della normativa internazionale DNV OS F101 "Submarine Pipeline Systems" (Rif. 8)

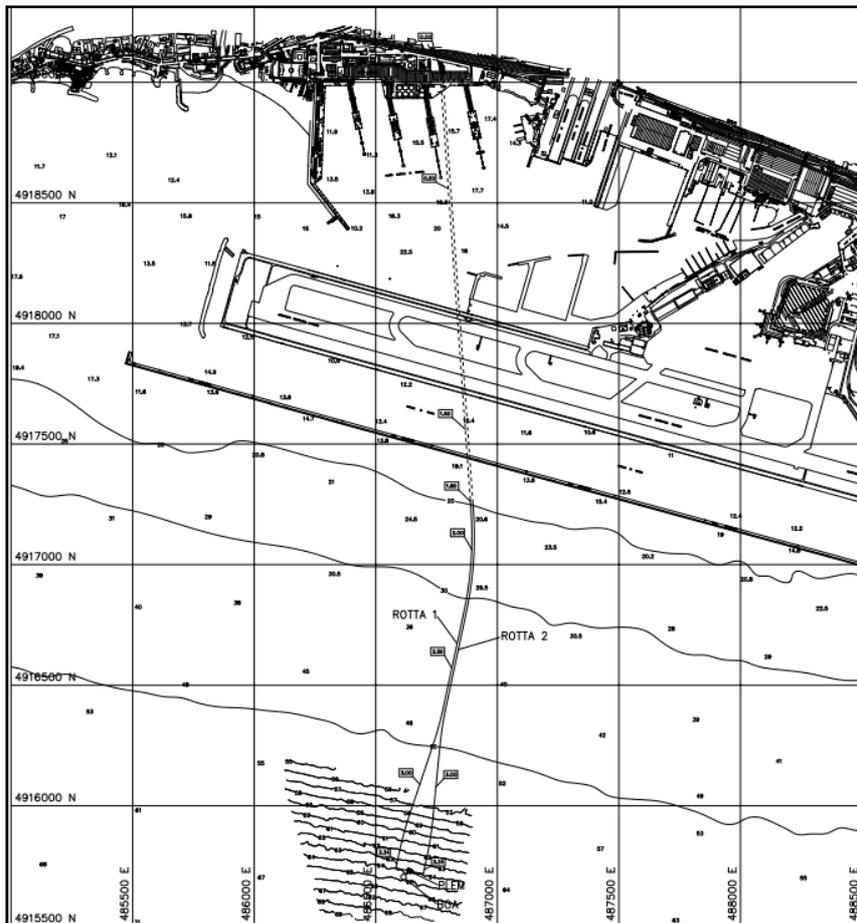


Figura 1-1 – Rotta

1.1 ABBREVIAZIONI E SIMBOLI

Di seguito sono elencati gli acronimi e le abbreviazioni che verranno usati in questo documento:

Abbreviazioni

| | | |
|----|---|----------------------------|
| E | = | Modulo di Young |
| PK | = | Punto Chilometrico |
| M | = | Momento Flettente |
| ND | = | Diametro Nominale del Pipe |

| | | |
|--|---|--------------------------|
|  Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-007_00 | NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO LOOP DI ESAPANSIONE | DAPP Ref.: 12-469-H44 |
| | | Rev.: 0 |

| | | |
|------|---|--|
| OD | = | Diametro esterno del Pipe (OutsideDiameter) |
| SMYS | = | Tensione di Snervamento dell'acciaio (Specified Minimum Yielding Stress) |
| SMTS | = | Tensione a rottura dell'acciaio (Specified Minimum Tensile Strength) |
| WD | = | Profondità dell'acqua (Water Depth) |
| LC | = | Load Control |
| UC | = | Unity Check |
| 3LPE | = | Rivestimento a Tre strati di Polietilene |
| PLEM | = | Pipe Line End Manifold |
| TOC | = | Trivellazione Orizzontale Controllata |

Simboli

| | | |
|----------------|---|--------------------------------|
| α_A | = | Anisotropy Factor |
| α_C | = | Flow stress parameter |
| α_{fab} | = | Maximum Fabrication Factor |
| α_U | = | Material Strength Factor |
| C_u | = | Undrained shear strength |
| γ_m | = | Material Resistance Factor |
| γ_{SC} | = | Safety Class Resistance Factor |
| σ_{adm} | = | Tensione ammissibile |
| σ_{ass} | = | Tensione assiale |
| σ_{eq} | = | Equivalent Stress |
| σ_h | = | Hoop Stress |
| σ_L | = | Longitudinal Stress |
| τ | = | Tensione di taglio |
| M_d | = | Momento flettente di progetto |
| M_p | = | momento flettente plastico |
| K | = | Rigidezza del terreno |
| p_e | = | External pressure |
| p_i | = | Internal Pressure |
| S_d | = | Forza assiale di progetto |
| S_p | = | Forza plastica |
| t | = | Spessore della condotta |
| W_{pipe} | = | Peso della condotta in acqua |

1.2 UNITÀ DI MISURA

Nel rapporto di calcolo verrà utilizzato il Sistema Internazionale (SI), la sola eccezione verrà fatta per il diametro esterno della condotta che sarà espresso in pollici.

| | | |
|--|---|--|
|  Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-007_00 | NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO LOOP DI ESAPANSIONE | DAPP Ref.: 12-469-H44 Rev.: 0 |
|--|---|--|

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 DOCUMENTI DI PROGETTO

| | | |
|---------|------------------|---|
| Rif. 1. | 12-469-GEN-R-001 | Basic Engineering Design Data |
| Rif. 2. | 12-469-PIP-R-001 | Offshore Pipeline – Mechanical Sizing |
| Rif. 3. | 12-469-PIP-D-003 | Offshore Pipeline - General Route Map |
| Rif. 4. | 12-469-PIP-R-006 | Offshore Pipeline - Alignment Sheets |
| Rif. 5. | 12-469-PIP-D-004 | Offshore Pipeline – On Bottom Stability |
| Rif. 6. | 12-469-PIP-D-010 | Offshore Pipeline – Expansion loop Detail |
| Rif. 7. | 12-469-PIP-R-012 | Offshore Pipeline - Material Selection and Insulation requirement |

2.2 NORMATIVE

| | | |
|----------|-------------|---|
| Rif. 8. | DNV OS F101 | Submarine Pipeline Systems, October 2007. |
| Rif. 9. | ASME B16.5 | Pipe Flanges and Flanged Fittings |
| Rif. 10. | ASME B16.47 | Large Diameter Steel Flange |
| Rif. 11. | ANSI/ASME | Piping nuclear components” B31.7, Ed.1969 (moved to ASME Boiler And Pressure Vessel Code, Section III); |

2.3 SPECIFICHE ENI

| | | |
|----------|-------------------|---------------------------------------|
| Rif. 12. | 23025-SLI-OFF-PRG | Design criteria - Offshore pipelines. |
|----------|-------------------|---------------------------------------|

| | | |
|--|---|--------------------------|
|  Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-007_00 | NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO LOOP DI ESAPANSIONE | DAPP Ref.: 12-469-H44 |
| | | Rev.: 0 |

3 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

3.1 ESPANSIONE DELLA CONDOTTA

L'espansione massima della condotta è pari a 716 mm, in condizioni operative e 1,2 mm in condizioni di Collaudo idraulico.

3.2 SPOOL DESIGN

La seguente tabella riassume i fattori di sicurezza (UnityCheck) ricavati in accordo con le norme in Rif. 8.

Sono riportati, per la condizione operativa e di collaudo idraulico, i valori del nodo più sollecitato dello spool (nodo A734 per l'operativo ed A712 per il collaudo) ed i valori di sollecitazione riguardanti la curva (nodo A707). I nodi A734 ed A712 sono posizionati rispettivamente a 19 m e 41 m dalla flangia d'interfaccia con il PLEM (flangia F1).

| CONDIZIONE DI CARICO | NODO | DESCRIZIONE | CARICHI | | UNITY CHECK DNV | |
|----------------------|------|------------------|-------------------|---------------|-----------------|--------|
| | | | MOMENTO FLETTENTE | FORZA ASSIALE | LCC a) | LCC b) |
| | | | [kNm] | [kN] | - | - |
| OPERATIVO | A707 | 90° bend | 713,84 | 111,02 | 0,09 | 0,077 |
| | A734 | Dista 19 m da F1 | 728,01 | 38,54 | 0,063 | 0,054 |
| COLLAUDO IDRAULICO | A707 | 90° bend | 17,06 | 20,75 | 0,006 | 0,006 |
| | A712 | Dista 41 m da F1 | 16,94 | 35,68 | 0,003 | 0,003 |

Tabella 3-1 – Spool – Sollecitazioni massime nella condizione funzionale e di Collaudo Idraulico

3.3 VERIFICA DELLE FLANGE

Tutte le flange di connessione dello spool con la condotta e con il Plem(rating 300) sono verificate in accordo al Rif. 9.

| | | |
|--|---|--------------------------|
|  Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-007_00 | NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO LOOP DI ESAPANSIONE | DAPP Ref.: 12-469-H44 |
| | | Rev.: 0 |

4 DATI DI BASE ED ASSUNZIONI DI PROGETTO

Questa sezione riporterà un riassunto dei parametri di progetto e delle assunzioni che verranno utilizzati per l'analisi. I dati sono principalmente ricavati dal documento "Basic Engineering Design Data (Rif. 1).

4.1 BATTERY LIMITS

Di seguito sono riportati i limiti di batteria:

| | |
|---------|--|
| KP=0.0 | Flangia di interfaccia con la sezione On-shore |
| KP=3.34 | Flangia di interfaccia con il PLEM |

4.2 DATI GEOTECNICI

| | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Tipo di terreno | Argille o limi con spessore 8-9m |
| Resistenza al taglio non drenata (Su) | 0.17 kg/cm ² |
| Peso specifico | 19 kN/m ³ |

4.3 CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA CONDOTTA E DELLO SPOOL

Condotta, spool e curve, sono costituite da acciaio API-5L Grade X-65. I parametri di progetto utilizzati per il dimensionamento sono riportati nella tabella seguente.

| Descrizione | ND 32" |
|---|-------------------------|
| Diametro esterno (mm) | 812,8 |
| Steel grade | API-5L Grade X-65 |
| Densità (kg/m ³) | 7850 |
| Modulo elastico (MPa) | 207000 |
| Coefficiente di Poisson | 0,3 |
| Coefficiente di dilatazione termica lineare (°C ⁻¹) | 1,17 • 10 ⁻⁵ |
| Tensione di snervamento (SMYS) (MPa) | 448 |
| Tensione di rottura (SMTS) (MPa) | 530 |

Tabella 4-1 – Dati meccanici e geometrici della condotta e dello spool

L'analisi di espansione della condotta ed il dimensionamento dello spool sono stati effettuati considerando i seguenti spessori di acciaio, gunite e rivestimento esterno, in accordo con Rif. 5, Rif. 2 e Rif. 7.

| | | | |
|------------------------|-------------------------|--------------------------|---|
| Sezione della condotta | Spessore della condotta | Strato di Appesantimento | Rivestimento anticorrosivo – 3LPE Polietilene |
|------------------------|-------------------------|--------------------------|---|

| | | |
|--|---|--------------------------|
|  Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-007_00 | NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO LOOP DI ESAPANSIONE | DAPP Ref.: 12-469-H44 |
| | | Rev.: 0 |

| From KP [km] | To KP [km] | [mm] | Spessore [mm] | Densità [kg/m ³] | Spessore [mm] | Densità [kg/m ³] |
|-----------------|---------------|------|------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------------|
| 0,00 | 1,80 | 22,2 | 0 | 3040 | 4 | 960 |
| 1,80 | 2,30 | 22,2 | 120 | | | |
| 2,30 | 3,34 | 22,2 | 80 | | | |
| Spool | | 22,2 | 80 | | | |

Tabella 4-2 – Spessore della condotta e della gunite

Le curve dello spool hanno le seguenti caratteristiche:

| Diametro esterno [pollici] | Angolo [°] | Raggio di curvatura [mm] | Rivestimento Esterno Polyuretan-tar | |
|-------------------------------|---------------|-----------------------------|--|---------------------------------|
| | | | Spessore [mm] | Densità [Kg/m ³] |
| 32 | 90 | 4064 | 4 | 960 |

Tabella 4-3 – Caratteristiche delle curve

4.4 DATI DI PROCESSO

I dati di processo utilizzati sono in accordo al Rif. 1 ed al Rif. 2. Si riportano di seguito i parametri utilizzati per il dimensionamento dello spool:

| | |
|---|--|
| Diametro nominale | 32'' (812.8mm) |
| Spessore acciaio | 22.2mm |
| Spessore di corrosione | t _{corr} = 3,0 mm (valore conservativo) |
| 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 |
| Temperatura media dell'acqua | 10°C |
| Peso specifico del fluido interno | 990 Kg/m ³ |
| Densità dell'acqua | 1026 Kg/m ³ |
| Profondità massima | 65 m |

4.5 LAYOUT DELLO SPOOL

Nella seguente figura è mostrato il layout dello spool, in accordo con Rif. 6 :

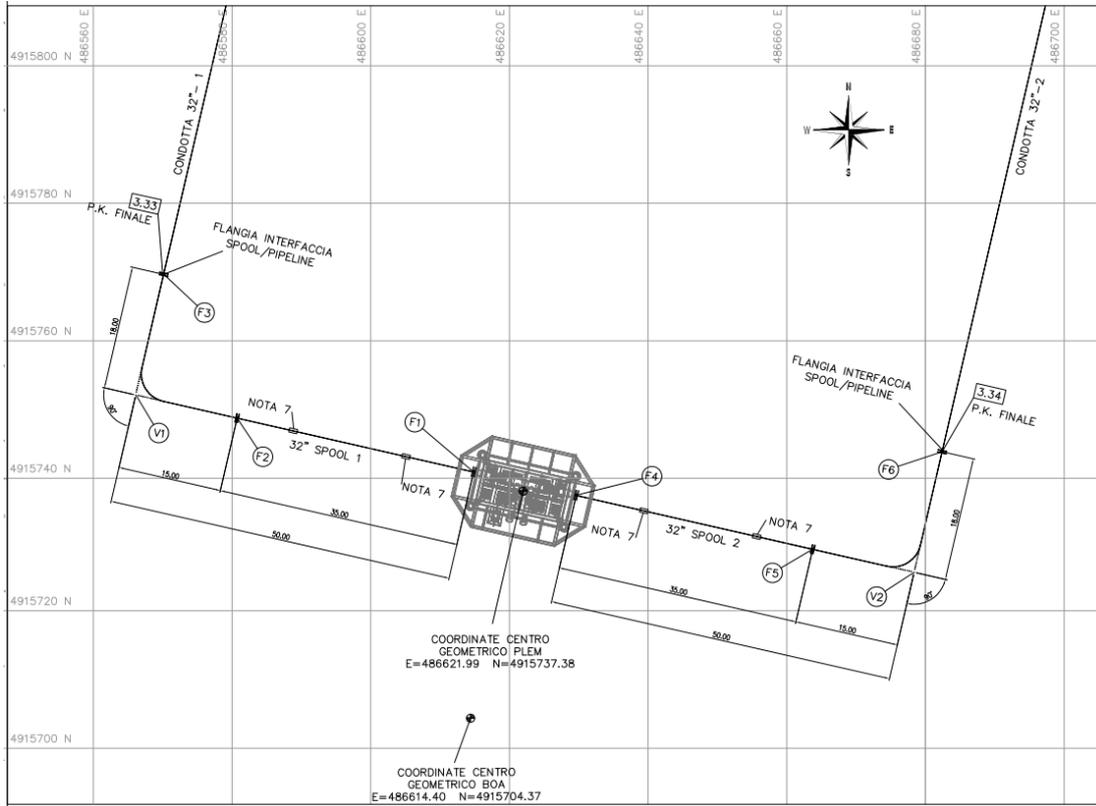


Figure 4-1 –Layout dello spool

| | | |
|---|---|--------------------------|
|  Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-007_00 | NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO LOOP DI ESAPANSIONE | DAPP Ref.: 12-469-H44 |
| | | Rev.: 0 |

5 CARICHI DI PROGETTO

5.1 CASI DI ANALISI

Le seguenti condizioni di base sono state applicate e combinate in accordo alle norme per simulare i carichi funzionali sullo spool durante la sua vita operativa e durante il collaudo idraulico.

- Peso Proprio e buoyancy;
- Carichi Termici;
- Carichi di Pressione.

| COMB | CARICO | | DESCRIZIONE |
|-----------|--------------------------|----|---|
| OPERATING | Peso Proprio | G | Peso in acqua della condotta considerata piena di olio |
| | Temperatura di progetto | T1 | Temperatura di progettodellacondotta |
| | Pressione di progetto | P1 | Pressioneoperativa di progettodellacondotta |
| HYDROTEST | Peso Proprio | G | Peso in acqua della condotta considerata piena di acqua |
| | Temperatura di Hydrotest | T2 | Temperaturadurante la fase temporanea di Hydrotest |
| | Pressione di Hydrotest | P2 | Pressionedi collaudo della condotta |

Tabella 5-1– Casi di analisi

5.2 CARICHI OPERATIVI

5.2.1 Peso della condotta e buoyancy

Il peso proprio e la buoyancy (GR) sono automaticamente generate da Autopipe e tengono in conto le proprietà strutturali e la presenza di rivestimento esterno e gunite quando applicabile.

5.2.2 Carichi Termici

La seguente tabella riassume i carichi termici usati per le analisi.

| | | |
|---|---|--------------------------|
|  Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-007_00 | NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO LOOP DI ESAPANSIONE | DAPP Ref.: 12-469-H44 |
| | | Rev.: 0 |

| CASO TERMICO | CONDIZIONI | VARIAZIONE TEMPERATURA | DESCRIZIONE |
|--------------|------------|------------------------|--|
| T1 | Operating | +60°C | ΔT : Fluido (+70°C) e acqua del mare (+10°C) |
| T2 | Hydrotest | 0°C | ΔT : Fluido (+10°C) e acqua del mare (+10°C) |

Tabella5-2 – Carichitermici

5.2.3 Carichi per Pressione Interna

Autopipe calcola automaticamente il carico dovuto alla pressione interna (P1) con incluso l'effetto Poisson. La seguente tabella riassume i carichi di pressione:

| CONDIZIONE | VALORE | DESCRIZIONE |
|------------|-----------|-----------------------|
| Operating | 19,00 bar | Pressione Operativa |
| Hydrotest | 23,75bar | Pressione di Collaudo |

6 METODOLOGIA DI CALCOLO

L'analisi è stata effettuata con il programma di calcolo agli elementi finiti AUTOPIPE XM Edition Ver. 09. Il programma produce risultati in forma di spostamenti, carichi e stress del sistema.

6.1 COMBINAZIONI DI CARICO

Sono state analizzate le seguenti combinazioni di carico:

| COMBINAZIONI DI CARICO | CASI BASE | | |
|------------------------|-----------|------|-----|
| | G | P | T |
| GT1P1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| GT2P2 | 1.0 | 1.25 | - |

Le verifiche della condotta sono state eseguite in accordo alla metodologia descritta nelle norme DNV OS-F101 (Rif. 8), secondo quanto descritto nel paragrafo

6.2 MODELLO STRUTTURALE

Il sistema di coordinate globale considerato, ha come riferimento l'asse +Z nella direzione verticale positiva. Direzione e versi dei restanti due assi è mostrata nel disegno sottostante:

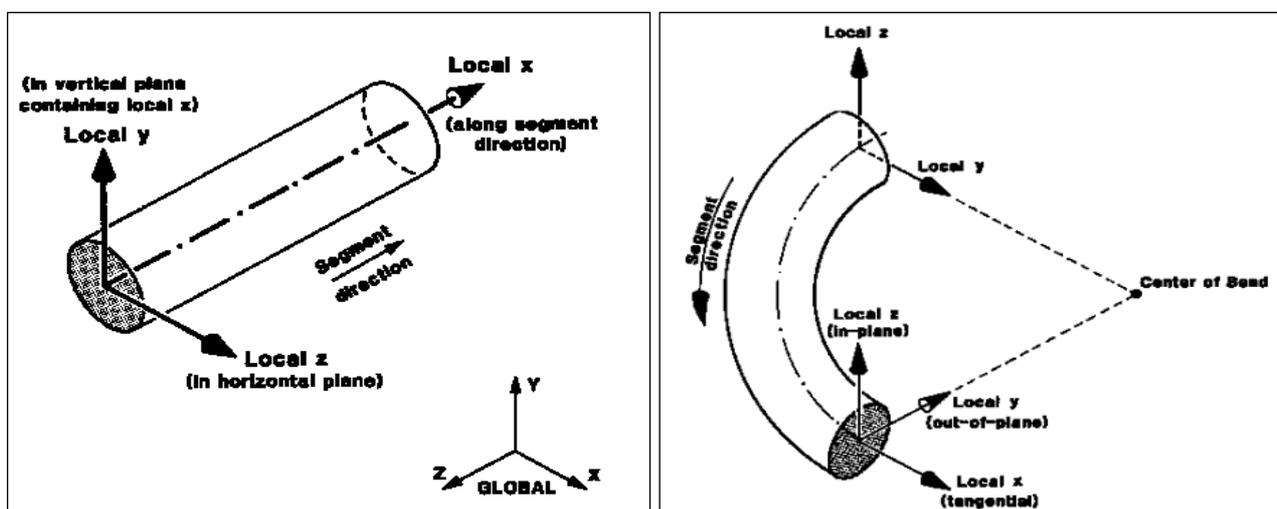


Figura 6-1 – Sistema di riferimento globale e locale di Autopipe

Nelle figure sottostanti è mostrato il modello strutturale dello spool:

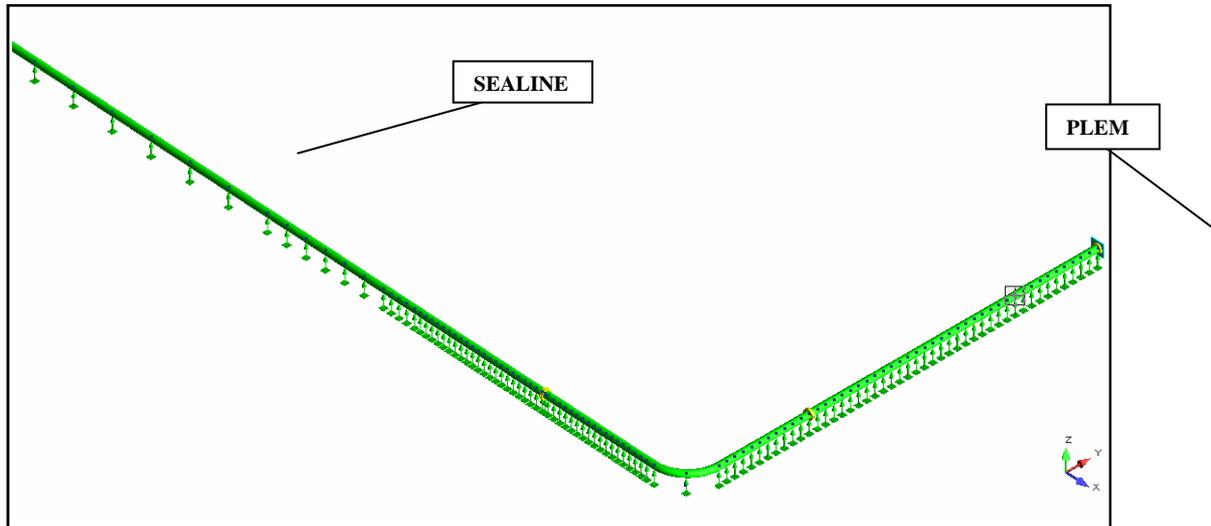


Figura 6-2 – Modello strutturale dello spool

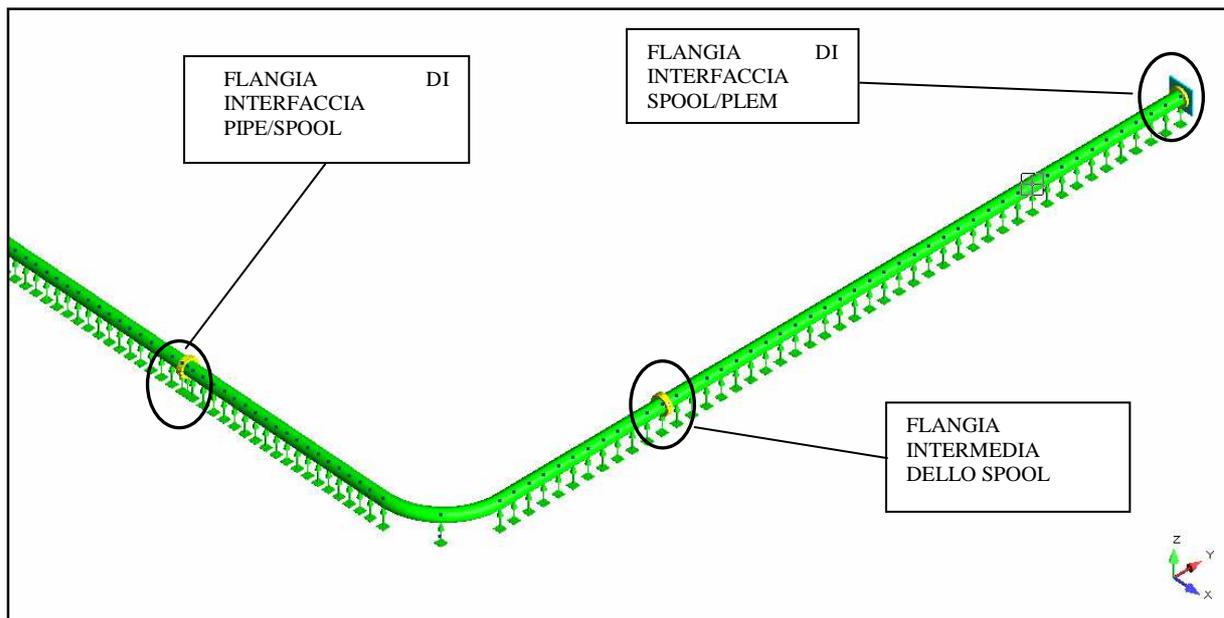


Figura 6-3 – Posizionamento delle flange

6.2.1 Vincoli

Nel seguente paragrafo verranno descritti i vincoli adottati per l'analisi agli elementi finiti. Si riporta un disegno schematico di riferimento per l'individuazione delle sezioni vincolate.

| | | |
|---|---|--------------------------|
|  Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-007_00 | NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO LOOP DI ESAPANSIONE | DAPP Ref.: 12-469-H44 |
| | | Rev.: 0 |

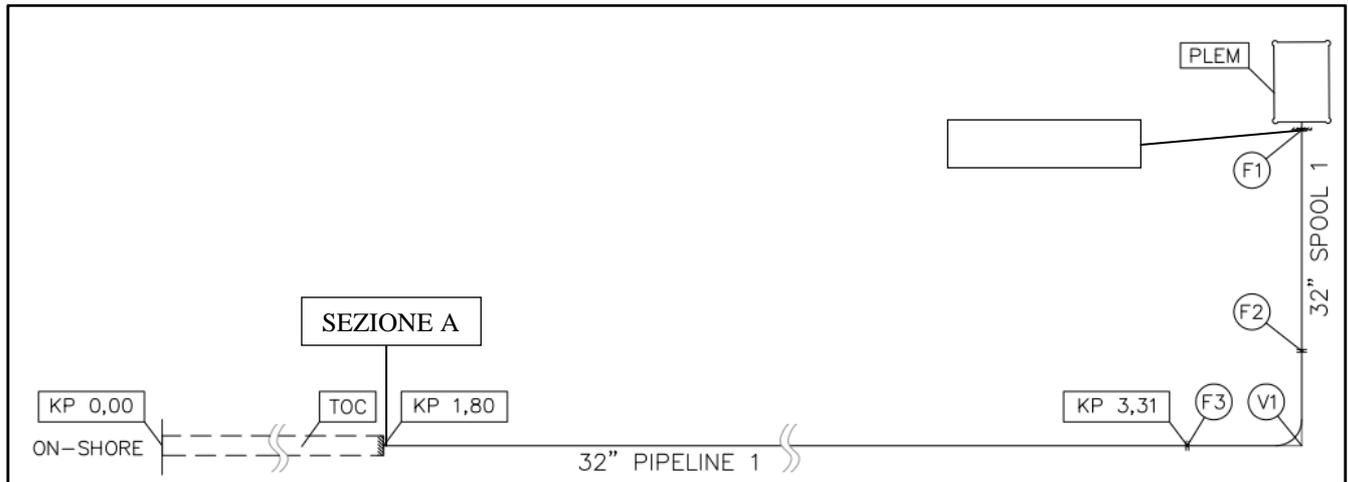


Figura 6-4 – Vincoli

Le due sezioni vincolate sono la sezione A, in corrispondenza del KP 1,8, ovvero in corrispondenza della sezione di uscita della TOC e la sezione B, in corrispondenza della flangia di interfaccia SPOOL/PLEM.

- SEZ A: la condotta all'interno della TOC può ragionevolmente essere considerata ancorata quindi al KP 1,8 che corrisponde al punto di uscita della TOC la sezione è considerata incastrata. In questo modo si è massimizzata l'espansione della condotta alla connessione con lo spool.
- SEZ B. la flangia di interfaccia fra lo Spool ed il PLEM si è considerata incastrata.

Entrambe le assunzioni permettono un design conservativo dello Spool.

6.2.2 Modellazione del terreno

Il terreno è stato modellato con supporti rigidi di tipo V-stop. L'assunzione di fondo rigido, permette di effettuare un'analisi conservativa dell'espansione e quindi dello stress dello Spool.

Il coefficiente di attrito longitudinale adottato è pari a 0,4.

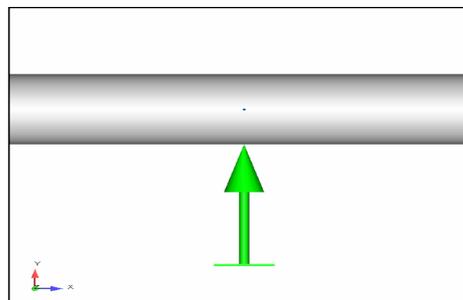


Figura 6-5–Vincolo V-Stop

6.3 ESPANSIONE DELLA CONDOTTA

| | | |
|--|---|--------------------------|
|  Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-007_00 | NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO LOOP DI ESAPANSIONE | DAPP Ref.: 12-469-H44 |
| | | Rev.: 0 |

Lo scopo dell'analisi di espansione è determinare forze e spostamenti provenienti dalla condotta durante le fasi operative e di collaudo al fine di poter progettare lunghezza e tipologia dello spool di connessione.

Lo spool garantisce valori di stress inferiori ai limiti ammissibili per lo spool stesso e garantisce valori di sollecitazione (Forze e Momenti) accettabili (da parte del tubo) sulla flangia di connessione al PLEM.

Gli spostamenti assiali all'estremo della condotta sono stati calcolati per la condizione Operativa e per il Collaudo Idraulico. Il tiro residuo sul fondo è stato conservativamente trascurato.

6.4 VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI STRESS NELLO SPOOL

Questa sezione presenta la metodologia usata per valutare i carichi e i livelli di stress dello spool. L'analisi strutturale è stata eseguita usando AUTOPIPE Computer Program ver. 9.0 sviluppato specificatamente per modellazione di piping.

I dati di input che il programma considera sono: geometria e caratteristiche della condotta, vincoli, carichi e caratteristiche del suolo.

L'analisi strutturale dello spool è stata processata in accordo alle sezioni applicabili delle norme DNV. La verifica a pressione interna e esterna è riportata nel documento "MechanicalSizing in Rif. 2.

Questo rapporto copre solo le verifiche DNV relative ai criteri di localbuckling combinato (Section 5-D600Rif. 8) durante le fasi operative e di collaudo idraulico.

L'analisi di espansione della condotta e dello spool è stata eseguita considerando il tubo non corrosivo. Questo significa che le caratteristiche meccaniche del tubo non corrosivo sono state usate per definire i carichi interni (momento flettente e carico assiale) quando siano applicati i carichi esterni (Pressione e Temperature)

Lo stress è stato calcolato considerando i carichi interni provenienti dalla precedente analisi, applicati alla sezione di tubo corrosiva (spessore di corrosione 3mm).

Il livello di stress dello spool in condizioni di collaudo è stata effettuata considerando il tubo non corrosivo.

L'analisi di Local Buckling per carichi combinati, è effettuata in accordo al criterio (LCC)LoadControlled Condition che è applicabile per le configurazioni dove la risposta strutturale della condotta dipende essenzialmente dai carichi imposti.

La verifica è stata eseguita nelle condizioni Operative e durante il Collaudo Idraulico con la seguente formula:

$$\left(\gamma_{SC} \cdot \gamma_m \left(\frac{|M_d|}{\alpha_c \cdot M_p} \right) + \left\{ \frac{\gamma_{SC} \cdot \gamma_m \cdot S_d}{\alpha_c \cdot S_p} \right\}^2 \right)^2 + \left(\alpha_p \cdot \frac{P_i - P_e}{\alpha_c \cdot P_b} \right)^2 \leq 1$$

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

Dove:

D = Diametro esterno nominale

- t_2 = Spessore di acciaio (corroso in condizioni operative);
 M_d = $\gamma_C \gamma_F M_F + \gamma_E M_E + \gamma_C \gamma_A M_A$, Momento flettente di progetto;
 S_d = $\gamma_F S_F + \gamma_E S_E + \gamma_A S_A$, Forza assiale di progetto;
 γ_F = Fattore moltiplicativo per i carichi funzionali;
 γ_E = Fattore moltiplicativo per i carichi ambientali;
 γ_A = Fattore moltiplicativo per i carichi accidentali;
 γ_C = Fattore di carico relative alla condizione analizzata;
 M_F = Momento Flettente Funzionale;
 M_E = Momento Flettente ambientale;
 M_A = Momento Flettente Accidentale;
 S_F = Forza assiale funzionale;
 S_E = Forza assiale ambientale;
 S_A = Forza assiale accidentale;
 γ_m = Fattore di resistenza del Materiale;
 γ_{SC} = Fattore di resistenza che dipende dalla Safety Class;
 α_c = Parametro di incrudimento;
 M_p = Momento plastico resistente = $f_y \cdot (D-t)^2 \cdot t_2$;
 S_p = Resistenza caratteristica allo sforzo assiale = $f_y \cdot \pi \cdot (D-t) \cdot t_2$;
 p_e = Pressione esterna;
 p_i = Pressione interna;
 p_c = pressione di collasso ricavata risolvendo la seguente uguaglianza:

$$(p_c - p_{el}) \cdot (p_c^2 - p_p^2) = p_c p_{el} p_p f_0 \frac{D}{t_2}$$

con:

$$p_{el} = \frac{2E \left(\frac{t_2}{D} \right)^3}{1 - \nu^2}$$

$$p_p = 2 \cdot f_y \cdot \alpha_{fab} \cdot \frac{t_2}{D}$$

$$f_0 = \frac{D_{max} - D_{min}}{D} = \text{Fattore di ovalizzazione non inferiore a 0,5\%};$$

- α_{fab} Fattore di fabbricazione preso uguale a 0,85;
 f_y Tensione di snervamento caratteristica del materiale = $(SMYS - f_{y,temp}) \cdot \alpha_u$;
 $f_{y,temp}$ Fattore riduttivo della resistenza allo snervamento per temperature $>50^\circ$;
 α_u Fattore di snervamento del materiale.

| | | |
|---|---|--|
|  Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-007_00 | NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO LOOP DI ESAPANSIONE | DAPP Ref.: 12-469-H44 Rev.: 0 |
|---|---|--|

6.5 VERIFICA DELLE FLANGE

Le flange di connessione tra la condotta e lo spool e tra lo spool e il PLEM sono state verificate in accordo con Rif. 11.

La pressione totale effettiva (P_{TOT}) calcolata dalla combinazione tra la Pressione Interna (in condizione operative e durante il collaudo idraulico) e i carichi esterni deve essere minore o uguale alla massima pressione ammissibile ad una data temperatura prevista dalla norma in Rif. 11.

$$P_{TOT} = P_i + P_{EQ}$$

dove P_i = Pressione interna

I carichi esterni sulla flangia sono convertiti in una pressione equivalente e sommati alla pressione interna per calcolare la pressione totale sulla flangia. La pressione equivalente per forze e momenti esterni può essere calcolata in accordo alla normativa in Rif. 11 con la seguente formula:

$$P_{EQ} = \text{Equivalent pressure} = \frac{16 \cdot M}{\pi \cdot G^3} + \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot G^2}$$

Dove:

| | | |
|---|---|----------------------------------|
| M | = | Momento flettente |
| F | = | Forza Assiale (di trazione) |
| G | = | Diametro medio della guarnizione |

| | | |
|--|---|--------------------------|
|  Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-007_00 | NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO LOOP DI ESAPANSIONE | DAPP Ref.: 12-469-H44 |
| | | Rev.: 0 |

7 RISULTATI

7.1 ESPANSIONE

I risultati dell'espansione della condotta e dello spool sono riportati nella seguente tabella. Gli spostamenti sono riportati rispetto al sistema di riferimento globale di Autopipe.

| COMBINAZIONE | | POSIZIONE | ID. NODO | SPOSTAMENTO (mm) | | |
|--------------|-------|---|----------|------------------|--------|-----|
| | | | | X | Y | Z |
| OPERATING | GT1P1 | Curvadello Spool | A707 | 715,7 | -92,8 | 0,0 |
| | | Flangia di connessione Condotta - spool | A688 | 706,1 | -153,3 | 0,0 |
| HYDROTEST | GT2P2 | Curvadello Spool | A707 | 1,2 | -1,1 | 0,0 |
| | | Flangia di connessione Condotta - spool | A688 | 0,8 | 0,1 | 0,0 |

Tabella 7-1 – Spostamenti

Nella seguente figura è riportata la configurazione deformata dello spool.

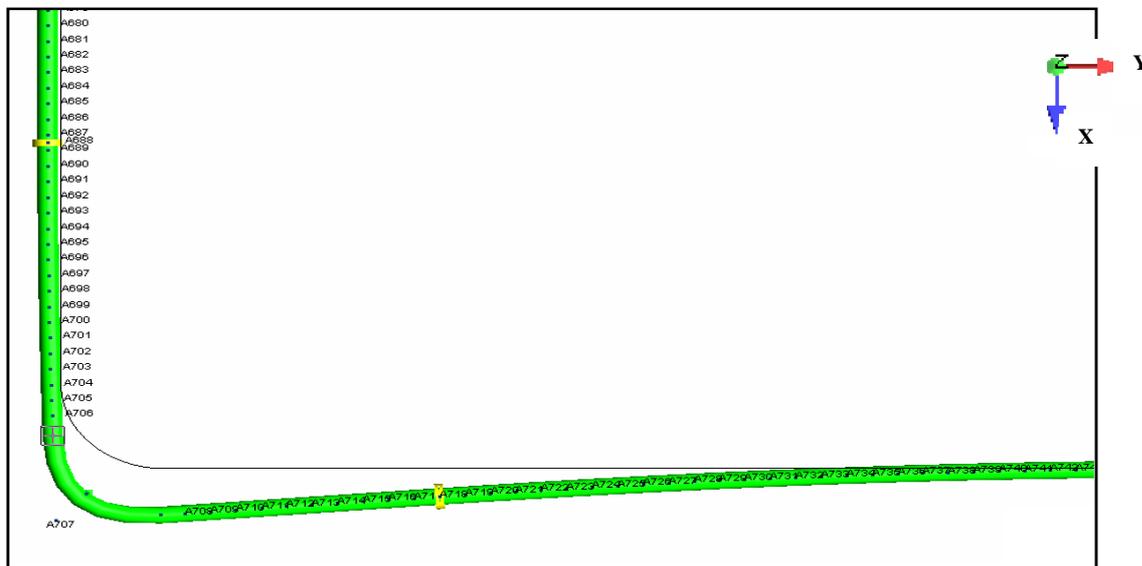


Figura 7-1 – Configurazione deformata dello Spool (GT1P1)

7.1.1 Stress

Le analisi sono state effettuate utilizzando fogli di calcolo in accordo alle DNV-OS-F101 (Rif. 8),

| | | |
|---|---|--------------------------|
|  Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-OFF-R-007_00 | NUOVO TERMINALE OFF SHORE RELAZIONE DI CALCOLO LOOP DI ESAPANSIONE | DAPP Ref.: 12-469-H44 |
| | | Rev.: 0 |

Nella seguente tabella sono riportati i valori delle sollecitazioni (Momento Flettente e Forza Assiale) insieme agli Unitycheck trovati in accordo alle norme DNV. In Appendice 8 sono riportati in dettaglio le verifiche DNV nella condizione operativa.

I due nodi più sollecitati risultano il nodo A707 (curva dello spool) e A734 (30 m dopo la curva in direzione del PLEM).

Lo Spool risulta interamente verificato nei confronti delle sollecitazioni interne sia per la condizione funzionale che per quella di Hydrotest.

| Condizione di carico | Nodo | Descrizione | Carico Funzionale | | UC DNV | |
|----------------------|-------|------------------|-------------------|----------------|--------|-------|
| | | | Momento Flettente | Sforzo Assiale | LC a) | LC b) |
| | [-] | [-] | [kNm] | [kN] | - | - |
| Operativa (GT1P1) | A707 | 90° bend | 713,84 | 111,02 | 0,09 | 0,077 |
| | A734 | Dista 19 m da F1 | 728,01 | 38,54 | 0,063 | 0,054 |
| Hydrotest (GT2P2) | A707 | 90° bend | 17,06 | 20,75 | 0,006 | 0,006 |
| | A712 | Dista 41 m da F1 | 16,94 | 35,68 | 0,003 | 0,003 |

Tabella 7-2–Massimo stress nello Spool

7.2 VERIFICA DELLE FLANGE

Nella seguente tabella si riassumono i risultati della verifica delle flange di connessione da 32” mostrate nella Figura 7-2.

Nella Tabella 7-3 sono riportati i valori dei carichi sulle flange in condizione funzionale (GT1P1), mentre nella tabella Tabella 7-4 vengono riportate le verifiche. Infine vengono svolte anche le verifiche per la condizione di hydrotest (GT2P2).

Le flange sono tutte verificate per la classe 300.

I valori riportati sono in riferimento al sistema di coordinate locale, che era stato mostrato in Figura 6-1.

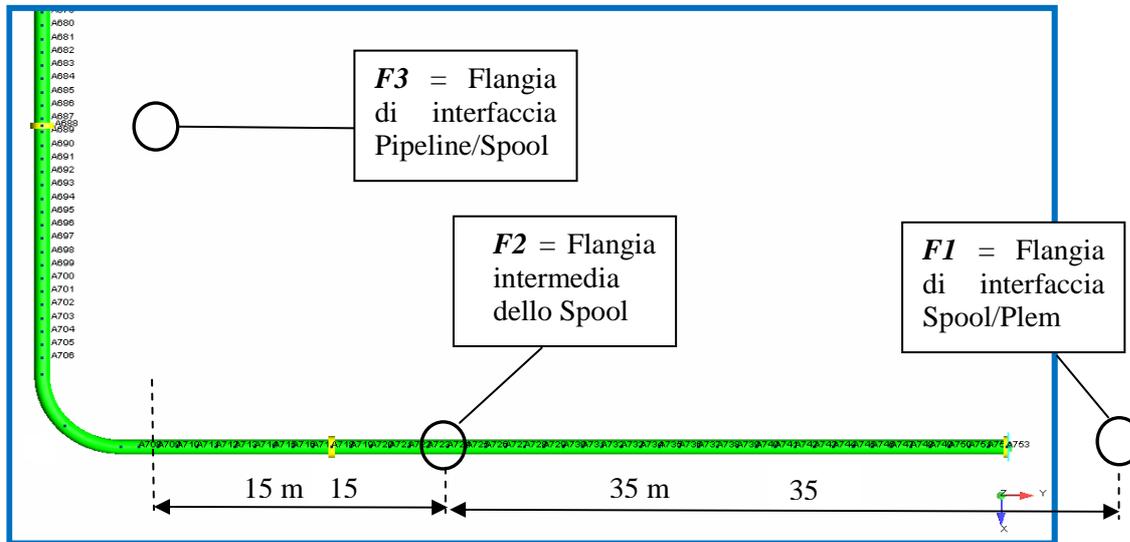


Figura 7-2 – Posizionamento delle flange

Si riporta nel seguito la tabella coi valori delle sollecitazioni in corrispondenza delle flange:

| FLANGIA | NODO | CARICHI | | COMBO |
|---|------|-------------|----------|-------|
| <i>F1</i> = Flangia di interfaccia Spool/Plem | A753 | F_x [KN] | 61,850 | GT1P1 |
| | | F_y [KN] | -3,972 | GT1P1 |
| | | F_z [KN] | -45,503 | GT1P1 |
| | | M_x [KNm] | 0,048 | GT1P1 |
| | | M_y [KNm] | 238,372 | GT1P1 |
| | | M_z [KNm] | 0,657 | GT1P1 |
| <i>F2</i> = Flangia intermedia dello Spool | A718 | F_x [KN] | 34,071 | GT1P1 |
| | | F_y [KN] | -3,968 | GT1P1 |
| | | F_z [KN] | 55,176 | GT1P1 |
| | | M_x [KNm] | 0,048 | GT1P1 |
| | | M_y [KNm] | 319,555 | GT1P1 |
| | | M_z [KNm] | 0,657 | GT1P1 |
| <i>F3</i> = Flangia di interfaccia Pipeline/Spool | A688 | F_x [KN] | 155,029 | GT1P1 |
| | | F_y [KN] | -1,393 | GT1P1 |
| | | F_z [KN] | -22,256 | GT1P1 |
| | | M_x [KNm] | 0,002 | GT1P1 |
| | | M_y [KNm] | -341,692 | GT1P1 |
| | | M_z [KNm] | 0,243 | GT1P1 |

Tabella 7-3 – Carichi sulle flange (Operating)

NUOVO TERMINALE OFF SHORE

RELAZIONE DI CALCOLO LOOP DI ESAPANSIONE

| Flangia | | Pressione interna [MPa] | Pressione equivalente [MPa] | Pressione ammissibile [MPa] | $P_T = P_I + P_{EQ}$ [MPa] | U.C. |
|---|------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|------|
| Posizionamento della Flangia | Nodo | | | | | |
| F1 = Flangia di interfaccia Spool/Plem | A753 | 1,9 | 1,59 | 4,65 | 3,49 | 0,75 |
| F2 = Flangia intermedia dello Spool | A718 | | 2,13 | | 4,03 | 0,87 |
| F3 = Flangia di interfaccia Pipeline/Spool | A688 | | 2,28 | | 4,18 | 0,90 |

Tabella 7-4 – Verifica delle flange (Operating)

| FLANGIA | NODO | CARICHI | COMBO |
|---------|------|---------|-------|
|---------|------|---------|-------|

NUOVO TERMINALE OFF SHORE

RELAZIONE DI CALCOLO LOOP DI ESAPANSIONE

| | | | | |
|---|------|-------------|---------|-------|
| F1 = Flangia di interfaccia Spool/Plem | A753 | F_x [KN] | 164.125 | GT2P2 |
| | | F_y [KN] | -3,972 | GT2P2 |
| | | F_z [KN] | 0 | GT2P2 |
| | | M_x [KNm] | 0.048 | GT2P2 |
| | | M_y [KNm] | 0.01 | GT2P2 |
| | | M_z [KNm] | 0,657 | GT2P2 |
| F2 = Flangia intermedia dello Spool | A718 | F_x [KN] | 58.027 | GT2P2 |
| | | F_y [KN] | +3,968 | GT2P2 |
| | | F_z [KN] | 2.075 | GT2P2 |
| | | M_x [KNm] | 0,048 | GT2P2 |
| | | M_y [KNm] | 6.759 | GT2P2 |
| | | M_z [KNm] | 0,657 | GT2P2 |
| F3 = Flangia di interfaccia Pipeline/Spool | A688 | F_x [KN] | 70.164 | GT2P2 |
| | | F_y [KN] | +1,393 | GT2P2 |
| | | F_z [KN] | 1.200 | GT2P2 |
| | | M_x [KNm] | 0,002 | GT2P2 |
| | | M_y [KNm] | 3.041 | GT2P2 |
| | | M_z [KNm] | 0.243 | GT2P2 |

Figura 7-3 – Carichi sulle flange (Hydrotest)

| Flangia | | Pressione interna [MPa] | Pressione equivalente [MPa] | Pressione ammissibile [MPa] | $P_T = P_I + P_{EO}$ [MPa] | U.C. |
|---|------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------|
| Posizionamento della Flangia | Nodo | | | | | |
| F1 = Flangia di interfaccia Spool/Plem | A753 | 2,37 | 0,004 | 4,65 | 2,38 | 0,51 |
| F2 = Flangia intermedia dello Spool | A718 | | 0,05 | | 2,42 | 0,52 |
| F3 = Flangia di interfaccia Pipeline/Spool | A688 | | 0,02 | | 2,40 | 0,52 |

Figura 7-4 – Verifica delle flange (Hydrotest)

8 APPENDICE – VERIFICHE DNV

Si inseriscono nel seguito gli output dei fogli di calcolo utilizzati (condizione operativa):

|  OS-F101 - SUBMARINE PIPELINE SYSTEMS - 2007 Load Interaction - Load Controlled | | OS-F101:2007 V01-03 01/03/2009 | |
|---|--|-----------------------------------|---------------------|
|  Developed by DNV ENEN0714 | | DNV ENEN0 714 | |
| PORTO PETROLI - 32" Pipeline WT 22.2mm DESIGN CONDITION PIPE BEND LOOP - Node Autopipe 707 Mother Pipe OD 812,80 x 22,2 | | | |
| Date: | Sign: | Date: | Sign: |
| Prepared: | | Verified: | |
| RELEVANT INPUT PARAMETERS: | | | |
| Nominal outer steel diameter: | OD | 812,80 | mm |
| Nominal steel wall thickness: | t _{nom} | 19,10 | mm |
| Corrosion allowance: | t _{corr} | 3,00 | mm |
| Out-of-roundness: | f _o | 0,50 | % |
| Specified minimum yield stress: | SMYS | 448,0 | MPa |
| Specified minimum tensile strength: | SMTS | 530,0 | 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 |
| Young's modulus: | E | 2,070E+05 | MPa |
| Poisson's ratio: | ν | 0,30 | |
| Material strength factor: | α _U | 0,96 | |
| Internal pressure at reference level: | p _{int,ref} | 19,00 | barg |
| Reference level for internal pressure: | z _{ref} | 0,0 | m |
| Density of internal fluid: | ρ _{int} | 990,0 | kg/m ³ |
| Depth: | d | 65,0 | m |
| Density of external fluid: | ρ _{ext} | 1026 | kg/m ³ |
| Load condition factor: | γ _C | 1,0 | |
| Functional bending moment: | M _F | 713,84 | kNm |
| Environmental bending moment: | M _E | 0,0 | kNm |
| Functional effective axial force: | S _F | 111,0 | kN |
| Environmental effective axial force: | S _E | 0,0 | kN |
| Safety Class: | | HIGH | |
| Corroded wall thickness: | | YES | |
| Derated material properties: | | YES | |
| INTERMEDIATE RESULTS: | | Load comb. a | Load comb. b |
| Local internal pressure: | p _i =p _{id} /p _{it} | 27,2 | barg |
| Local external pressure: | p _e | 6,5 | barg |
| Local minimum sustainable pressure: | p _{min} | - | barg |
| | | internal overpressure | |
| Characteristic yield stress: | f _y | 418,6 | MPa |
| Characteristic ultimate strength, circumferential: | f _u | 497,3 | MPa |
| Characteristic ultimate strength, longitudinal: | f _u | 497,3 | MPa |
| Steel wall thickness used in code check: | t ₂ | 16,10 | mm |
| Design bending moment: | M _d | 856,6 | kNm |
| Design effective axial force: | S _d | 133,2 | kN |
| Local net pressure: | p _i - p _e | 20,7 | barg |
| Plastic moment resistance: | M _p | 4277,3 | kNm |
| Characteristic plastic axial force resistance: | S _p | 16866,6 | kN |
| Pressure containment resistance, yielding limit state: | p _{b,s} | 195,3 | barg |
| Pressure containment resistance, bursting limit state: | p _{b,a} | 201,8 | barg |
| Pressure containment resistance, minimum of p _{b,s} & p _{b,a} : | p _b | 195,3 | barg |
| Hoop stress utilisation: | q _h | 0,122 | |
| | β | 0,106 | |
| Flow stress parameter: | α _c | 1,020 | |
| Pressure factor: | α _p | 0,894 | |
| Material resistance factor: | γ _m | 1,15 | |
| Safety class resistance factor: | γ _{sc} | 1,26 | |
| LOAD INTERACTION - LOAD CONTROLLED | | Load comb. a | Load comb. b |
| Code check: | | 0,09 OK | 0,08 OK |
| Minimum wall thickness: | | 7,87 mm | 7,51 mm |

NUOVO TERMINALE OFF SHORE

RELAZIONE DI CALCOLO LOOP DI ESAPANSIONE

| | | |
|---|--|--|
|  | OS-F101 - SUBMARINE PIPELINE SYSTEMS - 2007 Load Interaction - Load Controlled Developed by DNV ENEN0714 | OS-F101:2007 V01-03 01/03/2009 DNV ENEN0 714 |
| PORTO PETROLI - 32" Pipeline WT 22.2mm DESIGN CONDITION PIPE LOOP - Node Autopipe 734 Mother Pipe OD 812,80 x 22,2 | | |
| Date: _____ Sign: _____ | | Date: _____ Sign: _____ |
| Prepared: _____ | | Verified: _____ |
| RELEVANT INPUT PARAMETERS: | | |
| Nominal outer steel diameter: | OD | 812,80 mm |
| Nominal steel wall thickness: | t_{nom} | 22,20 mm |
| Corrosion allowance: | t_{corr} | 3,00 mm |
| Out-of-roundness: | f_o | 0,50 % |
| Specified minimum yield stress: | SMYS | 448,0 MPa |
| Specified minimum tensile strength: | SMTS | 530,0 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 |
| Young's modulus: | E | 2,070E+05 MPa |
| Poisson's ratio: | ν | 0,30 |
| Material strength factor: | α_U | 0,96 |
| Internal pressure at reference level: | $p_{int,ref}$ | 19,00 barg |
| Reference level for internal pressure: | Z_{ref} | 0,0 m |
| Density of internal fluid: | ρ_{int} | 990,0 kg/m ³ |
| Depth: | d | 65,0 m |
| Density of external fluid: | ρ_{ext} | 1026 kg/m ³ |
| Load condition factor: | γ_C | 1,0 |
| Functional bending moment: | M_F | 728,01 kNm |
| Environmental bending moment: | M_E | 0,0 kNm |
| Functional effective axial force: | S_F | 38,5 kN |
| Environmental effective axial force: | S_E | 0,0 kN |
| Safety Class: | | HIGH |
| Corroded wall thickness: | | YES |
| Derated material properties: | | YES |
| INTERMEDIATE RESULTS: | | |
| | | Load comb. a |
| | | Load comb. b |
| Local internal pressure: | $p_i = p_{id} / p_{it}$ | 27,2 barg |
| Local external pressure: | p_e | 6,5 barg |
| Local minimum sustainable pressure: | p_{min} | - barg |
| internal overpressure | | |
| Characteristic yield stress: | f_y | 418,6 MPa |
| Characteristic ultimate strength, circumferential: | f_u | 497,3 MPa |
| Characteristic ultimate strength, longitudinal: | f_{uL} | 497,3 MPa |
| Steel wall thickness used in code check: | t_2 | 19,20 mm |
| Design bending moment: | M_d | 873,6 kNm |
| Design effective axial force: | S_d | 46,2 kN |
| Local net pressure: | $p_i - p_e$ | 20,7 barg |
| Plastic moment resistance: | M_p | 5061,3 kNm |
| Characteristic plastic axial force resistance: | S_p | 20036,0 kN |
| Pressure containment resistance, yielding limit state: | $p_{b,s}$ | 233,9 barg |
| Pressure containment resistance, bursting limit state: | $p_{b,u}$ | 241,6 barg |
| Pressure containment resistance, minimum of $p_{b,s}$ & $p_{b,u}$: | p_b | 233,9 barg |
| Hoop stress utilisation: | q_H | 0,102 |
| | β | 0,196 |
| Flow stress parameter: | α_e | 1,037 |
| Pressure factor: | α_p | 0,804 |
| Material resistance factor: | γ_m | 1,15 |
| Safety class resistance factor: | γ_{sc} | 1,26 |
| LOAD INTERACTION - LOAD CONTROLLED | | |
| | | Load comb. a |
| | | Load comb. b |
| Code check: | | 0,06 OK |
| Minimum wall thickness: | | 7,95 mm |
| | | 7,58 mm |