

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

Rapporto di Calcolo PLEM

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	CIV	R	011	0

INDICE

	<u>Pagina</u>
1 SCOPO	1
1.1 ACRONIMI E ABBREVIAZIONI	1
2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	3
2.1 DOCUMENTI DI PROGETTO	3
2.2 NORMATIVE	3
2.3 SPECIFICHE ENI	3
3 CONCLUSIONI	4
3.1 SCELTA DELLA FONDAZIONE	4
3.2 GENERAL LAYOUT	4
4 DATI DI BASE E ASSUNZIONI DI PROGETTO	7
4.1 VITA DI PROGETTO	7
4.2 POSIZIONE DEL PLEM	7
4.3 MATERIALE STRUTTURALE	7
4.4 DATI DI PROCESSO	7
4.5 PIPING ED EQUIPMENT	8
4.5.1 Caratteristiche del Piping	8
4.5.2 Valvole	8
4.5.3 Flange	8
4.6 PARAMETRI AMBIENTALI	8
4.7 CARATTERISTICHE DEL TERRENO	9
4.8 ASSUNZIONI	9
4.8.1 Pesì	9
4.8.2 Carichi da Pesca	9
4.9 REQUISITI FUNZIONALI ED OPERATIVI DEL PLEM E DEL PIPING	9
4.10 CARICHI DI PROGETTO	10
4.10.1 Pesì propri	10
4.10.2 Carichi Idrodinamici	11
4.10.3 Carichi derivanti dalla condotta	11
4.10.4 Carichi dovuti alla caduta accidentale di Oggetti	11
5 CRITERI DI PROGETTO E METODOLOGIA DI CALCOLO	13
5.1 ANALISI DI SOLLEVAMENTO	13
5.1.1 Criteri per le Verifiche Strutturali	17
5.2 VERIFICA PRELIMINARE DELLA FONDAZIONE	19
5.2.1 Capacità Portante verticale	19
5.2.2 Capacità Laterale dei Pali	20
5.3 ANALISI PER CADUTA ACCIDENTALE DI OGGETTI	21
5.4 VERIFICA LOCALE DELLA COPERTURA PER AGGANCIO ACCIDENTALE CON ATTREZZATURE DA PESCA	27
6 APPENDICI	29
6.1 APPENDICE A	29

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-CIV-R-011_00	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM	DAPP Ref.:
		12-469-H42
		Rev.:
		0

6.2 APPENDICE B

32

1 SCOPO

Scopo del presente documento è definire i requisiti base e il dimensionamento di massima del PLEM che verrà installato sul fondale in corrispondenza del terminale Offshore di tipo CALM al solo scopo di avere quotazione da parte del Contraente. Sarà poi compito del Contraente verificare, e se è il caso revisionare, il design qui proposto per soddisfare definitivamente lo SOW contrattuale.

Il PLEM è una struttura capace di sostenere le valvole, la terminazione dell'Ombelicale (UTA) e le flange di collegamento sia con le due condotte da 32" che raggiungono l'approdo On-shore, che con le manichette da 24" che lo collegano alla Monoboa di tipo CALM. Il design preliminare del PLEM è illustrato in Rif. 3. Uno schematico del sistema è invece riportato nella Figura 1-1 sottostante.

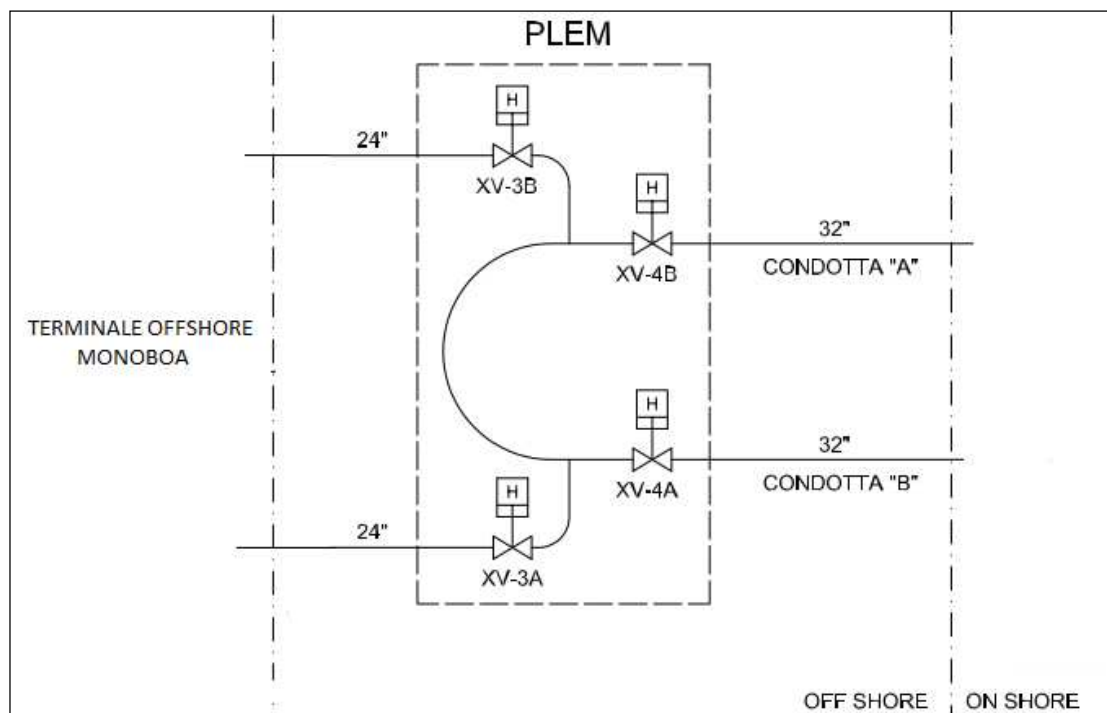


Figura 1-1: PLEM- Schema generale del Sistema

1.1 ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

Gli acronimi e le abbreviazioni elencati qui di seguito verranno usati in questo documento:

3LPE	Rivestimento a Tre strati di Polietilene
CALM	Catenary Anchor Leg Mooring
KP	Puntochometrico
PLEM	Pipe Line End Manifold

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-CIV-R-011_02	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM	DAPP Ref.:
		12-469-H42
		Rev.:
		2

SF	Fattore di Sicurezza
SMYS	Resistenza allo snervamento dell'acciaio
SOW	Scope of Work – Scopo del lavoro.
TOC	Trivellazione Orizzontale Controllata
UC	UnityCheck – Fattore di utilizzo pari al rapporto tra lo stress agente e lo stress ammissibile secondo la normativa di progetto.
UTA	UmbilicalTermination Assembly

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-CIV-R-011_02	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM	DAPP Ref.:
		12-469-H42
		Rev.:
		2

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-007	Expansion Analysis and Loop Design
Rif. 3.	12-469-OFF-D-002	PLEM &Piping General Arrangement
Rif. 4.	12-469-OFF-D-006	Alignment Sheets
Rif. 5.	12-469-OFF-D-010	Expansion Loop Details
Rif. 6.	12-469-OFF-D-003	General Route Map

2.2 NORMATIVE

Rif. 7.	API RP 2A-WSD - Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms - 21th edition Submarine pipeline systems.	
Rif. 8.	AISC - Manual of Steel Construction, Allowable Stress Design, 9th Edition	
Rif. 9.	DNV MARINE OPERATION -Rules for Planning and Execution of Marine Operations January 1996	
Rif. 10.	DNV VeritecDesign Against Accidental Load, 88-3172, Section 4.6.	
Rif. 11.	Norsok Standard U-002 Subsea Structure and Piping System	

2.3 SPECIFICHE ENI

Rif. 12.	23025-SLI-OFF-PRG	ENI Standard - Design ofOffshore pipelines.
----------	-------------------	---

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-CIV-R-011_02	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM	DAPP Ref.:
		12-469-H42
		Rev.:
		2

3 CONCLUSIONI

3.1 SCELTA DELLA FONDAZIONE

La struttura deve soddisfare i requisiti riguardanti la capacità portante del terreno e lo slittamento con un Fattore di Sicurezza pari rispettivamente a 2.0 e 1.5 come previsto dalle norme API -RP-2A-WSD.

Il tipo di fondazione previsto in questa fase di progetto è fondazione su pali infatti la scelta di una fondazione superficiale non dà sufficienti garanzie per la resistenza a slittamento dovuta ai carichi laterali.

Si può certamente affermare, in mancanza di dati geotecnici, che la scelta del tipo di fondazione non può che seguire un approccio conservativo che dovrà essere rivalutato in sede di Ingegneria di Dettaglio una volta che si posseggano i parametri geotecnici esatti così come in seguito ad una corretta e più dettagliata definizione dei pesi soprattutto per quanto riguarda le valvole.

La scelta di non utilizzare delle skirt invece dei pali deriva dalla considerazione che tale soluzione aumenta la resistenza allo slittamento a patto che il tipo di terreno non ne impedisca la penetrazione. Allo stato attuale non è possibile affermare questo con certezza.

Quindi la scelta di un tipo di fondazione su pali piuttosto che una fondazione superficiale deve essere considerata conservativa e preliminare.

3.2 GENERAL LAYOUT

La progettazione e la definizione della configurazione del PLEM è stata definita sulla base dei requisiti funzionali inclusi in Sez. 4.8, i dati di input forniti in Sez.4 e in accordo ai criteri di progettazione per le strutture sottomarine riportati nelRif. 7. Il PLEM sarà installato ad una profondità di circa 65m.

Di seguito sono riassunte le caratteristiche principali del PLEM:

La struttura progettata è un sistema costituito da due moduli (vedi Rif. 3); il piping con le valvole di processo è integrato nella struttura di base e sarà installato per primo poi la struttura di protezione verrà posizionata sulla struttura di base mediante 4 manicotti ingaggiati nelle relative guide saldate alla struttura di base (a differenti altezze per facilitarne l'installazione), evitando qualsiasi potenziale impatto della copertura con il piping e gli equipment già installati. I due moduli sono connessi tramite perni tra la sezione delle colonne della copertura e i manicotti della fondazione.

La progettazione di base ha definito le seguenti dimensioni principali e pesi:

Dimensioni di ingombro: 13.33 m x 19.57 m x 4.88 m (altezza);
 Peso in aria: 82.78 t (base con piping) –41.42 t (copertura)
 Peso in acqua: 71.42 t (base con piping) –31.38 t (copertura)

La struttura sarà protetta dagli effetti della corrosione per un minimo di 25 anni mediante applicazione di rivestimento in vernice epossidica e mediante protezione catodica costituita da una appropriata quantità di anodi installati sulla struttura stessa. Nessun anodo sarà posizionato direttamente sul piping. Il piping e le valvole sono protetti catodicamente dagli anodi della struttura attraverso dei cavetti di continuità collegati alle valvole che sono in continuità elettrica con il piping.

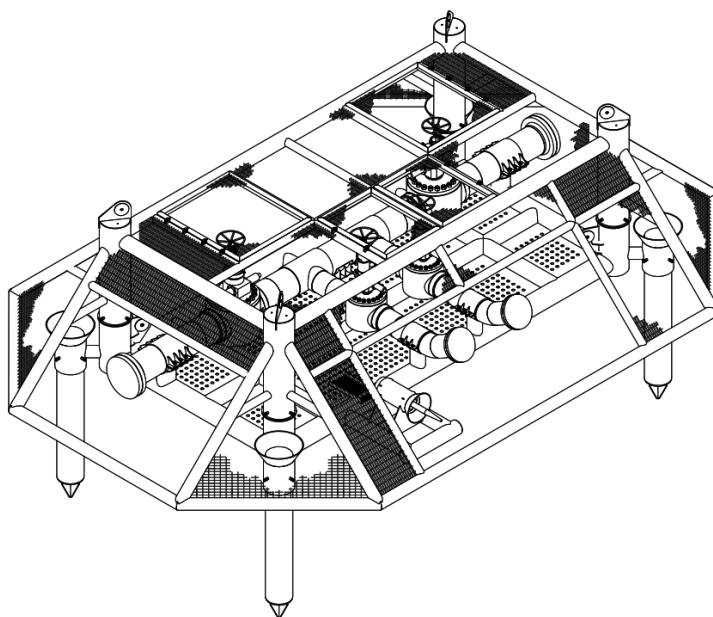


Figura 3-1: PLEM- Assieme generale

1) Struttura di base

La struttura di base è un telaio costituito da elementi tubolari su cui è pre-installato il piping. Questo verrà poi fissato al fondale mediante quattro pali. Alla base del telaio di tubolari è posizionata anche una piastra forata che costituisce una fondazione a mudmat che deve garantire la stabilità della fondazione in condizioni temporanee.

La struttura di base sarà sollevata da quattro golfari posizionati agli angoli e con delle funi inclinate a 60°.

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-CIV-R-011_02	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM	DAPP Ref.:
		12-469-H42
		Rev.:
		2

1) Struttura di Protezione

La zona in cui verrà installato il PLEM è interdetta alla pesca comunque poiché spesso tale divieto non è rispettato si è ritenuto di proteggere adeguatamente il PLEM e gli equipment in esso contenuti con una struttura in cui i lati e la parte superiore sono coperti di grating che previene l'impatto o l'incagliamento di attrezzature da pesca e comunque permette l'ispezione visiva del piping e delle valvole durante la vita utile della struttura. Per evitare inoltre la caduta di oggetti all'interno della struttura ma mantenere l'accessibilità alle valvole si è previsto di predisporre degli sportelli incernierati sulla parte superiore in corrispondenza dell'attuatore delle valvole stesse. La struttura di protezione verrà installata dopo la posa dei pali, della UTA e del collegamento alle flange da 32" degli spool delle condotte.

Sarà comunque cura del Contrattore dell'Ingegneria di Dettaglio rivalutare tale scelta sulla base di informazioni più precise e puntali.

Il materiale strutturale per i tubolari sarà API 5L X52 (o di grado equivalente).

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-CIV-R-011_02	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM	DAPP Ref.:
		12-469-H42
		Rev.:
		2

4 DATI DI BASE E ASSUNZIONI DI PROGETTO

4.1 VITA DI PROGETTO

La vita di progetto della struttura è 25 anni.

4.2 POSIZIONE DEL PLEM

Le coordinate del punto di installazione del PLEM sono le seguenti:

Posizione	Est	Nord
Centro geometrico del PLEM	486645.39 m	4915639.99 m

La profondità d'acqua in questo punto è di circa 65m.

L'area è interdetta alla pesca.

4.3 MATERIALE STRUTTURALE

Le caratteristiche dell'acciaio per le verifiche strutturali sono elencate nella Tabella 4-1.

Peso specifico	7850 kg/m ³
Modulo di Young	207000 MPa
Modulo di Taglio	78000 MPa
Coefficiente di Poisson	0,3
Thermal elongation	11,7 E-06 °C ⁻¹
SMYS (Elementi tubolari)	360 N/mm ²
SMTS	455 N/mm ²

Tabella 4-1- Caratteristiche dell'Acciaio

4.4 DATI DI PROCESSO

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 (Olio)	990 kg/m ³

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-CIV-R-011_02	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM	DAPP Ref.:
		12-469-H42
		Rev.:
		2

4.5 PIPING ED EQUIPMENT

4.5.1 Caratteristiche del Piping

Diametro esterno ramo principale :	32"
Spessore acciaio ramo principale:	22.2mm
Diametro esterno rami secondari:	24"
Spessore rami secondari:	15.9mm

4.5.2 Valvole

Nella seguente tabella sono riassunte le tipologie di valvole che devono essere alloggiate nel PLEM:

Tipologia	Numero	Peso unitario comprensivo di attuatore (*)
32" Ball Valve	2	13700 kg
24" Ball Valve	2	7000 kg

(*) In questa fase di Progetto i pesi delle valvole devono essere considerati preliminari.

4.5.3 Flange

Nella seguente tabella sono riassunte le tipologie di flange e i relativi pesi che verranno utilizzate per il piping del PLEM:

Tipologia	Numero	Peso unitario
32" Welding Neck ANSI#300	2	438 kg
32" Blind ANSI#300	2	770 kg
24" Welding Neck ANSI#150	2	263 kg
24" Blind ANSI#150	2	358 kg

4.6 PARAMETRI AMBIENTALI

Proprietà dell'acqua di mare

Densità dell'Acqua 1026 kg/m³

Marine Growth

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-CIV-R-011_02	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM	DAPP Ref.:
		12-469-H42
		Rev.:
		2

Spessore	40 mm
Densità in aria	1400 kg/m ³

Profondità

La profondità nel punto di installazione è circa: 65m

4.7 ASSUNZIONI

4.7.1 Caratteristiche del terreno

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

4.7.2 Pesì

Il peso degli anodi è stato preliminarmente considerato incrementando del 5% il peso totale della struttura (vedi Rif. 3).

Un incremento del 10% sul peso totale è stato considerato come “contingency” per le analisi di sollevamento.

4.7.3 Carichi da Pesca

La struttura si trova in una zona interdotta alla pesca ma considerata la delicatezza degli equipment in essa contenuti (valvole e UTA) e le incertezze sui dati di input, a questo stadio della progettazione si è comunque preferito dimensionare il modulo di copertura a resistere ad un aggancio accidentale con una attrezzatura da pesca.

Si è considerato un carico accidentale di 25t agente con un angolo di 20° rispetto all’orizzontale; tale dato viene utilizzato normalmente per progetti in adriatico.

4.8 REQUISITI FUNZIONALI ED OPERATIVI DEL PLEM E DEL PIPING

Il progetto concettuale del PLEM è stato eseguito tenendo in considerazione i requisiti funzionali qui sotto elencati:

- Supportare il peso delle valvole e del Piping per l’intera vita utile del PLEM;
- Resistere ai carichi dovuti al peso proprio, ai carichi da aggancio di reti da pesca e ai carichi trasmessi dalla pipeline e dalle manichette;
- La struttura deve consentire l’installazione della UTA e fornire adeguata protezione alla stessa;
- Garantire la stabilità attraverso il mudmat e i pali di fondazione;
- Proteggere le valvole, il piping, l’UTA e le flange dalla caduta di oggetti; l’energia di impatto sarà pari a 5kJ dovuta all’ impatto di oggetti di diametro 100mm;

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-CIV-R-011_02	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM	DAPP Ref.:
		12-469-H42
		Rev.:
		2

- Permettere l'accesso laterale al sommozzatore per le operazioni di installazione, riparazione e manutenzione;
- Garantire l'accessibilità per attuare manualmente tutte le Valvole;
- Il design deve tenere conto che tutte le operazioni di installazione, commissioning e manutenzione devono essere fatte con l'intervento del sommozzatore;
- La struttura deve essere protetta dagli effetti della corrosione per minimo 25 anni (con anodi e verniciatura). Gli anodi sacrificali saranno posizionati sulla struttura di base, sulla copertura e sugli sportelli della copertura;
- La continuità elettrica tra la copertura e la struttura di base deve essere garantita con cavetti di continuità, allo stesso modo bisogna garantire la continuità tra tutti gli elementi non saldati;
- La protezione catodica del piping è garantita dagli anodi posti sulla condotta alla quale è connessa tramite le flange;
- I supporti del piping devono avere una altezza tale da garantire sufficiente spazio libero tra le flange e la struttura di base per le operazioni di connessione degli spool;
- Il piping 32" all'interno del PLEM deve essere "piggabile" così come tutta la condotta.

4.9 CARICHI DI PROGETTO

4.9.1 Pesi propri

In Tabella 4-2 è riportato un sommario dei pesi in aria ed acqua dei componenti del PLEM. Questi sono in accordo al Rif. 3. I pesi riportati dovranno essere rivalutati e ricalcolati durante la fase di Ingegneria di Dettaglio.

Descrizione	Peso in aria [tons]	Peso in acqua [tons]
Struttura di base (incl. 5% peso degli anodi)	32.62	27.79
Piping (linea da 32" e rami da 24", valvole, tee, attuatori e flange)	50.16	43.64
Pali di fondazione	9.04	7.86
Struttura di Protezione (incl. 5% peso degli anodi)	41.42	31.38
Peso totale	133.24	110.67

Tabella 4-2-Pesi del PLEM e del piping

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-CIV-R-011_02	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM	DAPP Ref.:
		12-469-H42
		Rev.:
		2

4.9.2 Carichi Idrodinamici

I carichi idrodinamici agenti sul PLEM sono considerati trascurabili in questa fase del progetto.

4.9.3 Carichi derivanti dalla condotta

I carichi che provengono dalla condotta sono stati ricavati dall'analisi di espansione illustrata nel documento in Rif. 2. Nella Tabella 4-3 sono riportati i carichi che agiscono sulla flangiadi interfaccia Spool/PLEM; in Figura 4-1 è mostrato il sistema di riferimento considerato.

Essendo le condotte da 32" simmetriche rispetto al PLEM i carichi sono gli stessi su entrambe le flange di interfaccia. Tali carichi dovranno essere rivalutati e ricalcolati nella fase di Ingegneria di dettaglio.

F_x [kN]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
-45.503	61.850	-3.972	0.657	0.048	238.372

Tabella 4-3- Carichi operative agenti sulle flange di interfaccia

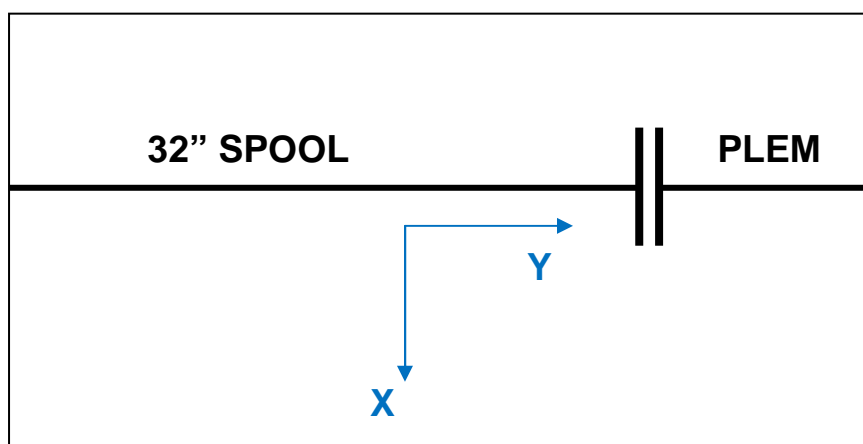


Figura 4-1: Sistema di riferimento per i carichi sulla flangia di interfaccia Spool/PLEM

4.9.4 Carichi dovuti alla caduta accidentale di Oggetti

La piastra di copertura è stata verificata per resistere all'impatto di oggetti caduti in mare con i seguenti carichi :

Energia di impatto da caduta di oggetti: 5kJ

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-CIV-R-011_02	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM	DAPP Ref.:
		12-469-H42
		Rev.:
		2

Agente su un'area di diametro pari a 100mm.

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-CIV-R-011_02	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM	DAPP Ref.:
		12-469-H42
		Rev.:
		2

5 CRITERI DI PROGETTOE METODOLOGIA DI CALCOLO

5.1 ANALISI DI SOLLEVAMENTO

Una analisi di sollevamento preliminare è stata eseguita in accordo alle norme in Rif. 9.

I carichi della struttura che derivano dalla stima preliminare dei pesi sono stati incrementati considerando i seguenti fattori:

Fattore di incertezza sul peso	1.1
Fattore di Amplificazione Dinamica (DAF)	2.0

Si è ipotizzato che il sollevamento in aria dei due moduli sarà eseguito da una gru utilizzando un unico gancio (condizione più conservativa) collegato ai padeye con quattro cavi che formano un angolo di 60° con l'orizzontale.

Altri tipi di sollevamento ad esempio tramite “spreader bar” potranno essere valutati in fase di progetto di dettaglio.

Le analisi strutturali preliminari sono state effettuate utilizzando il programma SAP2000.

La prima operazione di sollevamento della struttura avverrà nel cantiere a terra quando dovrà essere caricata sul mezzo navale che la trasferirà sul luogo di varo.

Si presuppone che l'attrezzatura di sollevamento usata sarà la stessa delle operazioni a mare per le quali sono previste condizioni più gravose.

Sono stati modellati solo gli elementi principali; i portelli superiori e gli elementi secondari non modellati sono stati considerati come carico distribuito utilizzando un fattore moltiplicativo per il peso proprio del modello.

I quattro cavi sono modellati come elementi in acciaio con rilascio dei momenti nei punti di collegamento con il gancio di sollevamento.

Per tenere in conto invece le possibili inesattezze sulla lunghezza delle sling e sulla fabbricazione dei golfari si è considerato un ulteriore fattore di skewload: sono stati analizzati due casi considerando due sling opposte caricate in un caso con il 62.5% e nell'altro caso con il 37.5% del peso totale.

I carichi di base e le combinazioni di Lifting studiate sono elencate nelle seguenti tabelle:

Casi di Base	Descrizione	Fattore moltiplicativo
DESIGN	Peso proprio in aria + Masse non modellate	1
SKEW1	62.5% DESIGN	1
SKEW2	37.5% DESIGN	1

Tabella 5-1–Casi di carico – Analisi di sollevamento

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-CIV-R-011_02	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM	DAPP Ref.:
		12-469-H42
		Rev.:
		2

Combinazione di Carico	Descrizione	Fattore moltiplicativo
LIFT1	DESIGN+SKEW1	2x1.1
LIFT2	DESIGN+SKEW2	2x1.1

Tabella 5-2–Combinazioni di carico -Analisi di sollevamento

Le Figura 5-3e Figura 5-4 mostrano rispettivamente i modelli di sollevamento della struttura di base e della copertura. Nelle figure sono indicati anche i vincoli alla traslazione usati per impedire la labilità del sistema.

Di seguito la nomenclatura usata:

u_1 =vincolo alla traslazione in direzione X

u_2 =vincolo alla traslazione in direzione Y

u_3 =vincolo alla traslazione in direzione Z

r_1 =vincolo alla rotazione attorno a X

r_2 = vincolo alla rotazione attorno aY

r_3 =vincolo alla rotazione attorno aZ

Una coppia di sling opposte è collegata ad un nodo incastrato a terra (Nodo 5000) mentre le altre due sling sono collegate ad un nodo distante pochi millimetri dal precedente (Nodo 5001) che però è libero di traslare verticalmente (vedi Figura 5-1).

Sul nodo 5001, libero di traslare in direzione verticale, viene applicato il carico SKEW1 e SKEW 2 rispettivamente per le combinazioni di carico LIFT1 e LIFT2.

Il peso proprio della struttura è calcolato automaticamente dal programma di calcolo ed è opportunamente fattorizzato per tenere conto delle masse non strutturali (DESIGN).

Nei due casi di carico LIFT1 e LIFT2 combinando rispettivamente DESIGN+ SKEW1e DESIGN+SKEW2 le due coppie di slingsi caricano diversamente (Figura 5-2).

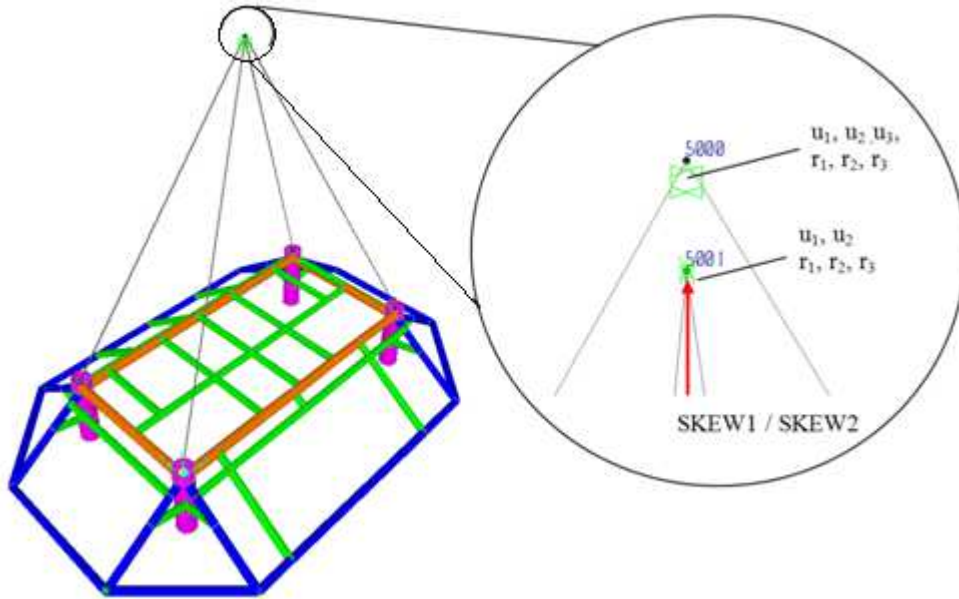


Figura 5-1: Vincoli e Metodo di applicazione dei Carichi

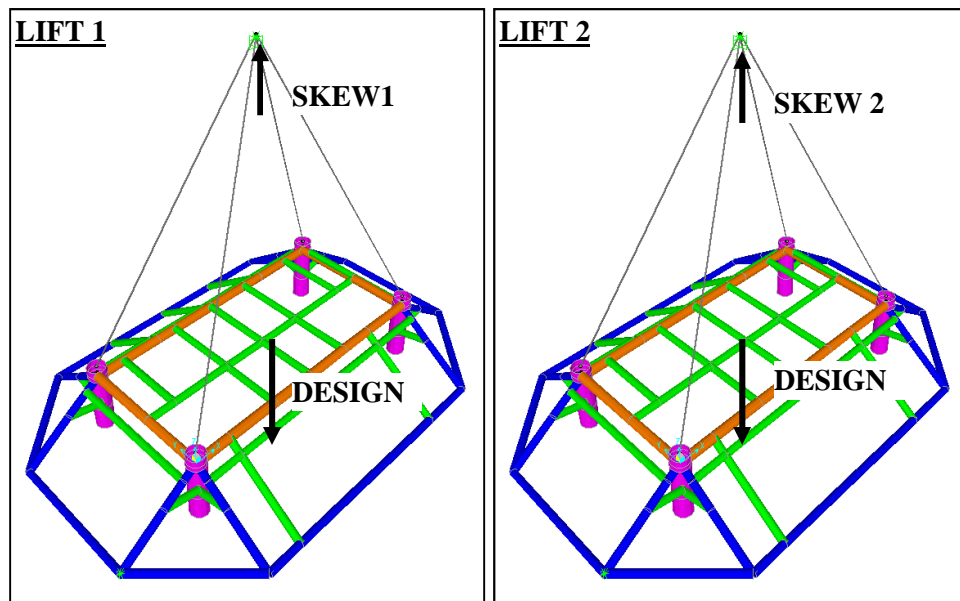


Figura 5-2: Combinazioni di Carico

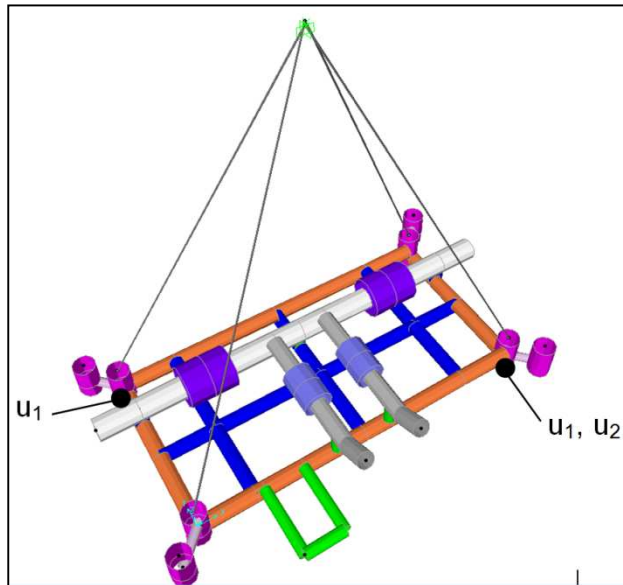


Figura 5-3: Modello della Base del PLEM per l'analisi di sollevamento

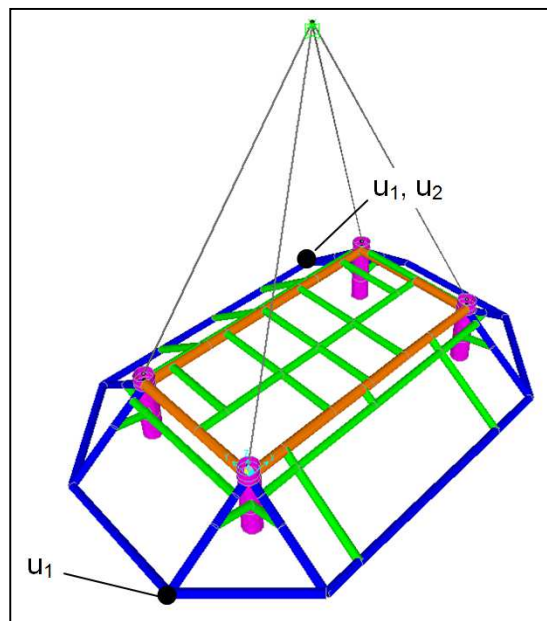


Figura 5-4: Modello della Copertura del PLEM per l'analisi di sollevamento

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-CIV-R-011_02	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM	DAPP Ref.:
		12-469-H42
		Rev.:
		2

5.1.1 Criteri per le Verifiche Strutturali

Le verifiche strutturali dei due moduli durante il sollevamento sono state eseguite in accordo alle norme in Rif. 7.

Gli elementi tubolari e le connessioni sono verificate automaticamente dal programma SAP2000 in accordo alle formule 4.3.1-3a e 4.3.1.-3b del Rif. 7. Per la verifica dei nodi a punching shear è stata usata la formula 4.1-1 del Rif. 7.

Per ogni analisi sono riportate le verifiche degli elementi più sollecitati.

In Tabella 5-3e in Tabella 5-4 sono riportati i massimi fattori di Utilizzazione (U.C) per gli elementi dei moduli di Base e di Copertura. I valori ottenuti sono sempre minori di 1.0 (valore ammissibile).

Gruppo di Elementi	Descrizione	U.C.	Combinazione di Carico
22" Tubolare	Elemento perimetrale del telaio di base	0.675	LIFT1
20" Tubolare	Supporto delle valvole da 32"	0.311	LIFT1
16" Tubolare	Supporto delle valvole da 24"	0.399	LIFT1

Tabella 5-3: Analisi di sollevamento del modulo di Base: Massimo fattore di utilizzo per ogni gruppo di elementi

Gruppo di Elementi	Descrizione	U.C.	Combinazione di Carico
16" Tubolare	Elemento perimetrale del telaio della copertura	0.252	LIFT2
32" Tubolare	Colonna	0.060	LIFT2
12" Tubolare	Telaio copertura	0.263	LIFT2
8" Tubolare	Telaio copertura	0.280	LIFT2

Tabella 5-4: Analisi di sollevamento del modulo di Copertura: Massimo fattore di utilizzo per ogni gruppo di elementi

Modulo	Numero Nodo	Tipo	Punching Shear UC	Combinazione di Carico
Copertura	78	T&Y	0.367	LIFT2
Base	31	T&Y	0.507	LIFT1
Base	10	T&Y	0.494	LIFT1

Tabella 5-5: Analisi di sollevamento: Verifica a punzonamento dei nodi- Massimo U.C.

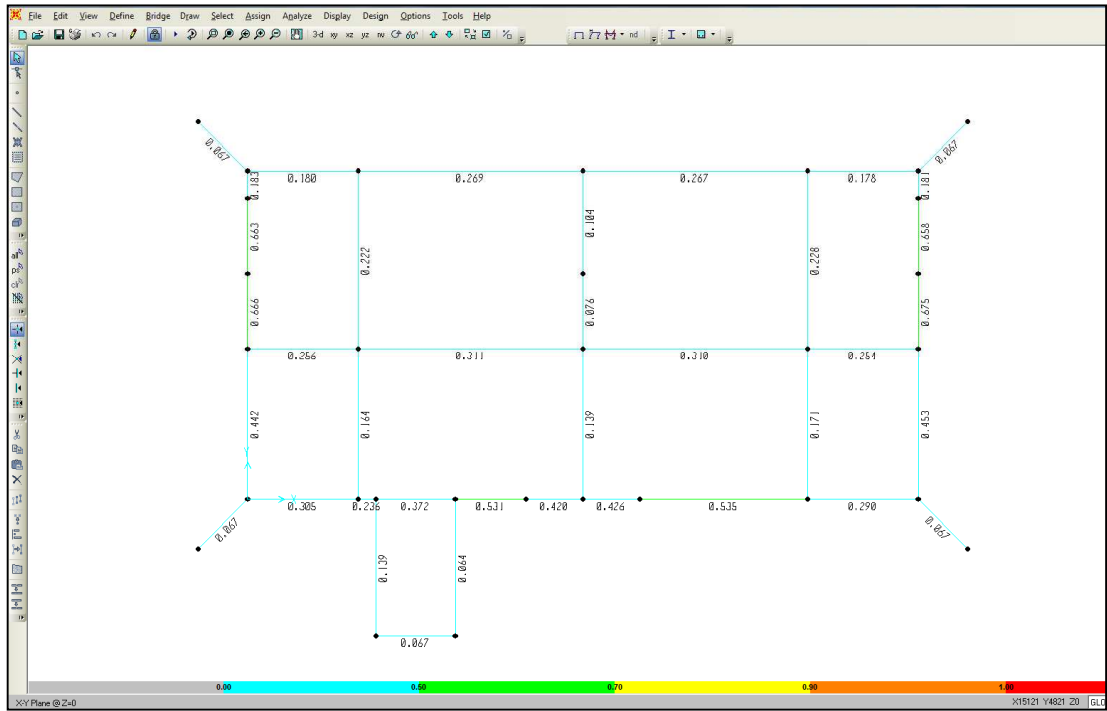


Figura 5-5: Modulo di Base – Massimo U.C. degli elementi

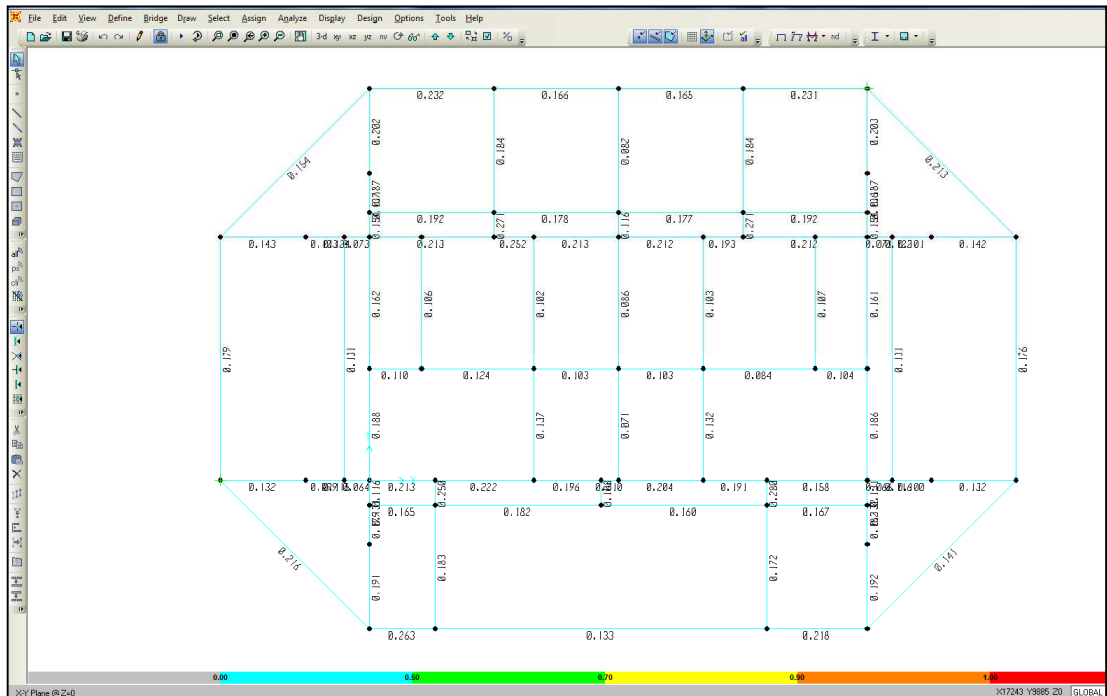


Figura 5-6: Modulo di Copertura – Massimo U.C. degli elementi

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-CIV-R-011_02	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM	DAPP Ref.:
		12-469-H42
		Rev.:
		2

5.2 VERIFICA PRELIMINARE DELLA FONDAZIONE

La scelta del tipo di fondazione dipende principalmente da:

- Capacità portante del terreno di fondazione
- Capacità di resistenza allo sliding per carichi laterali

Occorre tenere in conto che non si hanno informazioni relativamente alle caratteristiche geotecniche del terreno di fondazione quindi la scelta di un tipo di fondazione su pali deve essere considerata un approccio conservativo e quindi assolutamente preliminare. Tale scelta dovrà essere rivalutata nel momento in cui si posseggano i parametri geotecnici esatti.

La fondazione superficiale costituita da un mudmat è sufficiente per garantire la stabilità verticale della struttura nelle condizioni temporanee prima dell'installazione dei pali e della struttura di copertura.

Nelle condizioni operative quando la presenza dei carichi provenienti dalla condotta (espansione), dalle manichette e dall'eventuale aggancio di reti o altro produce un carico eccentrico che diminuisce l'area effettiva della fondazione.

Si sono quindi effettuate le seguenti verifiche:

- 1 Verifica della capacità portante del terreno in condizioni temporanee, con la sola struttura di base + piping prima dell'installazione dei pali.
- 2 Verifica allo slittamento con verifica della portanza laterale dei pali durante la fase operativa con l'intera struttura completamente installata (struttura di base + piping + copertura) e con l'applicazione dei carichi laterali

Il carico verticale agente sul terreno è pari al peso in acqua della struttura di base, del piping e delle valvole.

Si è conservativamente considerata una contingency sul peso pari al 10% (vedi Tabella 4-2).

Per la verifica sono stati utilizzati i dati geotecnici riportati nel paragrafo 4.7.1.

Inoltre è stata verificata la capacità laterale ultima del terreno di resistere ai carichi orizzontali trasmessi dai pali. La stima è stata eseguita considerando dei pali di diametro 28" con lunghezza di infissione di 3.8m.

Le dimensioni e la lunghezza dei pali di fondazione dovrà comunque essere definita durante il progetto di dettaglio insieme all'analisi strutturale degli stessi.

5.2.1 Capacità Portante verticale

In accordo al Rif. 7 la capacità portante del terreno in condizioni non drenate può essere calcolata con la seguente relazione:

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-CIV-R-011_02	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM	DAPP Ref.:
		12-469-H42
		Rev.:
		2

$$Q_{ult} = A_{eff} \cdot (c_u \cdot N_c \cdot K_c + \gamma \cdot D)$$

dove:

- Q_{ult} Capacità portante ultima
 c_u resistenza al taglio non drenata del terreno
 $N_c = 5.14$ (Rif. 7)
 γ peso specifico totale del terreno
 D affondamento della fondazione dal piano campagna
 A_{eff} area effettiva reagente della fondazione (Rif. 7)
 K_c fattore di correzione che tiene conto della inclinazione del carico, della forma della fondazione, dell'affondamento, della inclinazione del piano di posa e della superficie del terreno.

Il coefficiente di sicurezza per la capacità portante (SF) è calcolato come segue:

$$SF = Q_{ult} / F_V$$

dove:

- F_V Forza verticale totale applicata (Peso proprio struttura + carichi applicati)

Il fattore di sicurezza per la capacità portante richiesto dalle norme API RP 2A-WSD è SF = 2.0 (Rif. 7).

Nella condizione temporanea che intercorre tra l'installazione della struttura di base completa di piping e l'installazione dei pali di fondazione, i carichi dovuti al peso proprio della struttura, del piping e degli equipment su di essa pre-assemblati gravano sulla piastra di base della struttura che si comporta come una fondazione superficiale a mudmat. La capacità portante del terreno deve contrastare questo carico.

Sul peso in acqua della struttura è stato considerato un incremento del 10% per tenere conto del peso degli anodi e delle incertezze del design preliminare.

Nel foglio mathcad allegato nell'APPENDICE Aè riportata la verifica della capacità portante del terreno nella condizione temporanea. Preliminarmente non si è considerato alcun carico eccentrico.

La verifica è soddisfatta con un fattore di sicurezza maggiore di 2.00.

5.2.2 Capacità Laterale dei Pali

In accordo al Rif. 7 la capacità portante laterale del terreno per pali in argille soffici sottoposti a carichi ciclici può essere così calcolata:

La capacità laterale ultima p_u varia tra $3c$ e $9c$ all'aumento della profondità di infissione da 0 a X_R secondo questa relazione:

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-CIV-R-011_02	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM	DAPP Ref.:
		12-469-H42
		Rev.:
		2

$$p_u = 3c + \gamma X + J \frac{cX}{D}$$

e

$$p_u = 9c \text{ per } X \geq X_R$$

dove:

- p_u Resistenza ultima
 c Resistenza al taglio non drenata
 D Diametro del palo
 γ Peso specifico del terreno
 J Costante empirica adimensionale con valore che varia tra 0.25 e 0.5. Si è assunto =0.5
 X profondità di infissione al di sotto della mudline
 X_R profondità di infissione limite della zona a resistenza ridotta.

Per una resistenza al taglio costante con la profondità si può calcolare con la seguente formula:

$$X_R = \frac{6D}{\frac{\gamma D}{c} + J}$$

I carichi orizzontali che andranno a gravare sulla fondazione sono principalmente il carico dovuto all'aggancio accidentale di una attrezzatura da pesca (vedi par. 4.7.3) e il carico derivante dall'espansione della condotta e trasmesso dagli spools (vedi par. 4.9.3). I carichi provenienti dalle manichette sono stati in questa fase trascurati.

I carichi idrodinamici sono considerati trascurabili.

Ai carichi orizzontali agenti è stato applicato un incremento del 10% per tenere conto delle incertezze del design preliminare.

Nel foglio mathcad allegato nell'APPENDICE B è riportata la verifica della capacità portante del terreno.

La verifica è soddisfatta con un fattore di sicurezza maggiore di 2.0.

5.3 ANALISI PER CADUTA ACCIDENTALE DI OGGETTI

La copertura deve essere verificata con una analisi di impatto per la seguente condizione:

- energia di impatto di 5kJ che agisce su una superficie di 100 mm.

Come indicato nel Rif. 3 per la copertura è previsto l'utilizzo di grating o di piastra forata.

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-CIV-R-011_02	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM	DAPP Ref.:
		12-469-H42
		Rev.:
		2

La verifica è stata eseguita per la piastra forata considerando quella di dimensioni massime posizionata a protezione della valvole.

Se l'installatore deciderà di utilizzare il grating il fornitore dello stesso dovrà garantire che il requisito di resistenza alla caduta di oggetti con l'energia prevista in Rif. 1, sia soddisfatto.

Per la piastra sottoposta ad una energia di impatto $We=5kJ$ si è stimata una deformazione massima di 101 mm.

Deformazioni di questa entità garantiscono che non vi siano danneggiamenti alle valvole e alle utenze che vi sono collegate.

Si è assunto che la piastra di spessore 10 mm sia semplicemente appoggiata ai lati e sia caricata al centro con un carico concentrato. Quando l'impatto avviene, la piastra inizia a deformarsi elasticamente, poi si ha una deformazione plastica. Nel meccanismo di deformazione di una piastra il comportamento a Membrana è dominante; la metodologia usata è spiegata nel foglio mathcad.

Per diminuire gli effetti della forza di Drag durante l'installazione si è previsto che la piastra sia forata con fori di diametro 70 mm ad interasse 140mm in entrambe le direzioni. La rigidità della piastra forata è stata valutata su una sezione effettiva. Lo spessore di una piastra piena equivalente a quella forata è di 8mm.

Protection Plate Verification Dropped Object Impact

Checks on plate Between Supporting Members

Reference: - DNV VERITEC - JIP design against accidental loads N. 88-3173, Section 4.6.

Dropped Object Criteria

Energy of Dropped Object	$E_{obj} := 5000J$
Mass of Dropped Object (assumed)	$M := 1000kg$
Width of Impact area	$d_p := 100mm$

Typical Plate Layout

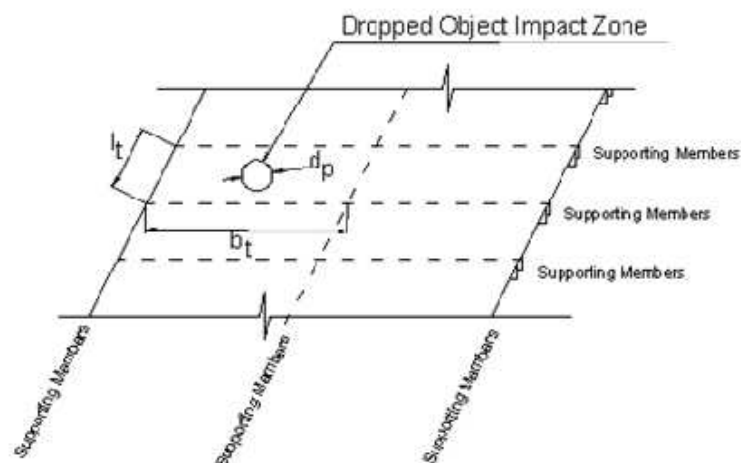


Plate Properties

Modulus of elasticity	$E := 206000 \cdot MPa$
Yield Stress of Plate	$f_{yo} := 355 \cdot MPa$
Ultimate stress of Plate	$f_{uo} := 470 \cdot MPa$
Poisson ratio	$\nu := 0.3$
Plate length	$b_t := 2540 \cdot mm$
Plate width	$l_t := 2540 \cdot mm$
Actual Plate thickness	$h := 10 \cdot mm$
Hole Diameter	$d_h := 70 \cdot mm$
Hole interaxis	$i_h := 140 \cdot mm$

Equivalent Plate thickness (taking into account the holes)

$$h_t := h \cdot \left[1 - \left[\left(\pi \cdot \frac{d_h^2}{4} \right) \cdot \left(\frac{1}{h_t} \right)^2 \right] \right]$$

$$h_t = 8.037 \cdot \text{mm}$$

Design Plate Thickness

$$h_d := 8 \text{ mm}$$

Density of Plate

$$\rho_t := 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Smallest Distance from edge of Impact to Plate boundary

$$r_o := \frac{1}{2} \cdot (l_t - d_p) \quad r_o = 1.22 \times 10^3 \cdot \text{mm}$$

Free Displacement Relationship for Plate

Figure A.1 below shows a typical force displacement curve for a plated structure. At initial loading the plate behaves in a purely elastic way with an elastic stiffness K_{te} . With increasing force yielding takes place in the plate and the force is carried by a combination of bending and membrane stresses.

Above the mechanism force F_{so} , or beyond the displacement w_{co} , the stiffness is assumed to be constant and equal to Membrane stiffness K_{tp} .

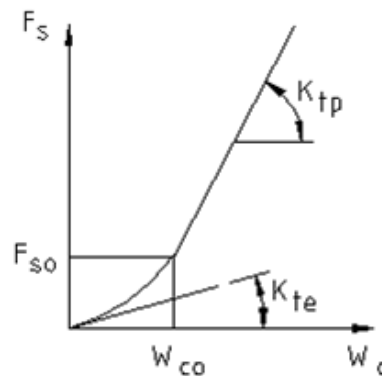


Fig. A.1 - Force displacement curve for Plate structure

Mechanism Force for freely rotating Plate (Force that causes the Plastic Mechanism in the plate under small deflection theory)

$$a := -e \frac{-2}{l_t} \cdot (l_t - d_p)$$

$$a = -0.146$$

$$b := \frac{1}{1 - e \frac{-2}{l_t} \cdot (l_t - d_p)}$$

$$b = 1.172$$

Constants

$$F_{so} := \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot f_{yo} \cdot h_t^2 \cdot \left(1 + \frac{d_p}{l_t} \cdot b \right)$$

$$F_{so} = 37.335 \cdot \text{kN}$$

Membrane Stiffness

$$K_{tp} := \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot f_{yo} \cdot h_t \cdot \left[\frac{1 + \left(4 \cdot \frac{d_p}{l_t} \right) - 5 \cdot a^2 + 4 \cdot \left(\frac{d_p}{l_t} \right)^2}{(1 + a)^2} \right] \quad K_{tp} = 6.469 \times 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Elastic Stiffness

The Elastic Stiffness of the Plate is calculated below, based on the actual geometry and support conditions of the Plate Reference Theory of Plates and Shells, Timoshenko and Kreiger, 2nd Edition Page 143

Ratio of Plate Dimension $\alpha_{ab} := \frac{b_t}{l_t} \quad \alpha_{ab} = 1$

Factor for Deflection of Centrally loaded Plate $\alpha := 0.01403$

Plate Constant $D := \frac{E \cdot h_t^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \quad D = 9.659 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$

Elastic Stiffness of Plate $K_{te} := \frac{D}{\alpha \cdot l_t^2} \quad K_{te} = 106.706 \text{ m}^{-1} \cdot \text{kN}$

Plate response to Dropped Object Impact

The failure criteria for Plugging may be based on a mean critical shear stress found experimentally from the static test addressed

in: "Langseth M - Dropped Object. An Experimental Investigation of the Plugging Capacity of Steel Plate" Dr. Ing. Thesis. Division of Structural Engineering, Norwegian Institute of Technology, Trondheim 1988.

Critical Shear Stress $\tau_{cr} := f_{yo} \cdot \left(0.41 \cdot \frac{h_t}{d_p} + 0.42 \right) \quad \tau_{cr} = 2.128 \times 10^8 \text{ m}^{-2} \cdot \text{N}$

Critical Plugging Force $F_{su} := \pi \cdot d_p \cdot h_t \cdot \tau_{cr} \quad F_{su} = 534.865 \cdot \text{kN}$

The Experimental study was restricted to square plates subjected to a central impact.

Displacement at Mechanism Force (Elastic Limit) $w_{co} := \frac{F_{so}}{K_{tp} - K_{te}} \cdot \ln \left(\frac{K_{tp}}{K_{te}} \right) \quad w_{co} = 24.088 \cdot \text{mm}$

Total deflection due to impact energy $w_{cu} := \frac{F_{su} - F_{so}}{K_{tp}} + w_{co} \quad w_{cu} = 101.002 \cdot \text{mm}$

Static Critical Strain Energy

The strain Energy U_{su} is given by the area under the Load deflection curve reported in the Figure A.1

where $\phi := \frac{K_{tp} - K_{te}}{F_{so}}$

$$U_{su} := \frac{K_{te}}{\phi} \cdot \left(\frac{1}{\phi} \cdot e^{\phi \cdot w_{co}} - w_{co} \right) + \frac{1}{2} \cdot K_{tp} \cdot (w_{cu} - w_{co})^2 + F_{so} \cdot (w_{cu} - w_{co}) \quad U_{su} = 22.213 \text{ kJ}$$

Static Critical Strain Energy U_{su} can be increased by a factor that take into account the dynamic effect of the impact of the dropped object on the plate (depending on the mass of Plate and on the mass of Dropped Object), named **Plugging Capacity**, as follow:

$$T_{pu} := U_{su} \cdot \left[1 + \frac{0.48 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(2 \cdot \frac{r_o}{d_p} \right)^2 \cdot \frac{h_t}{d_p}}{\frac{M}{\rho_t \cdot d_p^3}} \right]^2 \quad T_{pu} = 28.916 \text{ kJ}$$

The increment of Energy due to **Plugging Capacity** is not significant (less than 5%) respect to the Static Energy and it can be conservatively neglected.

Design Impact Energy

$$W_E := 5 \text{ kJ}$$

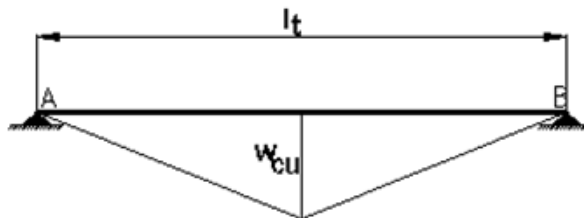
Static Critical Strain Energy $U_{su} >$ Design Impact Energy W_E

OK

Utilization of Plate Static Strain Energy

$$UF := \frac{W_E}{U_{su}} \quad UF = 0.225$$

Strain Calculation



$$l_t = 2.54 \text{ m}$$

$$w_{cu} = 101.002 \text{ mm}$$

$$L_2 := \sqrt{\left(\frac{l_t}{2} \right)^2 + w_{cu}^2} \quad L_2 = 1.274 \text{ m}$$

$$L_1 := \frac{l_t}{2} \quad L_1 = 1.27 \text{ m}$$

$$\varepsilon := \frac{L_2 - L_1}{L_1}$$

$$\varepsilon = 0.316 \%$$

 Porto Petroli di Genova S.p.A. Doc N° 12-469-CIV-R-011_02	NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM	DAPP Ref.:
		12-469-H42
		Rev.:
		2

5.4 VERIFICA LOCALE DELLA COPERTURA PER AGGANCIO ACCIDENTALE CON ATTREZZATURE DA PESCA

Per l'analisi e la verifica degli elementi strutturali in accordo al Rif. 7 si è utilizzato il programma di calcolo SAP2000.

Il carico di 25 ton definito nel paragrafo 4.7.3, è applicato sulla copertura nel punto più gravoso cioè in corrispondenza della mezzeria degli elementi con campata maggiore (vedi Figura 5-7).

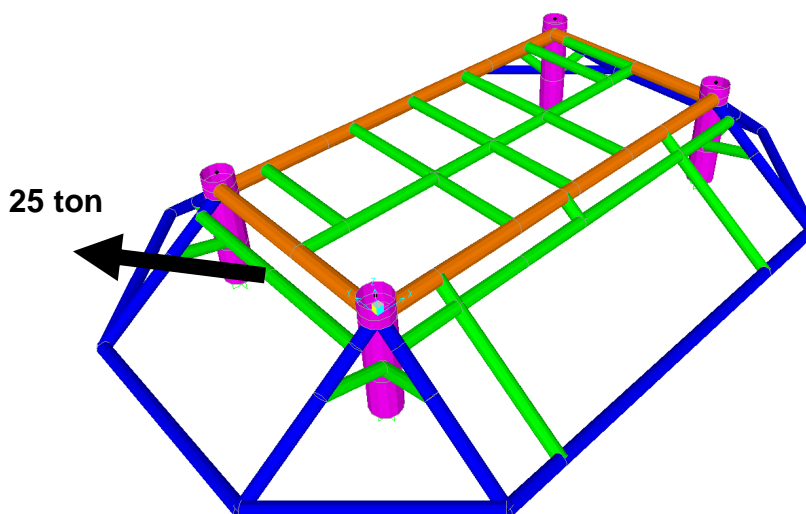


Figura 5-7: Punto di applicazione del carico accidentale da pesca.

In Tabella 5-6 sono riportati i massimi fattori di Utilizzazione (U.C.) per l'elemento del modulo di Copertura in cui è stato applicato il carico da pesca.

Gruppo di Elementi	Descrizione	U.C.
8" Tubolare	Elemento della copertura	0.740

Tabella 5-6: Analisi locale della copertura per aggancio da attrezzatura da pesca- Massimo U.C.

Si vuol sottolineare che il carico da pesca considerato è un valore ipotizzato; se durante la progettazione di dettaglio si otterranno informazioni sui carichi da pesca che si discostano da quelli ipotizzati bisognerà riverificare il design della copertura stessa.

NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM

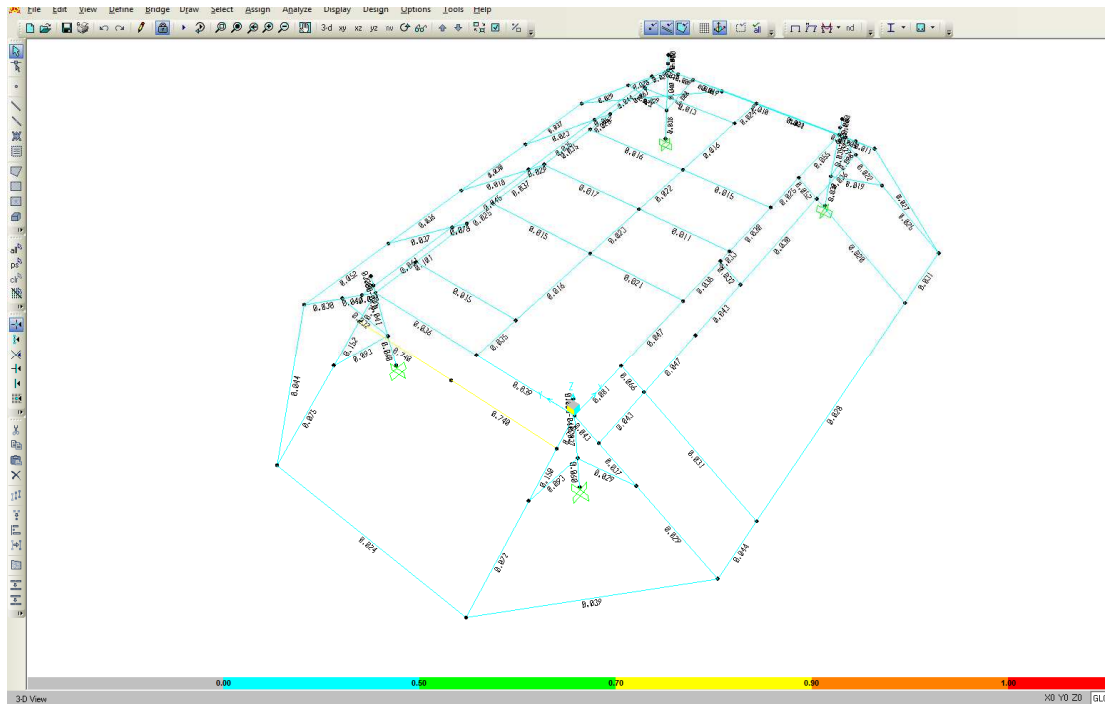
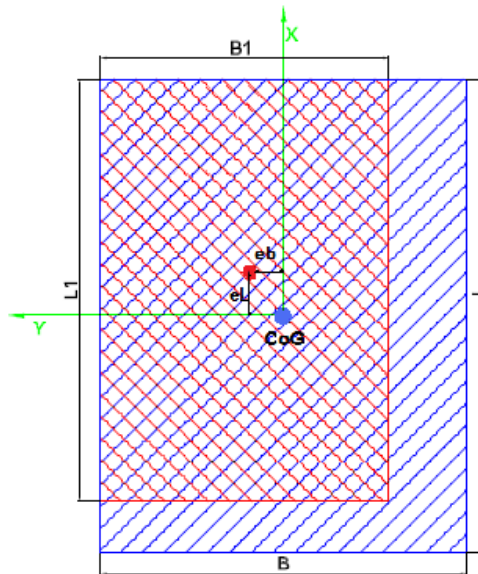


Figura 5-8: Modulo di Copertura – Massimo U.C. degli elementi

6 APPENDICI

6.1 APPENDICE A

CALCULATION OF BEARING CAPACITY



Soil Data

Undrained friction angle

$$\phi := 0$$

Undrained shear strength
at seabed level

$$c_u := 16.67 \text{ kPa}$$

Dimensionless constant for clay
soil $\phi=0$

$$N_c := 5.14$$

Dimensionless constant for clay
soil $\phi=0$

$$N_q := 1.00$$

Dimensionless constant for clay
soil $\phi=0$

$$N_\gamma := 0$$

Unit weight for layer (clay)

$$\gamma := 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Structure Data

Sinking of foundation relative to
seabed level

$$D := 0 \text{ mm}$$

Design length of base foundation

$$L := 12.245 \text{ m}$$

Design width of base foundation

$$B := 6.007 \text{ m}$$

Load acting on foundation

Module of vertical load acting on the effective area of base foundation	$F_V := 813.11 \text{ kN}$	
Horizontal load acting on the effective area of base foundation	$F_0 := 0 \text{ kN}$	
Angle between the horizontal load and x direction	$\alpha := 0 \text{ deg}$	
Resultant force in x direction	$F_x := F_0 \cdot \cos(\alpha)$	$F_x = 0. \text{ kN}$
Resultant force in y direction	$F_y := F_0 \cdot \sin(\alpha)$	$F_y = 0. \text{ kN}$
Moment about x direction	$M_x := 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_x = 0. \text{ kN} \cdot \text{m}$
Moment about y direction	$M_y := 0. \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_y = 0. \text{ kN} \cdot \text{m}$
Maximum eccentricity in the x direction as indicated	$e_L := \frac{M_y}{F_V}$	$e_L = 0$
Maximum eccentricity in the y direction as indicated	$e_B := \frac{M_x}{F_V}$	$e_B = 0$
Effective longitudinal length of the mudmat	$L_1 := L - 2 \cdot e_L$	$L_1 = 12.245 \text{ m}$
Effective lateral length of the mudmat	$B_1 := B - 2e_B$	$B_1 = 6.007 \text{ m}$
Effective area of reacting base section	$A_{\text{eff}} := B_1 \cdot L_1$	$A_{\text{eff}} = 73.556 \text{ m}^2$
Total horizontal load	$H := F_0$	$H = 0. \text{ kN}$
Angle between the long axis of the footing and the total horizontal load	$\theta := \alpha$	$\theta = 0. \text{ deg}$
Adimensional factor for L	$m_L := \frac{2 + \frac{L_1}{B_1}}{1 + \frac{L_1}{B_1}}$	$m_L = 1.329$
Adimensional factor for B	$m_B := \frac{2 + \frac{B_1}{L_1}}{1 + \frac{B_1}{L_1}}$	$m_B = 1.671$

**NUOVO TERMINALE OFF SHORE
RAPPORTO DI CALCOLO PLEM**

Empirical factor for the definition of inclination factor

$$m := m_L \cdot (\cos(\theta))^2 + m_B \cdot (\sin(\theta))^2$$

$$m = 1.329$$

The inclination factor is:

$$i_c := 1 - \left(\frac{m \cdot H}{B_1 \cdot L_1 \cdot c_u \cdot N_c} \right)$$

$$i_c = 1$$

Shape factor for a rectangular base foundation

$$s_c := 1 + \left(\frac{B_1}{L_1} \right) \cdot \left(\frac{N_q}{N_c} \right)$$

$$s_c = 1.095$$

Depth factor

$$d_q := 1 + 2 \tan(\phi) \cdot (1 - \sin(\phi))^2 \cdot \frac{D}{B_1}$$

$$d_q = 1$$

Depth factor

$$d_c := d_q - \left(\frac{1 - d_q}{N_c \cdot \tan(\theta)} \right)$$

$$d_c = 1$$

Base inclination angle

$$\beta := 0 \text{deg}$$

Ground inclination angle

$$\nu := 0 \text{deg}$$

The base factors is:

$$b_c := 1 - \frac{2\nu}{N_c}$$

$$b_c = 1$$

The ground factor is:

$$g_c := 1 - \frac{2\beta}{N_c}$$

$$g_c = 1$$

Overall dimensionless factor

$$K_c := (i_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot b_c \cdot g_c)$$

$$K_c = 1.095$$

Results of bearing capacity

Bearing Capacity of mudmat

$$Q_{mm} := A_{eff} \cdot (c_u \cdot N_c \cdot K_c + \gamma \cdot D) = 6.904 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Module of total vertical load acting on the effective area of base foundation

$$F_V = 894.3 \cdot \text{kN}$$

Safety Factor

$$SF := \frac{Q_{mm}}{F_V}$$

$$SF = 7.72$$

6.2 APPENDICE B

CALCOLO DELLA RESISTENZA LATERALE DEL TERRENO PER ARGILLE SOFFICI

Dati del Terreno

Resistenza al taglio non drenata $c_u := 16.67 \text{ kPa}$

Peso specifico argilla $\gamma := 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

Dati Geometrici

Diametro del palo $D := 711.2 \text{ mm}$

Lunghezza del palo $L := 3800 \text{ mm}$

Costante empirica adimensionale $J := 0.5$

Resistenza laterale ultima del terreno

Profondità della zona a resistenza ridotta

$$X_R := \frac{6 \cdot D}{\left(\frac{\gamma \cdot D}{c_u} \right) + J}$$

$$X_R = 3.256 \times 10^3 \text{ mm}$$

Passo della discretizzazione $\Delta := 100$

Discretizzazione della profondità

$$X := 0, \Delta \dots \frac{L}{\text{mm}}$$

$$p_{uX} := 3 \cdot c_u + \gamma \cdot X \cdot \text{mm} + J \cdot \frac{c_u \cdot X \cdot \text{mm}}{D} \quad (\text{Eq. 6.8.2-1 API RP2A WSD})$$

$$p_{u2} := 9 \cdot c_u \quad p_{u2} = 150.03 \cdot \text{kPa} \quad (\text{Eq. 6.8.2-2 API RP2A WSD})$$

$p_{uX} =$

50.01	.kPa
53.082	
56.154	
59.226	
62.298	
65.37	
68.442	
71.514	
74.586	
77.658	
80.73	
83.802	
86.874	
89.946	
93.017	
...	

NUOVO TERMINALE OFF SHORE RAPPORTO DI CALCOLO PLEM

Resistenza ultima del terreno

$$p_x := \begin{cases} p_{uX} & \text{if } X \cdot \text{mm} < X_R \\ p_{u2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$p_x =$	kPa
50.01	
53.082	
56.154	
59.226	
62.298	
65.37	
68.442	
71.514	
74.586	
77.658	
80.73	
83.802	
86.874	
89.946	
93.017	
...	

Resistenza ultima di un singolo palo

$$Q := \left[\sum_X [p_x \cdot (D \cdot \pi \cdot \Delta \cdot \text{mm})] \right]$$

$$Q = 932.263 \text{ kN}$$

Carichi orizzontali agenti sulla fondazione (ipotizziamo conservativamente che agiscano lungo la stessa direzione)

Carico Orizzontale dovuto ai carichi da pesca

$$F_{\text{trawl}} := 25 \cdot 9.81 \text{ kN}$$

$$F_{\text{trawl}} = 245.25 \text{ kN}$$

Carico Orizzontale trasmesso dagli spool

$$F_{\text{spool}} := 2.45 \cdot 5 \text{ kN}$$

$$F_{\text{spool}} = 91 \text{ kN}$$

Carico Totale Agente

$$F_0 := F_{\text{trawl}} + F_{\text{spool}}$$

$$F_0 = 336.25 \text{ kN}$$

Coefficiente di incertezza sui carichi

$$f := 1.1$$

Fattore di Sicurezza

$$SF := \frac{4 \cdot Q}{f \cdot F_0}$$

$$SF = 10.082$$