# EMERGENZA GAS

## INCREMENTO DI CAPACITÀ DI RIGASSIFICAZIONE (DL 17.05.2022 , N. 50)

## FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI

# Basi di Progettazione Strutturale

| Rev. | Descrizione | Elaborato | Verificato | Approvato Autorizzato | Data |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | Emessione Finale | G. Beverina | J. Albagli | M.Raimondi | 21/02/2024 |
| C | Emesso per Approvazione | G. Beverina | J. Albagli | M.Raimondi | 25/01/2024 |
| B | Emesso per Approvazione | G. Beverina | J. Albagli | M.Raimondi | 17/01/2024 |
| A | Emesso per Approvazione | G. Beverina | J. Albagli | M.Raimondi | 13/10/2023 |


Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.


File dati: 0001-CI-E-017000_0 - BASI DI PROGETTAZIONE STRUTTURALE

## INDICE


| | | PAGINA |
|---|---|---|
| **1** | **INTRODUZIONE** | **6** |
| 1.1 | GENERALITA' | 6 |
| 1.2 | SCOPO DEL DOCUMENTO | 6 |
| **2** | **RIFERIMENTI** | **7** |
| 2.1 | DOCUMENTI DI PROGETTO | 7 |
| 2.2 | DOCUMENTI DI RIFERIMENTO | 7 |
| 2.3 | NORMATIVE DI RIFERIMENTO | 7 |
| 2.4 | SOFTWARE | 8 |
| **3** | **INFORMAZIONI AMBIENTALI** | **9** |
| 3.1 | CONSIDERAZIONI SULL'UTILIZZO DEI DATI METEO-MARINI | 9 |
| 3.1.1 | Determinazione dei dati meteomarini per la condizione senza diga | 9 |
| 3.2 | DATI DI PROGETTO METEO-MARINI | 12 |
| 3.2.1 | Vento | 12 |
| 3.2.2 | Onde | 13 |
| 3.2.3 | Corrente | 13 |
| 3.2.4 | Livelli mare | 13 |
| 3.3 | SISMICITA' | 14 |
| 3.3.1 | Parametri sismici | 14 |
| 3.3.2 | Spettro di progetto per pali passerelle, briccole e Jacket | 16 |
| 3.3.3 | Spettro di progetto per pali passerelle di supporto tubo gas | 18 |
| 3.4 | DATI GEOTECNICI | 20 |
| **4** | **PARAMETRI PER INGEGNERIA STRUTTURALE** | **20** |
| 4.1 | VITA DI PROGETTO | 20 |
| 4.2 | SPLASH ZONE | 20 |
| 4.3 | ACCRESCIMENTO MARINO | 20 |
| 4.4 | SPESSORE DI CORROSIONE | 20 |
| 4.5 | COEFFICIENTI IDRODINAMICI | 22 |
| 4.6 | CARICHI DI PROGETTO | 22 |
| 4.6.1 | Peso proprio delle strutture | 22 |
| 4.6.2 | Peso piping ed equipaggiamenti | 23 |
| 4.6.3 | Carichi variabili | 25 |


Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

4.6.4 Carichi di ormeggio / carichi ai respingenti 25
4.6.5 Carichi esplosione 25
4.6.6 Carichi collisione imbarcazioni 26
**5 PROCEDURE DI PROGETTAZIONE E CRITERI DI ACCETTAZIONE 27**
5.1 LINEE GUIDA 27
5.2 ANALISI STRUTTURALE 27
5.3 CRITERI DI PROGETTAZIONE 27
5.3.1 Generalità 27
5.3.2 Fattore di azione parziale per le analisi in servizio 28
5.3.3 Fattore di azione parziale per l'analisi pre-servizio 29
5.3.4 Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari 30
5.3.5 Resistenza minima nodi tubolari 31
5.3.6 Fattore di resistenza parziale per sezioni non tubolari 31
5.3.7 Fattore di resistenza parziale per capacità assiale del palo 32
5.3.8 Deformazioni 32
**6 ANALISI STRUTTURALI PIATTAFORMA DI SCARICO 34**
6.1 GENERALITA' 34
6.2 ANALISI RICHIESTE 34
6.3 ANALISI STRUTTURALE IN-SERVIZIO 34
6.3.1 Modello 34
6.3.2 Carichi 35
6.3.3 Fattore di amplificazione dinamica 35
6.3.4 Analisi pali di fondazione 36
6.4 ANALISI A FATICA 36
6.4.1 Presupposti generali 37
6.4.2 Procedura di calcolo 37
6.4.3 Verifica strutturale 38
6.4.4 Fattore di correzione dell'effetto spessore 41
6.5 ANALISI SISMICA 41
6.6 ANALISI TRASPORTO 42
6.7 ANALISI SOLLEVAMENTO 43
6.7.1 Presupposti generali 43
6.7.2 Posizione del baricentro 44

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

6.7.3 Procedura di calcolo 44
6.8 ANALISI STABILITÀ SUL FONDO 44
6.9 ANALISI COLLISIONE IMBARCAZIONI 45
6.10 ANALISI SLAMMING 45
6.11 ANALISI BATTITURA PALI 46
6.12 ANALISI ESPLOSIONE 46
**7 ANALISI STRUTTURALI PASSERELLE E PALI DI SOSTEGNO 48**
7.1 GENERALITA' 48
7.2 ANALISI RICHIESTE 48
**8 ANALISI E STRUTTURALI BRICCOLE DI ACCOSTO ED ORMEGGIO 49**
8.1 GENERALITA' 49
8.2 ANALISI RICHIESTE 49
8.3 FILOSOFIA DI PROGETTAZIONE 49
8.4 BRICCOLE ORMGGIO 49
8.4.1 Definizione delle azioni 49
8.4.2 Modellazione e verifiche strutturali 50
8.5 BRICCOLE ACCOSTO 51
8.5.1 Definizione delle azioni 51
8.5.2 Modellazione e verifiche strutturali 51
**9 ANALISI STRUTTURALI PIATTAFORMA PETRA ESISTENTE 52**
9.1 GENERALITA' 52
9.2 ANALISI RICHIESTE 52

## INDICE DELLE TABELLE

**Tabella 3-1 – Definizione condizione onde come da Rif. [A5]** ..... 11
**Tabella 3-2 – Vento di progetto** ..... 12
**Tabella 3-3 – Onde di progetto** ..... 13
Tabella 3-4 – Dati geotecnici di progetto ..... 20
Tabella 4-1: Coefficienti idrodinamici ..... 22
Tabella 4-2: Imbarcazioni per analisi di impatto ..... 26
Tabella 5-1: Fattori di azione parziale per l'analisi in servizio ..... 28
Tabella 5-2: Fattori di azione parziale per l'analisi pre-servizio ..... 29
Tabella 5-3: Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari ..... 30

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

Tabella 5-4: Fattori di resistenza parziale per i nodi tubolari....31
Tabella 5-5: Fattori di resistenza parziale per sezioni non tubolari ....31
Tabella 5-6: Fattori di resistenza parziale per la capacità assiale del palo ....32
Tabella 5-7: Valore massimo per la deformazione dei componenti strutturali ....33
Tabella 6-1: Carichi di progetto per l'analisi strutturale in servizio ....35
Tabella 6-2: Coefficienti di sicurezza per danni a fatica....38
Tabella 6-3: Assegnazioni delle curve SCF e S-N per vari tipi di giunti ....39
Tabella 6-4: Moti per condizioni restricted in accordo con Rif.[B15] ....42
Tabella 6-5: Moti per condizioni “restricted” di progetto....43

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

# 1 INTRODUZIONE

## 1.1 GENERALITA'

Nell'ambito delle iniziative legate alla realizzazione di nuove capacità di rigassificazione regolate dall'art.5 del DL n.50 del 17/5/2022 e mirate a diversificare le fonti di approvvigionamento di gas ai fini della sicurezza energetica nazionale, la Società Snam FSRU Italia, controllata al 100% da Snam S.p.A ("Snam"), ha ottenuto in data 07.11.2022 l'Autorizzazione Unica rilasciata dal Commissario straordinario di Governo, per realizzare le opere a mare ed a terra necessarie all'ormeggio di un mezzo navale tipo FSRU (Floating Storage and Regasification Unit) in corrispondenza della piattaforma offshore esistente denominata Petra posta a circa 8,5 km a largo di Punta Marina (Ravenna) e il trasferimento del gas naturale fino al punto di collegamento con la Rete Nazionale Gasdotti in corrispondenza dell'impianto Nodo di Ravenna di Snam Rete.

L'FSRU sarà in grado di stoccare fino a 170 mila metri cubi di Gas Naturale Liquefatto (GNL).

Le opere previste nel Progetto FSRU Ravenna sono le seguenti:

1. Adeguamento e ampliamento della esistente piattaforma Petra inclusiva di tutte le opere impiantistiche necessarie allo scarico del gas naturale ed il suo convogliamento, tramite pipeline DN 650 (26'') – DP 100 barg, nella condotta sottomarina (c.d. sealine).

2. Posa di una nuova condotta sottomarina (c.d. sealine) DN 650 (26'') – DP 100 barg lunga circa 8,5 km, per collegare la piattaforma Petra ed il punto di arrivo a terra posto in corrispondenza dell'area impianto denominata ex-SAROM situata a Punta Marina a ridosso della linea di costa, inclusiva della realizzazione del microtunnel costiero e della posa del cavo a fibra ottica.

3. Posa del tratto di condotta a terra DN 650 (26'') – DP 100 barg lunga circa 2,5 km tra l'area ex-SAROM e l'impianto trappole previsto all'interno dell'area impianto PDE a Punta Marina.

4. Posa del tratto di condotta a terra DN 900 (36'') – DP 75 barg lunga circa 31,5 km tra l'impianto trappole previsto all'interno dell'area impianto PDE e l'area del Nodo di Ravenna di Snam Rete Gas. Il tratto include anche la realizzazione dell'impianto di correzione dell'Indice di Wobbe, dell'impianto di filtraggio, misura e regolazione PDE di Punta Marina e dell'impianto trappole e collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti denominato Nodo di Ravenna.

E' prevista l'installazione di un sistema di diga frangiflutti (break water) in prossimità del terminale, posta a circa 80m ad est della piattaforma di ormeggio Petra.

con riferimento ai lavori relativi all'adeguamento e ampliamento della esistente piattaforma Petra inclusiva di tutte le opere impiantistiche necessarie allo scarico del gas naturale ed il suo convogliamento nella condotta sottomarina.

## 1.2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento definisce le assunzioni ed i dati di progetto delle nuove strutture del nuovo pontile, le nuove strutture e la verifica delle strutture dell'esistente Pontile Petra (PIR).

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

# 2 RIFERIMENTI

## 2.1 DOCUMENTI DI PROGETTO

L'elenco dei documenti di Progetto suddiviso per categoria è riportato nel documento seguente:

[A1] 123A40-PML-PM-LIS-10004 Elenco Documenti

## 2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

[A2] NQR22199/L02-0001-LF-E-05400- Dati Generali di Progetto

[A3] NQR22199/L02-0001-LF-E-05000 Dati di Base Meteomarini di Progetto

[A4] 0001-CI-E-012800 Studio Meteomarino per Analisi a Fatica

[A5] 000-ZA-E-17075 Studio Meteo-Marino (De Girolamo)

[A6] 000-ZX-E-17101 Relazione Geotecnica

[A7] 000-ZX-E-17083 Design Basis (FEED)

[A8] Codice di Rete SNAM RETE GAS. Ai sensi dell'art.24, com.5, DL 23/05/2000, n.164/00

## 2.3 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

[B1] DM 17/01/2018 Norme Tecniche per le Costruzioni

[B2] ISO 19900 General requirements for offshore structures

[B3] ISO 19901 Part 1 to 8: Specific requirements for offshore structures

[B4] ISO 19902 Fixed Steel Offshore

[B5] EN 1993 Progettazione delle strutture in acciaio

[B6] BS 6349: Part 1 Code of practice for general criteria

[B7] BS 6349: Part 2 Design of quay walls jetties and dolphins

[B8] BS 6349: Part 4 Code of Practice for design of fendering and mooring system

[B9] BS 6349-1-1 Code of practice for planning and design for operations

[B10] BS 6349-1-2 General - Code of practice for assessment of actions

[B11] PIANC WG33 Guidelines for the design of fender system 2002

[B12] PIANC WG121 Harbour Approach Channels – Design Guidelines

[B13] OCMIF (MEG4) Mooring Equipment Guidelines

[B14] DNVGL-OTG-18 Guidance for long-term nearshore mooring systems

[B15] DNVGL-ST-N001 Marine operations and marine warranty

[B16] DNV-RP-C203 Fatigue design of offshore steel structures

[B17] DNV-RP-C204 Structural design against accidental loads

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

[B18] DNV-RP-C205 Environmental conditions and environmental loads

## 2.4 SOFTWARE

[B19] SACS" Structural Analysis Computer System by Engineering Dynamics,Inc.

[B20] LPILE Analysis for Laterally loaded piles by Ensoft (Lymon C. Reese)

[B21] GRLWEAP Wave Equation Driveability Pakage by Pile Dynamics Inc

[B22] AllWave-VDP Driveability Study Pakage for Vibratory Hammers by Allnamics, Incs

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

# 3 INFORMAZIONI AMBIENTALI

## 3.1 CONSIDERAZIONI SULL'UTILIZZO DEI DATI METEO-MARINI

La definizione dei dati meteomarini di riferimento per il progetto e la verifica strutturale tiene conto dell'installazione posticipata della diga paraonde, nello specifico le condizioni di base minime sono:

- L'analisi in servizio dei pali di supporto delle passerelle, delle briccole e del Jacket considera i dati meteomarini (operativi ed estremi) associati alla condizione più gravosa senza diga paraonde;
- L'analisi di stress delle tubazioni e del riser tiene conto degli spostamenti della struttura per le stesse condizioni definite per l'analisi in servizio;
- Il calcolo del numero delle ricorrenze per le verifiche a fatica delle strutture tiene conto di entrambe le configurazioni senza e con diga (periodo iniziale di 5 anni per la condizione senza diga e i rimanenti 20 anni con diga);
- Analogamente le analisi di ormeggio considerano entrambe le configurazioni con le relative condizioni meteomarine.

Si riportano nel seguito le considerazioni e verifica di compatibilità dei dati delle altezze d'onda assunti come dati di progetto (FEED, Rif.[A7]) e i valori indicati nello studio Rif.[A5] per la determinazione dei dati meteomarini minimi di riferimento per il progetto delle strutture.

I dati basi di progetto per le verifiche a fatica delle strutture sono riportati nel documento:

- 0001-CI-E-012800 Studio meteomarino per analisi a fatica.

I dati basi di progetto per le verifiche di ormeggio sono riportati nel documento:

- 0001-CI-E-012801 Ipotesi di progetto per l'analisi di ormeggio.

Le condizioni sopra definite sono i limiti minimi di progetto; a fronte di considerazione ingegneristiche specifiche dell'oggetto di verifica analizzato, queste condizioni possono essere superate da ipotesi più conservative.

### 3.1.1 Determinazione dei dati meteomarini per la condizione senza diga

La progettazione strutturale deve considerare i dati di vento, onde e corrente in mare aperto, senza il contributo di abbattimento generato dall'installazione del muro paraonde prevedendo un periodo intermedio di progetto (vita di progetto di riferimento) senza diga di 5 anni.

In tale ipotesi si fa riferimento alle BS 6349-1-2:2016 +A1:2017 e al diagramma di **Figura 3-1** che riporta il legame tra la vita di progetto **n** (anni) e il periodo di ritorno $\mathbf{T_R}$ (anni).

Pertanto, considerando la stessa probabilità del 22% che lega la vita di 25 anni al periodo di ritorno dell'onda di 100 anni per una struttura esposta in mare aperto per tutto il periodo, il periodo di ritorno $\mathbf{T_R}$ per una durata di esposizione di 5 anni risulta di:

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

- **$T_R$= 20 anni** per la condizione estrema
- **$T_R$= 2.5 anni** per l'onda operativa.

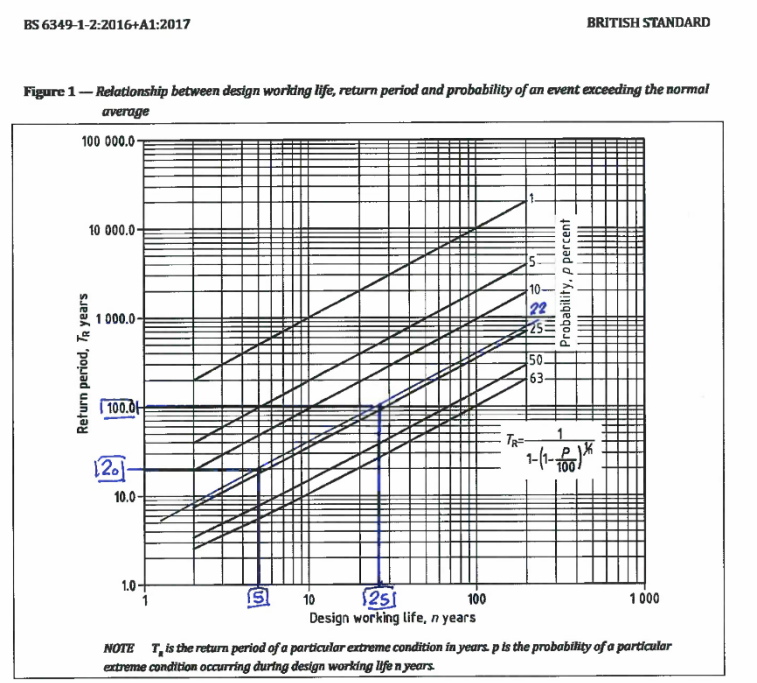



**Figura 3-1 – Calcolo del periodo di ritorno per periodo di esposizione 5 anni**

Si riportano di seguito le tabelle delle altezze d'onda **$H_S$** al largo indicate nel Rif. [A5].

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

**Figure 10-6 Hs-Tp law for the Grecale sector (left) and the Scirocco sector (right).**

**Table 10-3 Extreme events – Grecale sector**

| Tr (anni) | Hs (m) | Tp (s) |
|---|---|---|
| 2 | 4.02 | 7.85 |
| 5 | 4.53 | 8.27 |
| 10 | 4.92 | 8.57 |
| 20 | 5.31 | 8.85 |
| 25 | 5.44 | 8.94 |
| 50 | 5.83 | 9.21 |
| 100 | 6.22 | 9.47 |
| 500 | 7.12 | 10.04 |

**Table 10-4 Extreme events – Scirocco sector**

| Tr (anni) | Hs (m) | Tp (s) |
|---|---|---|
| 2 | 2.75 | 7.53 |
| 5 | 3.21 | 8.02 |
| 10 | 3.57 | 8.36 |
| 20 | 3.92 | 8.68 |
| 25 | 4.03 | 8.78 |
| 50 | 4.39 | 9.08 |
| 100 | 4.74 | 9.37 |
| 500 | 5.56 | 9.99 |

**Tabella 3-1 – Definizione condizione onde come da Rif. [A5]**

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

Tali valori devono essere ricondotti al sito applicando i coefficienti indicati nel Rif.[A5] che a favore di sicurezza si assume come valore unico di 0.92.

Si considera inoltre il rapporto standard tra $H_{max}/H_S$= 1.86.

Risultano le seguenti onde estreme storm per le due traversie principali:

- Grecale - direzione 0°-90° : $H_{max}$ = 1.86 * (0.92 * 5.31) = 9.086 m
- Scirocco - direzione 91°- 160° : $H_{max}$ = 1.86 * (0.92 * 3.92) = 6.708 m

Per la condizione operativa (probabilità del 92.5%) si assume il valore di H intermedio tra

$T_R$= 2 e $T_R$= 5 anni per cui risultano le seguenti onde operative per le due traversie principali:

- Grecale - direzione 0°-90° : $H_{max}$ = 1.86 * (0.92 * (4.02+4.53)/2) = 7.315 m
- Scirocco - direzione 91°- 160° : $H_{max}$ = 1.86 * (0.92 * (2.75+3.21)/2) = 5.100 m

I valori indicati nella specifica del FEED (Rif.[A7]) sono:

- Onda estrema storm: $H_{max}$ = 9.31 m
- Onda operativa: $H_{max}$ = 7.86 m

Pertanto, dal confronto con i valori sopra calcolati in accordo al Rif. [A7] i valori del FEED risultano a favore di sicurezza e sono confermati come dati di progetto e riassunti di seguito alla sezione seguente.

## 3.2 DATI DI PROGETTO METEO-MARINI

Di seguito si riportano i valori di onda, vento e corrente di progetto, in condizioni Operative Normali, e condizioni estreme di tempesta ("storm"):

### 3.2.1 Vento

| VENTO DI PROGETTO (profilo API) | |
|---|---|
| **Condizione Operativa** | **Condizione Estrema** |
| 32.9m/s a 10 m dal livello del mare | 38.2m/s a 10 m dal livello del mare |

**Tabella 3-2 – Vento di progetto**

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

### 3.2.2 Onde

| ONDA DI PROGETTO | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Condizione Operativa** | | | **Condizione Estrema** | | |
| **Direzione** | **$H_{max}$ [m]** | **T [s]** | **Direzione** | **$H_{max}$ [m]** | **T [s]** |
| Grecale - direzione 0°-90° | 7.86 | 8.03 | Grecale - direzione 0°-90° | 9.31 | 8.32 |
| Scirocco - direzione 91°-160° | 5.80 | 8.03 | Scirocco - direzione 91°-160° | 6.90 | 8.32 |

**Tabella 3-3 – Onde di progetto**

### 3.2.3 Corrente

| CORRENTE DI PROGETTO | |
|---|---|
| **Condizione Operativa** | **Condizione Estrema** |
| 0.44m/s alla profondità di 10m | 0.50m/s alla profondità di 10m |
| Direzione: 0° - 20° e 160°-180° | |

### 3.2.4 Livelli mare

Il progetto considera il livello medio mare a 0.00 m con un'escursione massima di +0.60m.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

## 3.3 SISMICITA'

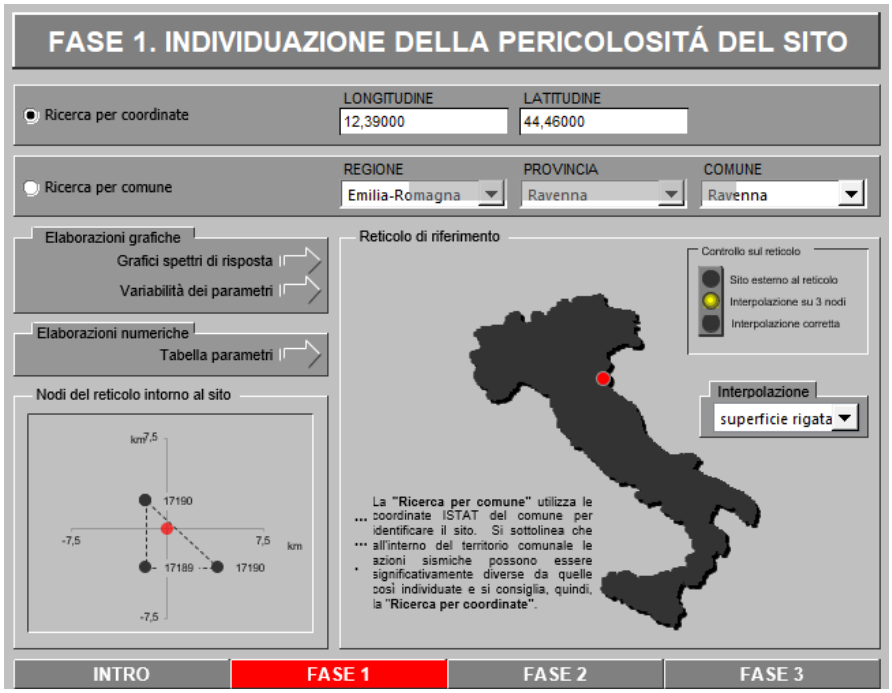
I carichi sismici sono stati definiti secondo la Normativa Italiana D.M. 17-01-2018 N.T.C. – Norme Tecniche per le Costruzioni Rif.[B1].

### 3.3.1 Parametri sismici

- Individuazione del sito

  Con riferimento alla tavola "Layout generale del pontile – disegno di tracciato georeferenziato" 0001-CB-B-017537 si considerano le coordinate geografiche della piattaforma esiste del pontile Petra:

  Petra P-0 44°27'50.5235" N 12°23'53.4877" E

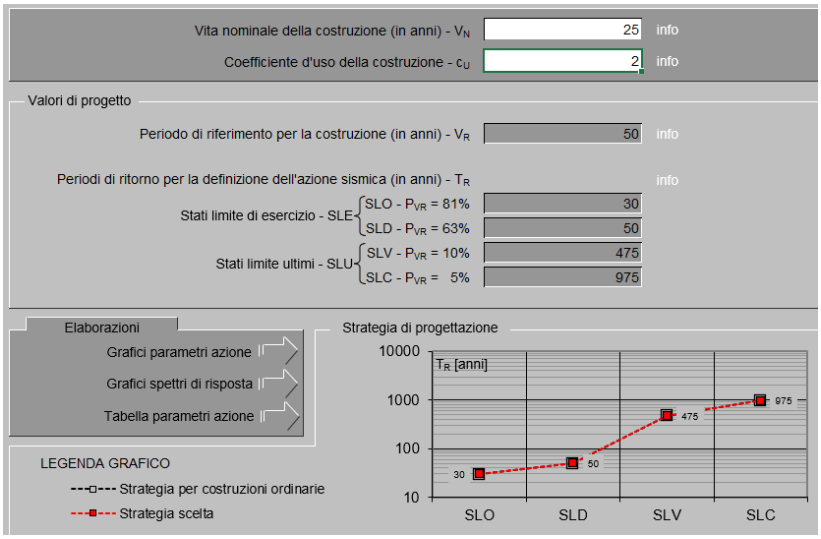



- La classe d'uso dell'opera è da considerarsi = IV:

*"Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica."*

- Considerato la vita di progetto di 25 anni e il coefficiente d'uso Cu è da considerarsi pari a 2.


Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.




- Si considera a favore di sicurezza un comportamento non dissipativo a cui corrisponde un fattore di comportamento q, così definito::
  - dalla tipologia strutturale ⇒ struttura in acciaio
  - dalla regolarità della costruzione in pianta e in altezza ⇒ si
  - dalla classe di duttilità ⇒ non dissipativo

    $$1 \leq q_N = \frac{2}{3} q_{CDB} \leq 1.5$$

  - dal rapporto di sovraresistenza.

Di seguito la definizione dello spettro di progetto per le diverse tipologie strutturali e per le condizioni minime limite di progetto.


Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

### 3.3.2 Spettro di progetto per pali passerelle, briccole e Jacket

Pali passerelle e briccole:

Struttura a mensola o a pendolo inverso, il fattore di comportamento per la struttura non dissipativa è pari a:

$q = q_{CD"B"} * 2/3 = 2*2/3 =$ **1.33**

Jacket:

Struttura a controventi concentrici a V, il fattore di comportamento per la struttura non dissipativa è pari a:

$q = q_{CD"B"} * 2/3 = 2*2/3 =$ **1.33**

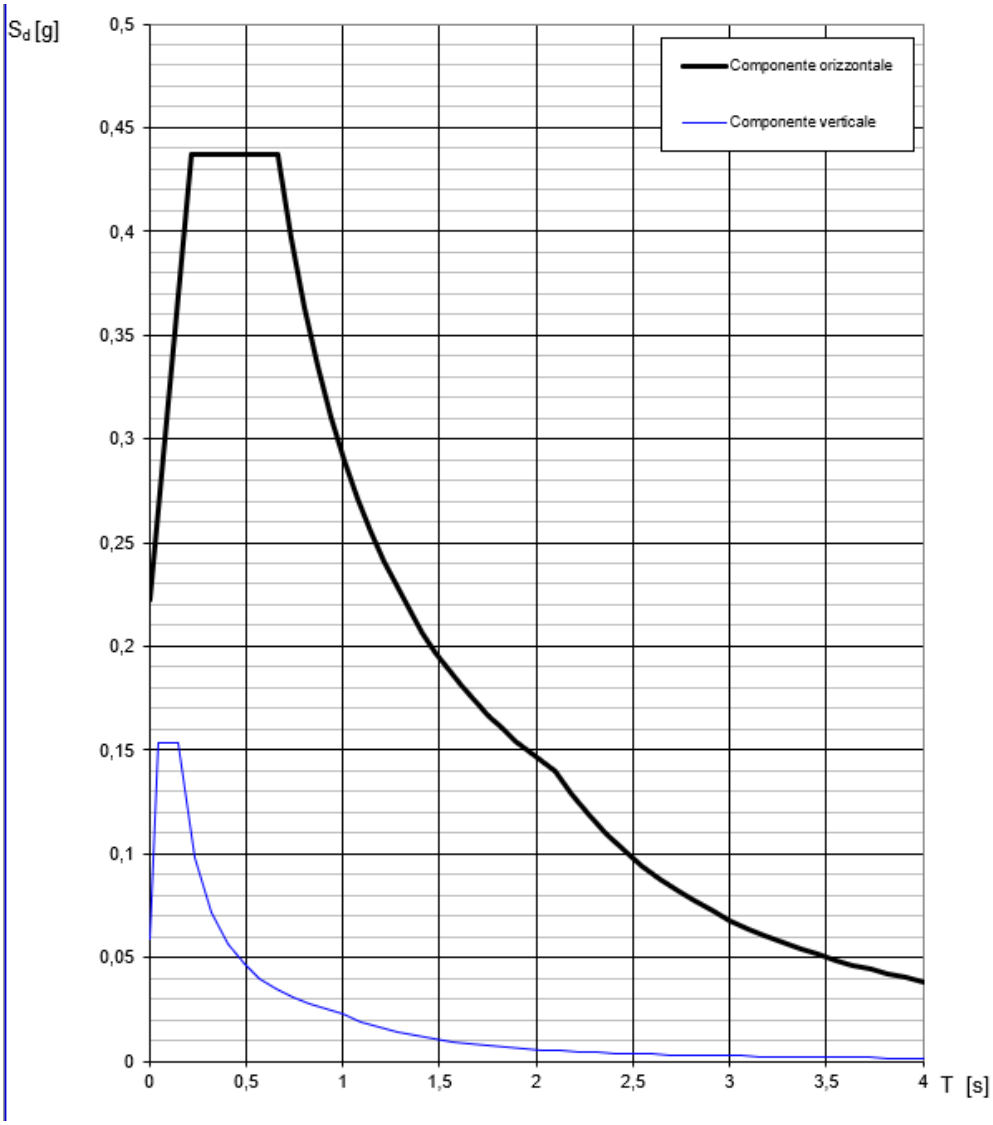



**Figura 3-2 – Spettro pali passerelle, briccole e Jacket**

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

### Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | SLV |
|---|---|
| $a_g$ | 0,124 g |
| $F_o$ | 2,609 |
| $T_C^*$ | 0,287 s |
| $S_S$ | 1,800 |
| $C_C$ | 2,335 |
| $S_T$ | 1,000 |
| q | 1,330 |

### Parametri dipendenti

| | |
|---|---|
| S | 1,800 |
| $\eta$ | 0,752 |
| $T_B$ | 0,223 s |
| $T_C$ | 0,669 s |
| $T_D$ | 2,095 s |

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \qquad \text{(NTC-08 Eq. 3.2.5)}$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55;\ \eta = 1/q \qquad \text{(NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)}$$

$$T_B = T_C / 3 \qquad \text{(NTC-07 Eq. 3.2.8)}$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \qquad \text{(NTC-07 Eq. 3.2.7)}$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \qquad \text{(NTC-07 Eq. 3.2.9)}$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo $\eta$ con 1/q, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

| | T [s] | Se [g] |
|---|---|---|
| | 0,000 | 0,223 |
| $T_B$ ← | 0,223 | 0,437 |
| $T_C$ ← | 0,669 | 0,437 |
| | 0,737 | 0,397 |
| | 0,805 | 0,363 |
| | 0,873 | 0,335 |
| | 0,941 | 0,311 |
| | 1,009 | 0,290 |
| | 1,077 | 0,272 |
| | 1,144 | 0,255 |
| | 1,212 | 0,241 |
| | 1,280 | 0,228 |
| | 1,348 | 0,217 |
| | 1,416 | 0,206 |
| | 1,484 | 0,197 |
| | 1,552 | 0,188 |
| | 1,620 | 0,181 |
| | 1,688 | 0,173 |
| | 1,755 | 0,167 |
| | 1,823 | 0,160 |
| | 1,891 | 0,155 |
| | 1,959 | 0,149 |
| | 2,027 | 0,144 |
| $T_D$ ← | 2,095 | 0,140 |
| | 2,186 | 0,128 |
| | 2,276 | 0,118 |
| | 2,367 | 0,109 |
| | 2,458 | 0,101 |
| | 2,548 | 0,094 |
| | 2,639 | 0,088 |
| | 2,730 | 0,082 |
| | 2,821 | 0,077 |
| | 2,911 | 0,072 |
| | 3,002 | 0,068 |
| | 3,093 | 0,064 |
| | 3,183 | 0,060 |
| | 3,274 | 0,057 |
| | 3,365 | 0,054 |
| | 3,456 | 0,051 |
| | 3,546 | 0,049 |
| | 3,637 | 0,046 |
| | 3,728 | 0,044 |
| | 3,819 | 0,042 |
| | 3,909 | 0,040 |
| | 4,000 | 0,038 |


Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

### 3.3.3 Spettro di progetto per pali passerelle di supporto tubo gas

Struttura intelaiata, il fattore di comportamento per la struttura non dissipativa è pari a:

$q = q_{CD"B"} * 2/3 = 4*2/3 = 2.66$ che è maggiore di 1.5 limite da norma

pertanto: q = **1.5**

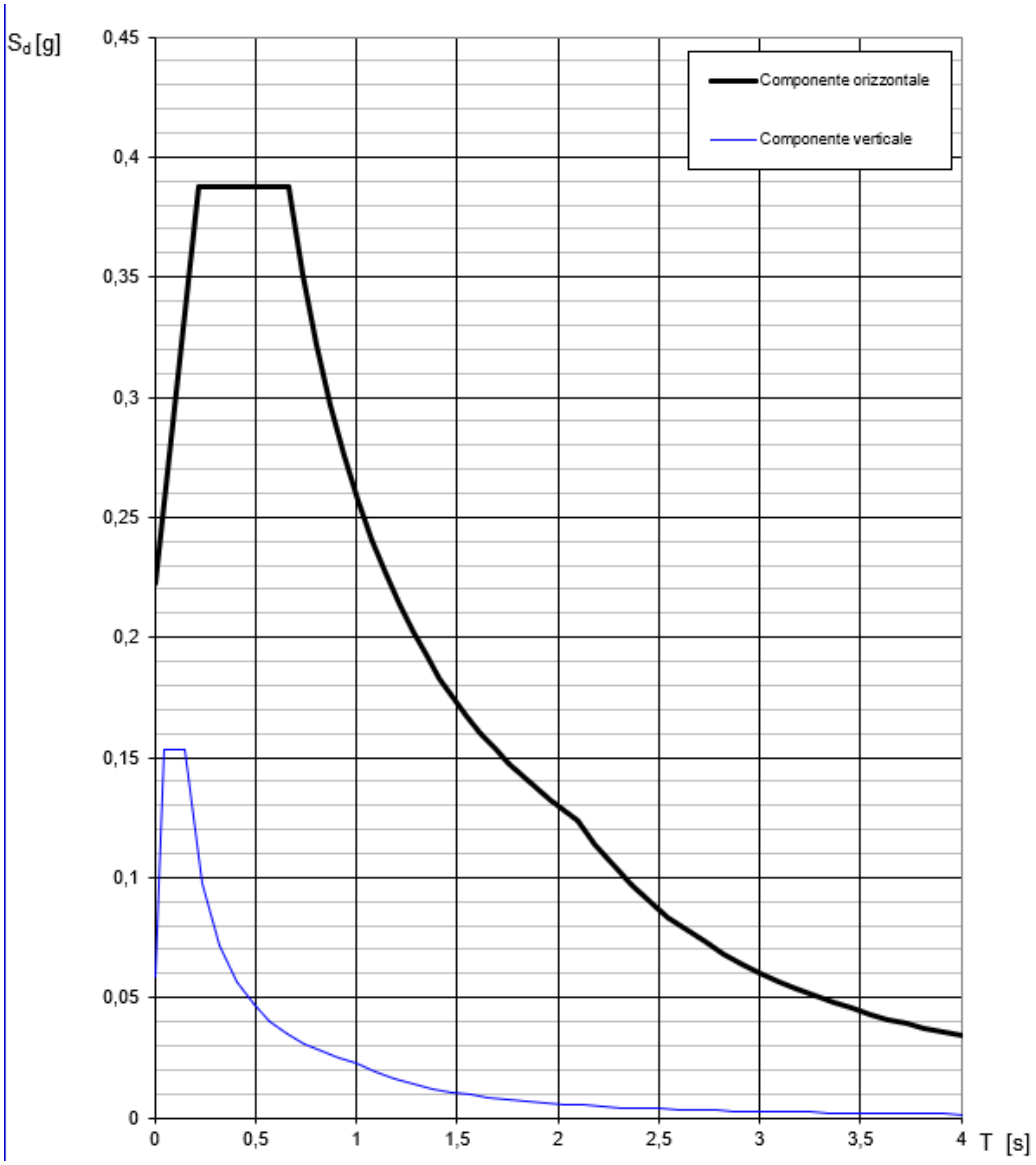



**Figura 3-3 – Spettro pali supporto tubazioni gas**

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

### Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | SLV |
|---|---|
| $a_g$ | 0,124 g |
| $F_o$ | 2,609 |
| $T_C^*$ | 0,287 s |
| $S_S$ | 1,800 |
| $C_C$ | 2,335 |
| $S_T$ | 1,000 |
| q | 1,500 |

### Parametri dipendenti

| | |
|---|---|
| S | 1,800 |
| $\eta$ | 0,667 |
| $T_B$ | 0,223 s |
| $T_C$ | 0,669 s |
| $T_D$ | 2,095 s |

### Espressioni dei parametri dipendenti

$S = S_S \cdot S_T$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55;\ \eta = 1/q$ (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)

$T_B = T_C / 3$ (NTC-07 Eq. 3.2.8)

$T_C = C_C \cdot T_C^*$ (NTC-07 Eq. 3.2.7)

$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$ (NTC-07 Eq. 3.2.9)

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$0 \leq T < T_B$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$

$T_B \leq T < T_C$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$

$T_C \leq T < T_D$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$

$T_D \leq T$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)$

Lo spettro di progetto $S_e(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo $\eta$ con 1/q, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

| | T [s] | Se [g] |
|---|---|---|
| | 0,000 | 0,223 |
| $T_B$ ← | 0,223 | 0,387 |
| $T_C$ ← | 0,669 | 0,387 |
| | 0,737 | 0,352 |
| | 0,805 | 0,322 |
| | 0,873 | 0,297 |
| | 0,941 | 0,276 |
| | 1,009 | 0,257 |
| | 1,077 | 0,241 |
| | 1,144 | 0,227 |
| | 1,212 | 0,214 |
| | 1,280 | 0,203 |
| | 1,348 | 0,192 |
| | 1,416 | 0,183 |
| | 1,484 | 0,175 |
| | 1,552 | 0,167 |
| | 1,620 | 0,160 |
| | 1,688 | 0,154 |
| | 1,755 | 0,148 |
| | 1,823 | 0,142 |
| | 1,891 | 0,137 |
| | 1,959 | 0,132 |
| | 2,027 | 0,128 |
| $T_D$ ← | 2,095 | 0,124 |
| | 2,186 | 0,114 |
| | 2,276 | 0,105 |
| | 2,367 | 0,097 |
| | 2,458 | 0,090 |
| | 2,548 | 0,084 |
| | 2,639 | 0,078 |
| | 2,730 | 0,073 |
| | 2,821 | 0,068 |
| | 2,911 | 0,064 |
| | 3,002 | 0,060 |
| | 3,093 | 0,057 |
| | 3,183 | 0,054 |
| | 3,274 | 0,051 |
| | 3,365 | 0,048 |
| | 3,456 | 0,045 |
| | 3,546 | 0,043 |
| | 3,637 | 0,041 |
| | 3,728 | 0,039 |
| | 3,819 | 0,037 |
| | 3,909 | 0,036 |
| | 4,000 | 0,034 |


Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

### 3.4 DATI GEOTECNICI

RTI effettuerà una campagna geognostica integrativa atta ad acquisire significativi elementi sui caratteri stratigrafici e geotecnici dei terreni di imposta su una più vasta scala a conferma dei seguenti dati indicati come valori di progetto nel Rif.[A7].

Come dati di progetto sono stati assunti ed estrapolati i seguenti dati di progettazione geotecnica:

| STRATI | Profondità | Tipo di terreno | $\gamma$ | | $\varphi'$ | Cu | | c' |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| / | *m* | / | *t/m3* | *kN/m3* | ° | *KPa* | *KN/cm2* | *KPa* |
| 1)Da 0 a -15 | 0-5<br>5m-10m<br>10m-15m | Limo- depositi normalconsolidati | 1.8 | 18 | 22 | 5.8<br>18<br>29 | 0.00058<br>0.0018<br>0.0029 | 0 |
| 2) | Da -15 a -16.5 | Sabbie fini limose | 1.85 | 18-19 | 28-32**(30)** | / | / | 0-10 |
| 3) | Da -16.5 a 70 | limi argillosi | 2 | 20 | 28 | 40-150**(95)** | 0.0095 | 18 |

**Tabella 3-4 – Dati geotecnici di progetto**

## 4 PARAMETRI PER INGEGNERIA STRUTTURALE

### 4.1 VITA DI PROGETTO

Il terminale dovrà essere progettato per avere una vita utile pari a 25 anni dalla data di start-up.

Per i primi 5 anni la struttura sarà priva di protezione ambientale, successivamente per gli ulteriori 20 anni di vita operativa la struttura sarà protetta da una diga.

Le analisi a fatica e di ormeggio considerano le diverse condizioni meteo-marine per i due periodi di vita.

### 4.2 SPLASH ZONE

La splash zone è definita come il range di elevazione in cui le strutture sono soggette a bagnatura intermittente o schizzi di acqua di mare.

Tale splash zone risulta essere compresa tra -3.00 m e +4.00 slm.

### 4.3 ACCRESCIMENTO MARINO

La crescita biologica marina sugli elementi strutturali ha le caratteristiche seguenti:

- da 1 a 20 m di profondità: 15 cm di spessore con 1.56 t/m$^3$

### 4.4 SPESSORE DI CORROSIONE

La corrosione viene applicata esclusivamente alla splash-zone: +4.00m ÷ -3.00m slm, per gli elementi tubolari dal solo lato esterno.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

La velocità di corrosione osservata sul PIR è pari a 0.11 mm/anno che, nei 25 anni di vita dell'opera, ammontano a 2.75 mm.

Cautelativamente, la velocità di corrosione sulla nuova piattaforma viene assunta pari a 0.15 mm/anno, corrispondenti a 3.75 mm di corrosione a fine vita dell'opera.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

## 4.5 COEFFICIENTI IDRODINAMICI

Le forze d'onda vengono calcolate utilizzando i coefficienti di drag e inerzia indicati nella tabella seguente:

| Hydrodynamic Coefficientl | Stabilità sul fondo | | Analisi in servizio | | | Analisi a fatica | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Aste Tubolari | Profili Piatti[2] | Aste Tubolari | | Profili Piatti[2] | Aste Tubolari | | Profili Piatti |
| | Liscio | | Liscio | Ruvido[1] | | Liscio | Ruvido[1] | |
| Drag – Cd | 0.75 | 2.00 | 0.75 | 1.103 | 2.00 | 0.50 | 0.80 | 2.00 |
| Inerzia - Cm | 2.00 | 2.10 | 2.00 | 2.00 | Nota 2 | 2.0 | 2.0 | Nota 2 |

**Tabella 4-1: Coefficienti idrodinamici**

Note:

1. Aste ruvide: con accrescimento marino
2. I valori devono essere calcolati per la geometria dell'elemento
3. I coefficienti di resistenza per gli elementi primari al di sotto del LAT con anodi sono aumentati del 10%.
4. Per il controllo della stabilità sul fondo tutti gli elementi sono considerati lisci.

## 4.6 CARICHI DI PROGETTO

Le strutture devono essere progettate per resistere ai carichi di progetto definiti in questa sezione, come di seguito riassunti:

- Peso proprio delle strutture
- Peso proprio di piping ed equipaggiamenti
- Carichi variabil
- Carichi di ormeggio / carichi ai respingenti
- Carichi ambientali di vento, onde e correnti (Rif.[A2])
- Carichi sismici (Rif.[A2])

### 4.6.1 Peso proprio delle strutture

Il peso proprio delle strutture deve comprendere il peso di tutti i componenti strutturali considerando anche il peso degli elementi non modellati.

Il peso proprio verrà maggiorato del 20% per indeterminazione, del 10% come ulteriore riserva e del 5% per incertezza sul CoG.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

Nelle fasi successive di progettazione le percentuali indicate potranno diminuire in base al livello di dettaglio di modellazione ed in base alla maggior certezza dei dati di ingresso.

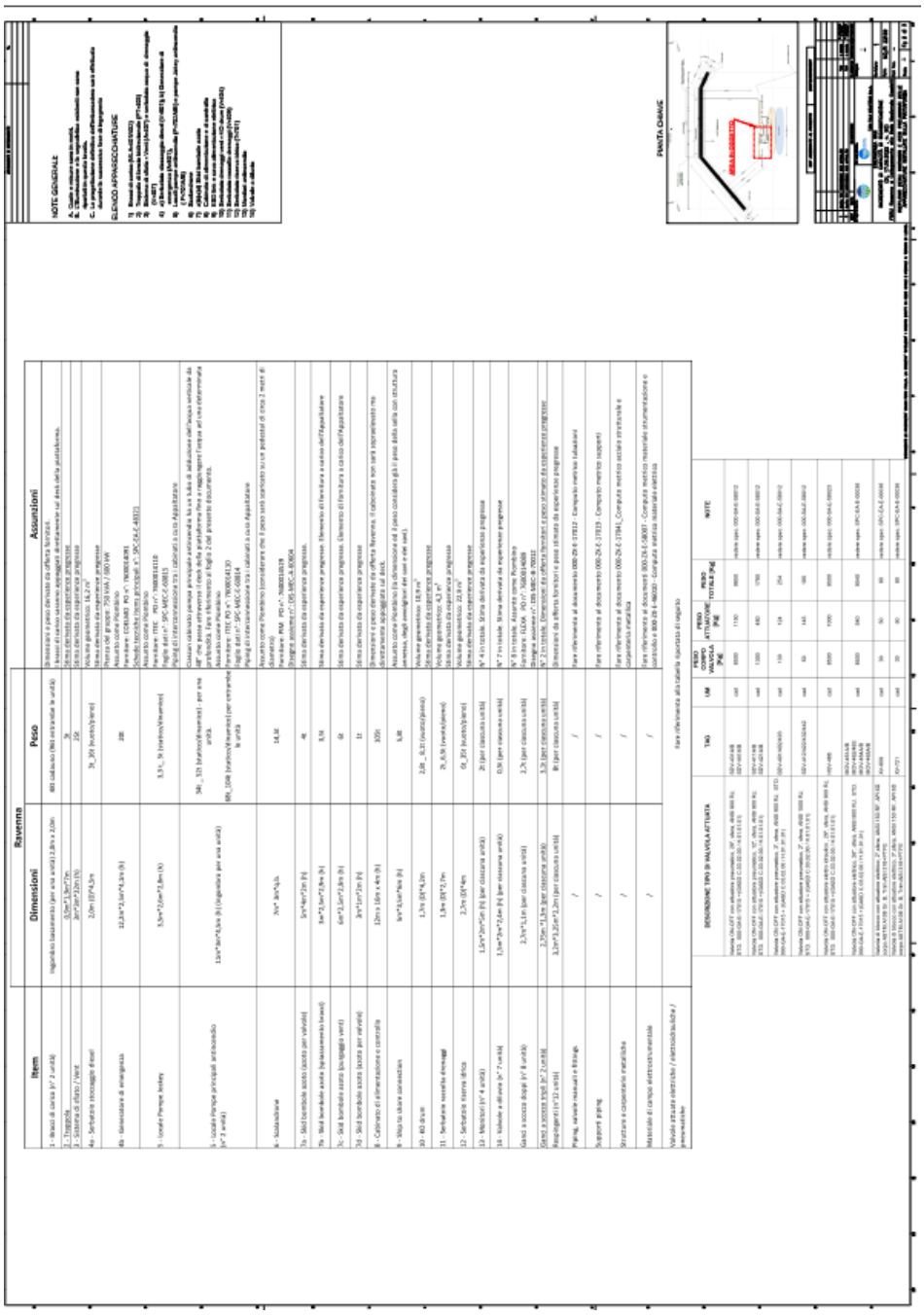
### 4.6.2 Peso piping ed equipaggiamenti

I pesi dei piping primari e degli equipaggiamenti più gravosi vengono modellati tenendo conto della posizione e delle impronte di carico.

Come carichi preliminari vengono considerati i carichi indicati nel documento SNAM NQ/R 22199 (riportato alla pagina seguente).

La seguente tabella carichi/dimensioni verrà aggiornata in funzione del progresso delle informazioni dei vari items.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.



Piping minori, impianti elettrici e quant'altro verranno modellati come carichi distribuiti (BULKS) come riportato nell'elenco di seguito:

- BWL Elettrico 0.03 kN/m$^2$ zone solo illuminazione
- BWE Elettrico 0.6 kN/m$^2$ zone di potenza (es. Attuatori, pompe ecc)


Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

- BWC Controllo: es. Safety items 0.005 kN/m$^2$ (detenzione)
- BWP Piping minore (oltre ai carichi puntuali forniti) 1.0 kN/m$^2$
- BWS Not Modeled Structural (secondarie, stiffeners etc.) 0,2 kN/m$^2$

### 4.6.3 Carichi variabili

Questi carichi si applicano alle aree libere:

- Zone di passaggio, moduli abitativi e di controllo: 4.0 kN/m$^2$
- Zone di manutenzione: 9.0 kN/m$^2$
- Zone di carico / scarico (lay down): 15.0 kN/m$^2$

NOTA: nell'analisi sismica i carichi variabili vengono considerati ridotti al 50%

### 4.6.4 Carichi di ormeggio / carichi ai respingenti

I seguenti carichi per il dimensionamento delle briccole sono definiti nel documento di FEED Rif.[A7]:

- Briccole di ormeggio: 150 ton / gancio;
- Briccole di accosto: 215 ton / parabordo.

A verifica e conferma i carichi e le spinte agenti sulle briccole di accosto e sulle briccole di ormeggio derivati dalle analisi di ormeggio saranno calcolati e confrontati con i valori di progetto.

### 4.6.5 Carichi esplosione

La progettazione deve essere eseguita considerando il requisito carico di esplosione (blast) di 0,1 bar con impulso pari a 319 ms.

Il requisito dovrà essere applicato agli elementi strutturali definiti nel Rif.[A2]

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

### 4.6.6 Carichi collisione imbarcazioni

La seguente tabella sintetizza la tipologia di imbarcazioni che vengono considerate per le analisi di impatto accidentale con le strutture nuove ed esistenti (PETRA).

| NOME | TIPOLOGIA IMBARCAZIONE | DISLOCAM. [Ton] | L [m] | B [m] | EVENTO | VELOCITA' IMPATTO [m/s] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| KAMARINA | AHTS | 2000 | 50 | 15 | ACCOSTO LATO OVEST NUOVA PIATTAFORMA | 0.50 |
| ANTIGNANO | ASD ESCORT TUG LNG TERMINAL LIVORNO BP>80T | 1000 | 32 | 13.2 | ACCOSTO LATO EST NUOVA PIATTAFORMA (BOAT LANDING) | 0.50 |
| MELANIE B | MPSV | 800 | 41.6 | 9.3 | ACCOSTO LATO EST NUOVA PIATTAFORMA (BOAT LANDING) | 0.50 |
| MELANIE B | MPSV | 800 | 41.6 | 9.3 | URTO ACCIDENTALE CONTRO STRUTTURE PIATTAFORMA PETRA ESISTENTE | 0.40 |
| WOLF | CREW BOAT | 260 | 38 | 8.2 | ACCOSTO LATO EST NUOVA PIATTAFORMA (BOAT LANDING) | 0.50 |
| WOLF | CREW BOAT | 260 | 38 | 8.2 | URTO ACCIDENTALE CONTRO STRUTTURE PIATTAFORMA PETRA ESISTENTE | 0.40 |
| PUMA PRIMO | CREW BOAT | 250 | 38.5 | 7.6 | ACCOSTO LATO EST NUOVA PIATTAFORMA (BOAT LANDING) | 0.50 |
| PUMA PRIMO | CREW BOAT | 250 | 38.5 | 7.6 | URTO ACCIDENTALE CONTRO STRUTTURE PIATTAFORMA PETRA ESISTENTE | 0.40 |
| = | BETTOLINA | 1500 | = | = | ACCOSTO LATO EST NUOVA PIATTAFORMA (BOAT LANDING) | 0.40 |
| = | BETTOLINA | 1500 | = | = | URTO ACCIDENTALE CONTRO STRUTTURE PIATTAFORMA PETRA ESISTENTE | 0.25 |

**Tabella 4-2: Imbarcazioni per analisi di impatto**

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

# 5 PROCEDURE DI PROGETTAZIONE E CRITERI DI ACCETTAZIONE

## 5.1 LINEE GUIDA

La progettazione degli elementi strutturali considera le seguenti linee guida generali:

- Il fattore di lunghezza effettivo, K, per gli elementi di compressione viene determinato in conformità con le raccomandazioni della ISO 19902 Rif.[B4]. Per la progettazione finale, la lunghezza effettiva può essere presa dal faccia a faccia dei giunti alle estremità dell'asta.
- Il controllo di aste e giunti viene eseguito in conformità con ISO 19902 Rif.[B4] (aste tubolari e giunti) ed EN 1993 Rif.[B5] (travi a forma di I / H) mediante funzionalità di controllo del codice del modulo SACS.
- In generale, i rapporti di snellezza dei membri primari e secondari, kl/r, non devono superare 120. Il rapporto di snellezza della diagonale verticale primaria non dovrebbe normalmente superare 80.
- Gli elementi tubolari devono essere concentrici con transizioni coniche e le transizioni devono essere progettate per soddisfare l'angolo limite raccomandato dalla ISO 19902 Rif.[B4].

## 5.2 ANALISI STRUTTURALE

Le strutture sono analizzate utilizzando modelli tridimensionali a telaio per tutte le condizioni pre-servizio e in servizio allestite mediante il codice SACS Rif.[B19]. Il modello In servizio diventa la base per tutte le altre analisi strutturali.

## 5.3 CRITERI DI PROGETTAZIONE

### 5.3.1 Generalità

I criteri di progettazione sono conformi ai metodi stati limite degli standard ISO 19900 Rif.[B1] ISO 19901 Rif.[B3] ISO 19902 Rif.[B4] ed EN 1993 Rif.[B5] (per le sezioni I /H) che sono generalmente considerati lo standard applicabile per la progettazione della struttura.

Per il calcolo delle briccole I criteri di progettazione fanno ulteriore riferimento agli standard BS 6349-1-2 Rif.[B10].

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

### 5.3.2 Fattore di azione parziale per le analisi in servizio

I fattori di azione parziale per le condizioni di analisi in servizio sono riportati nella tabella seguente.

$$F_d = \gamma_{f,G1} G1 + \gamma_{f,G2} G2 + \gamma_{f,Q1} Q1 + \gamma_{f,Q2} Q2 + \gamma_{f,E}(E + \gamma_{f,D} D)$$

Dove

- E ($E_o$ $E_e$ o $E_a$) sono rispettivamente le azioni Operative Ambientali Estreme Ambientali o Eccezionali
- D ($D_o$ $D_e$ o $D_a$), sono rispettivamente l'azione quasi-statica che rappresenta la risposta dinamica causata da condizioni di ambientali $E_o$ $E_e$ o $E_a$.

| Combinazioni | | Permanenti | | Variabili | | Operativi Ambientali | | Estremi Ambientali | | Eccezionali | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | G1 | G2 | Q1 | Q2 | Eo | Do | Ee | De | Ea | Da |
| Operative Gravità | | 1.3 | 1.3 | 1.5 | 1.5 | - | - | - | - | - | - |
| Operative Ambientali | | 1.3 | 1.3 | 1.5 | 1.5 | 1.215 | 1.25 | - | - | - | - |
| Estreme Ambientali | Max Compress. | 1.1 | 1.1 | 1.1 | - | - | - | 1.35 | 1.25 | - | - |
| | Max Trazione | 0.9 | 0.9 | - | - | - | - | 1.35 | 1.25 | - | - |
| Eccezionali | | 1.0 | 1.0 | 1.0 | - | - | - | - | - | 1.0 | 1.25 |

**Tabella 5-1: Fattori di azione parziale per l'analisi in servizio**

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

### 5.3.3 Fattore di azione parziale per l'analisi pre-servizio

Le situazioni di progettazione da considerare per le analisi pre-servizio comprendono quanto segue:

- Trasporto
- Sollevamento
- Stabilità sul fondo

Le combinazioni di carico per le analisi pre-servizio sono:

$$F_d = \gamma_{f,GT} G_T + \gamma_{f,GT} Q_T + \gamma_{f,T} T$$

Per l'analisi di sollevamento:

$$F_d = K_{DAF} \gamma_{f,dl} \gamma_{f,lf} (\gamma_{f,GT} G_T + \gamma_{f,GT} Q_T + \gamma_{f,T} T)$$

Il fattore di amplificazione dinamica $K_{DAF,}$ il fattore di attrezzature sollevamento $\gamma_{f,dl}$ e il fattore loacle $\gamma_{f,lf}$ sono definiti al par.6.7.

I fattori di azione parziale per le condizioni di analisi pre-servizio sono riportati nella seguente tabella:

| Situazione | Permanenti (GT) | Variabili (QT) | Transitori (T) |
|---|---|---|---|
| 1 | 1.3 | 1.3 | 1.0 |
| 2 | 1.0 | 1.0 | 1.35 |
| 3 | 0.95 | 0.9 | 1.35 |

**Tabella 5-2: Fattori di azione parziale per l'analisi pre-servizio**

Note:

1. Fare riferimento alla Tabella 8.2-1 della ISO 19902 Rif.[B4] per la definizione delle tre situazioni: 1 2 3.
2. GT si riferisce al carico permanente durante la situazione transitoria considerata.
3. QT si riferisce a strutture temporanee e carichi di sartiame durante la situazione transitoria considerata.
4. T si riferisce a tutte le azioni della situazione transitoria, a seconda dei casi, quali: azioni ambientali e carichi inerziali di trasporto.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

### 5.3.4 Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari

I fattori di resistenza mostrati di seguito sono applicabili a tutte le analisi, vale a dire condizioni di servizio e pre-servizio.

Nota: tutti i fattori di resistenza parziale per l'azione ambientale Eccezionale hanno valore 1,0.

I fattori di resistenza parziale per le sezioni tubolari sono riportati nella seguente tabella ISO 19902 Rif.[B4]

| Fattore di resistenza | Valore | Definizione |
|---|---|---|
| $\gamma_{R,t}$ | 1.05 | Fattore di resistenza parziale per resistenza alla trazione |
| $\gamma_{R,c}$ | 1.18 | Fattore di resistenza parziale per resistenza assiale alla compressione |
| $\gamma_{R,b}$ | 1.05 | Fattore di resistenza parziale per la resistenza alla flessione |
| $\gamma_{R,v}$ | 1.05 | Fattore di resistenza parziale per la resistenza al taglio |
| $\gamma_{R,h}$ | 1.25 | Fattore di resistenza parziale per la resistenza all'instabilità |

**Tabella 5-3: Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari**

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

### 5.3.5 Resistenza minima nodi tubolari

Tutti i nodi tubolari saranno dimensionati per soddisfare i requisiti minimi di resistenza in accordo con ISO 19902 Rif.[B4] Clausola 14.2.3. I fattori di resistenza parziale sono riportati nella tabella seguente.

| Fattore di resistenza | Valore | Definizione |
|---|---|---|
| $\gamma_{R,j}$ | 1.05 | Fattore di resistenza parziale per articolazioni |
| $\gamma_{R,z}$ | 1.17 | Fattore di resistenza parziale supplementare per i membri a fallire prima del rendimento congiunto |

**Tabella 5-4: Fattori di resistenza parziale per i nodi tubolari**

NOTA:

come condizione aggiuntiva tutti i nodi critici del Jacket devono soddisfare il requisito minimo di resistenza basato sul 50%. della capacità di resistenza ultima dell'asta incidente (Strength Capacity)

### 5.3.6 Fattore di resistenza parziale per sezioni non tubolari

I fattori di resistenza parziale per le sezioni non tubolari in accordo con EN 1993 Rif.[B5] e per i giunti non tubulari sono riportati nelle seguenti tabelle.

| Resistenza Fattore | Valore | Definizione |
|---|---|---|
| $\gamma_{M,0}$ | 1.00 | Resistenza delle sezioni a snervamento e instabilità locale |
| $\gamma_{M,1}$ | 1.00 | Resistenza delle aste a instabilità |
| $\gamma_{M,2}$ | 1.25 | Resistenza a rottura delle sezioni soggette a trazione, resistenza dei collegamenti |

**Tabella 5-5: Fattori di resistenza parziale per sezioni non tubolari**

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

### 5.3.7 Fattore di resistenza parziale per capacità assiale del palo

I fattori di resistenza parziale sulla capacità assiale del palo devono essere applicati in conformità con ISO 19902 Rif.[B4] nella tabella seguente.

| Fattore di resistenza | Valore | Definizione |
|---|---|---|
| $\gamma_{R,pp}$ | 1.50 | Condizioni Ambientali Operative |
| $\gamma_{R,pe}$ | 1.25 | Condizioni Ambientali Estreme |
| $\gamma_{R,pa}$ | 1.00 | Condizioni Eccezionali |
| $\gamma_{R,ps}$ | 1.25 | Condizione Sismica (ELE) |
| $\gamma_{R,ps}$ | 1.00 | Condizione Sismica (ALE) |

**Tabella 5-6: Fattori di resistenza parziale per la capacità assiale del palo**

NOTA:

Per conformità con la normativa italiana l'infissione dei pali viene anche calcolata secondo NTC 2018 Rif.[B1] seguendo l'approccio A1 + M1 + R3:

Vengono utilizzate le azioni provenienti dall'analisi, conseguentemente già fattorizzate comprendono la filosofia dei coefficienti A1 lato azioni.

Si considerano poi per i pali infissi:

- M1 = 1.00
- R3 = 1.15 resistenza laterale compressione a compressione e portata di base
- R3 = 1.25 resistenza laterale a trazione

Vengono inoltre applicati i fattori di correlazione $\xi_i$ per la determinazione dei valori di resistenza caratteristica in funzione del numero e tipologia dei sondaggi eseguiti.

**La penetrazione di progetto verrà assunta considerando il risultato più conservativo tra i due approcci ISO 19902 Rif.[B4] e NTC 2018 Rif.[B1].**

### 5.3.8 Deformazioni

Le deformazioni nei sistemi strutturali e negli elementi strutturali per le combinazioni di carico di servizio non deve compromettere la funzionalità della struttura. Per il controllo delle deflessioni consentite, viene considerato il fattore di carico parziale unitario.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

Considerando:

$\Delta_{Max}$ = deformazione massima per Permanenti + Variabili

$\Delta_0$ = deformazione massima per solo per carichi variabili

| Componente strutturale | Massima deformazione | |
|---|---|---|
| | *Δmax* | $\Delta_0$ |
| Travi su appoggi | l/200 | L/300 |
| Travi a sbalzo | l/100 | L/150 |

**Tabella 5-7: Valore massimo per la deformazione dei componenti strutturali**

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

# 6 ANALISI STRUTTURALI PIATTAFORMA DI SCARICO

## 6.1 GENERALITA'

Questa sezione descrive la metodologia e le ipotesi principali che vengono utilizzata per la progettazione della struttura. La progettazione viene eseguita in conformità con i requisiti dei codici ISO 19901 Rif.[B3] ISO 19902 Rif.[B4] ed EN 1993 Rif.[B5] (per le sezioni I /H) , se necessario integrati con i requisiti di altri codici internazionali.

## 6.2 ANALISI RICHIESTE

Per le strutture della piattaforma di scarico vengono richieste le seguenti analisi strutturali:

- Analisi in Servizio
- Analisi a Fatica
- Analisi Sismica
- Analisi Trasporto
- Analisi Sollevamento
- Analisi Stabilità sul fondo
- Analisi Collisione Imbarcazioni
- Analisi Slamming
- Analisi Esplosione (ove richiesto)
- Analisi Infissione pali

## 6.3 ANALISI STRUTTURALE IN-SERVIZIO

La struttura, i suoi singoli elementi e le pertinenze sono progettati per sopportare le azioni massime derivati dai carichi ambientali e dai carichi gravitazionali imposti dalle possibili condizioni di carico che si verificano in condizione operativa ed estrema.

### 6.3.1 Modello

Viene utilizzato un modello 3D che include gli elementi strutturali principali e secondari significativi. I pali di fondazione e L'interazione terreno struttura verrà simulata per mezzo del modulo PSI di SACS.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

### 6.3.2 Carichi

I casi di carico per il progetto sono riepilogati nella tabella seguente:

| Condizioni di carico | | Operative | Estreme | Eccezionali |
|---|---|---|---|---|
| Peso proprio strutturale | G1 | X | X | X |
| Peso a secco delle apparecchiature | G1 | X | X | X |
| Peso del contenuto delle apparecchiature | Q1 | X | X | X |
| Carichi variabili | Q1 | X | X | X |
| Peso proprio della gru | G1 | X | X | X |
| Carico operativo della gru | Q2 | X | | |
| Carichi Ambientali Operativi | Eo | X | | |
| Carichi Ambientali Estremi | Ee | | X | |
| Carichi Ambientali Eccezionali | $E_A$ | | | X |

**Tabella 6-1: Carichi di progetto per l'analisi strutturale in servizio**

Le combinazioni di carico vengono generate utilizzando i fattori di azione parziale di cui al punto 5.3.2

NOTA: nell'analisi sismica i carichi variabili vengono considerati ridotti al 50%

### 6.3.3 Fattore di amplificazione dinamica

I fattori di amplificazione dinamica per le azioni ambientali delle onde (DAF) sono calcolati per ogni direzione principale utilizzando il primo periodo proprio della struttura dato dall'equazione:

$$\mathrm{DAF} = \frac{1}{\sqrt{[(1-\Omega^2)^2 + (2\zeta\Omega)^2]}}$$

Dove

- DAF = Fattore di amplificazione dinamica
- $\Omega = \omega/\omega_n$
- $\omega$= Frequenza d'onda (Hz)
- $\omega_n$= Prima frequenza traslazionale della struttura nella direzione appropriata (Hz)

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

- ζ = Fattore di smorzamento viscoso (smorzamento strutturale in proporzione allo smorzamento critico). Un valore di 0,02 sarà utilizzato secondo ISO 19902 Rif.[B4].

### 6.3.4 Analisi pali di fondazione

I pali della struttura saranno progettati per sopportare la massima azione di compressione e trazione che agiscono sui pali durante le condizioni in servizio.

Secondo l'approccio ISO 19902 Rif.[B4] la capacità assiale del palo deve soddisfare le seguenti condizioni:

$$P_D \leq Q_D = \frac{Q_R}{\gamma_R}$$

dove:

- PD = carico assiale su pali utilizzando carichi fattorizzati
- QD = capacità massima del palo assiale di progetto
- QR = capacità ultima del palo assiale
- $\gamma_R$ = fattore di resistenza del palo, Riferimento Par.5.3.7

NOTA:

Per conformità con la normativa italiana l'infissione dei pali viene anche calcolata secondo NTC 2018 Rif.[B1] seguendo l'approccio A1 + M1 + R3, (Riferimento Par.5.3.7)

**La penetrazione di progetto verrà assunta considerando il risultato più conservativo tra i due approcci ISO 19902 Rif.[B4] e NTC 2018 Rif.[B1].**

## 6.4 ANALISI A FATICA

Viene eseguita un'analisi dinamica spettrale della fatica per garantire che le strutture abbiano la resistenza a fatica richiesta.

La struttura ha una vita di progetto di 25 anni, per i primi 5 anni la struttura sarà priva di protezione ambientale, successivamente per gli ulteriori 20 anni di vita operativa la struttura sarà protetta da una diga.

Le analisi a fatica dovranno tenere conto delle diverse condizioni meteo-marine per i due periodi di vita.

Gli Scatter Diagram, riportanti gli stati di mare necessari per le analisi nelle due situazioni con e senza diga, sono riferiti al [A4].

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

### 6.4.1 Presupposti generali

Il modello strutturale si basa su quello derivato per le analisi statiche in opera. Le analisi terranno in considerazione i seguenti aspetti:

- la massa della struttura e dell'attrezzatura corrispondente ai pesi operativi.
- massa dei tubi conduttori e inclusi involucri.
- massa dell'accrescimento marino.
- Peso dell'acqua intrappolata e dell'acqua aggiunta
- Non verrà applicata alcuna corrente e nessun vento. La struttura è caricata solo da carichi ambientali d'onda ricavati dagli stati di mare
- Viene utilizzato un fattore cinematico d'onda pari a 1,0.
- Viene utilizzato un rapporto di smorzamento viscoso costante di 2%
- Nell'analisi a fatica deve essere utilizzato il livello medio del mare durante la vita utile di progettazione della struttura;
- La caratterizzazione ondulatoria del sito è fornita come distribuzioni di probabilità congiunte (diagrammi di scatter) di altezze d 'onda significative (Hs) e periodo spettrale di picco associato (Tp), rilevanti per le principali direzioni geografiche. Gli scatter vengono infine trasformati in dispersioni finali, che tengono conto dell'orientamento della piattaforma rispetto al Nord geografico. I carichi d'onda dovuti alle onde di fatica saranno linearizzati dal programma SACS, in combinazione con l'equazione di Morison. Le velocità e le accelerazioni delle particelle d'acqua 2D sono calcolate secondo la teoria delle onde lineari (di Airy) e utilizzate nella formula standard di Morison per valutare le forze di resistenza e inerzia su ciascun elemento strutturale e non strutturale sommerso.
- La selezione delle onde rappresentative si basa sulle seguenti considerazioni:
  - Periodo d'onda: la scelta dei periodi d'onda è specifico per ogni piattaforma e tiene conto le frequenze naturali della struttura per eventuali condizioni di risonanza, la diffusione dei periodi degli stati del mare come identificato nei diagrammi di dispersione, interferenza geometrica tra lunghezza d'onda e struttura, con effetti di annullamento o amplificazione.
  - Altezza d'onda: sebbene l'approccio spettrale si basi sull'assunzione della proporzionalità dei carichi d'onda e delle altezze d'onda, la presenza di componenti di forza che seguono una legge diversa (forze di trascinamento) richiede una corretta definizione dell'altezza d'onda rappresentativa associata a ciascun periodo selezionato. Come suggerito dalla ISO 19902 Rif.[B4] questo può essere ottenuto scegliendo una pendenza d'onda costante (rapporto tra altezza d'onda e lunghezza d'onda, $S = 2\pi H/gT2$).

Per tutte le analisi si fa riferimento anche alle DNV-RP-C203 Rif. [B16] dove la materia è trattata più profondamente rispetto alle ISO19902 Rif.[B4]

### 6.4.2 Procedura di calcolo

La seguente procedura affronta i danni da fatica dovuti al carico delle onde, al fine di valutare la durata di progettazione a fatica delle connessioni saldate della struttura.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

Al fine di eseguire l'analisi dinamica, il comportamento non lineare del sistema suolo-fondazioni viene linearizzato considerando il taglio generato da onda media (Central Damage wave) e applicando alla base una matrice di rigidezza equivalente (super-element creato dal modulo PSI di SACS).

L'analisi utilizza l'approccio spettrale, basato sulla valutazione dei danni cumulativi da fatica che rappresentano tutti gli stati del mare.

### 6.4.3 Verifica strutturale

La durata a fatica calcolata considera i fattori minimi di sicurezza come da seguente tabella:

| Critico per i guasti | Ispezionabile (1) | Non ispezionabile (2) |
|---|---|---|
| Critico (3) | 5 | 10 |
| Non critico (3) | 2 | 5 |

**Tabella 6-2: Coefficienti di sicurezza per danni a fatica**

**Nota**

1. I nodi ispezionabili sono quelli che si trovano al di sotto della splash zone e sopra la splash zone.
2. I nodi non ispezionabili sono quelli che non hanno accesso o si trovano nella Splash Zone
3. Con riferimento alla tabella precedente, i componenti strutturali classificati come "critici" (membri primari) sono quelli necessari per mantenere l'integrità strutturale contro il crollo complessivo globale. Sono classificati come componenti critici anche i componenti che non sono necessari per mantenere l'integrità strutturale, ma che possono causare la perdita di vite umane, un inquinamento esteso o un grave impatto economico. Tutti gli altri componenti strutturali sono classificati come non critici (elementi secondari).

Per le analisi si fa riferimento anche alle DNV-RP-C203 Rif. [B16] che presenta una trattazione approfondita della materia.

Gli SCF per i giunti nodali verranno generati automaticamente utilizzando il modulo di fatica SACS.

I criteri per verificare la durata a fatica dei diversi tipi di articolazione sono riassunti nella seguente tabella (in inglese per migliore corrispondenza con le normative di riferimento).

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

| # | Joint Type | SCF | S-N Curve |
|---|---|---|---|
| 1 | Brace-chord connection for tubular nodal joints (stiffened and unstiffened, nodal construction) | Efthymiou<br>Min SCF = 1.5 | ISO TJ |
| 2 | Brace-chord connection for tubular nodal joint (unstiffened) with weld toe grinding | Efthymiou<br>Min SCF = 1.5 | ISO TJ2 |
| 3 | Ring stiffened brace-chord tubular nodal joints | (Efthymiou) x (Lloyd's reduction factor)<br>Min SCF = 1.5 | ISO TJ |
| 3a | Ring web to chord wall connection at brace/ring intersection (BRI) for internally stiffened joint | As per Lloyd's or computed | ISO F |
| 3b | Ring stiffener inner edge for internally stiffened joint | As per Lloyd's or computed | ISO D |
| 4 | Double-sided full penetration circumferential welds | Note (B)<br>Min SCF = 1.3 | ISO E |
| 5 | Single-sided full penetration circumferential welds (e.g. closure welds) | Note (B)<br>Min SCF = 1.3 | ISO F2 |
| 6 | Double-sided conical transition welds | Note (A) and Note (B)<br>Min SCF = 1.3 | ISO D |
| 7 | Single-sided conical transition welds | Note (A) and Note (B)<br>Min SCF = 1.3 | ISO F2 |
| 8 | Double-sided conical transition/circumferential welds with ground flush inside and outside | Refer # (4) to (7) | ISO C |
| 9 | Single-sided conical transition/circumferential welds with ground flush inside and outside | Refer # (4) to (7) | ISO D |

**Tabella 6-3: Assegnazioni delle curve SCF e S-N per vari tipi di giunti**

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

Per la transizione conica, l'SCF su ciascun lato delle giunzioni tubolari non irrigidite è il seguente in conformità con le linee guida DNV-RP-C203 Rif. [B16]

$$SCF = 1 + \frac{0.6\mathrm{t}\sqrt{D_j(\mathrm{t} + t_c)}}{t^2} \tan(\alpha)$$

Dove:

Dj = Diametro del cilindro alla giunzione

t = spessore della parete dell'elemento tubolare

$t_c$ = spessore del cono

α = angolo di pendenza del cono

Per il calcolo dell'SCF nelle saldature tubolari di testa con eccentricità può essere utilizzata la seguente equazione

$$SCF = 1 + \frac{6(\delta_t + \delta_m - \delta_0)}{t} \frac{1}{1 + (\frac{T}{t})^{\beta}} \exp(-\alpha)$$

$$\alpha = \frac{1.82L}{\sqrt{Dt}} \frac{1}{1 + (\frac{T}{t})^{\beta}}$$

Dove:

$\delta_m$ = 0.1t (Ref. ) è il disallineamento inerente ai dati SN;

$\delta_0$ = (T−t)/2 eccentricità dovuta al cambiamento di spessore;

T = spessore della lamiera più spessa;

t = spessore della piastra più sottile;

D = è il diametro dell'elemento tubolare;

L = è la lunghezza della transizione di spessore

Per lo spessore equivalente del cord di giunzioni grautate, lo spessore equivalente del cord è dato dall'equazione seguente:

$$T_e = \frac{5D + 134T}{144}$$

Dove:

D = diametro del cord

T = spessore del cord

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

### 6.4.4 Fattore di correzione dell'effetto spessore

Le curve TJ e OJ della ISO 19902 Ref.[D8] si basano su uno spessore del materiale di 16 mm. Per lo spessore del materiale superiore a 16 mm, si applica il seguente effetto di spessore:

$$S = S_0(16/t)^{0,25}$$

Dove:

- S è l'intervallo di sollecitazione della curva S-N, se regolato per gli effetti dello spessore;
- $S_0$ è l'intervallo di sollecitazione della curva S-N nella tabella ISO 19902 16.11-1; t è lo spessore dell'elemento in mm per il quale è prevista la durata a fatica.

La curva CJ si basa su uno spessore del materiale di 38 mm. Per lo spessore del materiale superiore a 38 mm, si applica il seguente effetto di spessore:

$$S = S_0(38/t)^{0,15}$$

Nessun effetto di spessore deve essere applicato a spessori di materiale inferiori a 16 mm per le curve TJ e OJ e inferiori a 38 mm per la curva CJ.

## 6.5 ANALISI SISMICA

L'analisi sismica viene eseguita seguendo il metodo dello spettro di risposta utilizzato per valutare la risposta della piattaforma ai carichi sismici.

Il modello di calcolo è simile al modello di analisi in servizio, con le opportune modifiche necessarie per la risposta dinamica tenendo in considerazione la massa dell'acqua intrappolata nella struttura e la massa aggiunta esterna partecipante.

L'analisi dello spettro di risposta sismica richiede che l'intera struttura si comporti in modo lineare elastico,pertanto il comportamento non lineare dei pali viene linearizzato considerando il taglio globale generato dal sisma e applicando alla base una matrice di rigidezza equivalente (super-element creato dal modulo PSI di SACS).

Viene eseguita un'analisi modale per determinare i periodi naturali della piattaforma e le forme della modalità di vibrazione. Il numero di forme modali deve essere sufficiente per ottenere un fattore di partecipazione di massa cumulativo del 95% in ciascuna delle direzioni principali.

L'effetto dei singoli modi viene combinato attraverso una combinazione quadratica completa (CQC) mentre l'effetto del sisma nelle tre direzioni x, y, z viene combinato attraverso una la somma dei quadradi (SRSS)

Nell'analisi sismica viene utilizzato un fattore di smorzamento viscoso pari al 5% dello smorzamento critico.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

## 6.6 ANALISI TRASPORTO

Le strutture della struttura devono essere progettate per sopportare il carico dinamico dovuto ai movimenti della chiatta indotti dalle forze inerziali durante il trasporto dal cantiere di fabbricazione al sito offshore.

La struttura viene analizzata per varie combinazioni di peso proprio e forze inerziali dovute ad accelerazioni lineari e angolari per varie direzioni di chiatta.

Viene eseguita una prima analisi considerando i soli carichi verticali e i soli supporti in fase di caricamento (struttura appena caricata) e una seconda analisi aggiungendo i vincoli ulteriori per la fase di trasposto e assoggettando la struttura con i carichi inerziali. Le due analisi vengono in seguito combinate per determinare lo stato di sollecitazione.

L'analisi strutturale del trasporto per la struttura della struttura viene effettuata in conformità con ISO 19901-6, Rif.[B3].

Visto il breve tratto di navigazione dal cantiere di costruzione al sito di installazione, entrambi in provincia di Ravenna si assume il criterio di motion standard per le condizioni “restricted”

Il Rif.[B3] per maggiore dettaglio richiama il Rif.[B15] DNVGL-ST-N001Marine operations and marine warranty del quale si riporta parte della tabella 11.4

**Table 11-4 Default motion criteria (ASD/WSD approach)**

| *Nature of Voyage* | *Case* | *LOA (m)* | *B [1] (m)* | *L/B [1]* | *Block Coeff* | *Full cycle period (secs)* | *Single amplitude* | | *Heave* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | *Roll* | *Pitch* | |
| Weather unrestricted (these values to be used unless cases 7 to 15 apply) | 1 | > 140 & > 30 | | n/a | < 0.9 [2] | 10 | 20° | 10° | 0.2 g |
| | 2 | > 76 & > 23 | | n/a | Any | 10 | 20° | 12.5° | 0.2 g |
| | 3 | ≤ 76 or ≤ 23 | | ≥2.5 | < 0.9 [2] | 10 | 30° | 15° | 0.2 g |
| | 4 | | | | ≥0.9 | | 25° | | |
| | 5 | ≤ 76 or ≤ 23 | | < 2.5 | < 0.9 [2] | 10 | 30° | 30° | 0.2 g |
| | 6 | | | | ≥0.9 | | 25° | 25° | |
| Weather restricted operations in non-benign areas for a duration <24 hours (see [11.7.2.2] 6). For L/B < 1.4 use unrestricted case. | 7 | Any | | ≥2.5 | Any | 10 | 10° | 5° | 0.1 g |
| | 8 | Any | | < 2.5 ≥1.4 | Any | 10 | 10° | 10° | 0.1 g |
| Weather restricted operations in benign areas, as defined in [3.6], (see [11.7.2.2] 7). For L/B < 1.4 use unrestricted case. | 9 | Any | | ≥2.5 | Any | 10 | 5° | 2.5° | 0.1 g |
| | 10 | Any | | < 2.5 ≥1.4 | Any | 10 | 5° | 5° | 0.1 g |

**Tabella 6-4: Moti per condizioni restricted in accordo con Rif.[B15]**

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

In accordo con la tabella si assumono i seguenti valori di motion per le condizioni restricted:

| Ciclo | Roll | Pitch | Heave |
|---|---|---|---|
| 10 sec | 10° | 5° | 0.1 g |

**Tabella 6-5: Moti per condizioni "restricted" di progetto**

Vengono considerate le 8 combinazioni standard ± Roll ± Ptch ± Heave considerando le situazioni 2 e 3 del Par.5.3.3 (totale 2 x 8 = 16 combinazioni)

Ad ogni combinazione viene associato il vento da 100 nodi (52 m/s) nella direzione più sfavorevole in accordo con DNVGL-ST-N001 Rif.[B15]

## 6.7 ANALISI SOLLEVAMENTO

Viene eseguita un'analisi di sollevamento statico in conformità con ISO 19902 Ref.[B4] e ISO 19901-6 Ref.[B3].

### 6.7.1 Presupposti generali

Il sollevamento impone azioni statiche e dinamiche sulla struttura. L'entità di queste azioni è principalmente legata al peso della struttura sollevata e delle pertinenze. Il peso della struttura e delle pertinenze considerato nell'analisi sarà conforme al rapporto di controllo del peso.

I fattori generali pre-servizio, sono presentati al punto 5.3.3

Un fattore di amplificazione dinamica (DAF), che tiene conto degli effetti dinamici di movimento della gru viene assunto in accordo con il Rif.[B15] Par.16.2.5 secondo uno dei seguenti due criteri:

- determinazione del DAF eseguendo analisi dinamica di movimento della crane barge
- utilizzo di DAF tabellari (tabella 16-1 del Rif. [B15])

Le tolleranze nella lunghezza delle braghe viene simulata considerando l'incremento del 25 % nel tiro in una coppia di braghe opposte (alternativamente nelle due coppie);

Vengono applicati i seguenti ulteriori fattori parziali per tener conto dell'importanza dei componenti strutturali coinvolti (come da tabella 16 Rif. [B3]):

- $\gamma_{f,lp}$ = 1,30 per i punti di sollevamento;
- $\gamma_{f,mf}$ = 1,15 per gli elementi direttamente collegati ai punti di sollevamento;
- $\gamma_{f,m}$ = 1,00 per gli altri elementi strutturali.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

Nella progettazione dei golfari, oltre alle componenti orizzontali e verticali calcolate della forza di sollevamento, verrà considerata una forza laterale del 5% del tiro fune (secondo ISO 19902 Rif.[B4], per tenere conto di qualsiasi carico laterale sugli accessori di sollevamento. Questa forza viene considerata agire contemporaneamente alla forza statica dell'imbragatura, viene applicata perpendicolarmente all'attacco di sollevamento al centro del foro.

### 6.7.2 Posizione del baricentro

Per le strutture principali (classi A e B ISO 19901-5 Ref.[B3]) viene considerato l'inviluppo della posizione del baricentro (CoG), conseguentemente viene eseguita l'analisi per 5 posizioni del gancio: la posizione teorica e posizioni sui 4 vertici di un rettangolo dimensione 0.05 L x 0.05 B con centro sulla posizione teorica.

Per le strutture secondarie (classe C ISO 19901-5 Ref.[B3]) poco sensibili alla posizione del baricentro, in sostituzione dell'inviluppo della posizione del baricentro si considera un coefficiente globale sul peso: $K_{CoG}$ = 1,10.

### 6.7.3 Procedura di calcolo

Supponendo che il sollevamento venga eseguito utilizzando 4 funi e un unico gancio, si applicando le seguenti considerazioni:

- L'altezza del gancio viene calcolata sulla base dell'angolo sull'orizzontale.
- Le braghe vengono modellate solo con elementi tesi, con il momento flettente rilasciato su entrambe le estremità.
- Il punto del gancio è posizionato in modo che si trovi sulla stessa linea verticale del baricentro.
- Nella posizione del gancio, vengono modellati 2 nodi coincidenti:
- Il primo nodo di aggancio è completamente fisso e collegato a una coppia di imbracature diagonalmente opposte;
- Il secondo nodo di aggancio viene rilasciato per la traslazione verticale e collegato all'altra coppia di imbragatura.
- Per modellare l'effetto di distribuzione del carico non uniforme viene applicata una forza verso l'alto sul nodo rilasciato incrementa del 25% rispetto al valore teorico.
- L'analisi viene effettuata alternando i due nodi sulle due coppie di braghe opposte, per ogni posizione del CoG. Considerata.

## 6.8 ANALISI STABILITÀ SUL FONDO

Lo scopo principale di questa analisi è quello di studiare il comportamento della struttura prima e durante l'installazione del jacket sotto carichi ambientali e gravitazionali.

Sono presi in considerazione tutti i pesi strutturali e non strutturali. Il peso della struttura sarà conforme al rapporto di controllo del peso, la galleggiabilità della struttura verrà calcolata automaticamente.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

I carichi ambientali delle onde e degli attuali sono valutati in conformità con ISO 19902 Ref.[B4].

Nell'analisi di stabilità sul fondo per le condizioni ambientali stagionali del periodo di ritorno di 1 anno.

Nel calcolo dei carichi idrodinamici saranno inoltre presi in considerazione:

- Il carico di corrente sarà applicato sempre nella stessa direzione dell'onda al fine di massimizzare le forze ambientali che agiscono sulla struttura. Saranno presi in considerazione dati omnidirezionali.
- Non sarà presa in considerazione alcun accrescimento marino.

Il fattore di sicurezza per il momento di stabilità al ribaltamento della struttura sotto carichi ambientali sarà calcolato come rapporto tra il momento di stabilità dovuto ai carichi gravitazionali e il momento di ribaltamento dovuto ai carichi ambientali.

## 6.9 ANALISI COLLISIONE IMBARCAZIONI

Per le collisioni di navi, gli eventi di incidente di progettazione si basano principalmente su scenari che coinvolgono navi che dovrebbero operare nelle vicinanze della piattaforma.

Le masse e le velocità delle imbarcazioni da considerare nelle analisi sono riportate al Par.4.6.6

L'assorbimento di energia dell'evento di collisione sopra descritti deve basarsi su:

$$E = 0{,}5 \times a \times M \times V^2$$

Dove:

- E = Energia d'impatto (J)
- a = coefficiente di massa aggiunta (1.4 impatto laterale 1,1 prua / poppa).
- M = massa dell'imbarcazione (kg)
- V = velocità dell'imbarcazione (m/s)

L'analisi delle collisioni delle navi deve essere eseguita in conformità con ISO 19902 Rif.[B4].

Le curve di deformazione della nave viene selezionata in base alla sezione 3.5 del DNV-RP-C-204 Rif.[B17]

## 6.10 ANALISI SLAMMING

Gli elementi nella zona d'impatto del moto ondoso devono essere controllati per verificare la presenza di onde durante le condizioni di servizio. La forza d'impatto per unità di lunghezza (N/m) deve essere calcolata utilizzando ISO 19902 Rif.[B4]

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

$$F_s = \frac{1}{2}\rho C_s D V_{sl}^2$$

Dove:

$F_s$ = Forza d'impatto dell'onda per unità di lunghezza (N/m)

ρ = Densità dell'acqua (kg/m$^3$)

Cs = coefficiente di slamming (il valore teorico di π può essere utilizzato per gli elementi tubolari; altrimenti, un valore di 5,5 deve essere utilizzato per gli elementi non tubolari).

D = Diametro esterno dell'elemento (m)

Vsl = Velocità superficiale verticale dell'acqua (m/s)

## 6.11 ANALISI BATTITURA PALI

L'analisi di battitura dei pali verrà effettuata per due fasi:

Fase 1- infissione mediante vibro-infissore

In prima fase i pali verranno infissi per mezzo di vibro-infissore fino a rifiuto per questa metodologia.

L'analisi dinamica di infissione verrà effettuata utilizzando il software AllWave-VDP Driveability Study Pakage for Vibratory Hammers Rif.[B22]

Fase 2 - infissione mediante battipalo

In seconda fase i pali verranno infissi per mezzo di battipalo fino a raggiungere la penetrazione di progetto

L'analisi dinamica di infissione verrà effettuata utilizzando il software GRLWEAP Wave Equation Driveability Pakage Rif.[B21]

Le analisi, incluso verifica di stick-up, verranno eseguite in accordo con ISO 19902 Ref.[B4]

In fase di installazione verrà selezionata l'effettiva sequenza di infissione che potrebbe comprendere anche solo una delle due metodologie (vibro-infissione battitura).

## 6.12 ANALISI ESPLOSIONE

Le pressioni dovute all'esplosione (Blast) e gli elementi strutturali interessati sono definiti al Par.4.6.5

In funzione dell'importanza dell'elemento strutturale vengono eseguite le seguenti due tipologie di analisi:

- Analisi pseudo-statica, considerando un coefficiente di amplificazione dinamica DAF funzione del rapporto tra il primo periodo proprio dell'elemento strutturale e la durata dell'impulso triangolare di pressione. La letteratura fornisce diversi diagrammi che portano alla determinazione del DAF in funzione della forma dell'impulso.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

- Analisi dinamica (Time History) mediante il software SACS assegnando in input la forma dell'impulso triangolare.

Le verifiche verranno effettuate considerando la condizione Eccezionale conseguentemente con tutti i coefficienti lato forze e resistenze unitari, vengono inoltre considerati i momenti plastici delle sezioni resistenti.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

# 7 ANALISI STRUTTURALI PASSERELLE E PALI DI SOSTEGNO

## 7.1 GENERALITA'

Questa sezione descrive la metodologia e le ipotesi principali che vengono utilizzata per la progettazione della struttura. La progettazione viene eseguita in conformità con i requisiti dei codici ISO 19901 19902 ed EN 1993, se necessario integrati con i requisiti di altri codici internazionali.

## 7.2 ANALISI RICHIESTE

Per le strutture delle passerelle e pali di sostegno vengono richieste le seguenti analisi strutturali:

- Analisi in Servizio (tiro ganci QRH, spinta fenders)
- Analisi Sismica
- Analisi Collisione Imbarcazioni
- Analisi Infissione pali

Le analisi verranno eseguite secondo le modalità descritte al Cap.6

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

# 8 ANALISI E STRUTTURALI BRICCOLE DI ACCOSTO ED ORMEGGIO

## 8.1 GENERALITA'

Questa sezione descrive la metodologia e le ipotesi principali che vengono utilizzata per la progettazione della struttura. La progettazione viene eseguita in conformità con i requisiti dei codici:

- BS 6349-1-2 Rif.[B10] per la determinazione delle azioni e fattori di carico
- ISO 19902Rif.[B4] per la verifica degli elementi tubolari
- EN 1993 Rif,[B5] per la verifica dei profilati (sezioni I /H) ed altri elementi

## 8.2 ANALISI RICHIESTE

Per le strutture delle briccole vengono richieste le seguenti analisi strutturali:

- Analisi in Servizio
- Analisi a Fatica (azioni da analisi di ormeggio e meteo-marine)
- Analisi Sismica
- Analisi Collisione Imbarcazioni
- Analisi Infissione pali

Le analisi verranno eseguite secondo le modalità descritte al Cap.6 e di seguito descritte nel presente capitolo.

## 8.3 FILOSOFIA DI PROGETTAZIONE

La norma che definisce esaurientemente una filosofia di progettazione per azioni derivanti da azioni su linee di ormeggio e accosto su fender è la BS 6349-1-2 Rif.[B10] conseguentemente questa viene utilizzata nella determinazione delle azioni sulle briccole derivanti dei ganci a scocco (QRH) e spinte derivanti dai fenders.

La norma definisce coefficienti di carico e combinazione ($\gamma f$ , $\Psi i$) per le tre tipologie di azioni:

- ALS Abnormal Limit State
- ULS Ultimate Limit State
- SLS Serviceability Limit State

## 8.4 BRICCOLE ORMGGIO

### 8.4.1 Definizione delle azioni

I ganci vengono selezionati considerando un valore SWL >= MBL.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

Per un gancio a scocco multiplo (QRH) definiti:

- $N_0$ = Numero di ganci – linee di ormeggio convergenti allo stesso QRH
- MBL = sling Minimum Breaking Load per una linea di ormeggio
- F = forza totale agente

La norma BS 6399-1-2 Rif.[B10] stabilisce le seguenti azioni:

**SLS rare** (valore di base dell'azione) (Load factor $\gamma_f = 1.00$)

- $F = N_0 \times 0.6 \times MBL$

**SLS frequent** (Load factor $\gamma_f = 1.00$ $\Psi_1 = 0.20$)

- F = 0.20*[N0 x 0.6 x MBL]

Questa azione viene considerata, a favore di sicurezza, per tutti gli stati limite di servizio.

**ULS**

- F = 1.30*[N0 x 0.6 x MBL] (Load factor γf = 1.30)

In concomitanza con il tiro al gancio la norma considera inoltre l'onda operativa con coefficiente di combinazione ULS $\Psi_1 = 0.60$.

**ALS** (Load factor $\gamma_f = 1.00$)

- F = 2.1 x MBL 2 Ganci
- F = 2.8 x MBL 3 Ganci
- F = 3.5 x MBL 4 Ganci

NOTA:

Per tutte le azioni sopra determinate, in assenza di valori di dettaglio per MBL, viene conservativamente assunto il valore di SWL del gancio (SWL >= MBL).

### 8.4.2 Modellazione e verifiche strutturali

La briccola viene modellato mediante il Software SACS Rif. [B19] per la parte al di sopra del fondo mare, la parte infissa nel terreno viene modellata mediante il software LPILE Rir.[B20] che considera l'interazione non lineare terreno struttura.

Dalla comparazione dei risultati dei due softwares viene definita la posizione di un'incastro equivalente da applicare al modello SACS.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

Le verifiche strutturali vengono effettuate mediante il codice SACS secondo i principi enunciati al Cap.6 in accordo con le seguenti normative:

- ISO 19902Rif.[B4] per la verifica degli elementi tubolari
- EN 1993 Rif,[B5] per la verifica dei profilati ed altri elementi strutturali

## 8.5 BRICCOLE ACCOSTO

### 8.5.1 Definizione delle azioni

Le azioni nei fender sono assunte dai documenti FEED e sono riportate al paragrafo 4.6.4

La norma BS 6349-1-2 Rif.[B10] stabilisce le seguenti azioni:

**SLS rare** (valore di base dell'azione) (Load factor $\gamma_f = 1.00$)

- F = 1.00*Fmax esercizio

**SLS frequenti** (Load factor $\gamma_f = 1.00$ $\Psi_1 = 0.75$)

- F = 0.75*Fmax esercizio

Questa azione viene considerata, a favore di sicurezza, per tutti gli stati limite di servizio.

**ULS**

- F1 = 1.35*Fmax Normal (Normal Energy) (Load factor $\gamma f = 1.35$)
- F2 = 1.20*Fmax Abmormal (Abnormal Energy) (Load factor $\gamma f = 1.20$)

NOTA:

i due valori F1 e F2 per fender conici con fattore di sicurezza Abnormal / Normal =1.5 sono praticamente coincidenti.

Contemporaneamente all'azione normale al fender si considera un'azione trasversale utilizzando un coefficiente di attrito $\mu = 0.20$ (pannelli UHMW-PE)

### 8.5.2 Modellazione e verifiche strutturali

La modellazione e le verifiche strutturali sono le stesse enunciate per le briccole di ormeggio al Par. 8.4.2.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

# 9 ANALISI STRUTTURALI PIATTAFORMA PETRA ESISTENTE

## 9.1 GENERALITA'

Questa sezione descrive la metodologia e le ipotesi principali che vengono utilizzata per la progettazione della struttura. La progettazione sarà eseguita in conformità con i requisiti dei codici ISO 19901 Rif.[B3] ISO 19902 Rif.[B4] ed EN 1993 Rif.[B5] (per le sezioni I /H), se necessario integrati con i requisiti di altri codici internazionali.

La piattaforma esistente è essenzialmente indipendente dalle nuove strutture e viene utilizzata come vie di fuga.

## 9.2 ANALISI RICHIESTE

Le analisi strutturali vengono eseguite a valle di rilievo delle strutture esistenti, atto a determinarne lo stato di conservazione e gli spessori effettivi degli elementi strutturali.

Scopo della progettazione sarà di garantire una nuova vita residua di 25 anni al pari delle strutture di nuova realizzazione.

Per le strutture esistenti vengono richieste le seguenti analisi strutturali:

- Analisi in Servizio
- Analisi a Fatica
- Analisi Sismica
- Analisi Pali di fondazione
- Analisi Sollevamento (per gli elementi rimossi e riposizionati)
- Analisi Collisione Imbarcazioni
- Analisi Esplosione (ove richiesto)

Le analisi verranno eseguite secondo le modalità descritte al Cap.6.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.