EMERGENZA GAS

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

FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI

RELAZIONE DI CALCOLO DELLA STRUTTURA DI SUPPORTO DEL RISER E JTUBE - ANALISI SISMICA

Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato Autorizzato	Data
B	Emesso per Approvazione (Revisione per commenti RINA)	K. Caldera	J. Albagli	M. Raimondi	29/03/2024
A	Emesso per Approvazione	K. Caldera	J. Albagli	M. Raimondi	08/03/2024

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

INDICE

		PAGINA
1	**INTRODUZIONE**	**5**
1.1	Generalità	5
1.2	Scopo del Documento	5
2	**DEFINIZIONI ED ABBREVIAZIONI**	**6**
2.1	Definizioni	6
2.2	Abbreviazioni	6
3	**RIFERIMENTI**	**7**
3.1	Documenti Di Progetto	7
3.2	Documenti Di Riferimento	7
3.3	Normative Di Riferimento	7
3.4	Software	8
4	**CONCLUSIONI**	**9**
5	**DESCRIZIONE STRUTTURA**	**9**
6	**CRITERI DI PROGETTAZIONE**	**11**
6.1	Materiali	11
6.2	Criteri di Progettazione	13
6.2.1	Generalità	13
6.2.2	Combinazione delle azioni e fattori di azione parziale per analisi sismiche	13
6.2.3	Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari	13
6.2.4	Resistenza minima nodi tubolari	14
6.2.5	Fattore di resistenza parziale per sezioni non tubolari	14
6.2.6	Fattore di resistenza parziale per capacità assiale del palo	14
6.3	Criteri di Accettazione	15
6.3.1	Elementi della struttura	15
6.3.2	Pali di fondazione	16
7	**MODELLO DI CALCOLO**	**17**
7.1	Programma di Calcolo	17
7.2	Modello di Calcolo	17
8	**DATI DI PROGETTO AMBIENTALI**	**17**
8.1	Dati Meteo-Marini	17
8.1.1	Batimetria	17

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

8.1.2 Splash Zone 17
8.1.3 Accrescimento Marino 17
8.1.4 Spessore di Corrosione 17
8.2 Dati Sismici 18
9 ANALISI SISMICA 18
9.1 Introduzione 18
9.2 Analisi Statica 19
9.2.1 Peso Proprio Strutturale 19
9.2.2 Pesi Strutture non modellate 19
9.2.3 Reazione sui supporti del riser 20
9.2.4 Carico Variabile 21
9.2.5 Combinazione di carico 21
9.3 Analisi Modale 22
9.3.1 Modello Dinamico 22
9.3.2 Massa strutturale e Modi di vibrare 22
9.4 Analisi Spettrale 27
9.4.1 Procedura 27
9.4.2 Risultati Analisi Spettrale 28
10 RISULTATI DELL'ANALISI 30
10.1.1 Verifiche strutturali delle aste 30
10.1.2 Verifiche nodi tubolari 32
11 VERIFICHE DEL PALO DI FONDAZIONE 32
11.1 Modello Ipile 33
11.2 Dati geotecnici 33
11.3 Condizione di carico 34
11.4 Risultati analisi 34
11.5 Verifiche Strutturali 35

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 6-1: Proprietà acciaio 11
Tabella 6-2: Classi di acciaio e standard 11
Tabella 6-3: Proprietà dell'acciaio relative allo spessore (UNI EN 10025) 12
Tabella 6-4: Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari 13

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

Tabella 6-5: Fattori di resistenza parziale per i nodi tubolari 14
Tabella 6-6: Fattori di resistenza parziale per sezioni non tubolari 14
Tabella 6-7: Fattori di resistenza parziale per la capacità assiale del palo 15
Tabella 9-1: Reazioni riser dedotte da Rif. [A11] 20
Tabella 9-2: Risultanti condizioni di carico statici 21
Tabella 9-3: Combinazione gravitazionale statica 21
Tabella 9-4: Risultanti Combinazioni SLV gravitazionali 21
Tabella 9-3: Condizione di carico per calcolo masse 22
Tabella 9-5: Masse per analisi modale 23
Tabella 9-6: Modi di vibrare principali della struttura 24
Tabella 9-7: Primi 30 modi di vibrare della struttura 25
Tabella 9-8: Fattori di partecipazione modali 26
Tabella 9-9: Condizioni di carico – Analisi spettrale 27
Tabella 9-10: Combinazioni di verifica SLV 28
Tabella 9-11: Risultanti spettri di risposta direzionali (CQC) 28
Tabella 9-12: Risultante Spettrale globale (SRSS) 29
Tabella 9-13: Combinazioni di verifica SLV 29
Tabella 10-1: Verifiche elementi strutturali UC > 0.50 30
Tabella 10-2: Verifiche e max UC per gruppi 31
Tabella 10-3: UC > 0.20 nodi – Ver. Punzonamento 32
Tabella 11-1: Forze in testa palo 32
Tabella 11-2: Verifiche strutturali - ISO 19902 36

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 GENERALITÀ

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 illustra le verifiche sismiche della struttura di supporto e di protezione del riser, secondo i dati di progetto (Rif. [A2]) e i criteri definiti dalle basi di progettazione strutturale (Rif. [A7], [A9]). Le verifiche sono condotte per la struttura della riser guard ed il palo di fondazione OD1675 sp. 60mm.

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

2 DEFINIZIONI ED ABBREVIAZIONI

2.1 DEFINIZIONI

Termine	Definizione
Committente	Snam Rete Gas S.p.A.
Appaltatore	Il Raggruppamento Temporaneo di Imprese (RTI) costituito da: Saipem S.p.A. (Mandataria) Micoperi S.r.l. (Mandante) Rosetti Marino S.p.A. (Mandante)
Direzione dei Lavori	Enereco S.p.A. (abbreviato DL)
Contratto	L'accordo Contrattuale concordato e firmato tra la COMMITTENTE e l'APPALTATORE
Progetto	ALLACCIAMENTO FSRU DI RAVENNA (Tratto a Mare) DN 650 (26") DP 100 bar

2.2 ABBREVIAZIONI

SLV	Stato Limite di Salvaguardia alla Vita
CQC	Combinazione Quadratica Completa
SRSS	Radice Quadrata della Somma dei Quadrati

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

3 RIFERIMENTI

3.1 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

3.2 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

[A9] 0001-CI-E-017000 Basi di Progettazione Strutturale

[A10] 0001-CB-B-017001 Layout generale del pontile

[A11] 0001-ZX-E-014381 Relazione di calcolo per analisi stress tubazioni con CAESAR II

[A12] 0001-CD-B-017453 Tubo camicia riser 26" - Assieme

[A13] 0001-CD-B-017454 Tubo camicia riser 26" - Struttura - Pianta e elevazioni

[A14] 0001-CD-B-017455 Tubo camicia riser 26" - Testata supporto passerelle

[A15] 0001-CD-B-017456 Tubo camicia riser 26" - Struttura protezione riser

[A16] 0001-CD-B-017457 Tubo camicia riser 26" - dettaglio supporto flangia

[A17] 0001-CD-B-017457 Tubo camicia riser 26" - dettaglio clampa

[A18] 0001-CI-E-017450 Relazione di calcolo della struttura di supporto del riser – Analisi statica in servizio

[A19] 0001-CI-E-017544 Analisi a fatica della struttura di supporto del riser

[A20] 0001-CI-E-017032 Analisi dei pali di fondazione delle passerelle

3.3 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

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

[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

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

[B19] API RP-2A Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms

3.4 SOFTWARE

[B20] SACS Structural Analysis Computer System by Engineering Dynamics,Inc.

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

4 CONCLUSIONI

Le analisi sismiche hanno dimostrato che la struttura è in grado di resistere ai carichi sismici di progetto, espressi in funzione di spettri di risposta secondo NTC2018 Rif. [B1], soddisfacendo le verifiche prescritte dalle normative di riferimento ISO 19902 Rif.[B4] (per le sezioni circolari), EN 1993 Rif.[B5] (per le sezioni I /H), e NTC2018 Rif. [B1] (verifiche geotecniche).

Per le condizioni sismiche, i massimi valori di UC (unity check, rapporto fra la sollecitazione agente e la capacità resistente dell'elemento) riscontrati sono:

- Telaio di supporto: UC = 0.48 < 1.0 OK
- Punzonamento dei nodi : UC = 0.62 < 1.0 OK
- Jtubes 16" UC < 0.10 < 1.0 OK
- Palo 1675mm sopra quota fondale: UC = 0.20 < 1.0 OK
- Palo 1675mm sotto quota fondale: UC = 0.25 < 1.0 OK
- Capacità portante: coperta dall'analisi statica in servizio

5 DESCRIZIONE STRUTTURA

La struttura di supporto delle clampe del riser e dei jtubes è prefabbricata su sleeve e supportata da un palo verticale di diametro 1675 mm.

Lo sleeve sostiene una struttura tubolare di supporto alle clampe del riser 26" e due J-tubes 16", nonché la piattaforma di supporto passerelle.

La testata sarà cementata rigidamente sul palo eventualmente tagliato in quota al termine dell'infissione.

In Figura 5-1 è rappresentato il modello 3D di analisi generato con il programma [B20], -15.4m è la quota del fondale assunta per la verifica.

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

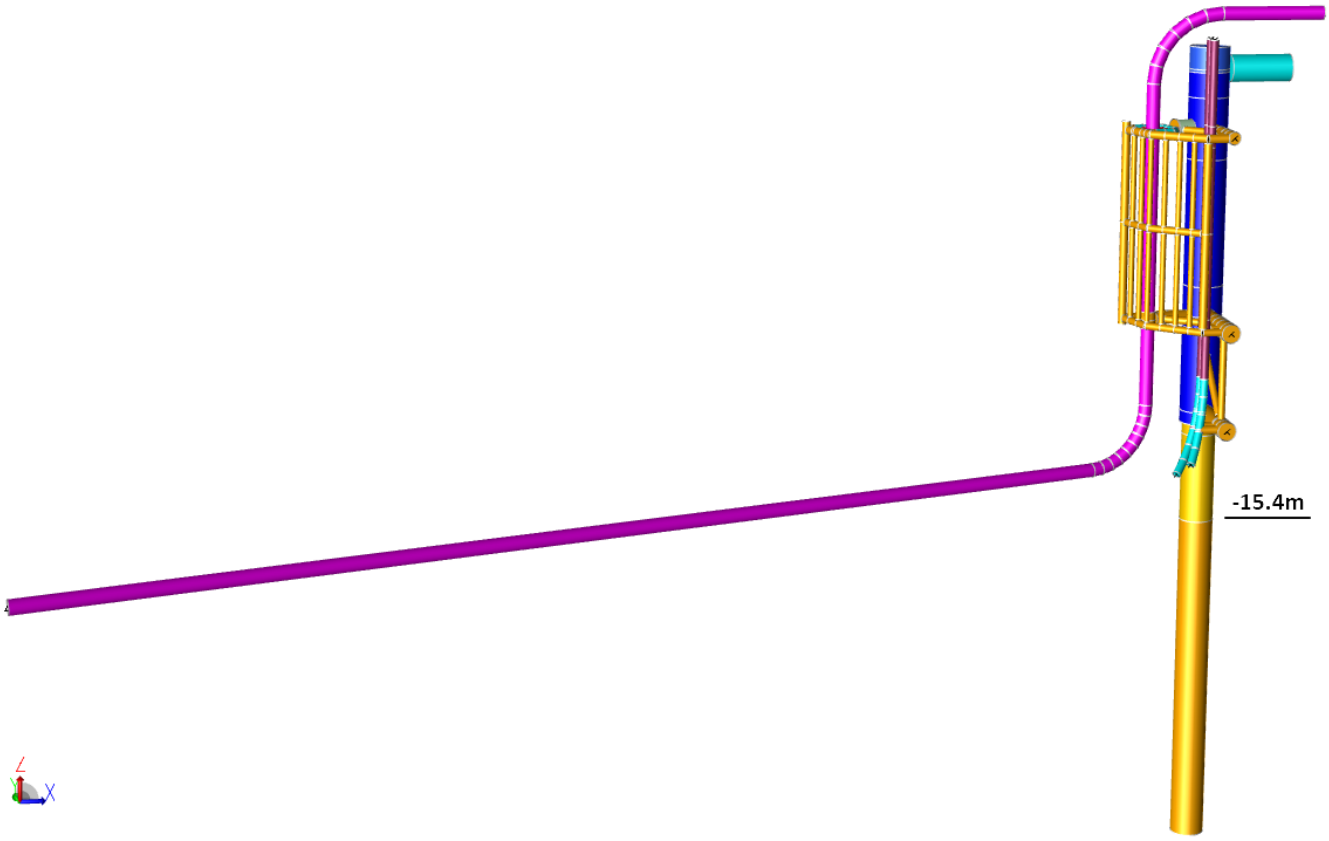


Figura 5-1: Vista 3D completa del modello di calcolo

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

6 CRITERI DI PROGETTAZIONE

6.1 MATERIALI

I parametri ingegneristici riguardanti l'acciaio utilizzato per la costruzione della piattaforma di scarico, secondo EN1993 Rif. [B5], sono riportati in Tabella 6-1.

Proprietà	Valore
Densità	7850 kg/m^3
Modulo di Young	210000 MPa
Modulo di Taglio	81000 MPa
Coefficiente di Poisson	0.30
Coefficiente di espansione termica	1.2x10^{-5}/°C

Tabella 6-1: Proprietà acciaio

Le classi di acciaio utilizzate sono riportate in Tabella 6-2.

Elementi strutturali	Codifica Acciaio	Standard
Tubi	S355 S460	API 5L X52 / S355 J0 UNI EN 10025 API 5L X65 / S460 M UNI EN 10025
Profilati e Piatti	S355	S355 UNI EN 10025
Lamiere	S355	S355 UNI EN 10025

Tabella 6-2: Classi di acciaio e standard

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

Acciaio	Spessore t [mm]	F_y [MPa]	F_u [MPa]
S235	t ≤ 16	235	340
	16 < t ≤ 40	225	340
	40 < t ≤ 63	215	340
	63 < t ≤ 100	215	340
	100 < t ≤ 150	215	340
S355	t ≤ 16	355	470
	16 < t ≤ 40	345	470
	40 < t ≤ 63	335	470
	63 < t ≤ 80	325	470
	800 < t ≤ 100	315	470
	100 < t ≤ 150	295	450
S460	t ≤ 16	460	540
	16 < t ≤ 40	440	540
	40 < t ≤ 63	430	530
	63 < t ≤ 80	410	510
	80 < t ≤ 100	400	500
	100 < t ≤ 150	385	490

Tabella 6-3: Proprietà dell'acciaio relative allo spessore (UNI EN 10025)

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

6.2 CRITERI DI PROGETTAZIONE

6.2.1 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. I criteri per la definizione dei carichi sismici e delle relative combinazioni sono conformi alle prescrizioni delle NTC 2018 Rif.[B1].

6.2.2 Combinazione delle azioni e fattori di azione parziale per analisi sismiche

La combinazione sismica per lo SLV secondo NTC 2018 (Rif. [B1]) è la seguente:

$$F_d = G1 + G2 + Q1 + Q2 + E$$

Dove:

- G1, G2 sono i carichi permanenti
- Q1, Q2 sono i carichi variabili
- E è l'azione sismica di progetto allo SLV

6.2.3 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 6-4: Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari

6.2.4 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 6-5: 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).

6.2.5 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 collegamneti

Tabella 6-6: Fattori di resistenza parziale per sezioni non tubolari

6.2.6 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.

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

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 6-7: 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 ξ_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].

6.3 CRITERI DI ACCETTAZIONE

6.3.1 Elementi della struttura

Il progetto della piattaforma al servizio dell'impianto FSRU è stato redatto in accordo alle normative di riferimento, in particolare in accordo alle ISO 19902 Rif.[B4] (per le sezioni circolari) ed EN 1993 Rif.[B5] (per le sezioni I /H).

La verifica è condotta nel rispetto del metodo agli stati limite ultimi. In questo metodo, la sicurezza strutturale nei confronti degli stati limite ultimi deve essere verificata confrontando la capacità di progetto R_d, in termini di resistenza, duttilità e/o spostamento della struttura o membratura strutturale, con il corrispondente valore di progetto della domanda E_d.

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

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi (SLU/SLV) è espressa dall'equazione formale:

$$Rd \geq Ed$$

La resistenza di progetto delle membrature Rd si pone nella forma

$$Rd = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

Dove:

- R_D = Resistenza di progetto
- E_D = Azione di progetto (fattorizzata agli SLU/SLV)
- R_k = Resistenza caratteristica
- γ_M= fattore parziale di resistenza

6.3.2 Pali di fondazione

I pali della struttura saranno progettati per sopportare la massima azione di compressione e trazione che agisce 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:

- P_D = carico assiale su pali utilizzando carichi fattorizzati
- Q_D = capacità massima del palo assiale di progetto
- Q_R = capacità ultima del palo assiale
- γ_R= fattore di resistenza del palo, Riferimento Par.6.2.6 NTC 2018 Rif.[B1]

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.6.2.6).

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

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

7 MODELLO DI CALCOLO

7.1 PROGRAMMA DI CALCOLO

Il software utilizzato per l'analisi in oggetto è il SACS v.15.0 (Rif. [B20]).

7.2 MODELLO DI CALCOLO

L'analisi sismica è stata svolta utilizzando lo stesso modello di calcolo dell'analisi statica in servizio descritta nel documento Ref.[A18].

Nel modello il palo di fondazione è stato modellato con un palo equivalente di lunghezza pari a 10OD; valore definito con un'analisi comparativa con un modello L-pile.

8 DATI DI PROGETTO AMBIENTALI

8.1 DATI METEO-MARINI

I dati meteomarini sono riportati nei documenti:

- 0001-CI-E-012800 - Studio Meteo-Marino per analisi a fatica Rif. [A4]
- 0001-CI-E-017000 - Basi di Progettazione Strutturale Rif. [A9].

8.1.1 Batimetria

La quota di fondo del mare nella zona non dragata è di circa -14m s.l.m.m.

Viene assunto per i calcoli la quota a -15.4m, a favore di sicurezza.

8.1.2 Splash Zone

La splash zone risulta essere ad un'altitudine compresa tra -3.00 a +4.00 slm.

8.1.3 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

8.1.4 Spessore di Corrosione

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

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.

Si assume il valore di progetto 4.00 mm in favore di sicurezza.

8.2 DATI SISMICI

I dati inerenti la sismicità del sito, parametri e coefficienti di riferimento, di seguito riportati, sono dettagliati e giustificati nel documento:

- 0001-CI-E-017000 - Basi di Progettazione Strutturale Rif. [A9].

I carichi sismici di progetto sono definiti secondo la norma italiana NTC2018 (Rif. [B1]).

Per la struttura in oggetto si considera lo spettro associato ad un fattore di struttura pari a 1.33.

9 ANALISI SISMICA

9.1 INTRODUZIONE

L'analisi sismica viene eseguita seguendo il metodo dello spettro di risposta utilizzato per valutare la risposta ai carichi sismici, secondo quanto prescritto dalla NTC2018 (Rif.[B1]).

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

L'analisi sismica con spettro di risposta richiede che l'intera struttura si comporti in modo lineare elastico, pertanto il comportamento non lineare dei pali è stato considerato con un palo equivalente di lunghezza 10 diametri.

Viene eseguita un'analisi modale per determinare i periodi naturali del palo e le forme della modalità di vibrazione. Il numero di forme modali deve essere sufficiente per ottenere un fattore di partecipazione di massa cumulativo superiore all'85% in ciascuna delle direzioni principali.

La risposta strutturale agli spettri di risposta lungo le direzioni principali viene calcolata attraverso un'analisi dinamica con sovrapposizione modale. 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 la somma dei quadradi (SRSS) delle risposte direzionali. La risposta sismica globale agli spettri di risposta viene poi combinata con i carichi verticali agenti sulla struttura in condizioni sismiche e le reazioni in corrispondenza delle clampe di supporto del riser desunte da [A11].

Lo scopo dell'analisi dinamica è dunque calcolare le sollecitazioni interne agli elementi strutturali dovute alle forze inerziali a cui sono soggetti durante l'evento sismico.

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

L'analisi sismica e il calcolo delle sollecitazioni negli elementi strutturali avviene seguendo la procedura seguente:

1. Analisi statica per l'azione dei carichi gravitazionali e delle reazioni sulle clampe di supporto
2. Analisi modale della struttura ed estrazione dei modi (SACS DYNPAC);

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

3. Analisi dinamica e calcolo della risposta mediante spettri di risposta e combinazione modale CQC (SACS DYNAMIC RESPONSE);
4. Combinazione delle risposte sismiche direzionali SRSS e combinazione con risposta statica (SACS DYNAMIC RESPONSE);
5. Verifica degli elementi strutturali (SACS POST);
6. Verifica del palo di fondazione (L-PILE).

9.2 ANALISI STATICA

Viene eseguita un'analisi statica della struttura, in modo da calcolare le sollecitazioni interne degli elementi dovute ai carichi gravitazionali e carichi piping e sommarle alle sollecitazioni inerziali dovute alla risposta sismica.

L'analisi statica viene eseguita utilizzando il modello dell'analisi in servizio (Rif. [A18]) ed i relativi carichi gravitazionali.

9.2.1 Peso Proprio Strutturale

Il peso proprio della struttura modellata (palo, traliccio di supporto, Jtubes) viene automaticamente calcolato dal software SACS, utilizzando le proprietà sezionali, la lunghezza e la densità dei vari elementi. Le seguenti densità sono utilizzate:

- Carpenteria Metallica: 7.85 t/m^3

Al peso è stata applicata una contingency del 20% (che copre il peso del rivestimento di protezione di parti della struttura).

Il peso del riser è stato invece considerato in termini di reazione verticale sulla flangia superiore di supporto.

La condizione di carico assegnata è:

- DEAZ peso in direzione Z

9.2.2 Pesi Strutture non modellate

Il peso della passerella TG-1 comprensivo di grigliati, corrimani, canaline elettriche e tubazione è stato dedotto dalla relazione Rif. [A20] e corrisponde a 460 kN.

- Reazione di appoggio passerella tubo gas: 230 kN
- Reazione di appoggio passerella PAS-S11: 138 kN

Le condizioni di carico assegnate sono:

- PASZ peso in direzione Z

Il peso del capitello e del tubo di collegamento OD1320mm pari a:

- Peso capitello: 70 kN

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

- Peso tubo di collegamento: 18.62m/2 x 1263 kg/m /1000 = 11.7 ton = 115 kN

Le condizioni di carico assegnate sono:

- CAPZ peso in direzione Z

9.2.3 Reazione sui supporti del riser

I carichi da piping sono stati dedotti dalla relazione di calcolo di stress della tubazione Rif. [A11] associati alla condizione operativa più gravosa:

- Le reazioni al supporto qt. +4.285m corrispondono al nodo 5000 della stress
- Le reazioni al supporto qt. -4.95m corrispondono al nodo 5360 della stress

A favore di sicurezza sono state combinati i valori massimi in termini assoluti nelle tre direzioni.

SUPPORTO		5000		
		Trasv.	Long.	Vert.
CONDIZIONE		Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]
OPERATING	max	13	-21	-1
	min	-11	-319	-189
BLAST	max	96	-315	-134
	min	-95	-319	-134
SISMICA	max	30	-317	-150
	min	-29	-327	-152
SUSTAIN	max			-1
	min			-108

SUPPORTO		5360		
		Trasv.	Long.	Vert.
CONDIZIONE		Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]
OPERATING	max	0	77	0
	min	-1	1	0
BLAST	max	5	73	0
	min	-7	1	0
SISMICA	max	7	81	0
	min	-8	65	0
SUSTAIN	max			0
	min			0

Tabella 9-1: Reazioni riser dedotte da Rif. [A11]

La condizione di carico corrispondente sono:

- FRIX e FRIY reazioni nodo clampa inferiore
- HRIX, HRIY e HRIZ reazioni clampa superiore

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

9.2.4 Carico Variabile

Il carico variabile sulla passerella TG-1 è stato dedotto dalla relazione Rif. [A20] e corrisponde a 460 kN.

- Reazione di appoggio passerella gas: 84/2 = 42 kN
- Reazione di appoggio passerella : 90/2 = 45 kN

  La risultante dei carichi variabili sulla passerella tipica con lunghezza 25 m è pari a 150 kN (come da tabella al paragrafo 8.2.2 della relazione [A20]) considerando il rapporto delle lunghezze è stato ricavato il carico sulla passerella PAS-S-11 che risulta 150 x 15.5/25= 93 kN

La condizione di carico assegnata:

- PALZ peso in direzione Z

Nell'analisi sismica il carico variabile

Di seguito si riportano le risultanti delle condizioni di carico inerenti l'analisi statica:

********** SEASTATE LOAD CASE CENTER REPORT **********
RELATIVE TO STRUCTURAL ORIGIN

LOAD CASE	LOAD LABEL	X - DIRECTION FORCE (KN)	X (M)	Y (M)	Z (M)	Y - DIRECTION FORCE (KN)	X (M)	Y (M)	Z (M)	Z - DIRECTION FORCE (KN)	X (M)	Y (M)	Z (M)
1	DEAZ	0.00				0.00				-1836.68	-0.20	-0.65	-2.41
2	FRIX	85.00	-3.00	-0.90	-4.95	0.00				0.00			
3	FRIY	0.00				10.00	-3.00	-0.90	-4.95	0.00			
4	HRIX	330.00	-3.00	-0.90	4.29	0.00				0.00			
5	HRIY	0.00				30.00	-3.00	-0.90	4.28	0.00			
6	HRIZ	0.00				0.00				-150.00	-3.00	-0.90	4.28
7	PALZ	0.00				0.00				-90.0	0.00	0.00	8.22
8	PASZ	0.00				0.00				-370.00	0.00	0.00	8.22
9	CAPZ	0.00				0.00				-186.00	0.00	0.00	8.22

Tabella 9-2: Risultanti condizioni di carico statici

9.2.5 Combinazione di carico

La combinazione di carichi gravitazionali per analisi sismica secondo la NTC2018 (Rif. [B1]), come descritto ai par.6.2.2 è riportata in Tabella 9-3.

LOAD COMB	LOAD CASES								
	DEAZ	PALZ	PASZ	CAPZ	HRIX	HRIY	HRIZ	FRIY	FRIX
STAT	1,000	0,500	1,100	1,100	1,000	1,000	1,100	1,000	1,000

Tabella 9-3: Combinazione gravitazionale statica

Dove 0.5 è il fattore dei carichi variabili.

Di seguito si riportano le risultanti delle combinazioni sismiche SLV:

********** SEASTATE LOAD CASE CENTER REPORT **********
RELATIVE TO STRUCTURAL ORIGIN

LOAD CASE	LOAD LABEL	X - DIRECTION FORCE (KN)	X (M)	Y (M)	Z (M)	Y - DIRECTION FORCE (KN)	X (M)	Y (M)	Z (M)	Z - DIRECTION FORCE (KN)	X (M)	Y (M)	Z (M)
10	STAT	415.00	-3.00	-0.90	2.39	40.00	-3.00	-0.90	1.98	-2658.28	-0.33	-0.50	0.63

Tabella 9-4: Risultanti Combinazioni SLV gravitazionali

9.3 ANALISI MODALE

È stata condotta un'analisi modale della struttura, al fine di valutarne i periodi naturali e le relative forme modali. Tale analisi è necessaria per determinare la risposta della struttura alle forzanti sismiche tramite metodo con spettro di risposta.

Da NTC2018 (Rif. [B1]), sono stati calcolati un numero di modi sufficiente a raggiungere una massa partecipante totale di almeno l'85% in ogni direzione.

Le analisi sono state condotte mediante il pacchetto SACS DYN.

9.3.1 Modello Dinamico

Il modello della struttura dell'analisi statica in servizio (Rif.[A18]) è stato utilizzato per generare il modello dinamico per l'analisi modale, considerando una riduzione del 50% dei carichi variabili.

Le masse della struttura sono state concentrate in una serie di punti tali da catturare i principali modi di vibrare della struttura (metodo delle masse concentrate): per ogni punto in cui deve essere concentrata la massa vengono assegnati dei vincoli ai suoi gradi di libertà traslazionali, assegnando lo stato di vincolo "222000", per concentrare in quel punto la massa inerziale nelle direzioni principali. I gradi di libertà rotazionali vengono trascurati, non avendo impatto sui modi di vibrare.

Le masse vengono calcolate come somme dei seguenti componenti:

- Peso degli elementi modellati
- Massa aggiunta e massa dell'acqua spostata
- Carichi convertiti in masse con la definizione della combinazione dei carichi definita in tabella

PASP: pesi passerelle

PCAP: peso capitello

HRIZ: peso riser

PASL: variabile passerelle

LOAD COMB	LOAD CASES			
	PASP	HRIZ	PCAP	PASL
VERT	1,100	1,100	1,100	0,500

Tabella 9-5: Condizione di carico per calcolo masse

9.3.2 Massa strutturale e Modi di vibrare

Le masse strutturali della piattaforma sono generate tramite il modulo SEASTATE prima dell'analisi modale. I carichi utilizzati per la generazione delle masse sono quelli appartenenti alla combinazione STAT (vedi par. 9.2).

Il SEASTATE trasforma in masse anche l'accrescimento marino, la massa d'acqua intrappolata nei tubi e la massa aggiunta data dal volume d'acqua spostato dai corpi immersi, con coefficiente unitario.

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

Le masse considerate nell'analisi dinamica sono riportate nel seguito (SACS output):

********** ITEM DESCRIPTION **********	********** WEIGHT **********			******** CENTER OF GRAVITY ********		
MEMBER ELEMENTS	2680.140	2680.140	2680.140	-4.148	-1.913	-4.432
MEMBER ELEMENT NORMAL ADDED MASS	1442.100	1690.481	568.202	-1.207	-2.329	-10.255
FLOODED MEMBER ELEMENT ENTRAPPED FLUID	309.395	309.395	309.395	-0.008	-0.048	-7.131
LOAD CASES CONVERTED TO WEIGHTS	821.600	821.600	821.600	-0.602	-0.181	7.429
********** TOTAL **********	5253.235	5501.616	4379.337	-2.542	-1.677	-3.153

Tabella 9-6: Masse per analisi modale

Dall'analisi modale eseguita sulla base di quanto esplicato e delle masse sopraindicate, vengono estratti i primi 30 modi di vibrare della struttura, tali da raggiungere la soglia dell'85% della massa partecipante.

Nella Tabella 9-7 i tre modi principali della struttura vengono riportati:

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

Modo	Descrizione	Frequenza [Hz]	Periodo [s]
1	1° modo traslazionale in direzione Y	0.64	1.55
3	1° modo traslazionale in direzione X	1.27	0.79

Tabella 9-7: Modi di vibrare principali della struttura

Di seguito vengono riportate le tre forme modali principali.

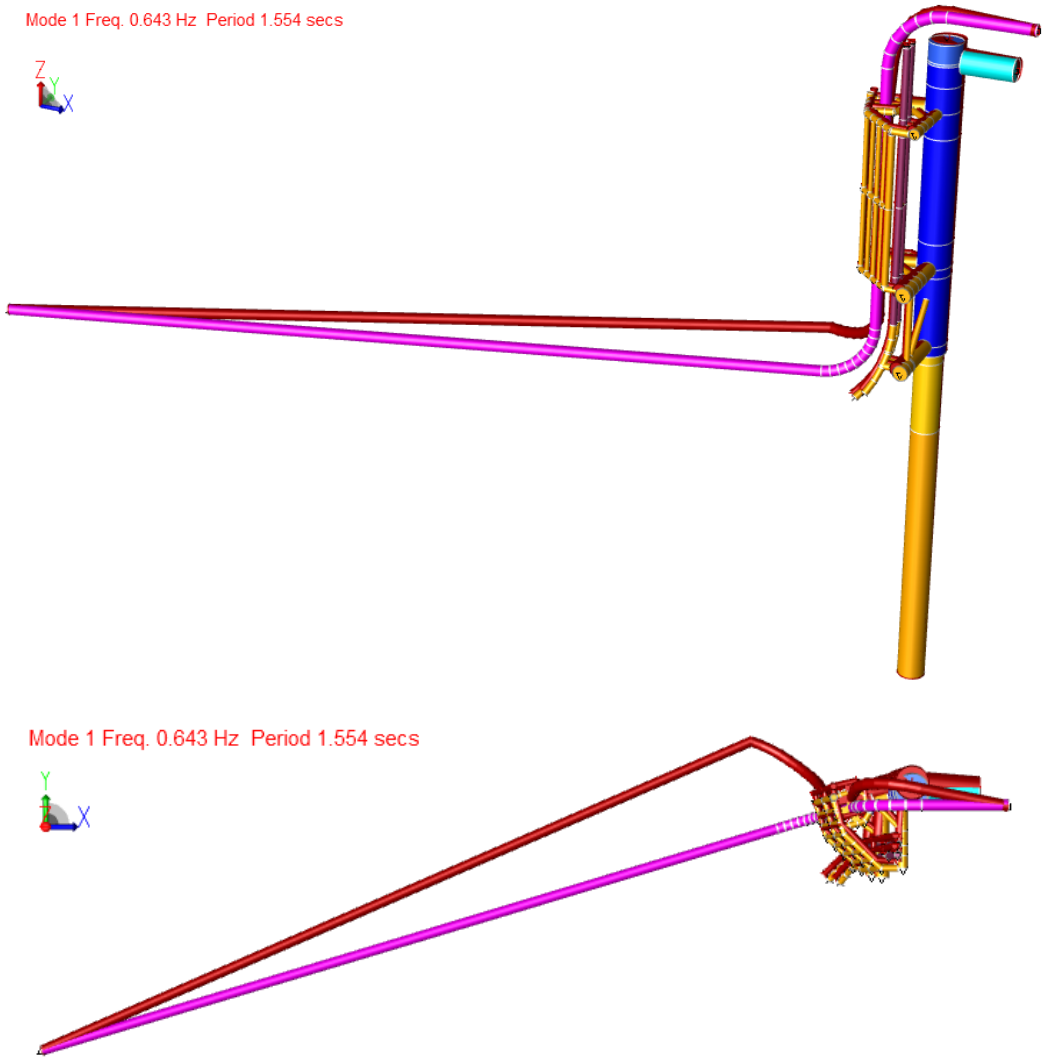


Figura 9-1: Modo principale traslazionale in Y (T = 1.55s)

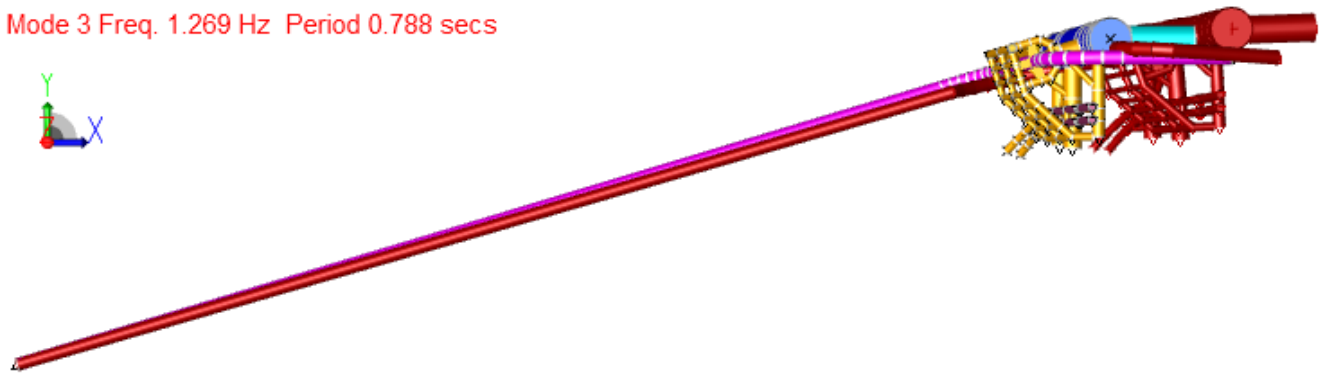


Figura 9-2: Modo principale traslazionale in x (T = 0.79s)

Di seguito sono riportati i primi 30 modi della struttura nel seguente estratto dell'output SACS:

MODE	FREQ.(CPS)	GEN. MASS	EIGENVALUE	PERIOD(SECS)
1	0.643295	1.7880886E+02	6.1209717E-02	1.5544976
2	1.091622	1.9513200E+02	2.1256682E-02	0.9160678
3	1.269127	4.9635274E+02	1.5726426E-02	0.7879432
4	1.881218	8.8928217E+02	7.1575070E-03	0.5315704
5	2.535398	1.5271235E+01	3.9404686E-03	0.3944154
6	3.078456	2.2147652E+02	2.6728480E-03	0.3248381
7	3.310336	1.1188229E+02	2.3115110E-03	0.3020841
8	4.390515	8.3768737E+01	1.3140424E-03	0.2277637
9	6.851229	3.2648222E+01	5.3963893E-04	0.1459592
10	8.372493	4.8662913E+01	3.6135217E-04	0.1194387
11	9.342906	1.7210403E+01	2.9018590E-04	0.1070331
12	10.118249	1.2931799E+01	2.4741699E-04	0.0988313
13	11.058465	6.4442801E+00	2.0713359E-04	0.0904285
14	11.396490	2.5260043E+01	1.9502848E-04	0.0877463
15	11.704859	3.3040614E+00	1.8488763E-04	0.0854346
16	12.402208	2.2645052E+00	1.6468051E-04	0.0806308
17	12.962766	1.9743122E+01	1.5074569E-04	0.0771440
18	13.908509	5.3808326E+00	1.3094204E-04	0.0718984
19	14.997396	1.9954967E+00	1.1261818E-04	0.0666782
20	15.075951	7.2356760E-01	1.1144762E-04	0.0663308
21	15.352806	3.7738025E+00	1.0746442E-04	0.0651347
22	15.494083	1.5194978E+00	1.0551361E-04	0.0645408
23	15.862101	4.0528533E+00	1.0067434E-04	0.0630433
24	16.061630	7.1528297E-01	9.8188582E-05	0.0622602
25	16.396300	2.3004998E+00	9.4221174E-05	0.0609894
26	17.282346	6.5935475E+00	8.4807613E-05	0.0578625
27	17.360444	7.3930578E+00	8.4046296E-05	0.0576022
28	18.917244	1.2003915E+00	7.0782276E-05	0.0528618
29	19.760311	1.2344673E+01	6.4871312E-05	0.0506065
30	20.768790	1.6874833E+01	5.8724297E-05	0.0481492

Tabella 9-8: Primi 30 modi di vibrare della struttura

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

I fattori di partecipazione dei modi sono riportati nel seguito:

	******* MASS PARTICIPATION FACTORS *******			***** CUMULATIVE FACTORS *****		
MODE	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0.0069474	0.1268227	0.0000353	0.006947	0.126823	0.000035
2	0.0089504	0.7677829	0.0018101	0.015898	0.894606	0.001845
3	0.8774283	0.0126714	0.0165964	0.893326	0.907277	0.018442
4	0.0609618	0.0057264	0.0367888	0.954288	0.913004	0.055230
5	0.0003200	0.0050878	0.0003974	0.954608	0.918091	0.055628
6	0.0047861	0.0470387	0.0204482	0.959394	0.965130	0.076076
7	0.0071585	0.0133910	0.0002797	0.966553	0.978521	0.076356
8	0.0044844	0.0151182	0.0060578	0.971037	0.993639	0.082414
9	0.0004505	0.0000640	0.0003619	0.971488	0.993703	0.082775
10	0.0001115	0.0001787	0.2988384	0.971599	0.993882	0.381614
11	0.0000087	0.0000017	0.0268470	0.971608	0.993884	0.408461
12	0.0002412	0.0000850	0.0086144	0.971849	0.993969	0.417075
13	0.0005370	0.0000634	0.0062425	0.972386	0.994032	0.423318
14	0.0011203	0.0012153	0.0375446	0.973506	0.995247	0.460862
15	0.0002013	0.0005786	0.0057636	0.973708	0.995826	0.466626
16	0.0000199	0.0002451	0.0094630	0.973727	0.996071	0.476089
17	0.0016919	0.0004663	0.0083901	0.975419	0.996537	0.484479
18	0.0004258	0.0000000	0.0280199	0.975845	0.996537	0.512499
19	0.0015790	0.0007560	0.2399953	0.977424	0.997293	0.752494
20	0.0003966	0.0001793	0.0189262	0.977821	0.997473	0.771421
21	0.0059619	0.0011582	0.0128357	0.983783	0.998631	0.784256
22	0.0001705	0.0002135	0.0229618	0.983953	0.998844	0.807218
23	0.0092442	0.0004478	0.0870678	0.993197	0.999292	0.894286
24	0.0003623	0.0000059	0.0057694	0.993560	0.999298	0.900055
25	0.0000298	0.0000681	0.0226773	0.993589	0.999366	0.922733
26	0.0022444	0.0001063	0.0383916	0.995834	0.999472	0.961124
27	0.0032092	0.0002096	0.0000881	0.999043	0.999682	0.961212
28	0.0001631	0.0000245	0.0000623	0.999206	0.999707	0.961275
29	0.0000004	0.0000093	0.0002263	0.999207	0.999716	0.961501
30	0.0000030	0.0000319	0.0063267	0.999210	0.999748	0.967828

Tabella 9-9: Fattori di partecipazione modali

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

9.4 ANALISI SPETTRALE

9.4.1 Procedura

Gli spettri di risposta lungo le direzioni principali X, Y e Z, definiti secondo quanto dichiarato al par. 8.2, sono applicati separatamente alla struttura. Tali spettri sono rappresentati in [A9]. La risposta strutturale a queste forzanti viene calcolata eseguendo l'analisi dinamica, secondo quanto previsto dalle NTC2018 (Rif.[B1]), come descritto nel seguito.

L'analisi dinamica spettrale eseguita tramite il programma SACS DYNAMIC RESPONSE calcola la risposta strutturale alla forzante sismica definita tramite spettro nelle tre direzioni principali separatamente: viene calcolata la singola risposta modale, e queste vengono poi combinate applicando il metodo CQC – combinazione quadratica completa ("*Complete Quadratic Combination*"), che tiene conto della cross-correlazione e dell'accoppiamento fra le risposte modali. Le risposte direzionali così calcolate vengono poi combinate insieme attraverso la SRSS – somma dei quadrati ("*Square Root of the Sum of the Squares*").

L'analisi dinamica spettrale è stata eseguita assumendo un fattore di smorzamento viscoso modale pari a $\xi_i = 5\%$.

Una volta calcolata la risposta sismica globale, essa viene combinata linearmente alla risposta statica data dai carichi verticali e reazioni clampe applicati alla struttura, ottenuta da analisi statica descritta al par. 9.2. La combinazione fra le due risposte avviene con coefficienti unitari, come da combinazione sismica (par. 6.2.2).

Vengono dunque generate tre condizioni di carico e quattro combinazioni di carico, secondo lo schema seguente.

Vengono generate tre condizioni di carico indipendenti, che consistono negli spettri di risposta orizzontali e verticali applicati nelle tre direzioni principali. L'analisi spettrale restituisce per ogni direzione delle forzanti inerziali lungo la direzione di applicazione dello spettro, e i risultati sono dati dalla sovrapposizione delle risposte modali direzionali tramite metodo CQC.

Condizione carico	Rx	Ry	Rz
1	1.00		
2		1.00	
3			1.00

Tabella 9-10: Condizioni di carico – Analisi spettrale

Le risposte direzionali delle combinazioni di carico generate vengono condensate in un'unica condizione di carico sismica, data dalla sovrapposizione degli effetti delle tre direzioni tramite metodo SRSS:

$$RS_d = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}$$

Per gli elementi della struttura modellata, l'analisi spettrale restituisce dunque sollecitazioni interne senza segno: le sollecitazioni dinamiche assiali, in particolare, vengono applicate agli elementi della struttura una volta in trazione (+) e una volta in compressione (-) in modo da tener conto dell'alternanza di segno nella forzante sismica (cambio di verso).

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

Il modulo di SACS dunque genera n.2 combinazioni di carico, dove la componente dinamica della forza assiale viene considerata una volta di trazione e una volta di compressione; queste combinazioni vengono utilizzate per le verifiche degli elementi strutturali. Altre due combinazioni vengono prodotte allo stesso modo per le verifiche dei nodi, per un totale di n.4 combinazioni sismiche. Conservativamente, le altre sollecitazioni interne (momenti, torsioni, tagli) vengono assunti con lo stesso segno di quelli statici. A tutte le combinazioni create dall'analisi spettrale vengono linearmente sommati gli effetti statici.

	Combinazione	Analisi Statica STAT	Analisi Spettrale(1) RS_d
Verifica elementi strutturali	1	1.00	1.00
	2	1.00	-1.00
Verifica nodi strutturali	3	1.00	1.00
	4	1.00	-1.00

(1) Analisi dinamica: 1.00 → Trazione
-1.00 → Compressione

Tabella 9-11: Combinazioni di verifica SLV

Le combinazioni di carico sismiche finali, riportate in Tabella 9-11, sono utilizzate per eseguire le verifiche della struttura.

9.4.2 Risultati Analisi Spettrale

Si riportano nei seguenti estratti di SACS le risultanti sismiche direzionali (dopo sovrapposizione modale tramite CQC) e le risultanti totali (sovrapposizione degli effetti direzionali tramite SRSS).

FORCES AND MOMENTS SUMMARY

*** MOMENTS SUMMED ABOUT ORIGIN ***

	********** KN **********			********** KN-M **********		
LOAD CASE	FORCE(X)	FORCE(Y)	FORCE(Z)	MOMENT(X)	MOMENT(Y)	MOMENT(Z)
1	-520.094	-71.784	458.485	6906.499	-24344.326	-31.897
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	-12.031	-540.896	196.340	37817.449	-4723.689	1242.509
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	23.963	10.201	348.947	572.414	-646.945	17.817

Tabella 9-12: Risultanti spettri di risposta direzionali (CQC)

FORCES AND MOMENTS SUMMARY

*** MOMENTS SUMMED ABOUT ORIGIN ***

LOAD CASE	FORCE(X)	FORCE(Y)	FORCE(Z)	MOMENT(X)	MOMENT(Y)	MOMENT(Z)
	KN			KN-M		
1	-511.980	-533.118	652.234	38376.059	-24847.844	1212.002

Tabella 9-13: Risultante Spettrale globale (SRSS)

****** COMBINE PROGRAM OPTIONS ******

DYNAMIC ANALYSIS

LOAD CASE	NUMB COMB	COMB TYPE	AMOD FACT	LOAD CASE DESCRIPTION	UNIT	ORIG LC =	FACTOR	SIGN CHANGE ROT	DEFL	STRES
1		PRST	1.000	EQK + STAT MEMB						
	1				P	STAT	1.000000	000	000	0
	2				S	1	1.000000	000	000	0
2		PRSC	1.000	EQK + STAT MEMB						
	1				P	STAT	1.000000	000	000	0
	2				S	1	1.000000	000	000	0
3		PRST	1.000	EQK + STAT JOIN						
	1				P	STAT	1.000000	000	000	0
	2				S	1	1.000000	000	000	0
4		PRSC	1.000	EQK + STAT JOIN						
	1				P	STAT	1.000000	000	000	0
	2				S	1	1.000000	000	000	0

Tabella 9-14: Combinazioni di verifica SLV

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

10 RISULTATI DELL'ANALISI

I risultati dell'analisi sismica sono riportati in questo paragrafo.

Questi consistono in:

- Verifiche strutturali degli elementi della piattaforma (profili tubolari, profili I/H, gambe, diagonali, controventi, pali fuori terra)
- Verifiche strutturali dei nodi (connessioni tubolari)
- Verifiche strutturali e geotecniche dei pali di fondazione (sotto fondo mare)

Le verifiche sono condotte per le combinazioni di carico presentate in Tabella 9-11 allo SLV, in accordo alle NTC2018 (Rif.[B1]).

10.1.1 Verifiche strutturali delle aste

Vengono riportate le verifiche di resistenza degli elementi che compongono il modello SACS.

I criteri di accettazione sono proposti al Par.6.3.1.

Le verifiche vengono eseguite dal post-processore di SACS che tiene in considerazione:

- Le proprietà sezionali e del materiale dell'elemento
- Le proprietà di snellezza/stabilità dell'elemento
- I coefficienti parziali di resistenza secondo le normative

I risultati vengono espressi in termini di Unity Check (UC), ovvero il rapporto fra l'azione agente sull'elemento e la sua resistenza: UC = S_d/R_d.

Le verifiche mostrano che la struttura della piattaforma adeguata a sopportare i carichi sismici.

Di seguito vengono riportati i risultati delle verifiche per gli elementi strutturali del Jacket che presentano UC > 0.50.

SACS-IV MEMBER UNITY CHECK RANGE SUMMARY

GROUP II - UNITY CHECKS GREATER THAN 0.50 AND LESS THAN 1.00

** NO UNITY CHECKS IN THIS GROUP **

SACS-IV MEMBER UNITY CHECK RANGE SUMMARY

GROUP III - UNITY CHECKS GREATER THAN 1.00 AND LESS THAN 999.00

** NO UNITY CHECKS IN THIS GROUP **

Tabella 10-1: Verifiche elementi strutturali UC > 0.50

I valori massimi degli UC per ogni gruppo di elementi è invece specificato nel seguito.

* * * MEMBER GROUP SUMMARY * * *
ISO 19902:2007 / EC3:2005
(EN 1993-1-1:2005/NA NONE)

GRUP ID	CRITICAL MEMBER	LOAD COND	MAX. UNITY CHECK	DIST FROM END M	* APPLIED STRESSES * AXIAL N/MM2	BEND-Y N/MM2	BEND-Z N/MM2	*** ALLOWABLE STRESSES *** AXIAL N/MM2	EULER N/MM2	BEND-Y N/MM2	BEND-Z N/MM2	CRIT COND	EFFECTIVE LENGTHS KLY M	KLZ M	CM VALUES * Y	Z *
B01	0019-0000	2	0.15	0.9	-6.0	-53.2	-18.4	.3E+03	.3E+06	.4E+03	.4E+03	ACBI	0.87	0.87	0.85	0.85
B03	0021-0015	1	0.11	0.5	1.5	-6.2	8.7	.3E+03	.2E+06	.4E+03	.4E+03	SHEAR	0.47	0.47	0.85	0.85
B04	0086-0062	2	0.13	0.0	-6.4	28.4	36.8	292.4	1970.5	434.3	434.3	ACBI	4.55	4.55	0.85	0.85

B06 0024-0061	2	0.25	0.0	-3.2	-91.7	55.1	292.4	363.4	441.1	441.1	ACBI	9.00	9.00	0.85	0.85
B05 0000-0002	1	0.14	0.0	1.9	-55.9	-13.9	328.6	1054.5	443.9	443.9	TN+BN	9.00	9.00	0.85	0.85
B11 0033-0041	2	0.13	2.6	-4.6	-39.2	-30.0	.3E+03	.3E+05	.4E+03	.4E+03	ACBI	2.65	2.65	0.85	0.85
B10 0024-0056	2	0.15	0.0	-14.8	-18.7	38.7	.3E+03	.4E+05	.4E+03	.4E+03	ACBI	1.59	1.59	0.85	0.85
B07 0080-0064	2	0.15	2.6	-1.5	62.0	-10.6	300.8	962.3	448.7	448.7	ACBI	4.37	4.37	0.85	0.85
B08 R100-0017	2	0.42	0.9	-24.2	-131.7	0.0	.3E+03	.3E+05	.4E+03	.4E+03	BN+AX	0.89	0.89	0.60	1.00
CLR 0023-0037	1	0.01	0.0	-0.0	1.4	-0.5	.3E+03	.9E+06	.4E+03	.4E+03	SHEAR	0.40	0.40	0.85	0.85
JT2 0045-0126	2	0.07	0.0	-3.2	-22.8	-12.5	292.4	318.3	440.7	440.7	ACBI	11.00	11.00	0.85	0.85
P01 0038-0381	2	0.20	0.6	-9.9	-40.5	-55.4	283.9	422.9	420.9	420.9	ACBI	40.00	40.00	0.85	0.85
PLC G071-0222	2	0.19	0.0	-7.4	0.0	69.4	.3E+03	.5E+05	.4E+03	.4E+03	ACBI	2.98	2.98	0.85	0.85
SJ1 0007-0003	1	0.13	0.0	1.1	11.2	-3.1	.3E+03	.3E+06	.4E+03	.4E+03	SHEAR	0.39	0.39	0.85	0.85
SJ5 0045-0033	2	0.13	1.3	-1.9	-46.4	23.8	.3E+03	.2E+05	.4E+03	.4E+03	ACBI	1.30	1.30	0.85	0.85
SL2 0040-G071	1	0.13	0.0	-2.1	0.7	-0.8	238.7	585.0	404.0	404.0	SHEAR	40.00	40.00	0.85	0.85
B02 0017-0031	2	0.48	0.3	-12.4	-108.5	17.8	.3E+03	.3E+06	.3E+03	.3E+03	BN+AX	0.34	0.34	0.86	0.57
JT1 0007-0048	2	0.09	0.3	-6.4	-20.6	19.1	292.4	1961.0	442.0	442.0	ACBI	4.60	4.60	0.85	0.85
SLI 0381-0041	1	0.14	0.0	-3.4	-20.0	-27.4	283.9	503.1	404.0	404.0	SHEAR	40.00	40.00	0.85	0.85
SJ2 0076-0077	1	0.11	0.6	0.1	-40.9	-1.8	.3E+03	.7E+05	.4E+03	.4E+03	SHEAR	0.60	0.60	0.85	0.85

Tabella 10-2: Verifiche e max UC per gruppi

I valori massimi di UC per tutte le combinazioni SLV analizzate per gli elementi della riser guard sono mostrati nelle figure seguenti.

Tutti gli elementi presentano UC < 1.0, per cui le verifiche allo SLV sono soddisfatte.

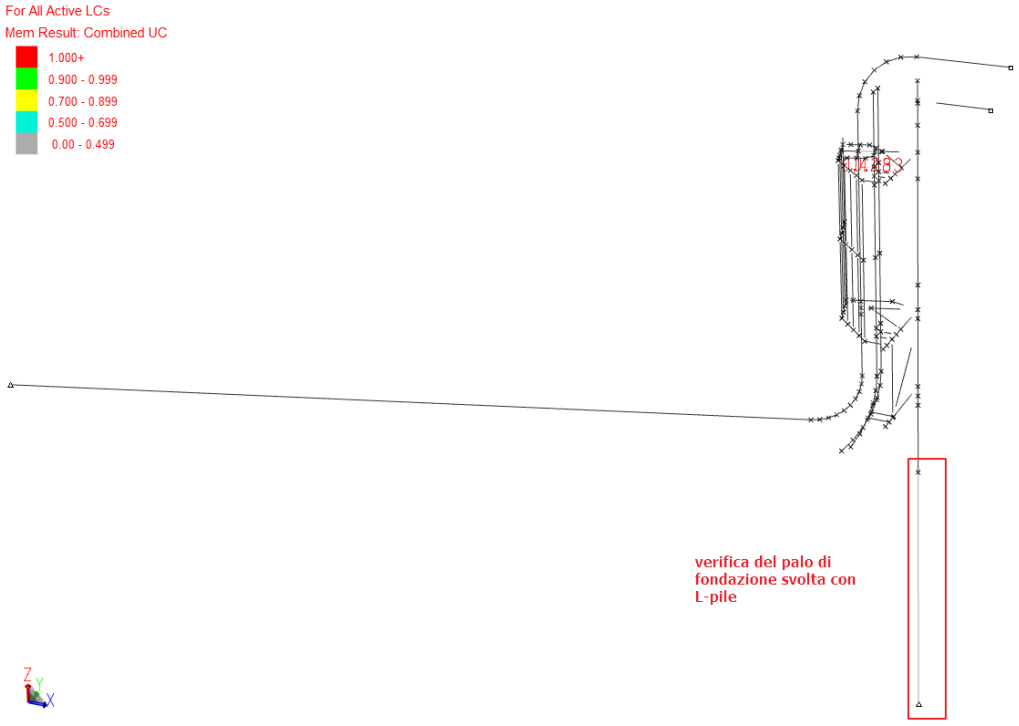


Figura 10-1: Massimi UC > 0.30– Inviluppo SLV

10.1.2 Verifiche nodi tubolari

Sono eseguite le verifiche a punzonamento di tutti i nodi tubolari in accordo ai requisiti delle ISO 19902 (Rif. [B4]).

Le verifiche sono eseguite dal post-processore di SACS. I risultati vengono espressi in termini di Unity Check (UC), rapporto fra sollecitazione applicata e resistenza.

Vengono mostrati gli UC > 0.20 dei nodi della piattaforma per le verifiche a punzonamento nella Tabella 10-3.

* * J O I N T C A N S U M M A R Y * *

(UNITY CHECK ORDER)

	ORIGINAL				DESIGN			
JOINT	DIAMETER (CM)	THICKNESS (CM)	YLD STRS (N/MM2)	UC	DIAMETER (CM)	THICKNESS (CM)	YLD STRS (N/MM2)	UC
G071	195.000	5.000	335.000	0.621	195.000	5.000	335.000	0.621
0023	75.140	2.000	345.000	0.438	75.140	2.000	345.000	0.438
0029	90.000	3.000	345.000	0.254	90.000	3.000	345.000	0.254
0060	40.640	1.905	345.000	0.235	40.640	1.905	345.000	0.235
0034	90.000	3.000	345.000	0.232	90.000	3.000	345.000	0.232
0016	40.640	1.905	345.000	0.179	40.640	1.905	345.000	0.179
0056	60.960	2.461	345.000	0.153	60.960	2.461	345.000	0.153
0062	40.640	1.905	345.000	0.151	40.640	1.905	345.000	0.151
0033	90.000	3.000	345.000	0.139	90.000	3.000	345.000	0.139
0026	90.000	3.000	345.000	0.138	90.000	3.000	345.000	0.138
0067	40.640	1.905	345.000	0.129	40.640	1.905	345.000	0.129
0064	35.560	1.905	345.000	0.117	35.560	1.905	345.000	0.117

Tabella 10-3: UC > 0.20 nodi – Ver. Punzonamento

11 VERIFICHE DEL PALO DI FONDAZIONE

Vengono riportate le verifiche del palo di fondazione sotto il livello di fondo mare.

Palo 1675 mm spessore 60 mm infissione 33.1 m

Di seguito le azioni in testa palo che sono le forze interne dell'elemento modellante il palo equivalente.

SACS-IV SYSTEM MEMBER FORCES AND MOMENTS

				KN			KN-M		
MEMBER NUMBER	MEMBER END	GROUP ID	LOAD CASE	FORCE(X)	FORCE(Y)	FORCE(Z)	MOMENT(X)	MOMENT(Y)	MOMENT(Z)
0036-FP01	0036	PF1	1	-2214.74	-836.80	-680.11	6521.60	9831.62	11215.21
			2	-3178.42	-836.80	-680.11	6521.60	9831.62	11215.21
	FP01		1	-2214.68	-836.80	-680.11	6521.60	-2259.53	-2908.28
			2	-3178.36	-836.80	-680.11	6521.60	-2259.53	-2908.28

Tabella 11-1: Forze in testa palo

Assiale = 3178 kN < azione statica in servizio

Taglio = 1078 kN assunto 1100 kN

Momento = 3682 kN assunto 3800 kNm

Il palo di fondazione è stato verificato con un modello in L-pile, lo stesso modello usato nell'analisi in servizio.

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

11.1 MODELLO LPILE

La seguente figura descrive la segmentazione del modello Lpile e la schematizzazione del terreno.

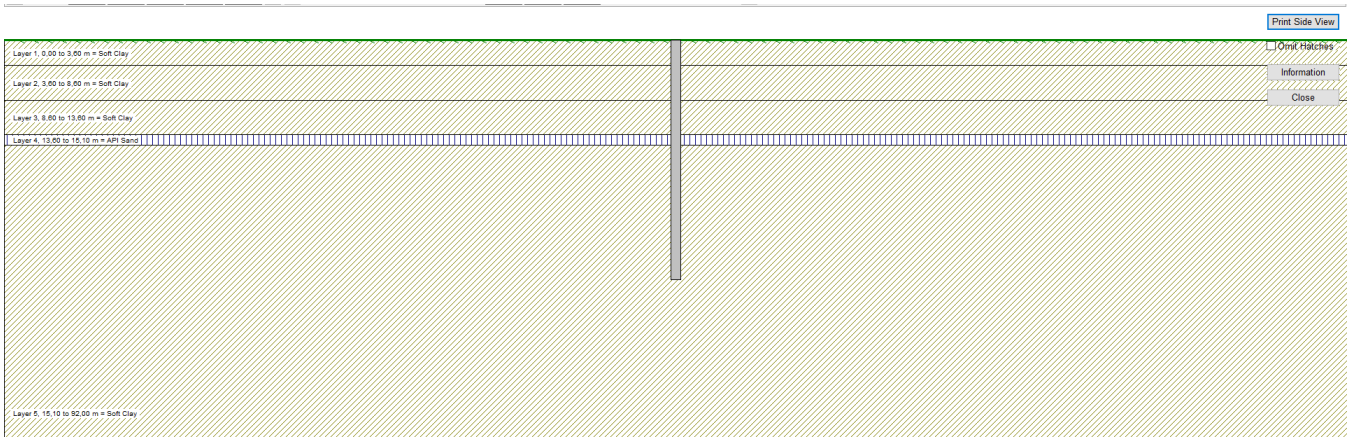
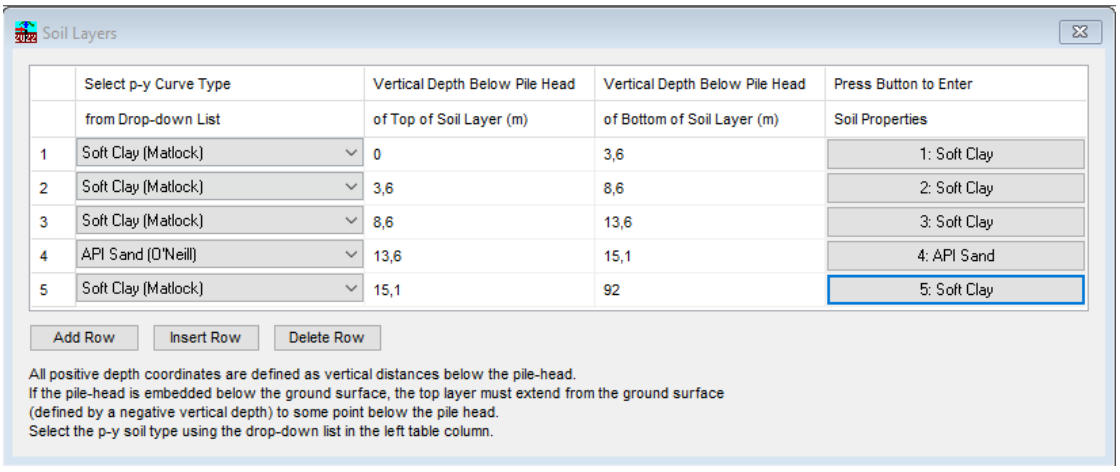


Figura 11-1: Modello Lpile

11.2 DATI GEOTECNICI

I dati geotecnici sono in accordo al Rif. [A9] e sono riportati nelle seguenti immagini estratte da Lpile.

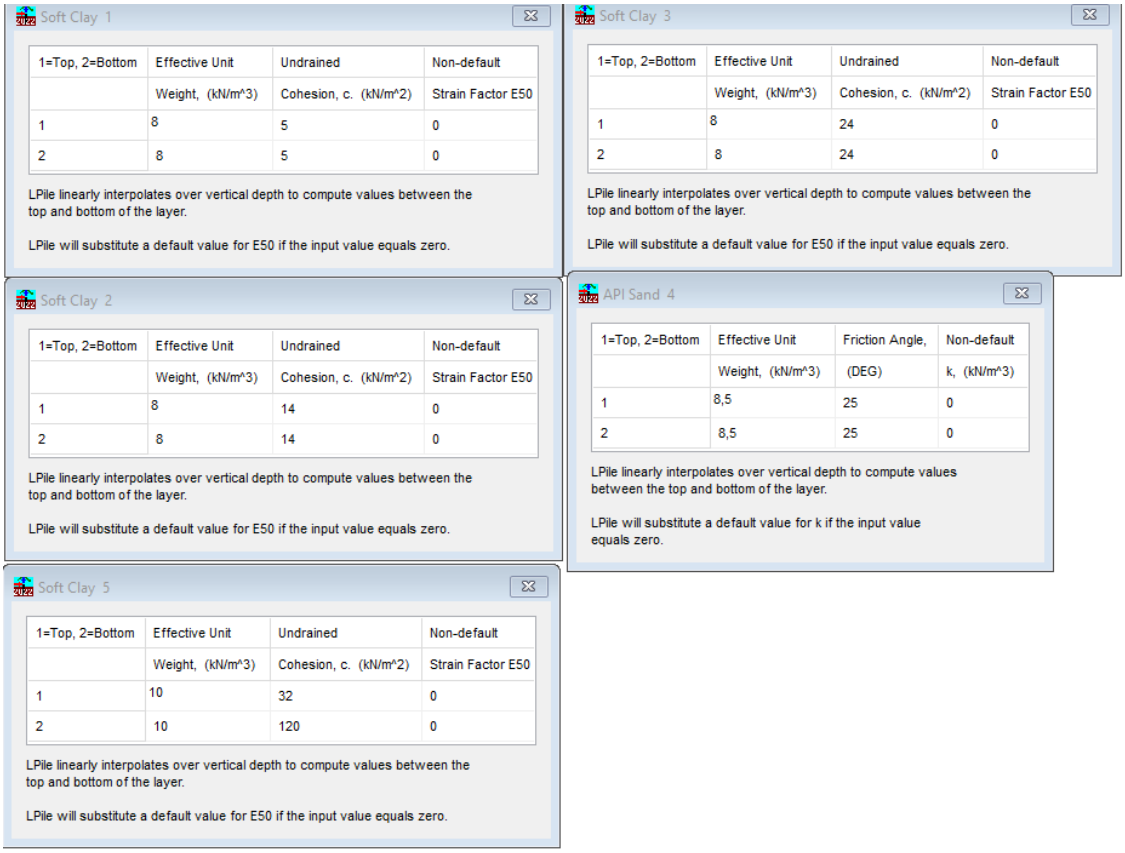


	Select p-y Curve Type from Drop-down List	Vertical Depth Below Pile Head of Top of Soil Layer (m)	Vertical Depth Below Pile Head of Bottom of Soil Layer (m)	Press Button to Enter Soil Properties
1	Soft Clay (Matlock)	0	3,6	1: Soft Clay
2	Soft Clay (Matlock)	3,6	8,6	2: Soft Clay
3	Soft Clay (Matlock)	8,6	13,6	3: Soft Clay
4	API Sand (O'Neill)	13,6	15,1	4: API Sand
5	Soft Clay (Matlock)	15,1	92	5: Soft Clay

Add Row | Insert Row | Delete Row

All positive depth coordinates are defined as vertical distances below the pile-head.
If the pile-head is embedded below the ground surface, the top layer must extend from the ground surface
(defined by a negative vertical depth) to some point below the pile head.
Select the p-y soil type using the drop-down list in the left table column.

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



Soft Clay 1

1=Top, 2=Bottom	Effective Unit Weight, (kN/m^3)	Undrained Cohesion, c. (kN/m^2)	Non-default Strain Factor E50
1	8	5	0
2	8	5	0

LPile linearly interpolates over vertical depth to compute values between the top and bottom of the layer.

LPile will substitute a default value for E50 if the input value equals zero.

Soft Clay 3

1=Top, 2=Bottom	Effective Unit Weight, (kN/m^3)	Undrained Cohesion, c. (kN/m^2)	Non-default Strain Factor E50
1	8	24	0
2	8	24	0

LPile linearly interpolates over vertical depth to compute values between the top and bottom of the layer.

LPile will substitute a default value for E50 if the input value equals zero.

Soft Clay 2

1=Top, 2=Bottom	Effective Unit Weight, (kN/m^3)	Undrained Cohesion, c. (kN/m^2)	Non-default Strain Factor E50
1	8	14	0
2	8	14	0

LPile linearly interpolates over vertical depth to compute values between the top and bottom of the layer.

LPile will substitute a default value for E50 if the input value equals zero.

API Sand 4

1=Top, 2=Bottom	Effective Unit Weight, (kN/m^3)	Friction Angle, (DEG)	Non-default k, (kN/m^3)
1	8,5	25	0
2	8,5	25	0

LPile linearly interpolates over vertical depth to compute values between the top and bottom of the layer.

LPile will substitute a default value for k if the input value equals zero.

Soft Clay 5

1=Top, 2=Bottom	Effective Unit Weight, (kN/m^3)	Undrained Cohesion, c. (kN/m^2)	Non-default Strain Factor E50
1	10	32	0
2	10	120	0

LPile linearly interpolates over vertical depth to compute values between the top and bottom of the layer.

LPile will substitute a default value for E50 if the input value equals zero.

Figura 11-2: Dati Geotecnici Lpile

11.3 Condizione di carico

Le azoni massime dedotte dall'analisi Sacs sono state implementate nel modello L-pile in termini di (le forze sono fattorizzate):

- Taglio in testa palo pari a 1100 kN
- Momento assunto pari a 3800 kNm

11.4 Risultati analisi

Vengono riportati i diagrammi significativi delle azioni interne ottenute dall'analisi

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

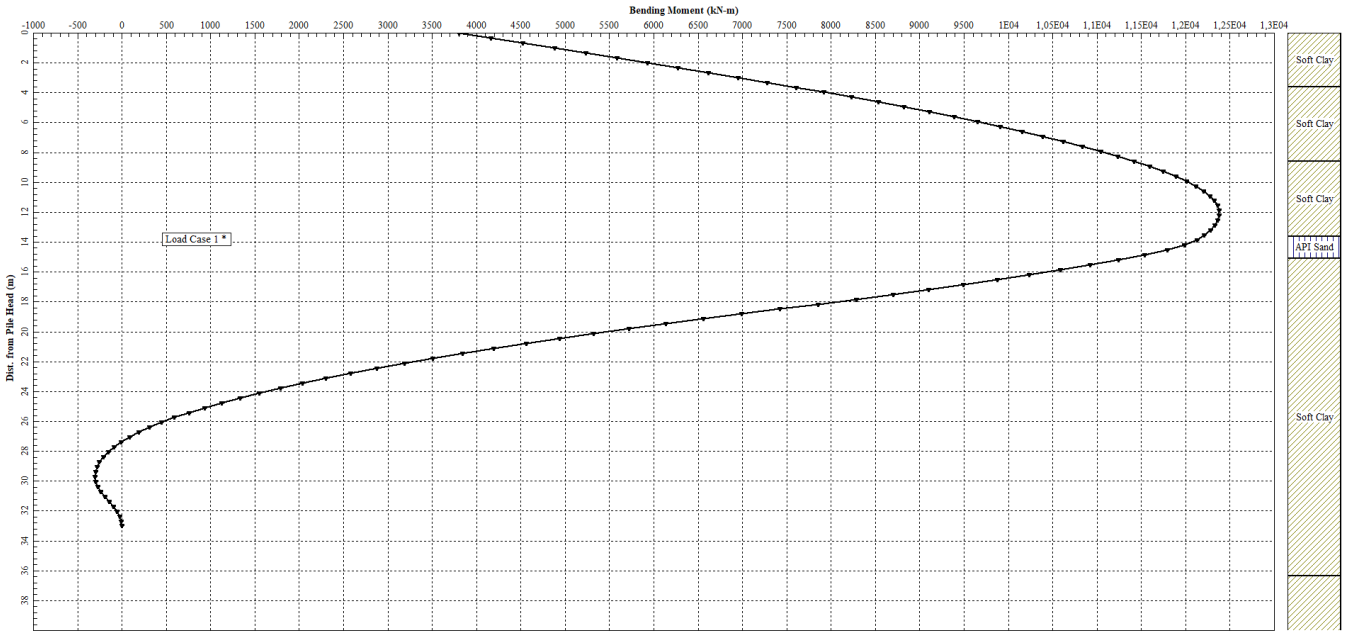


Figura 11-3: Diagrammi momento (kNm)

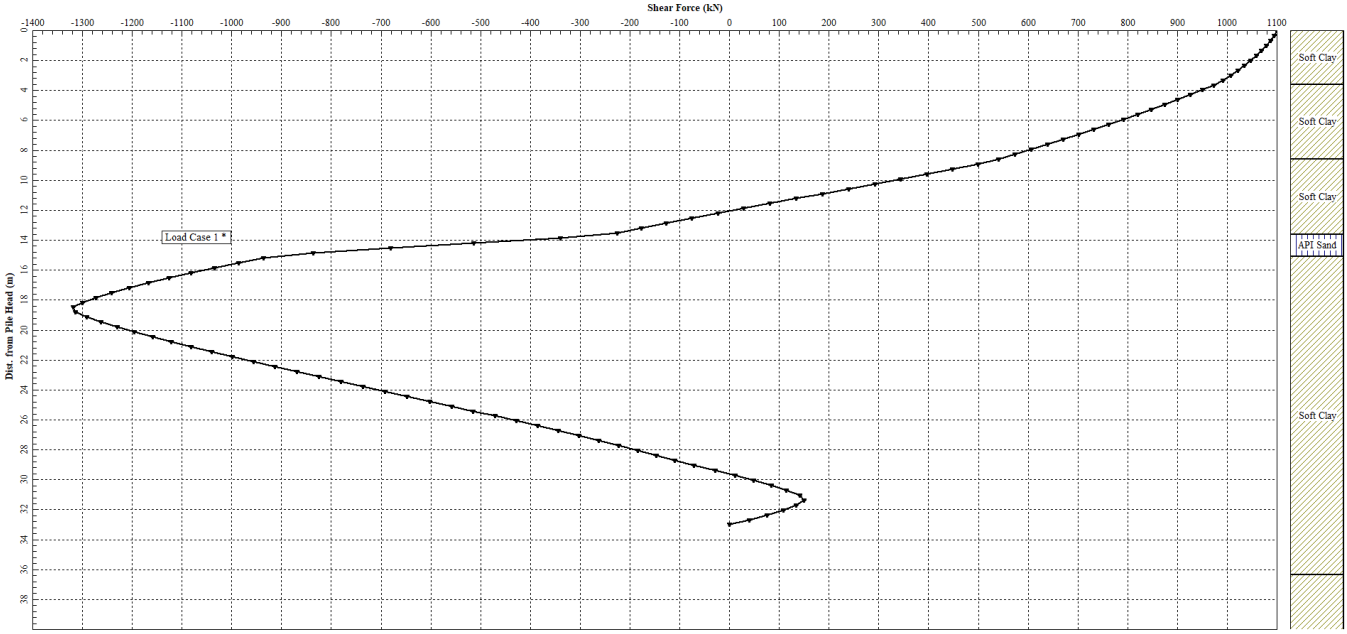


Figura 11-4: Diagrammi taglio (kN)

11.5 Verifiche Strutturali

Vengono riportate le verifiche strutturali per le varie sezioni tubolari in accordo con ISO 19902Rif.[B4].

PILE CHECKS - ISO19902 | **FSRU RAVENNA -VERIFICA BRICCOLA ORMEGGIO DIA 3000 mm**

Sec.	L Sec.	Lpile		D	t	Corr.	D	t	D/t	D/t	Mat.	F_y	f_b	Z_e	Z_p	M_{Res}	M_{Sd}	**U.C.**	Sec.
	m	Z_{Top}	Z_{Bottom}	mm	mm	mm	mm	mm	-	check		Mpa	Mpa	cm^3	cm^3	kNm	kNm	M_{Sd}/M_{Res}	
1	**33,10**	**0,00**	**33,10**	**1675**	**60**	1	1673	59	28,4	Ok	**S355**	**335**	**442**	116.610	153.763	**49.058**	**12.380**	**0,25**	1

Tabella 11-2: Verifiche strutturali - ISO 19902

massimo valore di utilizzo (U.C. = Unity Check) risulta:

U.C.Max = 0.25 < 1.00 OK

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