EMERGENZA GAS

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

FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI

VERIFICHE SISMICHE IN OTTEMPERANZA AL DM 17/01/2018

RELAZIONE DI CALCOLO

Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato Autorizzato	Data
A	Emesso per Approvazione	F. Biancheri	J. Albagli	M. Raimondi	26/03/2024

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**	**7**
1.1	Generalità	7
1.2	Premesse	8
1.3	Scopo del Documento	8
2	**DEFINIZIONI ED ABBREVIAZIONI**	**9**
2.1	Definizioni	9
2.2	Abbreviazioni	9
3	**RIFERIMENTI**	**10**
3.1	Documenti Di Progetto	10
3.2	Documenti Di Riferimento	10
3.3	Normative Di Riferimento	10
3.4	Software	11
4	**CONCLUSIONI**	**12**
4.1	Generalità	12
4.2	Piattaforma Carico/Scarico	12
4.3	Piattaforma Scalandrone Sud	13
4.4	Briccole di Accosto/Ormeggio	13
4.5	Passerelle	13
4.6	Passerelle di Sostegno Tubo Gas	14
4.7	Struttura di Supporto Riser-Jtubes	14
5	**DESCRIZIONE PIATTAFORMA DI SCARICO**	**16**
5.1	Deck	17
5.2	Jacket	19
6	**CRITERI DI PROGETTAZIONE**	**20**
6.1	Materiali	20
6.2	Criteri di Progettazione	22
6.2.1	Generalità	22
6.2.2	Combinazione delle azioni e fattori di azione parziale per analisi sismiche	22
6.2.3	Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari	22
6.2.4	Resistenza minima nodi tubolari	23
6.2.5	Fattore di resistenza parziale per sezioni non tubolari	23

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

6.2.6 Fattore di resistenza parziale per capacità assiale del palo 24
6.3 Criteri di Accettazione 25
6.3.1 Elementi della struttura 25
6.3.2 Pali di fondazione 26
7 MODELLO DI CALCOLO PIATTAFORMA CARICO/SCARICO 27
7.1 Unità di Misura 27
7.2 Sistema di Riferimento 27
7.3 Programma di Calcolo 28
7.4 Modello di Calcolo 28
7.4.1 Criteri di Modellazione 30
7.5 Modellazione Della Fondazione 33
8 DATI DI PROGETTO AMBIENTALI 34
8.1 Dati Meteo-Marini 34
8.1.1 Batimetria 34
8.1.2 Splash Zone 34
8.1.3 Accrescimento Marino 34
8.1.4 Spessore di Corrosione 34
8.2 Dati Sismici 35
8.3 Dati Geotecnici 39
9 ANALISI SISMICA PIATTAFORMA CARICO/SCARICO 40
9.1 Introduzione 40
9.2 Analisi Statica 41
9.2.1 Carichi gravitazionali 41
9.2.2 Riassunto carichi verticali 46
9.2.3 Combinazione di carico gravitazionale 46
9.3 Analisi Modale 47
9.3.1 Modello Dinamico 47
9.3.2 Linearizzazione della Fondazione 48
9.3.3 Massa strutturale e Modi di vibrare 48
9.4 Analisi Spettrale 52
9.4.1 Procedura 52
9.4.2 Risultati Analisi Spettrale 53
10 RISULTATI DELL'ANALISI PIATTAFORMA CARICO/SCARICO 55

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

10.1.1 Verifiche strutturali della struttura della piattaforma 55
10.1.2 Verifiche nodi tubolari 61
10.1.3 Verifiche dei Pali infissi (fondazioni) 62
11 RIVERIFICA DELLE STRUTTURE SECONDARIE 66
11.1 Piattaforma Scalandrone Sud 66
11.2 Briccole di Accosto e Ormeggio 68
11.3 Passerelle 69
11.4 Passerelle di sostegno tubo gas 70
11.5 Struttura di supporto Riser-Jtubes 71
12 APPENDICE A – SCHEMI UNIFILARI 72
13 APPENDICE B – PROPRIETA' GRUPPI 73
14 APPENDICE C – CURVE DI CAPACITA' PORTANTE PALI 74
15 APPENDICE D – SACS FILES DI INPUT 75

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

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 4-1: Max. Trazione e Compressione in testa palo 12
Tabella 6-1: Proprietà acciaio 20
Tabella 6-2: Classi di acciaio e standard 20
Tabella 6-3: Proprietà dell'acciaio relative allo spessore (UNI EN 10025) 21
Tabella 6-4: Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari 22
Tabella 6-5: Fattori di resistenza parziale per i nodi tubolari 23
Tabella 6-6: Fattori di resistenza parziale per sezioni non tubolari 23
Tabella 6-7: Fattori di resistenza parziale per la capacità assiale del palo 24
Tabella 7-1: Composizione pali sotto il fondale marino 33
Tabella 8-1: Parametri sismici al variare del tempo di ritorno T_R 36
Tabella 8-2: Dati geotecnici di progetto 39
Tabella 9-1: Coefficienti parziali azioni per condizioni in servizio 41
Tabella 9-2: Peso strutture modellate – LOADCN DEAZ 42
Tabella 9-3: Contributi strutture modellate, accr. marino, buoyancy – LOADCN DEAZ 42
Tabella 9-4: Strutture non modellate - LOADCN PERZ 43
Tabella 9-5: Carichi Piping - LOADCN PIPZ 44
Tabella 9-6: Carichi Equipaggiamento 44
Tabella 9-7: Carichi Piping - LOADCN LIVZ 45
Tabella 9-8: Risultanti condizioni di carico gravitazionali 45
Tabella 9-9: Riassunto carichi verticali 46
Tabella 9-10: Pre-combinazioni di carico 46
Tabella 9-11: Combinazione gravitazionale statica 46
Tabella 9-12: Risultanti Combinazioni SLV gravitazionali 46
Tabella 9-13: Masse per analisi modale 48
Tabella 9-14: Modi di vibrare principali della struttura 48
Tabella 9-15: Primi 32 modi di vibrare della struttura 51
Tabella 9-16: Fattori di partecipazione modali 51
Tabella 9-17: Condizioni di carico – Analisi spettrale 52
Tabella 9-18: Combinazioni di verifica SLV 53
Tabella 9-19: Risultanti spettri di risposta direzionali (CQC) 53
Tabella 9-20: Risultante Spettrale globale (SRSS) 54
Tabella 9-21: Combinazioni di verifica SLV 54

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

Tabella 10-1: Verifiche elementi strutturali UC > 0.50 55
Tabella 10-2: Verifiche e max UC per gruppi 56
Tabella 10-3: UC > 0.20 nodi Piattaforma – Ver. Punzonamento 61
Tabella 10-4: Massimi UC nodi Jacket – Resistenza 61
Tabella 10-5: Forze in testa palo 63
Tabella 10-6: UC per pali infissi 63
Tabella 10-7: Max. Trazione e Compressione in testa palo 64
Tabella 11-1: Piattaforma Scalandrone Sud: nuovi UC per spettro T_R = 949 anni 66
Tabella 11-2: Piattaforma Scalandrone Sud: azioni testa palo per spettro T_R = 475 anni 67
Tabella 11-3: Piattaforma Scalandrone Sud: verifiche geotecnioche per spettro T_R = 949 anni 67

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.

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.

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

1.2 PREMESSE

Il Cliente ha definito, nelle proprie premesse di progetto, la vita nominale V_N di 25 anni per le nuove strutture della piattaforma Petra. Questo valore è stato conseguentemente assunto per tutte le verifiche strutturali: analisi a fatica, protezione catodica e analisi sismiche.

Nel presente documento, per ottemperare comunque alle prescrizioni delle NTC 2018 (Rif.[B1]), sono state ulteriormente effettuate le verifiche sismiche delle strutture allo SLV considerando una vita nominale V_N di 50 anni e classe d'uso IV (periodo di riferimento V_R = 2*50 = 100 anni).

1.3 SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento illustra le verifiche sismiche delle nuove strutture della piattaforma Petra, a servizio dell'impianto FSRU, in ottemperanza al DM 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni, Rif.[B1]) secondo i dati di progetto (Rif. [A2]) e i criteri definiti dalle basi di progettazione strutturale (Rif. [A7], [A9]).

Le nuove strutture della piattaforma Petra sono state progettate assumendo una vita nominale V_N = 25 anni e classe d'uso IV (C_U = 2), come da dati di FEED (Rif. [A2]) e dalle basi di progettazione strutturale (Rif. [A7], [A9]). Le verifiche sismiche sono state eseguite assumendo lo spettro sismico con periodo di riferimento V_R = 2*25 = 50 anni (tempo di ritorno T_R = 475 anni alo SLV).

Il presente documento, in ottemperanza al DM 17/01/2018 (Rif.[B1]), riporta le verifiche sismiche delle strutture rieseguite assumendo una vita nominale V_N = 50 anni (Tab. 2.4.I "Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari"). Il periodo di riferimento per l'azione sismica è dunque V_R = 2*50 = 100 anni e il tempo di ritorno dell'azione sismica allo SLV T_R = 949 anni.

Di seguito sono elencate le nuove strutture per cui vengono rieseguite in questo documento le verifiche sismiche con V_N = 50 anni, ed il riferimento alle precedenti relazioni prodotte per V_N = 25 anni:

- Piattaforma Carico/Scarico (Doc. n. 0001-CI-E-017250 Rif.[A12])
- Piattaforma Scalandrone Sud (Doc. n. 0001-CI-E-017529 Rif.[A13])
- Briccole di Accosto (Doc. n. 0001-CI-E-017321 Rif.[A14])
- Briccole di Ormeggio (Doc. n. 0001-CI-E-017351 Rif.[A15])
- Passerelle (Doc. n. 0001-CI-E-017380 Rif.[A16])
- Passerelle di sostegno Tubo Gas 26'' (Doc. n. 0001-CI-E-017033 Rif.[A17])
- Struttura di sostegno Riser e Jtube (Doc. n. 0001-CI-E-017419 Rif.[A18])

Il presente documento riporta dunque per V_N = 50 anni:

- Riverifica completa della Piattaforma carico/scarico mediante nuove analisi.
- Riverifica mediante ricalcolo degli UC (Unity Check, rapporto tra azione agente e azione resistente, che deve risultare ≤ 1.0) per le strutture secondarie quali briccole, passerelle, piattaforma scalandrone, strutture di supporto, caratterizzati da sollecitazioni sismiche molto basse.

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
SF	Fattore di sicurezza

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] 0001-CI-E-012500 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-CI-E-017251 Jacket – Analisi Statica in Servizio

[A11] 0001-CI-E-017150 Deck – Analisi Statica in Sito

[A12] 0001-CI-E-017250 Piattaforma – Deck + Jacket + Pali – Analisi Sismica

[A13] 0001-CI-E-017529 Piattaforma Scalandrone Sud - Sismica

[A14] 0001-CI-E-017321 BA – Relazione di Progettazione Strutturale Sismica in sito

[A15] 0001-CI-E-017351 BO – Relazione di Progettazione Strutturale Sismica in sito

[A16] 0001-CI-E-017380 Relazione di Calcolo delle Passerelle – Analisi Statica e Sismica

[A17] 0001-CI-E-017033 Passerelle di sostegno Tubo Gas 26 in – Analisi Sismica

[A18] 0001-CI-E-017419 Struttura di supporto del Riser e Jtube – Analisi Sismica

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

[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

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

[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

4.1 GENERALITÀ

I successivi paragrafi riassumono i risultati principali delle verifiche sismiche per le nuove strutture della piattaforma Petra, assumendo vita nominale V_N = 50 anni, in accordo alle NTC2018 (Rif.[B1]).

In generale, le verifiche sismiche sia strutturali che geotecniche, assumendo V_N = 50 anni (periodo di riferimento $V_R = C_U * V_N = 2*50 = 100$ anni), sono soddisfatte utilizzando un coefficiente di struttura q <1.50. Le strutture soddisfano quindi le verifiche pur rimanendo in campo elastico, senza ricorrere ad alcuna risorsa dissipativa elastoplastica di cui è in realtà la struttura è fornita.

4.2 PIATTAFORMA CARICO/SCARICO

Le analisi sismiche hanno dimostrato che la struttura della piattaforma è in grado di resistere ai carichi sismici di progetto, espressi in funzione di spettri di risposta con T_R = 949 anni allo SLV (V_N = 50 anni, V_R = 100 anni) in ottemperanza alle 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 sopra descritte, i massimi valori di UC (unity check, rapporto fra la sollecitazione agente e la capacità resistente dell'elemento) riscontrati sono:

- Jacket: UC = 0.64 < 1.0
- Deck: UC = 0.83 < 1.0
- Pali fuori terra: UC = 0.75 < 1.0
- Pali infissi: UC = 0.76 < 1.0
- Punzonamento nodi tubolari: UC = 0.60 < 1.0
- Resistenza nodi tubolari: UC = 0.91 <1.0

I massimi carichi assiali sui pali, i valori di capacità portante e rispettivi fattori di sicurezza sono riportati in Tabella 4-1:

Azioni sui Pali	Capacità di Progetto [MN]	Cond. Sismiche	
		N [MN]	SF (> 1.0)
Compressione	18.35	16.40	1.12
Trazione	12.55	-	-

Tabella 4-1: Max. Trazione e Compressione in testa palo

Le verifiche strutturali e geotecniche per tutti gli elementi della piattaforma risultano soddisfatte.

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

4.3 PIATTAFORMA SCALANDRONE SUD

La Piattaforma Scalandrone Sud è stata verificata per un sisma calcolato con spettro di risposta avente T_R = 475 anni allo SLV, legato ad una vita nominale V_N = 25 anni (Rif.[A13]).

La struttura è stata riverificata per lo spettro di risposta calcolato per una vita nominale V_N = 50 anni (spettro SLV con T_R = 949 anni) in ottemperanza alle prescrizioni delle NTC2018 (Rif.[B1]), calcolando l'incremento della forza sismica precedentemente utilizzata per il periodo naturale della struttura: $S_{949}(T_1)$/ $S_{475}(T_1)$ = 1.28.

Per le verifiche, gli UC_{475} calcolati per lo spettro con T_R = 475 anni sono stati incrementati del 28%, così come le azioni sui pali.

Si ottiene per la struttura metallica massimo UC_{949} = 0.46 < 1.0.

Si ottiene per le verifiche geotecniche N_{949} = 4.74 MN < R_{Cd} = 7.45 MN (UC_{949} = 0.64).

La piattaforma scalandrone è in grado di resistere all'azione sismica calcolata con uno spettro allo SLV con T_R = 949 anni, assumendo una vita nominale V_N = 50 anni in ottemperanza alle prescrizioni delle NTC2018 (Rif.[B1]).

4.4 BRICCOLE DI ACCOSTO/ORMEGGIO

Le briccole di accosto e ormeggio sono state verificate per un sisma calcolato con spettro di risposta avente T_R = 475 anni allo SLV, legato ad una vita nominale V_N = 25 anni, da cui si ottiene un'accelerazione spettrale pari a $S_{475}(T_1)$ = 0.25g. Le briccole sono state verificate per un'accelerazione di $S_d(T)$ = 0.30g, a favore di sicurezza (Rif.[A14], [A15]).

Le briccole sono state riverificate per lo spettro di risposta calcolato per una vita nominale V_N = 50 anni (spettro SLV con T_R = 949 anni) in ottemperanza alle prescrizioni delle NTC2018 (Rif.[B1]): da questo spettro si ottiene un'accelerazione spettrale $S_{949}(T_1)$ = 0.30g = $S_d(T)$.

Avendo effettuato le verifiche sismiche con un'accelerazione superiore a quella calcolata per T_R = 949 anni, come riportato nelle relazioni Rif.[A14], [A15], tali verifiche restano valide, per cui:

Max. UC strutturale = 0.16 < 1.0

Max UC capacità portante pali = 0.22 < 1.0

Le briccole di accosto e di ormeggio sono in grado di resistere all'azione sismica calcolata con uno spettro allo SLV con T_R = 949 anni, assumendo una vita nominale V_N = 50 anni in ottemperanza alle prescrizioni delle NTC2018 (Rif.[B1]).

4.5 PASSERELLE

Le passerelle sono state verificate per un sisma calcolato con spettro di risposta avente T_R = 475 anni allo SLV, legato ad una vita nominale V_N = 25 anni, da cui si ottiene un'accelerazione spettrale pari a $S_{475}(T_1)$ = 0.10g. Le passerelle sono state verificate per un'accelerazione di $S_d(T)$ = 0.15g, a favore di sicurezza (Rif.[A16]).

Le passerelle sono state riverificate per lo spettro di risposta calcolato per una vita nominale V_N = 50 anni (spettro SLV con T_R = 949 anni) in ottemperanza alle prescrizioni delle NTC2018 (Rif.[B1]): da questo spettro si ottiene un'accelerazione spettrale $S_{949}(T_1)$ = 0.14g ≤ $S_d(T)$ = 0.15g.

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

Avendo eseguito le verifiche sismiche delle passerelle con un'accelerazione maggiore rispetto a quella calcolata per T_R = 949 anni, come mostrato in relazione Rif. [A16], tali verifiche restano valide, per cui:

Max. UC passerella tipica = 0.43 < 1.0

Max UC passerella punto fisso = 0.50 < 1.0

Le passerelle sono in grado di resistere all'azione sismica calcolata con uno spettro allo SLV con T_R = 949 anni, assumendo una vita nominale V_N = 50 anni in ottemperanza alle prescrizioni delle NTC2018 (Rif.[B1]).

4.6 PASSERELLE DI SOSTEGNO TUBO GAS

Le passerelle di sostegno tubo gas sono state verificate per un sisma calcolato con spettro di risposta avente T_R = 475 anni allo SLV, legato ad una vita nominale V_N = 25 anni, da cui si ottiene un'accelerazione spettrale pari a $S_{475}(T_1)$ = 0.15g. Le passerelle sono state verificate per un'accelerazione di $S_d(T)$ = 0.20g, a favore di sicurezza (Rif. [A17]).

Le passerelle di sostegno sono state riverificate per lo spettro di risposta calcolato per una vita nominale V_N = 50 anni (spettro SLV con T_R = 949 anni) in ottemperanza alle prescrizioni delle NTC2018 (Rif.[B1]): da questo spettro si ottiene un'accelerazione spettrale $S_{949}(T_1)$ = 0.195g ≤ $S_d(T)$ = 0.20g.

Avendo eseguito le verifiche sismiche delle passerelle con un'accelerazione maggiore rispetto a quella calcolata per T_R = 949 anni, come mostrato in relazione Rif. [A17], tali verifiche restano valide, per cui:

Max. UC PAS-TG2 = 0.55 < 1.0

Max. UC PAS-TG3 = 0.85 < 1.0

Max. UC PAS-TG5 = 0.61 < 1.0

Max. UC PAS-TG7 = 0.40 < 1.0

Le passerelle di sostegno sono in grado di resistere all'azione sismica calcolata con uno spettro allo SLV con T_R = 949 anni, assumendo una vita nominale V_N = 50 anni in ottemperanza alle prescrizioni delle NTC2018 (Rif.[B1]).

4.7 STRUTTURA DI SUPPORTO RISER-JTUBES

La struttura di supporto delle clampe del riser e dei Jtubes è stata verificata per un sisma calcolato con spettro di risposta avente T_R = 475 anni allo SLV, legato ad una vita nominale V_N = 25 anni (Rif.[A13]).

La struttura è stata riverificata per lo spettro di risposta calcolato per una vita nominale V_N = 50 anni (spettro SLV con T_R = 949 anni) in ottemperanza alle prescrizioni delle NTC2018 (Rif.[B1]), calcolando l'incremento della forza sismica precedentemente utilizzata per il periodo naturale della struttura: $S_{949}(T_1)$/ $S_{475}(T_1)$ = 1.26.

Per le verifiche, gli UC_{475} calcolati per lo spettro con T_R = 475 anni sono stati incrementati del 26%, così come le azioni sui pali.

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

Si ottiene:

Max. UC strutturale = UC_{949} = 0.73 < 1.0

Max UC capacità portante pali = UC_{949} = 0.88 < 1.0

La struttura di sostegno del riser e dei jtubes è in grado di resistere all'azione sismica calcolata con uno spettro allo SLV con T_R = 949 anni, assumendo una vita nominale V_N = 50 anni in ottemperanza alle prescrizioni delle NTC2018 (Rif.[B1]).

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

5 DESCRIZIONE PIATTAFORMA DI SCARICO

In Figura 5-1 viene rappresentata la nuova piattaforma di scarico.

È costituita da un deck 54x48m, a sua volta costituito da due semideck, che poggia sulle quattro gambe del Jacket e su due false gambe nei lati nord e sud.

Il Jacket poggia su un fondale variabile tra -14.0m e -18.0m s.l.m.m.. Dentro le gambe del jacket, sono inseriti i pali di fondazione, con una profondità di infissione di c.ca 78m.

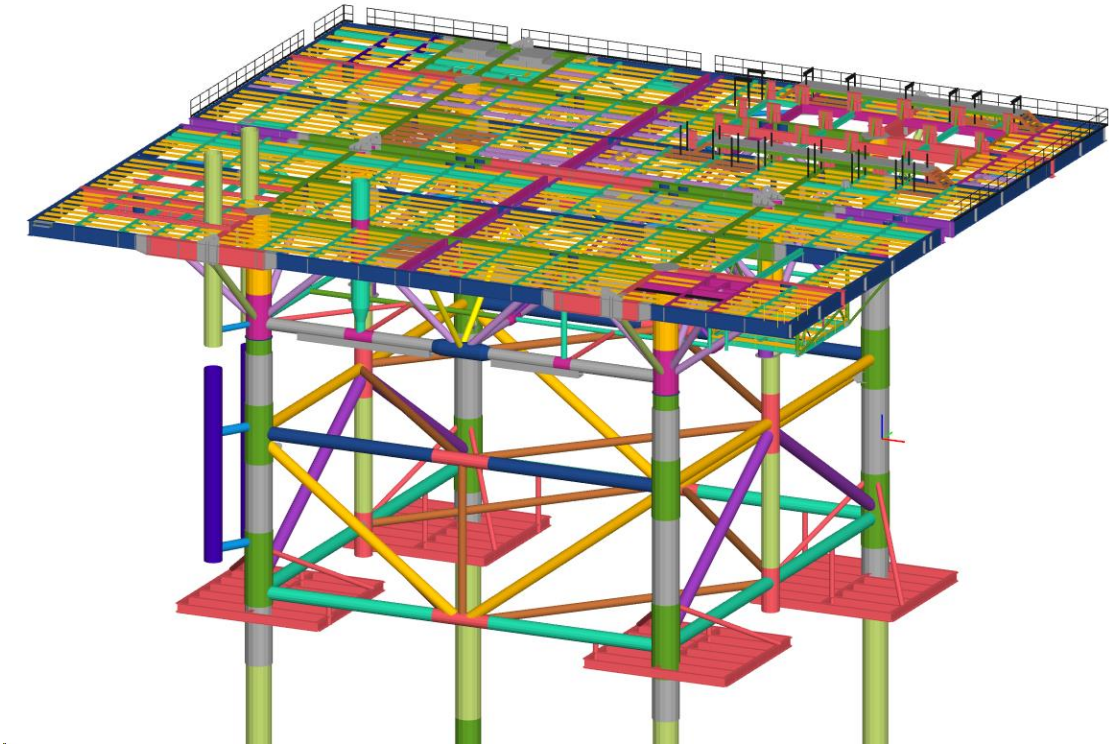


Figura 5-1: Nuova piattaforma di scarico

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

5.1 DECK

Il deck è costituito da due semideck, formando un impalcato di travi sorrette da strutture reticolari, connesse a due gambe principali e due secondarie, di connessione con il Jacket.

Sull'impalcato sono presenti:

- Gru da 40t
- Fiaccola con struttura triangolale con interasse fra vertici 2.5m e altezza 30m.
- N.2 Bracci di carico da 55t
- Condotte e valvole
- Locali pompe
- Serbatoi
- Scalandrone
- Cabinato di controllo
- Impianti

Le caratteristiche dell'impalcato sono:

- Dimensioni globali: 54.0mx48.0mx9.5m
- Dimensioni semideck: 54.0mx23.25m
- Interasse gambe principali: 32.0mx29.0m
- Interasse gambe e false gambe: 15.25m

Quote di riferimento (s.l.m.m.):

- Deck – piano principale: El. +11.50m
- Deck – piano inferiore: El. +4.00m
- Intersezione deck-pali: El. +3.00m

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

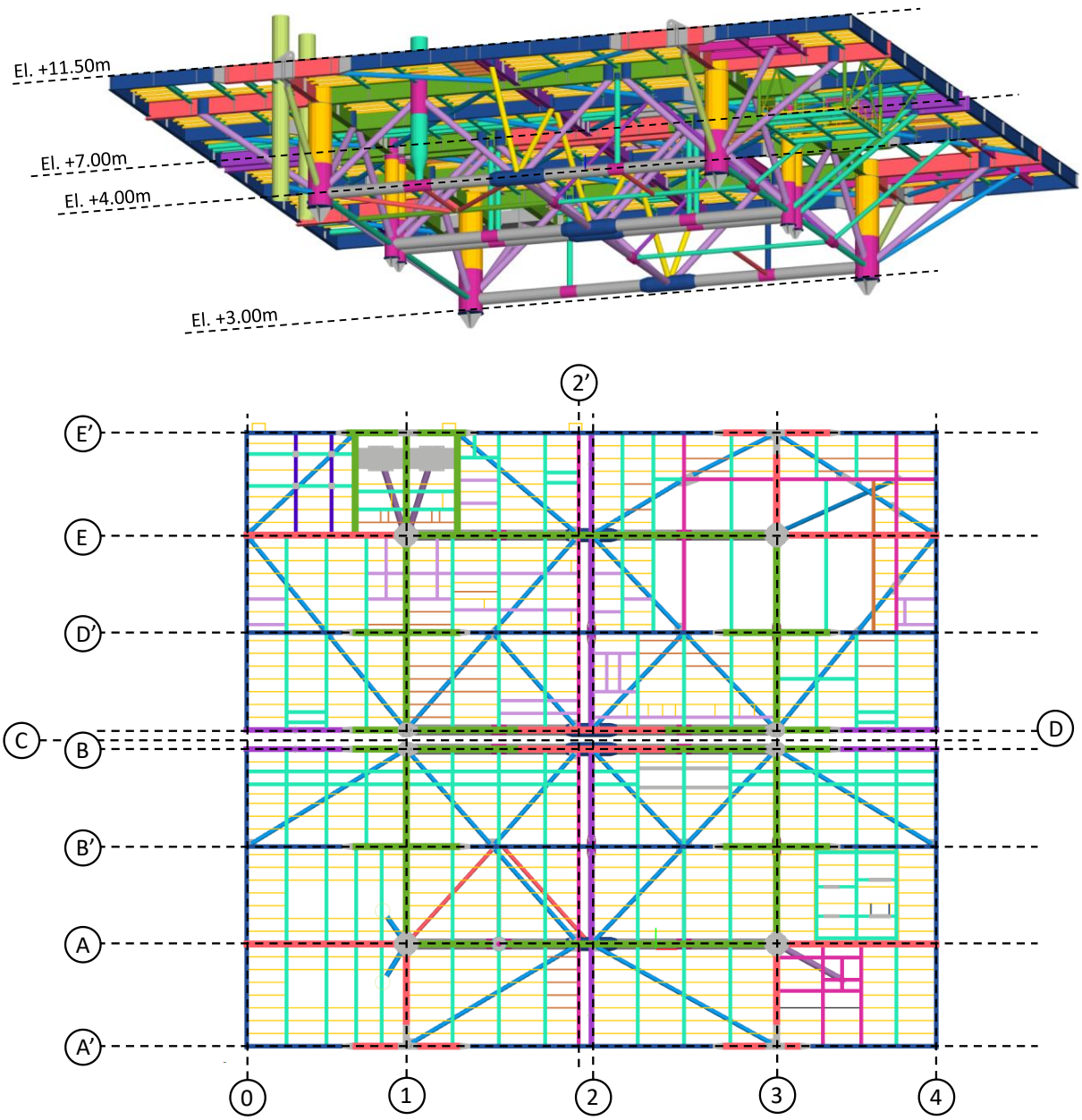


Figura 5-2: Piattaforma di scarico: Deck

5.2 JACKET

Il Jacket è costituito da una struttura principale a pianta rettangolare 29mx32m, da quattro gambe principali e da due false gambe per l'alloggiamento dei due semideck.

Poggia direttamente sul fondale, variabile fra -14.0m e -18.0m s.l.m.m., e all'interno delle sue quattro gambe principali vengono inseriti i pali per l'infissione al suolo.

È caratterizzato da un sistema di controventi a V per l'assorbimento delle forze orizzontali.

Le principali caratteristiche del Jacket sono:

- Altezza totale: 21.0m
- Due orizzontamenti alle quote: El. -3.40m; -14.15m
- Interasse gambe principali: 29.0mx32.0m
- Quota superiore: El. +2.0m
- Quota inferiore: El. -19.0m
- Dimensioni pali di fondazione: Φ1675mm x 92m (lunghezza Infissione 75m)

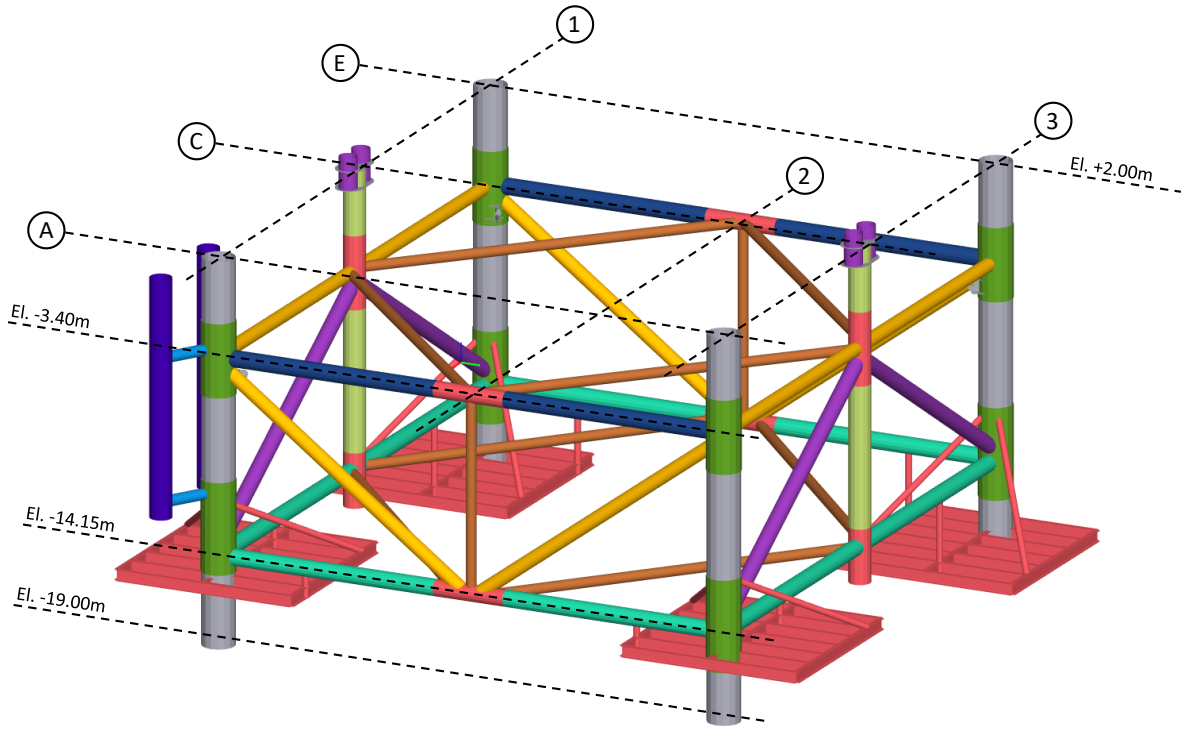


Figura 5-3: Piattaforma di scarico: Jacket

6 CRITERI DI PROGETTAZIONE

6.1 MATERIALI

I parametri ingegneristici riguardanti l'acciaio utilizzato, 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

Nota: Per i materiali utilizzati nei nodi e piastre con carichi passanti per lo spessore, e con spessore uguale o superiore a 25 mm, si applica il requisito supplementare di materiale Z.

I profili devono essere selezionati fra quelli europei (ad esempio HEB, HEA, IPE, UAP).

La tensione di snervamento minima dell'acciaio in funzione dello spessore della lamiera è riportato in Tabella 6-3.

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 (presi al 50%)
- 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

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

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

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

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.

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 Rf.[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.

6.3 CRITERI DI ACCETTAZIONE

6.3.1 Elementi della struttura

Il progetto delle strutture 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.

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

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

6.3.2 Pali di fondazione

I pali delle strutture saranno progettati per sopportare la massima azione di compressione e trazione che agisce sui pali durante le condizioni sismiche.

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 PIATTAFORMA CARICO/SCARICO

7.1 UNITÀ DI MISURA

Il sistema mi misura internazionale (SI) è utilizzato per tutti i calcoli effettuati.

7.2 SISTEMA DI RIFERIMENTO

Il sistema di riferimento ha origine sul livello medio del mare (l.m.m.), con le seguenti caratteristiche (vedi Figura 7-1):

- L'asse X positivo è rivolto in direzione del lato Nord della piattaforma;
- Lasse Y positivo è rivolto in direzione del lato Ovest della piattaforma;
- L'asse Z positivo è rivolto verso l'alto.

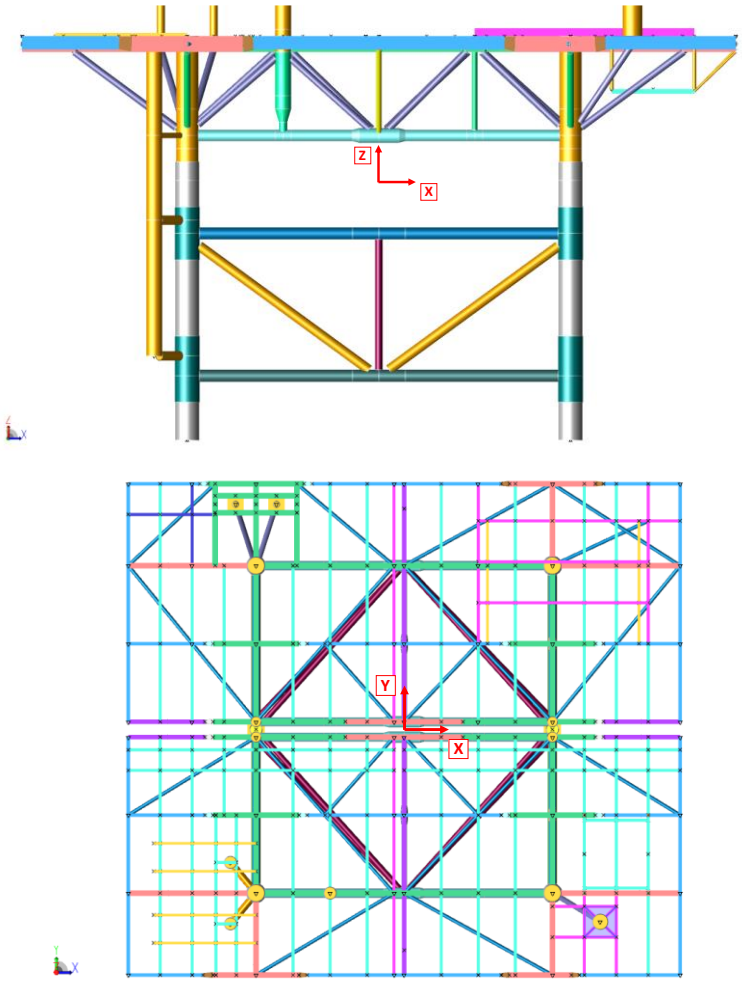


Figura 7-1: Sistema di riferimento del modello

7.3 PROGRAMMA DI CALCOLO

Il software utilizzato per l'analisi in oggetto è il SACS v.16.0 (Rif. [B20]).

7.4 MODELLO DI CALCOLO

È stato prodotto un modello di calcolo tridimensionale, in ambiente SACS (Rif. [B20]), che riproduce la piattaforma di scarico in tutti i suoi elementi principali.

Sono stati modellati:

- La struttura principale del Jacket (gambe, diagonali, nodi, controventi, elementi orizzontali e verticali
- La struttura principale del deck (piano orizzontale, gambe, diagonali)
- I pali di fondazione fino alla quota del fondo (-18.0m)
- Caissons
- Fiaccola
- Gru
- Bracci di carico

Le strutture secondarie (ad es. travi secondarie, grigliati, piastre, mudmats, anodi ecc.) sono inserite a modello come carichi.

Gli equipaggiamenti e il piping sono inseriti a modello come carichi. Bracci di carico, gru e fiaccola sono stati modellati tenendo conto della loro distribuzione di massa, in modo da stimare correttamente i modi principali e le sollecitazioni da queste applicate sulla struttura.

Il modello 3D della piattaforma di scarico è rappresentato in Figura 7-2.

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

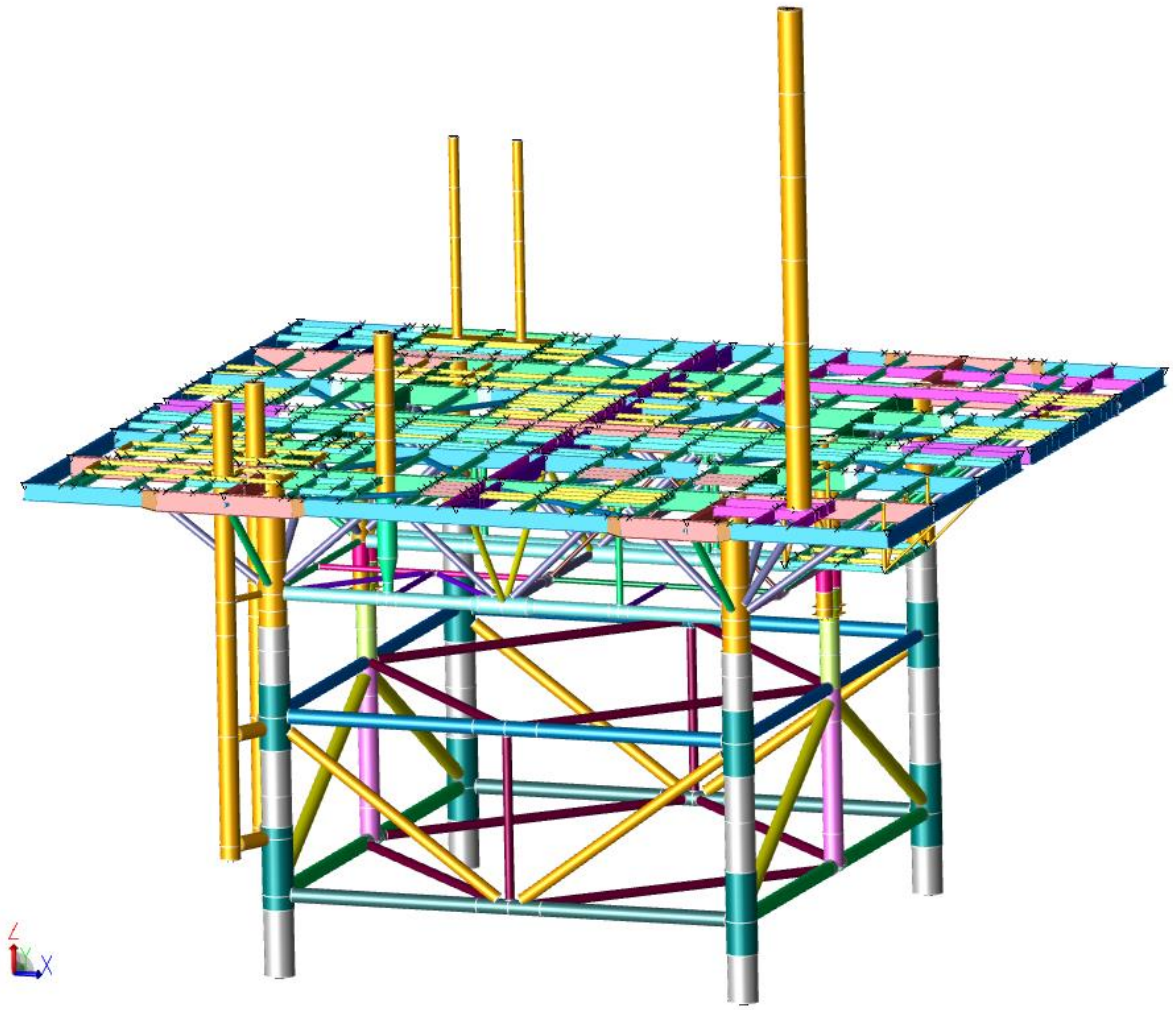


Figura 7-2: Modello SACS della piattaforma

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

7.4.1 Criteri di Modellazione

Di seguito sono illustrati i criteri di modellazione utilizzati:

- Gli elementi trave (beam) sono modellati da punto a punto; i profili tubolari sono modellati lungo il proprio asse, mentre i profilati sono modellati sul bordo superiore, per impostare la quota in maniera corretta. Gli assi locali di ogni trave sono x (assiale), y e z. La connessione fra travi avviene ai nodi di estremità.
- Le travi vengono caratterizzate dalla loro sezione, materiale (densità γ, snervamento F_y), e dalle lunghezze di libera inflessione (L_y, L_z) e di sbandamento laterale (L_b)
- Le piastre vengono modellate a partire dai punti delle travi, sulla superficie media, a cui vengono assegnati materiale (densità γ, snervamento F_y) e spessore.
- Alle travi vengono assegnati eventuali "release" agli estremi, ovvero vengono svincolate alle estremità in accordo alla loro connessione reale. L'assegnazione di un release avviene settando il valore del corrispondente grado di libertà interno in quella direzione in "1", lasciando "0" quando si vuole mantenere il vincolo. Ogni estremità possiede 6 gradi di libertà, in accordo al sistema di riferimento locale: primi tre gradi di libertà sono le traslazioni del nodo di estremità lungo le tre direzioni locali, gli altri tre sono le rotazioni attorno agli stessi assi. I *release* interni assegnati sono mostrati in Figura 7-5.
- Ai punti vengono assegnati dei vincoli esterni, vengono vincolati i gradi di libertà di un punto (6 totali) andando a impostare il valore di "1" a quel grado di libertà, lasciando il valore di "0" se vuole mantenersi lo sposamento lungo quella direzione. I primi tre gradi di libertà sono le traslazioni del punto lungo le tre direzioni globali, gli altri tre sono le rotazioni attorno agli stessi assi.
- I pali sono modellati come elementi trave fino all'intersezione col fondo del mare. Lì viene assegnato un particolare vincolo al nodo di base, chiamato "PILEHD", e la restante parte del palo viene modellata attraverso il modulo PSI del SACS, come descritto al par. 7.5. Il sistema di vincolo del modello è rappresentato in Figura 7-3.
- I pali sono connessi alle gambe del Jacket in tre punti: in corrispondenza dei due piani orizzontali, in cui si scambiano solo forze di taglio, e in sommità alla gamba del jacket, tramite una "crown plate", in cui si scambiano anche forze verticali. La connessione fra i due elementi nei punti di contatto in corrispondenza dei piani orizzontali viene modellata con dei "Wishbones", elementi dummy adimensionali e senza peso, che permettono la connessione fra i due elementi tra due punti coincidenti e permettendo lo scambio di sole forze orizzontali.
- Gli elementi allagati vengono definiti assegnandovi la proprietà "flooded", in questo modo si considera la presenza d'acqua all'interno di quell'elemento. La proprietà è mostrata in Figura 7-6.
- La massa del modello, in parte modellata e in parte assegnata come carico, viene concentrata in alcuni punti chiave della struttura come massa inerziale per calcolarne i modi principali (metodo delle masse concentrate), assegnando a tali punti il valore di "2" ai gradi di libertà traslazionali (es. "222000" per considerare la massa inerziale nelle tre direzioni principali). I gradi di libertà rotazionali danno contributi trascurabili ai modi della struttura. La definizione delle masse concentrate è mostrata in Figura 7-4.

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

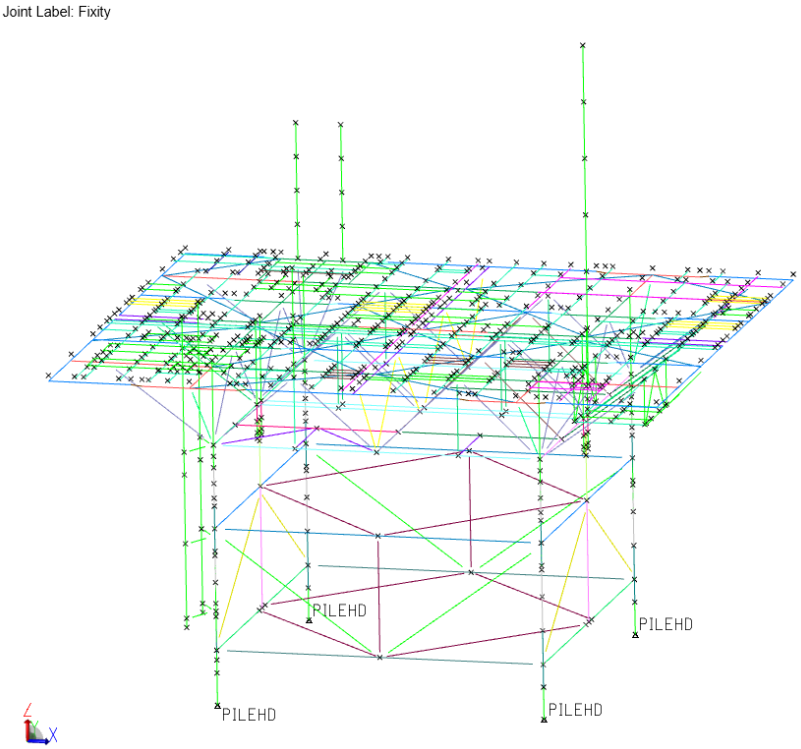


Figura 7-3: Modello SACS - Vincoli esterni: testa pali

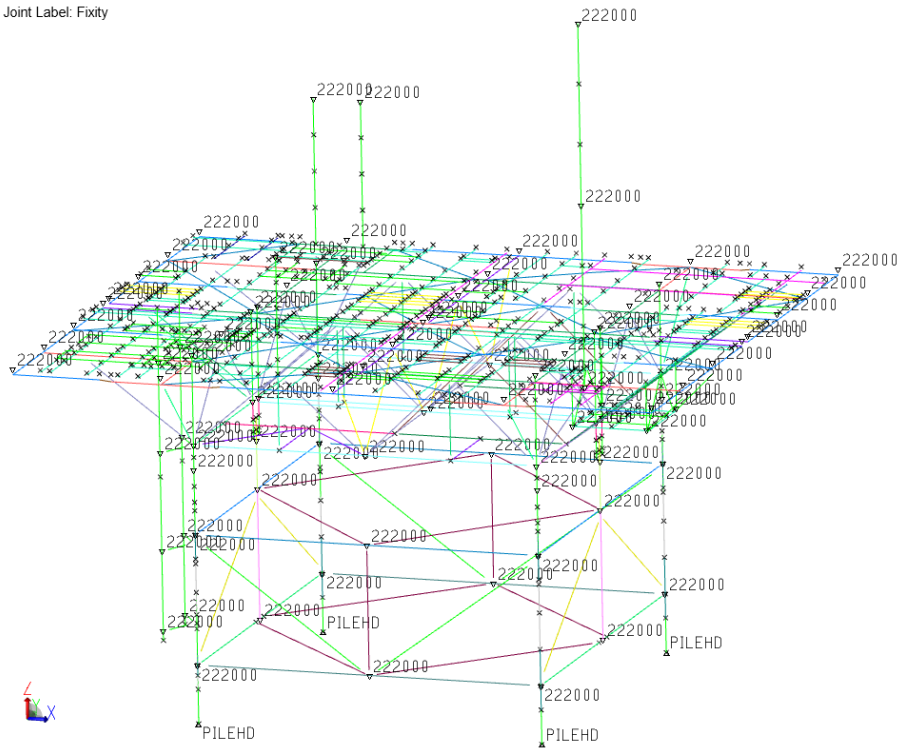


Figura 7-4: Modello SACS – Masse concentrate

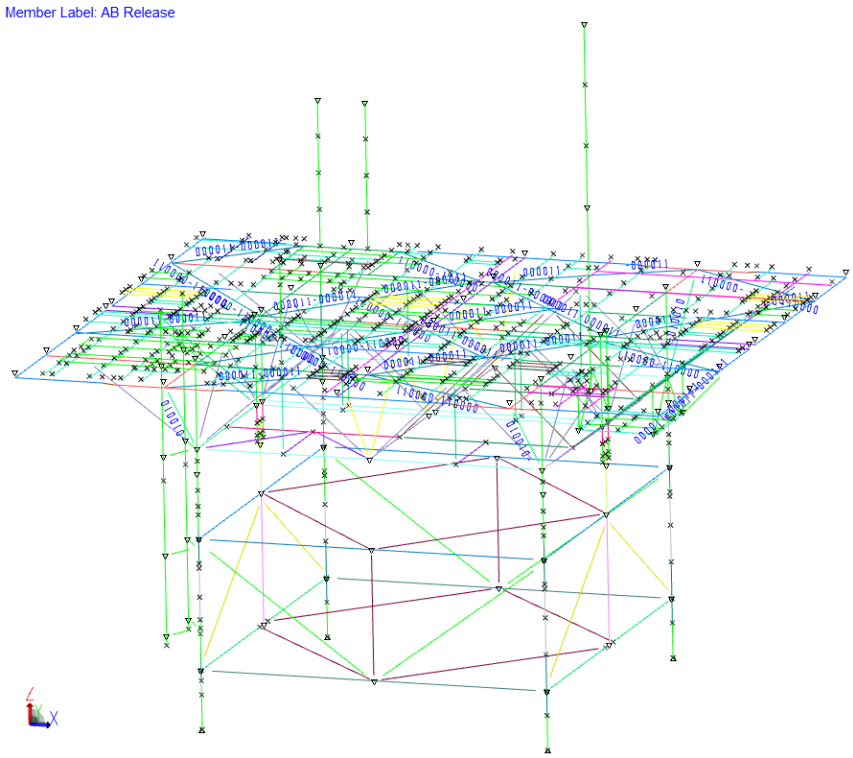


Figura 7-5: Modello SACS - *releases* interni

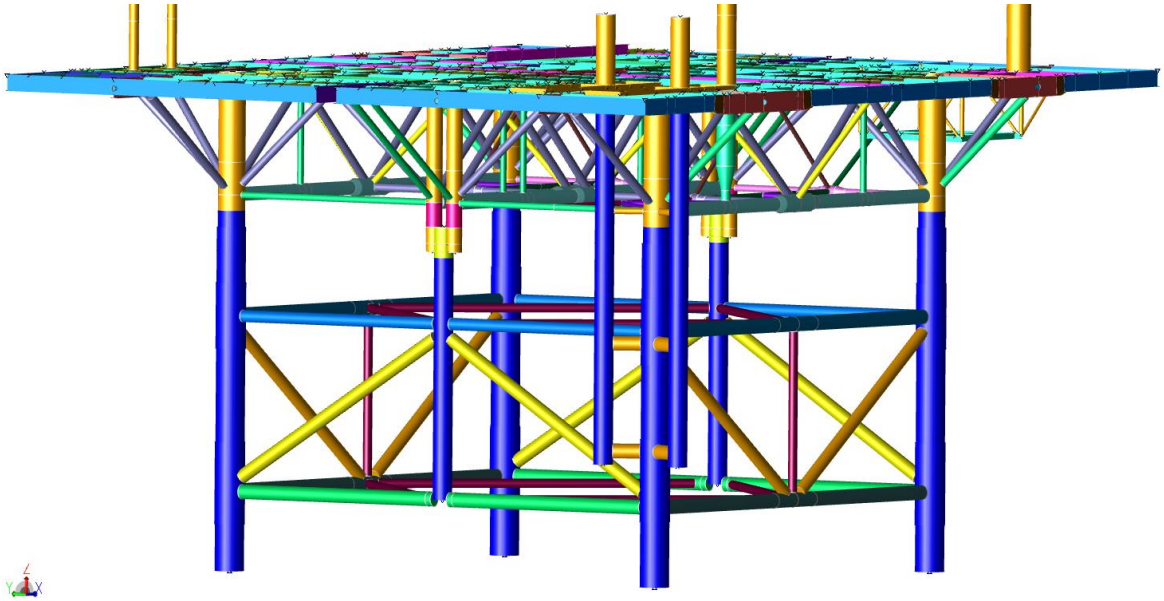


Figura 7-6: Modello SACS – Elementi allagati (*flooded*)

7.5 MODELLAZIONE DELLA FONDAZIONE

I pali del Jacket, battuti all'interno delle sue gambe, e connesse alla loro sommità tramite una "crown plate", sono modellati all'interno del terreno (sotto il fondo a -18.0m) usando il modulo SACS^{TM} PSI (Pile – Structure – Interaction), in modo da tener conto della loro geometria e dell'interazione suolo-struttura, considerando il comportamento non-lineare del terreno sullo sviluppo trasversale e longitudinale del palo.

La porzione di palo sotto il fondale marino è modellata nel modulo PSI con le corrette proprietà di lunghezza, sezioni, materiale, e peso fino alla sua massima profondità di infissione. Nel modello SACS, i nodi corrispondenti alla testa dei pali, vincolati alla quota -18.0m s.l.m.m. con la proprietà "PILEHD", vengono caratterizzati da delle molle non lineari che tengono conto dell'interazione palo-terreno durante l'analisi.

Il suolo, caratterizzato dalle proprietà riportate al Par.8.3, è stato modellato con il modulo PSI tramite le sue curve T-z, che simulano il comportamento assiale lungo il palo, le curve Q-z che rappresentano la portata di punta del palo alla quota di infissione raggiunta, e le curve P-y che ne modellano il comportamento orizzontale. Tali curve sono state generate dal PSI in accordo alle proprietà del suolo, secondo l'approccio API (Rif. [B19]).

Le proprietà dei pali sotto il fondale marino sono riportate in Tabella 7-1.

Palo	Sezione	Spessore	Lunghezza di infissione
Gamba A1, A3, E1, E3	Φ 1675 mm	60 mm	13.05 m
Gamba A1, A3, E1, E3	Φ 1675 mm	40 mm	64.90 m

Tabella 7-1: Composizione pali sotto il fondale marino

Dalle curve di capacità del palo, calcolate nella Relazione Geotecnica (Rif.[A14]), e riportate in APPENDICE C, sono ricavate:

- Max. Compressione di progetto: R_{cd} = 18.35 MN
- Max. Trazione di progetto: R_{td} = 12.55 MN

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

8 DATI DI PROGETTO AMBIENTALI

8.1 DATI METEO-MARINI

I dati meteomarini sono riportati nei documenti:

- NQR22199/L02-0001-LF-E-05000 Dati di Base Meteomarini di Progetto [A3]
- 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 è variabile da -14m (lato est) a -18.00m (lato ovest) s.l.m.m.

Viene assunto per i calcoli la quota a -18.00m, 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.

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

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

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]).

Si riporta in questa sezione la definizione dello spettro di risposta di progetto per lo Stato limite di Salvaguardia alla Vita "SLV", ai sensi delle NTC2018 (Rif. [B1]), definito attraverso l'utilizzo del software fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

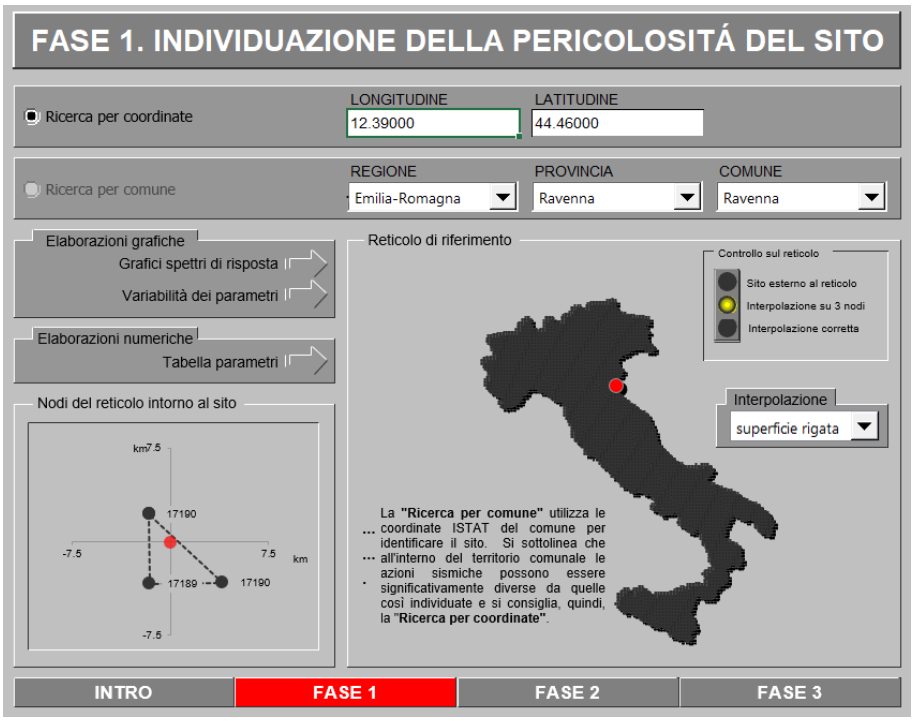
In questo documento, viene assunta una vita nominale della struttura V_N = 50 anni, in ottemperanza alle prescrizioni imposte dalla NTC2018 (Rif.[B1]), superiore ai 25 anni di vita di progetto delle strutture. Lo scopo di questo documento è dimostrare che la struttura della piattaforma e le altre strutture secondarie sono in grado di sopportare le accelerazioni del sisma calcolato per V_N = 50 anni (T_R = 949 anni allo SLV).

Il calcolo della forza sismica per V_N = 25 anni per cui la struttura è stata verificata positivamente sono riportate nella relazione "Piattaforma – Deck + Jacket + Pali – Analisi Sismica (Rif.[A12]).

Di seguito verrà definito lo spettro di risposta di progetto per V_N = 50 anni.

L'individuazione delle coordinate della piattaforma Petra nella tavola "Layout generale del pontile – disegno di tracciato georeferenziato" (Doc. 0001-CB-B-017537) restituisce:

- Latitudine: 44°27'50.5235'' N
- Longitudine: 12°23'53.4877'' E



Di seguito si elencano i dati sismici ipotizzati per la definizione dello spettro di risposta di progetto:

- Vita nominale della struttura: **50 anni**
- Classe d'uso: IV (C_U = 2)
- Periodo di riferimento: **V_R = 50*2 = 100 anni**



I parametri sismici caratterizzanti il sito in esame per diversi tempi di ritorno sono riportati in Tabella 8-1.

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0.051	2.507	0.285
SLD	101	0.065	2.487	0.293
SLV	949	0.162	2.573	0.291
SLC	1950	0.212	2.517	0.298

Tabella 8-1: Parametri sismici al variare del tempo di ritorno T_R

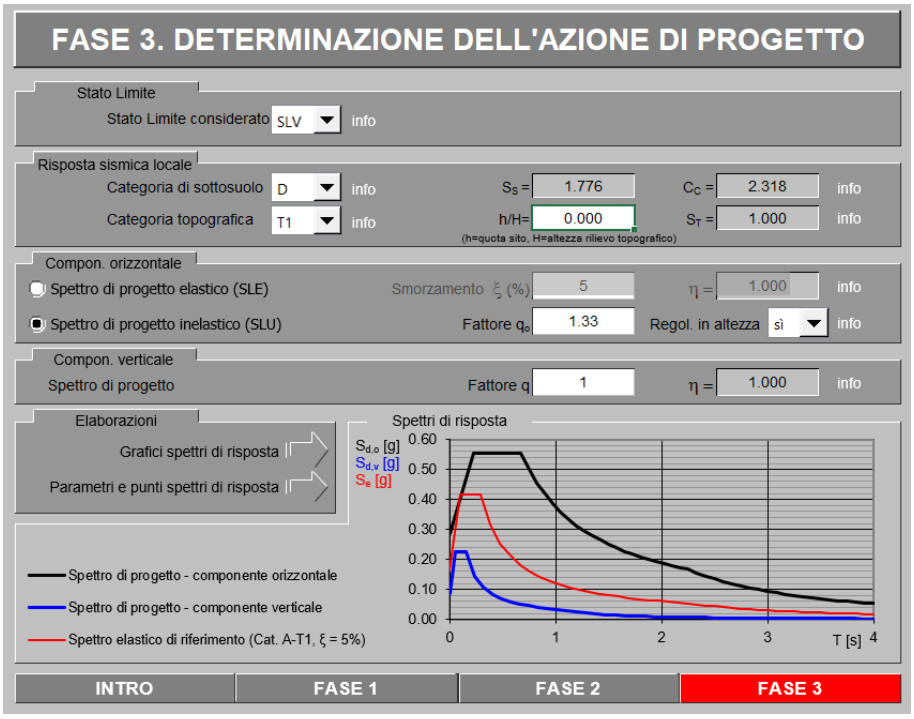
Di seguito sono elencati i parametri riguardanti suolo e topografia, in accordo al report geotecnico (Rif. [A14]):

- Tipo di categoria del suolo: D
- Categoria topografica: T1

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

Per la definizione dello spettro di risposta allo SLV per le verifiche strutturali (T_R = 949 anni), si assumono i seguenti parametri, secondo quanto prescritto nella sezione 7.3.1 delle NTC2018 (Rif. [B1]):

- Classe di duttilità: Struttura non dissipativa (a favore di sicurezza)
- Fattore di comportamento base: q_0 = 2.0 (Tab. 7.3.II, NTC2018 [B1] "Strutture in acciaio con controventi concentrici a V")
- Coefficiente di regolarità in altezza: K_R = 1.0 (regolare)
- Fattore di struttura a bassa duttilità: $q_{CD"B"} = q_0 * K_R$ = 2.0 ([7.3.1], NTC2018 [B1])
- Fattore di struttura non dissipativa: $q_{ND} = 2/3*q_{CD"B"}$ = 1.33
- Fattore di comportamento verticale: q_v = 1.0



Nella figura seguente sono riportati gli spettri di risposta di progetto secondo NTC2018 (Rif.[B1]).

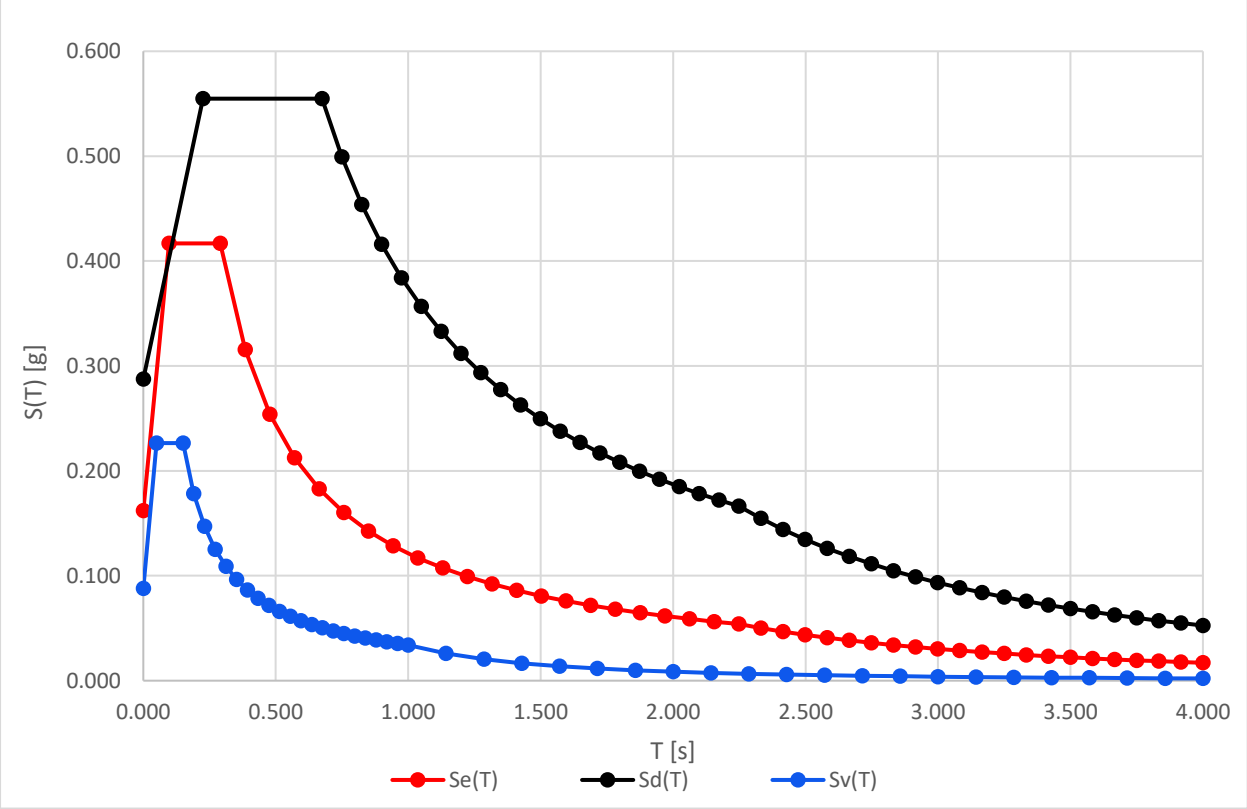


Figura 8-1: Spettri di Risposta di progetto

8.3 DATI GEOTECNICI

I dati geotecnici sono riportati nel documento:

- NQR22199/L02-0001-LF-E-05400- Dati Generali di Progetto Rif. [A2]
- 0001-CI-E-012500 – Relazione Geotecnica Rif. [A14]

I dati geotecnici sono riassunti in Tabella 8-2.

STRATI	Profondità	Tipo di terreno	γ		φ'	Cu		c'
/	*m*	/	*t/m3*	*kN/m3*	°	*KPa*	*KN/cm2*	*KPa*
1)Da 0 a -15	0-5 5m-10m 10m-15m	Limo- depositi normalconsolidati	1.8	18	22	5.8 18 29	0.00058 0.0018 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 8-2: Dati geotecnici di progetto

NB: i valori riportati nella tabella precedente sono ridotti del 20%, in favore di sicurezza, essendo riferiti all'indagine geotecnica eseguita nel 1984.

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

9 ANALISI SISMICA PIATTAFORMA CARICO/SCARICO

9.1 INTRODUZIONE

L'analisi sismica viene eseguita seguendo il metodo dello spettro di risposta utilizzato per valutare la risposta della piattaforma 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 viene linearizzato con il taglio sismico e applicando alla base del modello 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 superiore all'85% (secondo NTC2018 Rif.[B1]) 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.

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 della struttura per carichi verticali (SACS);
2. Linearizzazione della fondazione (SACS PSI);
3. Analisi modale della struttura ed estrazione dei modi (SACS DYNPAC);
4. Analisi dinamica e calcolo della risposta mediante spettri di risposta e combinazione modale CQC (SACS DYNAMIC RESPONSE);
5. Combinazione delle risposte sismiche direzionali SRSS e combinazione con risposta statica (SACS DYNAMIC RESPONSE);
6. Verifica degli elementi strutturali (SACS POST);
7. Verifica dei pali (SACS PSI).

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

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 sommarle alle sollecitazioni inerziali dovute alla risposta sismica.

L'analisi statica viene eseguita utilizzando il modello dell'analisi in servizio (Rif. [A12], [A13]) ed i relativi carichi gravitazionali.

9.2.1 Carichi gravitazionali

I carichi considerati per questa analisi sono quelli gravitazionali, di seguito riportati.

Secondo le ISO 19902 (Rif. [B4]) e le NTC2018 (Rif. [B1]) i carichi sono divisi nelle seguenti categorie:

- Azioni Permanenti (G_1, G_2);
- Azioni Variabili (Q_1, Q_2);
- Azione Sismica (E)

I coefficienti parziali delle azioni per la condizione sismica sono riportati nella tabella seguente:

ANALISI SISMICA	Coefficienti Parziali delle Azioni	
Caso Base	Gravità G	Cond. Sismica SLV1
G_1	1.0	1.0
G_2	1.0	1.0
Q_1	1.0	1.0
Q_2	1.0	1.0
E	-	1.0

Tabella 9-1: Coefficienti parziali azioni per condizioni in servizio

Fra le azioni permanenti rientrano:

- Peso proprio delle strutture
- Carichi di galleggiamento
- Peso accrescimento marino
- Peso proprio di piping ed equipaggiamenti

Fra le azioni variabili rientrano:

- Zone di passaggio 4.0 kN/m^2
- Zone di manutenzione 9.0 kN/m^2
- Zone di carico/scarico (laydown) 15.0 kN/m^2

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

Nota: per l'analisi sismica i carichi variabili vengono considerati al 50%.

Fra le azioni ambientali rientrano:

- Azione Sismica (Spettro di risposta)

L'assegnazione dei carichi gravitazionali è ampiamente discussa nei report relativi all'analisi statica in servizio del Jacket (Rif.[A10]) e del Deck (Rif.[A11]); si rimanda a tali relazioni per una descrizione dettagliata. Di seguito vengono riportati i carichi considerati in questa analisi con i relativi valori.

1. Peso Proprio strutturale - DEAZ

Il peso proprio della struttura modellata (Jacket, Deck, Caissons, Pali) viene automaticamente calcolato dal software SACS, utilizzando le proprietà sezionali, la lunghezza e la densità dei vari elementi, includendo un 10% di incremento per contingency, e tenendo conto delle forze di galleggiamento sugli elementi immersi e dell'accrescimento marino.

Loadcn	Descrizione	Fz [kN]
DEAZ	Peso strutture modellate, accrescimento marino, galleggiamento	14963
TOTALE		**14963**

Tabella 9-2: Peso strutture modellate – LOADCN DEAZ

Si riportano separatamente i contributi al peso totale (DEAZ) delle parti strutturali, della buoyancy e dell'accrescimento marino nella seguente tabella.

Loadcn	Componente	Contributo	Fz [kN]
DEAZ	Struttura	Deck	8395
		Jacket	5079
		Pali	1895
	Tot. Struttura		15369
	Accr. marino	Accr.marino	5854
	Buoyancy	Struttura	-2948
		Accr. marino	-3312
	Tot. Buoyancy		-6260
TOTALE			**14963**

Tabella 9-3: Contributi strutture modellate, accr. marino, buoyancy – LOADCN DEAZ

Di seguito viene riportato un estratto dell'output del SACS in cui sono elencati separatamente i contributi alla condizione di carico DEAZ: il peso secco degli elementi modellati, il carico da galleggiamento e l'accrescimento marino.

```
                    ****** RESULTS FOR LOAD CASE DEAZ ******
                     DEAD
                  ****** SUMMARY OF SEASTATE GENERATED DEAD AND BUOYANCY LOADS ******

                                              WATER DEPTH =       18.000 M.

                                           ELEMENT WEIGHT =    15368.735 KN
                                     MARINE GROWTH WEIGHT =     5854.061 KN

                                         TOTAL DEAD WEIGHT  =    21222.768 KN
                                    CENTER OF GRAVITY  -X-   =       -0.350 M.
                                                       -Y-   =       -0.764 M.
                                                       -Z-   =       -1.332 M.

                                           ELEMENT BUOYANCY =     2948.028 KN
                                     MARINE GROWTH BUOYANCY =     3311.999 KN

                                  TOTAL BUOYANCY LOAD (DISPLACEMENT) =     6260.025 KN
                                         CENTER OF BUOYANCY  -X-   =       -0.648 M.
                                                             -Y-   =       -0.653 M.
                                                             -Z-   =       -8.816 M.
                                    *NOTE: BUOYANCE LOAD SHOWN BASED ON MARINE METHOD

                  ****** SUMMATION OF FORCES AND MOMENTS FOR LOAD CASE DEAZ ******
                         (MOMENTS ABOUT MUDLINE AT ELEVATION  -18.00 M.  )

                                SUM FX        SUM FY        SUM FZ        SUM MX        SUM MY        SUM MZ
                                 KN            KN            KN            KN-M          KN-M          KN-M

SEASTATE GENERATED                0.000         0.000    -14962.774     12130.923     -3375.718         0.000
        USER INPUT                0.000         0.000         0.000         0.000         0.000         0.000
```

2. <u>Peso strutture non modellate – PERZ</u>

Tutte le strutture secondarie non modellate vengono assegnate come carico.

Tali strutture sono elencate in Tabella 9-4.

Loadcn	Descrizione	Fz [kN]
PERZ	Grigliati 50 kg/m^2	1322
	Travi Secondarie IPE180	431
	Anodi	151
	Mudmats	1080
	Fireproofing	1050
	Corrimani	31
	Piastre	109
	Strutture a completamento	691
TOTALE		**4865**

Tabella 9-4: Strutture non modellate - LOADCN PERZ

3. Piping – PIPZ

Tali carichi sono assegnati secondo la corretta distribuzione in pianta., e tengono conto di un 5% di contingency.

Loadcn	Descrizione	Fz [kN]
PIPZ	Piping	2470
TOTALE		**2470**

Tabella 9-5: Carichi Piping - LOADCN PIPZ

4. Equipaggiamenti

Tali carichi sono assegnati secondo la corretta distribuzione in pianta, includono la contingency e sono elencati in Tabella 9-6.

Loadcn	Descrizione	Fz [kN]
BRAC	Bracci di carico 2 x 55 tons	1100
GRU	Gru da 45 ton	450
CATR	Cable tray + fireproofing	1505
CTRZ	Cabinato di controllo	1776
SCAL	Scalandrone	150
RACK	Piperack	2121
EQES	Equipaggiamenti lato EST (Serbatoi, locali pompe, trappola...)	3341
EQWE	Equipaggiamenti lato OVEST (Serbatoi, skid, cabinati...)	693
TOTALE		**9265**

Tabella 9-6: Carichi Equipaggiamento

La fiaccola è stata modellata con una colonna con sezione equivalente e densità tale da mantenere il peso di 25 ton, in modo da calcolarne il periodo naturale e i modi principali. Il suo carico rientra nella condizione DEAZ.

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

5. Carico variabile distribuito – LIVZ

Viene assegnato in tutte le zone libere il seguente carico variabile, correttamente posizionato a seconda della destinazione dell'area.

Loadcn	Descrizione	Fz [kN]
LIVZ	4.0 kN/m^2	9335
	9.0 kN/m^2	1001
	15.0 kN/m^2	45
TOTALE		**10381**

Tabella 9-7: Carichi Piping - LOADCN LIVZ

Nota: il carico variabile nelle combinazioni sismiche sarà considerato al 50%.

Di seguito si riportano le risultanti delle condizioni di carico gravitazionali:

********** 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	GRU	0.00				0.00				-450.00	-7.25	-16.00	20.00
2	BRAC	0.00				0.00				-1100.00	-14.50	22.00	23.50
3	CATR	0.00				0.00				-1504.99	13.17	1.19	11.10
4	CTRZ	0.00				0.00				-1776.30	14.44	14.56	11.21
5	DEAZ	0.00				0.00				-14962.77	-0.23	-0.81	1.80
6	EQES	0.00				0.00				-3340.79	-5.23	-12.62	11.12
7	EQWE	0.00				0.00				-693.10	-1.29	9.58	11.35
8	LIVZ	0.00				0.00				-10380.88	-0.35	-0.27	11.21
9	PERZ	0.00				0.00				-4864.54	0.22	0.57	4.58
13	PIPZ	0.00				0.00				-2470.00	-5.13	0.44	11.37
14	SCAL	0.00				0.00				-150.00	-21.75	21.10	11.50
15	RACK	0.00				0.00				-2121.40	-1.43	2.24	11.27

Tabella 9-8: Risultanti condizioni di carico gravitazionali

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

9.2.2 Riassunto carichi verticali

Il peso totale della struttura è dato dai contributi esposti nella seguente tabella.

Componente	Peso Modellato	Carico Permanente	Carico Variabile	Totale
Deck	8395	17241	5191*	30827
Jacket	5079	1231		6310
Pali	1895			1895
Accr. Marino	5854			5854
Buoyancy	-6260			-6260
TOTALE				38626

Tabella 9-9: Riassunto carichi verticali

*Carico variabile al 50%.

9.2.3 Combinazione di carico gravitazionale

La combinazione di carichi gravitazionali per analisi sismica secondo la NTC2018 (Rif. [B1]), come descritto ai par.6.2.2 e 9.2.1, è riportata in Tabella 9-11.

	Permanenti										
COMB.	PERZ	PIPZ	RACK	CTRZ	BRAC	CATR	SCAL	GRU	FLAR	EQWE	EQES
STA1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabella 9-10: Pre-combinazioni di carico

COMB.	Permanenti		Variabili
	DEAZ	STA1	LIVZ
STAT	1.00	1.00	0.50

Tabella 9-11: Combinazione gravitazionale statica

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)
22	STAT	0.00				0.00				-38624.34	-0.39	0.19	7.19

Tabella 9-12: Risultanti Combinazioni SLV gravitazionali

9.3 ANALISI MODALE

È stata condotta un'analisi modale della piattaforma, 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. È stato soddisfatto anche il requisito delle ISO 19901 (Rif.[B3]) per cui deve essere raggiunto il 90% delle masse partecipanti.

Le analisi sono state condotte mediante il pacchetto SACS DYN.

9.3.1 Modello Dinamico

Il modello della piattaforma dell'analisi statica in servizio (Rif. [A12]) è stato utilizzato per generare il modello dinamico per l'analisi modale, considerando una riduzione del 50% dei carichi variabili del deck. Per la descrizione del modello di calcolo si fa riferimento al par. 7, mentre i carichi agenti sulla piattaforma sono descritti al par.9.2.

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" come in Figura 9-1, 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.

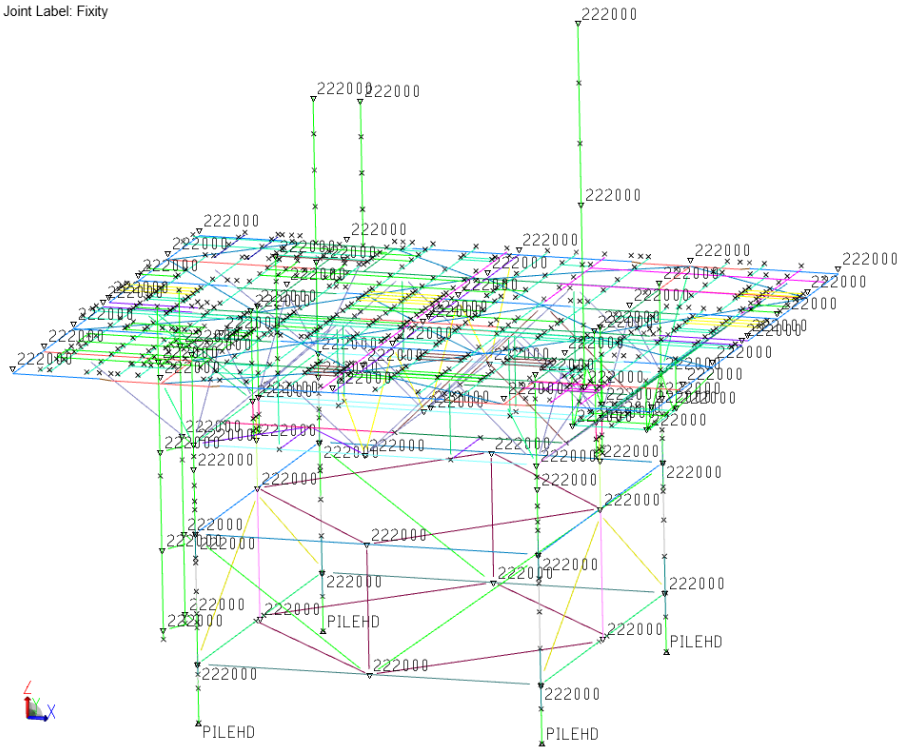


Figura 9-1: Modello a masse concentrate

9.3.2 Linearizzazione della Fondazione

I pali, modellati attraverso il modulo SACS PSI per tener conto dell'interazione non-lineare terreno-fondazione, vengono linearizzati in modo da poter eseguire l'analisi modale (lineare): viene generato il superelemento, che consiste in una matrice di rigidezza lineare contenente le proprietà linearizzate dei pali e del terreno, a partire dalle curve P-y e T-z, inserita a modello in forma di molle elastiche ai punti determinati come testa palo (PILEHD). Le molle simulano il comportamento della fondazione sotto il fondale marino.

La linearizzazione viene effettuata attraverso il modulo SACS PSI, tenendo conto dei carichi verticali del modello e delle forze orizzontali pari ai tagli sismici nelle due direzioni principali.

9.3.3 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).

Le masse del deck, del jacket e degli equipaggiamenti (modellati o assegnati come carichi) sono trasformate in carichi e concentrate ai punti come descritto al par.9.3.1. 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.

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

********** WEIGHT AND CENTER OF GRAVITY SUMMARY **********

********** ITEM DESCRIPTION **********	********** WEIGHT ********** X KN	Y KN	Z KN	******** CENTER OF GRAVITY ******** X M	Y M	Z M
MEMBER ELEMENTS	20875.190	20875.190	20875.190	-0.328	-0.741	-1.381
MEMBER ELEMENT NORMAL ADDED MASS	6473.367	6278.522	4287.607	-1.241	-1.157	-8.940
FLOODED MEMBER ELEMENT ENTRAPPED FLUID	3926.566	3926.566	3926.566	-1.052	-1.042	-8.696
LOAD CASES CONVERTED TO WEIGHTS	23661.518	23661.518	23661.518	-0.499	0.826	10.800
********** TOTAL **********	54936.642	54741.797	52750.882	-0.561	-0.133	2.924

Tabella 9-13: Masse per analisi modale

Dall'analisi modale eseguita sulla base di quanto esplicato e delle masse sopraindicate, vengono estratti i primi 32 modi di vibrare della struttura, tali da raggiungere la soglia del 90% della massa partecipante nelle tre direzioni principali.

Nella Tabella 9-14 i tre modi principali della struttura vengono riportati:

Modo	Descrizione	Frequenza [Hz]	Periodo [s]
5	1° modo traslazionale in direzione X	0.486	2.056
6	1° modo traslazionale in direzione Y	0.494	2.025
7	1° modo torsionale attorno a Z	0.542	1.846

Tabella 9-14: Modi di vibrare principali della struttura

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

Nota: il primo modo principale della struttura è il numero 5; i modi da 1 a 4 sono i modi locali dei bracci di carico. Sono stati modellati bracci di carico, fiaccola e gru in modo da coglierne i modi principali per le verifiche locali del deck attorno a questi elementi.

Di seguito vengono riportate le tre forme modali principali.

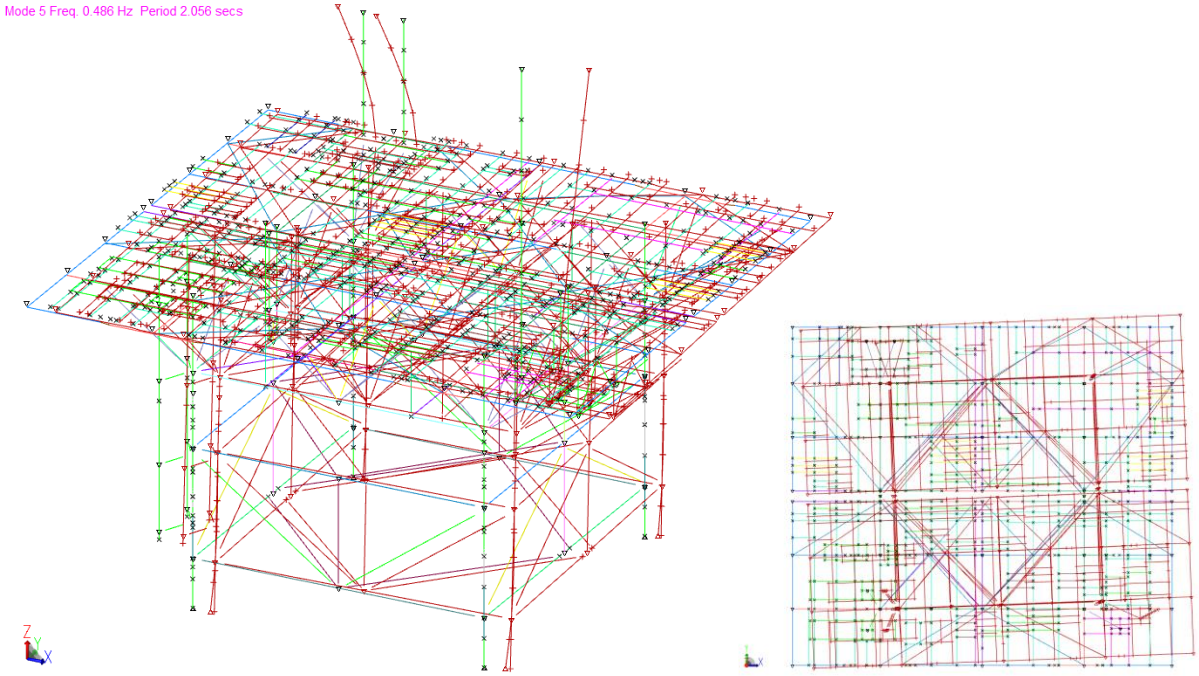


Figura 9-2: Modo principale trazlazionale in X (T = 2.06s)

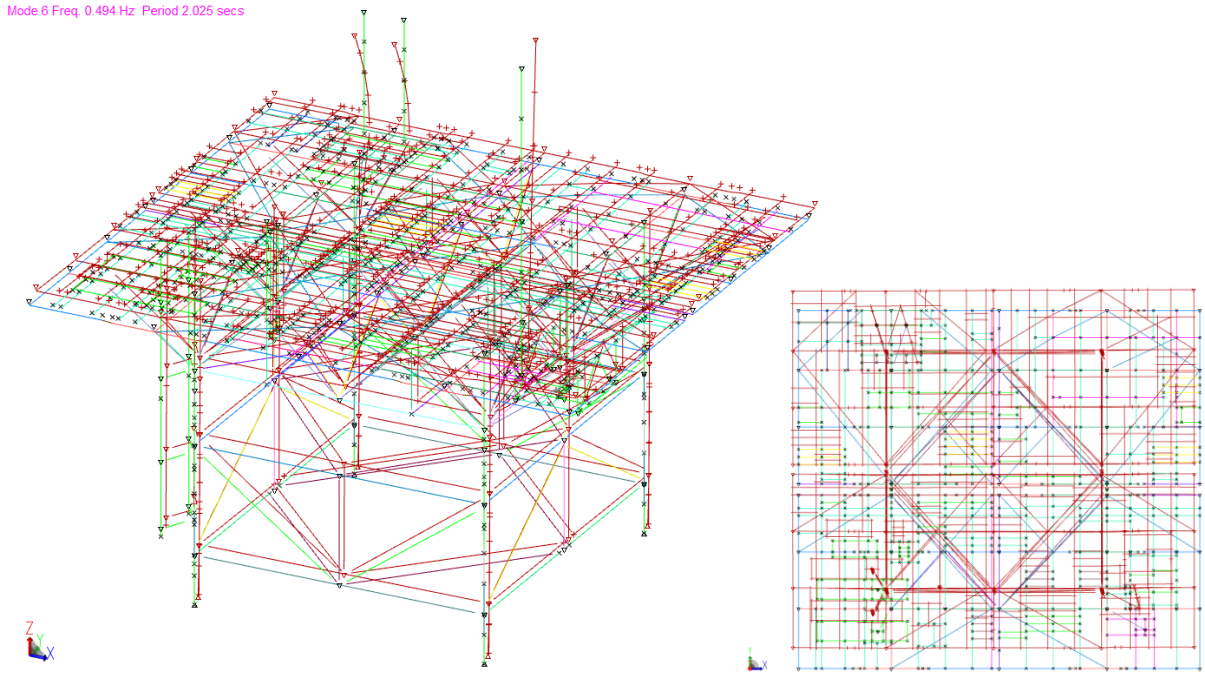


Figura 9-3: Modo principale trazlazionale in Y (T = 2.03s)

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

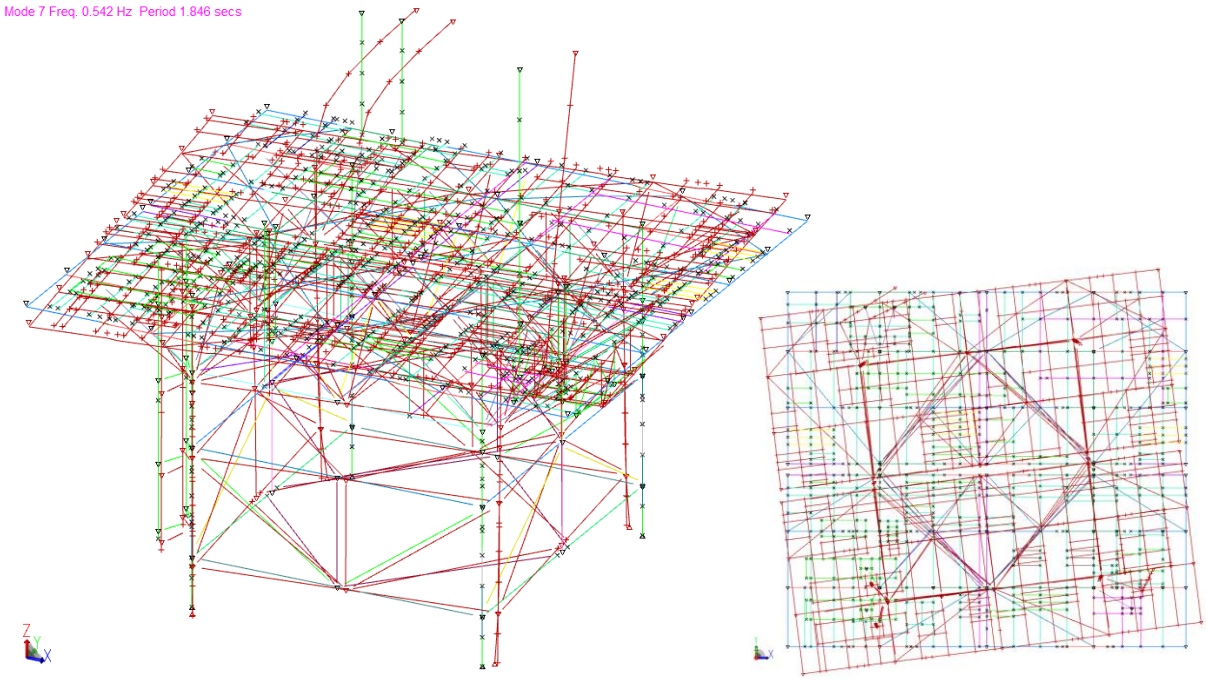


Figura 9-4: Modo principale rotazionale attorno Z (T = 1.85s)

Di seguito sono riportati i primi 32 modi della struttura nel seguente estratto dell'output SACS:

SACS IV-FREQUENCIES AND GENERALIZED MASS

MODE	FREQ.(CPS)	GEN. MASS	EIGENVALUE	PERIOD(SECS)
1	0.377585	1.9978092E+02	1.7766821E-01	2.6484071
2	0.384628	1.7495943E+02	1.7122156E-01	2.5999148
3	0.401451	1.0458194E+02	1.5717173E-01	2.4909620
4	0.402524	1.0950272E+02	1.5633504E-01	2.4843229
5	0.486264	9.8491183E+02	1.0712612E-01	2.0564946
6	0.493782	1.2055337E+03	1.0388922E-01	2.0251870
7	0.541651	1.2994857E+03	8.6337931E-02	1.8462083
8	0.838021	9.3433442E+00	3.6068675E-02	1.1932872
9	0.861554	8.9789320E+00	3.4125217E-02	1.1606936
10	1.556855	3.8237019E+02	1.0450660E-02	0.6423204
11	1.672535	1.8582203E+02	9.0550296E-03	0.5978949
12	1.702093	3.2848224E+02	8.7432627E-03	0.5875119
13	2.025637	9.8442846E+01	6.1732945E-03	0.4936719
14	2.056358	9.2809058E+01	5.9902175E-03	0.4862965
15	2.135508	5.6207720E+01	5.5544079E-03	0.4682726
16	2.168705	1.7088616E+02	5.3856655E-03	0.4611047
17	2.269794	3.6570276E+01	4.9166298E-03	0.4405687
18	2.389066	4.0549324E+01	4.4379651E-03	0.4185736
19	2.561112	1.1535998E+02	3.8617393E-03	0.3904553
20	2.718898	1.0244997E+02	3.4265292E-03	0.3677961
21	2.904689	1.1915890E+02	3.0022092E-03	0.3442709
22	2.954848	8.0763501E+01	2.9011493E-03	0.3384269
23	3.178836	3.7303286E+01	2.5067090E-03	0.3145805
24	3.229367	4.2703058E+01	2.4288761E-03	0.3096582
25	3.416237	1.7465766E+02	2.1704226E-03	0.2927198
26	3.477349	2.0878146E+02	2.0948057E-03	0.2875754
27	3.507642	2.9716524E+02	2.0587790E-03	0.2850918
28	3.763118	1.0499568E+02	1.7887293E-03	0.2657371

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

29	4.164067	2.5439038E+02	1.4608470E-03	0.2401498
30	4.306413	6.1304743E+02	1.3658687E-03	0.2322118
31	4.355402	7.0664483E+02	1.3353152E-03	0.2295999
32	4.396036	2.1702085E+02	1.3107438E-03	0.2274777

Tabella 9-15: Primi 32 modi di vibrare della struttura

I fattori di partecipazione dei modi sono riportati nel seguito:

MASS PARTICIPATION FACTOR REPORT
BASED ON RETAINED DEGREES OF FREEDOM

	******* MASS PARTICIPATION FACTORS *******			***** CUMULATIVE FACTORS *****		
MODE	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0.0757560	0.0545388	0.0000008	0.075756	0.054539	0.000001
2	0.0618354	0.0981078	0.0000002	0.137591	0.152647	0.000001
3	0.0001042	0.0003182	0.0000000	0.137696	0.152965	0.000001
4	0.0000329	0.0000306	0.0000002	0.137728	0.152995	0.000001
5	0.7309924	0.0627588	0.0000010	0.868721	0.215754	0.000002
6	0.0600814	0.7687748	0.0000032	0.928802	0.984529	0.000005
7	0.0607877	0.0036306	0.0000027	0.989590	0.988160	0.000008
8	0.0001480	0.0026574	0.0000066	0.989738	0.990817	0.000015
9	0.0015863	0.0000553	0.0000258	0.991324	0.990872	0.000041
10	0.0000010	0.0000170	0.0003345	0.991325	0.990889	0.000375
11	0.0000056	0.0005892	0.0110094	0.991331	0.991479	0.011384
12	0.0000127	0.0000368	0.0156319	0.991343	0.991515	0.027016
13	0.0004281	0.0001891	0.0045791	0.991772	0.991705	0.031596
14	0.0009944	0.0018936	0.0133416	0.992766	0.993598	0.044937
15	0.0000000	0.0000780	0.0045221	0.992766	0.993676	0.049459
16	0.0053289	0.0006526	0.0013565	0.998095	0.994329	0.050816
17	0.0005108	0.0021409	0.0005218	0.998606	0.996470	0.051338
18	0.0000283	0.0027899	0.0105729	0.998634	0.999259	0.061910
19	0.0000485	0.0000000	0.0002829	0.998683	0.999259	0.062193
20	0.0000260	0.0000087	0.0118097	0.998709	0.999268	0.074003
21	0.0001482	0.0000006	0.3258610	0.998857	0.999269	0.399864
22	0.0000999	0.0000013	0.2235049	0.998957	0.999270	0.623369
23	0.0000262	0.0000429	0.0035431	0.998983	0.999313	0.626912
24	0.0002132	0.0000498	0.0880403	0.999196	0.999363	0.714952
25	0.0000000	0.0000019	0.0110181	0.999196	0.999364	0.725970
26	0.0001385	0.0000004	0.0530790	0.999335	0.999365	0.779049
27	0.0000310	0.0000279	0.0024252	0.999366	0.999393	0.781475
28	0.0000001	0.0000016	0.0574089	0.999366	0.999394	0.838884
29	0.0000013	0.0000083	0.0050934	0.999367	0.999403	0.843977
30	0.0000025	0.0000033	0.0208726	0.999370	0.999406	0.864850
31	0.0000000	0.0000016	0.0115553	0.999370	0.999408	0.876405
32	0.0000003	0.0000007	0.0366457	0.999370	0.999408	0.913050

Tabella 9-16: 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 Figura 8-1. 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 alla risposta statica data dai carichi verticali applicati alla struttura, ottenuta dalla 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 9-17: 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 9-18: Combinazioni di verifica SLV

Le combinazioni di carico sismiche finali, riportate in Tabella 9-18, 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) con spettro di risposta T_R = 949 anni, come definito al par.8.2.

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	-8622.786	-1974.818	-14906.868	-31657.918	136346.094	-20780.676
2	-814.496	-8663.453	-13648.094	-191932.188	13566.613	-6562.158
3	-27.400	-45.981	-3640.089	-1656.674	-2377.740	116.846

Tabella 9-19: Risultanti spettri di risposta direzionali (CQC)

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

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	-8661.255	-8885.829	-20544.779	-188001.438	137000.141	-24693.391

Tabella 9-20: Risultante Spettrale globale (SRSS)

Di seguito si riporta la generazione delle combinazioni di verifica come riportate in Tabella 9-18, sovrapponendo i risultati dell'analisi statica a quelli dell'analisi spettrale a segni alterni:

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

DYNAMIC ANALYSIS

LOAD CASE	NUMB COMB	COMB TYPE	AMOD FACT	LOAD CASE DESCRIPTION	UNIT	ORIG LC =	FACTOR	SIGN CHANGE ROT XYZ	DEFL XYZ	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 9-21: Combinazioni di verifica SLV

10 RISULTATI DELL'ANALISI PIATTAFORMA CARICO/SCARICO

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 9-18 allo SLV, in accordo alle NTC2018 (Rif.[B1]).

10.1.1 Verifiche strutturali della struttura della piattaforma

Vengono riportate le verifiche di resistenza degli elementi che compongono il jacket e il deck (profili tubolari, profili I/H, coni di transizione, diagonali, caissons, gambe, pali fuori terra), presenti nel modello SACS.

Le verifiche sono superate se gli elementi soddisfano i criteri previsti dalle ISO 19902 Rif.[B4] (per le sezioni circolari) ed EN 1993 Rif.[B5] (per le sezioni I /H).

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 risulta adeguata a sopportare i carichi sismici.

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

GROUP II - UNITY CHECKS GREATER THAN 0.70 AND LESS THAN 1.00

MEMBER	GROUP ID	MAXIMUM COMBINED UNITY CK	LOAD COND NO.	DIST FROM END	AXIAL STRESS N/MM2	BENDING STRESS Y N/MM2	BENDING STRESS Z N/MM2	SHEAR FORCE FY KN	SHEAR FORCE FZ KN	KLY/RY	KLZ/RZ	SECOND-HIGHEST UNITY CHECK	SECOND-HIGHEST LOAD COND	THIRD-HIGHEST UNITY CHECK	THIRD-HIGHEST LOAD COND
0165-0166	2A3	0.737	2	0.8	-2.38	-94.98	7.29	43.68	269.55	50.5	117.7	0.682	1	-0.000	
0191-0391	G11	0.706	2	5.7	-39.54	95.43	-23.96	-16.27	67.02	60.0	60.0	0.493	1	-0.000	
0192-0391	G11	0.715	2	6.0	-38.76	99.46	17.40	11.73	59.12	63.0	63.0	0.503	1	-0.000	
P001-P002	P04	0.710	2	2.0	-49.56	151.55	-166.76	-2466.14	2279.10	35.0	35.0	0.587	1	-0.000	
P004-P005	P04	0.725	2	2.0	-46.88	165.80	-167.33	-2467.62	2482.63	35.0	35.0	0.604	1	-0.000	
0213-0563	PG2	0.763	1	1.4	20.86	-41.62	-200.65	-450.38	-339.19	15.9	64.3	0.722	2	-0.000	
0336-0166	PG3	0.744	2	1.2	-1.60	-94.99	-7.32	43.68	-269.88	61.6	166.5	0.685	1	-0.000	
0531-0529	600	0.833	1	0.0	7.07	-179.11	176.61	-216.91	713.11	5.7	20.3	0.816	2	-0.000	
0642-0177	260	0.701	2	1.1	-2.27	-23.70	-221.41	-94.92	18.69	33.0	16.8	0.695	1	-0.000	
P002-0684	P03	0.730	2	0.0	-49.56	157.18	-172.94	-2364.12	-2105.96	18.7	18.7	0.607	1	-0.000	
P005-0688	P03	0.746	2	0.0	-46.88	171.94	-173.55	2377.79	-2303.38	18.7	18.7	0.624	1	-0.000	

Tabella 10-1: Verifiche elementi strutturali UC > 0.50

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

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

* * * M E M B E R G R O U P S U M M A R Y * * *
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
1A3	0371-0373	2	0.45	0.8	-4.4	-67.9	4.1	150.4	218.7	163.9	588.2	BN+COM	10.50	10.50	0.92	0.58
1A4	0274-0275	1	0.17	0.8	26.9	-14.3	27.3	345.0	154.3	392.8	534.7	BN+AX	9.37	12.50	0.00	0.00
260	0642-0177	2	0.70	1.1	-2.3	-23.7	-221.4	355.0	1813.5	355.0	355.0	BN+AX	3.62	1.09	0.49	0.40
360	0572-0230	1	0.60	1.0	1.7	-171.1	75.7	355.0	787.8	374.3	537.0	BN+AX	7.62	1.00	0.00	0.00
2A3	0165-0166	2	0.74	0.8	-2.4	-95.0	7.3	111.2	142.4	135.9	528.1	BN+COM	25.00	12.50	0.92	0.98
400	0146-0054	2	0.26	1.6	-4.2	-9.9	-115.0	345.0	899.4	373.9	524.2	BN+AX	8.00	3.00	0.70	0.40
600	0531-0529	1	0.83	0.0	7.1	-179.1	176.6	345.0	4810.3	378.8	528.7	BN+AX	1.43	1.43	0.00	0.00
B01	0092-0090	2	0.14	0.0	-27.6	-13.9	4.0	258.3	822.1	439.6	439.6	ACBI	8.37	8.37	0.85	0.85
B02	0393-0335	2	0.34	0.0	-19.9	-36.4	-12.0	78.0	102.3	447.2	447.2	ACBI	14.50	6.90	0.85	0.85
B03	0391-0251	1	0.14	9.0	17.1	-35.6	-14.5	338.1	202.2	455.9	455.9	TN+BN	9.00	9.00	0.85	0.85
B04	0198-0039	2	0.34	9.0	-64.0	-11.8	28.0	236.4	460.9	447.5	447.5	ACBI	9.04	9.04	0.85	0.85
B06	0092-0000	2	0.51	0.0	-105.7	-44.7	-11.4	258.9	838.7	434.2	434.2	ACBI	8.39	8.39	0.85	0.85
B07	0379-0256	1	0.29	0.0	13.1	114.5	6.0	338.1	1023.4	455.9	455.9	TN+BN	4.00	4.00	0.85	0.85
B08	0254-0404	2	0.20	0.0	-18.3	46.5	13.0	179.2	244.1	463.6	463.6	ACBI	4.96	4.96	0.85	0.85
B09	0219-0393	2	0.29	7.2	-17.0	-47.4	-12.2	95.7	125.4	444.5	444.5	ACBI	14.50	7.25	0.85	0.85
B10	0201-0219	2	0.26	0.0	-22.8	-64.8	9.7	188.7	264.8	446.9	446.9	ACBI	9.26	9.26	0.85	0.85
BPI	0102-0574	2	0.26	0.0	-26.5	0.0	0.0	101.5	133.1	449.9	449.9	ACBI	14.64	14.64	0.85	0.85
CAI	0382-0380	2	0.10	2.0	-6.6	16.8	-24.5	292.4	587.6	373.6	373.6	ACBI	24.00	2.00	0.85	0.85
G01	0032-0013	1	0.09	0.4	20.2	7.0	4.3	.3E+03	.1E+05	.4E+03	.4E+03	TN+BN	7.40	7.40	0.85	0.85
G02	0043-0014	1	0.17	1.4	44.7	13.2	4.9	.3E+03	.1E+05	.4E+03	.4E+03	TN+BN	7.40	7.40	0.85	0.85
G05	0035-0047	2	0.39	2.0	-40.9	94.6	29.2	.3E+03	.3E+05	.4E+03	.4E+03	ACBI	4.00	4.00	0.85	0.85
G06	0080-0081	2	0.33	0.0	-40.4	79.1	-3.1	.3E+03	.3E+05	.4E+03	.4E+03	ACBI	3.00	3.00	0.85	0.85
G10	0115-0116	2	0.49	0.0	-50.3	-50.5	-7.5	143.1	187.6	434.3	434.3	ACBI	13.91	13.91	0.85	0.85
G11	0192-0391	2	0.72	6.0	-38.8	99.5	17.4	293.4	496.9	501.5	501.5	JUNBUK	7.12	7.12	0.85	0.85
G13	0198-0155	2	0.37	2.0	-20.3	22.9	18.0	253.5	721.3	401.3	401.3	JUNBUK	7.25	14.50	0.85	0.85
G19	0093-0126	2	0.35	10.2	-43.0	-31.2	58.9	213.1	353.5	438.2	438.2	ACBI	10.25	10.25	0.85	0.85
G20	0081-0202	2	0.24	1.5	-29.2	56.2	-24.1	.3E+03	.3E+05	.4E+03	.4E+03	ACBI	3.00	3.00	0.85	0.85
G21	0202-0575	2	0.13	0.0	-6.0	45.7	-13.3	292.4	2825.5	435.3	435.3	ACBI	8.00	8.00	0.85	0.85
G22	0200-0393	1	0.45	6.1	23.1	53.7	18.1	328.6	200.3	399.7	399.7	JUNYLD	15.20	7.12	0.85	0.85
G23	0145-0201	1	0.23	6.4	9.5	-85.3	-11.4	319.0	747.3	428.7	428.7	TN+BN	6.41	14.50	0.85	0.85
G24	0145-0389	2	0.48	0.6	-8.0	-4.4	-64.3	292.0	6839.2	365.6	365.6	JUNBUK	7.30	7.30	0.85	0.85
G25	0389-0227	1	0.26	0.0	-4.9	-23.4	16.0	292.4	6237.8	430.9	430.9	SHEAR	7.30	1.20	0.85	0.85
J01	0035-0029	2	0.64	0.0	-111.0	76.1	-7.4	243.6	574.8	433.3	433.3	ACBI	17.00	17.00	0.85	0.85
J02	0035-0040	2	0.49	0.0	-68.2	93.9	-6.9	247.7	627.5	413.7	413.7	ACBI	14.48	14.48	0.85	0.85
J03	0035-0059	2	0.28	0.0	-24.3	-44.8	-2.7	134.1	175.8	429.0	429.0	ACBI	20.35	20.35	0.85	0.85
J04	0034-0055	2	0.15	0.0	-10.0	-42.2	-14.7	292.4	1049.2	397.7	397.7	ACBI	13.58	13.58	0.85	0.85
J05	0034-0053	2	0.44	0.0	-92.1	-19.1	-6.6	238.1	516.4	430.9	430.9	ACBI	15.86	15.86	0.85	0.85
OR1	0026-0053	2	0.30	0.0	-66.3	-21.3	8.7	265.3	1035.0	417.1	417.1	ACBI	13.58	13.58	0.85	0.85
OR2	0028-0052	1	0.28	0.0	47.6	-55.9	8.4	328.6	953.6	417.1	417.1	TN+BN	14.08	14.08	0.85	0.85
P01	0092-0084	2	0.19	2.0	-10.2	-51.2	28.7	.3E+03	.1E+05	.4E+03	.4E+03	ACBI	8.00	8.00	0.85	0.85
P02	P211-0191	2	0.27	1.0	-30.5	49.0	50.6	.3E+03	.1E+05	.4E+03	.4E+03	ACBI	7.40	7.40	0.85	0.85
P04	P004-P005	2	0.72	2.0	-46.9	165.8	-167.3	283.9	1611.1	420.9	420.9	ACBI	20.00	20.00	0.85	0.85
P05	P684-0685	2	0.53	0.0	-72.8	73.4	-78.6	283.9	5764.6	394.8	394.8	ACBI	10.70	10.70	0.85	0.85
PG1	0171-0041	2	0.52	1.9	-7.0	-101.5	-67.4	138.8	188.5	248.9	1025.0	BN+COM	25.00	12.50	0.83	0.48
PG2	0213-0563	1	0.76	1.4	20.9	-41.6	-200.6	345.0	478.0	345.0	345.0	BN+AX	8.00	8.00	0.00	0.00
PG3	0336-0166	2	0.74	1.2	-1.6	-95.0	-7.3	60.8	71.2	134.6	813.6	BN+COM	25.00	12.50	0.96	0.63
PG4	0111-0140	2	0.43	3.1	-1.0	71.2	40.5	71.5	103.1	166.2	856.2	BN+COM	6.25	12.50	0.59	0.40
SU2	0201-0337	2	0.31	0.0	-4.9	-124.7	-34.4	292.4	8146.6	434.3	434.3	ACBI	2.11	2.11	0.85	0.85
SUP	0032-0411	1	0.11	0.0	2.2	-40.2	-11.0	.3E+03	.1E+05	.4E+03	.4E+03	TN+BN	4.03	2.02	0.85	0.85
V01	0031-0035	2	0.14	8.7	-0.7	46.9	-31.1	292.4	3036.1	408.3	408.3	ACBI	10.75	10.75	0.85	0.85
V02	0044-0076	2	0.32	0.9	-42.5	-68.4	3.4	292.4	7049.5	395.9	395.9	ACBI	6.90	6.90	0.85	0.85
BOX	0354-0365	2	0.29	0.0	1.8	-58.3	-24.9	.3E+03	.8E+05	.3E+03	.3E+03	BN+AX	2.00	2.00	0.00	0.00
240	0503-0522	1	0.29	3.6	11.9	-86.5	14.5	355.0	108.9	378.8	545.8	BN+AX	3.62	3.62	0.00	0.00
180	0189-0578	2	0.40	0.0	-16.6	-21.2	7.7	54.8	63.3	250.4	963.2	BN+COM	3.62	3.62	0.94	0.40
P03	P005-0688	2	0.75	0.0	-46.9	171.9	-173.6	283.9	5628.8	420.9	420.9	ACBI	10.70	10.70	0.85	0.85

Tabella 10-2: Verifiche e max UC per gruppi

Si nota che il valore massimo di UC = 0.83 appartiene all'elemento 0531-0529 (Gruppo 600), per la combinazione 1.

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

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

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

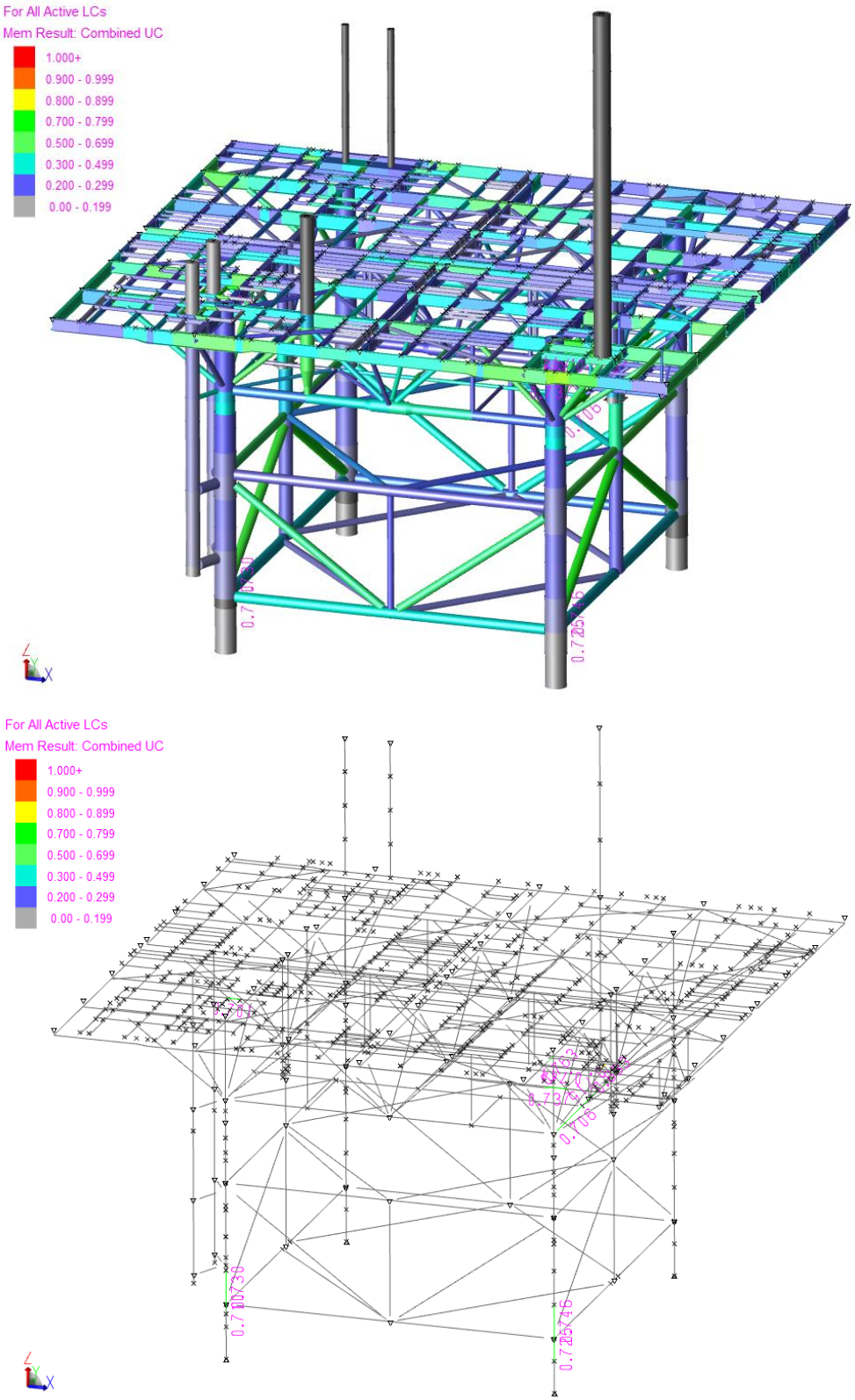


Figura 10-1: Massimi UC > 0.70 - elementi Piattaforma – Inviluppo SLV

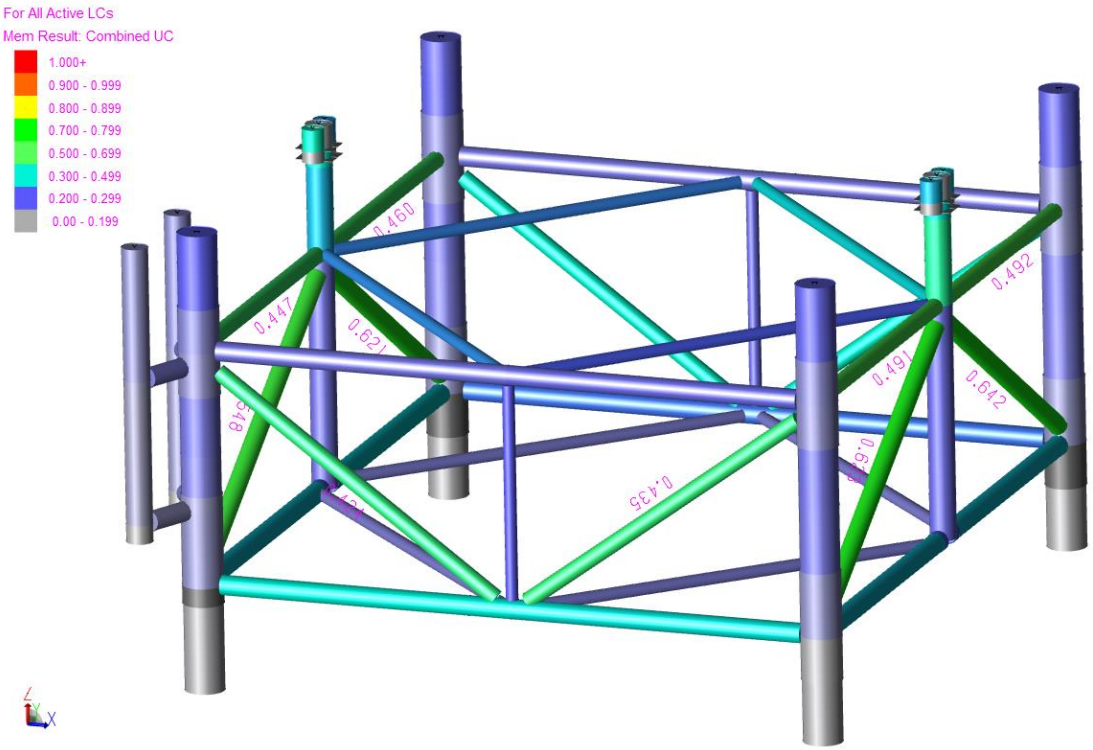


Figura 10-2: Massimi UC > 0.40 - Jacket – Inviluppo SLV

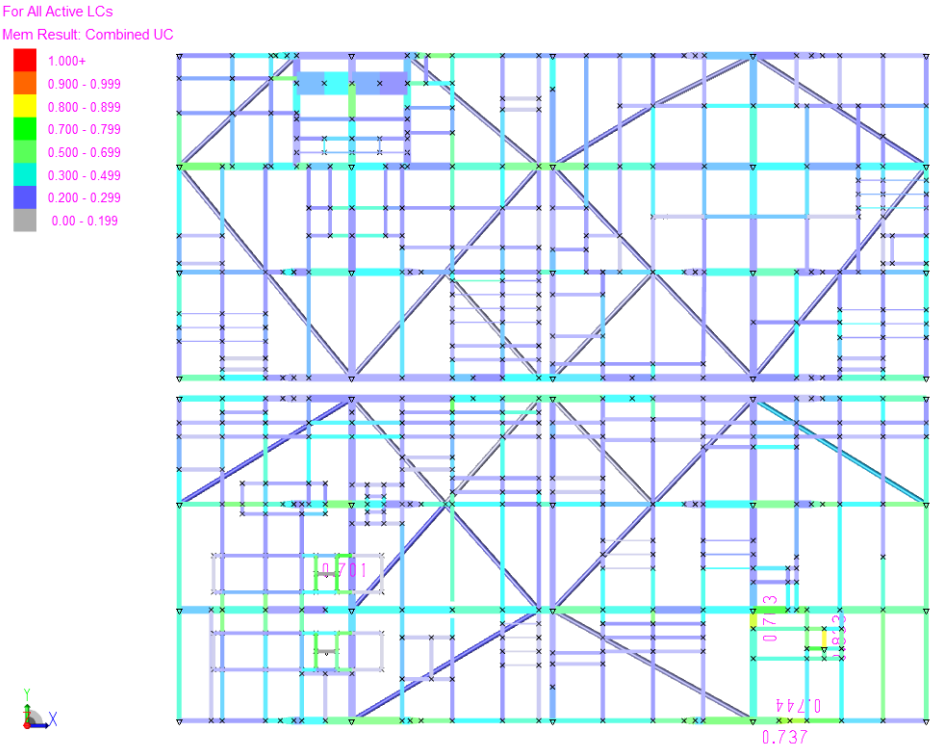


Figura 10-3: Massimi UC > 0.70 - Deck El.+11.5m – Inviluppo SLV

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

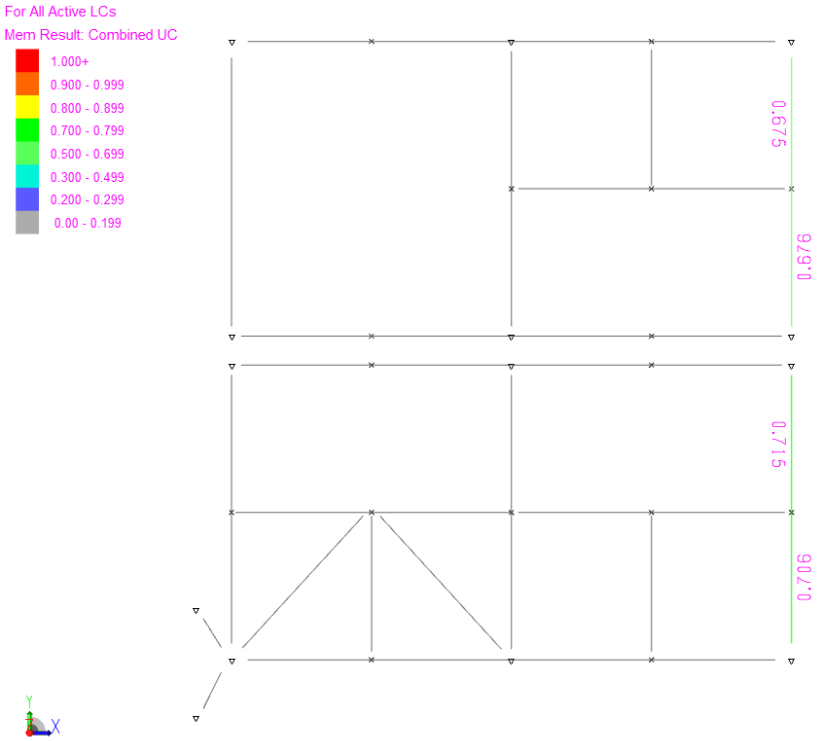


Figura 10-4: Massimi UC > 0.50 - Deck El.+4.0m – Inviluppo SLV

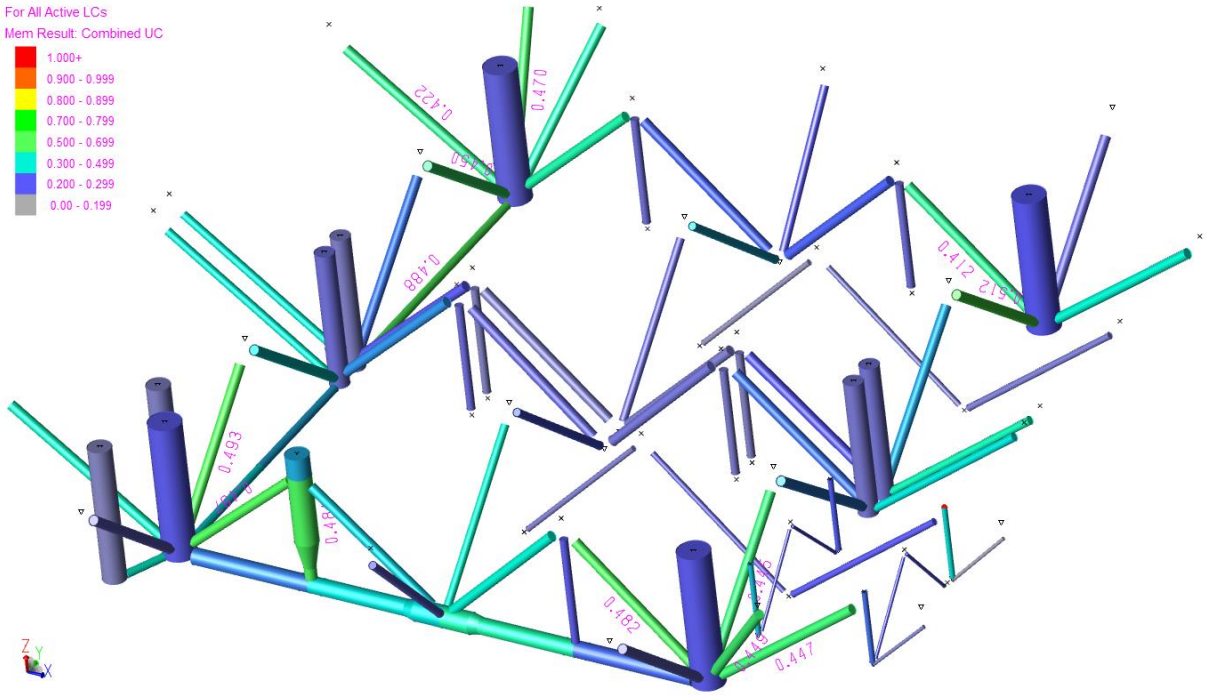


Figura 10-5: Massimi UC > 0.40 - diagonali e montanti Deck– Inviluppo SLV

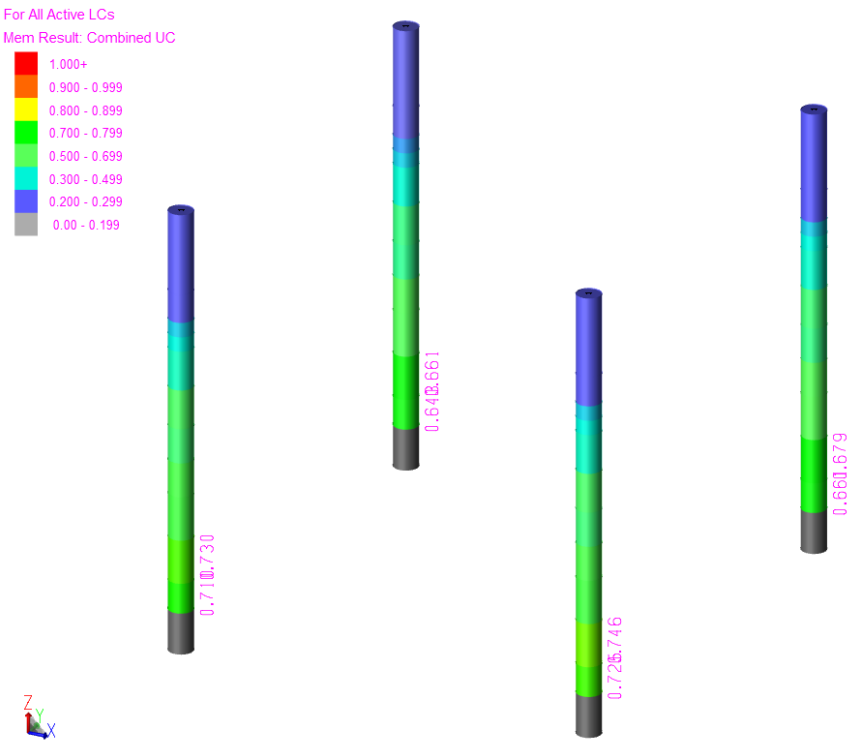


Figura 10-6: Massimi UC > 0.30 – Pali fuori terra – Inviluppo SLV

10.1.2 Verifiche nodi tubolari

Sono eseguite le verifiche a punzonamento di tutti i nodi tubolari della piattaforma; vengono inoltre eseguite anche le verifiche di resistenza per i nodi del Jacket, secondo l'approccio API 50%. Tutte le verifiche sono eseguite 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
0035	120.000	6.000	335.000	0.599	120.000	6.000	335.000	0.599
0033	120.000	6.000	335.000	0.582	120.000	6.000	335.000	0.582
0191	167.500	5.000	335.000	0.557	167.500	5.000	335.000	0.557
0389	120.000	4.000	345.000	0.551	120.000	4.000	345.000	0.551
0092	167.500	5.000	335.000	0.535	167.500	5.000	335.000	0.535
0201	167.500	5.000	335.000	0.531	167.500	5.000	335.000	0.531
0115	167.500	5.000	335.000	0.489	167.500	5.000	335.000	0.489
0393	69.200	2.600	345.000	0.447	69.200	2.600	345.000	0.447
0053	90.000	3.500	345.000	0.428	90.000	3.500	345.000	0.428
0029	187.000	7.000	325.000	0.411	187.000	7.000	325.000	0.411
0028	187.000	7.000	325.000	0.406	187.000	7.000	325.000	0.406
0027	187.000	7.000	325.000	0.398	187.000	7.000	325.000	0.398
0026	187.000	7.000	325.000	0.359	187.000	7.000	325.000	0.359
0391	69.200	2.600	345.000	0.322	69.200	2.600	345.000	0.322
0034	187.000	7.000	325.000	0.320	187.000	7.000	325.000	0.320
0057	90.000	3.500	345.000	0.313	90.000	3.500	345.000	0.313
0032	187.000	7.000	325.000	0.311	187.000	7.000	325.000	0.311
0337	120.000	2.500	345.000	0.306	120.000	2.500	345.000	0.306

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

Tutti i nodi presentano UC < 1.00, per cui passano le verifiche a punzonamento. Il massimo UC = 0.60 per il nodo 0035.

Venono riportati gli UC dei nodi del jacket per le verifiche a resistenza secondo il metodo API 50% previsto dalle ISO 19902 in Tabella 10-4.

* * J O I N T C A N S U M M A R Y * *
(UNITY CHECK ORDER)

	ORIGINAL					LOAD DESIGN				STRENGTH ANALYSIS		
JOINT	DIAMETER (CM)	THICKNESS (CM)	YLD STRS (N/MM2)	LOAD UC	STRN UC	DIAMETER (CM)	THICKNESS (CM)	YLD STRS (N/MM2)	LOAD UC	STRN UC	BRACE JOINT	LOAD CASE
0030	120.000	6.000	335.000	0.294	0.912	120.000	6.000	335.000	0.294	0.912	0051	4
0031	120.000	6.000	335.000	0.281	0.912	120.000	6.000	335.000	0.281	0.912	0038	4
0035	120.000	6.000	335.000	0.721	0.896	120.000	6.000	335.000	0.721	0.896	0027	3
0033	120.000	6.000	335.000	0.702	0.895	120.000	6.000	335.000	0.702	0.895	0026	3
0052	90.000	2.500	345.000	0.102	0.844	90.000	2.500	345.000	0.102	0.844	0057	3
0051	90.000	2.500	345.000	0.089	0.844	90.000	2.500	345.000	0.089	0.844	0053	3
0036	90.000	2.500	345.000	0.101	0.842	90.000	2.500	345.000	0.101	0.842	0053	3
0038	90.000	2.500	345.000	0.100	0.842	90.000	2.500	345.000	0.100	0.842	0057	3
0053	90.000	3.500	345.000	0.457	0.732	90.000	3.500	345.000	0.457	0.732	0055	4
0057	90.000	3.500	345.000	0.332	0.727	90.000	3.500	345.000	0.332	0.727	0059	4
0055	90.000	3.500	345.000	0.184	0.722	90.000	3.500	345.000	0.184	0.722	0053	4
0059	90.000	3.500	345.000	0.217	0.722	90.000	3.500	345.000	0.217	0.722	0057	4
0032	187.000	7.000	325.000	0.318	0.719	187.000	7.000	325.000	0.318	0.719	0412	4
0026	187.000	7.000	325.000	0.369	0.612	187.000	7.000	325.000	0.369	0.612	0053	4
0027	187.000	7.000	325.000	0.409	0.612	187.000	7.000	325.000	0.409	0.612	0053	4
0029	187.000	7.000	325.000	0.422	0.612	187.000	7.000	325.000	0.422	0.612	0057	4
0034	187.000	7.000	325.000	0.327	0.528	187.000	7.000	325.000	0.327	0.528	0055	4
0040	187.000	7.000	325.000	0.253	0.528	187.000	7.000	325.000	0.253	0.528	0059	4
0042	187.000	7.000	325.000	0.243	0.528	187.000	7.000	325.000	0.243	0.528	0059	4

Tabella 10-4: Massimi UC nodi Jacket – Resistenza

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

Tutti i nodi hanno UC < 1.00, per cui passano le verifiche a resistenza. Il massimo UC = 0.91 per il nodo 0030.

10.1.3 Verifiche dei Pali infissi (fondazioni)

Vengono riportate le verifiche dei pali di fondazione sotto il livello di fondo mare. Sono eseguite sia verifiche strutturali delle sezioni dei pali lungo la loro infissione, che verifiche geotecniche di capacità portante.

Al par. 7.5 sono descritte le proprietà dei segmenti di pali infissi e la relativa lunghezza di infissione.

Si riporta in Figura 10-7 la numerazione dei nodi del modello che rappresentano la testa dei pali infissi, la cui parte sotto il fondo mare è modellata con il modulo PSI SACS, come descritto al par. 7.5.

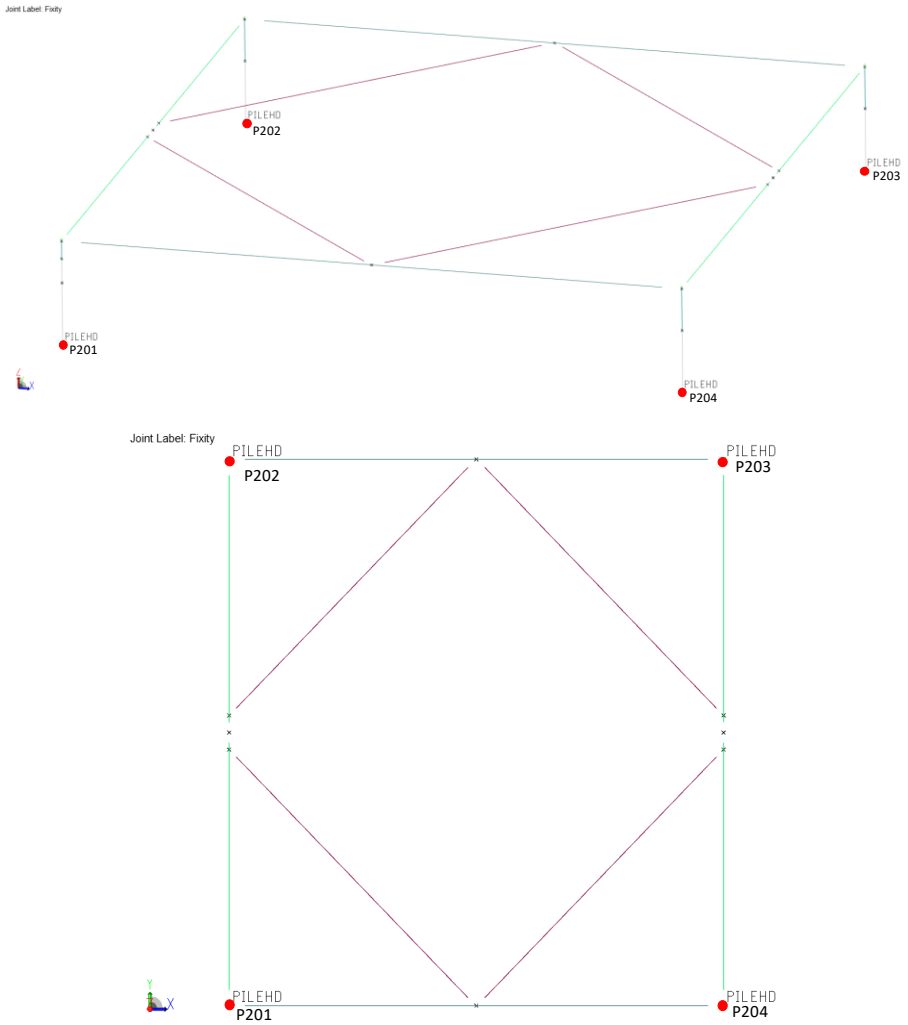


Figura 10-7: Denominazione nodi teste pali

I pali sono inseriti all'interno delle gambe del Jacket, scambiando forze di taglio al livello dei telai orizzontali del jacket e sono connessi alla testa delle gambe del jacket per mezzo di crown plates.

Di seguito sono riportati i risultati per i pali in termini di massime azioni in testa palo, da leggere ai nodi dichiarati in Figura 10-7.

MEMBER FORCES AND MOMENTS REPORT

MEMBER NUMBER	MEMBER END	GROUP ID	LOAD COND	FORCE(X) kN	FORCE(Y) kN	FORCE(Z) kN	MOMENT(X) kN-m	MOMENT(Y) kN-m	MOMENT(Z) kN-m
P201-P001	P201	BLW	1	-4610.3340	-2466.1448	2279.0508	2.1935	6932.1675	-7828.8652
			2	-15199.7695	-2466.1448	2279.0508	2.1935	6932.1675	-7828.8652
	P001		1	-4542.5254	-2466.1448	2279.0508	2.1935	13426.9189	-14857.0605
			2	-15131.9609	-2466.1448	2279.0508	2.1935	13426.9189	-14857.0605
P202-P010	P202	BLW	1	-4921.1558	1865.9097	-2310.0627	-4.1631	-7100.4995	5837.3911
			2	-14871.1904	1865.9097	-2310.0627	-4.1631	-7100.4995	5837.3911
	P010		1	-4853.3467	1865.9097	-2310.0627	-4.1631	-13683.7148	11154.7969
			2	-14803.3828	1865.9097	-2310.0627	-4.1631	-13683.7148	11154.7969
P203-P007	P203	BLW	1	-4612.6650	1860.7427	-2477.4006	5.0811	-7585.5176	-5876.3765
			2	-14637.8516	1860.7427	-2477.4006	5.0811	-7585.5176	-5876.3765
	P007		1	-4544.8564	1860.7428	-2477.4006	5.0811	-14645.7656	-11171.8633
			2	-14570.0430	1860.7428	-2477.4006	5.0811	-14645.7656	-11171.8633
P204-P004	P204	BLW	1	-3910.9863	-2467.6812	2482.6072	9.2785	7634.8647	-7889.4546
			2	-14385.3340	-2467.6812	2482.6072	9.2785	7634.8647	-7889.4546
	P004		1	-3843.1770	-2467.6812	2482.6072	9.2785	14709.9336	-14922.0410
			2	-14317.5254	-2467.6812	2482.6072	9.2785	14709.9336	-14922.0410

Tabella 10-5: Forze in testa palo

Verifiche carpenteria metallica

Le verifche della carpenteria metallica dei pali infissi secondo le ISO 19902 Rif.[B4] sono eseguite attraverso il modulo SACS PSI. Si riportano di seguito i risultati:

* * * P I L E M A X I M U M U N I T Y C H E C K S U M M A R Y * * *

PILE JT.	GRUP	LOAD CASE	PILEHEAD FORCES AXIAL KN	PILEHEAD FORCES LATERAL KN	PILEHEAD FORCES MOMENT KN-M	PILEHEAD DISPLACEMENTS AXIAL CM	PILEHEAD DISPLACEMENTS LATERAL CM	PILEHEAD DISPLACEMENTS ROTATION RAD	STRESSES AT MAX. UNITY CHECK DEPTH M	AXIAL	FBY	FBZ N/MM2	SHEAR	COMB.	UNITY CHECK
P201	PL1	SS01	-18879.37	3065.61	13398.7	2.43	21.74	0.012758	15.8	-86.73	-188.66	0.15	0.11	-275.40	0.759
		SS02	-16978.34	3062.07	13194.0	2.07	21.49	0.012640	15.8	-77.05	-186.60	0.09	0.09	-263.65	0.721
		SS03	-11289.28	3094.63	12657.7	1.25	21.58	0.012808	15.8	-50.76	-186.29	0.29	0.18	-237.05	0.630
		SS04	-9328.33	3100.02	12551.0	1.01	21.40	0.012705	15.8	-41.87	-184.68	0.28	0.16	-226.56	0.596
		SS05	-10727.99	3168.30	13410.1	1.18	21.93	0.012807	15.8	-48.38	-188.29	-0.33	0.35	-236.68	0.627
		SS06	-8835.91	3163.99	13193.3	0.94	21.70	0.012704	15.8	-39.51	-186.38	-0.26	0.29	-225.89	0.592
		SS07	-2648.38	3146.79	12275.7	0.29	21.25	0.012630	15.8	-12.05	182.42	0.48	0.21	-194.46	0.488
		SS08	-717.49	3151.38	12190.5	0.12	21.09	0.012531	15.8	-4.11	180.95	0.41	0.18	-185.06	0.457
P202	PL1	SS01	-11270.04	3109.04	12782.8	1.24	21.69	0.012843	15.8	-50.56	-187.01	-0.22	0.15	-237.56	0.631
		SS02	-9351.27	3114.74	12692.7	1.01	21.51	0.012735	15.8	-42.01	-185.40	-0.18	0.12	-227.40	0.598
		SS03	-18839.63	3074.49	13516.7	2.43	21.75	0.012731	15.8	-86.54	188.69	0.22	0.15	-275.23	0.758
		SS04	-16997.38	3069.03	13292.5	2.07	21.50	0.012620	15.8	-77.16	186.66	0.15	0.10	-263.82	0.721
		SS05	-2520.71	3140.12	12232.6	0.30	21.19	0.012600	15.8	-12.09	-181.98	0.42	0.18	-194.07	0.487
		SS06	-733.99	3147.41	12169.8	0.12	21.04	0.012507	15.8	-4.08	-180.63	0.36	0.15	-184.72	0.457
		SS07	-10747.11	3183.20	13495.4	1.17	22.09	0.012885	15.8	-47.98	189.35	-0.33	0.41	-237.34	0.628
		SS08	-8838.18	3177.51	13283.0	0.95	21.84	0.012771	15.8	-39.53	187.35	-0.28	0.35	-226.88	0.594
P203	PL1	SS01	-2349.23	3153.53	12300.3	0.27	21.29	0.012644	15.8	-10.87	-182.61	-0.19	0.11	-193.48	0.485
		SS02	-510.88	3156.69	12224.1	0.11	21.11	0.012535	15.8	-3.46	-181.07	-0.12	0.09	-184.53	0.456
		SS03	-10361.33	3121.86	13015.7	1.13	21.46	0.012613	15.8	-46.54	185.07	0.28	0.18	-231.62	0.613
		SS04	-8483.30	3115.26	12802.7	0.91	21.21	0.012498	15.8	-38.16	183.06	0.27	0.14	-221.23	0.579
		SS05	-11014.52	3047.76	12397.7	1.21	20.96	0.012479	15.1	-49.65	181.68	-0.51	1.02	-231.34	0.615
		SS06	-9186.18	3053.45	12306.8	0.99	20.81	0.012390	15.8	-41.07	-180.60	0.27	0.29	-221.66	0.583
		SS07	-18544.68	3072.75	13465.4	2.36	21.70	0.012710	15.8	-84.85	188.28	-0.56	0.20	-273.14	0.752
		SS08	-16672.89	3068.31	13253.5	2.02	21.46	0.012601	15.8	-75.52	186.30	-0.48	0.16	-261.82	0.715
P204	PL1	SS01	-9846.23	3118.23	12969.9	1.07	21.34	0.012548	15.8	-44.23	-184.18	0.19	0.18	-228.42	0.603
		SS02	-8070.13	3111.53	12776.0	0.86	21.09	0.012428	15.8	-36.26	-182.18	0.15	0.13	-218.44	0.570
		SS03	-1720.95	3152.87	12199.0	0.22	21.30	0.012675	15.8	-8.68	-182.62	0.25	0.13	-191.30	0.477
		SS04	529.82	3159.92	12090.9	0.01	21.12	0.012569	15.8	1.20	-180.96	0.18	0.11	182.16	0.447
		SS05	-17981.41	3085.25	13559.3	2.25	21.70	0.012680	15.8	-82.15	-188.16	-0.49	0.21	-270.31	0.742
		SS06	-16231.30	3078.59	13327.1	1.94	21.47	0.012581	15.8	-73.36	-186.23	-0.42	0.15	-259.59	0.707
		SS07	-10503.39	3041.67	12314.7	1.15	20.85	0.012431	15.1	-47.37	180.90	0.49	0.98	-228.27	0.605
		SS08	-8749.53	3046.49	12228.7	0.94	20.70	0.012336	15.8	-39.14	179.75	0.26	0.33	-218.89	0.574

Tabella 10-6: UC per pali infissi

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

Dai dati riportati in Tabella 10-6 si evince che le verifiche della carpenteria metallica sono soddisfatte: il massimo valore di UC registrato è UC = 0.76 per il palo P201.

Verifiche Geotecniche

I valori massimi di sforzo normale registrati in testa palo, come da Tabella 10-5, sono:

Sforzo Normale	SLV
Compressione	15.2 MN
Trazione	-

Tabella 10-7: Max. Trazione e Compressione in testa palo

Non è registrata alcuna trazione.

Il peso del palo infisso sommerso, secondo il make-up riportato in Tabella 7-1, vale:

Peso palo infisso = 2.06t/m x 13m + 1.44 t/m x 65m = 120.4t = 1204 kN

Dalle curve di capacità del palo secondo NTC2018 (Rif. [B1]) calcolate in Relazione Geotecnica (Rif. [A14]) e riportate in Figura 10-8, la massima capacità di compressione del palo per infissione 78m vale 18.35 MN, e la massima trazione 12.55 MN.

Si eseguono le verifiche di capacità portante dei pali per le massime azioni sismiche:

- Compressione 15.2 MN + 1.20 MN = 16.4 MN < 18.35 MN (UC_c = 0.89 < 1.0)

Le verifiche di capacità portante del palo sono soddisfatte.

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

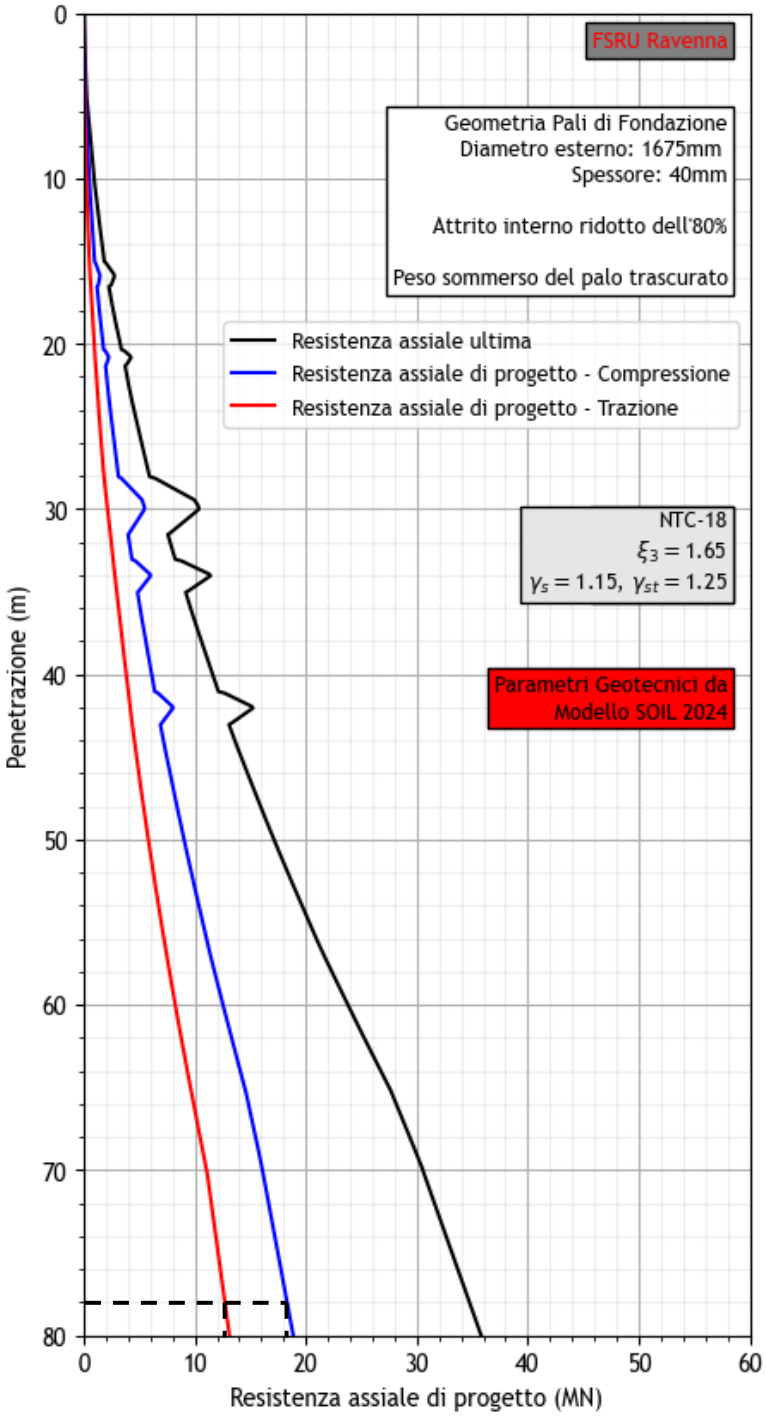


Figura 10-8: Curve di Capacità portante del palo NTC2018

11 RIVERIFICA DELLE STRUTTURE SECONDARIE

Si riportano di seguito le nuove verifiche sismiche effettuate per le strutture secondarie dovute all'incremento di azione sismica assumendo V_N = 50 anni (V_R = 2*50 = 100 anni, T_R = 949 anni allo SLV), tramite ricalcolo degli Unity Check (UC, rapporto tra azione agente e capacità resistente).

11.1 PIATTAFORMA SCALANDRONE SUD

La Piattaforma Scalandrone Sud è stata verificata per un sisma calcolato con spettro di risposta avente T_R = 475 anni allo SLV secondo NTC2018 (Rif.[B1]), legato ad una vita nominale V_N = 25 anni. Le verifiche, soddisfatte, sono riportate nella relazione "Piattaforma Scalandrone Sud – Sismica" (Rif.[A13]). Di seguito si verifica la struttura per lo spettro di risposta calcolato per una vita nominale V_N = 50 anni (T_R = 949 anni) in ottemperanza alle prescrizioni delle NTC2018 (Rif.[B1]).

Lo spettro di risposta era stato calcolato per una V_N = 25 anni, ed un fattore di struttura q = 1.33. Esso è riportato in Rif.[A13].

Dall'analisi modale della struttura, i cui risultati sono riportati in Rif.[A13], si ottiene che il primo modo della struttura è pari a T_1 = 1.50s. Entrando nello spettro di risposta allo SLV con T_R = 475 anni, l'accelerazione vale:

$S_{475}(T_1)$ = 0.195g

Viene calcolato lo spettro con T_R = 949 anni allo SLV considerando una V_N = 50 anni. Tale spettro è calcolato secondo i parametri elencati al par.8.2 ed è rappresentato in Figura 8-1.

Considerando a favore di sicurezza che il periodo naturale della struttura resti invariato, entrando nello spettro calcolato si ottiene:

$S_{949}(T_1)$ = 0.250g

L'incremento delle azioni sismiche vale $S_{949}(T_1)$/ $S_{475}(T_1)$ = 1.28.

Verifiche strutturali

Di seguito si riporta l'aumento degli UC per le verifiche strutturali allo SLV effettuate con lo spettro avente T_R = 475 anni in Rif.[A13], assumendo lo spettro con T_R = 949 anni (incremento azioni sismiche 28%).

Gruppo	UC_{475}	$UC_{949} = UC_{475}$*1.28	< 1.0
Deck	0.29	0.37	OK
Pali fuori terra	0.20	0.26	OK
Pali infissi	0.36	0.46	OK

Tabella 11-1: Piattaforma Scalandrone Sud: nuovi UC per spettro T_R = 949 anni

Le verifiche strutturali sono soddisfatte.

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

Verifiche geotecniche

Vengono riportate di seguito le azioni in testa palo estratte dal modello della piattaforma scalandrone per l'analisi spettrale con T_R = 475 anni come descritto in Rif.[A13]:

MEMBER FORCES AND MOMENTS REPORT

MEMBER NUMBER	MEMBER END	GROUP ID	LOAD COND	FORCE(X) kN	FORCE(Y) kN	FORCE(Z) kN	MOMENT(X) kN-m	MOMENT(Y) kN-m	MOMENT(Z) kN-m
0019-0095	0019	PIL	1	1471.6019	-255.2401	240.4011	-7.7445	-4459.4312	4737.3887
			2	-2010.1782	-255.2401	240.4011	-7.7445	-4459.4312	4737.3887
	0095		1	742.6057	-255.2401	240.4011	-7.7445	1601.6470	-1697.8748
			2	-2739.1746	-255.2401	240.4011	-7.7445	1601.6470	-1697.8748
0028-0096	0028	PIL	1	1245.4956	-265.1271	241.3621	-7.7780	-4481.3555	4915.7378
			2	-1896.1086	-265.1271	241.3621	-7.7780	-4481.3555	4915.7378
	0096		1	516.4993	-265.1271	241.3621	-7.7780	1603.9844	-1768.6665
			2	-2625.1050	-265.1271	241.3621	-7.7780	1603.9844	-1768.6665
0029-0098	0029	PIL	1	1186.5332	-257.9741	-256.8742	-5.2699	4772.1348	4799.8433
			2	-1977.6106	-257.9741	-256.8742	-5.2699	4772.1348	4799.8433
	0098		1	457.5369	-257.9741	-256.8742	-5.2699	1711.7571	-1704.3903
			2	-2706.6069	-257.9741	-256.8742	-5.2699	1711.7571	-1704.3903
0074-0097	0074	PIL	1	1109.4026	270.7153	-254.8203	-4.1586	4726.1768	-5102.1650
			2	-2411.4795	270.7153	-254.8203	-4.1586	4726.1768	-5102.1650
	0097		1	380.4065	270.7153	-254.8202	-4.1586	1716.2910	-1735.4458
			2	-3140.4753	270.7153	-254.8202	-4.1586	1716.2910	-1735.4458

Tabella 11-2: Piattaforma Scalandrone Sud: azioni testa palo per spettro T_R = 475 anni

Aggiungendo il peso del palo infisso (566 kN) alla massima compressione, si ripropongono le verifiche geotecniche per le massime azioni di trazione e compressione per lo spettro con T_R = 949 anni, calcolate a partire da quelle in Tabella 11-2 incrementate del 28%:

Azioni sui pali	N_{475}	$N_{949} = N_{475}*1.28$	Capacità R_d	UC_{949}
	[MN]	[MN]	[MN]	< 1.0
Compressione	3.70	4.74	7.45	0.64
Trazione	1.47	1.88	4.65	0.40

Tabella 11-3: Piattaforma Scalandrone Sud: verifiche geotecnioche per spettro T_R = 949 anni

Le verifiche geotecniche sono soddisfatte.

La piattaforma scalandrone è in grado di resistere all'azione sismica calcolata con uno spettro con T_R = 949 anni allo SLV, assumendo una vita nominale V_N = 50 anni in ottemperanza alle prescrizioni delle NTC2018 (Rif.[B1]).

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

11.2 BRICCOLE DI ACCOSTO E ORMEGGIO

Le briccole di accosto e di ormeggio, geometricamente identiche, sono state verificate per un sisma calcolato con spettro di risposta avente T_R = 475 anni allo SLV secondo NTC2018 (Rif.[B1]), legato ad una vita nominale V_N = 25 anni. Le verifiche, soddisfatte, sono riportate nelle relazioni "Relazione di progettazione sismica strutturale in sito" (Rif.[A14], [A15]). Di seguito si verifica la struttura per lo spettro di risposta calcolato per una vita nominale V_N = 50 anni (T_R = 949 anni) in ottemperanza alle prescrizioni delle NTC2018 (Rif.[B1]).

Lo spettro di risposta era stato calcolato per una V_N = 25 anni, ed un fattore di struttura q = 1.33. Esso è riportato nelle basi di progettazione Rif.[A9].

Dall'analisi modale delle briccole, si ottiene che il primo modo della struttura è pari a T_1 = 1.23 s. Entrando nello spettro di risposta allo SLV con T_R = 475 anni, l'accelerazione vale:

$S_{475}(T_1)$ = 0.25g

Nei calcoli le briccole sono state verificate assumendo a favore di sicurezza $S_d(T)$ = 0.30g (Rif.[A14], [A15]).

Viene calcolato lo spettro con T_R = 949 anni allo SLV considerando una V_N = 50 anni. Tale spettro è calcolato secondo i parametri elencati al par.8.2 ed è rappresentato in Figura 8-1.

Considerando a favore di sicurezza che il periodo naturale della struttura resti invariato, entrando nello spettro calcolato si ottiene:

$S_{949}(T_1) = 0.30g \leq S_d(T) = 0.30g$

Avendo eseguito le verifiche sismiche delle briccole con un'accelerazione di progetto pari a quella sopra calcolata per T_R = 949 anni, come riportato nelle relazioni Rif.[A14], [A15], tali verifiche restano valide, per cui:

Max. UC strutturale = 0.16 < 1.0

Max UC capacità portante pali = 0.22 < 1.0

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

11.3 PASSERELLE

Le passerelle sono state verificate per un sisma calcolato con spettro di risposta avente T_R = 475 anni allo SLV secondo NTC2018 (Rif.[B1]), legato ad una vita nominale V_N = 25 anni. Le verifiche, soddisfatte, sono riportate nella relazione "Relazione di calcolo delle passerelle – Statica e Sismica" (Rif.[A16]). Di seguito si verifica la struttura per lo spettro di risposta calcolato per una vita nominale V_N = 50 anni (T_R = 949 anni) in ottemperanza alle prescrizioni delle NTC2018 (Rif.[B1]).

Lo spettro di risposta era stato calcolato per una V_N = 25 anni, ed un fattore di struttura q = 1.33. Esso è riportato nelle basi di progettazione Rif.[A9].

Dall'analisi modale delle passerelle, si ottiene che il primo modo della struttura è pari a T_1 = 2.45 s. Entrando nello spettro di risposta allo SLV con T_R = 475 anni, l'accelerazione vale:

$S_{475}(T_1)$ = 0.10g

Nei calcoli le passerelle sono state verificate assumendo a favore di sicurezza $S_d(T)$ = 0.15g (Rif.[A16]).

Viene calcolato lo spettro con T_R = 949 anni allo SLV considerando una V_N = 50 anni. Tale spettro è calcolato secondo i parametri elencati al par.8.2 ed è rappresentato in Figura 8-1.

Considerando a favore di sicurezza che il periodo naturale della struttura resti invariato, entrando nello spettro calcolato si ottiene:

$S_{949}(T_1)$ = 0.14g ≤ $S_d(T)$ = 0.15g

Avendo eseguito le verifiche sismiche delle passerelle con un'accelerazione di progetto maggiore rispetto a quella calcolata sopra per T_R = 949 anni, come mostrato in relazione Rif. [A16], tali verifiche restano valide, per cui:

Max. UC passerella tipica = 0.43 < 1.0

Max UC passerella punto fisso = 0.50 < 1.0

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

11.4 PASSERELLE DI SOSTEGNO TUBO GAS

Le passerelle di sostegno del tubo gas 26'' sono state verificate per un sisma calcolato con spettro di risposta avente T_R = 475 anni allo SLV secondo NTC2018 (Rif.[B1]), legato ad una vita nominale V_N = 25 anni. Le verifiche, soddisfatte, sono riportate nella relazione "Passerelle di sostegno tubo gas 26 in – Analisi Sismica" (Rif.[A17]). Di seguito si verifica la struttura per lo spettro di risposta calcolato per una vita nominale V_N = 50 anni (T_R = 949 anni) in ottemperanza alle prescrizioni delle NTC2018 (Rif.[B1]).

Lo spettro di risposta era stato calcolato per una V_N = 25 anni, ed un fattore di struttura q = 1.50. Esso è riportato nelle basi di progettazione Rif.[A9].

Dall'analisi modale delle passerelle, si ottiene che il primo modo della struttura è pari a T_1 = 1.70 s. Entrando nello spettro di risposta allo SLV con T_R = 475 anni, l'accelerazione vale:

$S_{475}(T_1)$ = 0.15g

Nei calcoli le passerelle di supporto sono state verificate assumendo a favore di sicurezza $S_d(T)$ = 0.20g (Rif. [A17]).

Viene calcolato lo spettro con T_R = 949 anni allo SLV considerando una V_N = 50 anni. Tale spettro è calcolato secondo i parametri elencati al par.8.2 assumendo q = 1.5.

Considerando a favore di sicurezza che il periodo naturale della struttura resti invariato, entrando nello spettro calcolato si ottiene:

$S_{949}(T_1)$ = 0.196g ≤ $S_d(T)$ = 0.20g

Avendo eseguito le verifiche sismiche delle passerelle con un'accelerazione di progetto maggiore rispetto a quella calcolata sopra per T_R = 949 anni, come mostrato in relazione Rif. [A17], tali verifiche restano valide, per cui:

Max. UC PAS-TG2 = 0.55 < 1.0

Max. UC PAS-TG3 = 0.85 < 1.0

Max. UC PAS-TG5 = 0.61 < 1.0

Max. UC PAS-TG7 = 0.40 < 1.0

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

11.5 STRUTTURA DI SUPPORTO RISER-JTUBES

La struttura di supporto delle clampe del riser e dei J-tubes è stata verificata per un sisma calcolato con spettro di risposta avente T_R = 475 anni allo SLV secondo NTC2018 (Rif.[B1]), legato ad una vita nominale V_N = 25 anni. Le verifiche, soddisfatte, sono riportate nella relazione "Relazione di calcolo della struttura di supporto del riser e jtube – Analisi Sismica" (Rif.[A18]). Di seguito si verifica la struttura per lo spettro di risposta calcolato per una vita nominale V_N = 50 anni (T_R = 949 anni) in ottemperanza alle prescrizioni delle NTC2018 (Rif.[B1]).

Lo spettro di risposta era stato calcolato per una V_N = 25 anni, ed un fattore di struttura q = 1.33. Esso è riportato in Rif.[A13].

Dall'analisi modale della struttura, i cui risultati sono riportati in Rif. [A18], si ottiene che il primo modo della struttura è pari a T_1 = 1.55s. Entrando nello spettro di risposta allo SLV con T_R = 475 anni, l'accelerazione vale:

$S_{475}(T_1)$ = 0.19g

Viene calcolato lo spettro con T_R = 949 anni allo SLV considerando una V_N = 50 anni. Tale spettro è calcolato secondo i parametri elencati al par.8.2 ed è rappresentato in Figura 8-1.

Considerando a favore di sicurezza che il periodo naturale della struttura resti invariato, entrando nello spettro calcolato si ottiene:

$S_{949}(T_1)$ = 0.24g

L'incremento delle azioni sismiche vale $S_{949}(T_1)$/ $S_{475}(T_1)$ = 1.26.

Di seguito si riporta l'aumento degli UC per le verifiche allo SLV effettuate con lo spettro avente T_R = 475 anni in Rif.[A18], assumendo lo spettro con T_R = 949 anni (incremento azioni sismiche 26%):

Max. UC strutturale = UC_{475}*1.26 = 0.58*1.26 = 0.73 < 1.0

Max UC capacità portante pali = UC_{475}*1.26 = 0.70*1.26 = 0.88 < 1.0

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

12 APPENDICE A – SCHEMI UNIFILARI

Gli schemi unifilari per l'individuazione dei nomi dei nodi e dei gruppi per gli elementi del Jacket e del Deck sono mostrati nelle relazioni di calcolo dell'analisi statica in-servizio (Rif.[A10]/[A11]).

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

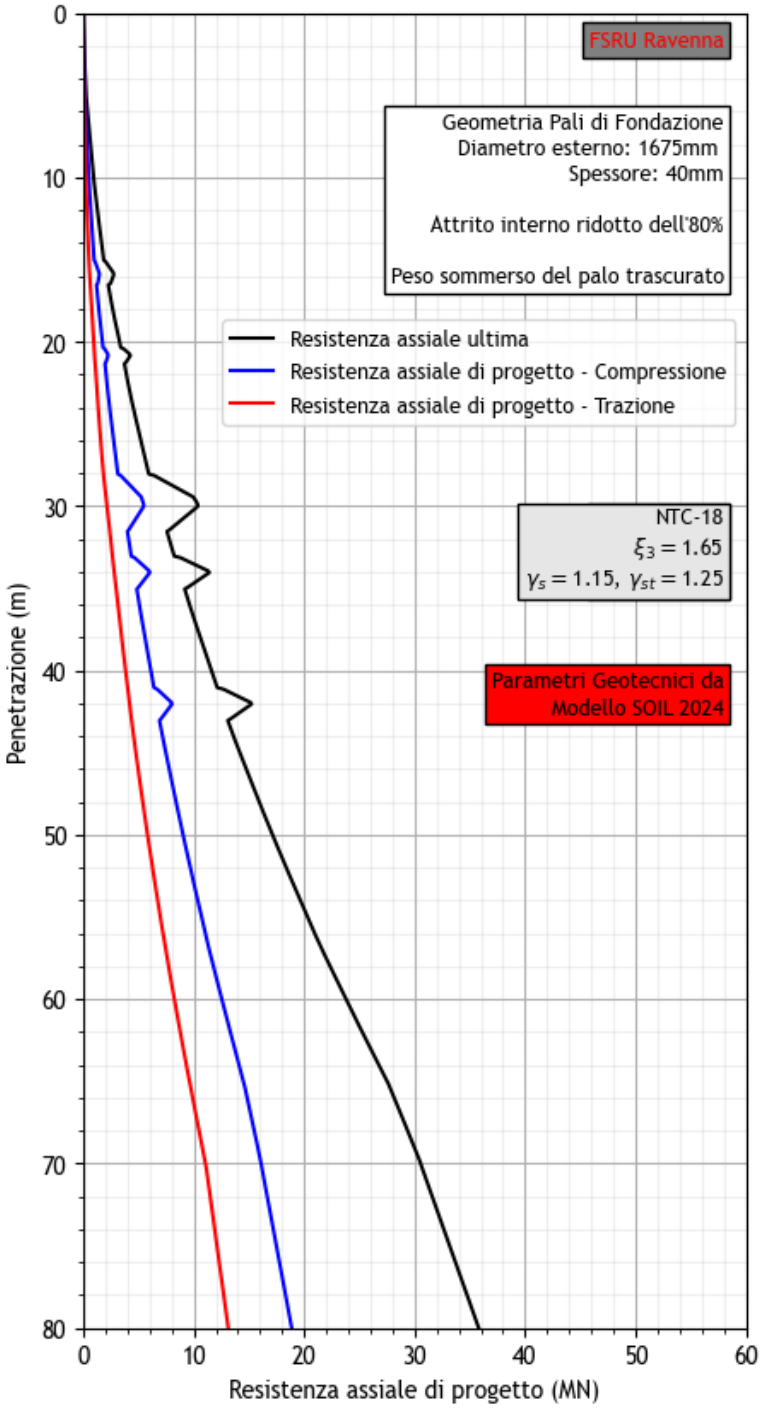
13 APPENDICE B – PROPRIETA' GRUPPI

Le proprietà dei gruppi e le sezioni assegnate agli elementi del Jacket e del Deck sono mostrati nelle relazioni di calcolo dell'analisi statica in-servizio (Rif.[A10]/[A11]).

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

14 APPENDICE C – CURVE DI CAPACITA' PORTANTE PALI

Si riportano le curve di capacità portante dei pali della piattaforma calcolate nella Relazione Geotecnica (Rif.[A14]), in accordo alle NTC 2018 (Rif.[B1]).



15 APPENDICE D – SACS FILES DI INPUT



0001-CI-E-017249.zip