EMERGENZA GAS

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

FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI

JACKET – ANALISI STATICA IN SERVIZIO

RELAZIONE DI CALCOLO

Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato Autorizzato	Data
B	Emesso per Approvazione	F. Biancheri	J. Albagli	M. Raimondi	07/05/2024
A	Emesso per Approvazione	F. Biancheri	J. Albagli	M. Raimondi	22/12/2023

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

INDICE

		PAGINA
1	**OGGETTO DELLA REVISIONE B**	**6**
2	**INTRODUZIONE**	**6**
2.1	Generalità	6
2.2	Scopo del Documento	7
3	**DEFINIZIONI ED ABBREVIAZIONI**	**7**
3.1	Definizioni	7
3.2	Abbreviazioni	7
4	**RIFERIMENTI**	**8**
4.1	Documenti Di Progetto	8
4.2	Documenti Di Riferimento	8
4.3	Normative Di Riferimento	8
4.4	Software	9
5	**CONCLUSIONI**	**10**
6	**DESCRIZIONE PIATTAFORMA DI SCARICO**	**11**
6.1	Deck	12
6.2	Jacket	14
7	**CRITERI DI PROGETTAZIONE**	**15**
7.1	Materiali	15
7.2	Criteri di Progettazione	17
7.2.1	Generalità	17
7.2.2	Combinazione delle azioni e fattori di azione parziale per le analisi in servizio	17
7.2.3	Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari	18
7.2.4	Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari	18
7.2.5	Resistenza minima nodi tubolari	19
7.2.6	Fattore di resistenza parziale per sezioni non tubolari	19
7.2.7	Fattore di resistenza parziale per capacità assiale del palo	20
7.2.8	Deformazioni	21
7.3	Criteri di Accettazione	22
7.3.1	Elementi della struttura	22
7.3.2	Pali di fondazione	22
8	**DATI DI PROGETTO AMBIENTALI**	**24**

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

8.1 Dati Meteo-Marini 24
8.1.1 Batimetria 24
8.1.2 Vento 24
8.1.3 Onde e correnti 25
8.1.4 Coefficienti idrodinamici 26
8.1.5 Splash Zone 26
8.1.6 Accrescimento Marino 26
8.1.7 Spessore di Corrosione 27
8.2 Sismicità 27
8.3 Dati Geotecnici 31
9 MODELLO DI CALCOLO 32
9.1 Unità di Misura 32
9.2 Sistema di Riferimento 32
9.3 Programma di Calcolo 33
9.4 Modello di Calcolo 33
9.4.1 Criteri di Modellazione 34
9.5 Modellazione Della Fondazione 37
10 CARICHI E COMBINAZIONI DI CARICO 38
10.1 Carichi Permanenti 39
10.1.1 Peso Proprio Strutturale - DEAZ 39
10.1.2 Pesi Strutture non modellate - PERZ 40
10.1.3 Piping 41
10.1.4 Equipaggiamenti 42
10.2 Carichi Variabili 45
10.2.1 Carico Variabile distribuito – LIVZ 45
10.2.2 Bracci di Carico 46
10.2.3 Gru 47
10.2.4 Fiaccola 48
10.3 Carichi Ambientali 48
10.3.1 Carichi d'onda e correnti 48
10.3.2 Carichi di Vento 50
10.4 Risultanti dei Carichi Base 53
10.5 Combinazioni di Carico 54

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

10.5.1 Combinazioni Operative 55
10.5.2 Combinazioni Estreme 55
11 RISULTATI DELL'ANALISI 57
11.1.1 Verifiche strutturali del Jacket (sottostrutture) 57
11.1.2 Verifiche nodi tubolari 60
11.1.3 Verifiche dei Pali infissi (fondazioni) 61
12 APPENDICE A – SCHEMI UNIFILARI 65
12.1 Denominazione Nodi 65
12.1.1 Jacket 65
12.1.2 Pali 68
12.1.3 Caisson 68
12.2 Denominazione Gruppi 69
12.2.1 Jacket 69
12.2.2 Pali 72
12.2.3 Caisson 72
13 APPENDICE B – PROPRIETA' GRUPPI 73
13.1 Proprietà gruppi 73
13.2 Proprietà Sezioni 73

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 4-1: Max. Trazione e Compressione in testa palo 10
Tabella 6-1: Proprietà acciaio 15
Tabella 6-2: Gradi di acciaio secondo standard per classi di design 15
Tabella 6-3: Proprietà dell'acciaio relative allo spessore (UNI EN 10025) 16
Tabella 6-4: Fattori di azione parziale per l'analisi in servizio 17
Tabella 6-5: Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari 18
Tabella 6-6: Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari 19
Tabella 6-7: Fattori di resistenza parziale per i nodi tubolari 19
Tabella 6-8: Fattori di resistenza parziale per sezioni non tubolari 20
Tabella 6-9: Fattori di resistenza parziale per la capacità assiale del palo 20
Tabella 6-10: Valore massimo per la deformazione dei componenti strutturali 21
Tabella 7-1: Dati Vento 24
Tabella 7-2: Dati Onde 25

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

Tabella 7-3: Dati di Corrente 25
Tabella 7-4: Parametri sismici al variare del tempo di ritorno T_R 28
Tabella 7-5: Dati geotecnici di progetto 31
Tabella 8-1: Composizione pali sotto il fondale marino 37
Tabella 9-1: Coefficienti parziali azioni per condizioni in servizio 38
Tabella 9-2: Strutture non modellate - LOADCN PERZ 40
Tabella 9-3: Carichi Piping - LOADCN PIPZ 41
Tabella 9-4: Carichi Equipaggiamento 42
Tabella 9-5: Carichi Piping - LOADCN PIPZ 45
Tabella 9-6: Carichi Operativi Bracci di Carico 46
Tabella 9-7: Carichi Operativi Gru 47
Tabella 9-8: Carichi Vento Fiaccola 48
Tabella 9-9: Coefficienti idrodinamici 49
Tabella 9-10: Carichi Meteomarini – Onde e correnti 49
Tabella 9-11: Carichi Meteomarini – Vento 51
Tabella 9-12: Risultanti condizioni di carico applicate 53
Tabella 9-13: Pre-combinazioni di carico 54
Tabella 9-14: Combinazioni SLU Operative 55
Tabella 9-15: Risultanti Combinazioni SLU Operative 55
Tabella 9-16: Combinazioni SLU Estreme 55
Tabella 9-17: Risultanti Combinazioni SLU Estreme 56
Tabella 10-1: Verifiche elementi strutturali UC > 0.35 58
Tabella 10-2: Verifiche e max UC per gruppi 58
Tabella 10-3: Massimi UC nodi Jacket - Punzonamento 61
Tabella 10-4: Massimi UC nodi Jacket – Resistenza 61
Tabella 10-5: Max. spostamenti e forze in testa palo & max. UC 63
Tabella 10-6: Max. Trazione e Compressione in testa palo 63

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

1 OGGETTO DELLA REVISIONE B

La revisione B della presente revisione riguarda l'aggiornamento delle curve di capacità portante in accordo all'Appendice I della relazione geotecnica documento 0001-CI-E-012500.

2 INTRODUZIONE

2.1 GENERALITÀ

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

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

Le opere previste nel Progetto FSRU Ravenna sono le seguenti:

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

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

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

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

E' prevista l'installazione di un sistema di diga frangiflutti (break water) in prossimità del terminale, posta a circa 300m ad est della piattaforma di ormeggio Petra.

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

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

2.2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento illustra le verifiche strutturali del Jacket della nuova piattaforma di scarico per le condizioni in servizio, secondo i dati di progetto (Rif. [A2],) e i criteri definiti dalle basi di progettazione strutturale (Rif. [A7], [A9]).

3 DEFINIZIONI ED ABBREVIAZIONI

3.1 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

3.2 ABBREVIAZIONI

SLU	Stato Limite Ultimo
UC	Unity Check

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

4 RIFERIMENTI

4.1 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

4.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

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

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

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

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

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

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

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

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

[A10] 0001-CI-E-012500 Relazione Geotecnica

4.3 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

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

[B2] ISO 19900 General requirements for offshore structures

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

[B4] ISO 19902 Fixed Steel Offshore

[B5] EN 1993 Progettazione delle strutture in acciaio

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

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

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

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

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

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

[B12] PIANC WG121 Harbour Approach Channels – Design Guidelines

[B13] OCMIF (MEG4) Mooring Equipment Guidelines

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

[B15] DNVGL-ST-N001Marine operations and marine warranty

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

[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

4.4 SOFTWARE

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

[B21] LPILE Analysis for Laterally loaded piles by Ensoft (Lymon C. Reese)

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

5 CONCLUSIONI

Le analisi in configurazione in servizio hanno dimostrato che il Jacket della piattaforma è in grado di resistere alle condizioni operative ed estreme di progetto, in termini di carichi gravitazionali e meteomarini, secondo quanto prescritto dalle normative di riferimento ISO 19902 Rif.[B4] (per le sezioni circolari), EN 1993 Rif.[B5] (per le sezioni I /H), ed secondo NTC2018 Rif. [B1] (verifiche geotecniche).

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

- Sul Jacket: UC = 0.50 < 1.0
- Sui pali fuori terra: UC = 0.45 < 1.0
- Sui pali infissi: UC = 0.44 < 1.0
- Punzonamento nodi tubolari: UC = 0.39 < 1.0
- Resistenza nodi tubolari: UC = 0.91 <1.0

Le verifiche strutturali risultano tutte soddisfatte.

I massimi carichi assiali sui pali, i valori di capacità portante e rispettivi fattori di sicurezza sono riportati in Tabella 5-1:

Azioni sui Pali	Capacità di Progetto [MN]	Cond. Operative		Cond. Estreme	
		N [MN]	SF (> 1.0)	N [MN]	SF (> 1.0)
Compressione	18.35	17.5	1.05	15.5	1.18
Trazione	12.55	-	-	-	-

Tabella 5-1: Max. Trazione e Compressione in testa palo

Le verifiche geotecniche risultano soddisfatte. Non è stata riscontrata alcuna trazione sui pali.

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

6 DESCRIZIONE PIATTAFORMA DI SCARICO

In Figura 6-1 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 75m.

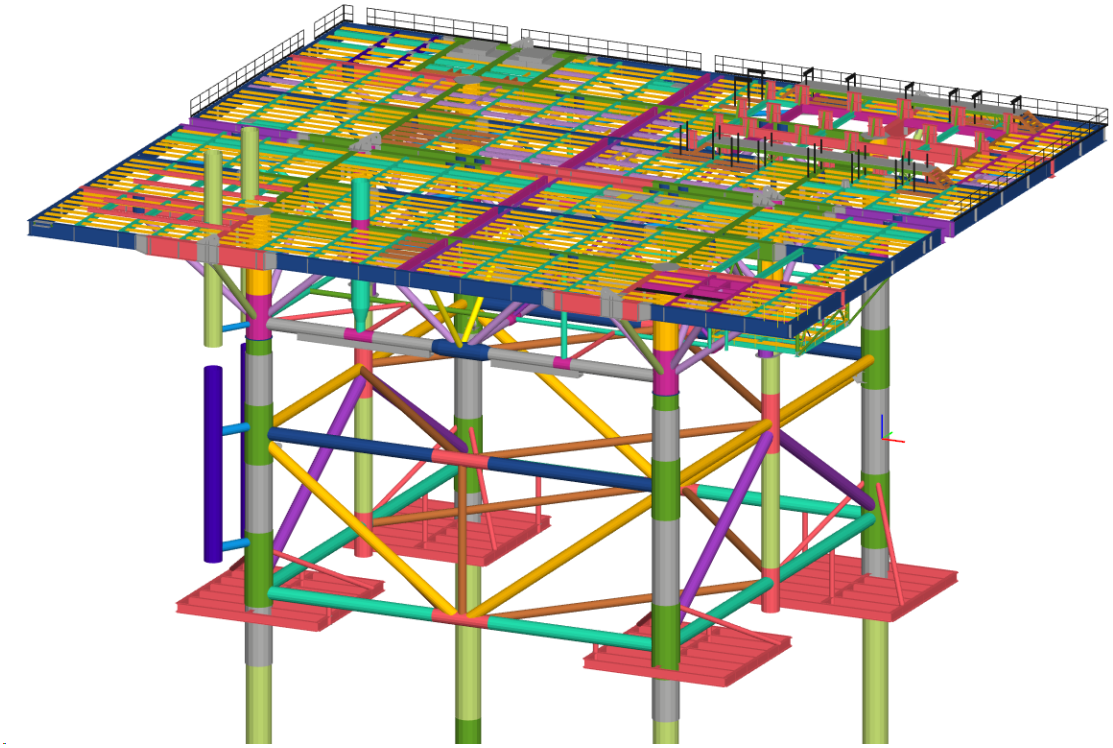


Figura 6-1: Nuova piattaforma di scarico

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

6.1 DECK

Il deck è costituito da due semideck, formando un impalcato di travi sorrette da strutture reticolari, connesse a quattro gambe principali esterne e quattro secondarie centrali, 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 da 25t.
- 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.

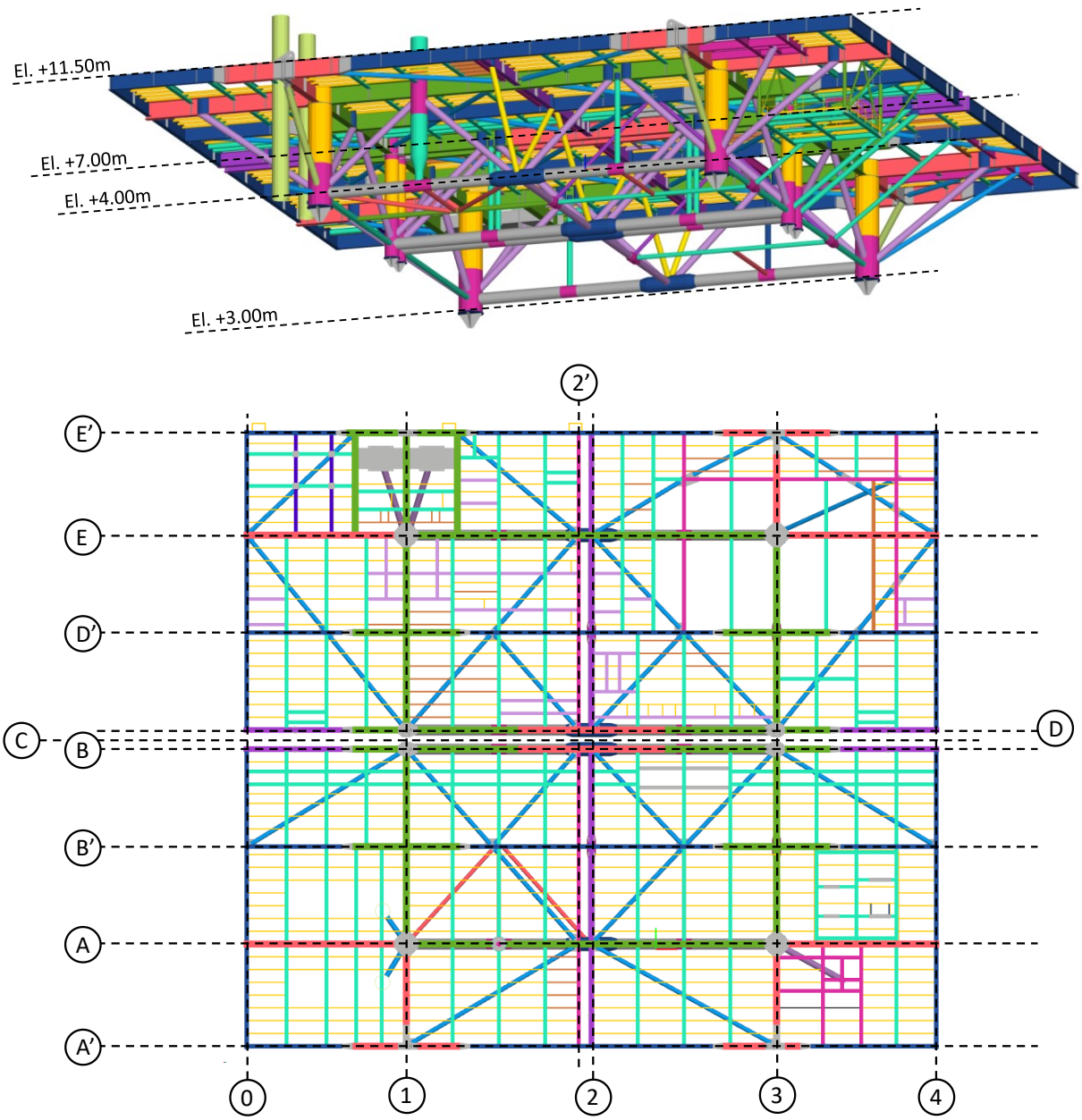


Figura 6-2: Piattaforma di scarico: Deck

6.2 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 99m (lunghezza Infissione 75m)

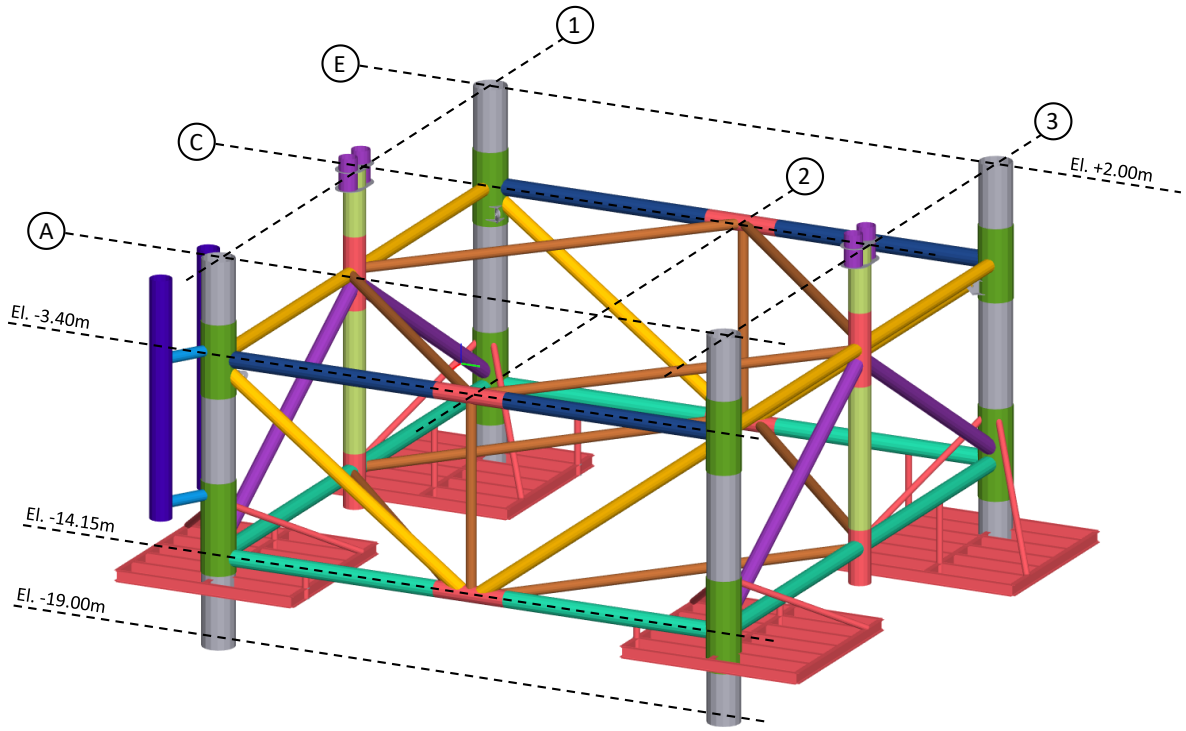


Figura 6-3: Piattaforma di scarico: Jacket

7 CRITERI DI PROGETTAZIONE

7.1 MATERIALI

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

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 7-1: Proprietà acciaio

Le classi di acciaio utilizzate sono riportate in Tabella 7-2.

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 7-2: Gradi di acciaio secondo standard per classi di design

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 7-3.

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 7-3: 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.

7.2 CRITERI DI PROGETTAZIONE

7.2.1 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.

7.2.2 Combinazione delle azioni e fattori di azione parziale per le analisi in servizio

La combinazione delle azioni agli SLU secondo NTC2018 (Rif. [B1]) è la seguente:

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

Dove:

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

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

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

Tabella 7-4: Fattori di azione parziale per l'analisi in servizio

7.2.3 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 7-5: Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari

7.2.4 Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari

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

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

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

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 7-6: Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari

7.2.5 Resistenza minima nodi tubolari

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

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

Tabella 7-7: 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)

7.2.6 Fattore di resistenza parziale per sezioni non tubolari

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

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

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 7-8: Fattori di resistenza parziale per sezioni non tubolari

7.2.7 Fattore di resistenza parziale per capacità assiale del palo

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

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

Tabella 7-9: 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

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

- 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].

7.2.8 Deformazioni

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

Considerando:

Δ_{Max} = deformazione massima per Permanenti + Variabili

Δ_0 = deformazione massima per solo+ Variabili

Componente strutturale	Massima deformazione	
	Δmax	Δ_0
Travi su appoggi	*l/200*	*L/300*
Travi a sbalzo	*l/100*	L/150

Tabella 7-10: Valore massimo per la deformazione dei componenti strutturali

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

7.3 CRITERI DI ACCETTAZIONE

7.3.1 Elementi della struttura

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

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

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi (SLU) 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)
- R_k = Resistenza caratteristica
- γ_M= fattore parziale di resistenza

7.3.2 Pali di fondazione

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

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

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

dove:

- P_D = carico assiale su pali utilizzando carichi fattorizzati
- Q_D = capacità massima del palo assiale di progetto
- Q_R = capacità ultima del palo assiale
- γ_R= fattore di resistenza del palo, Riferimento Par.7.2.7 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.

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.7.2.7).

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

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

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

I dati meteo-marini inerenti vento, onde, corrente, sono riportati nei documenti:

- NQR22199/L02-0001-LF-E-05400 - Dati Generali di Progetto Rif. [A2]
- 000-ZX-E-17083 - Design Basis (FEED) Rif. [A7]
- 000-ZA-E-17075 - Studio Meteo-Marino Rif. [A5]

E riassunti nei paragrafi seguenti.

8.1.1 Batimetria

La quota di fondo del mare è variabile da -14m (lato ovest) a -18.00m (lato est) s.l.m.m.

Viene assunto per i calcoli in servizio la quota a -18.00m, a favore di sicurezza.

La variazione della profondità data dalla marea è di ±0.50 m.

8.1.2 Vento

Vengono di seguiti tabulati i dati di vento caratterizzanti il sito di interesse, in termini di velocità del vento, direzione di provenienza, per differenti tempi di ritorno (1, 10, 100, 1000, 10000 anni) e mediati su tempi differenti (3'',1',10',1h).

SRG - FSRU - DHI data - Jan. 1979 - Dec. 2021 - Punta Marina - 44.460 N, 12.389 E

Whole Year extreme wind speed - 10 m above sea level

Return period		1 Year				10 Year				100 Year				1000 Year				10000 Year			
Wind incoming Direction	(°N)	Ws-3'' (m/s)	Ws-1' (m/s)	Ws-10' (m/s)	Ws-1h (m/s)	Ws-3'' (m/s)	Ws-1' (m/s)	Ws-10' (m/s)	Ws-1h (m/s)	Ws-3'' (m/s)	Ws-1' (m/s)	Ws-10' (m/s)	Ws-1h (m/s)	Ws-3'' (m/s)	Ws-1' (m/s)	Ws-10' (m/s)	Ws-1h (m/s)	Ws-3'' (m/s)	Ws-1' (m/s)	Ws-10' (m/s)	Ws-1h (m/s)
	0.0	20.6	18.6	17.1	15.9	27.2	24.4	22.2	20.5	33.9	30.1	27.1	24.9	40.5	35.7	32.0	29.1	47.3	41.4	36.8	33.2
	30.0	25.7	23.1	21.1	19.5	31.5	28.0	25.4	23.3	36.8	32.6	29.3	26.8	41.9	36.9	33.0	30.0	46.8	40.9	36.4	32.9
	60.0	25.3	22.7	20.7	19.2	29.4	26.2	23.8	21.9	32.9	29.3	26.5	24.3	36.2	32.0	28.8	26.4	39.1	34.5	31.0	28.2
	90.0	22.5	20.1	18.4	17.1	28.3	25.3	23.0	21.2	34.2	30.4	27.4	25.1	39.9	35.2	31.6	28.7	45.6	40.0	35.6	32.2
	120.0	19.4	17.5	16.1	15.0	24.2	21.8	19.9	18.5	28.9	25.9	23.5	21.7	33.6	29.8	26.9	24.7	38.2	33.7	30.3	27.6
	150.0	19.8	17.9	16.4	15.3	23.8	21.4	19.5	18.1	27.4	24.6	22.4	20.6	30.9	27.6	25.0	23.0	34.3	30.4	27.4	25.1
	180.0	16.2	14.7	13.6	12.7	20.1	18.2	16.7	15.6	23.9	21.5	19.6	18.2	27.4	24.5	22.3	20.6	30.8	27.5	24.9	22.9
	210.0	15.1	13.8	12.8	12.0	19.2	17.4	16.0	15.0	23.1	20.8	19.1	17.7	26.9	24.1	21.9	20.3	30.5	27.2	24.7	22.7
	240.0	17.7	16.0	14.8	13.8	21.9	19.8	18.1	16.8	25.9	23.2	21.2	19.6	29.7	26.5	24.1	22.2	33.4	29.7	26.8	24.6
	270.0	16.4	14.9	13.8	12.9	20.2	18.2	16.8	15.6	23.8	21.4	19.6	18.2	27.4	24.6	22.4	20.6	31.0	27.6	25.0	23.0
	300.0	19.1	17.3	15.9	14.9	23.6	21.3	19.4	18.0	28.1	25.1	22.8	21.1	32.5	28.9	26.1	24.0	36.8	32.6	29.3	26.8
	330.0	18.0	16.3	15.0	14.0	23.4	21.0	19.3	17.9	28.8	25.8	23.4	21.6	34.4	30.5	27.5	25.2	40.0	35.2	31.6	28.8
	Omnidir	27.6	24.7	22.5	20.8	32.9	29.3	26.5	24.3	38.2	33.7	30.3	27.6	43.3	38.0	34.0	30.8	48.4	42.2	37.5	33.9

Tabella 8-1: Dati Vento

Valori di progetto assunti:

- Condizioni Operative: Profilo API con 32.9m/s a 10 m dal livello del mare
- Condizioni di Storm: Profilo API con 38.2m/s a 10 m dal livello del mare

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

8.1.3 Onde e correnti

Vengono di seguiti tabulati i dati di onde caratterizzanti il sito di interesse, in termini di altezza massima dell'onda e relativo periodo, per differenti tempi di ritorno (1, 10, 100, 1000, 10000 anni).

Wave Directional Extremes - Punta Marina - 12.389 E, 44.460 N - Whole year										
Direction - coming from (°N)	1 yr Return Period		10 yr Return Period		100 yr Return Period		1000 yr Return Period		10000 yr Return Period	
	H_{max} (m)	T_{max} (s)	H_{max} (m)	T_{max} (s)	H_{max} (m)	T_{max} (s)	H_{max} (m)	T_{max} (s)	H_{max} (m)	T_{max} (s)
0	2.19	5.50	3.06	6.15	3.94	6.67	4.82	7.08	5.71	7.42
30	4.20	6.80	5.49	7.34	6.75	7.74	7.98	8.05	9.20	8.30
60	5.93	7.49	7.33	7.90	8.67	8.20	9.96	8.43	11.21	8.62
90	5.92	7.49	7.40	7.92	8.84	8.23	10.25	8.48	11.63	8.68
120	4.66	7.01	5.93	7.50	7.20	7.87	8.48	8.16	9.76	8.40
150	2.18	5.48	2.84	6.00	3.49	6.42	4.12	6.76	4.74	7.05
180	1.29	4.63	1.87	5.21	2.43	5.69	2.99	6.10	3.55	6.45
210	1.24	4.57	1.72	5.07	2.16	5.47	2.58	5.81	2.97	6.09
240	0.89	4.17	1.53	4.88	2.30	5.58	3.16	6.22	4.13	6.76
270	0.82	4.09	1.31	4.65	1.84	5.18	2.40	5.67	2.99	6.10
300	1.17	4.50	1.70	5.05	2.21	5.51	2.70	5.90	3.18	6.23
330	1.68	5.03	2.29	5.58	2.88	6.02	3.45	6.39	4.01	6.70
OMNI	6.40	7.64	7.86	8.03	9.31	8.32	10.73	8.55	12.14	8.74

Tabella 8-2: Dati Onde

Vengono di seguiti tabulati i dati di correnti caratterizzanti il sito di interesse, in termini di velocità dell'onda, per differenti tempi di ritorno (1,10, 100, 1000, 10000 anni).

SRG - FSRU - DHI data - Jan. 1987 - May. 2020 - Punta Marina - 44.460 N, 12.389 E						
Whole Year extreme current speed - 5 m b.s.l.						
Return period		*1 Year*	*10 Year*	*100 Year*	*1000 Year*	*10000 Year*
Current Direction	*(to - °N)*	*Cs (m/s)*	*Cs (m/s)*	*Cs (m/s)*	*Cs (m/s)*	*Cs (m/s)*
	0.0	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28
	30.0	-	-	-	-	-
	60.0	-	-	-	-	-
	90.0	-	-	-	-	-
	120.0	0.11	0.15	0.20	0.26	0.31
	150.0	0.36	0.41	0.47	0.51	0.56
	180.0	0.35	0.42	0.48	0.54	0.60
	210.0	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19
	240.0	-	-	-	-	-
	270.0	0.09	0.12	0.14	0.17	0.20
	300.0	0.13	0.17	0.21	0.25	0.28
	330.0	0.18	0.21	0.25	0.28	0.31
	Omnidir	0.38	0.44	0.50	0.56	0.61

Tabella 8-3: Dati di Corrente

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

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

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

Per la condizione operativa risultano le seguenti onde operative per le due traversie principali:

• Grecale - direzione 0°-90° : H_{max} = 7.315 m

• Scirocco - direzione 91°- 160° : H_{max} = 5.100 m

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

• Onda estrema storm: H_{max} = 9.31 m

• Onda operativa: H_{max} = 7.86 m

Pertanto, dal confronto con i valori sopra calcolati in accordo al Rif. [A5] i valori del FEED risultano a favore di sicurezza e sono confermati come dati di progetto:

Onde

- Condizioni Operative: Altezza onda H_{max} = 7.86m; periodo d'onda T = 8.03s
- Condizioni di Storm: Altezza onda H_{max} = 9.31m; periodo d'onda T = 8.32s

Correnti

- Condizioni Operative: Velocità idrica V_c = 0.44m/s alla profondità di 10m
- Condizioni di Storm: Velocità idrica V_c = 0.50m/s alla profondità di 10m

8.1.4 Coefficienti idrodinamici

I coefficienti di inerzia e di resistenza saranno determinati secondo API RP 2A e BS 6349, secondo Dati di progetto Rif. [A2]:

Profili tubolari lisci:	Cd = 0.75	Cm = 2.00
Profili tubolari irregolari:	Cd* = 1.103	Cm = 2.00
Profili aperti:	Cd = 2.00	Cm = 2.00

(*) 1.103 = 1.05 x 1.05 in modo da considerare ad esempio la presenza degli anodi o di altri elementi che modificano il profilo.

8.1.5 Splash Zone

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

8.1.6 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

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

8.1.7 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.

8.2 SISMICITÀ

I dati di dettaglio inerenti la sismicità del sito sono riportati nel documento:

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

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, per la zona di Ravenna (RA).



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

- Vita nominale della struttura: 25 anni
- Classe d'uso: IV

- Tipo di categoria del suolo: D
- Categoria topografica: T1
- Classe di duttilità: Struttura non dissipativa

I parametri sismici caratterizzanti il sito in esame per diversi tempi di ritorno sono riportati in Tabella 8-4.



SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.048	2.450	0.262
SLD	50	0.060	2.483	0.278
SLV	475	0.163	2.548	0.280
SLC	975	0.215	2.497	0.286

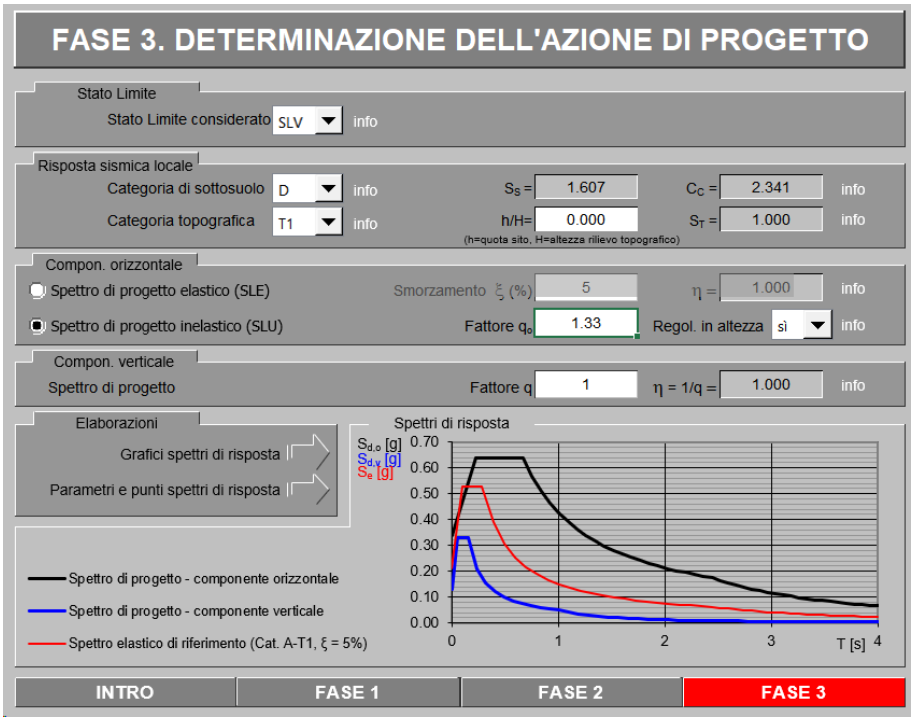
Tabella 8-4: Parametri sismici al variare del tempo di ritorno T_R

In base alle precedenti assunzioni, si assumono i seguenti parametri strutturali, secondo quanto prescritto nella sezione 7.3.1 delle NTC2018 (Rif. [B1]):

- Fattore di comportamento base: $q_0 = 2.0$ (Tab. 7.3.II, NTC2018 [B1] "Strutture con controventi concentrici a V)

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

- Coefficiente di regolarità in altezza: K_R = 1.0 (regolare)
- Comportamento per struttura a bassa duttilità: $q_{CD"B"} = q_0 * K_R$ = 2.0 ([7.3.1], NTC2018 [B1])
- Comportamento per 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]).

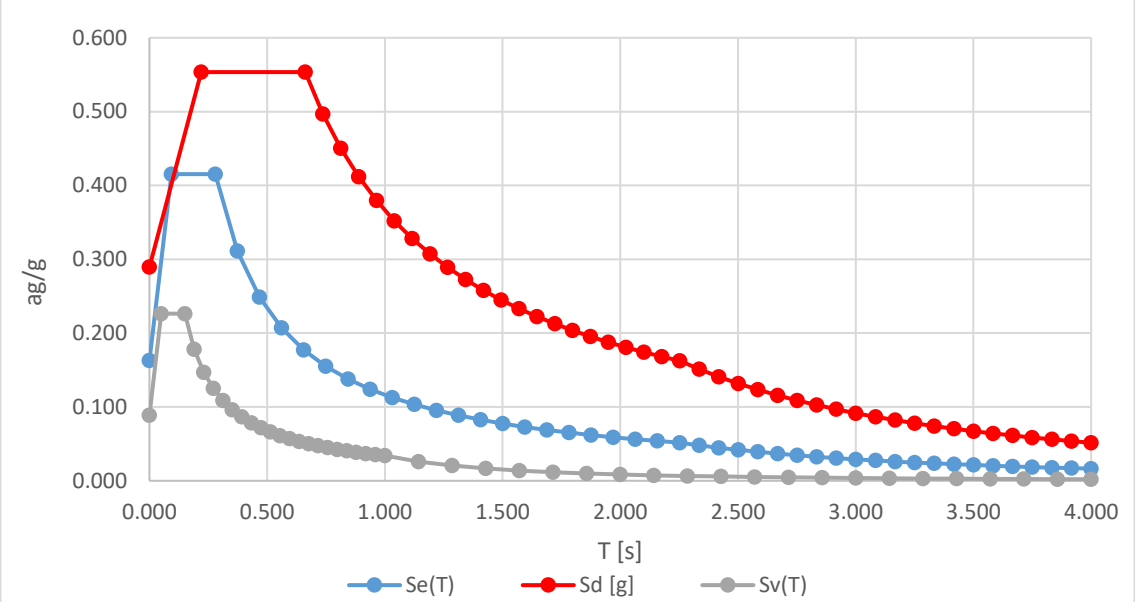


Figura 8-1: Spettri di Risposta

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

8.3 DATI GEOTECNICI

I dati geotecnici sono riportati nei documenti:

- NQR22199/L02-0001-LF-E-05400- Dati Generali di Progetto Rif. [A2]
- 0001-CI-E-012500 – Relazione Geotecnica Rif. [A10].

I dati geotecnici sono riassunti in Tabella 8-5.

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 8-5: 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 MODELLO DI CALCOLO

9.1 UNITÀ DI MISURA

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

9.2 SISTEMA DI RIFERIMENTO

Il sistema di riferimento ha origine sul livello medio del mare (l.m.m.), con le seguenti caratteristiche (vedi Figura 9-1):

- 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.

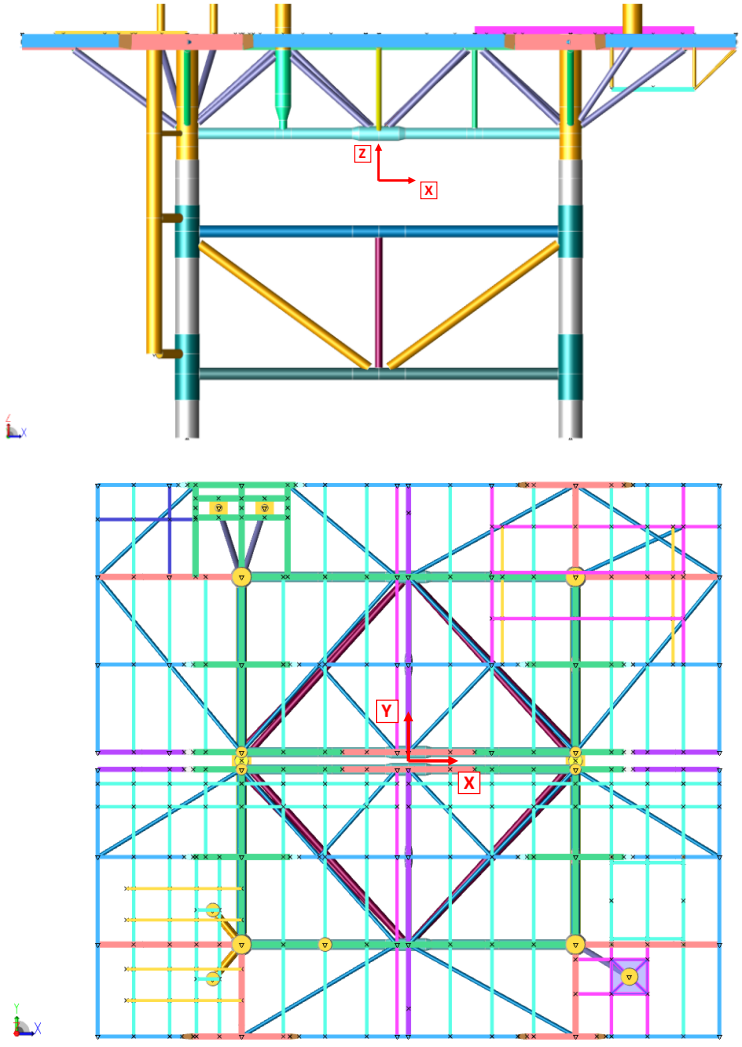


Figura 9-1: Sistema di riferimento del modello

9.3 PROGRAMMA DI CALCOLO

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

9.4 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

Il modello 3D della piattaforma di scarico è rappresentato in Figura 9-2.

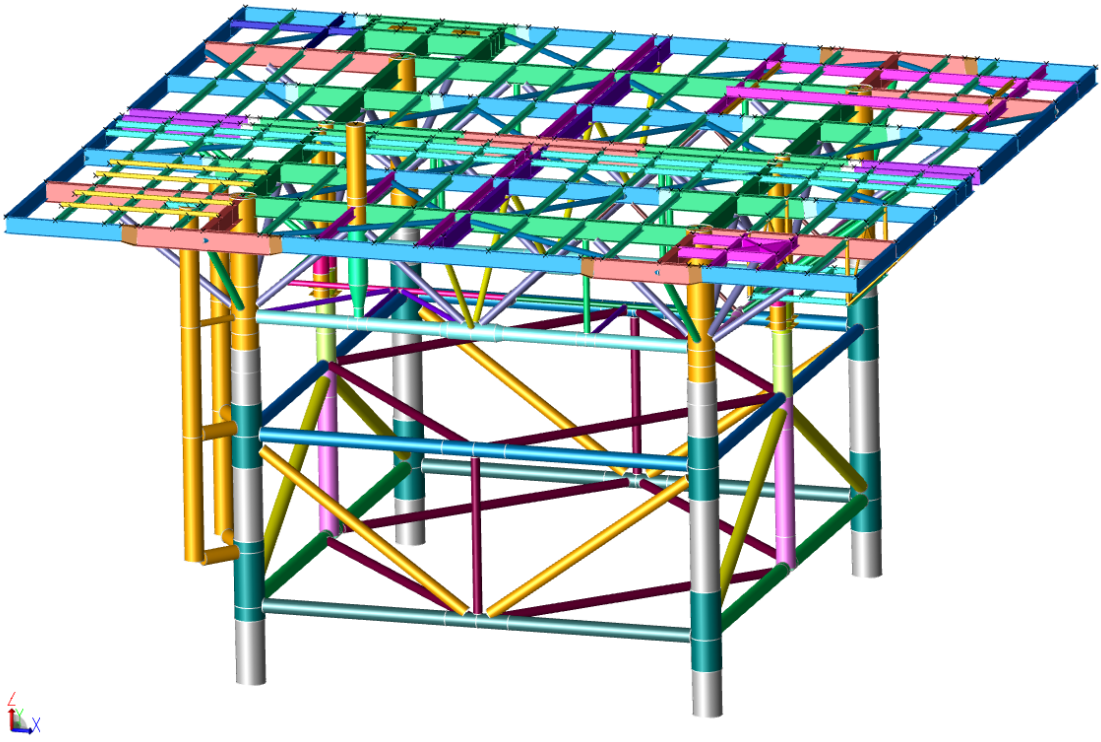


Figura 9-2: Modello SACS della piattaforma

Gli elementi secondari della struttura primaria (ad es. travi secondarie, grigliati, piastre ecc.) sono inserite a modello come carichi.

Le strutture secondarie di equipaggiamento quali bracci di carico, gru, fiaccola, sono inserite a modello come carichi.

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

9.4.1 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.
- Ogni elemento è associato ad un gruppo (Member Group), che è caratterizzato da specifiche proprietà sezionali e materiali. La corrispondenza fra elemento del modello e gruppo, la lista dei gruppi utilizzati e le relative proprietà sono elencate in APPENDICE A – SCHEMI UNIFILARI e APPENDICE B – PROPRIETA' GRUPPI.
- 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 impostando 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 9-4.
- 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. 9.5. Il sistema di vincolo del modello è rappresentato in Figura 9-3.
- 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 in questi punti 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 forze orizzontali e verticali.
- 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 9-5.

La struttura della piattaforma viene modellata per intero, e tutti i carichi vengono assegnati, tuttavia le verifiche strutturali saranno eseguite solo per il Jacket in questo documento.

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

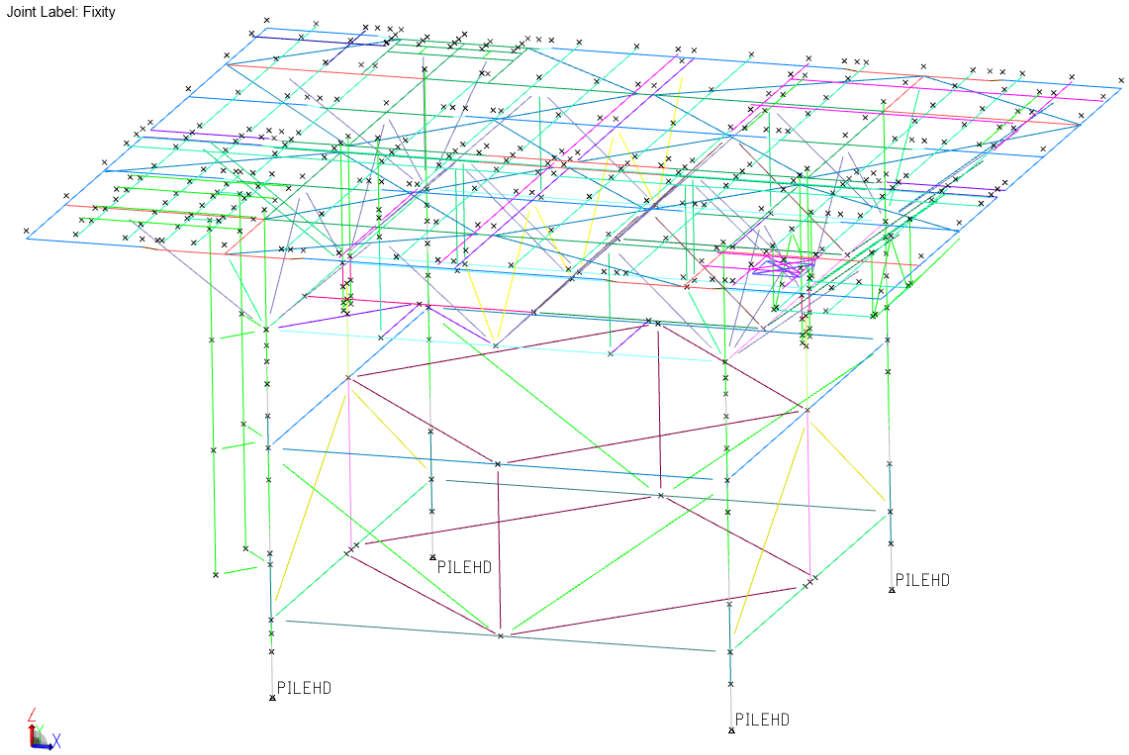


Figura 9-3: Modello SACS - Vincoli esterni: testa pali

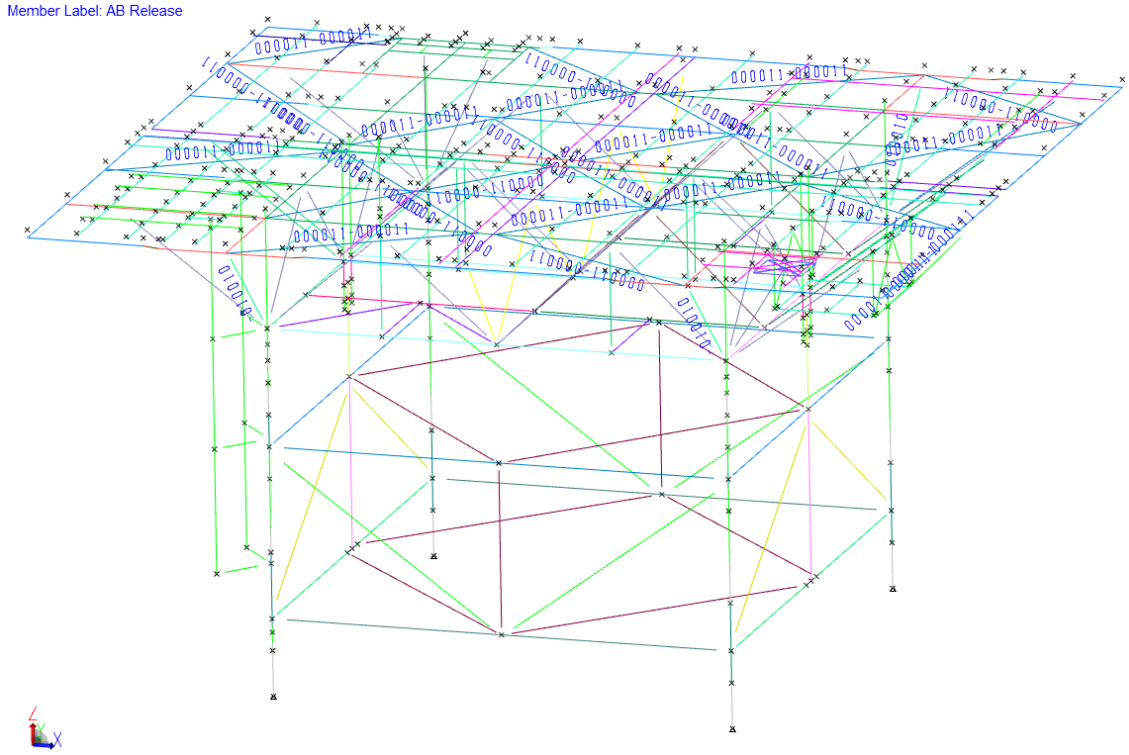


Figura 9-4: Modello SACS - *releases* interni

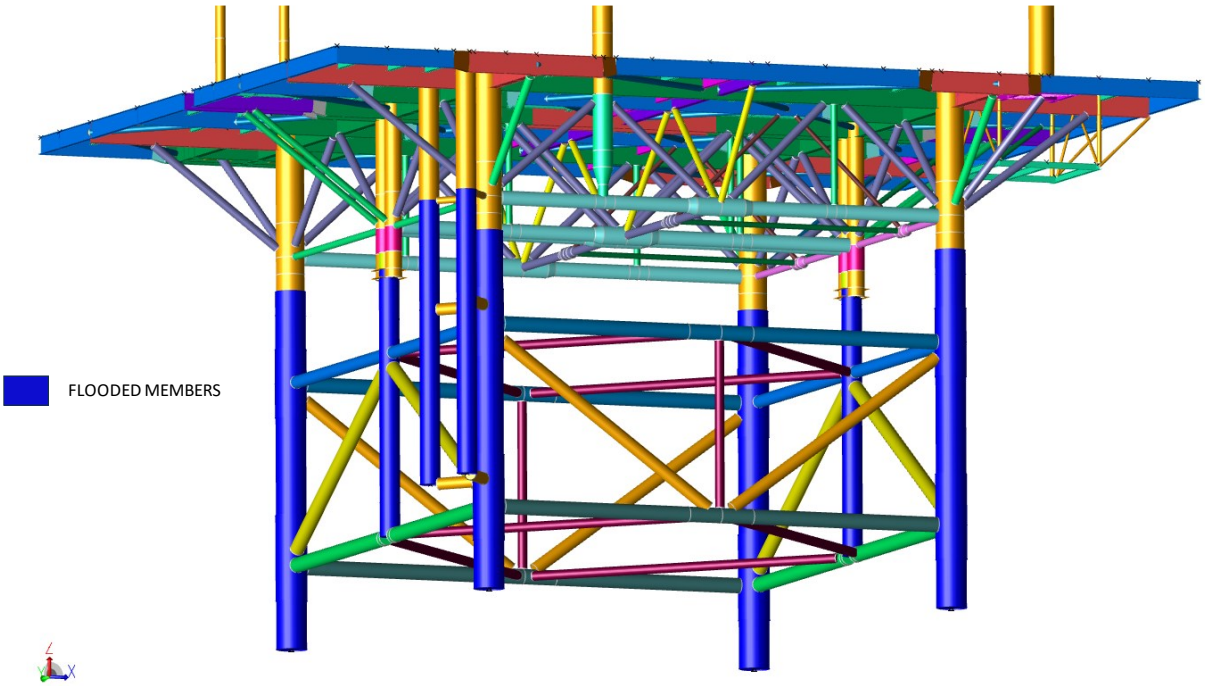


Figura 9-5: Modello SACS – Elementi allagati (*flooded*)

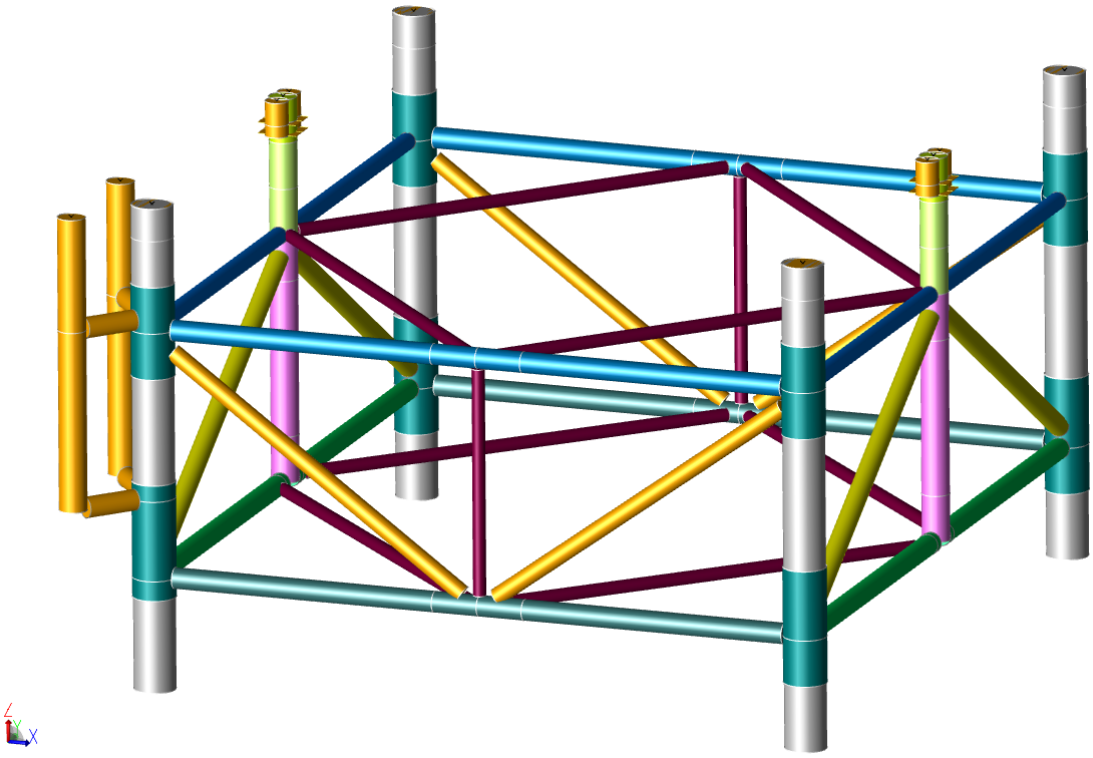


Figura 9-6: Modello SACS – Jacket

9.5 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 9-1.

Palo	Sezione	Spessore	Lunghezza di infissione
Gamba A1, A3, E1, E3	Φ 1675 mm	60 mm	12.85 m
Gamba A1, A3, E1, E3	Φ 1675 mm	40 mm	61.95 m

Tabella 9-1: Composizione pali sotto il fondale marino

Dalle curve di capacità del palo, calcolate nella Relazione Geotecnica (Rif.[A10]), e riportate in Figura 11-4 sono ricavati:

- Max. Compressione di progetto: Rcd = 18.35 MN
- Max. Trazione di progetto: Rtd = 12.55 MN

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

10 CARICHI E COMBINAZIONI DI CARICO

Vengono elencati tutti i carichi relativi al deck e al jacket.

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);
- Azioni Ambientali (E_0, D_0);

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

IN SERVIZIO	Coefficienti Parziali delle Azioni			
Caso Base	Gravità G	Cond. Operative ULS1	Cond. Estreme ULS2	Cond. Estreme ULS3
G_1	1.3	1.3	1.1	0.9
G_2	1.3	1.3	1.1	0.9
Q_1	1.5	1.5	1.1	0.8
Q_2	1.5	1.5		-
E_o	-	0.9x1.35=1.215		-
E_e	-		1.0x1.35=1.35	1.0x1.35=1.35

Tabella 10-1: 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
- Carichi operativi Gru
- Carichi operativi bracci di carico

Fra le azioni ambientali rientrano:

- Vento
- Onde e correnti

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

10.1 CARICHI PERMANENTI

10.1.1 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. Le seguenti densità sono utilizzate:

- Carpenteria Metallica: 7.85 t/m^3
- Acqua di mare: 1.01 t/m^3
- Accrescimento marino: 1.56 t/m^3

Viene inoltre considerato un incremento del peso calcolato del 10% per contingency.

Il calcolo del peso della struttura tiene conto anche del galleggiamento dei profili immersi in acqua (flooded), calcolando così anche la forza di galleggiamento (*buoyancy*), e dell'accrescimento marino sugli elementi immersi come specificato al Par. 8.1.6.

La condizione di carico assegnata è la DEAZ.

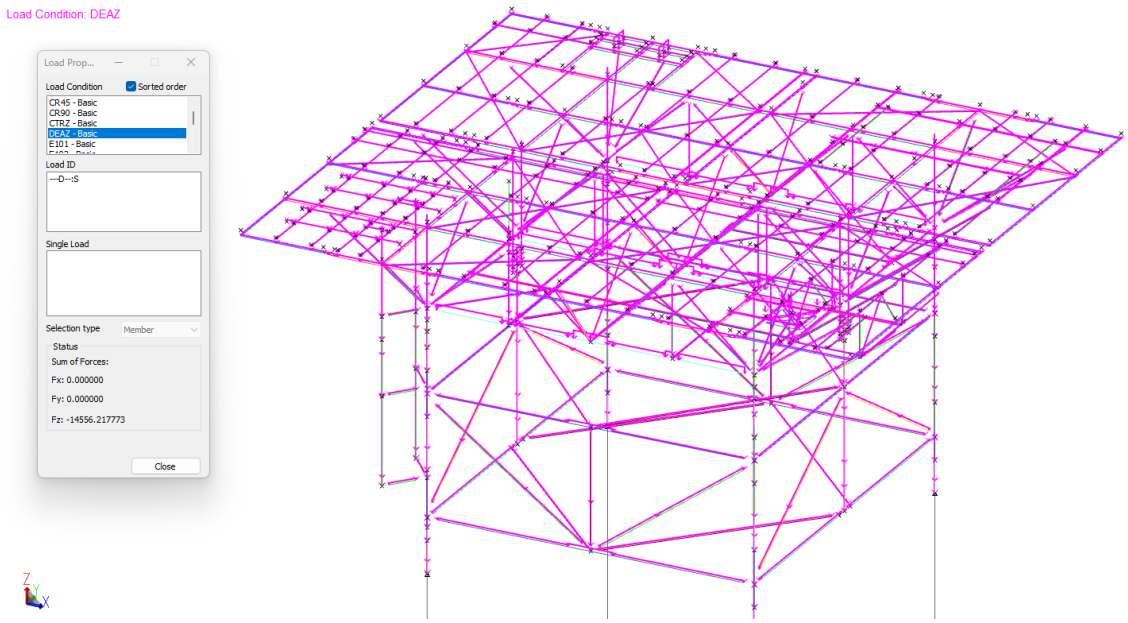


Figura 10-1: Modello SACS – Peso proprio strutture modellate – LOADCN DEAZ

10.1.2 Pesi Strutture non modellate - PERZ

Tutte le strutture secondarie non modellate vengono assegnate come carico.

Tali strutture sono elencate in Tabella 10-2.

Loadcn	Descrizione	Fz [kN]
PERZ	Grigliati 50 kg/m^2	1315
	Travi Secondarie IPE180	432
	Fireproofing	1024
	Corrimani, piastre e strutture a completamento	718
TOTALE		**3490**

Tabella 10-2: Strutture non modellate - LOADCN PERZ

Tali carichi tengono conto di una contingency del 10%.

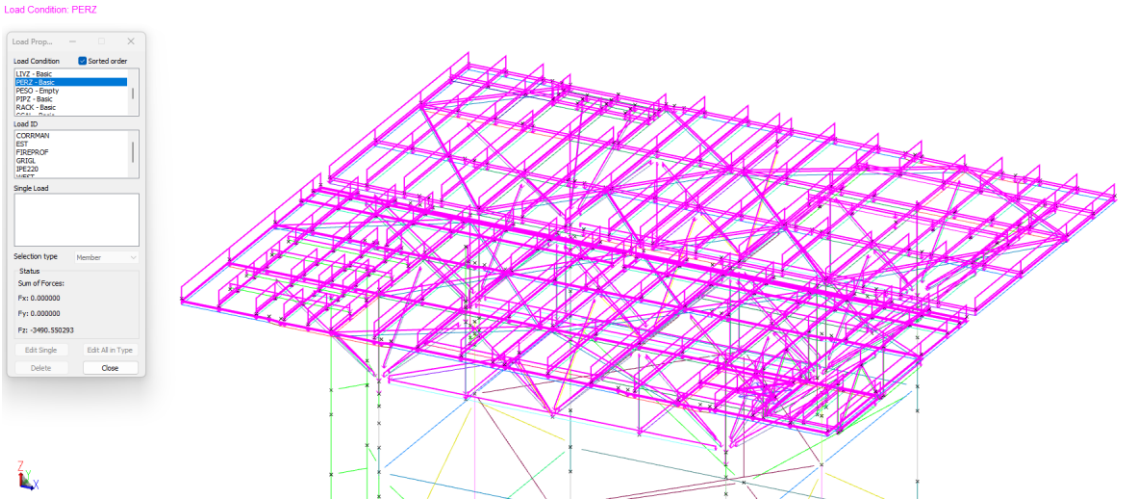


Figura 10-2: Modello SACS – Strutture non modellate – LOADCN PERZ

10.1.3 Piping

I carichi da piping sono indicati nel documento SNAM NQ/R 22199.

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

Loadcn	Descrizione	Fz [kN]
PIPZ	Piping	2100
TOTALE		**2100**

Tabella 10-3: Carichi Piping - LOADCN PIPZ

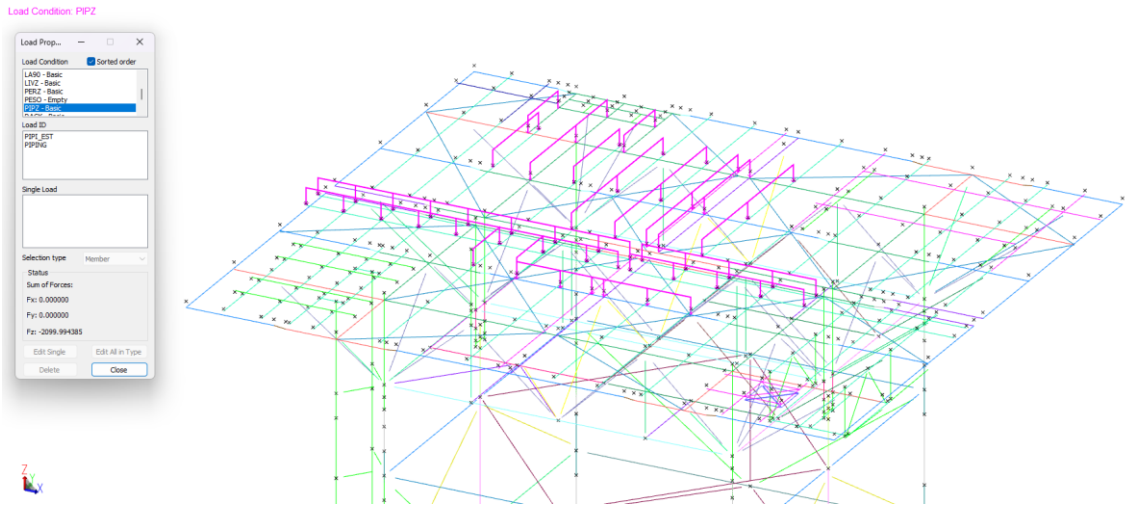


Figura 10-3: Modello SACS – Carichi Piping - LOADCN PIPZ

10.1.4 Equipaggiamenti

I carichi degli equipaggiamenti principali sono indicati nel documento SNAM NQ/R 22199.

Tali carichi sono assegnati secondo la corretta distribuzione in pianta, e sono elencati in Tabella 10-4.

Loadcn	Descrizione	Fz [kN]
BRAC	Bracci di carico 2 x 55 tons	1100
GRU	Gru da 40 ton	400
CATR	Cable tray	750
CTRZ	Cabinato di controllo	1900
FLAR	Fiaccola 30m	250
SCAL*	Scalandrone	150
EQES	Varie lato EST (Serbatoi, locali pompe,...)	1410
EQWE	Varie lato OVEST (valvole, serbatoi, bombole skid,...)	800
TOTALE		**6760**

Tabella 10-4: Carichi Equipaggiamento

*Nota: allo scalandrone è associato anche un momento di -500 kNm secondo la convenzione dei segni di SACS (vedi Figura 10-9).

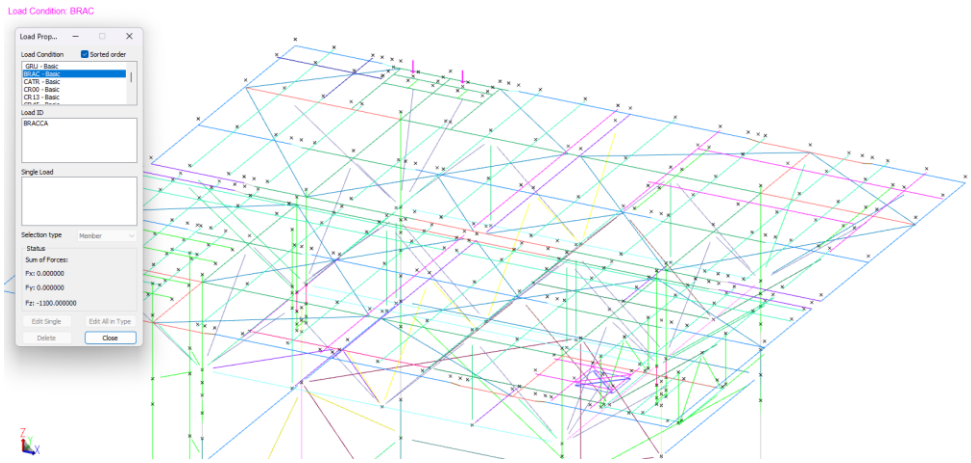


Figura 10-4: Modello SACS – Bracci di carico - LOADCN BRAC

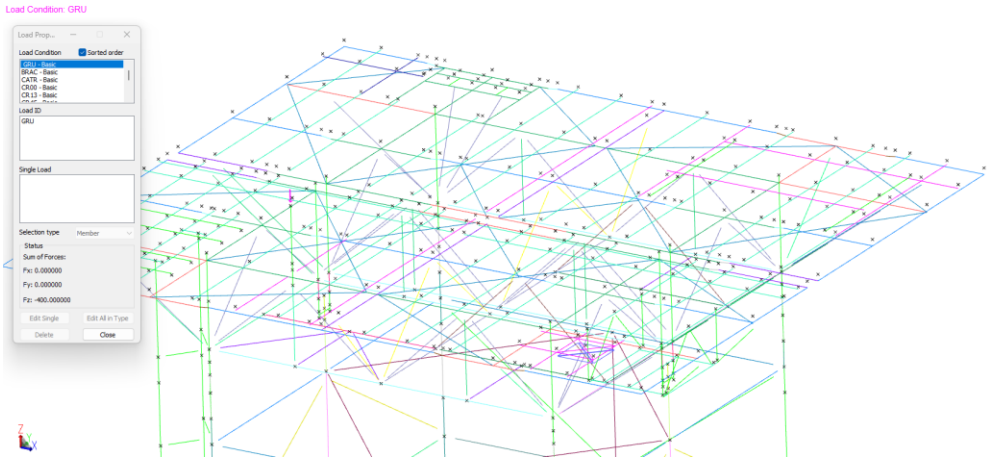


Figura 10-5: Modello SACS – Gru - LOADCN GRU

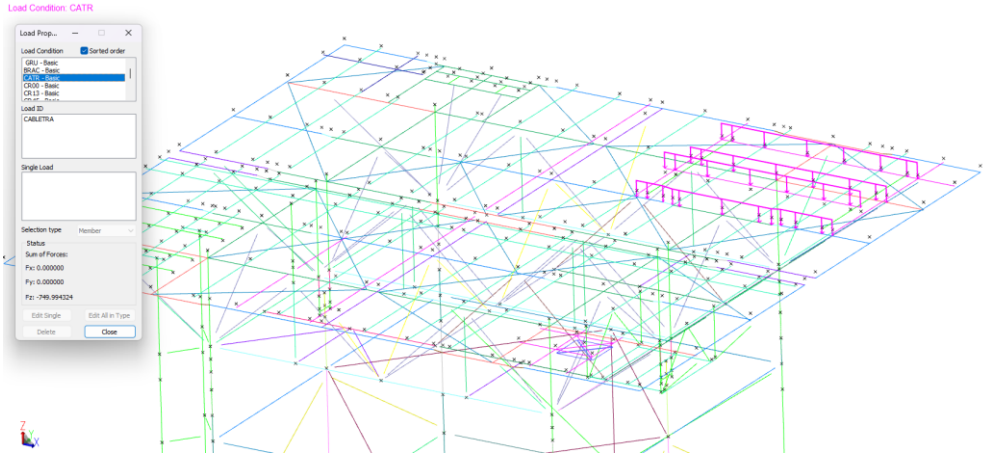


Figura 10-6: Modello SACS – Cable tray - LOADCN CATR

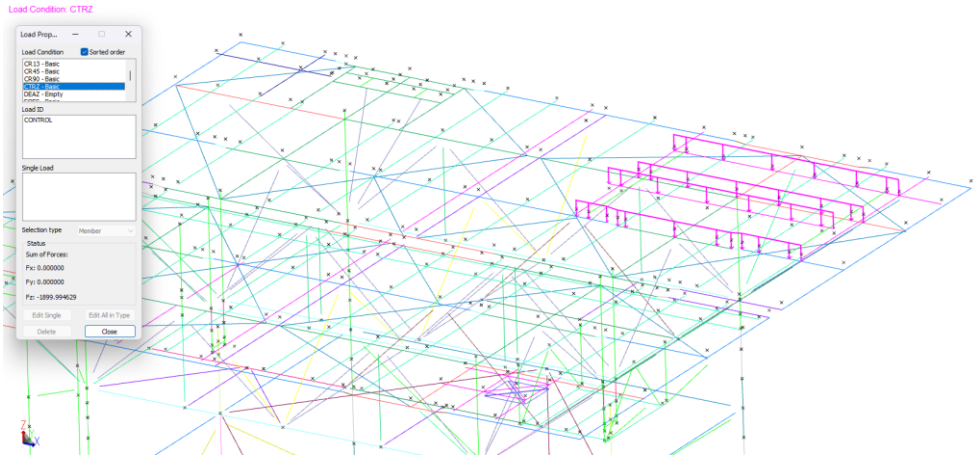


Figura 10-7: Modello SACS – Cabinato di Controllo - LOADCN CTRZ

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

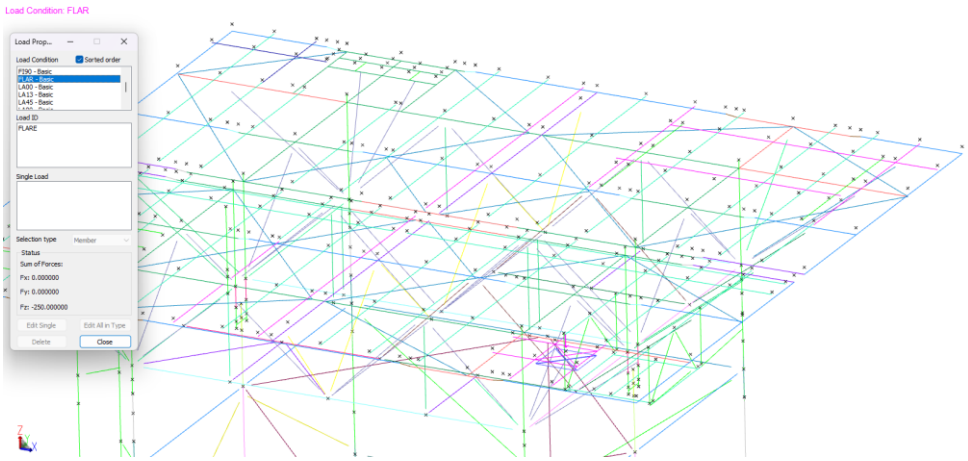


Figura 10-8: Modello SACS – Fiaccola - LOADCN FLAR

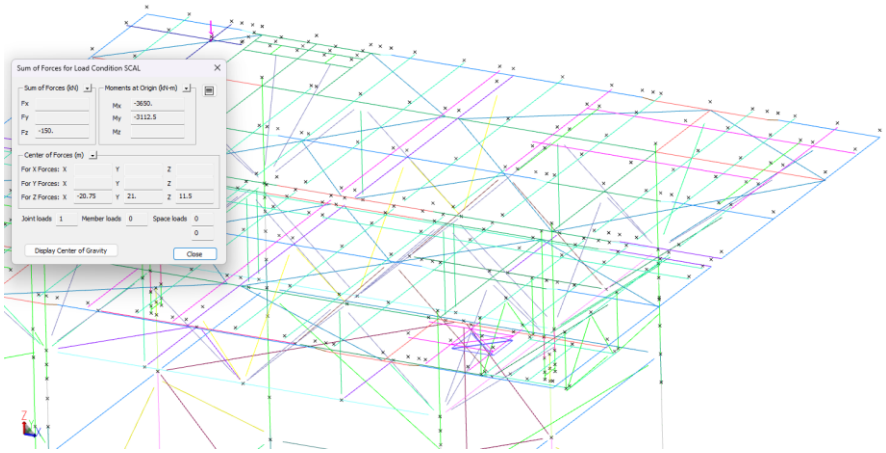


Figura 10-9: Modello SACS – Scalandrone - LOADCN SCAL

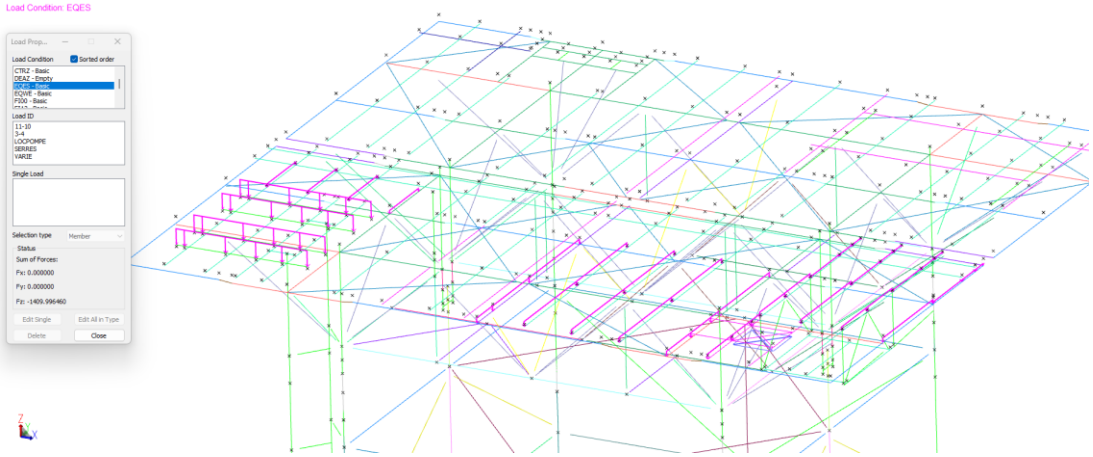


Figura 10-10: Modello SACS – Locali pompe, serbatoi EST - LOADCN EQES

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

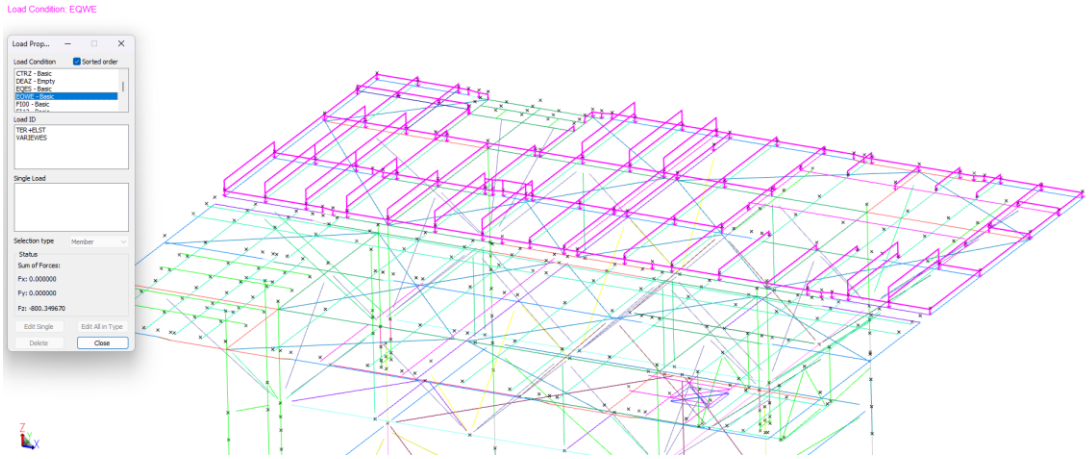


Figura 10-11: Modello SACS – Valvole, Bombole, serbatoi OVEST - LOADCN EQWE

10.2 CARICHI VARIABILI

10.2.1 Carico Variabile distribuito – LIVZ

Viene assegnato in tutte le zone libere il seguente carico variabile, adeguato per le verifiche del jacket:

Loadcn	Descrizione	Fz [kN]
LIVZ	4.0 kN/m^2	10286
TOTALE		**10286**

Tabella 10-5: Carichi Piping - LOADCN PIPZ

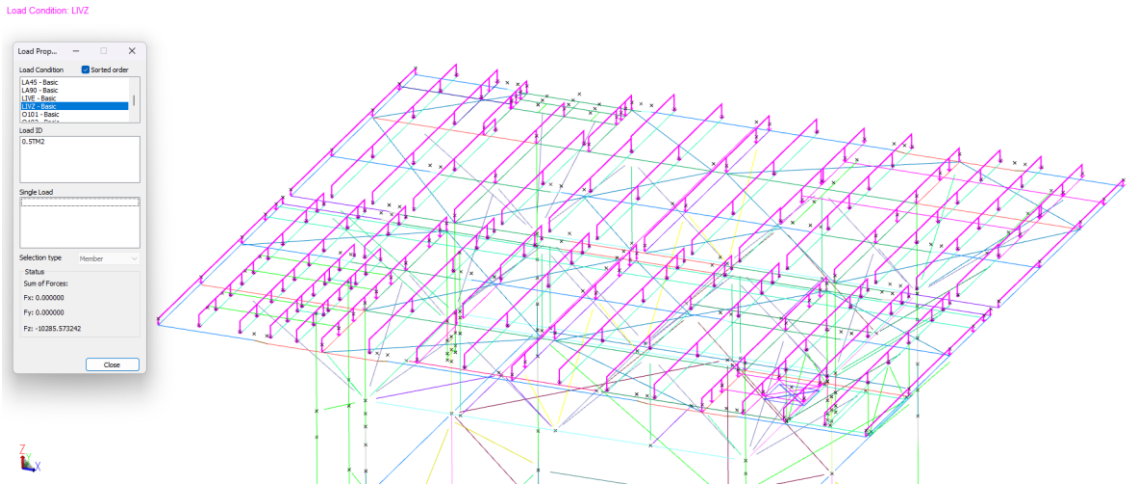


Figura 10-12: Modello SACS – Carico variabile - LOADCN LIVZ

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

10.2.2 Bracci di Carico

In fase operativa, i bracci di carico sviluppano un momento di 2000 kNm a testa.

Tale momento viene assegnato ai punti di base dei bracci di carico nelle varie direzioni.

Loadcn	Descrizione	Mx [kNm]	My [kNm]
LA00	Momento attorno a Y		4000
LA90	Momento attorno a X	4000	
LA45	Momento a 45°	-2828.4	2828.4
LA13	Momento a 135°	-2828.4	-2828.4

Tabella 10-6: Carichi Operativi Bracci di Carico

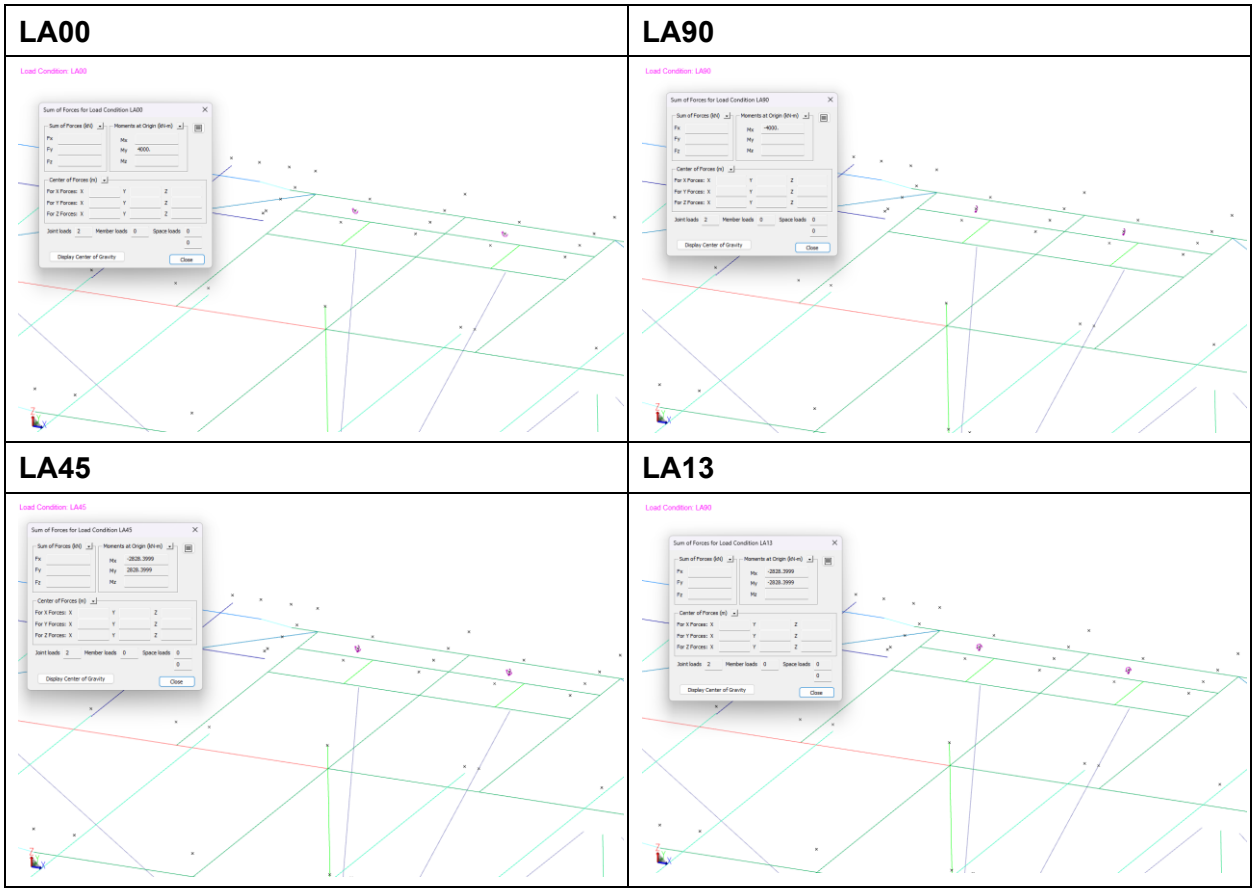


Figura 10-13: Modello SACS – Carico variabile bracci di carico

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

10.2.3 Gru

La gru da 40t è in grado di sollevare 4t con un braccio di 20m e 10.5t con un bracco di 11m. La seconda condizione è quella che porta il massimo momento alla base della gru, pari a 2635 kN.

Il momento massimo viene incrementato di un coefficiente dinamico di 1.50, per cui il momento imposto è pari a M = 2635x1.5 = 3952 kN ~ 4000 kN. I carichi operativi di progetto della gru sono riportati in Figura 10-14.

Loadcn	Descrizione	Fz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]
CR00	Momento attorno a Y	-105	4000	
CR90	Momento attorno a X	-105		4000
CR45	Momento a 45°	-105	2828.4	-2828.4
CR13	Momento a 135°	-105	2828.4	2828.4

Tabella 10-7: Carichi Operativi Gru

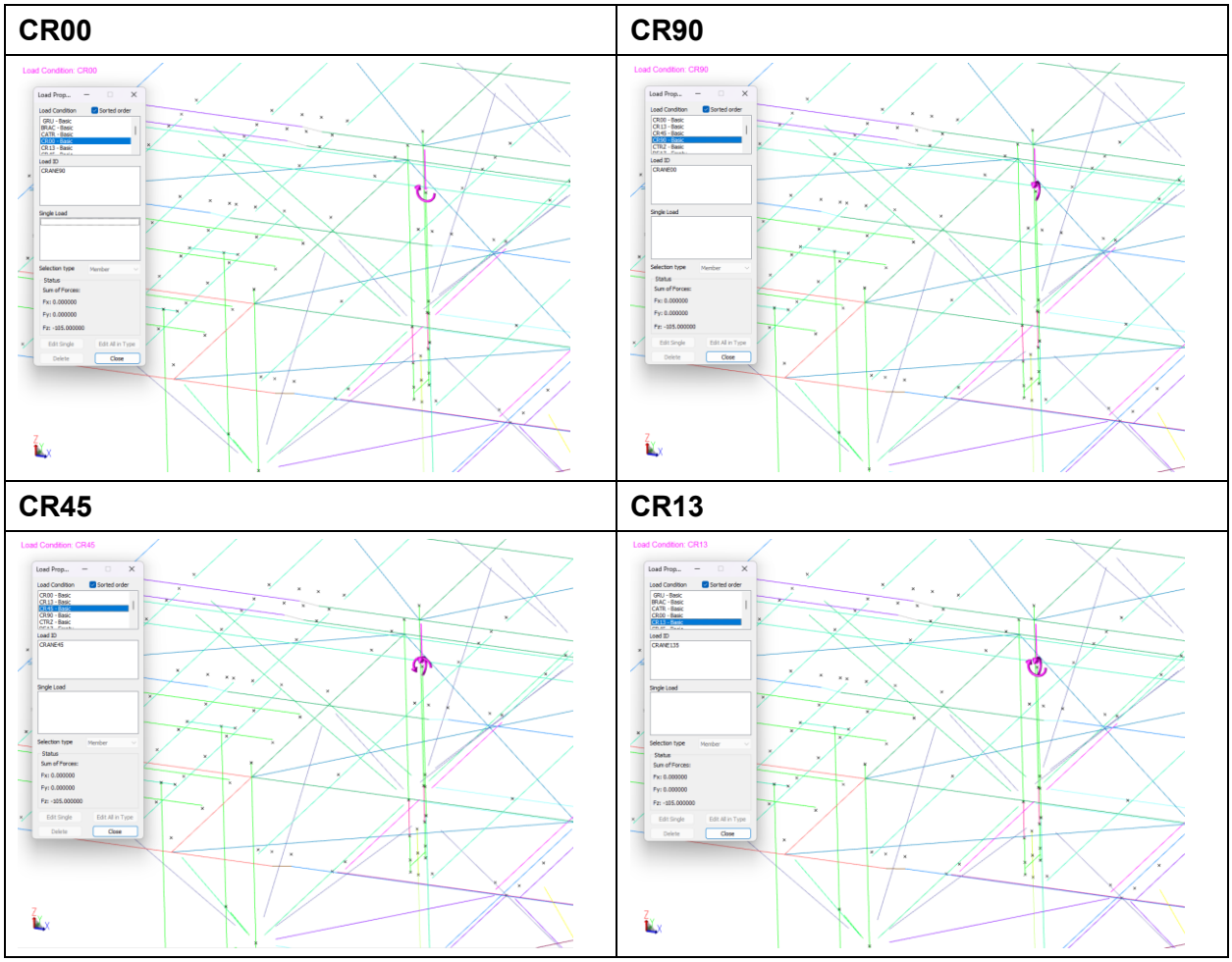


Figura 10-14: Modello SACS – Carico variabile Gru

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

10.2.4 Fiaccola

Il carico variabile della fiaccola è costituito dal vento che la investe.

Tenendo conto della altezza h=30m e della larghezza massima b=3m, e di un vento storm pari a 38m/s, si calcola la pressione massima del vento sulla fiaccola:

$q = 0.5*\rho*v^2 = 0.5*1.25*38^2 = 0.90$ kN/m^2

e la forza massima considerando l'intera superficie piena (a favore di sicurezza) vale:

F = 30*3*0.9 = 81 kN ~ 100 kN

Tale forza viene applicata a 20m, ovvero 2/3 dell'altezza totale della fiaccola. Il momento risultante alla base è dunque 2000 kNm.

Loadcn	Descrizione	Fx [kN]	Fy [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]
FI00	Vento lungo X	100			2000
FI90	Vento lungo Y		100	-2000	
FI45	Vento a 45°	70.71	70.71	1414.2	-1414.2
FI13	Vento a 135°	-70.71	70.71	-1414.2	-1414.2

Tabella 10-8: Carichi Vento Fiaccola

10.3 CARICHI AMBIENTALI

10.3.1 Carichi d'onda e correnti

I carichi d'onda e delle correnti sono automaticamente generati dal software SACS sulla base di input quali l'altezza d'onda, il periodo e la velocità. Per ogni direzione, una sola condizione di carico viene generata per entrambe.

Come già esposto al Par.8.1, i valori del FEED (Rif. [A5]) risultano a favore di sicurezza e sono confermati come dati di progetto:

Onde

- Condizioni Operative: Altezza onda H_{max} = 7.86m; periodo d'onda T = 8.03s
- Condizioni di Storm: Altezza onda H_{max} = 9.31m; periodo d'onda T = 8.32s

Correnti

- Condizioni Operative: Velocità idrica V_c = 0.44m/s alla profondità di 10m
- Condizioni di Storm: Velocità idrica V_c = 0.50m/s alla profondità di 10m

I carichi d'onda sono generati nei 180° a partire dal Nord geografico, ovvero dalla parte del fetch, tenendo conto delle dimensioni degli elementi investiti e dell'accrescimento marino.

Le forze d'onda sono calcolate con i seguenti coefficienti idrodinamici, come specificato nelle Design Basis (Rif. [A7]):

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

Coefficiente Idrodinamico	Aste tubolari		Profili piatti
	Liscio	Ruvido	
Drag – C_d	0.750	2.00	2.00
Inerzia - C_m	1.103	2.00	2.00

Tabella 10-9: Coefficienti idrodinamici

La teoria delle onde utilizzata è quella di Stokes del 5° ordine. Viene assunta una velocità della corrente costante per tutta la profondità.

Di seguito le condizioni di carico considerate.

Loadcn	Descrizione	Onda		Corrente
		H_{max} [m]	T [s]	V [m/s]
WO00	Onda Operativa a 0° (X)	7.86	8.03	0.44
WO90	Onda Operativa a 90° (Y)	7.86	8.03	0.44
WO45	Onda Operativa a 45°	7.86	8.03	0.44
WO13	Onda Operativa a 135°	7.86	8.03	0.44
WO18	Onda Operativa a 180° (-X)	7.86	8.03	0.44
WE00	Onda Estrema a 0° (X)	9.31	8.32	0.50
WE90	Onda Estrema a 90° (Y)	9.31	8.32	0.50
WE45	Onda Estrema a 45°	9.31	8.32	0.50
WE13	Onda Estrema a 135°	9.31	8.32	0.50
WE18	Onda Estrema a 180°	9.31	8.32	0.50

Tabella 10-10: Carichi Meteomarini – Onde e correnti

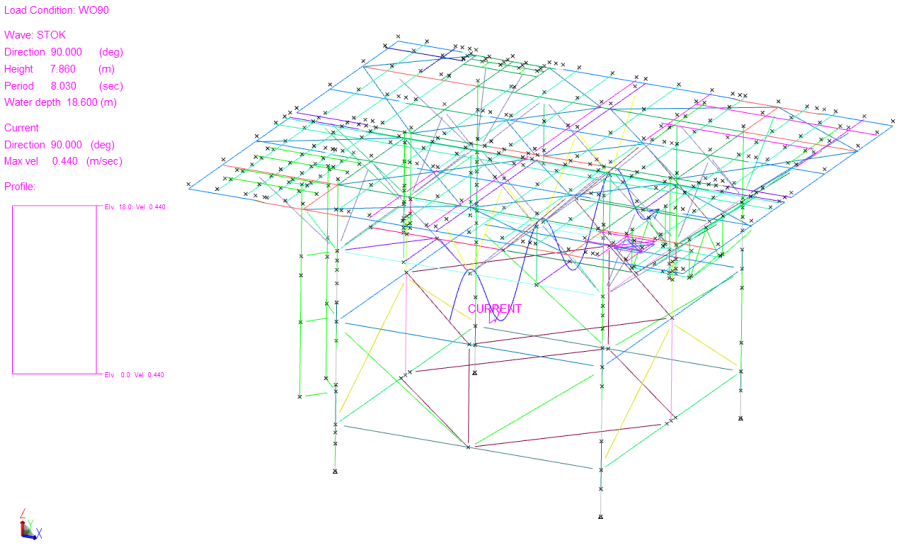


Figura 10-15: Modello SACS – Carico Operativo d'onda e corrente a 90° (Lungo Y)

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

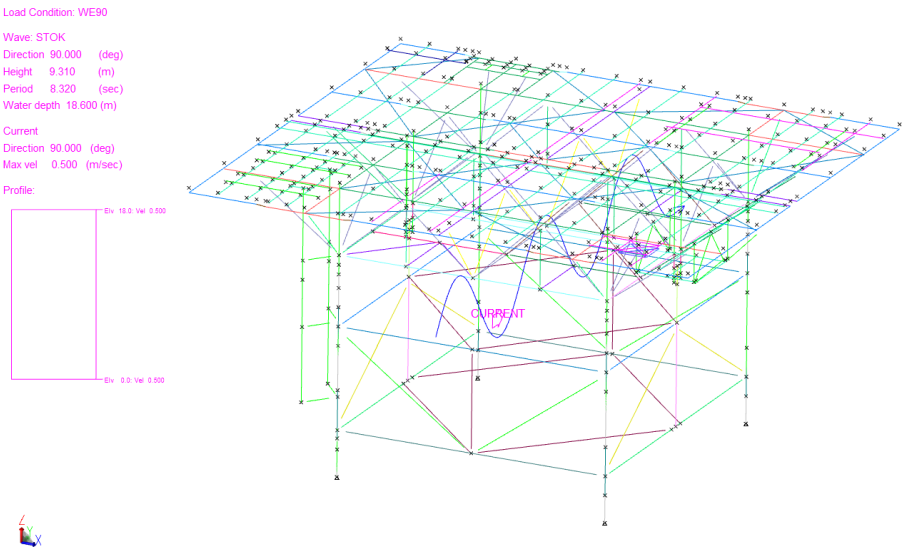


Figura 10-16: Modello SACS – Carico Estremo d'onda e corrente a 90° (Lungo Y)

10.3.2 Carichi di Vento

I carichi del vento sono automaticamente generati dal software SACS sulla base di input quali la velocità e l'altezza di riferimento, secondo un profilo prestabilito che in questo caso è quello API.

Come già esposto al Par.8.1, i valori del FEED (Rif. [A5]) risultano a favore di sicurezza e sono confermati come dati di progetto:

- Condizioni Operative: Profilo API con 32.9m/s a 10 m dal livello del mare
- Condizioni di Storm: Profilo API con 38.2m/s a 10 m dal livello del mare

Le forze sono generate su tutta la struttura modellata investita dal profilo di vento e sulle aree assegnate. Per considerare la presenza di tutti gli equipaggiamenti investiti dal vento, è stata considerata la presenza di uno schermo di 3m di altezza dal bordo superiore del deck su tutto il perimetro della piattaforma.

Di seguito le condizioni di carico considerate.

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

Loadcn	Descrizione	Velocità V [m/s]
VO00	Vento Operativo a 0° (X)	33
VO90	Vento Operativo a 90° (Y)	33
VO45	Vento Operativo a 45°	33
VO13	Vento Operativo a 135°	33
VO18	Vento Operativo a 180° (-X)	33
VE00	Vento Estremo a 0° (X)	38
VE90	Vento Estremo a 90° (Y)	38
VE45	Vento Estremo a 45°	38
VE13	Vento Estremo a 135°	38
VE18	Vento Operativo a 180° (-X)	38

Tabella 10-11: Carichi Meteomarini – Vento

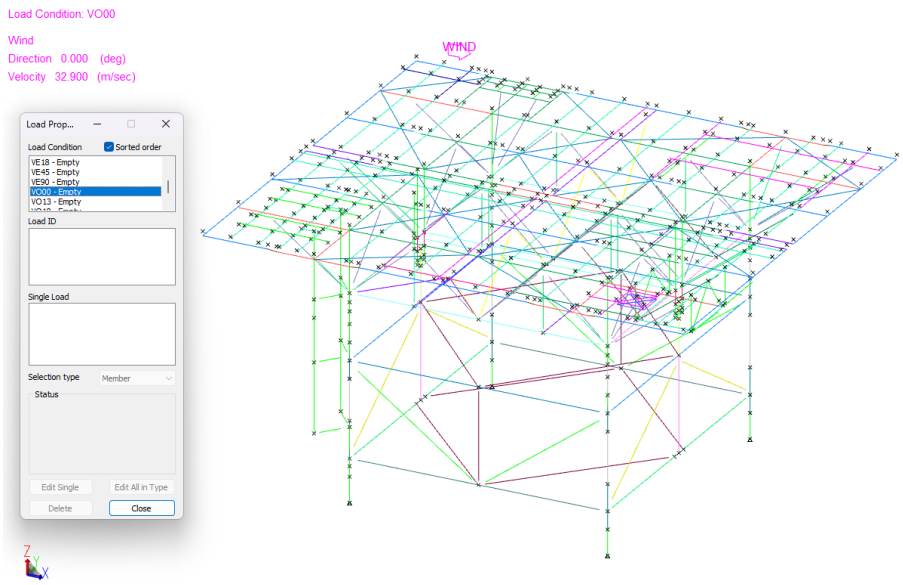


Figura 10-17: Modello SACS – Carico Operativo di Vento a 0° (Lungo X)

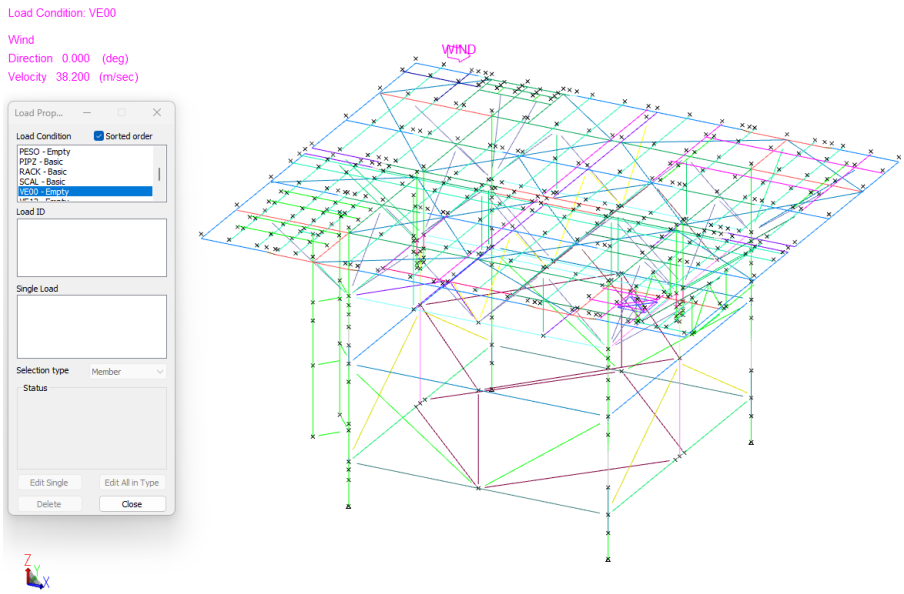


Figura 10-18: Modello SACS – Carico Estremo di Vento a 0° (Lungo X)

10.4 RISULTANTI DEI CARICHI BASE

Si riportano le risultanti delle condizioni di carico applicate alla struttura, come da paragrafi precedenti, nel seguente estratto di SACS.

********** 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				-400.00	-7.25	-16.00	16.50
2	BRAC	0.00				0.00				-1100.00	-14.50	22.00	11.50
3	CATR	0.00				0.00				-749.99	15.56	14.28	11.21
4	CR90	0.00				0.00				-105.00	-7.25	-16.00	16.50
5	CR13	0.00				0.00				-105.00	-7.25	-16.00	16.50
6	CR45	0.00				0.00				-105.00	-7.25	-16.00	16.50
7	CR00	0.00				0.00				-105.00	-7.25	-16.00	16.50
8	CTRZ	0.00				0.00				-1900.00	15.56	14.28	11.21
9	DEAZ	0.00				0.00				-14556.20	-0.48	-0.30	1.01
10	EQES	0.00				0.00				-1833.00	-4.83	-14.97	11.41
11	EQWE	0.00				0.00				-800.35	-4.83	10.89	11.17
12	FI00	100.00	19.19	-18.80	11.50	0.00				0.00			
13	FI13	70.71	19.19	-18.80	11.50	-70.71	19.19	-18.80	11.50	0.00			
14	FI45	-70.71	19.19	-18.80	11.50	-70.71	19.19	-18.80	11.50	0.00			
15	FI90	0.00				-100.00	19.19	-18.80	11.50	0.00			
16	FLAR	0.00				0.00				-250.00	19.19	-18.80	11.50
17	LA00	0.00				0.00				0.00			
18	LA13	0.00				0.00				0.00			
19	LA45	0.00				0.00				0.00			
20	LA90	0.00				0.00				0.00			
21	LIVZ	0.00				0.00				-10285.78	-0.39	-0.35	11.21
22	PERZ	0.00				0.00				-3490.55	0.10	0.51	10.65
23	PESO	0.00				0.00				-19842.25	-0.53	-0.40	-2.20
24	PIPZ	0.00				0.00				-2100.00	-5.82	3.59	11.23
25	RACK	0.00				0.00				-2393.99	-1.05	-1.27	10.98
26	SCAL	0.00				0.00				-150.00	-20.75	21.00	11.50
27	VE13	-556.21	4.16	-0.02	9.66	645.76	-0.23	-4.06	9.45	COUPLE			
28	VE45	554.15	-4.58	-0.02	9.66	643.70	-0.12	-4.08	9.45	COUPLE			
29	VE90	COUPLE				911.78	-0.18	-4.07	9.45	COUPLE			
30	VE00	785.14	-4.64	-0.01	9.66	COUPLE				COUPLE			
31	VE18	-785.14	4.23	-0.02	9.66	COUPLE				COUPLE			
32	VO13	-412.57	4.16	-0.02	9.66	479.00	-0.23	-4.06	9.45	COUPLE			
33	VO45	411.05	-4.58	-0.02	9.66	477.47	-0.12	-4.08	9.45	COUPLE			
34	VO90	COUPLE				676.33	-0.18	-4.07	9.45	COUPLE			
35	VO00	582.39	-4.64	-0.01	9.66	COUPLE				COUPLE			
36	VO18	-582.39	4.23	-0.02	9.66	COUPLE				COUPLE			
37	WE00	4022.02	-7.93	-1.74	-4.72	COUPLE				429.48	16.53	0.41	-3.75
38	WE45	2409.09	-2.91	-1.87	-5.51	2520.30	-2.53	-2.84	-4.90	322.49	17.15	26.94	-3.46
39	WE90	COUPLE				3954.07	-1.81	-8.99	-4.29	468.78	0.64	18.61	-2.88
40	WE13	-2618.76	-4.56	0.53	-4.25	2822.91	-3.69	0.72	-3.44	-260.68	30.62	-42.16	-2.73
41	WE18	-3705.14	6.46	-0.33	-5.12	COUPLE				506.79	-13.71	-1.04	-3.56
42	WO00	2871.51	-6.98	-1.58	-5.42	COUPLE				277.37	24.73	1.30	-4.85
43	WO45	1740.62	-2.00	-1.15	-6.09	1789.18	-1.66	-2.03	-5.64	182.32	27.85	42.08	-5.57
44	WO90	COUPLE				2764.95	-1.76	-8.19	-5.07	260.16	1.20	33.95	-5.38
45	WO13	-1880.13	-2.36	-0.21	-5.63	1956.80	-2.10	-0.61	-5.04	-34.05	167.84	-246.69	10.07
46	WO18	-2658.15	5.46	-0.35	-5.83	COUPLE				328.29	-21.06	-1.33	-4.88

Tabella 10-12: Risultanti condizioni di carico applicate

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

10.5 COMBINAZIONI DI CARICO

Sono state generate le combinazioni di carico che producano gli effetti peggiori sul Jacket, tenendo conto della probabilità di simultanea occorrenza dei vari carichi.

Le combinazioni di carico allo SLU sono state generate secondo le ISO 19902 (Rif.[B4]) e le NTC2018 (Rif. [B1]) secondo quanto esposto al Par. 7.2.2.

Gli effetti dei carichi sulle strutture vengono poi utilizzati per eseguire le verifiche strutturali secondo le ISO 19902 Rif.[B4] (per le sezioni circolari) ed EN 1993 Rif.[B5] (per le sezioni I /H).

Sono state generate delle conbinazioni di carico intermedie per facilitare la creazione di quelle definitive, che sono le seguenti:

- Comb. STA1: raccoglie tutti i carichi permanenti del deck, escluso il peso del modellato.
- Comb. OP00, OP45, OP90, OP13, OP18: combinano i carichi operativi di Gru, Bracci di carico e fiaccola nelle direzioni da 0° a 180°
- Comb. EO00, EO45, EO90, EO13, EO18: combinano gli effetti dei carichi ambientali operativi nella stessa direzione tra 0° e 180°
- Comb. ES00, ES45, ES90, ES13, ES18: combinano gli effetti dei carichi ambientali estremi nella stessa direzione tra 0° e 180°

Tali pre-combinazioni sono esplicitate nella tabella seguente.

	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

	Carichi Operativi											
	BRACCI DI CARICO				FIACCOLA				GRU			
COMB.	LA00	LA45	LA90	LA13	FI00	FI45	FI90	FI13	CR00	CR45	CR90	CR13
OP00	1.00				0.75				1.00			
OP45		1.00				-0.75				-1.00		
OP90			1.00				-0.75				-1.00	
OP13				1.00				-0.75				-1.00
OP18	-1.00				-0.75				-1.00			

	COND. OPERATIVE									
	Onde e Correnti					Vento				
COMB.	WO00	WO45	WO90	WO13	WO18	VO00	VO45	VO90	VO13	VO18
EO00	1.00					1.00				
EO45		1.00					1.00			
EO90			1.00					1.00		
EO13				1.00					1.00	
EO18					1.00					1.00

	COND. ESTREME									
	Onde e Correnti					Vento				
COMB.	WE00	WE45	WE90	WE13	WE18	VE00	VE45	VE90	VE13	VE18
ES00	1.00					1.00				
ES45		1.00					1.00			
ES90			1.00					1.00		
ES13				1.00					1.00	
ES18					1.00					1.00

Tabella 10-13: Pre-combinazioni di carico

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

10.5.1 Combinazioni Operative

Le combinazioni di carico operative SLU utilizzate per le verifiche strutturali sono riportate in Tabella 10-14.

COMB.	Permanenti		Variabili						Ambientali				
	PESI STR.	PERM.	COND. OPERATIVE						COND. OPERATIVE				
	DEAZ	STA1	LIVZ	OP00	OP45	OP90	OP13	OP18	EO00	EO45	EO90	EO13	EO18
O101	1.30	1.30	1.50										
O102	1.30	1.30	1.50	1.50					1.215				
O103	1.30	1.30	1.50		1.50					1.215			
O104	1.30	1.30	1.50			1.50					1.215		
O105	1.30	1.30	1.50				1.50					1.215	
O106	1.30	1.30	1.50					1.50					1.215

Tabella 10-14: Combinazioni SLU Operative

Nel seguente estratto SACS sono riportate le risultanti delle combinazioni operative sopraelencate:

```
                                  ************** SEASTATE LOAD CASE CENTER REPORT **************
                                                  RELATIVE TO STRUCTURAL ORIGIN
LOAD  LOAD       ********* X - DIRECTION *********      ********* Y - DIRECTION *********      ********* Z - DIRECTION *********
CASE  LABEL       FORCE      X          Y          Z       FORCE      X          Y          Z       FORCE      X          Y          Z
                   (KN)      (M)        (M)        (M)      (KN)      (M)        (M)        (M)      (KN)      (M)        (M)        (M)

  65  O101          0.00                                     0.00                                  -54069.96   -0.35       0.79       7.65
  66  O102       4308.99    -5.91      -1.77      -2.50     COUPLE                                -53812.33   -0.51       0.77       7.74
  67  O103       2693.83    -1.85      -1.46      -2.65    2833.54    -0.76      -2.92      -2.07  -53777.20   -0.46       0.65       7.69
  68  O104        COUPLE                                   4293.66    -0.91      -7.68      -1.86  -53679.82   -0.35       0.62       7.72
  69  O105      -2865.19    -0.62      -0.70      -2.48    3039.04    -1.18      -1.74      -1.83  -54033.91   -0.22       0.63       7.64
  70  O106      -4049.76     5.63      -0.80      -2.64     COUPLE                                -53591.71   -0.19       0.83       7.73
```

Tabella 10-15: Risultanti Combinazioni SLU Operative

10.5.2 Combinazioni Estreme

Le combinazioni di carico estreme SLU utilizzate per le verifiche strutturali sono riportate in Tabella 10-16.

COMB.	Permanenti		Variabili	Ambientali								
	PESI STR.	PERM.	COND. ESTR.	COND. ESTREME								
	DEAZ	STA1	LIVZ	FI00	FI45	FI90	FI13	ES00	ES45	ES90	ES13	ES18
E101	1.10	1.10	1.10	1.35				1.35				
E102	1.10	1.10	1.10		-1.35				1.35			
E103	1.10	1.10	1.10			-1.35				1.35		
E104	1.10	1.10	1.10				-1.35				1.35	
E105	1.10	1.10	1.10	-1.35								1.35
E201	0.90	0.90		1.35				1.35				
E102	0.90	0.90			-1.35				1.35			
E103	0.90	0.90				-1.35				1.35		
E104	0.90	0.90					-1.35				1.35	
E105	0.90	0.90		-1.35								1.35

Tabella 10-16: Combinazioni SLU Estreme

Nel seguente estratto SACS sono riportate le risultanti delle combinazioni estreme sopraelencate:

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

********** 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)
71	E101	6624.67	-6.85	-1.81	-2.09	COUPLE				-43437.59	-0.57	0.84	7.66
72	E102	4095.84	-2.70	-1.93	-2.34	4366.86	-1.58	-3.43	-1.69	-43581.11	-0.52	0.58	7.62
73	E103	COUPLE				6703.90	-1.09	-8.28	-1.45	-43379.40	-0.37	0.58	7.66
74	E104	-4381.67	-2.55	0.02	-1.52	4778.16	-2.60	-0.55	-0.79	-44359.12	-0.11	0.50	7.43
75	E105	-6196.88	6.36	-0.68	-2.23	COUPLE				-43320.12	-0.15	0.87	7.69
76	E201	6624.67	-6.85	-1.81	-2.09	COUPLE				-32123.23	-0.63	1.27	6.41
77	E202	4095.84	-2.70	-1.93	-2.34	4366.86	-1.58	-3.43	-1.69	-32266.75	-0.57	0.91	6.36
78	E203	COUPLE				6703.90	-1.09	-8.28	-1.45	-32065.04	-0.36	0.91	6.41
79	E204	-4381.67	-2.55	0.02	-1.52	4778.16	-2.60	-0.55	-0.79	-33044.76	-0.02	0.79	6.13
80	E205	-6196.88	6.36	-0.68	-2.23	COUPLE				-32005.76	-0.06	1.30	6.44

Tabella 10-17: Risultanti Combinazioni SLU Estreme

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

11 RISULTATI DELL'ANALISI

I risultati dell'analisi statica in servizio sono riportati in questo paragrafo.

Questi consistono in:

- Verifiche strutturali degli elementi del Jacket e tutte le sottostrutture della piattaforma (profili tubolari, gambe, diagonali, pali fuori terra)
- Verifiche strutturali dei nodi del Jacket (connessioni tubolari)
- Verifiche strutturali e geotecniche dei pali di fondazione (sotto fondo mare)

11.1.1 Verifiche strutturali del Jacket (sottostrutture)

Vengono riportate le verifiche di resistenza degli elementi che compongono il jacket (profili tubolari, coni di transizione, 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.7.3.1.

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 del jacket è adeguata a sopportare i carichi imposti della configurazione in servizio, sia nel caso di condizioni operative che estreme.

Di seguito vengono riportati i risultati delle verifiche per gli elementi strutturali del Jacket che presentano UC > 0.35.

SACS-IV MEMBER UNITY CHECK RANGE SUMMARY

GROUP II - UNITY CHECKS GREATER THAN 0.35 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
0033-0028	J01	0.503	E103	0.0	-88.35	60.39	-5.52	6.38	-116.15	58.6	58.6	0.437	O104	0.427	E203
0035-0029	J01	0.502	E103	0.0	-89.76	57.21	6.96	-8.14	-112.01	58.6	58.6	0.452	O104	0.447	E104
P002-P003	P03	0.392	E105	0.0	-41.73	4.16	103.25	-1335.66	-43.08	20.5	20.5	0.391	E104	0.382	E101
P005-P006	P03	0.419	E101	0.0	-38.66	1.45	-119.10	1523.28	-17.22	20.5	20.5	0.385	E201	0.333	E105
P008-P009	P03	0.431	E103	0.0	-43.99	-115.94	-4.22	56.34	1456.12	20.5	20.5	0.405	E101	0.404	E102

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

P011-P012 P03	0.448	E103	0.0	-43.26	-124.27	-3.93	56.13	1553.91	20.5	20.5	0.438	E104	0.408	E203
P001-P002 P04	0.384	E105	2.0	-41.73	4.07	99.57	1525.45	30.07	35.0	35.0	0.381	E104	0.372	E101
P004-P005 P04	0.409	E101	2.0	-38.66	1.45	-114.96	-1701.46	-23.56	35.0	35.0	0.375	E201	0.325	E105
P007-P008 P04	0.421	E103	2.0	-43.99	-111.94	-4.07	-66.64	-1656.77	35.0	35.0	0.396	E101	0.395	E102
P010-P011 P04	0.438	E103	2.0	-43.26	-120.03	-3.78	-62.70	-1750.50	35.0	35.0	0.428	E104	0.398	E203
P012-0019 P05	0.352	E104	0.4	-74.66	27.20	-21.15	444.22	-532.87	12.8	12.8	0.346	O105	0.338	O104

Tabella 11-1: Verifiche elementi strutturali UC > 0.35

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
CAI	0382-0380	O102	0.08	2.0	-8.1	-3.2	-17.5	292.4	587.6	373.6	373.6	ACBI	24.00	2.00	0.85	0.85
G01	0032-0013	E105	0.06	0.4	13.6	1.1	5.6	.3E+03	.1E+05	.4E+03	.4E+03	TN+BN	7.40	7.40	0.85	0.85
G02	0043-0014	O106	0.13	1.4	32.6	9.7	0.5	.3E+03	.1E+05	.4E+03	.4E+03	TN+BN	7.40	7.40	0.85	0.85
G05	0033-0044	O104	0.21	4.0	-44.4	-25.0	-0.6	.3E+03	.3E+05	.4E+03	.4E+03	ACBI	4.00	4.00	0.85	0.85
G06	0080-0081	O104	0.29	0.0	-37.7	64.9	0.1	.3E+03	.3E+05	.4E+03	.4E+03	ACBI	3.00	3.00	0.85	0.85
J01	0033-0028	E103	0.50	0.0	-88.4	60.4	-5.5	243.6	574.8	433.3	433.3	ACBI	17.00	17.00	0.85	0.85
J02	0032-0033	E203	0.34	14.5	-64.4	-35.1	1.2	247.7	627.5	413.7	413.7	ACBI	14.48	14.48	0.85	0.85
J03	0035-0055	E204	0.32	0.0	-17.0	-65.1	-60.4	134.1	175.8	429.0	429.0	ACBI	20.35	20.35	0.85	0.85
J04	0034-0055	E201	0.08	0.0	-11.6	-12.5	9.0	292.4	1049.2	397.7	397.7	ACBI	13.58	13.58	0.85	0.85
J05	0032-0053	E201	0.27	15.9	-59.0	11.2	-2.5	238.1	516.4	430.9	430.9	ACBI	15.86	15.86	0.85	0.85
OR1	0027-0053	E201	0.20	0.0	-43.5	-17.0	7.8	265.3	1035.0	417.1	417.1	ACBI	13.58	13.58	0.85	0.85
OR2	0029-0038	O105	0.29	0.0	56.6	-49.1	-5.7	328.6	953.6	417.1	417.1	TN+BN	14.08	14.08	0.85	0.85
P03	P011-P012	E103	0.45	0.0	-43.3	-124.3	-3.9	283.9	4689.0	420.9	420.9	ACBI	10.75	10.75	0.85	0.85
P04	P010-P011	E103	0.44	2.0	-43.3	-120.0	-3.8	283.9	1611.1	420.9	420.9	ACBI	20.00	20.00	0.85	0.85
P05	P012-0019	E104	0.35	0.4	-74.7	27.2	-21.2	.3E+03	.1E+05	.4E+03	.4E+03	ACBI	7.40	7.40	0.85	0.85
SUP	0032-0411	O102	0.14	0.0	-0.4	-53.4	17.9	292.4	8335.6	403.0	403.0	ACBI	4.74	2.37	0.85	0.85
V01	0030-0033	E203	0.09	8.7	0.5	36.2	-0.9	328.6	3036.1	408.3	408.3	TN+BN	10.75	10.75	0.85	0.85
V02	0044-0076	O104	0.25	0.9	-44.1	-37.3	0.3	292.4	7049.5	395.9	395.9	ACBI	6.90	6.90	0.85	0.85

Tabella 11-2: Verifiche e max UC per gruppi

Si nota che il valore massimo di UC = 0.50 ed appartiene all'elemento 0033-0028 (Gruppo J01), per la combinazione E103.

I valori massimi di UC per tutte le combinazioni SLU analizzate per gli elementi del jacket sono mostrati in Figura 11-1, mentre gli UC massimi per i pali sopra il fondo del mare sono mostrati in Figura 11-2.

Tutti gli elementi del jacket presentano UC < 1.0, per cui le verifiche agli SLU sono soddisfatte.

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

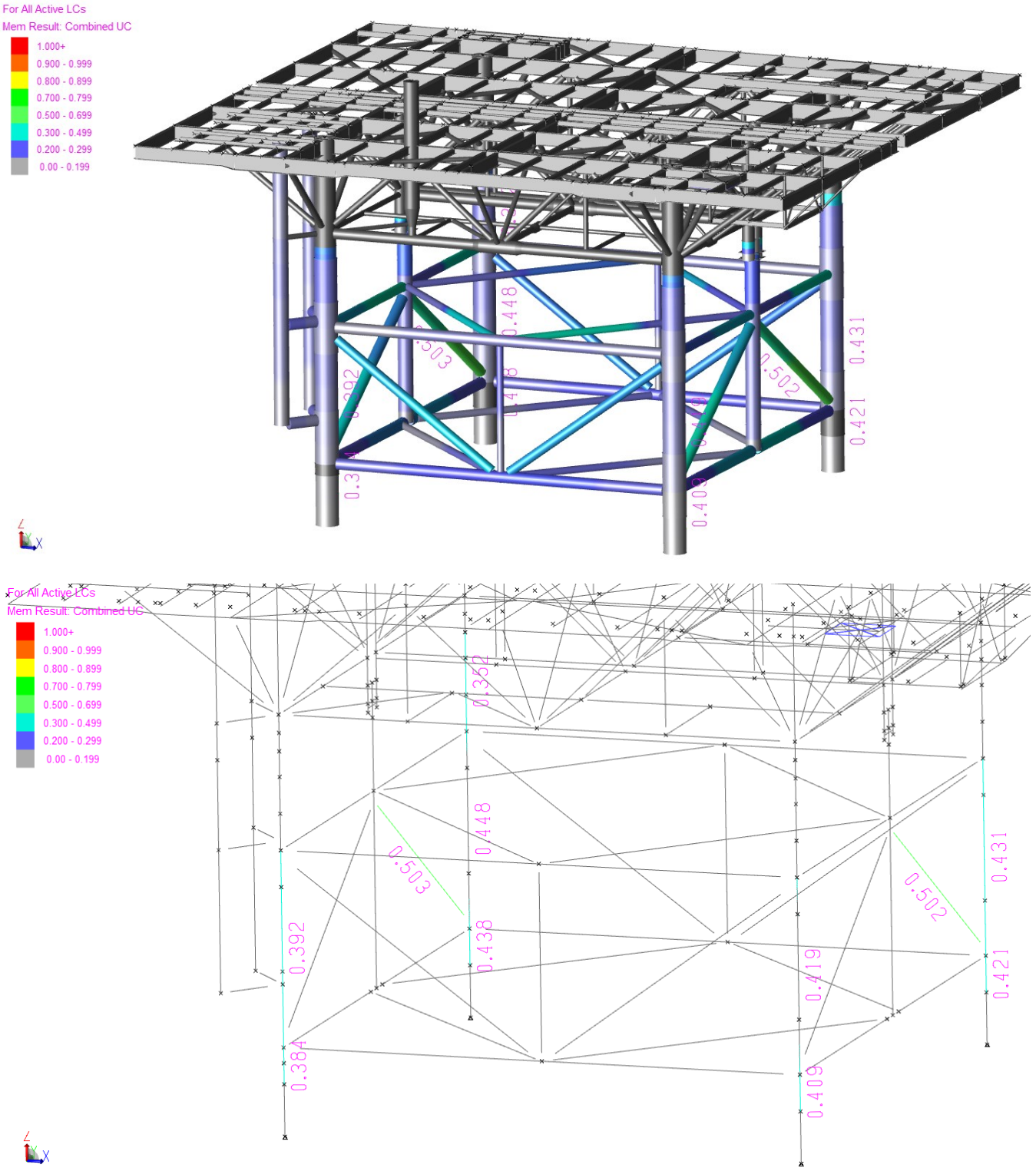


Figura 11-1: Massimi UC > 0.35 per elementi Jacket – Inviluppo SLU

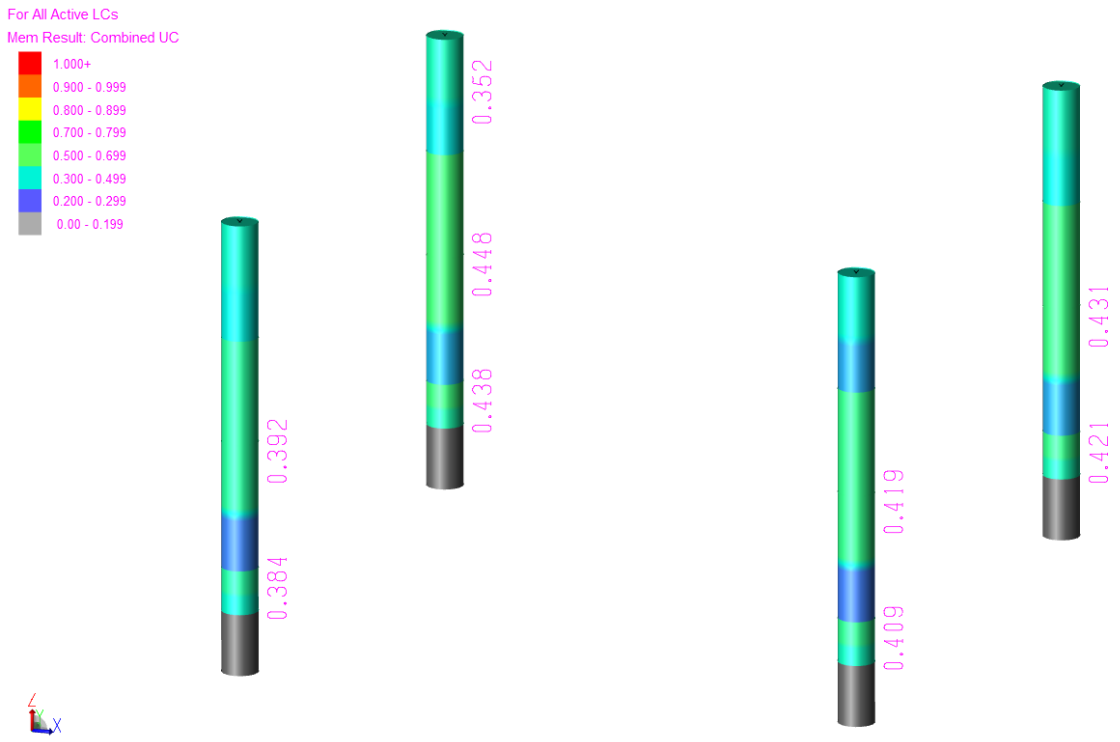


Figura 11-2: Massimi UC > 0.35 per pali fuori terra – Inviluppo SLU

11.1.2 Verifiche nodi tubolari

Sono eseguite le verifiche a punzonamento e di resistenza di tutti i nodi del jacket. Le verifiche sono eseguite in accordo ai requisiti delle ISO 19902 (Rif. [B4]) per i nodi tubolari, assumendo l'approccio API 50% per le verifiche di resistenza.

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 massimi per tutti i nodi del jacket per le verifiche a punzonamento nella Tabella 11-3.

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

JOINT	ORIGINAL DIAMETER (CM)	ORIGINAL THICKNESS (CM)	ORIGINAL YLD STRS (N/MM2)	ORIGINAL UC	DESIGN DIAMETER (CM)	DESIGN THICKNESS (CM)	DESIGN YLD STRS (N/MM2)	DESIGN UC
0033	120.000	6.000	335.000	0.391	120.000	6.000	335.000	0.391
0035	120.000	6.000	335.000	0.385	120.000	6.000	335.000	0.385
0031	120.000	6.000	335.000	0.335	120.000	6.000	335.000	0.335
0029	187.000	7.000	325.000	0.320	187.000	7.000	325.000	0.320
0028	187.000	7.000	325.000	0.318	187.000	7.000	325.000	0.318
0030	120.000	6.000	335.000	0.290	120.000	6.000	335.000	0.290
0032	187.000	7.000	325.000	0.224	187.000	7.000	325.000	0.224
0027	187.000	7.000	325.000	0.210	187.000	7.000	325.000	0.210
0053	90.000	3.500	345.000	0.205	90.000	3.500	345.000	0.205
0034	187.000	7.000	325.000	0.197	187.000	7.000	325.000	0.197
0026	187.000	7.000	325.000	0.189	187.000	7.000	325.000	0.189
0055	90.000	3.500	345.000	0.182	90.000	3.500	345.000	0.182
0042	187.000	7.000	325.000	0.181	187.000	7.000	325.000	0.181
0057	90.000	3.500	345.000	0.180	90.000	3.500	345.000	0.180

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

0040	187.000	7.000	325.000	0.177	187.000	7.000	325.000	0.177
0036	90.000	2.500	345.000	0.135	90.000	2.500	345.000	0.135
0051	90.000	2.500	345.000	0.115	90.000	2.500	345.000	0.115
0409	120.000	2.500	345.000	0.109	120.000	2.500	345.000	0.109
0052	90.000	2.500	345.000	0.098	90.000	2.500	345.000	0.098
0038	90.000	2.500	345.000	0.096	90.000	2.500	345.000	0.096
0059	90.000	3.500	345.000	0.095	90.000	3.500	345.000	0.095
0412	119.200	2.100	345.000	0.094	119.200	2.100	345.000	0.094
0410	120.000	2.500	345.000	0.093	120.000	2.500	345.000	0.093
0411	119.200	2.100	345.000	0.074	119.200	2.100	345.000	0.074
0413	187.000	7.000	325.000	0.044	187.000	7.000	325.000	0.044

Tabella 11-3: Massimi UC nodi Jacket - Punzonamento

Tutti i nodi presentano UC < 1, per cui passano le verifiche a punzonamento. Il massimo UC = 0.39 per il nodo 0033.

Venono riportati gli UC dei nodi del jacket per le verifiche a resistenza secondo il metodo API 50% previsto dalle ISO 19902 in Tabella 11-4.

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

	ORIGINAL					LOAD DESIGN						
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	0.290	0.912	120.000	6.000	335.000	0.290	0.912	0051	E103
0031	120.000	6.000	335.000	0.335	0.912	120.000	6.000	335.000	0.335	0.912	0036	E203
0035	120.000	6.000	335.000	0.385	0.868	120.000	6.000	335.000	0.385	0.868	0034	O105
0033	120.000	6.000	335.000	0.391	0.867	120.000	6.000	335.000	0.391	0.867	0032	O105
0038	90.000	2.500	345.000	0.096	0.850	90.000	2.500	345.000	0.096	0.850	0057	O105
0051	90.000	2.500	345.000	0.115	0.844	90.000	2.500	345.000	0.115	0.844	0053	O102
0052	90.000	2.500	345.000	0.098	0.844	90.000	2.500	345.000	0.098	0.844	0057	O104
0053	90.000	3.500	345.000	0.205	0.806	90.000	3.500	345.000	0.205	0.806	0055	E101
0057	90.000	3.500	345.000	0.180	0.805	90.000	3.500	345.000	0.180	0.805	0059	E101
0055	90.000	3.500	345.000	0.182	0.722	90.000	3.500	345.000	0.182	0.722	0053	E202
0059	90.000	3.500	345.000	0.095	0.722	90.000	3.500	345.000	0.095	0.722	0057	O106
0413	187.000	7.000	325.000	0.044	0.667	187.000	7.000	325.000	0.044	0.667	0409	O102
0029	187.000	7.000	325.000	0.320	0.612	187.000	7.000	325.000	0.320	0.612	0057	E103
0028	187.000	7.000	325.000	0.318	0.612	187.000	7.000	325.000	0.318	0.612	0057	E104
0026	187.000	7.000	325.000	0.189	0.612	187.000	7.000	325.000	0.189	0.612	0053	O101
0027	187.000	7.000	325.000	0.210	0.612	187.000	7.000	325.000	0.210	0.612	0053	O101
0032	187.000	7.000	325.000	0.224	0.602	187.000	7.000	325.000	0.224	0.602	0411	O102
0036	90.000	2.500	345.000	0.135	0.556	90.000	2.500	345.000	0.135	0.556	0053	O105
0040	187.000	7.000	325.000	0.177	0.529	187.000	7.000	325.000	0.177	0.529	0059	O105
0034	187.000	7.000	325.000	0.197	0.529	187.000	7.000	325.000	0.197	0.529	0055	O106
0042	187.000	7.000	325.000	0.181	0.529	187.000	7.000	325.000	0.181	0.529	0059	O103

Tabella 11-4: Massimi UC nodi Jacket – Resistenza

Tutti i nodi hanno UC < 1, per cui passano le verifiche a resistenza. Il massimo UC = 0.91 per il nodo 0030.

11.1.3 Verifiche dei Pali infissi (fondazioni)

Vengono riportate le verifiche dei pali del Jacket 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. 9.5 sono descritte le proprietà dei segmenti di pali infissi e la relativa lunghezza di infissione.

Si riporta in Figura 11-3 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. 9.5.

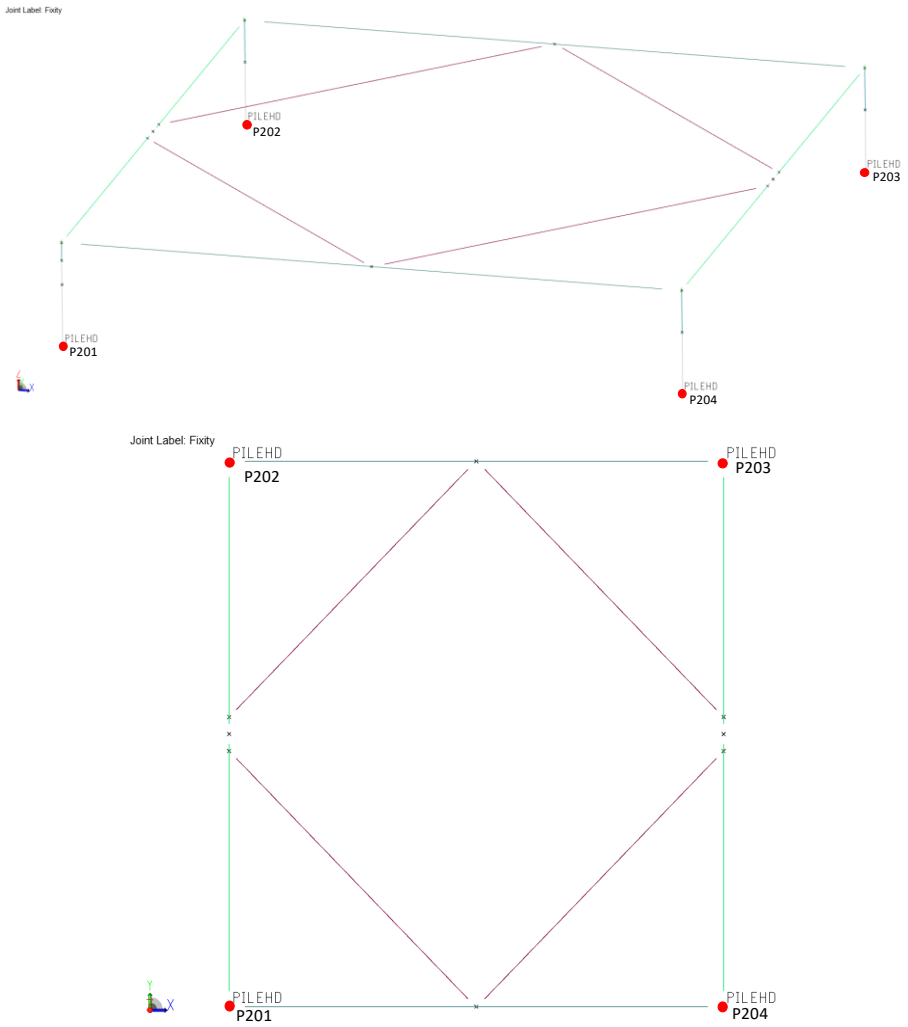


Figura 11-3: Denominazione nodi teste pali

I pali sono inseriti all'interno delle gambe del Jacket, scambiando forze orizzontali al livello dei telai orizzontali 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, massimi spostamenti in testa palo, e massimi UC riferiti alle verifiche della carpenteria metallica dei pali secondo le ISO 19902 Rif.[B4].

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

	NODO	COMB. CARICO	FORZE TESTA PALO			SPOSTAMENTI TESTA PALO			TENSIONI ALLE SEZIONI CON UC MASSIMO							DETTAGLI
			N [kN]	V [kN]	M [kNm]	ax [mm]	lat [mm]	rot [rad]	Depth [m]	fa [Mpa]	fby [Mpa]	fbz [Mpa]	fv [Mpa]	ftot [Mpa]	UC	
COND. OPERATIVE	P202	O105	**-15 999**	1 128	2 703	19	42	0	12	-74	56	0	2	-130	0.39	N MAX
	P204	O105	**-10 213**	974	1 525	11	36	0	12	-47	-51	0	2	-98	0.29	N min
	P202	O104	-15 428	**1 192**	3 000	18	46	0	12	-71	60	0	1	-131	0.39	V MAX
	P202	O104	-15 428	1 192	**3 000**	18	46	0	12	-71	60	0	1	-131	0.39	M MAX
	P202	O105	-15 999	1 128	2 703	**19**	42	0	12	-74	56	0	2	-130	0.39	ax max
	P202	O104	-15 428	1 192	3 000	18	**46**	0	12	-71	60	0	1	-131	0.39	lat MAX
	P202	O104	-15 428	1 192	3 000	18	46	**0**	12	-71	60	0	1	-131	0.39	rot MAX
	P202	O104	-15 428	1 192	3 000	18	46	0	12	-71	60	0	1	-131	**0.39**	UC MAX
COND. ESTREME	P202	E104	**-14 221**	1 685	5 155	16	81	0	12	-66	90	0	0	-155	0.44	N MAX
	P204	E204	**-4 264**	1 591	4 065	5	75	0	12	-20	-85	0	0	-105	0.28	N min
	P202	E103	-13 275	**1 784**	5 663	15	88	0	12	-61	95	0	1	-156	0.44	V MAX
	P202	E103	-13 275	1 784	**5 663**	15	88	0	12	-61	95	0	1	-156	0.44	M MAX
	P202	E104	-14 221	1 685	5 155	**16**	81	0	12	-66	90	0	0	-155	0.44	ax MAX
	P202	E103	-13 275	1 784	5 663	15	**88**	0	12	-61	95	0	1	-156	0.44	lat MAX
	P202	E103	-13 275	1 784	5 663	15	88	**0**	12	-61	95	0	1	-156	0.44	rot MAX
	P202	E104	-14 221	1 685	5 155	16	81	0	12	-66	90	0	0	-155	**0.44**	UC MAX

Tabella 11-5: Max. spostamenti e forze in testa palo & max. UC

Verifiche carpenteria metallica

Dai dati riportati in Tabella 11-5 si evince che le verifiche sulla carpenteria metallica sono soddisfatte: il massimo valore di UC registrato è UC = 0.44 per la combinazione E104.

Verifiche Geotecniche

I valori massimi di sforzo normale registrati sui pali sono:

Sforzo Normale	Cond. Operative	Cond. Estreme
Compressione	-16 MN	14.2 MN
Trazione	0 MN	0 MN

Tabella 11-6: Max. Trazione e Compressione in testa palo

Non è stata rilevata alcuna trazione.

Il peso del palo infisso sommerso, secondo il make-up riportato in Tabella 9-1, vale:

Peso palo infisso = 2.06t/m x 13m + 1.44 t/m x 62m = 115t = 1160 kN

Dalle curve di capacità del palo secondo NTC2018 (Rif. [B1]) calcolate in Relazione Geotecnica (Rif. [A10]) e riportate in Figura 11-4, la massima capacità di compressione del palo per infissione 78m vale 18.35 MN.

La massima compressione vale:

- Cond. Operative 16 MN + 1.16 MN*1.3 = 17.5 MN < 18.35 MN (SF=1.05>1.0)
- Cond. Estreme 14.2 MN + 1.16MN*1.1 = 15.5 MN < 18.35 MN (SF=1.18>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.

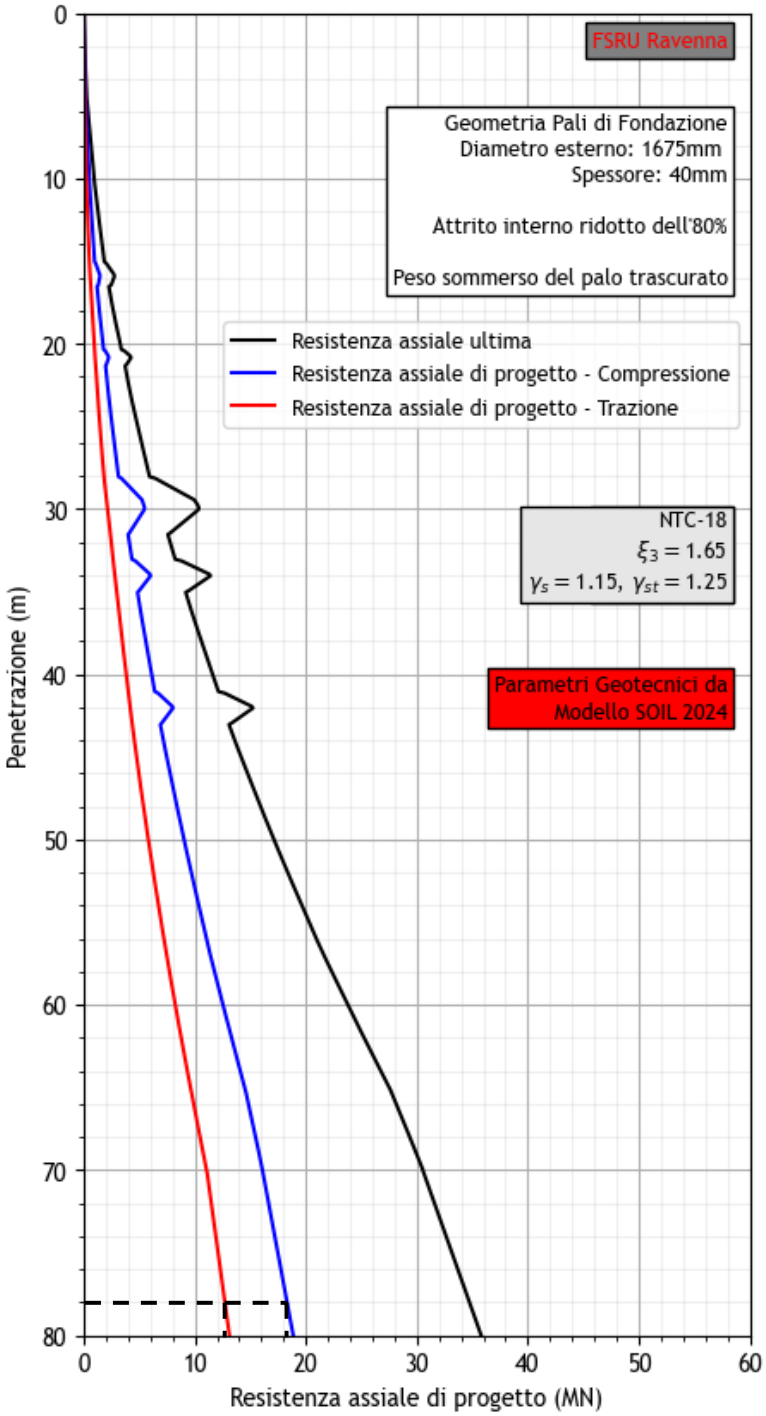


Figura 11-4: Curva di Capacità portante del palo NTC2018

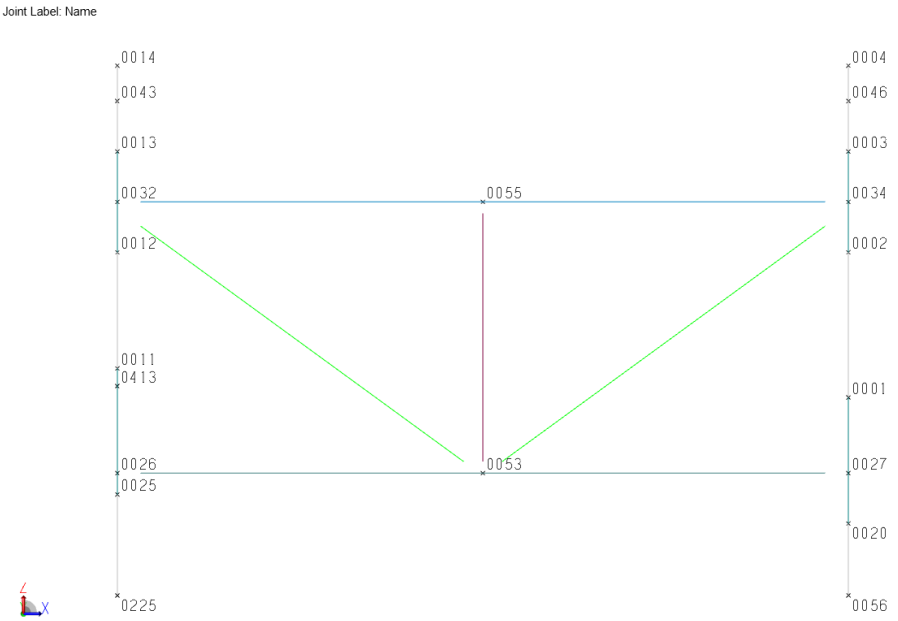
Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

12 APPENDICE A – SCHEMI UNIFILARI

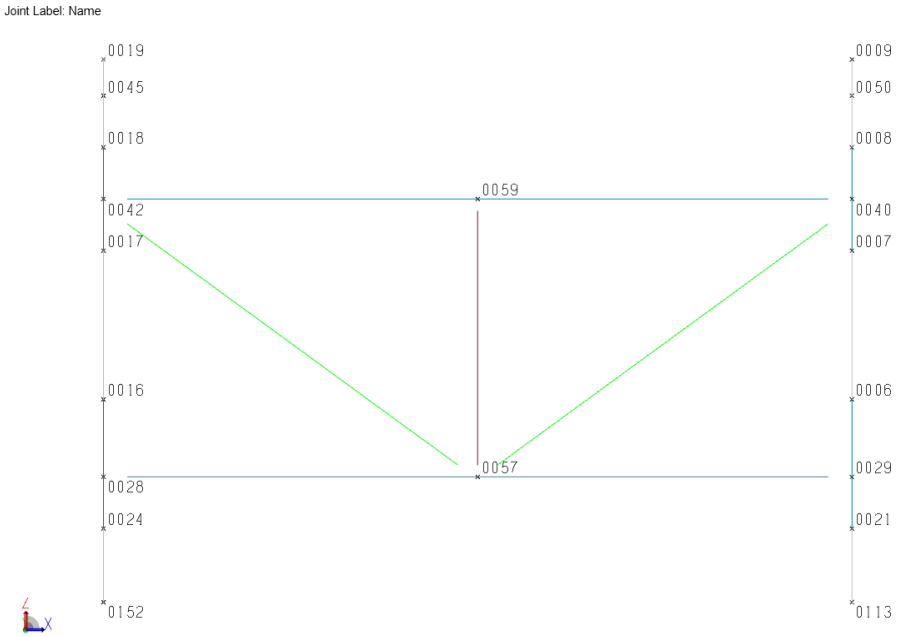
12.1 DENOMINAZIONE NODI

12.1.1 Jacket

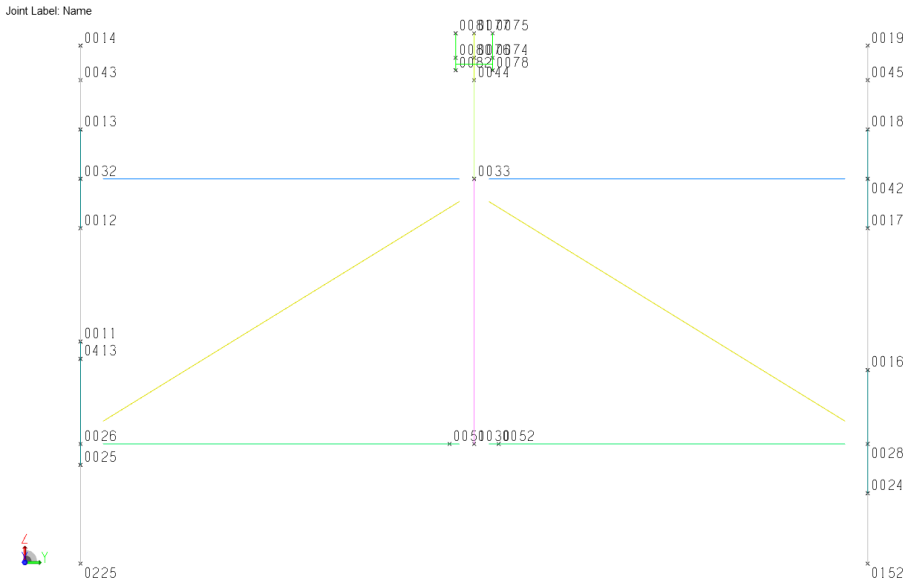
All. A



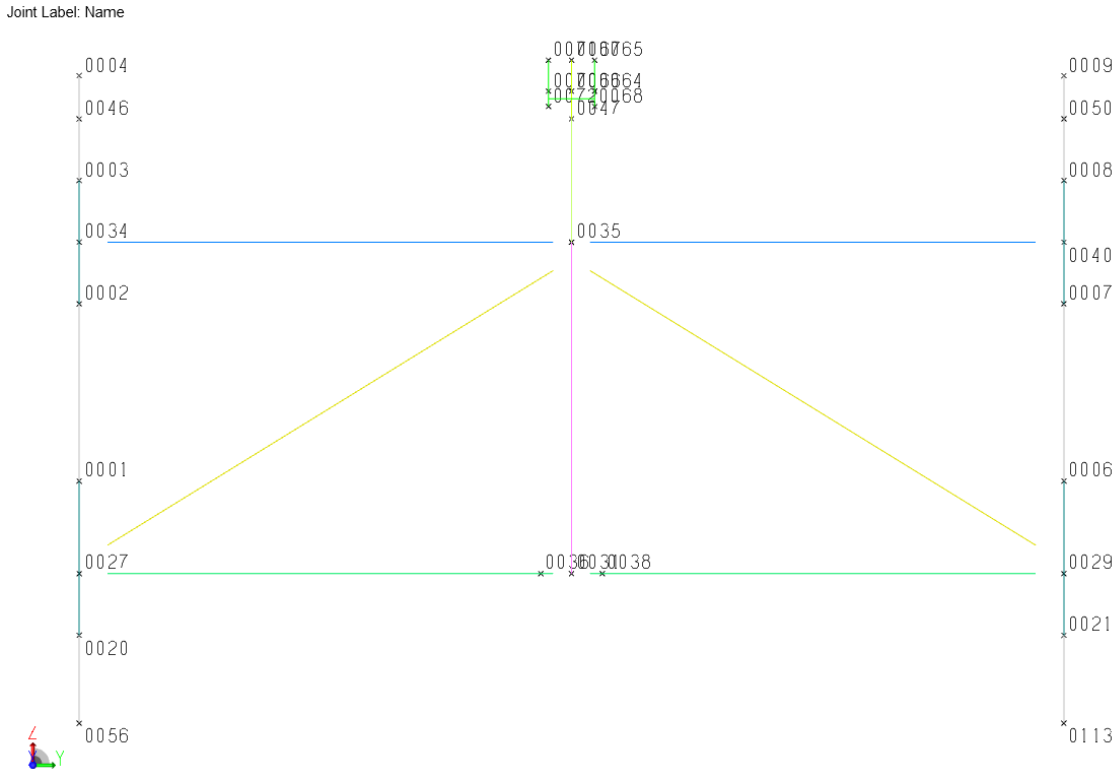
All. E



All. 1

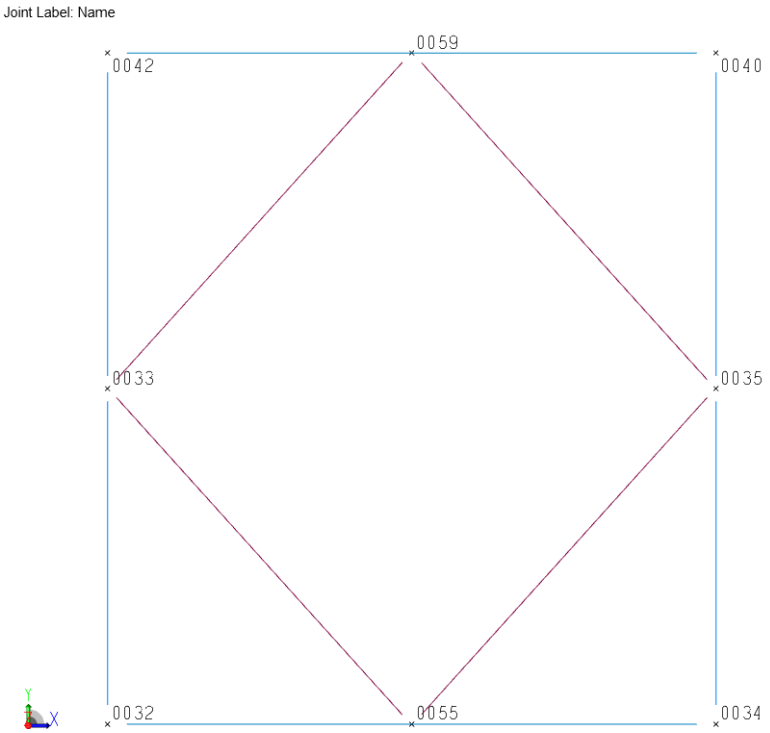


All. 3

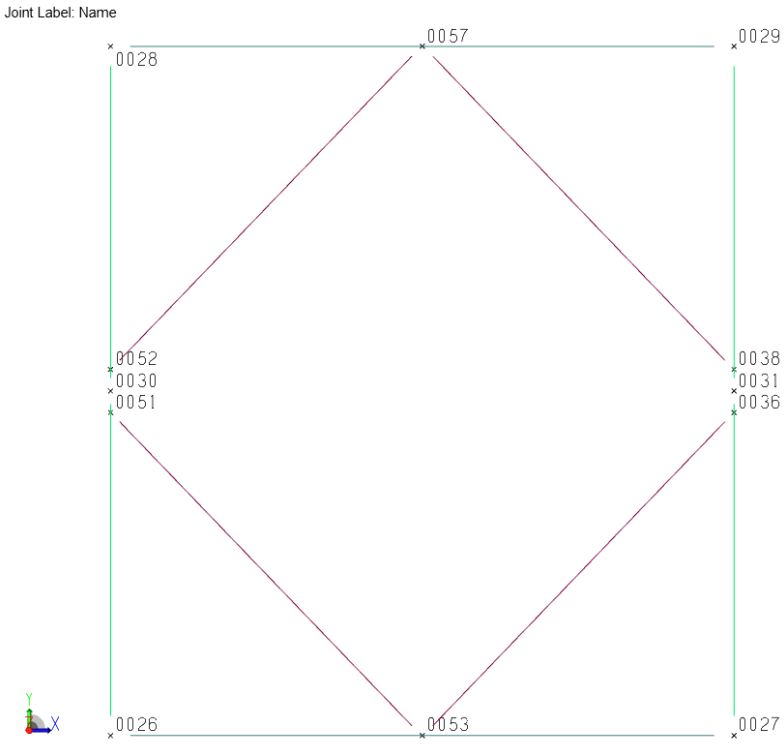


Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

El. -3.40m

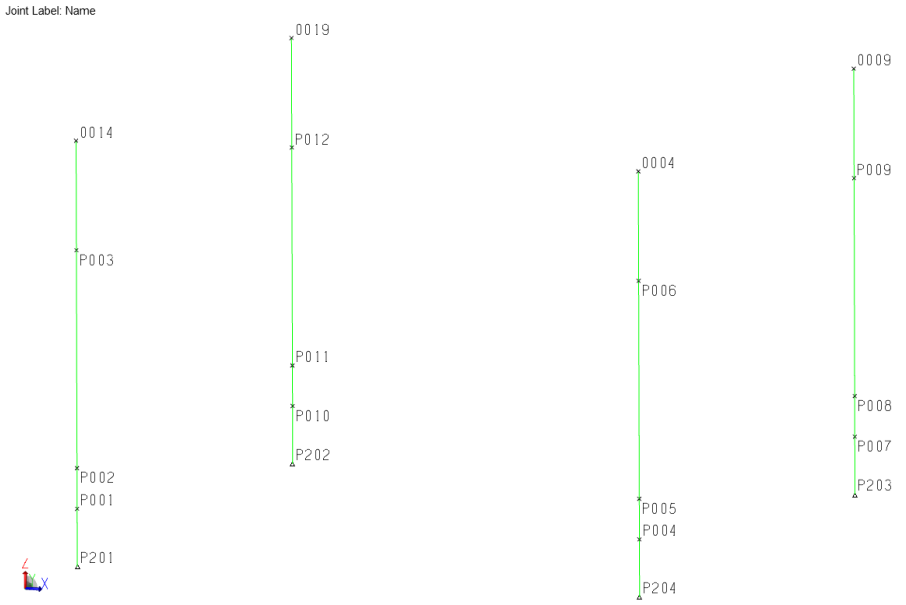


El. -14.15

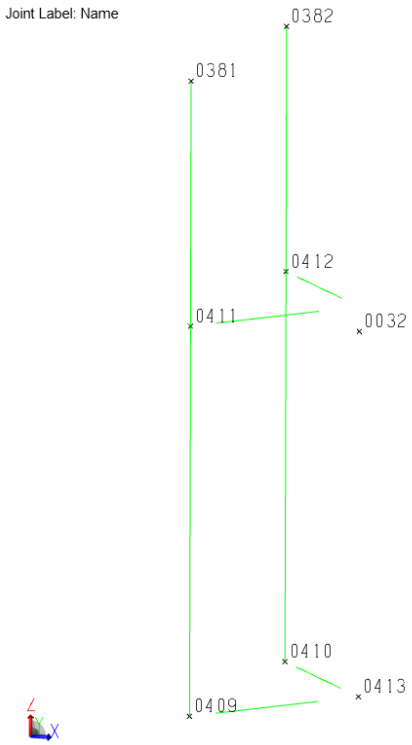


Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

12.1.2 Pali



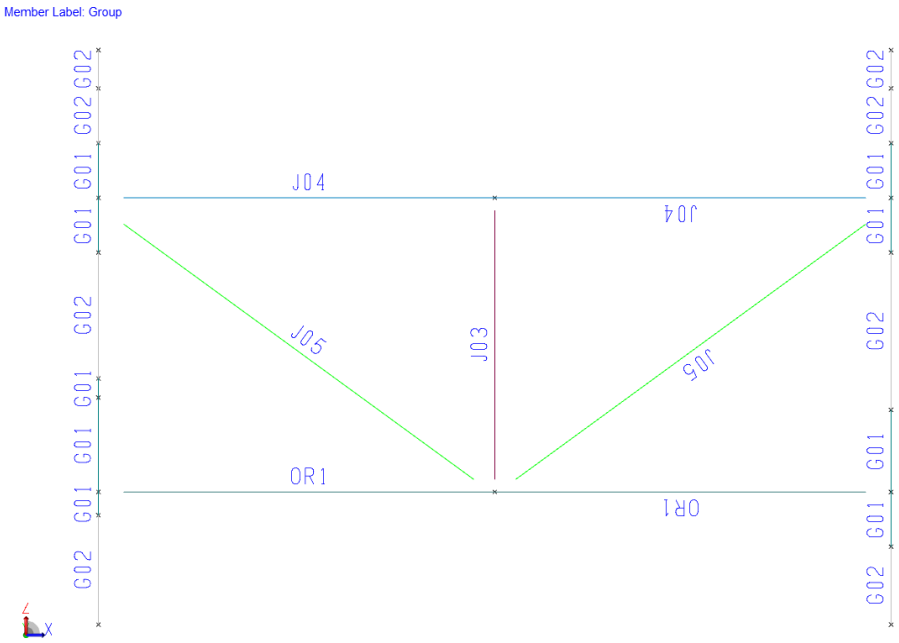
12.1.3 Caisson



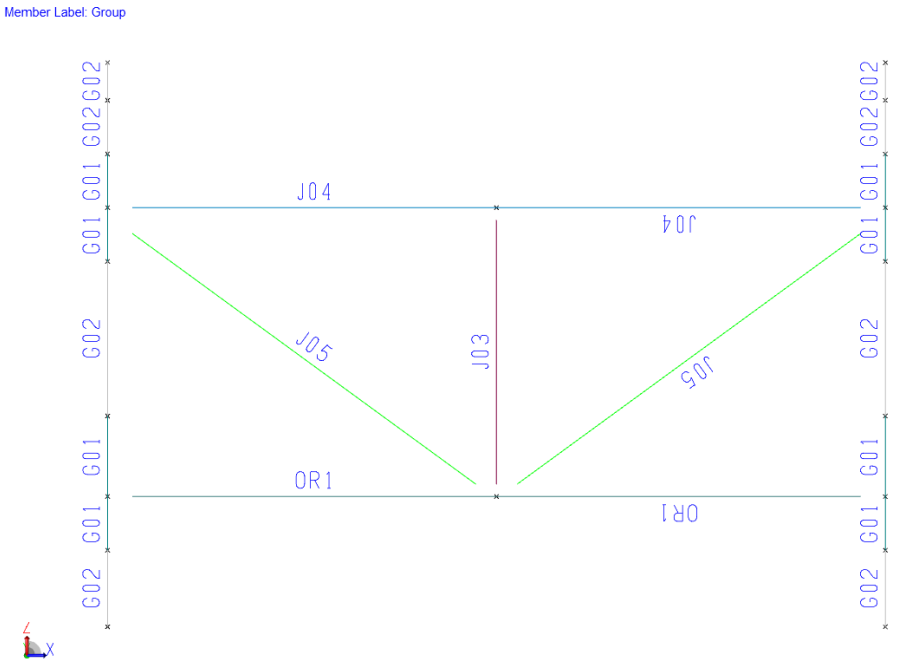
12.2 DENOMINAZIONE GRUPPI

12.2.1 Jacket

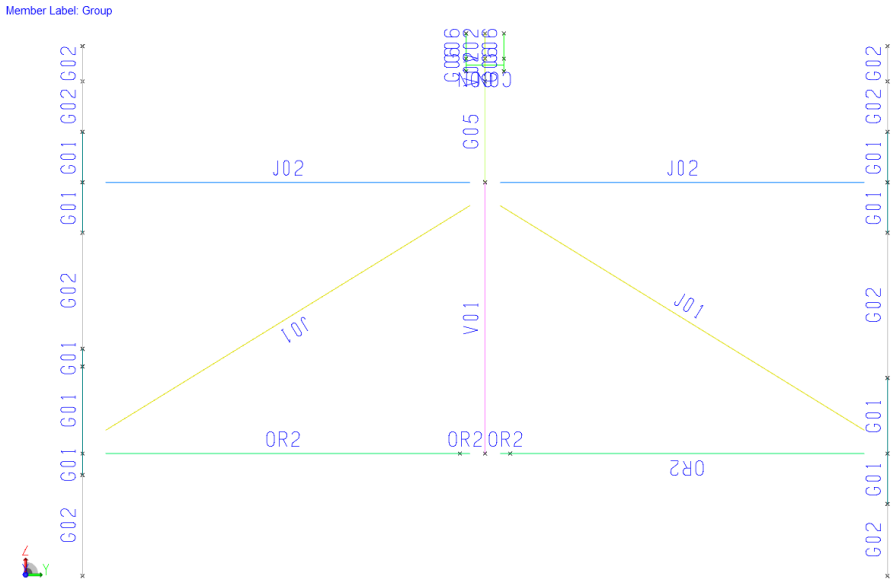
All. A



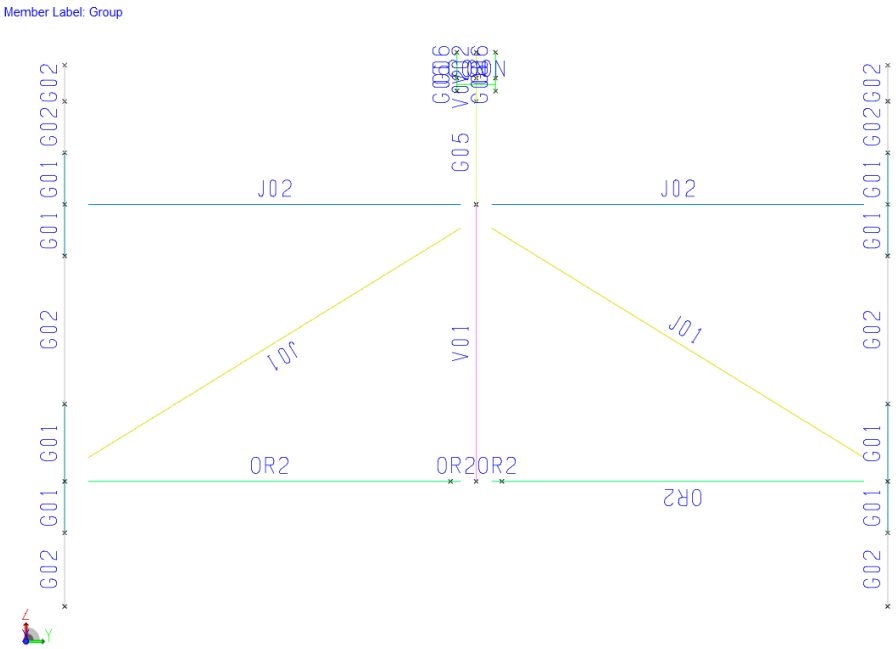
All. E



All. 1

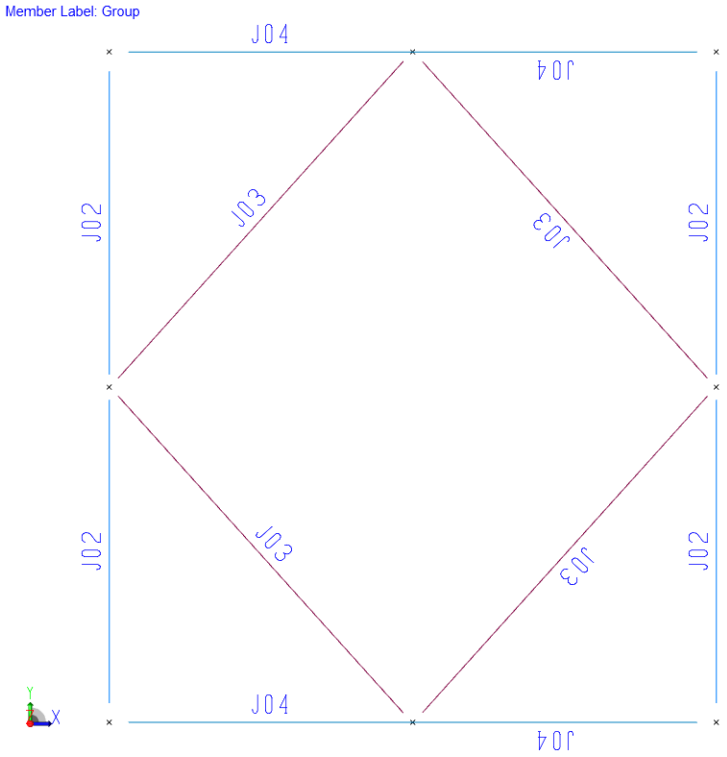


All. 3

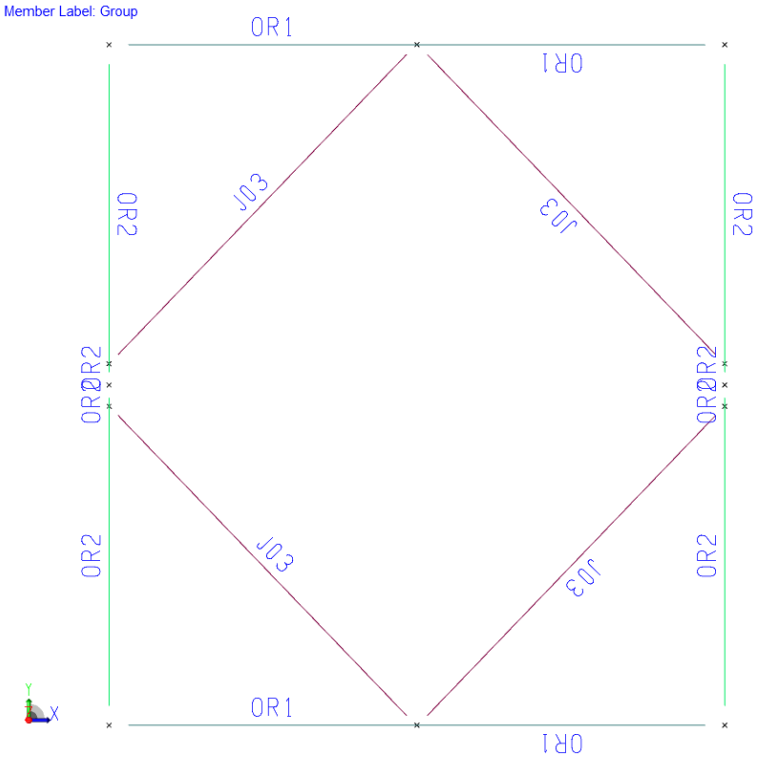


Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

El. -3.40m

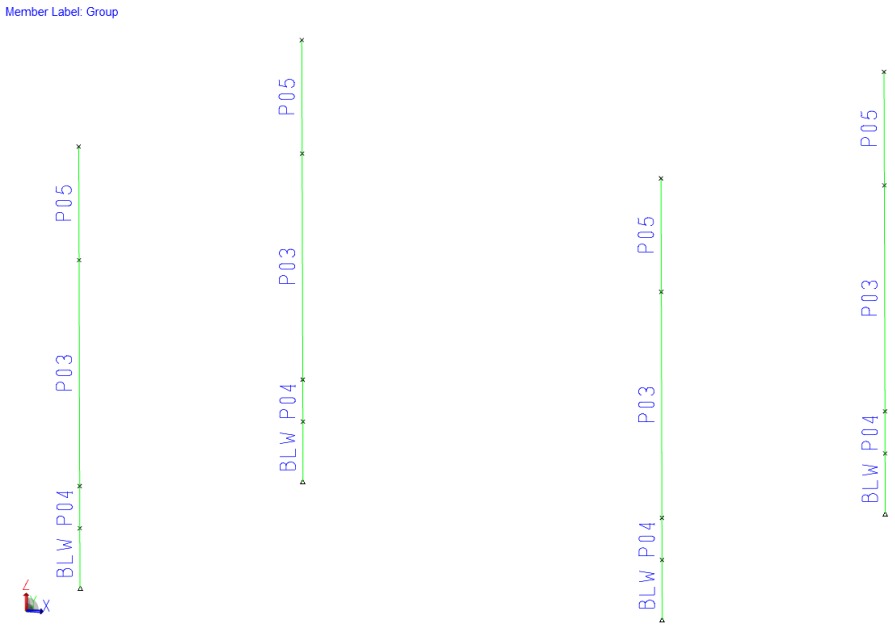


El. -14.15

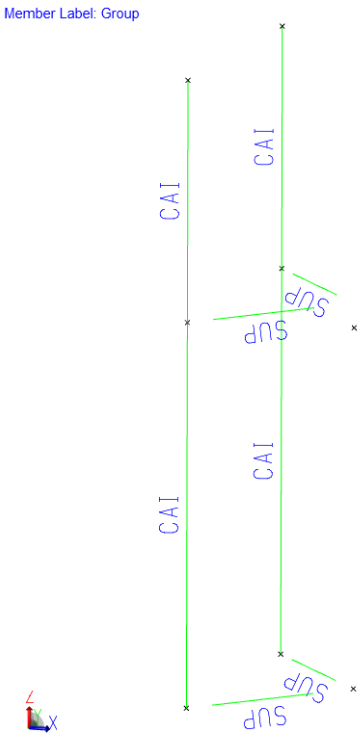


Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

12.2.2 Pali



12.2.3 Caisson



13 APPENDICE B – PROPRIETA' GRUPPI

13.1 PROPRIETÀ GRUPPI

Member Group Report

Name	Section	OD (cm)	WT (cm)	E (kN/cm2)	G (kN/cm2)	Fy (kN/cm2)	Ky	Kz	SPC	SAM	F	Density (tonne/m3)	Length (m)	Section
BLW		167.500	6.000	20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00		0.50		7.850		
CAI		120.000	2.500	20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00		0.50		7.849		
CON	CONNEX			20000.000	7722.000	35.500	1.00	1.00				7.849		
G01		187.000	7.000	20000.000	7722.000	32.500	1.00	1.00		0.50		7.849		
G02		180.000	3.500	20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00		0.50		7.849		
G05		120.000	6.000	20000.000	7722.000	33.500	1.00	1.00		0.50		7.849	2.00	
G05		120.000	3.000	20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00		0.50		7.849		
G06		100.000	3.000	20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00		0.50		7.849		
J01		85.000	3.000	20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00		0.50		7.849		
J02		75.000	2.000	20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00		0.50		7.849		
J03		55.880	1.588	20000.000	7722.000	35.500	1.00	1.00		0.50		7.849		
J04		90.000	2.000	20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00		0.50		7.849		
J04		90.000	3.500	20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00		0.50		7.849	2.00	
J05		75.000	2.500	20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00		0.50		7.849		
OR1		90.000	2.500	20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00		0.50		7.849		
OR1		90.000	3.500	20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00		0.50		7.849	2.00	
OR2		90.000	2.500	20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00		0.50		7.849		
P03		167.500	6.000	20000.000	7722.000	33.500	1.00	1.00		0.50		7.850	5.90	
P03		167.500	4.000	20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00		0.50		7.850		
P04		167.500	6.000	20000.000	7722.000	33.500	1.00	1.00		0.50		7.850		
P05		167.500	4.000	20000.000	7722.000	33.500	1.00	1.00		0.50		7.850		
SUP		90.000	2.500	20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00		0.50		7.849		
V01		120.000	6.000	20000.000	7722.000	33.500	1.00	1.00		0.50		7.849	2.00	
V01		120.000	3.000	20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00		0.50		7.849		
V01		120.000	6.000	20000.000	7722.000	33.500	1.00	1.00		0.50		7.849	2.00	
V02		120.000	3.000	20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00		0.50		7.849		
W.B		100.000	4.000	20000.000	7722.000	33.500	1.00	1.00		0.50		10.0000029-5		

13.2 PROPRIETÀ SEZIONI

Member Section Report

Section	Type	AX(cm2)	J(cm4)	IY(cm4)	IZ(cm4)	A(cm)	B(cm)	C(cm)	D(cm)	E(cm)	F(cm)
CON4M1	CON *	335.019	238451.89	119225.95	119225.95	70.000	2.000	40.640	3.000	1.905	
CON4M2	CON *	366.938	313232.84	156616.42	156616.42	70.000	2.000	50.800	3.000	1.905	
CONGRU	CON *	555.936	1088621.6	544310.81	544310.81	120.000	2.000	60.960	3.000	2.000	
CONNEX	WFC *	1064.000	3057.354	571158.68	2456503.5	170.000	3.000	50.000	1.000		
CONOA	CON *	603.814	1394691.2	697345.62	697345.62	120.000	2.000	76.200	3.000	2.540	
CONOB	CON *	890.642	1990417.7	995208.87	995208.87	110.000	3.000	85.000	5.000	3.000	
H100	WF *	317.500	486.343	523161.43	17891.300	35.000	2.500	100.000	1.500		
H100PL	WF *	449.600	922.789	832838.93	77668.203	55.000	2.800	100.000	1.500		
H100X	WF *	367.500	590.509	642015.56	37995.468	45.000	2.500	100.000	1.500		
H120PL	WF *	471.000	1036.228	1212093.1	62532.058	50.000	3.000	120.000	1.500		
HI1000-	WF *	441.000	1000.499	809723.06	62526.433	50.000	3.000	100.000	1.500	1.050	
HI1500-	WF *	648.000	1485.421	2442743.7	108096.00	60.000	3.000	150.000	2.000	1.400	
HI1800-	WF *	766.000	2185.221	4134368.2	126115.35	60.000	3.500	180.000	2.000	1.400	
INF	BOX *	2976.000	10139738.	4928513.0	10360196.	100.000	6.000	160.000	6.000		
PALO1	TUB *	4476.267	32375214.	16187608.	16187608.	180.800	4.000	167.500	4.400		
PALO2	TUB *	5624.835	41971456.	20985728.	20985728.	184.800	6.000	167.500	4.400		
PG1	WF *	558.000	1344.050	1376514.1	83263.507	55.000	3.000	120.000	2.000		
PG2	WF *	447.500	717.176	1139432.2	69355.265	55.000	2.500	120.000	1.500		
PG3	WF *	317.500	486.343	523161.43	17891.300	35.000	2.500	100.000	1.500		
PG4	PGU *	342.500	523.542	578251.81	27943.386	35.000	2.500	100.000	1.500	45.000	2.500

An * indicates that AX, J, IY and IZ are computed values, not user defined.

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