EMERGENZA GAS

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

FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI

PIATTAFORMA SCALANDRONE SUD - STATICA

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	11/03/2024

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

INDICE

PAGINA

1 OGGETTO DELLA REVISIONE B 7

2 INTRODUZIONE 7

2.1 Generalità 7

2.2 Scopo del Documento 8

3 DEFINIZIONI ED ABBREVIAZIONI 8

3.1 Definizioni 8

3.2 Abbreviazioni 8

4 RIFERIMENTI 9

4.1 Documenti Di Progetto 9

4.2 Documenti Di Riferimento 9

4.3 Normative Di Riferimento 9

4.4 Software 10

5 CONCLUSIONI 11

6 DESCRIZIONE PIATTAFORMA SCALANDRONE SUD 12

7 CRITERI DI PROGETTAZIONE 14

7.1 Materiali 14

7.2 Criteri di Progettazione 16

7.2.1 Generalità 16

7.2.2 Combinazione delle azioni e fattori di azione parziale per le analisi in servizio 16

7.2.3 Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari 17

7.2.4 Resistenza minima nodi tubolari 17

7.2.5 Fattore di resistenza parziale per sezioni non tubolari 18

7.2.6 Fattore di resistenza parziale per capacità assiale del palo 18

7.3 Criteri di Accettazione 20

7.3.1 Elementi della struttura 20

7.3.2 Pali di fondazione 20

7.3.3 Deformazioni 21

8 DATI DI PROGETTO AMBIENTALI 22

8.1 Dati Meteo-Marini 22

8.1.1 Batimetria 22

8.1.2 Vento 22

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 23
8.1.4 Coefficienti idrodinamici 24
8.1.5 Splash Zone 24
8.1.6 Accrescimento Marino 24
8.1.7 Spessore di Corrosione 25
8.2 Dati Geotecnici 25
9 MODELLO DI CALCOLO 26
9.1 Unità di Misura 26
9.2 Sistema di Riferimento 26
9.3 Programma di Calcolo 26
9.4 Modello di Calcolo 27
9.4.1 Criteri di Modellazione 28
9.5 Modellazione Della Fondazione 31
10 CARICHI E COMBINAZIONI DI CARICO 32
10.1 Carichi Permanenti 33
10.1.1 Peso Proprio Strutturale - DEAZ 33
10.1.2 Pesi Strutture non modellate - PERZ 34
10.1.3 Equipaggiamenti - EQUZ 35
10.2 Carichi Variabili 36
10.2.1 Carico Variabile distribuito – LIVZ 36
10.3 Carichi Ambientali 37
10.3.1 Carichi d'onda e correnti 37
10.3.2 Carichi di Vento 39
10.4 Risultanti dei Carichi Base 42
10.5 Combinazioni di Carico 43
10.5.1 Combinazioni Operative 44
10.5.2 Combinazioni Estreme 45
10.5.3 Combinazioni di Esercizio 46
11 RISULTATI DELL'ANALISI 47
11.1.1 Verifiche strutturali degli elementi fuori terra 47
11.1.2 Verifiche dei Pali infissi (fondazioni) 50
11.1.3 Verifiche Deformazioni 54
12 APPENDICE A – SCHEMI UNIFILARI 56

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

12.1 Denominazione Nodi 56
12.2 Denominazione Gruppi 57
13 APPENDICE B – PROPRIETA' GRUPPI 58
13.1 Proprietà Gruppi 58
13.2 Proprietà Sezioni 58
14 APPENDICE C – CURVE DI CAPACITA' PORTANTE PALI 59
15 APPENDICE D – SACS FILES DI INPUT 60

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

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 4-1: Max. Trazione e Compressione in testa palo 11
Tabella 6-1: Proprietà acciaio 14
Tabella 6-2: Classi di acciaio e standard 14
Tabella 6-3: Proprietà dell'acciaio relative allo spessore (UNI EN 10025) 15
Tabella 6-4: Fattori di azione parziale per l'analisi in servizio 16
Tabella 6-5: Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari 17
Tabella 6-6: Fattori di resistenza parziale per i nodi tubolari 17
Tabella 6-7: Fattori di resistenza parziale per sezioni non tubolari 18
Tabella 6-8: Fattori di resistenza parziale per la capacità assiale del palo 18
Tabella 6-9: Valore massimo per la deformazione dei componenti strutturali 21
Tabella 7-1: Dati Vento 22
Tabella 7-2: Dati Onde 23
Tabella 7-3: Dati di Corrente 23
Tabella 7-4: Dati geotecnici di progetto 25
Tabella 8-1: Composizione pali sotto il fondale marino 31
Tabella 9-1: Coefficienti parziali azioni per condizioni in servizio 32
Tabella 9-2: Strutture non modellate - LOADCN PERZ 34
Tabella 9-3: Carichi Equipaggiamento – LOADCN EQUZ 35
Tabella 9-4: Carichi Piping - LOADCN LIVZ 36
Tabella 9-5: Coefficienti idrodinamici 37
Tabella 9-6: Carichi Meteomarini – Onde e correnti 38
Tabella 9-7: Carichi Meteomarini – Vento 40
Tabella 9-8: Risultanti condizioni di carico applicate 42
Tabella 9-9: Pre-combinazioni di carico 43
Tabella 9-10: Combinazioni SLU Operative 44
Tabella 9-11: Risultanti Combinazioni SLU Operative 44
Tabella 9-12: Combinazioni SLU Estreme 45
Tabella 9-13: Risultanti Combinazioni SLU Estreme 45
Tabella 9-14: Combinazioni SLE 46
Tabella 9-15: Risultanti Combinazioni SLE 46
Tabella 10-1: Verifiche e max UC per gruppi 47
Tabella 10-2: Max. spostamenti e forze in testa palo & max. UC 50

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

Tabella 10-3: Max. Trazione e Compressione in testa palo 51
Tabella 10-4: Verifiche SLE – Travi principali 54

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.

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 della Piattaforma Scalandrone Sud per le condizioni statiche 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
SLE	Stato Limite di Esercizio
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.

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 la piattaforma scalandrone sud 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 Deck: UC = 0.27 < 1.0
- Sui pali fuori terra: UC = 0.20 < 1.0
- Sui pali infissi: UC = 0.23 < 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	7.00	3.71	1.88	4.15	1.68
Trazione	4.00	-	-	1.11	3.60

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

Le verifiche geotecniche risultano soddisfatte.

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

6 DESCRIZIONE PIATTAFORMA SCALANDRONE SUD

In Figura 6-1 viene rappresentata la piattaforma scalandrone sud.

È costituita da un deck 11.1x16.7m, che poggia su quattro pali Φ1500 a cui è connesso tramite degli sleeve Φ1780x60 lunghi 6m, cementati.

Il fondale si trova a -18.0m s.l.m.m..

Sul deck sono posizionati uno scalandrone, una valvola ed altri equipaggiamenti per il passaggio di cavi e tubazioni.

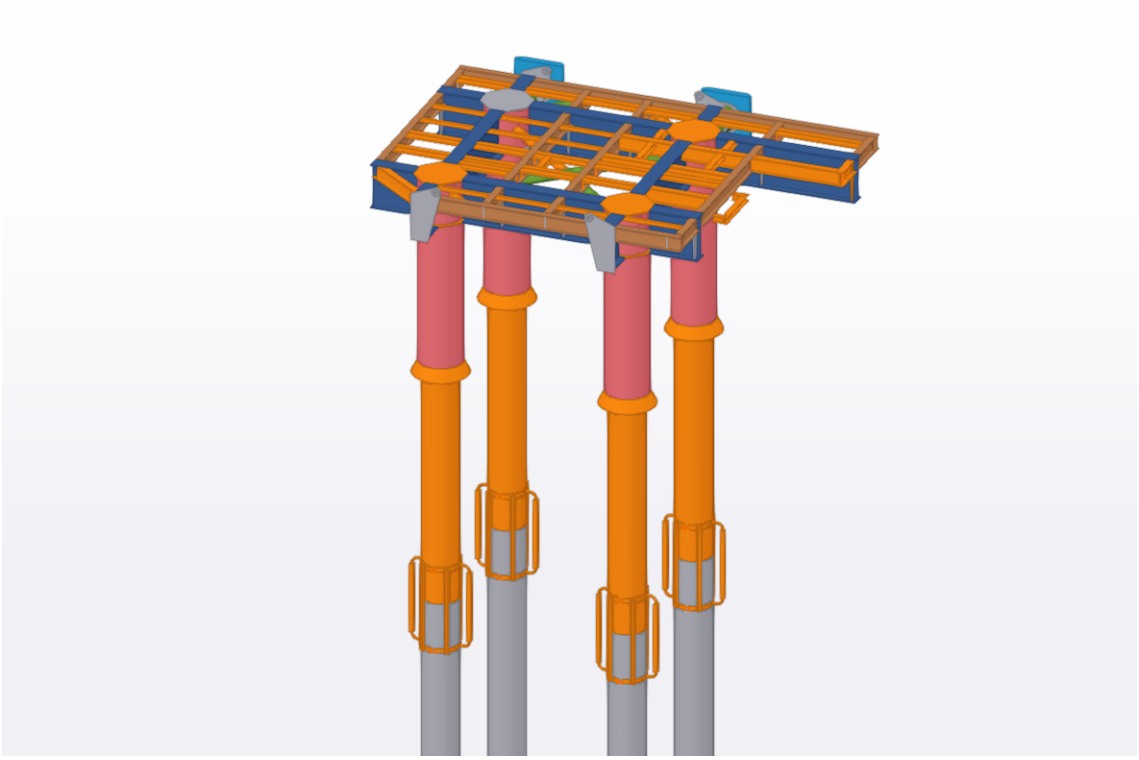


Figura 6-1: Nuova piattaforma scalandrone sud

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

Le principali caratteristiche della piattaforma sono:

- Altezza totale: 27.0m
- Piano del deck: El. +9.0m
- Interasse gambe principali: 7.0mx7.6m
- Quota superiore: El. +9.0m
- Quota inferiore: El. -18.0m
- Dimensioni pali di fondazione: Φ1500mm x 70m (lunghezza infissione 46m)

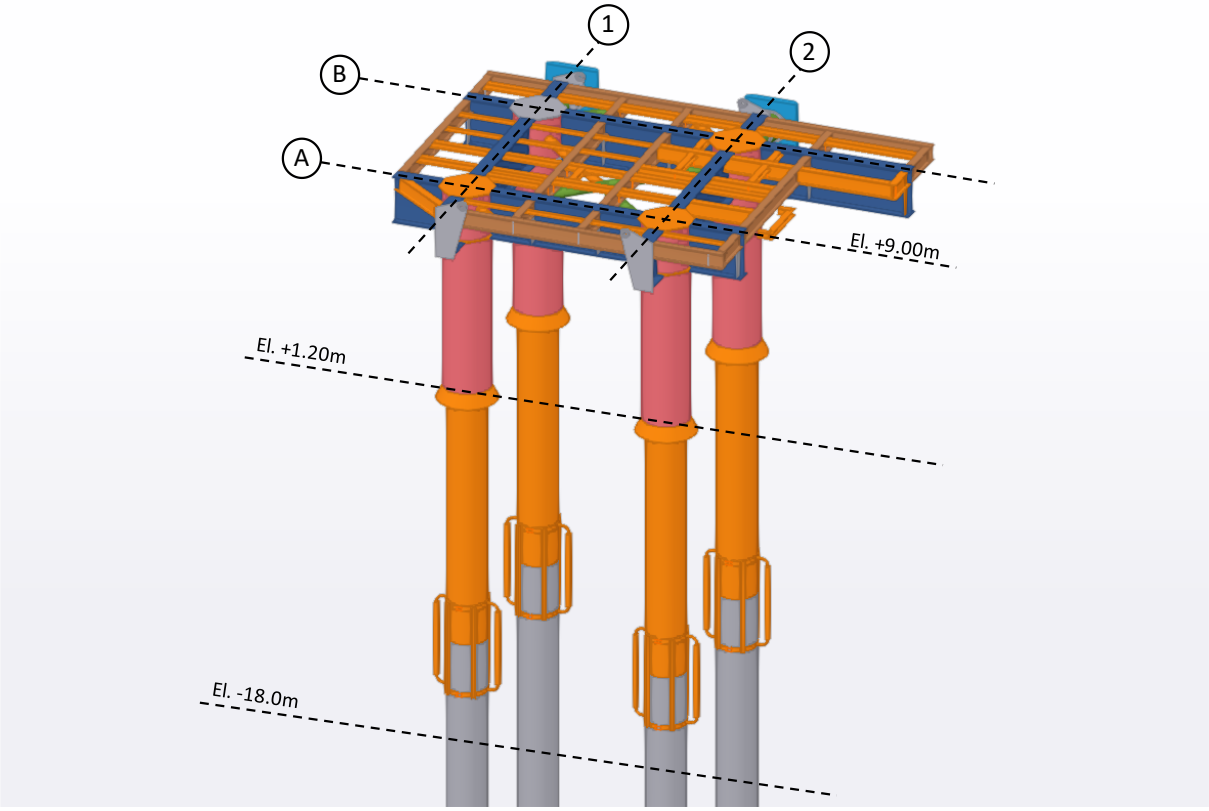


Figura 6-2: Piattaforma scalandrone sud – allineamenti ed elevazioni

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

7 CRITERI DI PROGETTAZIONE

7.1 MATERIALI

I parametri ingegneristici riguardanti l'acciaio utilizzato per la costruzione, secondo EN1993 Rif. [B5], sono riportati in Tabella 7-1.

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

Tabella 7-1: Proprietà acciaio

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

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

Tabella 7-2: Classi di acciaio e standard

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

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

La tensione di snervamento minima dell'acciaio in funzione dello spessore della lamiera è riportato in Tabella 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	
		G1	G2	Q1	Q2	Eo	Do	Ee	De
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. Compr	1.1	1.1	1.1	-	-	-	1.35	1.25
	Max Traz.	0.9	0.9	-	-	-	-	1.35	1.25
Esercizio Gravità		1.0	1.0	1.0	1.0	-	-	-	-
Esercizio Ambientali		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		

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

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

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 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 7-6: Fattori di resistenza parziale per i nodi tubolari

NOTA:

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

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).

7.2.5 Fattore di resistenza parziale per sezioni non tubolari

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

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

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

7.2.6 Fattore di resistenza parziale per capacità assiale del palo

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

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

Tabella 7-8: Fattori di resistenza parziale per la capacità assiale del palo

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:

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

Si considerano poi per i pali infissi:

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

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

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

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

7.3 CRITERI DI ACCETTAZIONE

7.3.1 Elementi della struttura

Il progetto della Piattaforma Scalandrone Sud 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.7.2.6 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.7.2.6).

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

7.3.3 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 (verifica SLE).

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 7-9: 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.

8 DATI DI PROGETTO AMBIENTALI

8.1 DATI METEO-MARINI

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 a -18.00m s.l.m.m.

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	22.3	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 (Rif.[B19]) e BS 6349 (Rif.[B6]), 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 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 8-4.

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 8-4: 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.

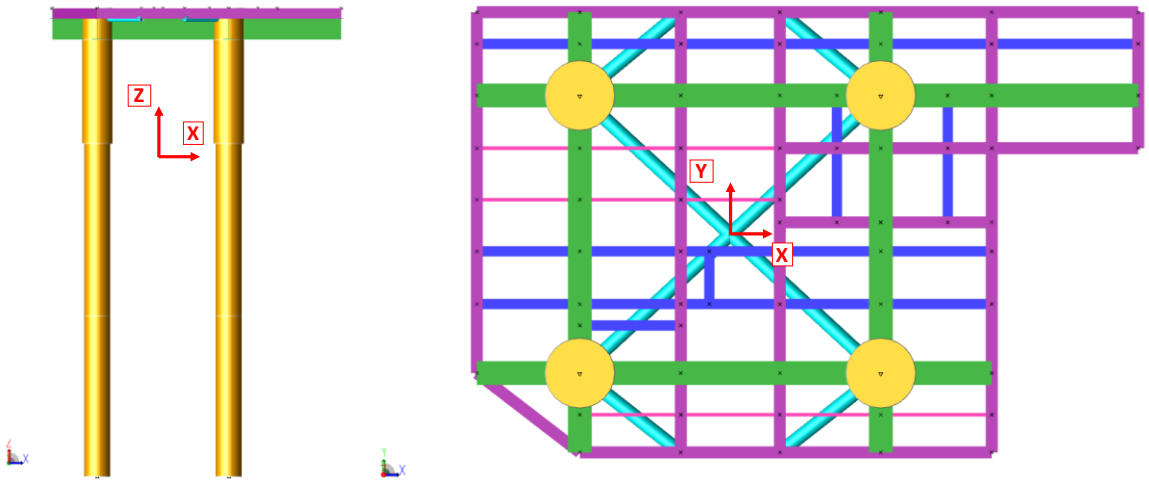


Figura 9-1: Sistema di riferimento del modello

9.3 PROGRAMMA DI CALCOLO

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

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

9.4 MODELLO DI CALCOLO

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

Sono modellati il deck con tutti gli elementi strutturali e i pali. La connessione fra pali e deck avviene tramite sleeves cementati.

Le strutture secondarie (ad es. grigliati) sono inserite a modello come carichi.

Gli equipaggiamenti sono inseriti a modello come carichi.

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

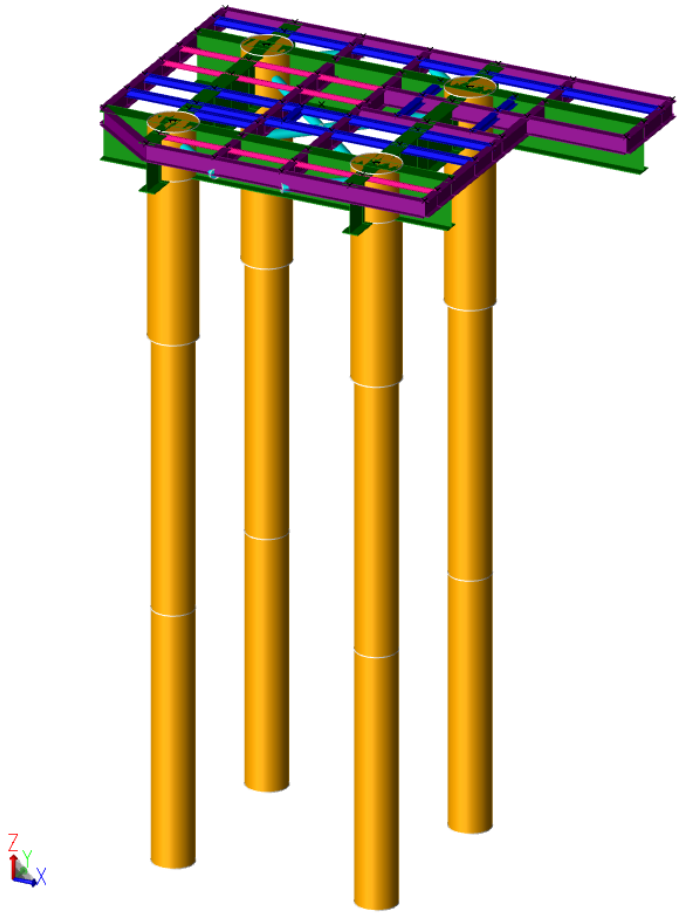


Figura 9-2: Modello SACS della piattaforma

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

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.
- 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.

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

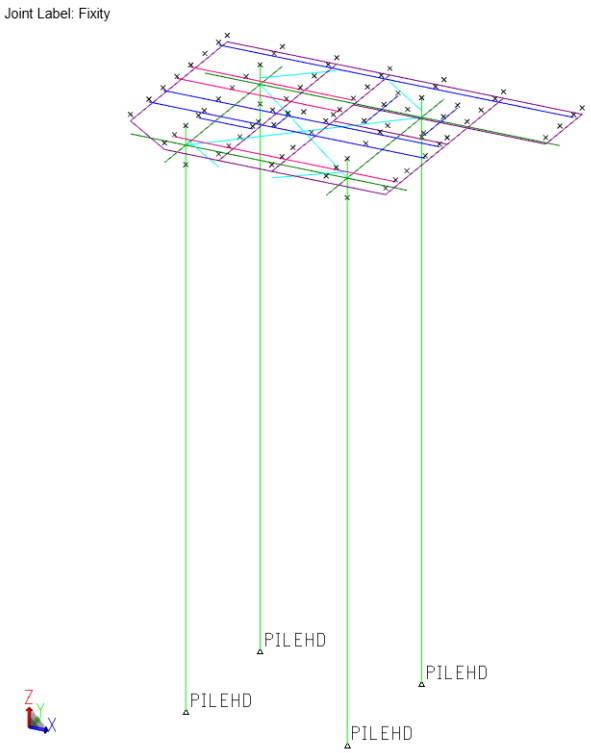


Figura 9-3: Modello SACS - Vincoli esterni: testa pali

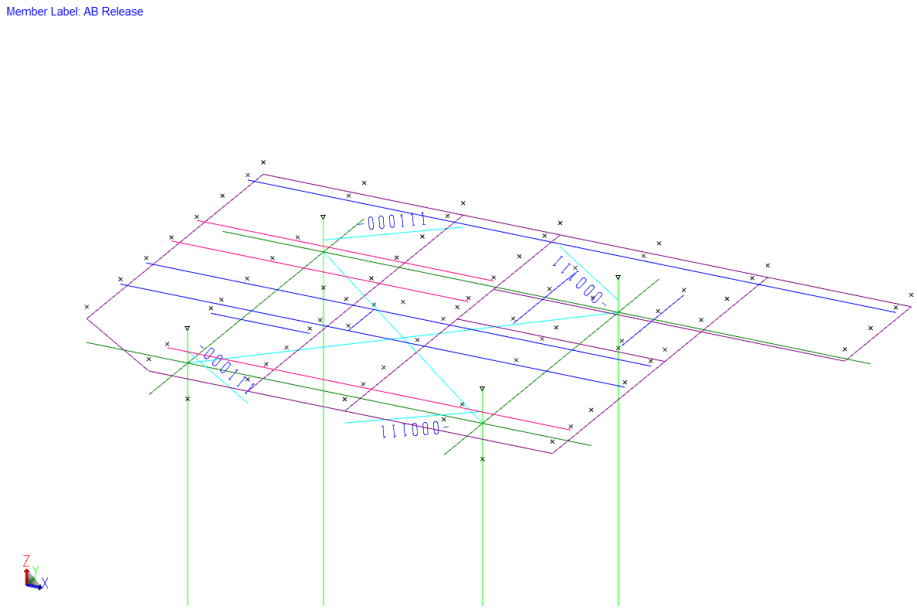


Figura 9-4: Modello SACS - *releases* interni

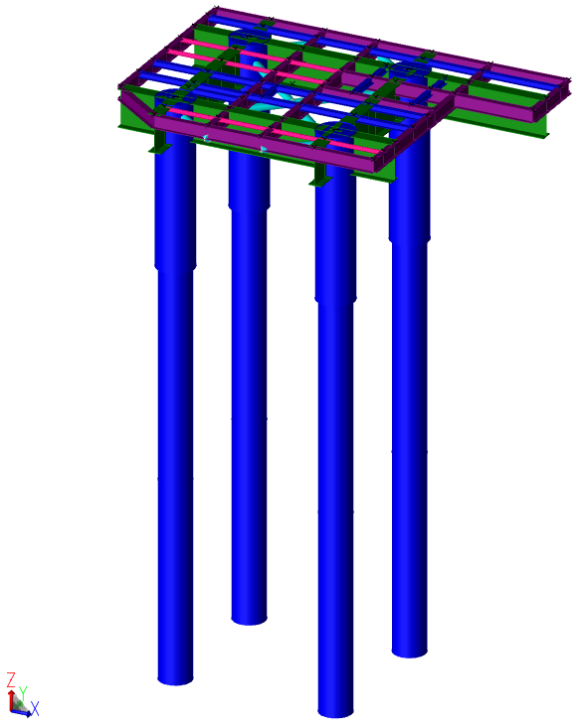


Figura 9-5: Modello SACS – Elementi allagati (*flooded*)

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

9.5 MODELLAZIONE DELLA FONDAZIONE

I pali della piattaforma Scalandrone SUD sono modellati all'interno del terreno (sotto il fondale 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.8.2, 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
A1, A2, B1, B2	Φ 1500 mm	40 mm	45.75 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 APPENDICE C sono ricavate:

- Max. Resistenza a compressione di progetto: R_{cd} = 7.00 MN
- Max. Resistenza a trazione di progetto: R_{td} = 4.00MN

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	Cond. Operative SLU1	Cond. Operative SLU2	Cond. Estreme SLU3	Cond. Estreme SLU4	Cond. Esercizio SLS1	Cond. Esercizio SLS2
G_1	1.3	1.3	1.1	0.9	1.0	1.0
G_2	1.3	1.3	1.1	0.9	1.0	1.0
Q_1	1.5	1.5	1.1	0.8	1.0	1.0
Q_2	1.5	1.5		-	1.0	1.0
E_o	-	0.9x1.35=1.215		-	-	1.0
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 degli equipaggiamenti

Fra le azioni variabili rientrano:

- Zone di passaggio 4.0 kN/m^2

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 (Deck, 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.

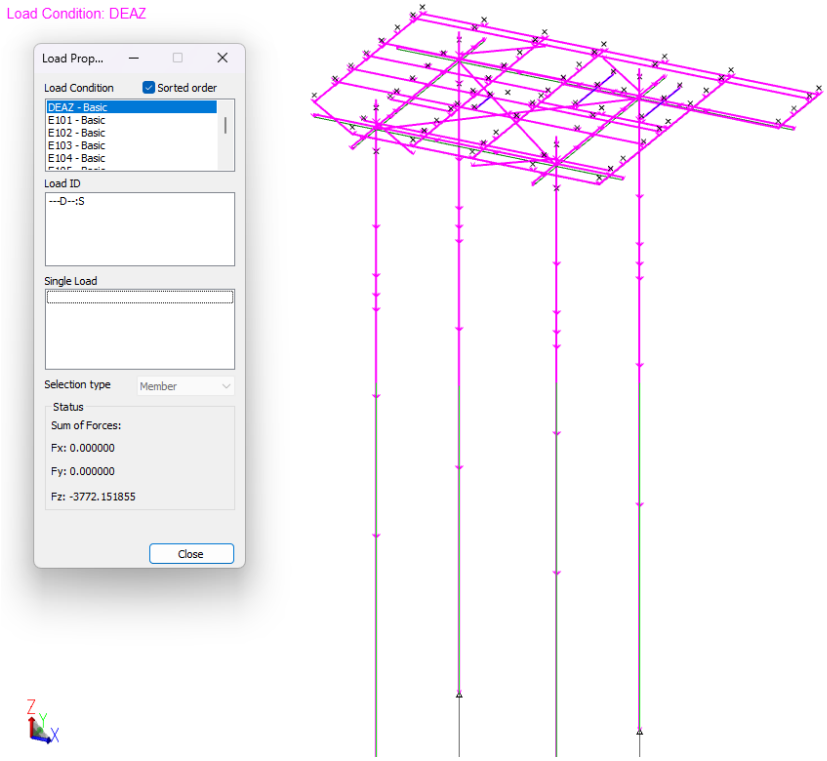


Figura 10-1: Modello SACS – Peso proprio strutture modellate – LOADCN DEAZ

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 40 kg/m^2	65
TOTALE		**65**

Tabella 10-2: Strutture non modellate - LOADCN PERZ

Tali carichi tengono conto di una contingency del 10%.

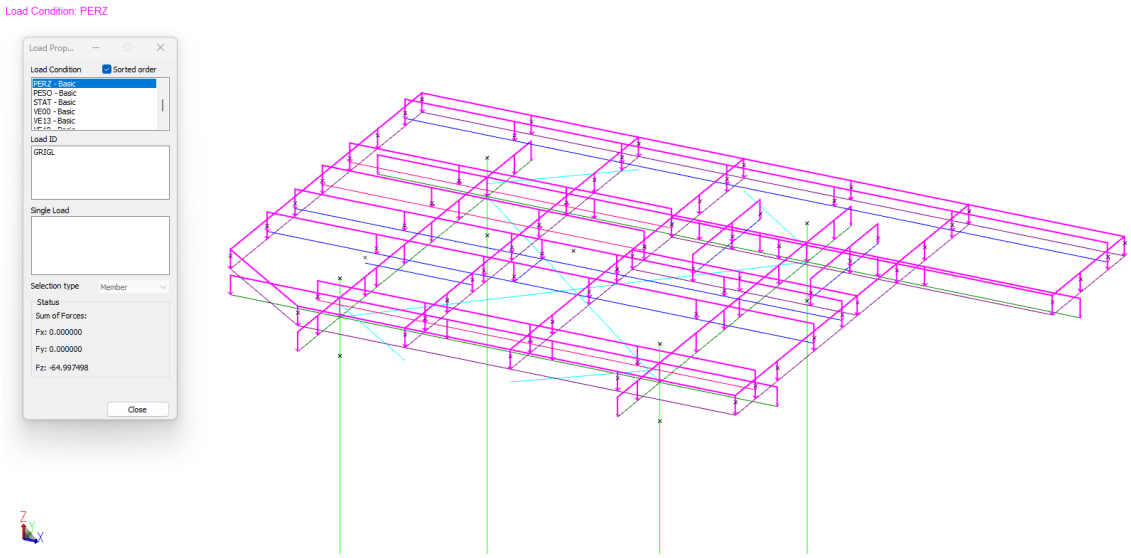


Figura 10-2: Modello SACS – Strutture non modellate – LOADCN PERZ

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

10.1.3 Equipaggiamenti - EQUZ

I carichi degli equipaggiamenti sono assegnati secondo la corretta distribuzione in pianta, e sono elencati in Tabella 10-3.

Loadcn	Descrizione	Fz [kN]
EQUZ	Scalandrone, Valvole, portali, cabinati...	410
TOTALE		**410**

Tabella 10-3: Carichi Equipaggiamento – LOADCN EQUZ

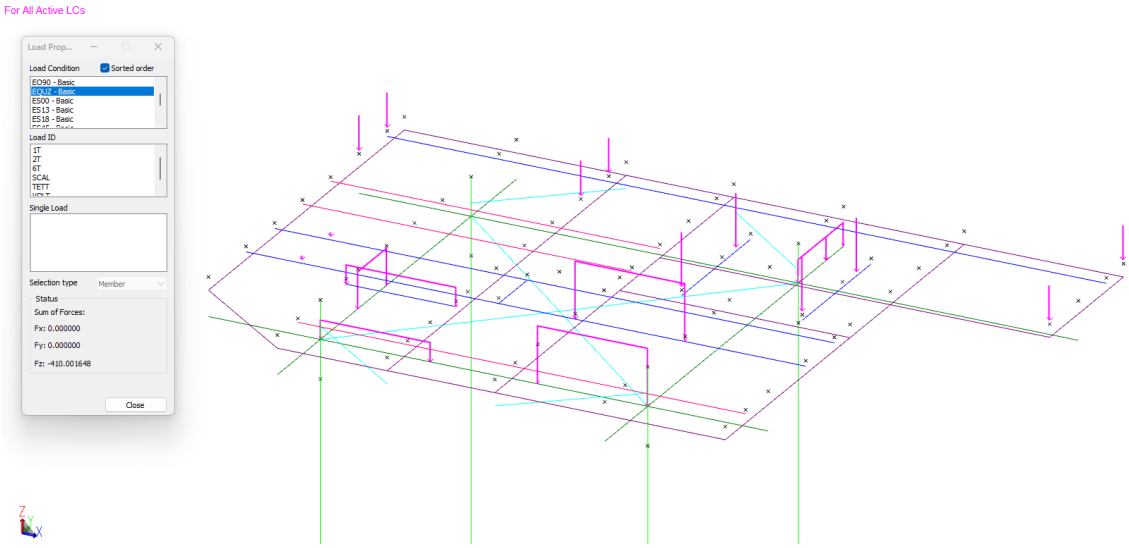


Figura 10-3: Modello SACS – Carichi Equipaggiamento - LOADCN EQUZ

10.2 CARICHI VARIABILI

10.2.1 Carico Variabile distribuito – LIVZ

Viene assegnato in tutte le zone libere il seguente carico variabile:

Loadcn	Descrizione	Fz [kN]
LIVZ	4.0 kN/m^2	620
TOTALE		**620**

Tabella 10-4: Carichi Piping - LOADCN LIVZ

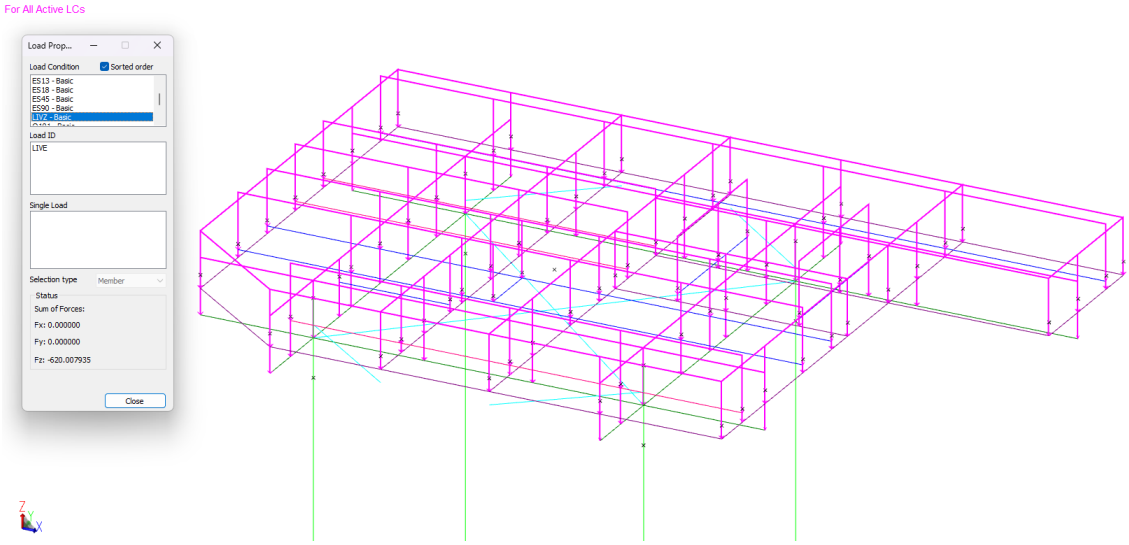


Figura 10-4: Modello SACS – Carico variabile - LOADCN LIVZ

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]):

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 10-5: 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.

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

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 10-6: Carichi Meteomarini – Onde e correnti

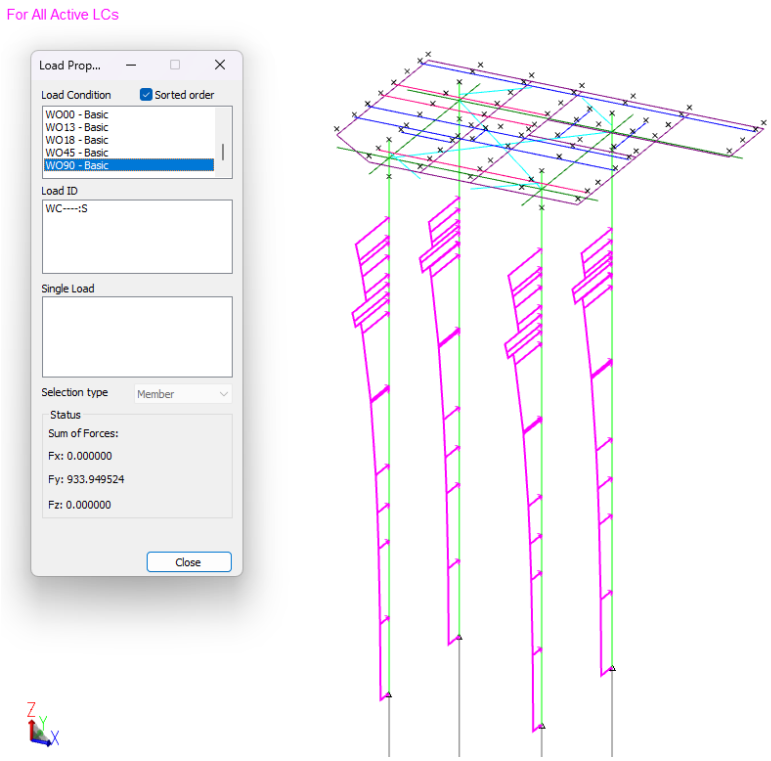


Figura 10-5: Modello SACS – Carico Operativo d'onda e corrente a 90° (Lungo Y) – LOADCN WO90

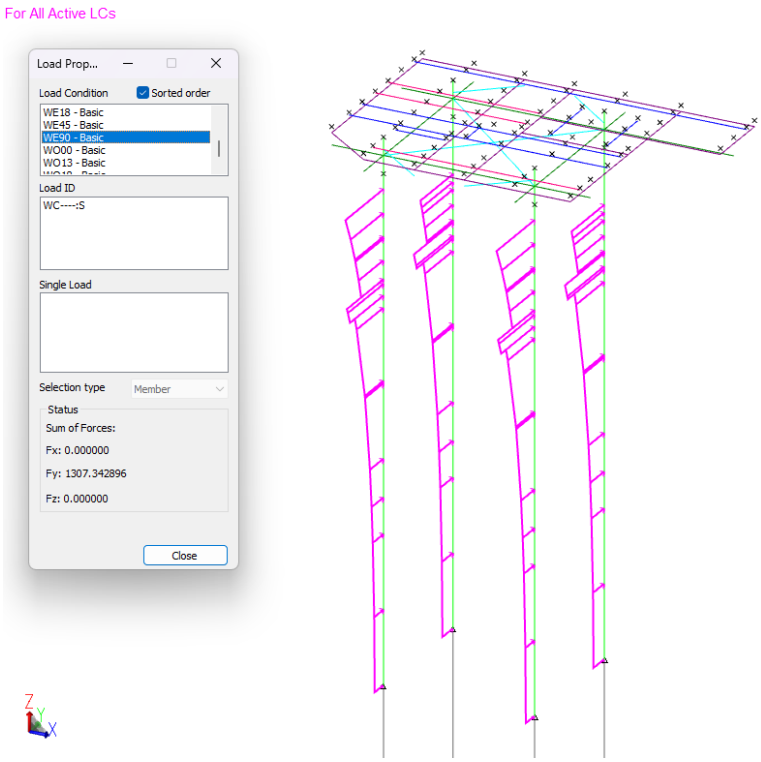


Figura 10-6: Modello SACS – Carico Estremo d'onda e corrente a 90° (Lungo Y) – LOADCN WE90

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 10-7: Carichi Meteomarini – Vento

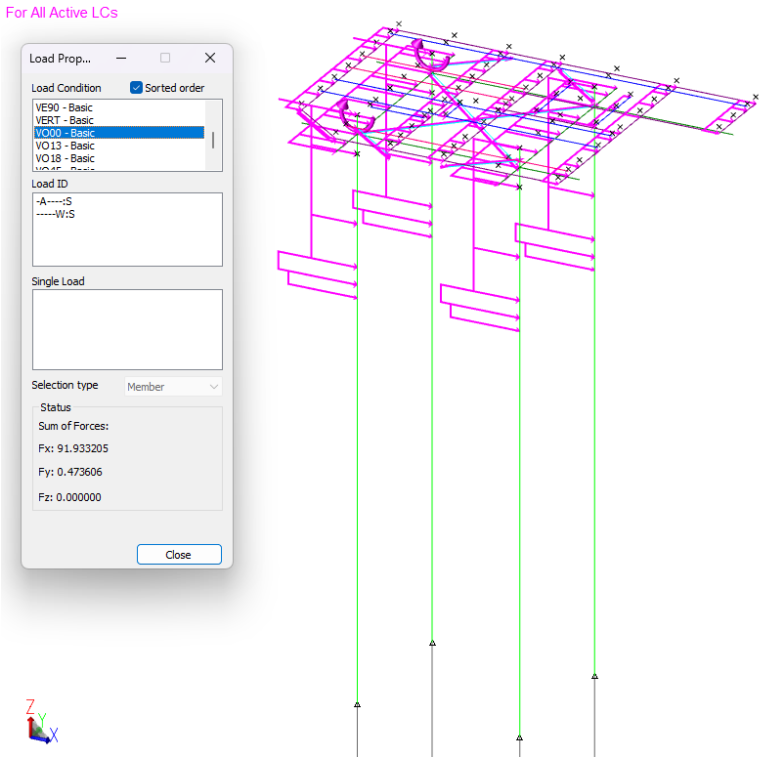


Figura 10-7: Modello SACS – Carico Operativo di Vento a 0° (Lungo X) – LOADCN VO00

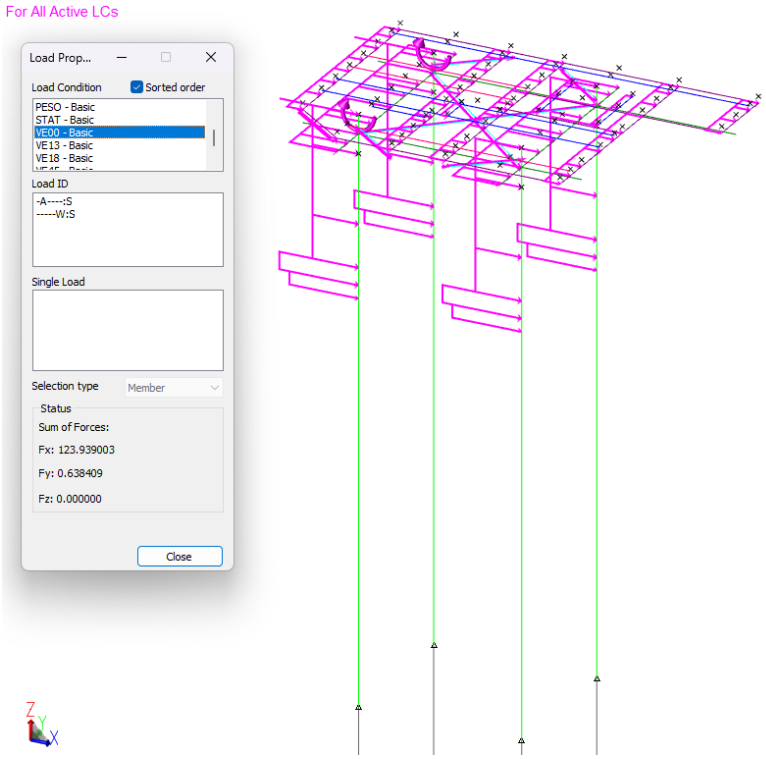


Figura 10-8: Modello SACS – Carico Estremo di Vento a 0° (Lungo X) – LOADCN VE00

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	DEAZ	0.00				0.00				-3772.15	0.97	0.33	-0.07
3	PERZ	0.00				0.00				-65.00	1.83	0.81	8.62
4	LIVZ	0.00				0.00				-620.01	1.83	0.81	8.62
5	EQUZ	0.00				0.00				-410.00	2.74	1.84	8.83
6	VE13	-87.19	1.91	0.36	7.49	103.81	1.41	-0.29	7.72	0.00			
7	VE45	88.09	0.05	0.32	7.50	104.71	1.37	-0.33	7.73	0.00			
8	VE90	COUPLE				147.44	1.39	-0.31	7.72	0.00			
9	VE00	123.94	0.07	0.34	7.49	COUPLE				0.00			
10	VE18	-123.94	1.88	0.34	7.49	COUPLE				0.00			
11	VO13	-64.67	1.91	0.36	7.49	77.00	1.41	-0.29	7.72	0.00			
12	VO45	65.34	0.05	0.32	7.50	77.67	1.37	-0.33	7.73	0.00			
13	VO90	COUPLE				109.37	1.39	-0.31	7.72	0.00			
14	VO00	91.93	0.07	0.34	7.49	COUPLE				0.00			
15	VO18	-91.93	1.88	0.34	7.49	COUPLE				0.00			
16	WE00	1295.07	0.62	0.25	-3.31	0.00				0.00			
17	WE45	918.06	0.73	0.20	-3.32	918.06	0.73	0.20	-3.32	0.00			
18	WE90	0.00				1307.34	0.80	0.16	-3.19	0.00			
19	WE13	-920.04	0.76	0.28	-3.08	920.04	0.76	0.28	-3.08	0.00			
20	WE18	-1293.09	0.95	0.25	-3.28	0.00				0.00			
21	WO00	924.30	0.72	0.25	-4.06	0.00				0.00			
22	WO45	657.88	0.77	0.23	-4.04	657.88	0.77	0.23	-4.04	0.00			
23	WO90	0.00				933.95	0.80	0.23	-3.94	0.00			
24	WO13	-658.88	0.84	0.21	-4.07	658.88	0.84	0.21	-4.07	0.00			
25	WO18	-925.29	0.85	0.25	-4.01	0.00				0.00			

Tabella 10-8: 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 producono gli effetti peggiori sulla piattaforma, 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. 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.

	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 10-9: 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 10-10.

COMB.	Permanenti			Variabili	Ambientali				
	STR.	NON STR.	EQUIP.	VAR.	COND. OPERATIVE				
	DEAZ	PERZ	EQUZ	LIVZ	EO00	EO45	EO90	EO13	EO18
O101	1.30	1.30	1.30	1.50					
O102	1.30	1.30	1.30	1.50	1.215				
O103	1.30	1.30	1.30	1.50		1.215			
O104	1.30	1.30	1.30	1.50			1.215		
O105	1.30	1.30	1.30	1.50				1.215	
O106	1.30	1.30	1.30	1.50					1.215

Tabella 10-10: 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)

  38  O101          0.00                                    0.00                                  -6451.31    1.25       0.53       2.03
  39  O102       1234.73      0.66       0.26      -3.02  COUPLE                                  -6451.31    1.25       0.53       2.03
  40  O103        878.71      0.71       0.23      -3.00   893.69      0.84       0.17      -2.80  -6451.31    1.25       0.53       2.03
  41  O104       COUPLE                                   1267.63      0.86       0.18      -2.72  -6451.31    1.25       0.53       2.03
  42  O105       -879.11      0.94       0.22      -3.04   894.09      0.90       0.16      -2.84  -6451.31    1.25       0.53       2.03
  43  O106      -1235.92      0.94       0.26      -2.97  COUPLE                                  -6451.31    1.25       0.53       2.03
```

Tabella 10-11: Risultanti Combinazioni SLU Operative

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

10.5.2 Combinazioni Estreme

Le combinazioni di carico estreme SLU utilizzate per le verifiche strutturali sono riportate in Tabella 10-12.

COMB.	Permanenti			Variabili	Ambientali				
	STR.	NON STR.	EQUIP.	VAR.	COND. OPERATIVE				
	DEAZ	PERZ	EQUZ	LIVZ	ES00	ES45	ES90	ES13	ES18
E101	1.10	1.10	1.10	1.10	1.35				
E102	1.10	1.10	1.10	1.10		1.35			
E103	1.10	1.10	1.10	1.10			1.35		
E104	1.10	1.10	1.10	1.10				1.35	
E105	1.10	1.10	1.10	1.10					1.35
E201	0.90	0.90	0.90		1.35				
E102	0.90	0.90	0.90			1.35			
E103	0.90	0.90	0.90				1.35		
E104	0.90	0.90	0.90					1.35	
E105	0.90	0.90	0.90						1.35

Tabella 10-12: Combinazioni SLU Estreme

Nel seguente estratto SACS sono riportate le risultanti delle combinazioni estreme 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)

  44  E101       1915.66      0.57      0.26     -2.37      COUPLE                                   -5353.87      1.24      0.52      1.90
  45  E102       1358.30      0.67      0.21     -2.37     1380.74      0.79      0.15     -2.19     -5353.87      1.24      0.52      1.90
  46  E103        COUPLE                                   1963.96      0.86      0.11     -2.08     -5353.87      1.24      0.52      1.90
  47  E104      -1359.76      0.86      0.28     -2.17     1382.19      0.83      0.22     -1.99     -5353.87      1.24      0.52      1.90
  48  E105      -1912.99      1.03      0.26     -2.34      COUPLE                                   -5353.87      1.24      0.52      1.90
  49  E201       1915.66      0.57      0.26     -2.37      COUPLE                                   -3822.43      1.15      0.48      0.92
  50  E202       1358.30      0.67      0.21     -2.37     1380.74      0.79      0.15     -2.19     -3822.43      1.15      0.48      0.92
  51  E203        COUPLE                                   1963.96      0.86      0.11     -2.08     -3822.43      1.15      0.48      0.92
  52  E204      -1359.76      0.86      0.28     -2.17     1382.19      0.83      0.22     -1.99     -3822.43      1.15      0.48      0.92
  53  E205      -1912.99      1.03      0.26     -2.34      COUPLE                                   -3822.43      1.15      0.48      0.92
```

Tabella 10-13: 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.

10.5.3 Combinazioni di Esercizio

Le combinazioni di carico in esercizio SLE utilizzate per le verifiche di deformazione sono riportate in Tabella 10-14.

COMB.	Permanenti			Variabili	Ambientali				
	STR.	NON STR.	EQUIP.	VAR.	COND. OPERATIVE				
	DEAZ	PERZ	EQUZ	LIVZ	ES00	ES45	ES90	ES13	ES18
S101	1.00	1.00	1.00	1.00					
S102	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
S103	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00			
S104	1.00	1.00	1.00	1.00			1.00		
S105	1.00	1.00	1.00	1.00				1.00	
S106	1.00	1.00	1.00	1.00					1.00

Tabella 10-14: Combinazioni SLE

Nel seguente estratto SACS sono riportate le risultanti delle combinazioni 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)

  54  S101          0.00                                     0.00                                  -4867.16     1.24       0.52       1.90
  55  S102       1419.01      0.57       0.26      -2.37    COUPLE                                 -4867.16     1.24       0.52       1.90
  56  S103       1006.15      0.67       0.21      -2.37   1022.77      0.79       0.15      -2.19  -4867.16     1.24       0.52       1.90
  57  S104        COUPLE                                   1454.78      0.86       0.11      -2.08  -4867.16     1.24       0.52       1.90
  58  S105      -1007.23      0.86       0.28      -2.17   1023.85      0.83       0.22      -1.99  -4867.16     1.24       0.52       1.90
  59  S106      -1417.03      1.03       0.26      -2.34    COUPLE                                 -4867.16     1.24       0.52       1.90
```

Tabella 10-15: Risultanti Combinazioni SLE

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 della piattaforma
- Verifiche strutturali e geotecniche dei pali di fondazione
- Verifiche delle deformazioni

11.1.1 Verifiche strutturali degli elementi fuori terra

Vengono riportate le verifiche di resistenza degli elementi fuori terra della piattaforma, 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 della piattaforma adeguata a sopportare i carichi imposti della configurazione in servizio, sia nel caso di condizioni operative che estreme.

Di seguito vengono riportati i valori massimi degli UC per ogni gruppo di elementi:

* * * 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
PG1	0072-0005	E101	0.27	1.1	-1.3	-101.1	2.1	345.0	2787.7	386.5	536.0	BN+AX	6.70	3.35	0.88	0.55
600	0040-0000	E103	0.09	1.3	-0.4	-27.2	3.2	148.5	206.5	311.6	722.8	BN+COM	7.00	7.00	0.77	0.73
260	0071-0073	O106	0.10	1.3	-2.2	-18.9	-0.3	345.0	4991.7	378.1	521.3	SHEAR	1.33	1.33	0.53	0.64
180	0057-0058	E105	0.18	2.8	-8.6	-27.7	2.1	88.7	109.0	344.8	1129.1	BN+COM	2.80	2.80	0.40	0.42
BRA	0018-0005	E102	0.08	5.2	-0.5	-36.2	0.8	292.4	1069.3	437.3	437.3	ACBI	4.65	5.17	0.85	0.85
COP	0074-0005	E102	0.14	1.8	-10.2	-32.4	-28.9	283.9	409.4	408.6	408.6	ACBI	42.00	42.00	0.85	0.85
PIL	0074-0097	E102	0.19	6.0	-15.0	-42.1	38.5	206.4	341.3	414.6	414.6	ACBI	40.00	40.00	0.85	0.85

Tabella 11-1: Verifiche e max UC per gruppi

Si nota che il valore massimo di UC = 0.27 appartiene all'elemento 0072-0005 (Gruppo PG1), per la combinazione E101.

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

I valori massimi di UC per tutte le combinazioni SLU analizzate per la struttura della piattaforma fuori terra sono mostrati in Figura 11-1 e Figura 11-2.

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

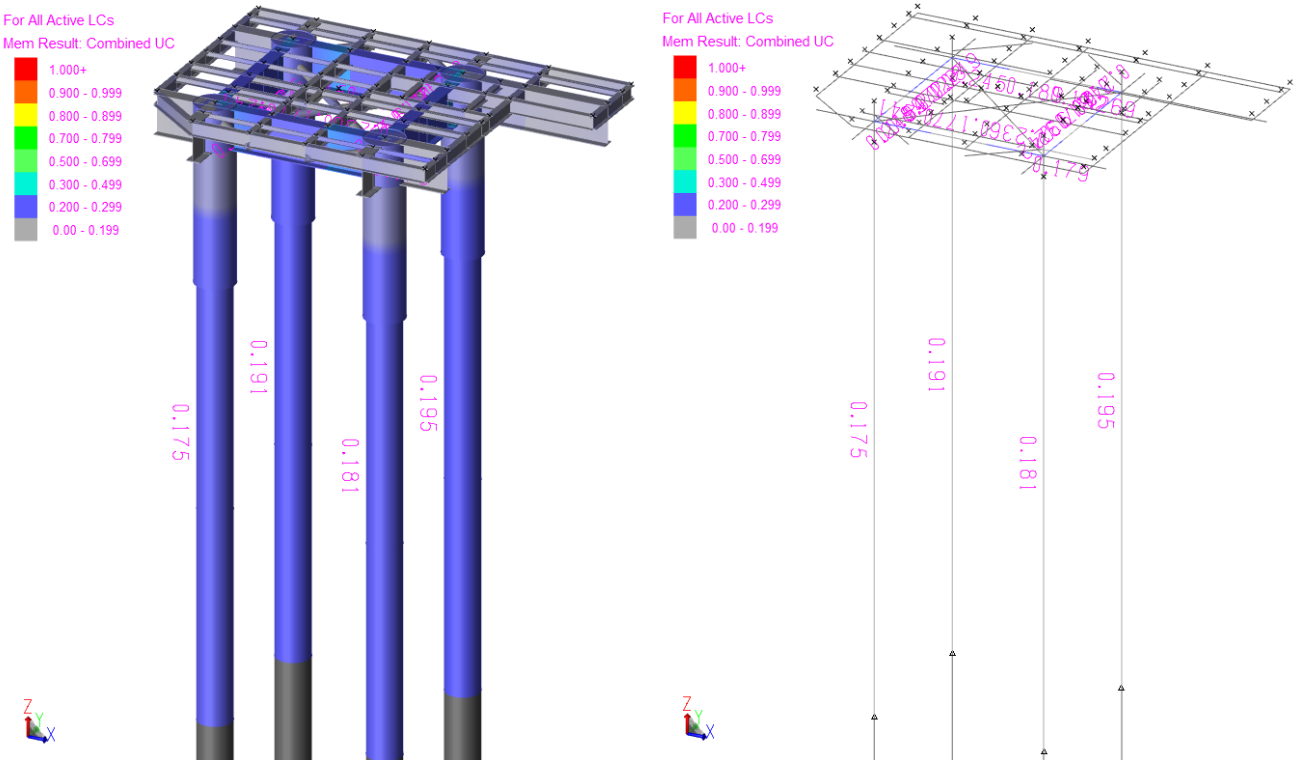


Figura 11-1: Massimi UC > 0.15 – Inviluppo SLU

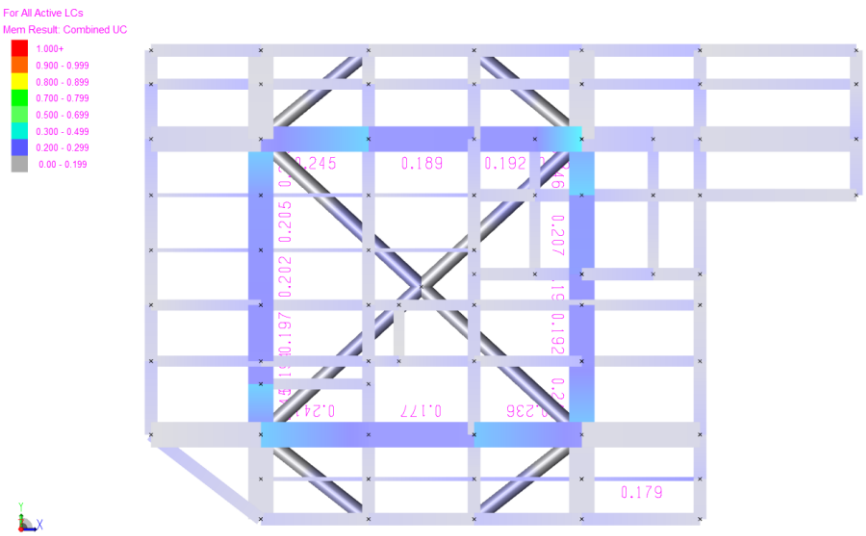


Figura 11-2: Massimi UC > 0.15 Deck El.+9.00 – Inviluppo SLU

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

Vengono verificate anche le travi secondarie IPE180 (gruppo 180), con verifica in campata, per schema in semplice appoggio, secondo EN1993 Rif.[B5].

I carichi agenti sulle secondarie sono:

- Peso proprio IPE180: p_d = 0.2 kN/m
- Peso grigliato: P_g = 0.4 kN/m^2
- Peso equipaggiamenti: P_p = 2.65 kN/m^2
- Carichi variabili: Q = 4.0 kN/m^2

La massima luce di queste travi è 2.6m e il passo è 1.3m.

Si calcolano i massimi carichi lineari sulla trave:

- Permanente p = 0.2 + (0.4+2.65)*1.3 = 4.165 kN/m
- Variabile q = 4*1.3 = 5.2 kN/m
- Carico SLU q_{Ed} = 1.3*p + 1.5*q = 13.2 kN/m

Si calcolano le massime sollecitazioni della trave:

$M_{Ed} = q_{Ed}*L^2/8$ = 11.15 kNm

$V_{Ed} = q_{Ed}*L/2$ = 17.16 kN

Proprietà della sezione:

W_{pl} = 1.66*10^5 mm^3

A_v = 870 mm^2

I valori di resistenza sono:

$M_{Rd} = W_{pl}*F_y/\gamma_{m0}$ = 59 kNm

$V_{Rd} = A_v\ F_y/(\sqrt{3}*\gamma_{m0})$ = 178 kN

Verifiche:

M_{Ed} = 11.15 kNm < M_{Rd} = 59 kNm OK (UC = 0.19)

V_{Ed} = 17.16 kN < V_{Rd} = 178 kN OK (UC = 0.10)

Verifiche soddisfatte con UC = 0.19.

Le verifiche per le HEA260 sono implicitamente soddisfatte essendo soggette agli stessi carichi delle IPE180 ed avendo stessa lunghezza e passo.

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

11.1.2 Verifiche dei Pali infissi (fondazioni)

Vengono riportate le verifiche dei pali 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.

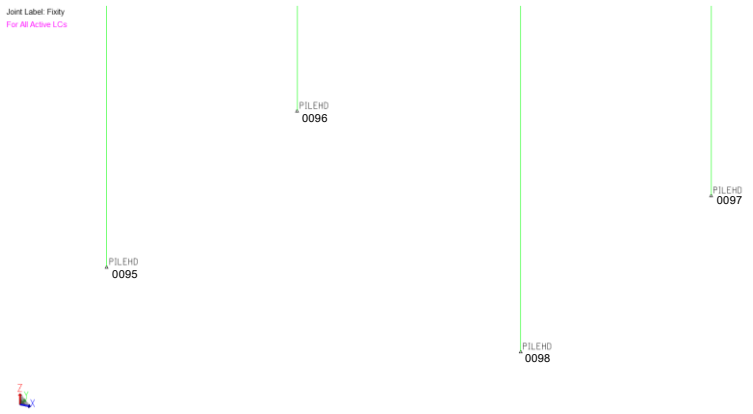


Figura 11-3: Denominazione nodi teste pali

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 verifche della carpenteria metallica dei pali secondo le ISO 19902 Rif.[B4].

	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	97	O103	**-3 142**	308	1 707	4	21	0	6	-17	43	0	0	-59	0.16	N MAX
	95	O103	**-181**	305	1 777	1	21	0	6	-1	43	0	0	-44	0.11	N min
	97	O105	-2 078	**327**	1 668	3	22	0	6	-11	43	0	0	-54	0.14	V MAX
	98	O104	-764	308	**1 778**	1	21	0	6	-4	43	0	0	-47	0.12	M MAX
	97	O103	-3 142	308	1 707	**4**	21	0	6	-17	43	0	0	-59	0.16	ax max
	96	O104	-2 347	325	1 721	3	**22**	0	6	-13	44	0	0	-57	0.15	lat MAX
	96	O104	-2 347	325	1 721	3	22	**0**	6	-13	44	0	0	-57	0.15	rot MAX
	97	O103	-3 142	308	1 707	4	21	0	6	-17	43	0	0	-59	**0.16**	UC MAX
COND. ESTREME	97	E102	**-3 579**	479	2 476	5	40	0	6	-19	68	0	0	-87	0.23	N MAX
	95	E202	**1 114**	471	2 593	-1	39	0	6	5	67	0	0	72	0.18	N min
	97	E203	-2 614	**499**	2 517	4	42	0	7	-14	70	0	0	-84	0.21	V MAX
	98	E103	397	483	**2 640**	0	41	0	6	2	69	0	0	70	0.17	M MAX
	97	E102	-3 579	479	2 476	**5**	40	0	6	-19	68	0	0	-87	0.23	ax MAX
	97	E103	-3 111	497	2 527	4	**42**	0	7	-17	70	0	0	-86	0.22	lat MAX
	97	E103	-3 111	497	2 527	4	42	**0**	7	-17	70	0	0	-86	0.22	rot MAX
	97	E102	-3 579	479	2 476	5	40	0	6	-19	68	0	0	-87	**0.23**	UC MAX

Tabella 11-2: Max. spostamenti e forze in testa palo & max. UC

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

Verifiche carpenteria metallica

Dai dati riportati in Tabella 11-2 si evince che le verifiche sulla carpenteria metallica sono soddisfatte: il massimo valore di UC registrato è UC = 0.23 per la combinazione E102.

Verifiche Geotecniche

I valori massimi di sforzo normale registrati sui pali sono:

Sforzo Normale	Cond. Operative	Cond. Estreme
Compressione	3.14 MN	3.58 MN
Trazione	-	1.11 MN

Tabella 11-3: Max. Trazione e Compressione in testa palo

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

Peso palo infisso = 1.23t/m x 46m = 56.6t = 566 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 46m vale 7.00 MN, e la massima trazione 4.00 MN.

Si eseguono le verifiche di capacità portante dei pali per le massime azioni di trazione e compressione calcolate (entrambe per condizioni estreme):

- Compressione 3.58 MN + 0.57 MN = 4.15 MN < 7.00 MN (FS=1.69 > 1.0)
- Trazione 1.11 MN < 4.00 MN (FS=3.6 > 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.

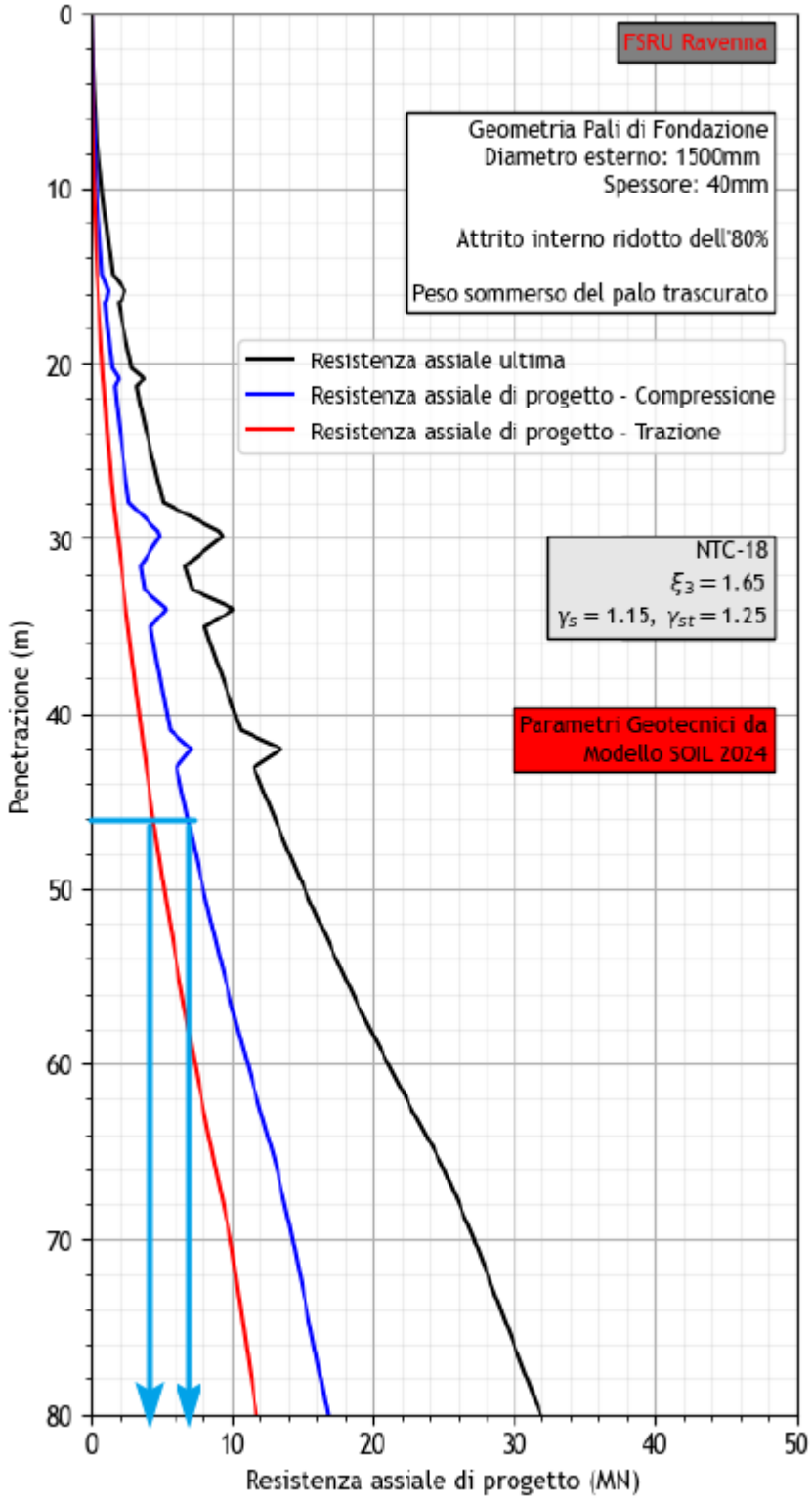


Figura 11-4: Curva di Capacità portante del palo NTC2018

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

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

11.1.3 Verifiche Deformazioni

Vengono riportate le verifiche di deformazione degli elementi del deck secondo quanto prescritto dalle EN 1993 Rif.[B5].

Tali verifiche sono eseguite per le combinazioni di esercizio SLE, elencate al par. 10.5.3.

I criteri di accettazione delle verifiche di deformazione sono indicati al par.7.3.3.

Vengono verificate le travi principali e le secondarie del deck.

Travi principali

Si riportano le verifiche in esercizio per le travi principali del deck (gruppi PG1, 600), individuando il massimo spostamento verticale in campata e negli sbalzi.

Per le travi principali, le verifiche sono effettuate considerando il massimo spostamento relativo in campata e negli sbalzi (riferito ai vincoli), calcolato tenendo conto di tutti i carichi (permanenti, variabili) confrontato con il valore ammissibile più restrittivo Δ_0, in favore di sicurezza.

Le verifiche per le travi in cui sono stati riscontrati i massimi spostamenti sono riportate in Tabella 11-4; tali travi e relativi spostamenti sono riportati in Figura 11-5.

Posizione	Nodo	Comb. Carico	Luce	Spostamento Relativo	Spostamento Ammissibile	Verifica
			L [m]	Δ_z [mm]	Δ_{lim} [mm]	$\Delta_z < \Delta_{lim}$
Sbalzo	0002	S102	6.50	18 – 5 = 13	L/150 = 43	OK

Tabella 11-4: Verifiche SLE – Travi principali

In campata non si registrano Δz apprezzabili.

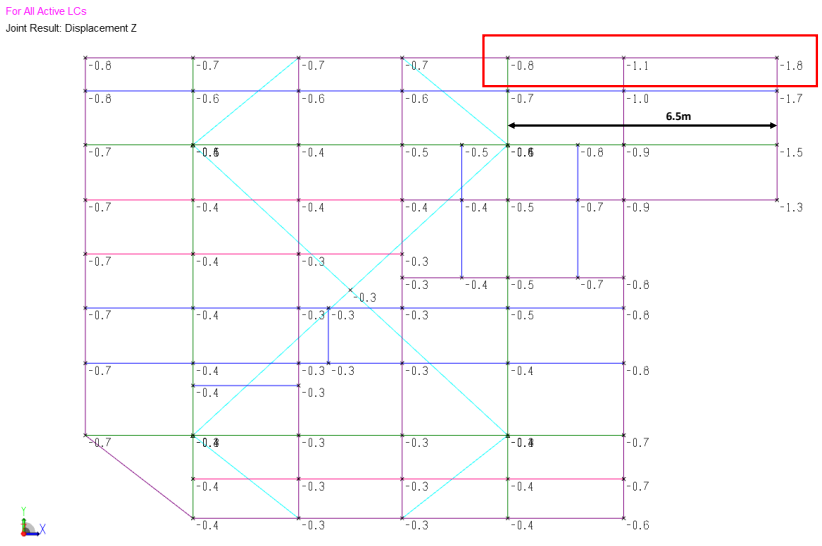


Figura 11-5: Verifica SLE travi principali – sbalzo (spostamento in cm)

Travi Secondarie

Si riportano le verifiche in esercizio per le travi secondarie del deck (IPE180 e HEA260), con verifica in campata. Lo schema statico è di semplice appoggio. Il carico variabile per ongi trave è determinato dalla condizione più frequente e peggiorativa nel deck.

Si verificano le IPE180. I carichi agenti sulle secondarie sono:

- Peso proprio IPE180: p_d = 0.2 kN/m
- Peso grigliato: P_g = 0.4 kN/m^2
- Peso equipaggiamenti: P_p = 2.65 kN/m^2
- Carichi variabili: Q = 4.0 kN/m^2

La massima luce di queste travi è 2.6m e il passo è 1.3m.

Si calcolano i massimi carichi lineari sulla trave:

- Permanente p = 0.2 + (0.4+2.65)*1.3 = 4.165 kN/m
- Variabile q = 4*1.3 = 5.2 kN/m

Calcolo frecce massime:

- Freccia p+q $f_1 = \frac{5}{384}(p+q)\cdot\frac{L^4}{EI} = 2.0mm < \frac{L}{200} = 13mm$ OK
- Freccia q $f_2 = \frac{5}{384}(q)\cdot\frac{L^4}{EI} = 1.1mm < \frac{L}{300} = 8.7mm$ OK

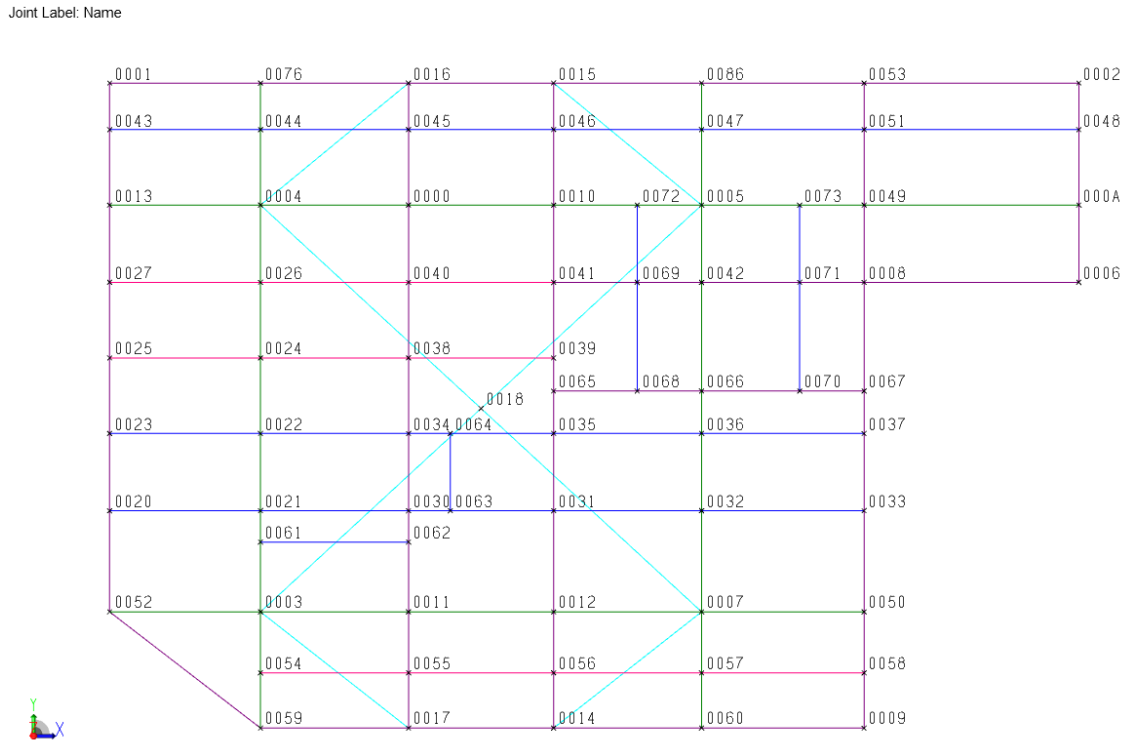
Le verifiche delle IPE180 sono soddisfatte. Le verifiche coprono anche quelle delle HEA260, avendo stessa lunghezza massima e passo, ed essendo soggette agli stessi carichi.

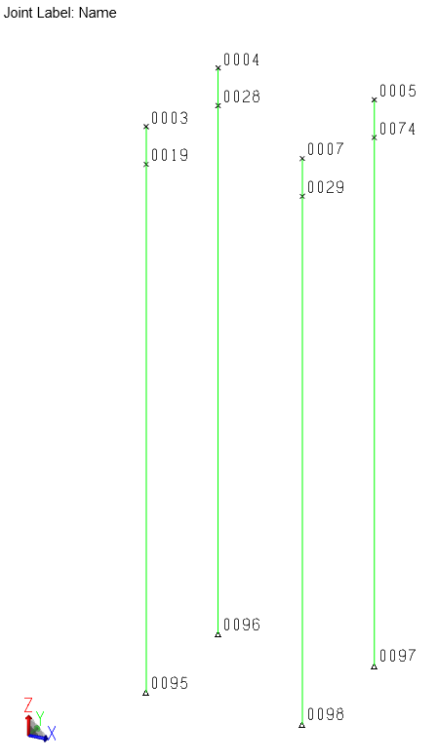
Travi principali e travi secondarie passano le verifiche SLE (deformazione) del deck.

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

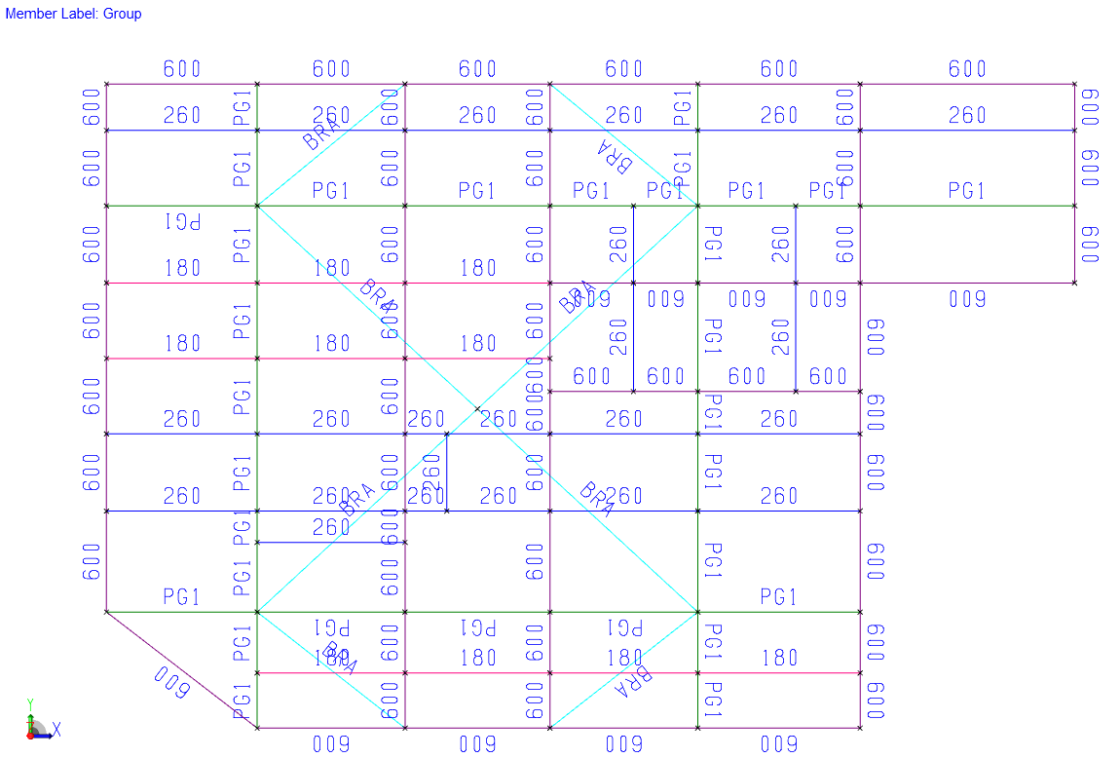
12.1 DENOMINAZIONE NODI

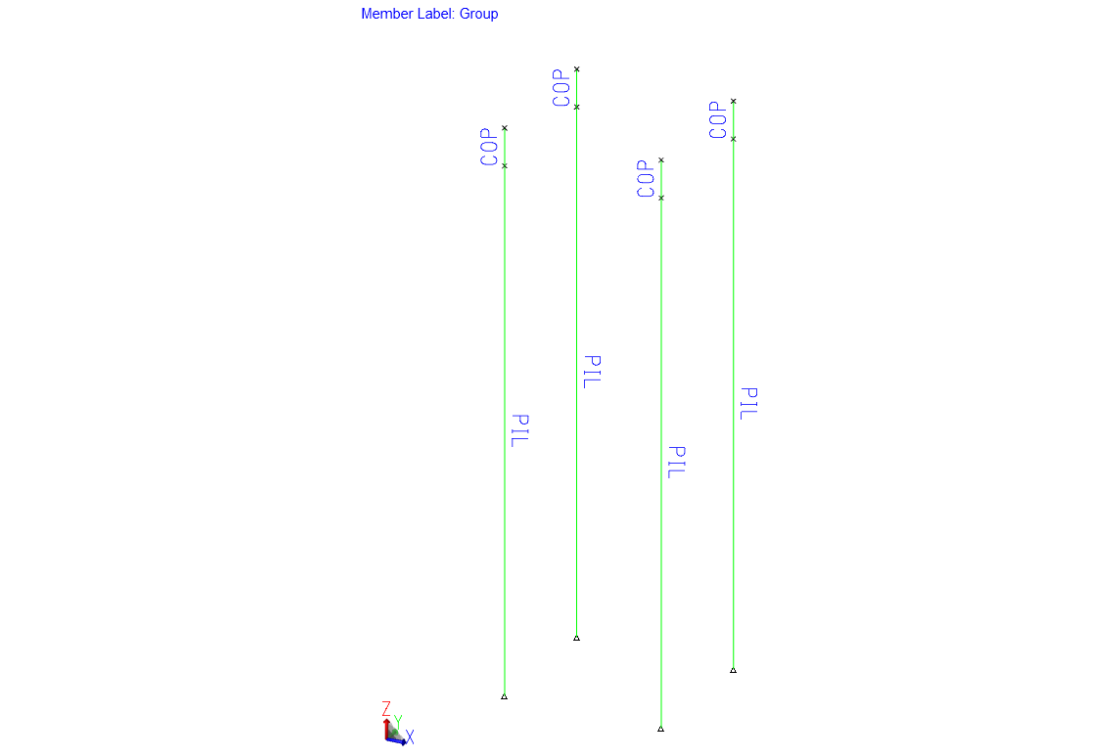




Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

12.2 DENOMINAZIONE GRUPPI





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
180	IPE180			20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00				7.849		
260	HEA260			20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00				7.849		
600	HEB600			20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00				7.849		
BRA		35.560	1.588	20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00		0.50		7.849		
COP		176.000	5.000	20000.000	7722.000	33.500	1.00	1.00		0.50		7.849		
PG1	PG18			20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00				7.849		
PIL	SLEEVE			20000.000	7722.000	33.500	1.00	1.00				7.849	6.00	
PIL		150.000	5.000	20000.000	7722.000	33.500	1.00	1.00		0.50		7.849		
PIL		150.000	4.000	20000.000	7722.000	34.500	1.00	1.00		0.50		7.849	9.25	
SLE	SLEEVE			20000.000	7722.000	33.500	1.00	1.00				7.849		

13.2 PROPRIETÀ SEZIONI

Member Section Report

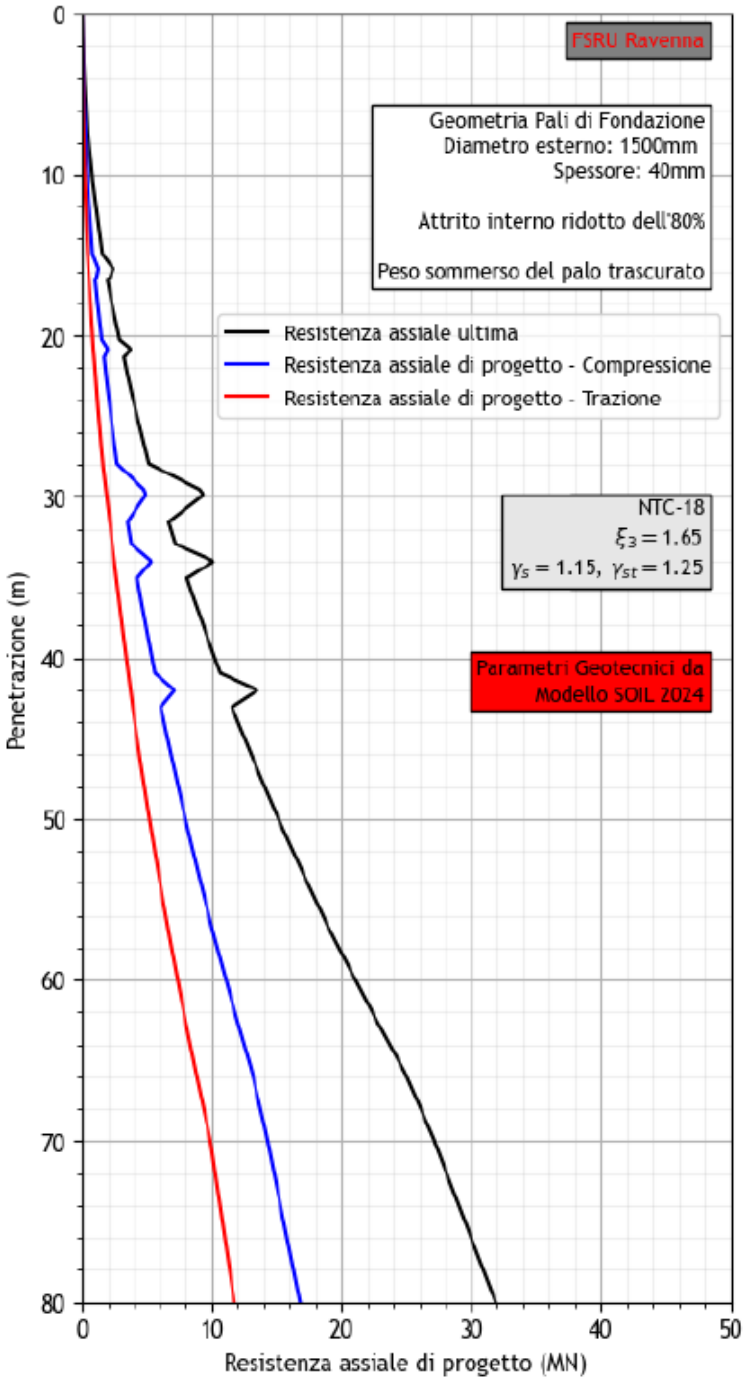
Section	Type		AX(cm2)	J(cm4)	IY(cm4)	IZ(cm4)	A(cm)	B(cm)	C(cm)	D(cm)	E(cm)	F(cm)
HEA260	WF	*	81.875	37.948	9886.393	3662.458	26.000	1.250	25.000	0.750		
HEB600	WF	*	263.700	618.369	166679.10	13516.758	30.000	3.000	60.000	1.550		
IPE180	WF	*	23.252	4.167	1272.451	100.680	9.100	0.800	18.000	0.530		
PG18	PLG	*	910.000	3574.881	4777853.0	144223.96	60.000	4.000	180.000	2.500		
SLEEVE	TUB	*	4963.719	31638744.	15819372.	15819372.	176.000	5.000	150.000	5.000		
ST	IBM						20.000	5.000	5.000	3.000	3.000	3.000

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.

14 APPENDICE C – CURVE DI CAPACITA' PORTANTE PALI

Si riportano le curve di capacità portante dei pali della piattaforma calcolate nella Relazione Geotecnica (Rif.[A6]), in accordo alle NTC 2018 (Rif.[B1]).



15 APPENDICE D – SACS FILES DI INPUT



0001-CI-E-017528.zip

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