EMERGENZA GAS

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

FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI

JACKET – VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE

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	24/12/2023

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**	**5**
2	**INTRODUZIONE**	**5**
2.1	Generalità	5
2.2	Scopo del Documento	6
3	**DEFINIZIONI ED ABBREVIAZIONI**	**6**
3.1	Definizioni	6
3.2	Abbreviazioni	6
4	**RIFERIMENTI**	**7**
4.1	Documenti Di Progetto	7
4.2	Documenti Di Riferimento	7
4.3	Normative Di Riferimento	7
4.4	Software	8
5	**CONCLUSIONI**	**9**
6	**DESCRIZIONE PIATTAFORMA DI SCARICO**	**10**
6.1	Deck	11
6.2	Jacket	13
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	Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari	17
7.2.5	Resistenza minima nodi tubolari	18
7.2.6	Fattore di resistenza parziale per sezioni non tubolari	19
7.2.7	Fattore di resistenza parziale per capacità assiale del palo	19
7.3	Criteri di Accettazione	20
7.3.1	Elementi della struttura	20
7.3.2	Pali di fondazione	21
8	**DATI DI PROGETTO AMBIENTALI**	**22**
8.1	Dati Meteo-Marini	22

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

8.1.1 Batimetria 22
8.1.2 Vento 22
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 Sismicità 25
8.3 Dati Geotecnici 29
9 MODELLO DI CALCOLO 30
9.1 Unità di Misura 30
9.2 Sistema di Riferimento 30
9.3 Programma di Calcolo 31
9.4 Modello di Calcolo 31
9.5 Modellazione Della Fondazione 33
10 CARICHI E COMBINAZIONI DI CARICO 34
10.1 Risultanti dei Carichi Base 34
10.2 Combinazioni di Carico 35
11 ANALISI DEI PALI DI FONDAZIONE 36
12 RISULTATI DELL'ANALISI 37
12.1.1 Verifiche strutturali della carpenteria metallica 37
12.1.2 Verifiche Geotecniche di capacità portante 39
13 APPENDICE A – CURVE DI CAPACITÀ PORTANTE 40
14 APPENDICE B – SCHEMI UNIFILARI 41
15 APPENDICE C – PROPRIETÀ GRUPPI 42

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 9
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 parziali per sezioni tubolari 18
Tabella 6-7: Fattori di resistenza parziale per i nodi tubolari 18
Tabella 6-8: Fattori di resistenza parziale per sezioni non tubolari 19
Tabella 6-9: Fattori di resistenza parziale per la capacità assiale del palo 19
Tabella 7-1: Dati Vento 22
Tabella 7-2: Dati Onde 23
Tabella 7-3: Dati di Corrente 23
Tabella 7-4: Parametri sismici al variare del tempo di ritorno T_R 26
Tabella 7-5: Dati geotecnici di progetto 29
Tabella 8-1: Composizione pali sotto il fondale marino 33
Tabella 9-1: Risultanti condizioni di carico applicate 34
Tabella 9-2: Risultanti Combinazioni SLU Operative 35
Tabella 9-3: Risultanti Combinazioni SLU Estreme 35
Tabella 11-1: Max. spostamenti e forze in testa palo & max. UC 39
Tabella 11-2: Max. Trazione e Compressione in testa palo 39

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.

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 e geotecniche dei pali di fondazione 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
FS	Fattore di Sicurezza

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

[A11] 0001-CI-E-017251 Jacket – Analisi statica in servizio

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

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

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

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

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

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

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

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 nella configurazione in servizio hanno dimostrato che i pali infissi del Jacket della piattaforma sono 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) ed 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:

- Carpenteria metallica: UC = 0.44 < 1.0
- Capacità portante: UC = 0.88 < 1.0

Le verifiche strutturali e geotecniche risultano 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]	FS (> 1.0)	N [MN]	FS (> 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.

Nota: Le verifiche del presente documento riguardano la parte infissa dei pali di fondazione. Le verifiche della parte fuori terra, all'interno delle gambe del Jacket, sono riportate nel documento "Jacket – Analisi statica in servizio" (0001-CI-E-017251, Rif.[A11])

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 circa 75m.

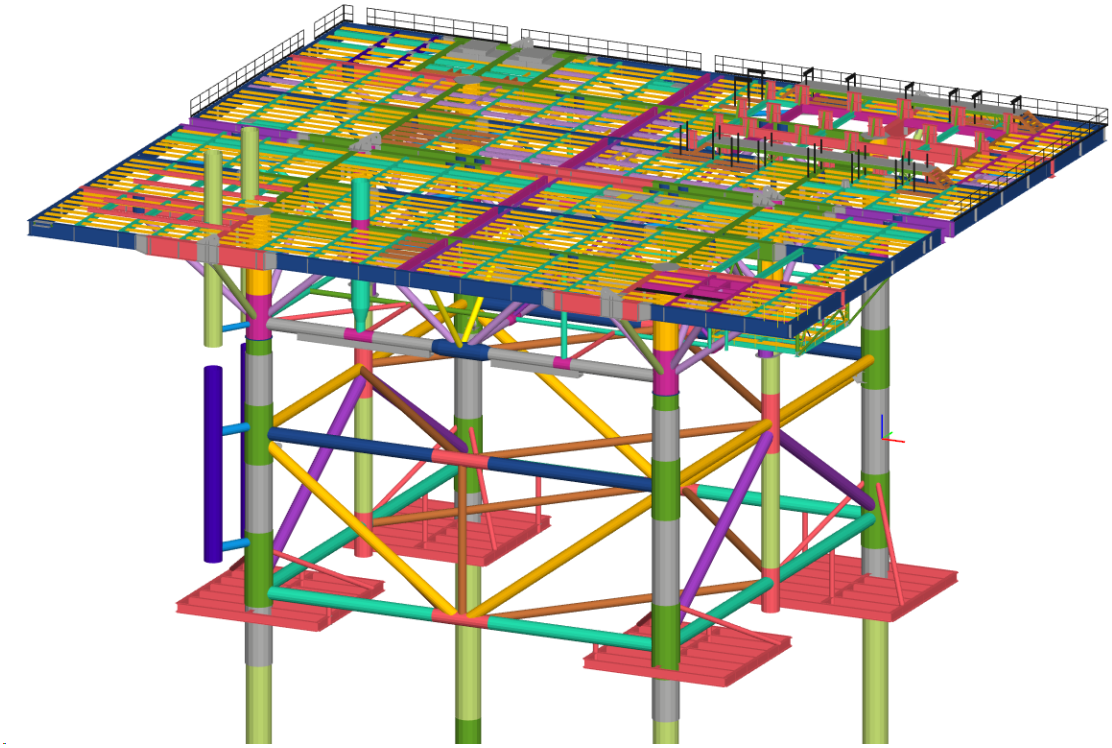


Figura 6-1: Nuova piattaforma di scarico

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.

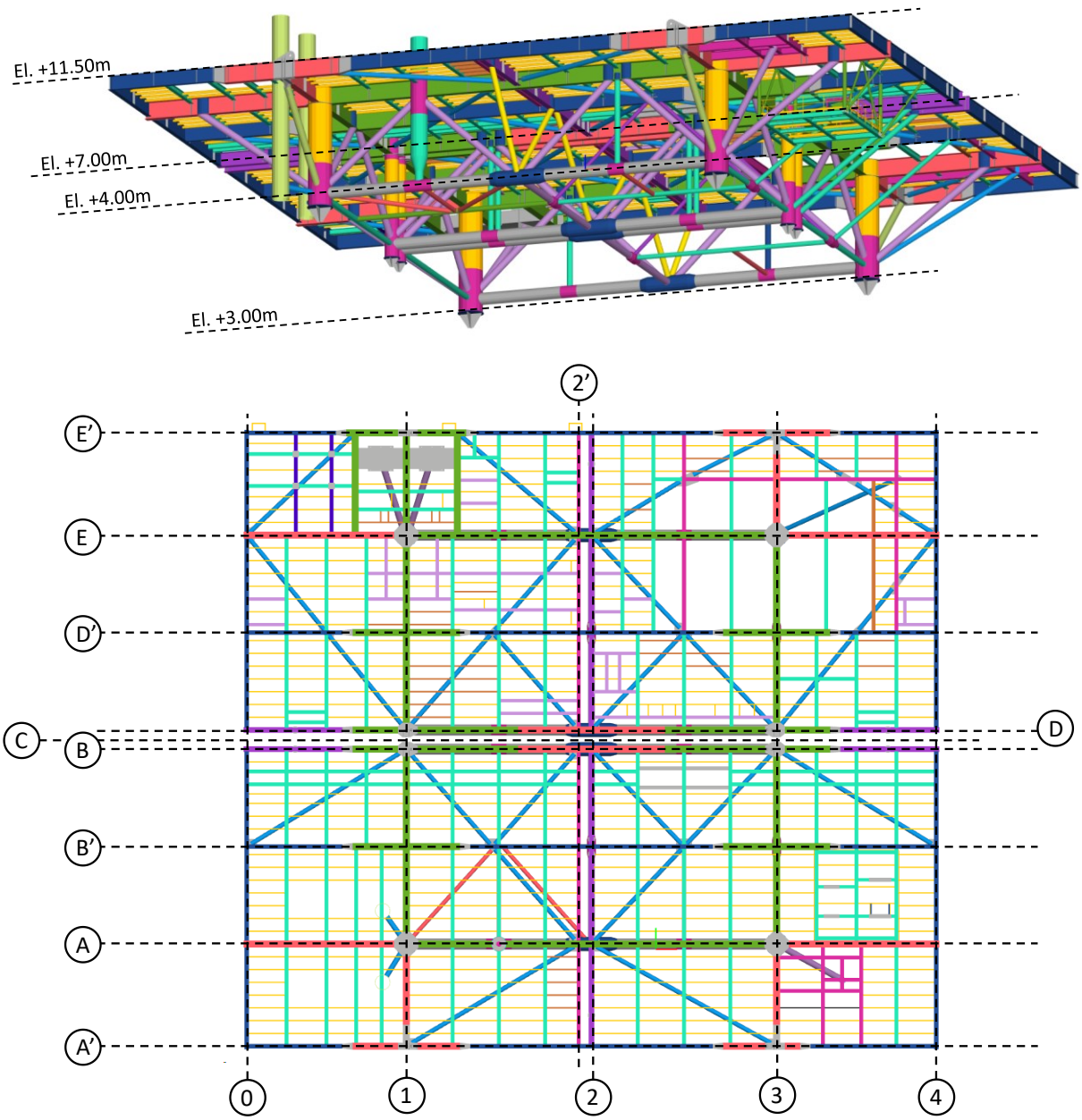


Figura 6-2: Piattaforma di scarico: Deck

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)

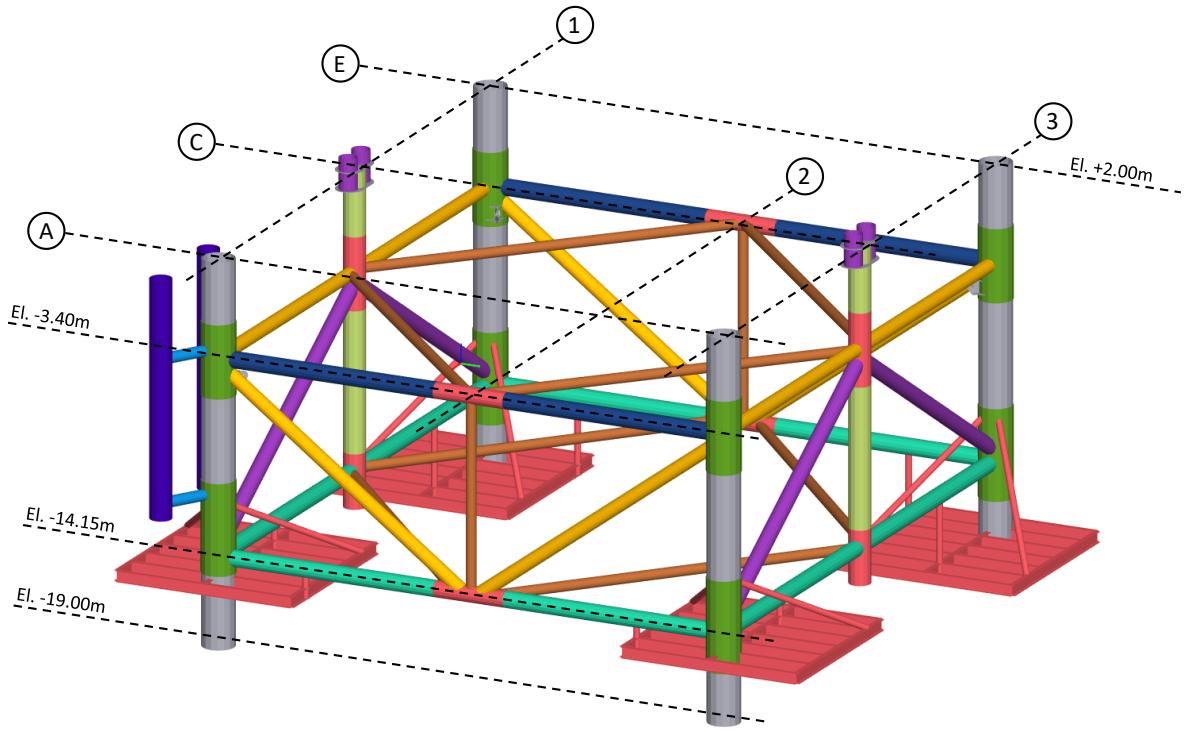


Figura 6-3: Piattaforma di scarico: Jacket

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 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/Pali	S355 S460	API 5L X52 / S355 J0 UNI EN 10025 API 5L X65 / S460 M UNI EN 10025
Profilati/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 Compress.	1.1	1.1	1.1	-	-	-	1.35	1.25
	Max Trazione	0.9	0.9	-	-	-	-	1.35	1.25

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 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)

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

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.

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:

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

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].

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

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

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]

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

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

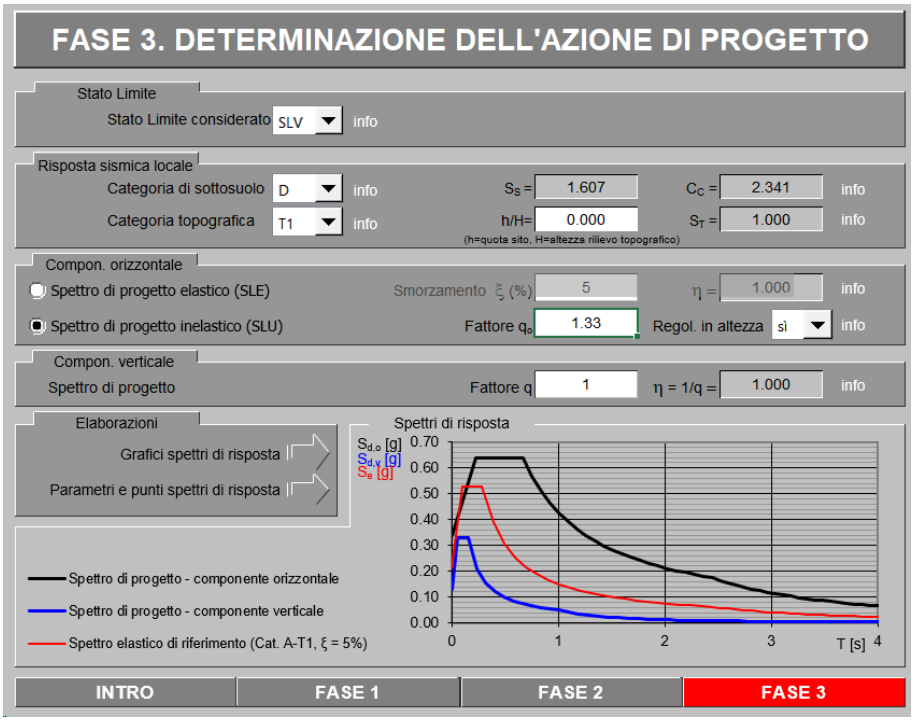
Tabella 8-4: Parametri sismici al variare del tempo di ritorno T_R

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]).

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

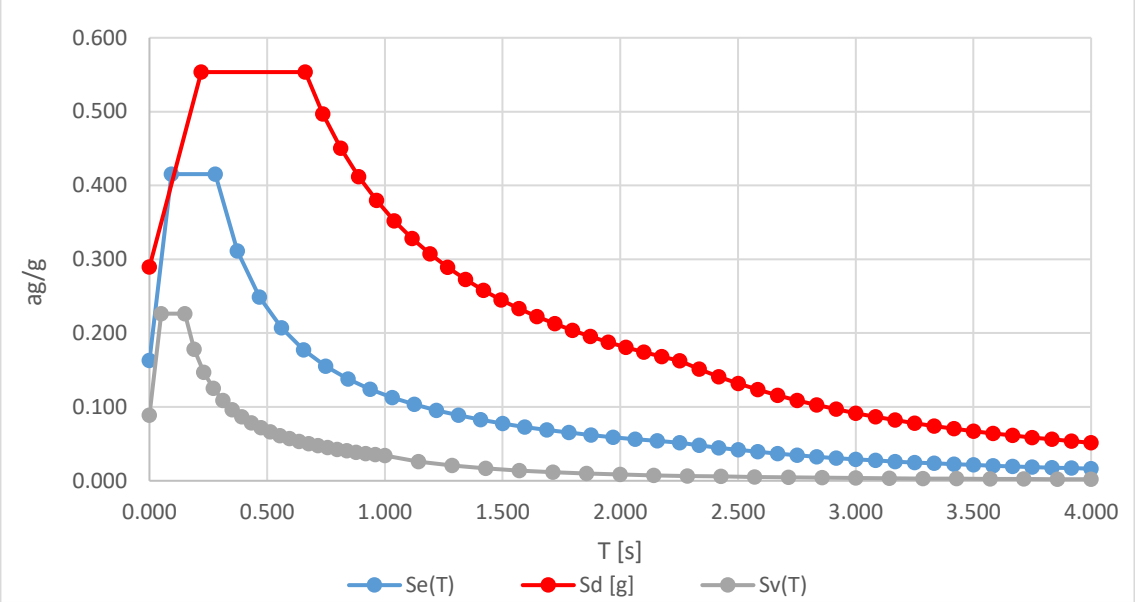


Figura 8-1: Spettri di Risposta

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.

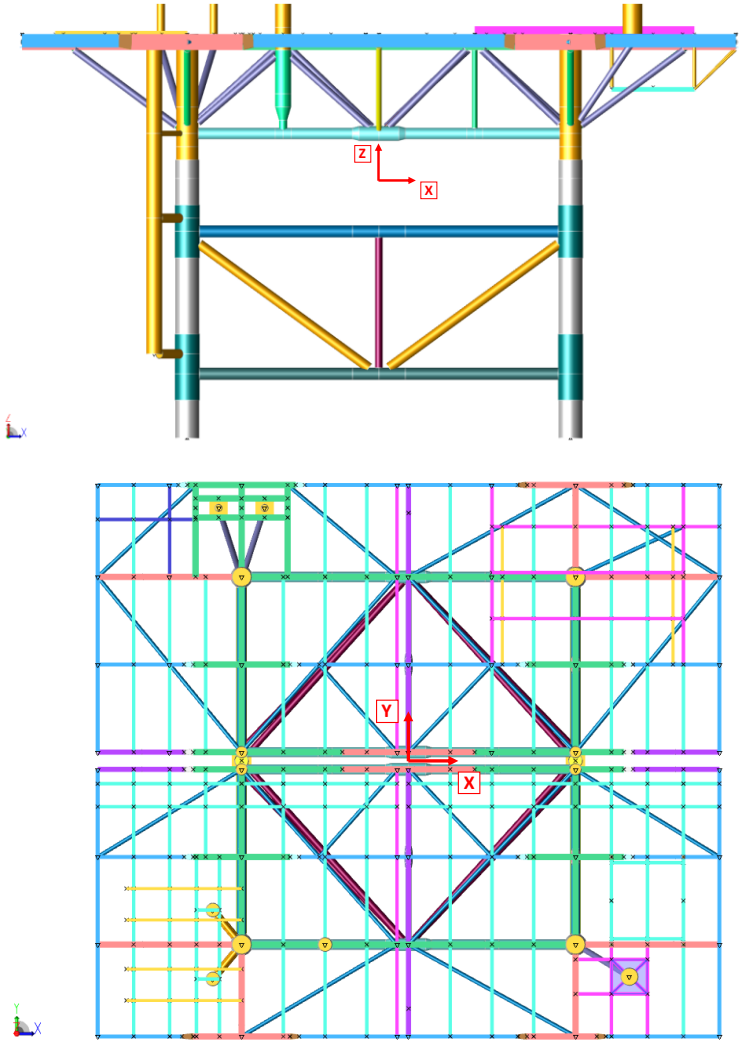


Figura 9-1: Sistema di riferimento del modello

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.

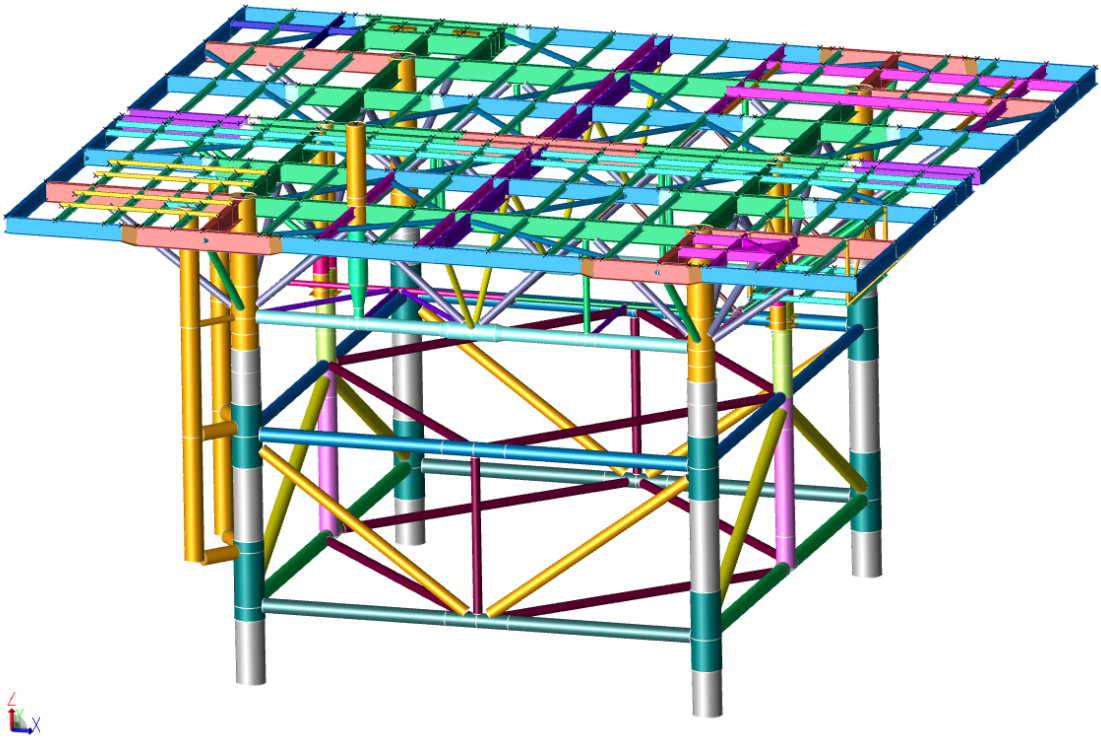


Figura 9-2: Modello SACS della piattaforma

Tale modello è quello utilizzato per la verifica statica in servizio del Jacket. Il modello e i criteri di modellazione sono ampiamente descritti nella relazione statica in servizio del Jacket (Rif.[A11]).

Si riportano di seguito i dettagli strettamente legati ai pali di fondazione:

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

- 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.
- I pali fuori terra sono considerati "flooded".

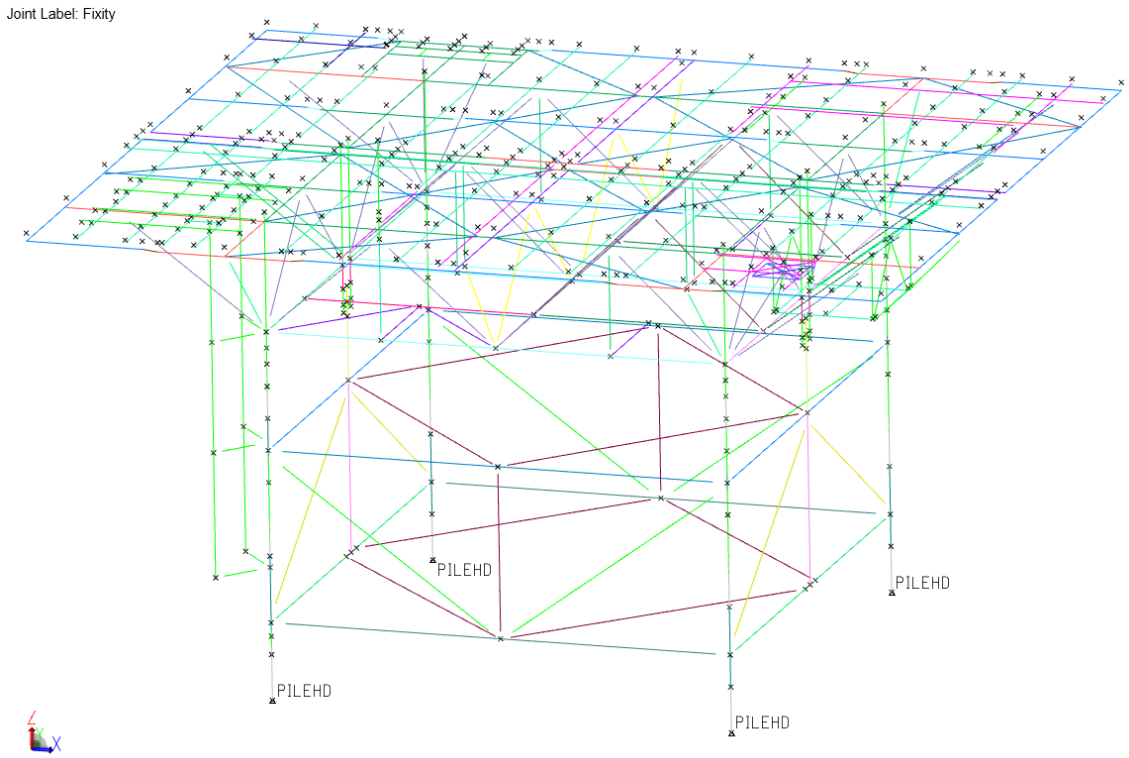


Figura 9-3: Modello SACS - Vincoli esterni: testa pali

Nel seguente paragrafo viene meglio dettagliata la modellazione dei pali di fondazione sotto il fondo del mare (parte infissa).

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	Quota di infissione
Gamba A1, A3, E1, E3	Φ 1675	60 mm	12.85 m	-12.85m
Gamba A1, A3, E1, E3	Φ 1675	40 mm	61.95 m	-74.8m

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 13-1 (vedi APPENDICE A – CURVE DI CAPACITÀ PORTANTE) 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

I carichi agenti sulla piattaforma di scarico e le relative combinazioni di carico sono dettagliate nel documento “Jacket – Analisi statica in servizio” (Rif.[A11]). Si riportano di seguito le risultati dei carichi base e delle combinazioni di carico.

10.1 RISULTANTI DEI CARICHI BASE

Si riportano le risultanti delle condizioni di carico applicate alla struttura 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 10-1: 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.

10.2 COMBINAZIONI DI CARICO

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

********** 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)
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 10-2: Risultanti Combinazioni SLU Operative

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

********** 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 10-3: 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 ANALISI DEI PALI DI FONDAZIONE

L'Analisi della piattaforma di scarico per le combinazioni di carico SLU viene eseguita sul modello globale descritto al par.9.

La struttura fuori terra (compresi i pali fuori terra) viene verificata dal post-processore del software SACS. I risultati dell'analisi di tali strutture sono riportati nel documento "Jacket – Analisi statica in servizio" (Rif.[A11]).

All'interno dell'analisi, i pali infissi sotto il fondale marino (da -18.0m) sono elaborati dal 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. Lo scambio di forze tra la sovrastruttura e i pali infissi è determinato ai vincoli "PILEHD" imposti in testa ai pali infissi all'interno del modello.

Dall'analisi statica della sovrastruttua, a cui vengono applicate delle molle non lineari che tengono conto dell'interazione terreno-pali di fondazione, vengono estratte le forze in testa palo, ai punti "PILEHD", che servono per l'analisi dei pali infissi.

Il modulo SACS^{TM} PSI computa per le combinazioni di carico dichiarate, le forze e gli spostamenti in testa palo, calcola i diagrammi di sollecitazione dei pali e le massime azioni interne. Il modulo esegue le verifiche della carpenteria metallica.

Le verifiche geotecniche vengono effettuate tramite le curve di capacità portante dei pali estratte dalla relazione geotecnica (Rif.[A6]).

L'analisi statica della piattaforma è stata eseguita secondo quanto descritto nella relazione "Jacket – Analisi statica in servizio" (Rif.[A11]). I risultati dell'analisi statica sui pali sono estratti da questa analisi e riportate in questo documento per le relative verifiche.

Le verifiche di questo documento riguardano esclusivamente i pali infissi, sotto il fondale marino.

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

12 RISULTATI DELL'ANALISI

I risultati dell'analisi statica in servizio per i pali di fondazione della piattaforma sono riportati in questo paragrafo.

Questi consistono in:

- Verifiche strutturali carpenteria metallica
- Verifiche geotecniche di capacità portante

Tali risultati sono riferiti alla parte infissa dei pali (sotto il fondale a -18.0m).

I risultati sui pali di fondazione sono estratti dall'analisi statica del Jacket, descritta nella relazione "Jacket – Analisi statica in servizio" (Rif. [A11]). Sono di seguito riproposti per l'esecuzione dettagliata delle verifiche della carpenteria metallica e di capacità portante.

Le verifiche riguardano la parte infissa dei pali, sotto il fondale marino. Per le verifiche della parte fuori terra, far riferimento al documento "Jacket – Analisi statica in servizio" (Rif. [A11]).

12.1.1 Verifiche strutturali della carpenteria metallica

Vengono riportate le verifiche dei pali del Jacket sotto il livello di fondo mare.

Al par. 9.5 sono descritte le proprietà dei segmenti di pali infissi e la relativa lunghezza di infissione.

Le verifiche sono superate se gli elementi soddisfano i criteri previsti dalle ISO 19902 Rif.[B4] (per le sezioni circolari).

I criteri di accettazione sono proposti al Par.7.3.1.

Le verifiche vengono eseguite dal modulo SACS-PSI 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: $UC = S_d/R_d$

Si riporta in Figura 12-1 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.

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

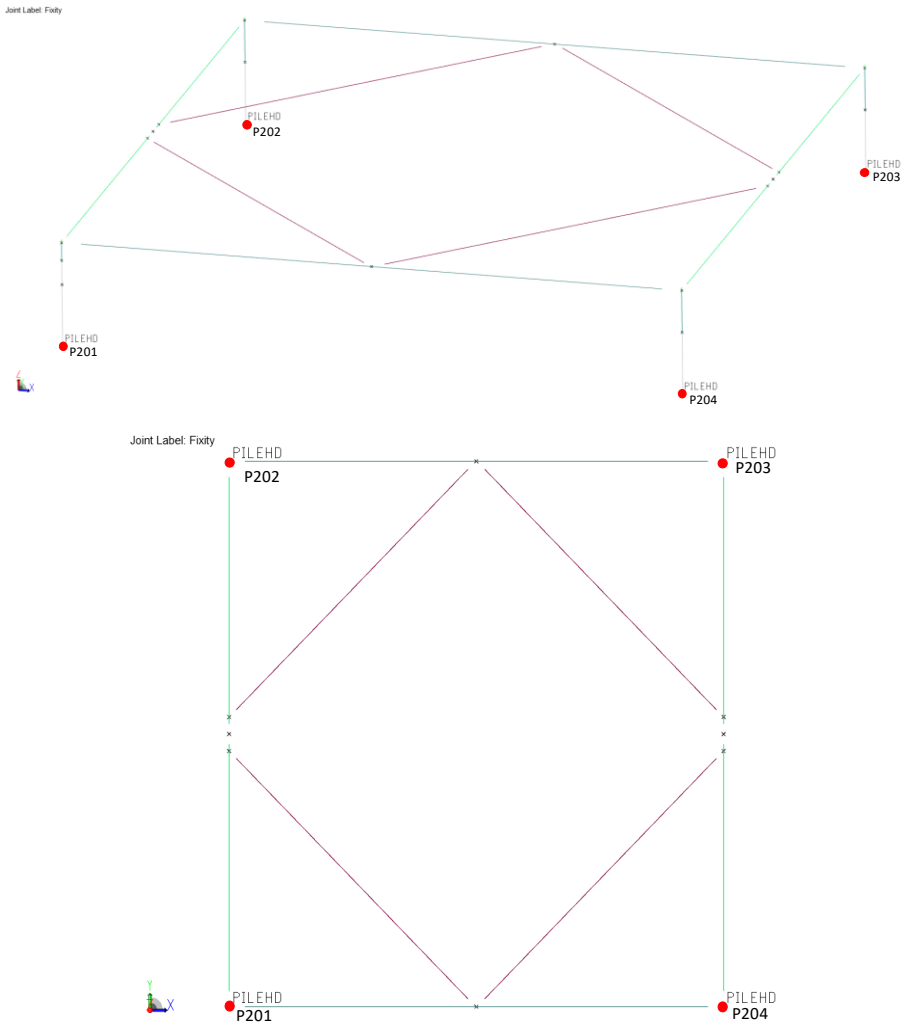


Figura 12-1: Denominazione nodi teste pali

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 12-1: Max. spostamenti e forze in testa palo & max. UC

Dai dati riportati in Tabella 12-1 si evince che le verifiche della carpenteria metallica sono soddisfatte: il massimo valore di UC registrato è UC = 0.44 per la combinazione E104.

12.1.2 Verifiche Geotecniche di capacità portante

Le verifiche geotecniche dei pali sono eseguite, come espresso al par. 7, secondo i criteri delle NTC 2018 (Rif.[B1]), più conservativi rispetto a quelli proposti dalle ISO 19902 (Rif. [B4]).

I valori massimi di sforzo normale registrati sui pali, come da dati riportati in Tabella 12-1, sono:

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

Tabella 12-2: 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]) estratte dalla Relazione Geotecnica (Rif. [A10]) e riportate in Figura 13-1 (vedi APPENDICE A), la massima capacità di compressione del palo per infissione di 78m vale 18.35 MN.

La massima compressione agente sui pali, secondo l'analisi in servizio, 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.

13 APPENDICE A – CURVE DI CAPACITÀ PORTANTE

Si riportano le curve di capacità portante dei pali Φ1675x40 mm calcolati secondo le NTC 2018 (Rif. [B1]), estratte dalla Relazione Geotecnica (Rif. [A10]).

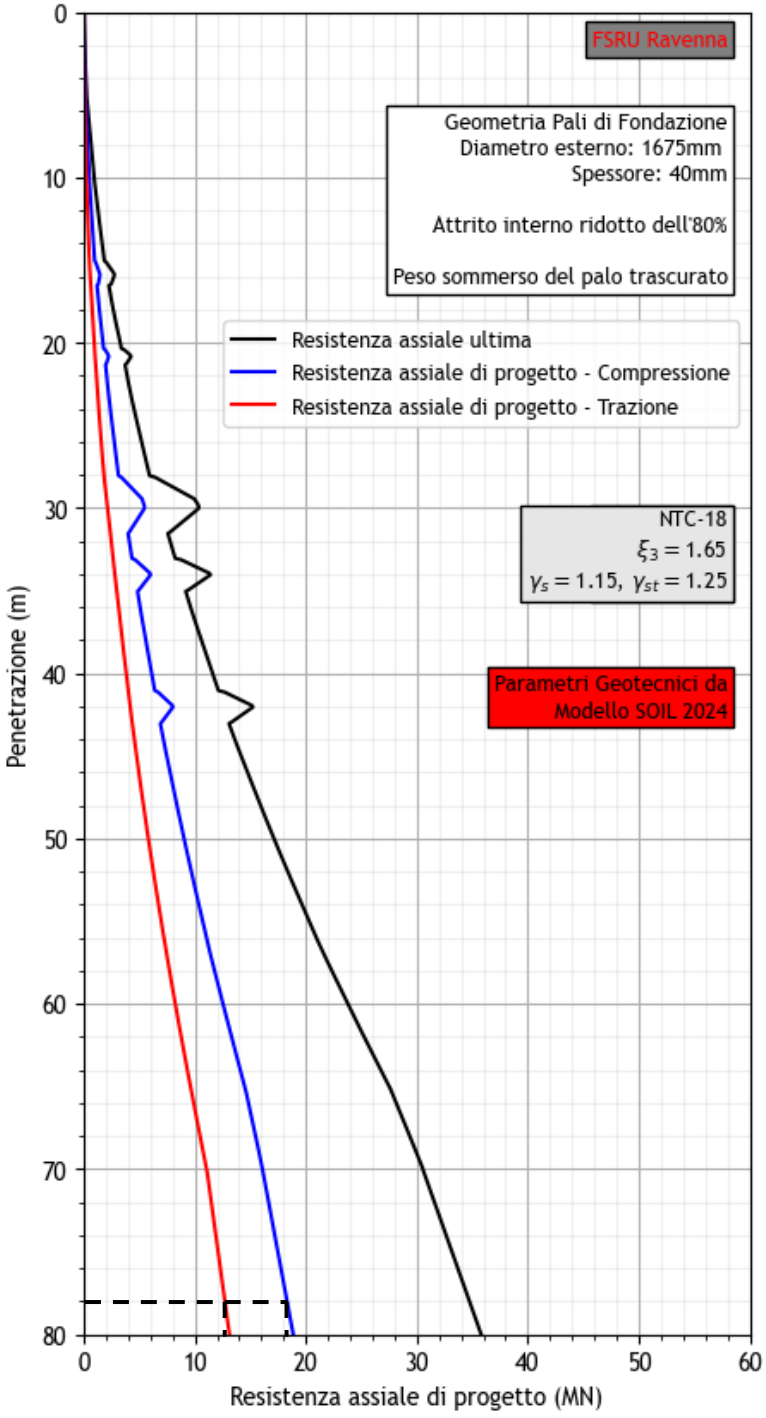


Figura 13-1: Curva di Capacità portante del palo NTC2018

14 APPENDICE B – SCHEMI UNIFILARI

Fare riferimento al modello presentato nella relazione “Jacket – Analisi statica in servizio” (Rif. [A11]).

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

15 APPENDICE C – PROPRIETÀ GRUPPI

Fare riferimento al modello presentato nella relazione "Jacket – Analisi statica in servizio" (Rif. [A11]).

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