EMERGENZA GAS

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

FSRU RAVENNA E COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI

PIATTAFORMA SCALANDRONE SUD – VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE

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 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 SCALANDRONE SUD 10

7 CRITERI DI PROGETTAZIONE 12

7.1 Materiali 12

7.2 Criteri di Progettazione 14

7.2.1 Generalità 14

7.2.2 Combinazione delle azioni e fattori parziali delle azioni per analisi statiche 14

7.2.3 Combinazione delle azioni e fattori parziali delle azioni per analisi sismiche 15

7.2.4 Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari 15

7.2.5 Resistenza minima nodi tubolari 16

7.2.6 Fattore di resistenza parziale per capacità assiale del palo 16

7.3 Criteri di Accettazione 17

7.3.1 Elementi della struttura 17

7.3.2 Pali di fondazione 18

8 DATI DI PROGETTO AMBIENTALI 19

8.1 Dati Meteo-Marini 19

8.1.1 Batimetria 19

8.1.2 Vento 19

8.1.3 Onde e correnti 20

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

8.1.4 Coefficienti idrodinamici 21
8.1.5 Splash Zone 21
8.1.6 Accrescimento Marino 21
8.1.7 Spessore di Corrosione 22
8.2 Dati Sismici 22
8.3 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 Risultanti dei Carichi Base 32
10.2 Combinazioni di Carico 33
11 ANALISI DEI PALI DI FONDAZIONE 34
12 RISULTATI DELL'ANALISI 35
12.1 Capacità portante pali di fondazione 36
12.2 Analisi Statica 37
12.2.1 Verifiche strutturali della carpenteria metallica 37
12.2.2 Verifiche Geotecniche di capacità portante 37
12.3 Analisi Sismica 39
12.3.1 Verifiche strutturali della carpenteria metallica 39
12.3.2 Verifiche Geotecniche di capacità portante 39
13 APPENDICE A – CURVE DI CAPACITÀ PORTANTE 41
14 APPENDICE B – SCHEMI UNIFILARI 42
15 APPENDICE C – PROPRIETÀ GRUPPI 42
16 APPENDICE D – SACS INPUT 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: Verifiche pali infissi 9
Tabella 4-2: Max. Trazione e Compressione in testa palo 9
Tabella 6-1: Proprietà acciaio 12
Tabella 6-2: Classi di acciaio e standard 12
Tabella 6-3: Proprietà dell'acciaio relative allo spessore (UNI EN 10025) 13
Tabella 6-4: Fattori di azione parziale per l'analisi in servizio 14
Tabella 6-5: Fattori di resistenza parziali per sezioni tubolari 15
Tabella 6-6: Fattori di resistenza parziale per i nodi tubolari 16
Tabella 6-7: Fattori di resistenza parziale per la capacità assiale del palo 16
Tabella 7-1: Dati Vento 19
Tabella 7-2: Dati Onde 20
Tabella 7-3: Dati di Corrente 20
Tabella 7-4: Parametri sismici al variare del tempo di ritorno T_R 23
Tabella 7-5: Dati geotecnici di progetto 25
Tabella 8-1: Composizione pali sotto il fondale marino 31
Tabella 9-1: Risultanti condizioni di carico applicate 32
Tabella 9-2: Risultante Spettri di risposta 32
Tabella 9-3: Risultanti Combinazioni SLU Operative 33
Tabella 9-4: Risultanti Combinazioni SLU Estreme 33
Tabella 9-5: Combinazioni di verifica SLV 33
Tabella 11-1: Max. spostamenti e forze in testa palo & max. UC - Statica 37
Tabella 11-2: Max. Trazione e Compressione in testa palo – Statica 37
Tabella 11-3: Max. spostamenti e forze in testa palo & max. UC - Sismica 39
Tabella 11-4: Max. Trazione e Compressione in testa palo – Sismica 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.

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 e geotecniche dei pali di fondazione della Piattaforma Scalandrone Sud per le condizioni statiche in servizio e sismiche, 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
SLV	Stato Limite di salvaguardia alla Vita
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-017528 Piattaforma Scalandrone Sud – Statica

[A12] 0001-CI-E-017529 Piattaforma Scalandrone Sud – Sismica

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

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

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

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

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

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

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

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

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 statiche e sismiche condotte sulla piattaforma scalandrone sud hanno dimostrato che le sue fondazioni, costituite da pali Φ1500x40 infissi per 46m, sono in grado di resistere alle condizioni statiche e sismiche di progetto, 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:

Verifiche	UC STATICA	UC SISMICA
Carpenteria metallica	UC = 0.23 < 1.00	UC = 0.36 < 1.00
Capacità portante	UC = 0.56 < 1.00	UC = 0.88 < 1.00

Tabella 5-1: Verifiche pali infissi

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 5-2:

Azioni sui Pali	Capacità di Progetto [MN]	Statica – Oper.		Statica – Estr.		Sismica	
		N [MN]	FS (> 1.0)	N [MN]	FS (> 1.0)	N [MN]	FS (> 1.0)
Compressione	7.00	3.71 MN	1.89	4.15 MN	1.68	6.53 MN	1.07
Trazione	4.00	-		1.11 MN	3.60	3.67 MN	1.09

Tabella 5-2: Max. Trazione e Compressione in testa palo

Le verifiche geotecniche risultano soddisfatte.

Nota: Le verifiche del presente documento riguardano la parte infissa dei pali di fondazione della piattaforma scalandrone sud, per le condizioni statiche e sismiche. Le verifiche della parte fuori terra sono riportate nei documenti "Piattaforma Scalandrone Sud – Statica" (doc n. 0001-CI-E-017528, Rif.[A11]) e "Piattaforma Scalandrone Sud – Sismica" (doc n. 0001-CI-E-017529, Rif.[A12]).

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.

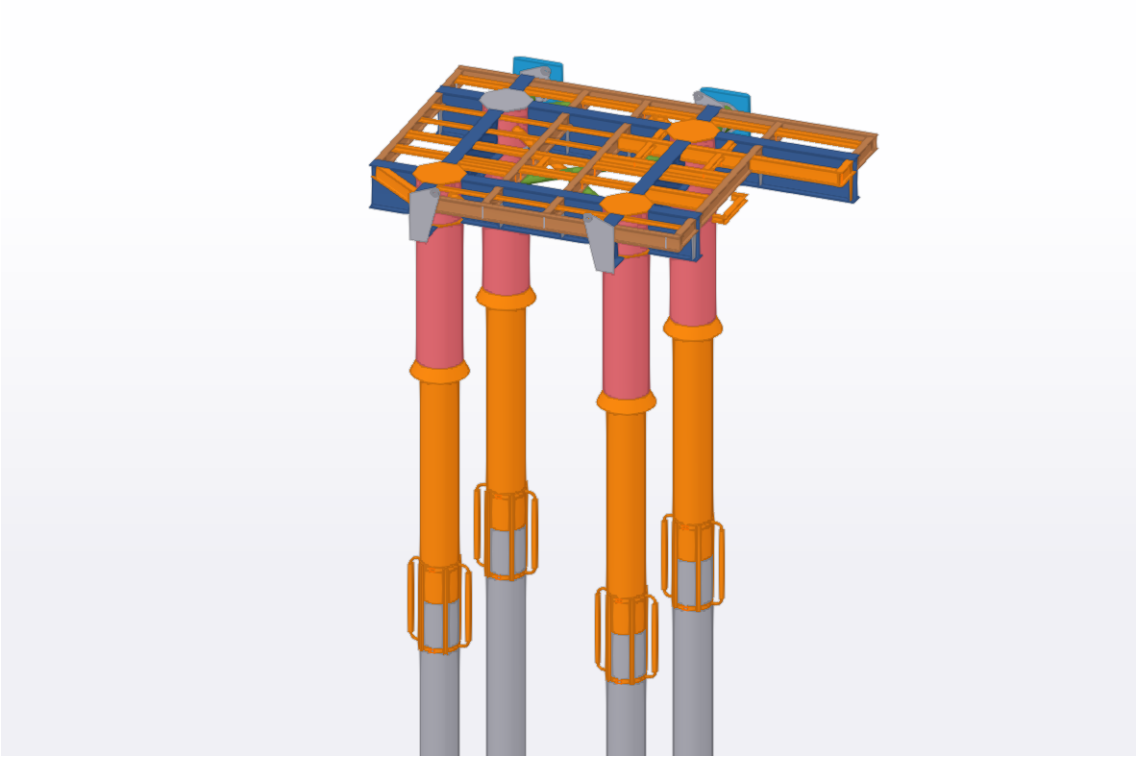


Figura 6-1: Nuova piattaforma scalandrone sud

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)

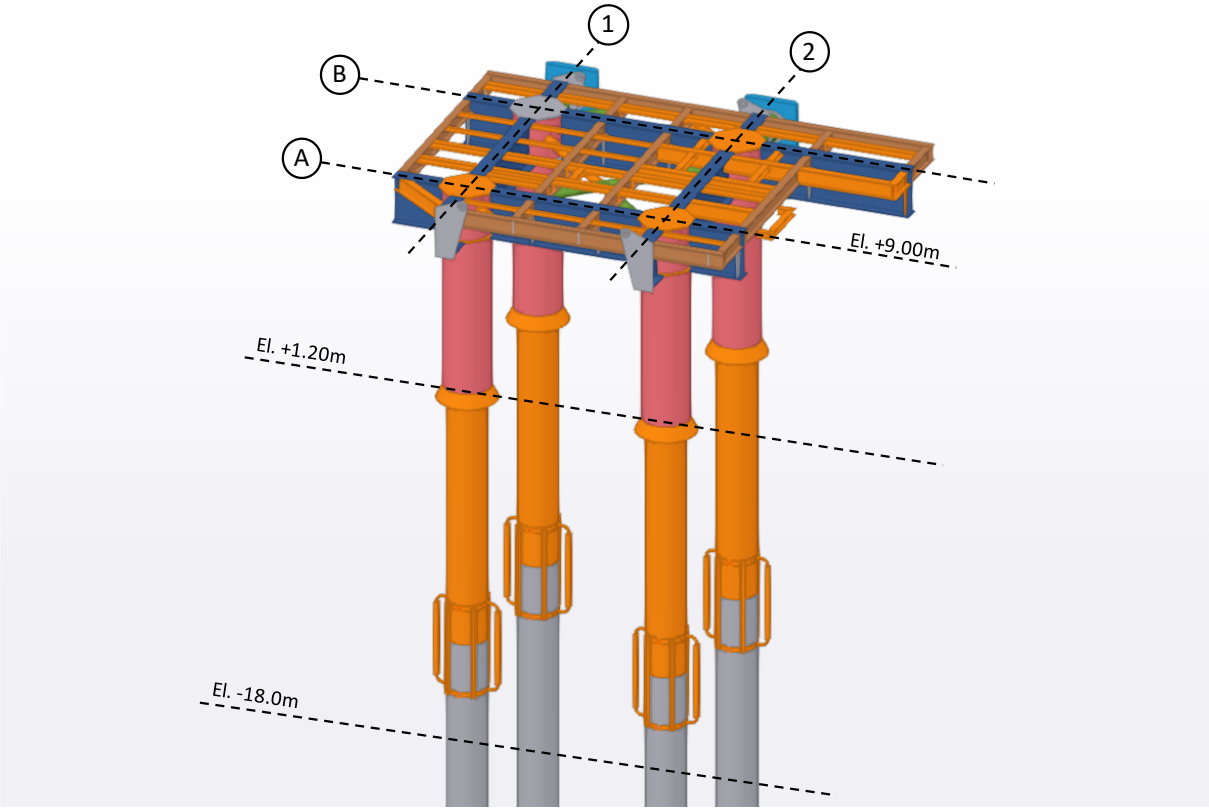


Figura 6-2: Piattaforma scalandrone sud – allineamenti ed elevazioni

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/Pali	S355	API 5L X52 / S355 J0 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 parziali delle azioni per analisi statiche

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 Combinazione delle azioni e fattori parziali delle azioni per analisi sismiche

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

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

Dove:

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

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.

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

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

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

NOTA:

Come condizione aggiuntiva tutti i nodi critici del Jacket devono soddisfare il requisito minimo di resistenza basato sul 50%. della capacità di resistenza ultima dell'asta incidente (Strength Capacity)

7.2.6 Fattore di resistenza parziale per 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 7-7: Fattori di resistenza parziale per la capacità assiale del palo

NOTA:

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

Per conformità con la normativa italiana l'infissione dei pali viene anche calcolata secondo NTC 2018 Rif.[B1] seguendo l'approccio A1 + M1 + R3:

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

Si considerano poi per i pali infissi:

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

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

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

7.3 CRITERI DI ACCETTAZIONE

7.3.1 Elementi della struttura

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

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

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

$$Rd \geq Ed$$

La resistenza di progetto delle membrature Rd si pone nella forma

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

Dove:

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

7.3.2 Pali di fondazione

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

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

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

dove:

- P_D = carico assiale su pali utilizzando carichi fattorizzati
- Q_D = capacità massima del palo assiale di progetto
- Q_R = capacità ultima del palo assiale
- γ_R= fattore di resistenza del palo, Riferimento Par.7.2.6 NTC 2018 Rif.[B1]

NOTA:

Per conformità con la normativa italiana l'infissione dei pali viene anche calcolata secondo NTC 2018 Rif.[B1] seguendo l'approccio A1 + M1 + R3 (Riferimento Par.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].

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

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

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 DATI SISMICI

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

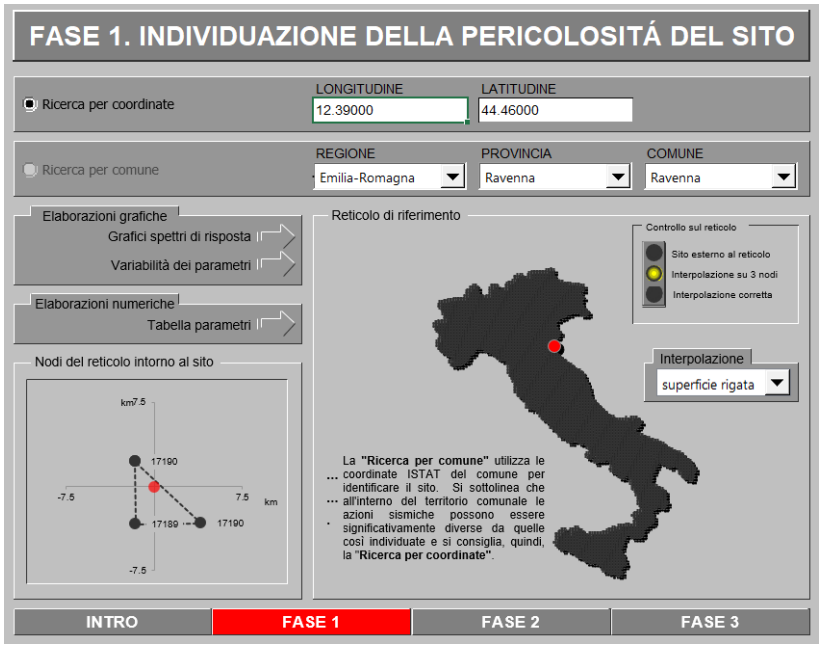
- 0001-CI-E-017000 - Basi di Progettazione Strutturale Rif. [A9].

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

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

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

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



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

• Vita nominale della struttura: 25 anni

• Classe d'uso: IV



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	0.038	2.527	0.260
SLD	50	0.048	2.493	0.279
SLV	475	0.124	2.609	0.287
SLC	975	0.163	2.572	0.291

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

Di seguito sono elencati i parametri riguardanti suolo e topografia, in accordo al report geotecnico (Rif.[A6]):

• Tipo di categoria del suolo: D

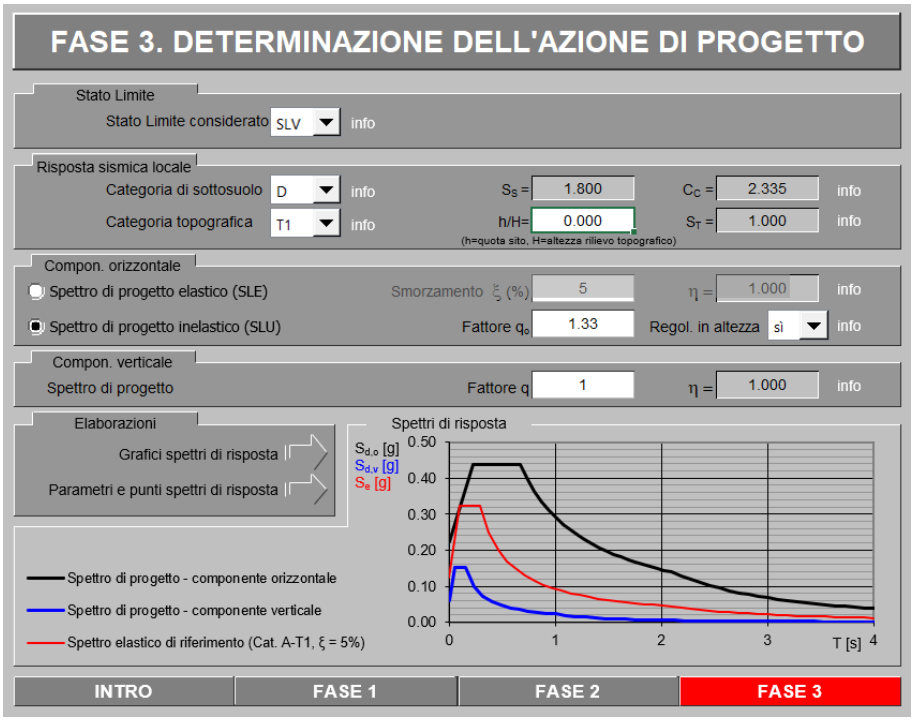
• Categoria topografica: T1

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

Si assumono i seguenti parametri strutturali, secondo quanto prescritto nella sezione 7.3.1 delle NTC2018 (Rif. [B1]):

• Classe di duttilità: Struttura non dissipativa (a favore di sicurezza)

- Fattore di comportamento base: q_0 = 2.0 (Tab. 7.3.II, NTC2018 [B1] "Strutture in acciaio a pendolo inverso")
- Coefficiente di regolarità in altezza: K_R = 1.0 (regolare)
- Fattore struttura a bassa duttilità: $q_{CD"B"} = q_0 * K_R$ = 2.0 ([7.3.1], NTC2018 [B1])
- Fattore 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.

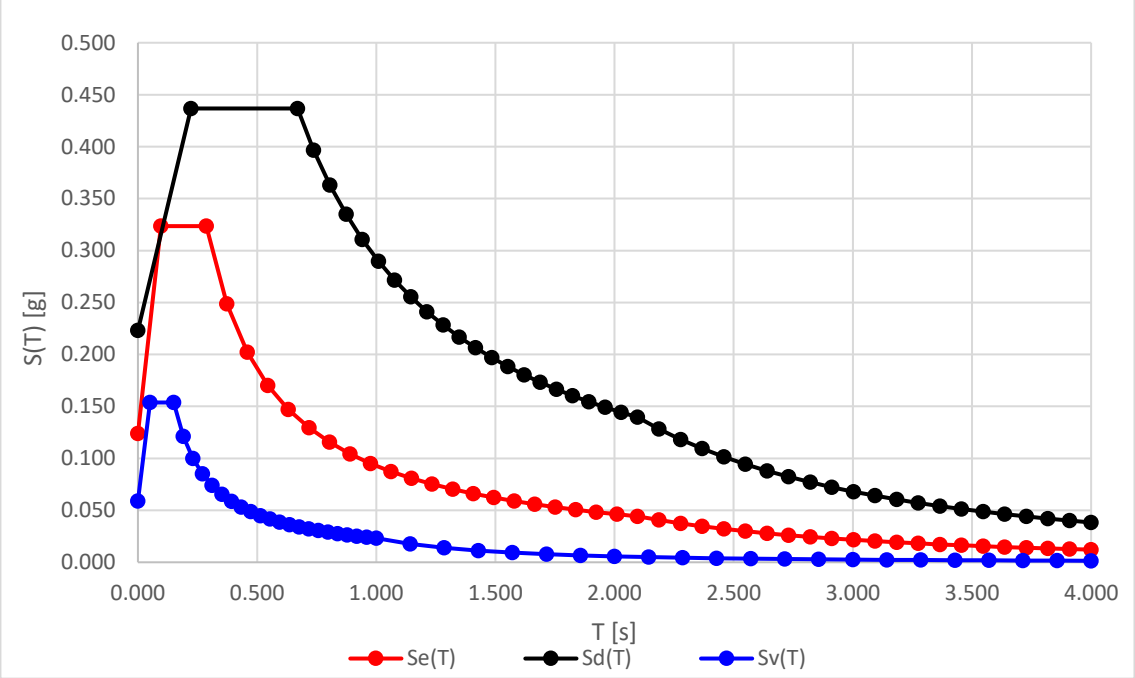


Figura 8-1: Spettri di Risposta

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.

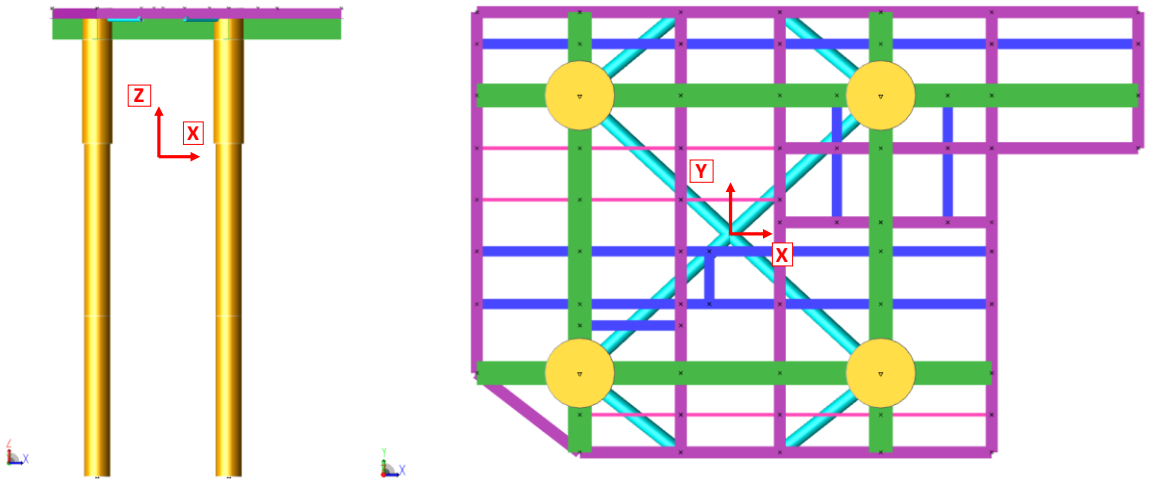


Figura 9-1: Sistema di riferimento del modello

9.3 PROGRAMMA DI CALCOLO

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

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.

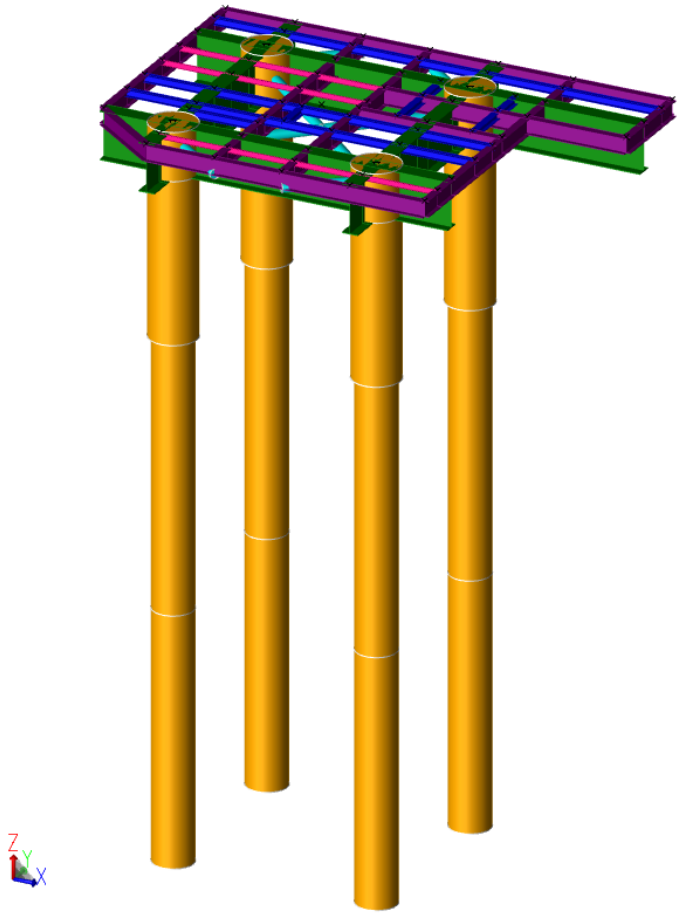


Figura 9-2: Modello SACS della piattaforma

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 B & C.
- 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.

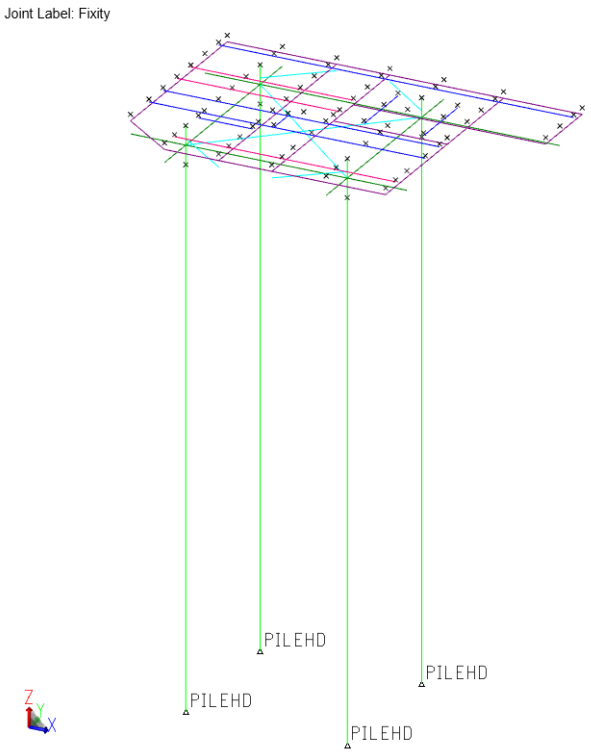


Figura 9-3: Modello SACS - Vincoli esterni: testa pali

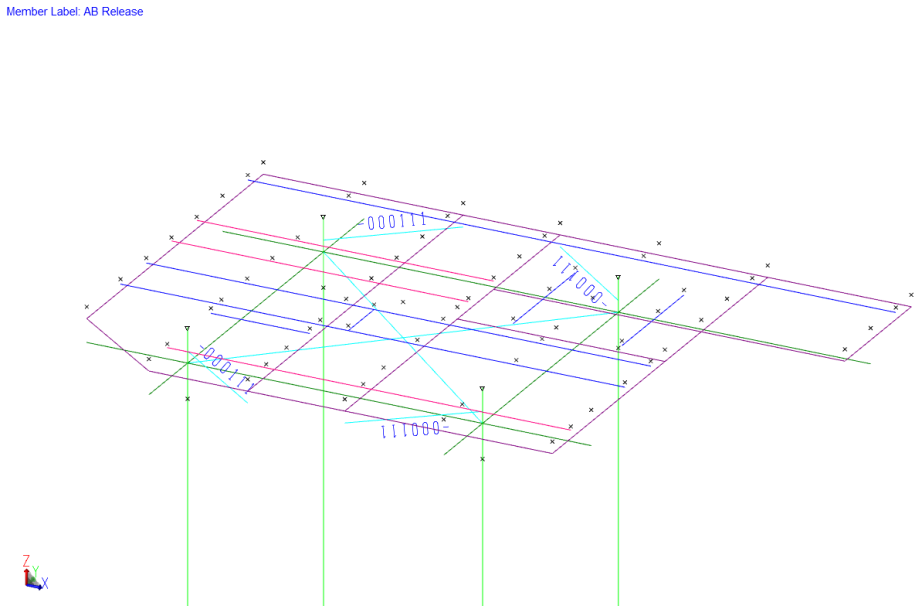


Figura 9-4: Modello SACS - *releases* interni

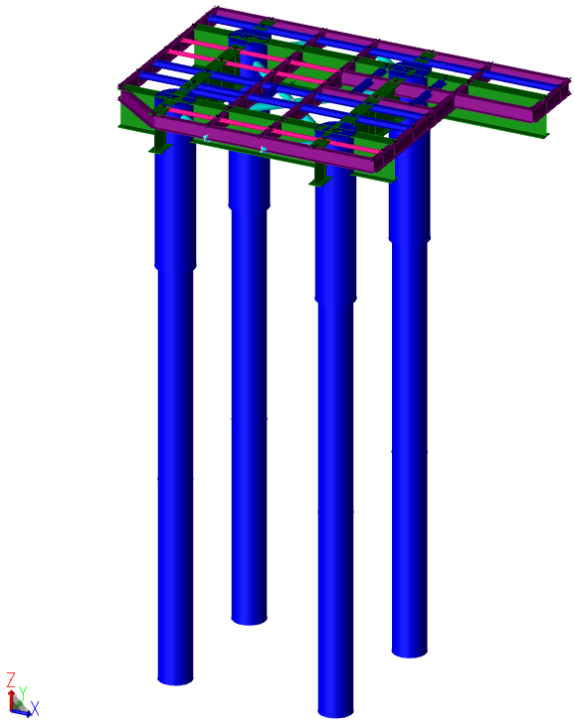


Figura 9-5: Modello SACS – Elementi allagati (*flooded*)

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 A sono ricavate:

- Max. Resistenza a compressione di progetto: R_{cd} = 7.45 MN
- Max. Resistenza a trazione di progetto: R_{td} = 4.65 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 scalandrone sud e le relative combinazioni di carico sono dettagliate nei documenti:

- 0001-CI-E-017528 Piattaforma Scalandrone Sud – Statica Rif.[A11]
- 0001-CI-E-017529 Piattaforma Scalandrone Sud – Sismica Rif.[A12]

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	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 10-1: Risultanti condizioni di carico applicate

FORCES AND MOMENTS SUMMARY
*** MOMENTS SUMMED ABOUT ORIGIN ***

LOAD CASE	********** KN ********** FORCE(X)	FORCE(Y)	FORCE(Z)	********** KN-M ********** MOMENT(X)	MOMENT(Y)	MOMENT(Z)
1	-1644.984	-1575.102	-6762.868	-36659.473	28341.252	-898.036

Tabella 10-2: Risultante Spettri di risposta

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)
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 10-3: 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)
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 10-4: Risultanti Combinazioni SLU Estreme

Nel seguente estratto SACS sono riportate le combinazioni sismiche:

********** 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)
25	STAT	0.00				0.00				-4557.15	1.20	0.50	1.44

****** COMBINE PROGRAM OPTIONS ******
DYNAMIC ANALYSIS

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

Tabella 10-5: Combinazioni di verifica SLV

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

11 ANALISI DEI PALI DI FONDAZIONE

Le analisi della piattaforma scalandrone sud per le combinazioni di carico SLU ed SLV sono eseguite sul modello globale descritto al par. 9.4.

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 nei documenti "Piattaforma Scalandrone Sud - Statica" (Rif.[A11]) e "Piattaforma Scalandrone Sud – Sismica" (Rif.[A12]).

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 della sovrastruttura, 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 "Piattaforma Scalandrone Sud - Statica" (Rif.[A11]).

L'analisi sismica della piattaforma è stata eseguita secondo quanto descritto nella relazione "Piattaforma Scalandrone Sud – Sismica" (Rif.[A12]).

I risultati dell'analisi statica e sismica sui pali sono estratti dai documenti sopraelencati e riportati in questo documento per le relative verifiche.

Le verifiche svolte in 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 e sismica per i pali di fondazione della piattaforma scalandrone sud sono riportati in questo paragrafo.

Questi consistono in:

- Verifiche strutturali della carpenteria metallica
- Verifiche geotecniche di capacità portante

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

Le verifiche sono superate se gli elementi soddisfano i criteri previsti dalle ISO 19902 Rif.[B4] (per le sezioni circolari), e delle NTC 2018 Rif.[B1] (per le verifiche geotecniche). I criteri di accettazione sono proposti al Par.7.3.

I risultati sui pali di fondazione sono estratti dall'analisi statica della piattaforma, descritta nella relazione "Piattaforma Scalandrone Sud - Statica" (Rif.[A11]), e dall'analisi sismica descritta nella relazione "Piattaforma Scalandrone Sud – Sismica" (Rif.[A12]). Tali risultati sono di seguito riproposti per l'esecuzione dettagliata delle verifiche della carpenteria metallica e di capacità portante dei pali.

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

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.

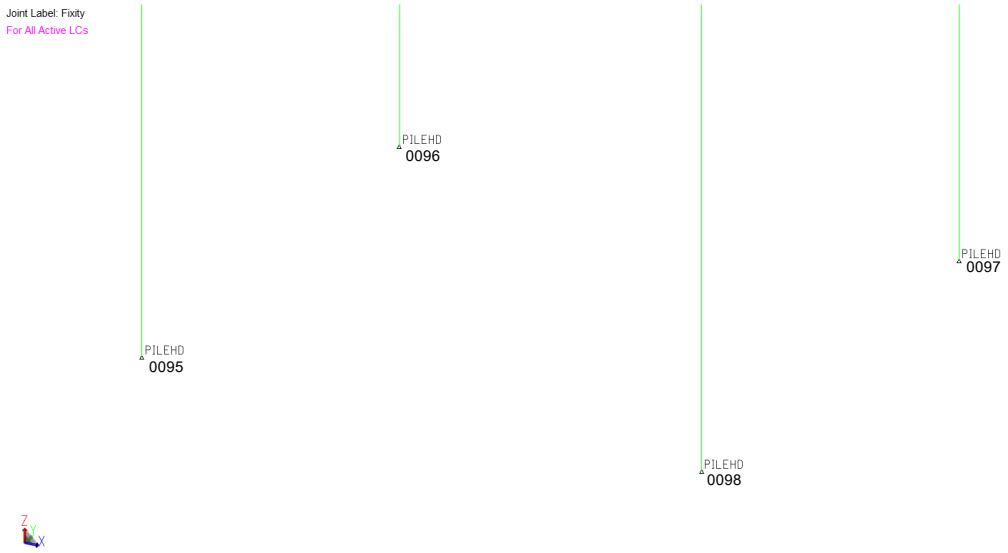


Figura 12-1: Denominazione nodi teste pali

12.1 CAPACITÀ PORTANTE PALI DI FONDAZIONE

Dalla Relazione Geotecnica (Rif.[A6]) si ottengono le curve di capacità portante dei pali Φ1500x40 mm calcolate secondo NTC 2018 Rif.[B1]. Tali curve sono riportate in APPENDICE A.

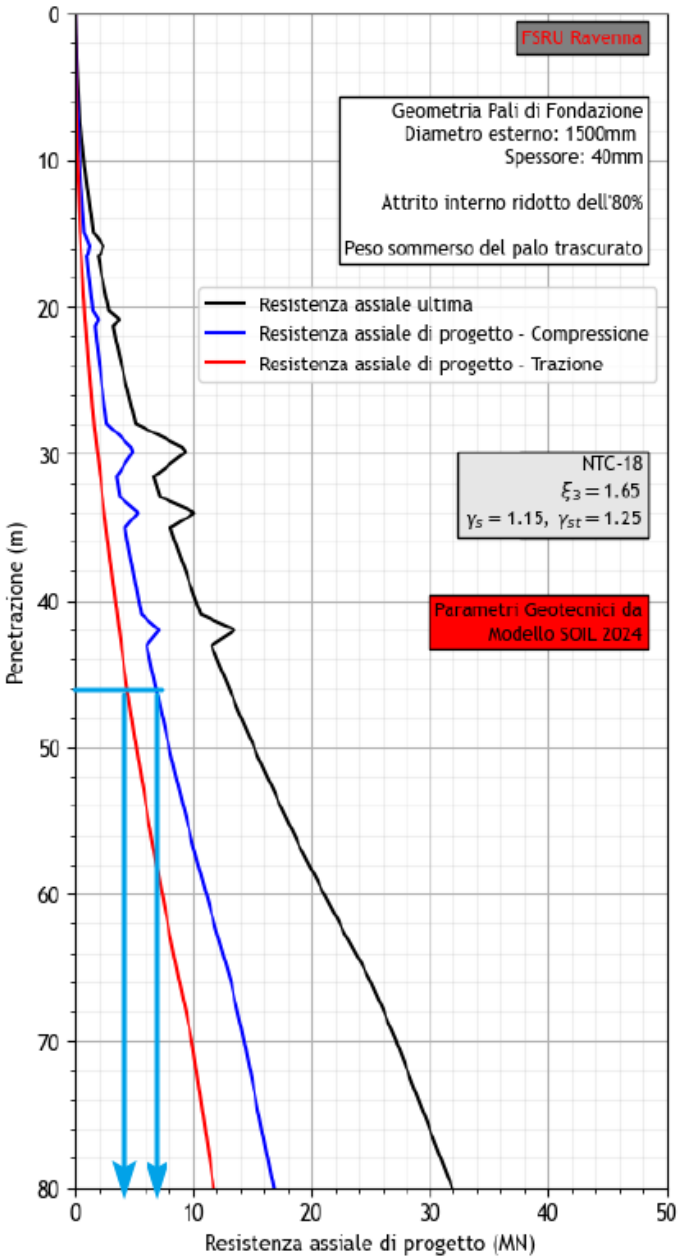


Figura 12-2: Curva di Capacità portante del palo NTC2018

Alla quota di infissione di -45.75m, come da Figura 12-2, sono ricavate:

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

12.2 ANALISI STATICA

12.2.1 Verifiche strutturali della carpenteria metallica

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

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] per combinazioni SLU.

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

Dai dati riportati in Tabella 12-1 si evince che le verifiche sulla carpenteria metallica sono soddisfatte: il massimo valore di UC registrato è UC = 0.23 per la combinazione E102.

12.2.2 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	3.14 MN	3.58 MN
Trazione	-	1.11 MN

Tabella 12-2: Max. Trazione e Compressione in testa palo – Statica

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

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

Dalle curve di capacità del palo secondo NTC2018 (Rif. [B1]) calcolate in Relazione Geotecnica (Rif. [A10]) e riportate in Figura 12-2, 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 SLU):

- Compressione 3.58 MN + 0.57 MN = 4.15 MN < 7.00 MN
- Trazione 1.11 MN < 4.00 MN

Le verifiche di capacità portante del palo in condizioni statiche sono soddisfatte.

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

12.3 ANALISI SISMICA

12.3.1 Verifiche strutturali della carpenteria metallica

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

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] per combinazioni SLV.

	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	
COMB. SLV	97	SS01	**-5 960**	561	4 152	9	66	0	6	-32	100	0	1	-132	0.36	N MAX
	95	SS02	**3 666**	585	4 351	-4	65	0	6	19	99	0	0	118	0.30	N min
	97	SS07	2 811	**590**	4 274	-3	65	0	6	14	-99	0	0	114	0.29	V MAX
	95	SS02	3 666	585	**4 351**	-4	65	0	6	19	99	0	0	118	0.30	M MAX
	97	SS01	-5 960	561	4 152	**9**	66	0	6	-32	100	0	1	-132	0.36	ax max
	98	SS03	-5 701	571	4 127	8	**66**	0	6	-30	101	0	1	-131	0.35	lat MAX
	98	SS03	-5 701	571	4 127	8	66	**0**	6	-30	101	0	1	-131	0.35	rot MAX
	97	SS01	-5 960	561	4 152	9	66	0	6	-32	100	0	1	-132	**0.36**	UC MAX

Tabella 12-3: Max. spostamenti e forze in testa palo & max. UC - Sismica

Dai dati riportati in Tabella 12-3 si evince che le verifiche della carpenteria metallica sono soddisfatte: il massimo valore di UC registrato è UC = 0.36.

12.3.2 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 12-3, sono:

Sforzo Normale	SLV
Compressione	5.96 MN
Trazione	3.67 MN

Tabella 12-4: Max. Trazione e Compressione in testa palo – Sismica

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 12-2, la massima capacità di compressione del palo per infissione 46m vale 7.00 MN, e la massima trazione 4.00 MN.

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

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

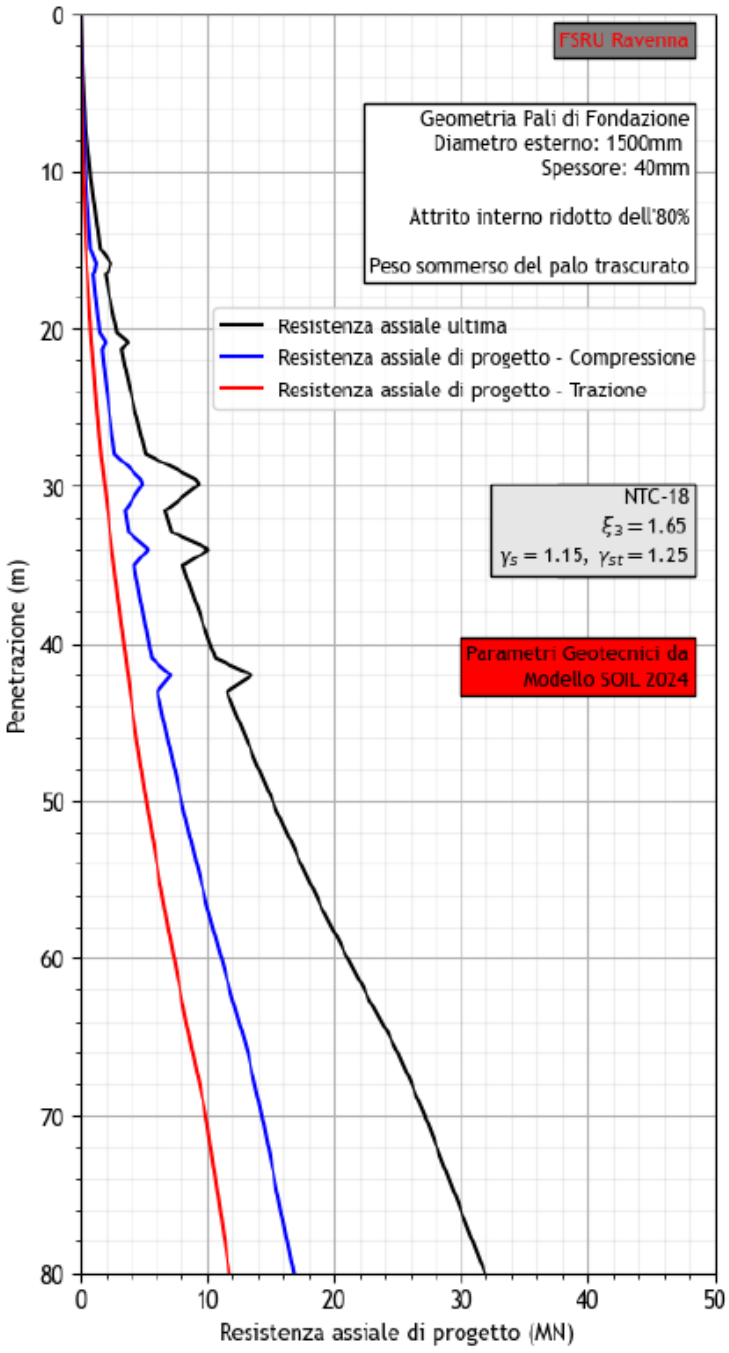
- Compressione 5.96 MN + 0.57 MN = 6.53 MN < 7.00 MN
- Trazione 3.67 MN < 4.00 MN

Le verifiche di capacità portante del palo in condizioni sismiche 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 Φ1500x40 mm calcolati secondo le NTC 2018 (Rif. [B1]), estratte dalla Relazione Geotecnica (Rif. [A10]).



14 APPENDICE B – SCHEMI UNIFILARI

Gli schemi unifilari per l'individuazione dei nomi dei nodi e dei gruppi per gli elementi della piattaforma sono mostrati nella relazione di calcolo dell'analisi statica in servizio (Rif.[A11]).

15 APPENDICE C – PROPRIETÀ GRUPPI

Le proprietà dei gruppi e le sezioni assegnate agli elementi della piattaforma sono mostrati nella relazione di calcolo dell'analisi statica in servizio (Rif.[A11]).

16 APPENDICE D – SACS INPUT



0001-CI-E-017532.zip

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