

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	1 / 47	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL



D01	First Issue – Prima emissione	D.Emmanuelo	G.Canetta	 G.Canetta	03-08-10
Is.– Em.	Description - Descrizione	Prepared-Preparato	Checked-Verificato	Approved-Approvato	Date-Data

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	2 / 47	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

INDICE

1	DESCRIZIONE GENERALE DEL SERBATOIO ESTERNO IN CA ...	4
1.1	LA PIASTRA DI BASE	4
1.2	LA PARETE CILINDRICA	4
1.3	LA COPERTURA A CUPOLA	5
2	SPECIFICHE E CODICI DI PROGETTO	7
2.1	SPECIFICHE DEL PROGETTO.....	7
2.2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	7
2.3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	8
3	MATERIALI	9
3.1	CALCESTRUZZO	9
3.2	ARMATURE.....	10
3.3	POST-TENSIONE.....	10
3.4	LAMIERA DI RIVESTIMENTO.....	11
3.5	TERRENO : DATI GEOTECNICI	11
4	PROGETTO / ANALISI E MODELLO DI CALCOLO.....	13
4.1	GENERALITA'	13
4.2	COEFFICIENTI PARZIALI DI SICUREZZA DEI MATERIALI	13
4.3	COEFFICIENTI PARZIALI DI SICUREZZA PER LE AZIONI SLU	14
4.4	MISCELLANEA.....	15
4.4.1	Ricoprimento dell'armatura	15
5	CRITERI DI PROGETTO.....	16
5.1	CRITERI DI PROGETTO PER GLI SLE.....	16
5.1.1	Condizioni di normale esercizio e Prova (escluso il Sisma OBE).....	16
5.1.2	Combinazioni di carico SLE con OBE	17
5.1.3	Condizioni anormali (condizione di spill).....	17
5.2	CRITERI DI PROGETTO PER GLI SLU	18
5.2.1	Condizioni SLU fondamentali (incluse le combinazioni OBE)	18
5.2.2	Condizioni SLU di emergenza	18
6	CONDIZIONI DI CARICO BASE.....	19
6.1	GENERALITA'	19
6.2	PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA IN CALCESTRUZZO : DW	20
6.3	CARICHI PERMANENTI VARI : PL _i	20
6.4	CARICHI ACCIDENTALI VARI : LL _i	26
6.5	CARICHI DI PROVA : TL _i	27
6.6	CARICHI DI ESERCIZIO : SL _i	28
6.7	CARICHI DI PRECOMPRESSIONE : P _i	29
6.8	DEFORMAZIONI ANELASTICHE : RITIRO(SH) E VISCOSITA'(CR)	29
6.9	CARICHI CLIMATICI : VENTO (Wi) E NEVE (SN)	31

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione	
			3269-AA-SG-32000002I	
			Sheet Foglio	3 / 47
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004	

6.10	CARICHI SISMICI.....	31
6.10.1	Generalità	31
6.10.2	Spettri FUGRO.....	32
6.10.3	Spettri NTC'08.....	33
6.10.4	Inviluppo degli spettri di progetto.....	37
6.11	CARICHI DI EMERGENZA : EL ₁	39
7	COMBINAZIONI DI CARICO.....	41
7.1	GENERALITA'	41
7.2	COMBINAZIONI IN FASE DI COSTRUZIONE.....	41
7.2.1	Serie SLE.....	41
7.2.2	Serie SLU	41
7.3	COMBINAZIONI IN FASE DI TEST	41
7.3.1	Serie SLE.....	41
7.3.2	Serie SLU	42
7.4	COMBINAZIONI IN CONDIZIONI DI NORMALE ESERCIZIO	42
7.4.1	Serie SLE.....	42
7.4.2	Serie SLU	42
7.5	COMBINAZIONI IN CONDIZIONI DI EMERGENZA	43
7.6	TABELLE RIASSUNTIVE DELLE COMBINAZIONI	44

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	4 / 47	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

1 DESCRIZIONE GENERALE DEL SERBATOIO ESTERNO IN CA

Il serbatoio esterno è una struttura monolitica in calcestruzzo armato costituita dalle seguenti 3 parti principali (riferimento alla sezione tipica della figura 1, pagina 6):

- Una piastra di base
- Un muro cilindrico
- Una copertura a cupola

1.1 LA PIASTRA DI BASE

La piastra inferiore in calcestruzzo armato (platea di fondazione) è una platea circolare con spessore costante pari a 1200 mm.

Essa comprende all'interno un sistema di riscaldamento che evita il sollevamento dovuto al gelo del suolo sottostante la fondazione. Nella fondazione stessa è previsto un sistema di monitoraggio dei cedimenti.

La superficie superiore della parte esterna della platea, per una larghezza di 1500 mm, ha una pendenza del 4% verso l'esterno per evitare il ristagno d'acqua.

La piastra è suddivisa in un numero di sezioni che saranno gettate alternativamente per minimizzare gli effetti degli sforzi termici durante l'idratazione del cemento e per il ritiro prematuro in condizioni secche.

La superficie superiore interna è rivestita con una lamiera in acciaio al carbonio a tenuta ed è protetta dal contatto diretto con una eventuale fuoriuscita dell'LNG tramite una seconda lamiera inferiore in acciaio al 9% nickel, con una protezione d'angolo e uno strato isolante in blocchi di vetro cellulare.

1.2 LA PARETE CILINDRICA

La parete cilindrica laterale in calcestruzzo è rigidamente collegata sia con la piastra di fondazione inferiore sia con la copertura a cupola. Lo spessore minimo nelle zone correnti è di 650 mm. Lo spessore è aumentato a 1000 mm alla base. La rastremazione tra la parte inferiore e le zone correnti del muro si sviluppa su una lunghezza di 7000 mm. Inoltre lo spessore del muro è incrementato a 800 mm in sommità.

Il muro è suddiviso in più fasce gettate in successione a completamento degli anelli circolari sino in sommità del muro. Il ginocchio parete-tetto viene gettato dopo che la lamiera d'acciaio che riveste internamente la copertura è stata sollevata e posizionata pneumaticamente.

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio	5 / 47	Issue Emiss.	D01
			Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

Il muro è post-teso in entrambe le direzioni orizzontale e verticale utilizzando cavi a più trefoli iniettati in sito il più presto possibile dopo il tensionamento. I cavi orizzontali circolari descrivono ciascuno una mezza circonferenza e sono posizionati entro guaine in acciaio semi-rigide e sono ancorati con teste tensionabili ad entrambe le estremità in appositi contrafforti. La coppia successiva di cavi orizzontali che forma un anello post-teso è ruotata di 90° così da prevedere un totale di quattro contrafforti. I cavi verticali hanno forma ad U e sono collocati entro guaine di acciaio rigide ed ancorati ad entrambe le estremità alla sommità della parete.

La faccia esterna della parete è armata con acciaio in barre nervate convenzionale, mentre alla faccia interna, laddove richiesto, è previsto l'impiego di barre nervate aventi caratteristiche aggiuntive adeguate alle condizioni criogeniche attese in caso di incidente di fuoriuscita di LNG.

La faccia interna della parete è rivestita con una lamiera di acciaio al carbonio a tenuta vapore, e nella porzione inferiore, per un'altezza di 5000 mm, è protetta dal contatto diretto con l'LNG fuoriuscito, tramite una lamiera secondaria in acciaio al 9% nickel ancorata nella parete stessa e tramite un isolamento criogenico a formare una protezione d'angolo.

La faccia esterna del muro include inserti in acciaio a supporto delle tubazioni, strumentazioni e altri equipaggiamenti.

Due aperture temporanee (tipicamente di dimensioni 5500 mm x 3500 mm and 3000 mm x 2500 mm) (**da confermare**) sono previste nella parete per esigenze costruttive. Sono ubicate sotto l'inserto di sommità del sistema di protezione d'angolo; verranno chiuse in modo provvisorio durante il sollevamento pneumatico del tetto e in via definitiva prima della fase di test.

1.3 LA COPERTURA A CUPOLA

La copertura (geometria con raggio sferico di 78000 mm) è spessa 400 mm nella parte centrale ed è maggiorata a 1400 mm di spessore nella zona periferica, dove è collegata con il muro esterno del serbatoio.

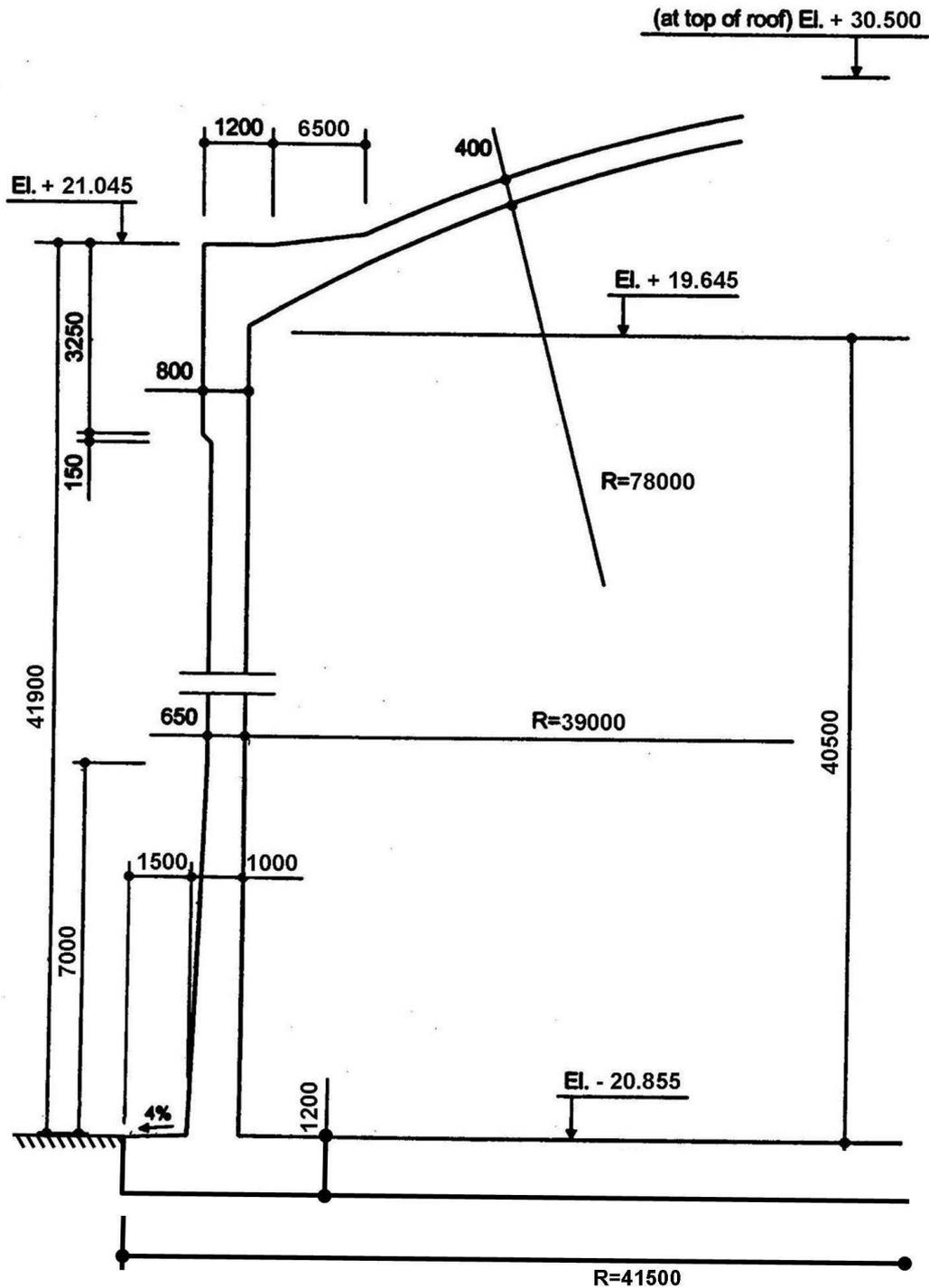
La copertura è realizzata in due fasi: getto di un primo strato di circa 200 mm su tutta l'area della copertura direttamente sulla lamiera di acciaio con una temporanea sovrappressione all'interno del serbatoio esterno. Quando il calcestruzzo ha raggiunto una sufficiente resistenza, viene gettato un secondo strato spesso 200 mm con idonea sequenza.

La copertura prevede un'apertura temporanea per scopi costruttivi (costruzione del serbatoio interno).

La faccia esterna della copertura prevede dei plinti, dei punti di ancoraggio e inserti metallici per l'ancoraggio delle apparecchiature; essa sostiene la piattaforma in copertura composta da membrane metalliche.

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione	
			3269-AA-SG-32000002I	
			Sheet Foglio	6 / 47
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004	

**Figura 1 : SERBATOIO ESTERNO IN CA : SEZIONE VERTICALE TIPICA
(Diaframmi di paratia non mostrati)**



	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione	
			3269-AA-SG-32000002I	
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio	7 / 47
			Issue Emiss.	D01
			Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004	

2 SPECIFICHE E CODICI DI PROGETTO

Il progetto strutturale degli elementi in c.a. e c.a.p. del serbatoio esterno sarà condotto in accordo alle seguenti Specifiche Tecniche e Norme di Progetto.

2.1 SPECIFICHE DEL PROGETTO

Le Specifiche di Progetto Principali relative al progetto del serbatoio esterno e alle analisi sono:

- MF-20-MF4A-001 : LNG Storage Tank Specification
- MF-20-MF4-001 : LNG Tank Arrangement and Typical details
- MF-20-G11-001 : Scope of Work - LNG Tank Design & Construction - Full Containment LNG Tank
- PR-20-PR22-001 : LNG Tank Data Sheet
- PE-00-PE01-002 : Project Design Data
- Report B34502-03 : Factual Report on Phase I and II Site Investigation - FUGRO
- Report 34502-6 : Seismic Hazard Assessment Report – FUGRO

Le Specifiche di Progetto di cui sopra saranno aggiornate in accordo alle revisioni in atto del FEED.

2.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le principali Norme di Progetto relative al progetto strutturale del serbatoio esterno sono:

- BS 8110 : Structural Use of Concrete, Parts 1 (1997) + amendments to 2002
- BS 8110 : Structural Use of Concrete, Parts 2 (1985) + amendments to 2001
- BS 4449 : Carbon Steel Bars for the Reinforcement of Concrete
- BS 5896 : High Tensile Steel Wire and Strand for the Prestressing of Concrete
- BS 4447 : The Performance of Prestressing Anchorages for Post-Tensioned Construction
- D.M. 14/01/2008 : Norme tecniche per le costruzioni (G.U.n29 del 4 febbraio 2008)
- UNI EN 14620-1:2006 : Design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed steel tanks for the storage of refrigerated, liquefied

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio	8 / 47	Issue Emiss.	D01
			Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

- gases with operating temperatures between 0°C and - 165°C
- UNI EN 1473:2007 : Installazioni ed equipaggiamenti per il gas naturale liquefatto (GNL) – Progettazione delle installazioni di terra.
 - BGA-ENG-LNG-TS-0005 : BG Standard – LNG – Refrigerated Product Storage Tanks
 - UNI EN 206-1 : Concrete requirements
 - UNI EN 1998-4:2000 : Design of structures for earthquake resistance – part 4: silos, tanks and pipelines

2.3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [1] 3269-AA-SG-32000001I-ISF01 - IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL
- [2] 3269-AA-CS-32000001I-ISF01 - RELAZIONE DI CALCOLO STATICO DEL SERBATOIO ESTERNO IN CA E CAP
- [3] 3269-AA-CD-32000002-ISF01 - ANALISI DINAMICA DEI SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL
- [4] 3269-AA-CD-32000003-ISF01 - RELAZIONE DI CALCOLO DEL SERBATOIO ESTERNO IN CA E CAP PER CONDIZIONI SISMICHE
- [5] 3269-AA-CS-32000002I-ISF01 - ESEMPIO DI CALCOLO PER FUORIUSCITA DI LNG - PARTE 1 : ANALISI TERMICA
- [6] 3269-AA-CS-32000003I-ISF01 - ESEMPIO DI CALCOLO PER FUORIUSCITA DI LNG - PARTE 2 : ANALISI STRUTTURALE

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	9 / 47	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

3 MATERIALI

3.1 CALCESTRUZZO

La resistenza minima a compressione $f_{cu,28}$ determinata su provini di forma cubica a 28 giorni (secondo BS 8110) è per i seguenti:

- Calcestruzzo per cemento armato (piastra di base e copertura) : $f_{cu,28} = 40$ MPa
- Calcestruzzo per elementi post-tesi (muro circolare) : $f_{cu,28} = 50$ MPa

La corrispondente resistenza a compressione cilindrica $f_{cyl,28}$ determinata su provini cilindrici è ottenuta applicando un fattore di equivalenza di 0.80 (Eurocodice 2, ENV 1992-1-1, Tabella 3.1) :

- Calcestruzzo per cemento armato (piastra di base e copertura) : $f_{cyl,28} = 32$ MPa
- Calcestruzzo per elementi post-tesi (muro circolare) : $f_{cyl,28} = 40$ MPa

Le altre caratteristiche del calcestruzzo secondo BS 8110 sono (in Mpa) :

- Resistenza cubica caratteristica (al tempo t) : $f_{cu,t}$ (BS 8110/2, Table 7.1)
- Modulo di Young (28 giorni) ⁽¹⁾ : $E_{C,28} = 20 + 0.2 f_{cu,28}$
- Modulo di Young (al tempo t) ⁽¹⁾ : $E_{C,t} = E_{C,28} \cdot (0.4 + 0.6 f_{cu,t}/f_{cu,28})$
- Coefficiente di Poisson non fessurato : $\nu = 0.2$
- Coefficiente di Poisson fessurato : $\nu = 0.0$
- Coefficiente di espansione termica : $\alpha = 10^{-5}$ (/°C)

⁽¹⁾ BS 8110, Parte 2, Sezione 7.2. Si noti che $E_{C,28}$ è espresso in GPa, mentre $f_{cu,28}$ è dato in MPa.

La curva sforzo/deformazione da utilizzare per i calcoli SLU è data in BS 8110, Parte 1, Figura 2.1. Essa coincide con analoga curva prescritta nelle NTC'08.

Gli effetti differiti sulla struttura dovuti a creep e ritiro sono valutati secondo BS 8110, Parte 2, Sezione 7. L'Eurocodice 2 e CEB/FIP Model Code 1990 saranno utilizzati a supporto delle BS 8110 se necessario.

La densità del calcestruzzo utilizzata per il calcolo del peso proprio strutturale dei vari elementi in calcestruzzo sarà presa pari a 2.5 (peso specifico di 25 kN/m³).

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	10 / 47	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

3.2 ARMATURE

Tutte le barre di armatura saranno barre nuove in acciaio nervate ad alto snervamento, laminate a caldo, in accordo alle prescrizioni di BS 4449 e con specifica resistenza caratteristica di 460 N/mm² (BS 4449, Grade 460) o equivalente.

Tuttavia, al fine di rendere armonico il progetto con le prescrizioni delle Norme Italiane (NTC'08), si utilizzerà per il presente progetto un valore ridotto pari a 450 N/mm² per la resistenza caratteristica a snervamento specifica (acciaio per C.A., B450C, barre in acciaio ad alto snervamento).

Quindi le caratteristiche di progetto per le armature sono:

- Resistenza caratteristica a snervamento : $f_y = 450$ MPa
- Modulo di Young : $E_s = 20000$ MPa
- Coefficiente di espansione termica : $\alpha = 10^{-5}$ (/°C)

La curva sforzo/deformazione è data in BS 8110, Parte 1, Figura 2.2

Le barre di armatura idonee anche nel caso di condizioni di fuoriuscita di LNG lungo la faccia interna del muro esterno dovranno soddisfare i requisiti minimi per basse temperature (sotto i -20°C) della norma UNI EN 14620-3:2006, appendice A.3.

Barre in acciaio (con f_y 450 MPa) con diametri sino a 40 mm possono essere impiegate.

3.3 POST-TENSIONE

Il sistema di post-tensione sarà conforme ai requisiti di BS 5896 e UNI EN 14620-3:2006.

I cavi saranno composti da trefoli bonificati, a bassissimo rilassamento, assemblati da fili trafilati a freddo. Saranno posizionati come segue:

- cavi circolari: in guaine d'acciaio semirigide,
- cavi verticali: entro tubi rigidi per la parte inferiore, non rettilinea, entro guaine semirigide per la parte superiore (zona rettilinea)

I trefoli saranno del tipo a 7 fili, grado 1860 MPa, con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- Area nominale : $S = 150$ (mm²)
- Resistenza caratteristica : $f_{p(1)k} = 1860$ (N/mm²)
- Modulo di Young : $E_s = 195$ (kN/mm²)
- Coefficiente di dilatazione termica : $\alpha = 10^{-5}$ (/°C)

Oltre alle proprietà meccaniche, si adotteranno i seguenti coefficienti per il calcolo delle perdite di precompressione per attrito:

- Attrito per curvatura 0.19/radian
- Attrito per contatti accid. cavo/guaina 0.002/m

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	11 / 47	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

Le forze e le perdite di post-tensione (inclusi gli effetti del ritiro, del creep e del rilassamento dei cavi) sono calcolate secondo BS 8110, Parte 1, Sezione 4. L'Eurocodice 2 e CEB/FIP Model Code 1990 saranno utilizzati a supplemento di BS 8110 se necessario. La curva sforzi – deformazioni è definita in BS 8110, Parte 1, Figura 2.3.

3.4 LAMIERA DI RIVESTIMENTO

Le caratteristiche di progetto delle lamiere che rivestono internamente la parete cilindrica e la copertura a cupola saranno le seguenti.

- Resistenza caratteristica : $f_y = 220$ (N/mm²) (S235JR UNI 10025/85 o eq.)
- Modulo di Young : $E_s = 206$ (kN/mm²)
- Coefficiente di espansione termica : $\alpha = 10^{-5}$ (/°C)

3.5 TERRENO : DATI GEOTECNICI

L'interazione suolo – struttura verrà modellata con molle elastiche poste sotto la piastra di fondazione.

Si riportano nel seguito i dati utilizzati per i calcoli statici e dinamici:

- Rigidezza globale per l'analisi sismica:

Le rigidezze della fondazione sono date dalle seguenti formule:

- Rigidezza orizzontale : $k_x = \frac{32 \cdot (1 - \nu) \cdot G \cdot r}{(7 - 8 \cdot \nu)}$
- Rigidezza verticale : $k_y = \frac{4 \cdot G \cdot r}{(1 - \nu)}$
- Rigidezza di rocking : $k_r = \frac{8 \cdot G \cdot r^3}{3 \cdot (1 - \nu)}$

Con:

- Raggio di fondazione : $r = 41.50$ m
- Coefficiente di Poisson : $\nu = 0.40$
- Modulo di taglio: $G = 200$ MPa = 20000 t/m²

Per tenere conto della stratigrafia, il calcolo è condotto con valori di limite inferiore e superiore calcolati rispettivamente come $G/1.5$ e $1.5 G$. In aggiunta, per la rigidezza orizzontale k_x si utilizza un coefficiente di riduzione 0,75.

Si ottengono quindi i seguenti valori limite inferiore e superiore:

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	12 / 47	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

	<u>Limite inferiore</u>	<u>Limite superiore</u>
- Rigidezza orizzontale :	2.1410 ⁶ t/m	4.80 10 ⁶ t/m
- Rigidezza verticale:	3.7610 ⁶ t/m	8.45 10 ⁶ t/m
- Rigidezza di rocking :	4.4710 ⁹ tm/rd	10.1 10 ⁹ tm/rd

- Moduli di sottofondo per i modelli 3D:

I moduli di sottofondo del terreno sono necessari per i calcoli statici effettuati con la modellazione 3D presentata nel documento [2].

I moduli di reazione del terreno sono ottenuti dalle curve di spostamento della piastra di fondazione calcolate con il modello PLAXIS (software per il calcolo geotecnico) nella relazione di calcolo "Analisi dei cedimenti del pozzo". Per ulteriori dettagli in relazione al calcolo di tali moduli per il modello ad elementi finiti, vedere il documento [2], sezione 2.4.

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	13 / 47	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

4 PROGETTO / ANALISI E MODELLO DI CALCOLO

4.1 GENERALITA'

Il serbatoio esterno in calcestruzzo verrà calcolato sulla base dei seguenti due Stati Limite:

- **Stato limite di servizio: (SLE)** : comprende le condizioni di carico di costruzione, di normale esercizio, e di incidente di perdita di LNG. Lo Stato Limite di Esercizio sarà adottato per determinare l'apertura delle fessure per i carichi di costruzione e di normale esercizio, e la tenuta stagna della parete per la condizione di perdita di LNG (vedere i Criteri di Progetto corrispondenti, al par. 5.1 della presente relazione). Tutti i coefficienti di sicurezza parziali sono assunti pari a 1.
- **Stato Limite Ultimo (SLU)** : comprende tutte le condizioni di carico. Questo Stato Limite verrà considerato per determinare l'adeguatezza delle sezioni di calcestruzzo armato ai requisiti di BS 8110 e della vigente Normativa Italiana, impiegando i coefficienti di sicurezza parziali definiti nelle seguenti sezioni 4.2 e 4.3.

4.2 COEFFICIENTI PARZIALI DI SICUREZZA DEI MATERIALI

I seguenti coefficienti di sicurezza parziali per i materiali verranno impiegati per lo SLU (in accordo a Project Specification MF-20-MF4A-001, Sezione 3.3.1.b.ii, Tabella 1, e BS 8110, Parte 1, Tabella 2.2) :

	Condizioni Normali e di Prova	Condizioni Eccezionali
Armatura	1.15 (1)	1.00
Calcestruzzo per azioni normali e flettenti	1.50	1.00 (2)
Resistenza a taglio senza armature	1.50 (3)	1.10
Aderenza	1.50 (4)	1.00
Altro (ad es., sforzo all'appoggio)	1.50	1.00

- Note:
- (1) $\gamma_s = 1.15$ invece di 1.05 è utilizzato per evitare differenze significative tra BS e NTC'08.
 - (2) $\gamma_c = 1.00$ invece di 1.30 è utilizzato per evitare differenze significative tra BS e NTC'08 in condizioni eccezionali.
 - (3) $\gamma_c = 1.50$ invece di 1.25 è utilizzato per evitare differenze significative tra BS e NTC'08 in condizioni normali e di prova.
 - (4) $\gamma_c = 1.50$ invece di 1.40 è utilizzato per evitare differenze significative tra BS e NTC'08.

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-320000021			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	14 / 47	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

4.3 COEFFICIENTI PARZIALI DI SICUREZZA PER LE AZIONI SLU

Per le verifiche allo SLU si adotteranno i seguenti coefficienti di combinazione dei carichi (conformi alle Project Specification MF-20-MF4A-001, Sezione 3.3.1.b.ii, Tabella 2, BS 8110, Parte 1, Tabella 2.1 & Parte 2, Sezione 2.2 e BS 7777, Parte 3, Annesso A, Tabella A.3) :

		Combinazioni di carico											
		Costruzione e Manutenzione	Prova idraulica	Esercizio (vuoto)	Esercizio (pieno)	Esercizio (vuoto) + OBE	Esercizio (pieno) + OBE	Esercizio (vuoto) + SSE	Esercizio (pieno) + SSE	Spill LNG	Spill LNG + OBE	Irraggiamento da incendio	
		(1) C, M	T	O1	O2	O3	O4	U1	U2	U3	U4	U5	
Condizioni di carico base e coefficienti di combinazione	Pesi propri e permanenti ⁽²⁾	A	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Precompressione	A	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		B	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Temperatura e ritiro ⁽³⁾	A	1.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Prova	Pressione idraulica ⁽⁴⁾	A	---	1.20	---	---	---	---	---	---	---	---
			B	---	1.00	---	---	---	---	---	---	---	---
		GPessione Gas	A	---	1.20	---	---	---	---	---	---	---	---
			B	---	1.00	---	---	---	---	---	---	---	---
	Esercizio	Pressione idraulica ⁽⁴⁾	A	---	---	---	1.60	---	1.20	---	1.00	1.00	1.00
			B	---	---	---	1.00	---	1.00	---	1.00	1.00	1.00
		GPessione Gas	A	---	---	1.60	1.60	1.20	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00
			B	---	---	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Accidentale copertura ⁽⁵⁾	--	1.60	---	1.60	1.60	1.60	1.60	---	---	---	---	---
	Neve ⁽⁵⁾	--	1.60	---	1.60	1.60	1.60	1.60	---	---	---	---	---
Vento ⁽⁶⁾	--	1.40	---	1.40	1.40	1.40	1.40	---	---	---	---	---	
Sisma base OBE	--	---	---	---	---	1.20	1.20	---	---	---	1.00	---	
Sisma massimo SSE	--	---	---	---	---	---	---	1.00	1.00	---	---	---	
Spill LNG ^{(3) (4)}	--	---	---	---	---	---	---	---	---	1.00	1.00	---	
Irraggiamento da incendio ⁽³⁾	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1.00	

- Note :**
- 1) A = Avverso (sfavorevole), B = Benefico (favorevole)
 - 2) Pesi propri e permanenti : carichi gravitativi costanti (serbatoi interno ed esterno, isolamento)
 - 3) Temperatura e ritiro: carichi termici di esercizio e ritiro idraulico del calcestruzzo.
Durante lo "Spill LNG", ovvero la fuoriuscita accidentale di LNG dal serbatoio interno, e l'irraggiamento da incendio, le temperature e I gradienti termici sono calcolati sulla base delle condizioni al contorno imposte da tali condizioni termiche di emergenza.
 - 4) Pressione idraulica: pressione idrostatica sul fondo del serbatoio, prodotta dal liquido contenuto nel serbatoio interno in acciaio. Durante lo "Spill LNG" la pressione idrostatica dell'LNG si esercita anche sulla faccia interna del serbatoio esterno.
 - 5) Il carico accidentale della copertura e il carico di neve non vengono applicati simultaneamente.
 - 6) Il coefficiente vale 1,4 in presenza di vento senza accidentale di copertura e 1,2 in presenza di accidentale, che avrà anch'esso coefficiente 1,2 (8110, Part 1, Table 2.1).

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio	15 / 47	Issue Emiss.	D01
			Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

4.4 MISCELLANEA

4.4.1 Ricoprimento dell'armatura

Secondo BS 8110, Sezione 3.3, il ricoprimento dipende dalla classe di esposizione. Si considerano tre casi, i quali tutti involuppano, essendo più severi, le prescrizioni della normativa vigente in Italia:

a) **Facce interne del serbatoio (fondazione, parete, copertura):** queste facce non sono esposte ad ambiente aggressivo, essendo protette da lamiera d'acciaio, e pertanto si applica la condizione di esposizione "Moderata" come definita da BS 8110. Pertanto, in base BS 8110, Parte 1, Tabella 3.3, si assume un **ricoprimento nominale di 30 mm**.

b) **Faccia inferiore della fondazione :** questa faccia è protetta dall'attacco dell'ambiente dal calcestruzzo magro di livellazione e da una membrana protettiva multistrato, e pertanto è in condizioni di esposizione "severe" in base a BS 8110. Pertanto, in base BS 8110, Parte 1, Tabella 3.3, si assume un **ricoprimento nominale di 40 mm**.

c) **Facce esterne della parete cilindrica e della copertura:** queste superfici sono esposte ad atmosfera marina e dunque, ai fini della definizione del ricoprimento, sono classificate in condizione di esposizione "molto aggressive" in base a BS 8110. Pertanto, in base BS 8110, Parte 1, Tabella 3.3, si assume un **ricoprimento nominale di 50 mm**.

	IPOSTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	16 / 47	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

5 CRITERI DI PROGETTO

5.1 CRITERI DI PROGETTO PER GLI SLE

5.1.1 Condizioni di normale esercizio e Prova (escluso il Sisma OBE)

Parete cilindrica post-tesa e copertura a cupola:

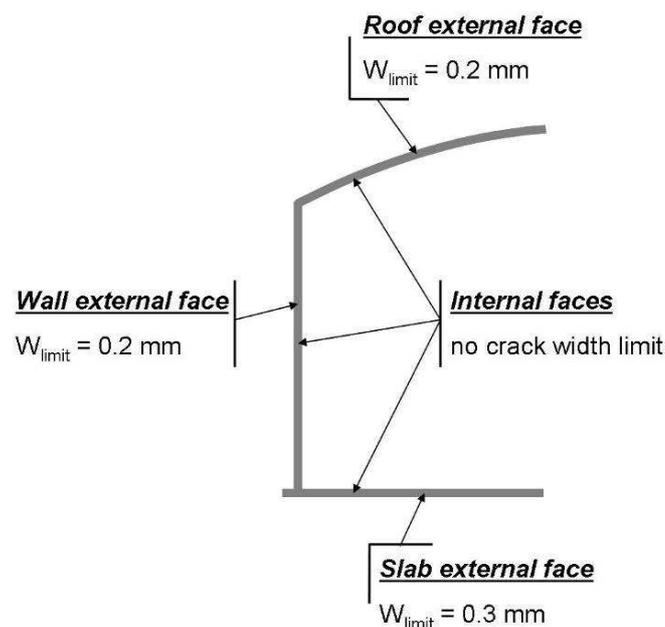
Apertura delle fessure : l'apertura delle fessure sarà limitata a 0.20 mm per le facce esterne, come indicato nella seguente figura (ciò corrisponde ad ammettere, in condizioni di Stato Limite di Servizio, la presenza di sforzi di trazione nella zona post-tesa).

Piastra di fondazione:

Apertura delle fessure : l'apertura delle fessure sarà limitata a 0,30 mm per la faccia inferiore della piastra di fondazione, come riportato nella seguente figura.

Spostamenti :

- Inclinazione del serbatoio : 1/500
- Cedimento del serbatoio lungo una linea radiale dalla periferia a centro del serbatoio (meno l'inclinazione rigida del serbatoio)
- Cedimento relativo lungo il perimetro della fondazione: 1/500, purché inferiore all'inclinazione rigida del serbatoio



	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio	17 / 47	Issue Emiss.	D01
			Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

Per entrambe le tipologie di sezione, la prescrizione di ampiezza delle fessure deriva dalle seguenti considerazioni:

- a) le armature sono considerate "poco sensibili alla corrosione" ai sensi delle NTC'08; infatti i cavi di precompressione sono all'interno di guaine metalliche, iniettate e nella porzione di sezione di calcestruzzo compressa o molto prossima all'asse neutro, sia in condizioni di carico quasi permanenti che in condizioni frequenti;
- b) la classe di esposizione assunta è XS1 per gli elementi esposti all'atmosfera marina (area marina senza contatto diretto con l'acqua di mare), e pertanto le condizioni ambientali sono "aggressive" ai sensi delle NTC'08.
- c) la classe di esposizione assunta è XC2 per gli elementi di fondazione, a diretto contatto con terreni non aggressivi, e pertanto le condizioni ambientali sono "ordinarie" ai sensi delle NTC'08.

5.1.2 Combinazioni di carico SLE con OBE

Per le combinazioni SLE incluso il sisma OBE, si verificano solamente gli sforzi nell'acciaio e nel calcestruzzo:

- Sforzi nell'acciaio : $(\sigma_s)_{max} < 0.75 f_y$
- Sforzi nel calcestruzzo: $(\sigma_c)_{max} < 0.50 f_{cu}$

Non si effettuano verifiche particolari sull'apertura delle fessure.

5.1.3 Condizioni anormali (condizione di spill)

Parete cilindrica post-tesa:

Criterio di resistenza :

- le sezioni della parete in calcestruzzo soggette al diretto contatto con l'LNG (ovvero, al di sopra della protezione termica d'angolo) devono mantenere una zona compressa pari almeno al 10% dello spessore della parete, e non meno di 80 mm;
- nella zona compressa così definita sarà comunque presente uno sforzo medio di almeno 1 MPa.
- l'apertura delle fessure nella parete deve essere limitata 0.30 mm nella zona attorno all'inserito di ancoraggio della protezione d'angolo, per assicurare che il liquido non possa penetrare nella parete o nell'isolazione retrostante la lamiera della protezione d'angolo stessa.

Piastra di fondazione e copertura:

Per gli SLE in condizioni anormali, non vengono date particolari prescrizioni per la fondazione e la copertura, ma solo per lo SLU di resistenza come definito al par. 5.2.

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	18 / 47	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

5.2 CRITERI DI PROGETTO PER GLI SLU

5.2.1 Condizioni SLU fondamentali (incluse le combinazioni OBE)

Parete cilindrica precompressa, piastra di fondazione e copertura a cupola:

Criterio di resistenza: la verifica di resistenza verrà condotta con le curve sforzi-deformazioni dei materiali (BS 8110, Parte 1 - figure 2.1, 2.2 e 2.3) con i coefficienti di sicurezza parziali dei materiali specificati al par. 4.2, per le varie combinazioni di carico di SLU definite al par. 4.3.

Analoga verifica verrà condotta in base ai criteri, alle resistenze dei materiali e ai coefficienti di sicurezza parziali previsti dalle vigenti NTC'08 (rif. 2.2 - DM 14-01-08), per le medesime condizioni di carico

5.2.2 Condizioni SLU di emergenza

Parete cilindrica precompressa, piastra di fondazione e copertura a cupola:

Criterio di resistenza: la verifica di resistenza verrà condotta con le curve sforzi-deformazioni dei materiali (BS 8110, Parte 1 - figure 2.1, 2.2 e 2.3) con i coefficienti di sicurezza parziali dei materiali specificati al par. 4.2, per le varie combinazioni di carico di SLU definite al par. 4.3.

Analoga verifica verrà condotta in base ai criteri, alle resistenze dei materiali e ai coefficienti di sicurezza parziali previsti dalle vigenti NTC'08 (rif. 2.2 - DM 14-01-08), per le medesime condizioni di carico

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	19 / 47	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

6 CONDIZIONI DI CARICO BASE

6.1 GENERALITA'

Questa sezione identifica e specifica le condizioni di carico elementari agenti sul serbatoio esterno in calcestruzzo, che verranno impiegate nelle diverse combinazioni dettagliate nel successivo Cap. 7.

Le condizioni di carico elementari sono:

Notazione

Carichi permanenti:

Peso proprio del serbatoio	:	DW
Pesi permanenti	:	PL _i
• Carichi accidentali	:	LL _i
• Carichi di prova:		
Prova pneumatica	:	TL _P
Prova pneumatica a depressione	:	TL _V
Prova Idrraulica	:	TL _H
• Carichi operativi (compreso il carico termico di normale esercizio):		
LNG alla quota di progetto	:	SL _{LNG}
sovrapressione di LNG	:	SL _{OV}
depressione di LNG	:	SL _{VA}
Massimo gradiente termico	:	SL _{θM}
Minimo gradiente termico	:	SL _{θm}
• Precompressione e perdite di precompressione	:	P _i
• Deformazioni del calcestruzzo:		
Ritiro	:	Sh
Viscosità	:	Cr
• Carichi climatici:		
Vento	:	Wi
Neve	:	Sn
• Carichi sismici :		
sisma OBE	:	OBE

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	20 / 47	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

sistema SSE : SSE

- Carichi di emergenza :
 - Spill LNG : EL_S
 - Radiazione termica (incendio) : EL_F
 - Carichi da impatto : EL_I

6.2 PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA IN CALCESTRUZZO : DW

Il peso proprio degli elementi strutturali è conteggiato automaticamente da Hercule, in base ad un peso specifico di 2,5 t/m³ e in base allo spessore dei singoli elementi.

6.3 CARICHI PERMANENTI VARI : PL_i

I carichi permanenti vari sono dovuti al serbatoio interno in acciaio, alla piattaforma sospesa, ai materiali di isolamento, alle lamiere d'acciaio collegate alla parete in c.a. e alla cupola, e alla piattaforma soprastante la copertura.

Ad ogni fase della costruzione vengono considerati solo i carichi effettivamente agenti, nella combinazione di carico per quella fase.

La lista dei carichi è la seguente:

- PL_A** : Strato inferiore dell'isolazione del fondo (sotto alla barriera secondaria in acciaio al 9% Ni)
- PL_B** : Strato superiore dell'isolazione del fondo (sopra alla barriera secondaria in acciaio al 9% Ni)
- PL_C** : Trave anulare in calcestruzzo sotto la lamiera in acciaio al 9%Ni del serbatoio interno
- PL_D** : Materasso anulare in perlite e lana di vetro fra I serbatoi interno ed esterno
- PL_E** : Lamiera in acciaio al 9% Ni del serbatoio interno
- PL_F** : Lamiera in acciaio al 9% Ni della protezione d'angolo ("corner protection")
- PL_G** : Lamiera in acciaio al carbonio interno parete cilindrica
- PL_H** : Pressione orizzontale della perlite sulla parete cilindrica
- PL_I** : Lamiera in acciaio al carbonio interno copertura a cupola e irrigidimenti

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio	21 / 47	Issue Emiss.	D01
			Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

PL_J : Piattaforma sospesa e isolamento

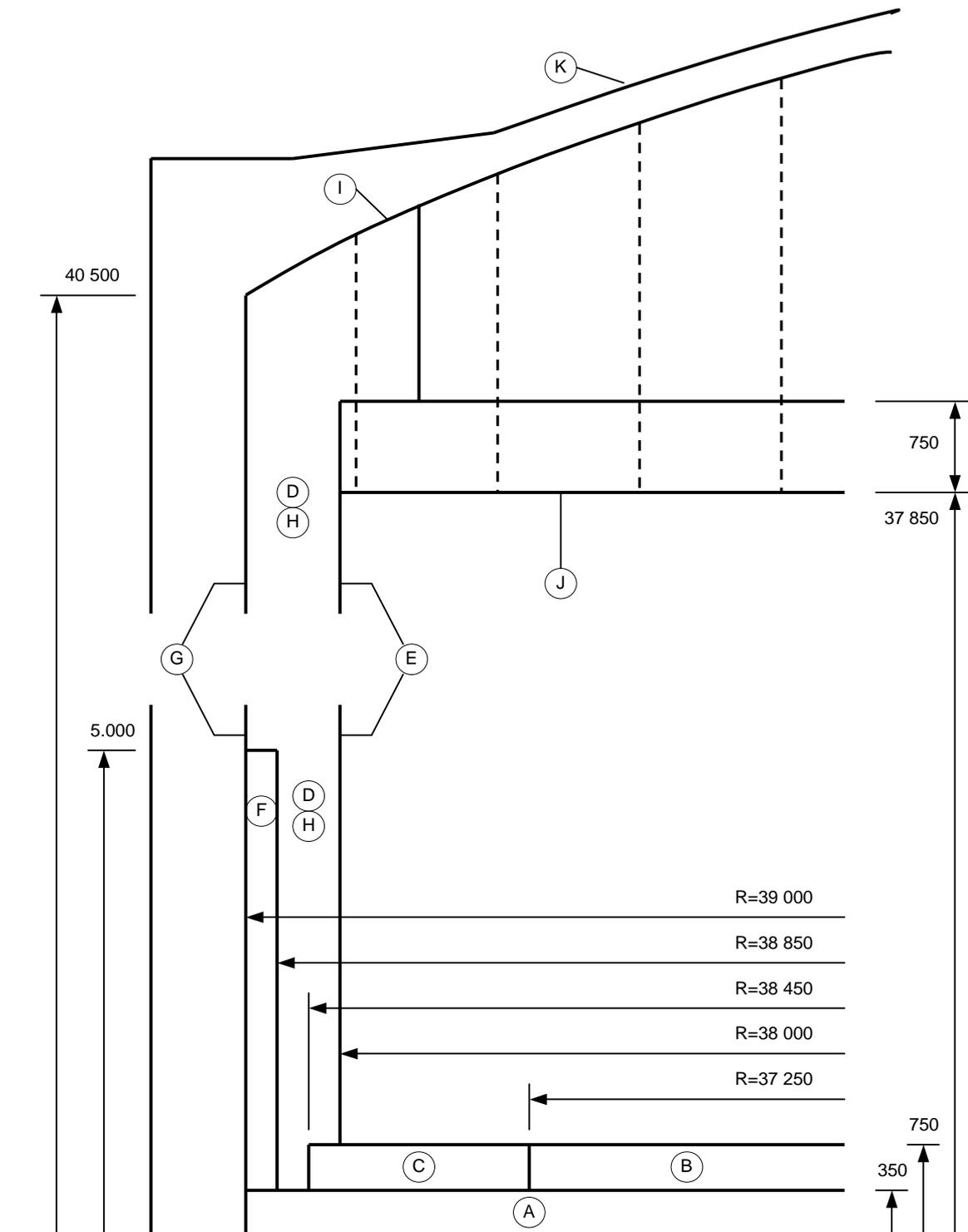
PL_K : Carico delle apparecchiature agente in copertura

PL_L : Carico delle apparecchiature agente sulla piattaforma in copertura

La figura 2, alla pagina seguente, mostra la collocazione schematica dei vari carichi permanenti, da PL_A a PL_M.

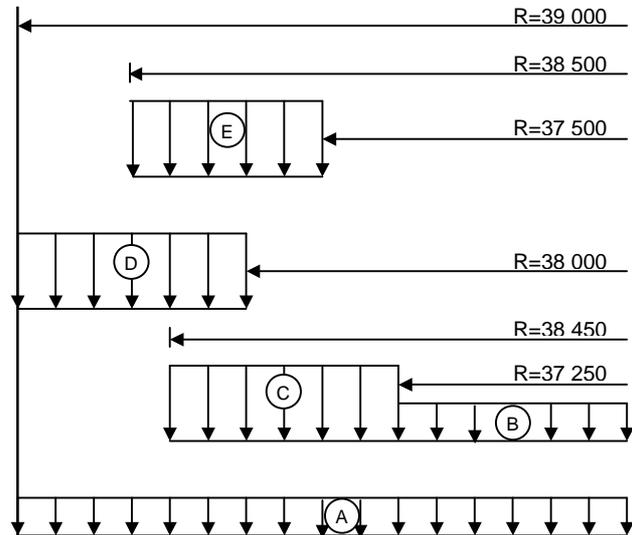
	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione	
			3269-AA-SG-32000002I	
			Sheet Foglio	22 / 47
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004	

Figura 2 : UBICAZIONE SCHEMATICA DEI CARICHI PERMANENTI



	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio	23 / 47	Issue Emiss.	D01
			Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

- ***I carichi permanenti $PL_A \dots PL_E$ agiscono in verticale sulla fondazione come dettagliato qui sotto (valori indicativi soggetti a modeste variazioni in fase di Progetto Esecutivo)***



PL_A: da $R_1 = 0.00$ m a $R_2 = 39.00$ m

$$S = 4778.36 \text{ m}^2$$

Corner Protection (inferiore):	175.0 t
Calcestruzzo strato inferiore:	860.0 t
Foamglass strato inferiore:	143.0 t
Lamiera inferiore:	191.0 t

Carico uniformemente distribuito sulla superficie: $1\,369.0 \text{ t} / S = \underline{\underline{0.286 \text{ t/m}^2}}$

PL_B: da $R_1 = 0.00$ a $R_2 = 37.25$ m

$$S = 4\,359.16 \text{ m}^2$$

Calcestruzzo strato superiore:	860.0 t
Foamglass strato superiore:	143.0 t
Sabbia asciutta strato superiore:	726.0 t
Lamiera di fondo del serbatoio in acciaio al 9% Ni (centr.):	175.0 t

Carico uniformemente distribuito sulla superficie: $1\,904.0 \text{ t} / S = \underline{\underline{0.437 \text{ t/m}^2}}$

PL_C: da $R_1 = 37.25$ a $R_2 = 38.45$ m

$$S = 285.38 \text{ m}^2$$

Calcestruzzo della trave anulare:	206.0 t
Serbatoio interno, fascia anulare inferiore:	23.0 t
Piastra anulare della corner protection:	25.0 t

Carico uniformemente distribuito sulla superficie: $254.0 \text{ t} / S = \underline{\underline{0.890 \text{ t/m}^2}}$

	I POTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio	24 / 47	Issue Emiss.	D01
			Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

PL_D: da R₁ = 38.00 m a R₂ = 39.00 m S = 241.90 m²
 Perlite anulare: 580.0 t
 Carico uniformemente distribuito sulla superficie: 580.0 t / S = 2.400 t/m²

PL_E: da R₁ = 37.50 m a R₂ = 38.50 m: S = 238.76 m²
 Lamiere e irrigidimenti al 9% Ni del serbatoio interno
 e riserva di perlite sulla piastra di chiusura: 1 300.0 t
 Carico uniformemente distribuito sulla superficie: 1 300.0 t / S = 5.445 t/m²

- ***I carichi permanenti PL_F ... PL_H agiscono in verticale (in orizzontale PL_H) sulla faccia interna della parete cilindrica, come sotto specificato:***

PL_F: da H₁ = 0.40 m a H₂ = 5.00 m: S = 1 127.00 m² (at R = 39.00 m)
 Parete della Corner Protection: 68.0 t
 Carico uniformemente distribuito sulla superficie: 68.0 t / S = 0.060 t/m²

PL_G: da H₁ = 0.000 m a H₂ = 40.50 m: S = 9 925.00 m² (at R = 39.00 m)
 Lamiera di parete: 390.0 t
 Anello teso / compresso: 59.0 t
 Carico uniformemente distribuito sulla superficie: 449.0 t / S = 0.045 t/m²

PL_H: da H₁ = 0.40 m a H₂ = 40.50 m (horizontal pressure on side wall):
 Pressione della perlite : 2.0 kN/m²
 Carico uniformemente distribuito sulla superficie: 2.0 kN/m² = 0.2040 t/m²

- ***I carichi permanenti PL_I ... PL_M agiscono in verticale sulla copertura a cupola come sotto specificato:***

PL_I: da R₁ = 0.000 m a R₂ = 39.00 m: S = 4779 m² (projected area)
 Lamiere del tetto in acciaio al carbonio e irrigidimenti: 460.0 t
 Carico uniformemente distribuito sulla superficie: 460.0 t / S = 0.096 t/m²

	IIPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio	25 / 47	Issue Emiss.	D01
			Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

PL_J: da $R_1 = 0.000$ m a $R_2 = 39.00$ m: $S = 4779 \text{ m}^2$ (projected area)

Piattaforma sospesa e isolamento: 157.0 t

Carico uniformemente distribuito sulla superficie: $157.0 \text{ t} / S = \underline{0.033 \text{ t/m}^2}$

PL_K: (carichi locali dovuti alle attrezzature sulla copertura a cupola):

Totale carichi concentrati: $300.0 \text{ t} = \underline{300.0000 \text{ t}}$

PL_L: non utilizzato nella presente fase di progetto preliminare. Tale carico sarà definito nella fase di progetto finale.

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio	26 / 47	Issue Emiss.	D01
			Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

6.4 CARICHI ACCIDENTALI VARI : LL_i

Il serbatoio esterno è soggetto a diversi carichi accidentali, LL_A ... LL_D, applicati alla copertura, alla soprastante piattaforma e alla piattaforma sospesa, sia in condizioni di esercizio che in fase di costruzione. Tali carichi sono:

LL_A : Carichi di esercizio sulla copertura, che consistono in:

- Carico uniforme distribuito sulla copertura (in proiezione) 1.2 kN/m² = 0.1223t/m²
- Carico concentrato su un'area quadrata di 300x300 mm² 5.0 kN = 0.5097t

(vedere EN 14620-1:2006, Parte 1, Sezione 7.3.2.2.2)

LL_B : Carichi di esercizio sulla piattaforma sopra la copertura, che consistono:

Non utilizzato nella presente fase di progetto preliminare. Tale carico sarà definito nella fase di progetto finale.

LL_C : Carichi di esercizio sulla piattaforma sospesa, consistenti in:

- Carico uniformemente distribuito 0.5 kN/m² = 0.0510t/m²
- Carico concentrato su un'area quadrata di 300x300 mm² 1.5 kN = 0.1529t

(secondo Project Specification MF-20-MF4A-001, Section 4.4.3)

Da sostituire con i nuovi riferimenti del nuovo FEED

LL_D : Carichi di costruzione sulla copertura, che consistono in:

- Carico uniforme distribuito sulla copertura (in proiezione) 0.15 t/m² = 0.1500t/m²
(transito di personale)
- Carico concentrato alla sommità della copertura 1.5 t = 1.5000t
(fascio di barre d'armatura)

	IPOSTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio	27 / 47	Issue Emiss.	D01
			Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

6.5 CARICHI DI PROVA : TL_i

Il serbatoio esterno verrà provato sia pneumaticamente che idraulicamente.

Durante questi test, agiscono sulla struttura i carichi del serbatoio interno in acciaio al 9%Ni, dell'isolazione del fondo e della protezione d'angolo, come pure i carichi permanenti della piattaforma sospesa. La perlite nello spazio anulare e l'isolazione della piattaforma sospesa non sono invece ancora posti in opera.

TL_p : Test pneumatico

- Il serbatoio è provato per la tenuta pneumatica di una sovrappressione massima d'aria uguale a +362.5 mbarg, agente sull'intera superficie interna del serbatoio, ovvero piastra di fondazione parete e copertura.

Sovrappressione d'aria +362.5 mbarg : +3.695 t/m²

- In aggiunta, il serbatoio interno d'acciaio è riempito con acqua fino ad un'altezza H = 17,79 m dal fondo del serbatoio stesso (la densità di progetto dell'acqua è assunta uguale 1000 kg/m³) : la pressione risultante interessa la fondazione fra i raggi R₁ = 0.000 m e R₂ = 38.00 m.

Pressione dell'acqua di altezza 16.700 m: $\rho_w \cdot H =$ 17.790 t/m²

TL_v : Test pneumatico a depressione

- Il serbatoio è provato per la tenuta pneumatica di una depressione massima d'aria uguale a -5 mbarg, agente sull'intera superficie interna del serbatoio, ovvero piastra di fondazione parete e copertura.

Depressione d'aria -5 mbarg : -0.051 t/m²

- In aggiunta, il serbatoio interno d'acciaio è riempito con acqua fino ad un'altezza H = 17,79 m dal fondo del serbatoio stesso (la densità di progetto dell'acqua è assunta uguale 1000 kg/m³) : la pressione risultante interessa la fondazione fra i raggi R₁ = 0.000 m e R₂ = 38.00 m.

Pressione dell'acqua di altezza 16.700 m: $\rho_w \cdot H =$ 17.790 t/m²

TL_H : Prova idraulica

- Il serbatoio interno in acciaio è provato con un'altezza d'acqua H = 22.238 m dal fondo del serbatoio stesso (la densità di progetto dell'acqua è assunta uguale 1000 kg/m³) : la pressione risultante interessa la fondazione fra i raggi R₁ = 0.000 m e R₂ = 38.00 m.

Pressione dell'acqua di altezza 20.850 m: $\rho_w \cdot H =$ 22.238 t/m²

	IPOSTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio	28 / 47	Issue Emiss.	D01
			Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

6.6 CARICHI DI ESERCIZIO : SL_i

Il contenitore dell'LNG in condizioni di esercizio può essere o vuoto o pieno di LNG, con gradienti termici che si sviluppano nelle strutture in calcestruzzo e può essere soggetto ad una sovrappressione e ad una depressione massima.

SL_{LNG} : Pressione idrostatica di esercizio dell'LNG

- Il serbatoio interno in acciaio è riempito di LNG fino ad un'altezza massima $H = 36.53$ m dal fondo del stesso (la densità di progetto dell'LNG è assunta uguale 487 kg/m^3) : la pressione risultante interessa la fondazione fra i raggi $R_1 = 0.000$ m e $R_2 = 38.00$ m.

Pressione dell'LNG di altezza 36.53 m: $\rho_{LNG} \cdot H = \underline{\underline{17.79 \text{ t/m}^2}}$

SL_{OV} : Sovrappressione d'esercizio

- Il contenitore è soggetto ad una sovrappressione massima uguale a +290 mbarg, agente sull'intera superficie interna del serbatoio, ovvero piastra di fondazione parete e copertura:

Sovrappressione +290 mbarg : $\underline{\underline{+2.9562 \text{ t/m}^2}}$

SL_{VA} : Depressione d'esercizio

- Il contenitore è soggetto ad una depressione massima uguale a -5 mbarg agente sull'intera superficie interna del serbatoio, ovvero piastra di fondazione parete e copertura:

Depressione -5 mbarg : $\underline{\underline{-0.0510 \text{ t/m}^2}}$

$SL_{\theta M}$ and $SL_{\theta m}$: Gradienti Termici

- A causa della differenza fra la temperatura dell'LNG (-170°) e l'ambiente, nella struttura si sviluppano gradienti termici.

La temperatura nella piastra di fondazione rimane costante e pari a $+5.0^\circ \text{C}$, essendo controllata da un sistema di riscaldamento annegato nella piastra.

La temperatura ambientale esterna può variare da un minimo di -5°C a un massimo di $+45^\circ \text{C}$ (secondo la Project Specification PE-00-P E01-002, Sezione 2.2.B, **da aggiornare con i riferimenti del nuovo FEED**).

Le distribuzioni di temperatura in esercizio vengono ottenute da un'analisi termica delle condizioni a regime, che tiene conto dei materiali isolanti e del sistema di riscaldamento della piastra di fondazione.

Pertanto, si considerano i gradienti termici per i due casi:

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	29 / 47	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

$SL_{\theta M}$ calcolato con la temperatura esterna massima di +45 °C

$SL_{\theta M}$ calcolato con la temperatura esterna minima di -5 °C

6.7 CARICHI DI PRECOMPRESSIONE : P_i

La parete del serbatoio verrà precompressa sia verticalmente che orizzontalmente. Le forze di precompressione variano nel tempo a causa dell'evoluzione del ritiro e della viscosità del calcestruzzo, e del rilassamento dei cavi. Di tali variazioni si tiene conto nel progetto. Si considerano due casi di carico:

P_1 : Carichi di precompressione iniziali.

- Sono calcolati con le perdite di tensione iniziali (che comprendono le perdite per attrito e le perdite concentrate agli ancoraggi) e non considerano invece le perdite differite.

P_2 : Carichi di precompressione finali.

- Sono calcolati con le perdite totali (iniziali + differite).

6.8 DEFORMAZIONI ANELASTICHE : RITIRO(Sh) e VISCOSITA'(Cr)

Si tiene conto degli effetti di ritiro (Sh) e viscosità (Cr) come di effetti dipendenti dal tempo, in base alle fasi esecutive della struttura.

Sh : Ritiro.

- Si seguono le raccomandazioni di BS 8110, Parte 2, Sezione 2.4. In base alla Project Specification **PE-00-PE01-002, Sezione 2.2.B, (da aggiornare con i riferimenti del nuovo FEED)** l'umidità relativa dell'aria di riferimento, registrata al sito, è del 75%.

Il ritiro idraulico a lungo termine verrà assunto quindi pari a:

- 1.0 10^{-4} m/m per la piastra di fondazione (calcestruzzo confinato),
- 2.0 10^{-4} m/m per la parete (spessore efficace superiore a 600 mm),
- 2.5 10^{-4} m/m per la cupola (spessore efficace 400 mm).

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio	30 / 47	Issue Emiss.	D01
			Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

Cr : Viscosità.

- Si seguono le raccomandazioni di BS 8110, Part 2, Section 2.3. In base alla Project Specification **PE-00-PE01-002, Sezione 2.2.B** (da aggiornare con i riferimenti del nuovo FEED), l'umidità relativa dell'aria di riferimento, registrata al sito, è del 75%.

I coefficienti di viscosità a lungo termine verranno assunti quindi pari a:

$\Phi = 0.90$ per la piastra di fondazione (calcestruzzo confinato),

$\Phi = 1.25$ per la parete (spessore efficace superiore a 600 mm)

$\Phi = 1.40$ per la cupola (spessore efficace 400 mm).

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	31 / 47	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

6.9 CARICHI CLIMATICI : VENTO (Wi) e NEVE (Sn)

Wi : Vento.

- Vengono seguite le raccomandazioni date nel documento "Site Data" (3269-YG-SG-1Z0000002):

Pressione del vento fino ad un'altezza dal suolo di 40 m = $100 \text{ kg/m}^2 = 0.1000 \text{ t/m}^2$
 Pressione del vento oltre l'altezza dal suolo di 40 m = $120 \text{ kg/m}^2 = 0.1200 \text{ t/m}^2$

Sn : Neve.

- Vengono seguite le raccomandazioni date nel documento "Site Data" (3269-YG-SG-1Z0000002):

Carico distribuito della neve = $60 \text{ kg/m}^2 = 0.060 \text{ t/m}^2$

6.10 CARICHI SISMICI

6.10.1 Generalità

I carichi sismici saranno calcolati utilizzando il metodo di calcolo spettrale per entrambe le accelerazioni, orizzontale e verticale.

Gli spettri utilizzati saranno l'involuppo dei due seguenti spettri:

- Spettri FUGRO (secondo il Report 34502-6)
- Spettri secondo NTC'08 (= D.M. 14/01/08)

Più precisamente, il progetto sarà condotto come segue:

- **Per lo stato limite ultimo (ovvero per condizioni anormali):** lo Spettro di Progetto sarà l'involuppo dei due seguenti spettri:
 - spettro SSE Fugro,
 - spettro NTC'08 "SLC - stato limite di prevenzione del collasso" con periodo di ritorno $T_R = 1950$ anni e calcolato con i seguenti parametri:

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	32 / 47	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

- $a_g = 0.065$ g (accelerazione di picco al suolo)
- $F_0 = 2.743$ (massimo valore di amplificazione spettrale per accelerazione orizzontale)
- $T_C^* = 0.531$ s (periodo a velocità spettrale costante)

Lo spettro involuppo risultante sarà definito come "SSE" nel seguito della presente relazione.

- **Per lo stato limite di servizio (ovvero per condizioni normali):** lo Spettro di Progetto sarà l'involuppo dei tre seguenti spettri:

- spettro OBE Fugro,
- spettro NTC'08 "SLO - stato limite di operatività" con periodo di ritorno $T_R = 60$ anni e calcolato con i seguenti parametri:
 - $a_g = 0.020$ g (accelerazione di picco al suolo)
 - $F_0 = 2.306$ (massimo valore di amplificazione spettrale per accelerazione orizzontale)
 - $T_C^* = 0.217$ s (periodo a velocità spettrale costante)
- spettro NTC'08 "SLD - stato limite di danno" con periodo di ritorno $T_R = 101$ anni e calcolato con i seguenti parametri:
 - $a_g = 0.026$ g (accelerazione di picco al suolo)
 - $F_0 = 2.308$ (massimo valore di amplificazione spettrale per accelerazione orizzontale)
 - $T_C^* = 0.312$ s (periodo a velocità spettrale costante)

Lo spettro involuppo risultante sarà definito come "OBE" nel seguito della presente relazione.

Nei paragrafi seguenti si danno nel dettaglio gli spettri Fugro e NTC'08 e, nella sezione 5.10d, si sintetizzano i dati per gli Spettri di Progetto.

6.10.2 Spettri FUGRO

Accelerazioni di picco al suolo orizzontali e spettri di risposta come segue:

- Accelerazione di picco al suolo (PGA) :

PGA	OBE	SSE
Orizzontale	0.097	0.208
Verticale	0.097	0.208

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-SG-32000002I		
			Sheet Foglio	33 / 47	Issue Emiss.
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004		

- Spettri in condizioni di sito libero, con smorzamento convenzionale del 5%:

Frequenza (Hz)	Periodi (s)	Accelerazioni spettrali orizzontali (g)		Accelerazioni spettrali verticali (g)	
		OBE	SSE	OBE	SSE
33.33	0.030	0.097	0.208	0.097	0.208
25.00	0.040	0.108	0.225	0.108	0.225
15.00	0.066	0.139	0.283	0.139	0.283
10.00	0.100	0.175	0.320	0.175	0.320
6.67	0.150	0.201	0.426	0.201	0.426
5.00	0.200	0.218	0.490	0.218	0.490
3.33	0.300	0.264	0.592	0.176	0.394
2.50	0.400	0.233	0.520	0.155	0.345
2.00	0.500	0.209	0.483	0.139	0.321
1.33	0.750	0.218	0.531	0.145	0.353
1.00	1.000	0.182	0.416	0.121	0.277
0.67	1.500	0.087	0.203	0.058	0.135
0.50	2.000	0.050	0.116	0.033	0.077
0.33	3.000	0.022	0.055	0.015	0.037
0.25	4.000	0.012	0.029	0.008	0.019
0.10	10.000	0.009	0.023	0.006	0.015

- Per smorzamenti viscosi diversi dal 5%, gli spettri di risposta sono ottenuti scalando quelli con smorzamento convenzionale tramite il coefficiente η :

Smorzamento effettivo β (% rispetto al critico)	Rapporto η delle accelerazioni spettrali con smorzamento β rispetto a quello critico del 5%	
	f > 0.5 Hz	f < 0.5 Hz
< 2%	1.25	1.25
5%	1.00	1.00
10%	0.77	0.83
20%	0.56	0.67

6.10.3 Spettri NTC'08

- Spettri in condizioni di sito libero, con smorzamento convenzionale del 5%:

SISMA ORIZZONTALE NTC'08					
T	NTC'08 SLO	T	NTC'08 SLD	T	NTC'08 SLC
0,000	0,024	0,000	0,031	0,000	0,078
0,108	0,055	0,144	0,047	0,221	0,213
0,324	0,055	0,433	0,047	0,663	0,213
0,389	0,046	0,493	0,041	0,720	0,196
0,453	0,039	0,554	0,037	0,777	0,182

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-SG-32000002I		
			Sheet Foglio	34 / 47	Issue Emiss.
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004		

0,518	0,034	0,614	0,033	0,834	0,169
0,582	0,030	0,675	0,030	0,891	0,159
0,647	0,027	0,735	0,028	0,948	0,149
0,711	0,025	0,795	0,026	1,005	0,141
0,776	0,023	0,856	0,024	1,062	0,133
0,840	0,021	0,916	0,022	1,119	0,126
0,905	0,020	0,977	0,021	1,175	0,120
0,969	0,018	1,037	0,020	1,232	0,115
1,034	0,017	1,098	0,019	1,289	0,110
1,098	0,016	1,158	0,018	1,346	0,105
1,163	0,015	1,219	0,017	1,403	0,101
1,227	0,014	1,279	0,016	1,460	0,097
1,292	0,014	1,339	0,015	1,517	0,093
1,356	0,013	1,400	0,015	1,574	0,090
1,421	0,012	1,460	0,014	1,631	0,087
1,485	0,012	1,521	0,013	1,688	0,084
1,550	0,011	1,581	0,013	1,745	0,081
1,615	0,011	1,642	0,012	1,802	0,078
1,679	0,011	1,702	0,012	1,859	0,076
1,790	0,009	1,811	0,011	1,961	0,068
1,900	0,008	1,921	0,009	2,063	0,062
2,011	0,007	2,030	0,008	2,165	0,056
2,121	0,007	2,140	0,008	2,267	0,051
2,232	0,006	2,249	0,007	2,369	0,047
2,342	0,005	2,359	0,006	2,471	0,043
2,453	0,005	2,468	0,006	2,573	0,040
2,563	0,005	2,577	0,005	2,674	0,037
2,674	0,004	2,687	0,005	2,776	0,034
2,784	0,004	2,796	0,004	2,878	0,032
2,895	0,004	2,906	0,004	2,980	0,030
3,005	0,003	3,015	0,004	3,082	0,028
3,116	0,003	3,125	0,004	3,184	0,026
3,226	0,003	3,234	0,003	3,286	0,024
3,337	0,003	3,343	0,003	3,388	0,023
3,447	0,003	3,453	0,003	3,490	0,022
3,558	0,002	3,562	0,003	3,592	0,020
3,668	0,002	3,672	0,003	3,694	0,019
3,779	0,002	3,781	0,002	3,796	0,018
3,889	0,002	3,891	0,002	3,898	0,017
4,000	0,002	4,000	0,002	4,000	0,016
10,000	0,002	10,000	0,002	10,000	0,016

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio	35 / 47	Issue Emiss.	D01
			Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

- Spettri in condizioni di sito libero, con smorzamento convenzionale del 5%, sisma verticale:

SISMA VERTICALE					
T	NTC'08 SLO	T	NTC'08 SLD	T	NTC'08 SLC
0,000	0,004	0,000	0,005	0,000	0,022
0,050	0,009	0,050	0,013	0,050	0,061
0,150	0,009	0,150	0,013	0,150	0,061
0,235	0,006	0,235	0,008	0,235	0,039
0,320	0,004	0,320	0,006	0,320	0,029
0,405	0,003	0,405	0,005	0,405	0,023
0,490	0,003	0,490	0,004	0,490	0,019
0,575	0,002	0,575	0,003	0,575	0,016
0,660	0,002	0,660	0,003	0,660	0,014
0,745	0,002	0,745	0,003	0,745	0,012
0,830	0,002	0,830	0,002	0,830	0,011
0,915	0,001	0,915	0,002	0,915	0,010
1,000	0,001	1,000	0,002	1,000	0,009
1,094	0,001	1,094	0,002	1,094	0,008
1,188	0,001	1,188	0,001	1,188	0,006
1,281	0,001	1,281	0,001	1,281	0,006
1,375	0,001	1,375	0,001	1,375	0,005
1,469	0,001	1,469	0,001	1,469	0,004
1,563	0,000	1,563	0,001	1,563	0,004
1,656	0,000	1,656	0,001	1,656	0,003
1,750	0,000	1,750	0,001	1,750	0,003
1,844	0,000	1,844	0,001	1,844	0,003
1,938	0,000	1,938	0,001	1,938	0,002
2,031	0,000	2,031	0,000	2,031	0,002
2,125	0,000	2,125	0,000	2,125	0,002
2,219	0,000	2,219	0,000	2,219	0,002
2,313	0,000	2,313	0,000	2,313	0,002
2,406	0,000	2,406	0,000	2,406	0,002
2,500	0,000	2,500	0,000	2,500	0,001
2,594	0,000	2,594	0,000	2,594	0,001
2,688	0,000	2,688	0,000	2,688	0,001
2,781	0,000	2,781	0,000	2,781	0,001
2,875	0,000	2,875	0,000	2,875	0,001
2,969	0,000	2,969	0,000	2,969	0,001
3,000	0,000	3,000	0,000	3,000	0,001
3,063	0,000	3,063	0,000	3,063	0,001

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio	36 / 47	Issue Emiss.	D01
			Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

3,156	0,000	3,156	0,000	3,156	0,001
3,250	0,000	3,250	0,000	3,250	0,001
3,344	0,000	3,344	0,000	3,344	0,001
3,531	0,000	3,531	0,000	3,531	0,001
3,625	0,000	3,625	0,000	3,625	0,001
3,719	0,000	3,719	0,000	3,719	0,001
3,813	0,000	3,813	0,000	3,813	0,001
3,906	0,000	3,906	0,000	3,906	0,001
4,000	0,000	4,000	0,000	4,000	0,001
10,000	0,000	10,000	0,000	10,000	0,001

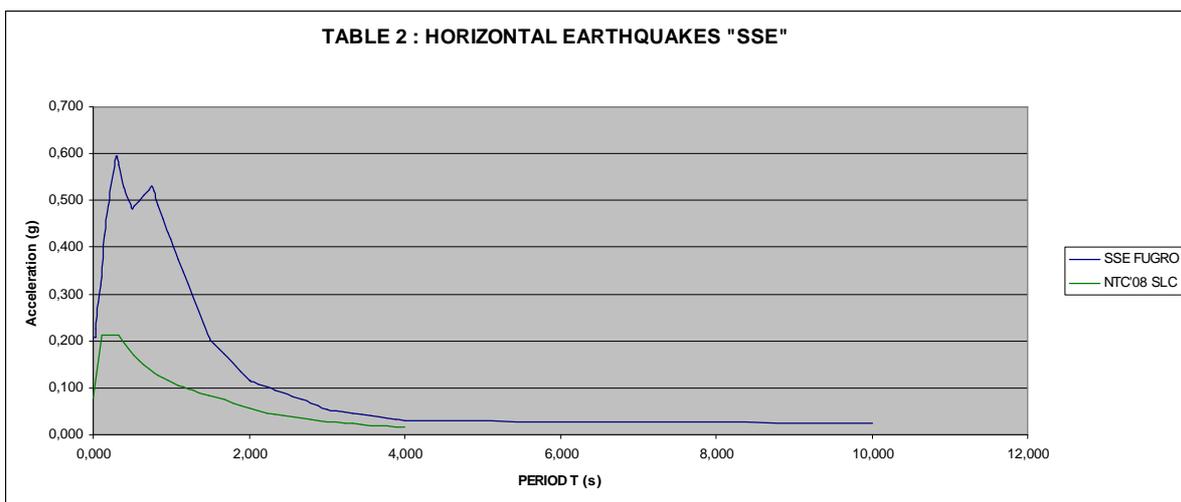
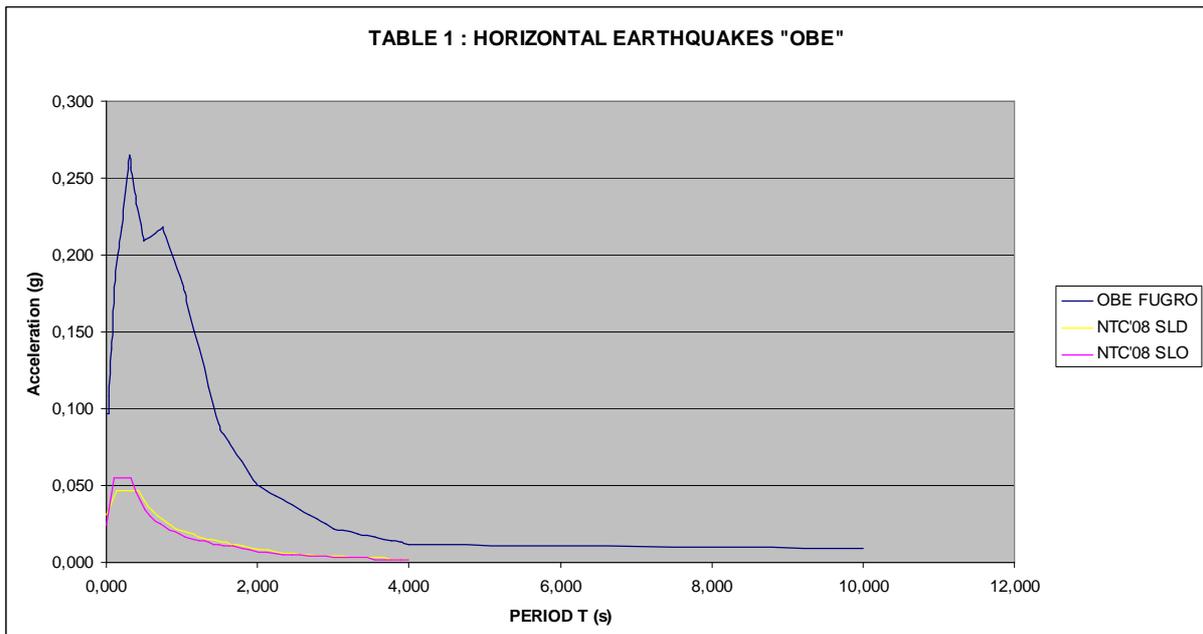
- Per smorzamenti viscosi diversi dal 5%, gli spettri di risposta sono ottenuti scalandoli tramite il coefficiente η in maniera analoga a quanto definito precedentemente nella sezione 5.10b.

	IPOSTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio	37 / 47	Issue Emiss.	D01
			Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

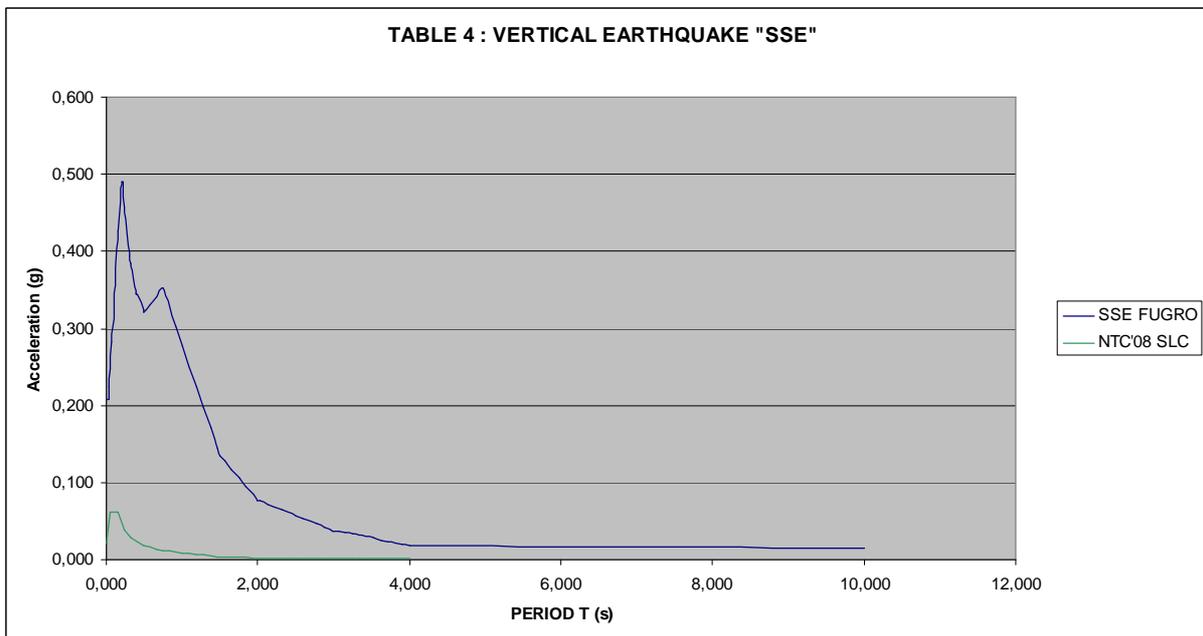
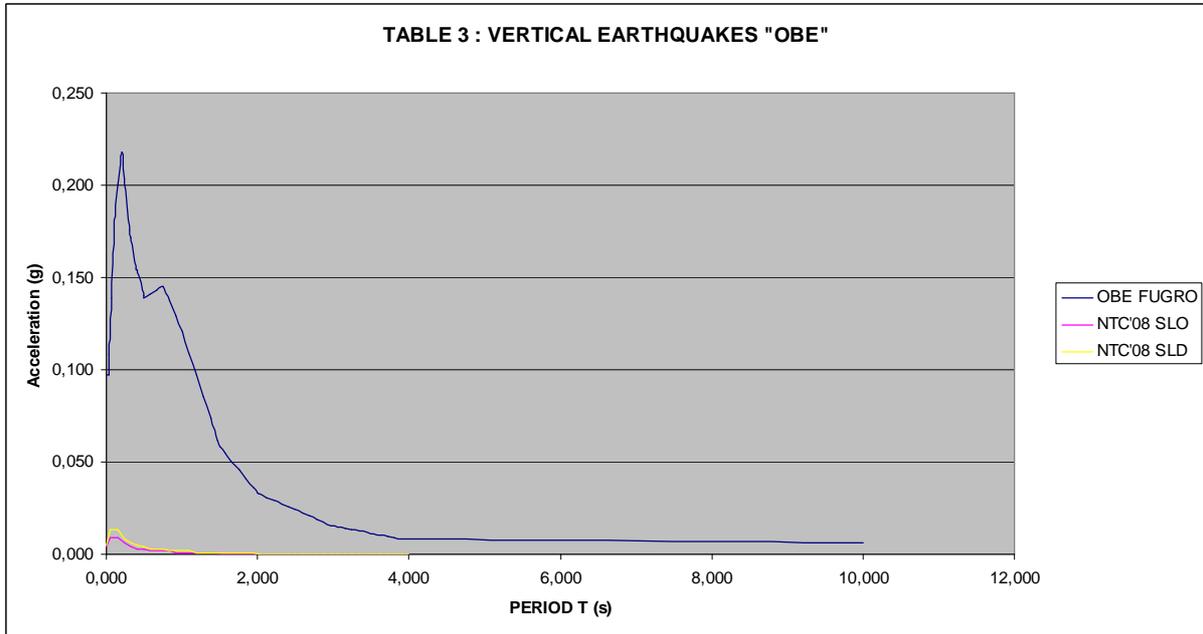
6.10.4 Involuppo degli spettri di progetto

Si danno nei seguenti 4 grafici le curve degli spettri per le varie situazioni (sisma verticale e orizzontale e per entrambi, eventi OBE e SSE). Si verifica che in tutte le situazioni gli spettri FUGRO sono dimensionanti.

In conclusione, per le analisi dinamiche saranno utilizzati gli spettri FUGRO.



	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-SG-320000021		
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004		



La risposta complessiva del serbatoio LNG sarà determinata combinando i modi significativi con il metodo SRSS. Inoltre, le risposte verticale e orizzontale saranno combinate come segue:

- 100% orizzontale + 30% verticale
- 30% orizzontale + 100% verticale

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	39 / 47	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

6.11 CARICHI DI EMERGENZA : EL_i

Il progetto tiene conto dei tre carichi di emergenza seguenti:

EL_s : “Spill” – fuoriuscita di LNG

- Il serbatoio esterno in calcestruzzo deve essere in grado di sopportare gli effetti idrostatici e termici indotti da una rottura locale non-propagativa del serbatoio interno in acciaio al 9% Ni, che produca il progressivo riempimento dello spazio anulare con LNG (Project Specification MF-20-MF4A-001, Sezione 2.7.2, da aggiornare con i riferimenti del nuovo FEED). Assumendo che la rottura sia non-propagativa, escludendo effetti idrodinamici (la cosiddetta “zip failure”) entro il serbatoio e considerando la velocità di riempimento dello spazio anulare sufficientemente bassa si considerano le pressioni idrauliche, applicate alla faccia interna del serbatoio esterno in calcestruzzo, come idrostatiche, e generate da un livello di LNG uniforme che cresce continuamente fino ad un livello massimo. Per studiare le condizioni intermedie di riempimento dello spazio anulare, si considerano nel progetto anche due livelli aggiuntivi di LNG, corrispondenti a 1/3 e 2/3 del livello massimo.
- Una pressione di vapore di LNG massima di +290 mbarg si sviluppa in contemporanea all'interno del serbatoio in calcestruzzo.
- Durante l'incidente, la piastra di fondazione del serbatoio e la porzione inferiore della parete cilindrica in calcestruzzo, per un'altezza di 5 m, sono protette dal contatto diretto con l'LNG dalla lamiera di acciaio al 9% Ni di protezione d'angolo e della sottostante isolazione in foamglass; si ipotizza che il sistema di riscaldamento della piastra di base non subisca interruzione.
- Tutti i materiali isolanti in contatto con l'LNG divengono inefficaci per quanto concerne le loro proprietà isolanti.
- Questa condizione di carico si combina con il sisma di progetto OBE; i calcoli sono condotti considerando il livello di LNG fuoriuscito più severo fra i tre definiti sopra.

EL_F : Irraggiamento termico (incendio)

- La parete cilindrica e la copertura a cupola del serbatoio esterno sono esposte al fuoco e all'irraggiamento termico in seguito ad incendio dallo scarico di una valvola di sicurezza (Project Specification MF-20-MF4A-001, Sezione 2.7.1 (da aggiornare con i riferimenti del nuovo FEED). Secondo la Specifica di Progetto PR-20-PR22-001, Sezione 7.2 (da aggiornare con i riferimenti del nuovo FEED), il flusso termico di incidente viene assunto pari a 32 kW/m² sulle facce esterne della parete e della copertura. Il serbatoio deve resistere all'irraggiamento per due ore senza danni strutturali.

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	40 / 47	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

EL₁: Carichi da impatto

- Secondo la Specifica **PR-20-PR22-001, Sezione 8.0** (da aggiornare con i riferimenti del nuovo FEED), la parete cilindrica e la copertura del serbatoio esterno sono progettati per resistere all'impatto di una massa rigida (equivalente ad una valvola da 4"), del peso di 110 kg, proiettata ad una velocità di 160 km/h (45 m/s) e che impatta sulla superficie serbatoio in direzione perpendicolare alla stessa.

BL: Carico da esplosione

- In accordo al documento 3269-SZ-SG-1Z00_014E "Blast Protection Philosophy", si considera un carico di esplosione con una pressione di picco pari a 0.2 bars. La durata di tale evento è considerata pari a 0.3s. Quindi, la parete esterna del serbatoio (per la parte collocata esternamente al terreno) e la copertura devono contrastare gli effetti di un'onda di pressione che abbia le seguenti caratteristiche:

$$p = 0.20 \times (1 - t/0.3) \quad \text{for } 0 < t < 0.3s$$

$$p = 0 \quad \text{for } t > 0.3s$$

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio	41 / 47	Issue Emiss.	D01
			Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

7 COMBINAZIONI DI CARICO

7.1 GENERALITA'

Ogni combinazione di carico somma i carichi elementari applicando a ciascuno un coefficiente di combinazione appropriato in base allo specifico stato limite:

- per le combinazioni allo SLE, i coefficienti di combinazione valgono tutti 1.00
- per le combinazioni allo SLU, i coefficienti sono quelli definiti al par. 4.3

Nel progetto si considerano le categorie di combinazioni nel seguito riportate.

7.2 COMBINAZIONI IN FASE DI COSTRUZIONE

7.2.1 Serie SLE

- C1** : sequenza costruttiva della parete prima del getto della copertura a cupola (compreso l'effetto del vento in fase costruttiva)
- C2** : sequenza costruttiva durante e dopo il getto della copertura

7.2.2 Serie SLU

- C3** : sequenza costruttiva della parete prima del getto della copertura a cupola (compreso l'effetto del vento in fase costruttiva)
- C4** : sequenza costruttiva durante e dopo il getto della copertura

7.3 COMBINAZIONI IN FASE DI TEST

7.3.1 Serie SLE

- T1** : prova pneumatica di sovrappressione del serbatoio esterno, cedimenti
- T2** : prova pneumatica di depressione del serbatoio esterno, cedimenti
- T3** : prova idraulica del serbatoio interno, cedimenti

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	42 / 47	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

7.3.2 Serie SLU

- T4** : prova pneumatica di sovrappressione del serbatoio esterno, cedimenti
T5 : prova pneumatica di depressione del serbatoio esterno, cedimenti
T6 : prova idraulica del serbatoio interno, cedimenti

7.4 COMBINAZIONI IN CONDIZIONI DI NORMALE ESERCIZIO

7.4.1 Serie SLE

- 101** : serbatoio vuoto, temperatura massima, cedimenti, carichi accidentali, vento e neve
102 : serbatoio vuoto, temperatura minima, cedimenti, carichi accidentali, vento e neve

201 : serbatoio vuoto, temperatura massima, sovrappressione d'esercizio, cedimenti, carichi accidentali, vento e neve
202 : serbatoio vuoto, temperatura massima, depressione d'esercizio, cedimenti, carichi accidentali, vento e neve
203 : serbatoio vuoto, temperatura minima, sovrappressione d'esercizio, cedimenti, carichi accidentali, vento e neve
204 : serbatoio vuoto, temperatura minima, depressione d'esercizio, cedimenti, carichi accidentali, vento e neve
121 : serbatoio vuoto, cedimenti, sisma OBE

221 : serbatoio pieno, sovrappressione d'esercizio, cedimenti, sisma OBE
222 : serbatoio pieno, depressione d'esercizio, cedimenti, sisma OBE

7.4.2 Serie SLU

- 111** : serbatoio pieno, temperatura massima, cedimenti, carichi accidentali, vento e neve
112 : serbatoio pieno, temperatura minima, cedimenti, carichi accidentali, vento e neve

211 : serbatoio pieno, temperatura massima, sovrappressione d'esercizio, cedimenti, carichi accidentali, vento e neve
212 : serbatoio pieno, temperatura massima, depressione d'esercizio, cedimenti, carichi accidentali, vento e neve
213 : serbatoio pieno, temperatura minima, sovrappressione d'esercizio, cedimenti, carichi accidentali, vento e neve
214 : serbatoio pieno, temperatura minima, depressione d'esercizio, cedimenti, carichi accidentali, vento e neve

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio	43 / 47	Issue Emiss.	D01
			Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

131 : serbatoio pieno, cedimenti, carichi accidentali, vento e neve, sisma OBE

231 : serbatoio pieno, sovrappressione d'esercizio, cedimenti, carichi accidentali, vento e neve, sisma OBE

232 : serbatoio pieno, depressione d'esercizio, cedimenti, carichi accidentali, vento e neve, sisma OBE

7.5 COMBINAZIONI IN CONDIZIONI DI EMERGENZA

Tutte le combinazioni di emergenza rientrano nelle combinazioni SLU

141 : serbatoio pieno, temperatura massima, cedimenti, sisma SSE

142 : serbatoio pieno, temperatura minima, cedimenti, sisma SSE

241 : serbatoio pieno, temperatura massima, sovrappressione d'esercizio, cedimenti, sisma SSE

242 : serbatoio pieno, temperatura massima, depressione d'esercizio, cedimenti, sisma SSE

243 : serbatoio pieno, temperatura minima, sovrappressione d'esercizio, cedimenti, sisma SSE

244 : serbatoio pieno, temperatura minima, depressione d'esercizio, cedimenti, sisma SSE

251 : serbatoio pieno, temperatura massima, sovrappressione, cedimenti, fuoriuscita di LNG

252 : serbatoio pieno, temperatura minima, sovrappressione, cedimenti, fuoriuscita di LNG

253 : serbatoio pieno, temperatura massima, sovrappressione, cedimenti, fuoriuscita di LNG + sisma OBE

254 : serbatoio pieno, temperatura minima, sovrappressione, cedimenti, fuoriuscita di LNG + sisma OBE

261 : serbatoio pieno, temperatura massima, sovrappressione d'esercizio, cedimenti, esplosione

262 : serbatoio pieno, temperatura massima, depressione d'esercizio, cedimenti, esplosione

263 : serbatoio pieno, temperatura minima, sovrappressione d'esercizio, cedimenti, esplosione

264 : serbatoio pieno, temperatura minima, depressione d'esercizio, cedimenti, esplosione

270 : serbatoio pieno, temperatura massima, cedimenti, irraggiamento termico

280 : carichi da impatto

	IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO STRUTTURALE PER I SERBATOI DI CONTENIMENTO GNL		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-SG-32000002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	44 / 47	Issue Emiss.	D01
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-004			

7.6 TABELLE RIASSUNTIVE DELLE COMBINAZIONI

Si illustrano nelle pagine seguenti delle tabelle riassuntive delle combinazioni, compilate con i casi di carico elementari e per le combinazioni precedentemente definite.



**IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO
STRUTTURALE PER I SERBATOI DI
CONTENIMENTO GNL**

Identification Code
Codice di Identificazione

3269-AA-SG-32000002I

Sheet Foglio **45 / 47** Issue Emiss. **D01**



Plant - Impianto
BRINDISI LNG TERMINAL

Group - Gruppo
TANKS

Execution Center ID Code and Issue.
PIR-DI-004

		COMBINAZIONI DI CARICO									
		COSTRUZIONE				TESTS					
		SLS		ULS		SLS			ULS		
		C1	C2	C3	C4	T1	T2	T3	T4	T5	T6
CASI DI CARICO ELEMENTARI	DW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	PL _A					X	X	X	X	X	X
	PL _B					X	X	X	X	X	X
	PL _C					X	X	X	X	X	X
	PL _D					X	X	X	X	X	X
	PL _E					X	X	X	X	X	X
	PL _F					X	X	X	X	X	X
	PL _G					X	X	X	X	X	X
	PL _H					X	X	X	X	X	X
	PL _I					X	X	X	X	X	X
	PL _J					X	X	X	X	X	X
	PL _K					X	X	X	X	X	X
	PL _L					X	X	X	X	X	X
	LL _A *					X	X	X	X	X	X
	LL _B *										
	LL _C *		X		X						
	LL _D *		X		X						
	TL _P					X			X		
	TL _V						X			X	
	TL _H							X			X
	SL _{LNG}										
	SL _{OV}										
	SL _{VA}										
	SL _{BM}										
	SL _{8m}										
	P ₁ or P ₂	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	S _H	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	C _R	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	S _n *										
	W _i *	X		X					X	X	X
EL _I											
EL _S											
EL _F											
BL											
OBE											
SSE											

(*) : solamente se l'effetto è sfavorevole



**IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO
STRUTTURALE PER I SERBATOI DI
CONTENIMENTO GNL**

Identification Code
Codice di Identificazione

3269-AA-SG-32000002I

Sheet Foglio **46 / 47** Issue Emiss. **D01**



Plant - Impianto
BRINDISI LNG TERMINAL

Group - Gruppo
TANKS

Execution Center ID Code and Issue.
PIR-DI-004

COMBINAZIONI DI CARICO

ESERCIZIO

		SLS						ULS Fondamentali											
		101	102	201	202	203	204	121	221	222	111	112	211	212	213	214	131	231	232
		CASI DI CARICO ELEMENTARI	DW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	PL _A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	PL _B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	PL _C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	PL _D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	PL _F	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	PL _F	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	PL _G	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	PL _H	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	PL _I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	PL _J	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	PL _K	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	PL _L	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	PL _M	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	LL _A *	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X
	LL _B *	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X
	LL _C *																		
	LL _D *																		
	TL _P																		
	TL _V																		
	TL _H																		
	SL _{LNG}			X	X	X	X		X	X			X	X	X	X		X	X
	SL _{OV}			X		X			X				X		X			X	
	SL _{VA}				X		X			X				X		X			X
	SL _{θM}	X		X	X						X		X	X					
	SL _{θm}		X			X	X					X			X	X			
	P ₁ or P ₂	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	S _H	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	C _R	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	S _n *	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X
	W _i *	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X
	EL _I																		
	EL _S																		
	EL _F																		
	OBE							X	X	X							X	X	X
	SSE																		

(*) : solamente se l'effetto è sfavorevole



**IPOTESI DI BASE DEL PROGETTO
STRUTTURALE PER I SERBATOI DI
CONTENIMENTO GNL**

Identification Code
Codice di Identificazione

3269-AA-SG-32000002I

Sheet Foglio **47 / 47** Issue Emiss. **D01**



Plant - Impianto

BRINDISI LNG TERMINAL

Group - Gruppo

TANKS

Execution Center ID Code and Issue.

PIR-DI-004

COMBINAZIONI DI CARICO

EMERGENZA

ULS accidentali

		141	142	241	242	243	244	251	252	253	254	261	262	263	264	270	280	
CASI DI CARICO ELEMENTARI	DW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	PL _A	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	PL _B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	PL _C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	PL _D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	PL _E	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	PL _F	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	PL _G	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	PL _H	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	PL _I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	PL _J	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	PL _K	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	PL _L	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	LL _A *																	
	LL _B *																	
	LL _C *																	
	LL _D *																	
	TL _P																	
	TL _V																	
	TL _H																	
	SL _{LNG}			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	SL _{OV}			X		X			X	X	X	X	X		X		X	
	SL _{VA}				X			X					X		X			
	SL _{BM}	X		X	X				X	X			X	X			X	
	SL _{θm}		X				X	X		X				X	X			
	P ₁ or P ₂	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	S _H																	
	C _R	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
S _n *																		
W _i *																		
EL _I																	X	
EL _S								X	X	X	X							
EL _F																X		
BL												X	X	X	X			
OBE										X	X							
SSE	X	X	X	X	X	X	X											

(*) : solamente se l'effetto è sfavorevole