

I SERVIZI DI INGEGNERIA

a supporto del programma di integrità strutturale del terminale di rigassificazione situato nel Mare Adriatico

ENGINEERING SERVICES

for the structural integrity program

of the offshore regasification plant in the Adriatic Sea

Ing. Bruno Finzi, Ing. Luca Rossini*, Ing. Stefania Armorina

CEAS S.r.l. – Milano

Nella gestione del terminale di rigassificazione offshore situato nel mar Adriatico, risulta di primaria importanza la presenza di un programma di ingegneria specialistica di supporto alla gestione del terminale di rigassificazione “Adriatic LNG” che si occupi dello stato di conservazione delle numerose strutture presenti. La piattaforma si trova al largo di Porto Levante, a circa 15 km dalla costa veneta, ed è adibita alla ricezione di gas naturale liquefatto (GNL) trasportato da grandi navi metaniere, al suo stoccaggio all’interno di serbatoi criogenici ad una temperatura di -165°C e successivamente alla sua rigassificazione ed erogazione attraverso un gasdotto sottomarino. Il terminale, unico nel suo genere, è costituito da una struttura in calcestruzzo armato precompresso (GBS) che fa da supporto a molteplici strutture in acciaio al carbonio ad alta resistenza e in acciaio legati.

The specialized engineering services are essential in the supporting process of the management of the Adriatic LNG Terminal, in order to check the preservation status of the various structures installed on the regasification plant. The Offshore Gravity Based Structure (GBS) is located near Porto Levante, at about 15 km far away from the venetian shore, in the Adriatic Sea. The main scope of the Terminal is to receive liquified natural gas (LNG), to be stored into two cryogenic tanks at the temperature of -165°C and to be regasified and distributed as natural gas, through a dedicated submerged pipeline. The regasification plant is one of a kind and is composed by a prestressed concrete base which supports equipment and several steel structures, generally with a tubular lattice scheme, made of high-grade carbon steel and alloy steel.

1. INTRODUZIONE

Il terminale di rigassificazione offshore è situato al largo della costa veneta in corrispondenza di Porto Levante (RO) ed è una struttura complessa fondata a gravità sul fondale marino ad una profondità di 28 m in calcestruzzo armato precompresso ed acciai ad alta resistenza e legati bonificati. Il Terminale riceve il Gas Naturale Liquefatto (GNL) direttamente da grandi navi metaniere e tratta il GNL in modo da ottenere ed erogare gas naturale destinato ai consumatori italiani attraverso un gasdotto sottomarino che lo collega alla terraferma. Lo stoccaggio del gas liquefatto avviene all’interno

di serbatoi criogenici ad una temperatura di -165°C . La struttura in calcestruzzo armato precompresso (GBS-Gravity Based Structure) sostiene gli impianti e le relative strutture di supporto in acciaio installate sia sulla copertura, sia sulle pareti tramite piastre annegate nel calcestruzzo. La complessità della struttura e l’ambiente marino aggressivo a cui è esposta rendono necessaria la definizione di un programma specifico di manutenzione in continuo aggiornamento. Sia le strutture in calcestruzzo che in particolare quelle in acciaio, sono oggetto di una approfondita attività ispettiva: la periodica verifica dello stato di conservazione di tali strutture che sostengono

* Corresponding author. Email: luca.rossini@ceas.it

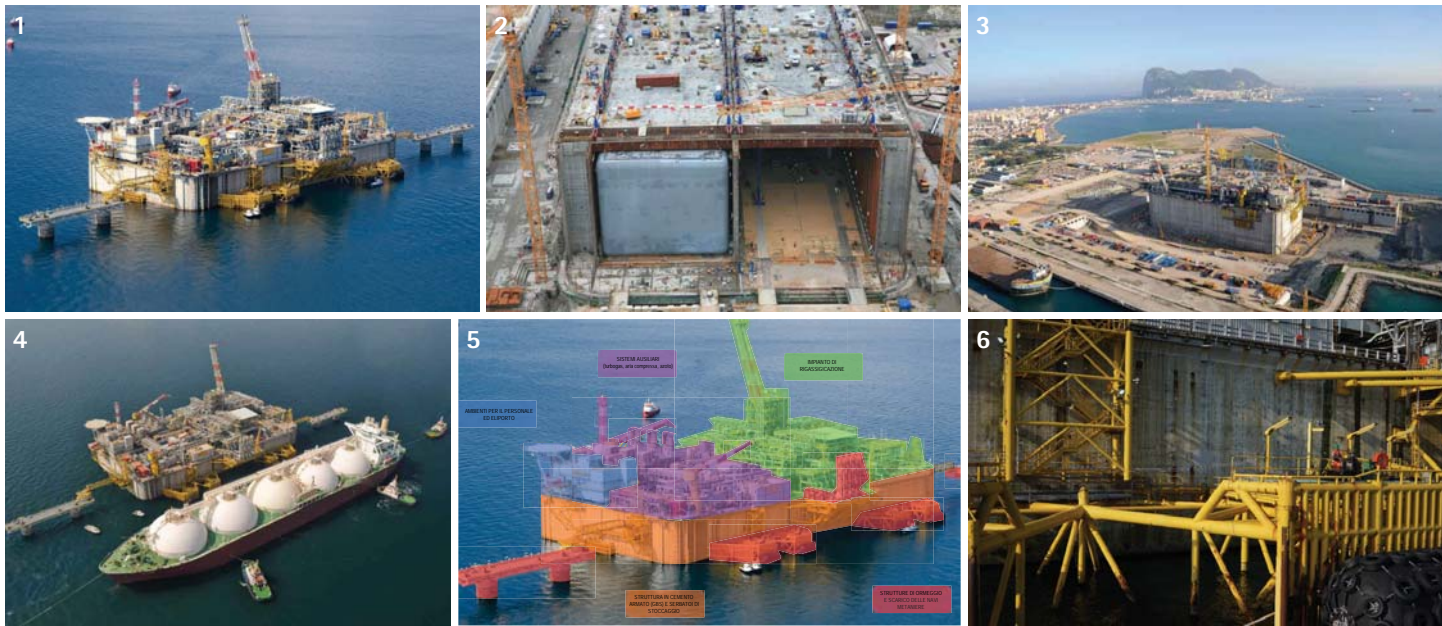


Fig. 1 - Vista aerea del terminale. Fig. 2 - I serbatoi durante la costruzione. Fig. 3 - Il terminale in fase di costruzione Fig. 4 - Attracco di una nave metaniera GNL. Fig. 5 - Le strutture del terminale LNG. Fig. 6 - Esempio tipico di struttura reticolare delle Sidewall

e compongono la sovrastruttura del rigassificatore costituiscono un presupposto fondamentale per l'esercizio in sicurezza dell'impianto in perfetta efficienza.

2. DESCRIZIONE GENERALE DEL TERMINALE

Il Terminale di rigassificazione Adriatic LNG è stato realizzato in Spagna, nel cantiere di Algeciras (figure 2 e 3) caratterizzato da dimensioni tali da contenere l'intera piattaforma, ed è stato successivamente trasportato nella sede attuale via mare. La società che gestisce la piattaforma, Terminale GNL Adriatico Srl con sede a Milano, nota anche come Adriatic LNG, ha affidato ad Aker Kvaerner di Oslo il progetto generale del terminale e la sua esecuzione, come General Contractor, avvalendosi di subappaltatori tra cui ACCIONA (Spagna) per la costruzione della struttura portante a gravità e HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES (Corea del Sud) per i serbatoi; per le altre strutture in acciaio sono intervenute EMTUNGA (Göteborg, Svezia), KENSTEEL (Singapore), DRAGADOS (Cadice, Spagna), NUOVA PIGNONE (Firenze), ing. Mantovani (Mestre), PROJENIA (Genova).

Il collaudo statico delle strutture in cemento armato e acciaio dell'impianto di rigassificazione è stato effettuato nel 2009 dall'associazione temporanea costituita dal Prof. Ing. Ostilio Spadaccini, Prof. Ing. Raffaello Bartelletti, lo "Studio Tecnico Associato di Ingegneria Prof. Ing. Andrea Vignoli e Ing. Claudio Consorti" e la società CEAS S.r.l. di Milano è incaricata di fornire un servizio ingegneristico di supporto al programma di integrità strutturale finalizzato al mantenimento di tale certificazione. Il terminale riceve il GNL consegnato da grandi navi metaniere per trattarlo in modo da ottenere ed erogare gas naturale destinato ai consumatori italiani attraverso un gasdotto sottomarino che lo collega alla terraferma. Il terminale funziona 24 ore al giorno e 365 giorni l'anno da circa

10 anni ed ha una capacità di rigassificazione pari a 8 miliardi di m³/anno, corrispondente al 10% del consumo annuo nazionale. Con riferimento alla figura 5, si descrive nel seguito il terminale che presenta una lunghezza complessiva di 375 m e larghezza complessiva di 115 m:

- una grande struttura di cemento armato alta circa 48 m, denominata GBS, che ospita due serbatoi criogenici per lo stoccaggio del GNL alla temperatura di -165°C, aventi capacità operativa ciascuno di 125.000 m³.
- complesse strutture in acciaio che ospitano l'impianto di rigassificazione, gli impianti ausiliari (come ad esempio il modulo per la generazione di energia elettrica con turbine a gas, il modulo per la produzione di acqua potabile, ecc.), i moduli abitativi, e le strutture per l'ormeggio delle navi metaniere e per l'immissione del GNL nella rete dei gasdotti.
- due bricole di ormeggio, o "Mooring Dolphin", in cemento armato, installate a Nord-Est e Nord-Ovest del terminale e adibite all'ormeggio delle navi metaniere. Ciascun Mooring Dolphin è costituito da una fondazione a gravità in cemento armato poggiante sul fondale, sormontata da due colonne anch'esse in cemento armato alte circa 28 m. Tali elementi sono collegati tra loro da un ponte in acciaio lungo circa 63 m e largo 8,5 m e con le estremità est e ovest del GBS mediante passerelle di acciaio.
- il gasdotto avente diametro di 30" è suddiviso in un tratto offshore di circa 15 km e di un tratto a terra di circa 25 km, collegando il terminale con la stazione di misura di Cavarzere (Ve).

3. LE STRUTTURE IN ACCIAIO DEL TERMINALE

Le strutture in acciaio, sostenute dalla piattaforma in GBS, si dividono in due gruppi a seconda della loro posizione: il gruppo "Topside" comprende le strutture posizionate sulla Topslab, cioè la

soletta superiore del GBS, mentre il gruppo “Sidewalls” comprende le strutture collegate alle pareti esterne del GBS.

Per entrambi i gruppi, le strutture sono costituite da profili tubolari di varie dimensioni (con geometria massima di 914 mm di diametro e 30 mm di spessore), travi composte da lamiere di grandi spessori (50 mm) e profili ad H. L'acciaio utilizzato è di tipo S355 secondo normativa EN 10025 ed EN 10210 e tipo X52 secondo normativa API 5L, con giunti quasi esclusivamente saldati e caratterizzate da una struttura con impostazione di tipo reticolare.

Le strutture delle Sidewalls svolgono diverse funzioni a seconda della loro posizione sulle pareti del GBS: il loro scopo principale è quello di permettere l'ormeggio delle navi metaniere e di proteggere la struttura del GBS e del condotto che porta il metano sulla terraferma. Le Sidewalls sono principalmente strutture reticolari, composte da elementi tubolari di grande diametro, zincati a caldo e successivamente verniciati con primer epossidici per permetterne la protezione dall'azione dell'ambiente aggressivo in cui si trovano. Per questa tipologia di struttura, nella progettazione si pone molta attenzione alle sollecitazioni indotte dall'ambiente ed in particolare all'azione delle onde. Essendo destinate all'ormeggio e attracco delle navi metaniere e di altre imbarcazioni, particolare importanza assumono anche i carichi da impatto che potrebbero verificarsi così come lo sfregamento di funi e cavi di ormeggio sugli elementi metallici. L'effetto di una cattiva manutenzione e cura riguardo tali situazioni potrebbe portare, infatti, al danneggiamento delle strutture al punto di non permetterne l'utilizzo in sicurezza, situazione da evitare per garantire il corretto e continuo svolgimento delle funzioni proprie del terminale. A tale scopo le strutture più esposte a questi rischi sono anche dotate di elementi chiamati *Pneumatic Fender* e *Shock Cell* (figura 7); atti a dissipare l'energia che deriva da un possibile impatto con le navi che ormeggiano, proteggendo così le strutture retrostanti.

Le strutture che sono posizionate sulla soletta superiore del GBS sono chiamate Topside e svolgono principalmente la funzione di sostegno degli EQUIPMENTS. Queste strutture in acciaio, vista la vicinanza con gli impianti interessati dal processo di rigassificazione, sono protette da intonaco intumescente (PFP-Passive fire protection). Tali strutture si dividono in quattro gruppi in base ai principali scopi

per cui sono state progettate e, infatti, si trovano:

- BUILDINGS, in cui sono incluse strutture per il personale, l'eliporto e gli edifici di manutenzione (6 edifici);
- MODULES, moduli principali (3 moduli);
- LIFTING, cioè strutture per sollevamento e movimentazione (2 gru e circa 40 monorotaie);
- STRUCTURES, strutture accessorie per gli impianti (circa 15 strutture).

Le Topside sono strutture metalliche tipicamente costituite da moduli prefabbricati con impalcati a graticcio, travi saldate e lamiere irrigidite o grecate. Le strutture che fanno parte del macro-gruppo Buildings sono 6 edifici caratterizzati da telai in acciaio che poggiano direttamente sulla Topslab tramite colonne e supporti in cemento armato. I tre moduli presenti sulla piattaforma hanno lo scopo principale di sostenere gli impianti per la rigassificazione e la produzione di energia. Questi sono direttamente posizionati sulle travi prefabbricate che costituiscono la soletta superiore del GBS. Tali moduli sono costituiti a loro volta da sottostrutture: c'è una struttura principale in tutti i tre moduli e poi ciascuno ha le proprie strutture specifiche. Le figure 8 e 9 mostrano l'estensione di tali strutture, che ricoprono circa l'80% della superficie della Topslab.

Infine, posizionate sulla Topslab del terminale sono presenti circa 15 strutture in acciaio accessorie, denominate *Pre-Assembled Units PAU* e *Structural Support Frame SSF*, che presentano un peso proprio unitario variabile tra 5 e 75 t. Le problematiche che interessano tutte le strutture in acciaio presenti sul terminale sono molteplici ed in particolare si sottolinea l'importanza del corretto collegamento con la parete del GBS per le Sidewall e con la Topslab per le Topside. Le strutture precedentemente descritte si collegano alla struttura in calcestruzzo (GBS) tramite piastre in acciaio piolate annegate nel getto delle pareti laterali e tramite appoggi *pot-bearing* sulla soletta orizzontale. Le strutture Topside si collegano principalmente tramite *pot-bearing* (figura 11) installati su baggioli in calcestruzzo armato, al fine di resistere alle azioni verticali e orizzontali trasmesse dalle strutture, permettendo limitate rotazioni attorno agli assi orizzontali. Tali collegamenti sono presenti principalmente nelle strutture dei moduli che poggiano direttamente sulle travi precomprese che costituiscono la Topslab.



Fig. 7 - Esempio di shock cell. Fig. 8 - Vista panoramica delle strutture Topside. Fig. 9 - Vista dal lato sud delle strutture Topside

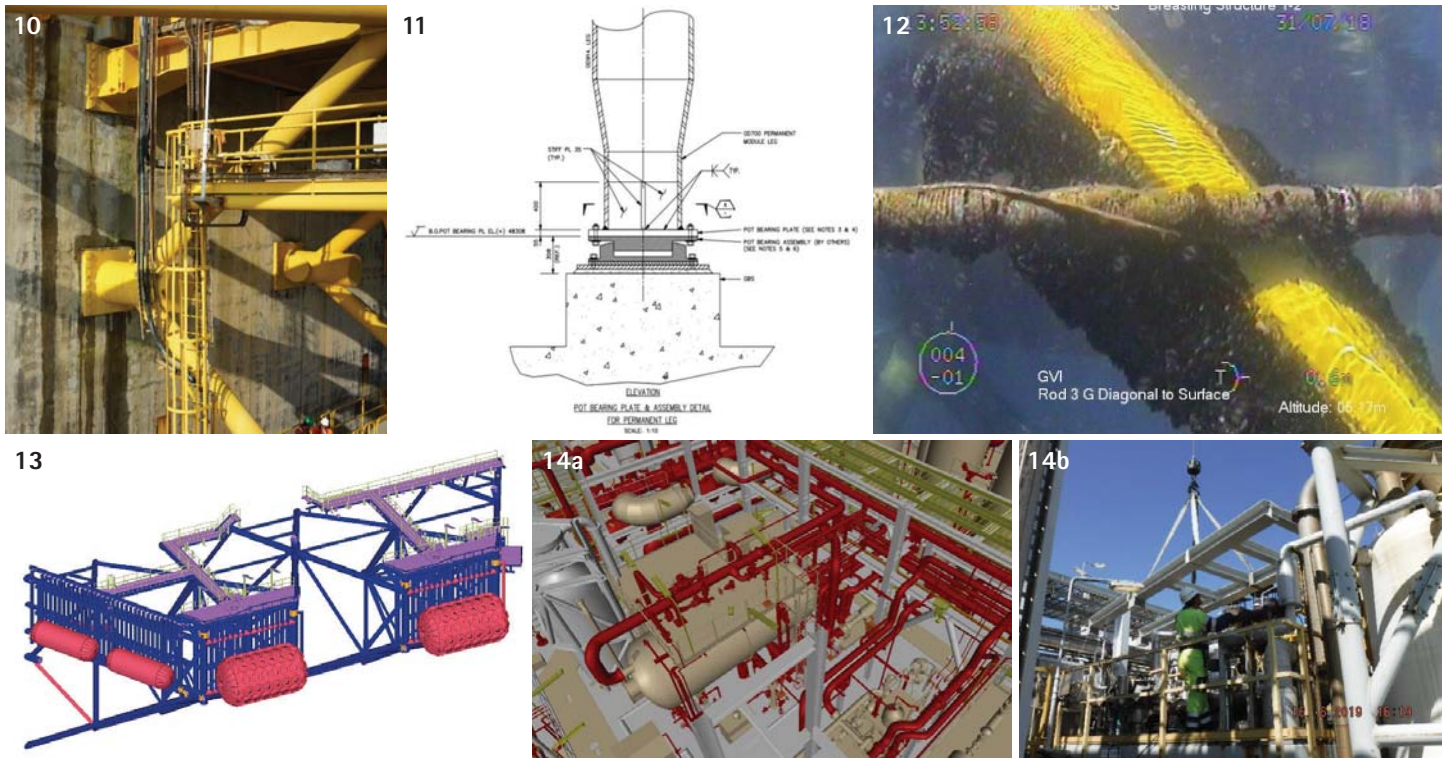


Fig. 10 - Esempio tipico di collegamento delle strutture in acciaio al GBS. Fig. 11 - Dettagli tipici di collegamento delle strutture in acciaio al GBS. Fig. 12 - Elemento sotto acqua caratterizzato da accrescimento marino Fig. 13 - Esempio di modello Tekla delle breasting structure. Fig. 14a, b - Confronto tra modello 3D del costruito ed intervento in opera

3. ATTIVITA' DI ISPEZIONE: PIANIFICAZIONE, GESTIONE DELLE ISPEZIONI E FOLLOW UP

Le strutture in acciaio costituiscono un elemento chiave per il corretto funzionamento del terminale e la loro perfetta efficienza è presupposto fondamentale per l'esercizio in sicurezza dell'impianto. È quindi fondamentale la programmazione di specifiche campagne di ispezione atte a definire lo stato delle strutture e le loro possibili criticità.

L'attività ispettiva del terminale è frutto di un dettagliato programma sviluppato di concerto tra tutte le società coinvolte sia direttamente nella gestione, sia di supporto alla manutenzione del terminale, basato sullo studio di possibili fenomeni di danneggiamento che possono verificarsi nella vita delle singole strutture che lo compongono. Il programma delle ispezioni è sviluppato per permettere di conoscere lo stato delle strutture e mettere in luce le problematiche / criticità che si possono presentare negli anni.

La delicata attività di ispezione svolta dalla società CEAS è un processo che inizia con la pianificazione quinquennale delle ispezioni da effettuare, sviluppata su diversi gradi di approfondimento, in continuo mutamento sulla base delle evidenze riscontrate nelle indagini. A livello pratico, per avere controllo e memoria di tutte le ispezioni effettuate, è stato necessario sviluppare un secondo programma in cui siano indicate schematicamente le ispezioni da effettuare in sito, dividendo le strutture in base alla loro posizione sul terminale.

Le tipologie di ispezione sono suddivise in due macro categorie, *Above water* e *Under water*, in base alla loro posizione rispetto al livello medio del mare. Inoltre sono organizzate in base al grado

di approfondimento che viene raggiunto dall'ispezione: Ispezione Generale Visiva (GVI), ispezione visiva ravvicinata (CVI) e infine prove non distruttive (NDE).

La pianificazione delle attività è strutturata in modo da effettuare delle ispezioni generali (General Visual Inspections) da parte dei tecnici CEAS incaricati da ALNG, con lo scopo di individuare i punti che, per lo stato di conservazione in cui si presentano, potrebbero richiedere un maggior approfondimento, ispezioni visive più ravvicinate e indagini sperimentali non distruttive, oppure i punti in cui si evidenzia la necessità di manutenzione. Le indagini sperimentali si identificano principalmente in controlli non distruttivi delle saldature (tipo UT-MT-PT).

Dal momento che una considerevole porzione delle strutture Side-wall è quasi costantemente sotto il livello del mare, per le indagini è necessario utilizzare anche mezzi sottomarini a comando remoto (ROV). Con tali mezzi, opportunamente strumentati con videocamere ad alta definizione, sonde per rilievi spessimetrici e sonde per la misura della protezione catodica, è possibile valutare:

- Lo stato di conservazione dello strato superficiale delle strutture, in acciaio e in calcestruzzo;
- Il livello dell'accrescimento marino che posandosi sulle strutture ne può aumentare considerevolmente (fino anche a 20 cm) le dimensioni, con conseguente aumento dei carichi sollecitanti;
- La misura del potenziale in corrispondenza delle strutture in acciaio al fine di valutare l'efficacia del sistema di protezione catodica dalla corrosione.

A seguito delle ispezioni risulta di fondamentale importanza il rac-

ISSN n° 0010-9673 Poste Italiane SPA - Spedizione in Abbonamento Postale - D.L. 353/2003 (con. in L. 27.02.04 n° 46) Art. 1, comma 1, L.0/MI Prezzo a copia: € 15,00 - In caso di mancato recapito inviare al CMP di Milano-Rosario per la restituzione al mittente previo pagamento for reso

XXVII
CONGRESSO CTA
BOLOGNA
3/5 ottobre 2019



MAG/GIU 2019



RIVISTA BIMESTRALE
PER LA DIFFUSIONE
DELLA CULTURA DELL'ACCIAIO

COSTRUZIONI METALLICHE