

UN CALCESTRUZZO CRIOGENICO

Il rinnovamento di un impianto di GNL ha richiesto una campagna di prove di laboratorio per verificare i materiali da utilizzare e la scelta di uno specifico additivo per ottenere un calcestruzzo adatto a bassissime temperature.

di Gianluca Bianchin, Gianni Bebi, Giovanni Canetta, Domenico Ferrari e Filiberto Finzi

FOTO 1



La Snam ha recentemente rinnovato il proprio impianto di rigassificazione del GNL (gas naturale liquefatto) situato a Panigaglia, nel golfo di La Spezia. Si tratta di un impianto nel quale il GNL, trasportato via mare, viene riportato allo stato gassoso con una semplice operazione di riscaldamento per poi essere immesso nella rete nazionale dei metanodotti. Il terminal di Panigaglia, progettato nel 1971 per ricevere GNL dalla Libia, è stato ammodernato per permettere alla Snam di accedere a fonti di approvvigionamento maggiormente diversificate e per adeguarlo alle correnti norme internazionali (API 620, BS 7777).

FOTO 2



FOTO 3

Il progetto e i requisiti

Il progetto è stato realizzato dalla PDM di Pittsburgh, PA, USA. L'impianto è composto da due serbatoi da circa 50.000 metri cubi l'uno, destinati a contenere il metano allo stato liquido, ad una temperatura di stoccaggio di circa -160°C . Per quanto riguarda le strutture civili dei due serbatoi, progettate dal CeAS (Centro di Analisi Strutturale) di Milano, i lavori si sono concretizzati principalmente nelle seguenti attività :

Foto 1
Vista dell'impianto rinnovato

Foto 2
Realizzazione dei pali di fondazione

Foto 3
Primi getti per la realizzazione del muro esterno

FOTO 4



Foto 4
Posizionamento e fissaggio delle travi prefabbricate a piè d'opera

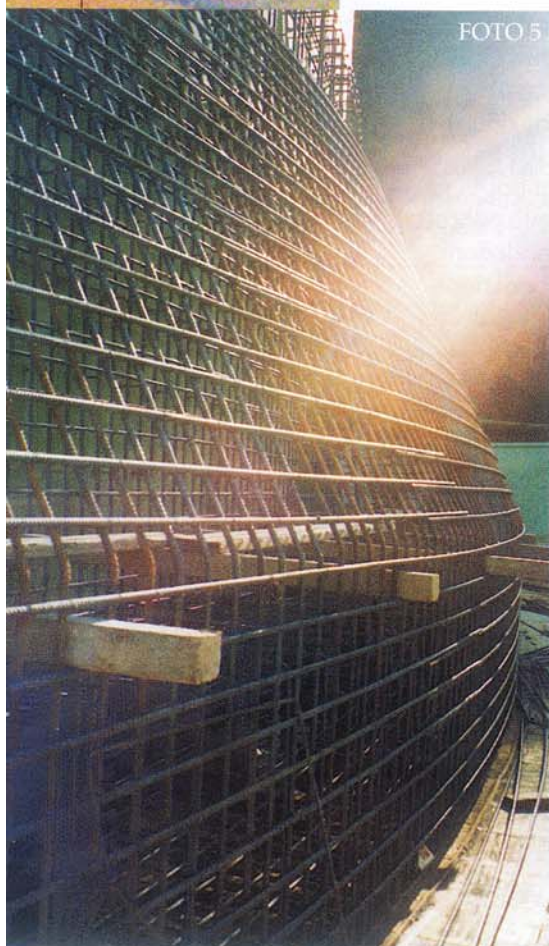
Foto 5
Particolare della gabbia d'armatura

Foto 6
Prove criogeniche sul calcestruzzo prelevato in opera

Disegno di Folon per la campagna pubblicitaria Snam

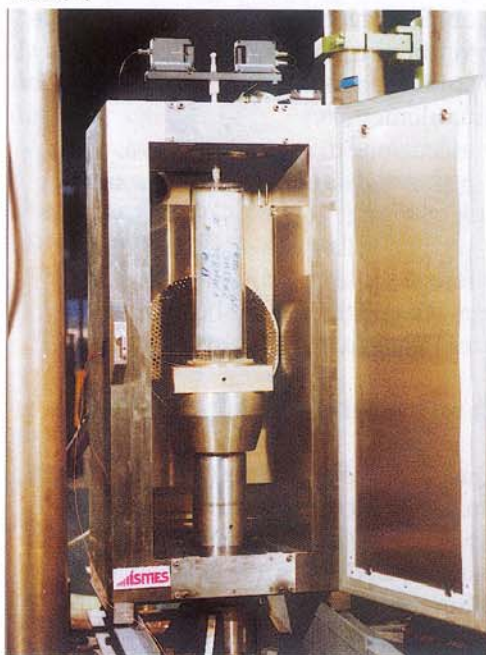
- realizzazione di una palificata di fondazione della nuova parete. Il criterio costruttivo è stato quello di dare alle nuove strutture una fondazione indipendente per evitare che andassero a gravare, anche solo parzialmente, sulle fondazioni del serbatoio;
- realizzazione di una parete in c.a.p. attorno alla virola esterna dei serbatoi esistenti, allo scopo di contenere eventuali fughe di GNL dal serbatoio interno (contenimento doppio) e di proteggere il serbatoio da accidenti esterni (incendi, esplosioni, impatti, sismi, ecc.).
- realizzazione di una piattaforma sul

FOTO 5



tetto dei serbatoi per sostenere le pompe-colonna di processo del GNL. Poiché il tetto non è in grado di sostenere carichi notevoli, questa piattaforma è stata realizzata a sbalzo sulla nuova parete in c.a.p. A queste severe condizioni d'esercizio si sono poi aggiunte le prescrizioni necessarie per garantire la durabilità del calcestruzzo nei confronti delle aggressioni ambientali. L'impianto, infatti, si trova in riva al mare ed è esposto all'alternanza di cicli di gelo e disgelo; secondo la normativa europea ENV 206 è quindi in classe di esposizione 4b. Nel terreno, inoltre, vi è una forte concentrazione di solfati. La resistenza meccanica di progetto, necessaria ai

fini statici, era di 40 N/mm^2 e quella per lo scasso, dopo 24 ore, era di 15 N/mm^2 . Per mettere in opera correttamente il calcestruzzo, evitando la formazione di vuoti e di nidi di ghiaia dovuti alla forte densità d'armatura, era necessaria una classe di lavorabilità S4 (slump 16-20 cm) dopo il pompaggio. In previsione di tempi di messa in opera abbastanza



lunghi era infine necessario garantire il mantenimento di questa lavorabilità del calcestruzzo per almeno 60'.

Le prove di laboratorio

E' stata quindi eseguita una campagna di prove di laboratorio a temperatura ambiente ed a bassa temperatura per verificare il comportamento del conglomerato fresco, le resistenze meccaniche e il comportamento "criogenico" del calcestruzzo indurito, ovvero la capacità di mantenere sostanzialmente integre le proprietà meccaniche anche dopo l'esposizione alle temperature del liquido stoccato nei serbatoi (-167°C).

FOTO 7



Foto 7
Fronte di estrazione della cava prescelta

Durante questa fase preliminare sono stati sottoposti a verifica due tipi di cemento: Cem III/B 32,5 e Cem II/A-D 42,5 con tenore minimo di microsilicati pari al 7%. Sono stati inoltre analizzati gli aggregati provenienti da tre differenti cave della zona e gli additivi superfluidificanti (o iperfluidificanti) di quattro aziende produttrici.

Per la scelta dei componenti e la classificazione del mix-design sono state effettuate in particolare le seguenti prove:

- analisi aggregati per verificare l'appartenenza alla classe A come indicato da UNI 8520;
- analisi cementi e acqua;
- verifica prestazionale degli additivi;
- studio di proporzionamento granulometrico;
- esecuzione di impasti di prova;
- prove di resistenza meccanica a varie stagionature;
- verifica della permeabilità;
- resistenza ai cicli di gelo e disgelo;
- prove criogeniche di shock termico in azoto liquido.

La scelta dell'additivo

Queste prove hanno portato alla scelta di un cemento composito al fumo di silice tipo CEM II/A-D 42,5 secondo la norma europea UNI/ENV 197/1 ed all'adozione di un rapporto acqua/cemento compreso fra 0,40 e 0,42.

Grazie alla scelta di questo rapporto A/C, le resistenze meccaniche effettive sono state sempre superiori ai 60 N/mm² ed in alcuni casi hanno raggiunto gli 80 N/mm². Per garantire il raggiungimento ed il mantenimento della lavorabilità prescelta

FOTO 8



è stato utilizzato MAPEFLUID X404, iperfluidificante a base acrilica specifico per calcestruzzi a bassa perdita di lavorabilità e di elevate resistenze meccaniche. La semplice variazione del dosaggio di MAPEFLUID X404 ha permesso di mettere in opera un calcestruzzo di qualità costante per tutta la durata del lavoro, sia in condizioni climatiche invernali che in condizioni estive. I quasi 9.000 m³ di calcestruzzo, necessari per la realizzazione dei due serbatoi, sono stati infatti prodotti e messi in opera nell'arco di otto mesi, da gennaio ad agosto '96. È interessante notare che il dosaggio effettivo di MAPEFLUID X404 è stato sempre inferiore a quello di progetto

A destra, micrografia al microscopio elettronico (SEM) ad alto ingrandimento: la massa del calcestruzzo è talmente compatta da sembrare un vetro



FOTO 9

Foto 9
Estrazione delle carote da sottoporre alle prove criogeniche

FOTO 10



Foto 10
Particolare delle carote

Foto 11
Posizionamento degli impianti

Il Gruppo di lavoro

L'ente appaltante ha imposto alle imprese partecipanti all'appalto di provvedere alla realizzazione delle prove, analisi e sperimentazioni presso laboratori di loro fiducia, utilizzando componenti di loro scelta, sempre però sotto il suo controllo e verifica. Con lo scopo di formulare un mix design alternativo, su incarico diretto della SNAM, si è costituito un gruppo di lavoro¹, che ha incaricato la Technobase di progettare e verificare le miscele e l'Ismes di Bergamo per le prove criogeniche. Nello svolgimento del suo incarico, il gruppo di lavoro ha operato in collegamento con: l'Università di Pisa (prof. Bartelletti) con la consulenza dell'ing. Tognon; CTG (ing. Ursella, ing. Cangiano e ing. Gimenez); Ismes (dott. Viglieno e dott. Comassi); Italcaltuzzi (geom. Zanco e dott. Mazzenga).

¹ Ing. Giovanni Canetta: interpretazione e integrazione delle specifiche tecniche, collegamento con la produzione e Direzione lavori. Gianni Bebi: studio del mix design alternativo, supervisione alle prove e controlli tecnologici in corso d'opera. Ing. Domenico Ferrari: incaricato della Committenza per le problematiche tecniche. Ing. Filiberto Finzi: supervisione scientifica e specifica per gli aspetti criogenici.

Il calcestruzzo criogenico

Si definisce criogenico quel calcestruzzo impiegato in opere per le quali è prevista la permanenza, accidentale o meno, in ambienti a bassa e bassissima temperatura. Trova quindi la sua pressoché esclusiva applicazione nella realizzazione di serbatoi di stoccaggio per gas liquefatti.

Il calcestruzzo, per sua natura, è un materiale estremamente eterogeneo i cui

componenti presentano caratteristiche fisico-chimiche diverse. Anche il loro apporto volumetrico è diverso: aggregati 65%, pasta di cemento 27%, acqua libera 3% e aria 5%. In aggiunta se la pasta costituita da cemento, acqua e aria può ritenersi sostanzialmente omogenea, gli aggregati sono invece costituiti da materiali di natura diversa. Qualche nozione sulla variazione della forma cristallina dell'acqua intorno a -100°C è nota; il cemento è stato sufficientemente sperimentato; sono pure noti i fenomeni espansivi dell'aria; l'incognita è rappresentata dall'aggregato, che solo in rari casi si presenta di natura omogenea.

Inoltre mentre è sufficientemente noto il comportamento del calcestruzzo nell'intervallo di temperature comprese fra +80°C e -20°C, non è possibile stabilire, a priori e con certezza, quanto e come possano incidere sul conglomerato le variazioni dimensionali dei singoli componenti quando l'ambiente è caratterizzato da temperature inferiori a -100°C.

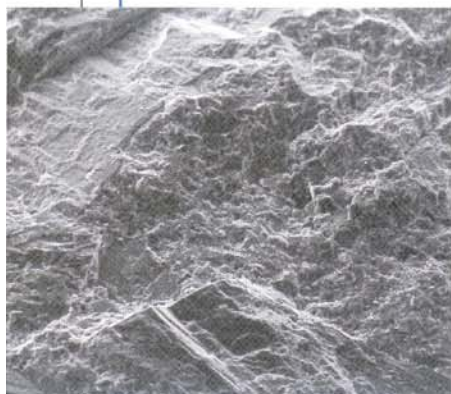


Foto: Laboratorio R&D Mapei

individuato durante le prove di laboratorio. L'inglobamento del quantitativo di microbolle d'aria necessario per la resistenza ai cicli di gelo e disgelo è stato assicurato dall'utilizzo di un additivo aerante. Durante l'esecuzione dei lavori, oltre ai normali prelievi di campioni per i controlli di legge, si è provveduto all'estrazione, mediante carotaggio, di alcuni campioni cilindrici da sottoporre a verifica, per la conferma dei risultati ottenuti in fase di qualifica degli impasti.

Le schede tecniche dei prodotti citati in questo articolo sono contenute nel raccoglitore Mapei numero 4 "Linea additivi".



SCHEDA TECNICA

Cantiere: Impianto GNL, Panigaglia (SP)

Anno di costruzione: inizi anni '70

Anno di ristrutturazione: 1996

Committente: Snam SpA, Milano

Supervisione Lavori:
Snamprogetti SpA, Milano

Progettazione generale: PDM Inc., Pittsburgh, PA, USA

Progettazione civile e Direzione Lavori:
CeAS Centro di Analisi Strutturale srl, Milano

Studio mix-design: Technobase, Palazzolo S/O

Imprese esecutrici: Co.E.Stra SpA, Firenze
Soc. Edilizia Tirrena, La Spezia

Produzione calcestruzzo:
Italcaltuzzi SpA, Milano

Consulenza tecnica: Gianluca Bianchin - Mapei

Additivo per calcestruzzi: MAPEFLUID X404



FOTO 11