

Cassoni in cemento armato per il nuovo pontile della centrale termoelettrica Enel di Torrevaldaliga

di Vito Alunno Rossetti, Antonella Ferraro, Alessandro Gasparini, Marco Zambernardi

1. Premessa

Nell'ambito del piano degli investimenti attuato da ENEL in Italia nel settore della produzione di energia elettrica, che prevede come principale obiettivo la conversione di 10.000 MW di energia, di cui 5.000 a carbone e 5.000 a ciclo combinato, si inserisce la costruzione della Centrale Termoelettrica ENEL di Torrevaldaliga Nord, sita nel Comune di Civitavecchia (RM).

Il progetto prevede la sostituzione dell'attuale impianto, alimentato ad olio combustibile, con un impianto a carbone pulito di nuova generazione, con la conseguente conversione di 3 delle 4 sezioni da 660 MW, per una capacità totale di 1.980 MW e la realizzazione di due pontili, il primo necessario allo sbarco del carbone e del calcare, (Pontile Principale), il secondo all'imbarco dei residui del ciclo produttivo ovvero gesso e ceneri (Pontile Secondario), nell'area a mare della Centrale.

In questo articolo viene descritta la realizzazione del pontile principale realizzato in calcestruzzo, come caso di interesse per le particolari attenzioni che si è dovuto dedicare nella scelta delle miscele del calcestruzzo, per soddisfare le esigenze connesse alle tecniche operative con cui l'opera doveva essere realizzata e alla durabilità che doveva essere garantita in fase di esercizio.

2. Strutture realizzate

Il manufatto realizzato è un pontile a mare,

lungo circa 370 metri e largo per quasi tutta la sua lunghezza 17 metri, costituito da 14 cassoni cellulari in cemento armato prefabbricato. La particolarità dell'opera consiste nel fatto che devono essere realizzati in mare con getto continuo, per essere poi trasportati via mare, affondati e infine, riempiti con zavorra granulare.

2.1 I cassoni cellulari

I 14 cassoni sono di diversa grandezza e presentano una caratteristica struttura a celle, in particolare:

- un cassone con dimensioni in pianta di circa 13 x 17 m² ed elevazione di 18 m;
- un cassone con dimensioni in pianta di circa 13 x 32 m² ed elevazione di 19 m;
- un cassone con dimensioni in pianta di circa 13 x 32 m² ed elevazione di 21 m;
- 11 cassoni di dimensioni in pianta di circa 17 x 32 m² ed elevazione di 21 m.

L'intero Pontile Principale, ha richiesto un volume complessivo di calcestruzzo di oltre 30.000 m³. Il conglomerato cementizio è stato prodotto all'interno del cantiere (Antemurale Cristoforo Colombo nel Porto di Civitavecchia) mediante un impianto di betonaggio.

2.2 Aspetti costruttivi

Per realizzare quanto previsto in progetto, l'impresa si è avvalsa dell'esperienza di un partner, la società spagnola DRACE, che ha fornito una struttura progettata speci-



Fig. 1 – Bacino galleggiante utilizzato per la realizzazione dei cassoni.



Fig. 2 – Messa in opera dell'armatura.

ficamente per la costruzione di cassoni in calcestruzzo armato. Si tratta di un bacino di prefabbricazione galleggiante, il “Dique Flottante n°2”, che è stato ormeggiato nel Porto di Civitavecchia, nella parte finale dell’Antemurale Cristoforo Colombo.

Tale bacino è costituito da un pontone in acciaio di 44 x 28 m² con agli angoli quattro torri alte 20 metri (si veda la Figura 1).

La struttura permette di immergere e far riemergere i cassoni, riempiendo e svuotando le casse di zavorra, consentendo di varare i manufatti costruiti sul pontone.

La costruzione è realizzata nelle seguenti fasi:

1. preparazione del pontone, messa in opera dell'armatura prefabbricata della soletta e della casseraura;
2. getto della soletta;
3. messa in opera del ferro di armatura delle elevazioni (1° alzata) e posizionamento del pontone nel bacino;
4. abbassamento della cassaforma sul pontone;
5. getto dell'elevazione;

6. sollevamento dei casseri scorrevoli (casseri rampanti), contemporaneamente ai getti d'elevazione;
7. preparazione per il varo;
8. varo del cassone, ritorno al galleggiamento del bacino e pulizia del pontone.

La preparazione e la messa in opera del ferro di armatura della base sono eseguite su un pontone ausiliario (si veda la Figura 2). In tal modo, queste operazioni si possono realizzare contemporaneamente alla costruzione del cassone, minimizzando il tempo di occupazione del bacino e incrementando la qualità del lavoro di assemblaggio che le maestranze possono eseguire con più tempo a disposizione.

Dopo l'assemblaggio dell'armatura, il pontone ausiliario viene trasferito nel bacino, dove la gabbia di armatura viene sollevata e tenuta sospesa dalla struttura del bacino per mezzo di cavi d'acciaio. Il pontone ausiliario viene rimosso e l'armatura viene abbassata e fissata alla base del bacino; viene poi posizionata la cassaforma sulla base del cassone e gettato il calcestruzzo. ▶

Per consentire la vibrazione, l'operazione di getto della base viene eseguita gettando il calcestruzzo in strati di spessore inferiore ai 25 cm. Completato il getto della soletta, viene messa in opera l'armatura della prima elevazione del cassone e viene abbassata e posizionata la cassaforma mobile (cassero rampante).

Il calcestruzzo è gettato in strati di spessore di circa 30 cm alla volta realizzando una velocità di getto di circa 15-20 cm/h, facendo in modo che le operazioni di fissaggio del ferro, del getto del calcestruzzo, vibrazione e scorrimento dei casseri dell'elevazione successiva, avvengano ininterrottamente fino a quando viene raggiunta l'altezza di coronamento del cassone (si veda la Figura 3). In questo modo si evitano gli indesiderati giunti freddi e si garantisce la monoliticità del manufatto, a vantaggio della durabilità. Quando tutta l'elevazione del cassone è stata gettata, le casse del bacino vengono allagate fino a che non si raggiunge il livello giusto per il varo del cassone, ovvero il cassone è lasciato galleggiare liberamente e può essere rimorchiato al luogo stabilito per l'ancoraggio provvisorio.

2.3 Posa in opera dei cassoni

Conclusa la produzione di tutti i cassoni, si procede all'attività di posa in opera degli

stessi per la realizzazione del pontile principale (si veda Figura 4), rimorchiando i cassoni dall'ancoraggio provvisorio fino all'area di posa in opera definitiva.

Seguendo un'accurata procedura di riempimento delle celle interne con acqua, i cassoni sono stati progressivamente appesantiti e fatti adagiare sul fondale di posa, monitorandone costantemente l'affondamento ed il posizionamento. Sui cassoni così affondati, esauriti i cedimenti immediati del piano di fondazione, sono poi cominciate le operazioni di realizzazione della sovrastruttura.

3. Requisiti del calcestruzzo

L'individuazione della tipologia di calcestruzzo idonea per la realizzazione dell'opera, è stata effettuata tenendo in conto le prescrizioni contenute nelle Norme Tecniche d'applicazione della L. 1086 (che per la durabilità fanno riferimento alle norme UNI) e nel Capitolato d'appalto redatto in sede di progettazione.

Le Norme Tecniche per quanto concerne la durabilità delle opere o parti di opere fanno riferimento alla norma UNI EN 206-1 ed al relativo Documento di Applicazione Nazionale cioè la UNI 11104.

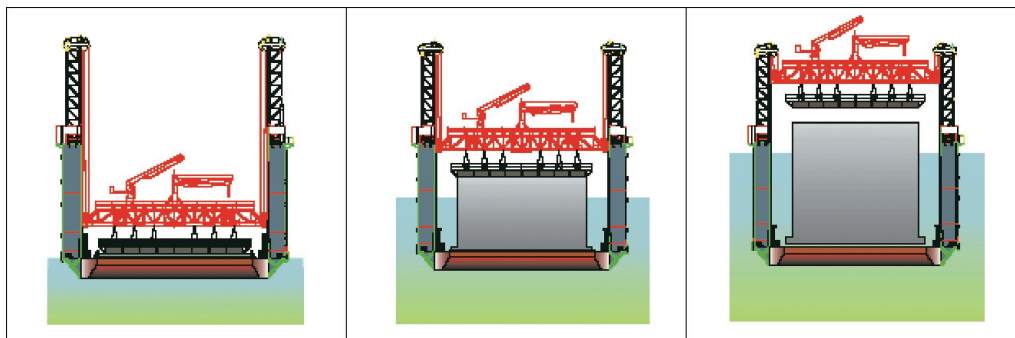


Fig. 3 – Sequenza delle operazioni nel bacino per la realizzazione dei cassoni.

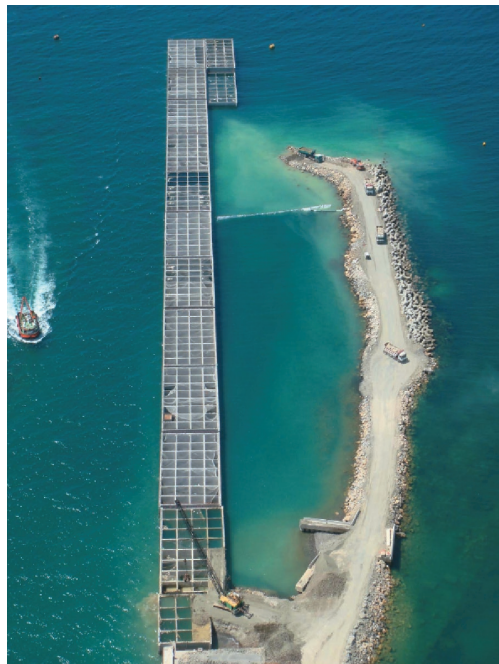


Fig. 4 – Pontile principale; si può osservare la struttura a celle dei manufatti.

3.1 Resistenza strutturale e classe di esposizione

Le caratteristiche strutturali dell'opera richiedono una resistenza caratteristica pari a 45 MPa.

Per quanto riguarda la durabilità, la definizione dei requisiti esplicitati nel Capitolato ha tenuto conto della UNI EN 206-1, attribuendo la *classe di esposizione XS3*, in quanto si tratta di strutture con zone esposte alle onde oppure alla marea.

Per tale classe i requisiti minimi sono:

- Rapporto a/c massimo = 0.45
- Classe di resistenza minima C35/45
- Contenuto minimo di cemento 360 kg/m³

3.2 Metodica costruttiva e qualità del calcestruzzo

Ulteriori requisiti considerati nello studio del mix design del calcestruzzo sono stati ►

in **CONCRETO 83**



Molteplici prodotti un unico obiettivo

il vostro successo

- **Additivi per Calcestruzzo**
- **Additivi per conglomerati cementizi leggeri**
- **Malte e Prodotti cementizi speciali**
- **Prodotti per pavimenti industriali**
- **Disarmanti e membrane protettive stagionanti**
- **Prodotti Speciali**
- **Resine per la riparazione e protezione di strutture in calcestruzzo**

www.dracoitaliana.com

Draco Italiana S.p.a.

Via Monte Grappa 11 D/E - 20067 - Tribiano (MI)

Tel. 02 90632917 ra - Fax 02 90631976

e.mail: info@dracospa.com - www.dracospa.com

dettati dalle modalità esecutive dei getti che dovevano essere eseguiti senza soluzione di continuità e utilizzando casseri rampanti. Il calcestruzzo quindi, doveva essere pompabile e con una velocità di presa idonea a consentire il sollevamento dei casseri con una velocità di circa 15/20 cm all'ora. Nello studio della miscela, tenuto conto anche della vicinanza tra la centrale di betonaggio e il cassone in fase di getto, si è considerata una consistenza iniziale S4.

4. Materiali

Vengono descritti di seguito le caratteristiche dei materiali utilizzati, alcuni dei quali non abitualmente impiegati nelle costruzioni ordinarie.

4.1 Aggregati

Oltre ai requisiti progettuali, normativi, di durabilità ed esecutivi, si è tenuto conto di un fattore economico imprescindibile: l'impiego del materiale prodotto dall'impresa, ovvero aggregati basaltici di diversa pezzatura muniti di dichiarazione di conformità CE 2+ in accordo alla norma UNI EN 12620. Tali materiali, pur di eccellente qualità come componenti del calcestruzzo indurito, in particolare per la loro resistenza meccanica, non sono i più facili, per quel che concerne le proprietà del calcestruzzo fresco in termini di coesione e reologia dell'impasto. Allo scopo di migliorare questi aspetti è stata utilizzata, oltre agli aggregati prodotti dall'impresa, una modesta percentuale di sabbia calcarea di origine alluvionale.

4.2 Armatura zincata

Visto l'ambiente particolarmente favorevole ai fenomeni di corrosione sono state utilizzate, per le parti di strutture più esposte ai fenomeni corrosivi, insieme alla normale armatura d'acciaio anche armatura d'acciaio



Fig. 5 – I due tipi di barre utilizzate.

zincato (Figura 5). In particolare, è stata impiegata nella parte d'elevazione dei cassoni (compresa tra -2 m s.m.l. e +3 m s.m.l.) più esposta alle onde e/o alla marea e quindi maggiormente soggetta ai cicli di asciutto/bagnato. Si tratta di misure preventive generalmente dette di protezione preventiva aggiuntiva, in quanto si affiancano alla protezione garantita dal copriferro e consentono di aumentare il tenore critico di cloruri per l'innesco della corrosione e di ridurre la velocità di corrosione quando il processo è già in atto.

5. Metodica di messa a punto della miscela

Si è proceduto al progetto della miscela con i metodi usuali, nonostante l'utilizzo di materiale basaltico, che presenta caratteristiche differenti dagli aggregati calcarei generalmente impiegati.

5.1 Studio del mix design

Preliminarmente allo studio della miscela sono stati raccolti i dati necessari, in particolare quelli relativi al cemento ed agli aggregati. Sono state eseguite prove preliminari allo scopo di individuare la migliore curva granulometrica, le migliori combinazioni cemento-additivo e la richiesta d'ac-

Tab. 1 - Composizione delle miscele.

MATERIALI		Miscela 1 kg/m ³	Miscela 2 kg/m ³
Cemento	Cem IV/A 42.5 R	380	-
	Cem IV/B 32.5 R	-	380
Acqua		165	165
Additivo		7,9	7,9
Aggregati ssa	Sabbia 0-3 basaltica	783	586
	Sabbia silico calcarea 0-5	90	269
	Graniglia 10-16 basaltica	570	611
	Graniglia 16-25 basaltica	384	368
Aria (litri/m ³)		20	14
Totale		2380	2387

qua. Le prove successive hanno consentito la messa a punto della ricetta ottenendo la consistenza e la velocità di presa volute.

5.2 Messa a punto della miscela in laboratorio

La messa a punto della miscela ha reso necessario un numero cospicuo di prove, poiché, come già detto, gli aggregati basaltici utilizzati, non sono facilmente gestibili per quel che concerne le proprietà del calcestruzzo fresco. Tuttavia, sono stati ottenuti impasti con ottime caratteristiche di coesione e rifinitività, caratteristica questa assai significativa ricordando la modalità di getto. Inoltre, presso il laboratorio sono state ese-

guite diverse prove, allo scopo di monitorare il mantenimento della lavorabilità e adattare i tempi di inizio e fine presa (UNI 7123), anche in relazione alla diversa temperatura ambientale e alle modalità di getto. In seguito all'analisi dei risultati ottenuti sono stati scelti 2 tipi di additivo (formulazione invernale o estiva) a seconda della temperatura. Durante le prove sono state eseguite anche misure di resistenza a compressione e massa volumica. Vengono riportate di seguito la composizione e le caratteristiche delle miscele finali (si vedano le Tabelle 1 e 2). La seconda miscela è stata messa a punto impiegando un cemento CEM IV 32.5 R, di altra provenienza, al posto del CEM IV ►

Tab. 2 - Caratteristiche delle due miscele.

Proprietà	Miscela 1	Miscela 2
Massa Volumica minima della miscela di progetto	2380 kg/m ³	2387 kg/m ³
a/c	0.43	0.43
a/c inclusa acqua apportata dall'additivo	0.44	0.44
Slump iniziale	200 mm (S4)	200 mm (S4)
Slump dopo 30 min. a 25°C	170 mm	150 mm
Slump dopo 60 min. a 25°C	130 mm	110 mm
Tempi di presa a 25 °C		
Tempo inizio presa, UNI 7123	5 h, 20 min	3 h, 0 min
Tempo fine	7 h, 40 min	5 h, 0 min

Tab. 3 – Risultati dei controlli di accettazione.

CASSONE*	MISCELA	CONTROLLO	LABORATORIO	R_m^{**} MPa	s MPa	$R_{ck}^{***} =$ $R_m - 1.48s$ (B) $R_m - 3.5$ (A) MPa
1	1	A	1	61.6		58.1
		A		54.4		50.9
		A		58.9		55.4
14	2	B	2	52.6	2.0	49.6
13	2	B		51.1	2.8	46.9
2	2	B		49.6	0.9	48.2
3	2	B		50.5	1.8	47.9
4	2	B		50.4	1.0	48.8
5	2	B		49.5	0.6	48.5
6	2	B		49.7	0.5	49.0
7	2	B		50.1	1.8	47.5
8	2	B		50.6	1.3	48.7
9	2	B		49.3	1.0	47.7
10	2	B		48.9	1.0	47.5
11	2	B		49.7	0.9	48.4
12	2	B		48.8	1.0	47.4

*L'ordine dei cassoni in tabella rispetta la sequenza dei getti.

** Il valore medio si riferisce alla media di 3 prelievi per il controllo tipo A e alla media di almeno 15 prelievi per il controllo tipo B.

*** Secondo le Norme Tecniche (14/09/2005).

42.5 R, alla luce degli ottimi risultati ottenuti in termini di resistenza a compressione a 28 giorni. Con la seconda miscela sono stati realizzati tutti i cassoni salvo il primo.

5.3 Verifica della miscela all'impianto e qualifica

Preliminarmente alla fase di qualifica, la miscela è stata prodotta e messa a punto anche mediante prove industriali all'impianto di betonaggio.

Raggiunti gli obiettivi voluti, si è passati alla

qualifica della miscela presso l'impianto di produzione nel Porto di Civitavecchia. Le prove hanno avuto inizio solo dopo il completamento di tutte le tarature dell'impianto (bilance inerti, cemento, acqua, dosatore additivo, sonde umidità). I dati ottenuti sono risultati rispondenti a quelli ottenuti in laboratorio.

6. Controllo di qualità del calcestruzzo

Secondo quanto stabilito dalle Norme Tecniche il conglomerato è stato prodotto in controllo di qualità con una fase di valutazione preliminare della resistenza e con il controllo di accettazione durante l'esecuzione dell'opera.

Durante i getti, svolti nell'arco di circa sei mesi e conclusi nel giugno 2007, è stato eseguito un prelievo per ogni 100 metri cubi di getto, per un totale di 311 prelievi. L'impresa ha provveduto al confezionamento dei cubetti e alla loro consegna ai due Laboratori incaricati, per la misura delle resistenze a compressione. Dall'analisi dei valori ottenuti, i controlli di accettazione sono risultati tutti positivi e la loro sintesi è riportata nella Tabella 3 (si è considerato ogni cassone come un'opera a sé stante). Si riporta altresì nella Figura 6 la rappresentazione grafica dei risultati dei controlli di accettazione (3 controlli tipo A per il cassone di circa 900 m³, 13 controlli tipo B per gli altri cassoni di almeno 1500 m³). I dati ottenuti sono largamente soddisfacenti: tutte le resistenze di prelievo sono risultate maggiori di 45 MPa, mantenendosi quindi ben al di sopra del valore minimo di norma di 41.5 MPa. Inoltre, il coefficiente di variazione della miscela 2 è risultato particolarmente basso, pari a 0.033 (essendo la resistenza media di tutti i prelievi di 50.0 MPa ed s di 1.64 MPa). Questi risultati testimoniano oltre all'idoneità della produzione la sua elevata qualità. ►

7. Conclusioni

La realizzazione del Pontile Principale della Centrale Termoelettrica ENEL di Torrevaldaliga Nord, sita nel Comune di Civitavecchia (RM), è stata eseguita adottando accorgimenti costruttivi e tecnologici dettati dalla particolarità dell'opera e dalle modalità di realizzazione.

L'impresa ha provveduto alla progettazione esecutiva e alla costruzione, avvalendosi nella fase di realizzazione dei manufatti, dell'esperienza e dell'attrezzatura di una società partner spagnola. Si è infatti, utilizzato un bacino galleggiante progettato specificamente per la costruzione in mare di cassoni in cemento armato. Tale attrezzatura, ha consentito di velocizzare e semplificare le operazioni di messa in opera del calcestruzzo, il varo e il trasporto dei manufatti realizzati.

I cassoni sono stati realizzati con un conglomerato cementizio C35/45 idoneo a garantire i requisiti di durabilità della UNI EN 206-1 per la classe di esposizione XS3.

Visto l'ambiente particolarmente favorevole ai fenomeni di corrosione, si è inoltre adottata la misura preventiva dell'uso di armature zincate.

Utilizzando il materiale prodotto dall'impresa, aggregato basaltico non facilmente gestibile per quel che concerne le proprietà del calcestruzzo fresco, sono state ottenute miscele con ottime caratteristiche di coesione e rifinitività.

Inoltre, tali miscele sono state progettate affinché avessero una lavorabilità appropriata per le modalità di getto (classe S4) e nel contempo un inizio e fine presa tali da permettere il sollevamento dei casseri rampanti con la prevista velocità di circa 15/20 cm all'ora, eseguendo i getti senza soluzione di continuità. In tal modo si è evitata la formazione di giunti freddi, a vantaggio della durabilità.

L'elevata qualità del calcestruzzo è stata riscontrata anche dall'analisi dei controlli di accettazione risultati tutti positivi e largamente soddisfacenti.

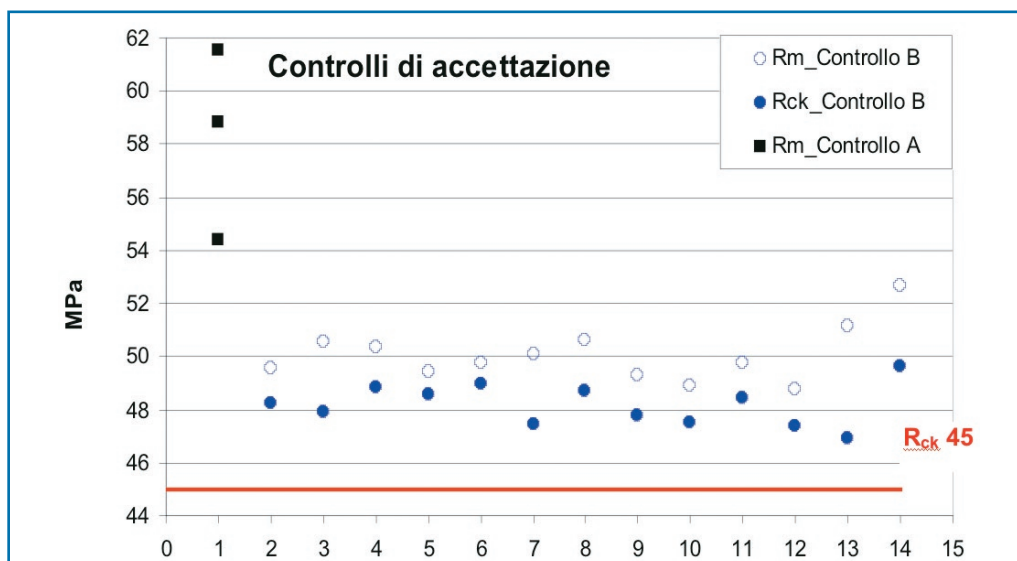


Fig. 6 – Rappresentazione grafica dei risultati dei controlli di accettazione.