

Sistema statico e caratteristiche strutturali

Il serbatoio è concepito come un'asta verticale incastrata alla base. Le dimensioni geometriche della struttura sono: altezza fuori terra 47,86 m, diametro esterno della vasca 35,65 m, diametro del fusto 4 m (interno) e 5,20 m (esterno), spessore della lastra troncoconica 0,25 m, esclusi i supporti.

La vasca troncoconica è precompressa con il sistema della post-tensione. I cavi post-tesi sono composti da 16 e 24 fili di diametro 7 mm. All'interno della vasca sono alloggiati dei setti forati (smorzatori) che impediscono al liquido di entrare in risonanza con la struttura in caso di sisma o di sollecitazioni dinamiche in genere.

Il calcestruzzo della vasca è sempre sottoposto alle sollecitazioni di compressione (minimo 10kg/cm²), per qualsiasi condizione di carico, termico o sismico compresi.

La verifica statica è stata eseguita sia con il metodo membranale, sia con la schematizzazione bidimensionale a meridiani e paralleli (per condizioni di carico simmetrico), sia infine con gli elementi finiti per l'analisi statica spaziale e con schema ridotto per l'analisi dinamica spaziale (vento e sisma per zona sismica di seconda categoria).

Le figure da 1 a 3 danno alcuni dettagli strutturali del serbatoio pensile e le figure da 5 a 14 offrono una documentazione fotografica dei vari stadi della costruzione. In particolare le figure 12 e 13 mostrano la realizzazione della copertura del serbatoio, costituita da travi prefabbricate in calcestruzzo armato precompresso (luce 15m, altezza 0,90 m), sostenenti la soletta gettata in opera.

I materiali

L'acciaio di tipo armonico ha caratteristiche di rottura a trazione pari a $R_{m} = 165 \text{ kg/mm}^2$, con limite convenzionale allo 0,2% di $R_{e} = 145 \text{ kg/mm}^2$ e modulo d'elasticità $E = 2,7 \cdot 10^4 \text{ kg/cm}^2$. La tensione iniziale media dei fili è di $96,76 \text{ kg/mm}^2$ e quella di esercizio di $87,46 \text{ kg/mm}^2$ con caduta totale media prevista di $9,30 \text{ kg/mm}^2$.

L'armatura lenta è costituita da acciaio FeB 38K, con carico di snervamento (limite convenzionale allo 0,2%) pari a 3.800 kg/cm^2 .

In totale sono stati impiegati 19.000kg di acciaio armonico e 237.000kg di acciaio normale.

Per il calcestruzzo sono state progettate due miscele aventi resistenza caratteristica a compressione a 28 giorni ($R_{c,k}$) di 400 kg/cm^2 e di 300 kg/cm^2 , rispettivamente per il fusto e per la vasca. Per entrambe le miscele è stato richiesto un coefficiente di permeabilità (secondo Darcy) inferiore a $1 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^3/\text{sec}$, una alta densità, una buona "faccia a vista" e valori bassi di ritiro e fluage. Soprattutto per il guscio della vasca, data la precompressione, è stato importante realizzare un calcestruzzo che presentasse allo stato indurito fenomeni reologici molto contenuti: infatti il valore di caduta totale media di tensione messo in conto in questo caso è stato di solo $9,30 \text{ kg/mm}^2$ a fronte di valori normali che in genere assommano a $20-30 \text{ kg/mm}^2$.

È stato quindi scelto un rapporto fra la tensione nel calcestruzzo e la sua resistenza caratteristica a compressione pari a 0,10, rapporto che scende a 0,09 se si considera la resistenza media del calcestruzzo. Inoltre la curva granulometrica degli inerti è stata accuratamente studiata così da ottenere la resistenza a compressione più alta possibile con il minimo dosaggio di cemento. È stato anche impiegato un additivo superfluidificante (il Rheomac 716) per ridurre drasticamente il rapporto acqua/cemento (A/C), lavorando con slump di circa 7 cm per la vasca e di 22cm per il fusto.

La tab. I mostra le analisi granulometriche e la fig. 4 la curva granulometrica degli inerti alluvionali tondi e frantumati, scelti fra quelli disponibili in zona ed aventi le

più elevate caratteristiche meccaniche.

Le Tab. II e III danno le caratteristiche del calcestruzzo fresco e del calcestruzzo indurito rispettivamente. Il ritiro igrometrico è stato misurato su provini prismatici di dimensioni $16 \times 16 \times 64 \text{ cm}$, stagionati a temperatura di $20 \pm 5^\circ \text{C}$ e ad umidità relativa di $50 \pm 70\%$.

La deformazione sotto carico (comprendente la quota elastica, il ritiro, il fluage "fondamentale" e quello da "essiccamento" - basic and drying creep (ϵ)) è stata misurata

Tabella I Analisi granulometrica degli inerti.

APERTURA VAGLI	Percentuale passante (%)			
	0,075	0,15	0,3	0,6
25.4	—	—	—	18.7
19.1	—	—	1.7	82.4
12.7	—	—	18.7	99.1
9.52	—	—	54.3	99.6
4.76	—	—	76.1	100
2.38	8.4	26.1	96.3	100
1.19	35.2	51.2	98.5	100
0.595	54.6	72.1	99.4	100
0.257	67.0	88.5	99.7	100
0.149	75.0	94.5	99.8	100
0.074	81.0	97.5	99.9	100

Tabella II Proprietà del calcestruzzo fresco.

	FUSTO	VASCA
INERTI (alluvionali)	Sabbia di frantoio: 251 (0,4 mm) Sabbia naturale: 183 (0,4 mm) Ghiaia: } 4+12 cm: 211 } 12+30 cm: 351	251 183
Cemento 375 Portland (kg/m ³)	320	350
Superfluidificante Dosaggio	tipo B 1,53	tipo B 1,53
A/C	0,41	0,45
Slump (cm)	22	28
Capacità di bloccaggio	0,001	0,001

ta su provini prismatici di dimensioni uguali a quelle dette dianzi e stagionati nelle medesime condizioni. Il rapporto fra le tensioni nel calcestruzzo e la sua resistenza caratteristica a compressione è stato di 0,10 ed i valori totali della deformazione viscosa (fluage), calcolata come deformazione totale meno il ritiro, sono riportati nella tab. III. I valori del fluage specifico ($10^{-4} \text{ %/kg/cm}^2/\text{giorno}$), ben si conciliano con quelli indicati nella memoria (3), se si considerano le differenze nel dosaggio di cemento e nel tipo di inerti esistenti fra i calcestruzzi delle due sperimentazioni.

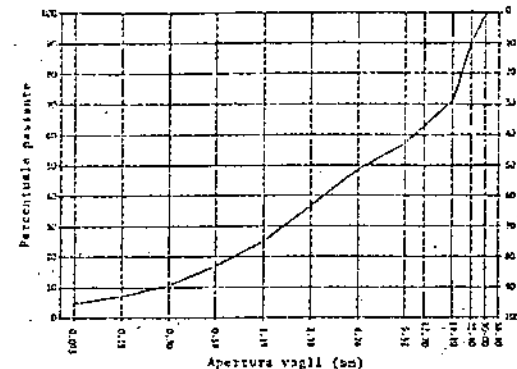


Fig. 4 Curva granulometrica degli inerti.

Tabella III Proprietà del calcestruzzo indurito.

	FUSTO	VASCA
$R_{c,k}$ (kg/cm ²)	28 gg.: 420 90 gg.: 450 240 gg.: 480	28 gg.: 350 90 gg.: 350 240 gg.: 420
Coefficiente di permeabilità (cm/sec)	$90 \text{ gg.: } < 1 \cdot 10^{-10}$	$90 \text{ gg.: } < 1 \cdot 10^{-10}$
Ritiro igrometrico (10 ⁻⁴)	120 gg.: 350 240 gg.: 380	120 gg.: 300 240 gg.: 320
Fluage (10 ⁻⁴)	120 gg.: 250 240 gg.: 310	120 gg.: 140 240 gg.: 210
Fluage specifico (10 ⁻⁴ per kg/cm ²)	120 gg.: 6,67 240 gg.: 7,33	120 gg.: 5,14 240 gg.: 6,00

ESEMPI DI STRUTTURE IN CALCESTRUZZO REOPLASTICO

Sommario

Vengono descritti alcuni esempi significativi di differenti tipi di strutture realizzate con calcestruzzo reoplastico: un serbatoio pensile di 2.750 mc di capacità; la ricostruzione di un treno tandem-oll cellar avente una platea di fondazione di 3.500 mc di calcestruzzo armato, gettato senza soluzione di continuità; un impianto di depurazione di acque civili e industriali, avente una capacità di trattamento di 82.000 mc di acqua al giorno; la strada n° 61, la Mecca-Ad Darb, in Arabia Saudita, lotti K ed L, lunghezza 170,849 km, comprendente l'esecuzione di opere d'arte e manufatti minori per un totale di circa 200.000 mc di calcestruzzo armato normale o precompresso.

Introduzione

In precedenti articoli (1-3) sono stati esaminati sia la possibilità che i vantaggi dell'impiego di un calcestruzzo reoplastico, fluido, privo di segregazione e con bassa perdita di lavorabilità ottenuta senza aggiunta, ritardate, o intervallate nel tempo, di additivo superfluidificante. Il termine "reoplastico" è stato suggerito (3) per indicare un impasto molto fluido, non segregabile, di stinto dal termine "superfluido" che individua solo l'aspetto della scorrevolezza del calcestruzzo, indipendentemente dalla sua coesione.

Le caratteristiche chimiche, chimico fisiche e tecnologiche dei due tipi di superfluidificante a bassa perdita di lavorabilità (Rheomac 561 = tipo A e Rheomac 716 = tipo B), particolarmente indicati per lunghi tempi di trasporto del calcestruzzo, sono state esaminate in altri articoli (1-3). Un terzo tipo di superfluidificante (Rheomac 877 = tipo C) con una rapida perdita di lavorabilità è in genere più adatto per la prefabbricazione di stabilimento o di cantiere (4). La perdita di lavorabilità aumenta nell'ordine dal tipo A al tipo B al tipo C. Tutti questi superfluidificanti sono basati su polimeri di naftalensolfonato condensato con formaldeide (NSF), a venti differenti formulazioni.

Nella presente memoria vengono descritte alcune interessanti applicazioni del calcestruzzo reoplastico in opere particolarmente significative, per la cui realizzazione è stato importante disporre di un calcestruzzo fluido, privo di segregazione e con bassa perdita di lavorabilità. In relazione alle condizioni locali, come la temperatura, il tempo di trasporto del calcestruzzo fresco, la durata e la dimensione del getto, il tipo di cemento, ecc., è stato scelto il superfluidificante di tipo A o quello di tipo B.

Le opere descritte riguardano un serbatoio pensile (A) la ricostruzione di un treno tandem-oll cellar di uno stabilimento siderurgico (B), un impianto di depurazione delle acque civili e industriali (C), la costruzione delle opere in calcestruzzo dei lotti K ed L della strada n° 61 La Mecca-Ad Darb, in Arabia Saudita (D).

1. Serbatoio pensile della Comina, Pordenone

Comittente Comune di Pordenone
 Progettista strutturale dr. ing. Pieralberto Fadalti
 Progettista idraulico dr. ing. Dino Marin
 Consulente delle strutture prof. ing. Franco Levi Fadalti s.p.a., Sacile, Pordenone
 Capacità del serbatoio 2.750 mc
 Calcestruzzo 710 mc di calcestruzzo con Rheomac a consistenza plastica (slump = 7 cm) e 1.575 mc di calcestruzzo reoplastico forniti dalla Società di calcestruzzo

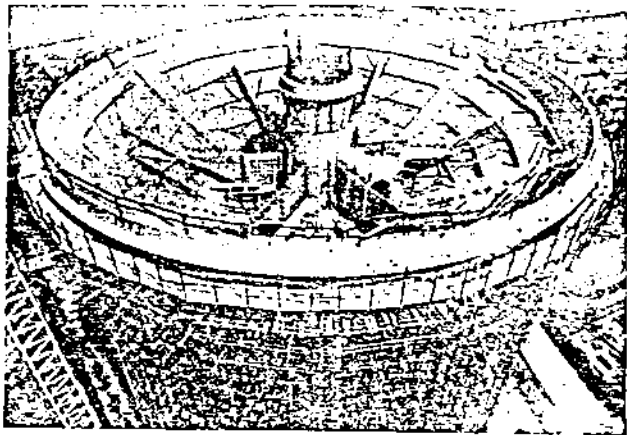


Figura 9. Costruzione degli ammassatori

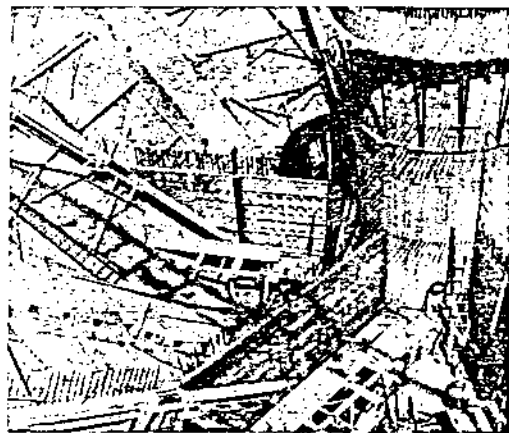


Figura 10. Particolare degli ammassatori in costruzione

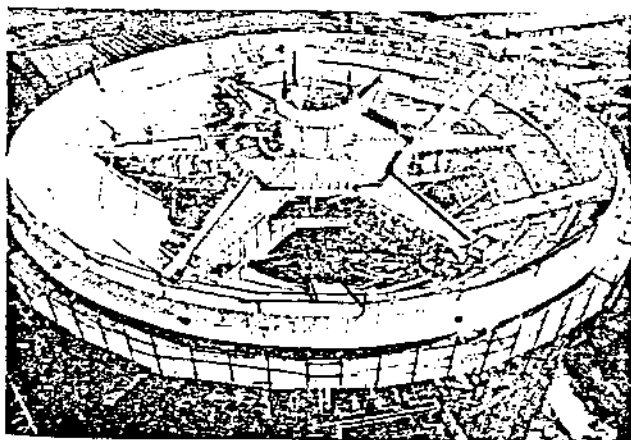


Figura 11. Costruzione dei pianerottoli interni

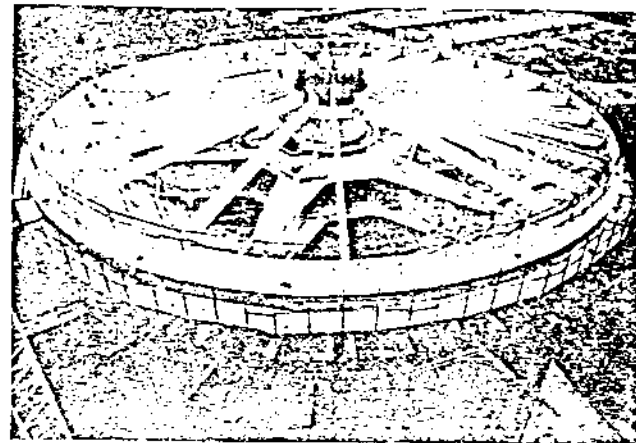


Figura 12. Posizionamento delle travi di copertura prefabbricate

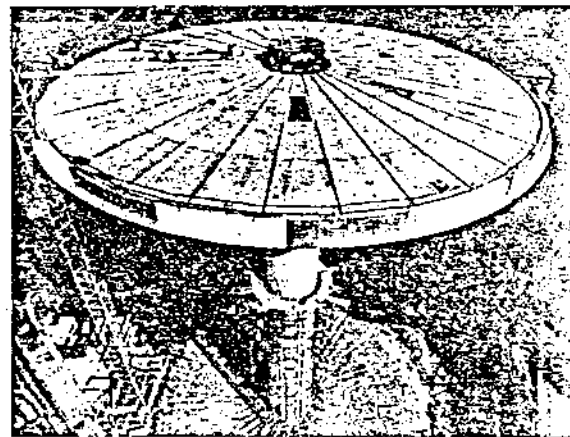


Figura 13. Posizionamento della armatura della lastra di copertura

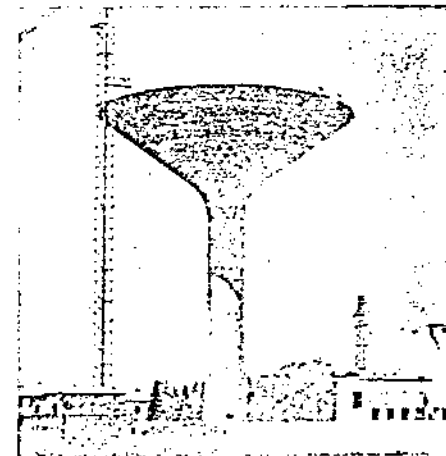


Figura 14. Il serbatoio pensile finito

2. Acciaierie Italsider di Cornigliano, Genova, ricostruzione del treno tandem-oil cellar

Committente: Italsider, Genova
 Progetto: Italmobili, Genova
 Direzione Lavori: Italmobili, Genova
 Impresa: I.S.A. Italstrade s.p.a. Genova
 Calcestruzzo preconfezionato: C.I.E.S.A.s.p.a., Sestri Ponente, Genova
 Cementi s.p.a.: Bolzaneto, Genova
 I.S.A. Italstrade s.p.a., Genova
 Calcestruzzo: 3.500mc di calcestruzzo reoplastico
 Periodo di costruzione: 1978

Descrizione dell'opera

Le opere civili del nuovo impianto del treno tandem-oil cellar sono costituite da una massiccia platea di fondazione in calcestruzzo armato di dimensioni 42,32x45,35m, spessore variabile fra 1,50 e 3,50m, per un totale di 3.500 mc di calcestruzzo, sulla quale si innestano i basamenti dei macchinari e perimetralmente le pareti di contenimento di spessore 0,40 x 0,70 m. La platea si estende a quota -9,00/-14,00m rispetto al piano di campagna ed ha la caratteristica di essere monolitica e di formare con le pareti verticali una vasca impermeabile, essendo la struttura al di sotto della falda di acqua marina di circa 8 m.

Per eseguire il getto dell'intera platea senza soluzione di continuità è stato necessario utilizzare calcestruzzo preconfezionato proveniente da tre diversi impianti, con tempi di trasporto in autobetoniera variabili fra i 10 e 40 minuti.

La fig.15 indica una vista in pianta della platea e contiene i riferimenti per le diverse sezioni verticali rappresentate nelle figure da 16 a 20. La documentazione fotografica illustra la complessità del lavoro e in particolare la fig.21 mostra la platea pronta per il getto, la fig.22 il sistema di canalette adottato per la messa in opera del calcestruzzo, una autobetoniera mentre scarica il calcestruzzo reoplastico nelle canalette (al centro in alto nella foto) e il braccio di una pompa (a destra nella foto), la fig.23 una vista della piattaforma parzialmente finita, la fig.24 un particolare del calcestruzzo reoplastico mentre viene scaricato nella tramoggia della pompa, le figure 25 e 26 dei dettagli del calcestruzzo reoplastico messo in opera mediante canalette e infine le figure da 27 a 29 alcuni particolari della sovrastruttura.

I materiali

La realizzazione della massiccia platea di fondazione, fortemente armata e monolitica, ha comportato lo studio e l'ottenimento di un calcestruzzo che possedesse ben precise caratteristiche sia allo stato fresco che allo stato indurito.

In particolare le proprietà richieste al calcestruzzo fresco sono state:

- alta fluidità (24cm di slump) senza segregazione, sia per consentire al calcestruzzo di penetrare omogeneamente attraverso la densa gabbia di armatura, compattandosi autonomamente vista la grande difficoltà di usare dei vibratori a 1,5 x 3,5 m di profondità, sia per sveltire al massimo le operazioni di getto utilizzando soprattutto canalette ed eventualmente delle pompe solo nelle aree non raggiungibili altrimenti;
- perdita di lavorabilità di circa 16 cm in 4 ore (da slump 24 cm a slump 8 cm), per evitare la formazione di giunti freddi nel getto a tutta parete;
- diametro massimo dell'inerte di 30 mm, per l'esecuzione del copriferro di 4 cm e per le dimensioni dell'interferro.

Parimenti le proprietà richieste al calcestruzzo indurito sono state:

- resistenza caratteristica a compressione (R_{kX}) ≥ 300 kg/cm² e resistenza a trazione $R_{kT} \geq 35$ kg/cm²;
- sviluppo contenuto del calore di idratazione (costi da a vere una temperatura massima nel getto (picco di temperatura) inferiore a 50°C ed una differenza di temperatura fra la parte più calda e quella più fredda del getto inferiore a 18°C);
- un ritiro igrometrico minimo per evitare fessurazioni dannose per la presenza di acqua di mare (la struttura è sotto falda);
- massima compattezza ed impermeabilità.

Per ottenere quanto detto dianzi si è realizzato un calcestruzzo reoplastico con alta lavorabilità e bassa segregazione (tab. IV e tab. V). Date le condizioni climatiche (temperatura = 8 + 10°C), per mantenere la perdita di lavorabilità nei limiti specificati è stato usato un dosaggio di superfluidificante del tipo A pari al 2%. Il calcestruzzo è risultato omogeneo, coesivo, senza bleed ing (figure 24 e 26) e molto fluido, tanto da poter essere messo in opera mediante canalette lunghe fino a 25m, o mediante pompa.

Per ridurre lo sviluppo di calore di idratazione il dosaggio di cemento è stato di soli 300kg/mc di calcestruzzo. Per bilanciare tale contenuto di cemento relativamente basso e per migliorare la resistenza del calcestruzzo ai solfati, è stato aggiunto alla miscela un additivo inglobatore d'aria (HVR) in dose tale da provocare un inglobamento del 4% di aria nel calcestruzzo fresco. Con un impatto di detta composizione sono stati raggiunti tutti i requisiti specificati per il calcestruzzo indurito (tab. V).

Il controllo delle temperature nei punti più freddi (le facce esposte) e nei punti più caldi (a metà altezza) del getto ha fatto registrare un picco di temperatura di 47°C e un differenziale termico di 16°C.

Massa in opera e considerazioni economiche

Nella descrizione precedente sono stati messi in luce i vantaggi tecnici derivanti dall'utilizzazione del calcestruzzo reoplastico. Ma anche dal punto di vista economico la soluzione adottata ha dimostrato la sua validità: infatti soprattutto nella messa in opera sono stati ottenuti dei concreti risparmi, con riguardo sia al numero di operai impiegati, sia al tempo totale utilizzato per il getto, sia al tipo, al numero e alla resa delle attrezzature adoperate. In pratica è stato possibile eseguire il getto massiccio e fortemente armato senza soluzione di continuità, abbandonando le presenti tecniche dei getti di massa che richiedevano l'esecuzione per strati e per campi. Sono stati così organizzati 6 punti di getto costituiti da 5 canalette e da una pompa. Ogni canaletta principale serviva, per mezzo di saracinesche, due o tre canalette secondarie (figure 22 e 23). Le pompe a disposizione sono state due, una in servizio l'altra come riserva. Il tempo totale per la messa in opera dei 3.500mc di calcestruzzo costituenti la platea è stato di 70 ore, con l'impiego di 2.300 ore lavorative totali. Il costo per le attrezzature, pompe e canalette è risultato di lire 2.800.000 circa.

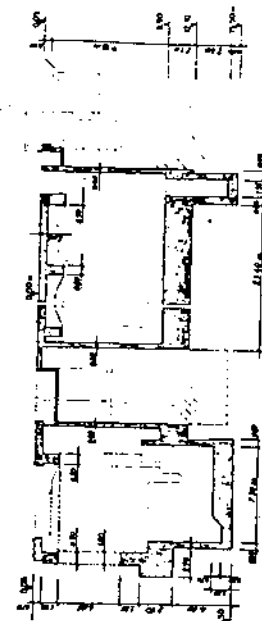
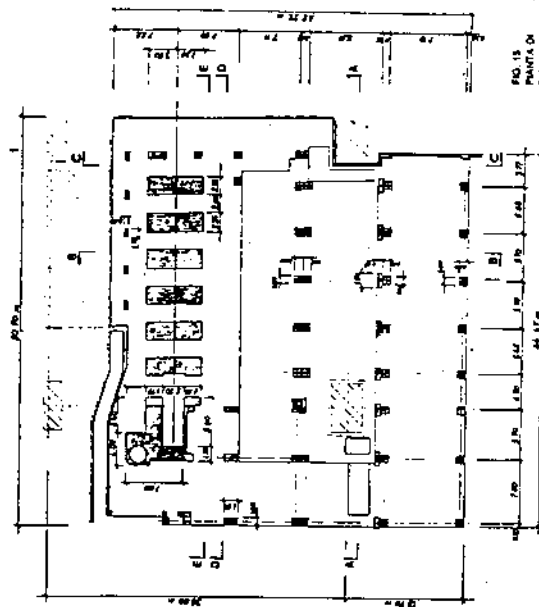
La soluzione tradizionale avrebbe comportato oltre alle maggiori spese derivanti dalla modalità di getto per strati e per campi anche ulteriori costi dovuti proprio alle caratteristiche tecnologiche di un calcestruzzo tradizionale e non reoplastico con bassa perdita di lavorabilità. Il calcestruzzo tradizionale avrebbe infatti per avere le caratteristiche richieste nei dati di progetto e richiamate nel paragrafo precedente avrebbe dovuto contenere un maggior dosaggio di cemento di almeno 50kg/mc e presentare una lavorabilità di 6 x 8cm di slump con la conseguenza che solo una accuratissima vibrazione avrebbe potuto assicurare una buona compattazione. Inoltre, come è stato possibile rilevare sulla base di precedenti esperienze, anche i tempi e le operazioni per il getto ne avrebbero fortemente risentito, con incremento nei costi di mano d'opera valutati in almeno il 30% e maggiore durata di tutta l'operazione di almeno 25%. Va ancora aggiunto che anche le attrezzature avrebbero dovuto essere adeguate alle caratteristiche del

Tabella IV Proprietà del calcestruzzo fresco.

Cemento	Inerti	Additivo	A/C	Slump (cm)	Capacità di bleeding
Tipo V ASTN Dosaggio (kg/m ³)	100	Superfluidificante tipo A Dosaggio	0,19	24	0,0005
Sabbia di fiume Classe 0/4 mm	215				
Sabbia frantumata Classe 0/8 mm	101				
Ghiaia di fiume Classe 8/12 mm	261				
Ghiaia di fiume Classe 12/30 mm	291				
HVR (inglobatore d'aria) Dosaggio					
0,051					

Tabella V Proprietà del calcestruzzo indurito.

Resistenza caratteristica a compressione (R_{kX}) (18 gg.)	345 kg/cm ²
Resistenza caratteristica a flessione (R_{kT}) (21 gg.)	41 kg/cm ²
Coefficiente di permeabilità (K_{00}) (20 gg.)	$2 \cdot 10^{-10}$ cm/sec
Ritiro igrometrico (10^{-6}) (120 gg.)	4-10



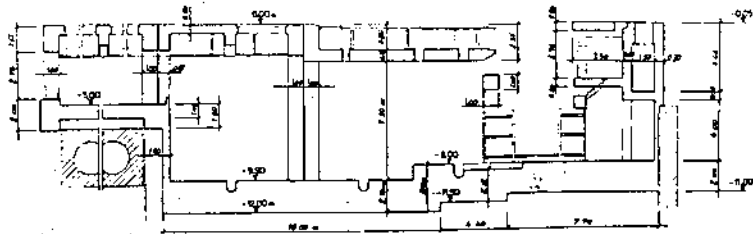


FIG. 17 - SEZIONE B - B

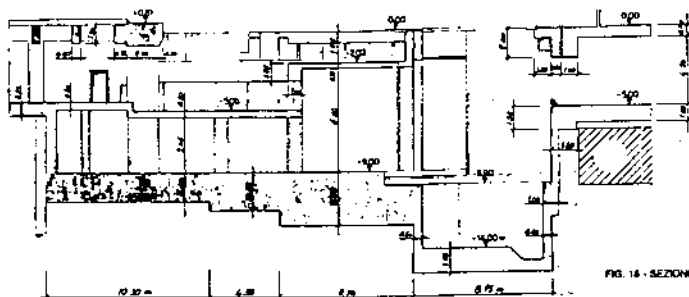


FIG. 18 - SEZIONE C - C

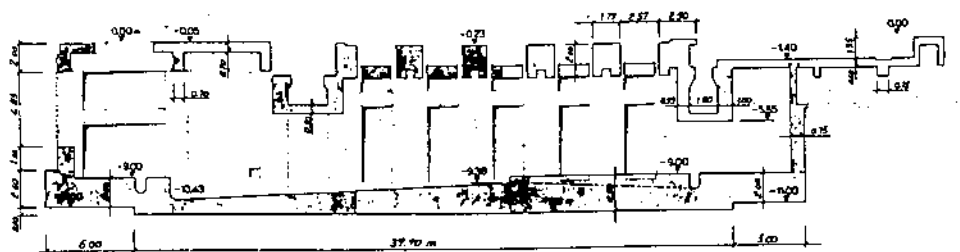


FIG. 19 - SEZIONE D - D

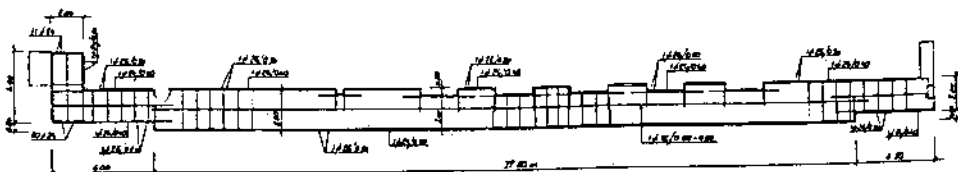


FIG. 20 - SEZIONE E - E

a. 37

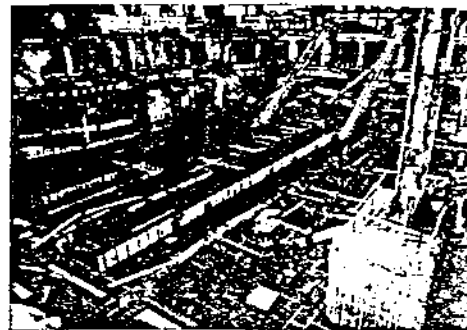


Figura 21. La platea di fondazione pronta per il getto

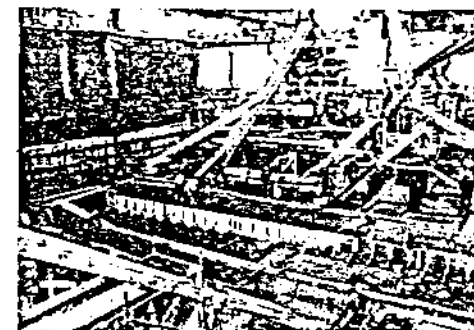


Figura 22. Operazioni di getto: il sistema di canalette, una autobetoniera che smista il calcestruzzo pompato (al centro in alto), il braccio della pompa



Figura 23. Una vista della platea parzialmente completata

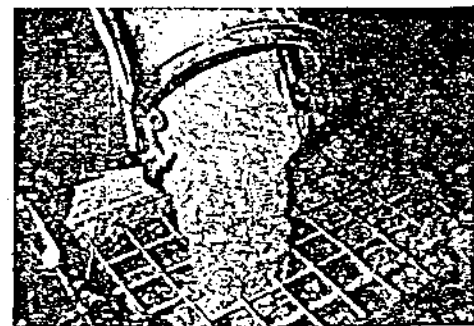


Figura 24. Scorcio del calcestruzzo pompato nella trancotta della pompa

a. 38

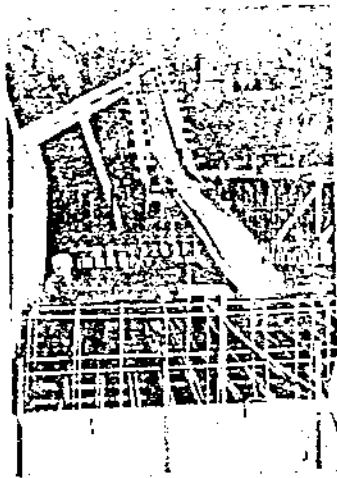


Figura 25. Messa in opera di calcestruzzo reoplastico mediante cavalette

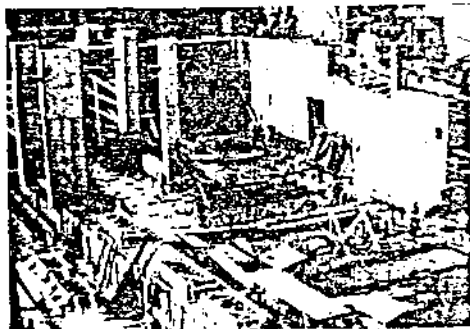


Figura 27. Vista parziale della sovrastruttura: pilastri, muri di contenimento e fondazioni dei macchinari

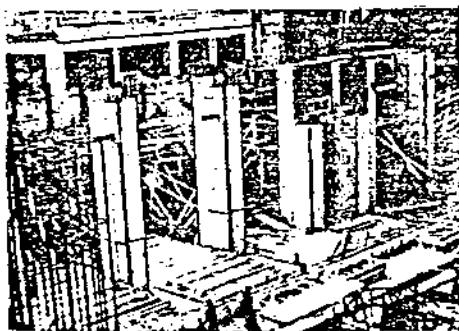


Figura 28. Un dettaglio della colonna: sezione trasversale 1,80x0,87m e 1,00x1,00m; altezza media m 9

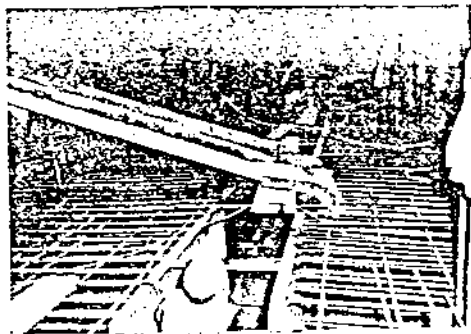


Figura 26. Un dettaglio di due cavalette che scarricano il calcestruzzo reoplastico



Figura 29. Particolare dei muri di contenimento laterale

calcestruzzo tradizionale, prevedendo così l'uso di 5 tonnellate ad alta pressione ed in buono stato, più una di riserva, non potendo più pensare di utilizzare delle cavalette. L'incremento di costo per le attrezzature è stato valutato in almeno 7.000.000 di lire.

In conclusione la soluzione tradizionale nel suo complesso avrebbe comportato dei costi addizionali pari ad almeno il 12% maggiori di quelli riscontrati nella soluzione adottata. È utile infine rilevare che nel confronto economico fatto dianzi sono stati esclusi gli ulteriori incrementi di costo dovuti ad esempio ai trattamenti delle superfici per le riprese di getto e all'impiego delle casseforme per la soluzione tradizionale a strati e campi, oltre alle maggiori spese di energia per la compattazione e eventualmente per il raffreddamento degli inerti o dell'acqua e per un più accurato isolamento del getto.

3. Impianto di trattamento di acque civili e industriali

Committente	Comodepur s.p.a., Como
Progettazione generale e impiantistica	Hydrotechnic Co., Consulting Engineering, New York
Progettazione esecutiva	Techint - Acqua s.p.a., Milano
Progettazione strutture c.a.	prof. ing. A. Migliacci, studio M.S.C., Milano
Direzione Lavori	dr. ing. Alberto Cappelletti, Como
Impresa	Nessi e Majocchi s.p.a., Como
Capacità di trattamento	25,900 mc/g
-acque di scarico civile	25,900 mc/g
-acque di scarico industriale	38,100 mc/g
totale	62,000 mc/g
Calcestruzzo	12,000mc di calcestruzzo reoplastico
Periodo di costruzione	1977-1978

Processo di trattamento

L'impianto di trattamento prevede i seguenti stadi: grigliatura, stazione di sollevamento, dissabbiatori, bacino di equalizzazione, bacini di aerazione, chiarificatori finali, impianto di filtrazione con servizi, disinfezione, inspessimento fanghi, digestione, disidratazione e tutti i vari servizi. Il progettista generale è illustrato nella fig. 30, mentre la fig. 31 rappresenta il profilo idraulico dell'impianto.

Opere civili più significative

Fra le numerose opere civili del complesso fanno spicco per importanza e complessità le vasche di equalizzazione e di inspessimento fanghi. Lo schema statico di entrambe è costituito sostanzialmente da un muro verticale di sostegno dell'acqua, incastrato elasticamente nella soletta di fondo direttamente appoggiata sul terreno.

L'armatura metallica è costituita da barre d'acciaio nervato con tasso di lavoro di 2.600 kg/cm² e raggiunge nei tratti in vicinanza dell'incastrò del muro alla sua la, il quantitativo di 110 - 130kg di acciaio per metro cubo di calcestruzzo, creando quindi sezioni a forte percentuale di armatura. Le figure da 32 a 34 mostrano alcune sezioni dei bacini di equalizzazione e di aerazione e la fig. 35 dà la sezione verticale della vasca di inspessimento dei fanghi, carpenteria ed armatura. Le figure da 36 a 41 rappresentano infine ulteriori dettagli dell'impianto.

Materiali

L'analisi delle acque da depurare (tab. VI) ha messo in evidenza che l'aggressione nei confronti del calcestruzzo doveva essere tenuta per l'elevato contenuto di sostanze organiche trasformabili in anidride carbonica per la disciolta concentrazione del cloruro, la cui azione corrosiva

nei confronti delle armature viene esaltata dalla contemporanea azione della CO₂ sul calcestruzzo (6).

Tabella VI Analisi chimica media dell'acqua.

Ione solfato (SO ₄ ⁺⁺)	≈ 20 mg/l
Ione solfuro (S ⁻⁻)	≈ 0,005 mg/l
Ione cloruro (Cl ⁻)	≈ 140 mg/l
Sostanze organiche	≈ 700 mg/l
pH	≈ 7,2

È stato perciò necessario realizzare un calcestruzzo praticamente impermeabile e quindi con A/C molto basso (7), al fine di impedire che i cloruri - diffondendo attraverso i pori della pasta cementizia - potessero arrivare ad attaccare le armature e per evitare l'ingresso della anidride carbonica all'interno del calcestruzzo.

D'altro canto, l'alta densità di armatura, i relativamente esigui spessori delle strutture di calcestruzzo e le alte sezioni di getto hanno imposto l'uso di un calcestruzzo molto fluido e privo di segregazione.

Infine, per evitare dannose fessurazioni da ritiro, si è dovuto contenere al massimo il dosaggio di cemento, nonostante l'elevata resistenza caratteristica necessaria (superiore a 300kg/cm²) e porre molta cura alla stagionatura dopo il getto.

Questo è proprio un caso tipico in cui solo un calcestruzzo reoplastico cioè fluido, privo di segregazione ed avente lo stesso rapporto A/C del corrispondente calcestruzzo di slump di 2cm senza l'additivo, può contemporaneamente soddisfare tutti i requisiti detti dianzi.

Tabella VII Composizione e proprietà fisico-mechaniche del calcestruzzo

Cemento	325 Portland Dosaggio (kg/m ³)	330
Inerti	Sabbia naturale classe 0/12 mm	60%
	Chiaia classe 5/20 mm	4%
Superfluidificante	Tipo B Dosaggio	1,5%
A/C		0,42%
Slump (mm)		240
Capacità di bleeding		0,003
R ₂₈ (kg/cm ²)	28 gg.:	330
Coefficiente di permeabilità (cm/sec)		< 1 · 10 ⁻¹⁰

La tab. VII mostra le proprietà del calcestruzzo reoplastico realizzato, con riferimento sia al suo stato fresco, che alla sua condizione di indurimento. Prove preliminari di per diti della lavorabilità nel tempo hanno dimostrato che il superfluidificante di tipo B era in grado di mantenere la lavorabilità dell'imposto per 45' ad un livello sufficiente per una facile messa in opera. L'intervallo di tempo indicato in tab. VII è in giusto conto sia l'organizzazione del cantiere sia le dimensioni degli elementi strutturali da realizzare evi-

- 1 Stazione di pompaggio
- 2 Stazione di sollevamento
- 3 Cabina elettrica
- 4 Piano interrato: mura di fondazione
- 5 Piano interrato: mura di fondazione
- 6 Piano interrato: mura di fondazione
- 7 Piano interrato: mura di fondazione
- 8 Piano interrato: mura di fondazione
- 9 Piano interrato: mura di fondazione
- 10 Vaso di coagulazione e sollevamento acque di controavveggio
- 11 Fabbricato quadri elettriche
- 12 Bacino di sedimentazione acque di controavveggio
- 13 Stazione di sollevamento fanghi da sedimentazione
- 14 Fabbricato dragaggio relativo per la stazione e dotazione
- 15 Serbatoio stoccaggio acqua limpida
- 16 Piano interrato: sovrano per aerazione
- 17 Impianti fanghi di surplus
- 18 Locale pompaggio fanghi surplus
- 19 Direzione servizio
- 20 Fabbricato per sovrano aerazione
- 21 Concavo con fanghi operati
- 22 Locale pompe fanghi concavo
- 23 Piano interrato: preparazione e dotaggio preventivo cabina elettrica
- 24 Piano primo: cantinelle distrazione fanghi
- 25 Sollevamento acque di ritorno
- 26 Cabina elettrica di riavvicinamento
- 27 Serbatoio stoccaggio saponi
- 28 Cabina elettrica e sovrano controavveggio

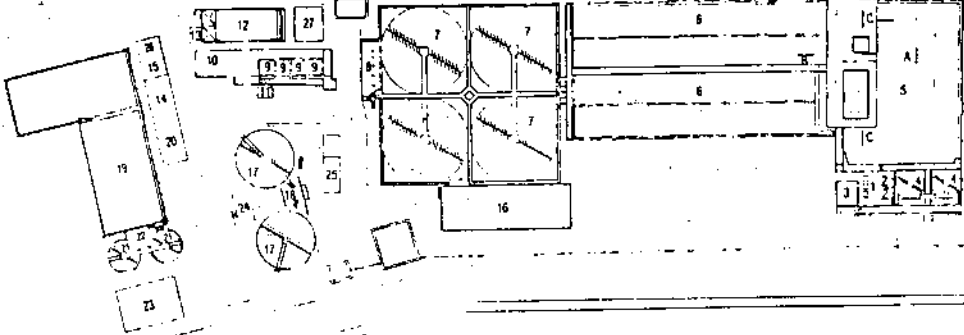
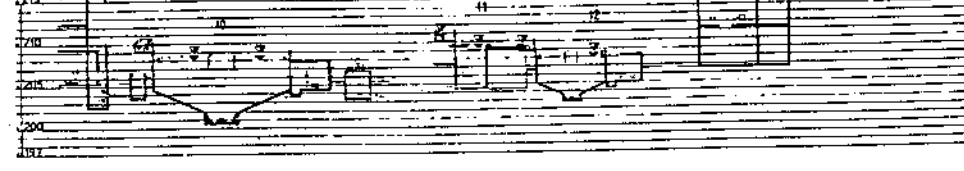


FIG. 30 - PLANIMETRIA GENERALE

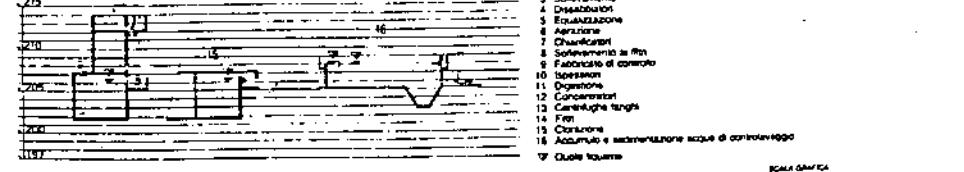
TRATTAMENTO BIOLOGICO



TRATTAMENTO FANGHI



FILTRAZIONE E CLORAZIONE



- 1 Canale sottomarino
- 2 Organi meccanici
- 3 Sollevamento
- 4 Dissabbiatori
- 5 Equalizzazione
- 6 Aerazione
- 7 Chiarificatori
- 8 Sollevamento in filtri
- 9 Fabbricato di cemento
- 10 Spessori
- 11 Digestione
- 12 Concentratori
- 13 Caricatore fanghi
- 14 Filtri
- 15 Clorazione
- 16 Accumulo e sedimentazione acque di controavveggio
- 17 Quota liquore

FIG. 31 - PROFILO ORIZZONTALE

SCALA GRAFICA

A. 41

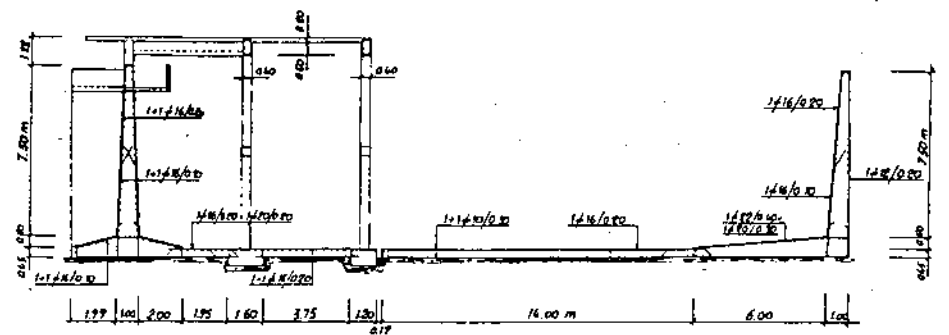


FIG. 32

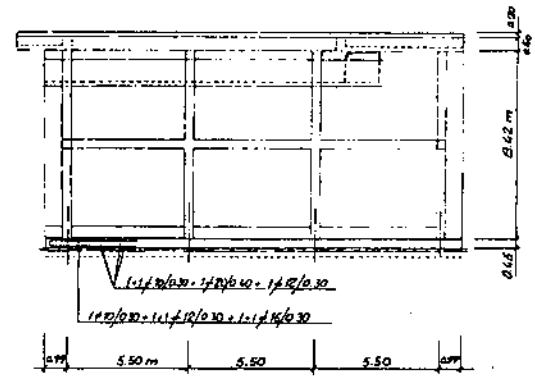


FIG. 33

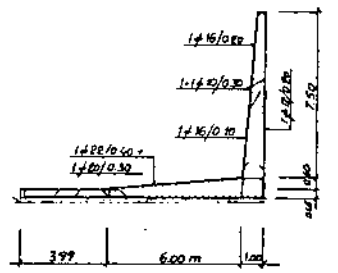


FIG. 34

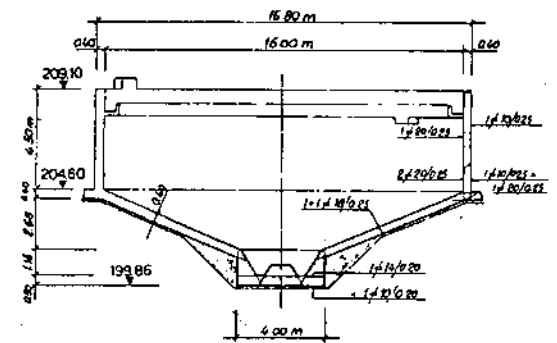


FIG. 35

BACINI DI EQUALIZZAZIONE ED AERAZIONE:
 FIG. 32 SEZIONE B-B
 FIG. 33 SEZIONE C-C
 FIG. 34 SEZIONE A-A
 (C.F.R. FIG. 30 PLANIMETRIA GENERALE)
 BACINO DI ISPESSIMENTO FANGHI
 FIG. 35 - SEZIONE VERTICALE

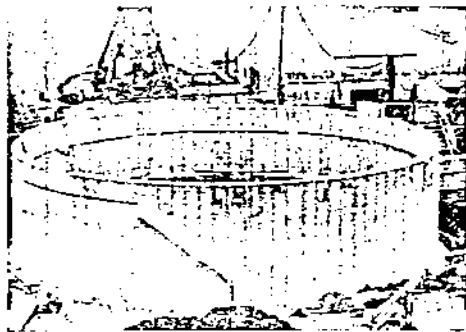


Figura 36. Bacino di inspessimento dei fanghi

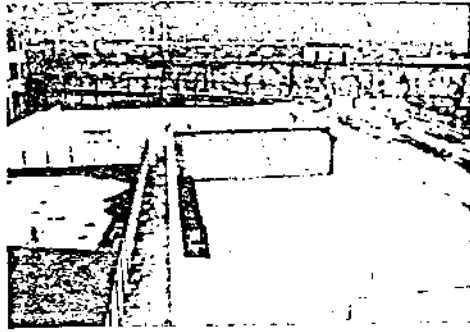


Figura 37. Vasche digestori aerobici

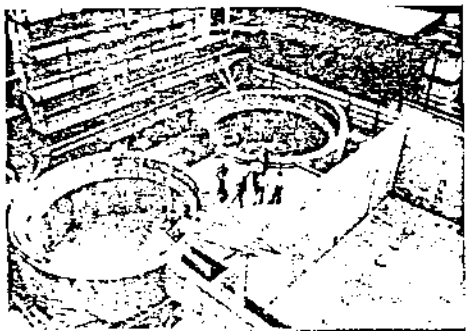


Figura 38. Vasche concentratori fanghi digeriti



Figura 39. Primo piano: bacini di aerazione
Secondo piano: bacini di equalizzazione



Figura 40. Primo piano: vasca inspessimento fanghi
Secondo piano: bacini di aerazione

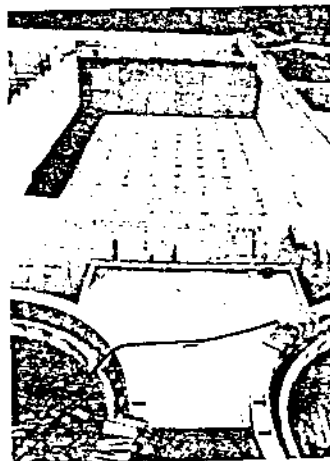


Figura 41. Primo piano: vasca concentratori fanghi digeriti
Secondo piano: vasca digestori aerobici

tando accuratamente la formazione dei giunti freddi fra i vari strati di getto.

Accanto ai vantaggi tecnici ottenuti, il calcestruzzo neoplastico ha consentito risparmi di tempi di messa in opera di circa il 30% rispetto ai tempi previsti per la miscela senza additivo, ha richiesto una minima vibrazione, ha ridotto i tempi di disarmo ed ha completamente eliminato i costi per ritocchi e riparazioni consentendo la realizzazione di manufatti aventi un'eccellente "faccia a vista".

4. Arabia Saudita, Strada n°61 La Mecca-Ad Darb

Committente	Arabia Saudita, Ministero dei trasporti
Progetto	Grandi Lavori, Bologna, Jeddah
Direzione Lavori	Sauti, Roma, Riyadh
Impresa	Grandi Lavori s.p.a., Bologna
	Jeddah, Direttore Generale sig. Tamburini
Calcestruzzo	200.000mc di calcestruzzo neoplastico

Descrizione generale

La strada n° 61 La Mecca-Ad Darb, è la prima strada che collega la Mecca con il sud dell'Arabia Saudita, seguendo il fertile territorio collinare spostato all'interno rispetto alla costa di circa 100 - 150km. Attualmente esiste solo la strada costiera, lungo le rive del Mar Rosso.

L'Impresa Grandi Lavori di Bologna ha vinto la gara di appalto per i lotti K (Al Mudajjif-Mikha di 57,343 km) ed L (Mikha-Wadi Ghat di 112,506km) per una lunghezza totale di 170,249km. L'arteria ha caratteristiche di superstrada ed è costituita da n°3 corsie da 3,80 m (2 per ogni senso di marcia), più due banchine laterali di 2,20m per un totale di 12,00m. Il percorso si snoda su quote variabili fra 300 e 700m sul livello del mare.

Il lavoro è stato organizzato con un campo base e 5 campi mobili. Nel campo base trovano posto un impianto di betonaggio da 80mc/h dotato di 2 premiscelatori a regime forzato (fig.42) che fornisce calcestruzzo anche per un impianto di prefabbricazione per gli impalcati dei viadotti, un impianto di frantumazione degli aggregati da 100mc/h, un impianto per il conglomerato bituminoso, attività logistiche varie e un'officina meccanica per manutenzione e riparazione delle attrezzature. I 5 campi mobili sono attrezzati con i servizi logistici e ciascuno con un impianto di betonaggio da 60mc/h (fig.43). Il numero totale di pompe per calcestruzzo è 5, il numero totale di impianti di calcestruzzo è 7 (fig.44). Il quantitativo totale di calcestruzzo è di circa 200.000mc.

Principali opere in calcestruzzo armato normale e precompresso

L'opera comprende n° 68 viadotti, per una lunghezza complessiva di 6.500km. La tipologia prevede ponti ad una sola campata e viadotti a più luci fino ad un massimo di 48. L'interesse standard delle campate è di 15,60m e lo schema statico è di travi in semplice appoggio (fig.45). L'impalcato è costituito da n°4 travi a "T", prefabbricate e precomprese con trefoli da 1/2: il numero totale degli elementi da prefabbricare è di 1600 per un totale di mc 12.800. Sulle travi prefabbricate viene gettata in opera una soletta collaborante, dello spessore di 25cm (fig.46). Anche i parapetti laterali sono costituiti da elementi prefabbricati in calcestruzzo normale, resi solidi alla trave dell'impalcato mediante un successivo getto di calcestruzzo. Gli impalcati poggiano su pulvini sorretti da due pile circolari di diametro 0,90m e su due spalle in corrispondenza della prima e dell'ultima campata.

Le fondazioni sono dirette e realizzate con plinti massicci. Oltre ai viadotti il lavoro comprende la costruzione di opere minori come tombini, muri di sostegno, sovrappassi, sottopassi, ecc.... Le fig. da 47 a 49 illustrano a.44

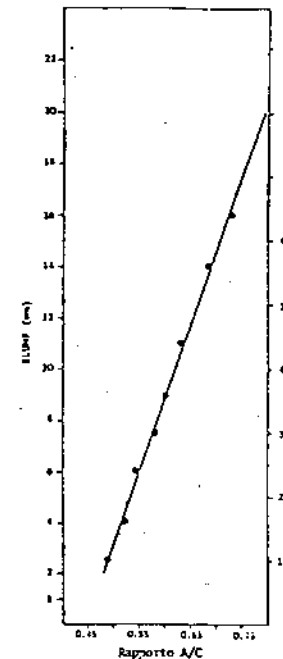


Fig. 62 Calcestruzzo di classe "M": Slump in funzione del rapporto A/C (cls. senza additivi).

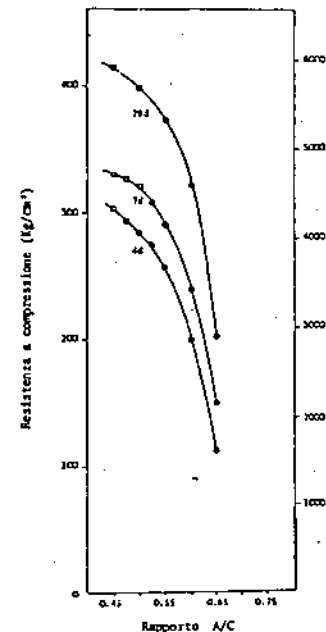


Fig. 63 Calcestruzzo di classe "M": Resistenza a compressione in funzione del rapporto A/C.

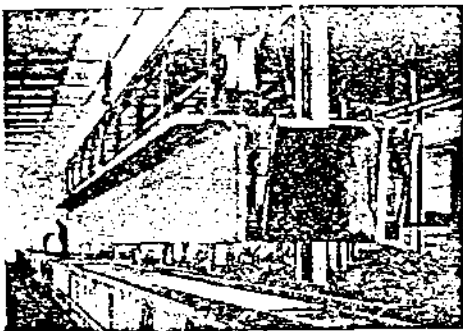


Figura 49. Sossiera delle travi di impalcato a T

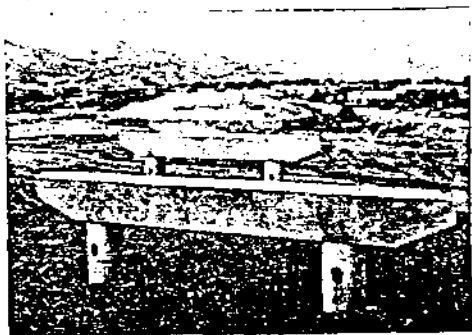


Figura 50. Viadotto da 14 campate, telai di sostegno dell'impalcato

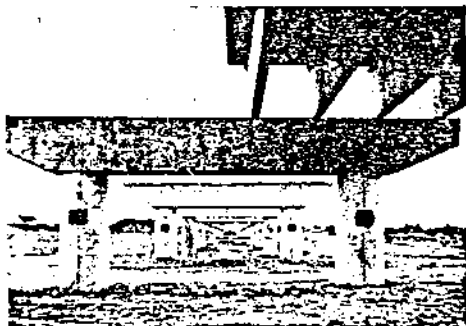


Figura 51. Posizionamento delle travi prefabbricate



Figura 52. Un viadotto a 14 campate finito



Figura 53. Fondazioni di un muro di contenimento: getto di calcestruzzo neoplastico

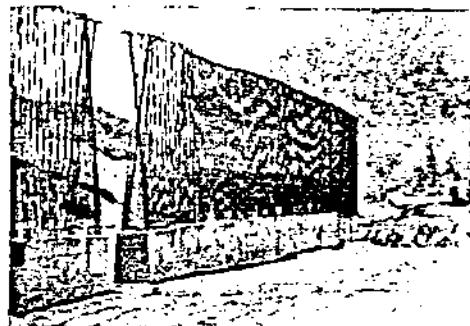


Figura 55. Particolare dell'armatura di una spalla da ponte



Figura 57. Un viadotto a tre luci

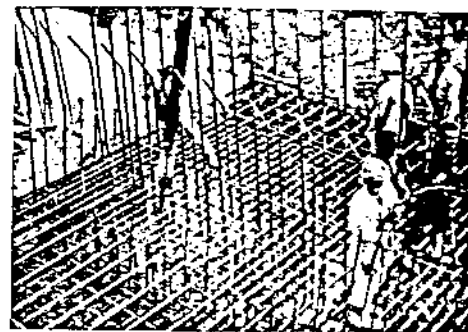


Figura 54. Calcestruzzo neoplastico con bassa peralta di lavorabilità: particolare del parapetto

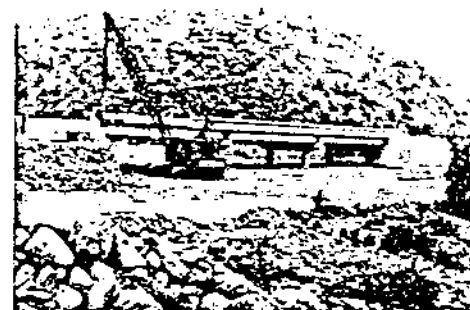


Figura 56. Posizionamento di un parapetto prefabbricato

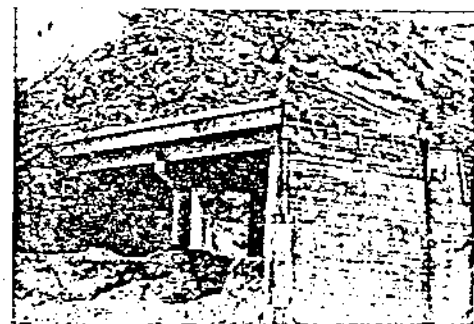


Figura 58. Un ponte a due luci

