

**Opere varie**

---

***Miscellaneous works***

**Pavimentazione industriale  
in lastre prefabbricate  
e precomprese  
a Prato - Calenzano (Firenze)**

**Industrial area paving  
in precast  
prestressed slabs  
at Prato - Calenzano (Florence)**

Progetto:  
Dott. Ing. Silvano Zorzi, Dott. Ing. Lucio Zorzi

Design:  
Dott. Ing. Silvano Zorzi, Dott. Ing. Lucio Zorzi

PERIODO DI COSTRUZIONE: Maggio 1979 - Gennaio 1980

TIME OF CONSTRUCTION: May 1979 - January 1980

Schema statico: lastra indefinita su suolo elastico  
Dimensioni in pianta delle singole lastre prefabbricate: 2,40 m  
× 2,40 m  
Spessore delle lastre: 13 cm  
Numero delle lastre impiegate: 3.800 circa  
Superficie totale della pavimentazione: 22.000 m<sup>2</sup>  
Distanza tra i giunti di dilatazione: variabile da 40 m a 50 m

Static scheme: indefinite slab upon elastic soil  
In plan dimensions of each precast slab: 2,40 m × 2,40 m  
Slab thickness: 13 cm  
Number of slabs utilized: nearly 3.800  
Overall paved surface: 22.000 m<sup>2</sup>  
Spacing between expansion joints: varies from 40 to 50 m

Elementi strutturali precompressi: lastre di pavimentazione  
Tipo di precompressione: post-tensione  
Composizione dei cavi: un trefolo diametro 0,6"  
Tensione iniziale dei trefoli: 136 kg/mm<sup>2</sup>  
Tensione di esercizio dei trefoli: 110 kg/mm<sup>2</sup>  
Tensione massima di compressione nel calcestruzzo:  
— all'atto della precompressione: 14 kg/cm<sup>2</sup>  
— in esercizio: 40 kg/cm<sup>2</sup>  
Valore caratteristico del carico di rottura cubico del calce-  
struzzo, a 28 giorni: 300 kg/cm<sup>2</sup>  
Carico di rottura dell'acciaio: 185 kg/mm<sup>2</sup>  
Limite convenzionale dell'acciaio all'1%: 160 kg/mm<sup>2</sup>

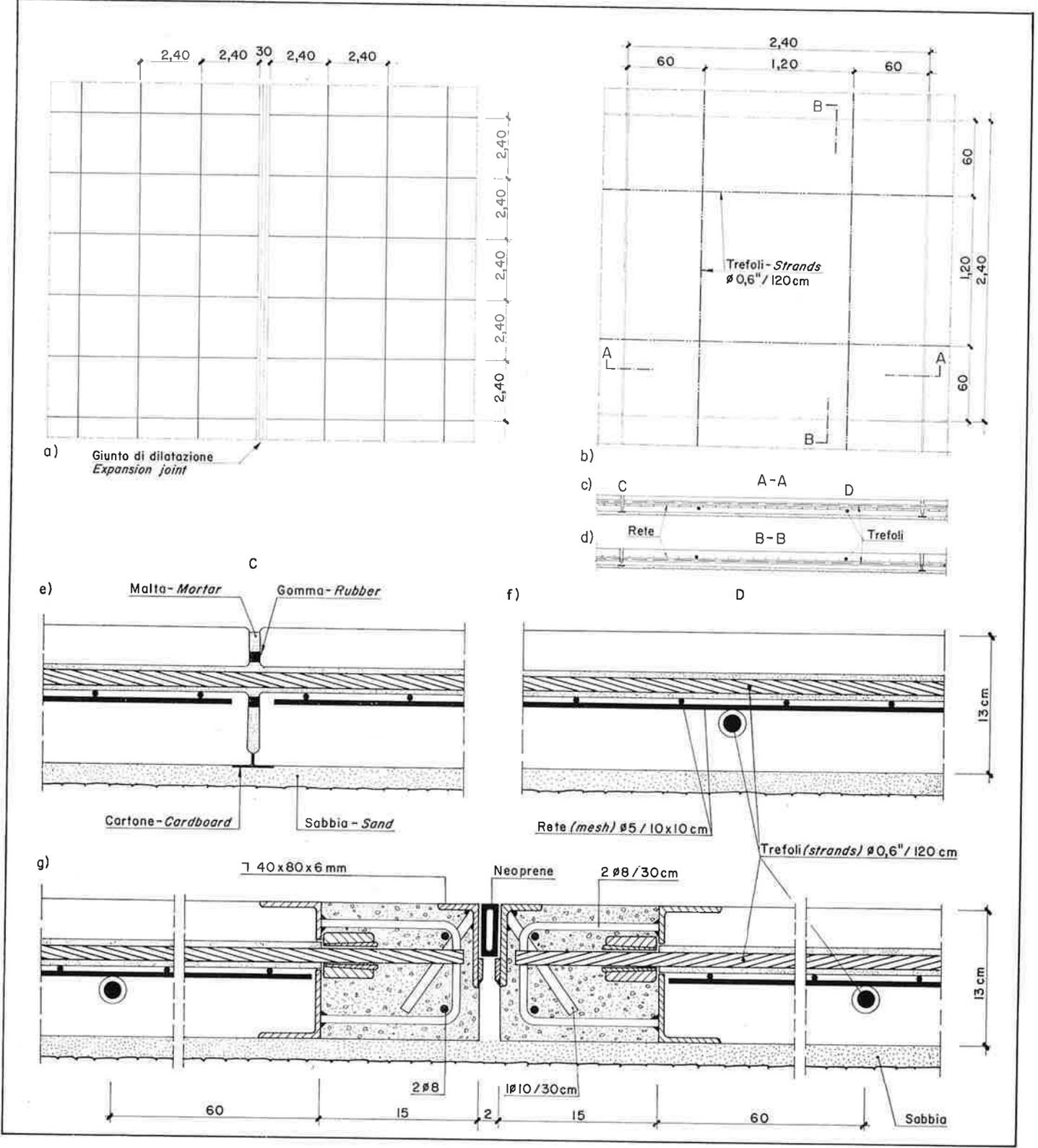
Prestressed structural elements: paving slabs  
Type of prestressing: post-tensioning  
Cable composition: one strand 0,6" diameter  
Initial stress in the strands: 136 kg/mm<sup>2</sup>  
Effective stress in the strands: 110 kg/mm<sup>2</sup>  
Maximum compressive stress in the concrete:  
— at time of tensioning: 14 kg/cm<sup>2</sup>  
— under service conditions: 40 kg/cm<sup>2</sup>  
Characteristic value of cube crushing strength of the pre-  
stressed concrete at 28 days: 300 kg/cm<sup>2</sup>  
Ultimate steel strength: 185 kg/mm<sup>2</sup>  
Conventional steel strength at 1% elongation: 160 kg/mm<sup>2</sup>

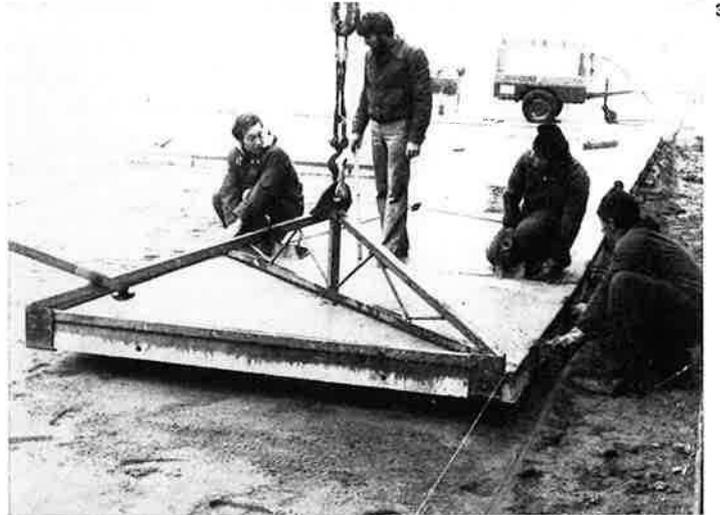
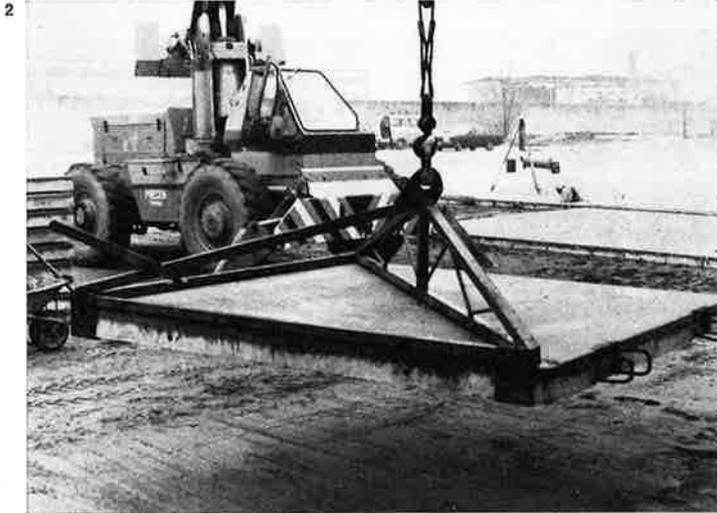
**GENERALITA'**

L'impiego di lastre prefabbricate in calcestruzzo, tra loro asso-  
ciate mediante precompressione bidirezionale, ha risolto l'esi-  
genza di una pavimentazione industriale sicuramente idonea  
a sopportare carichi di elevata intensità. Collocata all'aperto,  
nell'intorno di un edificio industriale adibito a deposito merci,  
la pavimentazione si estende a costituire una fascia perimetrale  
continua per la circolazione e lo stazionamento di veicoli  
pesanti.  
Opportune pendenze consentono lo smaltimento delle acque

**GENERAL**

The utilization of precast concrete slabs, inter-combined by  
means of bi-directional prestressing, has met the need for  
an industrial area paving, safely suitable to support highly  
intense loads. Located in the open air, around an industrial  
building assigned to goods storage, the paving extends so as  
to form a continuous perimetral band for traffic circulation  
and for the parking of heavy vehicles.  
Suitable pavement sloping lets rainwater drain off. The slabs'

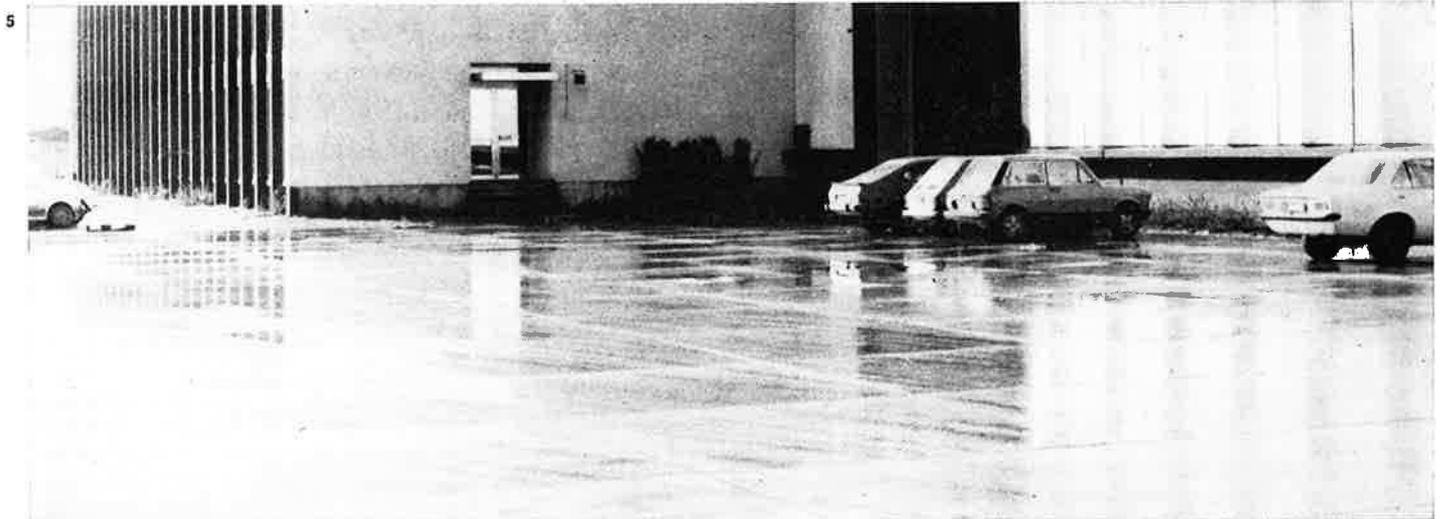




1 - a) Pianta parziale della pavimentazione; b) Schemi di precompressione della lastra tipo; c) e d) Sezioni della lastra tipo; e) Particolare della giunzione tra due lastre; f) Particolare della intersezione ortogonale dei trefoli; g) Giunto di dilatazione; 2-3 - Posa in opera delle lastre prefabbricate di pavimentazione, 2,40 m x 2,40 m, su un letto di sabbia fine monogranulare; 4 - Le operazioni di precompressione della pavimentazione; 5 - La pavimentazione in esercizio.



1 - a) Partial plan of the paving; b) Prestressing scheme of a typical slab; c) and d) Sections of a typical slab; e) Detail of the jointing between two slabs; f) Detail of the orthogonal intersection of the strands; g) Expansion joint; 2-3 - Laying operations of the 2,40 m x 2,40 m precast paving slabs on a bed of fine even-grained sand; 4 - Paving prestressing procedures; 5 - The paving in service.



meteoriche. La finitura superficiale delle lastre, in calcestruzzo additivato con pigmenti, esprime l'effetto cromatico desiderato.

#### SOLUZIONE STRUTTURALE

Due ordini ortogonali di fori passanti predisposti nel corpo delle lastre prefabbricate, hanno consentito l'infilaggio in opera dei trefoli di precompressione. L'armatura ordinaria, proporzionata per le sollecitazioni indotte nelle fasi di sformatura, trasporto e posa, è situata nel piano baricentrico.

La sigillatura in opera dei giunti di accoppiamento tra le lastre e la successiva precompressione hanno consentito la formazione di campi di pavimentazione strutturalmente continua, delimitati da giunti di dilatazione largamente intervallati. La precompressione, prevenendo l'insorgere di fenomeni fessurativi, conferisce parimenti alla pavimentazione ampie prerogative di impermeabilità, di resistenza al gelo e, pertanto, di durabilità strutturale.

#### MODALITA' COSTRUTTIVE

Le lastre sono state prodotte in stabilimento con sistema semi-automatico a carosello entro casseforme fisse.

Il ciclo di produzione è sintetizzato nelle fasi operative essenziali:

- 1) predisposizione dell'armatura baricentrica e dei 4 tubi incrociati sfilabili, per la formazione dei fori passanti;
- 2) getto e vibrazione di calcestruzzo pigmentato, per uno spessore di 5 cm, e successivo getto di calcestruzzo ordinario per i rimanenti 8 cm;
- 3) maturazione a vapore, protratta per circa 8 ore;
- 4) sformatura dei manufatti mediante rotazione di 180° secondo un asse orizzontale, per la destinazione delle facce contro cassero a superficie di usura.

Analogamente, per le fasi che hanno governato le operazioni di cantiere:

- 1) posa delle lastre su un letto di sabbia fine monogranulare e riscontro degli allineamenti dei fori passanti;
- 2) sigillatura dei giunti tra le lastre con malta cementizia a ritiro compensato;
- 3) infilaggio dei trefoli e conferimento della precompressione;
- 4) cementazione dei trefoli nei condotti con boiaccia reoplastica;
- 5) confezione dei giunti di dilatazione.

#### MATERIALI ADOPERATI:

- calcestruzzo per strutture precomprese: 2.860 m<sup>3</sup>
- armatura ordinaria per strutture precomprese: 70,5 t
- acciaio per armature di precompressione: 48 t

COMMITTENTE: Ditta Autotrasporti Toccafondi - Prato (Firenze)

IMPRESA: PRECEM S.p.A. - Verona

SISTEMA DI PRECOMPRESSIONE: Tesit

*surface finish (concrete poured with pigments) expresses the chromatic effect desired.*

#### STRUCTURAL SOLUTION

*Two orthogonal series of horizontal holes passing through the precast slabs, allow the prestressing strands to be threaded through them when in place. The reinforcing steel, designed to take up the stresses arising during form-removal, transport, and laying, is placed in their midplanes.*

*The in-situ sealing of the joints between the slabs and the subsequent prestressing provided for the formation of structurally continuous paving fields bounded by widely spaced expansion joints. Prestressing, in preventing the rise of cracking phenomena, provides the pavement as well with considerable impermeability and resistance to freezing, and therefore with structural durability.*

#### CONSTRUCTION SYSTEM

*The slabs were manufactured in a plant using a semiautomatic fixed-form carousel-conveyor system.*

*The manufacturing cycle is summarized in the following essential operational phases:*

- 1) *arrangement of the mid-plane reinforcement and of the four extractable crossed pipes for the formation of the cable holes;*
- 2) *pour and vibration of the pigmented concrete to a thickness of 5 cm, and a subsequent pour of ordinary concrete up to the remaining 8 cm;*
- 3) *steam curing, lasting about 8 hours;*
- 4) *demoulding of the finished products by a 180° rotation following an horizontal axis, since the face against the form wall is the wearing surface.*

*Similarly, the phases governing construction-yard operations were:*

- 1) *laying of the slabs on a bed of fine even-grained sand, and check of the alignments of the cable-holes;*
- 2) *sealing of the joints between the slabs with limited-shrink cement mortar;*
- 3) *threading of the strands and prestressing;*
- 4) *grouting of the stranded wires in their conduits with rheoplastic grout;*
- 5) *execution of expansion joints.*

#### CONSUMPTION OF MATERIALS:

- concrete for prestressed structures: 2.860 m<sup>3</sup>
- reinforcing steel for prestressed structures: 70,5 t
- prestressing steel: 48 t

OWNER: Ditta Autotrasporti Toccafondi - Prato (Florence)

CONTRACTOR: PRECEM S.p.A. - Verona

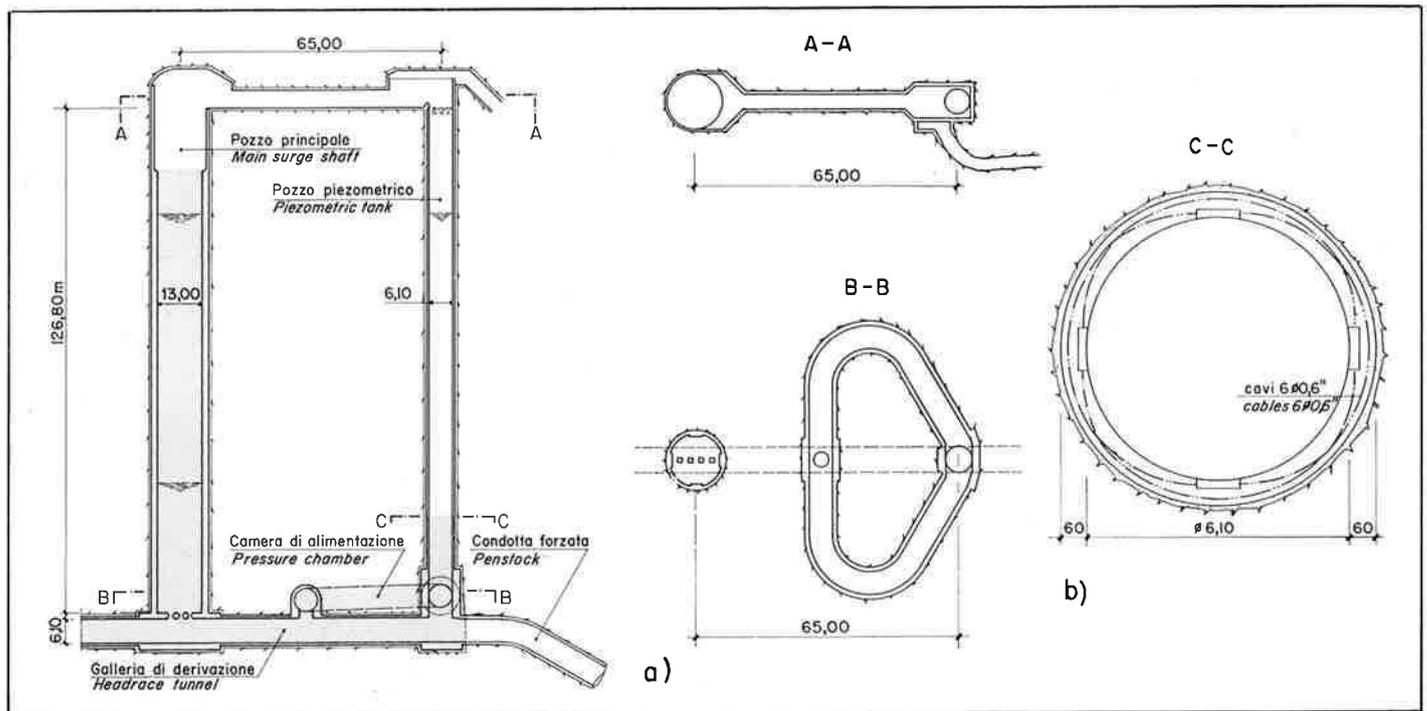
PRESTRESSING SYSTEM: Tesit

# Rivestimento delle condotte dell'impianto di pompaggio Chiotas-Piastra ad Entracque (Cuneo)

# Prestressed concrete lining of the pumped storage scheme Chiotas-Piastra at Entracque (Cuneo)

Progetto:  
Losinger VSL International - Berna

Design:  
Losinger VSL International - Berne



1 - a) Posizione dei pozzi principali e piezometrico e della camera di alimentazione rispetto alla galleria di derivazione e alla condotta forzata (in grigio la parte rivestita in cemento armato precompresso); b) Sezione trasversale del pozzo piezometrico con indicato l'andamento dei cavi di pre-compressione del rivestimento.

1 - a) The position of the main surge shaft, the piezometric shaft and the pressure chamber, relative to the headrace tunnel and the penstock (grey indicates the parts lined with prestressed concrete); b) cross section of the piezometric tank with the positioning of the lining prestressing cables.

PERIODO DI COSTRUZIONE: 1979 - 1982

TIME OF CONSTRUCTION: 1979 - 1982

**Pozzo principale:**  
— diametro interno: 13,00 m  
— altezza: 126,80 m  
— spessore del rivestimento: 75 cm

**Pozzo piezometrico:**  
— diametro interno: 6,10 m  
— altezza: 126,80 m  
— spessore del rivestimento: 60 cm

**Camera di alimentazione:**  
— diametro interno: 6,10 m  
— lunghezza: 139,00 m  
— spessore del rivestimento: 60 cm

**Galleria di derivazione:**  
— diametro interno: 6,10 m  
— spessore del rivestimento: 60 cm

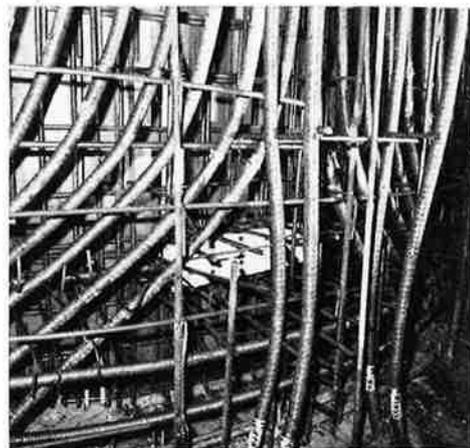
**Main surge shaft:**  
— internal diameter: 13,00 m  
— height: 126,80 m  
— lining thickness: 75 cm

**Piezometric shaft:**  
— internal diameter: 6,10 m  
— height: 126,80 m  
— lining thickness: 60 cm

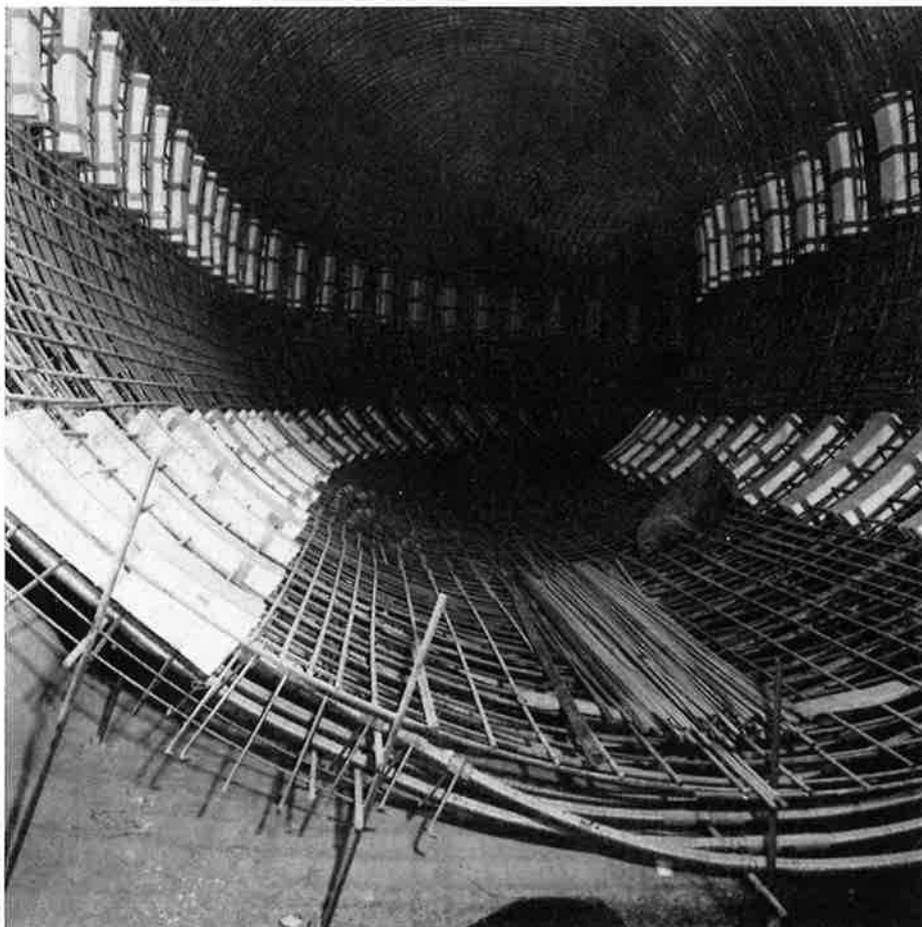
**Pressure chamber:**  
— internal diameter: 6,10 m  
— length: 139,00 m  
— lining thickness: 60 cm

**Headrace tunnel:**  
— internal diameter: 6,10 m  
— lining thickness: 60 cm

2

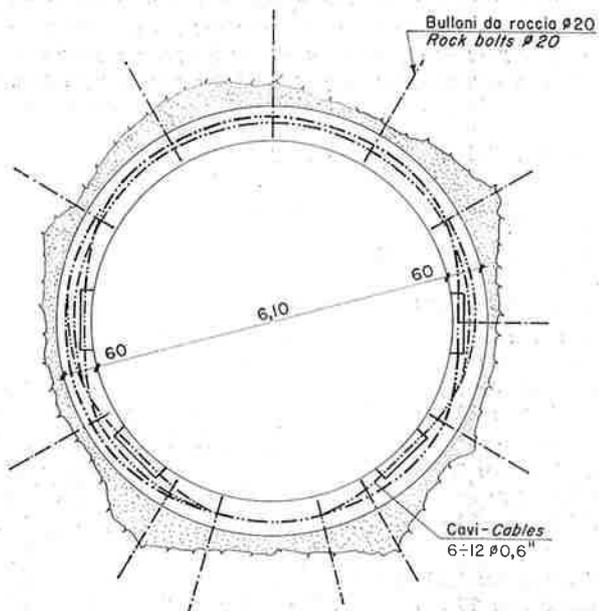


3



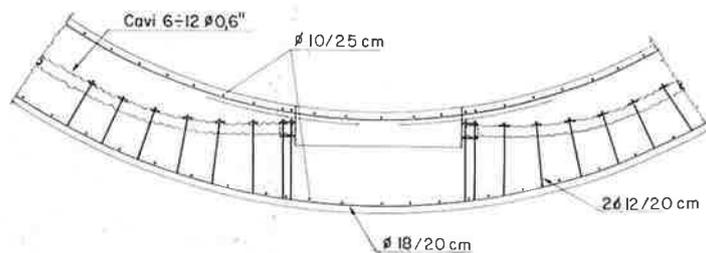
2 - L'armatura normale e di precompressione della base del pozzo piezometrico; 3 - Posa in opera dell'armatura ordinaria e di precompressione del rivestimento della camera di alimentazione annulare; 4 - Sezione trasversale del rivestimento della galleria di derivazione: particolari dei cavi di precompressione; 5 - Particolare della nicchia per le testate di ancoraggio dei cavi; 6 - L'armatura è pronta per il getto del rivestimento: notare gli elementi in polistirolo per ricavare le nicchie di alloggiamento delle testate di ancoraggio dei cavi di precompressione; 7 - La camera annulare di alimentazione in fase di posa in opera dell'armatura, vista dal pozzo principale già gettato; 8 - La camera annulare in fase di completamento: vista di cassette con cavi già tesati e di cassette in fase di getto.

2 - The reinforcing and prestressing steel for the bottom of the piezometric shaft; 3 - In situ positioning of the reinforcing and prestressing steel of the lining of the annular pressure chamber; 4 - Cross section of the lining of the headrace tunnel: detail of the prestressing cables; 5 - Detail of the cavity for the cable anchor heads; 6 - The reinforcing steel is ready for the lining casting: note the polystyrene elements used to obtain the cavities for the anchor heads of the prestressing cables; 7 - The annular pressure chamber during reinforcing steel positioning, seen from the already cast main surge shaft; 8 - The annular pressure chamber during completion: view of niches with already tensioned cables and niches still being casted.

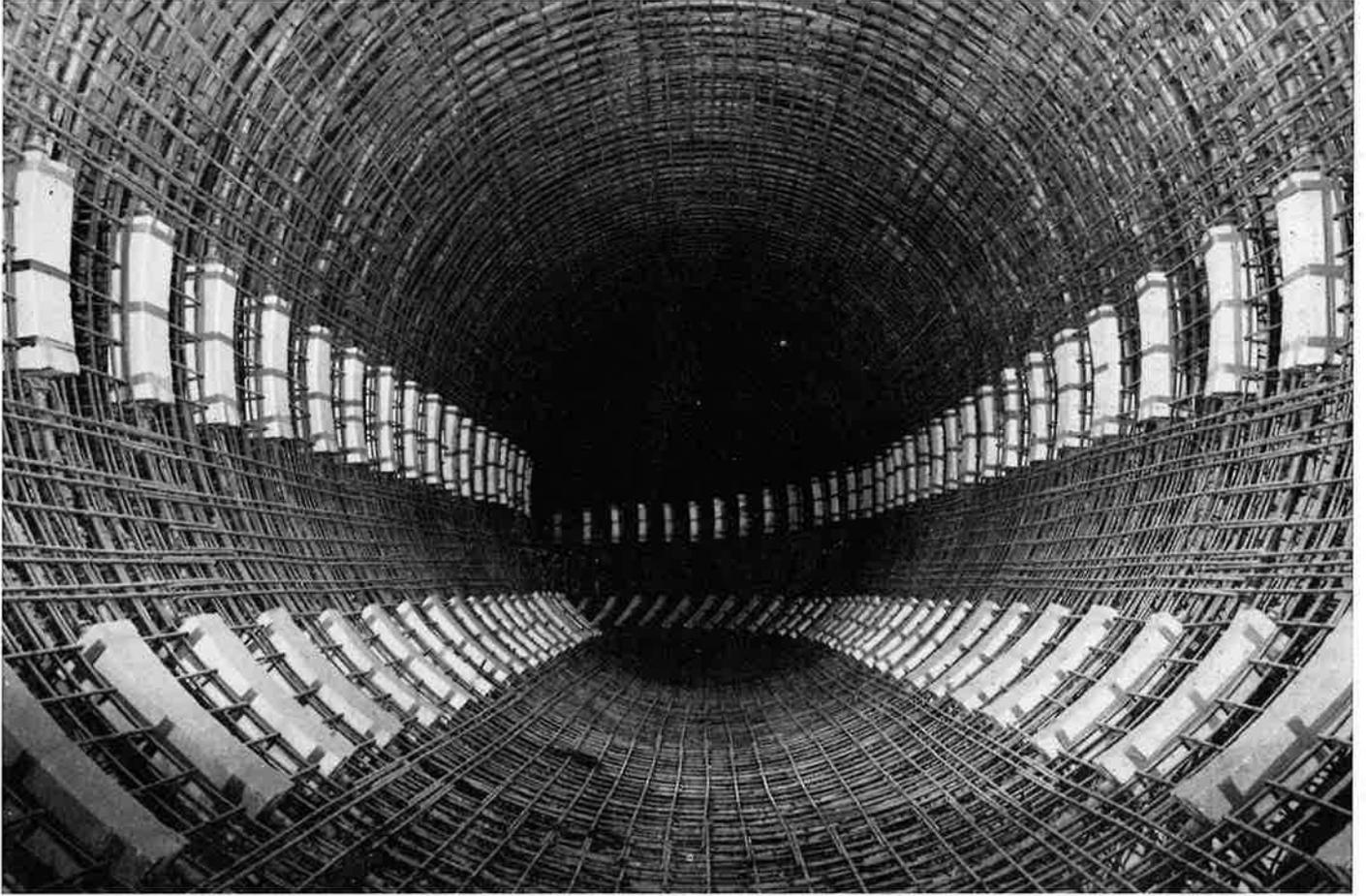


4

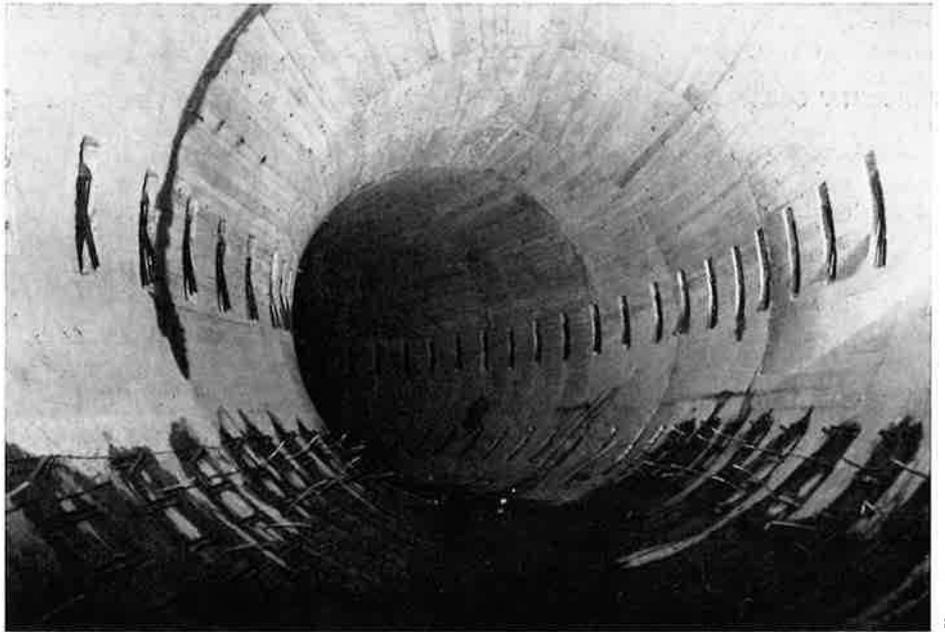
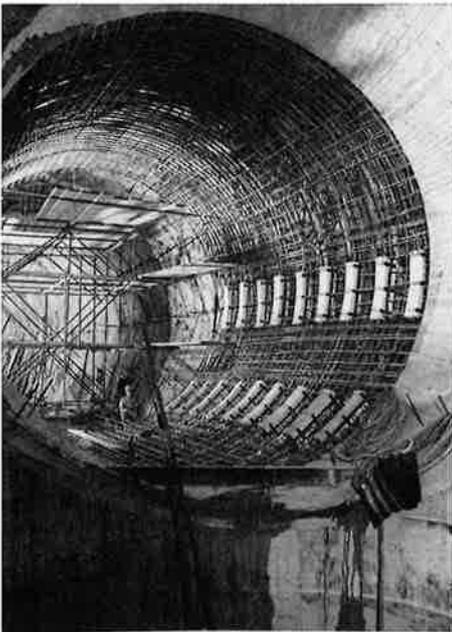
5



6



7



8

Elementi strutturali precompressi: pozzo principale, pozzo piezometrico (in parte), camera di alimentazione, galleria di derivazione (in parte), giunzioni

Tipo di precompressione: post-tensione

Composizione dei cavi: 6 oppure 12 trefoli diametro 0,6"

Tensione iniziale dei trefoli: 123-128 kg/mm<sup>2</sup>

Tensione di esercizio dei trefoli: 114-119 kg/mm<sup>2</sup>

Sforzo massimo di compressione nel calcestruzzo:

— all'atto della precompressione: 53-61 kg/cm<sup>2</sup>

— in esercizio: 49-57 kg/cm<sup>2</sup>

Valore caratteristico del carico di rottura cubico della struttura precompressa, a 28 giorni: 300 kg/cm<sup>2</sup>

Carico di rottura dell'acciaio: 180 kg/mm<sup>2</sup>

Limite convenzionale dell'acciaio all'1%: 160 kg/mm<sup>2</sup>

*Prestressed structural elements: main surge shaft, piezometric shaft (partly), pressure chamber, headrace tunnel (partly), junctions*

*Type of prestressing: post-tensioning*

*Cable composition: 6 or 12 strands diameter 0,6"*

*Initial stress in the strands: 123-128 kg/mm<sup>2</sup>*

*Effective stress in the strands: 114-119 kg/mm<sup>2</sup>*

*Maximum compressive stress in the concrete:*

*— at time of tensioning: 53-61 kg/cm<sup>2</sup>*

*— under service conditions: 49-57 kg/cm<sup>2</sup>*

*Characteristic value of cube crushing strength of the prestressed concrete at 28 days: 300 kg/cm<sup>2</sup>*

*Ultimate steel strength: 180 kg/mm<sup>2</sup>*

*Conventional steel strength at 1% elongation: 160 kg/mm<sup>2</sup> —*

#### GENERALITA'

La precompressione ha interessato un tratto di circa 62 m della galleria di derivazione (306 cavi anulari), la camera anulare di alimentazione (606 cavi anulari), un tratto di circa 12 m alla base del pozzo piezometrico (44 cavi anulari), il pozzo principale per un tratto di 110 m (cavi correnti a 180°), la zona di strozzatura tra la galleria di derivazione ed il pozzo principale (38 cavi anulari), la giunzione fra la camera di alimentazione ed i due pozzi (cavi anulari e di tipo speciale).

#### SOLUZIONE STRUTTURALE

La complessità dell'opera e la varia tipologia delle sollecitazioni dei vari elementi hanno richiesto una calcolazione assai precisa che tenesse conto della collaborazione della roccia circostante in funzione delle effettive caratteristiche di questa ultima.

#### MODALITA' COSTRUTTIVE

Il rivestimento dei pozzi è stato eseguito con casseri scorrevoli, mentre gli altri rivestimenti sono stati eseguiti con cassaforme ad avanzamenti progressivi. I cavi del pozzo principale sono stati infilati al termine del getto con il procedimento «push-through», che consente economia di tempo.

#### MATERIALI ADOPERATI:

- calcestruzzo per strutture precomprese: 18.000 m<sup>3</sup>
- armatura ordinaria per strutture precomprese: 500 t
- acciaio per armature di precompressione: 400 t

COMMITTENTE: ENEL - Ente Nazionale per l'Energia Elettrica  
IMPRESA: Cogefar  
SISTEMA DI PRECOMPRESSIONE: VSL

#### GENERAL

*Prestressing concerned a stretch of nearly 62 m of the headrace tunnel (306 ring cables), the annular pressure chamber (606 ring cables), a stretch of about 12 m at the base of the piezometric shaft (44 ring cables), the main surge shaft along a stretch of 110 m (cables running at 180°), the strangling zone between the headrace tunnel and the main surge shaft (38 ring cables), the joining structure between the pressure chamber and the headrace tunnel and the piezometric shaft (ring and special cables).*

#### STRUCTURAL SOLUTION

*The project's complexity and the multifold types of stress concerning the various structures, required extremely accurate design calculations, taking into consideration the collaboration of the surrounding rock and its actual characteristics.*

#### CONSTRUCTION SYSTEM

*The shaft's lining was effected by means of slip-forms, while the remaining linings were effected utilizing progressive advancement formworks. Cables of the main surge shaft were inserted after casting by means of the time-saving push-through procedure.*

#### CONSUMPTION OF MATERIALS:

- concrete for prestressed structures: 18.000 m<sup>3</sup>
- reinforcing steel for prestressed structures: 500 t
- prestressing steel: 400 t

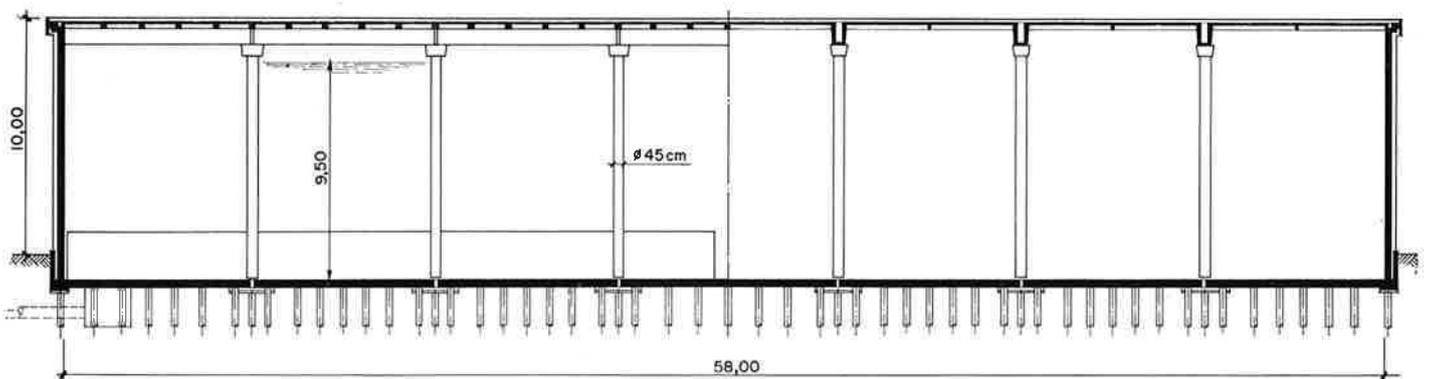
OWNER: ENEL - Ente Nazionale per l'Energia Elettrica  
CONTRACTOR: Cogefar  
PRESTRESSING SYSTEM: VSL

# Serbatoio di accumulo dell'impianto di potabilizzazione a Mestre (Venezia)

# Storage tank for a water treatment plant at Mestre (Venice)

Progetto:  
Prof. Ing. Riccardo Morandi

Design:  
Prof. Ing. Riccardo Morandi



1 - Sezione verticale del serbatoio.

1 - Vertical section of the tank.

ANNO DI COSTRUZIONE: 1980

TIME OF CONSTRUCTION: 1980

Schema statico: cilindro libero in sommità, con appoggio scorrevole al piede

Static scheme: cylinder unconstrained at the top, with sliding bearings at the foot

Diametro interno del cilindro: 58,00 m

Cylinder internal diameter: 58,00 m

Superficie di base del cilindro: 2.700 m<sup>2</sup>

Area of cylinder base: 2.700 m<sup>2</sup>

Spessore della parete del cilindro: 30 cm

Cylinder wall thickness: 30 cm

Altezza della parete del cilindro: 10,84 m

Cylinder wall height: 10,84 m

Battente d'acqua: 9,50 m

Water head: 9,50 m

Elementi strutturali prefabbricati: pulvini, travi ed elementi di copertura

Precast structural elements: pulvins, beams and roof-structure elements

Elementi strutturali precompressi: parete del serbatoio

Prestressed structural elements: tank wall

Tipo di precompressione: post-tensione

Type of prestressing: post-tensioning

Composizione dei cavi: 4 oppure 8 trefoli diametro 0,5"

Cable composition: 4 or 8 strands 0,5" diameter

Tensione iniziale dei trefoli: 110 kg/mm<sup>2</sup>

Initial stress in the strands: 110 kg/mm<sup>2</sup>

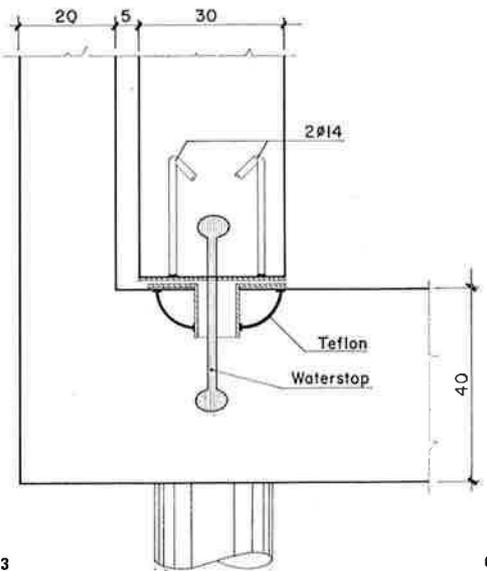
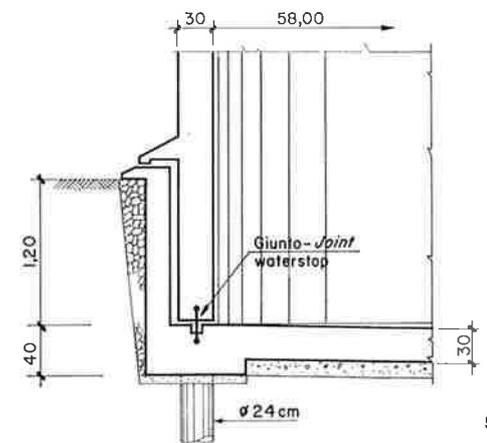
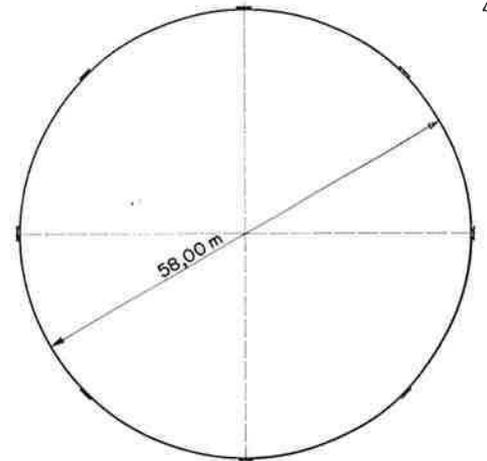
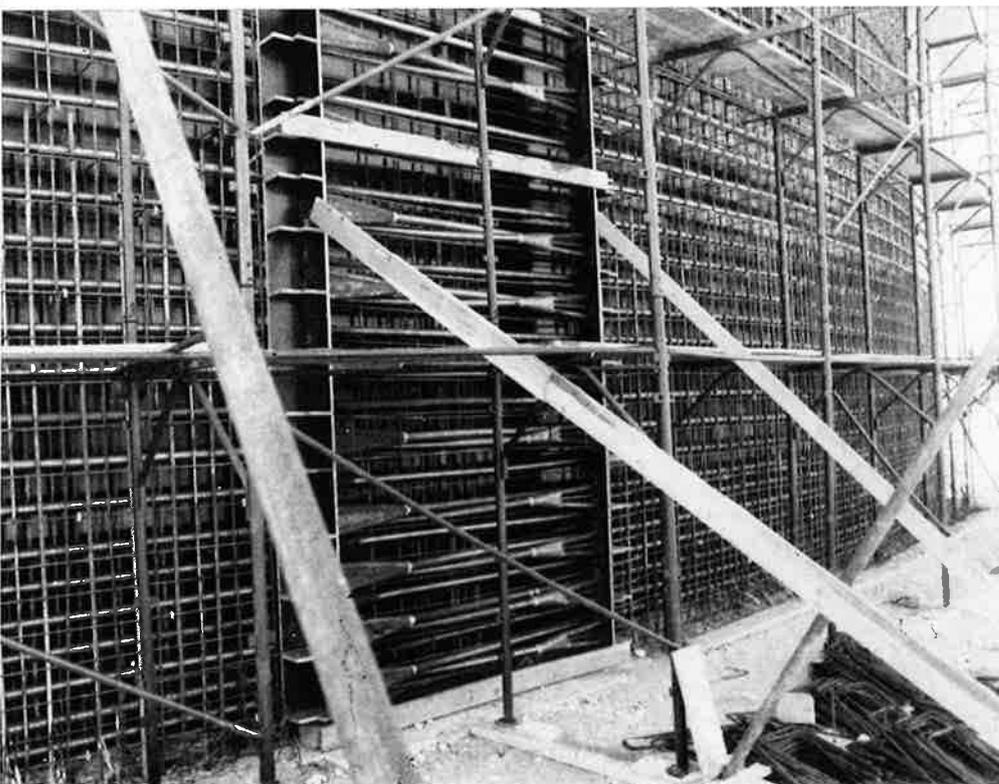
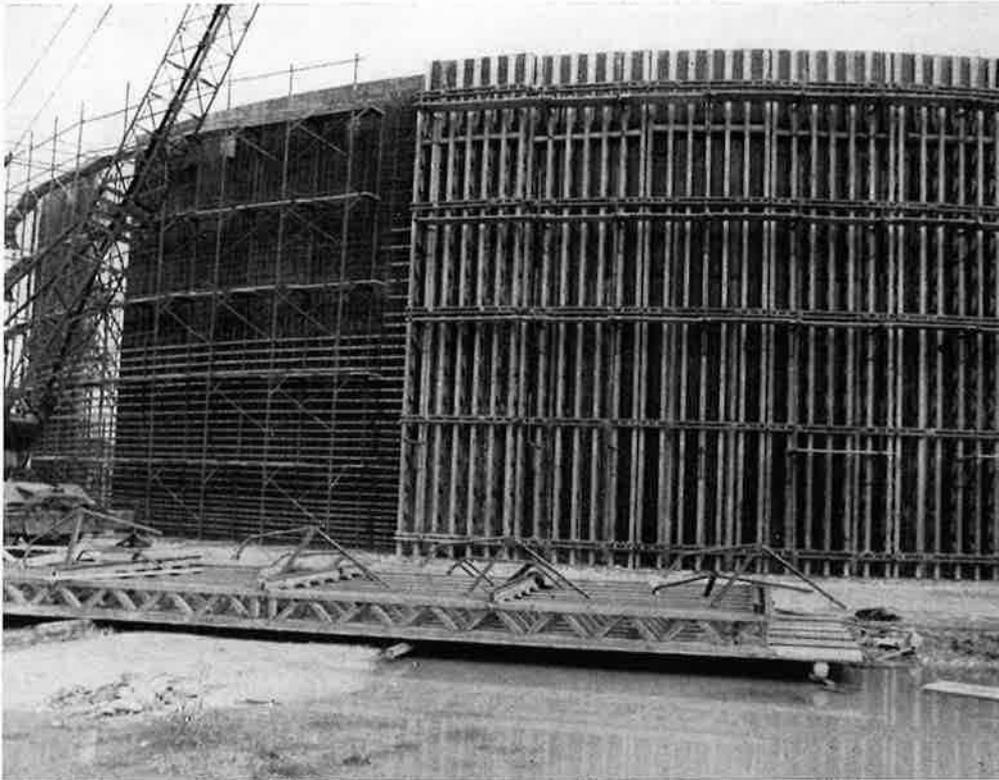
Tensione di esercizio dei trefoli: 82 kg/mm<sup>2</sup>

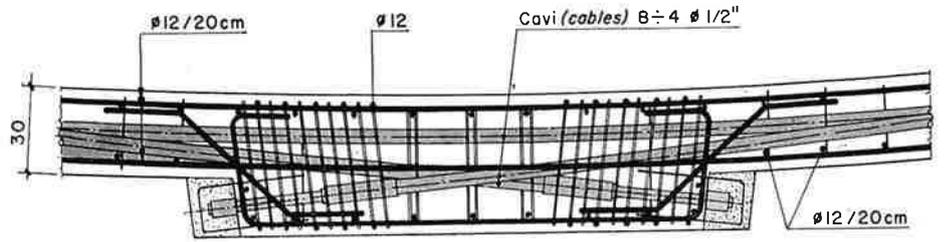
Effective stress in the strands: 82 kg/mm<sup>2</sup>

2 - La cassaforma per il getto della parete; 3 - L'ancoraggio dell'armatura di precompressione della parete; 4 - Sezione orizzontale del serbatoio; 5 - Particolare del fondo del serbatoio; 6 - Il giunto water-stop tra la parete e la soletta di fondo; 7 - Particolare dell'ancoraggio dei cavi di precompressione della parete; 8 - Vista dall'interno del serbatoio in costruzione e della struttura di sostegno della copertura, svincolata dalla parete; 9 - Il serbatoio in fase di completamento; 10 - Dettagli di armatura della parete del serbatoio.

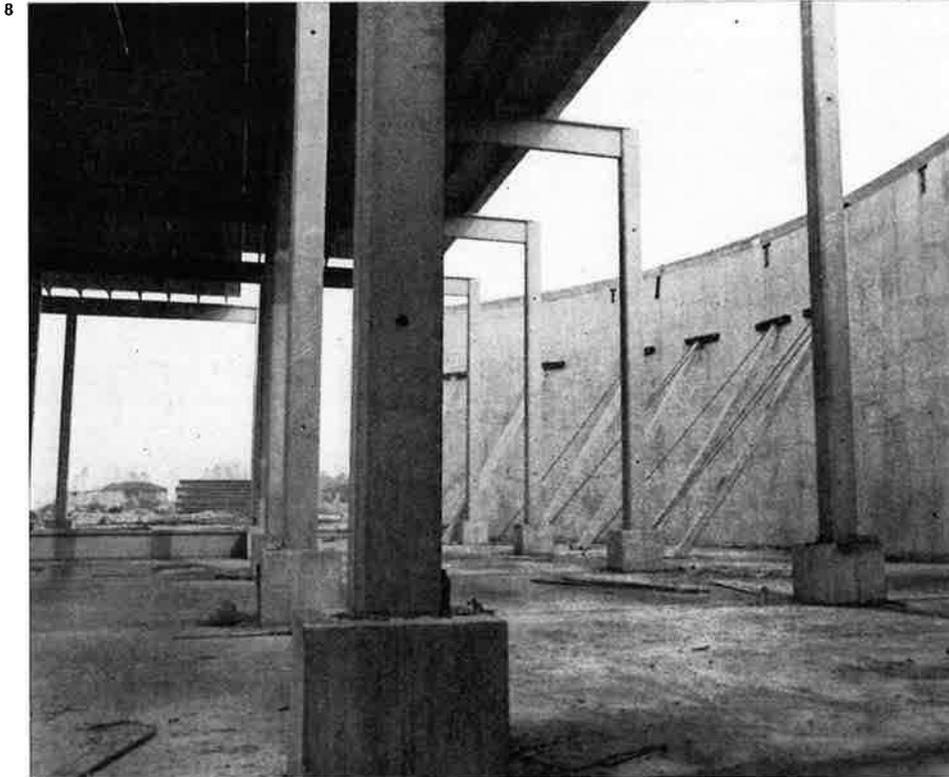
2 - Formwork for wall casting operations; 3 - Anchorage of the prestressing steel of the tank wall; 4 - Horizontal section of the tank; 5 - Detail of the tank bottom; 6 - The water-stop joint between the tank wall and the bottom slab; 7 - Detail of the anchorage of the tank wall prestressing cables; 8 - View from the interior of the tank under construction and of the loadbearing structure for the roof, unconstrained from the tank wall; 9 - Finishing phase of the tank; 10 - Details of the reinforcing steel of the tank wall.

2

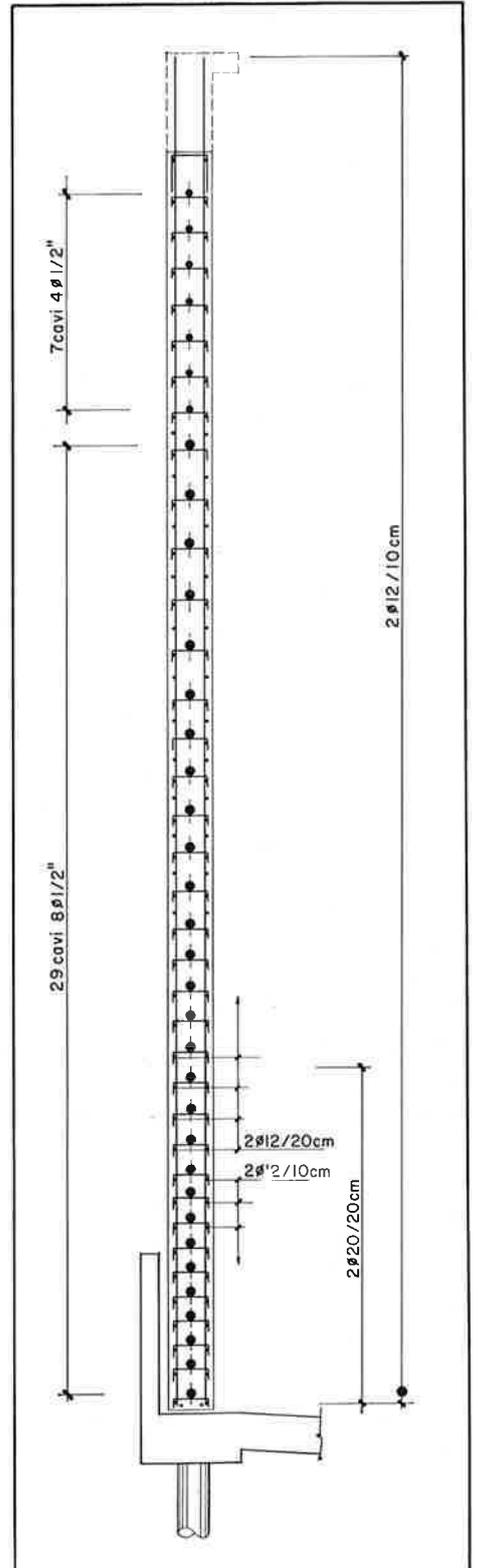




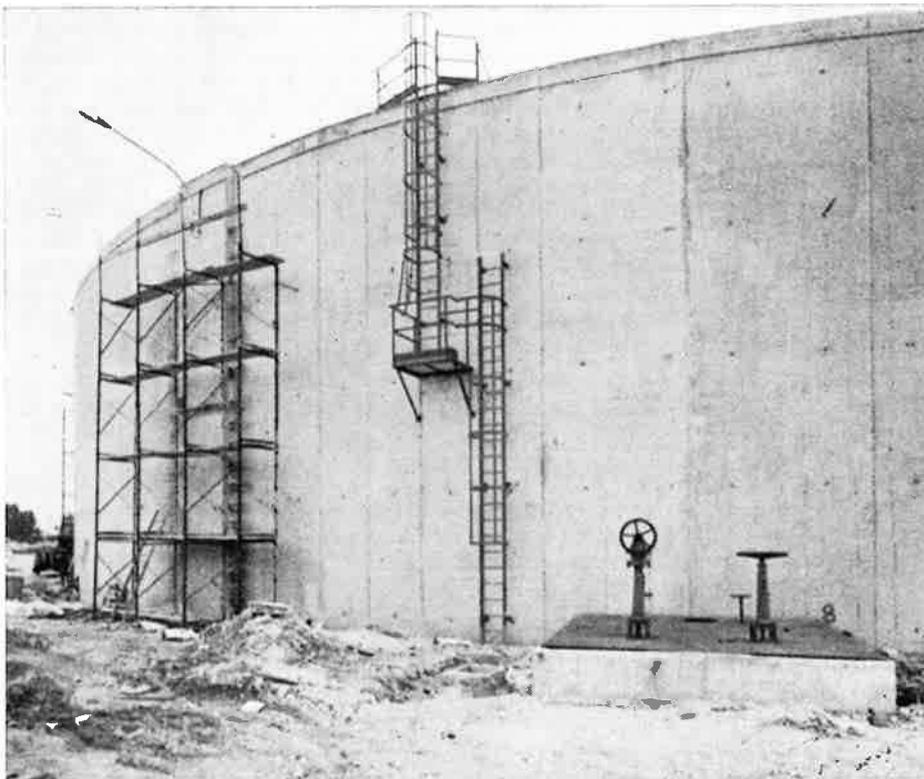
7



8



10



9

Sforzo massimo di compressione nel calcestruzzo:

- all'atto della precompressione: 164 kg/cm<sup>2</sup>
- in esercizio: 148 kg/cm<sup>2</sup>

Valore caratteristico del carico di rottura cubico del calcestruzzo della struttura precompressa, a 28 giorni: 400 kg/cm<sup>2</sup>

Carico di rottura dell'acciaio: 176 kg/mm<sup>2</sup>

Limite convenzionale dell'acciaio all'1%: 150 kg/mm<sup>2</sup>

*Maximum compressive stress in concrete:*

- at time of tensioning: 164 kg/cm<sup>2</sup>*
- under service conditions: 148 kg/cm<sup>2</sup>*

*Characteristic value of cube crushing strength of the prestressed concrete at 28 days: 400 kg/cm<sup>2</sup>*

*Ultimate steel strength: 176 kg/mm<sup>2</sup>*

*Conventional steel strength at 1% elongation: 150 kg/mm<sup>2</sup>*

## SOLUZIONE STRUTTURALE

Il serbatoio è costituito da pareti sostenute da una fondazione anulare con l'interposizione di idonei apparecchi scorrevoli, che permettono gli spostamenti relativi a tutte le cause di sollecitazione. Il giunto a quota spiccato parete è costituito da una membrana impermeabile e da due strisce di lamiera di acciaio, con interposti due nastri di teflon, in modo da ridurre al minimo gli attriti. La copertura del serbatoio, strutturalmente svincolata da esso, è composta da elementi prefabbricati sostenuti da 32 pilastri quadrati di dimensioni 45 cm × 45 cm.

## MODALITA' COSTRUTTIVE

Per la fondazione del fondo del serbatoio sono stati battuti pali in cemento armato fino ad una profondità di 11 m. Su di essi è stata gettata la soletta di fondo, suddivisa in lastre indipendenti 6 m × 6 m, collegate tra di loro ed ai plinti con water-stop in neoprene. E' stato quindi realizzato l'anello di base della parete con predisposto il giunto water-stop. La parete del serbatoio è stata gettata a settori verticali a tutta altezza in modo da avere le riprese di getto ortogonali alla precompressione. I giunti verticali sono stati comunque dotati di water-stop saldato al giunto di base. I settori verticali, in numero di 16, sono stati gettati, con ciclo settimanale, mediante casseri in legno multistrato a pannelli di modulo 2,50 m e altezza totale. Il calcestruzzo impiegato è stato additivato con fluidificante e posto in opera mediante tubi convogliatori. La precompressione è stata applicata per fasi con il minimo di dissimmetrie.

## STRUCTURAL SOLUTION

*The tank is formed of walls supported by a ring foundation, with suitable interposed sliding bearing devices, which allow relative displacements whatever the cause of stress. The joint at the butt of the wall is formed of a waterproof membrane and of two strips of sheet steel, two teflon ribbons being interposed so as to reduce friction to a minimum. The tank roof, structurally unconstrained by the tank, is built of precast elements supported by 32 square 45 cm × 45 cm columns.*

## CONSTRUCTION SYSTEM

*Reinforced concrete piles were driven to a depth of 11 m for the foundation of the tank bottom. On them the base slab was poured, being subdivided into independent slabs, 6 m × 6 m, connected one to another and to the footings by neoprene water-stops. Then the base ring for the wall was cast, the water-stop joint being prepared first. The tank wall was cast in full height vertical sectors so as to have the lines successive pours orthogonal to the prestressing. The vertical joints were anyway furnished with water-stops solidly joined to the base joint. The 16 vertical sectors were poured with a weekly cycle, using plywood forms with 2,50 m modular panels the full height of the tank.*

*The concrete used was admixed with fluidizer and poured through pipes. Prestressing was applied in stages, dissymmetries being held to a minimum.*

## MATERIALI ADOPERATI:

- calcestruzzo per strutture precomprese: 630 m<sup>3</sup>
- armatura ordinaria per strutture precomprese: 47,0 t
- acciaio per armature di precompressione: 39,5 t

## CONSUMPTION OF MATERIALS:

- concrete for prestressed structures: 630 m<sup>3</sup>
- reinforcing steel for prestressed structures: 47,0 t
- prestressing steel: 39,5 t

COMMITTENTE: Comune di Venezia

IMPRESA: Raggruppamento A.Lo.Sa. - Termomeccanica Italiana

SISTEMA DI PRECOMPRESSIONE: Morandi M5

OWNER: Commune of Venice

CONTRACTOR: Joint venture of A.Lo.Sa. and Termomeccanica Italiana

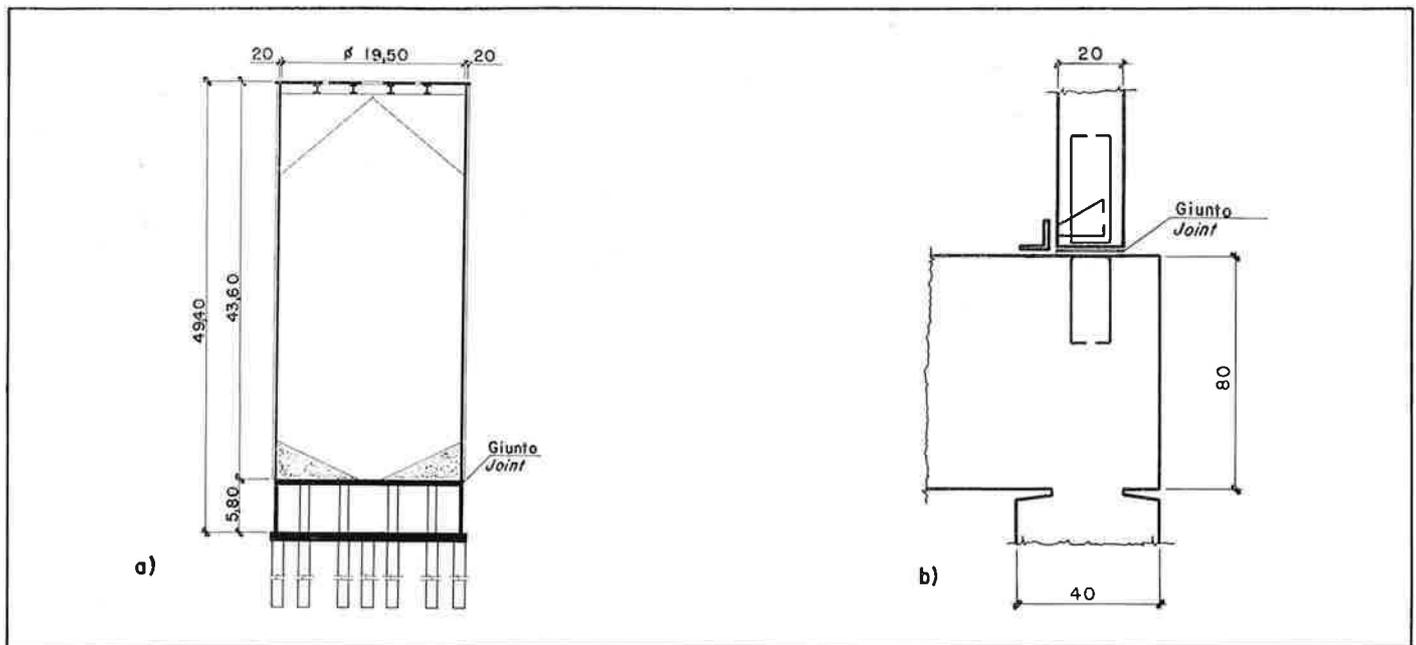
PRESTRESSED SYSTEM: Morandi M5

# Sili per coke della Alucentro a Porto Marghera (Venezia)

# Coke silos for «Alucentro» at Porto Marghera (Venice)

Progetto:  
Dott. Ing. Gian Carlo Giuliani

Design:  
Dott. Ing. Gian Carlo Giuliani



1 - a) Sezione verticale del silos; b) Particolare del piede del guscio cilindrico e del solettone di fondo.

1 - a) Vertical section of the silo; b) Detail of the foot of the cylindrical shell and of the bottom slab.

PERIODO DI COSTRUZIONE: Marzo 1979 - Gennaio 1981

TIME OF CONSTRUCTION: March 1979 - January 1981

Schema statico: guscio cilindrico precompresso libero al piede; solettoni di fondo e di fondazione collegati da ritti e setti pendolari

Static scheme: prestressed cylindrical shell free at the base; thick bottom and foundation slabs connected by hinged diaphragms

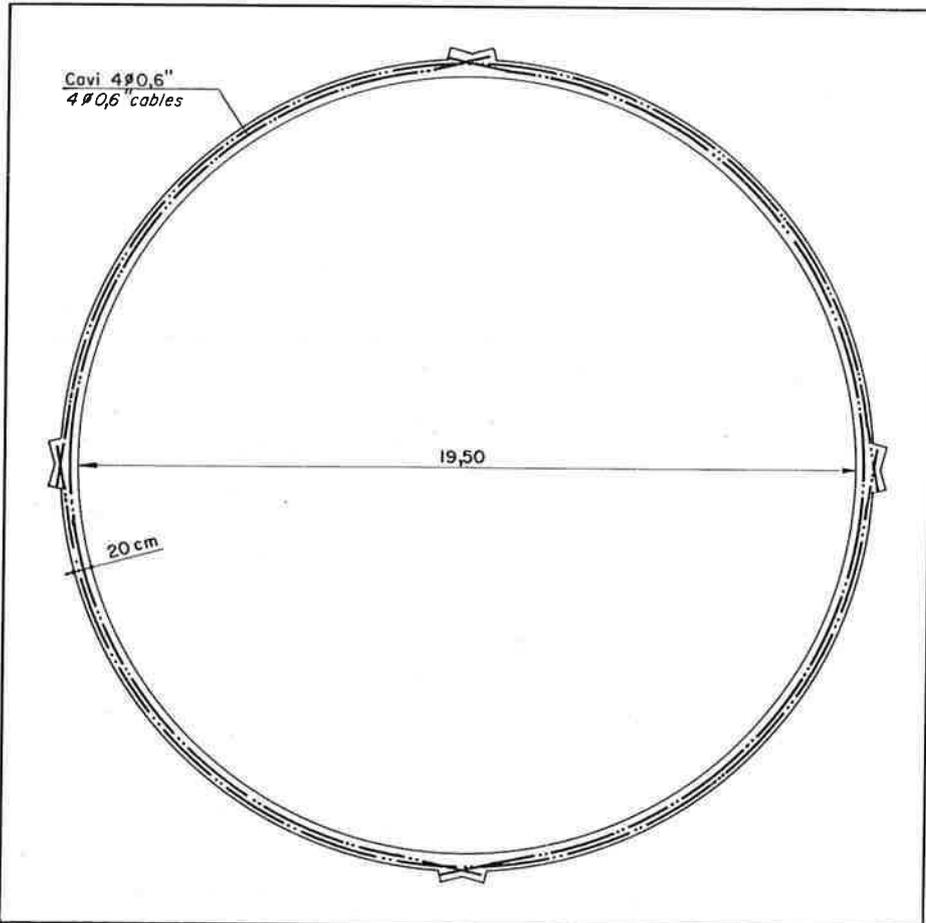
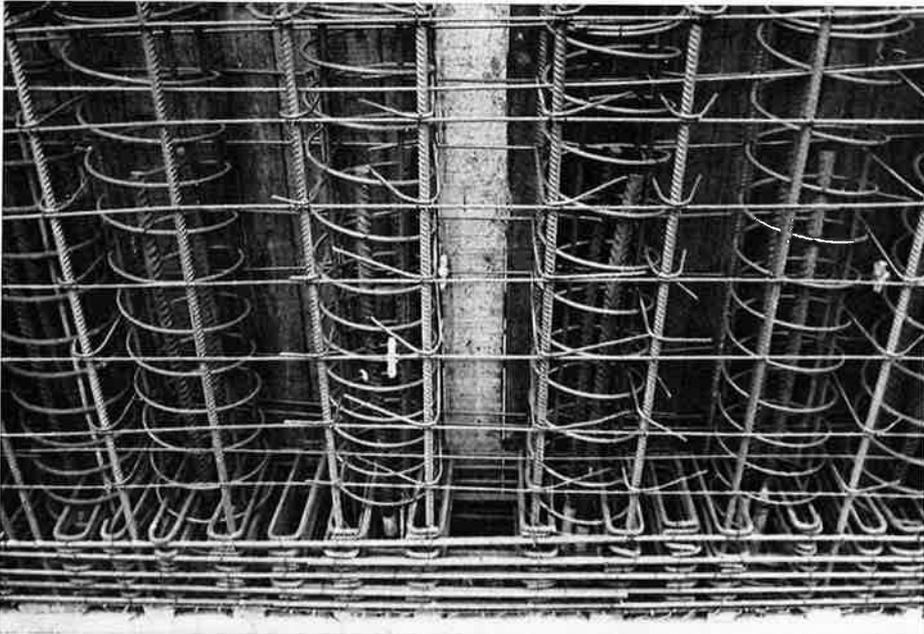
Numero dei sili: 4  
Diametro interno del silo: 19,50 m  
Altezza del contenitore: 42,28 m  
Altezza totale del silo: 49,40 m  
Spessore delle pareti del silo: 20 cm  
Spessore del solettone di fondo: 80 cm

Number of silos: 4  
Internal diameter of silo: 19,50 m  
Height of vessel: 42,28 m  
Overall height of silo: 49,40 m  
Thickness of silo walls: 20 cm  
Thickness of silo bottom slab: 80 cm

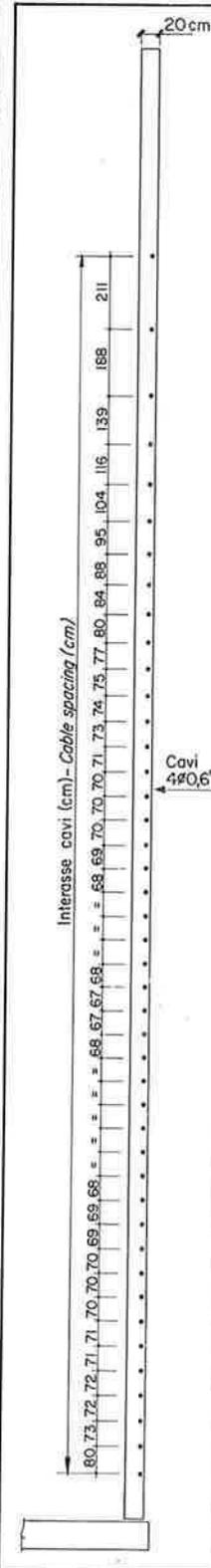
Elementi strutturali precompressi: guscio cilindrico  
Tipo di precompressione: post-tensione  
Composizione dei cavi: 4 trefoli diametro 0,6"  
Tensione iniziale dei trefoli: 144 kg/mm<sup>2</sup>  
Tensione di esercizio dei trefoli: 105 kg/mm<sup>2</sup>

Prestressed structural elements: cylindrical shell  
Type of prestressing: post-tensioning  
Cable composition: 4 strands 0,6" diameter  
Initial stress in the strands: 144 kg/mm<sup>2</sup>  
Effective stress in the strands: 105 kg/mm<sup>2</sup>

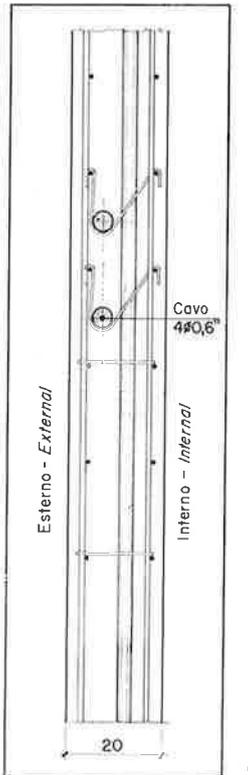
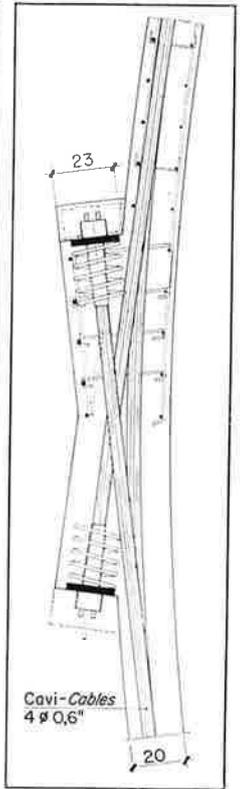
2



3

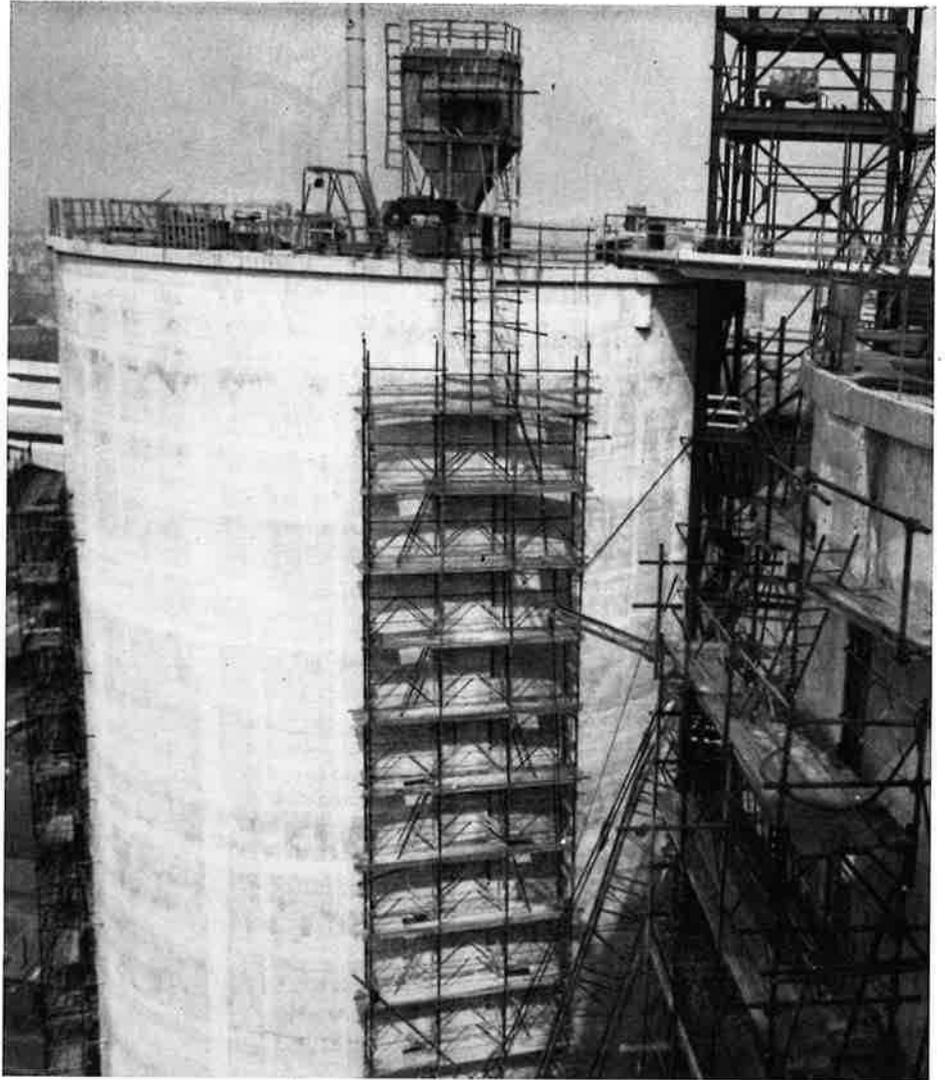


5



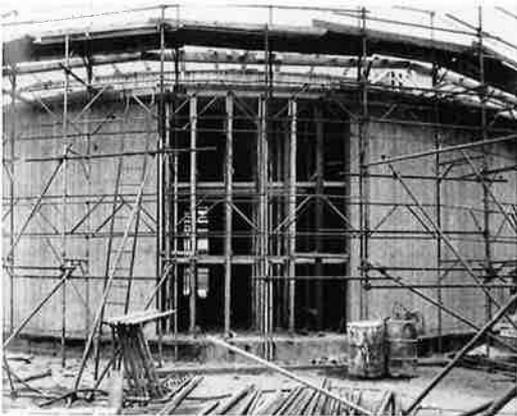
6

8

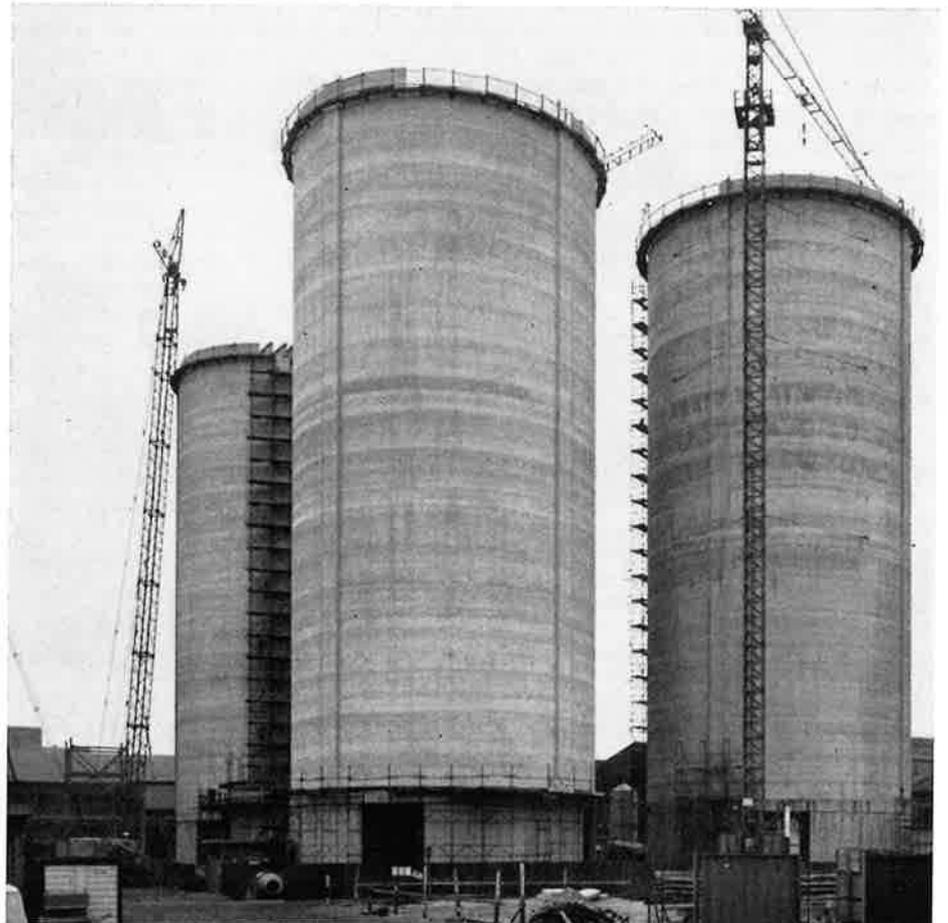


2 - Particolare di armatura della cerniera inferiore dei setti pendolari di sostegno del solettone inferiore del silos; 3 - Sezione orizzontale del guscio cilindrico con la disposizione dei cavi di precompressione; 4 - Disposizione dei cavi di precompressione sulla sezione verticale della parete; 5-6 - Particolare dell'ancoraggio dei cavi della parete: sezioni orizzontale e verticale; 7 - La parete inferiore del silos in corso di costruzione; 8 - Si sta procedendo al completamento del tiro dei cavi della parete; 9 - I tre silos in fase di completamento.

2 - Detail of the reinforcing steel of the lower hinge of the hinged diaphragms supporting the lower slab of the silo; 3 - Horizontal section of the cylindrical shell with the positioning of the prestressing cables; 4 - Positioning of the prestressing cables in the vertical section of the wall; 5-6 - Detail of the anchorage of the wall cables; horizontal and vertical sections; 7 - The lower wall of the silo during construction; 8 - Completion of the wall cable tensioning; 9 - The three silos during final operations.



7



9

Sforzo massimo di compressione nel calcestruzzo:

- all'atto della precompressione: 60 kg/cm<sup>2</sup>
- in esercizio: 44 kg/cm<sup>2</sup>

Valore caratteristico del carico di rottura cubico del calcestruzzo della struttura precompressa, a 28 giorni: 310 kg/cm<sup>2</sup>

Carico di rottura dell'acciaio: 180 kg/mm<sup>2</sup>

Limite convenzionale dell'acciaio all'1%: 148 kg/mm<sup>2</sup>

Maximum compressive stress in the concrete:

- at time of tensioning: 60 kg/cm<sup>2</sup>
- under service conditions: 44 kg/cm<sup>2</sup>

Characteristic value of cube crushing strength of the prestressed concrete at 28 days: 310 kg/cm<sup>2</sup>

Ultimate steel strength: 180 kg/mm<sup>2</sup>

Conventional steel strength at 1% elongation: 148 kg/mm<sup>2</sup>

#### GENERALITA'

I silos sono destinati all'immagazzinamento di coke, in parte prodotto in luogo, in parte proveniente da navi. In relazione all'elevato grado di compressibilità del terreno è stata scelta una particolare tipologia strutturale che minimizza gli effetti dei cedimenti differenziali originati dalla interazione struttura-pali, pali-terreno ed ancora silo-terreno. Tale tipologia, basata su strutture indipendenti ad ogni livello, costituisce l'elemento nuovo e qualificante del progetto.

#### SOLUZIONE STRUTTURALE

Il contenitore cilindrico è precompresso circonferenzialmente con cavi aventi sviluppo angolare di 180°, ancorati su 4 lesene, sfalsati a due a due.

Il vincolo alla base è a carrello, realizzato con piastre di neoprene, in modo da evitare flessioni parassite dovute al salto termico, alla spinta del materiale, alla precompressione. Il solettone di fondo del silo è sopportato al perimetro da setti pendolari e all'interno da pilastri pure pendolari. Con tale accorgimento si è minimizzata la rigidità della struttura di supporto del silo, ottenendo una forte riduzione degli sforzi indotti dai cedimenti differenziali fra i pali di perimetro e quelli centrali. Il solettone di base che collega tutti i pali e fornisce supporto ai setti ed ai pilastri, è dotato di collegamento a cerniera con i pali.

Tutti i calcoli sono stati effettuati con il metodo agli stati limite e tenendo conto dell'effetto benefico del fluage.

#### MODALITA' COSTRUTTIVE

I pali di grande diametro, che raggiungono una profondità di 45 m, sono stati realizzati con il metodo dei fanghi bentonitici. Le strutture in elevazione, fino a fondo silo compreso, sono state gettate in opera con metodo tradizionale. Il fusto del silo è stato gettato entro cassaforma automontante; i cavi di precompressione sono stati infilati, a getto indurito, nelle guaine metalliche stagne predisposte in questo. La tesatura dei cavi è stata effettuata dalle due estremità degli stessi.

#### MATERIALI ADOPERATI:

- calcestruzzo per strutture precomprese: 2.090 m<sup>3</sup>
- armatura ordinaria per strutture precomprese: 110 t
- acciaio per armature di precompressione: 51,5 t

COMMITTENTE: Alucentro S.p.A. - Marghera

IMPRESA: Sicci - Milano

SISTEMA DI PRECOMPRESSIONE: VSL

#### GENERAL

The silos are for the storage of coke, part of it being produced at the site, part coming by ship. Due to the soil high compressibility a special structural typology was chosen, which minimizes the effects of differential settlement originating from the structure-piles, piles-soil, and also silos-soil, interactions. This typology, based on independent structures at each level, is the project's new element, and qualifying characteristic.

#### STRUCTURAL SOLUTION

The cylindrical vessel is circumferentially prestressed, the cables being split in two parts, each reaching halfway around the silo; the anchors are staggered two by two on four buttresses.

The support at the base is the trolley type, built of neoprene sheet, and designed so as to avoid parasitic bending stresses due to thermal step functions, to the thrust of the material contained, and to prestressing. The thick slab forming the silo bottom is supported at its perimeter by hinged diaphragms and on the inside by columns, that are hinged too. With this expedient the stiffness of the silo support-structure is minimized, thus obtaining a strong reduction of the stresses induced by differential settling between the perimetral and central piles. The thick base slab that connects all the piles and provides support to the diaphragms and columns is connected hinge-wise to the piles.

All design calculations were executed using the limit state method, and taking account of the beneficial effects of creep.

#### CONSTRUCTION SYSTEM

The large diameter piles, reaching a depth of 45 m, were built using the bentonite mud method. The superstructures, including the silo bottom, were poured in situ using traditional methods. The trunk of the silo was poured using climbing forms; the prestressing cables were threaded, after hardening of the concrete, in watertight metal sheaths already prepared in it. The cables were tensioned from both ends.

#### CONSUMPTION OF MATERIALS:

- concrete for prestressed structures: 2.090 m<sup>3</sup>
- reinforcing steel for prestressed structures: 110 t
- prestressing steel: 51,5 t

OWNER: Alucentro S.p.A. - Marghera

CONTRACTOR: Sicci - Milano

PRESTRESSING SYSTEM: VSL

# Silo per zucchero dello stabilimento Eridania Z.N. a Contarina (Rovigo)

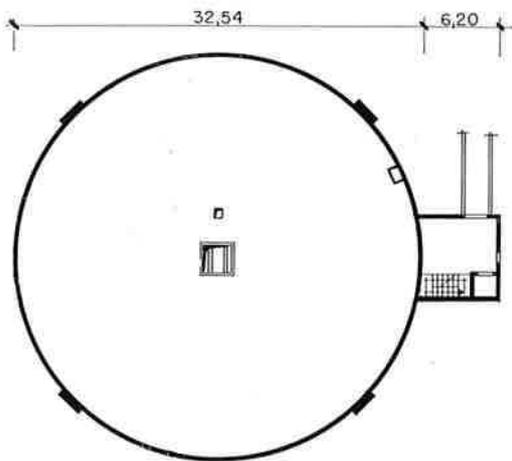
# Sugar silo for the Eridania Z.N. factory at Contarina (Rovigo)

Progetto:  
Dott. Ing. Ivano Balatroni, Dott. Ing. Roberto Tassinari

Consulenti:  
Prof. Ing. Piero Pozzati, Prof. Ing. Michele Jamiolkowski

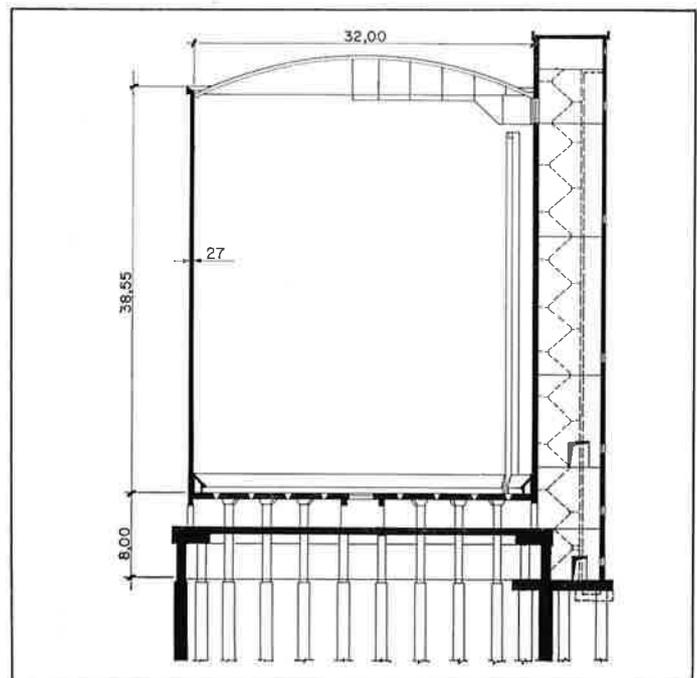
Design:  
Dott. Ing. Ivano Balatroni, Dott. Ing. Roberto Tassinari

Consultants:  
Prof. Ing. Piero Pozzati, Prof. Ing. Michele Jamiolkowski



1-2 - Pianta e sezione verticale del silo.

1-2 - Plan and vertical section of the silo.



2

PERIODO DI COSTRUZIONE: 1979 - 1980

TIME OF CONSTRUCTION: 1979 - 1980

Schema statico: cilindro incernierato alla base con fondo costituito da solaio a fungo

Diametro interno del cilindro: 32,00 m

Altezza del cilindro: 38,55 m

Altezza complessiva dell'opera dal piano di campagna: 50,30 m

Spessore delle pareti del cilindro: 27 cm

Spessore della soletta di fondo del cilindro: 60 cm

Static scheme: cylinder hinged at the base, with bottom formed by a mushroom shaped slab

Cylinder internal diameter: 32,00 m

Cylinder height: 38,55 m

Overall structure height from ground level: 50,30 m

Cylinder wall-thickness: 27 cm

Cylinder bottom-slab thickness: 60 cm

Elementi strutturali precompressi: cilindro

Tipo di precompressione: post-tensione con cavi scorrevoli in guaina di gomma ricolma di grasso

Composizione dei cavi: un trefolo diametro 0,6"

Tensione iniziale dei trefoli: 136 kg/mm<sup>2</sup>

Tensione di esercizio dei trefoli: 103 kg/mm<sup>2</sup>

Prestressed structural elements: the cylinder

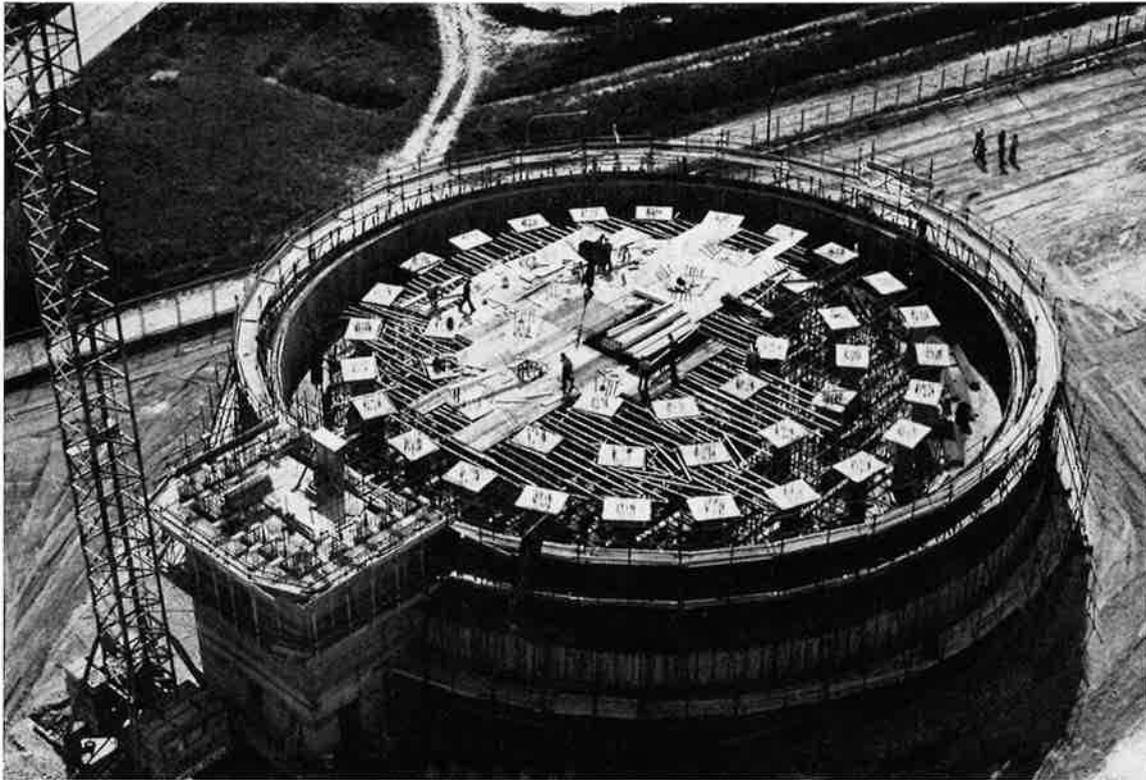
Type of prestressing: post-tensioning with free-sliding cables in rubber sheath filled with grease

Cable composition: one strand 0,6" diameter

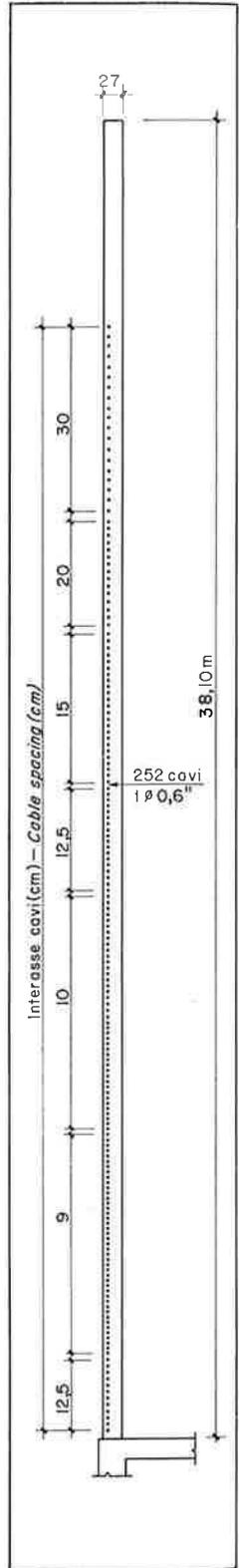
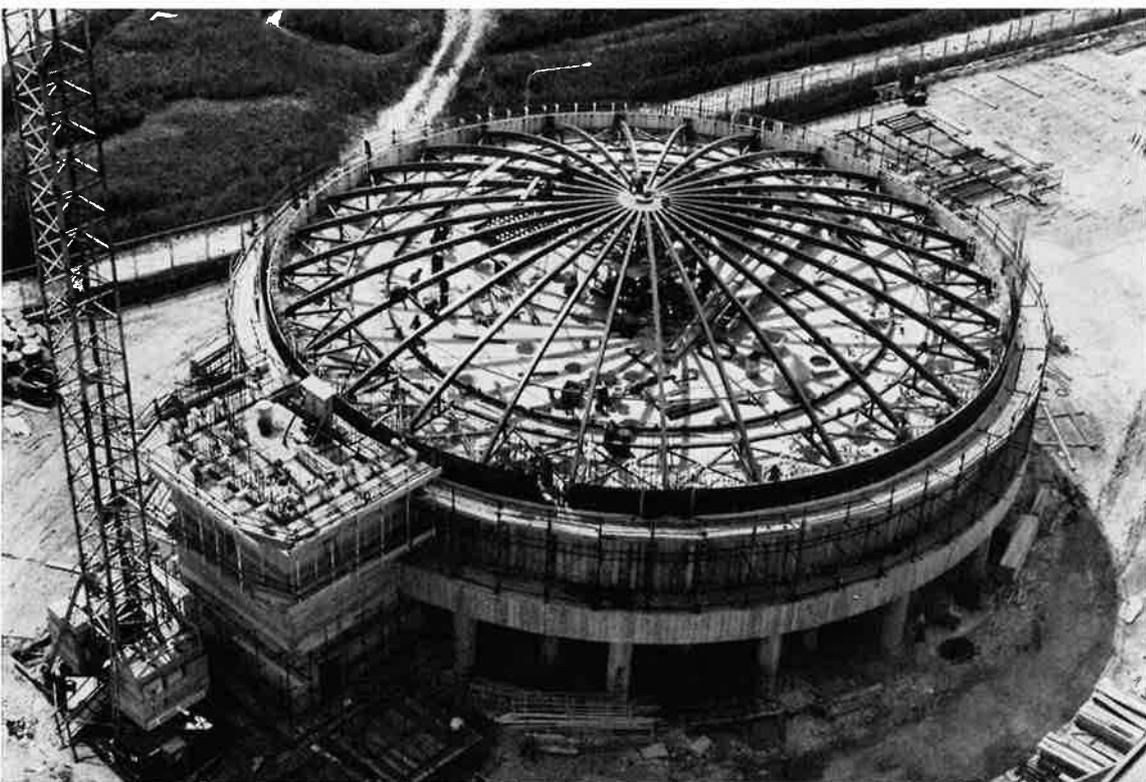
Initial stress in the strands: 136 kg/mm<sup>2</sup>

Effective stress in the strands: 103 kg/mm<sup>2</sup>

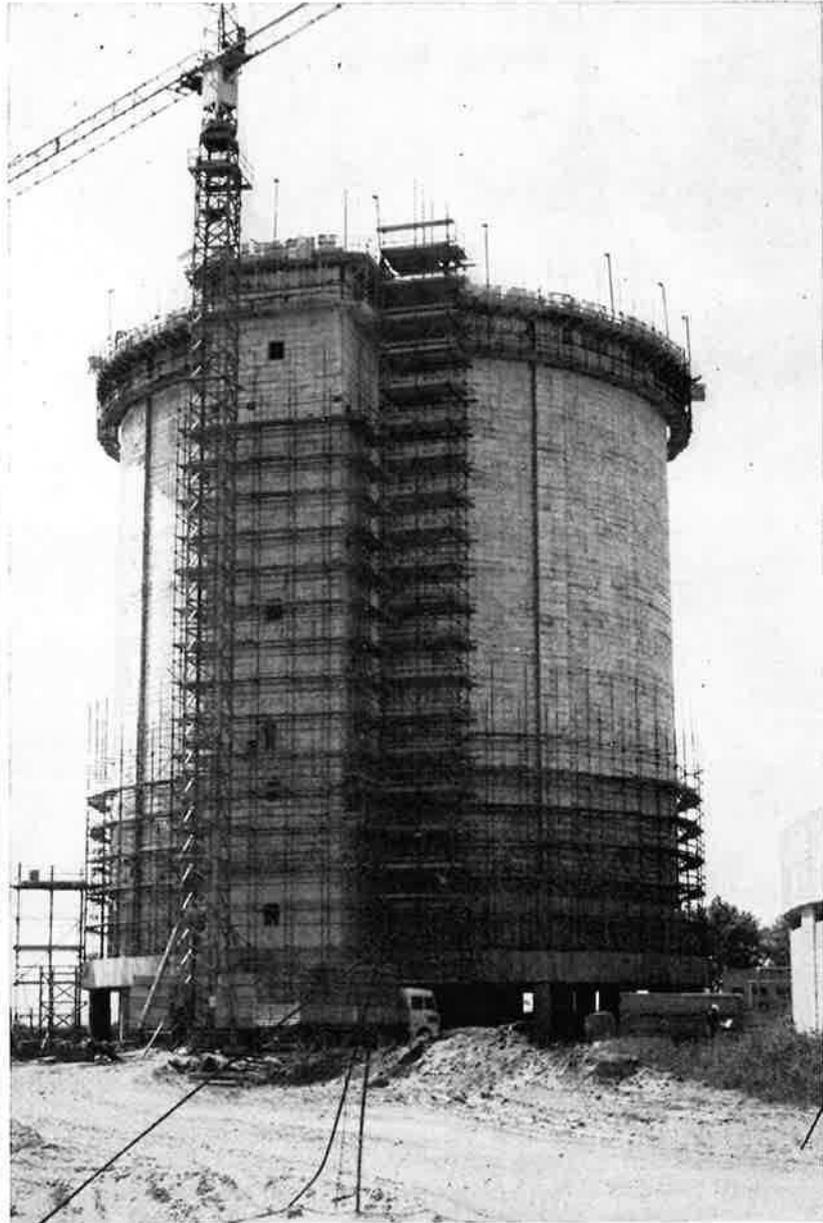
3



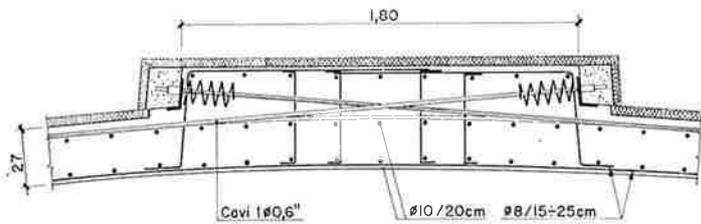
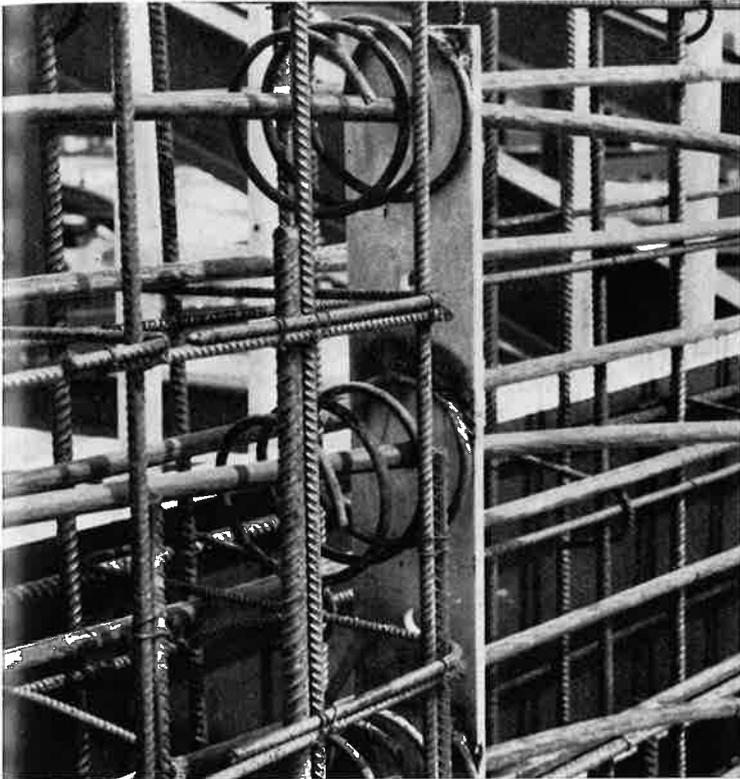
4



8



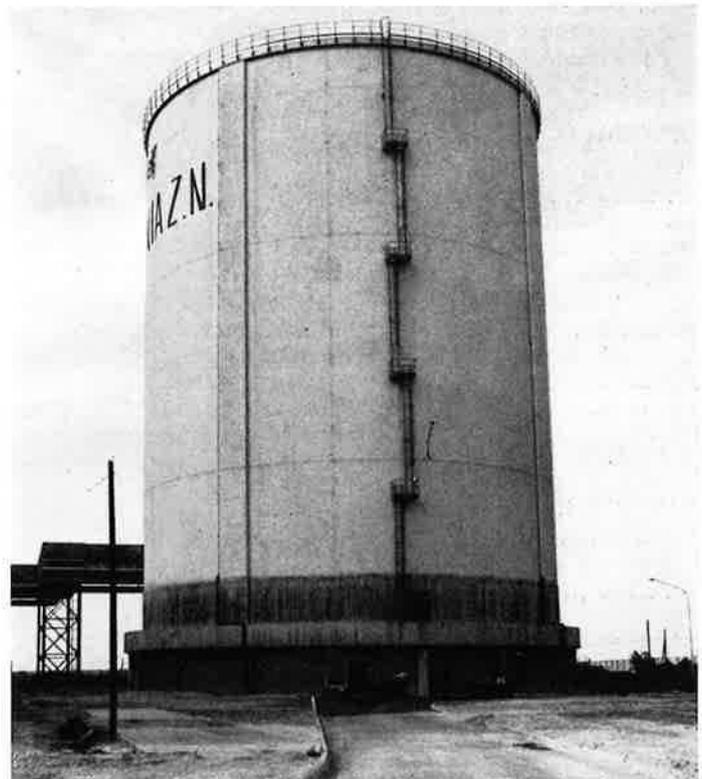
6



7

3 - Posa in opera delle casseforme per il getto della lastra di fondo della cella del silo; 4 - Realizzata la lastra di fondo si procede al montaggio della struttura di copertura, da sollevare solidalmente al cassero automontante per il getto della parete cilindrica; 5 - L'armatura di precompressione della parete del cilindro; 6-7 - L'ancoraggio dei cavi di precompressione della parete; 8 - Il silo in avanzata fase di costruzione con la tecnica dei casseri automontanti; 9 - Il silo completato.

3 - In situ positioning of the formwork for the casting of the bottom slab of the silo cell; 4 - After completion of the bottom slab, is in progress the assembly of the roof structure, to be lifted together with the climbing formwork for the cylinder wall casting; 5 - The prestressing steel for the cylinder wall; 6-7 - The anchorage of the wall prestressing cables; 8 - The silo during advanced construction phase, effected by the climbing formwork method; 9 - The finished silo.



9

Sforzo massimo di compressione nel calcestruzzo:

— all'atto della precompressione: 80 kg/cm<sup>2</sup>

— in esercizio: 61 kg/cm<sup>2</sup>

Valore caratteristico del carico di rottura cubico del calcestruzzo della struttura precompressa a 28 giorni: 408 kg/cm<sup>2</sup>

Carico di rottura dell'acciaio: 180 kg/mm<sup>2</sup>

Limite convenzionale dell'acciaio all'1%: 160 kg/mm<sup>2</sup>

Maximum compressive stress in the concrete:

— at time of tensioning: 80 kg/cm<sup>2</sup>

— under service conditions: 61 kg/cm<sup>2</sup>

Characteristic value of cube crushing strength of the prestressed concrete at 28 days: 408 kg/cm<sup>2</sup>

Ultimate steel strength: 180 kg/mm<sup>2</sup>

Conventional steel strength at 1% elongation: 160 kg/mm<sup>2</sup>

## SOLUZIONE STRUTTURALE

Il silo è essenzialmente costituito da un cilindro avente altezza e diametro pari rispettivamente a circa 38 e 32 metri, incernierato alla base sulla lastra di fondo e coperto in sommità con una cupola sferica a struttura metallica. Il complesso appoggia su più serie di pilastri a sezione circolare alti complessivamente 7 metri e disposti su circonferenze concentriche. Detti pilastri si prolungano nel terreno con altrettanti pali di grande diametro; a una quota intermedia tra la lastra di fondo e il piano campagna essi risultano collegati da una seconda lastra costituente un piano tecnico necessario per la lavorazione.

Questa lastra, unitamente a quella a fungo di fondo-silo e ai pilastri interposti, realizza un sistema strutturale spaziale dotato di notevole rigidità d'insieme per spostamenti relativi verticali, particolarmente adatto ad operare una efficace azione di ripartizione del carico sulla palificata.

Con i calcoli si è controllato che tale rigidità non risulti inferiore a quella minima necessaria prescritta dal consulente geotecnico per assicurare una soddisfacente ripartizione; tenendo conto altresì, per il calcolo delle sollecitazioni conseguenti all'azione delle elevate pressioni trasmesse dal materiale insilato, dell'interazione tra il suddetto sistema di lastre e la palificata.

## MODALITA' COSTRUTTIVE

Il cilindro è stato realizzato con la tecnica dei casseri automontanti. Durante l'avanzamento venivano messi in opera i cavi di precompressione e le lastre di polistirolo estruso che costituiscono la coibentazione esterna.

Inoltre, la struttura della cupola di copertura è stata assemblata sul fondo e sollevata assieme al cassero automontante. Le solette di fondo cella e i pilastri sono stati realizzati con tecniche tradizionali. Per i pali di grande diametro si è utilizzata la tecnica dei fanghi bentonitici.

## MATERIALI ADOPERATI:

- calcestruzzo per strutture precomprese: 1030 m<sup>3</sup>
- armatura ordinaria per strutture precomprese: 41 t
- acciaio per armature di precompressione: 29 t

COMMITTENTE: Eridania Z.N.

IMPRESA: C.M.C. - Cooperativa Muratori e Cementisti - Ravenna

SISTEMA DI PRECOMPRESSIONE: Tensacciai

## STRUCTURAL SOLUTION

The silo is formed essentially of a cylinder having a 38 m height and a 32 m diameter, hinged at the base on a bottom slab and roofed with a steel spherical dome structure. The structure bears on several series of circular-section columns, 7 m high overall and arranged in concentric circles. These columns extend into the ground, each on its own large-diameter pile. At an elevation between the bottom slab and ground level they are connected by a second slab forming a technical level needed for processing.

This slab, together with the mushroom shaped floor slab and the interposed columns, creates a spatial structural system furnished with considerable overall stiffness under relative vertical displacements, the system being especially suitable to distribute effectively the load over the pilings.

The calculations checked that this stiffness was not less than the minimum necessary as prescribed by the geotechnical consultant, so as to guarantee a satisfactory load distribution; the calculations took account as well of the interaction between this system of slabs and the pilings, in calculating the stresses due to the action exerted by the high pressures transmitted from the ensilaged material.

## CONSTRUCTION SYSTEM

The cylinder was built using the climbing form technique. As the cylinder rose the prestressing cables were installed, as well as the extruded polystyrol plates forming the outer insulation.

Furthermore, the cover-dome structure was assembled at the bottom and raised up together with the climbing formwork. The silo bottom slab and the columns were built using traditional techniques. The bentonite muds technique was used to sink the large-diameter piles.

## CONSUMPTION OF MATERIALS:

- concrete for prestressed structures: 1030 m<sup>3</sup>
- reinforcing steel for prestressed structures: 41 t
- prestressing steel: 29 t

OWNER: Eridania Z.N.

CONTRACTOR: C.M.C. - Cooperativa Muratori e Cementisti - Ravenna

PRESTRESSING SYSTEM: Tensacciai

## Silo per clinker della cementeria di Merone (Como)

## Clinker silo for the Merone (Como) cement plant

Progetto:  
Dott. Ing. Remo Servadio

Design:  
Dott. Ing. Remo Servadio

PERIODO DI COSTRUZIONE: Novembre 1979 - Settembre 1980

TIME OF CONSTRUCTION: November 1979 - September 1980

Schema statico: camicia cilindrica libera di scorrere al piede sull'anello di fondazione ed in sommità sotto la trave anulare di gronda

Static scheme: cylindrical shell free to slide at the foot on the foundation ring and at the top under the eaves ring beam

Diametro interno del cilindro: 32,00 m  
Spessore delle pareti del cilindro: 37,50 cm  
Altezza del cilindro, dal piano del terreno alla gronda: circa 50 m

Cylinder internal diameter: 32,00 m  
Cylinder wall thickness: 37,50 cm  
Cylinder height, from ground level to eaves: about 50 m

Spessore dell'anello di fondazione: 1,20 m  
Altezza dell'anello di fondazione sul piano del terreno: 3,60 m  
Altezza della cupola troncoconica di copertura: 10,80 m  
Diametro della piazzuola di sommità: 11,50 m  
Elementi strutturali prefabbricati: cupola troncoconica di copertura

Thickness of foundation ring: 1,20 m  
Height of foundation ring from ground level: 3,60 m  
Height of truncated-conical roof dome: 10,80 m  
Diameter of platform at the top: 11,50 m  
Precast structural elements: truncated-conical roof dome

Elementi strutturali precompressi: anello di fondazione, camicia cilindrica, trave ad anello di imposta della cupola troncoconica

Prestressed structural elements: foundation ring, cylindrical shell, springer ring beam of the truncated-conical dome

Tipo di precompressione: post-tensione  
Composizione dei cavi: 8 trefoli diametro 0,6" (camicia cilindrica), 12 trefoli diametro 0,6" (anello di fondazione e anello di gronda)

Type of prestressing: post-tensioning

Tensione iniziale dei trefoli: 136 kg/mm<sup>2</sup>  
Tensione di esercizio dei trefoli: 76 kg/mm<sup>2</sup>  
Sforzo massimo di compressione nel calcestruzzo:  
— all'atto della precompressione: 154 kg/cm<sup>2</sup>  
— in esercizio: 86 kg/cm<sup>2</sup>

Cable composition: 8 strands 0,6" diameter (cylindrical shell)  
12 strands 0,6" diameter (foundation ring and eaves ring)

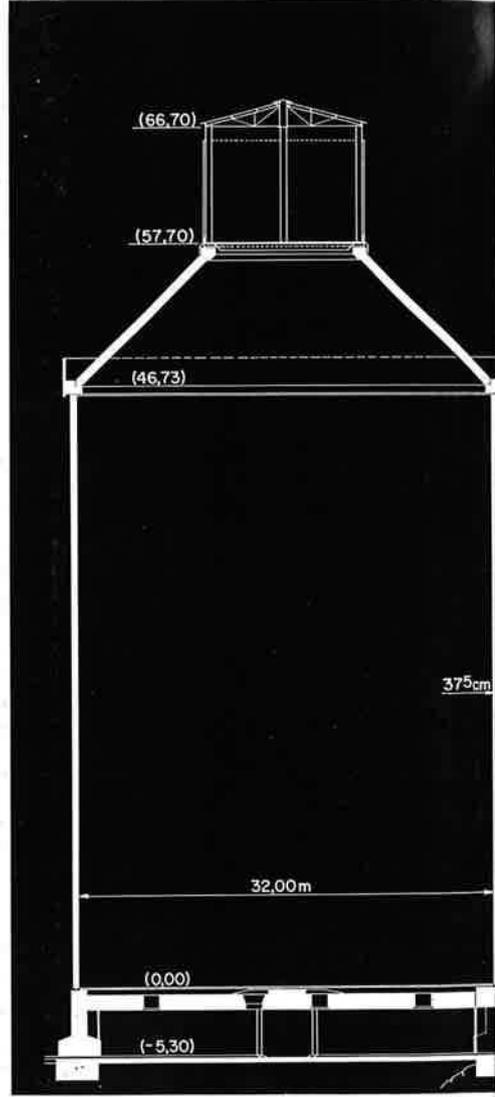
Initial stress in the strands: 136 kg/mm<sup>2</sup>  
Effective stress in the strands: 76 kg/mm<sup>2</sup>

Maximum compressive stress in the concrete:

— at time of tensioning: 154 kg/cm<sup>2</sup>  
— under service conditions: 86 kg/cm<sup>2</sup>

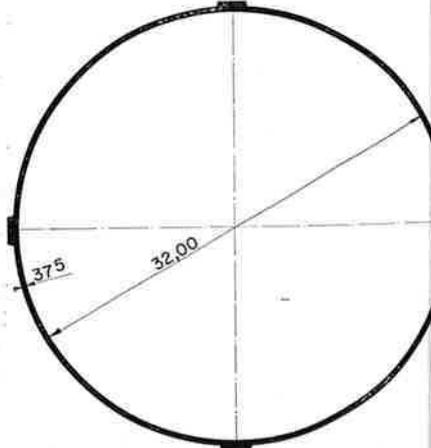
Valore caratteristico del carico di rottura cubico del calcestruzzo della struttura precompressa, a 28 giorni: 330 kg/cm<sup>2</sup>

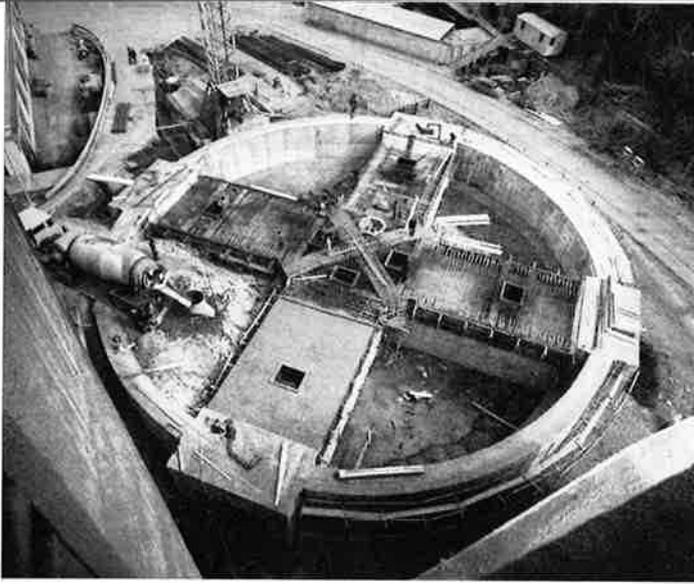
Characteristic value of cube crushing strength of the prestressed concrete at 28 days: 330 kg/cm<sup>2</sup>



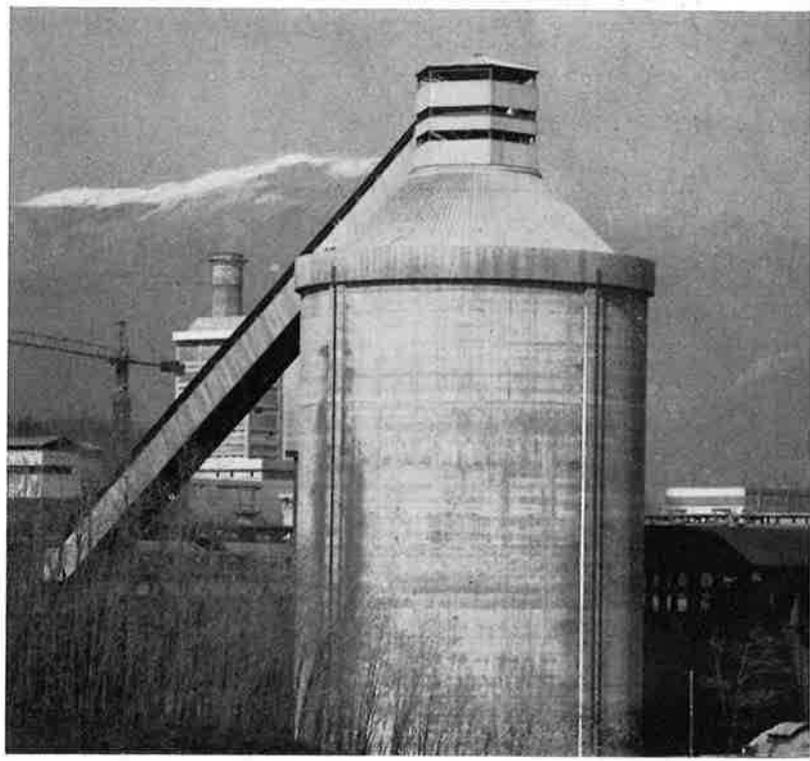
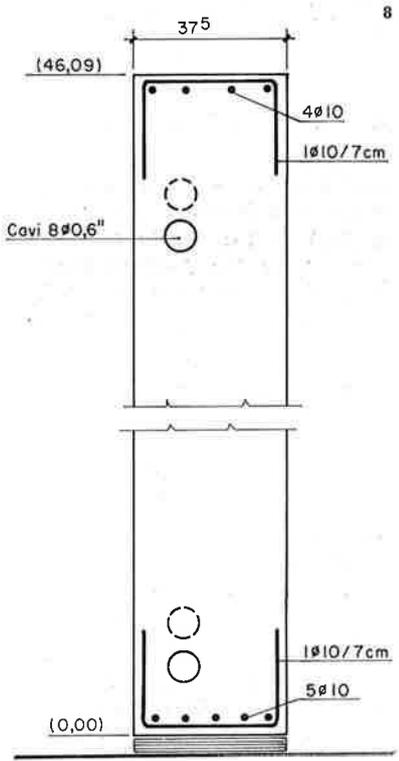
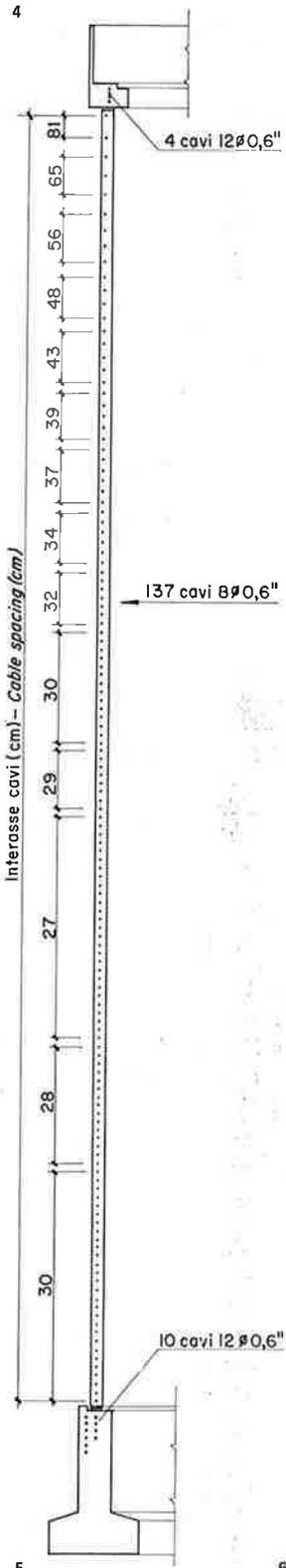
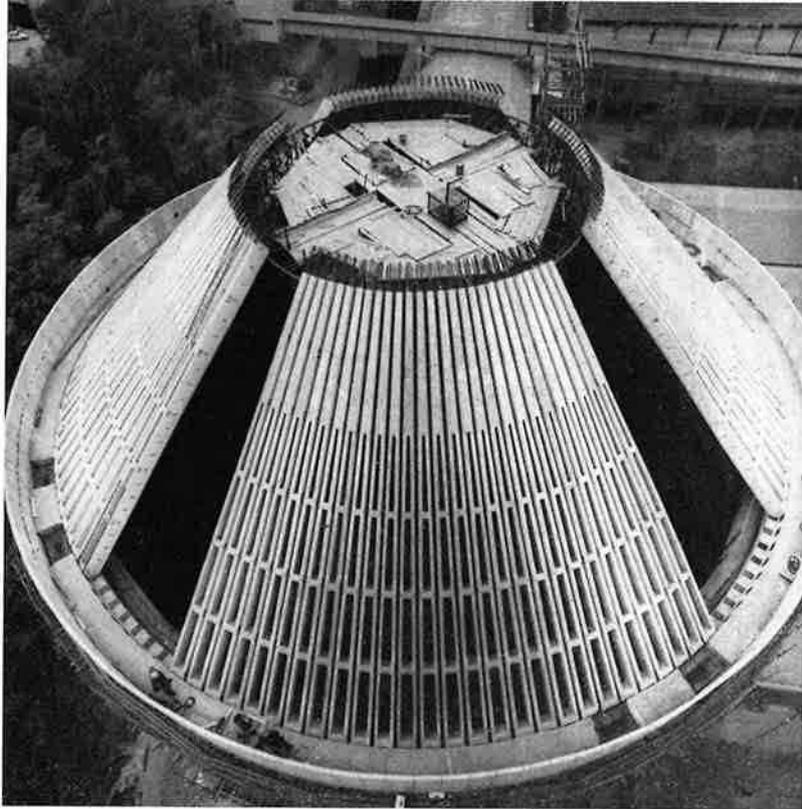
1 - Posa in opera dell'armatura normale e di precompressione per l'anello anulare di fondazione; 2 - Sezione verticale del silos; 3 - Pianta della parete cilindrica; 4 - Completata la trave anulare di fondazione, è in corso la costruzione dei cunicoli; 5 - Particolari dell'armatura di precompressione nella trave di fondazione, nella parete cilindrica e nella trave anulare di gronda; 6 - Particolare del piede e della sommità della parete cilindrica; 7 - Posa in opera degli elementi prefabbricati della cupola troncoconica di copertura; 8 - Il silos completato.

1 - In situ positioning of the reinforcing and prestressing steel for the annular foundation ring; 2 - Vertical section of the silo; 3 - Plan of the cylindrical wall; 4 - After completion of the foundation ring beam, the construction of the tunnels is in progress; 5 - Details of the prestressing steel in the foundation beam, the cylindrical wall and the eaves ring beam; 6 - Details of the foot and summit of the cylindrical wall; 7 - In situ positioning of the precast elements for the truncated-cone dome roof; 8 - The finished silo.





7



Carico di rottura dell'acciaio: 180 kg/mm<sup>2</sup>  
Limite convenzionale dell'acciaio all'1%: 160 kg/mm<sup>2</sup>

Ultimate steel strength: 180 kg/mm<sup>2</sup>  
Conventional steel strength at 1% elongation: 160 kg/mm<sup>2</sup>

#### GENERALITA'

Il silo è stato progettato per contenere clinker per 60.000 tonn. Nel calcolo si è tenuto conto di un peso specifico del clinker di 1.500 kg/m<sup>3</sup>, di un angolo di attrito interno del clinker di 35° e di un angolo di attrito esterno clinker/calcestruzzo, di 33°. La massima temperatura ambiente all'interno del silo è stata prevista in 110°C, la minima temperatura esterna in -5°C. Sulla piazzuola terminale di carico gravano macchinari e attrezzature per un peso totale di 120 tonn.

#### GENERAL

The silo was designed to hold 60.000 tons of clinker. In the design, account was taken of a clinker unit weight of 1.500 kg/m<sup>3</sup>, the clinker having an angle of rest of 35°, and the angle of external friction clinker/concrete being 33°. The highest ambient temperature inside the silo is expected to be 110°C, the lowest outside temperature, -5°C. Machinery and equipment load the upper platform for a total weight of 120 tons.

#### SOLUZIONE STRUTTURALE

La camicia cilindrica poggia sull'anello anulare di fondazione a mezzo di apparecchi di scorrimento. La trave anulare portante la copertura spingente ed il parapetto di gronda è svincolata dalla sommità del cilindro tramite apparecchi di scorrimento e dagli elementi a puntone di copertura tramite appoggi in neoprene che ne consentono la rotazione. La precompressione nei tre elementi di cui sopra è realizzata da anelli circolari composti da due settori di cavo abbraccianti mezza circonferenza. Ogni coppia di cavo è ruotata di 90° rispetto alla precedente. Il cilindro è dotato di 4 lesene verticali per l'intestazione dei cavi, mentre nella trave anulare di gronda i cavi sono intestati in apposite asole praticate dentro il corpo della trave e successivamente sigillate.

#### STRUCTURAL SOLUTION

The cylindrical shell bears on the annular foundation ring through sliding bearings. The ring beam carrying the thrusting roof and the eaves parapet is deconstrained from the cylinder top by means of sliding bearings, and from the roof strut elements by means of neoprene bearings that permit them to rotate. The prestressing in the three elements just mentioned is effected by circular rings composed of two sections of cable reaching around the half-circumference. Each cable-pair is rotated by 90° with respect to the preceding. The cylinder is furnished with 4 vertical ledges to hold the cableheads, while in the eaves ring-beam the cables are englobed in special slots formed in the body of the ring and then sealed.

#### MODALITA' COSTRUTTIVE

Sono state realizzate fondazioni dirette su terreno roccioso formato da un banco compatto di siltite marnosa. Con l'interposizione di un potente strato di sottofondo in calcestruzzo magro si è creato il piano di appoggio della trave anulare di fondazione e dei cunicoli, previa formazione di platea armata di distribuzione. Per il getto dell'anello di fondazione e dei cunicoli sono stati usati normali casseri metallici, mentre per il getto della camicia cilindrica si è fatto uso di cassero scivolante azionato da martinetti idraulici.

#### CONSTRUCTION SYSTEM

Direct foundations were built on a rock foundation formed of a compact bench of marly siltstone. By the interposition of a thick lean concrete subfoundation the support plane was created for the foundation ring beam and for the tunnels, after the formation of a reinforced distribution raft. To pour the foundation ring and the tunnels steel forms were used, while climbing forms hoisted by hydraulic jacks were used to build the cylindrical shell.

#### MATERIALI ADOPERATI:

— calcestruzzo per strutture precomprese: 3.200 m<sup>3</sup>  
— armatura ordinaria per strutture precomprese: 300 t  
— acciaio per armature di precompressione: 146 t

#### CONSUMPTION OF MATERIALS:

— concrete for prestressed structures: 3.200 m<sup>3</sup>  
— reinforcing steel for prestressed structures: 300 t  
— prestressing steel: 146 t

COMMITTENTE: Cementeria di Merone - Como  
IMPRESA: Ciceri Costruzioni Edilizie S.p.A. - Erba (Como)  
SISTEMA DI PRECOMPRESSIONE: Tecnicavi

OWNER: Cementeria di Merone - Como  
CONTRACTOR: Ciceri Costruzioni Edilizie S.p.A. - Erba (Como)  
PRESTRESSING SYSTEM: Tecnicavi

## Vasche di compenso per acquedotto a Simeri (Catanzaro)

Progetto:  
Prof. Ing. Remo Calzona

PERIODO DI COSTRUZIONE: 1977 - 1981

Schema statico delle pareti verticali: mensole incastrate alla base

Superficie interna utile delle vasche in pianta: 9.470 m<sup>2</sup>  
Superficie totale delle vasche: 10.516 m<sup>2</sup>  
Altezza delle pareti: variabile da 10 m a 13 m  
Capacità totale delle vasche: 95.000 m<sup>3</sup>  
Spessore del solettone di fondo:  
— al centro 0,80 m  
— all'attacco delle pareti: 1,60 m  
Spessore delle pareti:  
— alla base: 0,85 m  
— in testata: 0,25 m

Elementi strutturali precompressi: pareti verticali delle vasche  
Tipo di precompressione: post-tensione  
Diametro delle barre: 32 mm  
Tensione iniziale delle barre: 72 kg/mm<sup>2</sup>  
Tensione di esercizio delle barre: 63 kg/mm<sup>2</sup>  
Sforzo massimo di compressione nel calcestruzzo:  
— all'atto della precompressione: 165 kg/cm<sup>2</sup>  
— in esercizio: 101 kg/cm<sup>2</sup>  
Sforzo massimo di trazione nel calcestruzzo: 31 kg/cm<sup>2</sup>  
Valore caratteristico del carico di rottura cubico del calcestruzzo della struttura precompressa, a 28 giorni: 400 kg/cm<sup>2</sup>  
Carico di rottura dell'acciaio: 105 kg/mm<sup>2</sup>

### GENERALITA'

Le vasche costituiscono il serbatoio di compenso dell'acquedotto di Catanzaro. Hanno in pianta la forma di due rettangoli accostati, formanti un angolo di 26°. Si compongono di due vasche divise da una parete di separazione, che per un tratto porta in sommità una serie di paratoie, che permettono di mettere in comunicazione la vasca di monte con quella di valle.

Il fondo della vasca di monte è più alto di 3,50 m rispetto a quello della vasca di valle. Su uno dei lati corti arriva il canale di immissione; completano la vasca due scarichi di fondo.

Il solettone di fondo, in cemento armato, poggia su una palificata di pali, diametro 1,20 m, posti al vertice di un reticolo a maglia quadrata con i lati di circa 4 m. I pali, superato uno spessore di detriti e granito alterato, si intestano nel granito compatto.

Sul solettone sono impostate le pareti verticali precomprese verticalmente con un numero di barre variabile lungo l'altezza: per le pareti laterali da 10 barre al metro nella sezione di spiccato a 2 barre al metro in cima; per la parete di separazione da 14 barre al metro nella sezione di spiccato a 2 barre al metro in cima.

Le vasche sono divise da tre giunti trasversali, che tagliano sia

## Acqueduct surge-tanks at Simeri (Catanzaro)

Design:  
Prof. Ing. Remo Calzona

TIME OF CONSTRUCTION: 1977 - 1981

Static scheme for the vertical walls: cantilevers end-fixed at their base

In-plan net inner surface of tanks: 9.470 m<sup>2</sup>  
Total surface of tanks: 10.516 m<sup>2</sup>  
Height of tank walls: from 10 m to 13 m  
Overall tank capacity: 95.000 m<sup>3</sup>  
Thickness of the bottom slab:  
— at the centre: 0,80 m  
— at wall connection: 1,60 m  
Wall thickness:  
— at the base: 0,85 m  
— at the head: 0,25 m

Prestressed structural elements: vertical tank walls  
Type of prestressing: post-tensioning  
Bar diameter: 32 mm

Initial stress in the bars: 72 kg/mm<sup>2</sup>  
Effective stress in the bars: 63 kg/mm<sup>2</sup>  
Maximum compressive stress in the concrete:  
— at time of tensioning: 165 kg/cm<sup>2</sup>  
— under service conditions: 101 kg/cm<sup>2</sup>  
Maximum tensile stress in the concrete: 31 kg/cm<sup>2</sup>  
Characteristic value of cube crushing strength of the prestressed concrete at 28 days: 400 kg/cm<sup>2</sup>  
Ultimate steel strength: 105 kg/mm<sup>2</sup>

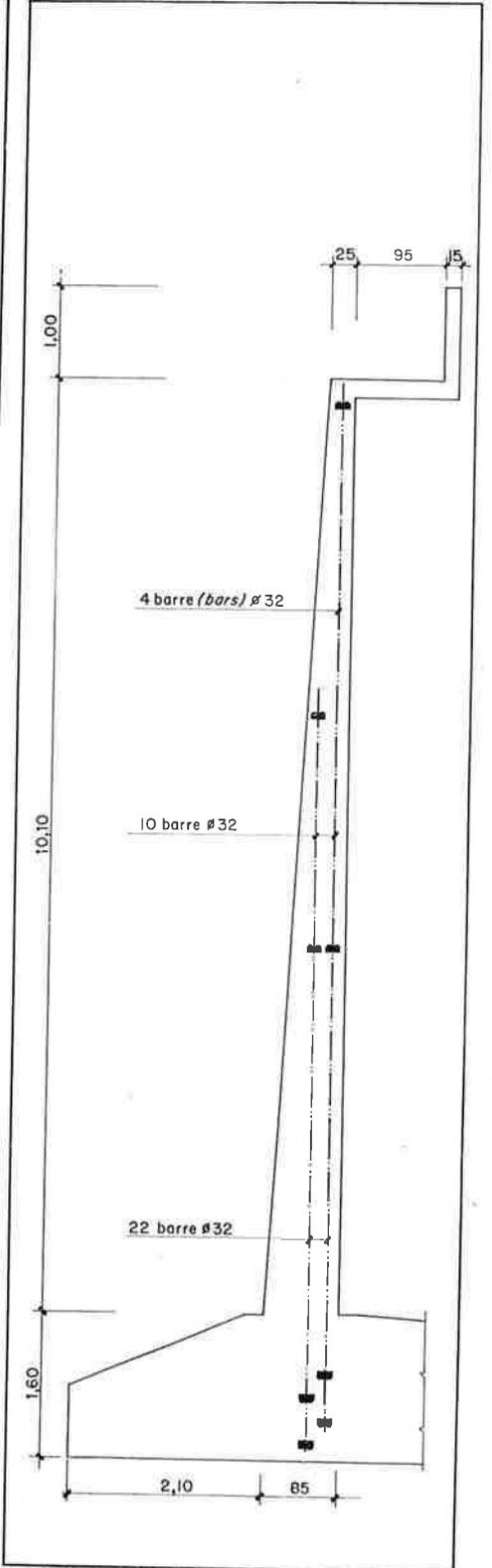
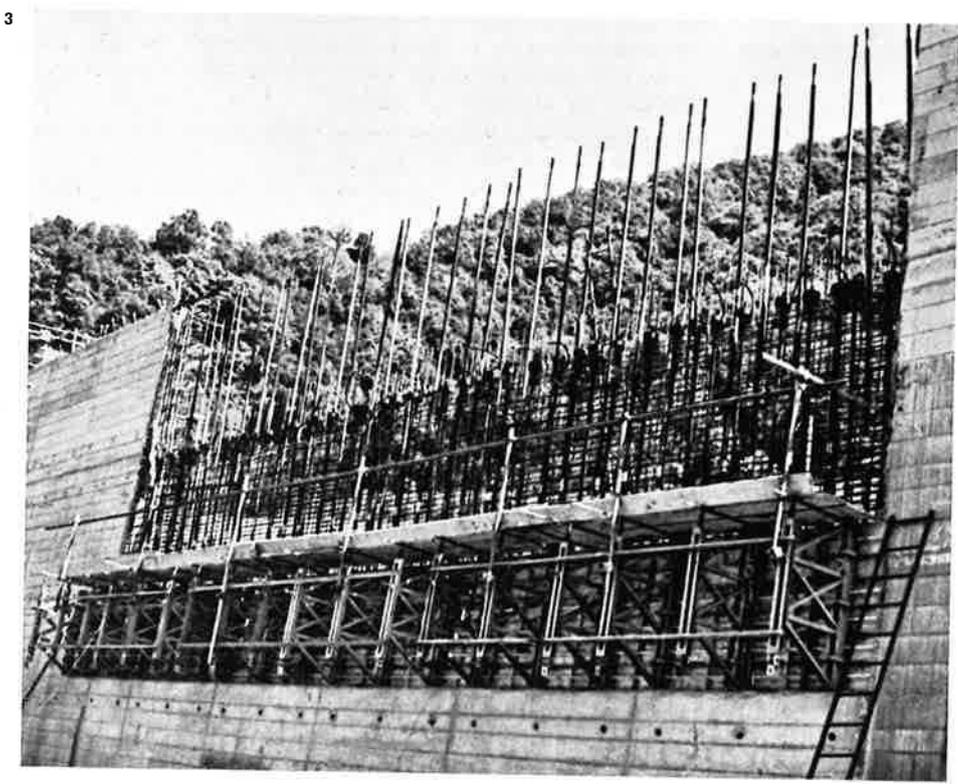
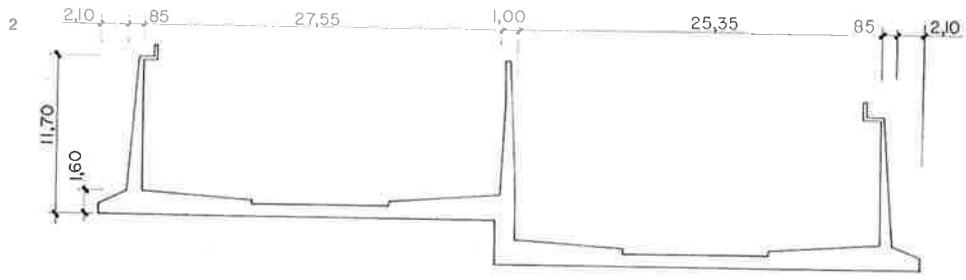
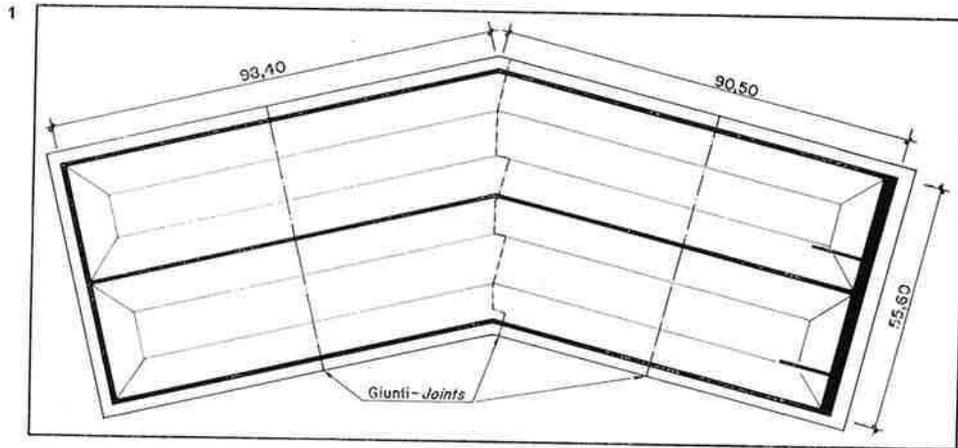
### GENERAL

The tanks form the surge reservoir for the Catanzaro aqueduct. In plan they have the form of two rectangles moved close together, forming an angle of 26°. The reservoir is composed of two tanks divided by a separator wall, that has along a portion of its summit a series of gates, which let the up-line tank communicate with the down-line tank.

The bottom of the up-line tank is higher by 3,50 m than the down-line tank bottom. In one of the short sides the inlet channel empties; the tank is completed by two bottom outlets. The thick reinforced-concrete bottom slab bears on a set of 1,20 m diameter piles, placed at the nodes of a square mesh, each square having a side of about 4 m. The piles, once they perforate a layer of detritus and decomposed granite, are embedded in compact granite.

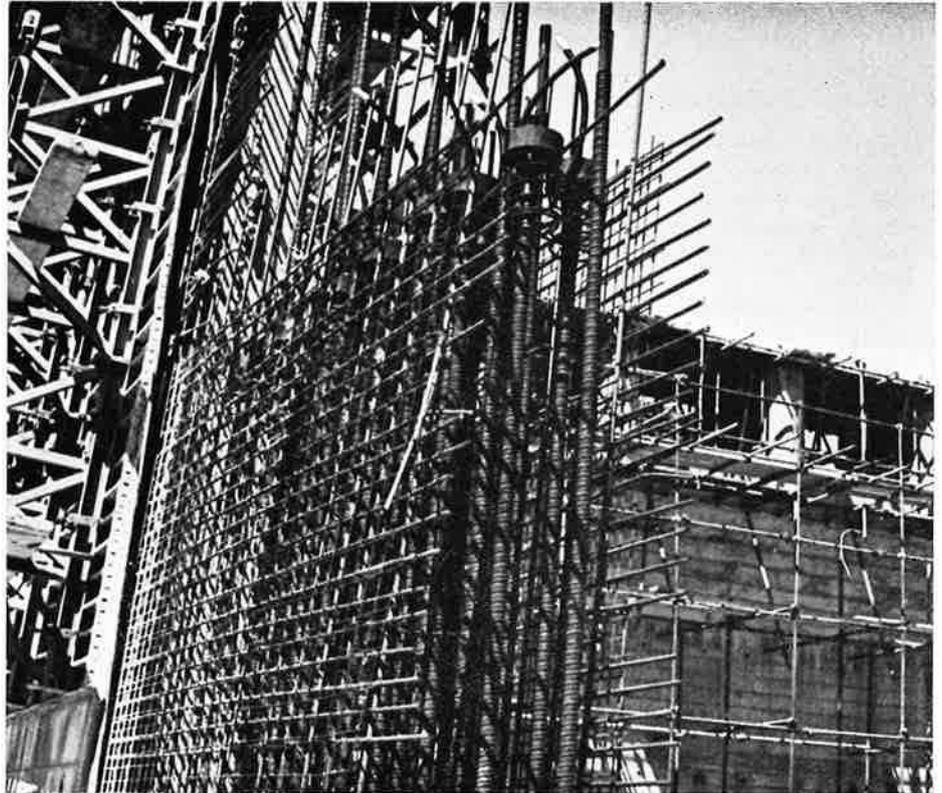
On the thick slab are butted the vertical walls, which are vertically prestressed by bars, the number of which varies along the height: for the side walls, from 10 bars per metre at the butt section to 2 bars per metre at the top; for the separator wall, from 14 bars per metre at the butt section to 2 bars per metre at the top.

The tanks are divided by three transverse joints, that cut both



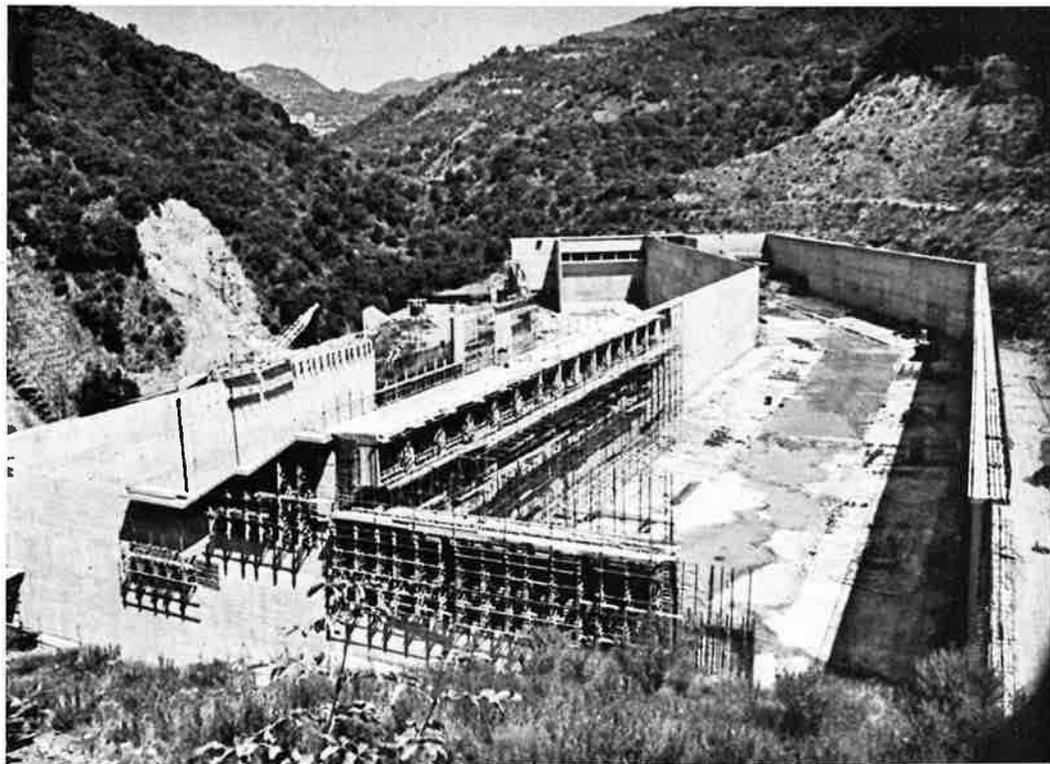
1-2 - Pianta e sezione trasversale delle due vasche di compenso; 3-5 - L'armatura delle pareti delle vasche; 4 - Sezione verticale delle pareti delle vasche con disposizione delle barre di pre-compressione; 6 - Vista delle vasche in fase di completamento.

1-2 - Plan and cross section of the two surge tanks; 3-5 - Reinforcing steel for the tank walls; 4 - Vertical section of the tank walls with the positioning of the prestressing bars; 6 - View of the tanks during the finishing phases.



5

6



pareti che solettone di fondo, e dividono il solettone in quattro parti all'incirca uguali.

#### SOLUZIONE STRUTTURALE

La struttura è stata calcolata per le azioni prodotte da:

- a) carichi permanenti: peso proprio;
- b) pressione dell'acqua sulle pareti e sul solettone;
- c) sisma: in quanto provoca una forza di inerzia sui carichi permanenti ed un moto dell'acqua con nascita di sovrappressioni;
- d) dilatazioni termiche e ritiro ad opera finita;
- e) dilatazioni termiche e ritiro differenziale durante la costruzione.

Le pareti, tranne che negli angoli, dove nasce un comportamento bidimensionale, sono state calcolate, per le azioni a), b), c), come mensole incastrate alla base, con la condizione che il lembo interno resti sempre compresso mentre si è ammessa una trazione, comunque inferiore a quella massima del conglomerato, sotto l'azione del sisma. Per le condizioni d) ed e), che creano uno stato di tensione di trazione nel piano della parete, prevalentemente orizzontale, si è studiato che la trazione fosse inferiore a quella ammissibile per il conglomerato.

Per ciò che riguarda il solettone di fondo, calcolato come piastra su appoggi discreti, la verifica di impermeabilità per le varie condizioni è stata condotta imponendo, per la superficie contro acqua, la verifica dello stato limite di «formazione delle fessure» consistente nel controllare che la probabilità di formazione delle fessure sia sufficientemente piccola.

#### MODALITA' COSTRUTTIVE

Date le notevoli dimensioni delle vasche e dei getti, particolare attenzione è stata posta alla composizione dei calcestruzzi ed alle modalità costruttive. Realizzati i pali, il getto del solettone di fondo è avvenuto in maniera continua per ognuno dei quattro campi in cui questo è suddiviso dai giunti. Completato il solettone, è iniziato il getto delle pareti, a strisce orizzontali, la cui altezza era fissata dalle fasi di precompressione, che si susseguivano, come per le costruzioni dei ponti a sbalzo: alla quota dove si dovevano tirare parte delle barre ed ancorarle, si interrompeva il getto.

Per minimizzare gli stati di trazione per calore d'idratazione e ritiro differenziale con il conglomerato del solettone, si è utilizzato un conglomerato particolare additivato con superfluidificante Rheobuild e con cemento d'alto forno a basso calore di idratazione.

---

#### MATERIALI ADOPERATI:

- calcestruzzo per strutture precomprese: 21.000 m<sup>3</sup>
- armatura ordinaria per strutture precomprese: 3.000 t
- acciaio per armature di precompressione: 370 t

---

COMMITTENTE: Cassa per il Mezzogiorno

IMPRESA: De Lieto

SISTEMA DI PRECOMPRESSIONE: Tecnicavi, Macalloy-Diwit

---

walls and bottom slab, dividing the slab into four about equal parts.

#### STRUCTURAL SOLUTION

The structure was designed to withstand the forces produced by:

- a) dead loads: its own weight;
- b) pressure of the water on walls and slab;
- c) earthquake: since it gives rise to an inertial force on the structure and to motion in the water, the consequence being overpressures;
- d) thermal expansion and shrinkage when the structure is in operation;
- e) thermal expansion and differential shrinkage during construction.

The walls, except at the corners, where the behaviour is two-dimensional, were calculated, for forces a), b) and c), as cantilevers fixed at their bases, with the condition that the inner edge remains always in compression, while traction is permitted, though less than the maximum allowable for concrete, under seismic forces. For conditions d) and e), which give rise to tractional stress, prevalently horizontal, in the plane of the wall, the design was studied so that tractional stress would be less than that permitted for concrete.

As regards the bottom slab, calculated as a slab on point supports, the check of its impermeability under the various conditions was made by requiring, for the wet surface, a verification of the limit state of «crack formation», which consisted of checking that the probability of crack formation was sufficiently small.

#### CONSTRUCTION SYSTEM

Considering the noteworthy dimensions of the tanks and of the pours, special attention was given to the composition of the concrete and to construction conditions. Once the piles were sunk, the pour of the bottom slab took place continuously for each of the four quarters into which it was divided by the joints. On completion of the slab the pour of the walls began, horizontally the height being established by the prestressing stages, which followed one on another as for the construction of cantilever bridges: at the level where a portion of the bars had to be tensioned and anchored, the pour stopped.

To minimize tractional stress-states owing to heat of hydration and differential shrinkage with respect to the slab concrete, a special concrete admixed with Rheobuild superplasticizer was used, together with slag cement having low heat of hydration.

---

#### CONSUMPTION OF MATERIALS:

- concrete for prestressed structures: 21.000 m<sup>3</sup>
- reinforcing steel for prestressed structures: 3.000 t
- prestressing steel: 370 t

---

OWNER: Cassa per il Mezzogiorno

CONTRACTOR: De Lieto

PRESTRESSING SYSTEM: Tecnicavi, Macalloy-Diwit

---

## Paratie per la banchina Dante su sponda destra del canale Candiano a Ravenna

## Bulkheads for the Dante wharf on the right bank of the Candiano canal in Ravenna

### Progetto:

Dott. Ing. Ivano Balatroni, Dott. Ing. Luigi Vitali,  
Dott. Ing. Pier Giorgio Zanzi

### Consulente:

Prof. Ing. Piero Pozzati

### Design:

Dott. Ing. Ivano Balatroni, Dott. Ing. Luigi Vitali,  
Dott. Ing. Pier Giorgio Zanzi

### Consultant:

Prof. Ing. Piero Pozzati

PERIODO DI COSTRUZIONE: Maggio - Novembre 1980

TIME OF CONSTRUCTION: May - November 1980

Schema statico: paratia parzialmente incastrata nel terreno e vincolata in sommità mediante vincolo elastico (tiranti e piastre)

Dimensioni in pianta delle palancole prefabbricate:

— parallelamente al fronte mare: 1,25 m

— perpendicolarmente al fronte mare: 1,10 m

Diametro del foro interno della palanca: 90 cm

Quote in altezza:

— banchina: + 2,00 m

— sommità palanca prefabbricata: + 0,35 m

— fondale: — 10,50 m

— estremità inferiore della punta della palanca: — 21,25 m

Interasse tiranti di ancoraggio: 3,90 m

Distanza di ancoraggio: 25,75 m

Numero totale delle palancole: 240

Lunghezza totale della banchina: 298,80 m

Elementi strutturali prefabbricati: palancole e piastre di ancoraggio

Static scheme: bulkhead, one end partially fixed in the ground, and restrained at the top by an elastic constraint (tie-cables and slabs)

In-plan dimensions of the precast sheet piles:

— parallel to the sea-front: 1,25 m

— perpendicular to the sea-front: 1,10 m

Diameter of hole inside sheet pile: 90 cm

Levels in elevation:

— wharf: + 2,00 m

— top of precast sheet pile: + 0,35 m

— sea bottom: — 10,50 m

— lowest end of tip of sheet pile: — 21,25 m

Spacing of anchorage tie-cables: 3,90 m

Anchorage distance: 25,75 m

Total number of sheet piles: 240

Total wharf length: 298,80 m

Precast structural elements: sheet piles and anchor slabs

Elementi strutturali precompressi: palancole

Tipo di precompressione: pre-tensione

Diametro dei trefoli aderenti: 0,5"

Composizione dei cavi dei tiranti: 6 oppure 8 trefoli diametro 0,6"

Tensione iniziale dei trefoli: 143 kg/mm<sup>2</sup> (trefoli aderenti); 72 kg/mm<sup>2</sup> (cavi tiranti)

Tensione in esercizio dei trefoli: 120 kg/mm<sup>2</sup> (trefoli aderenti); 108 kg/mm<sup>2</sup> (cavi tiranti)

Sforzo massimo di compressione nel calcestruzzo:

— all'atto della precompressione: 99 kg/cm<sup>2</sup>

— in esercizio: 70 kg/cm<sup>2</sup>

Valore caratteristico del carico di rottura cubico del calcestruzzo della struttura precompressa, a 28 giorni: 400 kg/cm<sup>2</sup>

Carico di rottura dell'acciaio: 190 kg/mm<sup>2</sup> (trefoli aderenti); 185 kg/mm<sup>2</sup> (cavi tiranti)

Limite convenzionale dell'acciaio all'1%: 170 kg/mm<sup>2</sup> (trefoli aderenti); 160 kg/mm<sup>2</sup> (cavi tiranti)

Prestressed structural elements: sheet piles

Type of prestressing: pre-tensioning

Diameter of pre-tensioning strands: 0,5"

Composition of the tie-cables: 6 or 8 strands diameter 0,6"

Initial stress in the strands: 143 kg/mm<sup>2</sup> (pre-tensioning strands); 72 kg/mm<sup>2</sup> (tie-cables)

Effective stress in the strands: 120 kg/mm<sup>2</sup> (pre-tensioning strands); 108 kg/mm<sup>2</sup> (tie-cables)

Maximum compressive stress in the concrete:

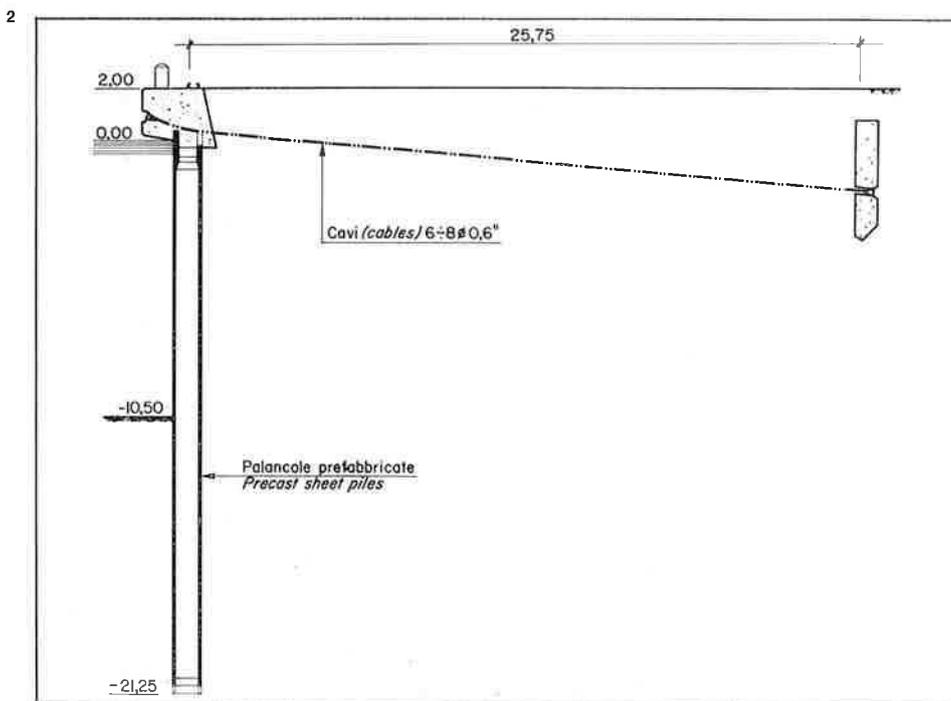
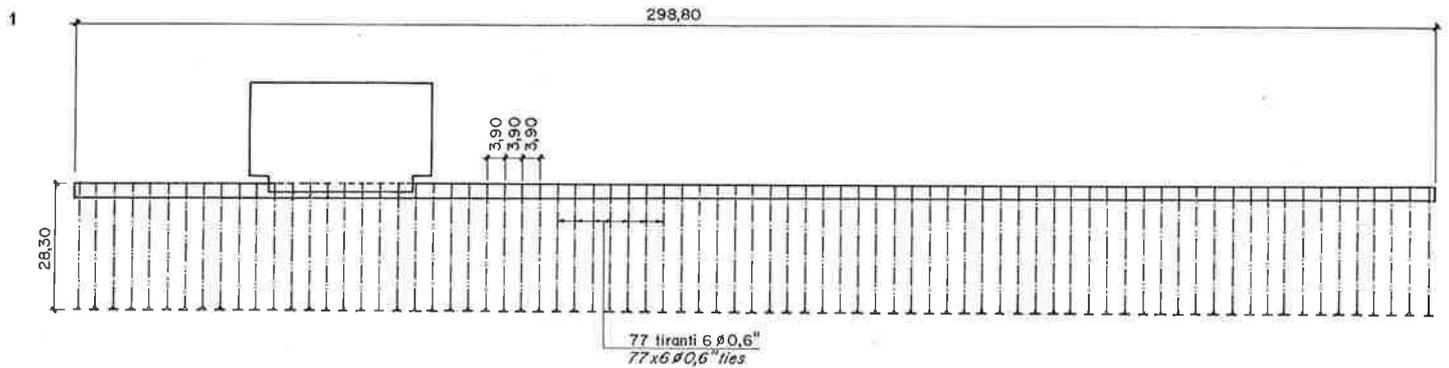
— at time of tensioning: 99 kg/cm<sup>2</sup>

— under service conditions: 70 kg/cm<sup>2</sup>

Characteristic value of cube crushing strength of the prestressed concrete at 28 days: 400 kg/cm<sup>2</sup>

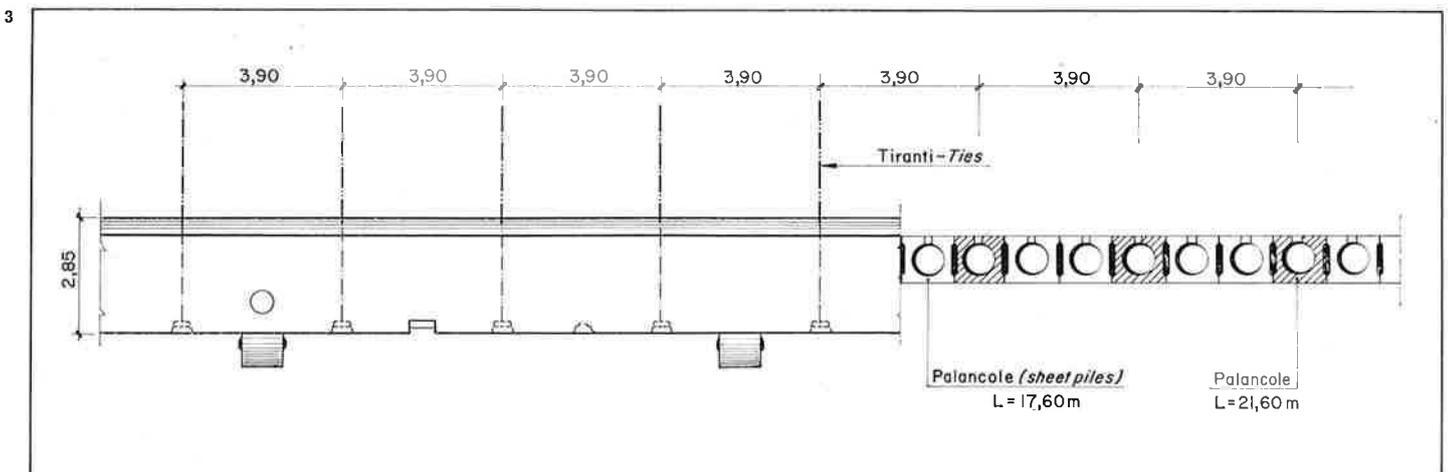
Ultimate steel strength 190 kg/mm<sup>2</sup> (pre-tensioning strands); 185 kg/mm<sup>2</sup> (tie-cables)

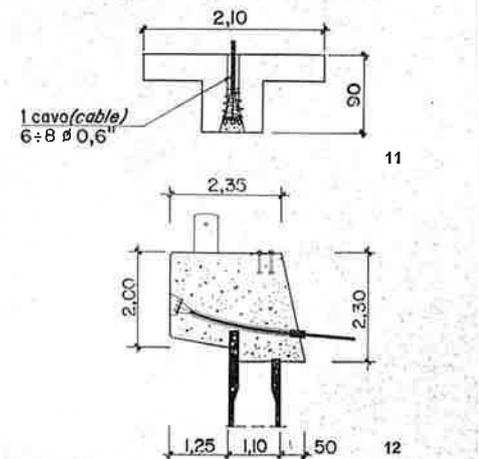
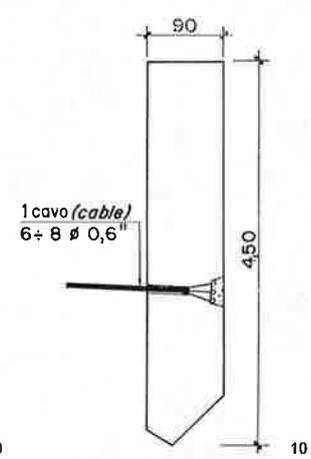
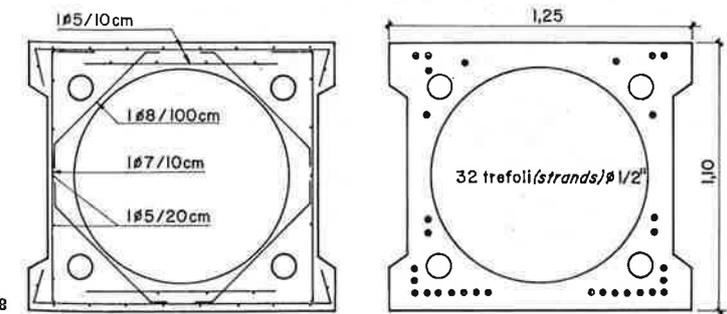
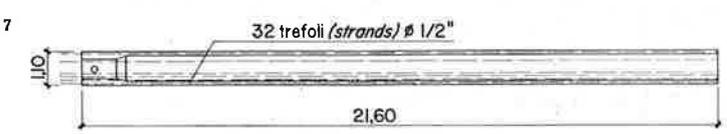
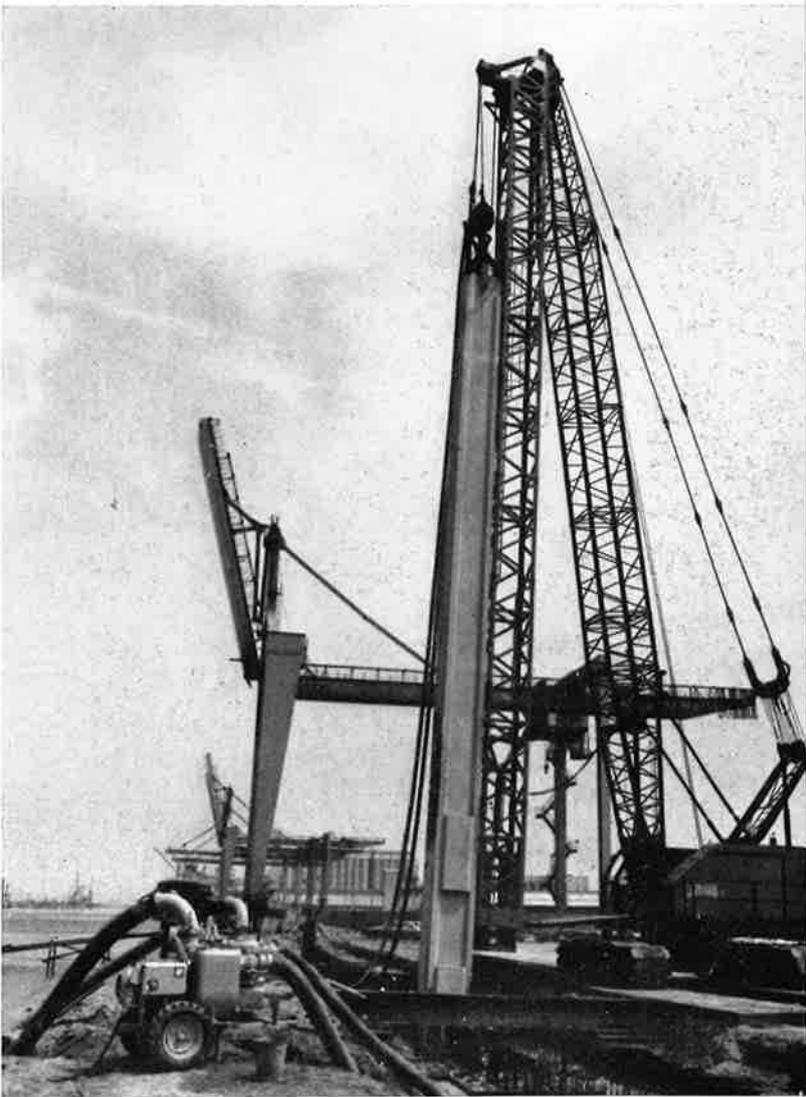
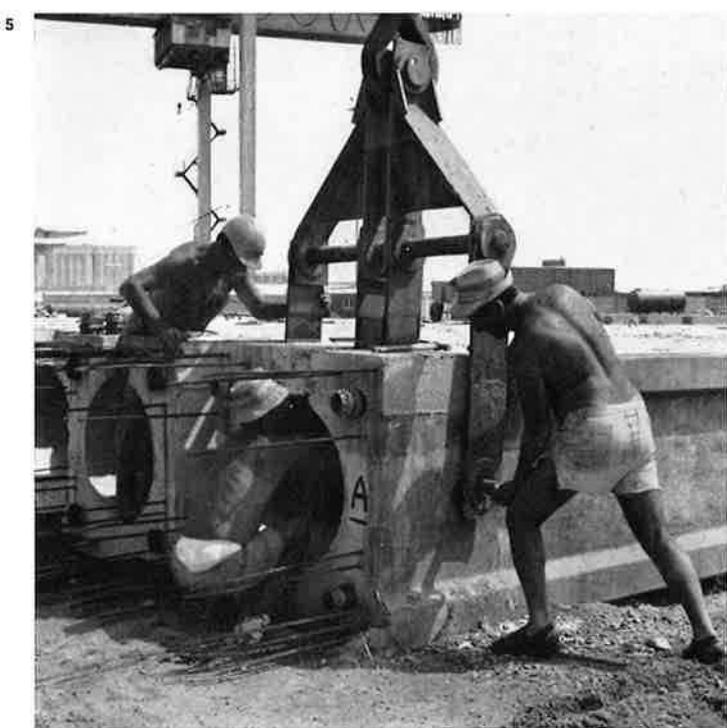
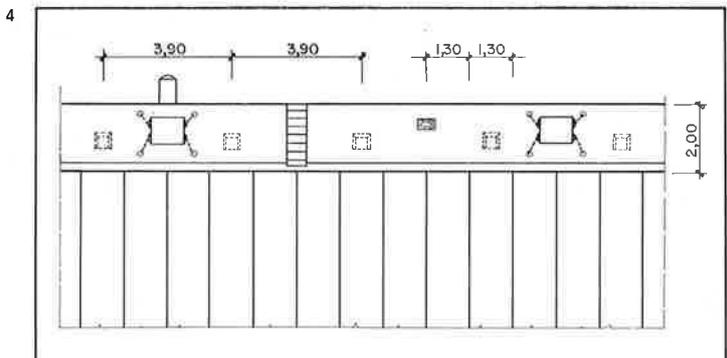
Conventional steel strength at 1% elongation: 170 kg/mm<sup>2</sup> (pre-tensioning strands); 160 kg/mm<sup>2</sup> (tie-cables)



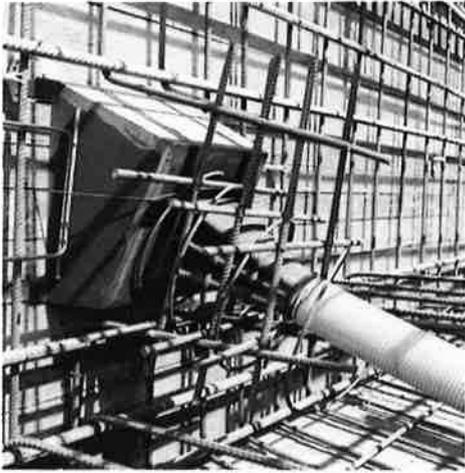
1 - Pianta della banchina; 2 - Sezione della palancole e del suo ancoraggio; 3 - Pianta della trave di coronamento (a sinistra) e sezione della sommità della palancole (a destra); 4 - Vista della banchina dal lato mare; 5 - La testata della palancole prefabbricata; 6 - Il «jetting» per l'infissione delle palancole; 7-8-9 - Sezioni longitudinale e trasversali della palancole con dettagli dell'armatura normale e di precompressione; 10-11 - Sezioni verticale e trasversale della piastra di ancoraggio con l'ancoraggio del tirante; 12 - Sezione trasversale della trave di coronamento.

1 - Plan of the wharf; 2 - Section of the sheet pile and its anchorage; 3 - Plan of the crowning beam (on the left) and section of the summit of the sheet piles (on the right); 4 - View of the wharf from the sea; 5 - The head of the precast sheet piles; 6 - The «jetting» equipment for driving the sheet piles; 7-8-9 - Longitudinal and cross sections of the sheet piles with details of reinforcing and prestressing steel; 10-11 - Vertical and cross section of the anchor slab with the anchorage of the tie-cable; 12 - Cross section of the crowning beam.









13 - La infissione delle palancole; 14 - Particolare dell'ancoraggio del tirante alla trave di coronamento; 15 - Il getto di sigillatura tra le palancole; 16 - L'infissione delle piastre d'ancoraggio; 17 - La banchina in fase di completamento.

13 - Sheet pile driving procedures; 14 - Detail of the anchorage of the tie-cable to the crowning beam; 15 - Sealing pour between the sheet piles; 16 - Positioning of the anchor slabs; 17 - Final phases of the wharf.

14  
15



16

(Fotografie / Photos: N. Natali)



17



---

## SOLUZIONE STRUTTURALE

La paratia è realizzata con palancole prefabbricate in cemento armato precompresso, a sezione scatolare, infisse accostate e quindi saldate in opera togliendo il terreno interposto e gettando calcestruzzo nelle cavità esistenti tra le anime.

L'opera, notevole per le sue dimensioni e per il forte dislivello fra il piano di campagna ed il fondo di dragaggio è completata da una rigida trave di coronamento alla quale fanno capo i tiranti realizzati con trefoli in acciaio stabilizzato posti entro guaine convenientemente iniettate; i tiranti risultano vincolati alle piastre posteriori realizzate da elementi prefabbricati in cemento armato.

La paratia è stata considerata come trave avente una parte infissa nel terreno, trattenuta superiormente da un vincolo elastico. Inoltre poiché è stato previsto di effettuare una congrua pretensione dei tiranti, si è considerato un molto limitato valore dello spostamento da essi consentito (pari a 1 cm, in relazione a valori rilevati su opere analoghe) per la verifica del valore del massimo momento negativo.

Le caratteristiche peculiari dell'opera, date dalla forma tubolare della sezione delle palancole componenti, ha reso necessario un accurato studio del cassero pneumatico interno, in conseguenza della precompressione longitudinale con fili aderenti.

## MODALITA' COSTRUTTIVE

Per l'infissione delle palancole, aventi peso di circa 32 tonnellate ciascuna, si è fatto ricorso alla tecnica dei « Jetting » particolarmente vantaggiosa per terreni come quelli dell'entroterra ravennate, composti da alternanze di sabbia e argilla più o meno limose.

L'opera è stata completata con l'infissione delle piastre di ancoraggio, l'esecuzione dei tiranti e la costruzione della trave di coronamento sulla quale appoggia la via di corsa a mare degli scaricatori (torri da sbarco). Parallelamente a tale via di corsa e distante 19,00 m da essa, è stata costruita altra via di corsa appoggiante su una rigida trave sorretta da pali. Particolare attenzione è stata posta nelle operazioni di iniezione dei tiranti, avvenuta dopo la messa in tensione degli stessi (con un tiro pari a circa 2/3 di quello di calcolo). Le operazioni di dragaggio, onde portare la quota del fondale a quella prevista nei calcoli, sono state effettuate dopo il completamento dell'opera.

---

## MATERIALI ADOPERATI:

- calcestruzzo per strutture precomprese: 2.600 m<sup>3</sup>
- armatura ordinaria per strutture precomprese: 100 t
- acciaio per armatura di precompressione: 90 t

---

COMMITTENTE: S.A.P.I.R. S.p.A. - Ravenna

IMPRESA: C.M.C. Cooperativa Muratori e Cementisti - Ravenna

SISTEMA DI PRECOMPRESSIONE DEI CAVI DEI TIRANTI:

Dyform

---

## STRUCTURAL SOLUTION

The bulkhead was built using precast prestressed concrete sheet piles of box section, driven side by side and then joined together by removing the earth between them and pouring concrete into the cavities between their cores.

The work, noteworthy, owing to its dimensions and the emphatic difference in heights between the site levels, is completed by a stiff coping beam in which end the tie-cables, made using stabilized-steel strands running in suitably grouted sheaths; the tie-cables are fixed to the rear slabs, these being precast elements in reinforced concrete.

The bulkhead was studied as a beam having one wall set in the ground, and restrained at the top by an elastic constraint. Furthermore, since an appropriate pretensioning of the tie-cables was considered a very limited value of the permitted deflection (1 cm, according to the values denoted in similar structures), for the verification check of the maximum negative moment.

The structure's special characteristics, given by the tubular form of the cross-sections of the component sheet piles, made necessary a careful study of the inside pneumatic formwork, as a consequence of the longitudinal prestressing using pretensioning strands.

## CONSTRUCTION SYSTEM

For the driving of the sheet piles, each weighing about 32 tons, the jetting technique was used, this being especially advantageous for soils such as those found in the Ravenna inland, composed of alternating sands and more or less silty clays.

The structure was completed by the setting of the anchorage slabs, the construction of the ties and that of the coping beam on which the seaward runway for the unloaders (disembarkation towers) rests. Parallel to this runway and 19,00 m from it, another runway was built, bearing on a stiff beam supported by piles. Special attention was given to the grouting of the tie-cables, which was effected after they had been tensioned (with a pull of about 2/3 design).

Dredging operations, to bring the sea bottom to design level, were performed after the structure was finished.

---

## CONSUMPTION OF MATERIALS:

- concrete for prestressed structures: 2.600 m<sup>3</sup>
- reinforcing steel for prestressed structures: 100 t
- prestressing steel: 90 t

---

OWNER: S.A.P.I.R. S.p.A. - Ravenna

CONTRACTOR: C.M.C. Cooperativa Muratori e Cementisti -

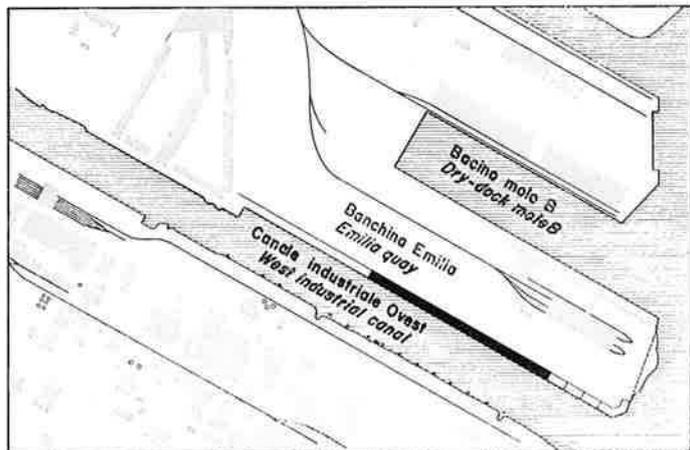
PRESTRESSING SYSTEM OF TIE-CABLES: Dyform

---

## Paratie per il completamento della banchina Emilia al molo B di Porto Marghera (Venezia)

Progetto strutturale:  
Dott. Ing. Calogero Benedetti

Progetto generale:  
Ministero LL.PP. - Ufficio del Genio Civile per le Opere Marittime di Venezia



PERIODO DI COSTRUZIONE: 1980 - 1982

Schema statico: paratie con ancoraggio in testa  
Dimensioni in pianta di ciascuna paratia:  
— parallelamente al fronte mare: 5,00 m  
— perpendicolarmente al fronte mare: 2,50 m  
Spessore della paratia: 80 cm  
Altezza della paratia: 29,00 m, di cui 28,00 m sotto il livello del mare  
Distanza di ancoraggio: 19,05 m  
Interasse fra i diaframmi di ancoraggio: 5,00 m  
Diaframmi di ancoraggio:  
— dimensioni in pianta: 5,00 m x 0,60 m  
— in profondità: 20,00 m  
Lunghezza di ciascun elemento di diaframma: 29,40 m + un cordolo in sommità di lunghezza 1,20 m  
Numero degli elementi di diaframma: 103  
Lunghezza totale della banchina: 485,84 m

Elementi strutturali precompressi: paratie a T, paratie lineari, tiranti

Tipo di precompressione: post-tensione  
Composizione dei cavi: da 6 a 14 trefoli diametro 0,6"  
Tensione iniziale dei trefoli: 115 kg/mm<sup>2</sup>  
Tensione di esercizio dei trefoli: 90 kg/mm<sup>2</sup>

## Bulkheads for completing the Emilia quay at mole B in Porto Marghera (Venice)

Structural design:  
Dott. Ing. Calogero Benedetti

General design:  
Ministry of Public Works - The Civil Engineering Department for Maritime Works in Venice

1 - Planimetria generale: in nero, la parte interessata dalle opere qui descritte.

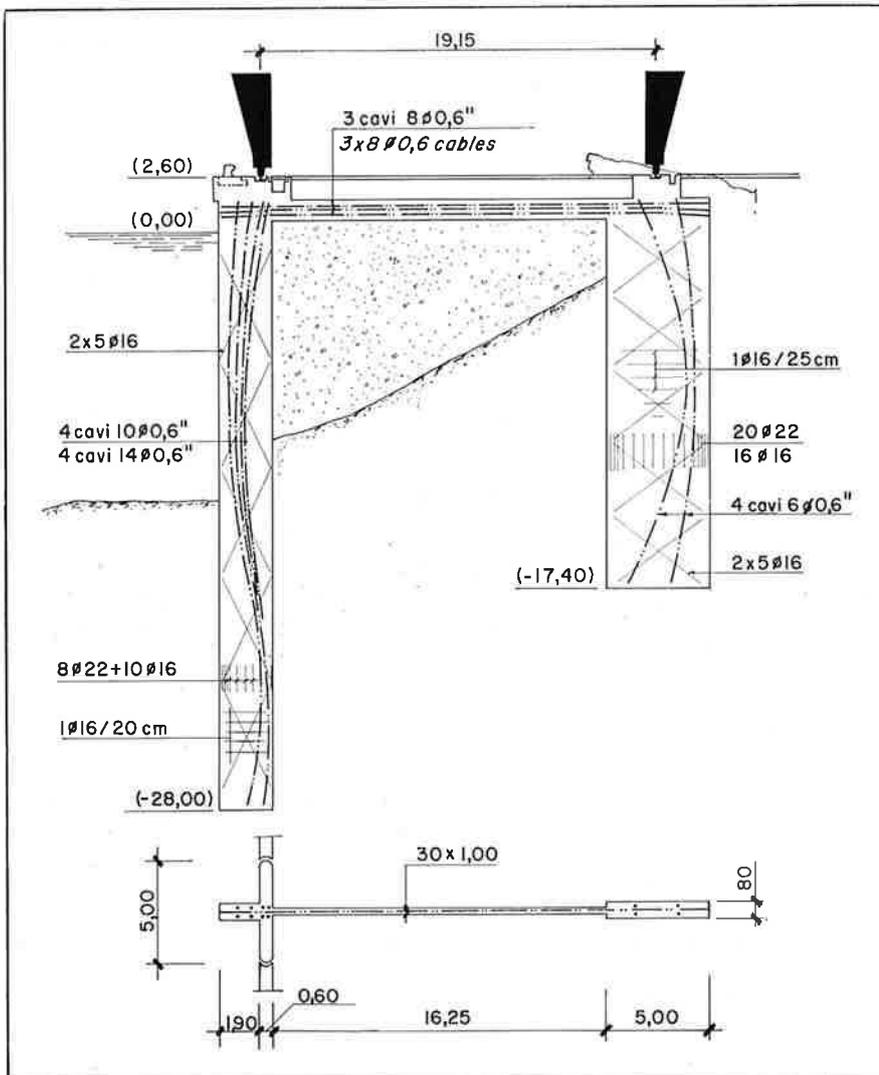
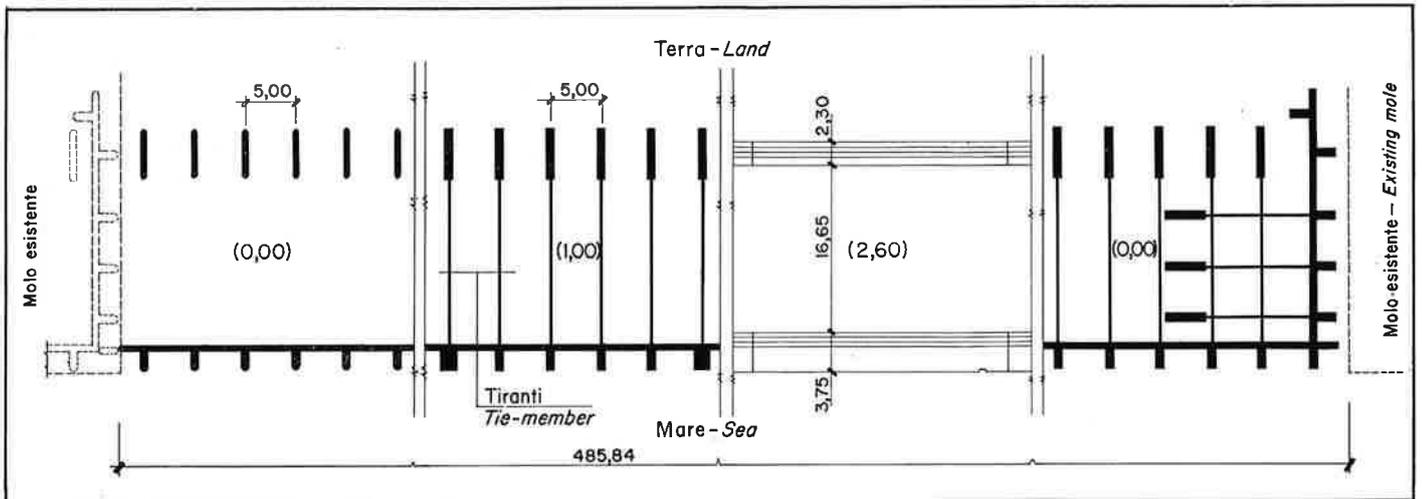
1 - Masterplan: the black area indicates the structures described herewith.

TIME OF CONSTRUCTION: 1980 - 1982

Static scheme: bulkheads, with in-head anchorage  
Plan dimensions of each bulkhead:  
— parallel to the sea front: 5,00 m  
— perpendicular to the sea front: 2,50 m  
Bulkhead thickness: 80 cm  
Bulkhead height: 29,00 m, of which 28,00 m below sea level  
Anchorage distance: 19,05 m  
Spacing between anchorage diaphragms: 5,00 m  
Anchorage diaphragms:  
— plan dimensions: 5,00 m x 0,60 m  
— depth: 20,00 m  
Length of each diaphragm element: 29,40 m + a coping strip at the top, 1,20 m long  
Number of diaphragm elements: 103  
Total length of quay: 485,84 m

Prestressed structural elements: T-bulkheads, line bulkheads, tie-members

Type of prestressing: post-tensioning  
Cable composition: 6 to 14 strands, 0,6" diameter  
Initial stress in the strands: 115 kg/mm<sup>2</sup>  
Effective stress in the strands: 90 kg/mm<sup>2</sup>



3

2

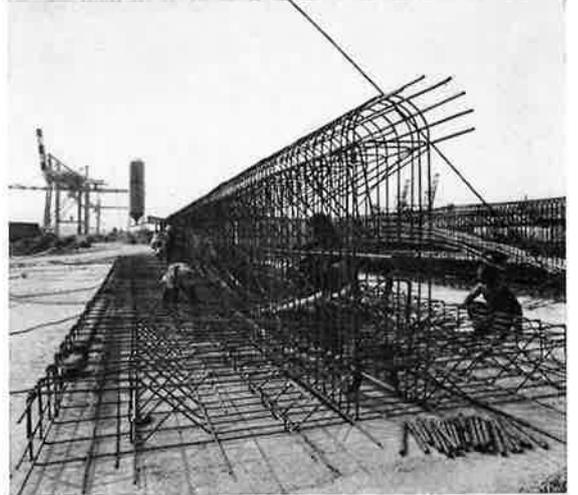
2 - Pianta delle paratie e dei loro ancoraggi in sommità; 3 - Sezione verticale e pianta della paratia e dei diaframmi di ancoraggio, con dettagli di armatura normale e di precompressione; 4 - Corree di guida e scavo dei pannelli a T di paratia; 5-6 - Prefabbricazione della gabbia di armatura dei pannelli a T di paratia.

2 - Plan of the bulkheads and their anchorages at the summit; 3 - Vertical section and plan of the bulkheads and of the diaphragm elements, with details of reinforcing and prestressing steel; 4 - Excavation and peripheral guides for the T panel bulkheads; 5-6 - Pre-assembly of the reinforcement cage of the bulkhead T panels.

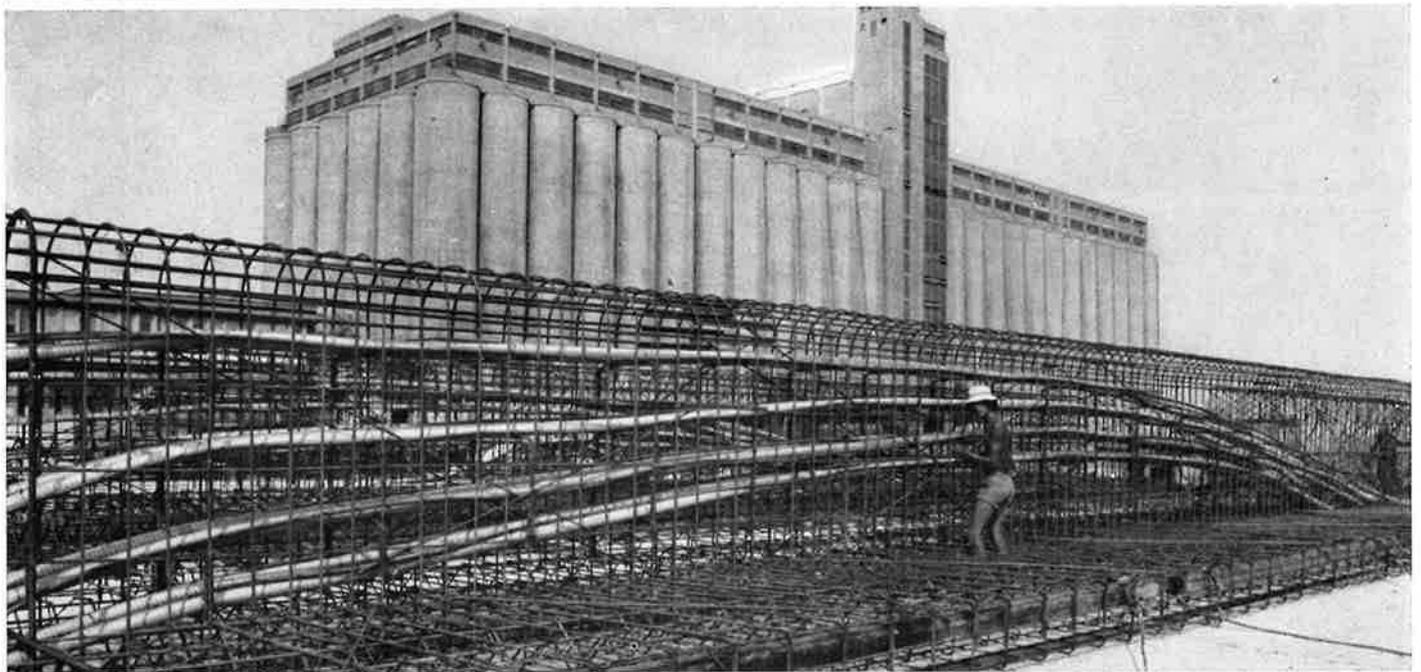
4



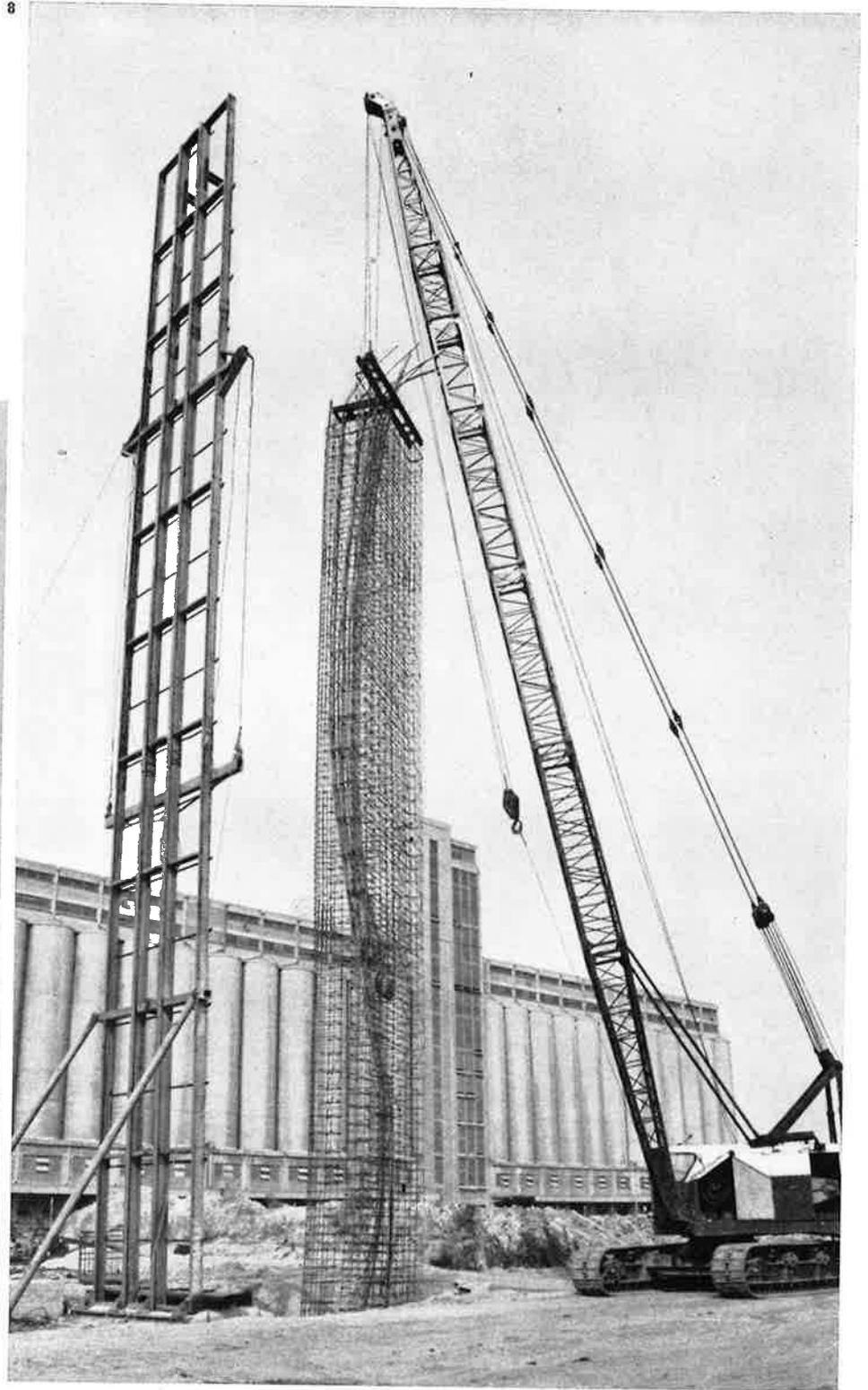
5



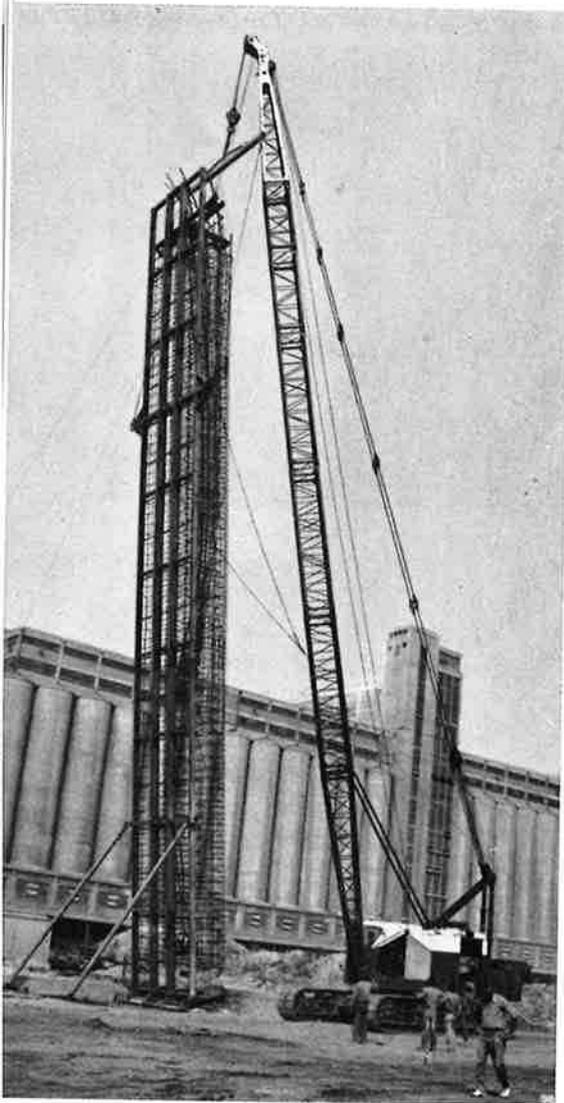
6



8



7



9

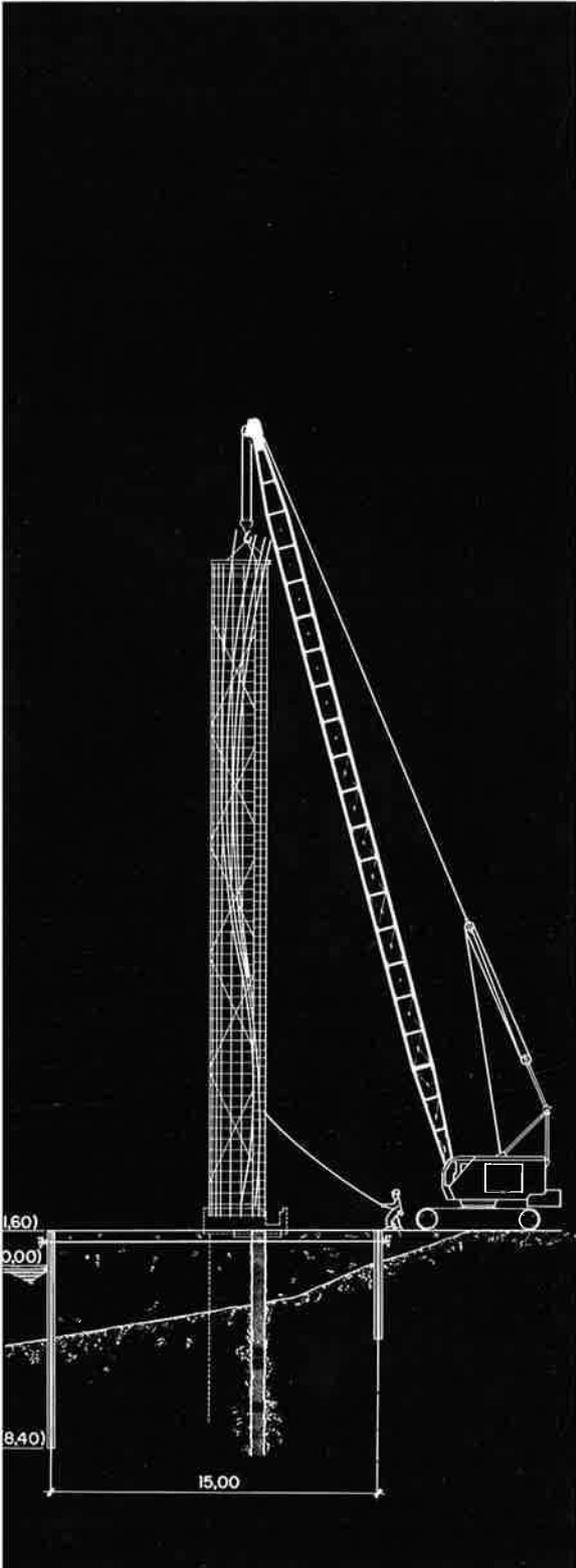


(6-8 - Comin)

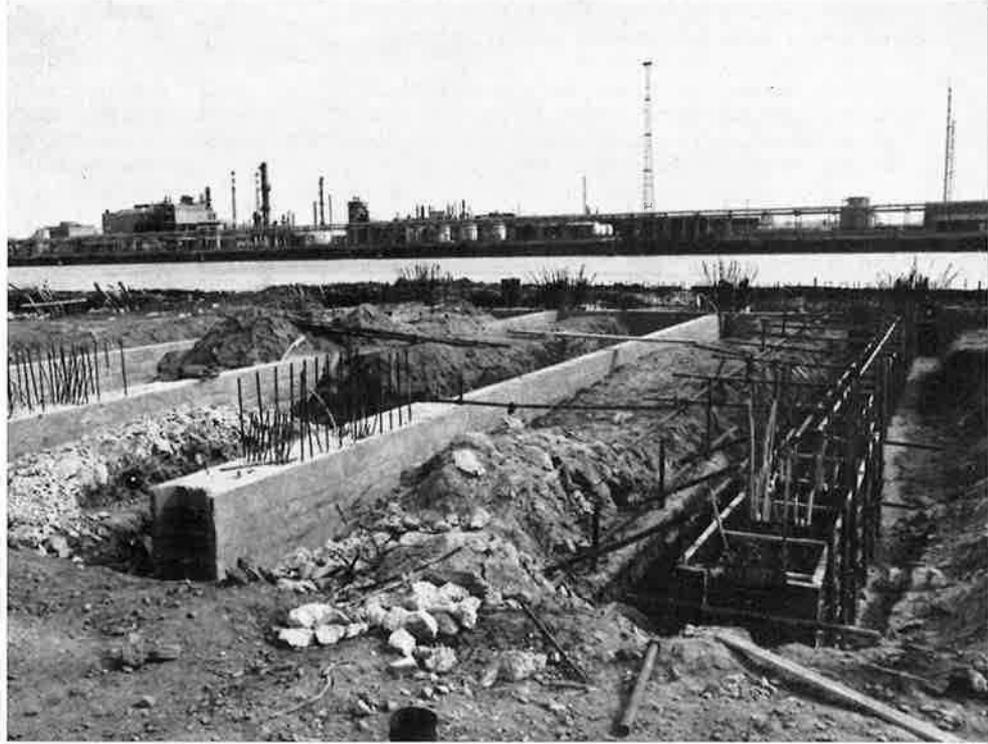
7-8 - Movimentazione delle gabbie di armatura dei pannelli a T di paratia; 9 - L'infilaggio della gabbia prefabbricata nel vano di scavo per la paratia; 10 - Schema dell'operazione di infilaggio della gabbia prefabbricata per la paratia; 11 - I tiranti di collegamento fra le paratie a T ed i diaframmi di ancoraggio; 12-13 - Il completamento della banchina; 14 - La banchina in esercizio.

7-8 - Positioning operations of the reinforcement cages of the bulkhead T panels; 9 - Insertion of the reinforcement cage into the excavated lodging for the bulkhead; 10 - Scheme indicating the insertion operations of the pre-assembled reinforcement cage for the bulkheads; 11 - The connecting tie-members between the T bulkheads and the anchorage diaphragms; 12-13 - Completion of the quay; 14 - The quay in service.

10



11



12/13

14

Sforzo massimo di compressione nel calcestruzzo:  
— all'atto della precompressione: 171 kg/cm<sup>2</sup>  
— in esercizio: 56 kg/cm<sup>2</sup>  
Sforzo massimo di trazione nel calcestruzzo: 19 kg/cm<sup>2</sup>  
Valore caratteristico del carico di rottura cubico del calcestruzzo della struttura precompressa, a 28 giorni: 350 kg/cm<sup>2</sup>  
Carico di rottura dell'acciaio: 180 kg/mm<sup>2</sup>  
Limite convenzionale dell'acciaio all'1%: 160 kg/mm<sup>2</sup>

#### SOLUZIONE STRUTTURALE

L'opera è costituita da una successione di elementi di paratie, con sezione a T inversa, ancorati in sommità ad elementi di diaframma retrostanti. In pianta la disposizione di tali T è con le coste rivolte a mare in modo da presentare in esercizio l'ala del T dalla parte della zona compressa. Un cordolo di coronamento nel quale è accolto anche il cunicolo dei servizi tecnologici forma il marcapiano di attracco delle navi per cui esso è corredato di fender, di bitte di ancoraggio, ecc. E' a tale cordolo che fanno capo i tiranti di sommità. L'impostazione dei calcoli per il completamento della banchina è basata su un modello molto raffinato che associa alle spinte coulombiane di monte quello di un comportamento stabilizzante elastico lato valle, caratterizzato almeno fino al momento del raggiungimento delle spinte passive, dalla presenza di un coefficiente di reazione laterale funzione della profondità.

#### MODALITA' COSTRUTTIVE

Per la costruzione della paratia di banchina a T lato mare è stato preventivamente eseguito un argine provvisorio contenuto verso mare da un palancolato. Lo scavo degli elementi di paratia è avvenuto con escavatori muniti di equipaggiamento Kelly, con uso di fanghi bentonitici antiflocculanti per il sostegno delle pareti e di tubi-spalla per il collegamento dei pannelli. La gabbia di armatura opportunamente irrigidita e del peso di circa 13 tonnellate veniva prefabbricata fuori opera su un apposito pianale, che poi la poneva in posizione verticale, in modo che potesse essere agganciata da una autogru, che provvedeva alla posa in opera entro lo scavo. Le paratie di ancoraggio ed i tiranti di collegamento sono stati costruiti con metodi tradizionali.

#### MATERIALI ADOPERATI:

— calcestruzzo per strutture precomprese: 20.000 m<sup>3</sup>  
— armatura ordinaria per strutture precomprese: 380 t  
— acciaio per armature di precompressione: 1.490 t

COMMITTENTE: Ministero dei LL.PP. - Ufficio del Genio Civile  
per le Opere Marittime - Venezia  
IMPRESA: Astaldi S.p.A. - Roma  
SISTEMA DI PRECOMPRESSIONE: Tensacciai

Maximum compressive stress in the concrete:  
— at time of tensioning: 171 kg/cm<sup>2</sup>  
— under service conditions: 56 kg/cm<sup>2</sup>  
Maximum tensile stress in the concrete: 19 kg/cm<sup>2</sup>  
Characteristic value of cube crushing strength of the prestressed concrete at 28 days: 350 kg/cm<sup>2</sup>  
Ultimate steel strength: 180 kg/mm<sup>2</sup>  
Conventional steel strength at 1% elongation: 160 kg/mm<sup>2</sup>

#### STRUCTURAL SOLUTION

The structure is formed of a sequence of bulkhead elements, of inverted T section, anchored at their tops to diaphragm elements behind. In plan, these T units are arranged with the ribbing turned toward the sea, so that, in service, the wing of the T is in the compressed zone. A top coping strip, in which a duct holding technical service systems runs, forms the mooring stringcourse for ships, so that it is furnished with fenders, with mooring bits, etc. The top tie-rods end at this coping strip. The calculation approach for the completion of the quay is based on a very refined model, which associates with the up-line coulomb thrusts a model of elastic stabilizing behaviour on the down-line side. This is characterized, at least up until passive thrusts are reached, by the presence of a lateral force coefficient, a function of depth.

#### CONSTRUCTION SYSTEM

For the construction of the quay T-bulkheads to the seaward side a temporary dike was built beforehand, it being confined to seaward by sheet piles. The excavation for the bulkheads was realized using Kelly-equipped excavators, bentonite anti-flocculant muds to support the walls, and pipe shoulders for connecting the panels. The reinforcement cage, suitably stiffened, weighing about 13 tons, was pre-fabricated off-site on a special frame, to enable it to be hooked by a crane truck which would then place it into the excavation. The anchorage bulkheads and the tie elements were built using traditional methods.

#### CONSUMPTION OF MATERIALS:

— concrete for prestressed structures: 20.000 m<sup>3</sup>  
— homogeneous steel for prestressed structures: 380 t  
— prestressing steel: 1.490 t

OWNER: Ministry of Public Works - The Civil Engineering  
Department for Maritime Works - Venice  
CONTRACTOR: Astaldi S.p.A. - Rome  
PRESTRESSING SYSTEM: Tensacciai

# Ampliamento del molo Bausan nel porto di Napoli

# Extension of the Bausan mole in the port of Naples

Progetto:  
Prof. Ing. Riccardo Morandi

Design:  
Prof. Ing. Riccardo Morandi

PERIODO DI COSTRUZIONE: 1977 - 1980

TIME OF CONSTRUCTION: 1977 - 1980

Superficie in pianta dell'ampliamento: 15.500 m<sup>2</sup>  
Numero delle piastre: 203 tipo e 37 speciali  
Dimensioni in pianta della piastra tipo: 7,32 m × 8,91 m  
Spessore della piastra tipo: 80 cm  
Griglia in pianta delle nervature della piastra: 2,07 m ÷ 2,15 m × 2,24 m ÷ 2,31 m  
Spessore della soletta superiore: 20 cm  
Spessore della controsoletta: 12 cm  
Elementi strutturali prefabbricati: piastre d'impalcato, pulvini sopra i pali

*In-plan surface area of the extension: 15.500 m<sup>2</sup>*  
*Number of slabs: 203 standard and 37 special*  
*Plan dimensions of standard slab: 7,32 m × 8,92 m*  
*Thickness of standard slab: 80 cm*  
*In plan grid of slab ribbing: 2,07 m to 2,15 m × 2,24 m to 2,31 m*  
*Thickness of upper slab: 20 cm*  
*Thickness of lower slab: 12 cm*  
*Precast structural elements: deck slabs, head beams over piles*

Elementi strutturali precompressi: piastre d'impalcato  
Tipo di precompressione: post-tensione  
Composizione dei cavi: 8 oppure 12 trefoli diametro 0,5"  
Tensione iniziale dei trefoli: 118 kg/mm<sup>2</sup>  
Tensione di esercizio dei trefoli: 100 kg/mm<sup>2</sup>  
Sforzo massimo di compressione nel calcestruzzo:  
— all'atto della precompressione: 83 kg/cm<sup>2</sup>  
— in esercizio: 25 kg/cm<sup>2</sup>  
Sforzo massimo di trazione nel calcestruzzo: 12 kg/cm<sup>2</sup>  
Valore caratteristico del carico di rottura cubico del calcestruzzo della struttura precompressa, a 28 giorni: 400 kg/cm<sup>2</sup>  
Carico di rottura dell'acciaio: 176 kg/mm<sup>2</sup>  
Limite convenzionale dell'acciaio all'1%: 149 kg/mm<sup>2</sup>

*Prestressed structural elements: deck slabs*  
*Type of prestressing: post-tensioning*  
*Cable composition: 8 or 12 strands 0,5" diameter*  
*Initial stress in the strands: 118 kg/mm<sup>2</sup>*  
*Effective stress in the strands: 100 kg/mm<sup>2</sup>*  
*Maximum compressive stress in the concrete:*  
*— at time of tensioning: 83 kg/cm<sup>2</sup>*  
*— under service conditions: 25 kg/cm<sup>2</sup>*  
*Maximum tensile stress in the concrete: 12 kg/cm<sup>2</sup>*  
*Characteristic value of cube crushing strength of the pre-stressed concrete at 28 days: 400 kg/cm<sup>2</sup>*  
*Ultimate steel strength: 176 kg/mm<sup>2</sup>*  
*Conventional steel strength at 1% elongation: 149 kg/mm<sup>2</sup>*

## GENERALITA'

L'ampliamento ha una dimensione in pianta di 57,50 m × 265,00 m. Esso è adibito allo stoccaggio dei containers ed ospita le vie di corsa di un « portainer » da 40 ton × 45 m, con carrello rotante di 360 gradi.

## GENERAL

*The extension has in-plan dimensions of 57,50 m × 265,00 m. It is assigned to the stockpiling of containers and holds the runways for a 40 ton, 45 m container, with a 360° rotating crane trolley.*

## SOLUZIONE STRUTTURALE

L'opera è costituita da 240 piastre prefabbricate, poggianti in corrispondenza dei loro spigoli, su 300 pali di diametro 1300 mm, tramite pulvini in cemento armato ottagonali e delle dimensioni

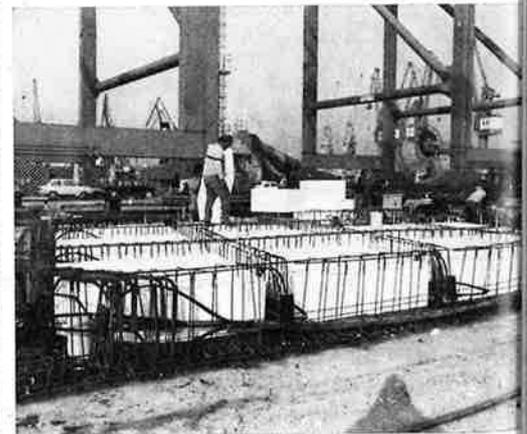
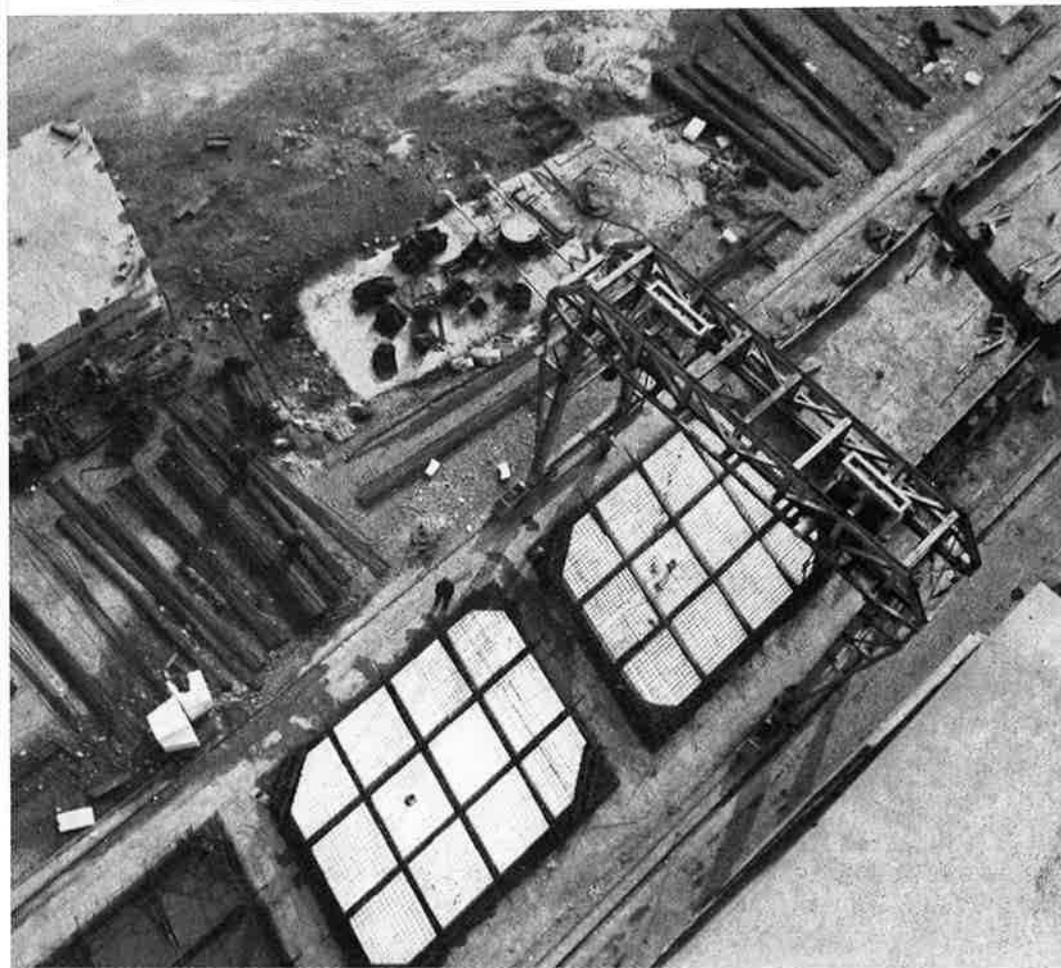
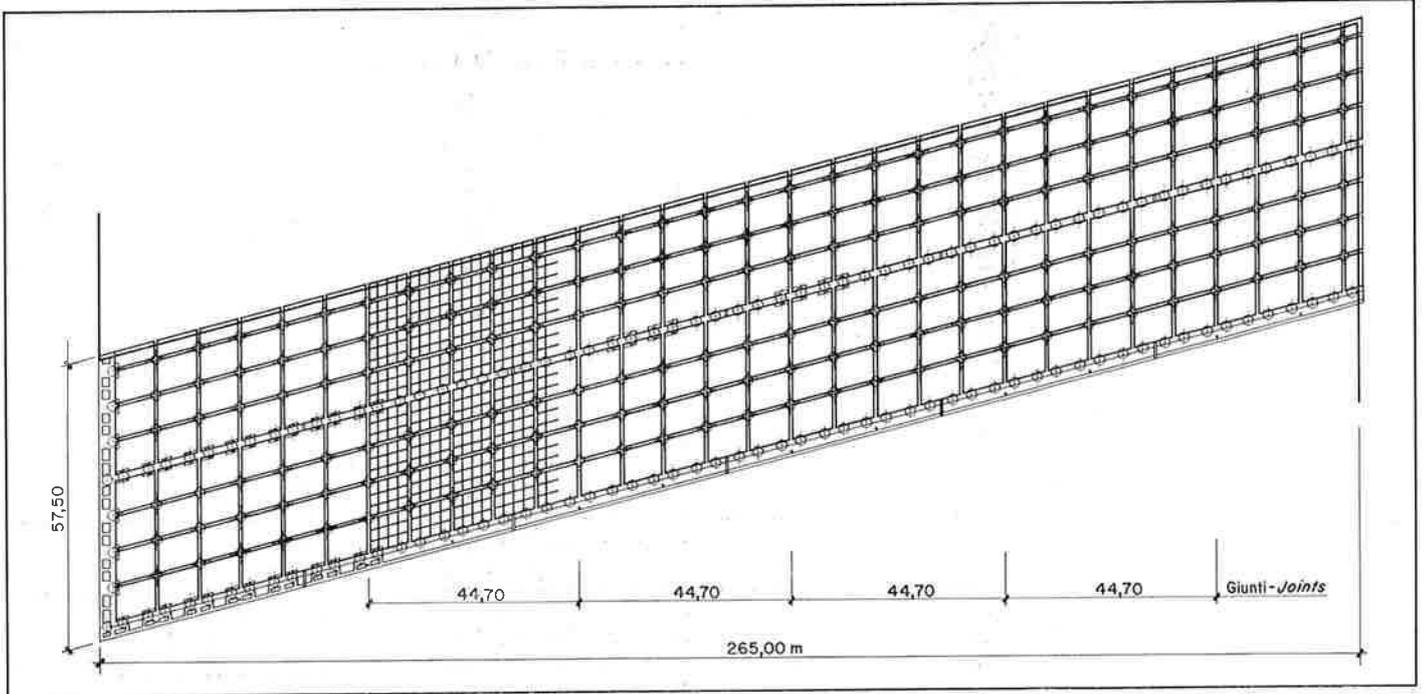
## STRUCTURAL SOLUTION

*The structure is formed of 240 precast slabs bearing, at their edges, on 300 piles of 1300 mm diameter, through reinforced concrete octagonal foundation pads, whose inplan dimension*

1 - Planimetria generale del molo; 2-6-7 - Il cantiere di prefabbricazione delle piastre d'impalcato; 3 - La costruzione di una piastra alleggerita d'impalcato; 4 - Sezione longitudinale di una nervatura della piastra, con dettagli dell'armatura di precompressione; 5 - Piante di una piastra tipo, con disposizione dei cavi di precompressione.

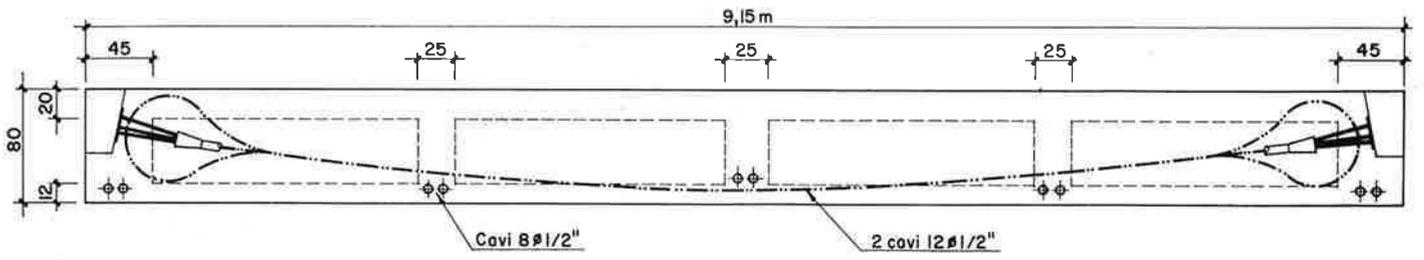
1 - Masterplan of the mole; 2-6-7 - The precasting yard for the deck slabs; 3 - Construction of a lightened deck slab; 4 - Longitudinal section of the ribbing of a slab, with details of the prestressing steel; 5 - Plan of a typical slab with the positioning of the prestressing cables.

1



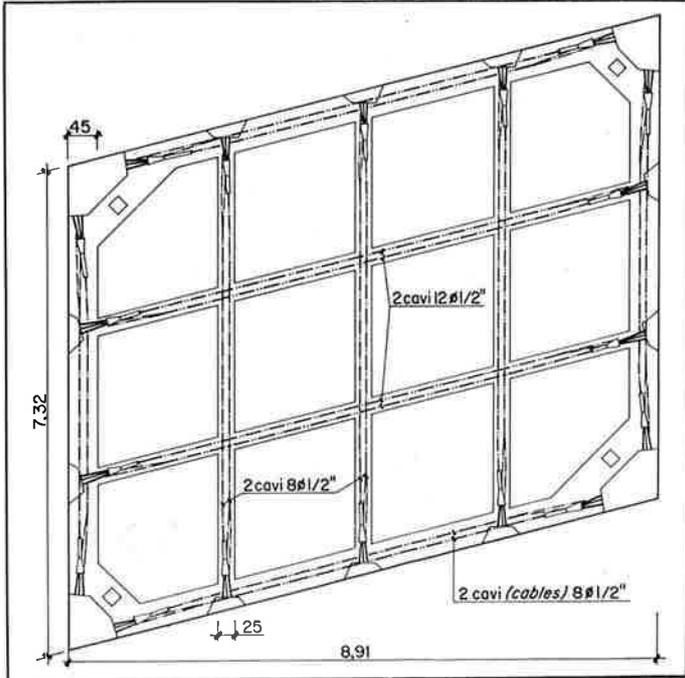
3

2

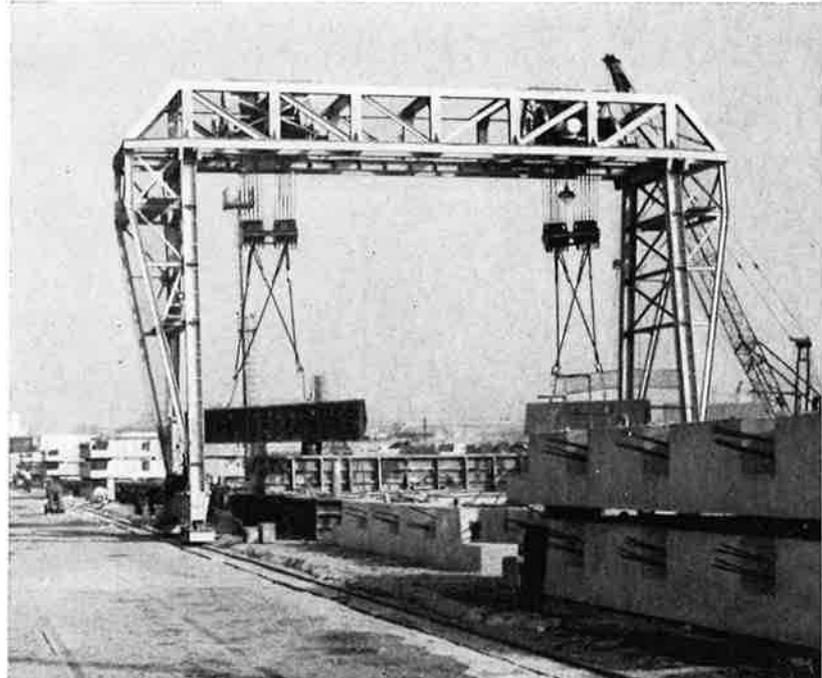


4

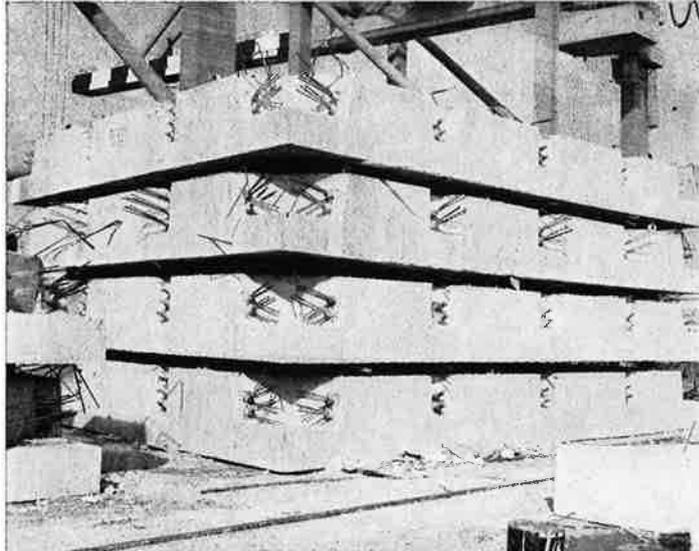
5



6

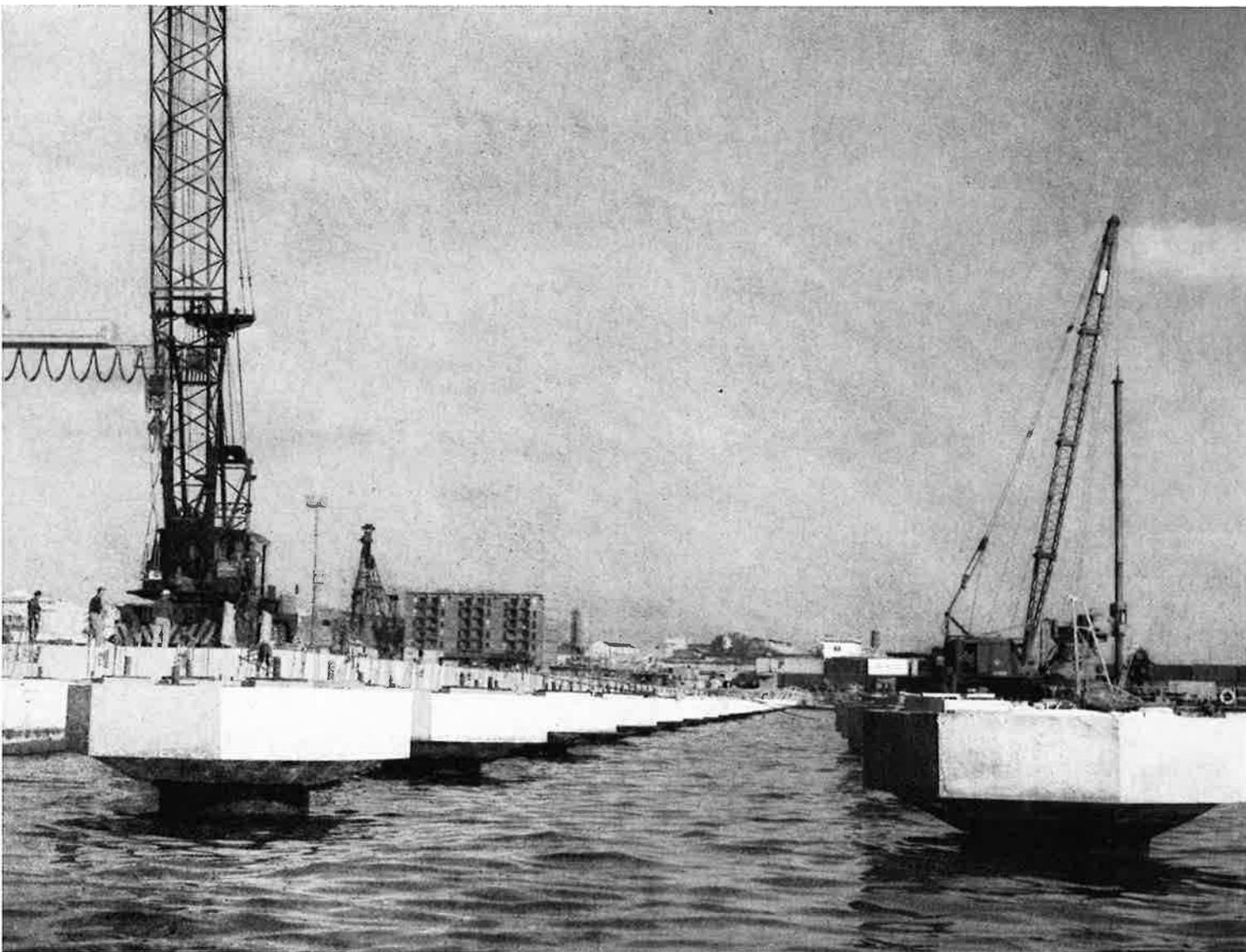


7



9

8



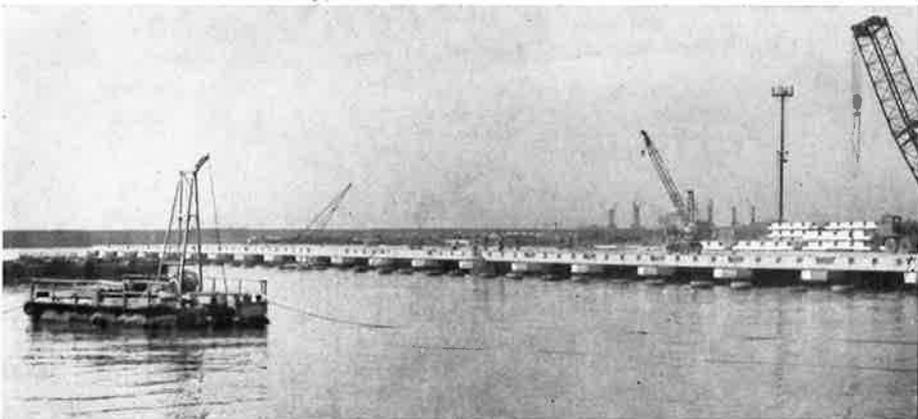
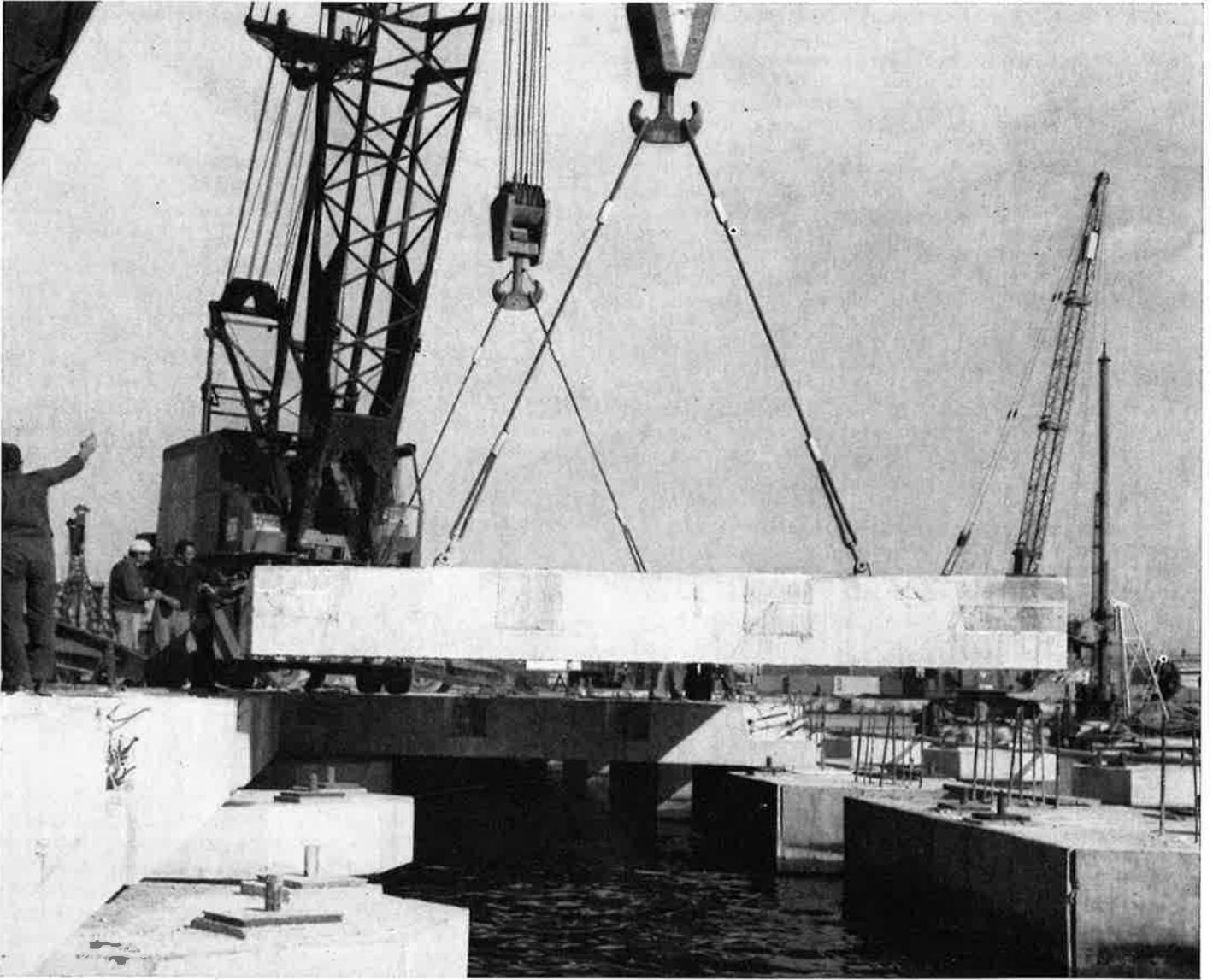
11



8 - Lo stoccaggio delle piastre d'impalcato; 9 - I pali  $\varnothing$  1300 mm ed i pulvini ottagonali per l'appoggio delle piastre prefabbricate; 10 - La posa in opera di una piastra; 11 - L'esecuzione della pavimentazione in cemento armato, spessa 40 cm, solidale con la piastra sottostante; 12 - Il molo in fase di completamento; 13 - Vista dell'intradosso delle piastre in opera.

8 - Stockpiling of the deck slabs; 9 - The  $\varnothing$  1300 mm piles and the octagonal headbeams ready to support the precast slabs; 10 - In situ positioning of a slab; 11 - Execution of the reinforced concrete floor slab, 40 cm thick, solid to the underlying slab; 12 - The mole during final phases; 13 - View of the soffit of the slabs in situ.

10



12



13

di pianta iscritta entro un cerchio di 2,50 m di diametro. Ciascuna piastra è costituita da un solettone alleggerito, realizzato tramite una soletta superiore di spessore 20 cm, una soletta inferiore di spessore 12 cm e 9 nervature incrociate a graticcio di spessore 25 cm. La precompressione è stata applicata lungo direzioni parallele ai lati della piastra.

I pali del diametro di 1300 mm sono eseguiti con lamierino a perdere ed arrivano ad una profondità di 35 m circa. Il pulvino prefabbricato fuori opera e varato sulla testa del palo, è stato reso solidale con esso tramite un getto di riempimento all'interno del pulvino stesso.

Gli apparecchi di appoggio agli spigoli delle piastre sono del tipo spinato al fine di sopportare, nelle due direzioni principali ortogonali, le azioni orizzontali dovute al tiro o all'urto dei natanti.

#### MODALITA' COSTRUTTIVE

E' stato anzitutto preparato il piano di posa delle piastre in parallelo al lato lungo del molo, con carro-gru semovente usato poi per il trasporto allo stoccaggio delle piastre stesse.

Le modalità costruttive sono state:

- 1) preparazione del ferro di armatura e dei cavi di precompressione su sagome a terra presegnate;
- 2) montaggio e assemblaggio della carpenteria in ferro pre-confezionata;
- 3) getto della soletta inferiore e posa in opera del polistirolo di alleggerimento;
- 4) getto della soletta superiore;
- 5) maturazione;
- 6) tesatura dei cavi di precompressione;
- 7) trasporto delle piastre allo stoccaggio;
- 8) trasporto e posa in opera delle piastre su pulvini e palipiloni, attraverso appoggi in neoprene di spessore 5-10 cm;
- 9) sigillatura dei giunti;
- 10) esecuzione della pavimentazione in cemento armato. Le varie piastre prefabbricate e precomprese, dopo la loro posa in situ sono state completate con un ulteriore getto in opera dello spessore di 40 cm, collegato a mezzo di opportune armature alle sottostanti piastre precomprese. In tal modo la soletta superiore ha raggiunto lo spessore globale di 60 cm ed è risultata atta a sostenere i notevoli carichi concentrati costituiti dai piedini contigui di 3 strati sovrapposti di contenitori, pari a 80 t su una superficie di 625 cm<sup>2</sup>. E' da chiarire che il getto sovrapposto funge altresì da pavimentazione per il molo.

Il numero delle piastre in piena produzione è stato di cinque giornaliere usufruendo solamente di due carpenterie metalliche.

#### MATERIALI ADOPERATI:

- calcestruzzo per strutture precomprese: 7100 m<sup>3</sup>
- armatura ordinaria per strutture precomprese: 500 t
- acciaio per armature di precompressione: 205 t

COMMITTENTE: Cassa per il Mezzogiorno - Ufficio del Genio Civile delle Opere Marittime di Napoli

IMPRESA: Fondedile - A.Lo.Sa.

SISTEMA DI PRECOMPRESSIONE: Morandi M5

is an octagon inscribed in a 2,50 m diameter circle. Each plate is formed of lightened slab, created by means of an upper slab 20 cm thick and a lower slab 12 cm thick, and 9 ribs 25 cm thick crossed grating-wise. Prestressing was applied along directions parallel to the sides of the plates. The 1300 mm diameter piles reach a depth of about 35 m, with permanent sheet steel casings. The foundation pad, precast offsite and dropped onto the head of the pile is then solidly attached to it by a filling pour inside the pad itself.

The bearing devices at the slab edges are of the dowelled type, so as to sustain, in the two main orthogonal directions, the horizontal forces due to the pull or the shock of the vessels.

#### CONSTRUCTION SYSTEM

First of all, the substructure for the slabs was prepared parallel to the long side of the mole using a self-propelled crane car, which was later used for transport of the slabs themselves to the stockpile. The construction system was:

- 1) preparation of the reinforcing steels and of the prestressing cables on pre-marked ground templates;
- 2) mounting and assembly of the already made steel form-work;
- 3) pour of the lower slab, and laying of the polystyrol for lightening purposes;
- 4) pour of the upper slab;
- 5) curing;
- 6) tensioning of the prestressing cables;
- 7) transport of the plates to the stockpile;
- 8) transport and laying of the slabs on the foundation pads and pile-piers, on 5 to 10 cm thick neoprene bearings;
- 9) sealing of the joints;
- 10) pour of the reinforced concrete paving. After the in situ positioning, the precast prestressed slabs were completed by a further 40 cm thick pour, connected by suitable reinforcing to the underlying prestressed slabs. Thus, the upper slab reached an overall thickness of 60 cm, resulting suitable to support the considerable concentrated loads consisting of the contiguous feet of three superimposed rows of containers, for a total of 80 tons, on a surface of 625 cm<sup>2</sup>. The upper layer, furthermore, forms the paving for the mole.

In full production the number of slabs produced was five per day, using only two steel forms.

#### CONSUMPTION OF MATERIALS:

- concrete for prestressed structures: 7100 m<sup>3</sup>
- reinforcing steel for prestressed structures: 500 t
- prestressing steel: 205 t

OWNER: Cassa per il Mezzogiorno - Civil Engineering Department of Maritime Works, Naples

CONTRACTOR: Fondedile - A.Lo.Sa.

PRESTRESSING SYSTEM: Morandi M5

## Bacino di carenaggio fisso per navi da 140.000 DWT a Trieste

## Fixed dry dock for ships of 140.000 DWT in Trieste

### Progetto:

Dott. Ing. Silvano Zorzi, Dott. Ing. Lucio Lonardo,  
Dott. Ing. Franco Cortiana, Dott. Ing. Luis Aglietta  
(IN.CO. - Ingegneri Consulenti - Milano)

### Design:

Dott. Ing. Silvano Zorzi, Dott. Ing. Lucio Lonardo,  
Dott. Ing. Franco Cortiana, Dott. Ing. Luis Aglietta  
(IN.CO. - Consulting Engineers - Milan)

PERIODO DI COSTRUZIONE: 1970 - 1981

TIME OF CONSTRUCTION: 1970 - 1981

Schema statico: vasca in cemento armato eseguita in opera ed ancorata su pali in cemento armato precompresso

Static scheme: in-situ cast reinforced concrete basin anchored onto prestressed concrete piles

### Bacino:

- lunghezza interna della vasca: 295,00 m
- larghezza interna della vasca: 56,00 m
- quota dell'estradosso della platea: variabile tra — 10,49 m s.m.m. e — 11,58 m s.m.m.

### Basin:

- internal length of basin: 295,00 m
- internal width of basin: 56,00 m
- raft extrados level: varying from — 10,49 m s.l. to — 11,58 m s.l.

### Banchine pensili a lato del bacino:

- lunghezza: 174,00 m (banchina di levante), 156,00 m (banchina di ponente)
- larghezza: 17,50 m
- spessore: 2,00 m (piastre nervate), 2,50 m ÷ 3,00 m (travi portagru di bordo)

### Pensile quays along the basin's sides:

- length: 174,00 m (East quay), 156,00 m (West quay)
- width: 17,50 m
- thickness: 2,00 m (ribbed slabs), 2,50 m to 3,00 m (crane-bearing edge beams)

### Pali precompressi di sostegno della platea:

- numero: 327
- maglia: 7,50 m × 8,00 m, 7,50 m × 7,50 m
- diametro utile: 1,45 m
- lunghezza massima: 16,50 m dall'intradosso della platea

### Prestressed piles supporting the raft:

- number: 327
- grid: 7,50 m × 8,00 m, 7,50 m × 7,50 m
- net diameter: 1,45 m
- maximum length: 16,50 m from raft intrados

### Tiranti supplementari per l'ancoraggio provvisorio della platea:

- numero: 100
- lunghezza massima: 24,00 m dall'intradosso della platea

### Extra ties for temporary raft anchorage:

- number: 100
- maximum length: 24,00 m from raft intrados

Elementi strutturali prefabbricati: anime per i pali di sostegno ed ancoraggio della platea, piastre nervate e travi portagru per le banchine pensili

Precast structural elements: cores for the supporting piles and raft anchorage, ribbed slabs and crane-bearing beams for the pensile quays

Elementi strutturali precompressi: anime per i pali di fondazione, piastre nervate e travi portagru per le banchine pensili. Tiranti pretesi provvisori per parte della platea

Prestressed structural elements: cores for the foundation piles, ribbed slabs and crane bearing beams for the pensile quays. Temporary pre-tensioned ties for part of the raft

Tipo di precompressione: post-tensione

Type of prestressing: post-tensioning

Composizione dei cavi: 7 oppure 8 trefoli diametro 0,6" (tiranti)

Cable composition: 7 or 8 strands 0,6" diameter (ties)

Diametro delle barre: 26,5 mm (pali, strutture di banchina)

Bar diameters: 26,5 mm (piles, quay structures)

Tensione iniziale delle barre o dei trefoli: 68 kg/mm<sup>2</sup> (pali), 72 kg/mm<sup>2</sup> (strutture di banchina), 136 kg/mm<sup>2</sup> (tiranti)

Initial stress in the bars or strands: 68 kg/mm<sup>2</sup> (piles), 72 kg/mm<sup>2</sup> (quay structures), 136 kg/mm<sup>2</sup> (ties)

Tensione di esercizio delle barre o dei trefoli: 48 kg/mm<sup>2</sup> (pali), 55 kg/mm<sup>2</sup> (strutture di banchina), 103 kg/mm<sup>2</sup> (tiranti)

Effective stress in the bars or strands: 48 kg/mm<sup>2</sup> (piles), 55 kg/mm<sup>2</sup> (quay structures), 103 kg/mm<sup>2</sup> (ties)

Sforzo massimo di compressione nel calcestruzzo:

Maximum compressive stress in the concrete:

— all'atto della precompressione: 136 kg/cm<sup>2</sup> (pali), 47 kg/cm<sup>2</sup> (piastre nervate), 20 kg/cm<sup>2</sup> (travi portagru)

— at time of tensioning: 136 kg/cm<sup>2</sup> (piles), 47 kg/cm<sup>2</sup> (ribbed slabs), 20 kg/cm<sup>2</sup> (crane-bearing beams)

— in esercizio: 169 kg/cm<sup>2</sup> (pali), 16 kg/cm<sup>2</sup> (piastre nervate), 24 kg/cm<sup>2</sup> (travi portagru)

— under service conditions: 169 kg/cm<sup>2</sup> (piles), 16 kg/cm<sup>2</sup> (ribbed slabs), 24 kg/cm<sup>2</sup> (crane-bearing beams)

Valore caratteristico del carico di rottura cubico del calcestruzzo della struttura precompressa, a 28 giorni: 460 kg/cm<sup>2</sup> (pali), 405 kg/cm<sup>2</sup> (strutture di banchina)

Characteristic value of cube crushing strength of the prestressed concrete at 28 days: 460 kg/cm<sup>2</sup> (piles), 405 kg/cm<sup>2</sup> (quay structure)

Carico di rottura dell'acciaio: 105 kg/mm<sup>2</sup> (barre), 180 kg/mm<sup>2</sup> (trefoli)

Ultimate steel strength: 105 kg/mm<sup>2</sup> (bars), 180 kg/mm<sup>2</sup> (strands)

Carico di snervamento dell'acciaio: 80-85 kg/mm<sup>2</sup> (barre)

Steel yield strength: 80 to 85 kg/mm<sup>2</sup> (bars)

Limite convenzionale dell'acciaio all'1%: 160 kg/mm<sup>2</sup> (trefoli)

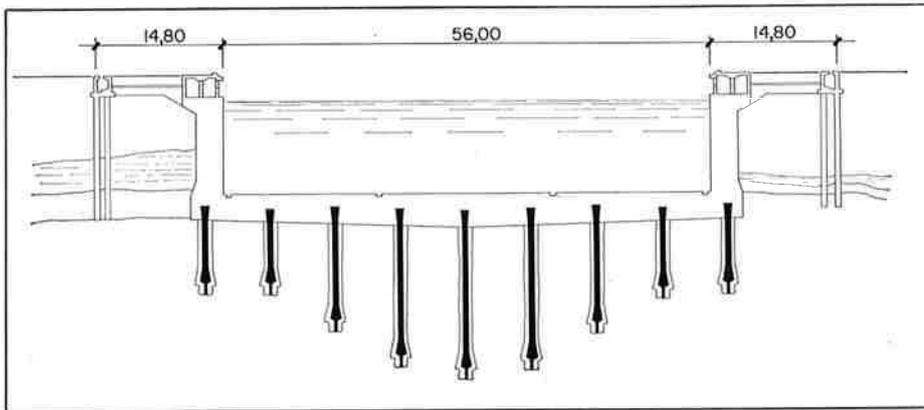
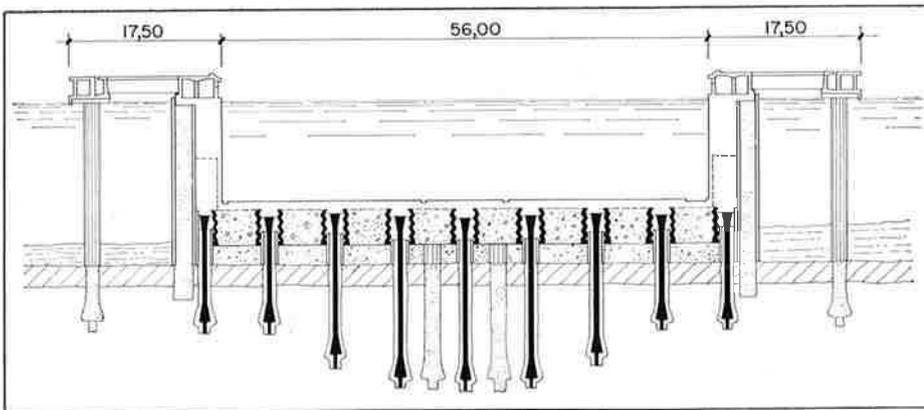
Conventional steel strength at 1% elongation: 160 kg/mm<sup>2</sup> (strands)

### GENERALITA'

### GENERAL

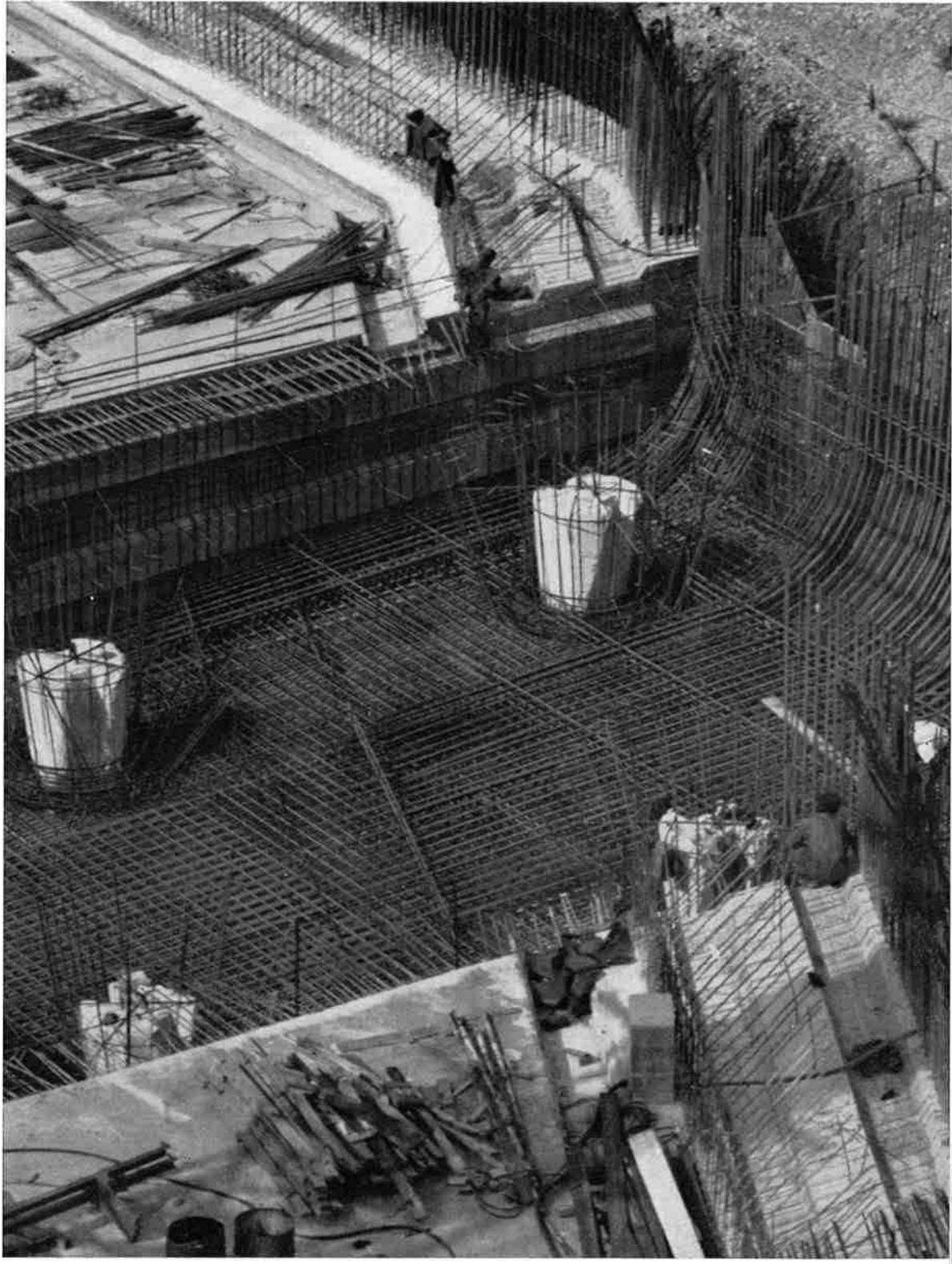
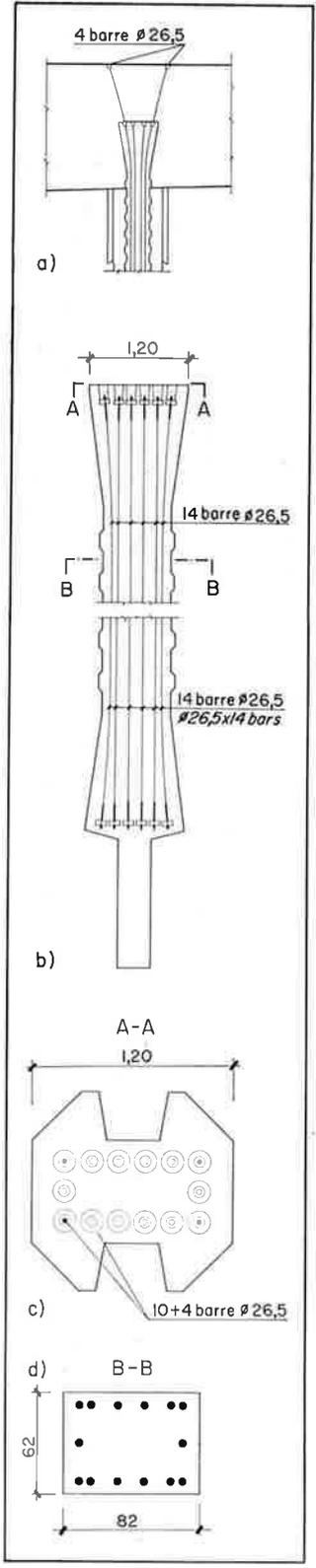
Trattasi del maggiore e più moderno bacino di carenaggio del

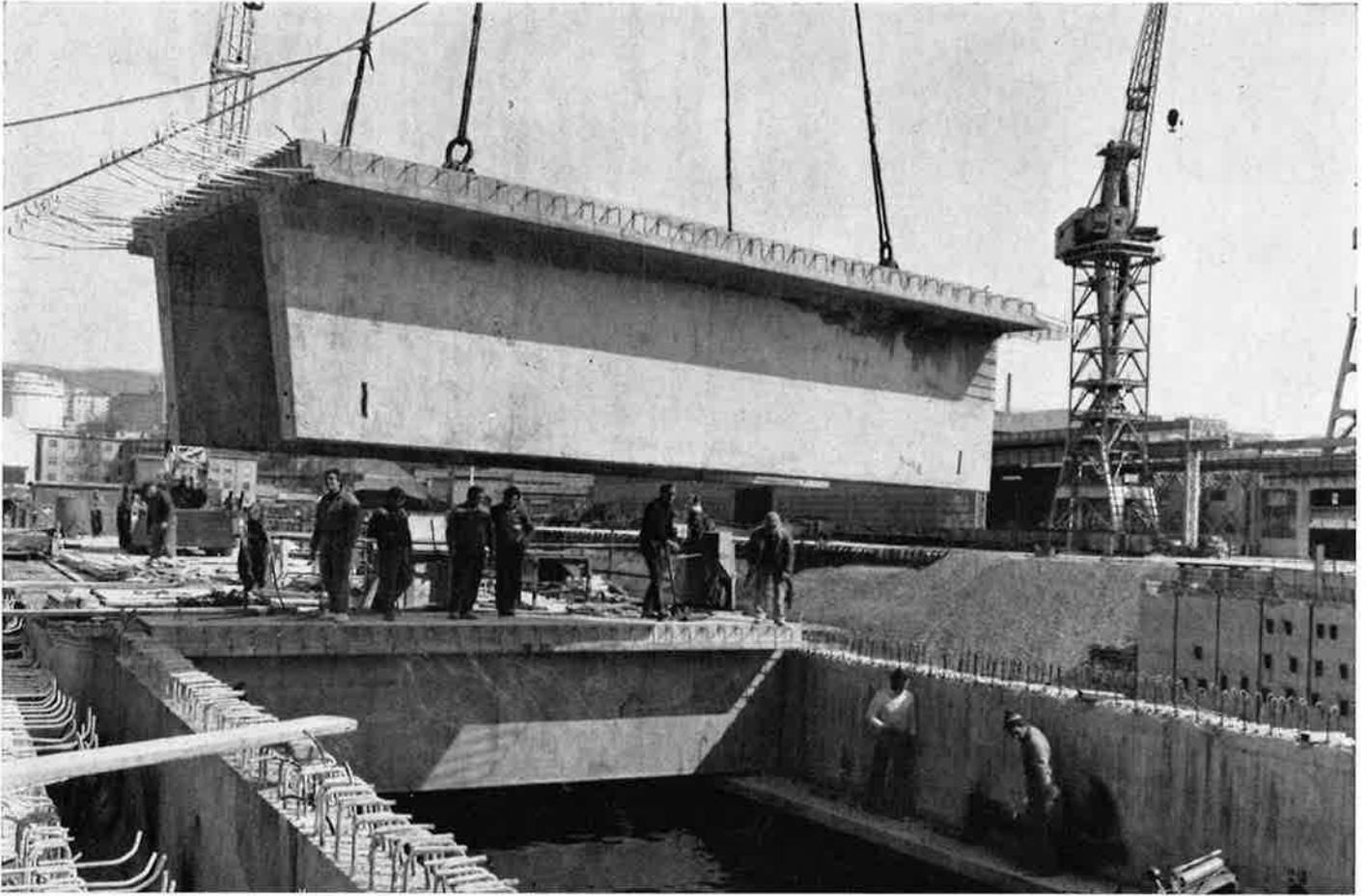
This is the largest and most modern dry-dock in the port of



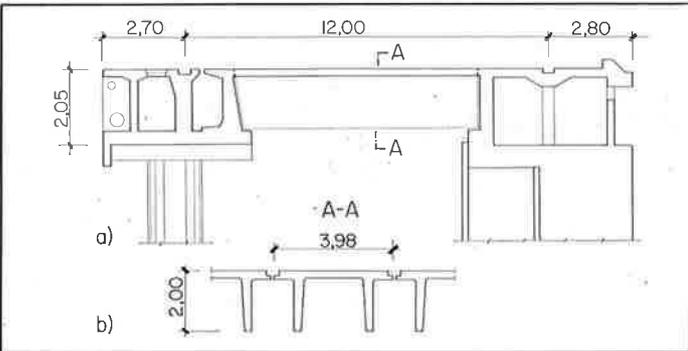
1-2 - Sezioni trasversali del bacino, nella zona a mare ed in terraferma; 3 - Il bacino in costruzione, mentre si stanno predisponendo le armature di alcuni conci di platea della zona in terraferma; 4 - Anima prefabbricata per i pali di sostegno ed ancoraggio della platea; 5 - Vista delle barre di ripresa per il collegamento con la platea del bacino; b) Disposizione delle barre di precompressione in sommità e al piede del palo; c) Vista della testata superiore con gli ancoraggi a tendere; d) Sezione trasversale tipo; 5 - Vista in dettaglio della sommità dell'anima prefabbricata in cemento armato precompresso di alcuni pali, durante la posa in opera delle armature del relativo concio di platea della zona in terraferma.

1-2 - Cross sections of the dry-dock in the sea and on dry land; 3 - The dry-dock under construction, while the reinforcing steel of some of the raft segments of the dry land area are being prepared; 4 - Precast cores for the supporting piles and anchorage of the raft; a) View of the overlapping bars for the connection with the basin raft; b) Positioning of the prestressing bars at the summit and foot of the pile; c) View of the upper head with the anchorages to be tensioned; d) Typical cross section; 5 - Detailed view of the precast prestressed concrete core of some piles, during in situ positioning of the reinforcing steel of the relative raft segment of the dry land area.

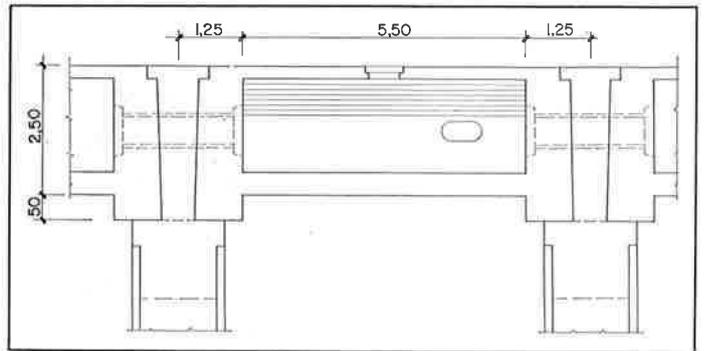




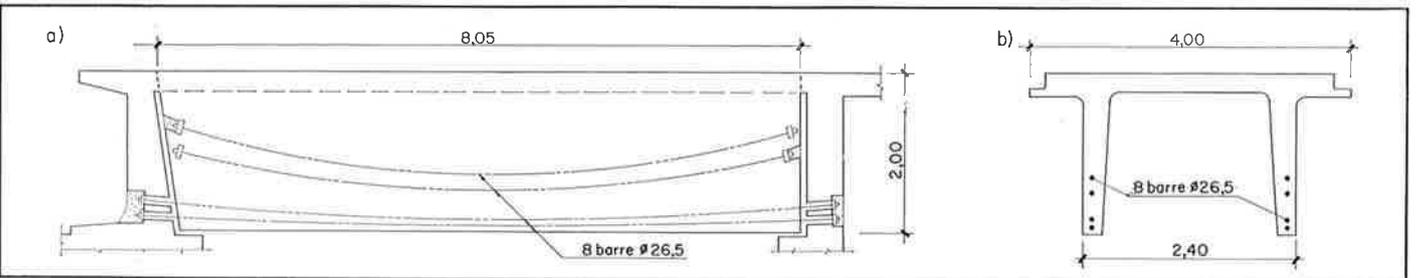
7



8



9



6 - Posa in opera di una piastra nervata di banchina, a mezzo di pontone-gru; 7 - Banchine pensili: a) Sezione trasversale tipo; b) Sezione sulle piastre nervate; 8 - Sezione longitudinale sulle travi portagru di banchina; 9 - Piastre nervate prefabbricate per le banchine pensili: a) Tracciato delle barre di precompressione e cucitura; b) Sezione trasversale in mezzeria; 10 - Il bacino in fase di completamento; 11 - Travi prefabbricate portagru per le banchine pensili: a) Tracciato delle barre di precompressione nella nervatura principale; b) Sezione trasversale in mezzeria; 12 - Schema dei tiranti pretesi provvisori, per la parte di platea eseguita con calcestruzzo gettato in subacqueo.

6 - In situ positioning of a ribbed slab for the quay, by means of a pontoon-crane; 7 - Pensile quays: a) Typical cross section; b) Section on the ribbed slabs; 8 - Longitudinal section on the quay crane-bearing beams; 9 - Precast ribbed slabs for the pensile quays: a) Trend of the prestressing and stitching bars; b) Cross section at midspan; 10 - The dry-dock near completion; 11 - Precast crane-bearing beams for the pensile quays: a) Trend of the prestressing bars in the main ribbing; b) Cross section at midspan; 12 - Scheme of the temporary pretensioned ties, for the part of the raft executed with concrete cast under-water.

10



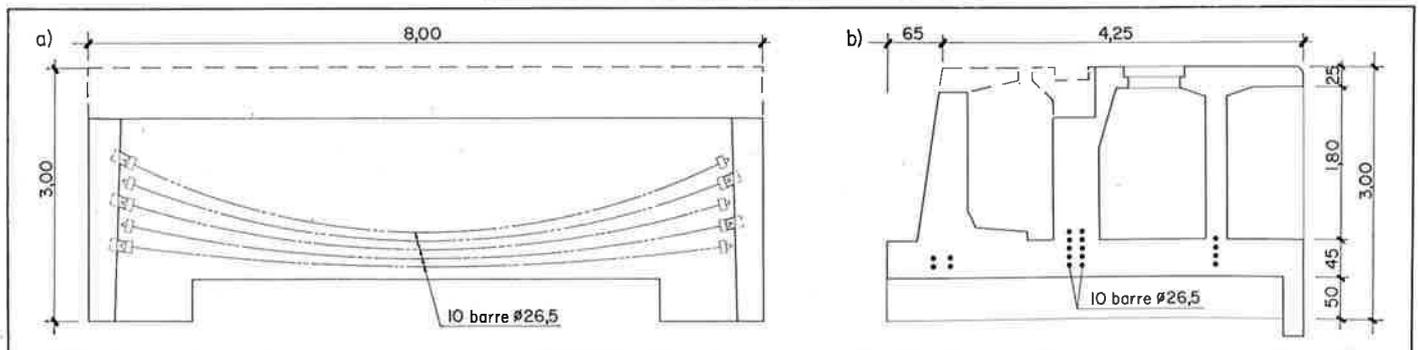
Legenda fig. 12:

A - Ogiva; B - Malta epossidica; C - Valvole d'iniezione; D - 4 trefoli; E - Compression grips; F - Guaina in polipropilene; G - Diametro perforazione; H - 7 ÷ 12 trefoli Ø 0,6"; I - Distanziatore; L - Trefoli Ø 0,6"; M - Sacco otturatore; N - Valvole d'iniezione per il sacco; O - Valvole per iniezioni, parte libera; P - Guaina in politene; Q - Tubo d'iniezione in PVC; R - Tubicino di sfianto; S - Trefolo Ø 0,6" viplato; T - Trefolo Ø 0,6" nudo; U - Piastra di ripartizione.

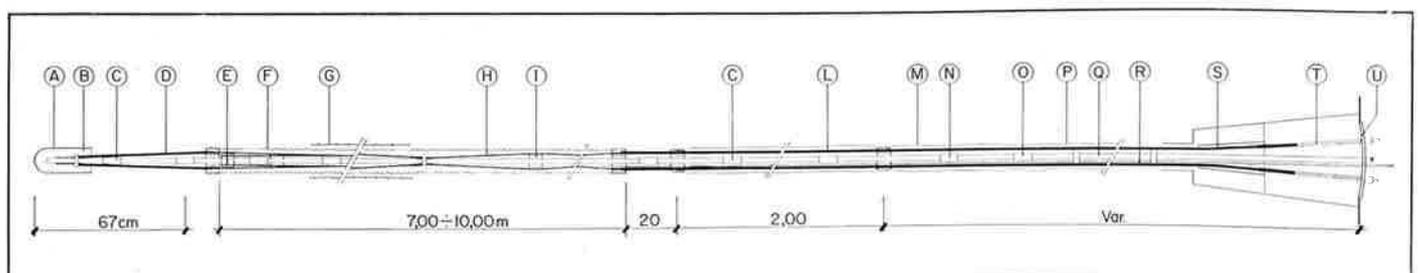
Key to fig. 12:

A - Nose; B - Epoxy mortar; C - Injection valves; D - 4 strands; E - Compression grips; F - Polypropylene sheath; G - Diameter of holes; H - 7 to 12 strands Ø 0,6"; I - Spacer; L - Strands Ø 0,6"; M - Obturator sack; N - Injection valves for the sack; O - Injection valves, free part; P - Polythene sheath; Q - PVC injection tube; R - Exhaust tube; S - Ø 0,6" covered strand; T - Ø 0,6" uncovered strand; U - Distribution slab.

11



12



porto di Trieste, ricavato per metà del suo sviluppo in terraferma e per metà a mare in acque profonde; ampie banchine laterali sono attrezzate a via di corsa delle gru di servizio.

#### SOLUZIONE STRUTTURALE

La vasca del bacino, a platea di fondo e pareti laterali di tipo massiccio, atte a sopportare circa 2/3 della sottospinta idraulica, poggia su palificate di grande diametro spinte fino ad incastrarsi nella fondazione arenacea di base. I pali sono proporzionati a reggere, alternativamente, i carichi trasmessi dalle navi in bacino, oppure le sottospinte non equilibrate. Per sopportare durevolmente gli sforzi di trazione indotti dalle sottospinte i pali sono provvisti di un'asta prefabbricata in cemento armato precompresso, dimensionata in modo che in nessuna condizione di esercizio siano presenti sforzi di trazione, e pericoli di fessurazione, nel calcestruzzo. La vasca è stata esaminata come corpo strutturale su appoggi elasticamente cedevoli, monoliticamente collegata alle banchine laterali. Le banchine laterali, pensili a mare, sono costituite da travi perimetrali prefabbricate e da piastre nervate pure prefabbricate, disposte trasversalmente all'asse bacino, e monoliticamente collegate, mediante precompressione, alle travi di perimetro e alle fiancate del bacino.

#### MODALITA' COSTRUTTIVE

Le palificate sono state eseguite in subacqueo da pontone, entro camicie prefabbricate in cemento armato in attraversamento degli strati limosi, e con perforazione a « rotary » entro gli strati arenacei. Le aste prefabbricate in cemento armato precompresso sono state immesse nel foro ed ivi cementate con calcestruzzo di riempimento gettato in opera; opportuni bulbi svasati predisposti alle estremità delle aste prefabbricate assicurano la tenuta a strappo, per trazione, nei pali stessi.

Per la parte a terra del bacino, arginature in materiale arido, provviste di doppia fila di palancole metalliche tirantate, assicuravano la tenuta stagna dello scavo. Per la parte a mare la tenuta laterale, in fase operativa, era garantita da un diaframma costituito da cassonetti prefabbricati in cemento armato disposti a tergo delle future fiancate del bacino; e la tenuta sul fondo dal getto in subacqueo di un massiccio plateone di base, macroscopicamente armato con tralici metallici prefabbricati, e provvisoriamente tirantato, per la pressione idrostatica non equilibrata, da tiranti pretesi profondamente ancorati nella formazione rocciosa di base.

#### MATERIALI ADOPERATI:

- calcestruzzo per strutture precomprese: 6.200 m<sup>3</sup>
- armatura ordinaria per strutture precomprese: 620 t
- acciaio per armature di precompressione: 310 t

COMMITTENTE: Arsenale Triestino S. Marco S.p.A.  
IMPRESA: A. Farsura S.p.A. - Milano (pali); Recchi S.p.A. Costruzioni Generali - Torino (per le altre strutture)  
SISTEMA DI PRECOMPRESSIONE: Dywidag (barre), Tesit (tiranti)

*Trieste, half its length being on dry land and half in the sea in deep water; spacious lateral docks are furnished with runways for the service cranes.*

#### STRUCTURAL SOLUTION

*The dock basin, having a raft bottom and massive side walls able to balance about 2/3 of its buoyancy, bears on large-diameter piles driven down to bed in the arenaceous basement rock. The piles are designed to sustain either the loads transmitted by the ships in the dock or the unbalanced buoyant forces. To durably sustain the tractions deriving from the buoyant forces the piles are provided with a precast prestressed concrete core that is designed so that no tractional stresses, and therefore no danger of cracking, will be present in the concrete under any service condition. The basin was studied as a structural body on elastically yielding supports, monolithic with the lateral docks. The lateral docks, cantilevered over the sea, are formed of precast perimetral beams and of ribbed slabs precast too, arranged crosswise to the basin axis and made monolithic with the perimetral beams and the basin sidewalls by prestressing.*

#### CONSTRUCTION PROCEDURES

*The piles were built underwater from pontoons, being cast within precast reinforced-concrete casings when silty strata were crossed, and in rotary-drilled holes in the arenaceous strata. The precast prestressed concrete cores were placed in the holes and grouted in with a filling pour of concrete; suitable flared bulbs at the ends of the precast cores guarantee tearing resistance due to traction of the piles themselves.*

*Regarding the land-based portion of the dock, dikes of dry material provided with a double row of tension stayed sheet-piles guaranteed the watertightness of the excavation. For the seaward portion the side seal, during the construction phase, was assured by a bulkhead formed of precast reinforced-concrete caissons arranged behind the future side-walls of the dock; and the watertightness of the bottom of the underwater pour was assured by a massive base raft, macroscopically reinforced by prefabricated steel trusswork, provisionally tension-stayed, to withstand the unbalanced hydrostatic pressure, by prestressed ties deep-anchored in the rocky base stratum.*

#### CONSUMPTION OF MATERIALS:

- concrete for prestressed structures: 6.200 m<sup>3</sup>
- reinforcing steel for prestressed structures: 620 t
- prestressing steel: 310 t

OWNER: Arsenale Triestino S. Marco S.p.A.  
CONTRACTOR: A. Farsura S.p.A., Milan (piles); Recchi S.p.A. Costruzioni Generali - Turin (for the other structures)  
PRESTRESSING SYSTEM: Dywidag (bars), Tesit (ties)