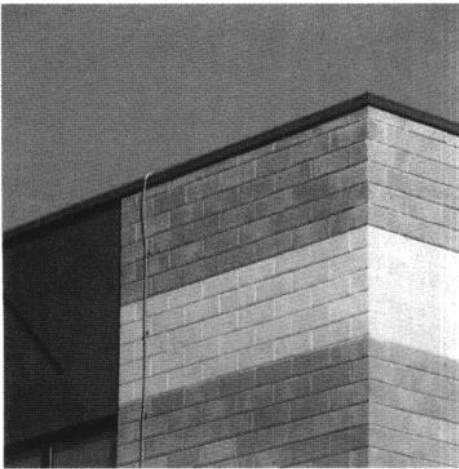


# Travi di grande luce prefabbricate in c.a.p. per la copertura del nuovo palazzo del ghiaccio di Milano

## Precast unbonded prestressed-concrete long-span beams for the roof of the new Milan ice stadium

**Progetto architettonico** / *Architects:*  
Dr. Arch. Carlo Nicora Lavit

**Progetto strutturale** / *Structural Engineers:* Prof. Ing. Giorgio Siniscalco,  
Dr. Ing. Ersilio Riva



Il Palacandy, il nuovo palazzo del ghiaccio realizzato a Milano in via dei Ciclamini, si trova sul confine della pianificazione urbana adiacente la « Circonvallazione esterna ».

Il tessuto edilizio circostante, è complessivamente abbastanza recente e dotato di standards aggiornati: l'altezza media dei volumi abitativi è di 9 piani e gli spazi fra le residenze sono piuttosto aperti.

Frontalmente all'area del Palazzo del ghiaccio si stende un vasto terreno attrezzato per lo sport, il gioco e la ricreazione. La comodità d'accesso viabile, l'ampia disponibilità di parcheggio, la vicinanza della metropolitana, fanno sì che l'impianto sportivo sia di facile accesso per il pubblico, garantendo nel contempo che il suo utilizzo non diventi un carico gravoso per tutta l'area.

L'impianto architettonico, dettato da esigenze prevalentemente funzionali, gestionali e di sicurezza, oltre che rispondenti a tutte le normative di legge, evidenzia come forma e funzione si identificano grazie ad una voluta semplificazione concettuale.

L'edificio, a pianta rettangolare, si sviluppa su una superficie coperta di 4200 m<sup>2</sup>. I prospetti sono stati voluti come un episodio murario vero e proprio, distinto dalla eccezionalità delle scale di sicurezza ma anche dalla scelta strutturale adottata per le zone interne. Il perché di questa volontà muraria dipende dall'essere, il palazzo, parte ancora della fascia urbanizzata seppure non centrale di Milano.

La tessitura dei tamponamenti realizzata in blocchi di cemento grigio è stata progettata rigorosamente sul modulo base degli stessi: giunto di 1 cm, blocco di 49 cm, giunto di 1 cm, blocco di 49 cm, etc.

Le bucatore principali assumono la dimensione dell'ordine unico gigante e sono realizzate con la tecnica della facciata continua in alluminio color nero, il cui taglio scandisce gli orizzontamenti in calcestruzzo lasciato a faccia vista dello zoccolo, dell'architrave minore e del coronamento unico di gronda.

The « Palacandy » the new ice stadium built in Milan on the Via dei Ciclamini, is located on the outer limit of the urban planning area, adjacent to the Outer Ring Road.

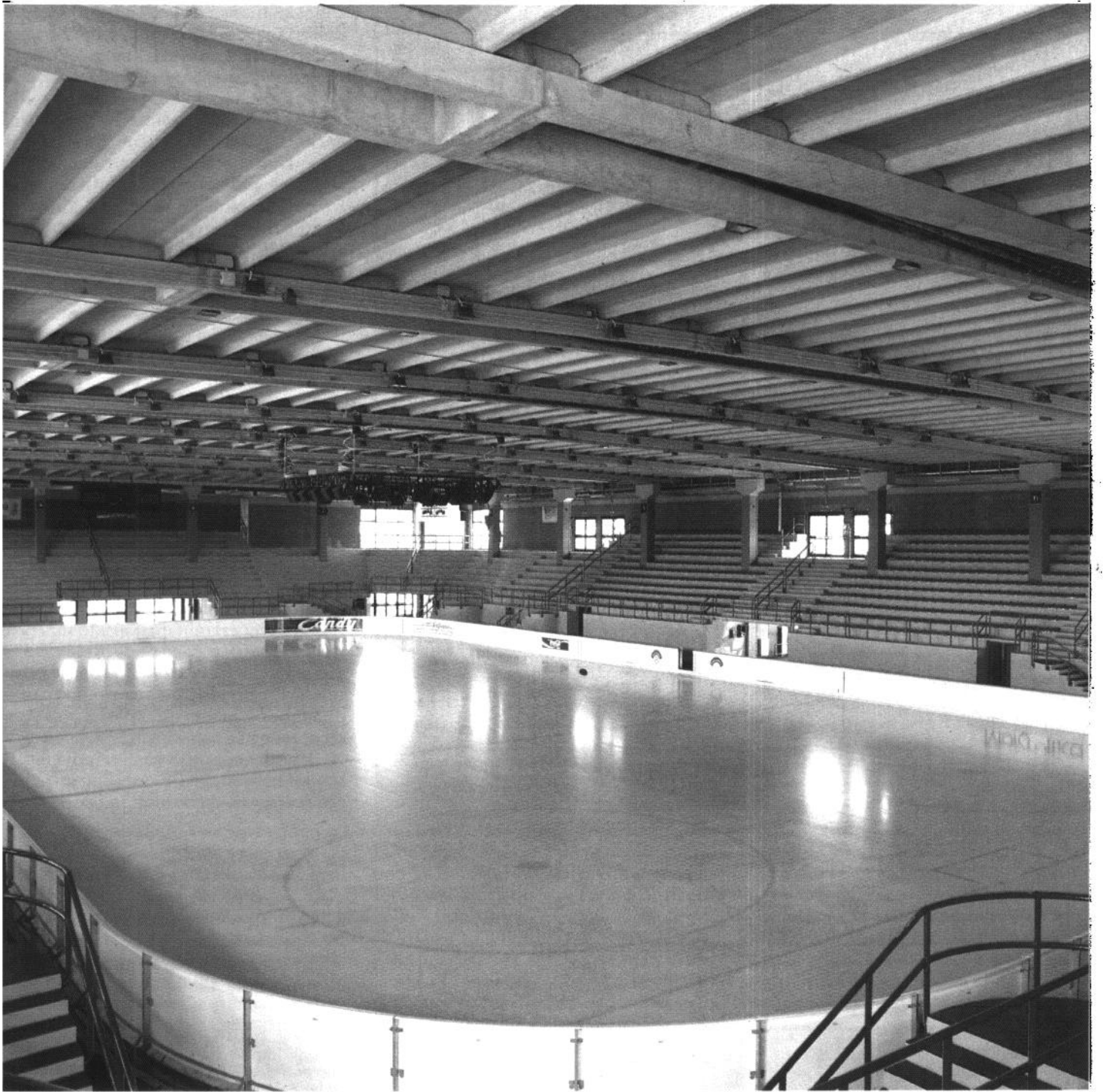
Its convenient vehicle access, ample parking and nearby underground make the sports installation very accessible for the public, while ensuring at the same time that its use does not become a burden to the whole area.

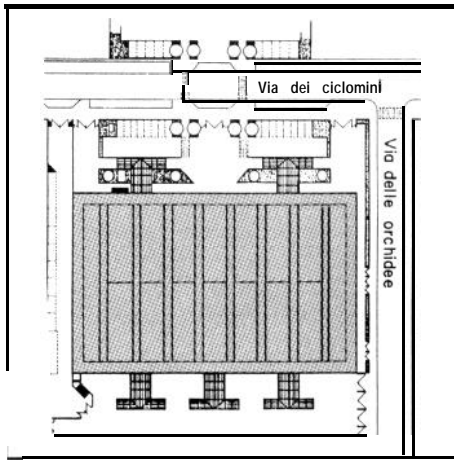
Its architectural system was dictated by needs prevalently of a functional, management and safety nature, while complying as well with every provision of law. Evident in it is how form and function unify, owing to a purposeful design simplification. The rectangular plan building has a roofed area of 4200 m<sup>2</sup>. Design's desire was that its prospects be a true architectural episode, one distinguished not only by the exceptional nature of the emergency stairs but as well by the structural system adopted for the interiors. The reason behind this desire lay in the building's being still part of Milan's urban area, even if not centrally located.

The weave of the grey cement block cladding was designed to rigorously follow the block base module: 1 cm joint, 49 cm block, 1 cm joint, 49 cm block, and so on. The main apertures take on the dimension of a single giant order: their frames were built of black anodized aluminum using the continuous facade technique; the cut is such as to rhythmically scan the horizontal concrete structures, the moulding, lower lintel and eavespiece being left fair face. Thus the building's four corners are left isolated, this interrupting and lightening the continuity of the curtain wall, while at the same time tending to identify the building volume-wise.

While they do not clash with the whole effect, the emergency stairs, with their differentness from it and their soaring aspect, contribute to lightening the new volume's impact, to playing it down.

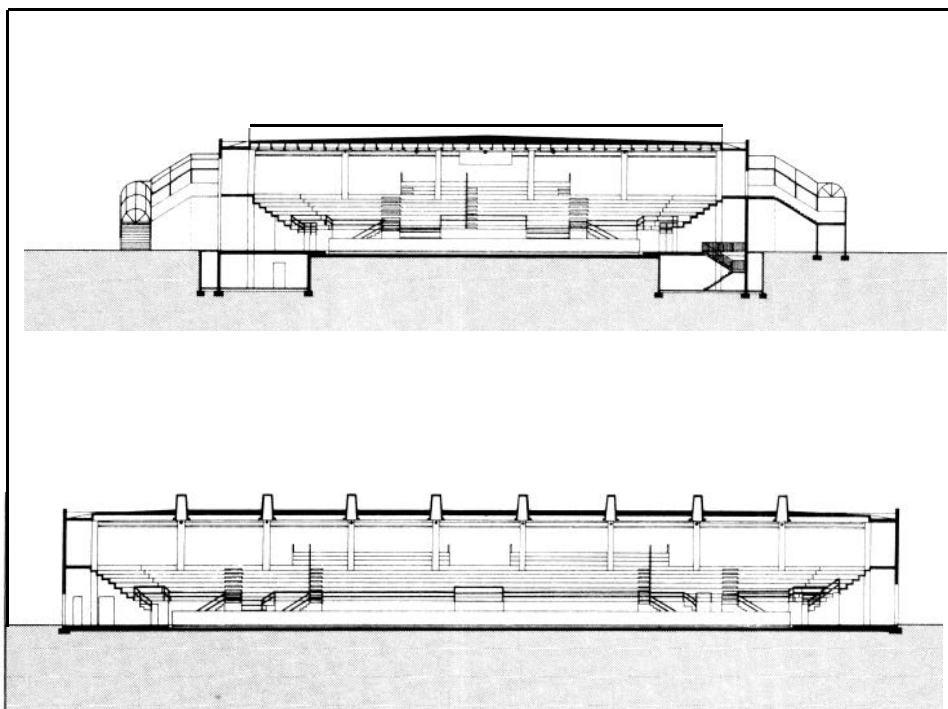
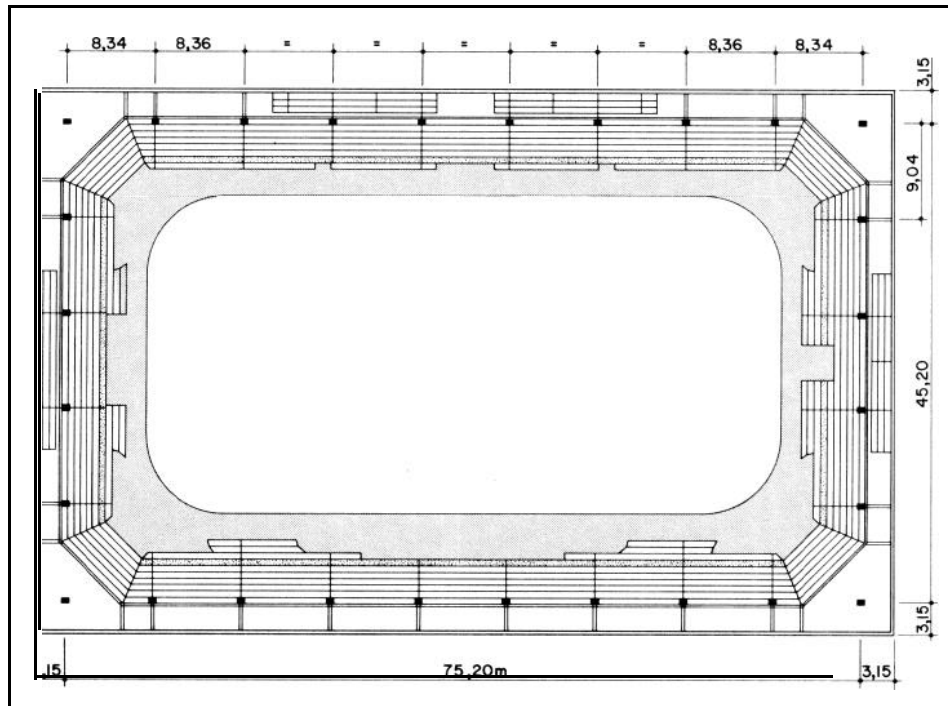
The view within continues to underscore, but better, the plan's classic formula-





1 • Planimetria generale; 2 • Pianta delle tribune e della pista di pattinaggio sul ghiaccio; 3 • Sezioni trasversale e longitudinale; 4 • Getto dei muri di fondazione; 5 • Armatura delle travi continue di fondazione.

1 - General plan; 2 Plan of the stands and of the ice skating rink; 3 - Cross and longitudinal sections; 4 - Pour of the foundation walls; 5 - Reinforcements for the continuous foundation beams.



Restano così isolati i quattro spigoli dell'edificio e questo interrompe ed alleggerisce la continuità della cortina muraria ma nel contempo tende ad individuare volumetricamente l'organismo.

La visione interna sottolinea meglio ed ancora la classicità dell'impostazione dell'impianto con la pista centrale, il catino delle tribune e l'anello del disimpegno-foyer ritmato dalla teoria dei grossi pilastri.

Si coglie altresì l'importanza della costolatura delle grandi travi, visibili e leggibili architettonicamente dal piazzale e dalle strade circostanti, e la sudditanza del complesso dei servizi, situati sotto l'anello delle tribune.

#### La tipologia strutturale

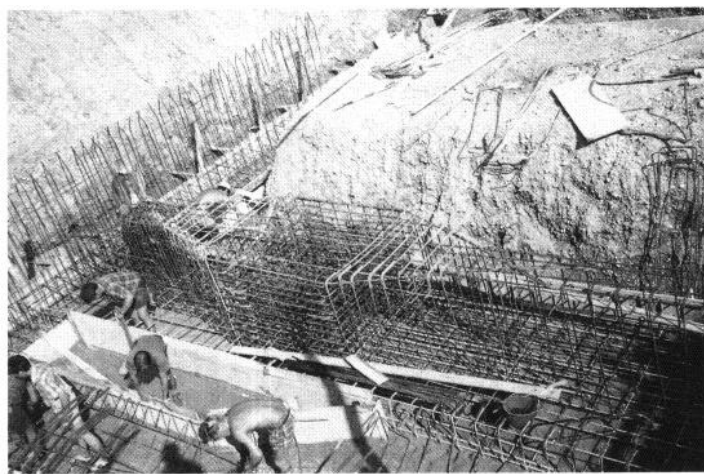
Considerando che le dimensioni regolamentari per una pista indoor adatta allo svolgimento dello sport sul ghiaccio devono essere di 30x60 m e tenendo presente lo spazio richiesto dalle tribune situate oltre i percorsi attorno alla pista, ne è derivata automaticamente la necessità di luci interne di notevoli dimensioni.

Dopo aver esaminato svariate soluzioni realizzative (1) e dopo opportuni sondaggi è stata adottata una soluzione strutturale che ha previsto un vasto impiego della prefabbricazione in c.a.: pilastri, solai, gradinate con una capacità di 5000 posti e travi piane di copertura con i relativi tegoli, sono stati realizzati in stabilimento e successivamente assemblati in opera.

#### Le travi di copertura

La scansione dei pilastri ad interasse di 8,36 m è stata dettata da scelte architettoniche di disposizione dei locali servizi effettuata precedentemente alla definizione strutturale. Ciò ha comportato la rea-

(1) Prof. Ing. Giorgio Siniscalco: « Copertura degli Impianti », Convegno nazionale sugli impianti per il pattinaggio su ghiaccio artificiale, Bologna SAIE DUE 13-3-86.



lizzazione di 8 travi di copertura prefabbricate in c.a.p. Se i tempi di realizzazione non fossero stati come quasi sempre oggi avviene, così ristretti, e fosse stato possibile rielaborare il progetto, si sarebbe potuto ridurre il numero delle travi a 5, con la massima ottimizzazione economica.

La trave con leggera monta per il naturale smaltimento delle acque sui tegoli, ha una lunghezza complessiva pari a 50,80 m. Essa è stata realizzata assemblando 5 conci: i tre interni di lunghezza pari a 9,13 m e i due di testata di 11,65 m.

L'assemblaggio è stato effettuato a pie d'opera mediante getto di pochi centimetri di calcestruzzo ad alta resistenza a ritiro compensato, indi sono stati posati i cavili esternamente alla sezione di calcestruzzo.

La trave precompressa a cavili esterni presenta vantaggi di indubbio interesse. I principali sono:

— La realizzazione dei conci in stabilimento non richiede la posa di guaine che come noto necessitano di notevole precisione specie per l'accoppiamento concio-concilio: è quindi una sezione con armatura normale, semplice, di veloce realizzazione.

— La sezione della trave, non dovendo contenere dei cavili può essere particolarmente sottile ed il getto non incontra difficoltà. Si ha quindi un elemento leggero con conseguenti ovvi vantaggi: minor materiale, minor onere di movimentazione, di trasporto, di sollevamento, minor acciai armonico.

La posa in opera dei cavili risulta particolarmente rapida: essi infatti hanno sede in testata e appoggi sulle selle in corrispondenza dei setti intermedi, setti realizzati alle testate dei singoli conci.

— Il cavo esterno può essere controllato lato provacante ed eventualmente anche sostituito se per qualche evenienza dovesse presentarsene la necessità.

— Il cavo contenuto in guaina viene poi protetto secondo i consueti sistemi di iniezione: eventuali fuoriuscite di boiacca o grassi sono palesemente visibili.

— Le selle richiedono attento studio e

TABELLA / TABLE I

Fase/Phase	Moment t/ml	$\sigma_{acd}$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{amm}$ I	$\sigma_{cls}$ sup. • up	$\sigma_{cls}$ I inf. • low
1° Tesatura con trave a terra + p. proprio trave (2,463 t/m) • Tensioning with beams on ground, subject to own weight (2,463 t/m) Posa tegoli (160 kg/m <sup>2</sup> + cadute parziali • Laying roofplates (160 kg/m <sup>2</sup> + partial tension drops)	629	7.000	< 14.250	— 60,77	— 69,45
	922			— 118,43	— 6
2° Tesatura completa • Tensioning complete		14.200	< 14.250	— 76,75	— 141,99
3° Con carichi permanenti (60 kg/m <sup>2</sup> ) + caduta completa • With dead borne loads (60 kg/m <sup>2</sup> ) + tension drops complete Con sovraccarichi accidentali (120 kg/m <sup>2</sup> ) • With live borne loads (120 kg/m <sup>2</sup> )	1.050,s	10.916	< 11.400	— 102,04	— 114,22
	1.307,5			— 152,51	— 58,77

Si evidenzia che la tensione ammissibile nel cls pari a 209 kg/cm<sup>2</sup> è >> 152,51 massima in servizio. • It is outlined that the 209 kg/cm<sup>2</sup> effective stress in the concrete is >> 152,51 maximum in service conditions.

un'avanzata tecnologia di produzione.

Esse non presentano praticamente attrito, potendo scorrere sulle contra-selle fisse ai setti di ridotta lunghezza con i conseguenti vantaggi, specie per quelle strutture previste iperstatiche.

Nella realizzazione qui presentata non è stato necessario « tirare » la struttura a tassi elevati. Per gli elementi strutturali i progettisti hanno previsto delle sezioni di notevole respiro adottando criteri di sicurezza superiori agli abituali, accogliendo ed ampliando quindi i suggerimenti del Prof. Leonhardt.

In particolare si sottolinea che l'altezza della trave pari a 2,40 m praticamente non ha implicazioni nella volumetria interna del locale, né ha creato difficoltà nelle operazioni di movimentazione e di trasporto in opera.

La sezione più sollecitata è risultata quella di mezzera e in tabella 1 è riportata il quadro schematico delle tensioni.

Tutte le sezioni della trave, in tutte le fasi sono interamente in compressione. Con questi criteri progettuali anche le verifiche che agli stati limiti ultimi sono ampiamen-

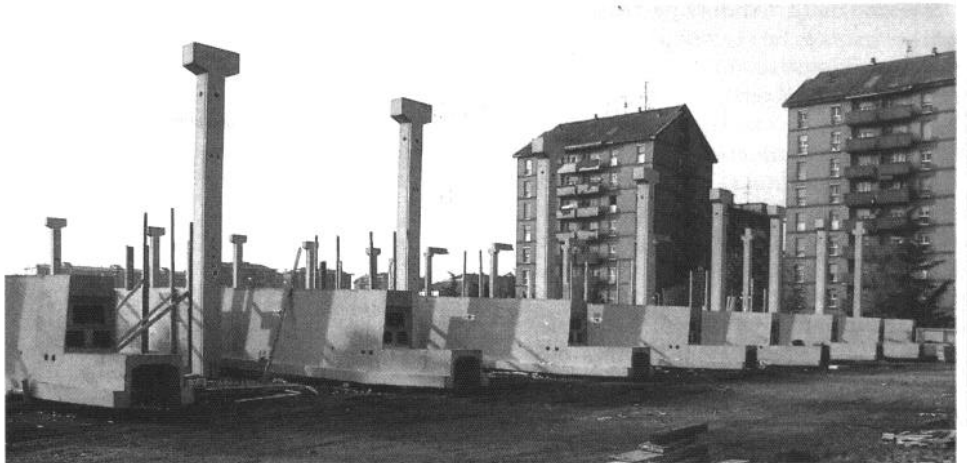
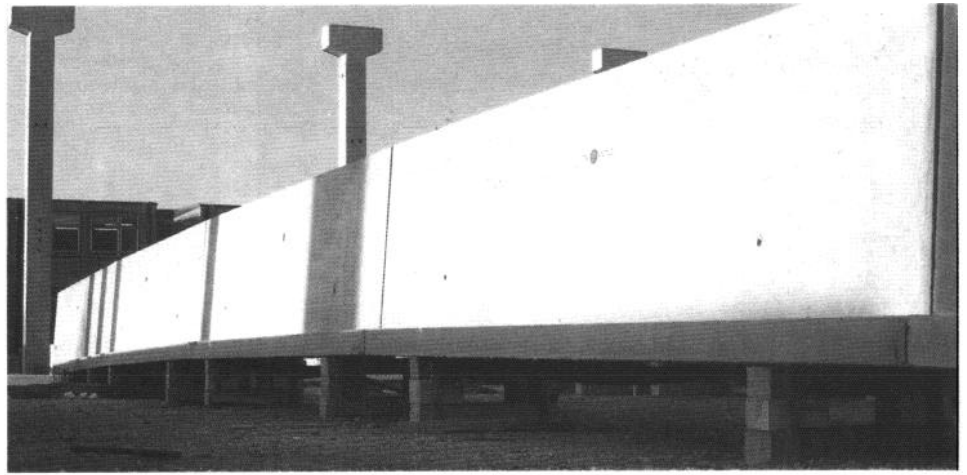
te rispettate pur nell'incertezza del mantenimento della sezione piana in fase ultima.

Come è noto, lavori scientifici di confronto fra tests per travi unbonded e bonded (2) spinti fino a rottura, evidenziano il perfetto comportamento dei due sistemi in fase elastica e anche in prima fase di rottura, per discostarsi in un 18 ÷ 20% a favore dei cavili aderenti in fase di rottura.

Severe prove di carico di collaudo effettuate su altre proprie realizzazioni hanno messo in luce in fase elastica, il perfetto parallelismo di comportamento della struttura con le ipotesi di calcolo e quindi la conferma dei risultati scientifici e dei tests sopra citati.

Nel prevedibile sviluppo applicativo di tale tecnologia sarà indispensabile approfondire i metodi di calcolo ed in particolare progettare e verificare la trave allo stato limite ultimo come una struttura « mista », calcestruzzo-acciaio armonico

(2) S. Venkijirao, Ludevit Vegh « Prestressed concrete beams with unbonded tendons » Indian Concrete Journal, Febbraio 1986.



e per maggior chiarezza una struttura composta da due elementi principali, il calcestruzzo e l'acciaio armonico, collegati fra loro in sezioni puntuali (testate e setti) attraverso vincoli quali le selle di scorrimento.

#### Considerazioni economiche

Con la preziosa collaborazione e disponibilità dei prefabbricatori, in tabella 2 sono riportati i costi consuntivi e parametrati a trave.

Nel parametrare il costo trave a m<sup>2</sup> di superficie coperta, è opportuno considerare l'ottimizzazione economica dell'insieme trave-tegolo. Si presenta quindi un riferimento ad un interasse fra le travi di 12.60 m con utilizzazione dei tegoli tipo

TABELLA / TABLE 2

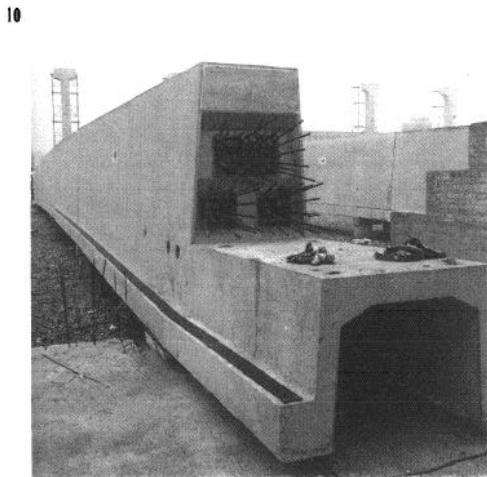
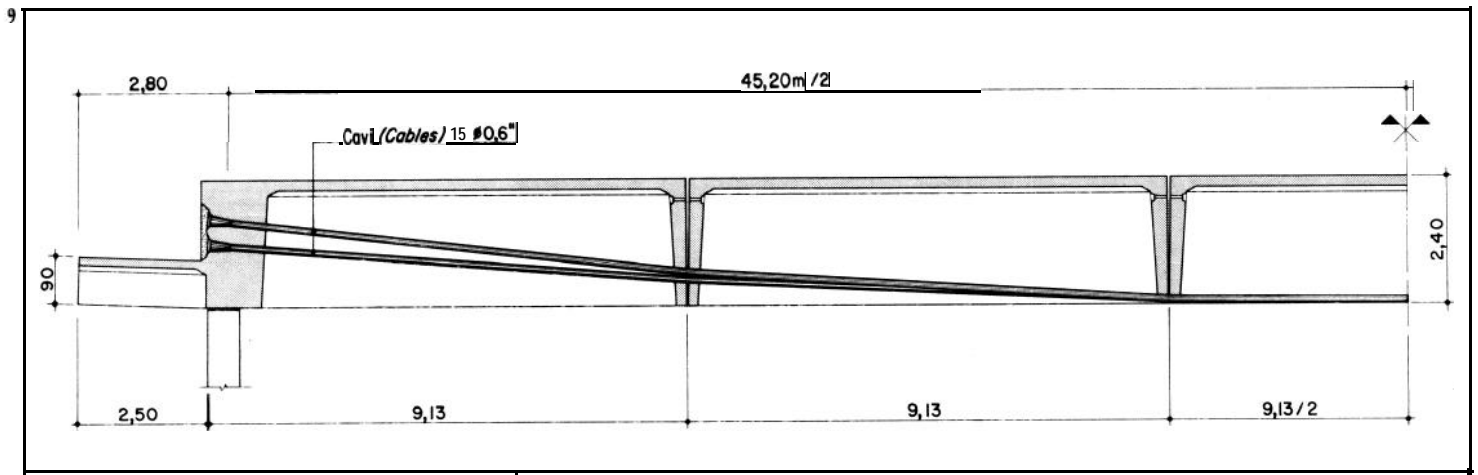
	Concio/Segmenti			Trave/Beam	kg/m	Importo unitario <b>Unit cost</b> Lire	Importo trave <b>Beam cost</b> Lire	Importo al ml di trave <b>Beam cost/ml</b> Lire
	C1	c 2	c 3	C1+2C2+2C3				
A) Calcestruzzo • <b>Concrete</b> (m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	8,56	8,56	11,70	49,08 m <sup>3</sup>		43 1.380	21.172.130	416.774
B) Acciaio • <b>Steel FeB 44K</b> (kg)	1151	1230	2014	7639 kg	150	950	7.257.000	142.855
C) Trefoli • <b>Strands 0,6"</b> <sup>(2)</sup>				3550 kg	69	1.896	6.730.800	132.496
D) Accessori • <b>Accessories</b> <sup>(3)</sup>							7.750.000	152.559
E) Appoggi • <b>Bearings</b>							1.950.000	38.386
F) Trasporto • <b>Hauling</b>							2.100.000	41.338
G) Scarico ed assemblaggio • <b>Unloading and assembly</b>							6.025.000	118.602
H) Sollevamenti • <b>Hoisting</b> <sup>(4)</sup>							7 210.000	141.929
I) Cassero (si suppone un ammortamento su 40 travi) • <b>Forms (amortization assumed over 40 beams)</b>							1.000.000	19.600
<b>Totale • Total</b> L.							61.194.930	1.204.510
							<b>Costo trave in opera Mounted-beam cost</b>	<b>Costo trave a ml Beam cost/ml</b>

<sup>(1)</sup> Il prezzo comprende: calcestruzzo e malta antiritiro per i giunti, cemento per boiaccia, mano d'opera in stabilimento • **The price includes: concrete and non-shrink mortar for the joints, cement for grout, plant labor.**

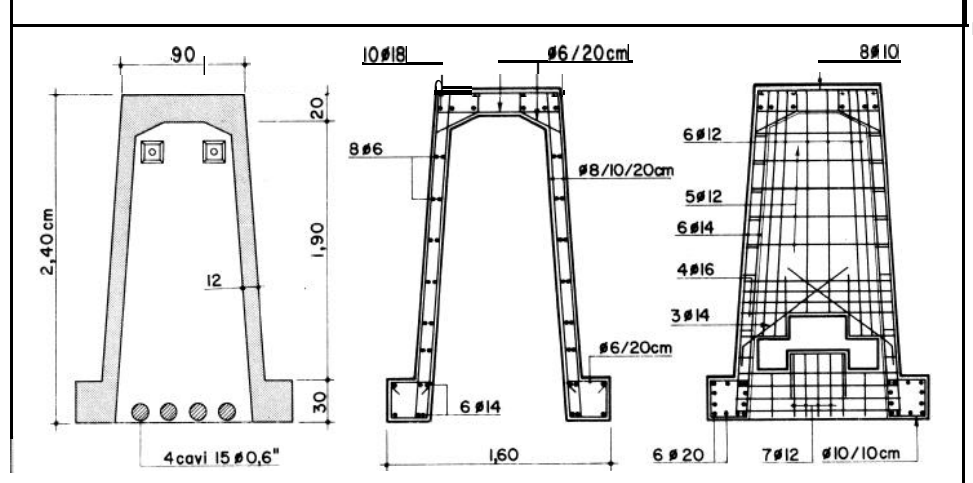
<sup>(2)</sup> La quantità indicata comprende lo sfrido • **The amount indicated includes scrap.**

<sup>(3)</sup> Comprendono: testate, morsetti, slitte speciali • **Comprising: end plates, clamps, special slides.**

<sup>(4)</sup> In cantiere per condizioni del tutto particolari e difficoltà dovuta alle presenze di ingombri quali gli interrati si è dovuto adottare gru a grande sbraccio il cui costo è stato di L. 9.750.000 • **Because of very special conditions on site, and of difficulties owing to obstacles such as the underground systems, long-boom cranes had to be used, costing Lit. 9.750.000**



6 - Particolare della testata di un concio con gli inserti di accoppiamento; è visibile la sede per la slitta dei cavi; 7 - Posizionamento sulle selle di appoggio dei cinque conci costituenti ciascuna trave; i tre conci interni hanno una lunghezza pari a 9,13 m mentre i due di testata sono lunghi 11,65 m; 8 - Stoccaggio a piè d'opera delle otto travi di copertura di 50,80 m di lunghezza totale, prefabbricate in c.a.e pre-compresse con cavi esterni; 9 - Sezione longitudinale parziale di una trave di copertura in c.a.p. con sezione ad omega; 10 - Particolare della testata di un trave dopo le operazioni di messa in tensione; 11 - Sezioni trasversali di una trave: carpenteria ed armatura ordinaria e di precompressione.



tion, with its central rink, the basin of the stands and the ring formed by the lobby, cadenced by the line of large columns. Quite as well grasped too is the importance of the ribbing of great beams, which are visible and architecturally legible from the yard and from the surrounding streets, as well as the subjection of the services complex, hidden away below the ring of the stands.

#### Structural typology

Since the code dimensions for an indoor rink suited for ice sports must be 30m x 60m, and considering the space taken by the stands, located beyond the footways around the rink, the need for sizeable spans automatically followed.

After a number of construction solutions<sup>(1)</sup> had been studied and after the appropriate soil studies, a structural solution was adopted calling for the large-scale use of r.c. precastings: columns, floor structures, ties for the stands (of 5000 seat capacity), and flat roof beams with their roof plates. All were plant-precast and then assembled in place.

<sup>(1)</sup> Prof. Ing. Giorgio Siniscalco: « The roofs of skating facilities », National Congress on facilities for skating on artificial ice, Bologna SAIIE DUE. March 13. 1986.

#### The roof beams

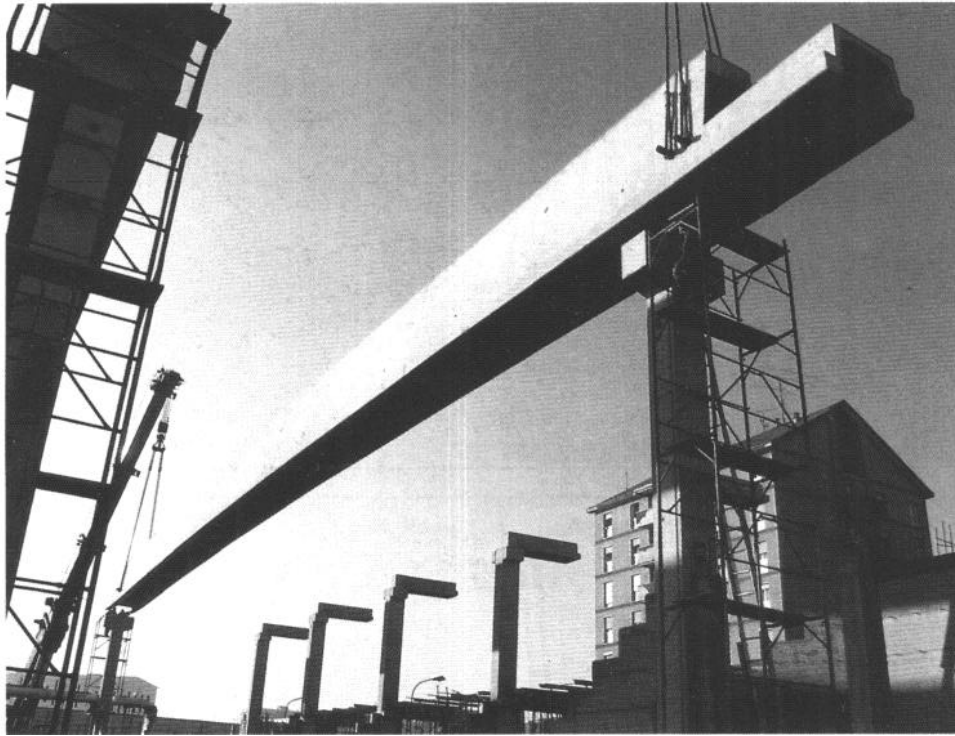
The regular 8,36 m spacing of the columns came out of architectural decisions as to the arrangement of the service rooms, which had been worked out before the structure was defined. This meant the construction of eight precast prestressed-concrete roof beams. Had construction times not been so tight (as they almost always are, nowadays), making it impossible to rework the final design, the number of beams could have been cut to five, the economically optimum number.

The beam, exhibiting a slight rise to let rainwater flow naturally off the roof plates, is a total 50,80 m long. It was built by assembling five segments: three inner, 9,13 m long each, and two head-end, 11,65 m long each, on site by a pour of a few centimeters of high-strength compensated shrink concrete; the cables were then laid exterior to the concrete section.

The exterior-cable prestressed-concrete beam displays definitely interesting advantages; the main ones are:

— during plant precasting of the segments the sheaths need not be laid, these, as those concerned know, requiring considerable precision, especially for the segment-to-segment coupling. The section is thus a standard r.c. one easy and fast to build;

6 - Detail of the head end of a segment with the coupling inserts: the seat for the cable slide is visible; 7 - Positioning the five segments comprising each beam on the support saddles. The three inner segments are each 9,13 m long, while the two end segments are 11,65 m long; 8 - Stockpiling on site of the eight 50,80 m long precast exterior-cable prestressed-concrete roof beams; 9 - Partial longitudinal section through a prestressed-concrete omega-section roof beam; 10 - Detail of the head end of a beam after the tensioning operation; 11 - Cross sections through a beam: cable supports, and slack and prestressing steel.



12 - Le operazioni di sollevamento in opera; 13 - Il pilastro prefabbricato: carpenteria ed armatura; 14 - Particolare della monta di una trave per lo scolo naturale delle acque; 15-16 - Le travi in opera: il peso di ciascuna trave di 50,80 m di lunghezza e 2,40 m di altezza, è pari a 122 t.

12 - Hoisting the beams into place; 13 - The pre-cast columns: structural work and reinforcing; 14 - Detail of the rise of a beam, for natural flow off of rainwaters; 15-16 - The beams seen in place. Each 50,80 m-long, 2,40 m-deep beam weighs 122 tons.

pi-greco di normale produzione e di lunghezza di 11,20 m.

— L'incidenza della trave a m<sup>2</sup> di superficie coperta è quindi pari a  $1.204.540/12,6 = L/m^2 95.598$

— Tegolo di normale produzione montato: 35.000 L/m<sup>2</sup> di tegolo, incidenza al m<sup>2</sup> di copertura =  $L/m^2 31.111$

— Totale copertura montata a m<sup>2</sup> = L. 126.709

Nel caso specifico del palazzo dell'ghiaccio di Milano con interasse 8,36 il costo è stato di 170.000 L/m<sup>2</sup>

Si precisa che l'opera per l'impresa di prefabbricazione è stata la prima applicazione di tale tecnologia ed a fronte di un risultato eccellente senza il minimo inconveniente, l'impresa stessa non ha lesinato alcuna attenzione in tempi e costi in tutte le fasi.

La specifica presentata è quindi di carattere orientativo e di approccio alla guida per valutazioni di simili opere.

Il conio di testata è risultato l'elemento più pesante pari a circa 30 t, di sezione pari a 1,60x2,40 m, di lunghezza pari a 11,65 m. Il peso dell'intera trave è di 122 tonnellate.

L'incidenza di peso della trave a m<sup>2</sup> di superficie coperta è pari a  $\frac{122.000}{12,6 \times 50,8} = \Rightarrow 190 \text{ kg/m}^2$

L'incidenza del tegolo pi-greco di altezza

— since the beam section need not contain the cables, it may be especially slender; without the pour's encountering any difficulty. The member is thus light in weight, with the consequent, and obvious, advantages: less material, lower handling, transport and hoisting costs, and smaller amounts of high-tension steel;

— laying the cables is especially fast: they have their heads at the beam head-ends and bearing points on the saddles at the intermediate septums, built at the ends of the individual segments;

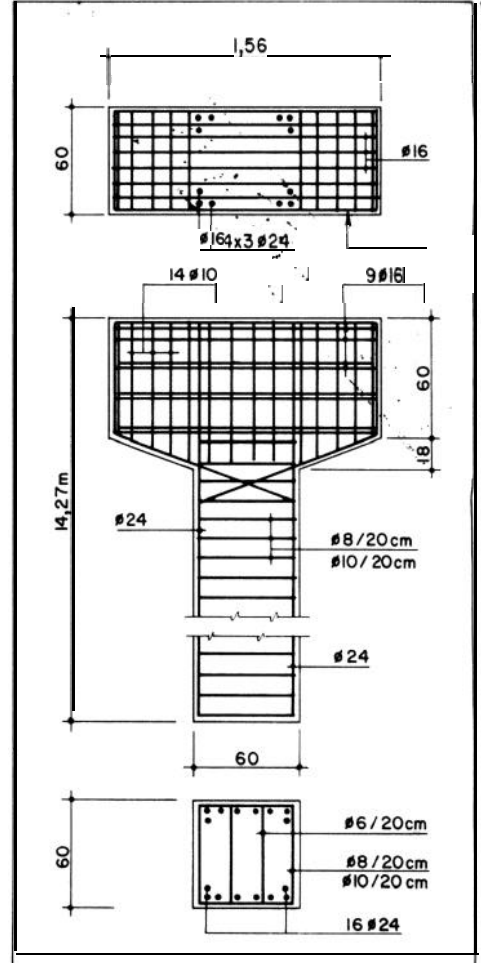
— the outside cable may be periodically checked and even replaced where necessary;

— the cable running in its sheath is protected using the usual grouting systems; any leaks of mortar or grease are at once visible.

The saddles do however demand careful study and an advanced production technology.

They present practically no friction, since they can slide on short counter-saddles affixed to the septums; this implies a number of advantages, especially for statically indeterminate structures.

The structure of the building reported here did not have to be « pulled ». Design provided the structural members with sections of considerable generosity, adopting safety criteria exceeding the usual, Prof.



Leonhardt's suggestions thus being received and enlarged upon.

To be underscored in particular is that the 2,40 m beam depth has practically no implications for the room's volume, nor did it create any difficulties during handling and hoisting operations.

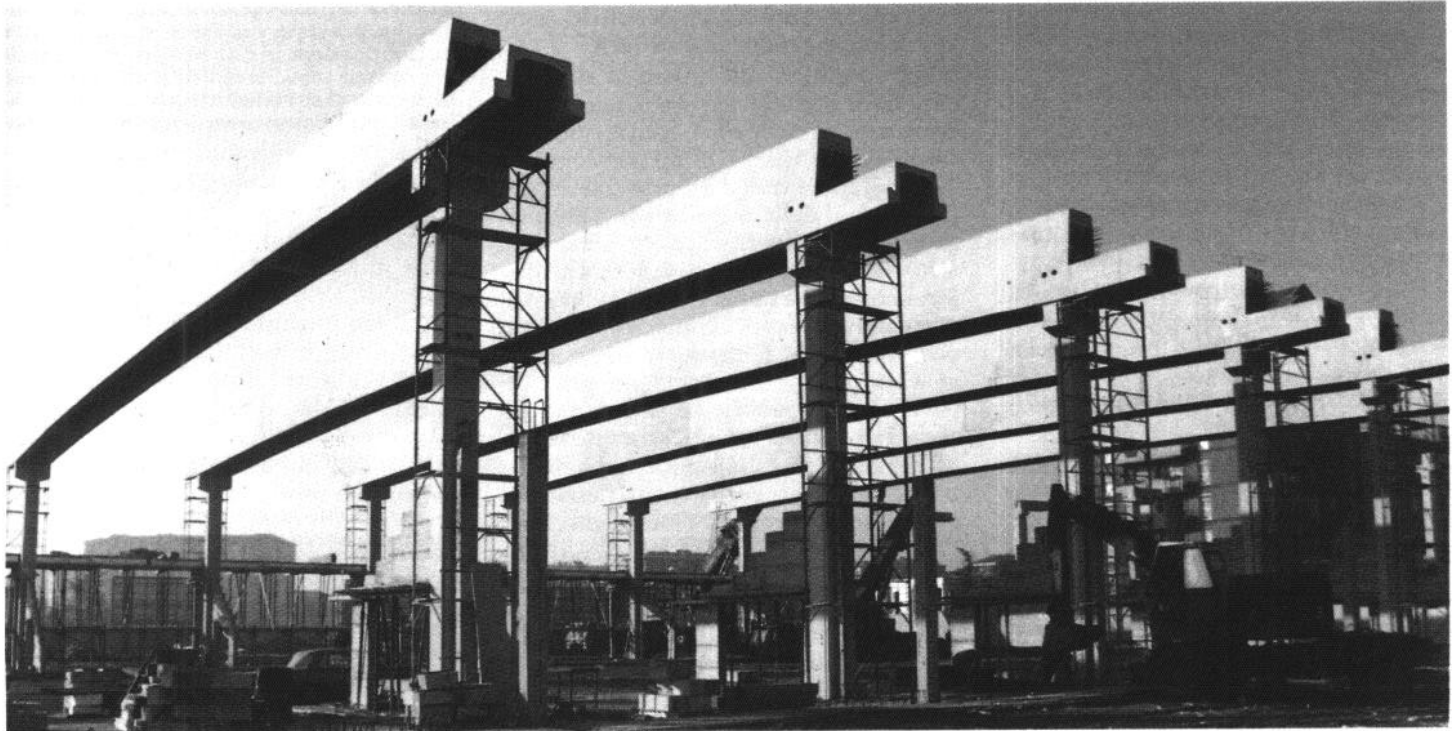
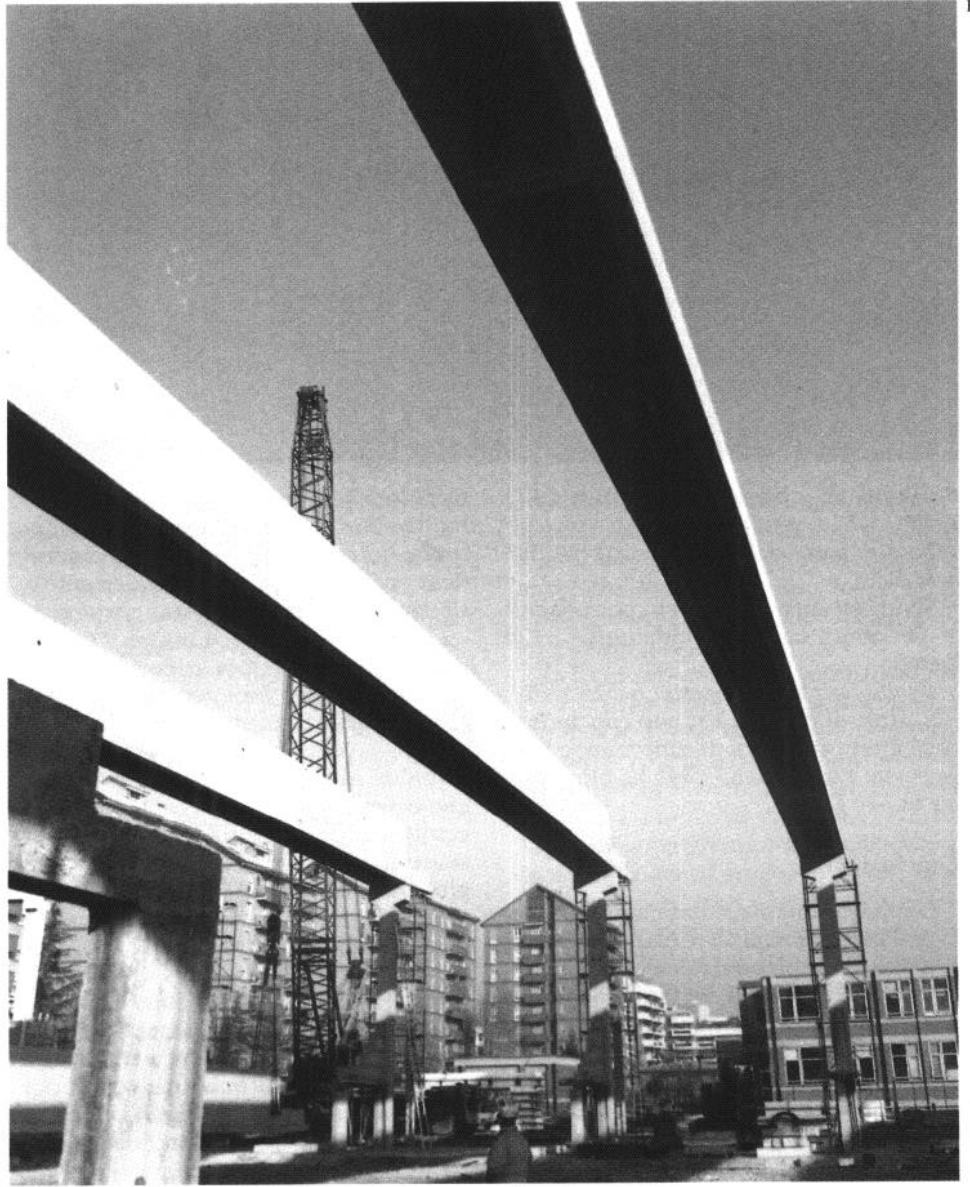
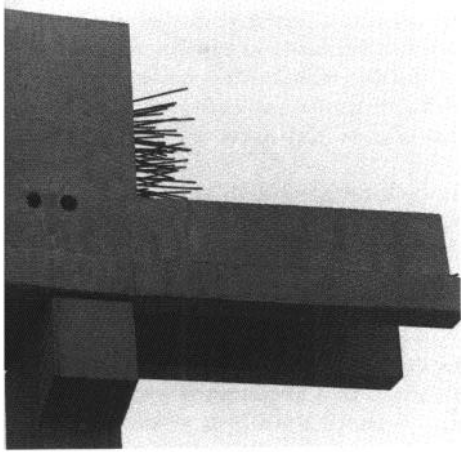
The most-stressed section was the mid-span, and table 1 shows a schematic picture of the stresses, it bringing out that the permissible concrete stress of 209 kg/cm<sup>2</sup> is much higher than the maximum operating stress of 152,51 kg/cm<sup>2</sup>. All beam sections, in every phase work wholly in compression.

Under these design criteria the ultimate limit state stresses were better than complied with, even though there is uncertainty whether the section stays plane during the last phase.

As those concerned know, scientifically made comparisons between tests for bonded- and free-strand beams (2) tested to breakage bring out the perfect behaviour of the two systems during the elastic phase, and even during the first cracking phase, while they depart, by 18 to 20 percent to the bonded strands' favor, during breakage phase.

(2) S. Venkijrao, Ludevít Vogh: « Prestressed concrete beams with unbonded tendons » The Indian Concrete Journal, February 1986.

BIBLIOTECA IMCYC







za  $H=40$  cm, di peso unitario pari a  $175 \text{ kg} \times 11,2/12,6 = 155 \text{ kg/m}^2$

Totale peso della copertura =  $345 \text{ kg/m}^2$ .

Sono stati previsti carichi permanenti =  $60 \text{ kg/m}^2$ ; carichi accidentali =  $120 \text{ kg/m}^2$ .

Totale carichi complessivi =  $525 \text{ kg/m}^2$

A titolo di curiosità si può concludere che l'intera struttura di copertura in opera costa  $126.709 \text{ L/m}^2 : 345 \text{ kg/m}^2 =$  meno di  $370 \text{ L/kg}$

### Conclusioni

L'applicazione presentata, accompagnata dall'esperienza di altre realizzazioni, ed i risultati complessivi (tecnici • economici • rapidità esecutiva • semplicità in genere e qualità del prodotto finito) suscitano già attualmente un indubbio interesse per tale tecnologia, peraltro all'estero già ampiamente affermata specie nelle costruzioni di ponti.

Attraverso un'attenzione anche superficiale dell'evoluzione della tecnologia dei materiali da costruzione, è intuibile come molti fattori porteranno a favorire ed a sviluppare l'applicazione della precompressione a cavi esterni (3).

I conci, singolarmente non precompressi, potranno essere prodotti con cura « coccolati » nella loro maturazione in ambienti ottimali, e stoccati nei luoghi più opportuni al fine di ottenere un prodotto di massima qualità e durabilità nel tempo.

I calcestruzzi additivati ad alta resistenza, impiegati in sezioni tali da realizzare dei comportamenti « a forma » stabili pur nella loro sottigliezza, porteranno a travi sempre più leggere e quindi con possibili-

(3) Si riportano le conclusioni espresse nella ricerca (2). Le travi a cavi esterni possono quindi essere usate negli elementi prefabbricati e possono essere largamente usate quindi nelle costruzioni, provvedendo naturalmente che i cavi siano protetti dalla corrosione per il calcolo pratico sono raccomandate le ACI codice 318 e le indicazioni del Prof. Leonhardt. Così queste travi possono essere usate soprattutto negli edifici poiché essi raramente sono soggetti a carichi che possono raggiungere il limite di collasso.

tà di luci sempre maggiori, garantendo inoltre sia stabilità che durata nel tempo.

Pur quindi in una situazione generale flessionale dell'intera trave, l'elemento ottimizzato tenderà ad un comportamento « a forma » più che « a massa » (revival del cilindro lungo? Con le teorie del Lundgren, Reissner, Van der Neut ed altri grandi maestri e compagni di tante ore di studio? ...vedremo).

Inoltre nella produzione a conci l'impegno economico del cassero, non sarà eccessivamente oneroso anche in produzione di trave in serie limitata per la maggior ovvia ripetibilità di uso.

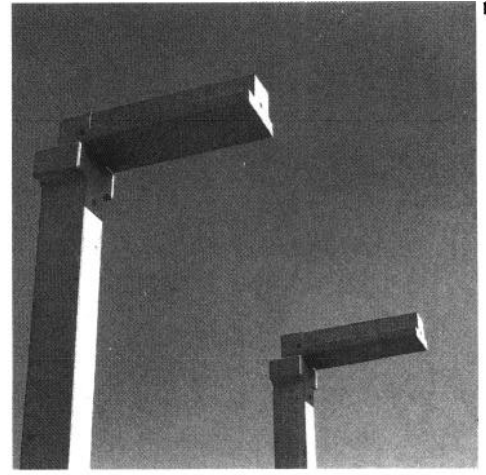
Sarà comunque l'impiego dei cavi in fibra, tecnologia di cui già ci si sta occupando che porterà ad un particolare interesse nell'impiego del cavo esterno.

Infatti, come è noto, non sarà più necessaria la protezione specie contro la corrosione: quindi massima semplificazione delle slitte di appoggio ed impiego degli ancoraggi in vari punti della trave.

Inoltre il ridotto peso comporterà delle grandi facilitazioni di movimentazione con rapidità impensabili di realizzazione specie nella produzione di serie.

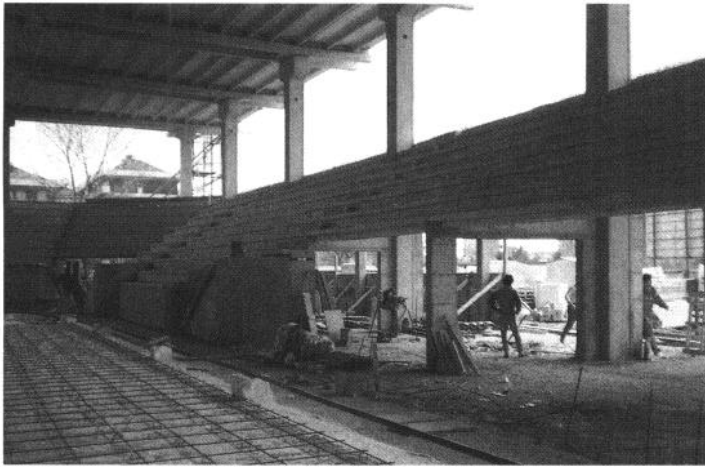
Ma si è già tesi allo studio ed all'applicazione di assemblaggi di elementi in calcestruzzo (da comprimere) ed elementi in fibra pretesa, questi ultimi non come cavi, bensì come vere e proprie zone o parti di sezioni della trave stessa. Tali zone pretese vengono « fuse » con la sezione intera e ad assemblaggio avvenuto trasmetteranno l'opportuno effetto di compressione al resto della sezione. In tal modo possono trovare facile soluzione tecnologica i problemi di striscia nei gusci, in particolare gli stati flessionali sia a variazione rapida (classe 1 e 1/2) che quella meno rapida (classe 1/4) specie nel cilindro trave, lungo le generatrici, stati flessionali che possono permeare l'intero guscio.

Si intravede così un vasto campo di ricerca applicata affascinante: in questa direzione sono stati ottenuti progressi straordinari in altre discipline quali i gusci delle imbarcazioni. Il comportamento « a forma » ha sostituito quello « a massa » e la leggerezza sta prevalendo sulla



17 - L'appoggio dei tegoli di copertura anch'essi prefabbricati in c.a. sulle travi principali; 18 - Particolare dei pilastri di testata con la mensola per l'appoggio dei tegoli di copertura; 19-20 - La soluzione strutturale adottata per la realizzazione del nuovo palazzo del ghiaccio di Milano ha previsto un vasto impiego della prefabbricazione in c.a.: pilastri, solai, gradinate con una capacità di 5000 posti, travi piane di copertura con i relativi tegoli, sono stati realizzati in stabilimento e successivamente assemblati in opera.

17 The bearing for the roof plates, they too of precast reinforced concrete, on the main beams; 18 - Detail of the head-end columns, with the bracket to support the roofplates; 19-20 - The structural solution adopted in building the new Milan Ice stadium called for the extensive use of r.c. precasting: columns, floor elements, stands holding 5000 seats, and flat roofbeams with their roofplates, all were plant-precast to be then assembled in place.



Severe proof-testing loads applied on other buildings have brought out the perfect correspondence of structure's elastic-phase behaviour with design calculation hypotheses and thus confirmation of the above-mentioned scientific results and tests.

As applications of this technology increase, and they surely will, it is indispensable that calculation procedures be perfected, and in particular that the beam be designed at the ultimate limit state as a mixed structure: concrete and high-strength steel, and for greater clarity yet, as a structure comprising two main elements, concrete and high-strength steel tied together at points along the beam (ends and septums) by means of such constraints as the sliding saddles.

### Economic considerations

Table 2 was prepared with the valuable aid of the precasting firm; it shows whole and per-metre beam costs.

In computing beam cost per square metre of roofed area economic optimization is best done using the beam-roofplate set.

The optimum parameters are thus a 12,60 m beam spacing, with pi-type roofplates 11,20 m long of standard production being used.

— The cost of the beam per  $m^2$  of roofed area is thus  $1.204.540/12,6$  or  $95.598$  Lit/ $m^2$ .

— Roofplate of standard production mounted:  $35.000$  Lit/ $m^2$  of roofplate, so the cost per  $m^2$  of roof is:  $31.111$  Lit/ $m^2$

— Total Roof Assembled:  $126.709$  Lit/ $m^2$ .

For the specific case of the Milan ice stadium with 8,36 m spacings, the cost was actually  $170.000$  Lit/ $m^2$ .

It should be noted that this building was the precasting concern's first application of this technology, and to obtain this excellent result, without the least problem, the concern was prodigal with its time and attention during every job phase. The costs presented are thus orientati-

ve in nature, meant to serve as a guide to evaluating similar jobs.

The head-end segments, 11,65 m long and 1,60 m x 2,40 m in section, were the heaviest elements, weighing some 30 tons. The complete beam weighs 122 tons.

The beam weight per  $m^2$  of roofed area is:  $122.000/12,6 \times 50,8 = 190$  kg/ $m^2$

The weight per  $m^2$  of the 40 cm-deep pi-roofplate is:  $175$  kg/(11,2/12,6) =  $155$  kg/ $m^2$

Total roof weight:  $345$  kg/ $m^2$

Design dead loads:  $60$  kg/ $m^2$

Design live loads:  $120$  kg/ $m^2$

Total weight:  $525$  kg/ $m^2$

Just as a curiosity, it may be concluded that the whole roof structure mounted in place cost:  $126.709$  Lit/ $m^2$   $345$  kg/ $m^2$  =  $370$  Lit/kg.

### Conclusions

The application presented here, together with experience had of other buildings built and the overall technical and economic results achieved, together with this technology's construction speed, simplicity in general and quality of finished product, are exciting definite interest in it, a technology that has anyway already become widely established, in bridge construction in particular.

If even surface attention is given to the development of construction-materials technology, it can be easily guessed that many factors will lead to the more and more widespread use of the exterior-cables prestressing technique <sup>(3)</sup>

In fact, added high-strength concretes used in sections such as to bring about

(3) The conclusions expressed in the <sup>(2)</sup> research are reported. The unbonded beams could be employed in the precast elements and largely used in building construction. Of course cables have to be protected from corrosion. For the calculations see ACI standards no. 318 and indications by Prof. Leonhardt. These beams could be employed especially in buildings because seldom they are subjected to charges reaching the collapse limit.

stable «form-type» behaviour, however slender they may be, will lead to the use of ever more lightweight beams, and thus to possibilities of longer and longer spans, while assuring as well both stability and long-lastingness.

Even in situations of generalized bending over the entire beam, the optimized element will tend toward a «form-type» as against a «mass-type» behaviour (with the revival of the long cylinder, using the theories of Lundgren, Reissener, Van der Neut and other greats, the companions of so many hours of study? We shall see),

Furthermore, the cost burden of the form for segment production is not excessive even if only a few beams are to be produced, because of its repeated use.

But it will anyway be the use of fibre cables, a technology already being developed, that will lead to special interest in the use of the exterior cable. In fact, protection, and corrosion protection in particular, will no longer be needed. And hence the maximum simplification of the bearing slides, as well as the use of anchorages at various points along the beam.

Furthermore, reduced beam weights will mean highly facilitated handling, with heretofore-unthought-of precasting speeds, especially in assembly-line production.

But underway already is the study and application of assemblies of elements of concrete (to be compressed) and of prestressed fibre, these latter not acting like cables, but being rather true areas of the beam section. These prestressed areas, fused with the whole section when the assembly is complete, will transmit the proper compression effect to the rest of the cross section. Thus problems involving slipping in shells, in particular both the fast-changing stress states (class 1 and 1/2) and the slower-changing (class 1/4) stress states, can be easily solved, particularly in the cylindrical beam along the generators, stress states that can permeate the entire shell.

A glimpse can thus be caught of a vast field of fascinating applied research: re-



stazza pesante e si dimostra più sicura ed economica.

In questo campo in pochi anni di applicazione il kewlar è ora impiegato nella produzione di serie a prezzi competitivi sconfiggendo definitivamente problemi di corrosione, osmosi, correnti galvaniche ecc.

Così i gusci in composito in fibra di carbonio vengono realizzati in forni a varia temperatura, tale da non creare scompensi fra i materiali da assemblare. Potranno così forse essere riutilizzati i vecchi forni per la maturazione a vapore per creare elementi di gusci compositi, l'assemblaggio dei quali realizzerà travi di grande luce.

Non siamo lontani da tali traguardi, ma certamente il costo della copertura non sarà di 370 L/kg come per il Palacandy di Milano.

\* \* \*

Committente dell'opera è stato l'Orchidee Sporting Club, Milano. Il progetto architettonico è dell'Arch. Carlo Nicora Lavit di Gallarate; il progetto delle strutture e la relativa direzione lavori sono dello Studio O. Siniscalco di Torino e Dr. Ing. Ersilio Riva di Galbiate. La direzione generale dei lavori è stata effettuata da Gianni Zenoni di Milano. L'impresa costruttrice è stata la « Magri Geom. Anselmo S.p.A. », Parma. L'impresa prefabbricata è stata la « Canova S.p.A. », Fiorenzuola d'Arda.



*markable progress has been made in this direction in other disciplines, such as boat shells. « Form-type » behaviour has replaced « mass-type », and lightness of weight is prevailing over tonnage, it revealing itself safer and cheaper.*

*In this discipline after only a few years Kewlar is by now used in assembly-line production at competitive prices, it definitively defeating problems of corrosion, osmosis, galvanic currents, etc.*

*Thus, composite carbon-fibre shells are being built in ovens at various temperatures, so as not to create imbalances between the materials being assembled. Perhaps the old ovens for steam curing can be used so, to create composite shell elements, the assembly of which will create long-span beams.*

*We are not far from these goals, but certainly the cost of roofs will not be any 370 liras per kilogram, as for the Milan Palacandy.*

\* \* \*

*Owner: Orchidee Sporting Club, Milan. Architectural design: Carlo Nicotra Lavit, Gallarate. Structural design and works supervision: Studio O. Simiscalco, Turin and E. Riva, Galbiate. The general works supervision has been by Gianni Zenoni, Milan. Contractor: Magri Geom. Anselmo S.p.A., Parma. Precast producers: Canoval S.p.A., Fiorenzuola d'Arda.*

