



giornate
aicap'91

SPOLETO 16-18 maggio

L'evoluzione delle costruzioni di
c.a. e c.a.p.



RELAZIONI GENERALI
RELAZIONI SU INVITO

aicap - associazione italiana cemento armato e precompresso
roma - 1992





giornate
aicap'91

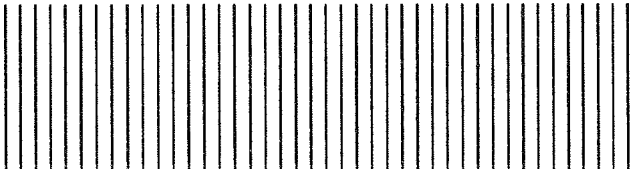
SPOLETO 16-18 maggio

L'evoluzione delle costruzioni di
c.a. e c.a.p.



RELAZIONI GENERALI
RELAZIONI SU INVITO

aicap - associazione italiana cemento armato e precompresso
roma - 1992



RELAZIONE INTRODUTTIVA

L'evoluzione delle costruzioni di c.a. e c.a.p.

prof.ing.Carlo Cestelli Guidi

L'evoluzione delle costruzioni di c.a. e c.a.p.

Relazione introduttiva: Prof. Ing. Carlo Cestelli Guidi

L'evoluzione delle costruzioni di c.a. e c.a.p.

Relazione introduttiva: Prof. Ing. Carlo Cestelli Guidi

1. Premessa

Il compito, molto gradito, di aprire i lavori di questo convegno mi è stato assegnato forse quale socio più anziano dell'A.I.C.A.P. (all'origine A.N.I.C.A.P.) che ha vissuto direttamente nel nostro Paese le fasi travagliate più salienti del periodo dello sviluppo del cemento armato, e soprattutto quelle del successivo inserimento della precompressione.

Non farò una vera e propria relazione sull'evoluzione delle costruzioni di c.a. e c.a.p., anche perché sicuramente mi sovrapporrei alle relazioni dei Colleghi che mi seguiranno.

Mi limiterò quindi ad un breve cenno sulle origini del cemento armato e del precompresso e mi soffermerò su due argomenti che hanno fatto epoca: «Il ponte del Risorgimento» (battezzato inizialmente con il nome di Ponte dell'Albero bello) e l'opera di Freyssinet per la nascita del cemento armato precompresso.

Ringrazio l'amico Emanuele Radogna per i suoi consigli sull'impostazione di questa conversazione.

* * *

Non occorre particolare attenzione per seguire il miracolo delle innovazioni dell'edilizia in questi ultimi due secoli, in confronto a quelle del lunghissimo periodo di tempo intercorso da quando le caverne vennero sostituite da confortevoli abitazioni.



Fig. 1. «La Casa Rossa» - Londra 1860 (Welb).

In tempi relativamente più recenti l'evoluzione dell'edilizia è testimoniata da chiari esempi quale la tecnica muraria rappresentata dalla fig. 1, la famosa Casa Rossa di Londra, che risale al 1860, primo esempio di abitazione moderna, cui si sostituì rapidamente la tecnica della muratura abbinata all'acciaio.

I novelli costruttori si rivolsero presto ad elementi semplici e razionali con solai in c.a. e travi prefabbricate, quale retaggio delle travi in acciaio.

Anche se dalle prime case dell'ultimo secolo si prevedevano già i notevoli sviluppi dei decenni successivi che nei primi quaranta anni raggiungevano grande diffusione, accolti dai giovani progettisti e costruttori, con strutture a volte innovative.

Molte brillanti soluzioni suggerite da pratiche esigenze sono divenute tipiche per determinati problemi strutturali.

Tutto ciò è avvenuto in tempi brevissimi se si pensa che per molti secoli l'unica forma di prefabbricazione fu l'impiego del mattone (fig. 3)

Tutti i maggiori ingegni che hanno lasciato la loro traccia in questi ultimi due secoli sono stati coinvolti verso obiettivi più utilitaristici rivolgendo la loro attenzione anche verso l'edilizia intendendo per edilizia tutto ciò che migliora il benessere della vita. Dalla bicicletta (e ciò è già un gran passo) all'aeroplano.

La scoperta dell'America ha preceduto di poco la scoperta della luna come Marconi è stato preceduto, e seguito, dalla co-

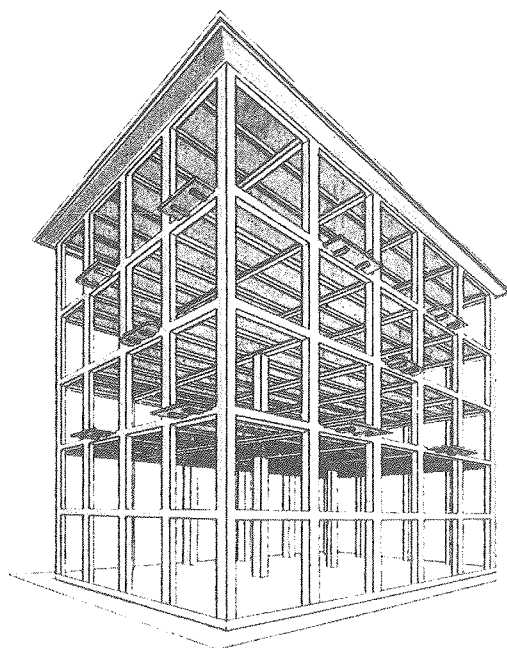


Fig. 2. Una ossatura cementizia.

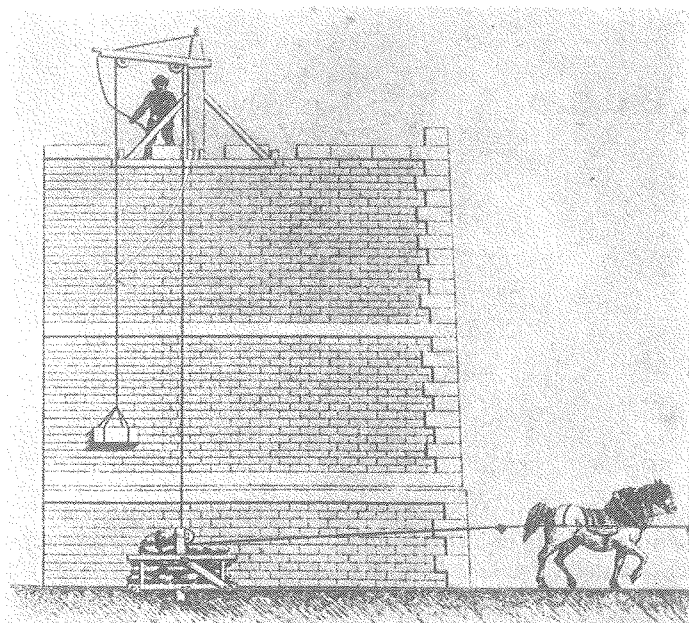


Fig. 3. Tecnica muraria del secolo scorso.

noscenza e dalla realizzazione di fatti che si leggevano un tempo nei libri di Verne. Ogni nuova scoperta ci colpisce e siamo sempre in attesa fiduciosi dell'ulteriore passo della scienza che ci porti verso il nuovo.

Anche l'architettura essa stessa stimola le ricerche scientifiche e tecniche con indirizzi sempre più utilitaristici. Così si spoglia gradatamente degli elementi decorativi ed anche della durezza di certe linee.

Superata la Belle Epoque appaiono abitazioni in senso moderno ed il cemento armato è presente in modo dapprima celato, ma presto apparvero le prime linee caratteristiche che destarono al principio forti contrasti.

Eiffel ed Hennebique non furono inizialmente compresi. Furono apprezzate le loro opere della fine dell'800 quando si generò una corrente estetica detta «Liberty».

Il «Liberty» fu una delle cadute culturali durante la prima guerra mondiale ed iniziò ad imperare il razionalismo dell'architettura sotto la guida di Gropius.

2. Il Cemento Armato

Già nel III secolo a.C. i romani usarono il calcestruzzo, cementato da pozzolana mista a calce comune: la qualità dei frammenti adoperati nella miscela, il loro taglio, la proporzione rispettiva e la composizione della malta fu una invenzione prettamente romana: gli esempi più antichi, in Roma, sono i basamenti della Concordia (121 a.C.) e dei Dioscuri (117 a.C.).

Si legge che il primo impiego del calcestruzzo, dopo il periodo romano, la cui civiltà aveva invaso il vecchio mondo, avviene nel 1770 ad opera di Smeaton con la costruzione del faro di Eddystone in Inghilterra, con murature ottenute collegando le pietre con un miscuglio di calce viva, argilla, sabbia e scorie di ferro.

La fabbricazione del «cemento» propriamente detto, iniziò verso la metà del 700. Nel 1796 l'inglese Parker, dalla cottura di speciali calcari, trovati nei dintorni di Londra, trasse un prodotto cementizio che chiamò «cemento romano» e la cui principale caratteristica era la rapidità di presa.

L'era moderna dei cementi idraulici ha inizio ufficialmente nel 1824 quando l'inglese Aspdin, fornaciario muratore di Leeds, conseguì un brevetto per il processo di preparazione di un prodotto che verrà chiamato «cemento Portland» perché del tutto

simile, come durezza, alla pietra da costruzione che abbonda nell'isola di Portland.

Il grande sviluppo industriale nella fabbricazione del cemento Portland si ebbe più tardi dopo le scoperte di Johnson (1844) e gli studi di Le Chatelier e Michaelis, che permisero di fissare la composizione chimica del cemento Portland in modo da poterlo fabbricare artificialmente ovunque, utilizzando e dosando materie prime di diversa origine.

Con lo sviluppo della produzione dei cementi ritorna ad affermarsi la tecnica della costruzione mediante getti di calcestruzzo che, adottata dai romani, era stata sostituita nei secoli che seguirono la caduta dell'Impero romano, dalla costruzione muraria soprattutto in mattoni e pietrame vario.

I calcestruzzi di cemento, quasi per un ricorso storico, vengono inizialmente usati nella costruzione di fondazioni, come era stato fatto ventun secoli prima dai romani.

* * *

Al principio dell'ottocento aveva avuto luogo l'accostamento acciaio-calcestruzzo lasciando la possibilità di agire indipendentemente con tensioni distribuite secondo le leggi della statica.

E già ai primi contatti ferro-muratura si cercò di far collaborare i due materiali e ne sono esempio i primi ponti dove strutture portanti in ferro venivano rivestite di materiali inerti non collaboranti staticamente.

Solo verso la metà dell'800 si cercò di sfruttare l'accostamento ferro-calcestruzzo in modo da attivarne meglio la collaborazione statica secondo concetti primitivi di distribuzione di sforzi di trazione e di compressione.

È nel secolo scorso che la parola «cemento» prese il significato di mezzo legante ma solo per indicare una sostanza che è di per sé «legante idraulico».

Dal calcestruzzo al cemento la strada è lunga e difficile: attraverso gli studi metodici del francese Vicat, che patrocinò la nascita della moderna industria dei cementi ottenendo prodotti sempre più resistenti fino al vero cemento per c.a.

Nel 1820 si giunge alla costruzione del nostro cemento e si dovrà arrivare al 1848, per trovare un cemento armato nella barca di Lambot presentata all'Esposizione Universale del 1865 che sostanzialmente era di «ferro cementato», secondo la dizione adottata nel secolo successivo da Nervi per alcune opere da lui progettate.

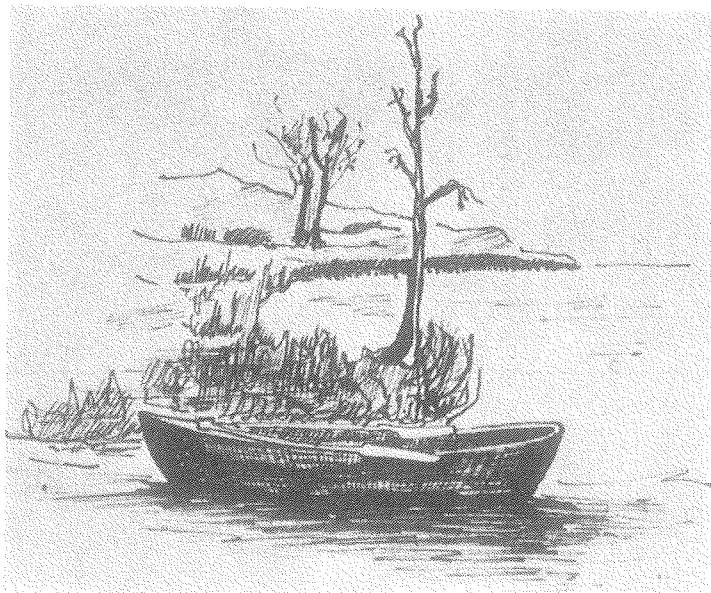


Fig. 4. Canotto in c.a. - Lambot 1848.

Va ricordato anche che Coignet fin dal 1847 costruì vasche per fiori e nel '73 brevettò anche vasche proponendo impieghi del cemento debolmente armato e quindi con influenza statica molto limitata dell'armatura.

Numerosi furono invece i brevetti di Monier, un altro giardiniere che fin dal 1849 aveva costruito casse con maglie fitte di ferro e che successivamente nel 1873 brevettò dei ponti ad arco costituiti da volta armata con reticolo di tondini annegato nel calcestruzzo di calce idraulica o nel conglomerato cementizio dei quali restano schizzi ingenui (per non dire infantili).

Le strutture di Monier, che sono in realtà dei gusci sottili, concepiti su basi del tutto empiriche, mostrano che il loro inventore era ben lungi da seguire il criterio di ripartire gli sforzi fra conglomerato ed armatura in relazione agli effetti flessionali di insieme: infatti le strutture di Monier non erano altro che lastre sottili in cui era annegata una rete di filo di ferro, con il solo intento di aumentare la resistenza apparente a trazione del conglomerato, concetto questo valorizzato, come già detto, circa un secolo dopo, da Nervi con i suoi elementi sottili prefabbricati del cosiddetto «ferro cementato».

Certo che Monier si interessava all'armatura più con lo scopo di dar forma al getto che di prevederne l'azione statica. Ma egli ottiene la effettiva realizzazione del cemento armato nel 1872 con la costruzione di un grande serbatoio.

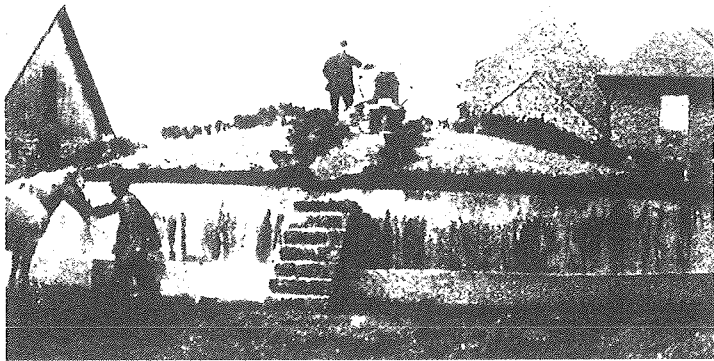


Fig. 5. Primo serbatoio in c.a. - Monier, 1872.

Sicuramente non si ebbe sentore della grande novità di questo connubio che, come abbiamo già accennato, venne chiamato semplicemente Monierbau, concezione che ebbero invece chiara i concessionari tedeschi i quali dettero vita alla Wayss e Freytag che veramente influì sullo sviluppo di quello che oggi chiamiamo cemento armato. Wayss crea a Berlino una impresa per le costruzioni Monier, che tra il 1877 ed il 1891 realizza 320 ponti con luci fino a 40 m, ed organizza una serie di ricerche con la collaborazione del prof. Bauschinger di Monaco.

L'architetto Koenen, invitato dal governo prussiano a collaborare a tali ricerche sviluppa un procedimento empirico di calcolo per alcune strutture Monier esponendo i principi di dimensionamento delle armature.

Sono queste esperienze di Wayss e dei suoi collaboratori che segnano veramente l'inizio dell'era del c.a. perché danno fondamento scientifico e commerciale alla nuova tecnica di costruzione.

* * *

L'America si unisce alla Francia per creare il binomio che dà vita al c.a.: Hyatt conduceva le prime ricerche su travi in c.a. e la pubblicazione dei risultati nel 1877 mostra come avesse intravisto più chiaramente di Monier il meccanismo

di collaborazione tra armatura e calcestruzzo. Egli indirizzò le sue ricerche sul comportamento del cemento armato al fuoco e progettò a Londra una casa in c.a. che esiste ancora oggi.

Ward nel 1875 costruì una casa con solai in calcestruzzo armato.

* * *

Intorno alla fine del secolo la costruzione in c.a. è ancora coperta e limitata dai vari brevetti. È però ormai chiarito il modo di collaborare dei due materiali, calcestruzzo ed acciaio, e si sa valutare l'effettiva distribuzione degli sforzi. Un merito particolare spetta a questo proposito a Mörsh che portò avanti la teoria esposta da Koenen e la confermò con numerose ricerche iniziate per incarico della ditta Wayss e Freytag e proseguite, dopo il suo passaggio all'Università, sulla più ampia base della Commissione tedesca per il c.a. di Stoccarda. Gli studi di Mörsh costituirono la base per la teoria del cemento armato, e tutt'oggi la sua impostazione teorica resiste in molte parti alle critiche.

Sofferamoci un momento sugli aspetti che hanno preceduto lo sviluppo del c.a. che sono a mio avviso più una questione di idee, di intuizioni che di tecniche vere e proprie.

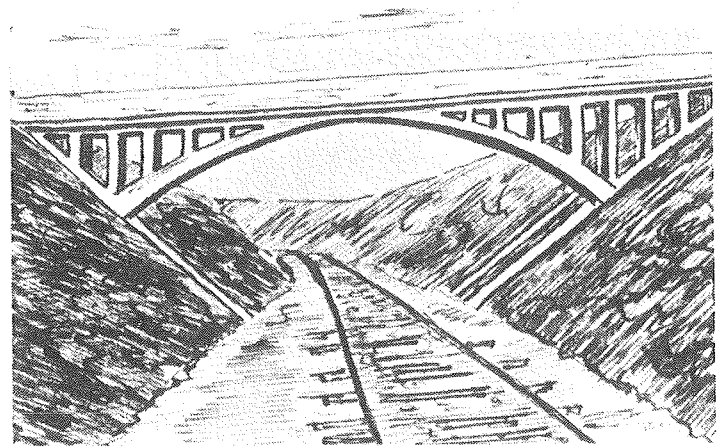


Fig. 7. Passerella ad arco a Esternay - Hennebique, 1898.

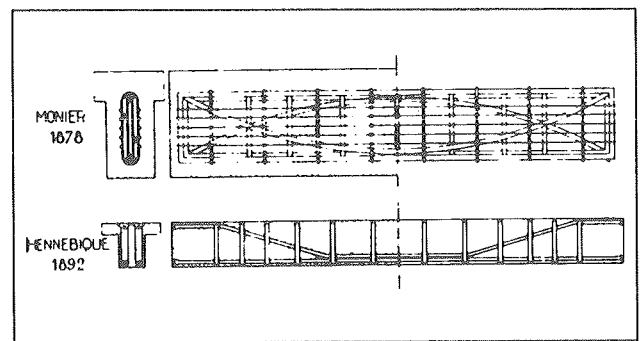


Fig. 6. Schemi della disposizione delle armature nelle prime travi in c.a.

Accanto agli ideatori ed ai teorici un merito particolare va dato ai primi grandi realizzatori che con le loro opere favorirono l'affermazione del c.a. come il materiale della nostra epoca, capace di soddisfare le più ardite esigenze dei progettisti. Ricordiamo tra questi realizzatori lo svizzero Maillard ed il francese

Hennebique: ambedue seppero costruire delle opere che ancora oggi conservano la piena funzionalità e destano ammirazione per arditezza ed eleganza.

In particolare Hennebique emerge per intuizione e genialità: basti confrontare (fig. 6) la sua moderna trave con staffe e ferri piegati del 1892 con quella di Monier del 1878 ed il ponte ad arco ferroviario a Esternay (Marna) del 1897 di 15 m di luce (fig. 7) con le modeste applicazioni fino allora eseguite.

Vediamo alla fine del secolo diciannovesimo le ultime strutture di Hennebique e vediamo inoltre come il c.a. segua a forte distanza i profili a freddo, tratti da lamiera, strutturando l'acciaio.

Le grandi possibilità del nuovo mezzo consentono nuove strutture e forme con elementi a volte celati, con il criterio di nascondere ciò che non era statico.

Con l'evoluzione del gusto gli aspetti statici delle strutture vengono così resi visibili ed anzi esaltati attraverso ardite soluzioni come mostrato in fig. 8.

Di qui l'applicazione del cemento armato di cui veniva anche ipotizzato, grosso modo, il comportamento a taglio del graticcio del conglomerato armato, attraverso studi in tutto il mondo fra i quali si citano, in Italia, quelli di Guidi, Albenga, Dei Poli.

Gli studiosi che si erano impadroniti del funzionamento specifico del ferro e del conglomerato si preoccuparono di non poter fare lavorare il ferro oltre i limiti consentiti dal suo allungamento e cioè dalla fessurazione del calcestruzzo, cosicché suc-

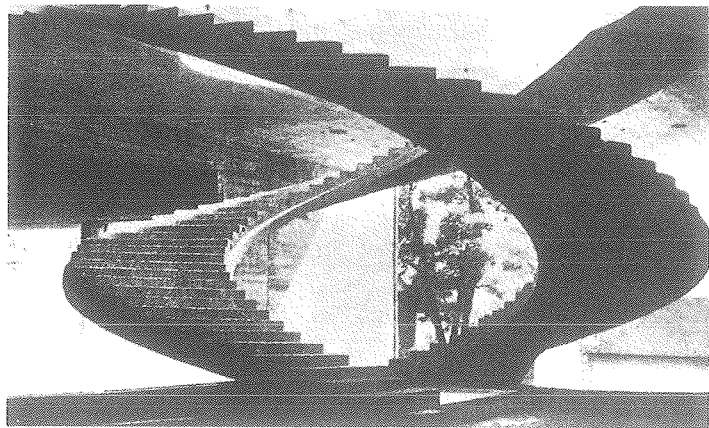


Fig. 8. Scala moderna vincolata alle estremità, senza appoggi intermedi.

cessivamente venne in mente di operare in parte l'allungamento dell'acciaio ponendolo localmente in trazione rispetto al conglomerato.

In Italia il cemento armato ebbe uno sviluppo agli inizi molto lento; verso la metà dell'800 era ancora sconosciuto; il calcestruzzo veniva consigliato per la costruzione di fondazioni, opere idrauliche o massi artificiali.

Ma verso la fine del secolo apparvero le prime edilizie pubbliche su strutture in c.a., quale ad es. il Palazzo delle Assicurazioni di Milano, appaltato nel 1898.

Forse ci siamo lasciati prendere dal desiderio di parlare dello sviluppo dell'edilizia nell'antichità mentre dobbiamo ritornare alle origini del protagonista principale del nostro argomento: allo sviluppo in Italia del cemento e dobbiamo ricordare che questo è avvenuto alla fine del secolo scorso, e precisamente nel 1872 a Casale Monferrato, ad opera di alcuni pionieri.

L'industria italiana è stata all'avanguardia razionalizzando ed automatizzando i mezzi di produzione con l'adozione di forni statici.

Nei grandi forni rotanti attuali, i materiali vengono macinati



Fig. 9. Palazzo delle Assicurazioni a Milano (1898).

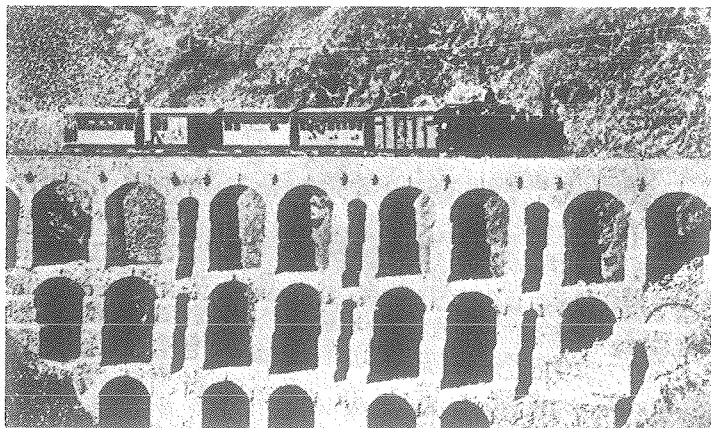


Fig. 10. Viadotto in muratura di mattoni, delle ferrovie indiane.

finemente e passati a varie fasi di cottura per cui si giunge al clinker, che costituisce la base dei vari cementi.

Il viadotto della fig. 10 viene qui ricordato quale esempio classico delle costruzioni in mattoni e cemento (ferrovie indiane).

Siamo alla fine del secolo scorso e troviamo le grandi opere nelle esposizioni di Londra e Parigi. Anche in Italia possiamo ricordare, a Milano, la galleria Vittorio Emanuele (1867) ed a Napoli la galleria Umberto 1° (1892).

Si vede in tale epoca il diffondersi in Italia delle prime realizzazioni di solai, travi e pilastri a cui fa seguito lo sviluppo delle teorie dei metodi di calcolo vincolati in Italia dalla prima normativa del 1906 e da una circolare ministeriale del 1907 alla cui redazione collaborò attivamente una Commissione presieduta da Camillo Guidi. Epoca in cui si vede il diffondersi dei sistemi brevettati contemporaneamente allo sviluppo delle teorie e dei metodi di calcolo.

Si impone all'epoca (1892) la figura di Hennebique la cui notorietà è legata all'omonimo sistema basato su un razionale posizionamento del ferro nel conglomerato (come già mostrato in fig. 6).



Fig. 11. François Hennebique.

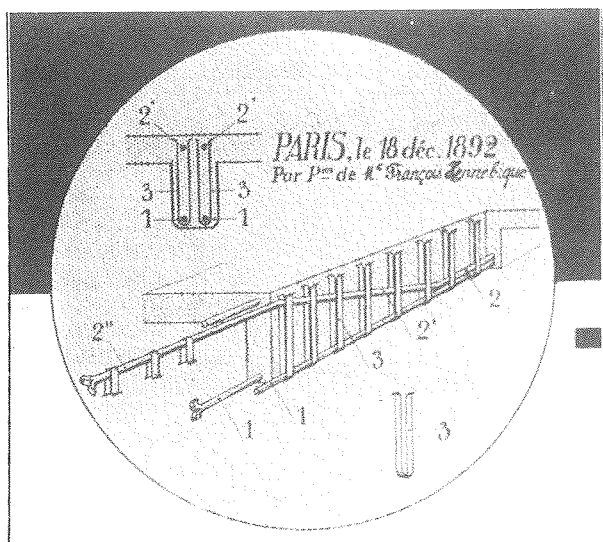


Fig. 12. Trave in c.a. con staffe e ferri piegati, brevetto sistema Hennebique 1882.

La fig. 12 mostra il primo disegno pubblicitario del 1892 di disposizione dell'armatura in una trave con ferri piegati e staffe.

Hennebique organizzò anche congressi specifici sul cemento armato ed ebbe 42 agenti.

Basti ricordare che nel 1900 progettò nel suo studio 1229 opere e già nel 1894, il primo ponte ferroviario in Svizzera.



Fig. 14. Solaio in c.a. e pilastri in ghisa.

Società Porcheddu Ing. G. A.

Costruzioni in Calcestruzzo armato
sistema HENNEBIQUE ed altre

Anonima per Azioni - Capitale L. 4.000.000
Sede in TORINO, Corso Valentino, 20

— GENOVA, Via Madaloni, 4 — MILANO, Via M. Ussita, 83 — ROMA, P. Colonna, 355 —

I più moderni - pratici - economici procedimenti nell'arte della costruzione

Sistema HENNEBIQUE. — Il primo ed unico sistema che ha reso pratica l'applicazione alla grande costruzione del calcestruzzo armato — Il più semplice, il più agevole e il più indicato sotto ogni rapporto per la soluzione di qualunque problema di costruzioni civili, industriali, stradali, idrauliche.

==== FONTE DEL RISORGIMENTO IN TERRE DI ROMA ====

Messa in luce nel 1892. È la prima ed è la più grande ed alta delle ponti.

GRANDS PRIX
conseguiti dal sistema HENNEBIQUE

- Parigi 1900
- Basel 1902
- Liegi 1905
- Milano 1906
- Londra 1908
- Terico 1911

Ferri speciali brevetto Porcheddu
Profilati con punte per costruzioni in cemento armato: massima aderenza di l'armatura con il calcestruzzo.

Fondazioni brevetto Compressol
Costruzioni in terreni deboli mediante piloni di calcestruzzo armato: ancoramento formato e stabilizzato dal suolo.

Pavimentazioni brevetto Porcheddu
Pastiglie composte di cemento, calcestruzzo, casafite ed amianto per carreggiate e marciapiedi: stradaie, per terrazze e pavimentazioni interne.

ESPOSIZIONE INTERNAZIONALE DI TORINO 1911

GRAN PREMIO per le costruzioni Hennebique.
GRAN PREMIO per le pavimentazioni Porcheddu.
GRAN PREMIO per i profilati speciali Porcheddu.

o o o Informazioni, Progetti, Preventivi a richiesta o o o

Nelle richieste allo Dittore si prega di menzionare sempre IL CEMENTO.

Fig. 13. Manifesto della prima Società Italiana di progettazione ed esecuzione di opere in c.a.

Il sistema Hennebique giunse in Italia e venne aperto a Torino lo studio Ferrero e Porcheddu che nel 1896 assunse l'intestazione «Ing. Giovanni Antonio Porcheddu - sistema Hennebique» della fig. 13 in cui è raffigurato il ponte del Risorgimento, cui fecero seguito numerosi altri studi-filiali sparsi per l'Italia.

La fig. 14 mostra i primi solai di travi e solette che venivano prevalentemente sorretti da montanti in ghisa.

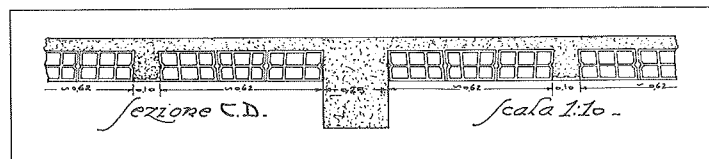


Fig. 16. Solai tipo in c.a. e laterizi.

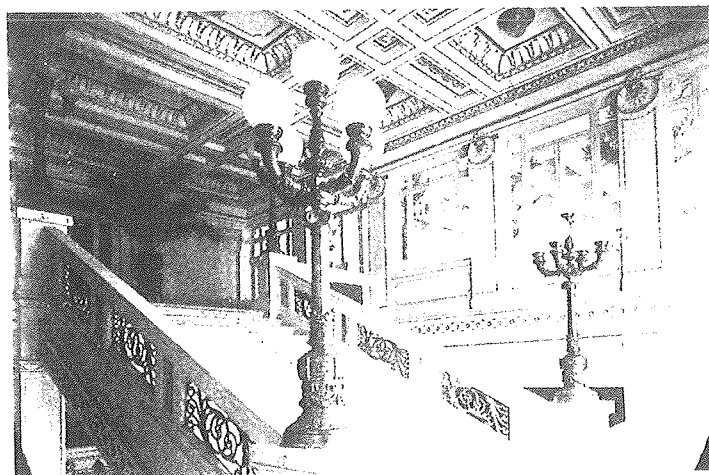


Fig. 15. Teatro Apollo in Roma.

Nella fig. 15 si vedono le scale con solai a nervature incrociate del Teatro Apollo a Roma.

Nella fig. 16 sono rappresentati solai tipo con laterizi posti sul mercato dal 1918.

3. I ponti

Nei volumi di Camillo Guidi e di Giuseppe Albenga, come molto prima su quelli di Leon Battista Alberti e di Andrea Palladio, cui fece seguito nel 1810 il primo vero trattato sui ponti di Luigi Navier, si trova la storia dei Ponti dalla muratura al c.a.p..

I primi ponti arco-mattoni furono quelli delle Ferrovie dello Stato, a volte a tutto sesto, dati in tipi fino a 12 m.

Tipi standard per ponti stradali in c.a. per luci da 3 a 15 m vennero forniti (1940) dal Servizio Tecnico Centrale del Ministero dei LL.PP. (Cestelli Guidi).

Numerosi sono gli scritti su quello che è stato uno dei maggiori problemi che interessava i progettisti dei ponti nei corsi d'acqua: i rigurgiti provocati dai ponti, argomento che perse di interesse con le grandi luci dei ponti in c.a.

L'intento di conferire un'aspetto intellettualmente felice al ponte, che appare in tutti i tempi dall'epoca romana, al medioevo, fino all'epoca attuale, è sempre appariscente anche se l'aspetto non corrisponde alla principale attuale mira dell'ingegneria bensì ad un ideale di bellezza ed alla sua ambientazione nel paesaggio.

Naturalmente dobbiamo sorvolare sui ponti in muratura e soffermarci su quelli in c.a. dei quali nel 1875 sono noti i ponti sistema Monier, concepiti con il criterio specifico che alla funzione statica non collaborasse il conglomerato, il quale aveva solo effetto estetico ossia fosse solo un rivestimento della intelaiatura in acciaio nella quale apparivano ferri piegati e staffe, senza intuire l'immenso campo di affermazione, della più chiara visione che ebbero i tedeschi (Wayss e Freytag) e che fu ben superata da Hennebique.

Si ebbero varie applicazioni in cui appariva la struttura del telaio, come nel noto ponte obliquo (fig. 17) del Colombaro sulla Dora, del 1908, la cui disposizione dell'armatura mostra unicamente i tentativi di una buona collaborazione acciaio-calcestruzzo ed i favorevoli risultati ci fanno andare con il pensiero al felice esito delle più recenti strutture in ferro cemento di Nervi.

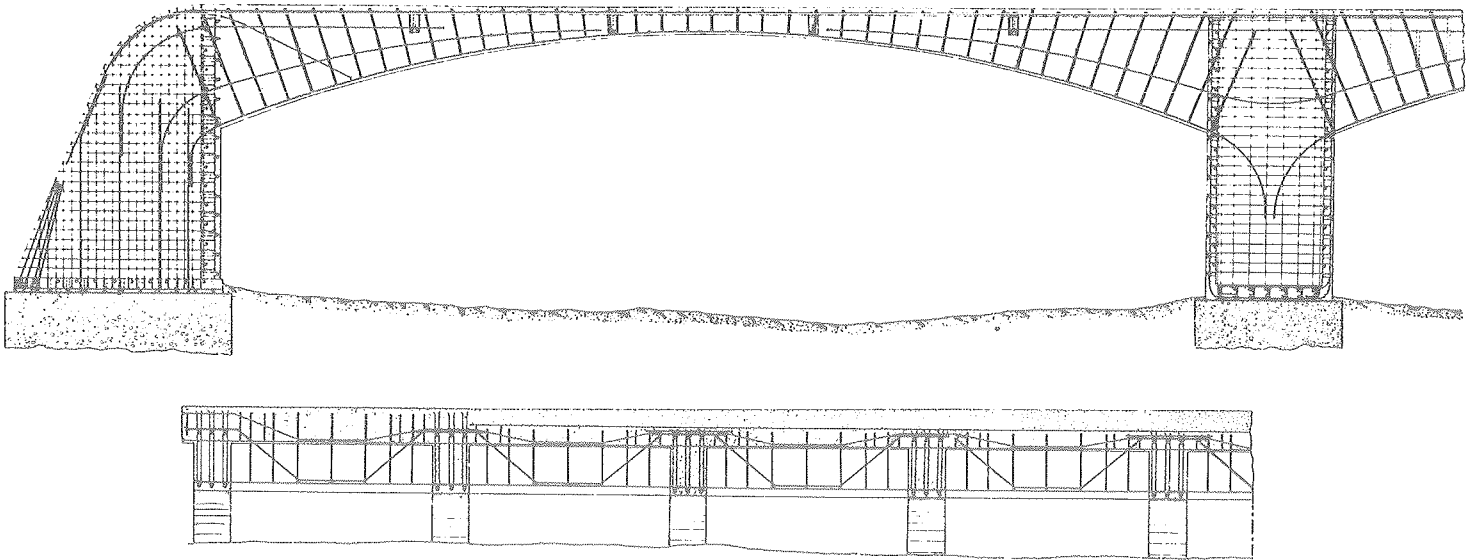


Fig. 17. Ponte del Colombaro (1908).

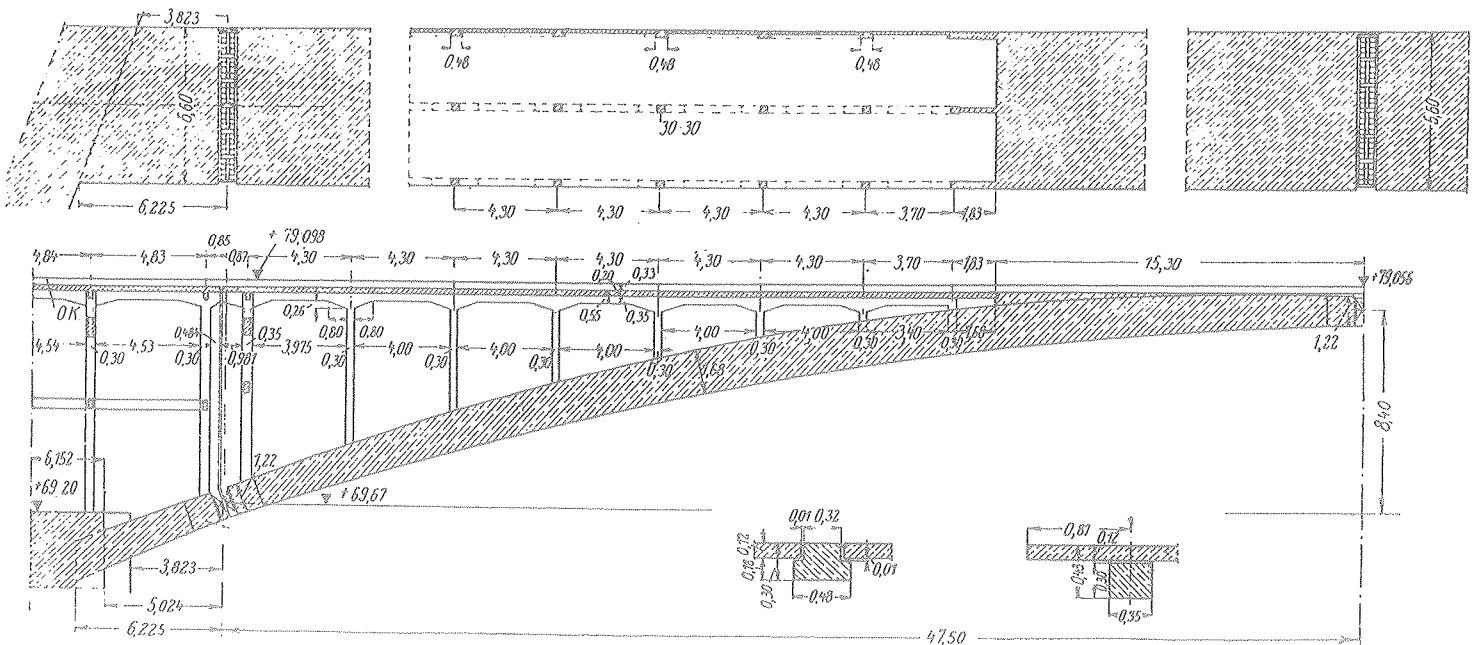


Fig. 18. Ponte sulla Mosella.

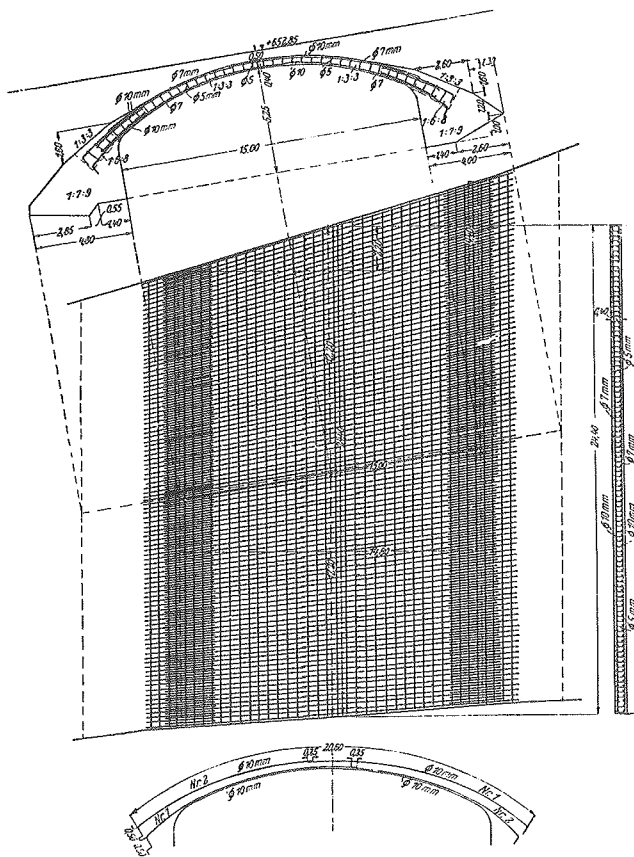


Fig. 19. Ponte di Falkenstein.

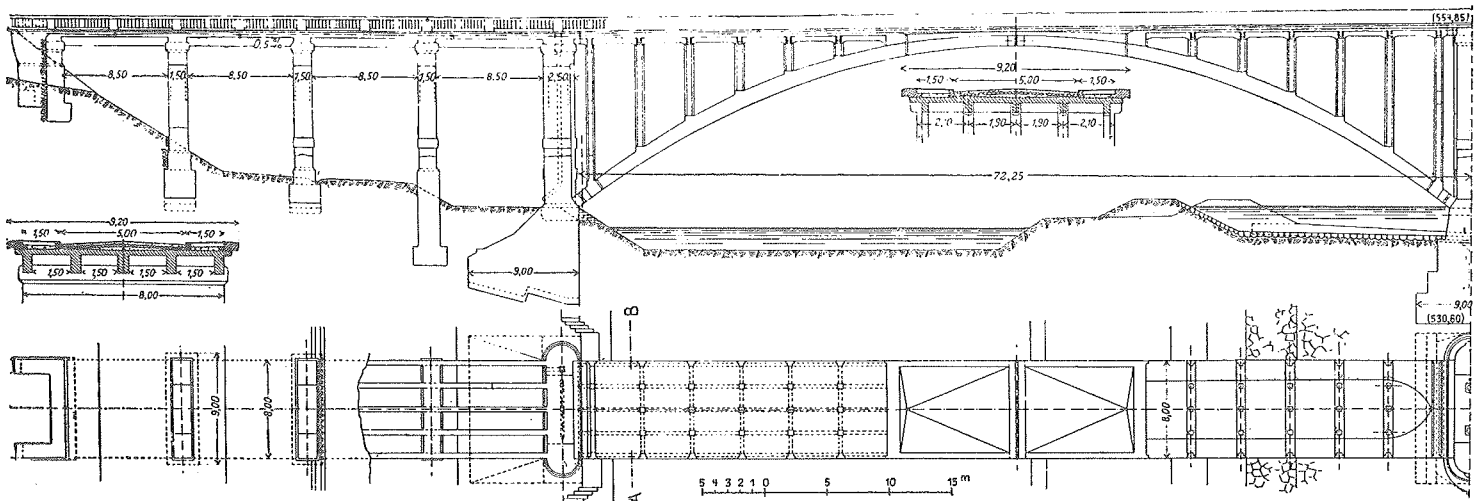


Fig. 20 Ponte di Grunwald (Mörsch) distrutto durante la guerra e ricostruito nel 1945.

Vari schemi di ponti vennero suggeriti secondo profili di uguale resistenza (Moeller 1894) e secondo disposizioni proposte da Hennebique.

Altro tipico ponte che si inserisce nel periodo storico è quello sulla Mosella, di volte a 3 cerniere. Le volte risultano scarsamente armate salvo in corrispondenza delle cerniere.

Contemporaneamente altri ponti, ma in muratura, ebbero la volta nervata, per quanto si ritornasse alla volta continua massiccia con rin fianchi e timpani pieni, classica dei ponti murari, ad esempio il ponte di Falkenstein (fig. 19) con la solita armatura Monier.

Fra i primi ponti va segnalato il ponte di Grunwald, di due arcate, di 70 m di luce con le cerniere al vertice ed all'imposta progettati da Mörsch nel 1903, distrutto dalle azioni belliche al-

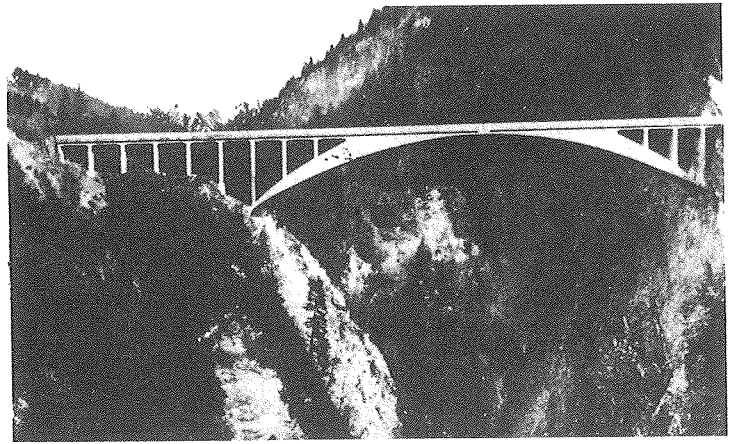


Fig. 21. Ponte sulla gola del Salgina costruito nel 1929 su progetto di R. Maillart.

la fine del 1945 e successivamente ricostruito con le stesse linee generali.

Voglio solo ricordare qui la più ardita opera del suo tempo (1929): il ponte ad arco sul Salgina in Svizzera, di 80 m di luce e 13 di freccia, progettato da Maillart, che fu il prototipo di un ponte trave-arco, sovente adottato in Svizzera in varie eleganti soluzioni di attraversamento di forre.

3.1. Il ponte del Risorgimento a Roma

Siamo al principio del secolo (1910) e veniva predisposto l'accesso all'Esposizione Universale di Roma, sita nel quartiere Pra-

ti, attraversando il Tevere con un'opera che avrebbe fatto epoca nella storia della costruzione dei ponti e del c.a. in genere.

Quest'opera è la più notevole progettata da Hennebique: una arcata di 100 m di luce e 10 m di freccia.

Il ponte ad arcata fortemente ribassata, si presentò come la più ardita costruzione dell'epoca, suscitando l'ammirazione di molti e specialmente degli strutturisti.

Il ponte è costituito da un cassone vuoto largo 20 m, con solettone di intradosso di spessore variabile da 20 cm in chiave a 50 cm alle imposte, munito di setti longitudinali e travetti intermedi di lunghezza limitata nella zona prossima al vertice.

Il ponte del Risorgimento è difficilmente inquadrabile in uno schema classico di calcolo potendo essere considerato come

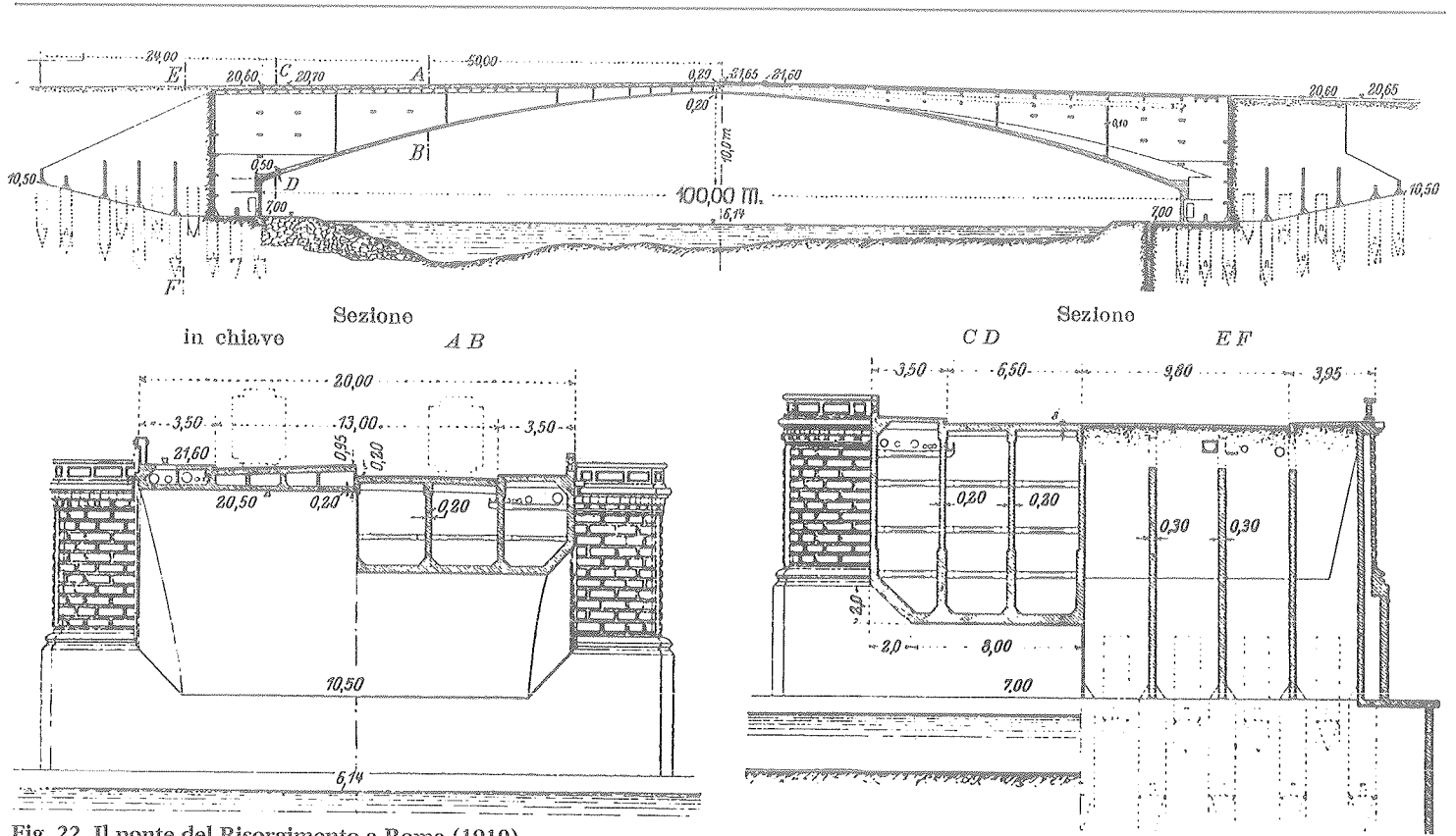


Fig. 22. Il ponte del Risorgimento a Roma (1910).

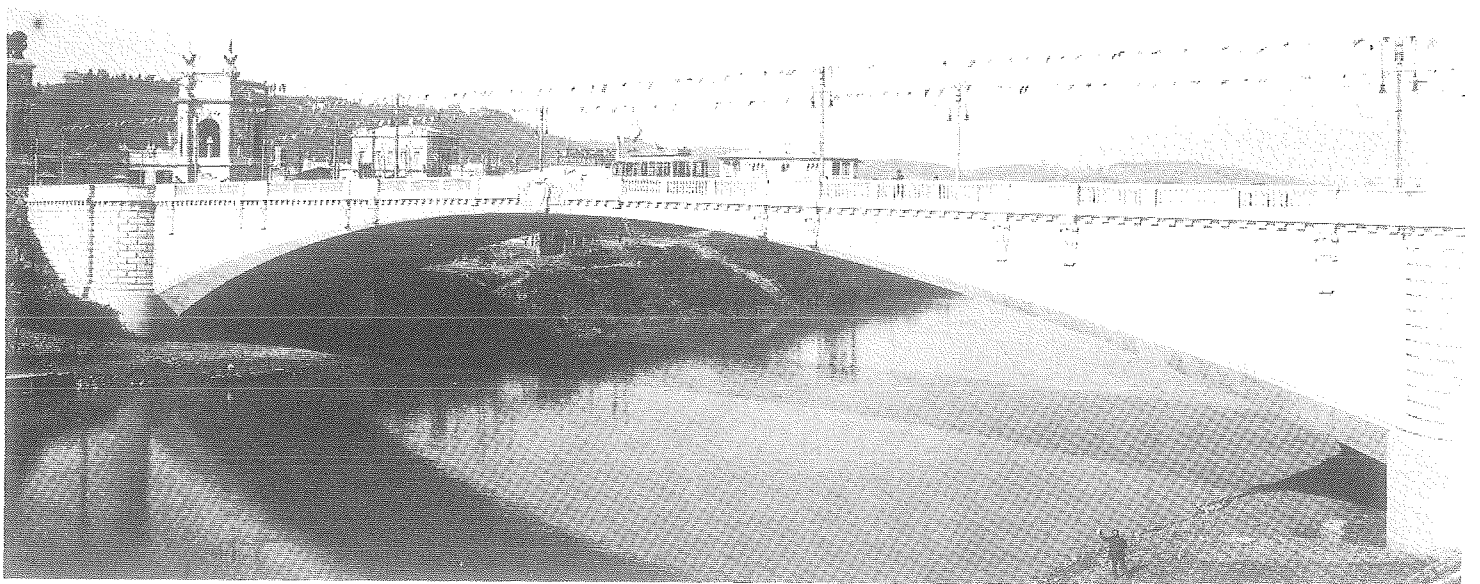


Fig. 23. Il ponte del Risorgimento alla sua inaugurazione (1910).

una grande arcata unica ovvero una travata, od anche due mensole a sbalzo da estese fondazioni.

Pur essendo teoricamente impedita la rotazione e traslazione delle sue spalle per la presenza di palificate, se ne può ipotizzare una lieve, ma di entità incognita, rotazione e traslazione stagionale, periodica, relativa fra le due spalle, come pure la struttura può respirare per la presenza di diffuse lesioni di piccola ampiezza nei setti longitudinali. Ne deriva un funzionamento di un complesso staticamente imprecisabile a vincoli cedevoli sul quale i vari studiosi, in epoche successive, hanno tentato di impostare schemi di calcolo attendibili.

Il ponte fu collaudato da una Commissione presieduta da Camillo Guidi e, fra l'altro, alla inaugurazione venne sottoposto al passaggio ripetuto di uno squadrone di militari battenti il passo.

Successivamente, appositi controlli eseguiti intorno agli anni

sessanta da una Commissione della scuola Giannelli di cui faceva parte Benini, mediante il passaggio ripetuto sul ponte di pesanti rulli compressori, confermarono un soddisfacente comportamento statico dell'opera. Non vennero rilevati segni di stanchezza, confermando ancora una volta, la rispondenza alle azioni esterne di un conglomerato debolmente - ma diffusamente - armato.

I Commissari calatis da una botola nell'interno del ponte predisponerono riprese di zone ammalorate del calcestruzzo con riparazione di alcune armature affioranti, oltre a risarcire con traversini superficiali le lesioni delle pareti longitudinali. Queste lesioni per il loro andamento in prossimità delle spalle lasciano presumere l'intervento di azioni taglianti, fenomeno che ha fatto riflettere Krall sulla disposizione di ferri piegati nei setti del successivo ponte d'Africa (come si vede nella fig. 24).

Venne anche disposto il rifacimento della soletta della

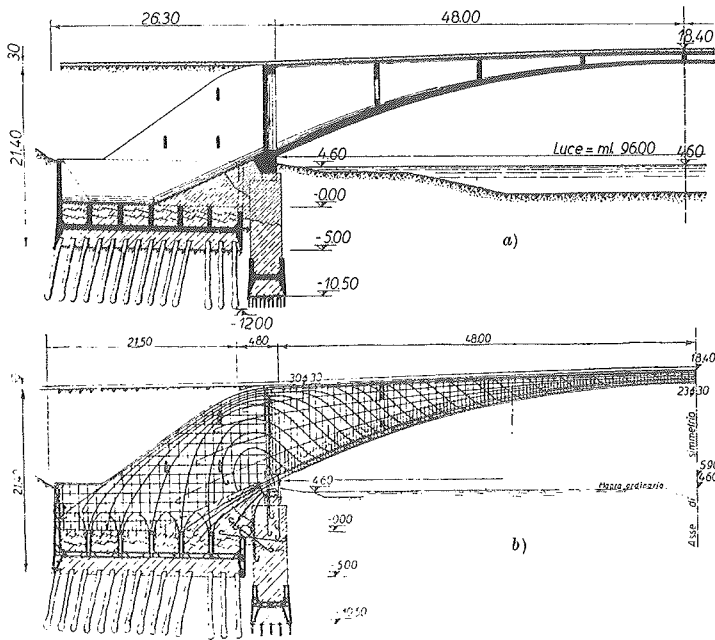


Fig. 24. Ponte d'Africa (G. Krall).

Fig. 26. Aviorimessa per l'aeronautica militare ad Orbetello: vista d'insieme della struttura portante ad elementi reticolari prefabbricati (Ferro Cementato). Progetto: Pier Luigi Nervi - Anno di costruzione: 1939-41.

carreggiata deteriorata fra l'altro dalla applicazione di linee tramviarie.

Opera peraltro ribelle alla verifica teorica di uno schema presunto elastico della struttura indubbiamente alterata dalle diverse fasi avventurose della sua vita.

Certamente Hennebique facendo disarmare anzitempo l'opera le ha concesso la massima libertà di raggiungere un assetto favorevole alle esigenze statiche locali di un conglomerato che poteva deformarsi sulla maglia della diffusa armatura adattandosi, fra l'altro, alle esigenze stagionali.

In complesso si può asserire che il ponte del Risorgimento è senz'altro la più interessante opera realizzata prima che esistessero norme e codici sul c.a. e se ne deve il felice esito proprio all'ampia libertà di cui godevano i progettisti all'inizio del secolo.

L'opera così leggera anche se rigida, subisce infatti apprezzabili deformazioni stagionali e si può ritenere che queste si sfoghino in gran parte anche su spostamenti delle testate delle palificate tipo Compressol immerse nella loro parte superiore in una stratificazione di terreno scadente.

È il caso di rilevare che i due ponti più recenti, pure a luce unica, costruiti sul Tevere, dai noti progettisti Krall e Martinelli, che si avvalsero della esperienza del ponte del Risorgimento, si comportano ottimamente ma con caratteristiche statiche e deformabilità completamente diverse in quanto fortemente armati e con rigide fondazioni.

Riflettendo sulle caratteristiche di quest'opera eccezionale, il ponte del Risorgimento, ed applicando ad esso gli sviluppi di calcolo delle varie ipotesi sia dell'arco elastico sia della trave a sezione variabile, si giunge a diverse conclusioni poiché tali ipotesi seguono i postulati non rispettati delle teorie delle strutture.

Il ponte del Risorgimento è qualcosa di imprecisabile in termini qualitativi ma definibile quale prodotto della grande genialità di un tecnico dotato di eccezionale sensibilità.

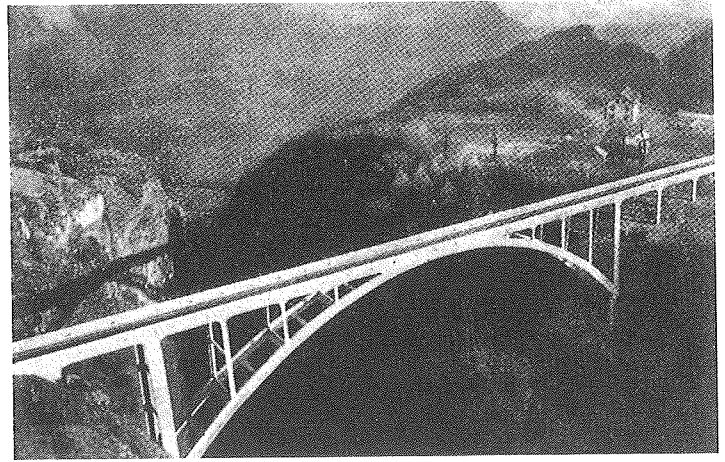
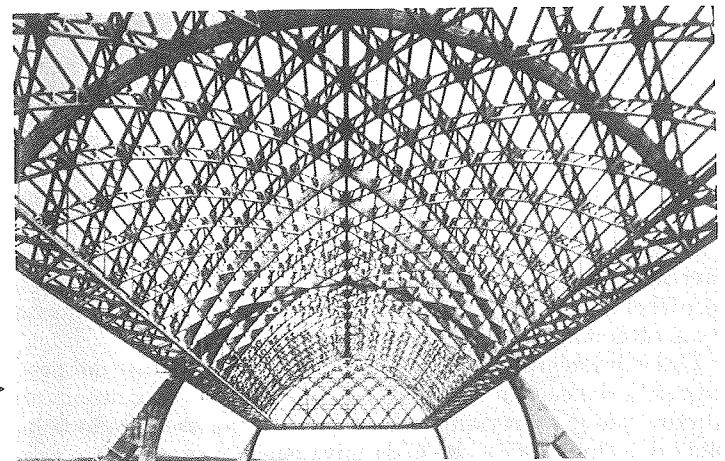


Fig. 25.



Sta di fatto che sagge sagomature dei diagrammi trasversali, un disarmo precoce e fondazioni non rigide sono tutti fattori in favore del comportamento di quest'opera che si comporta soddisfacentemente pur avvicinandosi al compimento del secolo di vita.

Purtuttavia, terminando la storia del ponte del Risorgimento con giustificato entusiasmo è prudente concludere che nonostante l'eccezionale suo felice comportamento appare consigliabile sia per l'età che per il traffico sempre più intenso sul ponte, di non trascurare la sua sorveglianza ma anzi proseguirla più attentamente che per il passato.

Successivamente al ponte del Risorgimento sono stati costruiti molti ponti in c.a. di caratteristiche completamente diverse. Con lo sviluppo delle strade, tali ponti ad arco assolvono specialmente il compito di superare le vallate avvicinando luoghi impervi.

Ecco ad esempio uno dei bellissimi ponti tipici costruiti in Svizzera nel 1932 (fig. 25) con caratteristiche analoghe a quelle del ponte sul Salgina della fig. 21.

Per completare il cenno storico sulla evoluzione del c.a. nei vari settori della tecnica edilizia occorre soffermarsi su una particolare tecnologia. La tecnologia sviluppata da Pier Luigi Nervi e da lui battezzata «ferro cementato», già ricordata in alcuni punti di questa relazione e di cui nella fig. 26 viene rappresentata una delle prime applicazioni significative: l'elegante struttura della aviorimessa di Orbetello completata nel 1940 e poi distrutta da eventi bellici.

Questo è naturalmente solo un aspetto della molteplice attività svolta da Nervi nella progettazione di opere di c.a. uomo di straordinarie facoltà creative che sapeva intuire con acume gli aspetti della statica delle strutture anche al di fuori di ogni verifica analitica. Di Nervi va ricordata anche la sua signorile modestia.

4. La precompressione

Iniziando a parlare della seconda fase di sviluppo della convivenza calcestruzzo-acciaio, ricordo, con una certa nostalgia, la riunione su questa nuova tecnologia tenuta a Londra nel 1953 alla quale fece immediato seguito un congresso a Roma dell'A.N.I.C.A.P. in cui Levi riferì ampiamente su alcuni acciai per c.a.p. ed io stesso sui risultati di esperienze di travi in c.a.p. svolte nel periodo di 7 anni per misurare le leggi di caduta nel tempo di tensione e deformazione.

Ricordo che ebbi l'onore di eseguire alcuni controlli delle travi alla presenza del prof. Colonnetti, appositamente intervenuto.

Di analoghe prove, dinamiche, venne riferito da Gentiloni, Silverj e Benini che nella Facoltà di Ingegneria di Roma avevano sottoposto strutture ad azioni oscillanti.

Macchi portò anch'egli un contributo con la interpretazione dei risultati di prove da lui eseguite.

Giangreco parlò degli studi sulle strutture scatolari precompresse indicando un originale procedimento di calcolo.

Sambito fornì preziosi indirizzi sulla costruzione di dieci grandi silos per cemento.

È stato sempre vivo nelle riunioni anche l'interesse al comportamento delle strutture iperstatiche precompresse trattate nelle ricerche di Pozzati e Franciosi e nello studio di Giangreco sulle volte sottili precompresse.

Parlare in poche righe della nascita e dell'inserimento della precompressione nel c.a. non è cosa facile poiché trattasi di più tecniche: la nozione di precompressione comporta essa stessa modi diversi di interpretazione ed applicazione.

L'idea di integrare nel c.a. le forze elastiche prodotte dal peso proprio e dai carichi applicati, con apposite azioni permanenti interne, venne a Freyssinet per la prima volta ascoltando le lezioni di Rabut (1903), che le definiva tensioni spontanee o provocate dalle casseforme.

Così sorse l'idea di creazione di reazioni elastiche ottenute attraverso la messa in tensione preventiva di armature che, unitamente a quelle prodotte dai carichi, combinandosi con esse, dessero in ogni punto sollecitazioni ammissibili dei materiali.

L'idea peraltro non era nuova. Considerare l'aveva già applicata per ancorare barre nella muratura di pietra ed analoghe realizzazioni furono ottenute da Rabut in opere particolari.

Verso il 1906 (mio anno di nascita) Freyssinet era già ricorso ad un tirante preteso per realizzare il collegamento delle due spalle di un arco di 50 m.

Lo studio delle deformazioni di questo arco rilevò l'esistenza di una deformazione differita del calcestruzzo, fenomeno allora sconosciuto e negato. All'epoca erano sconosciute anche le deformazioni permanenti provocate nel calcestruzzo e nel 1926 Freyssinet segnalò delle apposite norme al riguardo.

Da Limousin venne rilevato l'errore in cui erano caduti gli anglosassoni e cioè di dare il nome di fluage a delle deformazioni del conglomerato che sono in realtà deformazioni elastiche e reversibili.

Nel 1928 però Freyssinet si rese conto della conservazione nel calcestruzzo delle compressioni provocate per tentare la realizzazione industriale della loro sostituzione sistematica all'azione elastica delle armature nel c.a.

Dopo il deposito del brevetto e vari tentativi di applicazione pubblicò le sue idee ed i suoi risultati mentre compariva per la prima volta la parola «*précontrainte*» sulla rivista *Travaux* (1933), tradotta poi inesattamente in italiano con il termine «*precompresso*». Dopo di ciò lo sviluppo e la diffusione dell'idea.

All'inizio del 20° secolo vari studiosi seguirono l'idea errata che nel c.a. la resistenza a compressione riguardasse unicamente il calcestruzzo e quella a trazione l'armatura.

Evidentemente è invece impossibile ogni variazione della tensione dell'armatura senza farne variare la lunghezza e ad ogni variazione di lunghezza dell'armatura corrisponde vibrazione di deformazione e quindi del limite di rottura del conglomerato.

In una associazione calcestruzzo-acciaio è inizialmente soprattutto il calcestruzzo a sopportare lo sforzo di trazione poiché è il calcestruzzo deformato preliminarmente a compressione che fornisce trazione all'acciaio.

Le forze di precompressione sono forze create dal costruttore per realizzare sollecitazioni antecedenti a quelle prodotte dai carichi.

Secondo Freyssinet tutte le costruzioni possono essere divise in due categorie. Prendiamo, ad esempio, una trave. Se si avvicinano le estremità con un martinetto si varia la ripartizione delle sollecitazioni aggiungendo un momento proporzionale a quello del martinetto stesso. Se si impone alla trave anche un sovraccarico P le sollecitazioni create sono costanti nel tempo purché non venga superato il limite elastico.

Per il fatto che le sollecitazioni non superano il limite elastico la struttura resta in un *primo stadio*.

Consideriamo quindi un arco con curva delle pressioni ovunque entro il nocciolo. Se carichiamo l'arco di una forza P tale che il poligono non lasci il nocciolo, si provocheranno sollecitazioni proporzionali a tale carico.

Cessa però la proporzionalità se la forza P porta la curva fuori del nocciolo in quanto nascono sollecitazioni fino ad arrivare a rottura poiché uscite dal nocciolo centrale le tensioni non sono più proporzionali al carico applicato.

Per il fatto che le sollecitazioni superano il limite elastico, ossia il beton tende a fessurarsi, si va nel *secondo stadio* in quanto le tensioni crescono più che proporzionalmente ai carichi.

Questa suddivisione in elementi nel primo o secondo stadio è essenziale per lo studio della struttura poiché le costruzioni in calcestruzzo che tendono a fessurarsi stanno nella seconda categoria in quanto le sollecitazioni crescono più che proporzionalmente ai carichi.

Si possono far scomparire le zone inutili delle sezioni con un sistema conveniente di predeformazione cosicché l'opera passa dal secondo al primo stadio.

Di conseguenza il dominio utile della precompressione è definito e, costruzioni con resistenza locale a trazione nulla, possono con la predeformazione far passare l'opera nel primo stadio.

Quindi siamo condotti a porre la costruzione in una delle due categorie a seconda degli effetti delle predeformazioni che possono essere imposte.

Eseguita una costruzione del primo stadio, una qualsiasi predeformazione non cambia nulla agli effetti del sovraccarico ma, bensì piccola, varierà la ripartizione delle sollecitazioni proporzionalmente alla sua grandezza ed indipendentemente dai carichi. Ad esempio l'abbassamento di un appoggio in una trave continua.

Applicata ad una costruzione del secondo stadio, una predeformazione dà luogo ad effetti essenziali dipendenti da altri carichi o deformazioni e quindi è difficile da prevedere ed utilizzare. Ma si possono definire sistemi di predeformazione capaci di realizzare un rapporto costante delle sollecitazioni ai sovraccarichi entro certi limiti.

Questo effetto non si può ottenere altro che se in ogni punto della costruzione la somma delle sollecitazioni dovute a queste deformazioni è compresa entro limiti di sollecitazione che il materiale può sopportare elasticamente.

Esiste quindi differenza fra i termini deformazione e precompressione. Applicata ad una costruzione del primo stadio, una predeformazione modifica il valore iniziale delle tensioni proporzionalmente al proprio valore e non ha effetto sull'azione dei sovraccarichi.

È precompressione solo per costruzioni del secondo stadio.

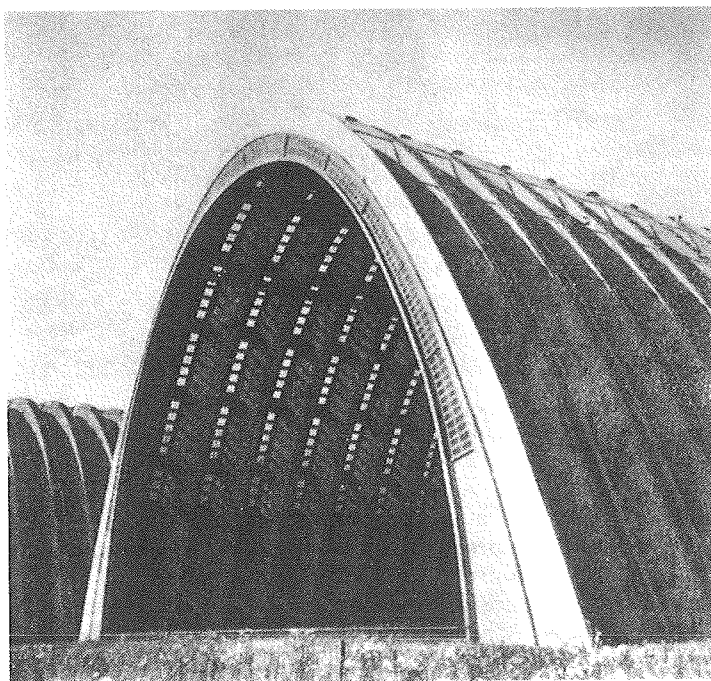
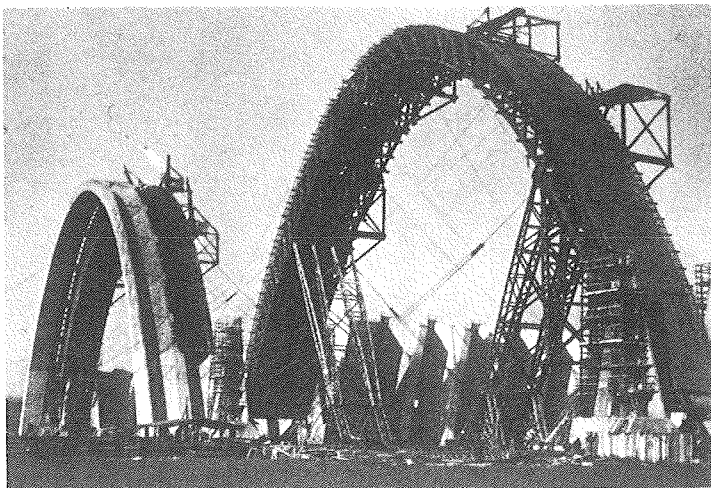


Fig. 27. Hangar per dirigibili a Orly - 1917 (Freyssinet). Volta a sezione ondulata normalmente resistente all'imbozzamento composta di archi cavi in fila legati da barre di ferro. Luce 70 m - altezza 50 m.

Freyssinet dice che la precompressione non è una tecnica, ma un insieme di tecniche: è lo stato d'animo del costruttore, e che quando un costruttore si è elevato una volta a questo livello, perfezionando una costruzione nello spirito della precompressione, non può più tornare alle sue abitudini precedenti senza provare un senso di avvilitamento.

Considerazioni che peraltro erano state già svolte a proposito della nascita del cemento armato.

5. La normativa

Il primo regolamento ufficiale sull'impiego del c.a.p. in Italia risale al 1947 con un testo redatto da un apposita Commissione dei LL.PP., successivamente aggiornato dal Ministero stesso nel 1960, che limitava a prudenziali valori i tassi di esercizio dei materiali.

Tale normativa aveva il pregio di una giustificata prudenza pur cercando di evitare di imporre impedimenti alla inventiva



Fig. 28. Eugène Freyssinet

dei progettisti. È il caso di ricordare che per un certo periodo un intralcio allo sviluppo del c.a.p. fu provocato da una apposita commissione di consulenti del Consiglio Superiore dei LL.PP. che ritardò, frequentemente senza fondate ragioni, l'affermazione in Italia delle opere in c.a.p. mediante una revisione complessa e sofferta per l'approvazione dei progetti stessi.

Alla fine del '61 in Italia risultavano eseguite, o in corso, già 700 opere in c.a. precompresso.

A questo punto della storia del c.a. e c.a.p. debbo soffermarmi su delle iniziative che vennero prese in Europa e che influirono sullo sviluppo delle nuove tecnologie: sul c.a. ed in particolare sul precompresso.

Mi riferisco all'apporto dato da due Associazioni: il C.E.B. (Comité Européen du Béton, poi divenuto Comité Euro-International du Béton), fondato nel 1953 dal costruttore francese Balency Béarn ed affermatosi sotto la presidenza di Franco Levi e per opera del coordinatore Yves Saillard, e la seconda, la F.I.P. (Fédération Internationale de la Précontrainte) presieduta da Yves Guyon (autore di pregevoli volumi sul c.a.p.).

Queste due Associazioni che raccoglievano tutti gli studiosi ed industriali del c.a. e c.a.p., in occasione di un Congresso tenuto a Roma ed a Napoli nel 1962 crearono, per iniziativa dei due presidenti Y. Guyon e F. Levi, un comitato misto F.I.P. - C.E.B. che coordinasse i lavori di queste due associazioni affini per identità di intenti.

Il Comitato misto in questione doveva perseguire l'intento di coordinare gli studi e le norme relative a queste due tecnologie - c.a. e c.a.p. - per giungere ad una unica normativa nei due settori. La armonizzazione dei lavori di questo complesso di studiosi delle due associazioni venne affidata alla presidenza di Cestelli Guidi, cosicché molte riunioni del Comitato stesso ebbero luogo in Italia.

I risultati di una normativa unificata vennero presentati, dopo una riunione tenuta a Losanna, al Congresso sul precompresso organizzato dalla F.I.P. a Parigi nel 1965.

Avevano quindi luogo numerose riunioni del Comitato nelle quali venivano discusse le fasi successive della attività del Comitato stesso commentando e valorizzando i pregi del metodo di progettazione agli stati limite.

Si ebbe così la prima stesura di un unico regolamento che includeva anche le varie categorie di forme intermedie di precompressione e quindi di armature dal c.a. al c.a.p.

Si ebbero contatti con varie associazioni quali la RILEM, l'A.I.P.C., il CECM, il C.I.B.

Ne derivò quindi una unificazione delle raccomandazioni CEB-FIP a seguito di un incontro tenuto a Praga nel 1970 nel quale venne considerata anche la precompressione parziale particolarmente idonea per le zone sismiche, con definizione delle classi.

Infine tutte queste iniziative sono oggi convogliate nella redazione degli Eurocodici i quali sicuramente hanno interesse dal punto di vista tecnico scientifico ma soprattutto assumono valore nei riflessi tecnico-economici internazionali, ampiamente illustrati nelle relazioni svolte recentemente nell'apposito convegno denominato «1992» tenuto a Roma sui problemi dell'integrazione europea per gli ingegneri della sezione civile, di cui riportiamo in sintesi i principali obiettivi degli Eurocodici:

Gli obiettivi degli Eurocodici sono quattro:

— *«favorire il funzionamento del Mercato Comune per il tramite della rimozione degli ostacoli che derivano dalla coesistenza di regolamentazioni diverse;*

— *«fornire regolamentazioni tecniche comuni, in modo da rendere possibile l'applicazione concreta della Direttiva del Consiglio n. 71. 305 sul coordinamento delle procedure per la aggiudicazione dei contratti pubblici;*

— *«rafforzare la competitività della industria delle Costruzioni europea e delle industrie associate nei confronti dei paesi al di fuori della Comunità;*

— *«stabilire una base armonizzata per le regolamentazioni comuni relative ai prodotti delle costruzioni».*

Quindi questioni del tutto al di fuori dei principi tecnico-scientifici trattati negli Eurocodici stessi.

6. Il futuro

Il «futuro» in quanto tale emergerà dalle relazioni che seguiranno

Il «futuro» tuttavia nasce necessariamente dal «passato» e dal «presente» ed è a queste due ultime componenti che mi sono voluto in qualche modo attenere.

Nella mia relazione ho tralasciato di parlare di alcuni nuovi indirizzi della tecnologia del c.a.p. in quanto discutibili e non sufficientemente collaudati.

Mi riferisco in particolare alla precompressione con cavi esterni. Questa tecnologia può presentare alcuni aspetti favorevoli, particolarmente per modalità esecutive ed eventuale sostituzione dei cavi stessi, ma è criticabile sotto vari aspetti.

A mio avviso con i cavi esterni si rinuncia alla monoliticità continua fra conglomerato e cavi, a scapito della resistenza globale in condizioni limite. Inoltre poco sicura appare la soluzione di cavi completamente esterni alla struttura, adottata alcune volte, essendo facilmente soggetta ad azioni di sabotaggio.

Comunque l'argomento verrà sicuramente trattato nel corso delle successive relazioni.

* * *

Ritengo di chiudere questa mia conversazione soffermandomi, sia pur brevemente, su alcune situazioni che ho avuto modo di constatare in questi ultimi tempi di attività professionale e che mi inducono a riflettere sulla longevità delle moderne costruzioni in c.a. e c.a.p.



Fig. 29. Distacco del conglomerato di ricoprimento ed inizio della ossidazione delle armature di un fabbricato in riva al mare.

Intendo riferirmi ad alcune degradazioni di opere in c.a., opere che hanno superato all'incirca i 50 anni di vita ed a volte anche meno se hanno vissuto in ambiente aggressivo.

Mi spiace suscitare delle preoccupazioni nei giovani colleghi ma ritengo di dover accennare, parlando del futuro, ai dannosi effetti riscontrati in opere in c.a. a causa della carbonatazione del calcestruzzo e conseguente corrosione degli acciai che vivono sotto ricoprimenti di calcestruzzo a volte anche consistenti (v. fig. 28).

E debbo aggiungere che nei casi che potrei citare sono garante io stesso di un'ottima esecuzione sia come scelta dei materiali che come modalità esecutive.

A mio avviso quindi nel prossimo futuro sono auspicabili non solo innovazioni della tecnica del c.a. e del c.a.p. ma anche profonde indagini e l'adozione di provvedimenti atti a garantire una migliore convivenza dei due materiali calcestruzzo-acciaio e ciò anche se non possiamo esigere che le moderne costruzioni in c.a. abbiano la stessa longevità delle antiche opere in muratura tramandateci dai romani.

Scusandomi con Voi di questa ramanzina finale lascio ai colleghi più giovani il compito di parlare del «futuro» delle costruzioni.

Grazie della Vostra attenzione

* * *

Al termine di questa conversazione sono state proiettate diapositive delle prime opere in c.a. e quindi di più recenti in c.a. e c.a.p. di progettisti italiani fra i quali: Pier Luigi Nervi, Riccardo Morandi, Silvano Zorzi, Franco Levi, Carlo Cestelli Guidi.

RELAZIONI GENERALI

L'evoluzione delle costruzioni di c.a. e c.a.p.: aspetti progettuali

Relazione Generale: Prof. Ing. Antonio Migliacci

L'evoluzione delle costruzioni di c.a. e c.a.p.: aspetti progettuali

Relazione Generale: Prof. Ing. Antonio Migliacci

1. PREMESSE

Il tema che si è voluto assumere in queste giornate di Spoleto costituisce il naturale proseguimento di uno dei temi assunti nelle precedenti Giornate di Napoli di due anni fa, quello rivolto ai «materiali e tecniche speciali nella realizzazione di opere in c.a. e c.a.p.». Naturale proseguimento ed ampliamento essendo il tema attuale articolato in modo esaustivo in quattro sessioni riguardanti gli aspetti: teorici; progettuali; esecutivi e gestionali; normativi e ambientali.

Mi è stato dato il compito di presentare una Relazione Generale sugli aspetti progettuali. Non posso allora che rivolgere subito un accorato e caldo pensiero al Relatore Generale delle precedenti Giornate di Napoli, il nostro carissimo ed amatissimo prof. ing. Giulio Pizzetti, che in modo invero magistrale ci fece pensare e sognare attraverso la Sua Relazione portandoci per mano lungo il travaglio progettuale degli ingegneri sino alla realizzazione delle grandi opere di c.a. e c.a.p.

Diceva il prof. Pizzetti, ad esempio a proposito di Freyssinet:

«Questo, così celebre per la storia del cemento armato e del precompresso, è il simbolo dell'impazienza creativa che si muove «a tutto rischio» in terreni sconosciuti con un anticipo di decine di anni rispetto al mondo delle applicazioni». L'impazienza creativa è la fertile droga buona che stimola e alimenta l'invenzione del progettista costituendo il nocciolo centrale del momento magico della progettazione. Conoscendo bene il Prof. Pizzetti posso affermare che questo momento magico della progettazione ha sempre rappresentato per Lui la caratteristica degna di maggior rispetto e di attenzione nell'operazione complessa che conduce alla realizzazione di un'opera. Mi è stato dato quindi da svolgere un tema di grande responsabilità, anche perché raccolgo un testimone di staffetta da un Uomo di così grande cultura e fascino quale è stato il Prof. Pizzetti.

Il momento magico della progettazione. Incidentalmente devo dire che ho la fortuna di tenere l'insegnamento universitario di «Progetti di strutture» il cui compito principale è proprio quello di curare l'aspetto progettuale nella realizzazione delle opere strutturali. Nel mio insegnamento l'aspetto progettuale viene visto però in forma per così dire istituzionale, a partire dalle regole di sicurezza sino ad arrivare alle modellazioni strutturali, sia teoriche che sperimentali, per consentire poi lo svolgimento delle analisi strutturali e delle conseguenti misure di sicurezza, tutto quanto proteso verso la migliore soglia della verità conoscitiva.

In questa sede, si vuole che io riferisca invece sugli aspetti progettuali nell'evoluzione delle costruzioni di c.a. e c.a.p., ossia sugli aspetti che si sono venuti a configurare nel momento magico della progettazione quali causa od effetto di tale evolu-

zione. Prima di vedere quali possano essere gli aspetti progettuali nell'evoluzione che ha subito l'arte del costruire in c.a. e c.a.p., conviene cercare di presentare una sorta di classificazione delle opere in c.a. e c.a.p. riconoscibili come «protagoniste» dell'evoluzione stessa: più facile sarà allora riconoscere le caratteristiche motivazionali dei diversi aspetti progettuali, se appunto si considerano i fattori esogeni che hanno promosso tale evoluzione o ne sono stati conseguenza. Ancora mi aggancio alla Relazione Pizzetti, ove si propongono le seguenti categorie:

- 1) costruzioni per infrastrutture;
- 2) costruzioni speciali per difesa del territorio;
- 3) costruzioni speciali per l'occupazione del suolo marino;
- 4) costruzioni monumentali e costruzioni di prestigio e di rappresentanza.

Tale suddivisione è assai allettante e convincente. Può essere però utile ricordare quali siano le esigenze pubbliche e sociali e le volontà gestionali all'interno di un territorio, che sono artefici di differenziate iniziative nel campo delle costruzioni, cioè si può cercare di dare alla classificazione una lettura in chiave politica, legata in maniera esplicita anche a quanto si sta attuando in Italia nella corsa competitiva nazionale e soprattutto internazionale europea.

È emblematica al riguardo la qualificazione di una città, ad esempio Milano, ad area metropolitana policentrica (vedasi il famoso Libro Verde del Parlamento europeo Carlo Ripa di Meana), condizione indispensabile questa per corrispondere al sofferto concetto di città europea.

Per potersi collocare in una dimensione europea una città metropolitana deve infatti dimostrare di essere un centro di riferimento e di guida sotto più punti di vista e possedere valide ed adeguate componenti specifiche. Una città europea, come ebbi già ad osservare nel Convegno sull'Ingegneria delle Costruzioni tenutosi l'anno scorso a Roma, deve essere e valere come:

- polo decisionale, lato pubblico e lato privato;
 - polo finanziario, nella più ampia accezione del credito e degli investimenti;
 - polo commerciale, lato scambi, camere e promozioni (fiere, esposizioni, ecc.);
 - polo universitario, per la didattica superiore e la ricerca scientifica;
 - polo scientifico di ricerca, di qualità esclusiva in virtù anche della proficua sinergia pubblico - privato;
 - polo culturale, in tutti i diversi campi attesi dalla società;
 - polo ricreativo e sportivo, quale indispensabile realtà per la gente delle città,
- oltreché godere di idonee, felici e protette condizioni ambientali ed, ovviamente, di razionali ed efficienti infrastrutture (trasporti, energia, reti, ecc.).

Di fronte a questo traguardo di essere, o non essere, una città europea siamo dinamici spettatori di un'evoluzione urbanistica ed architettonica delle nostre città più qualificate. Comunque, il volere assurgere ad una posizione di riferimento e di guida in Europa, nel ricco patrimonio privilegiato di questa nostra vecchia Europa, è certamente questa una delle motivazioni dominanti l'intera Ingegneria delle Costruzioni ed artefice principe delle sue differenziate iniziative e realizzazioni.

In quest'ottica, nelle varietà dell'edificato realizzato in questi ultimi anni nella città, molto vario appunto per intenti e sostanza, le realizzazioni che a mio avviso sono le più importanti e qualificanti riguardano:

— le infrastrutture di trasporto urbane e territoriali, allo scopo di cercare di soddisfare il diritto alla mobilità;

— i grandi insediamenti articolati sulle aree dismesse, per l'evoluzione strutturale intrinseca della città;

— le strutture per lo spettacolo e lo sport, finalizzate al recupero e alla soddisfazione di importanti diritti umani;

— le realizzazioni del terziario, per il management industriale e commerciale del prossimo domani.

Quanto si è ora detto per lo sviluppo di una città metropolitana vale ancor più nello spazio territoriale e nazionale. Assemblando le diverse realizzazioni per finalità comuni d'intenti, è facile allora dar ragione alla classificazione suggerita dal prof. Pizzetti: con una particolare sottolineatura per la categoria delle costruzioni monumentali, di prestigio e di rappresentanza per le quali va purtroppo riconosciuto che le nostre città non sono state ancora sufficientemente capaci di osare.

Protagonista nell'arte del costruire, questa evoluzione, durante quello che ho chiamato il momento magico della progettazione, si è resa possibile perché:

— si sono meglio chiariti e fissati i principi base della progettazione per le costruzioni fuori dall'ordinario (ad esempio, le gallerie metropolitane, le strutture antisismiche);

— presa coscienza dell'inderogabile necessità per una struttura di essere durevole, oltreché resistente, si sono posti al loro giusto livello i problemi della manutenzione, sorveglianza e controllo nel corso della vita della struttura;

— si sono arricchiti i sussidi teorici e sperimentali, il che ha migliorato l'interpretazione della realtà e condotto a modellazioni più veritiere che hanno permesso analisi più affidabili;

— si è migliorata la conoscenza dei nuovi materiali e dei materiali speciali, in alcuni casi pervenendo a regole di impiego pratico paragonabili alle norme ormai consolidate delle strutture in c.a. e c.a.p., il che ha permesso l'accettazione garantita di tali materiali fuori dall'ordinario;

— si è organizzata la progettazione in forma integrale facendo debita attenzione alle mutue dipendenze fra struttura, impianti e opere accessorie, il che ha permesso come naturale conseguenza di organizzare i cantieri in forma industrializzata o quasi;

— si sono riconosciute l'importanza e valorizzate le enormi possibilità delle macchine di cantiere, che hanno permesso la realizzazione di strutture altrimenti inimmaginabili con la conseguente ottimizzazione economica delle opere attraverso il miglior impiego e la riduzione della mano d'opera.

Ecco, questi sono gli aspetti progettuali intervenuti nella evoluzione dell'arte del costruire: i progettisti si sono trovati cioè per le mani strumenti di analisi e di garanzia per la sicurezza di cui prima non godevano, hanno preso fiducia riguardo all'impiego dei nuovi materiali e delle nuove tecnologie, ma soprattutto hanno preso coscienza di poter contare su mezzi d'opera veramente fantastici per la realizzazione di strutture con dimensioni sempre più grandi.

Quest'ultimo punto a mio avviso è forse il più importante per il futuro del mondo delle costruzioni. All'Ingegneria delle Costruzioni, affinché essa possa soddisfare alle esigenze pubbliche e sociali e alle volontà gestionali di un territorio - affinché cioè sia re-

sa possibile la realizzazione delle grandi opere infrastrutturali, di difesa e tutela dell'ambiente, di occupazione del suolo marino e, ultimo ma non ultimo, delle opere di superbo prestigio europeo - si è aperta da tempo questa meravigliosa realtà esecutiva che potrebbe chiamarsi convenzionalmente Progettazione del Cantiere.

La Progettazione del Cantiere si sta configurando come una disciplina indispensabile per poter ottenere la realizzazione delle grandi opere moderne, in particolare di c.a. e c.a.p. Il progettista di cantiere deve essere presente con parità di diritti degli altri progettisti (strutturale, geotecnico, impiantista, ecc.) al tavolo della progettazione integrale, poiché le possibilità costruttive che egli presenta sono estremamente importanti per orientare ed avallare l'invenzione del progettista strutturale.

Questa fondamentale componente operativa nell'arte del costruire, come possiamo tutti ricordare, era stata assai bene illustrata in precedenti Giornate AICAP dall'allora Vice-presidente dell'Associazione, dott. ing. Pellegrino Gallo.

Qualcosa del tracciato sviluppato nel complesso delle osservazioni precedenti lo possiamo ritrovare nella serie di memorie pervenute, veramente di buona fattura.

Tuttavia devo rilevare che il Comitato Scientifico ed io in particolare pensavamo ad una produzione più vasta, proprio per l'importanza e la novità dei fatti che hanno stimolato e promosso l'invenzione dei progettisti nell'evoluzione delle costruzioni di c.a. e c.a.p. (ad esempio, la coincidenza nel nostro Paese con i Campionati Mondiali di Calcio). Pertanto, dopo aver assolto al compito quasi istituzionale di ogni relatore - che è quello di riferire puntualmente sul contenuto delle singole memorie - mi prenderò l'arbitrio di ricordare qualche episodio significativo nell'evoluzione delle costruzioni sotto l'aspetto progettuale, con riferimento soprattutto a Milano, chiedendo già sin d'ora venia se tale ricordo sarà purtroppo limitato e potrà quindi trascurare l'operato di molti altri valenti progettisti.

2. LE MEMORIE Pervenute

Anche in relazione a quanto detto nelle premesse, mi sento autorizzato a suddividere le memorie pervenute in quattro gruppi distinti per obiettivi così configurati:

- a) principi base e modellazioni progettuali;
- b) nuovi materiali;
- c) strutture antisismiche;
- d) strutture particolari e cantieristica.

Non v'è dubbio che questa suddivisione delle memorie ha per gran verso un sapore di comodità espositiva (per esempio, le memorie che trattano i problemi antisismici, potrebbero tranquillamente essere poste nel primo gruppo, poiché presentano suggerimenti progettuali da accogliere nelle modellazioni teoriche), ma corrisponde inoltre ad una conveniente raccolta omogenea delle memorie stesse.

2.1. Principi base e modellazioni progettuali

La memoria di Cauvin e Stagnitto propaganda l'applicazione dell'Intelligenza Artificiale nella progettazione strutturale: «Gli elementi di conoscenza riguardanti la progettazione in un ponte possono essere raccolti con estrema facilità (1) utilizzando l'esperienza operativa dei progettisti e dati ricavati dall'esame critico di opere esistenti, come d'altronde si è sempre fatto, in modo però empirico, incompleto, incoerente e poco coordinato».

E ancora: «... il meccanismo inferenziale è più efficiente della mente umana, a parità di dati disponibili, quando tali dati diventano molto numerosi». Al diavolo quindi il momento magi-

(1) Da un Sistema Esperto, faccio precisare. In quanto segue, le citazioni degli Autori saranno poste sempre fra due virgolette.

co della progettazione di cui si è tanto prima enfatizzato? Possibilità di una distribuzione generalizzata dell'invenzione resa automatica e quindi alla portata di tutti i progettisti, tutti quanti promossi a progettisti di vaglia?

Niente di tutto questo per fortuna: i pionieri, gli inventori non potranno mai essere sostituiti da nessuna Intelligenza Artificiale. Invece, i metodi di questa, come ci mostrano gli Autori, sono felicemente applicabili in più operazioni d'ingegneria (Fig. 1), in particolare nelle fasi iniziali della progettazione soprattutto se il campo è specialistico e limitato come può essere la progettazione strutturale dei ponti, cui si rivolgono gli Autori.

Come è noto, la parte più importante nella costruzione di un Sistema Esperto è l'allestimento della base di conoscenza. Ad esempio, per i ponti la definizione delle possibili tipologie strutturali (Fig. 2). Tale base di conoscenza deve permettere l'elaborazione attraverso un motore inferenziale. Il Sistema Esperto perviene in tal modo a conclusioni che diventano sempre più significative e soprattutto non prevedibili a priori all'aumentare della base di conoscenza. Il motore inferenziale costituisce quindi un meraviglioso strumento capace di elaborare anche «frammenti d'informazione noti all'esperto per ricavare conclusioni perfettamente logiche e coerenti cui l'esperto non sempre è in grado di pervenire autonomamente, pur essendo in possesso di tutti i dati elementari».

Un altro importante aspetto progettuale, per la sua linea filosofica di pensiero, oltretutto ben s'intende per le grandi opere civili cui ha dato luogo, è contenuto nella memoria di Migliacci, Campagna, Quadrio ed altri. Non voglio assolutamente incensarmi, sia ben chiaro, quanto invece attribuire all'Impresa Quadrio il giusto merito di aver fortemente contribuito alla creazione del metodo costruttivo a foro cieco con il consolidamento cementizio del terreno ed alla Metropolitana Milanese il vanto

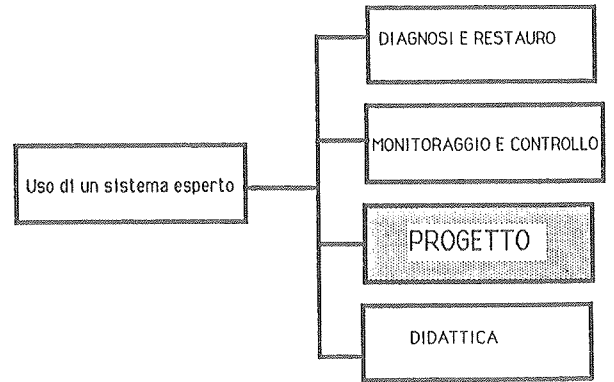


Fig. 1. Possibili usi di un Sistema Esperto.

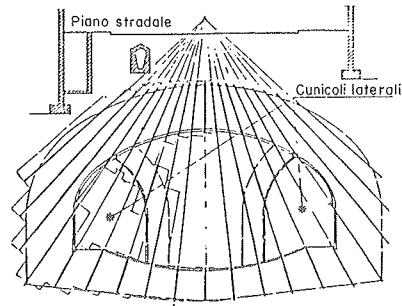


Fig. 3. Schema perforazioni per il consolidamento del terreno.

di avere creduto al metodo, stimolato l'impiego ed essere giunta ormai ad una razionalizzazione del metodo stesso (Fig. 3).

Il metodo costruttivo, pur variabile a seconda della geometria della galleria e della collocazione di questa nel tessuto urbano, consiste sostanzialmente nella trasformazione del terreno originario, all'interno di una «corona» che circonda lo scavo futuro (Fig. 4), in un nuovo materiale avente caratteristiche meccaniche utilizzabili ai fini della resistenza mediante l'iniezione di opportune miscele cementizie (bassa pressione, adeguata composizione della miscela, tubi valvolati per la diffusione). Tali iniezioni sono ecologiche - non inquinano la falda - e sono permanenti nel tempo cosicché il nuovo materiale costituito dal terreno iniettato, può essere utilizzato non solo temporaneamente durante lo scavo come mezzo d'opera, ma permanentemente nell'esercizio della linea metropolitana come parte essenziale della struttura portante, in parallelo al prerinvestimento spruzzato ed al rivestimento definitivo della galleria in calce-

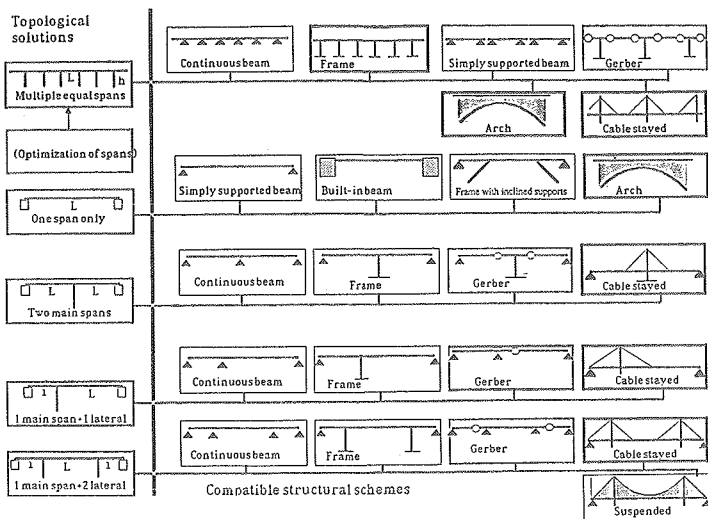


Fig. 2. Schemi strutturali previsti dal Sistema Esperto e tipologie ad essi coerenti.

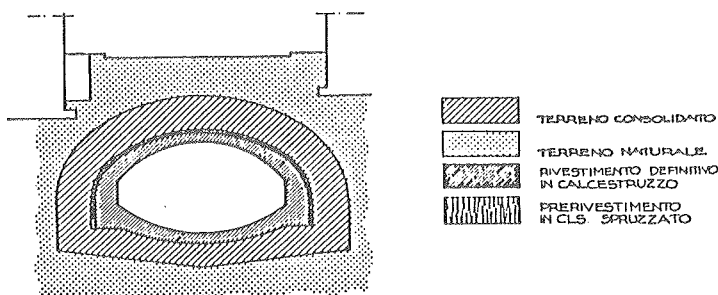


Fig. 4. Passante F.S. galleria - Lotto 1PC: schema elementi resistenti.

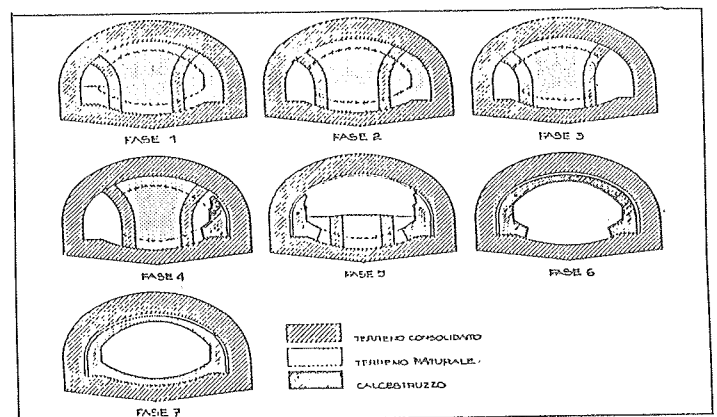
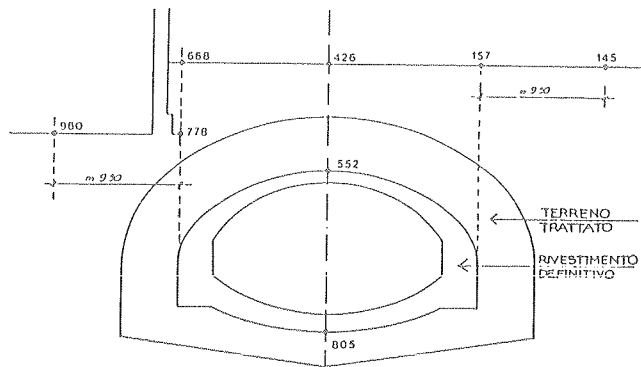


Fig. 5. Passante F.S. Lotto 1PC: sequenze di scavo galleria e realizzazione del rivestimento definitivo in calcestruzzo.

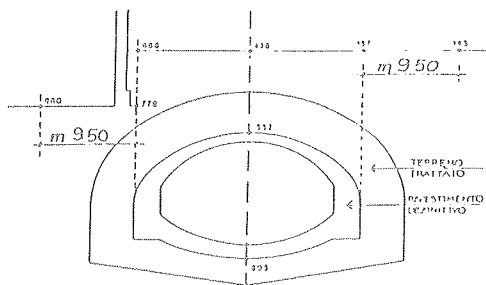
	Lunghezza tratti a foro cieco (Km)	Lunghezza totale della linea (Km)	%
Linea 1	0,91	24,44	3,7
Linea 2	5,50	15,80	34,8
Linea 3	8,50	12,74	66,7
Passante Ferroviario	3,20	3,30	97,0
Totali	18,11	56,28	32,1

Fig. 6. Evoluzione del «foro cieco» nelle gallerie metropolitane di Milano.



FASE	PUNTI	960	778	668	426	157	145	552	805
A	Geostatica preliminare	-4.17	-3.40	-3.62	-3.26	-3.29	-3.50	-3.05	-2.21
B	Scavo cunicolo superiore laterale sinistro	-0.003	-0.04	-0.03	-0.01	-0.03	-0.03	-0.01	-0.03
C	B+C Completamento cunicolo laterale sinistro	+0.002 +0.0017	+0.02 -0.02	+0.03 0.00	+0.01 0.00	+0.005 +0.002	-0.05 -0.08	+0.01 0.00	+0.03 0.00
D	B+C+D Scavo cunicolo laterale destro	-0.005 -0.0033	+0.005 -0.015	+0.006 +0.006	+0.03 +0.03	+0.04 +0.02	+0.01 -0.07	+0.02 +0.02	+0.05 +0.05
E	B+C+D+E Scavo porzione centrale superiore	-0.08 -0.083	-0.41 -0.43	-0.66 -0.65	-1.06 -1.03	-0.49 -0.45	-1.12 -1.19	-1.23 -1.21	+0.56 +0.61
F	B+C+D+E+D fine processo simulazione scavo	+0.036 -0.005	+0.03 -0.40	+0.01 -0.64	-0.03 -1.06	+0.02 -0.43	+0.03 -0.16	-0.004 -1.214	+0.55 +1.16
G	Config. esercizio - tutti gli effetti/terreno trattato degradato	-4.26	-3.52	-3.73	-3.35	-2.91	-2.38	-3.05	-1.49
H	Config. esercizio-no falda terreno trattato degradato	-4.36	-3.79	-4.02	-3.67	-3.19	-2.50	-3.38	-1.87

Fig. 7. Prima analisi strutturale quadro - deformativo di alcuni punti significativi (in cm).



FASE	PUNTI	960	778	668	426	157	145	552	805
FASE A3		-4.34	-4.05	-4.27	-3.96	-3.80	-3.68	-3.47	-2.35
FASE B3		-0.014	-0.11	-0.096	-0.051	-0.0089	-0.0049	-0.049	-0.03
FASE C3 (B3+C3)		+0.0048 -0.0092	+0.018 -0.092	+0.021 -0.075	+0.0072 -0.0438	-0.0028 -0.0117	-0.0063 -0.0112	+0.0034 -0.0456	+0.030 +0.062
FASE D3 (B3+C3+D3)		-0.0079 -0.0171	-0.0036 -0.0956	-0.0089 -0.0839	-0.0036 -0.0474	0.004 -0.0077	0.005 -0.0062	-0.0077 -0.0533	+0.050 +1.112
FASE E3 (B3+C3+D3+E3)		-0.154 -1.711	-0.735 -0.831	-1.08 -1.164	-1.61 -1.65	-0.800 -0.8077	-0.225 -0.231	-1.81 -1.86	+0.536 +0.648
FASE F3 (B3+C3+D3+E3+F3)		0.136 -0.035	0.257 -0.574	0.240 -1.457	0.193 -0.573	0.234 -0.573	0.152 -0.079	-1.185 -1.675	0.864 1.512
FASE G3		-3.98	-2.69	-2.95	-2.47	-2.29	-2.17	-2.31	-1.48

Fig. 8. Seconda analisi strutturale - quadro deformativo di alcuni punti significativi (in cm).

struzzo armato (nella Fig. 5 sono riportate le fasi di costruzione della galleria di stazione del lotto IPC del Passante Ferroviario). Ne consegue di riflesso che le armature metalliche di tale rivestimento possono essere assai ridotte, se non addirittura eliminate in alcune zone del getto (come è avvenuto per le gallerie standard di 10,9 m di larghezza di scavo nel lotto IV della linea 3). Uno dei vantaggi del metodo, nei confronti ad esempio di quello che impiega lo scudo, è la sua flessibilità operativa nel corso dell'esecuzione della galleria, in quanto è facilmente possibile ricorrere a differenziali adattamenti del metodo ove si rilevasse necessario (soprattutto attraverso una variazione ed un'integrazione delle iniezioni). Naturalmente, alla base dell'accettazione di questo nuovo metodo costruttivo sta la sua assoluta garanzia di sicurezza per l'esecuzione delle gallerie metropolitane in terreni sciolti di caratteristiche paragonabili a quelle di Milano, pur in presenza del traffico e della vita in superficie ed anche con grandi volumetrie urbane adiacenti (per la galleria di stazione Repubblica del Passante Ferroviario, avente più di 25,0 m di larghezza di scavo, i grattacieli di P.zza della Repubblica).

Si diceva della linea filosofica del pensiero progettuale.

Questa, peraltro, è praticamente comune a tutte le opere di ingegneria quando si va ad utilizzare il terreno, consolidato o no, come materiale da costruzione. Mi riaggancio, a questo proposito, al lavoro fatto con il nostro Past - President prof. Carlo Cestelli nello studio delle Raccomandazioni AICAP «Ancoraggi nei terreni e nelle rocce». Per le tirantature definitive si prescrive infatti un'opportuna serie di tiranti di prova da progettare sulla scorta dell'esperienza e di ipotesi teoriche: tuttavia, solo i risultati ricavati dalla serie di tiranti di prova è in grado di fornire i parametri con i quali progettare e poi eseguire la tirantatura definitiva, affinché siano garantiti l'ancoraggio dei tiranti e la realizzazione delle loro fondazioni.

V'è da chiedersi allora se, anche nel caso delle nostre gallerie metropolitane, sia necessario costruire e sperimentare una galleria di prova prima di poter progettare ed eseguire la galleria definitiva. La risposta fortunatamente è negativa, da un lato poiché sostanzialmente di gallerie «di prova» nel terreno di Milano ne sono state ormai realizzate con questo metodo e nelle più svariate condizioni circostanti più di 50 km (Dp. 6), dall'altro lato poiché il metodo, come si è detto, è stato ormai razionalizzato poggiandolo su regole operative ben circostanziate.

A riguardo di tali regole, puntualizzate per esteso dagli Autori, va sottolineato che:

— la prima analisi strutturale FEM assume sostanzialmente per il terreno iniettato caratteristiche paragonabili a quelle utilizzate per il progetto di gallerie consimili e, naturalmente, va condotta percorrendo la storia costruttiva della galleria (si ricordi la Fig. 5).

— i risultati di questa analisi consentono di allestire la prima progettazione, in particolare di avallare il sistema di iniezioni (dislocazione, potenza, intensità), nonché le dimensioni della galleria e quindi dello scavo che occorre eseguire;

— l'apertura dello scavo permette di «leggere» sul fronte dello scavo stesso l'esito dell'iniezione e quindi di adattare nella analisi le caratteristiche del terreno iniettato a quelle desumibili dalla realtà, anche attraverso prove dirette sul materiale reale; è così possibile svolgere una seconda analisi strutturale FEM, in prima battuta ancora in campo elastico lineare peraltro quasi sempre lecito per la modestia dell'impegno statico;

— i risultati di entrambe le analisi vanno messi a confronto con i corrispondenti valori sperimentali (Fig. 8); specie gli spostamenti rilevati sul piano stradale, quali «integrali» di tutto quanto ha potuto alterare la situazione originaria, sono i parametri più significativi per giudicare innanzitutto il buon esito della costruzione e secondariamente la bontà e la affidabilità delle analisi teoriche.

Si ha così la possibilità concreta di controllare la modellazione assunta nell'analisi per descrivere la complessa realtà strut-

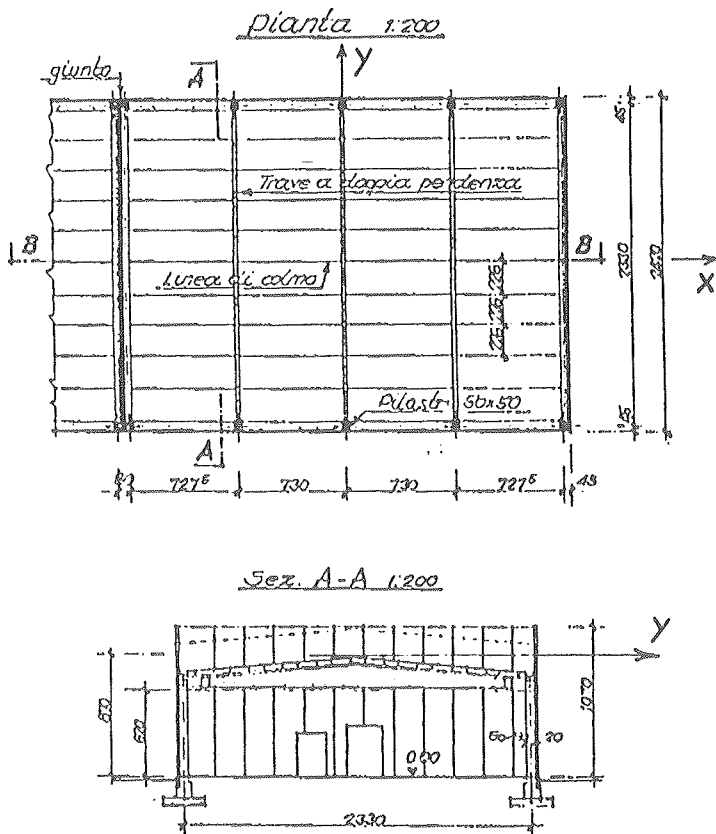


Fig. 9a). Caratteristiche geometriche dell'edificio.

turale attraverso l'interpretazione delle valutazioni sperimentali. Nella memoria di Diotallevi e Merli tale concetto - di controllare la modellazione teorica attraverso l'interpretazione delle valutazioni sperimentali - viene applicato al caso di un capannone prefabbricato monopiano (Fig. 9a, pianta e sezione; Fig. 9b, alcuni particolari costruttivi). In particolare, si è voluto verificare l'attendibilità delle ipotesi usualmente assunte per l'analisi sismica di tali capannoni prefabbricati (quali: l'infinita rigidità della copertura, l'efficienza delle unioni travi pilastri, il contributo all'irrigidimento fornito dal tamponamento perimetrale) sollecitando il complesso strutturale attraverso una vibrodina posta al centro della copertura con forze variabili nel tempo di legge sinusoidale e frequenza crescente, sia in direzione trasversale y che longitudinale x . La raccolta delle componenti di accelerazione in punti significativi della costruzione e la loro analisi col procedimento Fast Fourier Transform ha permesso di ottenere una descrizione esauriente della risposta dinamica, anche con una stima del coefficiente di smorzamento secondo l'Half-Power Method. Sinteticamente:

— per l'eccitazione in direzione trasversale, primi periodi propri all'incirca di valore 0,48 e 0,24 secondi (corrispondenti alle frequenze di 1,95 - 2 Hz e 4,2 - 4,4 Hz rispettivamente nei due modi); spostamenti delle testate parallele ad y e concordi nel primo modo e discordi nel secondo; ovvia differenza fra gli spostamenti delle due testate l'una tamponata e l'altra no (quella adiacente al capannone esistente); buona conferma dell'ipotesi di infinita rigidità della copertura, dell'efficienza delle unioni di copertura (nella prima serie di prove, gli spostamenti differenziali pilastro - copertura, in punti prossimi, sono contenuti entro il 16%) ed altresì di una discreta efficienza delle unioni dei pannelli di tamponamento alla copertura;

— per l'eccitazione in direzione longitudinale, primo e secondo modo proprio con frequenze 3,4 Hz e 4,1 Hz rispettivamente, con il rilievo della coincidenza fra questa seconda frequenza e quella relativa al secondo modo proprio eccitato in direzione trasversale; comparsa netta di risonanze locali sui pannelli della testata tamponata.

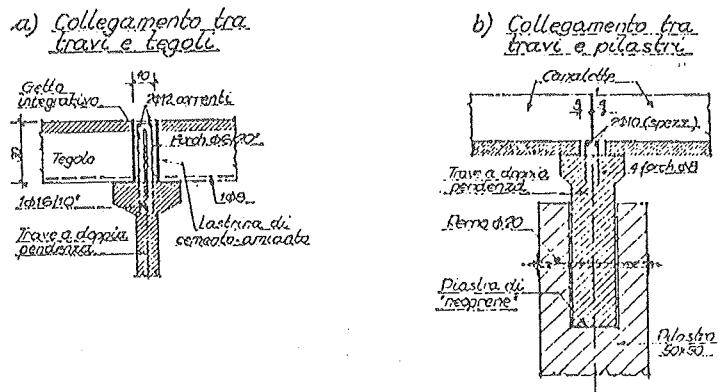


Fig. 9b). Particolari costruttivi.

VALORI ANALITICI E SPERIMENTALI DELLE FREQUENZE PROPRIE DEI MODI DI VIBRAZIONE PIU' SIGNIFICATIVI

Modo	Frequenza teorica	Frequenza sperimentale	Tipo di deformata
1°	2,19 Hz	1,95±2,10 Hz	(Spostamento dominante in dir. y)
2°	3,75 Hz	3,4 Hz	(" " " " " x)
3°	3,9 Hz	4,2±4,4 Hz	(Rotazione dominante attorno all'asse z)

Fig. 10

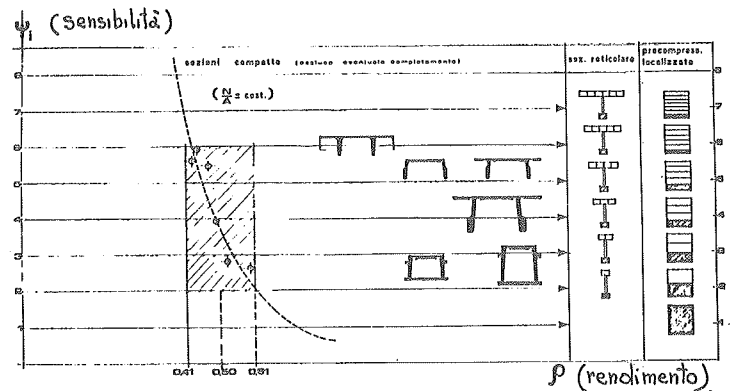


Fig. 11. Diagramma (ψ_i / ρ) per comuni sezioni compatte, reticolari ed a precompressione «localizzata».

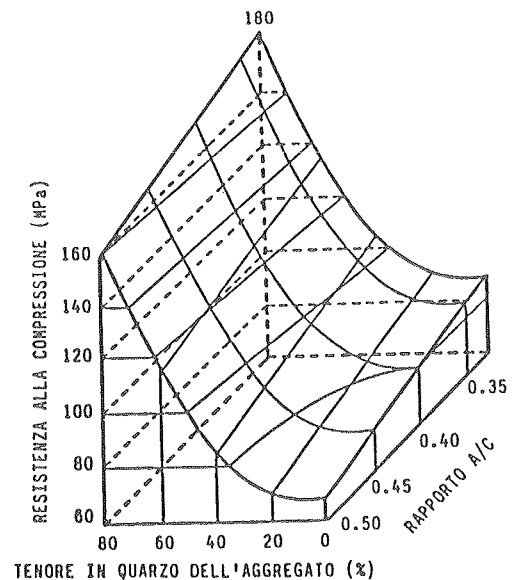


Fig. 12. Andamento della resistenza alla compressione di calcestruzzi ad altissima resistenza.

I confronti fra i valori sperimentali delle frequenze dei modi propri più significativi con quelli ottenuti per via analitica su un modello semplificato del complesso strutturale sono fondamentalmente buoni (Fig. 10). I risultati interessano la progettazione corrente, ma a detta degli stessi Autori sarebbero da rivolgere in prospettiva alla progettazione antisismica.

La modellazione teorica di un problema strutturale conduce a considerazioni ed a suggerimenti assai utili per le scelte progettuali, ad esempio per un migliore rendimento dei materiali disposti nella sezione.

Anche se limitata al campo elastico, la memoria di Marioni mostra in maniera evidente le convenienze che possono dedursi dalla lettura delle relazioni tensionali scritte per una sezione precompressa con precompressione «localizzata» al lembo teso e ricompresa. Si riprende una precedente illustrazione presentata dall'Autore alle Giornate AICAP 1981 di Ravenna (Fig. 11), per sottolineare l'aumento della «sensibilità» ϕ_1 - quale favorevole amplificatore per il lembo inferiore della sezione della tensione media di precompressione riferita all'area della sezione precompressa iniziale - aumento che può ottenersi, sia nel caso della precompressione localizzata (i comuni solai con travetti prefabbricati e precompressi), sia nel caso delle strutture «reticolari», ossia ad esempio prefabbricate da ponte (come il ponte Plush di Verbania) aventi briglia inferiore precompressa e ricompresa e tavola superiore completata in opera.

Si riconsidera la nota espressione della tensione al lembo inferiore di una sezione precompressa, completata e ricompresa, scritta sempre in termini di «risalite» del centro di pressione dovute al peso proprio, al carico permanente di completamento ed ai carichi variabili (con l'ovvia introduzione dei coefficienti γ di riduzione, per effetto del completamento, delle risalite connesse al permanente di completamento ed ai carichi variabili) e con l'evidenziazione, altrettanto ovvia, del coefficiente m di ricomprensione. L'espressione viene generalizzata ad un numero qualsiasi di fasi costruttive e di ricomprensioni, sempre nell'ambito di una soluzione elastica.

È facile allora apprezzare l'efficacia, sia di un aumento dei coefficienti di ricomprensione m_p , sia di una riduzione dei coefficienti γ_k (in un glossario pratico questi potrebbero forse chiamarsi di «partecipazione»). Interessante per le applicazioni concrete è la tipologia strutturale «reticolare» del ponte Plush che sarebbe assai utile confrontare con le altre possibili soluzioni strutturali.

MASSIME RESISTENZE CARATTERISTICHE ALLA COMPRESSIONE PREVISTE DA ALCUNE NORMATIVE NAZIONALI ED INTERNAZIONALI PER IL CALCESTRUZZO

STATO	DOCUM. ANNO	RESIST. MAX A COMPRESS. (MPa)	CAMPIONE DI PROVA	AGGREGATI LEGGERI
Norvegia	NS 3473 1989	105 N/mm ² 94 N/mm ²	Cubo 100 mm Cil. 150/300	previsti $f_{ck} \leq 105(\rho/\rho_2)^{1.5}$
Finlandia	Rak MK B4 1983/84 Suppl. '89	50 N/mm ² 100 N/mm ²	Cubo 150 mm	non previsti
	CEB-FIP MC-90	80 N/mm ²	Cilindro 150/300 mm	previsti
Stati Uniti	ACI 318-89 1989	nessuna	Cilindro 150/300 mm	previsti Res. determin. dalle prove
Canada	CAN3- A23.3 M84 1984	nessuna	Cilindro 150/300 mm	previsti Res. determin. dalle prove

Fig. 13

EDIFICI COSTRUITI UTILIZZANDO CALCESTRUZZO AD ALTA RESISTENZA

EDIFICI	LOCALITA'	ANNO	PIANI	RES. MAX PROGETTO (MPa)
Pacific Park Plaza	Emeryville CA	1983	30	45
S.E. Financial Center	Miami	1982	53	48
Petrocanada Building	Calgary	1982	34	50
Lake Point Tower	Chicago	1965	70	52
1130 A. Michigan Av.	Chicago			52
Texas Commerce Tower	Houston	1981	75	52
Helmsley Palace Hotel	New York	1978	53	55
Trump Tower	New York		68	55
City Center Project	Minneapolis	1981	52	55
Collins Place	Melbourne		44	55
Larimer Place Condomin.	Denver	1980	31	55
499 Park Avenue	New York		27	59
Royal Bank Plaza	Toronto	1975	43	61
Richmond-Adelaide Toronto	Centre	1978	33	61
Midcontinental Plaza	Chicago	1972	50	62
Frontier Towers	Chicago	1973	55	62
Water Tower Place	Chicago	1975	79	62
River Plaza	Chicago	1976	56	62
Chicago Mercant. Exchange	Chicago	1982	40	62
Columbia Center	Seattle	1983	76	66
Interfirst Plaza	Dallas	1983	72	69
900 N. Mich. Annex	Chicago	1986	15	97
South Wacker Tower	Chicago	1989	79	83
Grande Arche Défense	Paris	1988		65
Two Union Square	Seattle	1989	58	115
Pacific First Center	Seattle	1989	44	115
Gateway Tower	Seattle	1989	62	94

Fig. 14

2.2 Nuovi materiali

Anche se personalmente credo di più al peso che può avere nell'Ingegneria delle Costruzioni lo sviluppo e l'impiego dei grandi mezzi d'opera, la messa a punto di materiali più «resistenti» (nel senso più generale del termine) non è affatto trascurabile, specie se tale messa a punto raggiunge anche l'obiettivo di allestire norme d'impiego pratico, così come fanno le attuali normative per gli usuali calcestruzzi ed acciai.

La memoria di Massazza e Coppetti è soprattutto rivolta ad un'indagine conoscitiva dell'evoluzione avutasi nel campo dei

MISCELE

IMPASTO	HSC1	HSC2	HSC3
INERTI			
Sabbia fine [kg/m ³]	115	130	
Sabbia 0+5mm [kg/m ³]	560	800	
Pietrisco 5+12mm ⁽¹⁾ [kg/m ³]	565		
Pietrisco 10+22mm ⁽¹⁾ [kg/m ³]	515		
Basalto 0+15mm [kg/m ³]		880	
Misto Verona 0+22mm [kg/m ³]			1830
CEMENTO 525 P11 [kg/m ³]	450	450	450
PFA (Ceneri volanti) [kg/m ³]	30	30	30
SF (Fumi di Silice) [kg/m ³]	20	20	20
ACQUA [l/m ³]	165	165	165
IPERFLUIDIFICANTE % ⁽²⁾	3	3	3

(1) calcare bianco del Furlo
(2) sul peso di Cem.+PFA+FS

Fig. 16

PONTI COSTRUITI UTILIZZANDO CALCESTRUZZO AD ALTA RESISTENZA

PONTE	LOCALITA'	ANNO	LUCE MAX (m)	RES. MAX PROGETTO (MPa)
Willows Bridge	Toronto	1967	48	41
Houston Ship Chanal	Texas	1981	229	41
San Diego to Coronado	California	1969	43	41*
Linn Cove Viaduct N	Carolina	1979	54	41
Pasco-Kennewick intercity	Washington	1978	299	41
Coveam River Bridges	Washington		45	48
Huntington to Proctorvil.	W.Va.to Ohio	1984	274	55
Nitta Highway Bridge	Japan	1968	30	59
Kaminoshima Highway Brid.	Japan	1970	86	59
Tower Road Bridge	Washington	1981	49	63
Fukamitsu Highway Bridge	Japan	1974	26	69
Cotanabe Railway Bridge	Japan	1973	24	79**
Akkaçawa Railway Bridge	Japan	1976	46	79**
Kylesku Bridge	Scotland		79	53
Deutzer Bridge	W.Germany	1978	185	69*
Parrot Ferry Bridge	California	1979	195	43*
Pont de Tricastin	France		142,4	30*
Ottmarsheim	France	1979	172	30*
Selbjorn Bridge	Norway	1977	212	40
Pont du Pertuiset	France	1988	110 m	65
Pont de Joigny	France	1988		60
Arc sur la Rance	France	1989		60
Giske	Norway	1989	52	55
Sandhornoya	Norway	1989	154	55*
Boknasundet	Norway	1990	190	60*
Helgelandsbrua	Norway	1990	425	65

* calcestruzzo leggero
** calcestruzzo autoclavato

Fig. 15

cementi e dei calcestruzzi. In particolare, si dimostra la convenienza d'impiego di calcestruzzi ad alta (e altissima) resistenza, aventi cioè secondo talune classificazioni una resistenza R_k maggiore di 50 - 60 MPa, per i seguenti vantaggi paralleli:

- riduzione delle dimensioni strutturali, a parità di portata utile, e conseguente riduzione degli ingombri in pianta;
- sostanziale aumento delle «prestazioni» a fronte di un piccolo aumento dei costi di costruzione;
- disarmi anticipati;
- aumento del modulo elastico;
- minore ritiro e viscosità più contenuta.

Alcune di queste caratteristiche e proprietà sono mostrate dagli Autori in grafici molto evidenziati (ad esempio Fig. 12). L'orientamento comune per ottenere calcestruzzi ad alta resistenza è quello di impiegare: «cementi con elevato contenuto in C_3S ; bassi rapporti a/c; elevati dosaggi di cemento; additivi riduttori d'acqua; aggregati con dimensione massima più piccola dell'ordinario; aggregati scelti con cura; additivi riduttori d'acqua; maturazione a umido accurata; con controlli più sistematici, più frequenti e più accurati....., ma senza richiedere prodotti speciali o trattamenti particolari».

In una apposita tabella, gli Autori riassumono le prescrizioni di alcune normative internazionali (Fig. 13). Mentre alcune di queste normative fissano ancora determinati limiti di resistenza, però assai più elevati di quelli italiani, in USA e in Canada non si pongono limiti, anche se si hanno alcune restrizioni locali. In sostanza «dalla letteratura risulta che resistenze superiori a 60 MPa sono abbastanza comuni, ma che si possono anche superare i 120 MPa».

Per testimoniare l'applicazione di tali calcestruzzi, gli Autori riportano infine due significative tabelle: la prima (Fig. 14) relativa agli edifici alti, con resistenza di progetto a partire da circa 50 MPa fino a toccare i 115 MPa per due edifici di Seattle, la seconda (Fig. 15) relativa ai ponti, con resistenze di progetto che hanno raggiunto i 79 MPa in due ponti giapponesi con calcestruzzi autoclavati.

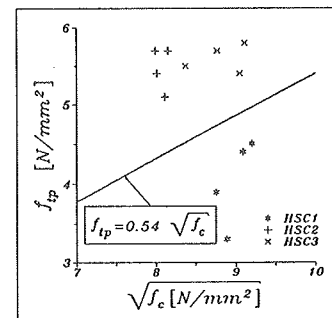
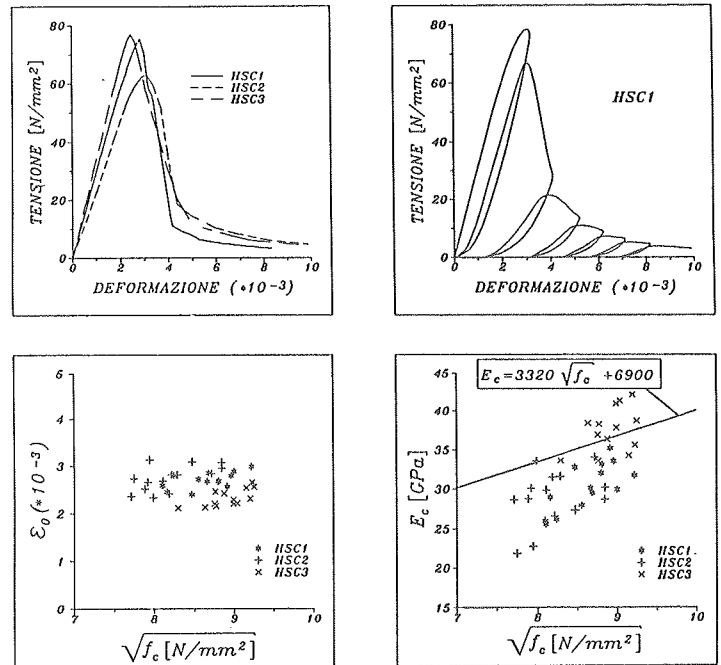


Fig. 17

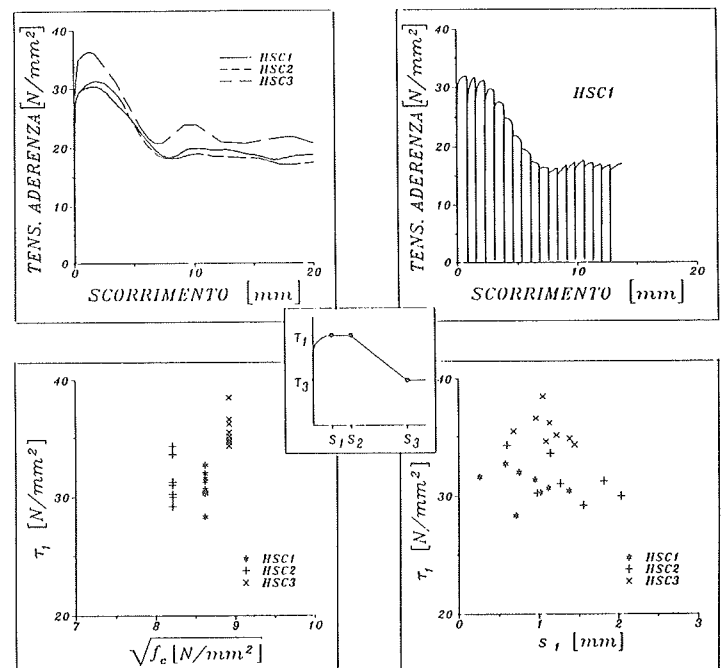


Fig. 18

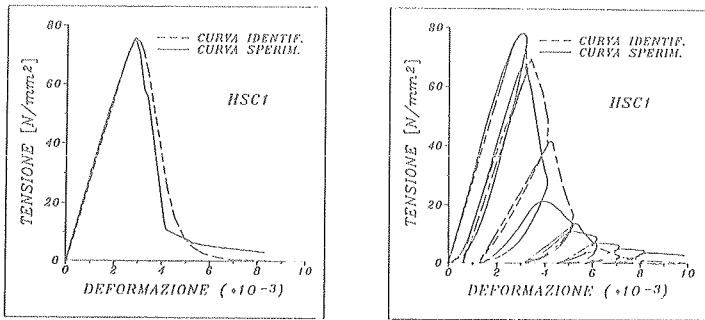


Fig. 19

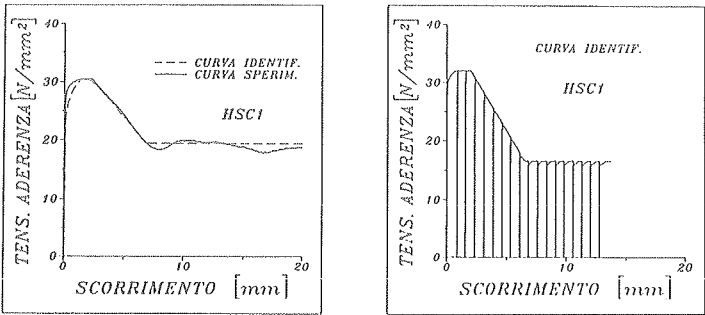


Fig. 20

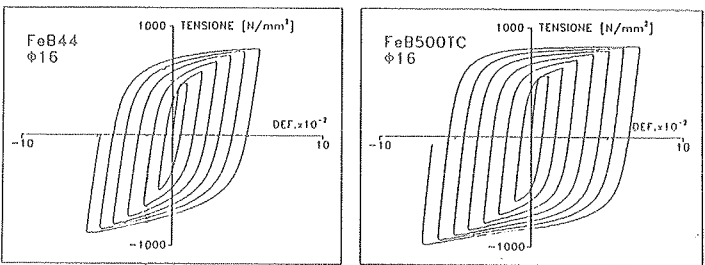


Fig. 21

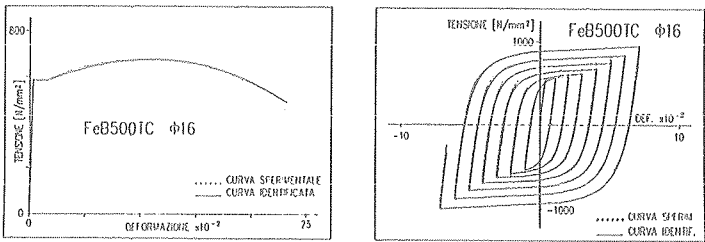


Fig. 23

Le due memorie di Galeota paiono proprio finalizzate a consegnare le regole di livello normativo per consentire l'impiego di calcestruzzi ad alta resistenza e dell'acciaio ad alta resistenza Tempcore. Infatti, per entrambi i due materiali vengono calibrati i modelli analitici capaci di descrivere le principali leggi costitutive, nonché le correlazioni fra le diverse grandezze meccaniche, al fine di potere effettuare le usuali misure di sicurezza. Nel caso dell'acciaio, l'Autore presenta anche un programma di analisi non lineare per sezioni armate con il Tempcore, mettendone a confronto i risultati con quelli ottenibili con l'usuale FeB44K.

Nello studio sui calcestruzzi ad alta resistenza, sono stati sperimentati tre impasti (HSC 1,2,3) diversificati solo per il tipo d'inerte: calcare del Furlo, basaltico oppure misto siliceo di Verona (Fig. 16). Anche Galeota ricorda le regole fondamentali per potere realizzare calcestruzzi ad alta resistenza: «uso di cemento ad alta resistenza, ridotti rapporti a/c, opportune aggiunte di materiali pozzolanici (ceneri volanti e fumi di silice), uso di superfluidificanti e di inerti adeguati».

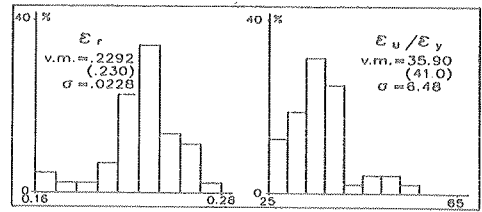
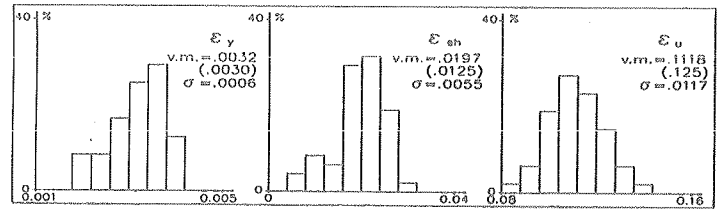
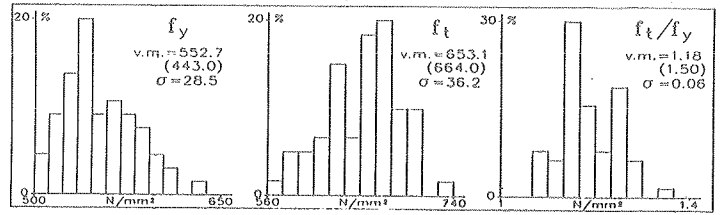
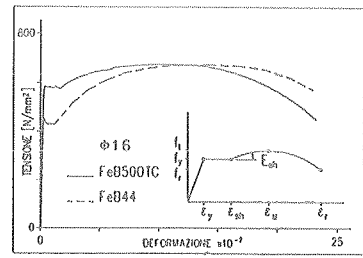


Fig. 22

Viene mostrato come si è cercato di soddisfare a questi principi base sottolineando che, per quanto riguarda gli inerti, a fianco di quello basaltico (HSC2) si è voluto sperimentare l'impiego di un inerte di frantumazione calcareo (HSC1) e di uno alluvionale ad alto tenore di silice (HSC3). Le prove a 28 gg. sono state di tre categorie: a compressione (con carichi monotonicamente crescenti e carichi ciclici a deformazione crescente), a trazione indiretta (brasiliana) e di pull-out (con storie di carico come per la compressione).

L'Autore presenta in diagrammi i risultati ottenuti, sia nelle prove a compressione e a trazione, proponendo le rette di re-

CARATTERISTICHE DEI PROVINI - RISULTATI SPERIMENTALI

Serie	(% fibre)	(foto)	(spessore)	(energ. fratt.)			
	V_f [%]	S [cm]	B [cm]	E_c [kN/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	g_c	G_f [N/mm]
A	0.0	60.0	4.0	29.0	3.89	27.5	19.0
B	0.2	60.0	4.0	21.3	3.51	26.8	32.0
C	0.4	60.0	4.0	20.6	3.39	28.8	58.0
D	0.8	60.0	4.0	22.0	3.78	20.6	72.0

(ogni serie, 4 elementi)

Serie	No. di colpi a rottura	(energ.)	(forza d'urto)	Durata [ms]
		W [Nm]	P_{max} [kN]	
A	5.50	107.8	48.70	0.19
B	8.75	171.5	43.20	0.22
C	11.75	230.3	41.40	0.24
D	13.50	264.6	42.60	0.22

Fig. 24

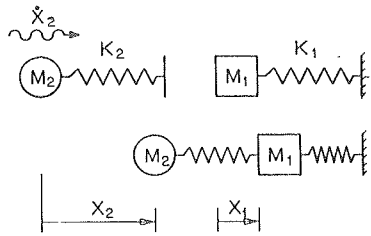


Fig. 25. Modello di calcolo semplificato per la rappresentazione di processi d'urto

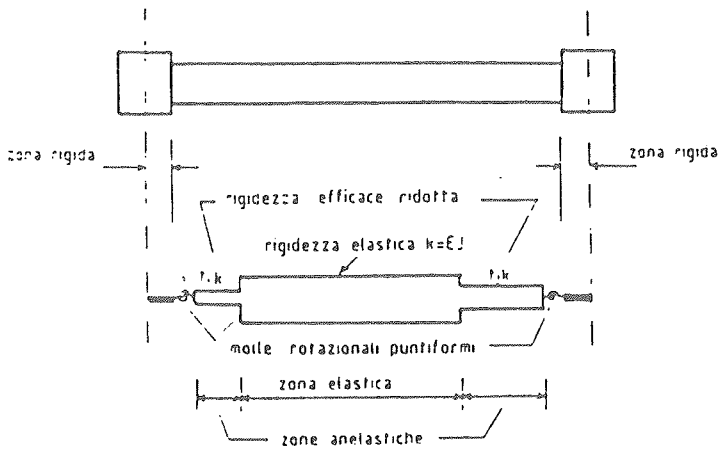


Fig. 26

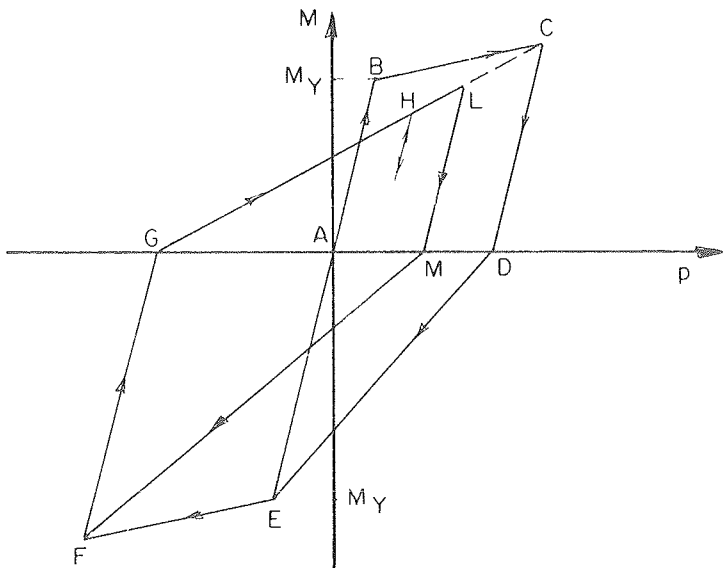


Fig. 27

gressione per le correlazioni fra le due grandezze meccaniche modulo elastico E_c e resistenza a trazione f_{tp} con quella a compressione f_c (Fig. 17), sia nelle prove di pull-out (Fig. 18) con la schematizzazione a sei parametri della legge tensioni d'aderenza τ - scorrimenti s .

La modellazione analitica è stata calibrata facendo riferimento:

— per la compressione (risultati a confronto nella Fig. 19) al noto modello di Tanigawa, modificato dall'Autore ed altri, con parametri di identificazione f_c , ϵ_0 , D_1 e D_2 (questi ultimi due posti a controllare il tratto ascendente e quello discendente della curva inviluppo con valori medi $D_1 = 13,7$, $D_2 = 9,3$);

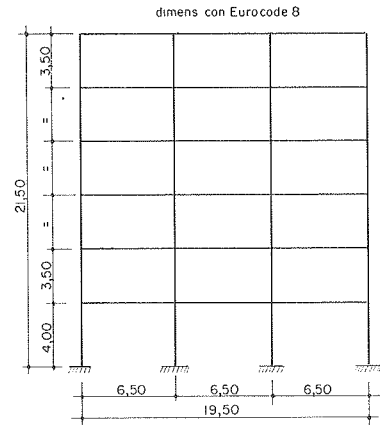


Fig. 28. Telaio progettato seguendo le disposizioni dell'Eurocode n. 8.

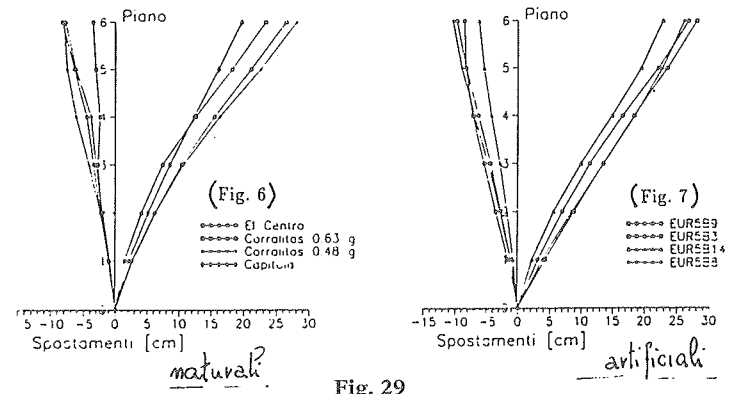


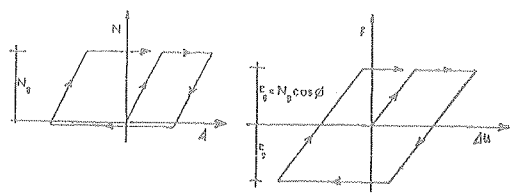
Fig. 29

— per il legame τ - s (risultati a confronto nella Fig. 20) al noto modello di Bertero, schematizzando le curve cicliche all'interno dell'involuppo con una serie di linee rette, come già proposto dall'Autore ed altri, operando la calibrazione sul modello a sei parametri, τ_1 , τ_3 , s_1 , s_2 , s_3 , α , come si è già ricordato.

Gli acciai ad alta resistenza ottenuti col processo «Tempcore» di tempra e autorinvenimento, siglati FeB500 TC, rappresentano un moderno prodotto siderurgico di qualità per barre d'armatura - il limite elastico viene portato da 150 fino a 250 N/mm² mantenendo intatte le proprietà di saldabilità - tuttavia non ancora utilizzabile in Italia poiché la vigente normativa non prevede per l'acciaio d'armatura il tipo FeB 500. Lo studio ha esaminato in confronto 65 campioni di FeB 500 di produzione nazionale (diametri 8; 12; 16; 18 mm) e 10 campioni di Fe B 44 (diametri 12; 16 mm). Le prove a trazione hanno utilizzato due storie di carico: carichi monotonici e carichi ciclici a deformazione crescente (rilevazioni della deformazione su 5 diametri e 2 diametri, rispettivamente).

L'Autore presenta in diagrammi i risultati ottenuti, mostrando in confronto i risultati per i due tipi di acciaio (Fig. 21) caratterizzati dai necessari valori delle grandezze tensionali ed estensionali, occorrenti per la modellazione analitica, e dalla relativa descrizione statistica (Fig. 22). La modellazione analitica per carichi monotonici (Wang ed altri) e per carichi ciclici (Giuffrè - Pinto) ha portato l'Autore ad una identificazione assai soddisfacente (Fig. 23) con significative correlazioni tra i valori rappresentativi delle grandezze tensionali ed estensionali.

Nel gruppo «materiali», vi è infine la memoria di Radogna ed altri che si va ad aggiungere agli studi svolti dagli stessi Autori sempre sui manufatti di calcestruzzo confezionato con l'impiego di fibre di polipropilene (vedasi, ad esempio, la memoria presentata alle precedenti Giornate AICAP 1989 di Napoli). Questa volta l'indagine riguarda la valutazione della più favorevole risposta strutturale che si ha sotto azioni impulsive, ad esempio in piastre di calcestruzzo fibroso (Fig. 24) sottoposte ad urto (modello semplificato in Fig. 25).



(a) Risposta di una diagonale

(b) Risposta compressiva delle due diagonali

Fig. 30. Risposta delle diagonali di controvento adottando dispositivi dissipativi.

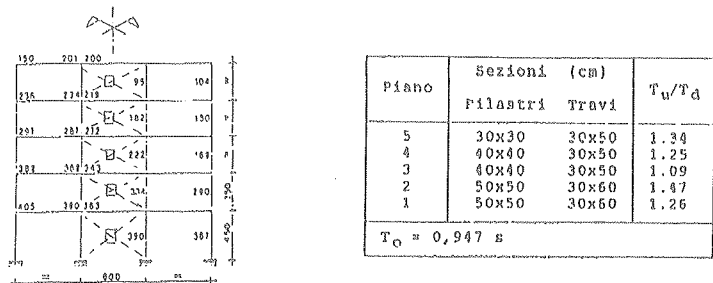


Fig. 31. Struttura intelaiata in c.a. (misure in cm; Mu in kNm) e caratteristiche della struttura.

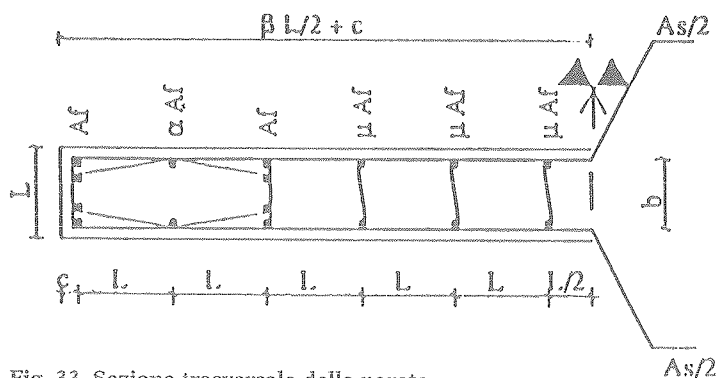


Fig. 33. Sezione trasversale della parete.

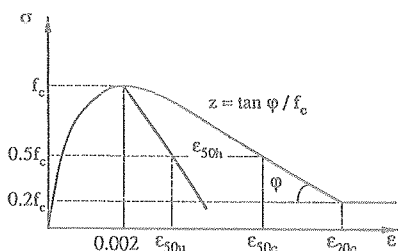


Fig. 34. Diagramma σ - ϵ per il calcestruzzo.

Anche in questo caso, i risultati della sperimentazione sono serviti a verificare la modellazione numerica condotta attraverso un'analisi FEM dell'elemento strutturale sperimentato basata su un'attendibile rappresentazione del comportamento non lineare del calcestruzzo fibroso (Bazant, Crack band model).

Va ricordato che gli Autori hanno svolto la sperimentazione d'urto lasciando cadere una sfera d'acciaio di 1 Kg massa misurando la forza trasmessa al campione e la «storia» delle accelerazioni di questo, contando il numero di colpi necessario alla sua rottura.

I risultati della modellazione analitica sono apparsi in buon accordo con quelli sperimentali salvo per le forze di contatto (fra proiettile e bersaglio), molto maggiori le teoriche di quelle effettive. Questa circostanza, a detta degli Autori, richiederebbe un perfezionamento delle leggi costitutive del materiale in presenza sia delle elevate velocità di deformazione che del sensibile danneggiamento nelle vicinanze dell'impatto, quali si sono avuti nelle prove.

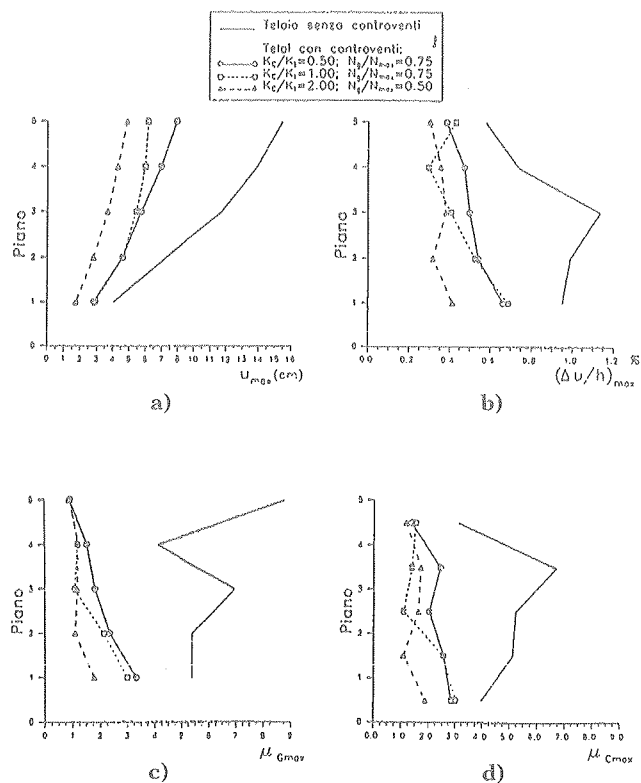


Fig. 32. Confronto tra i risultati numerici: a) massimi spostamenti orizzontali di piano; b) massimi spostamenti relativi di piano in percentuale; c) richieste di duttilità per le travi; d) richieste di duttilità per i pilastri.

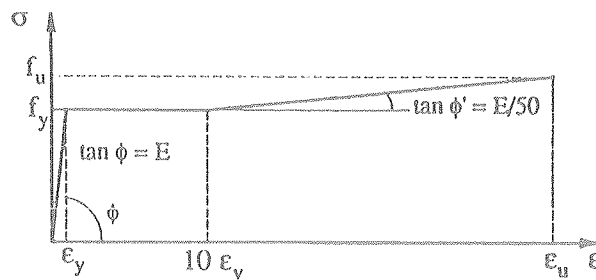


Fig. 35. Diagramma trilineare dell'acciaio.

2.3 Strutture antisismiche

Come è noto, uno dei principali problemi dell'Ingegneria sismica è quello di realizzare strutture che, a fianco della necessaria resistenza sotto sisma, presentino un'alta capacità di dissipazione dell'energia imposta dal sisma. Per ottenere questo risultato, al fine primario di non coinvolgere la struttura in un campo di elevati danneggiamenti, ci si può muovere seguendo diverse filosofie di progettazione, ad esempio quella di concentrare in determinate zone della struttura le grandi deformazioni dissipative oppure quella di dotare la struttura di opportuni sistemi dissipativi.

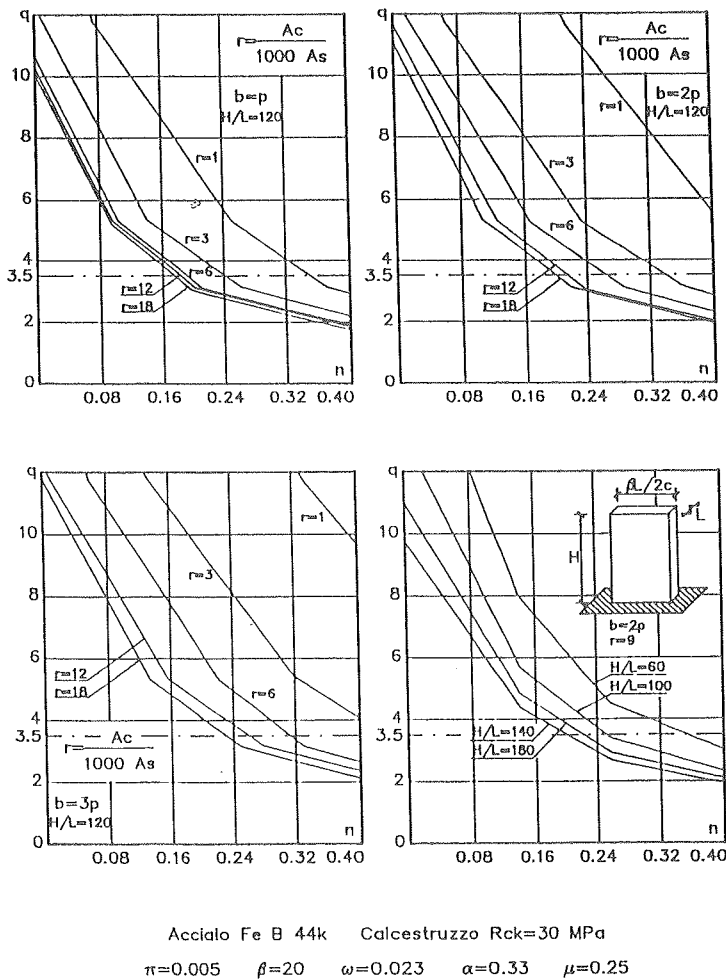


Fig. 36. Diagramma di duttilità globale dei muri sismici.

La prima delle tre memorie pervenute (Mulas) si muove proprio seguendo la prima linea di pensiero poiché parte dalla «filosofia di progetto, detta strong column - weak girder, che mira a concentrare le deformazioni plastiche nelle travi, progettando le colonne in maniera tale che rimangano sempre in campo elastico». La seconda delle memorie (Vulcano) segue la seconda linea di pensiero poiché esplora gli effetti prodotti da controventi metallici provvisti di dispositivi dissipativi, al variare delle loro caratteristiche, quando tali controventi siano introdotti in una struttura intelaiata in c.a. ad esempio al fine (ma non è solo questo) di ottenerne l'adeguamento antisismico.

La terza memoria (Scibilia) è dedicata al discusso problema dei requisiti di duttilità dei «muri sismici» in calcestruzzo affinché essi, al di là della resistenza, possano essere appunto capaci di dissipare energia.

L'esame puntuale delle tre memorie, che sarà completato con gli interventi degli Autori, offre spunti assai significativi.

La memoria di Mulas e Galli ha costituito un banco di prova per un'analisi assai raffinata del comportamento dinamico non lineare di una struttura a telaio: il codice numerico RCDYNA (Reinforced Concrete Dynamic Analysis) impiegato nell'analisi utilizza un modello a plasticità diffusa (ad esempio, per le travi Figg. 26,27) nell'intera struttura (travi e colonne) e, pertanto, si è dovuto opportunamente adattare il codice originario che non prevedeva tale modello nelle colonne.

Il telaio preventivamente progettato seguendo le disposizioni dell'Eurocode n. 8 (Fig. 28), è stato sottoposto ad 8 diversi accelerogrammi, 4 naturali e 4 artificiali. I risultati ottenuti (ad esempio in Fig. 29 sono riportati gli andamenti degli spostamenti per gli 8 terremoti analizzati) mostrano l'evoluzione delle cerniere plastiche ed hanno evidenziato la presenza di plasticità

anche nelle colonne alla base della struttura (il che è quasi inevitabile) ed al piano ove si ha la variazione di rigidità delle colonne stesse. Questo fatto non ha però condotto ad eccessivi «aumenti» della risposta strutturale, talché si può concludere che le prescrizioni di progetto dell'EC8 sono sostanzialmente adeguate.

La memoria di Vulcano è di particolare interesse perché mostra il sensibile vantaggio in termini di risposta sismica che può ottenersi anche per una struttura intelaiata in cemento armato con l'introduzione di controventi dissipativi in acciaio, aventi quindi una rigidità assai minore rispetto agli elementi in c.a. Si premette una rassegna assai efficace sui dispositivi dissipativi ad attrito e per isteresi, soffermandosi ad illustrare la risposta da essi fornita (ad esempio, Fig. 30, per le diagonali della croce di S. Andrea del dispositivo ad attrito di Pall e Marsh).

Nella memoria, si fa riferimento alla struttura intelaiata oggetto di studio di un precedente lavoro dell'Autore ed altri, per riconoscere l'adeguatezza delle prescrizioni sismiche dell'Eurocode 8. Tale telaio viene analizzato in campo dinamico mediante un codice numerico proposto da tempo (1981) da parte dell'Autore, a struttura nuda ed a struttura munita dei controventi dissipativi (Fig. 31). L'efficacia del guadagno sismico viene valutata facendo variare le caratteristiche dei controventi e la risposta dei dissipatori. Le conclusioni sono assai confortanti (Fig. 32), specie in vista delle possibili applicazioni per l'adeguamento sismico di ossature esistenti in c.a.

La memoria di Scibilia ed altri ha il pregio di condurre a proposte progettuali concrete per i «muri sismici» (Fig. 33). Essa mostra infatti, al variare dell'armatura trasversale di confinamento (A_s), dell'altezza dei muri (H/L) e dell'impegno per forza normale (n), quale è l'andamento della duttilità globale q , posta come è noto sulla soglia 3,5 dall'Eurocode 8 per gli edifici regolari con richiesta di elevata duttilità.

Per l'analisi teorica del comportamento strutturale, gli Autori adottano per il calcestruzzo il legame costitutivo di Kent e Park (Fig. 34), capace di contere il confinamento, e per l'acciaio una legge costitutiva trilineare (Fig. 35), con la pendenza del terzo ramo a simulare l'incrudimento.

I suggerimenti progettuali che emergono dallo studio (Fig. 36) riguardano soprattutto l'importanza di limitare la forza normale (basta che n sia minore di 0,16 per ottenere una duttilità globale q maggiore di 3,5) ed il passo dell'armatura di confinamento in relazione al diametro (peraltro con indicazioni concordate a quelle dell'Eurocode 8, ad esempio staffe diametro 8 mm a passo p uguale ad $1/4$ dello spessore del nucleo cerchiato per zone ad alta sismicità). L'influenza negativa della snellezza H/L sulla duttilità non impedisce di raggiungere altezze sensibili, se gli altri parametri sono scelti in modo conveniente (ad esempio, con uno spessore $L = 0,3$ m sarebbe lecita un'altezza $H = 54,0$ m).

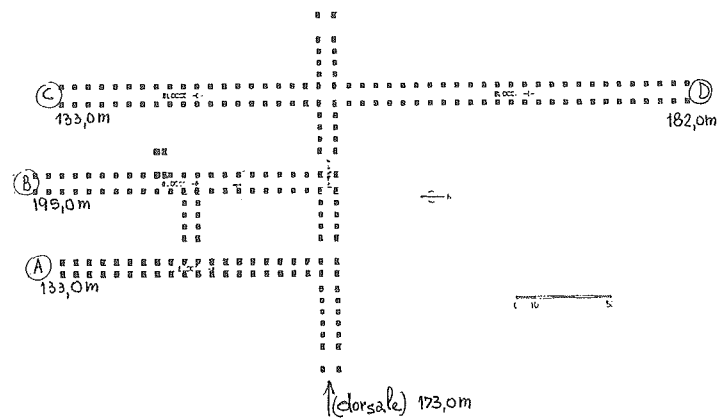


Fig. 37. Pianta generale delle fondazioni del Pipe-rack.

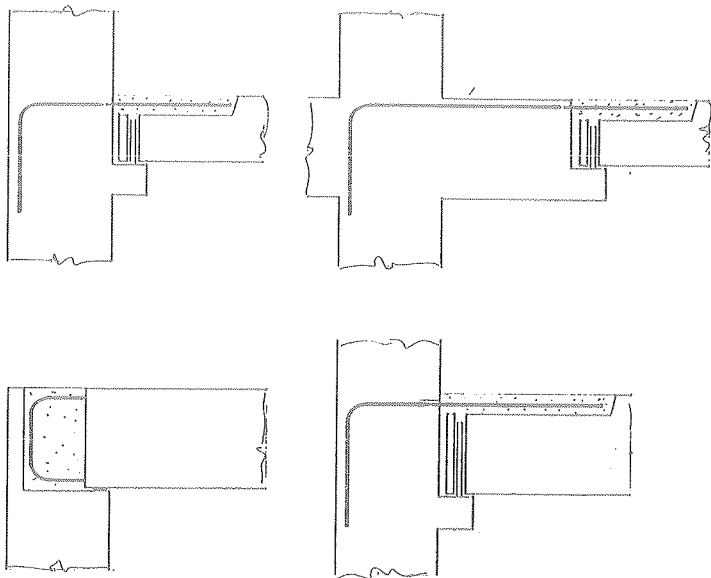


Fig. 38. Schemi dei collegamenti rigidi dei nodi trave-pilastro.

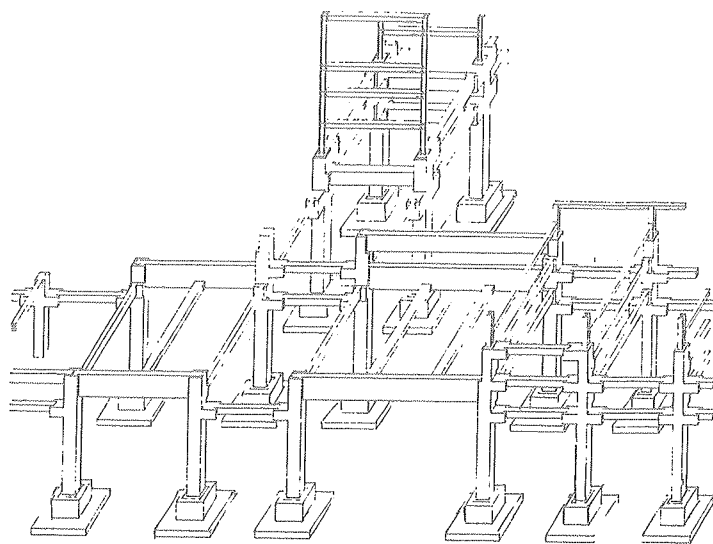


Fig. 39

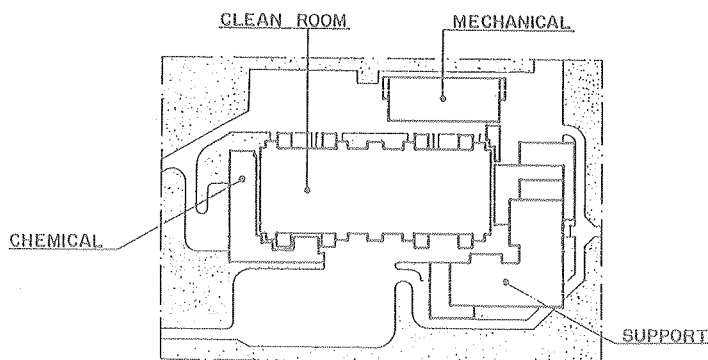
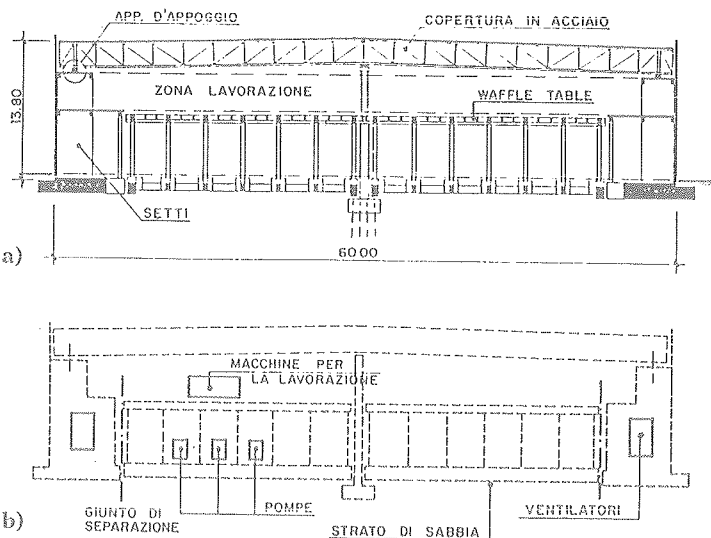


Fig. 40. Planimetria dello stabilimento.

Fig. 41a). Sezione della Clean-room.

Fig. 41b). Sistemi di isolamento.

2.4 Strutture particolari e cantieristica

Si hanno in questo gruppo tre memorie, le prime due (Menegotto, Mercurio) relative ad opere particolari per le quali la progettazione ha comportato il rispetto di speciali esigenze, la terza (Sola) rivolta ad evidenziare il successo della progettazione integrale.

La memoria di Menegotto illustra la soluzione prefabbricata in c.a. armato adottata per la realizzazione di un pipe-rack di circa 800 m di lunghezza (Fig. 37), atto a sostenere circa 30 Km di tubazioni su tre livelli. Trattasi di telai spaziali interamente prefabbricati a 4 pilastri, l'unificazione delle cui unioni (Fig. 38) ha permesso soluzioni modulari, pur nella varietà dei carichi e della disposizione delle travi (Fig. 39).

Gli aspetti più salienti riportati dall'Autore riguardano i principi di progettazione (azioni e schemi strutturali) e i risultati ottenuti in sede di prefabbricazione e montaggio che hanno dimostrato il pieno successo della realizzazione.

La memoria di Mercurio, Via ed altri illustra il progetto delle strutture del nuovo complesso Texas Instruments di Avezzano (Fig. 40), fra le quali risultano di assoluta particolarità quelle della cosiddetta Clean - Room (Fig. 41), ove si richiedeva un ambiente rigorosamente pulito e protetto dalle vibrazioni, al di là della generale richiesta di antisismicità dato il sito costruttivo (Fig. 42).

Per soddisfare le esigenze di contenimento vibrazionale, il

«team» di progettazione ha svolto indagini preventive nei riguardi dei fattori d'inquinamento del sito, misurando i livelli vibrazionali ambientali sia nello stato «naturale» che in quello «eccitato» (veicoli in transito e in frenata nell'area e sulla vicina superstrada Avezzano - Sora). Il tutto era finalizzato a soddisfare le esigenze vibrazionali richieste sul piano di lavoro, il che è stato ottenuto tramite l'adozione di adeguati provvedimenti di protezione vibrazionale: apparecchi di sospensione per ventilatori e pompe; Clean - Room strutturalmente isolata con giunti; strato di sabbia al di sotto delle fondazioni del piano di lavoro della Clean-Room; irrigidimento adeguato delle strutture del piano di lavoro e di quelle sorreggenti i ventilatori.

Le misure vibrazionali misurate in sito ad opera eseguita hanno felicemente corrisposto alle richieste progettuali. Gli Autori illustrano poi le verifiche sismiche compiute e forniscono interessanti dettagli della progettazione strutturale (ad esempio, nella Fig. 43 quelli riguardanti la prefabbricazione del piano di lavoro della Clean - Room).

La terza memoria, di Sola ed altri, è dedicata soprattutto ad evidenziare i vantaggi ottenibili attraverso la progettazione coordinata integrale di un'opera, illuminando la figura dello strutturista di una nuova luce, quella di «architetto della struttura che, ancor prima d'essere garante della staticità delle strutture, diventa fondamentale nella composizione dell'equipe progettuale e assume un nuovo risvolto professionale».

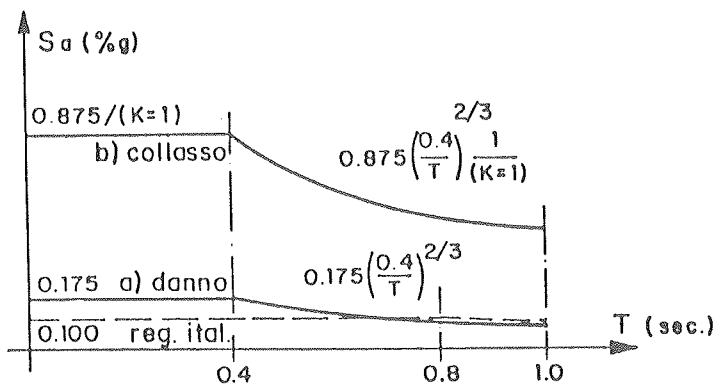


Fig. 42. Spettri di progetto.

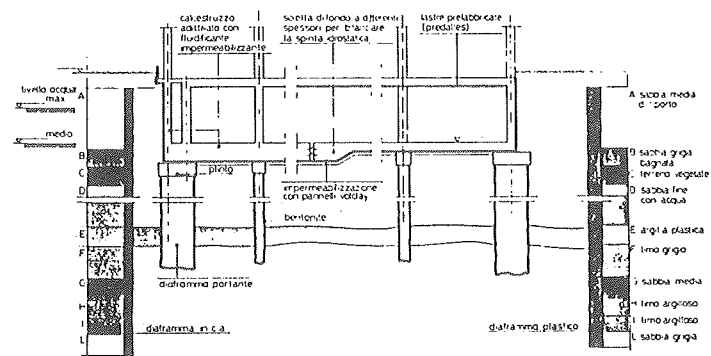


Fig. 44. Schema delle fondazioni.

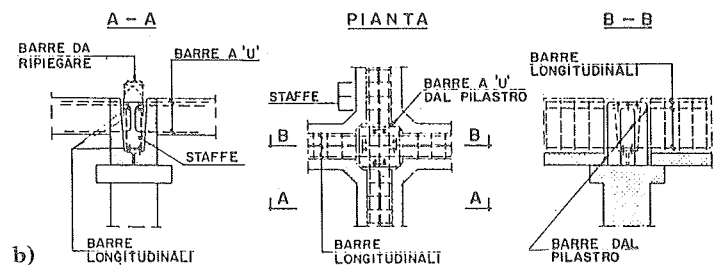
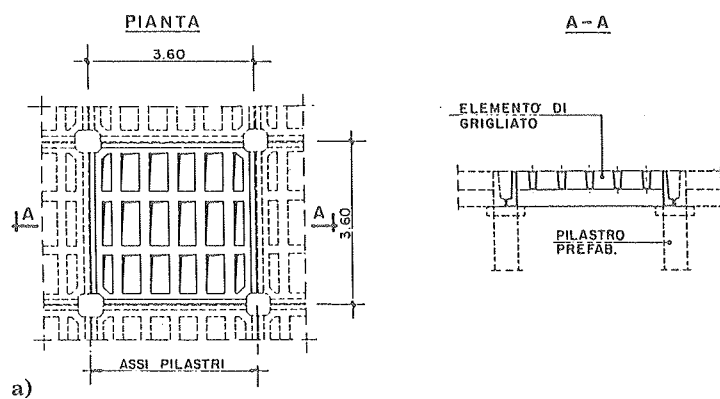


Fig. 43a). Prefabbricazione del Waffle-Table.
 Fig. 43b). Collegamenti dei prefabbricati del Waffle-Table.

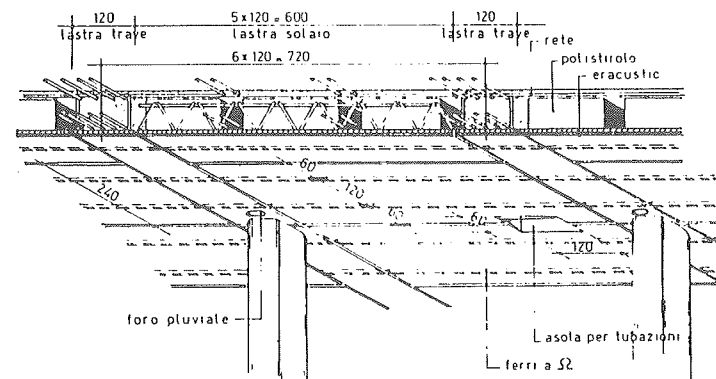


Fig. 45. Impalcato tipo.

Un'occasione di applicare questa filosofia progettuale si è manifestata per il nuovo Centro Servizi di Mestre della Cassa di Risparmio di Venezia. Gli Autori passano in rassegna i criteri informativi del progetto generale (con tutte le loro intercorrelazioni) ed illustrano poi le strutture (ad esempio, Figg. 44,45), con un cenno a quanto realizzato in chiave moderna (ossia, di progettazione) per soddisfare le esigenze di resistenza al fuoco.

Le conclusioni sono rivolte, come si è già detto, ad illustrare il vantaggio ottenibile dalla progettazione integrale (si afferma un vantaggio economico del 10% sull'importo globale).

3. EPISODI REALIZZATIVI

Come si è già indicato nelle premesse, nelle città le spinte costruttive più significative hanno riguardato le infrastrutture di trasporto, le strutture per lo sport e lo spettacolo, gli edifici del terziario e gli insediamenti sulle aree dismesse. Mi riferirò specificatamente a quanto ultimamente realizzato a Milano: avremo così modo di vedere gli importanti risultati ottenuti, ma di intravedervi anche le difficoltà sofferte per ottenerli.

Le infrastrutture di trasporto. A Milano esse hanno riguardato la costruzione della linea 3 - la cui apertura sul suo intero tracciato (circa 12,7 km) fa collocare Milano al terzo posto in Europa in rapporto al numero dei suoi abitanti con circa 53,1

Km di linee metropolitane -, i lavori del Passante Ferroviario e la sistemazione del nodo «Fiorenza» delle Autostrade Nord.

Nella Fig. 46 è riportato il tracciato delle linee metropolitane e nelle Figg. 47, 48 le sezioni tipo della linea 3. Si ricorda (Fig. 6) che circa i 2/3 del suo tracciato sono stati eseguiti con il metodo a foro cieco previo consolidamento del terreno con iniezioni cementizie (metodo cui ha fatto riferimento la memoria mia e di altri). Nelle Figg. 49, 50 sono ripresi alcuni momenti costruttivi.

Il Passante Ferroviario rappresenta, come è noto, un'insostituibile struttura di trasporto per coordinare il territorio nei riguardi della mobilità, oltre che essere un esempio emblematico di applicazione della Legge sugli Accordi di Programma. Nella Fig. 51 ne è riportato il tracciato e nelle Figg. 52 ÷ 58 alcuni momenti costruttivi relativi al lotto 1PC (progettista strutturale lo scrivente ed altri), realizzato mediante iniezioni cementizie con la preventiva costruzione di due cunicoli laterali (fasi successive di Fig. 5). Le Figg. 59, 60 si riferiscono invece al lotto 2PB, realizzato con l'applicazione di un sistema, messo a punto dal prof. Lunardi, che si promuove fra i più interessanti ed innovativi sistemi di tipo conservativo (tubi in c.a. rotovibrati di circa 1,80 m di diametro a spinta longitudinale formanti arco-telaio con centine trasversali in c.a., precunicolo centrale circolare per le iniezioni). La situazione della stazione-scambio Buenos Aires con la preesistente Linea 1 ha imposto la realizzazione di una galleria

molto superficiale, solo circa 4 m di ricoprimento in calotta con dimensioni veramente eccezionali (circa 29,0 m di larghezza di scavo). Se si pensa che i cedimenti sono risultati solo dell'ordine del mm, si può veramente affermare che si è trattato di una meravigliosa opera d'ingegneria sotterranea.

Nel complesso di manufatti realizzati per sistemare il nodo delle Autostrade Nord progettato dalla Soc. SPEA di Milano (in Fig. 61 si ha la visione di una parte della sopraelevata in acciaio con sottostante sottopasso in c.a. verso lo stadio), si distingue il ponte strallato in c.a. di 45,0 - 90,0 m - 45,0 m di luce sovrappassante il sistema ferroviario di Milano Certosa (linee Milano - Varese, Sempione e Torino). Per conto dell'Impresa esecutrice

46

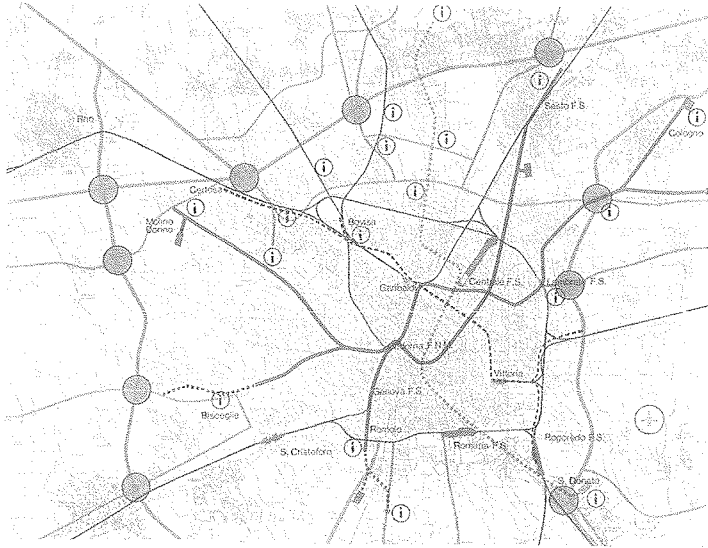


Fig. 46. Tracciato delle Linee metropolitane di Milano.

ho partecipato alla progettazione esecutiva del prof. Martinez - ad esempio, la messa a punto assai delicata del sistema di varo longitudinale dei due mezzi ponti di 90,0 m ciascuno di lunghezza (sostegni andatori provvisori, slitte, Fig. 62, e martinetti di spinta). Nella Fig. 63 si vedono i 45,0 m di manufatto avanzanti a sbalzo oltre la pila da un lato, in attesa degli altri 45,0 m dell'altro lato per formare la luce centrale di 90,0 m. Nella Fig. 64 si vedono i piloni reggi-stralli con gli stralli in fase di montaggio e nella Fig. 65 si ha una vista del manufatto completato.

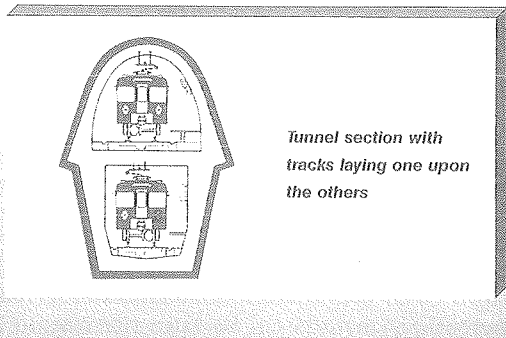
Le strutture per lo sport e lo spettacolo. Come è noto, l'occasione dei Mondiali di Calcio ha portato alla creazione di stadi adeguati in tutte le città sedi di partite. Voglio citare le due realizzazioni di Milano (Fig. 66) e di Verona (Fig. 67) perché esse paiono proprio collocarsi agli estremi dell'arte del costruire per quanto attiene le dimensioni e i pesi degli elementi prefabbricati a terra o prefabbricati. Nello stadio G. Meazza di Milano (progettista architettonico arch. Ragazzi e strutturale prof. Finzi): travi a cassone portagradinate in c.a.p. (Figg. 68,69) fabbricate a terra del peso massimo di circa 1600 t e lunghezza di 56,7 m, travi reticolari in acciaio di copertura (Fig. 70) assemblate a terra con pesi massimi di anche 2000 t e lunghezza di 295 m. Nello stadio Bentegodi di Verona (progettista architettonico e strutturale ing. Zorzi): elementi prefabbricati in c.a. e c.a.p. (Fig. 71) di dimensioni ridotte e pesi massimi sulle 35 t, travi - mensola in acciaio di copertura (Fig. 72) con pesi ancora molto contenuti.

L'esigenza di creare adeguate strutture natatorie nelle città ha dato luogo ad un'importante serie di impianti la cui evoluzione tecnologica ha condotto a soluzioni strutturali sempre più complesse (ad esempio, nelle piscine estate - inverno, ossia scoperte - coperte, la necessità di traslazione di una parte della copertura). Per molte di queste realizzazioni è stato progettista generale, architettonico ed impiantista l'arch. Zoppini, strutturale lo

47



MM STRUTTURE ED INFRASTRUTTURE DEL TERRITORIO

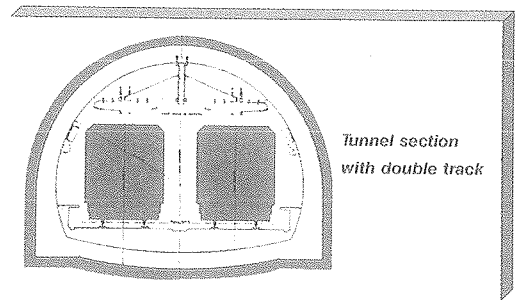


Tunnel section with tracks laying one upon the others

48



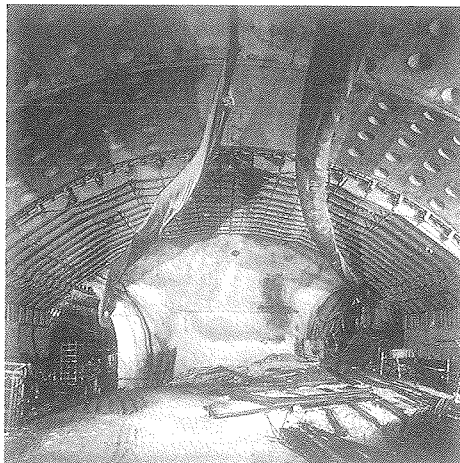
MM STRUTTURE ED INFRASTRUTTURE DEL TERRITORIO



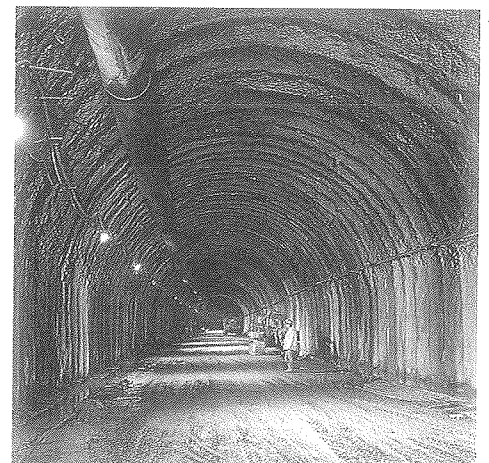
Tunnel section with double track

Fig. 47-48. Sezioni tipo della Linea 3.

49



50



Figg. 49-50. Fasi della costruzione delle gallerie della Linea Metropolitana 3 di Milano.

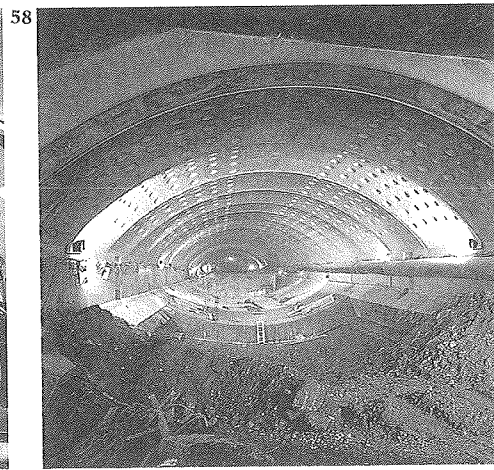
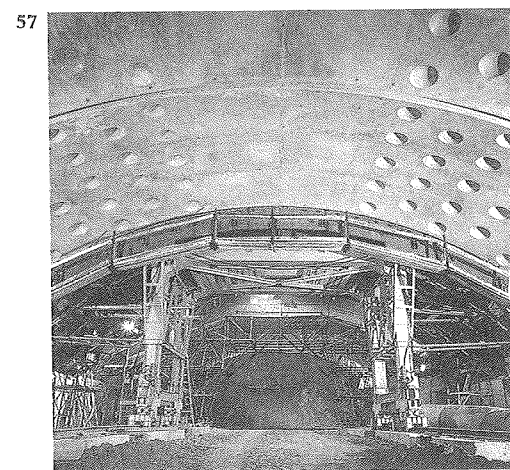
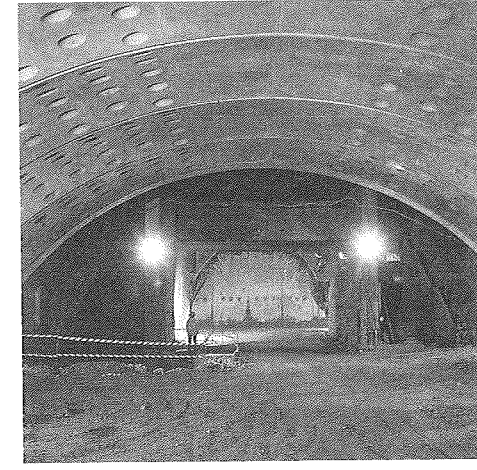
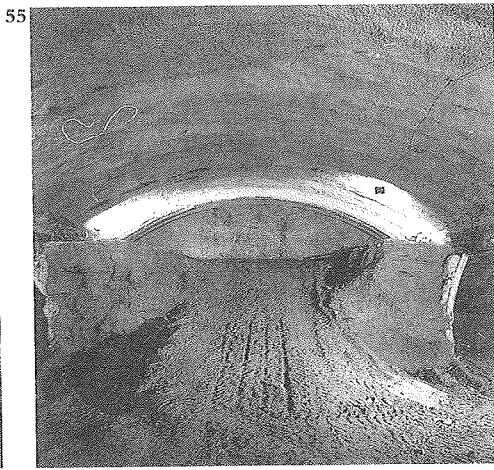
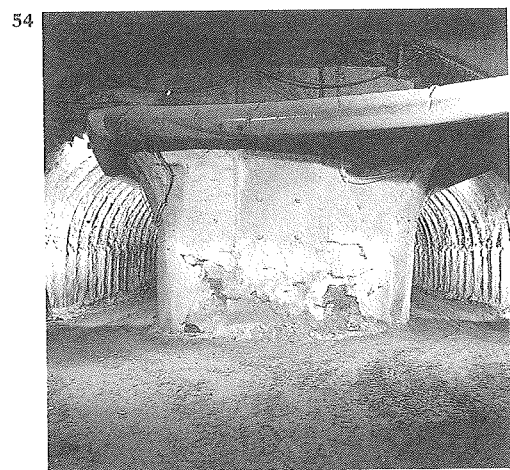
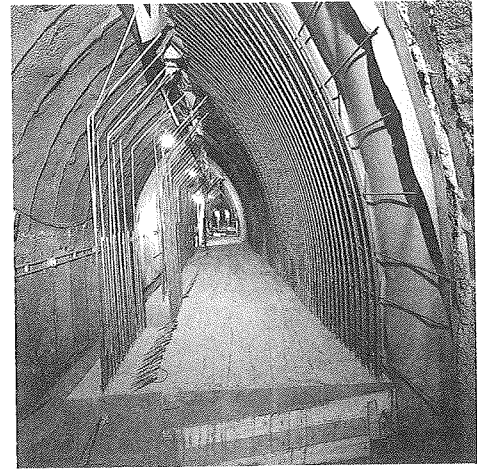
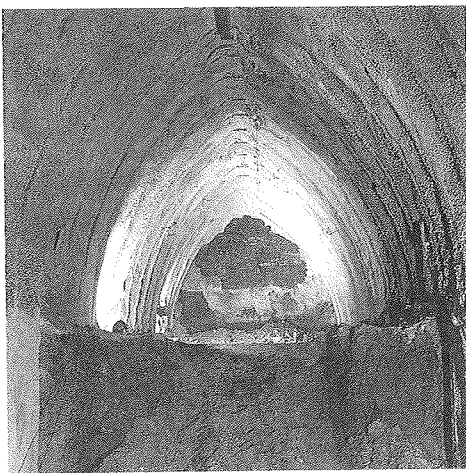
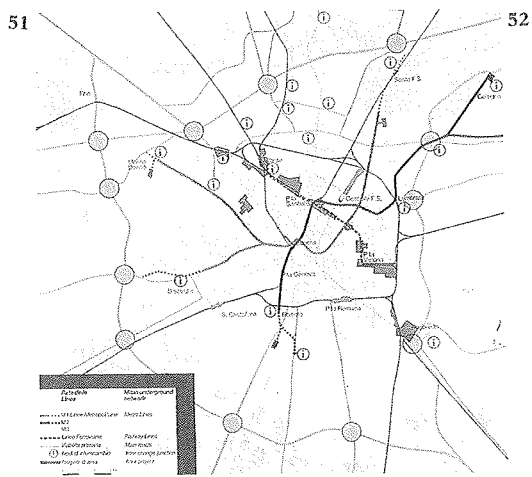


Fig. 51. Tracciato del passante ferroviario realizzato a Milano.
 Figg. 52-58. Fasi costruttive relative al lotto IPC del passante ferroviario.

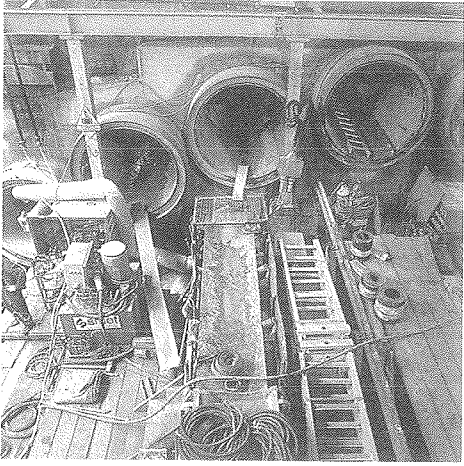
scrivente ed altri. Nelle Fig. 73,74,75, si vedono le travi a cassone di Seregno, Crema e Voghera; nella Fig. 76 la sezione trasversale della piscina olimpica di Genova, con la metà mobile della copertura; nelle Figg. 77,78 la maquette e nella Fig. 79 un disegno costruttivo (con la vista della trave canale ad arco avente gli sbalzi laterali per lo scorrimento della copertura mobile) del nuovo Centro Natatorio di Milano Lambrate.

Questa breve rassegna delle strutture per lo sport e lo spettacolo si chiude con il ricordo di due realizzazioni di grande prestigio: il teatro Carlo Felice di Genova (Fig. 80, progettisti arch. Valle e prof. Rossi) e del Piccolo Teatro di Milano (Fig. 81, progettista architettonico prof. Zanuso, strutturale ing. Giuliani). Nell'occasione non posso che formulare l'auspicio che Milano

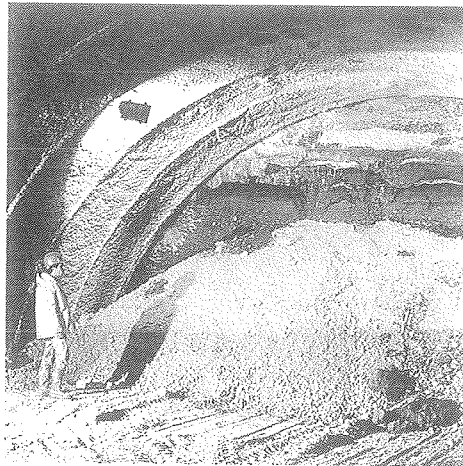
voglia dar luogo all'esecuzione del Nuovo Palazzo dello Sport nell'area di S. Siro (progettista architettonico prof. Rossi, strutturale ing. Dal Lago) ed alla ristrutturazione funzionale del Teatro alla Scala sotto la guida del suo Sovrintendente.

Per quanto riguarda la spinta di Milano a volersi dotare di un terziario avanzato per il management del domani, gli episodi sono assai cospicui, a partire dalle realizzazioni di Pirelli nel quartiere Albania prospiciente all'area del Polo Tecnologico Bicocca (Figg. 82,83, progettista generale e architettonico ing. Cerretti, strutturale ing. Brusa, lo scrivente e altri) fino a giungere alle numerose realizzazioni del Gruppo Premafin (Figg. 84 + 87, quartieri Senigallia, Ripamonti, Val Formazza e Richard, progettisti architettonici arch.tti Caso', Catozzo e Boniva, strut-

59

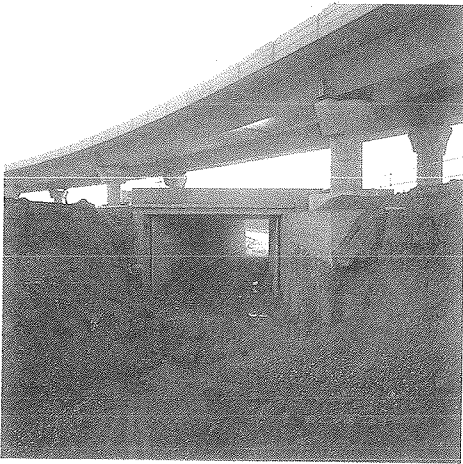


60

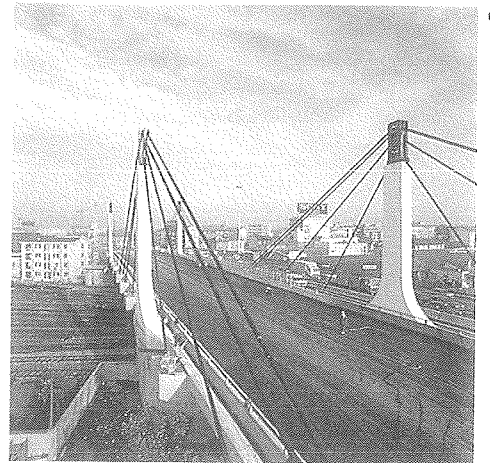


Figg. 59-60. Fasi costruttive del passante ferroviario (lotto 2PB).

61

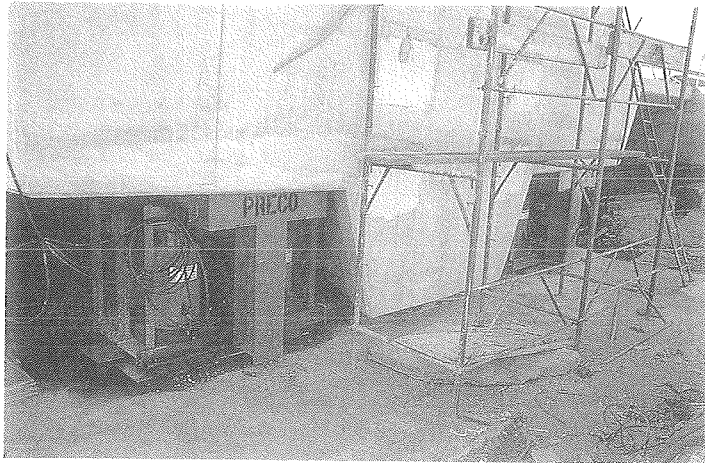


65

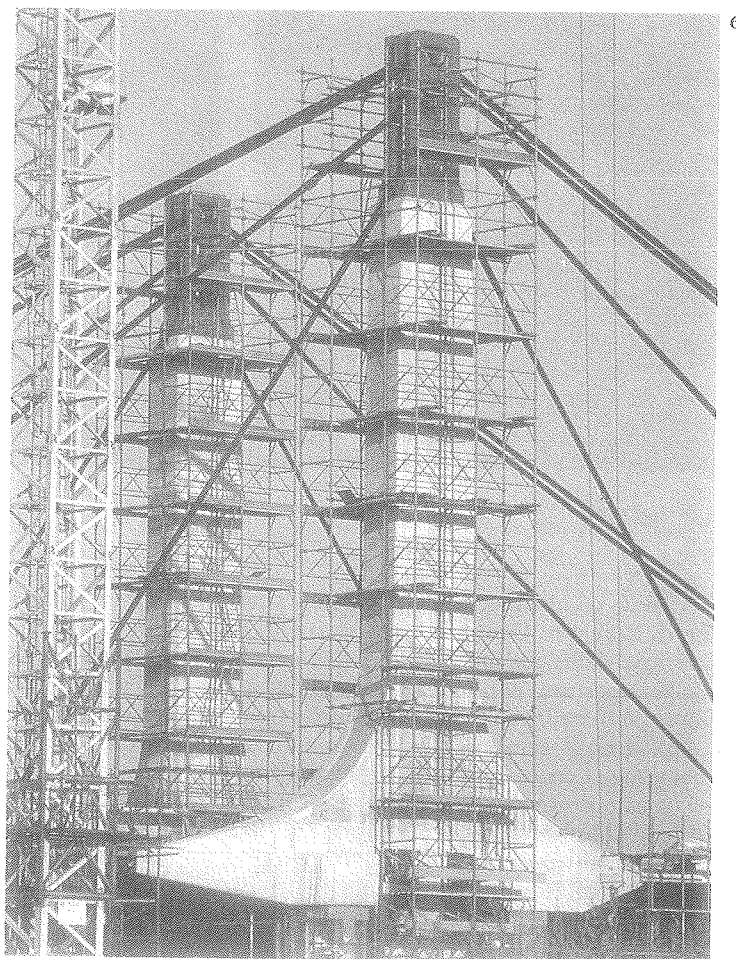


Figg. 61-65. Momenti costruttivi dei manufatti realizzati per la sistemazione del nodo ferroviario Milano-Certosa.

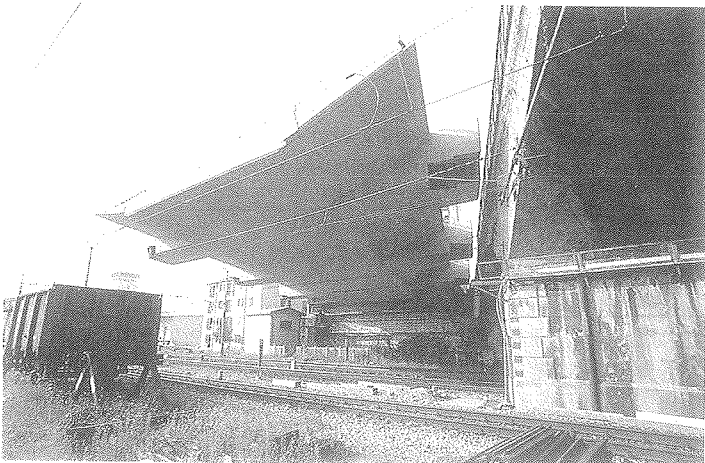
62

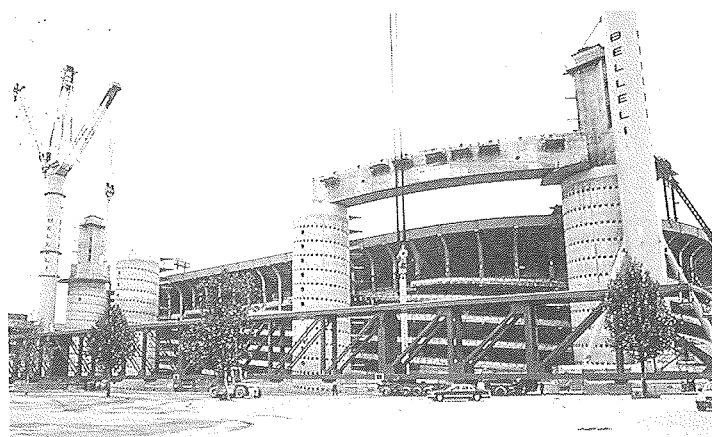
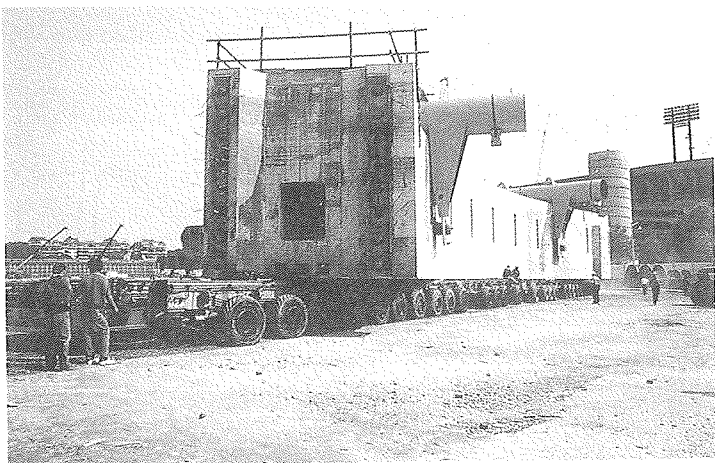
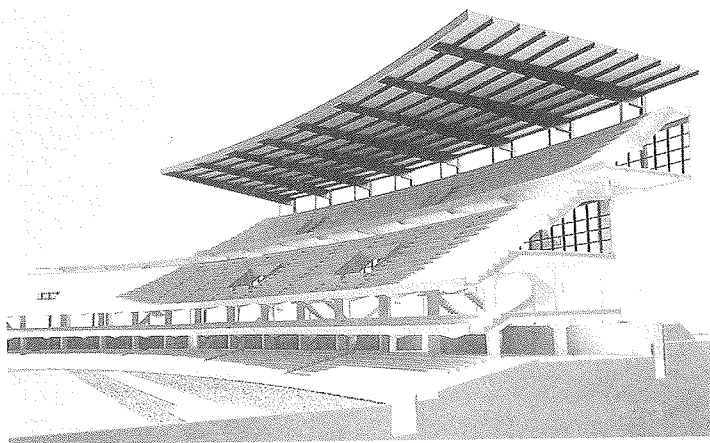
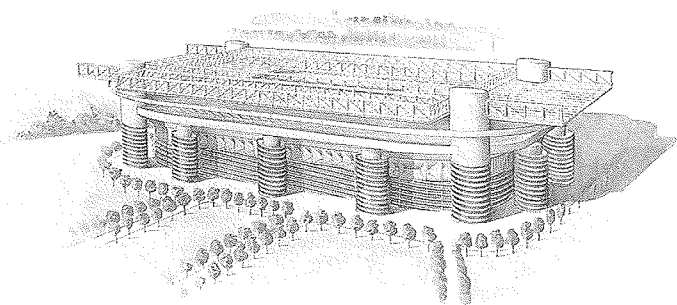


64

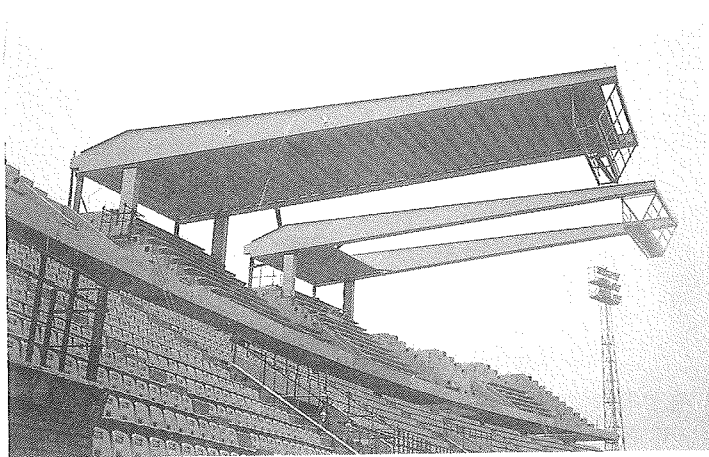
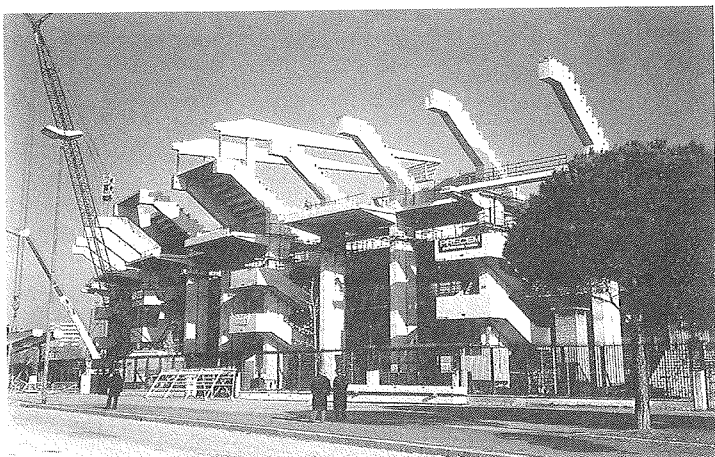


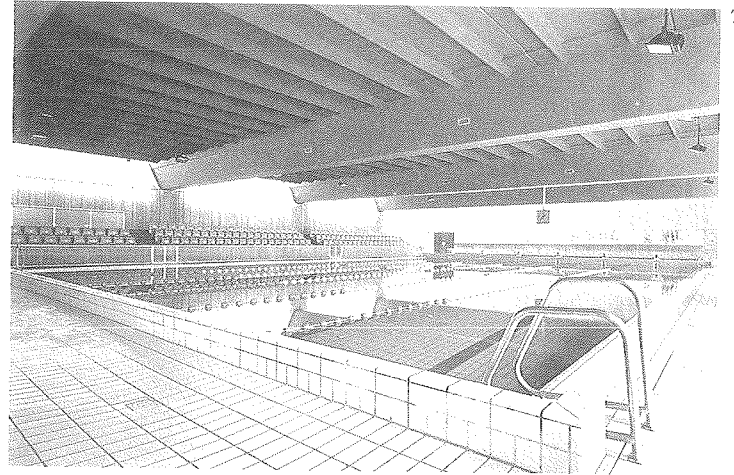
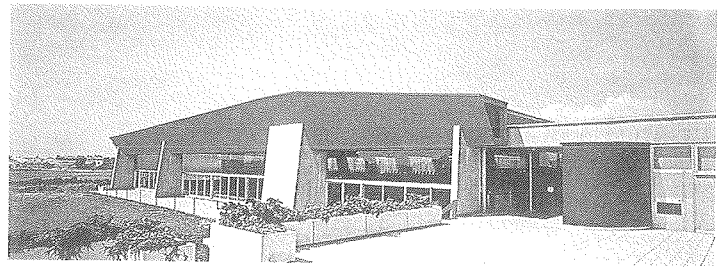
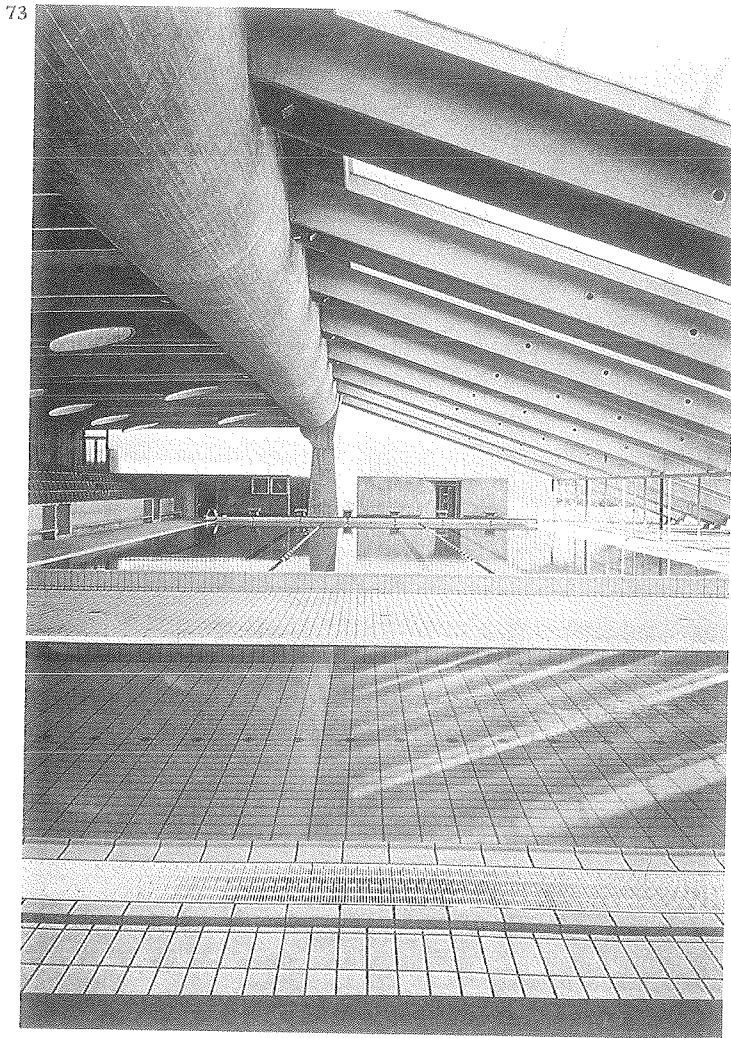
63





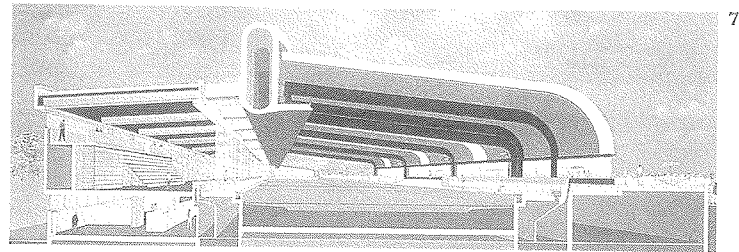
Figg. 66-68-69-70. Prospetto e fasi costruttive dello Stadio Meazza a Milano.
 Figg. 67-71-72. Fasi di costruzione dello Stadio Bentegodi di Verona.



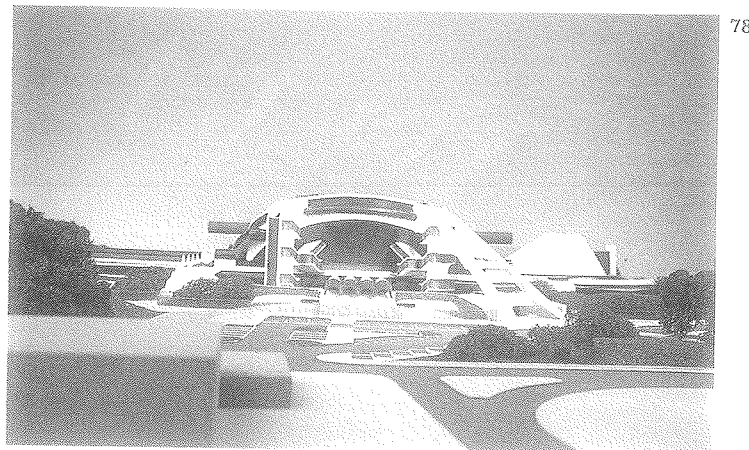
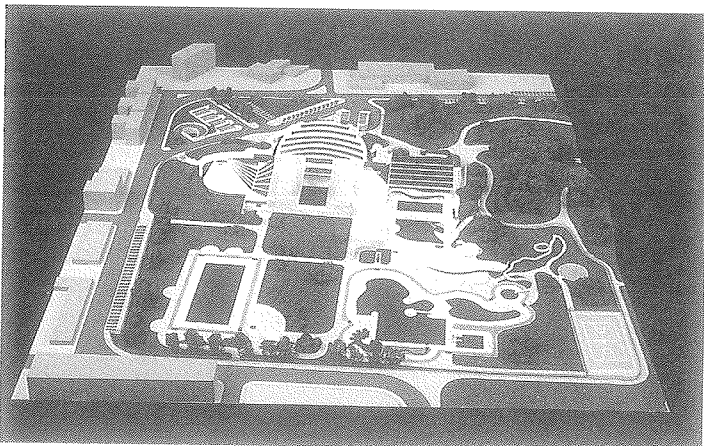
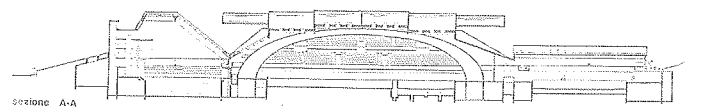


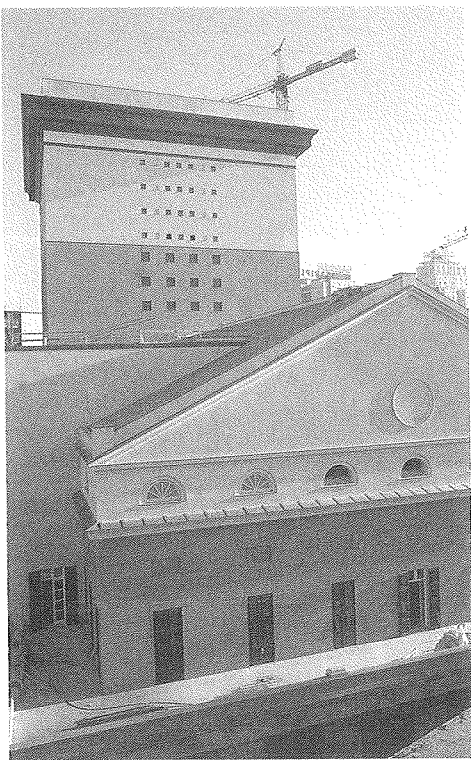
turale ing. Giombini) ed ai nuovi grattacieli del quartiere Garibaldi - Isola (Figg. 88, 89, progettisti generali e architettici arch.tti Lazzari e Perotta, prof. Li Calzi) (2).

Tuttavia, una componente molto importante per la risoluzione a città europea è rappresentata dall'utilizzo qualificato delle cosiddette aree dismesse, ad esempio per la formazione di Poli Scientifici. In Milano questo avviene nell'area dismessa di Pirelli Bicocca (Fig. 90). Dopo lunghe vicissitudini - iniziate con i



(2) Le strutture portanti di tali grattacieli sono in acciaio, a parte il core e i servizi. Tuttavia, fra questi grattacieli ve ne è uno di prossima esecuzione alto più di 130 m con struttura in c.a. ad alta resistenza fino a circa 60 m e poi in acciaio (progettisti generali e architettici arch.tti Lenzi e Algarotti, strutturale ing. Levati e lo scrivente).





Figg. 73-74-75. Travi a cassone realizzate per gli impianti natatori di Seregno, Crema e Voghera.

Figg. 77-78-79. Manquette e sezione del nuovo centro natatorio di Milano Lambrate.

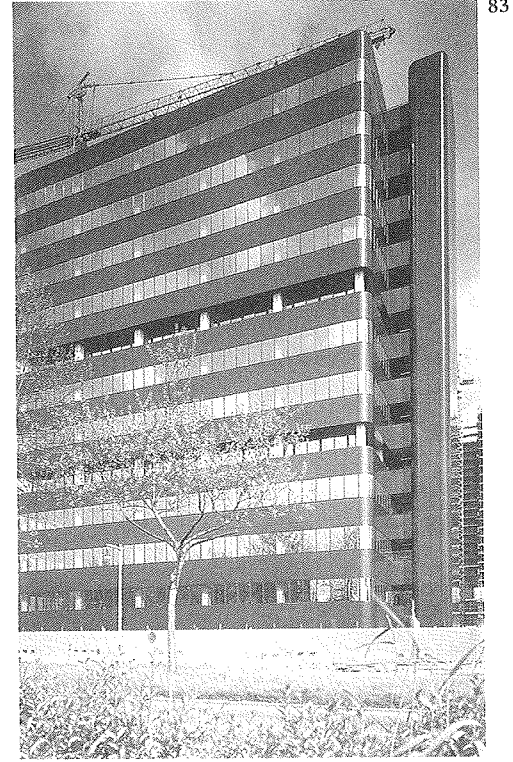
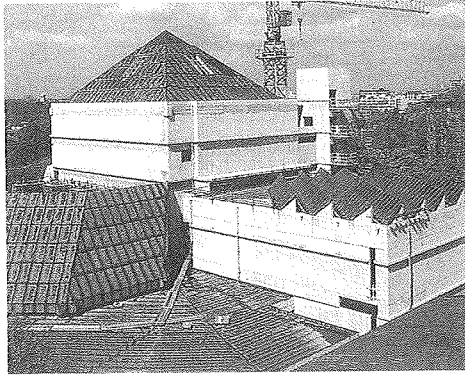


Fig. 80. Teatro Carlo Felice a Genova.

Fig. 81. Piccolo Teatro di Milano.

Fig. 82-83. Edifici Pirelli nel quartiere Albania a Milano.

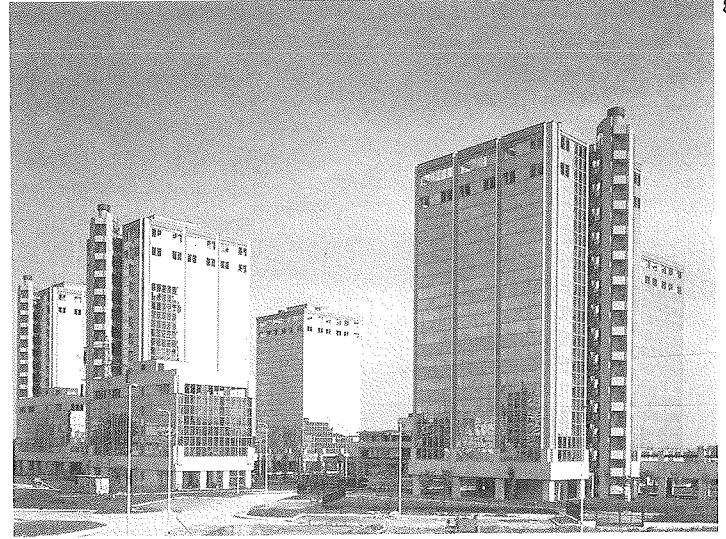
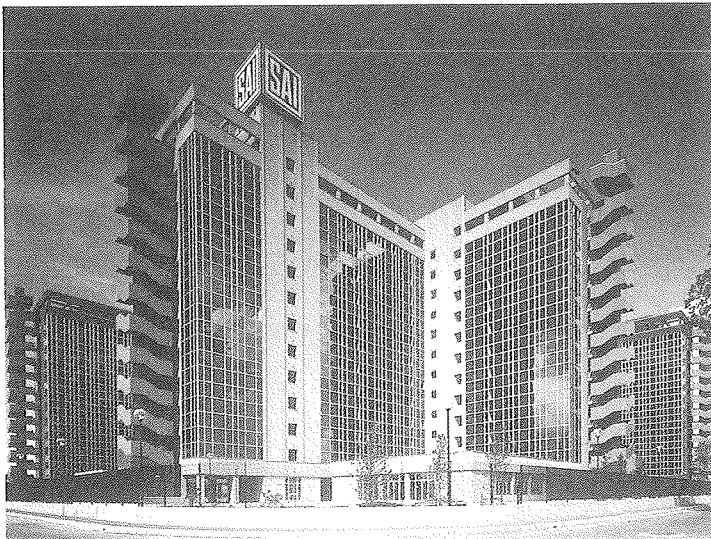
Fig. 84-85. Edifici realizzati nei quartieri Senigallia, Ripamonti, Val Formazza e Richard, a Milano.

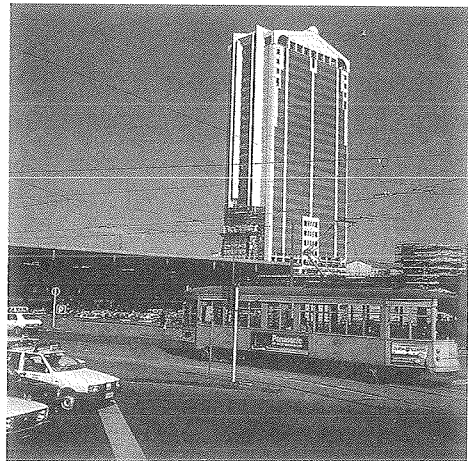
protocolli d'intesa con le Amministrazioni pubbliche, passate attraverso un concorso internazionale di progettazione (vinto dal prof. Gregotti) ed i successivi passi urbanistici fino ad arrivare ai piani di lottizzazione ed alle relative concessioni edilizie - si dà ora inizio alle costruzioni dei nuovi edifici dopo avere operato la ristrutturazione di alcuni edifici preesistenti per poter subito accogliere i primi insediamenti (Cefriel, Istituto per l'ambiente ed altri Centri importanti). Nelle Figg. 91 + 93 sono riportati il plastico del progetto Gregotti ed alcuni dettagli architettonici (l'«esplanade» verso viale Sarca e la vista di una piazza interna).

Concludo così questa mia relazione, volutamente con il ri-

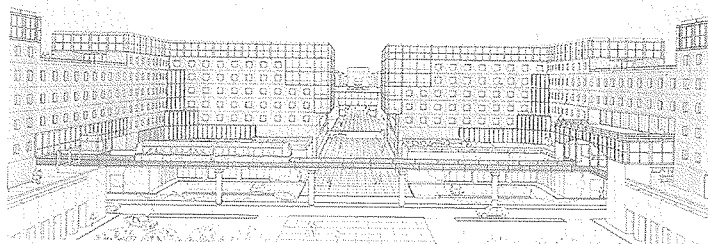
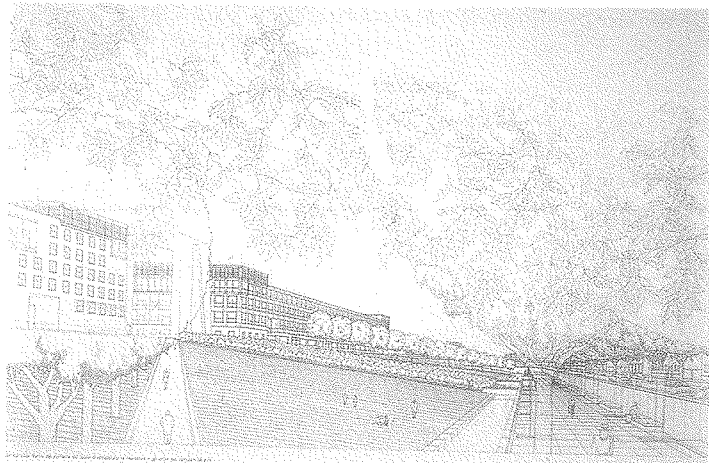
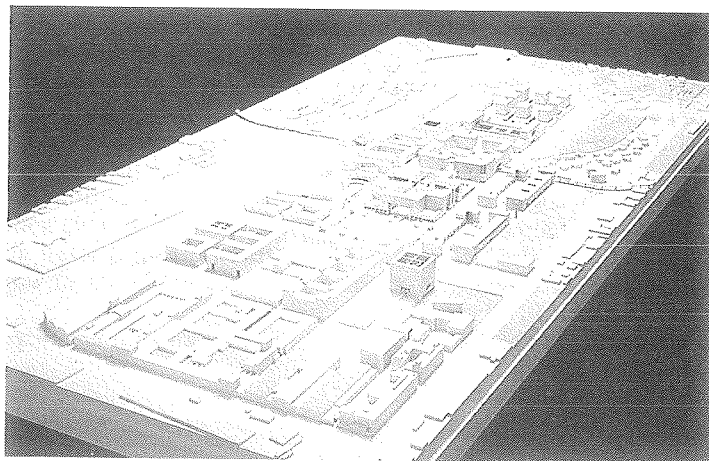
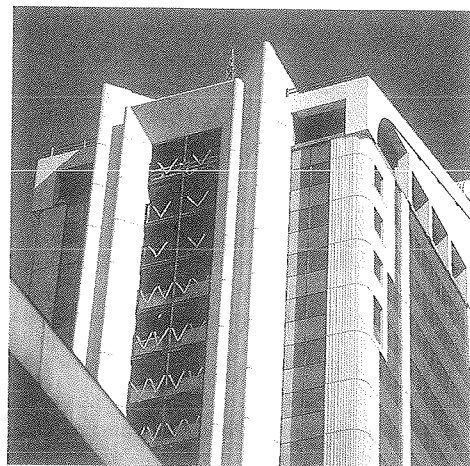
chiamo a quanto si farà nel Polo Bicocca proprio per sottolineare le notevoli difficoltà operative, e le conseguenti lungaggini temporali, cui si deve far fronte attualmente per la realizzazione di una grande opera civile nel territorio.

I progettisti strutturali hanno però dimostrato sempre grande passione, competenza e coscienza nello svolgimento del loro operato. Consapevoli ora di avere a disposizione nuovi strumenti, tecniche e conoscenze sempre più approfondite nel campo del c.a. e c.a.p., vengono a rappresentare una componente tecnica di alto stimolo, grande peso ed assoluta garanzia per la messa in pista delle realizzazioni moderne che spettano di dovere alla nostra società.





Figg. 86-87. Edifici realizzati nei quartieri Senigallia, Ripamonti, Val Formazza e Richard, a Milano.
 Figg. 88-89. Nuovi grattacieli nel quartiere Garibaldi - Isola.
 Figg. 90. Vista aerea dell'area ex-industriale Pirelli Bicocca.
 Figg. 91-92-93. Plastico e dettagli architettonici del progetto redatto dal Prof. Gregotti per l'area della Bicocca.



Con questa conclusione d'intenti, Vi ringrazio per l'ascolto che mi avete concesso, ringrazio poi il Consiglio Direttivo e l'Associazione tutta per la fiducia che mi ha dimostrato nell'avermi assegnato questo compito di Relatore Generale.

«ATTI DELLE GIORNATE A.I.C.A.P. '91» - Spoleto, 16-18 Maggio

L'evoluzione delle costruzioni di c.a. e c.a.p. aspetti esecutivi e gestionali

Relazione Generale: Dott. Ing. Fernando Piccinini

L'evoluzione delle costruzioni di c.a. e c.a.p. aspetti esecutivi e gestionali

Relazione Generale: Dott. Ing. Fernando Piccinini (*)

Il tema di questa mattinata riguarda gli aspetti esecutivi e gestionali e la loro incidenza nella evoluzione delle costruzioni in cemento armato ordinario e precompresso.

È stato, questo del cemento armato, un processo evolutivo la cui effettiva durata contrasta curiosamente con la vastità e la portata dei risultati.

Una durata, a conti fatti, brevissima e che, configurata nel contesto storico dell'arte del costruire, ha avuto i caratteri di una vera e propria esplosione.

Si può infatti osservare, aggiornando una riflessione che Robert Maillart ebbe a fare circa 50 anni fa, come in un arco di tempo quale quello coperto dalla vita di un uomo, brevissimo quindi, l'arte del costruire abbia subito, grazie principalmente all'avvento del cemento armato, uno sviluppo tale da poter reggere il confronto con tutto quanto successo nei precedenti 5000 anni, da quando cioè quest'arte mosse i suoi primi passi.

Un'occhiata retrospettiva alla stampa tecnica dell'epoca ci mostra infatti come, intorno agli anni 1800, la pietra squadrata, il mattone ed il legno, fossero ancora i soli materiali presi in considerazione per la costruzione di qualsiasi tipo di edificio di una certa importanza.

In quegli anni il nostro materiale era pressoché negletto, e si iniziava appena a dibattere se un conglomerato in cemento avesse, a livello resistenziale e strutturale, titoli sufficienti per essere paragonabile alla pietra squadrata.

Erano quelli, per contro, gli anni in cui l'acciaio, le cui applicazioni erano state fino ad allora circoscritte alle travate da ponte, iniziava ad imporsi alla pietra anche nel campo degli edifici, e la torre Eiffel in Europa e le prime realizzazioni di edifici alti in America, ne additavano le grandi possibilità anche in quei campi.

Pregiudizi e mancanza di conoscenza invece concorrevano a frenare, se non del tutto impedivano, lo sviluppo del conglomerato cementizio.

Di calcestruzzo armato poi neppure un cenno sulla stampa tecnica dell'epoca, ed alcune sporadiche applicazioni portate avanti da pochi isolati sperimentatori, fra cui Hyatt in U.S.A., Coignet e Monier in Francia, Wayss in Germania, Ward in Inghilterra, venivano considerate come curiosità, esercitazioni prive di serio credito, venti di mode passeggero.

A dispetto di tutto ciò, quasi d'incanto e sorprendentemente, il cemento armato sovvertì le regole decantate da millenni d'esperienza e il suo sviluppo trionfale ed incredibilmente rapido, dopo aver soppiantato con le sue snelle logiche flessionali la pietra e le sue regole massive, andò addirittura a contendere e

ad insidiare il campo dell'acciaio anche laddove questo materiale regnava incontrastato.

È in questo arco di tempo, che noi andiamo a dare uno sguardo, concentrando principalmente la nostra attenzione, poiché questo è il tema, sull'incidenza che le tecniche esecutive e le logiche gestionali hanno avuto nello sviluppo delle costruzioni in genere ed, in particolare, nella affermazione di quelle in cemento armato.

Considerazioni di carattere generale, necessariamente, poiché l'evoluzione delle costruzioni in cemento armato fa parte di un processo più ampio che abbraccia tutti i campi della tecnica e dal quale processo non può essere assolutamente separata pur tenendo nel dovuto conto il ruolo autonomo del materiale calcestruzzo che, apparso dapprima come materiale sostitutivo di quelli tradizionali, da utilizzare quindi con tecniche e prudenza a quelli ispirate, si è poi scoperto pervaso da proprietà e caratteristiche autonome il cui studio ha rivelato domini e attitudini affatto nuovi come l'adattamento viscoplastico, la ridistribuzione delle iperstatiche, l'affidabilità anche in caso di fessurazione, la monoliticità che se ne può ricavare, la possanza delle masse confezionabili, l'arditezza delle forme e delle geometrie.

Eviterò una cronologica e forse noiosa rassegna delle metodologie e delle situazioni che via via si sono imposte e succedute e i convenuti, penso, me ne saranno grati. Il mio intervento sarà piuttosto una carrellata di pensieri, più aderente alla realtà che non alla cronologia dei fatti, poiché la storia non è soltanto un'ordinata elencazione di eventi, ma anche un modo di prender coscienza del proprio passato in proiezione futura.

Dedicherò infine il tempo indispensabile alle memorie che ci sono pervenute, molte delle quali incentrate sul tema degli additivi; argomento questo peraltro ampiamente trattato nella seconda giornata dello scorso convegno AICAP. Sarò breve nel commentarle, anche per evitare ripetizioni e lasciare più campo agli interventi. Non mi sarebbe comunque dispiaciuto se una più vasta gamma di argomenti avesse onorato questo tema poiché il suo interesse è fuori discussione.

.... un progetto per dirsi tale deve risolvere non solo le figure matematiche ma anche le figure del fatto realizzativo....

A sfogliare i trattati d'ingegneria, ricchi di formule, di dati, di nozioni, si stenta a riconoscere che la chiave di volta per la risoluzione dei vari problemi progettuali di un lavoro d'ingegneria è costituita non soltanto dall'acquisizione scientifica, ma anche dei mezzi di lavoro, macchine, attrezzature, procedimenti, di cui si dispone e dalla loro organizzazione; eppure l'evoluzione delle costruzioni in genere, ed in particolare quella delle strut-

* Socio Onorario A.I.C.A.P.

ture in cemento armato, è stata resa possibile dall'evoluzione dei mezzi di lavoro e delle metodologie esecutive. Si può affermare che la metodologia esecutiva, e cioè la sequenza delle operazioni che vanno effettuate sul posto edificatorio seguendo un preciso ordine nel tempo e nello spazio è, non solo la base del fatto economico che si accompagna al lavoro di costruzione, ma è ben di più: è la base della reale «praticabilità» del progetto. È indispensabile quindi, affinché un progetto sia veramente tale, che il progettista possieda nella sua personalità e professionalità la conoscenza di come il lavoro potrà e dovrà essere effettuato.

A meno che non si tratti del Brunelleschi che, alle prese con l'altissima cupola di Santa Maria del Fiore in Firenze, di fronte alla difficoltà di realizzare con l'arte del carpentiere dell'epoca una centina di così tanta elevazione e peso, pensò di farne del tutto a meno e risolse con il suo genio «ab initio» in una sintesi capolavoro di fantasia cantieristica, la metodologia della costruzione a sbalzo senza centina di una grande cupola.

Ma si tratta di eccezioni.

.... il cantiere di una volta, le figure dell'Appaltatore e dell'Ente appaltante

Agli inizi del secolo la metodologia costruttiva di un'opera d'arte era considerata tema sommario e secondario.

L'organizzazione del cantiere era compito specifico dell'appaltatore perlopiù capomastro, o geometra o, talvolta, ingegnere. Ma la sua attività si limitava agli aspetti economici specifici ed ai problemi della mano d'opera, restando egli in pratica estraniato sia dai problemi della statica sia da quelli progettuali e tecnologici.

Il compito dell'appaltatore era dunque quello di reperire ed organizzare la mano d'opera ed i mezzi, mentre la gestione vera e propria del progetto spettava specificamente alle stazioni appaltanti. Queste avevano un contenuto tecnico largamente superiore e preminente rispetto a quello dell'impresa, per cui il progetto veniva condotto prescindendo quasi dalla figura dell'impresa e dalla sua organizzazione: l'impresa aveva nei confronti del progetto un ruolo sotto ogni aspetto subordinato. E questo modo di condurre i lavori era proprio non solo della edilizia ordinaria, ma anche dei grandi lavori pubblici condotti peraltro da enti quali le Ferrovie Statali, le Società di Elettrificazione, il Genio Civile etc., tutti qualificati e preparati come all'epoca non erano invece le imprese.

Per tale motivo di preminenza, oltre che per motivi economici, le stazioni si riservavano il compito singolare di dirigere il lavoro dell'impresa, da cui la «direzione lavori». La Direzione Lavori, così intesa, costituiva dunque l'anello d'unione, importantissimo, fra la progettazione e l'esecuzione.

Le grandi opere pubbliche, dalle gallerie alpine ed appenniniche, alle dighe, alle centrali ed alle condotte forzate, ai ponti ed alle linee ferroviarie, ai moli ed alle grandi costruzioni di edilizia dell'inizio del secolo, sono tutte dovute all'intensa e qualificata attività di uomini che assommavano in sé, nella funzione direzionale, sia gli aspetti progettuali e tecnologici, sia quelli della utilizzazione razionale degli uomini e dei mezzi messi a disposizione dalle imprese dell'epoca.

Mezzi limitati in verità. Mancava ancora il Diesel, mancavano o erano rare le linee di distribuzione elettrica, l'unica fonte d'energia essendo i motori a gas in stazioni fisse ed i locomobili a vapore. Le macchine di cantiere restavano soggette alla necessità della fonte di energia, mancavano quindi di motori incorporati, piccole erano le potenze impegnate e quindi forte l'occorrenza del lavoro manuale. Il lavoro presentava perciò il carattere meno qualificante dell'artigianalità con pregiudizio per la redditività e la costanza della qualità.

E limitate erano le possibilità di trasporto basate sull'utilizzo, ove possibile, di chiatte e pontoni, sul traino animale, su de-

cauville azionate a gravità, talora trainate a vapore, rari i camion diffusisi più tardi con la 1^a Guerra Mondiale.

Il concetto di «impianto cantiere» come cuore dell'attività esecutiva, nasceva così dalla necessità di accentrare le macchine intorno ai pochi generatori di potenza.

Poco a poco, col progredire delle macchine e l'avvento di più complesse attrezzature, le imprese più avanzate addivennero all'idea di affidare lo studio e l'organizzazione degli impianti ad ingegneri specializzati ed in particolare lo studio della produzione e della distribuzione del calcestruzzo. Nacquero le centrali di betonaggio, i nastri trasportatori, i trasporti teleferici, gli impianti Blondin; si iniziò a studiare in anticipo il fabbisogno di energia, il problema dell'intermittenza e della simultaneità dei consumi, quello della manutenzione e riparazione in loco degli impianti con installazioni di officine in cantiere. La mano d'opera si specializzava, mentre la concezione dell'economia smetteva d'essere soltanto liberistica e diveniva sociale e più umana.

.... con lo sviluppo delle tecnologie operative, l'impresa abbandona il suo ruolo passivo nei confronti del progetto

Già intorno agli anni 30, grazie anche allo sviluppo del mezzo di lavoro che giunse infine ad incorporare il propulsore di energia, l'organizzazione del cantiere raggiungeva livelli notevoli e la figura e il ruolo dell'impresa acquistavano maggiore valenza. Cito fra i tanti lavori in cui preminente è stato il ruolo organizzativo del cantiere e dell'impresa, la realizzazione del ponte translagunare di Venezia. Fu un'opera grandiosa realizzata in soli tre anni, resa possibile, pur nella soggezione delle maree ed in tanta estensione di palude, dallo studio razionale del modo di costruirla con tutti i mezzi di cui si disponeva a quell'epoca. Per descrivere sia pure sommariamente quell'immenso cantiere non basterebbe tutto il tempo a mia disposizione anche se, confrontandolo con quanto è possibile fare oggi, ne risulta un salto che ha del fantascientifico.

Un passo decisivo per lo sviluppo delle costruzioni fu, come dicevo, l'aver dotato il mezzo di lavoro di energia propria incorporandovi il propulsore. Questo fatto, applicato via via a tutte le componenti dell'impianto, dai trapani e dai demolitori alle sonde, ai battipali, alle gru, alle mescolatrici e ad ogni attrezzatura in movimento, soppiantò rapidamente rendendole obsolete e lontane le precedenti metodologie costruttive.

In questo quadro si inserisce in modo fondamentale per lo sviluppo delle tecnologie operative e delle prestazioni delle strutture in cemento armato, lo sviluppo delle conoscenze sui materiali, principalmente sul materiale calcestruzzo, con la comprensione e la diffusione delle cognizioni sul comportamento a breve e lungo termine, e sul ruolo giocato dall'impiego degli additivi.

Il progredire delle macchine, dunque, la disponibilità dell'energia, la approfondita conoscenza dei due materiali acciaio e calcestruzzo e del loro comportamento, rappresentano i capisaldi di un'evoluzione che in tempi incredibilmente brevi ha capovolto il modo stesso di concepire e realizzare le opere di ingegneria ed in particolare le costruzioni in cemento armato.

.... gli anni del dopo guerra e l'industrialismo il precompreso la prefabbricazione

Nell'immediato dopo guerra, anni 40, i getti avvenivano in opera e si puntava al risparmio del ferro e del calcestruzzo. Tipiche le gabbie dell'epoca in cui abbondavano i raccordi, gli smussi, gli strombi, piccolo il passo dei pilastri, le solette sottili, sagomate ed a tutto spessore. Abbondante l'impiego del legname a formar casseri e complicate incavallature. Abbondante l'impiego della mano d'opera. Legname e mano d'opera erano la «merce» più a buon mercato.

Ed in legname nel dopoguerra si concepivano ancora le centine dei ponti, ed in particolare di quelli ad arco nella classica forma a ventaglio ovvero a capriate. L'evoluzione di queste grandi strutture, che merita un cenno particolare, è stata rapida, come rapido ne è stato il tramonto. Costruire un grande arco in cemento armato, ed agli inizi del secolo già si osava l'arco di 100 mt di corda, significava risolvere due strutture: quella definitiva e quella della centinatura, la seconda sovente complessa quanto la prima, se non di più. L'inevitabile assestamento del legname sotto peso e la progressiva rotazione delle porzioni d'arco già eseguite con conseguente fessurazione del calcestruzzo, costringeva, per venirne a capo senza danni, a tutto un protocollo organizzativo e procedurale. Si concepì dapprima il getto dell'arco in conci distinti con serraglie interposte da sigillare in un secondo tempo: ci si affrancava così dai macroscopici fenomeni fessurativi, ma con severi riflessi sulle centine chiamate all'intero peso. Poi si organizzò il lavoro in modo da formare l'arco in conci per «rotoli», di talché il secondo rotolo veniva formato dopo che il primo era completato e diventato portante, quindi il successivo: la centina si alleggeriva ma in taluni casi doveva essere allentata o smontata per evitare che il peso del rotolo successivo si concentrasse sul sottostante con figure puntuali che avrebbero alterato, a disarmo, la funicolare dei carichi. Celebri in tal senso il ponte Africa sul Tevere progettato da Giulio Krall e quello di Calafuria presso Livorno.

Raffinate concezioni progettuali strozzavano l'arcate fra le reni e le imposte per abbassarne il centro elastico e migliorarne il regime iperstatico in base ad una più sapiente geometria.

Per il ponte a tre arcate sul Volturmo a Capua, Krall abbinò la strozzatura della volta alle reni all'aspetto irrigidente dei timpani-costole longitudinali costruiti successivamente e preziosi per fronteggiare i carichi critici degli archi sottili nei confronti dell'insidia della viscosità e del ritiro.

Poi le centine diventarono metalliche, tipo Dalmine-Innocenti, ovvero sagomate ad arco in legno lamellare, tipo Cruciani. E si ricorre al traliccio Melan in carpenteria di acciaio annegato nei getti sostitutivo delle centine. Od, ancora, si giunge a sopprimere le centine realizzando i semiarchi in verticale su cerniere provvisorie, poi ribaltandoli e chiudendoli in chiave.

Ebbene, tutto questo oggi è passato e stiamo parlando di ieri. La curva delle pressioni, le cadute di spinta per raccorciamento dell'asse, le tecniche per la sua correzione, solo ricordi. Gli archi non si fanno più. Semplicemente. Qualche sporadica, anche se importante applicazione moderna, ne conferma praticamente la fine. L'evoluzione del cemento armato con l'avvento del precompresso, ha surclassato tali domini d'opera.

Ma torniamo agli anni '40. Uomini geniali tra cui Rabut, Considère, Colonnetti, avevano già indicato i vantaggi che si potevano conseguire introducendo nelle strutture stati di coazione permanenti, con l'adozione di una tecnologia nuova, quella del precompresso. E Freyssinet già nel 1928 aveva dato luogo al primo brevetto per l'invenzione del «cemento armato precompresso». Ma, come a suo tempo il calcestruzzo ebbe sul nascere vita grama per poi esplodere trionfatore, così ad analoga difficile gestazione sottostà il precompresso.

Ecco cosa ne pensava nel 1946, cioè dopo più di tre lustri dal primo brevetto Freyssinet, lo stesso Krall, peraltro promotore di studi avanzati sul calcestruzzo, uno dei primi anzi ad indagare con profondità di metodi analitici il comportamento viscoelastico delle costruzioni in calcestruzzo armato e l'insidia che talvolta vi si nasconde e tal'altra è invece benevola e risolvibile.

Egli scriveva: «i moderni tipi precompressi sono costruzioni su cui si può fissare l'attenzione nel primo rapido sguardo ai propri campionari quando si inizia un progetto, ma che si debbono scartare appena si pensa all'esecuzione.... Si tratta in ogni caso di travi in cui i ferri d'armatura sono sostituiti con funi d'acciaio, senza incorporarle nel calcestruzzo, messe in tiro attraverso tenditori o generi analoghi, i quali devono consentire

in ogni caso la possibilità di ripassare il tiro quando se ne presenti la necessità, segnalabile in base a controlli da farsi periodicamente, non leggendo deformometri, ma dinamometri applicati agli ancoraggi. Quando si accettino queste condizioni, non molto ortodosse in verità, i risultati conseguibili possono essere considerati notevoli. Ma queste pretese, che diremo «artificiali», sono preferibilmente da sostituire con pretese naturali date per virtù del solo peso proprio della struttura, virtù messa in atto dalla riapparizione della vecchia e gloriosa trave armata sotto le sue note sembianze e sotto aspetti più o meno aggiornati».

Questa era la condizione del precompresso in Italia nel 1946 e non molto diversa, sebbene già presa in più seria considerazione, in Europa e in America. Poco più che una curiosità dunque, buona principalmente per arricchire i campionari.

E grazie a questa curiosità da campionario, nel successivo decennio, avviene la rivoluzione destinata a modificare radicalmente l'arte del costruire.

Ricercatori, progettisti e tecnici, attraverso l'azione di Associazioni benemerite, promotrici e coordinatrici della ricerca scientifica sul comportamento delle strutture, e sui vari aspetti costruttivi del cemento armato sotto il profilo tecnologico – il riferimento anche alla nostra AICAP è preciso quanto superfluo – mettono a punto il precompresso finalizzandone conoscenze e metodologie. E le imprese e le ditte più qualificate, affiancando alla speculazione teorica e scientifica la ricerca sperimentale e le figure organizzative ed esecutive del lavoro, pervengono a quei mezzi, quei magisteri, quei materiali di qualità superiore che, con tanta poca fede, Giulio Krall aveva chiamato in causa.

Non si può, in tale quadro, non inserire il contributo essenziale fornito al cemento armato dalla siderurgia con l'introduzione sul mercato di acciai ad alta ed altissima resistenza di acciai ad alto limite elastico e di acciai ad aderenza migliorata, nonché degli acciai in barre, in trefoli ed in fili per precompresso e delle reti elettrosaldate, grazie ai vari procedimenti posti in atto, sia quanto a leghe, sia quanto a trattamenti termici e meccanici, per migliorarne la qualità della fusione e dell'acciaio di trafilatura.

Né si può sottacere il ruolo importantissimo svolto nell'evoluzione tecnologica del materiale calcestruzzo, dagli additivi sotto diverse forme e concezioni. Fluidificanti e superfluidificanti, aeranti, fumi di silice e ceneri volanti, monomeri e polimeri a bassa viscosità, fibre acciaiuse, vetrose, polipropilene, di carbonio, ci inducono a parlare di una vera e propria «Scienza del Calcestruzzo», grazie alla quale, le più alte caratteristiche di resistenza e di durabilità sono state acquisite conservando agli impasti la necessaria lavorabilità.

Col nascere e con lo sviluppo del precompresso reso possibile dall'evoluzione dei materiali evolve tutta l'arte del costruire in cemento armato, e si spiana la strada ai processi prefabbricati su vasta scala. Le due tecnologie si combineranno poi insieme con effetti impensati per lo sviluppo delle costruzioni.

Evolvono le tecniche ed evolvono i tempi. L'economia si trasforma. In cantiere la mano d'opera, ormai qualificata, acquista maggiore responsabilità e valenza e diventa più rara, anche perché alla ricerca legittima di organizzazioni più durature nel tempo di quanto non possa essere il cantiere tradizionale. Sale il suo costo e quindi anche l'esigenza di farne a meno poiché fattore primo di ogni manifestazione connessa con l'attività dell'uomo è stato sempre il movente economico. E la gestione del fatto edificatorio dalla sua forma più semplice e primitiva che vide progettista, costruttore ed utente identificati in una sola figura, quella dell'homo sapiens, alle forme più moderne e complesse di gruppo, ha avuto sempre come determinante la ricerca di quei provvedimenti che consentono il raggiungimento del risultato massimo con la minima spesa. Le macchine dunque e gli automatismi si sostituiscono all'uomo e trovano nell'alto costo delle

sue prestazioni un ulteriore incentivo per il loro sviluppo e la loro affermazione.

In questo quadro evolve il processo della trasformazione edilizia. L'edilizia perde il suo carattere artigianale e s'impone sulla meccanizzazione e sulla organizzazione programmata. La macchina, divenuta protagonista, è però meno duttile dell'uomo, i suoi movimenti precisi e potenti, sono limitati. Si perde in personalità, si guadagna in produttività. Il processo costruttivo va verso forme ripetitive condotte sia in stabilimento attraverso procedimenti industrializzati, sia direttamente nei cantieri a piè d'opera. E la prefabbricazione si afferma quale fattore essenziale del processo di trasformazione strutturale conseguente all'industrialismo. La precompressione, parallelamente, entra anch'essa a far parte del bagaglio tecnologico dell'edilizia, vuoi come componente essenziale di travi, travetti e tegoli prodotti in serie, vuoi come elemento specifico di singole applicazioni studiate di volta in volta quali portali, intelaiature, timpani, incatenamenti antisismici.

Negli edifici ci si libera dalla soggezione dello schema a gabbia intelaiata. Si passa a schemi nuovi. Nascono i sistemi di prefabbricazione puntiformi orientati verso le grandi luci, verso i pilastri a più piani mono pezzo, verso le soluzioni isostatiche; ed i sistemi scatolari, nelle versioni bidimensionale a pannello e tridimensionale e cellula, con schemi fortemente iperstatici, poco duttili, vuoi nella forma che nel comportamento statico, ma capaci comunque di notevole risposta resistenziale e capaci di eliminare i magisteri delle finiture in opera. E ancora, gli edifici traggono partito dalle capacità portanti di nuclei scatolari attrezzati cui si affida, attraverso la rigidità in piano dei solai, il governo delle azioni orizzontali, mentre le travi si riducono a solo sostegno dei carichi verticali. Ed il cemento armato, ordinario e precompresso, si afferma anche nella realizzazione di edifici alti, industriali e residenziali, orientando spesso a suo favore, come per la Torre Velasca e la Torre Pirelli a Milano, il confronto con l'acciaio. Ed il cantiere edilizio si trasforma e diventa sito di montaggio di elementi prefabbricati e rifiniti in stabilimento. Nascono i sistemi slablifting e story-lifting, i getti industrializzati su casseri tipo banchè o tunnel e, tramite casseri telescopici scorrevoli ed autoelevantisi, si riesce a gettare insieme pareti e solai.

In misura altrettanto spettacolare la tecnica del calcestruzzo, l'impiego di sofisticati macchinari e la razionalizzazione del modo di lavorare, hanno sovvertito e rivoluzionato il lavoro in sotterraneo. Alle vecchie metodologie dell'avanzamento manuale in cunicolo cui seguiva l'allargo in calotta, poi lo scavo di strozzo, poi quello dei piedritti in sottomurazione, infine l'arco rovescio, oggi si è giunti a sostituire l'avanzamento a tutta sezione con tecnologie diverse a seconda dei terreni attraversati, che vanno dall'aggressione «full face», a quella per punti, al pretaglio frontale, con pre-rivestimento e successivo getto del rivestimento, ovvero con prefabbricazione in conci.

La prefabbricazione e la precompressione unitamente all'impiego di attrezzature duttili e potenti, portano l'evoluzione costruttiva ai suoi vertici nel settore dei ponti e dei viadotti che, tra le opere dell'ingegneria civile, rappresentano i test che più rivelano l'evoluzione tecnologica dei materiali e dei sistemi costruttivi. Qui il superamento di tecniche e limiti di applicazione riconosciuti è quasi ininterrotto, sino ad imporre il calcestruzzo con le strutture a sbalzo e con quelle strallate anche nel campo delle grandi luci.

Non mi soffermo a richiamare le tante applicazioni e le opere che segnano le tappe significative di questa eccezionale corsa ad ostacoli.

Preferisco soffermarmi un attimo su due procedimenti costruttivi particolari che trovano la loro chiave risolutiva nell'impiego di attrezzature imponenti e sofisticate, procedimenti nei quali l'impegno tecnologico è tanto esasperato da richiedere ai progettisti non solo la conoscenza della scienza delle costruzio-

ni, ma anche quella, approfondita, dei sistemi di costruzione e delle relative attrezzature, degli oneri di ammortamento e dei costi, con attenta dosatura ponderale degli effetti. Un lavoro d'equipe il cui asse principale collega progettista e costruttore, confondendone quasi le figure e chiama entrambi insieme alla gestione globale del fatto edificatorio.

Il primo procedimento è quello basato sull'impiego delle centine mobili nelle sue diverse applicazioni, procedimento che congloba in un unico spettacolare complesso tutte o quasi le attrezzature necessarie alla realizzazione dell'impalcato. Qui il cantiere si trasferisce in pratica sulla campata in costruzione e si sposta con essa in una con i suoi approvvigionamenti, lasciando dietro di sé il manufatto finito. È una tecnologia emblematica del contributo della macchina, una tecnologia che, nello specifico, rappresenta la forma più moderna ed affidabile del getto in opera.

L'altro esempio, parimenti significativo dell'incidenza che le possibilità del mezzo d'opera possono avere sull'evoluzione del modo di costruire, è una struttura che sta sorgendo sulla Livorno-Civitavecchia e che rappresenta, a mio avviso, la sintesi ottimale dei concetti di prefabbricazione in c.a.p. applicati ad un viadotto a travata continua. Qui gli elementi prefabbricati diventano le intere campate, giustapposte in serie sulle pile e poi solidarizzate a formar tratte di 300 + 400 metri. Si superano tutte le problematiche proprie della prefabbricazione frazionata per successivo assemblaggio in opera degli elementi componenti la campata, sia essa a travi e traversi, sia del tipo a conci, e tutti i rischi connessi alle giunzioni. L'intera campata è un monolito lungo 42 m, largo 12,25 e pesante circa 900 tonnellate che viene manovrato, trasportato e varato con agilità e sicurezza come un qualunque prefabbricato di più consuete dimensioni. Ma quel che più sorprende è la rapidità con cui ciò avviene. Il lavoro può avanzare con passi da gigante, un passo da 42 metri al giorno.

Siamo con questi due procedimenti costruttivi al limite della forzatura? Alla ricerca del gigantismo e dell'immagine? Sembrerebbe proprio di no, poiché con essi l'intervento di termini possenti è risolutivo non solo sotto il profilo operativo ed economico, ma, soprattutto, sotto il profilo della qualità e dell'affidabilità dell'opera realizzata. Il solo limite di cui sembra allora giusto parlare è quello che fa riferimento alle possibilità tecniche del mezzo d'opera e dei mezzi organizzativi dell'esecutore. Finché questi si evolvono, con essi evolve l'arte del costruire. Come sarebbe altrimenti pensabile la realizzazione di opere quali la sede della BMW a Monaco di Baviera che richiede la movimentazione in verticale dell'intero edificio, 13.000 tonn. o la Barriera sullo Schelda con elementi da 18.000 tonn., o il tunnel ferroviario sottomarino di Amsterdam con prefabbricati da 50.000 ton., o la Stratfjord Platform B in Norvegia che ha richiesto la realizzazione e la movimentazione di un gigante da 500.000 tonnellate?

E in questo quadro ove le figure assumono aspetti e dimensioni inconsuete, necessariamente, evolve e si completa anche la figura del progettista. Il progettista moderno è un progettista-costruttore, ricco oltre che di preparazione scientifica, anche di fantasia cantieristica. E progettare diventa, come avviene in cantiere, un lavoro di gruppo, il concorso di esperienze, competenze e specializzazioni diverse. Il cantiere ispira il progetto come da questo, a sua volta, viene ispirato, sì che non è più possibile immaginare corretta una progettazione che sia ideata prescindendo dai mezzi e dall'organizzazione dell'esecutore. Progetto e fatto costruttivo non possono cioè essere appannaggio di una mente solo scientifica, o solo matematica, o solo organizzativa ed operativa ma si rende necessario il concorso di molti contributi, e l'aggiornamento continuo delle conoscenze di ciascuno, e l'approfondimento dei singoli elementi, fino al dettaglio, che può apparire secondario, ma è soltanto nascosto e d'un tratto diviene preminente. E l'esperienza ci dice anche

che il progetto di un'opera non nascerà mai automaticamente da un computer, per quanto raffinate e sofisticate ne siano la programmazione e le scelte. Vi sarà sempre, indispensabile e preminente, il fattore umano, la scelta e lo studio del caso per caso e l'attenzione al modo di proporre e realizzare l'opera in un dato ambiente, in un dato tessuto sociale ed economico e con i mezzi a disposizione e, con in più, l'«uomo» da tener presente perché il progetto è fatto con uomini ed è destinato a servire uomini.

.... *gli argomenti delle memorie*

Frutto di un'organizzata progettazione di gruppo, sono certamente le opere descritte nella memoria pervenutaci a nome Rapino-Furlanetto-Merletti dal titolo «Strutture sottili su medie luci: l'impalcato a piastra del viadotto Fadalto» e nella memoria a nome Rapino-Caloisi-Merletti dal titolo «Un esempio di impalcato a trave continua su grandi luci realizzata con conci prefabbricati: il viadotto Restello».

Nella prima memoria si descrive un'opera in corso di realizzazione che appare progettualmente molto ben centrata. La parte più interessante è l'impalcato in c.a.p. a piastra piena e sezione variabile su luci di 55 m, valore questo che è uno dei massimi toccati con il sistema costruttivo adottato che è quello della centina mobile autovarante. L'impalcato è particolarmente snello con uno spessore in mezzera di soli 1,10 m; questa snellezza s'è resa necessaria per consentire all'impalcato, strutturalmente continuo, di assorbire i sensibili cedimenti differenziali delle pile site in terreni eterogenei e diversamente deformabili. Le pile, solidali con l'impalcato, sono dotate di elasticità sufficiente ad assorbire gli spostamenti longitudinali causati dalle deformazioni lente. Dal punto di vista innovativo è interessante il sistema di accoppiamento dei cavi di precompressione in corrispondenza dei giunti di costruzione tra una campata e la successiva: la continuità è ottenuta per sovrapposizione dei cavi piegati in doppio strato orizzontale, a semicerchio, nella zona che precede il giunto. In questo modo si evitano le testate di accoppiamento e con esse i rischi per la durabilità della struttura continua connessi al rientro dei cunei. Non v'è dubbio che l'aspetto più saliente di questa opera, a parte la felice impostazione progettuale, è il ruolo della macchina, una macchina del peso di 1400 tonnellate che rende agevole una esecuzione corretta alla velocità dichiarata di una campata da 55 m a settimana. Le esigenze della macchina e quelle progettuali hanno trovato pieno soddisfacimento, di utilizzo le prime e di risposta statica le seconde, nelle semplicità costruttiva e nella notevole deformabilità elastica della soluzione a piastra piena. Si rileva che il ricorso ad un'attrezzatura del genere, del costo di diversi miliardi, è comunque giustificato solo in presenza di un viadotto che preveda un grande numero di luci.

La seconda memoria descrive l'impalcato del viadotto Rustello. Vale la menzione per la dimensione degli elementi prodotti e per la novità della soluzione in prefabbricato su grande luce. Lo schema statico è quello di un'unica trave continua lunga 2100 m su appoggi scorrevoli vincolata alle due spalle tramite ritegni sismici. Le luci maggiori raggiungono i 100 mt. Ciascuna carreggiata è formata da due travi a cassone solidarizzate longitudinalmente in soletta. Ciascuna trave è poi ottenuta con due elementi prefabbricati, l'uno posto a cavallo della pila e lungo 40 m, l'altro nella zona intermedia lungo 60 m e pesante 800 ton. Anche in questo caso il ruolo principale spetta alle attrezzature che consentono, a regime, secondo quanto dice la memoria, una velocità di avanzamento del lavoro di una campata ogni due settimane: parliamo però di campate di 100 m. Dalla lettura della memoria si trae l'impressione che la soluzione costruttiva adottata sia un po' ai limiti della praticabilità, se è vero, come dice l'autore, che curve con raggi minori di 800 m non sarebbero affrontabili dati la lunghezza ed il peso dell'attrezzo,

162 m e 2000 ton rispettivamente; che grande attenzione va posta durante le manovre poiché si rischia il lesionamento dell'impalcato già fatto; che s'è resa necessaria una stazione meteo in grado di raccogliere dati sulla velocità e direzione del vento per potere, in presenza di venti superiori ad una certa soglia, dar corso all'ancoraggio dell'attrezzatura sull'impalcato per evitarne il ribaltamento; se è vero infine che per il notevole peso dell'attrezzo e degli elementi prefabbricati la fase costruttiva propone situazioni delicate e condizioni più gravose rispetto a quelle dell'esercizio. Il mio avviso è che quando ci si confronta con prefabbricati di peso e di dimensioni inconsueti, trovandocisi a competere ai confini di esperienze nuove, il grado di sicurezza delle manovre deve assumere un posto di preminenza rispetto a tutte le altre componenti che governano il procedimento costruttivo; nella fattispecie, noto che la necessità quasi imperativa che il procedimento debba essere in mano a maestranze e sistemi di controllo costantemente attenti e consapevoli, contrasta un po' con la realtà della pratica che induce a correre per sveltire i tempi della produzione. Agli autori un invito a tranquillizzarci in proposito.

Un'altra riflessione mi sembra giusto fare, riflessione che riguarda entrambe le memorie citate. E cioè che in presenza di attrezzature così sofisticate e imponenti quindi molto costose, può esserci il riscontro negativo che se ne ritrovi l'utilizzo anche laddove viadotti con luci minori e quindi più economici sarebbero opportuni; non sempre infatti la professionalità dei responsabili riesce a prevalere sulle motivazioni di carattere utilitaristico.

Nell'ambito dell'applicazione della tecnica dello spingitubo applicata negli ultimi anni per la movimentazione di grandi manufatti prefabbricati in c.a. sotto infrastrutture esistenti che non possano essere interrotte al traffico, si pongono le memorie di Abruzzese-Petrucco «La galleria artificiale telescopica in c.a. S. Massimo. Problemi costruttivi e del varo» e quella di Vento-Bottacin «Sottopasso carrabile della linea ferroviaria Venezia-Trieste a Mestre». Caratteristica del primo intervento è la soluzione adottata definita telescopica e suggerita dall'impossibilità di spingere un unico manufatto da 20.000 tonnellate. Con la soluzione telescopica viene ampliato il campo di applicazione di questa tecnica: una strada e due linee ferroviarie vengono così attraversate per una lunghezza complessiva di 100 m.

Nella nota di Vento-Bottacin invece viene dato particolare rilievo a come sono stati risolti i problemi relativi all'intervento, complicato dalla presenza della falda idrica al piano campagna, ed alla impermeabilizzazione resa imperativa per garantire la durabilità dell'opera.

Nell'ambito della progettazione e costruzione di elementi strutturali prefabbricati di solaio, si pone invece la nota di Capuano «Pannello alveolare in c.a. od in c.a.p., HOLCOR R, multiarmato, prodotto con sistema industriale di nuova concezione» memoria che, entrando nello specifico dei singoli problemi, descrive un pannello progettato in modo da rispondere correttamente alle prescrizioni normative sulle costruzioni prefabbricate.

Nella memoria presentata dagli Ingg. Dieter Jungwirth e Massimo Frumento dal titolo «Precompressione esterna: moda o progresso tecnico?» si espongono pregi e difetti di questa, in certo senso riciclata, tipologia costruttiva. Tra i pregi: un getto più agevole; la possibilità di sostituire ove necessario i cavi; una più comoda ispezionabilità degli stessi; la possibilità di ritardare, sia pure a prezzo di complessi magisteri, lo sforzo di precompressione. Tra i difetti: una maggiore esposizione dei cavi con conseguente maggior rischio di danneggiamenti per urti, sbalzi termici, incendio; la mancanza di aderenza e della relativa riserva di resistenza; la mancata benefica influenza della presenza diretta dell'acciaio sulla ripartizione delle fessure; sforzi concentrati di entità notevoli; bracci di leva delle forze ridotti; carenza di normativa; costi elevati. Gli autori della me-

moria non rispondono al quesito posto dal titolo: moda, e come tale passeggera, o progresso, e come tale duraturo. Io rilevo che fino ad oggi si tratta di applicazioni sporadiche, aspetterei quindi a parlare di moda. E non ancora parlerei di progresso tecnico dal momento che per migliorare alcuni aspetti del c.a.p. se ne peggiorano degli altri altrettanto se non più importanti. Personalmente penso che il precompresso tradizionale, quello che nasconde i suoi muscoli, se ben progettato in funzione dei giusti concetti di durabilità e se ben eseguito, sia qualcosa di più.

Segue un gruppo di memorie che trattano il tema dei calcestruzzi additivati e rinforzati.

Nella memoria presentata a firma Collepari-Ciferini-Scabini, si conduce un esame storico-critico di indubbio interesse che prende le mosse dagli anni '20 in cui il primo additivo capace di risultati significativi fu ufficializzato attraverso un brevetto. Si inquadrano le logiche perseguite ed i risultati ottenuti, sia nei confronti della resistenza e della durabilità; sia nei confronti dell'intero ciclo produttivo, dalla confezione, al trasporto, al getto ed infine alla vibrazione. Dalla memoria si trae l'importante conclusione che il contributo fornito dagli additivi al progresso tecnologico delle costruzioni, non sta soltanto nel soddisfacimento dei requisiti progettuali attraverso l'acquisizione di prestazioni d'alto livello, ma anche e direi, soprattutto, nell'aver reso ciò possibile attraverso la banalizzazione dei problemi tecnici in fase costruttiva; in altre parole, nell'aver reso praticabile a livello di cantiere il conseguimento di risultati da laboratorio.

Un altro esempio di come l'organizzazione del cantiere ed una esperta progettazione dell'impasto possano consentire nella pratica costruttiva la realizzazione di calcestruzzi con proprietà non comuni, viene proposto dalla memoria Tavano che tratta dell'applicazione di superfluidificanti abbinata a quella dei fumi di silice ad un conglomerato rinforzato con fibre d'acciaio. Nella memoria si descrive il ripristino dell'arco rovescio della galleria della Centrale Idroelettrica di Cardano dove il problema dell'aggressione chimico-fisica dell'acqua convogliata era particolarmente importante. Il calcestruzzo ottenuto presentava tutti i requisiti richiesti: alta resistenza caratteristica, bassa permeabilità, resistenza ai solfati, resistenza all'erosione ed una resistenza flessionale sufficiente per fronteggiare le sollecitazioni, peraltro non elevate, della roccia. La memoria è ricca di dati interessanti sul Mix Design e sulle caratteristiche chimiche e fisiche degli additivi impegnati, e sarebbe stata completa se avesse anche fornito qualche considerazione sui costi di un calcestruzzo così organizzato. È comunque noto che l'incidenza dei superfluidificanti sul costo del calcestruzzo corrisponde ad un aumento dell'ordine dell'8 ÷ 10%, e quella dei fumi di silice ad un aumento del 14 ÷ 15%, mentre l'impiego delle fibre d'acciaio con 50 kg/m³ corrisponde all'incirca al raddoppio del costo.

Sempre in materia d'additivi, segnalo la memoria Collepari-Coppola che tratta del Mix Design esteso ai calcestruzzi maturati a vapore. Si parte dalla considerazione che la regola che lega la resistenza meccanica a 28 gg e 20°C; $R_{28,20}$, al rapporto A/C ed alla presenza degli additivi, non è più valida quando interviene la maturazione a vapore, per cui il procedimento del Mix Design non è più applicabile. Gli autori, sulla scorta di una grande mole di dati sperimentali, ricercano le correlazioni tra la resistenza $R_{1,T}$ al tempo t dopo un ciclo caratterizzato da una temperatura massima T e da altri parametri significativi del ciclo, e la resistenza $R_{28,20}$. Essendo nota la correlazione tra $R_{28,20}$ e la composizione in calcestruzzo, è possibile eseguire il Mix Design in funzione delle resistenze richieste anche per calcestruzzi trattati a vapore. Ciò è anche importante in fase di produzione di prefabbricati, potendosi ragionevolmente prede-terminare la resistenza in funzione di valori necessari in determinate fasi della lavorazione.

Le memorie «Nuovi compositi leggeri ad alta durabilità per il ripristino delle strutture in c.a. e c.a.p.» di Mantegazza-Penna-

Sereni e «Compatibilità e durabilità di compositi cementizi modificati con polimeri e fibrorinforzati per il ripristino delle strutture in c.a.» di Mantegazza-Penna-Tattoni riportano i risultati di due ricerche di laboratorio, di cui una terminata ed una ancora in corso, su materiale da ripristino per calcestruzzo degradato. Nella prima nota viene illustrato il processo di messa a punto di un composto cementizio leggero ad alta durabilità ed elevata resistenza adatto al ripristino del calcestruzzo strutturale. Particolarmente interessante è l'uso di un Mix di additivi (superfluidificante, aerante, coesivo) necessario per evitare problemi di segregazione e bleeding accentuati dalla presenza degli inerti leggeri, e per aumentare la tenacità attraverso l'introduzione di fibre di carbonio. Il risultato finale è rimarchevole. Si ottiene infatti un calcestruzzo leggero con densità 1600 kg/m³, resistenza superiore a 50 MPa e tenacità 8 volte superiore a quella di un calcestruzzo tradizionale con stesso rapporto A/C. Nessun accenno viene fatto all'aspetto economico, mentre sarebbe interessante conoscere i dati generali di costo di questo materiale.

La seconda memoria riporta invece i primi risultati di una ricerca ancora in corso sulla capacità protettiva di malte modificate con polimeri sintetici e fibre di propilene. In particolare viene indagata la resistenza del legame di adesione sotto l'azione aggressiva di acqua e di ioni Cl⁻ e SO₄⁼, il suo variare nel tempo e la velocità di penetrazione degli ioni stessi. Già i primi risultati sembrano promettenti e sarebbe utile sapere dagli autori quali sono gli ultimi sviluppi.

Un interessante aspetto del fatto gestionale è prospettato nella memoria Diamantidis-Del Grosso-Fedolino «Filtering effects of quality control on the reliability and durability of reinforced concrete structures». Il contributo propone un'utilizzazione secondo la statistica di Bayes dei risultati ottenuti dai controlli di qualità. In particolare gli autori mostrano con alcuni esempi come i dati dei controlli effettuati durante il servizio della struttura possano essere utilizzati per dare una valutazione quantitativa aggiornata del livello di sicurezza e della durabilità dell'opera. La memoria merita un intervento diretto degli autori.

E, riallacciandomi al concetto di durabilità, e di corretta progettazione, vorrei ancora soffermarmi su di una memoria presentata dalla SPEA gruppo IRI-ITALSTAT. Una memoria importante per l'ampiezza degli argomenti trattati, frutto di una campagna di sorveglianza esercitata sulle opere d'arte stradali nell'arco di questi ultimi trenta anni. Nella memoria, a firma Malisardi - Nebbia - Ascenzi, si fa cenno dei risultati di questa lunga esperienza e si forniscono indicazioni utili affinché in fase progettuale, oltre al problema della sicurezza e funzionalità strutturale, si affrontino e si risolvano i problemi della sicurezza nei confronti dell'esercizio del traffico, quelli della durabilità, della manutenzione, dell'interazione con l'utenza e della accessibilità per un'efficace sorveglianza. Il contributo che in fase progettuale può essere dato nel garantire la massima durabilità, viene articolato su diversi fattori: le caratteristiche dei materiali, le tipologie strutturali, il dimensionamento degli elementi, le parti così dette accessorie, i particolari costruttivi. Per quanto attiene la sicurezza delle opere nei confronti di eventi accidentali, si danno dei consigli in materia di urti conferiti dai mezzi di trasporto alle strutture e di tutto quanto il progettista, ed io aggiungerei, ancor prima di lui il legislatore, deve tenere presente per la sicurezza dell'utente. La SPEA, a conclusione dell'esperienze finora acquisite, ha messo a punto un Manuale che è una summa sotto forma di schede monografiche. L'ultima parte della memoria è dedicata agli aspetti economici ed alla minimizzazione del costo dell'opera inteso come funzione di tutte le variabili significative. Le variabili sono molte, l'analisi economica è complessa. Quasi una scienza della scienza. Mi piace comunque rilevare che, al di là di tutto questo, restano pochi fondamentali concetti, la maggior parte dei quali dovreb-

be già far parte del bagaglio di ogni buon progettista, e la restante parte dovrebbe essere prezioso patrimonio di ogni impresa di costruzioni degna di tale nome. Forse, e questa mia ultima osservazione nulla toglie all'importanza dello studio condotto dalla SPEA, sarebbe anche auspicabile da parte delle Amministrazioni una più stretta sorveglianza in fase esecutiva dei lavori ed, ancora più a monte, in fase di aggiudicazione delle gare e quindi di scelta dei progetti e delle imprese.

.... gestione come terotecnologia

La rivoluzione tecnologica ha dunque trasformato il modo di pensare e fare ingegneria. Ed ha trasformato il modo di gestirla.

Abbiamo intravisto, tra le righe di questo mio intervento, come il ruolo delle società di costruzione si sia trasformato insieme con l'evoluzione della tecnica. Sia divenuto sempre più incisivo.

Oggi la gestione del processo edificatorio è praticamente passata dalle mani dell'amministrazione pubblica, alla quale resta principalmente l'importante funzione di ente gestore e controllore dell'opera finita, a quelle più incentivate dell'amministrazione privata, tanto che l'Ente pubblico per riacquistare forza operativa tende ad acquisire una logica di impresa, a trasformarsi in impresa vera e propria formando società miste con i privati. Recente il D.L. che autorizza in tal senso l'Ente Ferrovie.

Gli importi delle opere, a volte colossali, conferiscono spesso ai fatti edificatori le connotazioni di vere e proprie operazioni finanziarie. Come conseguenza nascono, sotto diverse forme e logiche, i grandi raggruppamenti, forti di mezzi tecnici, di strumenti amministrativi, di capacità organizzative, ma soprattutto forti finanziariamente. I domini di interesse e le iniziative si moltiplicano e si diversificano e, attraverso le finanziarie, si gestiscono attività molteplici. D'altro canto categorie industriali prima estranee al mondo delle costruzioni, intervengono con il loro peso economico facendo sentire la loro influenza anche su questo specifico e particolare mercato.

Mi siano consentite, a questo punto, alcune riflessioni.

Nel contesto ora delineato, molto più composito di quanto in tale sede ed in un breve cenno io possa significare, bisogna purtroppo constatare che il costruire, fatalmente, perde in ortodossia, in fedeltà alla prassi della professione, il costruttore cambia

mentalità, e la soddisfazione del lavoro ben fatto, l'orgoglio d'aver ben costruito, restano patrimonio di pochi.

Sembra, questa che viviamo, una fase delicata per la nostra attività d'ingegneri, e l'ingegneria sembra costretta a dare spazio a motivazioni ed interessi che non sempre coincidono con quelli dell'opera e dell'utente. Il fatto ingegneristico, durante l'iter che inizia nelle sedi dove si pianifica e si finanzia e si conclude poi con l'acquisizione dei lavori e con la loro realizzazione, tende a perdere valenza, a passare in secondo piano tanto da configurarsi, specie attraverso alcuni meccanismi di aggiudicazione delle gare, secondo logiche che non molto hanno a che vedere con la qualità, con il livello tecnico e perfino con il costo stesso dell'opera. C'è la spiacevole sensazione che l'enorme edificio, nato per dar luogo ad opere durevoli, dia, esso stesso, segnali di ammaloramento, e che necessiti di mirati interventi di restauro.

Il termine «terotecnologia», che fu specifico tema delle giornate AICAP '89, bene si adatterebbe allora, anche, ad una rianalisi delle funzioni e del funzionamento dell'edificio «azienda costruzioni» se è vero che la definizione di questo termine, come sancita dallo Zingarelli, recita: «applicazione di molteplici discipline ai beni di un'azienda, compiuta allo scopo di ottimizzare la vita dei beni stessi a vantaggio sia dell'azienda, sia degli utenti».

È forse giunto il momento di una riflessione, di una presa di coscienza in vista di scelte future. E non v'è dubbio che qualche scelta bisognerà pur farla perché non venga a soffrirne la credibilità del nostro mondo di studiosi e di tecnici.

Io continuo a pensare l'INGEGNERIA e la TECNICA, come sani strumenti di benessere e, solo in quanto tali, strumenti di evoluzione e di progresso.

A sintesi emblematica di questo ultimo concetto ricordo l'articolo di fondo pubblicato nel '36, mi sembra sull'Herald Tribune, in occasione della cerimonia inaugurale della grandiosa Boulder-Dam in America. Fu un'opera colossale con i suoi 222 m d'altezza e l'impiego delle tecnologie e delle soluzioni più avanzate ed ardite dell'epoca.

Poche parole, a grandi caratteri, che riempivano l'intera pagina del giornale:

«Oggi il Presidente degli Stati Uniti ha inaugurato e messo in moto le turbine della centrale che si alimenta con le acque del nuovo vaso. La potenza erogata supera di migliaia di volte l'energia disponibile con il lavoro manuale di tutti gli schiavi d'America al tempo del Presidente Lincoln».

«ATTI DELLE GIORNALE A.I.C.A.P. '91» - Spoleto, 16-18 Maggio

L'evoluzione delle costruzioni di c.a. e c.a.p.: aspetti normativi ed ambientali

Relazione Generale: Prof. Ing. Luca Sanpaolesi

L'evoluzione delle costruzioni di c.a. e c.a.p.: aspetti normativi ed ambientali

Relazione Generale: Prof. Ing. Luca Sanpaolesi

Nell'ambito della linea conduttrice del nostro convegno che tratta dell'evoluzione delle costruzioni in c.a. e c.a.p., il tema della nostra sessione riguarda gli ASPETTI NORMATIVI ED AMBIENTALI.

Mi muoverò quindi sulla strada proposta, esaminando dapprima la problematica normativa e poi quella ambientale.

1. Aspetti normativi

Orbene chiarisco subito che nel 1991 parlare di evoluzione normativa significa parlare di Europa; e su questo tema ho impostato la mia esposizione.

Andiamo allora anzitutto ad esaminare quale è la filosofia che deriva dal «new approach» della CEE, sulla base delle Risoluzioni, approvate in sede comunitaria, e che essa sta portando avanti in tutti i settori.

Si sta così sviluppando un nuovo scenario di grande interesse, che ha preso l'avvio nel 1985, dalla constatazione:

— da un lato dell'esistenza di norme divergenti nei Paesi Membri che costituiranno un ostacolo al grande mercato del '93;

— dall'altro dell'esistenza di un'enorme quantità di norme cogenti nei Paesi Membri che frenava lo sviluppo e l'inventiva dei Progettisti e dei Costruttori.

Da qui, prendendo lo spunto da quanto attuato in altri Paesi extraeuropei, è stato delineato un nuovo scenario che è fondato su:

— deregulation: cioè la progressiva riduzione delle normative cogenti;

— definizione dei requisiti essenziali, cioè delle prestazioni (performance) cui debbono soddisfare i prodotti finali della costruzione (tra cui anche le strutture e gli edifici);

— introduzione delle norme europee armonizzate e progressiva eliminazione delle norme nazionali (siano esse volontarie o cogenti);

— prescrizione agli Operatori nel settore delle Costruzioni (Imprese, Progettisti, Direttori dei Lavori) di soddisfare i requisiti essenziali, o con l'uso delle norme volontarie (nel qual caso si considera acquisita la conformità) o anche in deroga alle norme (ma in tal caso con obbligo di prova a mezzo di Benestare Tecnico Europeo);

— necessità che tutti i prodotti della costruzione (prefabbricati, materiali base quali acciaio e cemento, ecc.) che circolano siano muniti del marchio CEE che ne attesta la rispondenza ai requisiti essenziali;

— conseguenti Certificazioni di sistema o di prodotto che attestino tali rispondenze.

Cosa dovrebbe portare in definitiva tutto questo?

- maggiore libertà degli Operatori;
- maggiore qualità della costruzione;
- maggiore responsabilità degli Operatori.

Da qui, nel nostro settore, sono nati gli Eurocodici, norme europee dell'Ingegneria Strutturale, accompagnati da una serie di norme CEN.

Credo che a tutti Loro la questione degli Eurocodici sia ben nota, e quindi sarò sintetico sugli aspetti generali e mi soffermerò di più sui problemi più recenti.

Anzitutto vediamo quali sono questi Eurocodici:

- Eurocodice n° 1 - azioni sulle costruzioni, e sicurezza strutturale
- Eurocodice n° 2 - strutture in calcestruzzo
- Eurocodice n° 3 - strutture in acciaio
- Eurocodice n° 4 - strutture composte in acciaio e calcestruzzo
- Eurocodice n° 5 - strutture in legno
- Eurocodice n° 6 - strutture in muratura
- Eurocodice n° 7 - geotecnica (e fondazioni)
- Eurocodice n° 8 - strutture in zona sismica

Al di là della filosofia generale comunitaria già illustrata, gli obiettivi diretti degli Eurocodici sono:

— promuovere il buon funzionamento del Mercato Comune eliminando gli ostacoli che derivano da normative divergenti;

— fornire norme tecniche comuni per permettere una efficace applicazione della Direttiva del Consiglio n° 71/305 sul coordinamento dei procedimenti di aggiudicazione degli appalti pubblici, con norme tecniche che possono essere applicate in alternativa a quelle nazionali;

— rafforzare la competitività dell'Industria europea della costruzione e settori affini nei paesi esterni alla Comunità stessa;

— creare una base unificata per le previste altre norme comuni per i prodotti dell'edilizia, così da permettere una efficace applicazione della importante Direttiva 89/106 sui prodotti da costruzione (Direttiva emanata il 21/12/88 e che dovrebbe essere recepita dagli Stati membri entro il 21/6/91).

Occorre ora vedere come in concreto si applicheranno gli Eurocodici.

Orbene gli Eurocodici forniscono una serie di norme di progettazione strutturale che potranno essere applicate nell'ambito del territorio comunitario, in prima fase in alter-

nativa alle corrispondenti norme nazionali relative alla stessa materia tecnica.

Il livello di sicurezza delle costruzioni sarà definito da ciascuno Stato Membro secondo le sue esigenze nazionali. Al fine di permettere l'applicazione delle regole comuni, ogni Stato Membro determinerà i valori numerici dei coefficienti parziali e degli altri elementi di sicurezza. L'applicazione degli Eurocodici ed il proseguire degli sforzi di armonizzazione permetteranno di raggiungere gradualmente i valori comuni.

Mentre, come già precisato, in una prima fase gli Eurocodici potranno essere applicati in alternativa alle norme nazionali, in una seconda fase essi diverranno le sole norme in vigore e le attuali norme nazionali verranno adeguate o ritirate.

Attualmente sono ultimati i testi «base» dell'EC2 (c.a. e c.a.p.) e dell'EC3 (acciaio) contenenti le regole generali di progettazione e le norme per gli edifici; altri documenti, come parti successive, sono in preparazione o di prossimo studio (prefabbricazione, ponti, ecc.).

Il programma completo è vasto ed ambizioso e intende in pratica coprire l'intero settore dell'Ingegneria Strutturale.

È ormai stato definito la procedura che passa attraverso le seguenti tappe:

— acquisizione, già avvenuta, degli Eurocodici da parte del CEN (Comitato Europeo di Normalizzazione) che è composto dagli Enti di Normazione dei Paesi CEE ed EFTA;

— stampa di EC2 ed EC3 come ENV (norme europee sperimentali) nelle 3 lingue ufficiali del CEN e poi, dai singoli Enti di Normazione (per l'Italia l'UNI) nelle lingue dei Paesi Membri;

— prosecuzione in sede CEN dei lavori e degli studi per definire gli altri Eurocodici e pubblicarli con la stessa procedura.

Ogni Eurocodice è stato studiato con il contributo dei migliori Esperti europei del settore, provenienti dai vari Paesi Membri, e con il proposito dichiarato di rinunciare ad ogni condizionamento derivante dalle esistenti norme nazionali.

Inoltre essi sono stati discussi ampiamente nella Comunità tecnico-scientifica e sottoposti ad inchieste pubbliche nei Paesi Membri, così da acquisire tutti gli ulteriori contributi.

Pertanto ciascuno di essi si presenta come un documento innovativo, aggiornato al meglio delle attuali conoscenze del settore e che comunque, se necessario, potrà essere perfezionato nel seguito.

Sono documenti vasti, con carattere più di raccomandazioni che non di regole cogenti; in ciò seguendo gli intendimenti generali della CEE volti a disporre di un vasto corpo di norme armonizzate ma con valore consensuale (cioè non cogente), e ispirate ai requisiti essenziali di sicurezza (questi ultimi di carattere cogente).

L'iter dovrebbe concludersi con la pubblicazione delle parti generali degli EC2 ed EC3 entro i primi sei mesi del 1991 come ENV/CEN ed entro il 31/12/91 come norme nazionali (UNI).

Circa lo stato giuridico:

— gli Eurocodici come ENV, sono norme sperimentali, e come tali debbono poter essere applicate da tutti i professionisti (in particolare negli appalti comunitari);

— esse saranno alternative alle norme nazionali oggi esistenti;

— gli Stati Membri hanno preso impegno di adottare tempestivamente i necessari provvedimenti amministrativi perché le ENV possano essere impiegate nei singoli Stati, dopo aver definito il livello di sicurezza e gli altri specifici elementi di competenza nazionale;

— durante il periodo di applicazione delle ENV-EC le norme nazionali coesistenti non potranno essere modificate salvo per le modifiche volte alla «armonizzazione»;

— dopo 2+3 anni di applicazione sperimentale le norme

ENV-EC saranno riesaminate, anche in base alle osservazioni che emergeranno dagli Stati Membri, e verranno emanate in tutta Europa le norme EN-EC, che prevedono la decadenza automatica, entro 6 mesi, di ogni altra norma nello stesso settore;

— questa procedura varrà quindi in prima fase per le parti generali degli EC2 ed EC3, e successivamente per tutti gli altri EC che via via verranno licenziati dal CEN, fino a coprire tutto il settore normativo.

Dopo questa visione d'insieme vediamo di approfondire la situazione dell'EC2, Eurocodice sul c.a. e c.a.p. che più direttamente ci interessa.

L'EC2 è già disponibile e la sua traduzione in Italiano è in stato avanzato, e presumibilmente sarà pronta entro il mese di Luglio del corrente anno.

Tuttavia vi sono attualmente alcuni problemi, di non poca importanza, legati soprattutto:

— allo studio giuridico degli Eurocodici;

— alla loro coesistenza con le norme nazionali (obbligatorie) mentre gli Eurocodici sono norme volontarie;

— alla situazione al contorno, per quanto concerne l'EC1 Eurocodice delle azioni, e l'EC8 Eurocodice Sismico;

— al fatto che le norme attuali italiane nelle zone classificate sismiche non consentono l'impiego del metodo semiprobabilistico agli stati limite, il metodo dell'EC2;

— infine alla necessità di definire il livello di sicurezza voluto e di raccordarsi su molte specifiche prescrizioni (ad es. riferimenti ad altre norme; specifiche dei materiali e dei loro metodi di controllo).

Tutti questi aspetti - che sono di competenza del Ministero dei LL.PP. - sono in corso di studio da parte del Consiglio Superiore dei LL.PP. e si spera che al più presto possano essere superati.

D'altronde gli altri Paesi hanno problemi analoghi; ho qui una bozza dei N.A.D. predisposti dalla Germania e dalla Gran Bretagna, appunto per l'impiego dell'EC2 nei rispettivi Paesi. E sono effettivamente documenti non semplicissimi, che dimostrano la complessità del problema.

Abbiamo fin'ora parlato della principale norma europea nel nostro settore, ma ve ne sono numerose altre di non poco impatto, in corso di definizione.

Mi limito qui a ricordarne tre:

— la norma pr. EN-10080, non ancora approvata definitivamente, relativa agli acciai da c.a.: si tratta di un documento che innova profondamente rispetto alla situazione attuale.

Vi è un solo tipo di acciaio, B 500 (snervamento caratteristico 5.000 kg/cm²), saldabile, con due classi di duttilità entrambe con livelli di deformabilità piuttosto contenuti con valori di $A_{gt} \geq 2,5\%$ e 5%.

— e poi la norma sulle strutture prefabbricate, norma che è collocata in parte nel capitolo 1B (non ancora definitivo) dell'EC2, e in parte in norme a carattere più tecnologico ed esecutivo che provengono dal CEN/TC/229.

Anche qui il tutto con non poche innovazioni rispetto alle attuali prescrizioni italiane;

— infine i capitoli dell'EC1, Azioni delle costruzioni, relativi a vento e neve (anch'essi non ancora definitivi) ma profondamente innovativi e tali da elevare sostanzialmente i valori di calcolo di queste azioni.

In conclusione, abbiamo uno scenario normativo europeo sostanzialmente innovativo, i cui primi approcci si cominciano a vedere già in questo periodo, ma che condurrà in un arco di tempo di 4+6 anni a profonde modifiche, a mio parere positive, in tutto il settore.

2. Aspetti ambientali

E adesso vorrei tentare di esporre alcune mie considerazioni relativamente al secondo aspetto del tema che mi è stato affidato, e cioè l'aspetto ambientale.

Debbo dire subito che al primo impatto sono rimasto un po' sconcertato e un po' preoccupato dal dover trattare questo tema.

Infatti non vi è dubbio che noi strutturisti, quali ingegneri, abbiamo tutti acquisito nei tempi recenti una sensibilità sul tema ambientale che è propria di questo nostro momento; e certamente tutti condividiamo le molte attenzioni rivolte a questo aspetto dal punto di vista urbanistico, dai problemi di recupero e riuso, e più in genere dalle attenzioni agli aspetti di inserimento delle opere nell'ambiente; il tutto naturalmente da uomini razionali, senza esagerazioni.

Ma la domanda che ci dobbiamo porre nel nostro Convegno è questa: esiste un diretto coinvolgimento degli strutturisti, come tali, cioè come progettisti e costruttori di opere strutturali, nella grossa problematica ambientale?

Orbene ad un esame più attento, e da una consultazione specifica della letteratura tecnica internazionale, emerge l'esistenza di trattazioni (articoli tecnici, memorie scientifiche, ecc.) che riguardano il tema delle strutture e l'ambiente, e che trattano argomenti, abbastanza marginali, ma non per questo privi di interesse per gli strutturisti.

Si tratta sempre di articoli molto pacati, e numerosi di questi li ho trovati nelle pubblicazioni scientifiche dell'IABSE: non arrivano mai a quelle esagerazioni che tutti abbiamo avuto spesso sotto gli occhi.

Vorrei segnalare, a questo riguardo, che in questa mia piccola indagine sulla letteratura tecnica in bibliografia ho trovato una recentissima nota nella quale i movimenti ambientalisti americani si associano ad una presa di posizione dell'Accademia Nazionale delle Scienze degli USA in cui viene raccomandato un sollecito e diffuso ritorno al nucleare, come l'energia più pulita, anche in relazione all'inquinamento causato dagli altri tipi di centrali; va da sé che viene precisato che dovrà trattarsi di un nucleare di nuova generazione, più sicuro e ancor più pulito, ma questo dimostra ancora una volta lo sbaglio delle precedenti posizioni e l'evoluzione esistente.

Allora, preso atto che esistono questi spunti che associano l'ambiente alle strutture, vediamo più da vicino alcuni di questi singoli problemi; ne ho sei su cui vorrei soffermarmi brevemente:

— anzitutto un primo aspetto riguarda la durabilità delle opere. Non vi è dubbio che, soprattutto per le opere inserite nel territorio e cioè ponti, pile, edifici industriali, muri di sostegno e così via, la loro durabilità sia anche un fatto ambientale. E ciò in quanto al di là della importante questione estetica, l'assenza di degrado strutturale riduce le opere di manutenzione ed evita le demolizioni, che sono in definitiva una turbativa dell'ambiente; e naturalmente con la durabilità delle opere si riduce il «consumo» di materie prime, di energia e di risorse;

— un altro aspetto riguarda i materiali che noi strutturisti utilizziamo.

Un esempio: gli inerti per calcestruzzo, inerti che trovano anche altri usi nell'ingegneria civile; da molte parti si sentono critiche alle cave per inerti, che si dice, lasciano delle «ferite» nelle montagne. Certo non è possibile rinunciare ad approvvigionarsi, ma forse si può fare qualcosa: ad esempio, ove possibile, ridurre il consumo; arrivare ad una più oculata gestione delle cave esistenti; usare nuovi criteri per le nuove cave; forse altre cose ancora.

Più difficile vedo intervenire sui processi di produzione sia del cemento sia degli acciai, per ridurre i consumi di energia e di acqua, e rendere i processi più consoni all'ambiente. Ma certamente anche qui saranno in corso revisioni;

— un altro argomento che ho trovato trattato sui Proceed-

ings dell'IABSE, in un lungo articolo di Kuhne e della cui validità lascio Loro giudicare, riguarda il riciclaggio dei materiali da demolizione di opere, in particolare di cemento armato e calcestruzzo.

Lo scopo è di ridurre le esigenze di reperimenti di nuove materie prime, e di far fronte alle crescenti richieste del mercato con riuso di prodotti.

In funzione della qualità richiesta per il prodotto sono presentate differenti soluzioni tecniche per gli impianti di riciclaggio. Di regola il riuso avviene abbassando il livello di qualità; ad esempio il prodotto risultante dalla demolizione di calcestruzzo viene impiegato come materiale stradale, o di riempimento o di getti di calcestruzzo di minore importanza.

Anche l'analisi economica pare soddisfacente, e vengono documentati una serie di impianti «pilota» già operanti;

— un altro aspetto importante e ben noto riguarda il risparmio energetico e più in generale la fisica degli edifici. In molti casi la questione non è di competenza degli strutturisti; in particolare nell'edilizia abitativa, laddove la struttura è interna, e vi sono altri elementi costruttivi cui sono affidate primariamente le funzioni relative alla fisica degli edifici e agli scambi termici. Ma in altri casi, ad esempio nell'edilizia industriale, dove la struttura è l'elemento dominante, sono gli strutturisti che, per mezzo dei pannelli di facciata, degli elementi di copertura, dei particolari tutti, governano l'aspetto della fisica del fabbricato.

E debbo dire che, al di là dei conteggi per soddisfare la Legge sul risparmio energetico, che vengono sempre fatti tornare, vi sono molti casi che gridano vendetta, nei quali il reale grado di isolamento, tra ponti termici, materiali inadatti, ecc., è assai minore di quanto sarebbe possibile e necessario. In questo campo credo che potremmo dare un buon contributo. Nell'ambito del risparmio energetico vi è un altro filone che trova spazio nella letteratura tecnica, e cioè la necessità di ridurre il quantitativo di energia necessaria per la realizzazione delle opere. E naturalmente si spazia dai materiali, alle tecniche di trasformazione, ai trasporti, alla gestione del cantiere. Non voglio sviluppare ulteriormente questo aspetto e mi limito qui a questo accenno;

— un ulteriore argomento che voglio ricordare riguarda la «salute» nelle costruzioni. Ricordo che è uno dei requisiti essenziali specificatamente fissato dalla Direttiva sui Prodotti da Costruzione.

Di regola la questione non interessa le strutture: ma vi sono casi che ci riguardano. Un esempio: i prodotti in cemento amianto che appartengono all'edilizia industriale e a volte a quella abitativa e dei servizi.

E al di là delle diverse opinioni che ancora si sentono sull'argomento, pare ormai accertato la tossicità del prodotto amianto, non solo nelle fasi di estrazione e lavorazione, ma anche quando si presenta come cemento amianto.

E comunque vi sono in argomento le Direttive CEE n° 83477 e 87217, e al Parlamento Italiano vi sono in discussione ben tre specifiche proposte di Legge relative all'obbligo di cessazione dell'impiego dell'amianto, in qualunque forma utilizzato. E in questo campo vi sarà certamente impegno per gli strutturisti in un immediato futuro, non solo per la ricerca di prodotti sostitutivi, ma anche per il grosso problema della rimozione di tutto il cemento amianto attualmente in opera, sia pure con tempi di diversi anni.

E passo all'ultimo argomento di questa carrellata su alcuni spunti che associano gli strutturisti all'ambiente, per citare un argomento trattato in una delle memorie, ma che trovo ampiamente illustrato nella stampa tecnica internazionale.

Si tratta delle barriere antirumore nelle autostrade che si cominciano ad applicare in Italia da qualche anno, ancora timidamente, quando ormai in altri Paesi sono diffuse, collaudate e utilizzate da molti anni, come ci si può facilmente render conto

semplicemente viaggiando in auto in Europa, in USA e in Giappone.

Si tratta spesso di elementi la cui importanza strutturale è secondaria ma che comunque fanno parte degli aspetti di cui noi ci dobbiamo occupare.

Come concludere dunque su questi aspetti ambientali?

Penso che si debba accettare un sempre maggior coinvolgimento nel problema - ovviamente senza arrivare a nessun eccesso - e tentare onestamente di porsi le relative problematiche in tutti quei casi in cui la questione ambientale interessa le strutture e cercare di dare il nostro piccolo contributo su questa strada.

3. Memorie presentate

E adesso vorrei passare a dare una rapida visione delle memorie presentate e che afferiscono a questa sessione.

Abbiamo complessivamente 13 memorie, che ho riunito in 5 gruppi omogenei.

Voglio premettere che purtroppo, per non allungare eccessivamente il mio intervento non posso soffermarmi sulle memorie come desidererei; darò quindi solo un breve flash di ciascuna.

Inizierei anzitutto dalle due memorie che trattano delle problematiche delle strutture nei confronti dell'incendio, argomento che sappiamo di piena attualità e destinato ad assumere sempre maggiore importanza.

Si tratta della memoria di Radogna e Materazzi «Sulla valutazione della sicurezza strutturale di costruzioni di cemento armato in caso di incendio».

Gli Autori premettono la tendenza attuale di spostare la verifica di elementi strutturali da un controllo sperimentale nel forno a verifiche analitiche basate su procedimenti più o meno rigorosi.

Nella memoria vengono utilizzate le specifiche prescrizioni contenute, per le opere in c.a., nelle norme UNI-VVFF, in quelle AFNOR e nelle indicazioni del CEB, e messe a confronto con una procedura «rigorosa» di analisi; ciò in quanto tutte le procedure normative adottano una serie di semplificazioni.

I risultati, applicati ad un esempio numerico, differiscono in modo non trascurabile l'uno dall'altro, essendo i procedimenti UNI-VVFF ed AFNOR più conservativi, e quello CEB più vicino al metodo di analisi «rigorosa». Ma i punti che mi paiono particolarmente significativi sono quelli che riguardano i problemi dei coefficienti parziali applicati alle azioni e ai materiali, sensibilmente diversi nei vari casi esaminati; e ancora diversi da quelli proposti, ad esempio, dall'Eurocodice EC1-10 che tratta appunto della sicurezza strutturale nel caso d'incendio.

Inoltre, come rilevano gli Autori, le normative presentano tutte un grosso limite rivolgendosi esse alla verifica di sicurezza del singolo componente (o meglio delle sezioni) e non dell'intero sistema strutturale come una impostazione più rigorosa vorrebbe.

La seconda memoria sullo stesso tema è di Menditto, Dezi, Gambelli «Valutazione della capacità portante residua di sezione rettangolari in c.a. pressoinflesse sottoposte ad incendio».

Gli Autori, modellando il danneggiamento della sezione secondo le procedure indicate dal CEB, hanno valutato la capacità portante residua di elementi strutturali in c.a. inflessi e pressoinflessi, sottoposti ad azione del fuoco.

Sono state studiate diverse sezioni, inflesse o pressoinflesse.

Le conclusioni sono che in tutti i casi esaminati è la posizione delle armature (cioè il copriferro) ad avere un ruolo determinante; minore influenza sul decadimento percentuale sem-

brano avere le resistenze dei materiali impiegati e gli altri aspetti.

Passiamo adesso al gruppo delle quattro memorie sulla durabilità.

Iniziamo con quella di Diotallevi, Marino, Zarri «Comportamento di calcestruzzi ordinari e leggeri anche fibrorinforzati soggetti a cicli di gelo e disgelo: confronto di alcune caratteristiche meccaniche».

Si tratta di risultati preliminari tratti da un importante programma di esperienze che gli Autori vanno conducendo per valutare il decadimento di alcune caratteristiche sotto l'azione di cicli termici di gelo e disgelo.

I parametri presi in conto sono numerosi:

- calcestruzzi ordinari e leggeri;
- con e senza fibre metalliche di diverso-tipo;
- confronto delle caratteristiche;
- modulo dinamico;
- resistenza a trazione;
- resistenza a compressione;
- energia di frattura.

Le conclusioni fino ad oggi raggiunte sono sinteticamente le seguenti, relativamente al degrado da cicli di gelo e disgelo:

— i calcestruzzi leggeri si comportano meglio di quelli ordinari;

— le fibre corte danno migliori risultati rispetto alle fibre lunghe;

— i calcestruzzi leggeri con fibre corte paiono esser quelli meno influenzati dai cicli termici e perciò si possono ipotizzare per essi le più elevate caratteristiche di durabilità.

Nella memoria di Menditto, Capozucca, Cerri dal titolo «Comportamento flessionale di elementi in c.a. soggetti a processi corrosivi», sono illustrati i risultati sperimentali di una campagna di prove volta a contribuire alle conoscenze sulla durabilità delle strutture in c.a., confrontando la duttilità, in flessione, di elementi maturati in ambiente aggressivo (cloruri) e analoghi elementi maturati in ambiente ordinario.

I risultati, ottenuti come già detto con prove a flessione, dopo 1 anno di maturazione, mostrano che i campioni maturati in ambiente aggressivo presentano più limitate risorse plastiche, anche se, a mio parere, meno importanti di quanto ci si sarebbe potuto attendere.

Abbiamo ora due memorie che fanno parte del gruppo «durabilità» e che hanno in comune lo specifico argomento l'«acciaio inossidabile».

La prima di Ciampoli e Mele su «Comportamento ciclico di barre di acciaio inossidabile per c.a.».

Si tratta di primi risultati di un vasto programma di ricerca coordinata che coinvolge numerosi Istituti di ricerca teorica e sperimentale.

I risultati qui presentati sono relativi al comportamento ciclico delle barre nude, al fine di poter definire un corretto modello per l'analisi della risposta strutturale in zona sismica.

Dalle indagini si ricava un'ottima duttilità del materiale, lievemente superiore a quella presentata da analoghe barre in acciaio ordinario.

La seconda memoria è di Arpaia e Pernice e tratta del «Comportamento di acciai inox in ambiente alcalino simulante il calcestruzzo».

Trattasi di risultati di prove fisico-chimiche eseguite su barre di acciaio inossidabile (di due tipi) volti a esaminarne il comportamento delle barre in ambiente alcalino, contenente anche

concentrazione di cloruri, così da simulare aggressioni all'armatura inglobata nel getto di calcestruzzo.

I risultati possono sintetizzarsi nel modo seguente:

— i due acciai studiati, AISI 304 e AISI 316, hanno un comportamento analogo;

— come prevedibile le barre inox presentano maggiore resistenza all'aggressione degli acciai al C;

— per l'intervallo di concentrazione sperimentato per gli acciai inox la corrosione per vaiolatura non avviene spontaneamente;

— in presenza di polarizzazione anodica delle armature si può definire un intervallo di potenziale tollerabile, funzione della concentrazione di cloro.

Passiamo ora al gruppo delle memorie che trattano di problemi normativi.

Abbiamo per prima la memoria di Petrangeli e Villatico che tratta dei «Criteri di progettazione per i ponti ferroviari delle nuove linee A.V.»

Essa fornisce una sintesi dei criteri che sono alla base di specifiche tecniche in corso di emanazione da parte delle FS per la progettazione dei nuovi ponti ferroviari per le linee ad alta velocità. Ciò a valere sino a quando non saranno state emanate le nuove norme europee.

Una sintesi non è facile perché molti sono i punti specifici trattati.

A me pare che la parte più innovativa riguardi i criteri di verifica, e, ammessa la possibilità di impiego del MSPSL, vengono forniti valori dei coefficienti parziali calibrati per le varie azioni.

Vengono anche presentate le «opere tipo» (pile, impalcato, ecc.) fornendo, per ciascuna, indicazioni specifiche.

Il filo conduttore deriva da un lato dall'esperienza accumulata in questo primo periodo di esercizio dell'alta velocità, e poi dall'opportunità di presentare le indicazioni ottenute, in vista dell'estensione delle linee ad A.V. che, per la loro rigidità di tracciato, richiedono un sempre maggior numero di viadotti.

Le due memorie che seguono hanno una comune derivazione, in quanto entrambe provengono dagli studi in corso per la definizione in sede europea dell'Eurocodice 1 Azioni, relativamente ai «Carichi sui ponti stradali».

La prima è presentata da Croce e Sanpaolesi ed ha come titolo l'«Analisi del traffico stradale per le verifiche dei ponti».

Si tratta delle risultanze dello studio condotto in sede europea, con la partecipazione di Istituti di ricerca di molti Paesi, volto alla conoscenza del traffico stradale nei suoi vari aspetti (carichi asse, tipologie mezzi, composizione traffico, distanze mezzi, ecc.), che costituisce la base per la successiva definizione dei modelli di carico sui ponti da introdurre nell'Eurocodice.

Naturalmente il contributo italiano a questa conoscenza è stato importante e i dati presentati dall'Italia sono stati relativi a quattro sezioni autostradali e una su strada ordinaria.

Alcuni dei principali dati emersi sono i seguenti:

— l'entità misurata dei massimi carichi asse raggiunge le 20t in tutta Europa (contro le 12+14 ammesse nei vari Paesi);

— superamenti dello stesso ordine si hanno per i carichi totali per veicolo pesante;

— non si rileva, nel periodo 1978/88, un sensibile incremento dei carichi massimi;

— vi è invece un forte incremento degli autoarticolati a spese degli autotreni;

— la più efficiente organizzazione del trasporto ha condotto negli anni forti riduzioni di viaggi con veicoli vuoti o parzialmente vuoti;

— infine il massimo flusso registrato è stato ottenuto sul ponte Limburger Bahn in Germania con 8600 veicoli pesanti al giorno, nella corsia lenta.

La memoria di Martinez, Nicotera, Petrangeli, Sanpaolesi ha come titolo «I carichi sui ponti stradali nell'impostazione del nuovo codice europeo».

In essa gli Autori presentano lo stato attuale degli studi volti alla definizione delle norme europee (Eurocodice EC1-12) per i carichi sui ponti stradali, studi fondati tutti su analisi scientifiche dei vari problemi, senza far riferimento alle normative europee attualmente in vigore.

In sintesi le conclusioni possono essere le seguenti:

— sono stati messi a punto diversi modelli, ancora in corso di calibrazione;

— la calibrazione dei modelli passa attraverso più tappe: traffico reale - sua elaborazione - confronto degli effetti del traffico reale e del modello di carico;

— gli studi teorici, e in parte anche sperimentali, in ordine all'effetto dinamico, hanno fornito valori sensibilmente elevati, e si perviene in caso di irregolarità concentrate, a coefficienti dinamici di oltre 2.5.

Abbiamo ora un gruppo di tre memorie che trattano di Metodi di prova.

La prima è presentata da Diotallevi e Zarri «Sulla possibilità di simulare in tempi brevi il comportamento di strutture in c.a. inflesse soggette a carichi ripetuti».

La nota è relativa a sperimentazione a fatica del calcestruzzo e mira a correlare i risultati ottenuti con prove cicliche a compressione semplice, con prove cicliche a flessione.

L'obiettivo è ben chiaro: poter prevedere il comportamento a fatica in flessione del calcestruzzo compresso operando con più semplici prove a compressione centrata.

In effetti i risultati della sperimentazione mostrano come gli andamenti delle curve di Wholer per le due tipologie di campioni siano simili, e come si intraveda un limite di fatica comune per numero infinito di cicli.

Gli Autori osservano che i parametri in giuoco sono molti e non tutti ancora completamente sperimentati, ma che le prove condotte consentono già di trarre indicazioni preliminari su questa importante correlazione.

La memoria di Almesberger e Smotlak tratta della «Applicazione dei C.N.D. nella diagnosi e nel controllo della qualità delle costruzioni in c.a. e c.a.p.: metodologie ed esperienze».

È un'ampia rassegna sulle tecniche di controlli non distruttivi applicate all'ingegneria civile, e alla conseguente valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in particolare.

Dopo un esame delle normative esistenti, vengono esaminati i vari metodi e presentate alcune importanti esperienze pratiche.

Personalmente sono meno ottimista degli Autori, sulla dichiarata validità di queste tecniche: credo che esse siano piuttosto un utilissimo tassello in un quadro valutativo dell'opera più generale.

La memoria di Ferrari e Contini tratta delle «Correlazioni tra la velocità degli impulsi ultrasonici e la resistenza a compressione del calcestruzzo preconfezionato impiegato per strutture in cemento armato precompresso».

Essa descrive la metodologia del metodo ultrasonico per stimare la resistenza a compressione del calcestruzzo.

Viene evidenziato come la dispersione dei risultati sia elevatissima, ma come invece, una volta effettuata una taratura specifica per il calcestruzzo di riferimento (cioè una volta definita una correlazione specifica tra le due variabili velocità-resistenza) la dispersione si attenui e si possa così estendere validamente la sperimentazione con metodi sonici su tutta l'opera.

Abbiamo adesso l'ultima memoria della sessione, presentata da Monti dal titolo «Sistema protettivo di sponde di terreno atto a garantire la tutela dell'ambiente».

Si tratta di un sistema per protezione delle sponde dei corsi d'acqua, realizzato con una serie di manufatti in calcestruzzo, agganciati gli uni agli altri, secondo diverse soluzioni.

Dall'autore vengono evidenziati i vantaggi tecnici ed ambientali che il sistema proposto possiede.

4. Conclusioni

Signore e Signori, siamo così arrivati al termine della mia relazione, che vorrei chiudere con alcune considerazioni generali sulla sessione: Aspetti normativi e ambientali.

Anzitutto sugli aspetti normativi vorrei rimarcare che è in atto una vera e propria trasformazione del quadro normativo, che in sintesi sta divenendo europeo, riduce il livello di cogenza, aumenta le responsabilità degli operatori nella progettazione e realizzazione delle opere strutturali.

Io vedo pienamente positiva questa strada e mi auguro che possa completarsi in pochi anni.

Circa l'aspetto ambientale, l'incarico che mi è stato dato di occuparmene per riferire qui a Loro, mi ha condotto a sviluppare qualche spunto che mi ha interessato. Spero di essere riuscito a trasmettere Loro qualche piccolo messaggio a questo proposito.

Infine, le memorie assegnate alla Sessione mi sono sembrate tutte interessanti, e vorrei qui ringraziare gli Autori.

E chiudo, ringraziando Loro di avermi ascoltato.

RELAZIONE SU INVITO

**Ricerca, progresso concettuale, qualità
nel futuro delle costruzioni cementizie**

prof.ing.Franco Levi

Ricerca, progresso concettuale, qualità nel futuro delle costruzioni cementizie

Relazione su invito: Prof. Ing. Franco Levi*

Ricerca, progresso concettuale, qualità nel futuro delle costruzioni cementizie

Relazione su invito: Prof. Ing. Franco Levi*

Il titolo di questa mia conversazione sembra quasi voler riassumere i quattro temi dell'attuale Convegno. In realtà, io non ho affatto l'intenzione di chiosare o d'integrare le relazioni generali dei valenti specialisti cui è stato affidato il compito di analizzare i fattori fondamentali dell'evoluzione delle costruzioni in cemento armato: teoria, progetto, esecuzione, normativa. Vorrei invece mettermi in una posizione intermedia per individuare le correlazioni che sussistono fra i vari punti di vista e cercare di definire le premesse di una loro armoniosa convergenza.

A prima vista, ricerca, concezione strutturale, preoccupazioni esecutive ed inquadramento normativo sembrano caratterizzati da una sostanziale autonomia. L'ideatore di nuove forme non è quasi mai uno scienziato, e le rarissime eccezioni, a tutti ben note, confermano chiaramente la regola. Così pure, gli sviluppi teorici e la loro sintesi applicativa scaturiscono da forme mentali nettamente diverse, spesso fra loro addirittura contrastanti. Ed ancora, le preoccupazioni degli uomini di cantiere, e quelle dei loro controllori, opposte fra loro per definizione, costituiscono un mondo a sè stante, dominato quasi esclusivamente da preoccupazioni socio-economiche.

Eppure sappiamo bene che, in contrasto con l'attuale esasperata tendenza alla specializzazione, la riuscita di una qualsiasi opera creativa richiede una simbiosi fra le componenti che in essa si fondono.

Ed è proprio sul difficile terreno delle interazioni che io vorrei cimentarmi.

L'ambiente che mi è più congeniale è quello dei ricercatori e dei divulgatori delle loro scoperte, i cosiddetti code-markers. A mio avviso, il tipico connotato della ricerca, in tema di teoria delle strutture, è di esser multidisciplinare. L'ingegnere civile (come molti suoi colleghi di altri orientamenti) deve sapere sfruttare i contributi d'innomerevoli categorie di studiosi: matematici, fisici, chimici, cultori di meccanica dei solidi, elasticisti, plasticisti, specialisti di reologia, geotecnici, probabilisti, informatici ed altri ancora. Egli non può fare a meno di nessuno di questi riferimenti, e non può accontentarsi di considerarne solo alcuni. Nei suoi rapporti con gli studiosi il nostro strutturista deve inoltre saper distinguere fra ricerca pura e ricerca applicata. La prima è libera di scegliere i suoi temi, la seconda, apparentemente meno brillante, perché molto più vincolata, deve rispondere ai quesiti che nascono dalla realtà applicativa.

E parlare di realtà, in tema di risposta strutturale, significa coprire tutte le circostanze prevedibili ed anche, per quanto possibile, quelle fortuite: situazioni transitorie e permanenti, combinazioni di azioni di tutti i tipi; variazioni delle azioni nello spazio e nel tempo; eventi accidentali; condizioni ambientali. Il tutto considerato in chiave probabilistica, con riferimento ad una serie di stati limite al di là dei quali le esigenze fondamentali non sono più rispettate, e tenendo nel dovuto conto i requisiti inerenti alla durata dei manufatti.

Visto in questi termini, il problema sembrerebbe quasi insolubile. Come può un normale ingegnere padroneggiare decine di discipline il cui livello conoscitivo s'innalza senza sosta, come un'inarrestabile marea?

Sono proprio queste le difficoltà che i moderni strumenti normativi cercano di superare. Ci si stupisce che agli antichi «Regolamenti» di poche decine di pagine si stiano ora sostituendo grossi «Codici» che ne comportano centinaia, cui si aggiungono spesso documenti integrativi altrettanto voluminosi. La spiegazione sta nel passaggio da una concezione autoritaria, espressa attraverso poche prescrizioni tassative, ma generiche, ispirate a modelli convenzionali, ad un approccio concreto e flessibile che non tralascia nessuna delle circostanze cui abbiamo fatto cenno. La concretezza si consegue attraverso l'approfondimento e la completezza della trattazione.

La flessibilità si ottiene graduando la portata giuridica del contenuto che viene presentato in forma prestazionale: assiomi, definizioni, esigenze e modelli qualitativi sono espressi in forma di Principi immutabili; metodi pratici di calcolo e dati quantitativi in forma di «Regole di Applicazione» concepite come un esempio di applicazione dei Principi. Alle Regole il progettista può derogare se è capace di proporre di equivalenti.

A guardar bene, si tratta dell'unica soluzione per armonizzare i tumultuosi sviluppi della ricerca con le attese dei progettisti.

Da un lato, infatti, si mette a disposizione dell'utente una sintesi aggiornata, e sempre rivedibile, delle conoscenze che egli non sarebbe assolutamente in grado di realizzare con i suoi soli mezzi. Dall'altra si evita di conferire alla norma un peso giuridico troppo vincolante per non ostacolare l'inventiva ed evitare il rischio d'interpretazioni letterali. Anche l'eventuale Perito di tribunale potrà sempre trovare nel documento un riferimento sicuro, senza essere costretto ad applicare rigidamente prescrizioni inappellabili.

In tal senso, mi sia consentito di esprimere la convinzione

* Ordinario di Scienza delle Costruzioni - Facoltà di Ingegneria - Politecnico di Torino

che i nuovi Codici possono costituire un ideale raccordo fra l'evoluzione delle conoscenze e le necessità dell'applicazione.

* * *

La concezione strutturale è l'opera del primo giorno. Un'opera però che non ha mai fine. I «maledetti architetti», di cui parlava argutamente Giulio Pizzetti, la rinnovano senza sosta, costringendo l'ingegnere a seguirli con affanno. E, come non bastasse, l'inventiva è continuamente ravvivata dalla nascita di tecniche inedite.

Avevamo appena digerito il precompresso classico, ed ecco schiudersi l'era dei cavi non aderenti o esterni, talvolta realizzati con nuovi materiali non metallici ed avvolti con spirali sottilissime che ne controllano la storia. L'antico «calcestruzzo», si nobilita raggiungendo livelli di resistenza impensati. La prefabbricazione, divenuta da poco procedimento tradizionale, evolve con l'inclusione di nuovi componenti: profilati metallici, stralli o tiranti a tensione controllata, elementi compositi. E già si affacciano all'orizzonte miscele fibrose e additivi sintetici quanto mai promettenti.

Ovviamente, all'inizio, per tutte queste moderne fantasie, non si possono redigere guide normative analoghe a quelle vigenti per le tecniche consolidate. Si può, tutt'al più, seguire la filiera degli «Stati dell'Arte», tendenzialmente descrittivi, ma spesso volutamente ellittici per evidenti ragioni di concorrenza commerciale. Si passa poi a delle Raccomandazioni, se del caso sorrette da documenti di approvazione (Certificati d'idoneità tecnica). Ma in queste fasi l'acume del progettista e la vigilanza dei controllori assolvono un ruolo determinante.

A questo punto è logico domandarsi quali sono i rapporti fra ricerca, sviluppi tecnologici ed innovazione formale. Anche qui, al primo colpo d'occhio, la correlazione non sembra molto stretta.

I progressi nei vari campi provengono da mondi diversi, fra loro non comunicanti e, spesso, i Paesi che propongono soluzioni d'avanguardia o che realizzano opere concettualmente originali non si identificano con quelli più avanzati in tema di ricerca applicata. Ma, a guardar bene, l'apparente distacco è più che altro mancanza di sincronismo. Le condizioni sociali ed economiche che regolano, da un lato, la realizzazione di grandi opere innovative, e, dall'altro, lo sviluppo scientifico e tecnologico, sono diverse.

Può quindi benissimo accadere che i diversi settori evolvano con ritmi affatto dissimili. È però molto difficile, e lo sarà sicuramente ancora più in avvenire, che una creazione d'ingegneria civile veramente nuova possa prescindere da un solido ed aggiornato supporto di conoscenze e dalla disponibilità di mezzi progrediti. Ed è altrettanto prevedibile che un ricco humus conoscitivo produca a scadenze brevi frutti concreti. D'altra parte, non dobbiamo dimenticare che la collaborazione internazionale è ormai attivissima, sia fra i ricercatori che fra i tecnologi. Discordanze temporali transitorie non creano dunque barriere insormontabili.

Un altro versante che merita un esame specifico è quello dei mezzi di comunicazione fra progresso scientifico e tecnologico ed innovazione concettuale.

Abbiamo evidenziato in precedenza l'assoluta necessità di un efficace collegamento fra ricercatori ed ingegneri strutturalisti,

ed abbiamo individuato nei nuovi Codici gli strumenti adatti allo scopo. Il problema è altrettanto importante nel campo di cui ora ci stiamo occupando, nel quale, tuttavia, la trasmissione dovrà farsi in forme diverse. Per chiarire bene il mio pensiero, mi sia consentito di citare alcune considerazioni riportate nella mia prefazione alla traduzione della celebre opera di Eduardo Torroja: «Razon y ser de los tipos estructurales». Dicevo allora nell'illustrare l'originalità di questo singolarissimo saggio:

«... se si vuole che il progettista possa seguire l'evoluzione sempre più rapida del progresso scientifico, occorre che i ricercatori si preoccupino di rendere intelligibile il frutto delle loro indagini. E l'unico mezzo per riuscirci è di collegare i risultati via via conseguiti con una visione intuitiva della loro portata». Ed ancora «... non si tratta di volgarizzare nulla, ma anzi di approfondire la ricerca fino ad individuarne gli elementi essenziali, quasi sempre esprimibili in forma chiaramente intuitiva».

Una esemplare conferma di tali concetti ci è fornita, quasi in forma emblematica, dai recenti sviluppi dei modelli statici ispirati alla nozione di «reticoli» (tiranti e puntoni), quali a suo tempo proposti da Ritter-Moersch. Tornando infatti su queste vecchie idee si è riusciti in questi ultimi anni a definire un procedimento razionale per la progettazione delle zone singolari delle costruzioni in cemento armato. Una via che Pier Luigi Nervi aveva già prefigurato con incomparabile maestria seguendo la traccia della sua geniale intuizione.

* * *

Dobbiamo ora ricollegare al nostro discorso il problema della qualità. Tema di grande attualità, oserei dire «di moda», di cui si parla molto, forse addirittura troppo, e si razzola poco.

In effetti, se si abborda l'argomento in chiave di «garanzia di qualità», riferendosi cioè a tutte le fasi della realizzazione e dell'uso delle costruzioni, dalla impostazione del progetto alla sua stesura, dall'esecuzione all'esercizio ed alla manutenzione, non si fa altro che riecheggiare quanto abbiamo ripetutamente affermato in precedenza circa la necessità di una stretta collaborazione fra tutti i protagonisti dell'atto del costruire. In questa ottica, la qualità totale appare infatti come il naturale coronamento di uno sforzo comune inteso ad armonizzare i contributi dei singoli.

È però quasi superfluo sottolineare il carattere utopico di questa visione idilliaca. Quante cattive abitudini, quanti interessi contrastanti, quante incomprensioni si devono ancora superare per mettersi su questa strada! Quanti sforzi rimangono da compiere per creare le basi giuridiche, amministrative, organizzative necessarie per compiere anche soltanto i primi passi! Eppure, per colmare i nostri ritardi, in vista del mercato europeo, rimangono soltanto meno di due anni!

In realtà, almeno sul piano internazionale, tutte le premesse sono state poste. Ad esempio, l'Eurocodice 2, la cui applicabilità in Italia non è lontana, nel capitolo 7, parla esplicitamente di controlli sul progetto, sulla produzione dei materiali e dei componenti, sulla esecuzione. Si allude altresì alla stesura di programmi di manutenzione adeguati alla durata prevista per la costruzione, e, nel capitolo 4, si dice chiaramente che il livello di prestazione e di durata delle opere deve essere attentamente vagliato sin dalla fase preliminare del progetto. Gli stessi concetti si ritrovano nel Model Code 90 del C.E.B. secondo il quale «L'intero processo della realizzazione e della conservazione delle opere richiede la cooperazione fra le seguenti quattro parti in causa: il proprietario, i progettisti (architetti o ingegneri), l'impresa, l'utente».

Più in concreto, il controllo statistico dei materiali e l'uso dei coefficienti parziali di sicurezza sono ovviamente le chiavi di un controllo serio e selettivo. Si è detto, ad esempio, fra il serio e il faceto, che i fattori parziali del metodo semi probabilistico soppesavano gli scarti consentiti rispetto a valori statisticamente accettabili; 15% per il produttore di acciaio, 50% per il calcestruzzo, 50% per l'intensità dei carichi. Ed, in effetti, a parte la forzatura, non vi è dubbio che gli operatori si sentano più vincolati dall'impiego di rispettare una serie di margini parziali di modesta entità che dall'uso di un grosso coefficiente globale d'ignoranza. Ulteriori elementi di sicura efficacia sono i Certificati d'Idoneità per materiali e manufatti di nuovo tipo ed i marchi di qualità.

Ma, ancora una volta, tutto questo richiede degli strumenti di applicazione. Laboratori affidabili, Enti di certificazione, Istituti per il rilascio dei Marchi. Ci vogliono inoltre nuovi capitolati, nuove regole d'appalto, nuove strutture di controllo negli studi professionali e nei cantieri, istruzioni precise per l'uso del manufatto.

Come si vede, i compiti da svolgere sono immani, forse addirittura irrealizzabili nel tempo a disposizione. Ciò nonostante si dovrà fare il massimo sforzo. La scelta dei temi del presente Convegno, effettuata dall'A.I.C.A.P. sembra comunque dimostrare che, almeno gli specialisti più qualificati, sono ben consci delle loro responsabilità.



aicap - associazione italiana cemento armato e precompresso
00197 roma - via eustachio manfredi 17 - telefono 06/8082079

