

## Il calcestruzzo debolmente armato tra autarchia e ricostruzione in Italia

*Rinaldo Capomolla*

All'interno del dibattito apertosi in Italia durante la seconda metà degli anni Trenta sull'autarchia economica e finanziaria, il problema della limitazione d'impiego del ferro in edilizia, e nelle strutture di calcestruzzo in particolare, fu uno dei più discussi per le numerose ripercussioni nel campo architettonico, tecnico ed economico.

Nel dibattito architettonico fu un argomento che riaccese polemiche aspre e pretestuose di tradizionalisti contro innovatori per «tentare di impantanare la giovane architettura italiana»<sup>1</sup>.

In ambito economico divenne oggetto di studi tendenti a valutare il «grado di autarchia», misurato col costo in valuta estera («costo in oro»), delle strutture che utilizzavano ferro.

Nel campo strutturale si tradusse in ricerca dei modi pratici per ridurre i consumi e in occasione per chiarire le molte incognite sul comportamento del cemento armato, con l'aspirazione di operare una sorta di rifondazione della teoria classica<sup>2</sup>. La questione del ferro portò anche ad un perfezionamento della tecnologia dei materiali e dei manufatti che darà alcuni dei suoi più interessanti risultati solo nel dopoguerra, influenzando un certo modo di fare architettura tipicamente italiano.

Gli studiosi di Scienza e Tecnica delle Costruzioni affrontarono la questione della riduzione delle armature nel calcestruzzo in modo estremamente cauto e restio a facili entusiasmi: erano infatti piuttosto scettici nel ritenere che si sarebbero potuti realizzare a breve termine sostanziali cambiamenti dei modi di costruire. Secondo loro le uniche vie praticabili «per economizzare ragionevolmente», cioè senza scapito per la sicurezza e senza far regredire la tecnica costruttiva,

erano «calcolare meglio e costruire meglio»<sup>3</sup>: due capacità di cui i tecnici da una parte, e i costruttori dall'altra, difettavano non poco nell'ambito della pratica corrente di cantiere.

Se certo fecondi nel lungo periodo saranno gli studi dei ricercatori, non meno interessanti e prive di acutezza si dimosteranno le proposte e le sperimentazioni di un folto drappello di tecnici e di costruttori che, con atteggiamento più empirico, tentavano di escogitare soluzioni tecniche al problema: talune si riveleranno arrischiate, quasi tutte non saranno suffragate da esaurienti prove sperimentali.

Nell'immediato dopoguerra, superata l'eccezionalità del periodo storico, risultò ancor più evidente quel che, al di là degli slogan, era già a tutti noto e cioè che il ferro delle strutture di cemento armato incidereva economicamente ed autarchicamente assai poco e che non valeva la pena di perseguire la sua riduzione oltre una certa misura.

In fondo, le gerarchie politiche, che non consideravano l'autarchia un espediente temporaneo, ma un «definitivo e irremissibile assetto della economia nazionale», la usarono anche come strumento di coesione sociale, ponendo un obiettivo al cui perseguimento tutti gli italiani, e non solo gli operatori dei vari settori produttivi, si sarebbero dovuti sentire partecipi<sup>4</sup>.

A pochi anni di distanza dal Concorso Falck (1931-32) — che fu bandito in concomitanza di un momento particolarmente favorevole per l'acciaio dovuto al tracollo dei prezzi delle materie prime sui mercati mondiali — la struttura di acciaio, che già non trovava terreno favorevole per un suo diffuso impiego, dopo le sanzioni

economiche imposte dalla Società delle Nazioni nel novembre del 1935, apparirà assolutamente superata dalla situazione economica e politica.

Certo, il ferro non era un materiale autarchico in quanto le materie prime siderurgiche provenivano per la maggior parte dall'estero; ma anche altri materiali o erano ancor meno autarchici (come il legno che era importato per oltre il 90% del fabbisogno) o provocavano un sensibile disavanzo valutario a causa del bisogno di acquistare le materie prime, i macchinari e i combustibili solidi e liquidi necessari alla loro produzione e al loro trasporto: ciò accadeva, quindi, sia per il cemento che per i mattoni ed, in parte, per altri materiali fatti passare per «italianissimi» come il vetro e l'alluminio. Da qui dispute senza fine tra denigratori e fautori del ferro e degli altri materiali edilizi con lo spalleggiamento degli industriali del cemento, dei laterizi, del legno e dei metalli<sup>5</sup>.

Più in particolare, la complessa polemica sugli impieghi del ferro nelle strutture di cemento armato fu viziata dal non aver sempre considerato che per realizzare il «rustico» di edifici di abitazione ordinari, indipendentemente dal sistema costruttivo adottato, si consumava, grosso modo, il 21-24% dell'intero costo di costruzione e che di questa percentuale, le esportazioni di valuta oscillavano tra il 2,2 e il 2,7%<sup>6</sup>. Più consistenti erano, invece, gli esborsi all'estero per ciò che riguardava le opere di completamento e di finitura<sup>7</sup>.

In realtà l'imputazione di «antiautarchia» attribuita all'acciaio servì alle gerarchie politiche come pretesto per massimizzare le scorte di materiali ferrosi in preparazione degli eventi bellici e per giustificare la conseguente necessità di mantenere il settore edile in una situazione di penuria negli approvvigionamenti<sup>8</sup>.

Ad un certo punto le autorità corporative si trovarono strette tra la necessità di dover contrarre drasticamente i consumi di acciaio e quella di evitare che i costruttori ricorressero a sistemi non autarchici o malsicuri. La soluzione suggerita da Mussolini fu quella di non impedire apertamente l'attività edilizia ma di ostacolarla indirettamente con disposizioni normative. La campagna contro il ferro s'iscriveva così a pieno titolo in tale strategia: negando l'impiego del ferro si sarebbe ottenuto il risultato di rallentare l'attività edilizia senza dover imporre esplicitamente impopolari dinieghi. Solo dal 1939 in poi si dovette ricorrere al blocco dell'edilizia privata, successivamente sancito dal decreto legge del giugno 1940 che mise a terra l'intero settore edilizio con ripercussioni economiche, occupazionali e finanziarie di vasta portata.

Una volta sgombrato d'autorità il campo dalle strutture di acciaio restò da stabilire quale tra la struttura a gabbia di cemento armato e la struttura di muratura portante fosse la meno costosa e la più autarchica.

Già da alcuni studi del 1936<sup>9</sup>, la prima risultò più conveniente della seconda, soprattutto qualora il numero dei piani fosse stato superiore a cinque. Più attendibili furono gli studi condotti da una commissione nominata nel 1936 dal Sindacato degli Ingegneri di Milano con l'incarico di verificare quanto gravassero le importazioni sugli usuali sistemi costruttivi. Da essi risultò che l'esborso di valuta per l'acquisto di materiali (soprattutto legname e ferro) era pari solo al 9,74% del costo di costruzione, pur senza adottare soluzioni autarchiche. Di questo 9,74%, per il solo ferro veniva esportato in valuta il 2,04% del costo di costruzione: del ferro utilizzato, solo la metà (1,11%) era tondino d'armatura, il rimanente era ferro destinato ad impieghi non strutturali<sup>10</sup>.

Nel 1938 la commissione effettuò nuove analisi valutarie per stabilire quali effetti avessero avuto i provvedimenti autarchici presi a partire dal periodo delle sanzioni<sup>11</sup>. Dal confronto tra un fabbricato-tipo realizzato, secondo le nuove direttive, con murature portanti di mattoni e spessi solai laterocementizi e un altro realizzato con scheletro di cemento armato e tamponamenti di laterizi leggeri si vide che, pur avendo risparmiato col nuovo sistema costruttivo circa i 2/3 del ferro necessario, l'esborso valutario complessivo non diminuiva sensibilmente poiché il risparmio in cemento armato era compensato dai maggiori consumi di mattoni e malta<sup>12</sup>. La constatazione che i nuovi indirizzi autarchici non avevano portato ad alcun vantaggio sostanziale relativamente alle strutture portanti, indusse a pensare che sarebbe stato più opportuno studiare «soluzioni intermedie fra le murature slegate e le ossature in cemento armato con elevata armatura metallica; adottando quelle forme e modalità costruttive che valgano a valorizzare le caratteristiche di monolitismo dei calcestruzzi con minimo impiego di armatura metallica»<sup>13</sup>. Ciò confermò la sostanziale bontà d'indirizzo delle ricerche sul calcestruzzo debolmente armato la cui storia, tuttavia, era iniziata ancor prima col concorso, intitolato a Luigi Santarella, «per la utilizzazione di conglomerato cementizio non armato o poco armato» bandito alla fine del 1935 dalla Federazione Fascista Industriali del Cemento<sup>14</sup>.

Per di più, negli stessi anni, le disposizioni di legge tendevano a contrastare l'uso del ferro



1/Case popolari in via di Donna Olimpia a Roma. Costruite con ossatura di cemento armato, hanno tamponature e solai realizzati con blocchi e pignatte di calcestruzzo leggero di pomice.

nelle costruzioni realizzate nei centri minori e nelle zone rurali, limitando prima, ed escludendo poi, la possibilità di impiegare ossature portanti di cemento armato<sup>15</sup>. Fu così che la questione del calcestruzzo non (o pochissimo) armato si pose, anche nei fatti e in modo preminente, all'attenzione di tutti gli operatori del settore edile.

Inizialmente si cercò solo di disciplinare il modo di progettare e di eseguire le ossature al fine di ridurre l'entità delle trazioni nelle sezioni armate, pur senza ricorrere ad alcun accorgimento tecnico che non fosse già contemplato dalla teoria classica e dalla pratica consolidata. Risultarono allora evidenti i vantaggi che sarebbe stato possibile ottenere eliminando dalla costruzione tutti quegli inutili «pesi morti» che portavano solo ad un aumento del sovraccarico<sup>16</sup>. Tra i primi che se ne resero conto vi fu Innocenzo Costantini il quale, sin dal 1933, fu fautore, in teoria e in pratica — in quanto direttore genera-

le dell'ICP di Roma —, dell'alleggerimento dei fabbricati come criterio fondamentale per diminuire i costi e i consumi di ferro<sup>17</sup>.

I primi vantaggi conseguenti alla riduzione del peso proprio si ebbero nei solai per i quali, avendo aumentato contemporaneamente lo spessore con l'impiego di elementi forati, si ottenne un notevole risparmio sulle armature<sup>18</sup>.

L'altra strada fu quella di intervenire sui regolamenti tecnici per modificare gli elementi numerici che entrano nel calcolo delle sezioni resistenti: primo fra tutti il rapporto «n» tra i moduli di elasticità di acciaio e calcestruzzo, per il quale fu proposto un abbassamento da 10 a 8 o a 6<sup>19</sup>.

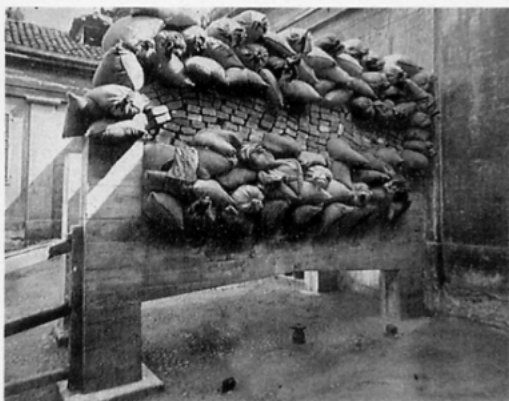
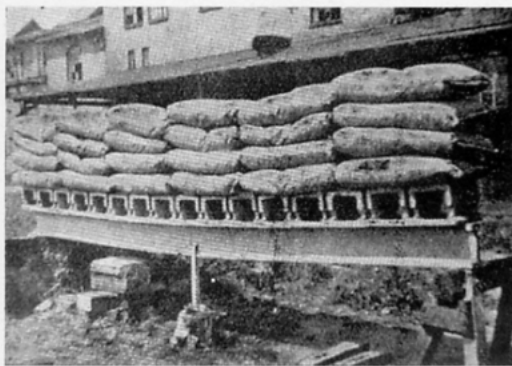
Si pensò anche di aumentare i valori delle tensioni ammissibili dell'acciaio: la cosa sarà ufficialmente consentita dal decreto legge del novembre 1937 che eleverà da 1200 kg/cmq a 1400 kg/cmq e a 2000 kg/cmq, rispettivamente, le tensioni ammissibili per il ferro omogeneo e per l'acciaio semiduro. Ad alcuni studiosi parve rischioso avvicinarsi a tali sollecitazioni limite sia perché gli acciai allora prodotti erano di qualità incostante, sia perché non si avevano ancora esatte cognizioni sulle possibilità dei calcestruzzi di assecondare le rilevanti deformazioni dell'acciaio senza subire gravi lesionamenti<sup>20</sup>.

Nello stesso periodo si sperimentarono con maggiore determinazione che nel passato le possibilità d'impiego di materiali sostitutivi del ferro; tra questi: l'alluminio, il legno, la canna di bambù, il cemento amianto. Ma su di essi non si nutrivano grandi speranze, a causa degli esiti mediamente poco soddisfacenti o addirittura scarsi delle prove condotte su elementi di calcestruzzo così armati<sup>21</sup>.

Per quanto riguarda le leghe leggere, alcune esperienze condotte nel 1936 dal Servizio Tecnico Centrale del Ministero dei Lavori Pubblici dimostrarono che il loro uso come armature del calcestruzzo non poteva essere suscettibile di sviluppi a causa dell'aggressione chimica del cemento basico sull'alluminio, dell'elevato coefficiente di dilatazione del metallo, del suo basso modulo di elasticità e, non ultimo, del prezzo elevato.

Gli studi sul calcestruzzo armato con barre di legno risalivano agli anni Venti. Da essi, oltre ai noti inconvenienti del legno, risultò la scarsa aderenza tra i due materiali qualora non si fossero utilizzate legature di ferro, staffe o chiodi sporgenti dalla superficie del legno. Il più serio inconveniente rimaneva comunque il fatto che il legno era uno tra i materiali meno autarchici.

Invece, nonostante le numerose incognite, più incoraggianti furono gli esperimenti con le



2/Trave Hoyer di 4 m di luce a debole armatura fatta di fili di acciaio armonico. Il carico di prova è pari a circa 1850 kg/m..

3/Trave di calcestruzzo non armato di 3 m di luce sotto un carico di 2100 kg/m..

canne di bambù che si rivelarono di ottime caratteristiche meccaniche.

Infine, interessanti furono i risultati delle prove di resistenza di elementi di calcestruzzo armato con strisce o tubi di cemento amianto, materiale di buone caratteristiche fisiche e di spiccate affinità col calcestruzzo. Travi così armate, più pesanti delle ordinarie a parità di resistenza, dimostrarono un buon comportamento a flessione sotto carichi statici e dinamici, ma rottura improvvisa senza segni premonitori.

Solo più tardi sarà affrontato con decisione il nodo centrale della questione sul calcestruzzo poco armato: quello della necessità di affidare una parte, almeno, delle trazioni al conglomerato<sup>22</sup>. Se alcuni ingegneri pensavano di poter mettere in conto direttamente il contributo a trazione del calcestruzzo impostando il calcolo secondo i metodi tradizionali — cioè fissando un certo rapporto tra i moduli di elasticità del calcestruz-

zo teso e compresso —, gli studiosi si muovevano con maggiore circospezione seguendo altri indirizzi<sup>23</sup>. Essi, infatti, vedevano nella capacità del calcestruzzo di resistere a trazione un'attitudine che era opportuno sfruttare, ma, specificavano, solo qualora il calcestruzzo si fosse trovato intimamente connesso con l'acciaio. Così, se Arangeli sosteneva che «affinando i metodi di calcolo» e «curando la esecuzione» dei getti sarebbe stato possibile «fare assegnamento su resistenze e collaborazioni che oggi si trascurano»<sup>24</sup>, Colonnetti aggiungeva che si sarebbe potuta accrescere la resistenza a trazione del calcestruzzo «curando la miglior suddivisione e distribuzione dei ferri entro la massa del calcestruzzo» e creando «opportuni stati di coazione» che avrebbero potuto portare «a notevoli economie di materiale»<sup>25</sup>.

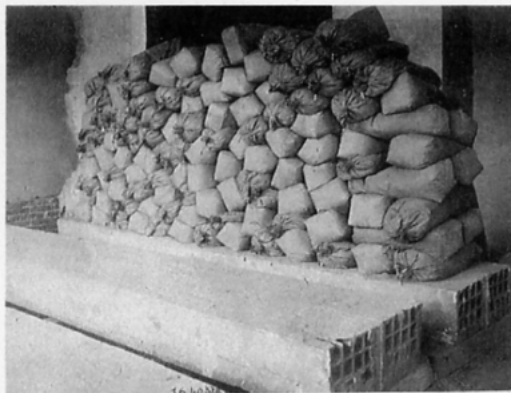
Colonnetti fa riferimento alla tecnica degli «stati di coazione impressi» che fu considerata, e si dimostrerà da un certo momento in poi, come l'unico metodo innovativo che, pur garantendo l'affidabilità strutturale del calcestruzzo semplice, avrebbe potuto portare a riduzioni drastiche di armatura senza scapito per la sicurezza<sup>26</sup>.

Tipici prodotti dell'applicazione di tale tecnica furono le travi precomprese brevettate da Hoyer in Germania verso la fine degli anni Trenta: con esse si riuscivano ad ottenere economie di ferro fino all'85-90% rispetto alle ordinarie travi armate. Le travi Hoyer erano prefabbricate con conglomerati di elevata qualità e con fili pretesi di acciaio «armonico» ad altissima resistenza, del genere di quelli che si utilizzavano per fabbricare le corde di pianoforte<sup>27</sup>.

Se il calcestruzzo normale o alleggerito si dimostrò certamente adatto a sostituire i mattoni legati con malta nelle murature portanti, più problematico fu, per quanto detto, cercare di realizzare con esso strutture orizzontali sottoposte a flessione. Ciononostante, la ricerca in questo campo continuò con studi ed esperimenti condotti in parallelo da vari specialisti.

Dopo alcune prove tendenti a valutare il comportamento statico di strutture inflesse non armate dalle quali si evidenziò l'impossibilità di fare sicuro affidamento sulla resistenza a trazione del conglomerato sia per la sua incostanza sia per i rischi di rottura fragile — parve più opportuno prendere in considerazione le strutture semiarimate. In esse il ferro, presente in piccole quantità, doveva valere come presidio atto a conferire al calcestruzzo sufficienti doti di elasticità e di adattabilità e come garanzia di una sia pur minima riserva di resistenza: si pensava che in tal modo sarebbe stato possibile tenere espli-





citamente conto nei calcoli della resistenza a trazione del calcestruzzo<sup>28</sup>. In proposito varie esperienze confermarono l'utilità di modesti quantitativi di armatura, soprattutto se ripartiti in numerosi tondini di piccolo diametro.

Interessanti contributi furono dati in merito da Giorgio Neumann, il quale, tra il 1939 e il 1940 approfondì lo studio e il calcolo di solai laterocementizi non armati con luci fino a 4-5 m<sup>29</sup>. Tali solai, per la minore resistenza del calcestruzzo tesò rispetto a quello compresso, assomigliavano a solai «rovesci»: in essi il calcestruzzo veniva disposto a formare una spessa soletta continua intradossale mentre elementi laterizi forati mutuamente distanziati creavano, al di sopra, nervature incrociate di calcestruzzo soggette a compressione e taglio. Una leggera soletta estradossale finiva il tutto. Nelle zone tese, per contrastare le fessurazioni da ritiro e conferire al calcestruzzo la necessaria monoliticità, occorreva disporre «un leggero filato di ferro» non collaborante staticamente ovvero impiegare calcestruzzo armato con fibre di amianto.

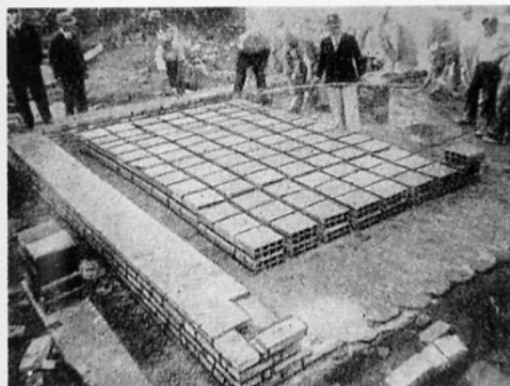
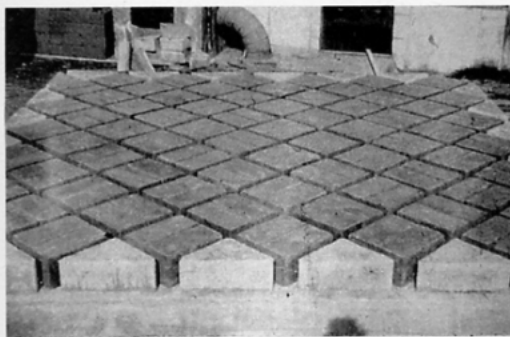
Nel 1940 Neumann condusse alcuni esperimenti su di un solaio del genere armato all'intradosso con una rete d'acciaio del peso di 0,5 kg/mq: la rottura, pur avvenuta sotto un carico da 6 a 7,5 volte superiore a quello ammissibile, si manifestò senza segnali di avvertimento apprezzabili<sup>30</sup>.

Domenico De Simone, nello stesso ambito di studi, dopo alcuni approfondimenti teorici, mise alla prova un solaio di 5,0 x 6,1 m costruito a Roma nell'area del Foro Italico. Era costituito da un graticcio di nervature di calcestruzzo ordinario — armate, ciascuna, con due tondini di 5 mm di diametro, per un consumo di ferro pari a 0,9 kg/mq — tra elementi laterizi di elevato spessore, tipo Stimip. Sotto carico il solaio dimostrò un buon comportamento elastico, mentre le deformazioni prima della rottura furono molto evidenti: il solaio, a detta del progettista, avrebbe potuto sopportare sovraccarichi di esercizio dell'ordine di 400-500 kg/mq<sup>31</sup>.

Simile al solaio di De Simone era il solaio «a travetti in agglomerato cementizio senza ferro disposti a graticcio diagonale» della LARES. Era costituito da elementi cavi di calcestruzzo di pomice messi in opera per dar forma a nervature bidirezionali di calcestruzzo ordinario spianate superiormente con una soletta di calcestruzzo di 3 cm. Le nervature potevano essere non armate ovvero essere provviste di una leggera armatura di legamento costituita da una rete di fili di 3 mm di diametro, per un consumo di ferro pari a 0,55 kg/mq. Alle prove statiche e dinami-

4/Elemento di solaio Neumann lungo 4,6 m, prima della rottura.

5/Il solaio De Simone di 5,1 x 6,0 m vistosamente lesionato sotto un carico di prova di 1500 kg/mq.



6/Il solaio Lares in blocchi cavi di calcestruzzo di pomice prima del getto delle nervature.

7/Il solaio SIF (senza impiego di ferro) di Miozzi durante la costruzione: sono stati già realizzati i tappeti inferiori e si sta ultimando lo strato intermedio di laterizi forati.

che, il comportamento del solaio si dimostrò più che soddisfacente<sup>32</sup>.

Di portata più generale erano le proposte di Alberto Bevilacqua Lazise<sup>33</sup> il quale suggeriva di utilizzare per le strutture inflesse un'armatura in forma di «retina o maglia esterna di metallo» che avrebbe dovuto assumere «più che un ufficio portante, uno di connessione» con la finalità «di impedire un pericoloso sfacelo della struttura». Siccome il conglomerato avrebbe dovuto sopportare direttamente le trazioni, egli consigliava di utilizzare «calcestruzzo pregiato [...] nei punti di maggiore sollecitazione; raggiungendo così lo scopo di far seguire al cemento [...] le variazioni di intensità delle sollecitazioni [...] assolutamente come si pratica col ferro, a cui si dà una sezione maggiore nei punti di maggiore sollecitazione a trazione». Nonostante la necessità di armare comunque la trave con «ferro di sicurezza», la quantità di metallo si sarebbe ridotta di oltre il 50% rispetto ad una trave ordinaria<sup>34</sup>.

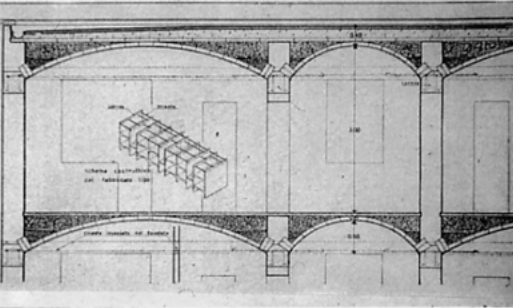
Del tutto privo di armature era invece il solaio SIF progettato nel 1937 e brevettato nel 1938 da Eugenio Miozzi; assolutamente originale nella concezione, fu oggetto di contrastanti valutazioni da parte dei tecnici<sup>35</sup>.

Era costituito da uno o due «tappeti» di pannelle laterizie romboidali dentellate mutuamente connesse con pasta di cemento di alta resistenza; al di sopra di essi vi era uno strato di comuni laterizi forati intervallati da nervature di calcestruzzo ordinario e, per finire, nuovamente uno o due tappeti laterizi estradossali. I tappeti inferiori e superiori — grazie alla dentellatura che realizzava un «incastro a tensione» e alla solidificazione con la boiaccia di cemento — si dimostravano atti a fronteggiare sforzi di trazione e di compressione; le nervature centrali erano sufficienti ad assorbire il taglio. Gli inconvenienti principali consistevano nel dover disporre un impalcato di tavole molto rigido e nel dover curare scrupolosamente la costruzione. Anche se alle analisi di costo si rivelava competitivo rispetto ad analoghi solai misti, il solaio SIF era molto pesante (525 Kg/mq) e molto spesso (31,5 cm). Le prove di carico più complete furono eseguite a Roma, tra la fine del 1939 e gli inizi del 1940, nei cantieri delle case INCIS a Porta Metronia progettate da Montuori, Piccinato e Viola. Qui un solaio di 4,5 m di luce, sottoposto ad un regime di carichi statici e dinamici molto severo, mostrò eccellenti capacità di resistenza<sup>36</sup>.

Sempre con l'obiettivo di fare a meno del ferro nelle strutture orizzontali, fu tentato un altro approccio: invece del classico telaio di cemento armato, si ricercarono altri assetti statici ove il calcestruzzo, trovandosi compresso, potesse essere armato debolmente. Tra questi, risultò conveniente sfruttare quelli che beneficiavano dell'effetto arco il quale tende a crearsi spontaneamente quando i trasversi di calcestruzzo sono di grande spessore ed efficacemente incastrati ai montanti<sup>37</sup>.

In tale ambito, mentre alcuni ingegneri si limitarono a calcolare il potere portante e il grado di autarchia di strutture orizzontali arcuate non armate (ma provviste di tirante), altri si avventurarono nella sperimentazione di sistemi costruttivi più o meno originali.

Una delle proposte più interessanti fu senz'altro quella di Pietro Marchino che nel 1938, sulla base di uno studio già presentato al concorso Santarella, suggerì l'impiego di un'intelaiatura di «calcestruzzo disarmato o quasi» con pilastri, travi arcuate e «solai a volta»<sup>38</sup>. Secondo questo sistema, ai pilastri di calcestruzzo non armato — salvo l'aggiunta di monconi in corrispondenza



8/Il «solaio a volta» di Marchino: sull'estradosso curvo si notano le nervature di calcestruzzo che contengono i tiranti.

9/Edificio a volte del quartiere «Padre Reginaldo Giuliani»: particolare della sezione trasversale.

delle riprese di getto ai vari piani — si sarebbero dovuti attestare travi ad intradosso arcuato di piccola monta (8/100 della luce) ed estradosso piano che, generando una spinta moderata, dato il loro «comportamento intermedio tra l'arco e la trave rigidamente incastrata»<sup>39</sup>, avrebbero avuto bisogno di un solo tirante di piccola sezione annegato nel getto. Al posto dei solai laterocementizi, Marchino proponeva volte sottili ribassate (con spessore in chiave di 7 - 10 cm) la cui spinta sarebbe stata assorbita da una successione di tiranti estradossoali posti ad interasse variabile da 1 a 1,5 m dei quali, quelli intermedi, nel caso di più volte in successione, si sarebbero potuti eliminare<sup>40</sup>.

Marchino ebbe modo di applicare, in parte, il suo sistema realizzando l'intero piano rialzato della caserma dei Carabinieri di Casale Monferato dove il consumo di ferro fu di 1,3 kg/mq. Il costo del solaio a volta risultò pari ai 2/3 del costo dei solai laterocementizi usati nello stesso fabbricato agli altri piani.

Anche se con caratteristiche meno innovative, numerosi furono gli orizzontamenti voltati effettivamente costruiti. Tra questi si ricordano

quelli di uno degli edifici del lotto di case popolarissime nel quartiere «Padre Reginaldo Giuliani» costruito tra il 1937 e il 1938 dall'ICP di Milano su progetto di Cesare e Maurizio Mazzocchi con la consulenza di Danusso e Mariani. Qui, per tutti e dieci gli edifici del lotto si sarebbero dovute usare volte ribassate spingenti su cordoli armati e tirantati. Le volte furono invece costruite in un solo di essi poiché si constatò che la maggiore altezza dei fabbricati, in conseguenza del maggiore spessore complessivo degli orizzontamenti voltati, comportava un aumento dei costi totali. In tale edificio le volte furono eseguite senza centine poiché il getto venne effettuato su una fodera intradossoale di mattoni in foglio secondo la tecnica delle volterre. È così occorso un quantitativo di ferro pari a 1,4 kg/mq, corrispondente al 43,5% di quello utilizzato per realizzare i solai piani degli altri fabbricati del lotto.

Simili strutture voltate si trovano nelle case operaie della Michelin a Torino progettate da Mario Passanti e Paolo Perona (1938-1940) e nelle case INA di piazza Roma a Latina (1938-'39) dove Mario Paniconi e Giulio Pediconi fecero uso di volte di mattoni nei primi piani e nelle logge di modo che l'aspetto costruttivo potesse divenire espressione formale.

I sistemi costruttivi in calcestruzzo debolmente armato non ebbero modo di affermarsi e di trovare importanti applicazioni sia per i divieti imposti dalle norme tecniche, ma soprattutto per la brevità del periodo di studio. D'altro canto la necessità di costruire nonostante le scarse assegnazioni di ferro influenzò decisamente l'architettura di quegli anni sia nella tecnica che nell'immagine<sup>41</sup>. Si riaffacciarono, infatti, impostazioni costruttive, per la verità mai abbandonate, basate sull'abbinamento della muratura portante ad ossature di cemento armato — in forma di interi telai, di rinforzi locali, di «riquadrate», di pilastri isolati — intese riduttivamente come articolazioni statiche del muro<sup>42</sup>. Parallelamente, accorgimenti come quelli di aumentare le sezioni resistenti dei pilastri e delle travi, di eliminare gli sbalzi, di reiterare telai uguali di campata modesta portarono ad una certa caduta di tono nell'edilizia corrente facendo assomigliare gli edifici intelaiati a quelli con struttura muraria per spessori, simmetrie, masse e distribuzione planimetrica.

Da qui alla involuzione stilistica il passo fu breve: se per alcuni fu naturale continuare a costruire modernamente usando materiali e tecniche tradizionali, altri — soprattutto quando si trattò di risolvere problemi di ambientamento —

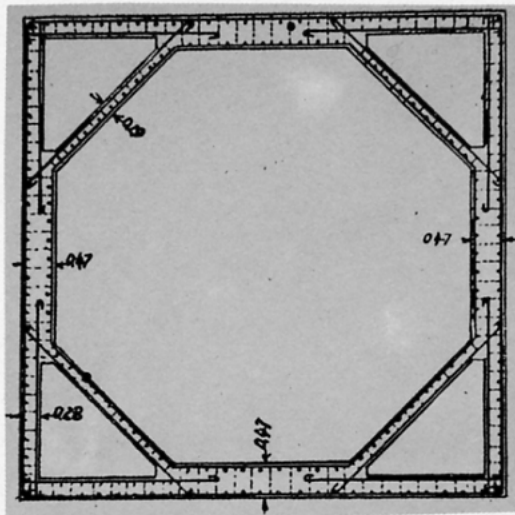


10/Case d'abitazione INA a piazza Roma, Latina.

11/Sezione trasversale dell'Arco Monumentale dell'E42 nel progetto di Di Bernardino e Antonelli. Si noti il limitato impiego di armatura.

si ispirarono all'immagine archetipica della costruzione autarchica (nell'equivoco che tale fosse la costruzione dall'apparenza muraria) ritornando a forme, cadenze e ritmi propri dell'architettura accademica, anche se declinati secondo una nuova enfattizzazione degli aspetti tettonici e materici, con esiti qualche volta felici e non privi di fascino.

Le potenzialità strutturali del calcestruzzo poco armato si sarebbero potute rivelare al massimo grado, e con franchezza, nella costruzione dell'Arco Monumentale per l'E42. Dai calcoli strutturali risultò infatti possibile realizzare un arco di 200 metri di luce col calcestruzzo semplice «senza un kilo di ferro» — sono parole di Libera — «lasciato in vista senza alcun rivestimento, ma solo martellato in superficie»<sup>43</sup>. Però, con l'intenzione di mostrare in modo lampante il raggiungimento dell'«assoluta autarchia», i dirigenti politici e le autorità tecniche accantonarono nel 1939 l'ipotesi di costruirlo col calcestruzzo — materiale ritenuto non sufficientemente autarchico — e decisero di realizzarlo in lega leggera «Avional D»: materiale, sì, «nazionalissimo» ma dai costi e dalle caratteristiche meccani-

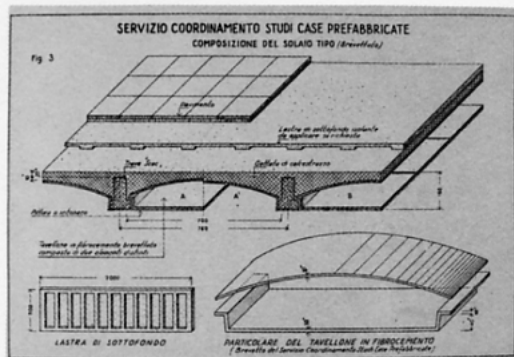


che tali che, nel corso della progettazione statica, fu necessario ridurlo a semplice crosta di una struttura di acciaio, materiale antiautarchico per eccellenza. L'arco non fu mai costruito, ma l'intera vicenda è sintomatica del fallimento, qui e in altre circostanze, delle posizioni intransigenti, demagogiche e «totalitarie» del regime in materia di autarchia.

Nell'immediato dopoguerra, pur persistendo una situazione di grave crisi economica e di penuria di materie prime, finirono d'un tratto le battaglie contro il ferro e le affannose ricerche di soluzioni radicali e miracolistiche.

Pressati dall'esigenza di ricostruire «in fretta e





12/Esempio di solaio realizzato con tavelloni di cemento amianto e con travi «Scac» precomprese.

bene», saranno vagliati vari modi di costruire al fine di abbassare i costi e ridurre le importazioni. Nel dibattito che seguirà si dimostreranno vincenti strategie — come l'alleggerimento delle costruzioni, la prefabbricazione, la precompressione di elementi prodotti in serie — già messe a punto nel periodo dell'autarchia e finalizzate ad economizzare materiali — specificatamente l'acciaio —, ad abbreviare i tempi, a superare difficoltà logistiche. Ad un certo punto si affermerà l'ipotesi, non nuova, di produrre manufatti di calcestruzzo trasportabili, accoppiabili, smontabili da costruirsi in un cantiere industriale e da montarsi in luogo<sup>44</sup>. Quest'ultimo atteggiamento porterà, nel campo delle strutture orizzontali, a preferire elementi precompressi di piccole dimensioni in conglomerato di alta resistenza da abbinare a tavelloni leggeri e di facile di montaggio. Tipici prodotti furono le travi armoniche «Scac», studiate nel loro comportamento statico da Carlo Cestelli Guidi, le quali, pur essendo l'esito costruttivo di studi sulle travi precomprese condotti prima della guerra, possono considerarsi a pieno titolo le travi «autarchiche» del nuovo periodo storico<sup>45</sup>.

#### Note

<sup>1</sup> «Messa in giro la parola d'ordine dell'autarchia, parve agli scaccini della nazionale saccenteria, che il momento fosse giunto per tirare il collo e tagliar l'ale nascenti alla nuova architettura italiana. Il ragionamento fu questo: autarchia, quindi necessario risparmio di ferro, quindi riduzione o addirittura abolizione delle strutture di cemento armato, ergo morte dell'architettura moderna o «razionalista». Tre deduzioni, tre errori». A. PICA, *Indipendenza economica dell'edilizia*, «Rassegna di architettura», 1938, 10,

pp. 433-436.

<sup>2</sup> Il riesame dei fondamenti dottrinali rese evidente lo stato di crisi della teoria dell'elasticità applicata al cemento armato, al confronto delle neonate teorie sulla plasticità e dei nuovi calcoli a rottura. G. COLONNETTI, *Calcolare meglio*, «Il Cemento armato - Le Industrie del cemento», 1938, 4, pp. 61-62.

<sup>3</sup> Idem, *I margini di sicurezza e la loro funzione*, ivi, 1938, 2, pp. 21-22.

<sup>4</sup> Al Centro per gli Studi sui Materiali da Costruzione del CNR e al Servizio Tecnico Centrale del Ministero dei Lavori Pubblici pervenivano «quotidianamente proposte da parte di privati che [...] pongono in evidenza come, oltre a tecnici di valore, anche umili operai si interessano al problema, cercando di dare il loro modesto contributo». D. DE SIMONE, *Norme, materiali e strutture per la limitazione dell'impiego del ferro nelle costruzioni*, «Annali dei Lavori Pubblici», 1939, 12, pp. 1189-1223.

<sup>5</sup> «Da quando i tecnici italiani si sono dovuti porre il problema dell'autarchia nell'edilizia, accanto a qualche ricerca seria non sono mancate le improvvisazioni più amene dei soliti faciloni e rimasticatori di luoghi comuni: parve quasi che, mentre in tutti i campi dell'industria si procedeva con metodo e con innegabile felicità di risultati veramente e seriamente autarchici, all'edilizia fosse riservata la mala sorte di ospitare tutti i dilettantismi superstiti e disoccupati». A. MELS, *Per l'autarchia: politica dell'architettura*, «L'Architettura italiana», 1938, 8, pp. 235-236.

<sup>6</sup> L. GUSSONI, *Strutture edilizie ed importazione di materie prime*, «L'Ingegnere», 1936, 6, pp. 299-312.

<sup>7</sup> «È contraddittorio negare il quintale di ferro per l'opera portante in cemento armato, quando si accorda la tonnellata per cancellate e altre opere accessorie» (dalla risposta del Sindacato Ingegneri di Milano ad una circolare del Sindacato Nazionale di Roma pubblicata nel fascicolo di ottobre 1937 del «Cemento armato - Le Industrie del cemento»).

<sup>8</sup> Perciò le interminabili discussioni intorno al grado di autarchia del ferro appaiono oggi assolutamente oziose poiché si dovevano scontrare con la sostanziale indisponibilità di un metallo inesorabilmente dirottato verso impieghi ritenuti più vitali per la Nazione.

<sup>9</sup> L. GUSSONI, *Strutture...*, cit.

<sup>10</sup> Le conclusioni della commissione furono ancor più sorprendenti in quanto da esse risultò «sensibilmente più conveniente dal punto di vista del costo in oro, il solaio con le travi di ferro e laterizi che non il solaio in cemento armato che pure richiede minor quantitativo di ferro, ma esige per contro molto consumo di legname e cemento». I. BARTOLI, *Orientamenti autarchici per l'edilizia*, «Il Popolo d'Italia», 7 novembre 1937.

<sup>11</sup> L. GUSSONI, *Indici valutari dei materiali e delle strutture cementizie*, «L'Industria italiana del Cemento», 1940, 6, pp. 145-147; L. GUSSONI, *Autarchia e materiali nelle costruzioni edilizie*, «L'Ingegnere», 1940, 7, pp. 517-518.

<sup>12</sup> Invece, esaminando le opere di finitura e di completamento, le economie possibili risultarono così rilevanti da portare, a conti fatti, l'esborso di valuta dal 9,74% a circa il 6%, lasciando trasparire la possibilità di ulteriori decurtazioni nel breve periodo.

<sup>13</sup> L. GUSSONI, *Indagini sui materiali da costruzione ai fini autarchici*, «Il Cemento armato - Le Industrie del cemento», 1938, 12, pp. 221-222.

<sup>14</sup> Nonostante le intenzioni, i risultati del concorso evidenziarono che «le strutture normali armate nei modi più consuetudinari di tondino di acciaio sono anche le più economiche. Cioè nessun vantaggio a ricorrere a soluzioni nuove». E. GALASSINI, *A proposito di un concorso*, «L'Industria italiana del Cemento», 1936, 12, pp. 317-323.

<sup>15</sup> Le norme tecniche del novembre 1937 e la legge dell'aprile 1938 vietavano l'impiego del cemento armato

negli edifici di comune abitazione fino a cinque piani, per le località non soggette a rischio sismico. Il Ministero dei Lavori Pubblici in una circolare del febbraio 1938 estendeva tale divieto a tutti gli edifici di comune abitazione qualsiasi fosse il numero dei piani, mentre consentiva l'uso dei solai misti purché di alto spessore. Tale divieto, con un successivo regio decreto legge del settembre 1939, verrà applicato a tutti gli edifici pubblici e privati e a tutte le opere pubbliche in genere, con poche esclusioni.

<sup>16</sup> Prima delle sanzioni economiche, la leggerezza del fabbricato non veniva considerata un requisito capace di portare a sostanziose economie: comunemente si costruivano scheletri di calcestruzzo armato tamponati con pesanti murature di mattoni pieni o con pietrame listato.

<sup>17</sup> Costantini proponeva l'impiego di elementi in conglomerato di pomice sia per costruire murature portanti e tamponature di scheletri in cemento armato, che per realizzare pignatte e tavelloni di solai. In area romana i blocchi di calcestruzzo di pomice, più autarchici dei laterizi, furono impiegati per la costruzione di alcune case popolari di Latina e di Roma alla Garbatella e in via di Donna Olimpia, di alcune palazzine di via Lima e delle casette popolarissime di Fiumicino e di Pietralata. I. COSTANTINI, *I conglomerati di pomice nell'edilizia*, «L'Industria italiana del Cemento», 1936, 3, pp.71-77. Anche le case Lavezzari e Ghiringhelli a Milano di Lingeri e Terragni, solo per fare un altro esempio, furono costruite con la stessa tecnica.

<sup>18</sup> In quel periodo furono posti in commercio diversi nuovi tipi di solai leggeri (Stimip, Excelsior, Sap) grazie ai quali fu possibile ridurre i consumi di acciaio a circa a 3-4 kg/mq, contro i 5-7 kg/mq dei solai misti ordinari. Sono da ricordare, in particolare, i solai a travi sagomate «Varese» in calcestruzzo di alta resistenza e doppia armatura di ferro acciaiato: a causa del modesto impiego di acciaio (fino all'85% in meno dei normali solai misti), le travi erano propagandate come «putrelle autarchiche».

<sup>19</sup> Tali valori, pur tra le giustificate critiche degli esperti, saranno ammessi dalle norme tecniche del novembre 1939.

<sup>20</sup> Occorreva infatti risolvere i problemi dell'aderenza e delle fessurazioni affinché «i limiti di deformabilità dell'uno (il calcestruzzo) non impedissero la maggiore sollecitazione e deformazione dell'altro (il ferro)»: solo così sarebbe stato possibile beneficiare della migliorata qualità dell'acciaio portando a riduzioni nella quantità delle armature dell'ordine del 30%. G. BORELLI, *Per l'autarchia nel cemento armato*, «Rassegna di architettura», 1939, 7, pp. 311-312.

<sup>21</sup> Sul comportamento, nella pratica, di questi sistemi non è possibile dare un giudizio, ma, nonostante la buona volontà di incoraggiare ogni iniziativa, si rimane scettici sulla opportunità di diffonderli. D. DE SIMONE, *Norme...*, cit. p. 1221.

<sup>22</sup> Si tenga presente che le norme tecniche obbligavano a prescindere assolutamente nei calcoli di resistenza dal contributo del conglomerato teso.

<sup>23</sup> «[...] una teoria razionale del cemento armato dovrà tenere giusto conto della resistenza del calcestruzzo alla trazione [...]. Si eviterà così quel pietoso artificio che consiste nell'infliggere le più arbitrarie ed inverosimili variazioni al modulo di elasticità del calcestruzzo, nella vana illusione di riuscire così ad interpretare elasticamente un fenomeno che notoriamente non è elastico». G. COLONNETTI, *Calcolare...*, cit., pp. 61-62.

<sup>24</sup> A. ARCANGELI, *L'autarchia nelle costruzioni in cemento armato e i mezzi meccanici per la posa in opera del calcestruzzo*, «Annali dei Lavori Pubblici», 1938, 12, pp. 1031-1035. Vedi anche: Idem, *Per un uso più razionale del cemento armato nelle costruzioni edilizie*, «L'Industria

italiana del Cemento», 1936, 2, pp. 39-42.

<sup>25</sup> G. COLONNETTI, *Calcolare...*, cit., p. 62.

<sup>26</sup> «[...] l'economia del ferro non si deve ricercare in assurdi ritorni a forme costruttive decisamente e definitivamente superate — né all'adozione di non meno assurdi surrogati — bensì perseguendo serenamente, con tutti i mezzi e i sussidi della scienza e dell'esperienza, il disegno di una tecnica più progredita». Idem, *Problemi nuovi e nuovi orientamenti*, ivi, 1939, 2, pp. 21-22.

<sup>27</sup> D. DE SIMONE, *Conglomerato armato con fili d'acciaio ad altissima resistenza*, «Annali dei Lavori Pubblici», 1939, 4, pp. 364-369.

<sup>28</sup> Nel sostituire le norme sul calcestruzzo semplice e armato del luglio 1933, le norme compendiate nei regi decreti del 16 novembre 1939 lasciavano aperta questa possibilità. Esse affermavano che «di regola» si dovesse prescindere dal contributo del conglomerato teso, ma lasciavano intendere implicitamente che, in particolari condizioni, sarebbe stato possibile tenerne conto.

<sup>29</sup> G. NEUMANN, *Solai cementizi piani senza ferro*, «L'Industria italiana del Cemento», 1939, 11, pp.306-309; Idem, *Economia di ferro nelle costruzioni cementizie*, «Il Cemento armato - Le Industrie del cemento», 1940, 3, pp. 42-44.

<sup>30</sup> M. PISTOLESI-FUSI, *Solai senza armatura*, «L'Industria italiana del Cemento», 1940, 8-9, pp.194-199. Diverse prove dello stesso genere furono eseguite da altri sperimentatori in cantieri dell'INCIS e dell'ICP: tutte confermarono che i solai non armati avevano discrete capacità portanti (pur senza apprezzabili riserve di resistenza) ma subivano una rottura improvvisa. Invece, impiegando solai a soletta intradossale e nervature incrociate armate con toncini di peso non superiore a 0,5 kg/mq, non solo aumentava sensibilmente la resistenza del solaio ma il crollo avveniva con lesionamenti premonitori.

<sup>31</sup> D. DE SIMONE, *Contributo al problema dell'autarchia nel campo delle costruzioni civili. Seconda esperienza su un solaio semiarmato*, «Annali dei Lavori Pubblici», 1940, 9, pp. 762-767.

<sup>32</sup> *Solaio monolitico senza ferro*, «L'Industria italiana del Cemento», 1940, 6, pp. 164-168.

<sup>33</sup> A. BEVILACQUA LAZISE, *Costruzioni in calcestruzzo con impiego minimo di metalli*, ivi, 1939, 11, pp. 209-305; 1939, 12, pp. 320-325.

<sup>34</sup> Bevilacqua Lazise considerava conveniente dare alle travi la forma a «T», diritta o rovescia, in modo che in ogni situazione fosse l'ala a trovarsi in trazione; in tal caso essa doveva essere costruita con calcestruzzo pregiato e retina di collegamento, mentre le parti restanti soggette a compressione si potevano realizzare con calcestruzzo di qualità inferiore o con laterizio forato.

<sup>35</sup> M. PALOMBI, *Il solaio piano laterizio senza ferro*, Roma 1940; M. PISTOLESI-FUSI, *Solai...*, cit., pp.194-196; R. CAPO-MOLLA, *Il solaio senza ferro*, «Il Nuovo corriere dei costruttori», 1933, 20, pp. 22-23.

<sup>36</sup> Un primo solaio fu costruito al Casino del Lido di Venezia. Con tale sistema furono eseguiti alcuni solai del liceo-ginnasio di Mestre e i solai di pianoterra delle case popolari della Celestia a Venezia.

<sup>37</sup> Diversi anni prima, Emperger aveva preso a modello tale effetto per stabilire il modo migliore di disporre l'armatura nelle travi di calcestruzzo.

<sup>38</sup> P. MARCHINO, *Solai a volte sottili in conglomerato cementizio nell'economia delle costruzioni edili*, «L'Industria italiana del Cemento», 1936, 8, pp. 200-208.

<sup>39</sup> Idem, *Calcestruzzo cementizio senza ferro (o con pochissimo ferro) nelle costruzioni edilizie*, ivi, 1938, 4, pp. 104-105.

<sup>40</sup> G. CIOCCA, P. MARCHINO, C. VIGLIANI, *Per la economia del ferro nell'edilizia. A S.E. il Ministro dei Lavori Pubbli-*

ci, ivi, 1939, 2, pp.38-43; P. MARCHINO, *Strutture in calcestruzzo con minima armatura*, ivi, 1938, 6, pp. 171-174.

<sup>41</sup> Per la verità il divieto di impiegare ossature di cemento armato, essendo troppo tassativo, finì per non essere sempre rispettato in pratica. Infatti, anche se le assegnazioni di ferro erano effettuate sotto il rigido controllo del Commissariato Generale per le Fabbricazioni di Guerra, diversi edifici privati furono costruiti, dal 1938 in poi, in cemento armato, grazie al ferro che era possibile acquistare sul mercato clandestino.

<sup>42</sup> Per esempio, nel Collegio Aeronautico della Gil di Forlì, Cesare Valle, per limitare lo spessore dei muri di mattoni pieni, usò pilastri di calcestruzzo semiarmato per i quali è stato possibile ridurre la percentuale d'armatura proprio grazie alle loro dimensioni esuberanti.

<sup>43</sup> Vedi: V. DI BERARDINO, A. ANTONELLI, *Il calcolo del gran-*

*de arco per l'Esposizione Universale di Roma*, ivi, 1941, 8-9, pp. 170-189. Il calcolo è riferito ad un arco semicircolare di 330 m di luce.

<sup>44</sup> La prefabbricazione in serie permetteva di ottenere tre vantaggi fondamentali: economia di ferro, di legname e di trasporto, economie tutte particolarmente necessarie al raggiungimento del programma autarchico». G. RABBI, *Elementi di cemento costruiti in serie*, ivi, 1939, 5, pp. 150-157.

<sup>45</sup> Sono travi che contengono da 0,55 a 1 kg di metallo per metro lineare [...]. In media gli esperti valutano l'economia di metallo nel 95% rispetto ai solai in ferro e nell'85% rispetto a quelli in cemento armato. L. MUSSO, *Il cemento nelle strutture prefabbricate*, ivi, 1946, 1, pp. 10-14.