DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture e del Recupero Edilizio ed Urbano

X Ciclo N.S. (2008-2011)

I SOLAI IN CALCESTRUZZO ARMATO DEL PRIMO NOVECENTO A SALERNO

Forme di degrado ed indirizzi per il recupero

Rossella Del Regno

Il Tutor
Prof. Arch. Federica Ribera

Il Coordinatore
Prof. Ing. Ciro Faella

A Giuseppe Coccaro, compagno di studi e di vita

RINGRAZIAMENTI

Desidero innanzitutto ringraziare in modo particolare: il Prof. Ing. Salvatore D'Agostino della facoltà di Ingegneria dell'Università "Federico II" di Napoli e promotore del Corso di Perfezionamento in Ingegneria per i Beni Culturali presso il C.I.Be.C., per l'immensa disponibilità e cortesia mostratemi e per l'aiuto fornito durante la stesura del presente lavoro di ricerca; l'Ing. Salvatore Marano, illustre tecnico salernitano e discendente diretto di uno dei protagonisti della Salerno tra le due guerre e l'Ing. Gennaro Miccio, Soprintendente B.A.P. per le province di Salerno, Avellino e Potenza, per la preziosa e continua partecipazione alla ricerca e affettuosa disponibilità dimostrata; la Prof. Arch. Federica Ribera della facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Salerno, per avermi spronato, in qualità di tutor, a fare sempre meglio.

Un ringraziamento speciale va anche ai miei genitori, Pasquale e Rosa, a mio fratello Luigi e al mio fidanzato Giuseppe, che sono stati il mio punto di riferimento e che mi hanno sostenuto e incoraggiato durante questo lungo ed impegnativo percorso.

Ringrazio, inoltre, con sincero affetto per il materiale fornito, la consultazione di testi ed il supporto morale:

gli Ingg. Mario Caputo, Pietro Di Maio, Gennaro Russo, Giovanna Salzano, Gerardo Trillo e Armando Zambrano dell'Ordine degli Ingegneri della provincia di Salerno;

l'Ing. Lucio Caiazzo, il Sig. Ubaldo Capaccio, la Sig.ra Fabiola Casilli del Comune di Salerno;

i Proff. Paola Fimiani e Angelo Trimarco, il Dott. Antonello Tolve della Fondazione "Filiberto Menna" di Salerno;

il Dott. Giuseppe Satriano e la Sig.ra Manuela Castrignano dell'Associazione "Soccorso Amico" di Salerno;

il Dott. Vincenzo Costantino del Tribunale di Salerno;

la Dott.ssa Maria Manzo e il Dott. Matteo Avallone dell'Archivio Storico del Comune di Salerno;

il Dott. Felice Amato della Soprintendenza B.A.P. per le province di Salerno e Avellino;

il Prof. Ing. Luciano Di Maio e la Prof. Arch. Barbara Messina della facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Salerno;

Anna Grimaldi, Emilia Di Mauro, Sebastiana Salamone, Paola Milite e Nicola Miranda degli uffici amministrativi della facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Salerno;

gli amici e i colleghi: Luna Accarino, Giuseppe Casilli, Caterina Cerviglione, Maria Rosaria Cundari, Pierpaolo D'Agostino, Domenico De Rosa, Giacomo Di Ruocco, Pasquale Dolgetta, Pierfrancesco Fiore, Michele Grimaldi, Miriam Sellitto.

INTRODUZIONE

Nella seconda metà del XIX secolo l'avvio su scala industriale della produzione di leganti idraulici (calci e cementi) diede vita, anche nel salernitano, ad un lento ma inarrestabile processo di rinnovamento delle tecniche costruttive, che portò all'affermazione del conglomerato cementizio armato come materiale da costruzione nell'arco temporale compreso tra le due guerre mondiali e alla sua generalizzata applicazione nel periodo *post* bellico.

L'impiego del nuovo materiale nella prassi costruttiva degli edifici salernitani avvenne in maniera graduale, senza comportare uno stravolgimento dell'impianto costruttivo tradizionale, dapprima con applicazioni "accessorie", attraverso elementi con funzione ornamentale (cornici ed apparati decorativi), poi in sostituzione dei tradizionali orizzontamenti in legno e ferro ai quali subentrarono nervature e solette in conglomerato cementizio armato.

Molto lenta fu, invece, l'azione di rinnovamento del costruire per l'introduzione del "nuovo" materiale nella realizzazione delle intelaiature con travi e pilastri.

Le prime significative applicazioni in calcestruzzo armato comparvero a Salerno nella prima metà del Novecento. Si tratta prevalentemente di interventi pubblici, che l'Amministrazione comunale realizzò per dotare la città dei servizi di base per la comunità, come le case per i ceti meno abbienti e le scuole.

Questa azione di rinnovamento si poté compiere grazie ad una *élite* di tecnici illuminati e capaci di andare oltre l'impostazione conservatrice, che perpetuava la tradizione costruttiva, per proporre le innovazioni che si affacciavano sul mercato, ad integrazione delle tecnologie in uso, sulla base di solide argomentazioni di carattere nazionale anche in termini di risparmio economico rispetto alle normali tecniche costruttive.

Tra tutti spicca la figura dell'ingegnere e architetto Camillo Guerra, titolare della cattedra di Architettura Tecnica della Scuola di Ingegneria di Napoli e fautore, nonché tra i principali protagonisti, dell'introduzione a Salerno del calcestruzzo cementizio armato nella realizzazione di alcune delle più rappresentative opere salernitane.

Camillo Guerra contribuì, infatti, in modo sostanziale alla diffusione della "cultura del calcestruzzo armato", sia con il suo esempio, come testimoniano le opere realizzate a Salerno tra la fine degli anni Venti e l'inizio degli anni Trenta (tra le quali ricordiamo il Palazzo di Città con annessa la sala del cinema-teatro, il quartiere dei Mutilati di piazza "Principe Amedeo", il Campo Sportivo "Donato Vestuti", l'ingresso al Nuovo Cimitero di Brignano, le Palazzine INCIS), sia con la rigorosa azione di divulgazione scientifica svolta nelle aule universitarie (anche attraverso la pubblicazione delle *"Lezioni di Architettura Tecnica"*

corredate di tavole esplicative con numerosi dettagli di elementi costruttivi, oltre a stralci delle principali normative dell'epoca). Il suo contributo innovativo fu apportato anche nella prassi quotidiana della gestione del patrimonio pubblico, in particolare nel ruolo di Responsabile Ingegnere Capo dell'Ufficio Tecnico del Comune di Salerno ricoperto nel periodo compreso tra il 1928 e il 1934.

Si è ritenuto di fondamentale importanza effettuare un approfondimento tecnologico, anche a livello nazionale, sia della concezione costruttiva che caratterizza queste prime costruzioni in conglomerato cementizio armato, che delle peculiarità dell'originario materiale e delle modalità impiegate per il confezionamento dello stesso.

Se, infatti, esiste una ricca letteratura sull'evoluzione storica del calcestruzzo armato e sul passaggio graduale dall'edificio a struttura continua in muratura a quello a struttura intelaiata in conglomerato cementizio armato, ancora poco è stato scritto in relazione al recupero dell'edilizia realizzata in Italia nella prima metà del Novecento, che rappresenta quella porzione di costruito ancora legato a schemi distributivi e motivi decorativi tipici dell'edilizia ottocentesca, ma che attraverso atti pioneristici, sperimentazioni e brevetti si arricchisce di elementi nuovi, costituendo quel patrimonio cosiddetto a "struttura mista".

In particolar modo, si è ritenuto interessante conoscere quali fossero i caratteri intrinseci propri dell'edilizia del Ventennio fascista, periodo di grande fermento scientifico-culturale e di forte sviluppo demografico, i materiali e le tecniche costruttive che hanno determinato l'evolversi dei

modi di costruire a livello locale, le tecnologie, il valore storico-architettonico degli elementi costruttivi, ed in particolare dei solai, la loro unicità materico-tecnologica, i pregi, le qualità, le potenzialità ed anche i difetti, nonché le soluzioni strutturali più frequentemente adottate.

Solo uno studio approfondito di questi edifici può consentire, infatti, un esame dettagliato, proponendone, quindi, una corretta valorizzazione anche sul piano tecnologico.

La metodologia utilizzata nel presente lavoro si basa, infatti, su un'approfondita indagine bibliografica e storico-archivistica, oltre che su una lettura critica dei manuali teorico-pratici della trattatistica premoderna, che costituivano il più importante strumento di aggiornamento dei professionisti, attraverso i quali si è proceduto allo studio dei caratteri costruttivi degli edifici progettati ed edificati nel primo Novecento, pervenendo al reperimento di numerose informazioni sull'edilizia coeva realizzata in Italia e a Salerno, sulla normativa, sui materiali e sulle tecniche costruttive maggiormente diffuse nel periodo considerato.

Testi, normative e materiale d'archivio hanno reso possibile la realizzazione di un breve *excursus* storico sulle origini e l'evoluzione del conglomerato cementizio armato, dagli albori al periodo autarchico fino all'introduzione della più recente tecnica della precompressione (Capitolo primo), oltre ad un'approfondita classificazione, descrizione e analisi dei principali brevetti di solai con struttura in conglomerato cementizio armato, partendo da quelli a soletta piena, passando per quelli a nervature, fino ad arrivare alle tipologie latero-cementizie con cenno

alle tipologie "speciali" realizzate con l'impiego di diffusori in vetro, pomici o materiali alternativi (Capitolo secondo).

Particolarmente interessante si è rivelata la consultazione presso l'Archivio della Camera di Commercio di Salerno dei *"Bollettini Ufficiali della Proprietà intellettuale"*, pubblicati annualmente dal Ministero dell'Industria e del Commercio, grazie ai quali sono state reperite importanti informazioni inerenti ai brevetti delle diverse tipologie di solai in conglomerato cementizio armato depositati nella prima metà del Novecento. Oltre alle informazioni relative a numerosissimi tipi di orizzontamenti, alcuni dei quali erano costituiti da armature in legno, altri da camere d'aria formate con blocchi di terracotta, altri ancora che prevedevano diversi sistemi di soffittature, sono state anche riscontrate le più svariate notizie che spaziano, ad esempio, dagli impianti utilizzati per l'approvvigionamento di acqua calda a particolari parapetti che si trasformavano addirittura in scale antincendio.

Si è proceduto, successivamente, all'individuazione e alla classificazione, sotto forma di schede, di alcuni edifici salernitani particolarmente significativi, costruiti nei primi decenni del Novecento e caratterizzati dalla presenza di orizzontamenti in calcestruzzo armato, esaminandone le caratteristiche e, ove possibile, lo stato di conservazione.

I risultati di tale catalogazione, sono stati sintetizzati in grafici e tabelle che riassumono le tipologie di orizzontamenti principalmente riscontrate nella realtà salernitana, comparandone le caratteristiche (luce,

altezza e interasse tra le nervature), che corredate da restituzioni assonometriche, costituiscono un "archivio" di notizie facilmente consultabili e aggiornabili (Sottocapitolo).

Oltre alle caratteristiche peculiari, sono stati evidenziati, inoltre, i punti deboli dei solai con struttura in calcestruzzo armato, dovuti a carenze di tipo tecnologico-costruttive, e gli eventuali fenomeni di degrado e di dissesto, al fine di stabilire indirizzi per il recupero tecnologico degli stessi.

Sono stati, quindi, documentati gli studi promossi in Italia sulle tecniche maggiormente diffuse per il recupero di tipologie di solai con struttura in conglomerato cementizio armato, descrivendone le modalità operative, al fine di individuare tra queste quelle che si rivelano essere più idonee alla conservazione degli elementi nella loro autenticità e, quindi, in grado di garantire il rispetto dei caratteri di originalità che li contraddistinguono (Capitolo terzo).

Affinché il recupero di un edificio di valenza storica, o nello specifico di un particolare elemento costruttivo, possa definirsi tale, occorre, infatti, che l'intervento sia improntato al rispetto dell'autenticità e del valore storico degli elementi interessati e che sia in continuità con le specificità tecnico-costruttive dell'epoca. Per poter intervenire correttamente sul costruito storico è fondamentale, quindi, avere una completa e consapevole conoscenza del patrimonio edilizio dell'epoca, dei suoi processi di crescita e realizzazione, nonché della cultura che li ha prodotti e delle conoscenze che li hanno determinati, al fine di preservare e valorizzare il costruito, contribuendo in tal modo alla trasmissione ai

posteri delle tecniche costruttive tradizionali, salvaguardando nel contempo il patrimonio esistente.

Il presente lavoro di ricerca è volto, quindi, a riscoprire il valore dei contenuti degli archivi e dei vecchi manuali e a fornire un contributo analitico alla conoscenza dei caratteri intrinseci dell'edilizia sviluppatasi a Salerno nel corso del Ventennio fascista, al fine di evidenziare le valenze culturali ed estetiche proprie dei solai in conglomerato cementizio armato realizzati nei primi decenni del secolo scorso. A conclusione della ricerca sono stati proposti, poi, criteri guida per l'analisi, la salvaguardia e la conservazione.

Difficilmente, infatti, al giorno d'oggi si ha interesse per le teorie e le soluzioni tecniche del passato, anche recente, in quanto si tende a classificarle come testimonianza di esperienze remote, superate o nel migliore dei casi semplicemente come fasi di processo evolutivo di un materiale all'epoca considerato "innovativo".

Occorre, invece, osservare come una qualsiasi innovazione si fondi sulle conoscenze maturate in precedenza e come ogni prodotto contenga tutta la cultura che si è sedimentata lungo questo lento processo di sperimentazione, coscienza, errori commessi. Non si tratta certo di applicare oggi le regole passate ma non si può neppure trascurare il fatto che una loro conoscenza costituisce un patrimonio indispensabile per definire in modo più chiaro le problematiche ad essi connesse al fine di trovare soluzioni sempre più adeguate, specifiche e puntuali per la loro conservazione.

CAPITOLO PRIMO

LA DIFFUSIONE DEL CALCESTRUZZO ARMATO

Le origini e l'evoluzione

Il calcestruzzo, denominato comunemente e impropriamente "cemento", è un conglomerato artificiale costituito da una miscela di legante, il cemento appunto, sabbia e aggregati lapidei, che, a seguito di reazioni di idratazione e indurimento, acquista una resistenza tale da poter essere assimilato ad un materiale lapideo.

È difficile precisare quale siano esattamente le sue origini, infatti, benché si sia soliti collocare la sua scoperta tra la fine del Settecento e gli inizi dell'Ottocento, studi effettuati hanno riscontrato nella Galilea Meridionale la presenza di una pavimentazione compattata a base di calce e pietre levigate, posate su di un letto di argilla, risalente a 7000 anni prima dell'era cristiana[1].

[1] Filemio V., *From the Roman opus caementicium to concrete today. A study through techniques, technologies and materials* in Catalano A., Sansone C. (a cura di), "Concrete 2009. The building tecniques - I International congress. Technological development of concrete. Tradition, actualities, prospects", Luciano Editore, Formia 2009, p. 364.

Anche gli Egizi sembra utilizzassero per le loro più famose costruzioni, le piramidi, un composto argilloso ottenuto miscelando calce viva, gesso e pietre frantumate.

L'ingegnere Giuseppe Vacchelli, in un testo edito agli inizi del Novecento, scrive che "[…] *sarebbe difficile e forse impossibile il precisare quali sono le origini del calcestruzzo, poiché pare che già gli Assiri e gli Egiziani facessero costruzioni murarie impiegando materiale minuto. Anche i Greci lo conoscevano. Furono però i Romani che diedero un grande impulso a questo genere di strutture, e sono numerosissimi gli esempi di antiche costruzioni in calcestruzzo, ancora in buono stato di conservazione* [...]"[2].

I Romani, infatti, forse già a partire dalla fine del III secolo a.C., impiegavano come legante la calce viva ottenuta per calcinazione della pietra calcarea mischiata intimamente con la pozzolana (*pulvis puteolana*), materiale sabbioso di origine vulcanica, ottenendo così un composto resistente, duraturo e capace di fare presa anche in penuria di aria.

In un primo tempo il calcestruzzo venne impiegato soltanto per le fondazioni degli edifici e per i basamenti dei templi, ma ben presto divenne l'elemento col quale venivano realizzate le murature in getto a sacco o foderate (*opus incertum, opera quadrata, opus testaceum, opus*

[2] Vacchelli G., *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*, Hoepli, Milano 1900, p. 89.

reticolatum), caratterizzate da paramenti murari, che costituivano una cassaforma permanente per il nucleo in *opus caementicium*.

Se i Romani per ottenere la malta idraulica utilizzavano calce e pozzolana, una vera rivoluzione avvenne nel 1756, quando l'ingegnere inglese John Smeaton, a seguito degli studi condotti, scoprì la calce idraulica. Egli osservò e teorizzò come da un opportuno *mélange* di calcare ed argilla si potesse ottenere un'ottima calce, che presentava caratteristiche analoghe a quelle della miscela in uso presso i Romani, senza dover ricorrere alla necessaria aggiunta di pozzolana, non disponibile ovunque.

La scoperta della calce idraulica segnò, quindi, la transizione dal calcestruzzo romano a quello moderno, che si differenziavano per il tipo di legante impiegato (i Romani utilizzavano calce e pozzolana o calce ed impurità a base di silice ed allumina che conferivano alla miscela proprietà idrauliche, mentre nel calcestruzzo moderno il legante è un cemento, sia esso *Portland* o di altro genere), per la composizione, per le modalità di esecuzione, per lo studio della natura, della dimensione e della distribuzione granulometrica degli aggregati, oltre che per gli altri parametri sintetizzati nella tabella seguente (tab. 1).

	CALCESTRUZZO ANTICO	**CALCESTRUZZO MODERNO**
Legante	Calce, calce e pozzolana	Cemento *Portland*, cemento pozzolanico, cemento d'altoforno
Aggregati	Sabbia e rottami grossi di pietre naturali e/o artificiali	Sabbia e ghiaia o pietrisco dosati secondo un fuso granulometrico
Additivi	-	Fuidificanti, superfluidificanti, aeranti, acceleranti, ritardanti, ecc.
Composizione	Suggeriti da regole pratiche in base ai rapporti tra sabbia, calce, pozzolana e rottami di pietra	Importanza del rapporto acqua/cemento
Miscelazione	Manuale	Meccanica
Trasporto	In genere per brevi distanze (nell'ordine della decina di metri)	Anche a lunga distanza
Casseri	Paramenti murari (permanenti), elementi lignei	In legno, metallo, plastica (rimovibili)
Compattazione	Con mazze di ferro	Con mezzi meccanici
Stagionatura	-	Protezione del getto con teli, nebulizzatori, acqua, pellicole anti-evaporanti

tab. 1: principali differenze tra calcestruzzo antico e moderno[3].

Fu, però, solo nell'Ottocento che le proprietà del cemento vennero analizzate, scientificamente riconosciute, codificate ed impiegate su larga scala, grazie ad importantissimi studi condotti da noti personaggi

[3] Collepardi M., *La produzione del calcestruzzo antico e moderno* in "Atti del Convegno di Studi, Calcestruzzi antichi e moderni: storia, cultura e tecnologia", Bressanone, 6-9 luglio 1993, p. 2.

dell'epoca tra i quali si ricordano Louis-Joseph Vicat, che definì la formula della calce idraulica artificiale affermando che "[…] *ogni calcare contenente una certa proporzione di argilla disseminata intimamente nella massa, dà in seguito a cottura, una calce idraulica, ossia un agglomerante capace di far presa sia nell'acqua, sia, in generale, fuori dal contatto dell'aria* […]"[4].

È tuttavia l'opera di Joseph Aspdin, muratore a Leeds nel Regno Unito, a costituire la pietra miliare nel percorso di perfezionamento e definizione del moderno cemento idraulico a lenta presa: il 21 ottobre del 1824, depositò un brevetto, nel quale si leggeva *"il fango o polvere delle strade selciate con pietra calcarea, o se questo materiale non si può avere in sufficiente quantità, la pietra calcarea calcinata va mescolata con una quantità stabilita d'argilla, impastata con acqua, per mezzo del lavoro manuale o di una macchina, fino a ridurla ad una poltiglia impalpabile; l'impasto si fa seccare, poi viene rotto in pezzetti e riscaldato in un forno da calce, finché tutto l'acido carbonico si è sviluppato; il prodotto è ridotto poi in polvere con mole e pestelli, ed è pronto per l'uso"*[5]. Aspidin battezzò tale composto col nome di cemento *Portland* artificiale, ancora oggi noto con l'acronimo *CPA*, per la somiglianza del suo colore con quello della pietra della terra di Portland in Inghilterra, e ne mantenne coperto dal segreto il processo di realizzazione, presiedendo personalmente al carico di ogni forno.

[4] Vacchelli G., *op. cit.*, p. 2.

[5] Benevolo E., *Storia dell'architettura moderna*, Laterza Editore, Bari 1966, p. 452.

La sua opera fu continuata dal figlio William che, tuttavia, procedeva nella sua ricerca per successive approssimazioni, senza stabilire precise dosature dei componenti, ottenendo cementi con proprietà variabili che non consentivano la definizione di una resistenza di riferimento, fino a quando nel 1850 gli industriali Demarce e Conquety misero a punto la produzione industriale del cemento, rendendolo definitivamente un materiale economico, malleabile, con una buona resistenza alla compressione ma scarsa alla trazione.

La notevole diffusione del calcestruzzo si è, però, avuta nel XIX secolo nel corso della rivoluzione industriale, quando cominciarono ad essere pienamente maturate le conoscenze derivanti dai lavori di Smeaton e con l'invenzione dei primi cementi moderni, che condussero all'avvento sul mercato del conglomerato cementizio armato, favorito anche dalla competitività sul mercato della produzione delle armature metalliche.

Si trattava però di un composto, meglio definito come "ferro cementato", per la preponderante presenza di ferro, nel quale non si teneva conto delle caratteristiche di resistenza del calcestruzzo, ma si utilizzava una miscela a base di cemento e sabbia per proteggere dalla corrosione gli elementi metallici filiformi e sfruttarne la sua plasmabilità; in questo modo il ferro, già all'epoca molto accreditato nel campo delle costruzioni, cominciò ad essere prodotto non più in profilati ma in tondini od in ferri di piccole dimensioni e venne associato al calcestruzzo, anch'esso molto diffuso nell'ambito della produzione

industriale, al fine di ottenere un materiale più duraturo e che consentiva la realizzazione delle più svariate forme.

Tra il 1850 e il 1900 gli studi si moltiplicarono e cominciò a svilupparsi in tutta Europa e negli Stati Uniti la sperimentazione del nuovo materiale che condusse alla nascita delle prime teorie di calcolo razionale, diverse da quelle empiriche precedenti. Tra le personalità di spicco a livello europeo si distinsero: l'avvocato Joseph-Louis Lambot, che costruì, nel 1848, una piccola imbarcazione con una struttura metallica ricoperta di calcestruzzo[6]; il giardiniere parigino Joseph Monier, che, nel tentativo di produrre recipienti da giardino, notando che la gabbia di metallo usata per trattenere e modellare il calcestruzzo non si staccava facilmente dal composto, realizzò una serie di vasi in conglomerato cementizio con armatura interna in ferro che presentò alla grande Esposizione parigina del 1855[7]; l'industriale francese François Coignet, che tra il 1852 e il 1861, progettò il solaio della sede della propria impresa, inglobando travi di ferro in un getto di calcestruzzo[8].

Quasi contemporaneamente, nel 1877 in America, Thaddeus Hyatt diffuse i risultati delle sue ricerche sperimentali sul cemento *Portland*

[6] Brevetto francese n. 22120, J.-L. Lambot, *Combinaison de fer et ciment destiné à remplacer le bois dit fer ciment succédané du bois de construction*, 30 gennaio 1855.

[7] Brevetto francese n. 77165, J. Monier, Parigi, *Système de Caisses-Bassins Mobiles en fer et Ciment, applicables à l'horticolture*, 16 luglio 1867. La tipologia *Monier* venne applicata successivamente anche per la realizzazione di tubazioni (brevetto del 1868), scale (brevetto del 1875), travi (brevetto del 1878) e coperture (brevetto del 1880).

[8] Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001, p. 50.

attraverso un opuscolo[9], nel quale riportava le qualità, anche statiche, del nuovo materiale e la sua competitività economica. Hyatt illustrava, per la prima volta in modo scientifico, le caratteristiche di resistenza del conglomerato cementizio armato, descrivendo le prove di carico condotte ed esaltando il fatto che il ferro da solo non presentava una buona resistenza al fuoco, mentre il calcestruzzo era un materiale resistente agli incendi; procedendo, infatti, alla realizzazione di un idoneo rivestimento, il calcestruzzo, durante un incendio, avrebbe potuto svolgere un'importante funzione protettiva del ferro. Evidenziava, inoltre, anche che il conglomerato cementizio armato, confezionato con barre di armatura lisce, risultava essere più economico dell'uso di profilati immersi nella matrice cementizia e in grado di dar luogo a travi con resistenza a carichi flettenti progressivamente crescenti. Hyatt ottenne, inoltre, il brevetto[10] per la definizione di solette composte da una trama di tondini di ferro infilati in ferri piatti ortogonali e rivestiti da uno spesso strato di calcestruzzo, che sperimentò nel 1878 in una casa londinese.

Tuttavia, tra la proposta di Monier e quella di Hyatt, trovò una maggiore applicazione la prima metodologia, anche grazie al contributo di Matthias Koenen, funzionario dell'amministrazione pubblica tedesca, che dall'intuizione del giardiniere Monier elaborò la prima teoria

[9] Hyatt T., *An account of some experiments with Portland Cement Concrete combined with iron as a building material*, 1877.

[10] Brevetto francese n. 111171, T. Hyatt, *Perfectionnement dans les bàtiments, dans leur construction et les matériaux qui y sont employés*, 22 gennaio 1876. Brevetto americano n. 206112, T. Hyatt, *Composition Floors, Roofs, Pavements & C.*, del 16 luglio 1878.

scientifica scritta sul conglomerato cementizio armato, riportandone i risultati, ottenuti a seguito di campagne di prove sperimentali, in un manualetto intitolato il "*Monier-Brochure*" edito nel 1887.

Lavorarono su questa scia numerose personalità europee ed americane, fino ad arrivare a François Hennebique, che dimostrò di essere il più lucido imprenditore ed "applicatore" delle potenzialità del calcestruzzo armato, nonché fautore del moderno calcolo strutturale. Egli spostò l'attenzione sugli elementi lineari, travi e pilastri, riconoscendo e sfruttando a pieno la particolarità e le straordinarie capacità del materiale e, partendo da formule molto semplici, dimensionò numerosi elementi costruttivi. Il suo contributo fu particolarmente innovativo in quanto si occupò per la prima volta della sollecitazione a taglio, da sempre trascurata, e prestò particolare attenzione alla sagomatura dei ferri di armatura agli appoggi, già comunque suggerita dal Koenen. La prima soletta armata con ferri tondi di Hennebique risale al 1880 cui seguì, a distanza di otto anni, la costruzione del primo solaio in calcestruzzo armato con tondini di ferro.

Tra le numerose attività svolte da Hennebique si ricordano il deposito del primo brevetto sulla trave armata con l'ausilio di staffe (1892)[11] e la pubblicazione della rivista "*Le béton armé*", che contribuì alla sempre maggiore diffusione del "nuovo" materiale, grazie anche ad una capillare ed efficientissima campagna pubblicitaria, che concentrava

[11] Brevetto francese n. 223546, F. Hennebique, Bruxelles, *Combinaison particulière du metal et du ciment en vue de la création de poutraisons très légères et de haute resistance*, 08 agosto 1892. Quello italiano è il n. 32495 del 18 agosto 1892.

l'attenzione sulle caratteristiche di leggerezza, resistenza, maggiore economicità ed incombustibilità[12] del "prodotto" rispetto alle strutture in ferro corrispondenti.

Le prime applicazioni originali e su larga scala del conglomerato cementizio armato si ebbero nell'ambito dell'ingegneria dei trasporti e dell'edilizia industriale o destinata al settore terziario. Erano, infatti, questi i settori in cui, per le attività svolte e per il materiale immagazzinato, nonché per la sicurezza dei lavoratori, si rendevano necessarie soluzioni definitive contro gli incendi, nei confronti dei quali le strutture in legno si erano dimostrate estremamente vulnerabili.

Sull'onda di queste sperimentazioni ne seguirono molto altre ancora, tra cui i primi solai nervati di Paul Cottancin, i cui risultati vennero pubblicati nei diversi bollettini tecnici.

A seguito dello sviluppo e della velocissima diffusione del conglomerato cementizio armato come materiale da costruzione, ad opera soprattutto degli imprenditori, e di alcuni drammatici crolli di strutture in conglomerato cementizio armato, nel prosieguo esplicitati, si determinò la necessità di introdurre una normativa di riferimento al fine di garantire la qualità e la sicurezza delle strutture e di preparare la classe dei progettisti all'impiego corretto del materiale.

La Francia risultò pioniera in questo, infatti, conferì a Charles Rabut, professore aggiunto del corso di meccanica applicata e già docente nel 1897 presso l'*École Nationale de Ponts et Chaussèes*, la cattedra del

[12] Il suo motto pubblicitario era "*Plus d'incendies désastreux*" (traduzione: "Mai più incendi disastrosi").

primo corso europeo sul conglomerato cementizio armato[13]. L'Italia, pur non avendo partecipato attivamente alla fase pionieristica della sperimentazione, si rivelò essere particolarmente ricettiva nei confronti della nuova tecnica, infatti, sull'esempio della Francia, nel 1900 venne designato il professore Camillo Guidi, ordinario di Scienza delle Costruzioni dell'Università di Torino, per tenere corsi specifici, i cui contenuti non si allontanavano molto da quelli odierni.

Imprenditori e progettisti italiani, invece, non parteciparono attivamente al dibattito culturale ed alla ricerca sperimentale e, anche se si mostrarono notevolmente interessati ai risultati ottenuti all'estero, rimasero a lungo fortemente radicati alle tecniche costruttive tradizionali.

È opportuno, infatti, ricordare che l'Italia, in ritardo sui processi di industrializzazione ed in particolar modo di sviluppo della siderurgia, aveva vissuto con minore entusiasmo l'epoca delle costruzioni con struttura in ferro, e quindi, *"mentre nelle altre nazioni la tecnologia del cemento armato si era inserita all'interno della tradizione delle strutture metalliche, in Italia si era innestata all'interno della tradizione della costruzione muraria"* [14].

---

[13] Tesi di dottorato di De Tommasi D., *Conservazione, miglioramento e manutenzione dell'edilizia a struttura mista del XX secolo*, dottorato di ricerca in "Sicurezza e conservazione del costruito storico" - XVI ciclo (2000/2003), Università degli Studi di Napoli "Federico II", relatore D'Agostino S., p. 38.

[14] Poretti S., *Elementi tipici della costruzione moderna a Roma negli anni Trenta: studio di casi esemplari, analisi del degrado, proposte di restauro* in AA.VV., "La costruzione moderna in Italia - Indagine sui caratteri originari e sul degrado di alcuni edifici", Edilstampa, Roma 2000.

Agli inizi del secolo scorso la nazione italiana si trovò fondamentalmente divisa tra una volontà tradizionalista, che esaltava le possibilità costruttive e strutturali delle costruzioni in muratura, e una più innovatrice, più ricettiva alle sperimentazioni, che attraverso l'importazione dei brevetti dall'estero, tentò di sottrarre i nuovi sistemi strutturali all'egemonia di ingegneri ed imprenditori stranieri.

Proprio in Italia, infatti, venne migliorato il brevetto *Monier*, ad opera di Carlo Poma, il quale nel 1893 registrò un proprio brevetto[15] che gli consentì di determinare le quantità di sabbia e cemento necessarie ad ottenere un composto uniforme e compatto, molto più vicino al moderno calcestruzzo e più economico rispetto all'originario materiale "spalmabile" per l'inferiore quantità di cemento utilizzato.

Le potenzialità sperimentali della ricerca italiana si concentrarono tuttavia quasi esclusivamente sulle travi prefabbricate, da accostare semplicemente in cantiere, e sulle solette miste in calcestruzzo e laterizio, per le quali si annovera una sorprendente specializzazione. Le notizie riguardo le caratteristiche dei nuovi materiali, le tipologie degli elementi ed i confronti sulle qualità e sulle possibilità offerte dagli stessi venivano recepite quasi immediatamente anche dalla stampa italiana di settore; la rivista *"L'ingegneria civile e le arti industriali"* se ne occupò a partire dal 1885, la *"Rivista di Artiglieria e Genio"* dal 1887, *"L'industria"* dall'anno successivo. Ma per avere la prima rivista specialistica si

[15] Brevetto n. 33369, C. Poma, Mantova, *Costruzioni di béton e ferro (Miglioramento del sistema Monier)*, 11 gennaio 1893.

dovette attendere il 1904, anno in cui venne pubblicato a Milano *"Il Cemento"*.

Quando, poi, il brevetto Hennebique travolse il mondo delle costruzioni, anche l'Italia venne coinvolta dall'onda pubblicitaria della ditta francese e, come in tutti i paesi europei, un rappresentante diretto della casa madre, l'ingegnere Giovanni Narici con sede a Napoli, dal 1894 fece da *trait-d'union* tra Francia ed Italia. Di lì a poco si determinarono le condizioni perché si installassero altri responsabili: un concessionario, Giovanni Antonio Porcheddu a Torino, sempre a partire dal 1894, ed altri, gli ingegneri Attilio Muggia a Bologna ed Italo Schiera a Roma. Le prime opere in conglomerato cementizio armato secondo il sistema Hennebique vennero realizzate a Napoli, a Roma ed a Torino.

Dal 1895 al 1900 Porcheddu a Torino si occupò di una trentina di progetti di solai per civili abitazioni, ospedali, scuole ed uffici; nel 1897 vennero realizzati i solai di alcuni ambienti comuni e le travi delle passerelle del policlinico "Umberto I" di Roma; nel 1895 venne eseguito un solaio di 7,50 m di luce e 13,50 m di lunghezza nel nuovo palazzo della Borsa di Napoli. Ancora a Napoli il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nel 1896 suggerì di impiegare diffusamente il conglomerato cementizio armato (brevetto *Hennebique*) nei lavori di ristrutturazione dell'Università.

Sempre in quegli anni fu realizzata la casa "dei Giganti" a Genova, che è ritenuta essere la prima casa di abitazione italiana, con tutti i solai, compreso quello di copertura, in calcestruzzo armato; ancora a Genova nel 1899 vennero eretti la semoliera (primo edificio industriale a molti

piani in conglomerato cementizio armato) ed il mercato orientale (prima opera pubblica con ossatura completa in conglomerato cementizio armato) [16].

La nuova tecnica costruttiva favorì, dunque, la costituzione di nuove imprese che nascevano dall'incontro tra inventori e finanziatori desiderosi di sfruttare le evidenti potenzialità commerciali del materiale, di cui si riportano alcune "locandine pubblicitarie" (fig. 1). Da questo momento in poi la struttura in calcestruzzo armato, vista come orditura monolitica ed al tempo stesso leggera, impose così la sua presenza in ogni contesto.

fig. 1: pubblicità di imprese italiane, produttrici di cementi e di elementi in conglomerato cementizio armato, dei primi anni del Novecento (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

[16] Iori T., *op. cit.*, p. 72.

La divulgazione del sapere per il tramite dei manuali

Dall'Ottocento in poi si attuò in Europa, e solo nei primi decenni del XX secolo in Italia, un fervido processo di condivisione delle informazioni, delle conoscenze e delle scoperte relative alle proprietà e alle prime applicazioni nel campo edilizio del conglomerato cementizio armato.

Con il proliferare di ditte e di imprese, che si specializzarono nella costruzione di strutture od elementi strutturali in conglomerato cementizio armato, si manifestò anche l'esigenza di far aumentare le vendite e, pertanto, si concentrarono gli sforzi nella pubblicizzazione che avrebbe consentito una diffusione della conoscenza del prodotto.

La trasmissione di queste informazioni determinò, quindi, il moltiplicarsi delle pubblicazioni, dei brevetti, dei testi, delle riviste specialistiche, delle informative pubblicitarie, dei manuali. Spesso questi ultimi risultavano essere semplici traduzioni di testi già pubblicati in altri paesi, a testimoniare il grande clima di scambio culturale cui si è fatto cenno in precedenza, molti altri, invece, furono il risultato di studi originali.

Col passare degli anni questi scritti si moltiplicarono, divennero sempre più specifici, tanto da divenire dei veri e propri cataloghi all'interno dei quali i vari imprenditori potevano scegliere le soluzioni più aggiornate ed opportune ai loro scopi.

In campo edilizio, per esempio, vennero pubblicati manuali tecnici dedicati esclusivamente ai nuovi materiali, tra cui si ricorda quello dell'ingegnere Giuseppe Vacchelli, edito nel 1900 e considerato il primo

manuale italiano sul conglomerato cementizio armato (fig. 2), oltre a numerosi altri testi che investigavano sull'edilizia nella sua totalità od anche pubblicazioni specialistiche sull'edilizia residenziale che trattavano l'argomento non solo da un punto di vista tecnico-edilizio, ma anche da quello urbanistico, igienico ed impiantistico, come ad esempio il testo scritto dall'ingegnere Antonio Pedrini[17].

Sono sostanzialmente due importanti manuali degli anni Trenta che documentano i grandi progressi dello scenario tecnico complessivo e l'evoluzione del componente laterizio utilizzato nei solai misti latero-cementizi. Nella *"Costruzione razionale della casa"* del 1932 l'autore, Enrico Griffini, concentrava la trattazione dei solai su quelli misti in conglomerato cementizio armato e laterizio, trascurando completamente la trattazione dei solai in acciaio e laterizio molto più diffusi all'epoca, a testimonianza della chiara direzione che andava prendendo la pratica edilizia; il manuale testimonia l'alto livello di sofisticazione raggiunto dal *design* del laterizio per ottimizzare il connubio statico e realizzativo con il conglomerato cementizio armato, presentando una panoramica dei principali sistemi brevettati.

[17] A tal proposito si veda l'allegato alla fine del presente capitolo, nel quale sono riportate le schede bibliografiche dei principali testi dell'epoca consultati che, oltre a fornire informazioni circa i dati "anagrafici" (titolo, autore, data, luogo e casa editrice), contengono indicazioni riguardo i destinatari del testo, lo scopo perseguito dall'autore, i commenti circa la bibliografia, il contenuto, l'impostazione grafica e gli eventuali metodi di calcolo illustrati.

Anche il manuale del 1933 curato da Eugenio Cortelletti, che costituiva un'edizione aggiornata dello storico *"La pratica del fabbricare"* di Carlo Formenti, accanto ad una esaustiva trattazione dei solai in acciaio e laterizio, dedicava grande attenzione a mostrare al progettista il vasto campionario di laterizi speciali che l'industria metteva a disposizione per la realizzazione di solai latero-cementizi[18].

Punta di diamante di questo fermento culturale fu l'organizzazione di esposizioni, aperte a tutti, in occasione delle quali venivano presentate, e quindi pubblicizzate, le principali novità tecnologiche, edilizie e meccaniche, nell'ambito delle quali venivano anche costruiti edifici temporanei. Ne sono un esempio le esposizioni universali che possono essere considerate lo specchio dell'evoluzione e della ricerca ingegneristica dell'epoca, nonché dell'arredamento, della moda, delle tendenze architettoniche e delle capacità produttive contemporanee.

Ditte e società, ingegneri e tecnici mantennero sempre vivo l'interesse verso questo tipo di iniziative grazie agli innumerevoli e ravvicinati progressi raggiunti, che il più delle volte venivano protetti dalla certificazione ottenuta mediante il rilascio di brevetti, per il cui ottenimento imprese e studiosi si davano battaglia.

Si ebbe, infatti, in questo periodo il proliferare di privative, sia in Europa che in Italia, che interessavano i diversi componenti edilizi, dagli elementi strutturali (solai, travi, pilastri), alle finiture (sistemi di

[18] Sorana D., *L'evoluzione dei solai misti* in "Recuperare l'Edilizia", n. 33, maggio 2003.

controsoffittatura, particolari tipologie di ringhiere per balconi), ai componenti degli impianti elettrici e di riscaldamento.

A causa delle incongruenze sperimentali, si andava sempre più avanti con la ricerca e frenetica era la corsa per il perfezionamento dei metodi di calcolo e l'aggiudicazione dell'esclusiva dei diversi sistemi costruttivi o produttivi che venivano sperimentati direttamente sul campo. Fino all'emanazione delle prime normative saranno, infatti, principalmente i brevetti a costituire una sorta di "certificazione di qualità" del prodotto.

Di qui l'importanza dello studio dei numerosi brevetti delle principali tipologie di solai in conglomerato cementizio armato, tipiche degli edifici italiani del primo Novecento, con particolare riferimento a quelle maggiormente diffuse nella città di Salerno.

MANUALI HOEPLI

LE

COSTRUZIONI IN CALCESTRUZZO

ED IN

CEMENTO ARMATO

PER L'

Ing. GIUSEPPE VACCHELLI

Con 210 figure intercalate nel testo

BIBLIOTECA NAZIONALE DI NAPOLI

ULRICO HOEPLI

EDITORE-LIBRAJO DELLA REAL CASA

MILANO

1900

fig. 2: frontespizio del testo edito dal Vacchelli nel 1900 e considerato il primo manuale italiano sul conglomerato cementizio armato (da Vacchelli G., *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*, Hoepli, Milano 1900).

La normativa dei primi decenni del XX secolo

La progressiva diffusione del conglomerato cementizio armato, non accompagnata da principi fisici inoppugnabili, destava non poche preoccupazioni nelle amministrazioni pubbliche e nel mondo accademico. L'incertezza del calcolo, ma soprattutto l'impudenza di imprenditori poco esperti e senza scrupoli che, mirando a liberarsi dai vincoli delle privative, modificavano la disposizione e la quantità delle armature e speculavano sul confezionamento del calcestruzzo, cui si aggiunsero alcuni crolli verificatisi in Italia ed nel mondo, indussero i responsabili della sicurezza pubblica a misure cautelative che consentissero di regolamentare le opere in conglomerato cementizio armato e quindi di renderne sicuro il suo impiego, mediante la divulgazione di norme, prima a livello locale, poi a carattere nazionale.

I primi regolamenti sulle strutture in conglomerato cementizio armato si diffusero tra il 1904 e il 1907, quando si iniziava a sentire la necessità di un codice di riferimento per il controllo del prodotto.

È del 1900, infatti, il crollo della passerella pedonale in corso di realizzazione all'Esposizione Universale di Parigi, del 1901 quello di un albergo in costruzione di 5 piani a Basilea, del 1903 quello di un ponte a Luino, del 1904 quello di un edificio realizzato con il sistema *Cottancin* a Santiago del Cile, del 1905 quello della copertura di un serbatoio a Madrid in cui persero la vita trenta operai ed altri ventotto restarono feriti[19].

[19] lori T., *op. cit.*, p. 65.

È proprio a seguito di questi eventi e di altri simili, dovuti, secondo le commissioni di indagine, alle più disparate cause (difetti di esecuzione, cattiva composizione dei materiali, errori di progettazione, tempi e modalità di disarmo errate, ecc.) che in tutta Europa si sentì l'esigenza di monitorare la produzione e l'esecuzione delle strutture in conglomerato cementizio armato.

Occorre ricordare, però, che l'esigenza di regolamentare le resistenze ammissibili e le modalità di calcolo si era posta già nel corso degli anni Ottanta e Novanta del secolo precedente anche per le costruzioni metalliche, che però aveva portato all'adozione di norme e capitolati riferiti alle sole costruzioni ferroviarie, di cui si intendeva in fondo solo uniformare e quindi controllare la produzione. La ricerca volta a normare la costruzione delle opere in conglomerato cementizio armato, invece, era finalizzata a scongiurare ulteriori episodi mortali ed ebbe l'effetto di svincolare la realizzazione delle strutture dai brevetti.

Cominciarono, infatti, ad essere commercializzati unicamente i sistemi costruttivi il cui calcolo rispondeva a quanto prescritto dalle norme e non più quelli risultati da verifiche ed ipotesi taciute perché protette da brevetto. Tutti i paesi europei sentivano comunque concordemente la necessità di una concreta introduzione normativa ed organizzarono, pertanto, campagne di prove su campioni o edifici esistenti al fine di studiarne le proprietà, i comportamenti e i rischi specifici. È opportuno precisare, però, che già dalla fine dell'Ottocento, prescrizioni, norme e capitolati, soprattutto nell'ambito delle opere pubbliche, dimostrarono una solerte attenzione alla definizione dei

metodi di produzione, conservazione e trasporto del materiale al fine di garantirne qualità ed autenticità. Risale, infatti, al 1887 la *"Norma per la fornitura e per le prove uniformi del cemento Portland"*, messa a punto dal Ministero prussiano del Commercio, dell'Industria e dei Lavori Pubblici, che individuava le condizioni minime di garanzia del calcestruzzo, le prove necessarie a determinare la resistenza a trazione e compressione del materiale (la resistenza a trazione doveva essere uguale o maggiore di 16 kg/cm^2 su provini di 5 cm^2 di sezione e quella a compressione uguale o maggiore di 160 kg/cm^2 su cubetti di 50 cm^2 di sezione) e fissava in 28 giorni (di cui 1 passato all'aria e 27 sotto l'acqua) il tempo necessario alla presa prima di procedere alla verifica delle qualità meccaniche.

Non venivano precisati, però, il numero dei provini da considerare, né tantomeno la tipologia di edifici da sottoporre a controllo, la periodicità delle verifiche da effettuare e le persone addette alle stesse. Si faceva riferimento solo a "metodi uniformi" per le prove di compressione e di trazione da svolgersi con le medesime attrezzature.

Del 1894 sono le *"Norme per la fornitura dei cementi occorrenti per l'esecuzione della fognatura"*, redatte a Torino, che indicavano il direttore dei lavori come la figura responsabile del potere discrezionale di accettazione o rigetto del materiale adoperato in cantiere, per il quale decideva di procedere ad un numero congruo di controlli (venivano presi in considerazione peso, finezza del composto e resistenza a trazione del calcestruzzo a 7 giorni - maggiore o uguale a 27 kg/cm^2 ed a 28 giorni - maggiore o uguale a 35 kg/cm^2). Non veniva, tuttavia, precisato se la

prova dovesse essere eseguita direttamente dall'impresa sotto il controllo del direttore dei lavori o se esistesse un ente che certificava le prove; venivano, però, determinate le sanzioni pecuniarie da applicare qualora venisse riscontrato l'impiego di materiale non congruo.

È del 1896 il *"Capitolato per la fornitura del cemento Portland"* redatto dall'Amministrazione di Ponti e Strade francese che, per la realizzazione di opere di qualunque genere, descriveva dettagliatamente prove e macchinari per testarne peso, composizione chimica, durata della presa, deformazione a freddo ed a caldo dopo la presa, nonché la resistenza del calcestruzzo a trazione a 7 giorni - maggiore di 20 kg/cm^2, a 28 giorni - maggiore di 35 kg/cm^2 ed a 84 giorni - maggiore di 55 kg/cm^2. Anche in questo caso veniva attribuita all'ingegnere la responsabilità dei lavori per conto dell'Amministrazione e della verifica dell'attendibilità delle prove che venivano effettuate all'interno del laboratorio stesso dell'Amministrazione.

Agli inizi del Novecento in Germania, Francia, Svizzera, Inghilterra e Italia, cominciarono a gettarsi le basi per la legislazione delle costruzioni in conglomerato cementizio armato; oltre a stabilire i valori di resistenza, le norme indicavano anche i criteri guida per la progettazione e l'esecuzione delle opere. Per il calcolo, veniva trascurata la resistenza a taglio e a trazione del calcestruzzo, veniva fissato un coefficiente di sicurezza pari a 5, in rapporto alla tensione di rottura per schiacciamento, e venivano individuati i valori di 10 per il rapporto tra il modulo di elasticità del ferro e quello del calcestruzzo, di 30 kg/cm^2 per la tensione ammissibile di compressione del calcestruzzo e di 1000

kg/cm^2 per la massima sollecitazione a trazione del ferro. Veniva prescritto, inoltre, l'obbligo di consegnare il progetto esecutivo delle opere, firmato dal progettista-ingegnere, dal quale si ricavavano le dimensioni e la disposizione delle armature, la qualità dei materiali, i dosaggi e i tempi del disarmo, stabiliti con responsabilità del progettista e dell'esecutore nella realizzazione della costruzione; l'esecutore, peraltro, era tenuto a presentare un certificato di idoneità attestante l'acquisita pratica nell'esecuzione dei lavori in conglomerato cementizio armato.

Nel 1904 in Germania la *Deutsche Beton-Verein*, con l'unione delle associazioni degli architetti ed ingegneri tedeschi, pubblicò i criteri di massima provvisori per la preparazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni in conglomerato cementizio armato, noti come *"Regolamento Prussiano"*. Tale normativa risultava, tuttavia, molto restrittiva: stabiliva, infatti, che il controllo, da parte delle autorità, sulle strutture in conglomerato cementizio armato dovesse essere compiuto tanto in fase progettuale quanto in quella esecutiva e ne fissava il sistema di calcolo e di verifica da rispettare; fu, pertanto, rivista con un regolamento del 1907[20] caratterizzato da una maggiore flessibilità.

[20] *Regolamento del Ministero Prussiano dei Lavori Pubblici per l'esecuzione di strutture in cemento armato* del 24 maggio 1907 in Mörsch E., "Teoria e pratica del cemento armato", Hoepli Editore, Milano 1910, pp. [354; 385]. Tale normativa, meno rigida della precedente, fissava le prescrizioni generali riguardanti gli elaborati progettuali delle opere in calcestruzzo armato, le prove e le certificazioni di qualità dei materiali da impiegare, i metodi di calcolo di progetto, i tempi e i modi di posa in opera, di controllo e di disarmo delle strutture gettate, nonché i dati necessari a conseguire il collaudo delle opere realizzate. Stabiliva le formule di progetto da adoperare individuandone i dati determinanti il calcolo statico ovvero i pesi, le modalità di calcolo delle forze esterne agenti sulle strutture, la determinazione dei carichi agenti, i modelli

Il 20 ottobre del 1906 la Francia pubblicò la stesura finale della normativa che regolava la progettazione delle strutture in conglomerato cementizio armato, elaborando i dati ottenuti dalle prove eseguite sugli edifici realizzati per l'Esposizione Universale di Parigi del 1900 e destinati alla demolizione. Il risultato fu un documento, la circolare francese del 1906, che diversamente da quanto decise di fare l'Amministrazione tedesca (che prescriveva rigorose ed imprescindibili dimostrazioni analitiche di calcolo e controlli durante tutte le fasi progettuali e costruttive dell'edificio in conglomerato cementizio armato), deliberava di accettare qualunque tipo di verifica scientifica, escludendo solo i risultati di mera natura empirica.

Anche in Svizzera si cominciò a lavorare presto ad una normativa specifica, ma la versione provvisoria del 1903 trovò la stesura definitiva nel 1909[21]; vennero previste tensioni ammissibili di 1500 kg/cm^2 per il ferro e 70 kg/cm^2 per il conglomerato.

Le norme inglesi[22] in materia vennero emanate nel 1911, dopo una versione provvisoria.

L'atteggiamento italiano nei confronti di queste novità materiche, tecnologiche e normative rimase lo stesso per tutto l'arco del periodo della sperimentazione e della ricerca: si attendevano e si studiavano le

di riferimento per la stessa finalità, le sollecitazioni interne ed i loro valori massimi ammissibili.

[21] *Nuove norme per le costruzioni in cemento armato compilate dalla Commissione Svizzera del Cemento Armato* in "Il Cemento", n. 20 del 1909, p. 309 e n. 22 del 1909, p. 337.

[22] *Le nuove norme inglesi sulle costruzioni in cemento armato* in "Il Cemento", 1911, p. 349.

posizioni degli altri paesi europei per poi scegliere di perseguire una posizione intermedia.

Il 10 gennaio 1907, infatti, ricalcando quanto fatto dai francesi e dai tedeschi, venne pubblicato il primo regolamento italiano sulle opere in conglomerato cementizio armato con un Decreto del Ministero dei LL.PP., *"Norme e condizioni per i materiali agglomerati idraulici e per le opere in cemento armato"*, che interessava tuttavia solo gli edifici pubblici, ovvero le sole opere dipendenti dal Ministero stesso. Con questo si poneva fine ad un'epoca in cui la sicurezza delle costruzioni veniva garantita solo ed esclusivamente dal rispetto di regole pratiche, senza nessun riscontro di verifica, difatti si richiedeva alle ditte costruttrici una specifica idoneità dimostrabile attraverso la presentazione di realizzazioni condotte ed ultimate secondo le regole del "buon costruire"; veniva, inoltre, prescritta la presentazione dei calcoli statici allegati al progetto, a dimostrazione del rispetto delle tensioni ammissibili dei materiali, e l'obbligatorietà di prove sperimentali su cubetti di conglomerato cementizio, di lato 10-15cm, con una resistenza misurata allo schiacciamento superiore a 150 kg/cm^2 e comunque non inferiore a 5 volte il carico di sicurezza adottato nei calcoli, con la tolleranza del 10% rispetto al carico medio di rottura. Quale prescrizione generale si indicava, infatti, che "[…] *ogni opera in cemento armato dovrà essere costruita in base a un progetto completo esecutivo, firmato da un ingegnere. Dal progetto dovranno risultare tutte le dimensioni e*

disposizioni del conglomerato e del metallo e i relativi calcoli statici giustificativi […][23]".

Erano anche imposti in fase di progettazione: l'assunzione del peso del conglomerato cementizio armato pari a 2500 kg/m^3; l'assenza del contributo a trazione e taglio da parte del calcestruzzo; sforzi di trazione per il ferro omogeneo inferiori a 1000 kg/cm^2 e di taglio inferiori a 800 kg/cm^2.

Per le armature era consentito l'impiego sia del ferro agglomerato che di quello omogeneo e si disponeva che la loro superficie fosse liscia; la resistenza a trazione veniva quantificata su spezzoni lunghi circa 20 volte il diametro e doveva essere compresa tra 3600 e 4600 kg/cm^2 per il ferro omogeneo ed almeno 3400 kg/cm^2 per quello agglomerato; si annoveravano tra i *test* non obbligatori quello al piegamento. Veniva prescritta, inoltre, una distanza tra le barre di armatura pari almeno al diametro delle medesime ed in ogni caso non inferiore a 2 cm, fatta eccezione per le barre messe a contatto; in ambiente aggressivo tale valore era portato a 3,5 cm.

In corso di esecuzione veniva disposta una sovrapposizione pari a 30 volte il diametro del ferro di armatura, ma erano comunque ammesse unioni realizzate mediante manicotti filettati e saldature. In fase di collaudo venivano richieste non solo la rispondenza tra il progetto e l'effettiva esecuzione dell'opera ma anche le prove di carico, a seguito delle quali non erano ammesse deformazioni permanenti superiori al 30%

[23] Siviero E., Cantoni, R., Forin M., *Durabilità delle opere in calcestruzzo*, Franco Angeli Editore, Milano 1995, p. 204.

delle deformazioni totali. Non venivano imposti tempi per il disarmo, né si individuava la figura responsabile del collaudo, né la quantità di provini di calcestruzzo da testare; infine, venivano definiti *"di uso generalizzato"* i metodi di calcolo basati sulle tensioni ammissibili.

Pur non essendo ivi esplicitata la figura del direttore dei lavori, per le opere pubbliche si applicava il già vigente regolamento n. 350 del 25 maggio 1895, che ne definiva i compiti e le responsabilità durante le operazioni di esecuzione e collaudo, con particolari indicazioni circa la tenuta dei documenti contabili.

Per la scelta oculata dei materiali si stabiliva di sottoporre gli stessi a prove atte a verificarne le qualità specifiche (costanza di volume, densità assoluta, finezza, tempi di presa, prove di resistenza ed eventualmente anche composizione chimica) secondo quanto indicato dall'Associazione Italiana per gli studi sui materiali da costruzione.

Inoltre, venivano definite le prescrizioni normali per l'accettazione dei materiali agglomerati idraulici e quelle per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio, con l'indicazione della dosatura del conglomerato normale (300 kg di cemento per m^3; 0,4 m^3 di sabbia asciutta e non compressa e 0,8 m^3 di ghiaia). Per quanto concerne l'acqua, veniva precisato che doveva essere limpida, pura e dolce, ma non venivano date informazioni circa il rapporto acqua/cemento.

Per quanto atteneva alla preparazione dell'impasto la norma prescriveva la preparazione dello stesso su di un'area pavimentata, mescolando prima a secco cemento e sabbia, cui poi veniva aggiunta la

ghiaia, unitamente a ripetute aspersioni di acqua, finché l'impasto non assumesse la consistenza di terra appena umida.

L'unica indicazione in merito ai solai riguardava la tipologia a soletta rinforzata da nervature, per la quale si ammetteva la partecipazione a flessione di una parte della medesima, purché venissero soddisfatte le seguenti condizioni:

- interasse tra le nervature pari a 20 volte lo spessore della soletta, 10 volte la larghezza delle nervature e 1/3 della portata delle stesse;
- i ferri di armatura dovevano essere posizionati ortogonalmente alle nervature.

Parallelamente alla maturazione della coscienza legislativa e quindi tecnica sugli edifici in conglomerato cementizio armato, si diversificava e si strutturava anche quella igienico-sanitaria e quella antisismica, presente in Italia già tra la fine dell'Ottocento e l'inizio del Novecento a seguito dei frequenti e devastanti terremoti che colpirono il paese.

I provvedimenti più antichi sono probabilmente quelli del 28 marzo 1784, emanati dal Governo borbonico dopo il terremoto che devastò la Calabria nel 1783. Ma questi, come tutti quelli che si susseguirono fino all'inizio del XX secolo (regolamento pontificio edilizio per la città di Norcia, 1860; prescrizioni edilizie per l'isola d'Ischia, 1883), si limitavano a prescrizioni costruttive e limitazioni dell'altezza degli edifici.

È, infatti, del 1887 il regolamento contenente le norme per la costruzione ed il restauro degli edifici nei comuni liguri danneggiati dal

terremoto[24], anche se in realtà non venivano prescritti particolari e specifici interventi tesi all'uno o all'altro scopo. Veniva ammessa ancora la realizzazione di murature in pietrame e ciottoli e la costruzione di tubazioni e camini all'interno dello spessore murario, anche se ne veniva segnalata la pericolosità; si cercava di limitare le sporgenze dei cornicioni e si vietava l'impiego della volta come orizzontamento per i piani fuori terra, imponendo l'uso di solai piani con travi in legno e/o in ferro.

Risale al 1906 la prima normativa sismica italiana, riguardante nello specifico la provincia di Messina[25], che suggeriva l'impiego nel campo delle costruzioni edili dei "nuovi" materiali e soprattutto dei sistemi intelaiati: si faceva, infatti, preciso riferimento all'uso di *"strutture in cemento armato"* e di *"case baraccate"* [26]. Tale prescrizione fissava il vincolo obbligatorio delle altezze di tutti i fabbricati (mentre quella precedente sanciva lo stesso solo per gli edifici pubblici) e forniva indicazioni materico-dimensionali relativamente alle fondazioni, alle murature portanti, ai tramezzi, ai vani porta e finestre, alle scale.

Particolare cura veniva destinata all'esecuzione dei nodi strutturali; si legge *"in corrispondenza di ogni solaio ed a circa un metro al di sotto della sommità dei muri, sia nei senso longitudinale che trasversale, sia*

[24] *"Norme per la costruzione ed il restauro degli edifici nei comuni liguri danneggiati dal terremoto"*, 22 febbraio 1887.

[25] *"Norme per la costruzione ed il restauro degli edifici danneggiati dal terremoto nelle province calabresi ed in quella di Messina"*, 1906.

[26] Le case baraccate erano abitazioni realizzate in muratura con un'intelaiatura di legno che doveva garantire connessione ed elasticità alla struttura.

lungo i muri perimetrali che divisori, si devono porre delle catene di ferro orizzontali tese, munite agli estremi di capochiavi o bolzoni appoggiati contro un telaio metallico di contrasto"[27].

Il decisivo impulso all'incondizionata fiducia e quindi all'impiego del conglomerato cementizio armato come materiale da costruzione si determinò, però, a seguito del terremoto che colpì Messina e Reggio Calabria il 28 dicembre 1908, durante il quale tutte le strutture, anche quelle nate per far fronte alle esigenze antisismiche, vennero completamente distrutte. Per la ricostruzione, a seguito del concorso internazionale bandito nel 1909 dalla Società Cooperativa Lombarda di Opere Pubbliche, venne sancita la superiorità delle strutture in conglomerato cementizio armato su quelle tradizionali e venne costituita una commissione al fine di proporre ulteriori norme edilizie obbligatorie per le città a rischio sismico.

Il nuovo regolamento antisismico, che sostituì quello precedente, venne emanato nell'aprile dello stesso anno[28] e si delineò come norma maggiormente restrittiva; stabiliva, infatti, che in zona sismica l'altezza massima per gli edifici in muratura doveva essere pari ad un solo piano, imponendo automaticamente l'impiego di intelaiature in legno, ferro e conglomerato cementizio armato per tutti gli altri edifici (anche se queste

[27] *"Norme per la costruzione ed il restauro degli edifici danneggiati dal terremoto nelle province calabresi ed in quella di Messina"*, cit.

[28] Regio Decreto 18 aprile 1909, n. 193 - "*Norme tecniche ed igieniche per le riparazioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei luoghi colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 e da altri precedenti elencati nel R.D. 15 aprile 1909 e ne designa i Comuni"* (G.U. 22/04/1909, n. 95).

disposizioni vennero riviste nel 1912[29] a seguito dell'impossibilità di rendere competitive le strutture intelaiate rispetto a quelle in muratura, a causa dell'elevato costo dell'approvvigionamento delle materie prime per la regione Sicilia, per cui vennero poi ammessi fabbricati in muratura di altezza pari a due piani). Nuovamente vennero prese in considerazione le singole parti dell'edificio, determinando cosa era consentito realizzare e cosa, invece, era vietato, ma soprattutto per la prima volta venne introdotta la disposizione secondo cui *"nei calcoli di stabilità per la definizione della resistenza delle costruzioni si debbono considerare: le azioni statiche dovute al peso proprio ed al sovraccarico, aumentate di una percentuale che rappresenti l'effetto delle vibrazioni sussultanee; le azioni dinamiche dovute al moto sismico ondulatorio rappresentandole con accelerazioni applicate alle masse del fabbricato nelle due direzioni (lunghezza e larghezza) ed agenti in entrambi i sensi di ogni direzione*"[30].

Altro aspetto fondamentale era quello che prevedeva esplicitamente la necessità di tenere conto nei calcoli di stabilità e resistenza delle costruzioni delle *"azioni dinamiche dovute al moto sismico ondulatorio, rappresentandole con accelerazioni applicate alle masse del fabbricato"*[31].

[29] Regio Decreto Legge 06 settembre 1912, n. 1080 - *"Norme obbligatorie per le riparazioni, ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici nei comuni colpiti dal terremoto, in sostituzione di quelle approvate con R.D. 18/04/1909, n. 193"*.

[30] Regio Decreto 18 aprile 1909, n. 193 - cit.

[31] *"Relazione della Commissione incaricata di studiare e proporre norme edilizie obbligatorie per i comuni colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 e da altri anteriori"* pubblicata sul Giornale del Genio Civile, 1909.

Il terremoto di Messina del 1908 rivelò in particolare la vulnerabilità degli edifici in muratura con solai in legno o ferro semplicemente appoggiati sulle murature, per il collasso delle pareti fuori dal proprio piano; una disposizione successiva vietò, infatti, l'impiego di tali elementi costruttivi, imponendo l'utilizzo di impalcati in conglomerato cementizio armato con cordoli di incatenamento inseriti tra gli ordini delle murature[32].

Con il Decreto Presidenziale del 15 maggio 1925, veniva estesa a tutte le opere che ricadevano sotto la competenza delle pubbliche amministrazioni, l'osservanza delle norme emanate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nell'adunanza n. 3227 del 14 novembre 1924. Questa può essere considerata la prima normativa italiana strutturata sugli edifici in conglomerato cementizio armato; si può ritenere infatti, verosimilmente, che fino a questo momento la definizione dei materiali, e conseguentemente delle tecniche di realizzazione e posa in opera, nonché delle tipologie edilizie, risultavano essere prevalentemente di carattere sperimentale.

I Decreti Legge del 4 settembre 1927 nn. 1981 e 2325, e le modifiche del 7 giugno 1928 n. 1431, estesero l'obbligo del rispetto della normativa sulle opere in conglomerato cementizio armato anche ai privati, rendendo conseguentemente obbligatoria anche per essi la figura giuridica del direttore dei lavori. La norma prevedeva anche che i

[32] I primi edifici in conglomerato cementizio armato utilizzavano le murature di tamponamento (realizzate in muratura piena) per irrigidire le maglie dei telai al fine di assorbire le azioni orizzontali. La normativa del 1935 consentiva esplicitamente di tener conto di tale contributo irrigidente e resistente.

documenti tecnici, ed in particolar modo i progetti esecutivi delle strutture, venissero conservati da parte del Prefetto, consentendo però la possibilità di delega di detta attività ai Comuni. Con il Regio Decreto Legge del 7 giugno 1928 la competenza della progettazione e della direzione lavori di opere in conglomerato cementizio armato veniva estesa anche agli architetti[33].

Le successive regolamentazioni sul conglomerato cementizio armato, tra le quali si ricordano i Regi Decreti Legge del 4 aprile 1929 n. 592 e del 18 luglio 1930 n. 1133, non dettero luogo a sostanziali modifiche sulle competenze e responsabilità del progettista e del direttore dei lavori. Quanto ai costruttori, prima dell'inizio dei lavori, veniva loro imposto di farne denunzia alla Prefettura della Provincia. Il Prefetto nominava un ispettore per i controlli in cantiere. Al termine dei lavori il committente doveva presentare in Prefettura il certificato di collaudo sempre eseguito da un ingegnere di riconosciuta competenza.

Il Regio Decreto Legge del 3 aprile 1930 n. 682 *"Nuove Norme Tecniche ed Igieniche di edilizia per le località sismiche"*, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 133 del 7 giugno 1930, in merito agli orizzontamenti in conglomerato cementizio armato, stabiliva che essi dovessero essere "[…] *calcolati nei riguardi del peso proprio e del sovraccarico, aumentati del 50 per cento per tenere conto delle scosse sussultorie"*. Le varie membrature, inoltre, dovevano considerarsi come

[33] *"Ogni opera in cui le strutture di conglomerato cementizio semplice od armato abbiano funzioni essenzialmente statiche e comunque interessino l'incolumità delle persone dovrà essere costruita in base ad un progetto esecutivo firmato da un ingegnere od un architetto* […]*"*.

"[…] *semincastrate per il calcolo delle sezioni alla mezzeria, e come perfettamente incastrate per il calcolo delle sezioni di estremità, secondo le prescrizioni normali per l'esecuzione delle opere in cemento armato* [...]*"*.

A seguito del terremoto che colpì l'Irpinia il 23 luglio 1930, furono emanati anche provvedimenti di sussidio economico in favore delle popolazioni danneggiate dall'evento sismico, riassunti nel Regio Decreto Legge 3 agosto 1930 n. 1065, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 187 del 11 agosto 1930, che prevedeva difatti la sospensione della riscossione delle imposte erariali e delle imposte provinciali e comunali su terreni e fabbricati.

Il Regio Decreto Legge del 23 maggio del 1932 n. 832 (convertito in legge 22 dicembre 1932, n. 1830), ribadiva quanto stabilito dal Regio Decreto Legge del 1928 introducendo i cementi alluminosi, pozzolanici e d'altoforno. Modificava, inoltre, il modulo elastico da considerare nei calcoli portandolo al valore di 200.000 kg/cm^2 e per i solai dava come unica indicazione quella che gli stessi "[…] *dovevano ricoprire i muri su cui erano appoggiati per tutto lo spessore di questi, e dovevano collegarsi intimamente con le strutture secondarie in calcestruzzo armato che si trovavano allo stesso loro livello"*. Infine, "[…] *i cordoli che ricoprivano i muri, dovevano essere armati con quattro ferri di diametro non inferiore al ferro di armatura del travetto sostenuti da staffe a distanza non superiore di 0,50 m*"[34].

[34] R.D.L. 23 maggio 1932, n. 832 - *"Norme per l'accettazione di agglomerati idraulici e per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio"*.

Il Regio Decreto Legge del 29 luglio del 1933 n. 1213 ribadiva quanto sancito dal R.D.L. del 1932, indicando nuovi limiti alle tensioni di compressione dei calcestruzzi ed in particolare prescriveva per conglomerati di cemento *Portland*, d'altoforno e pozzolanico, di non superare il valore massimo di 40 kg/cm^2 per strutture soggette a pressione semplice e di 50 kg/cm^2 per strutture inflesse di spessore non inferiore a 10 cm. Per conglomerati di cementi ad alta resistenza od alluminosi i valori massimi dovevano essere rispettivamente di 50 e di 65 kg/cm^2. Il carico di sicurezza a taglio rimaneva di 2 kg/cm^2 per conglomerati di cemento *Portland*, d'altoforno e pozzolanici e di 4 kg/cm^2 per conglomerati di cemento ad alta resistenza od alluminosi, come disposto dal Regio Decreto Legge del 1929.

Per la costruzione dei solai veniva introdotto l'impiego di laterizi speciali aventi funzione statica, anche senza soletta, delle tipologie riconosciute tecnicamente meritevoli di approvazione.

Circa le solette tale normativa prescriveva che "[…] *il valore di h, spessore teorico della soletta, non doveva essere inferiore a 1/25 della portata ed in ogni caso, non mai minore a cm 7 che può ridursi fino a cm 5 per i solai speciali con elementi laterizi. I ferri che si calcolano sono quelli da disporre lungo il senso della portata e si chiamano ferri di resistenza. Per solette di un certo spessore si rialzano generalmente uno sì, uno no agli estremi. Si aggiungono poi, superiormente e trasversalmente ai predetti, altri ferri più radi e di diametro minore che*

si chiamano ferri di ripartizione perché servono a ripartire gli sforzi collegando tra di loro i ferri di resistenza […]*"*[35].

Per i solai a nervature, invece, veniva richiesta l'adozione di "[…] *barre di ricoprimento disposte vicine tra loro e perpendicolarmente alle nervature per meglio assicurare la compartecipazione della soletta all'inflessione delle nervature. All'uopo basterà porre in opera spezzoni di tondino da mm 6-7, lunghi m 1, distanti 10-15 cm l'uno dall'altro nella parte superiore della soletta* […]*"*[36].

Infine, in merito alle disposizioni circa l'interruzione dei ferri, le lunghezze di ancoraggio e le piegature di estremità oltre alle disposizioni già presenti nel Regio Decreto Legge del 1932, la norma imponeva di sfalsare le interruzioni e di posizionarle nelle regioni di minore sollecitazione.

La Norma Ministeriale del 17 maggio del 1937 n. 2202 introduceva l'impiego dell'acciaio semiduro nelle costruzioni di conglomerato cementizio armato ed imponeva che la resistenza a trazione fosse compresa tra 5000 e 6500 kg/cm^2 con un allungamento a rottura non inferiore rispettivamente al 21 e 14 %.

Particolare importanza ha il Regio Decreto Legge del 16 novembre 1939 n. 2229 *"Norme per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice o armato"* (suppl. ord. alla Gazzetta Ufficiale n. 92 del 18 aprile 1940), rimasto in vigore fino all'inizio degli anni Sessanta.

---

[35] Rosci L., *Manuale pratico di volgarizzazione del calcolo del cemento armato*, G. Lavagnolo Editore, Torino 1939, p. 133.

[36] *Ivi*, p. 144.

Questo, oltre a fornire indicazioni circa le prescrizioni generali (redazione di un progetto esecutivo ad opera di un ingegnere o architetto; obbligo della certificazione dei materiali impiegati, da effettuarsi presso i laboratori delle facoltà di ingegneria delle principali città italiane, come indicato al Capo V della medesima norma; obbligo da parte dei costruttori della denuncia di inizio attività corredata di una copia del progetto di massima) e le tecniche da utilizzarsi per la costruzione di edifici in conglomerato cementizio armato, forniva anche raccomandazioni pratiche sull'esecuzione delle opere. Precise sono, infatti, le indicazioni sulle disposizioni delle armature "[…] *Costruiti i casseri per il getto del conglomerato, si dispongono con la massima cura le armature metalliche nella posizione progettata, legandole agli incroci con filo di ferro e* [...] *nei punti d'interruzione i ferri devono essere sovrapposti per una lunghezza di almeno 40 diametri, ripiegandoli ad uncino alle estremità.* [...] *E' necessario che la maggior parte delle armature principali raggiunga la zona degli appoggi* [...]*"* e ancora *"*[…] *Le barre devono essere piegate alle estremità ad uncino a semicerchio con una luce interna uguale a cinque volte il diametro del tondino"*[37].

Questo decreto, inoltre, forniva per la prima volta precise indicazioni sullo spessore del copriferro "[…] *Qualsiasi superficie metallica deve distare dalle facce esterne del conglomerato di almeno cm 0,8 se si tratta di soletta, e di cm 2 se si tratta di nervature"* nonché sulla distanza cui

[37] R.D.L. 16 novembre 1939, n. 2229 -*"Norme per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice o armato"*.

dovevano essere posizionati i singoli ferri di armatura "[…] *Fra le superfici delle barre di ferro vi deve essere in ogni direzione una distanza uguale almeno al diametro delle medesime* […]" e chiariva l'importanza che le staffe avevano nell'assorbimento degli sforzi taglianti "[…] *Di regola almeno la metà degli sforzi taglianti deve essere assorbita dalle staffe e la rimanente parte dai ferri piegati"*[38].

Integrando le precedenti normative[39], viene di fatto normata per la prima volta compiutamente la costruzione dei solai[40], ponendosi così come il riferimento di legge fondamentale per la verifica delle caratteristiche strutturali degli orizzontamenti in conglomerato cementizio armato.

Figurano sia prescrizioni per i solai nervati, che per quelli latero-cementizi:

- partecipazione della soletta all'inflessione della nervatura, per una striscia pari alla larghezza della nervatura con l'aggiunta di 6 volte l'altezza delle eventuali mensole della soletta oltre a 10 volte lo spessore della soletta, purché tale somma non superasse l'interasse delle nervature;

[38] *Idem.*

[39] Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 10 gennaio 1907, allegato B - *"Prescrizioni normali per l'esecuzione delle opere in cemento armato";* Regio Decreto Legge del 7 giugno 1928, n.1431 - *"Prescrizioni per l'accettazione degli agglomerati idraulici e per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio";* Decreto Legge del 16 novembre 1939, n. 2228 - *"Norme per l'accettazione dei leganti idraulici"*.

[40] Zevi B. (a cura di), *Il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma 2008, pp. B12 e B13.

- per le nervature di estremità, la larghezza della striscia di soletta poteva assumersi uguale alla larghezza delle nervature, aumentata di tre volte l'altezza dell'eventuale mensola, più cinque volte lo spessore della soletta;
- lo spessore della soletta, non doveva essere inferiore a 1/30 della portata, ed in ogni caso pari ad almeno 8 cm, per i solai con nervature; per i solai latero-cementizi, invece, lo spessore della soletta di conglomerato non doveva essere inferiore a 4 cm;
- nei solai con laterizi la larghezza dei travetti in conglomerato cementizio armato, non doveva essere inferiore a 7 cm ed il loro interasse non doveva superare i 40 cm, nei tipi ad orditura parallela, e gli 80 cm in quelli ad orditura incrociata. In presenza di orditura parallela e di luci maggiori di 5,00 m, dovevano essere previste nervature trasversali di ripartizione (l'attuale travetto rompitratta);
- nelle solette dei solai con laterizi, l'armatura di ripartizione doveva essere costituita da almeno tre tondini del diametro di 6 mm per metro lineare.

Il decreto consentiva, inoltre, l'impiego di solai misti senza soletta di conglomerato, purché i laterizi, di provata resistenza, presentassero rinforzi di conveniente spessore atti a sostituire la soletta di conglomerato. Non sempre tali solai hanno fornito, però, buone prestazioni, difatti è facile riscontrare la rottura delle pignatte per eccessiva fragilità o l'ossidazione delle barre per insufficiente protezione.

La norma stabiliva ancora un fuso granulometrico per la scelta degli aggregati da utilizzare nel confezionamento del conglomerato, introducendo il rapporto acqua/cemento, ritenuto costante, e ribadiva la necessità di prelevare i campioni da sottoporre ad un numero fissato di prove direttamente in cantiere. È importante notare che l'aumento delle prove portava a ridurre il coefficiente di sicurezza; veniva, infatti, adottata una resistenza cubica a compressione superiore a tre volte il carico ammissibile adottato nei calcoli e comunque mai inferiore a 120 kg/cm^2 per conglomerati di cemento normale e a 160 kg/cm^2 per conglomerati di cemento ad alta resistenza od alluminosi. Per quanto atteneva le barre di armatura, si consentiva l'utilizzo di acciaio dolce, semiduro e duro[41], imponendo un carico di rottura per trazione compreso tra 4200 e 5000 kg/cm^2 per l'acciaio dolce, tra 5000 e 6000 kg/cm^2 per il semiduro e tra 6000 e 7000 kg/cm^2 per quello duro, con un allungamento in percentuale rispettivamente pari al 20, 16 e 14 %. È interessante osservare che venne introdotto anche il concetto di carico di snervamento, imponendo un limite pari rispettivamente a 2300 kg/cm^2 per l'acciaio dolce, 2700 kg/cm^2 per l'acciaio semiduro e 3100 kg/cm^2 per l'acciaio duro.

Il peso proprio del conglomerato era posto sempre pari a 2500 kg/m^3. Il coefficiente di omogeneizzazione n = Es/Ec, in mancanza di una diretta prova di determinazione sperimentale, era posto pari a 10 per

[41] L'uso dell'acciaio duro e semiduro era limitato a tondini del diametro non superiore a 30 mm.

conglomerati di cementi normali, a 8 per quelli ad alta resistenza, a 6 per quelli alluminosi.

Il carico di sicurezza per le sollecitazioni di taglio era elevato a 4 kg/cm^2 per i conglomerati di cemento idraulico normale (*Portland*), d'altoforno o pozzolanico ed a 6 kg/cm^2 per i conglomerati di cemento ad alta resistenza o alluminosi. Per le sollecitazioni taglianti che superavano detti limiti rimaneva la necessità di armare a taglio e di non superare la tensione massima tangenziale di 14 kg/cm^2 per i conglomerati normali, d'altoforno e pozzolanici e di 16 kg/cm^2 per quelli ad alta resistenza o alluminosi.

I Regi Decreti Legge del 16 novembre 1939 nn. 2228, 2229 e 2233 segnarono un'importante svolta, perché venne introdotta una serie di prove atte a certificare la qualità dei leganti idraulici e vennero definite le caratteristiche fisiche e meccaniche dei laterizi da costruzione, suddivisi in tre categorie: laterizi pieni, forati e per coperture; veniva, inoltre, imposto anche il controllo e l'approvazione dei calcoli statici e del progetto da parte dei Geni Civili e delle Prefetture.

Il periodo in cui furono emanati tali decreti, caratterizzato da una notevole crescita edilizia, fece sì che essi costituirono il riferimento della maggior parte del patrimonio edilizio realizzato in quello scorcio di secolo. Le norme successive, emanate dopo la fine del secondo conflitto mondiale, dalla Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 1472 del 23 maggio 1957 al Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 3 ottobre 1978, variano di poco i criteri base di progettazione.

Si riporta di seguito, ad ogni modo, per completezza di trattazione, l'elenco delle principali normative di riferimento dell'epoca, relative alla costruzione di opere in conglomerato cementizio armato:

- R.D. 10 gennaio 1907, all. B - *"Prescrizioni per l'esecuzione delle opere in cemento armato"*;
- D.M. LL. PP. del 13 giugno1911;
- L. 24 giugno 1923, n. 1385;
- R.D.L. 23 ottobre 1924, n. 2089 - *"Norme Tecniche ed igieniche"* (sostituiscono le norme tecniche ed igieniche del Decreto Luogotenenziale 19 agosto 1917 n. 1399 - G.U. 30 dicembre 1924, n. 303);
- D.P. 15 maggio 1925 - *"Prescrizioni per l'accettazione di agglomerati idraulici e l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice ed armato"*;
- D.M. LL. PP. del 15 luglio 1925;
- R.D.L. 13 marzo 1927, n. 431 - *"Norme Tecniche ed igieniche di edilizia per le località colpite dal terremoto"* (sostituiscono le norme tecniche ed igieniche del Regio Decreto Legge 23 ottobre 1924, n. 2089 - G.U. 08 aprile 1927, n. 431);
- R.D.L. 13 marzo 1927, n. 431;
- R.D.L. 23 giugno 1927, n. 1529;
- R.D.L. 4 settembre 1927, nn. 1981 e 2325 - *"Nuove norme per l'accettazione di agglomerati idraulici e l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice ed armato"*;

- R.D.L. 7 giugno 1928, n. 1431 - *"Prescrizioni per l'accettazione di agglomerati idraulici e l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice ed armato";*
- L. 3 gennaio 1929, n. 58;
- R.D.L. 4 aprile 1929, n. 592 - *"Norme per l'accettazione di cementi speciali"*;
- R.D.L. 3 aprile 1930, n. 682 - *"Nuove norme tecniche ed igieniche di edilizia per le località sismiche"* (G.U. n. 133 del 7 giugno 1930);
- R.D.L. 18 luglio 1930, n. 1133 - *"Norme per le prove di accettazione di agglomerati idraulici e l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio"*;
- R.D.L. 3 agosto 1930, n. 1065 - *"Terremoto del 23 luglio 1930 – provvedimenti"*;
- R.D.L. 23 maggio 1932, n. 832 - *"Norme per l'accettazione di agglomerati idraulici e per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio"*;
- L. 22 dicembre 1932, n. 1830 - *"Conversione in legge del R.D.L. 23 maggio 1932 n. 832, recante norme per l'accettazione di agglomerati idraulici e per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio"*;
- R.D.L. 29 luglio 1933, n. 1213 - *"Norme per l'accettazione dei leganti idraulici e per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio"* convertito in Legge 5 febbraio 1934, n. 313 che stabiliva i requisiti cui dovevano rispondere i materiali e le

modalità di esecuzione delle opere, le norme per i calcoli, le norme per i progetti;

- R.D.L. 25 marzo 1935, n. 640 - *"Nuovo testo delle norme tecniche di edilizia con speciali prescrizioni per le località colpite dai terremoti"*;
- Legge 23 dicembre 1935, n. 2471 - *"Norme di buona costruzione"*;
- Norme ministeriali del 17 maggio e 31 luglio 1937;
- R.D.L. 22 novembre 1937, n. 2105 - *"Norme tecniche di edilizia con speciali prescrizioni per le località colpite dai terremoti"*;
- Legge 25 aprile 1938, n. 710 - *"Conversione in Legge del Regio Decreto Legge 22 novembre 1937, n. 2105 concernente norme tecniche per l'edilizia, con speciali prescrizioni per le località colpite dai terremoti"* (G.U. 11 giugno 1938, n. 710);
- R.D.L. 16 novembre 1939, nn. 2228 e 2229 - *"Norme per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice o armato"*;
- R.D.L. 16 novembre 1939, n. 2232 - *"Norme per l'accettazione delle pietre naturali da costruzione"* (G.U. 18/04/1940, n. 92 - suppl.);
- Decreto Provvisorio del Capo dello Stato 20 dicembre 1947, n. 1516 - *"Norme per l'esecuzione e l'impiego delle strutture di cemento armato precompresso"*.

A valle del discorso normativo effettuato, si riportano in sintesi, sotto forma tabellare (tabb. 2, 3, 4 e 5), le principali caratteristiche dei materiali da costruzione utilizzati all'epoca.

Tabelle e norme di riferimento	**Denominazione**	**Tensione di snervamento [MPa]**	**Tensione di rottura [MPa]**
Soletta *Monier* 1878	-	70 (ammissibile)	-
R.D. 10.01.1907	Ferro colato	-	360-450
	Ferro omogeneo	-	340
R.D.L. 04.09.1927	Ferro omogeneo	-	380
R.D. 18.07.1930	-	-	500
R.D.L. 23.05.1932	Ferro saldato	-	350
R.D. 16.11.1939	Acciaio dolce	≥ 23	420-500
	Acciaio semiduro	≥ 27	500-600
	Acciaio duro	≥ 21	600-700

tab. 2: resistenza degli acciai per conglomerato cementizio armato[42].

Tabelle e norme di riferimento	**Dosaggio minimo di cemento per m^3 di calcestruzzo**	**Modulo di elasticità [kg/cm^2]**	**Coefficiente di omogeneizzazione n**
Soletta *Monier* 1878	550	-	-
R.D. 10.01.1907	300	-	10
R.D. 16.11.1939	300	210000 (per il calcolo delle deformazioni)	10
		140000 (per il calcolo delle tensioni)	15

tab. 3: caratteristiche meccaniche dei calcestruzzi[43].

[42] Zevi B. (a cura di), *op. cit.*, p. B6.
[43] *Idem.*

SOLLECITAZIONE DI PRESSIONE SEMPLICE		
Conglomerato	**Tensione ammissibile [kg/cm^2]**	**Resistenza cubica minima a 28 giorni F_k [kg/cm^2]**
Conglomerato di cemento idraulico normale (*Portland*)	35	120
Conglomerato di cemento ad alta resistenza ed alluminoso	45	160
Quando sia eseguita la determinazione prevista dalla resistenza cubica a 28 giorni, e questa venga costantemente controllata durante l'esecuzione del lavoro	$F_k/3$ ma non superiore a 60	180
SOLLECITAZIONE DI FLESSIONE		
Conglomerato di cemento idraulico normale (*Portland*)	40	120
Conglomerato di cemento ad alta resistenza ed alluminoso	50	160
Quando sia eseguita la determinazione prevista dalla resistenza cubica a 28 giorni, e questa venga costantemente controllata durante l'esecuzione del lavoro	$F_k/3$ ma non superiore a 75	225
SOLLECITAZIONE DI TAGLIO		
Conglomerato di cemento idraulico normale (*Portland*)	4	-
Conglomerato di cemento ad alta resistenza ed alluminoso	6	-
Quanto la tensione tangenziale massima calcolata per il conglomerato supera i detti limiti la resistenza al taglio deve essere integralmente affidata ad armature metalliche. In ogni caso la tensione deve superare i 14 kg/cm^2		

tab. 4: tensioni ammissibili e resistenze cubiche nei calcestruzzi (R.D.L. 16 novembre 1936)[44].

[44] *Idem.*

Acciaio dolce	1400 kg/cm^2
Acciao semiduro e acciaio duro	2000 kg/cm^2

tab. 5: tensioni ammissibili negli acciai (R.D.L. 16 novembre 1936)[45].

Dalla disamina delle principali normative dell'epoca, si è potuto constatare che i primi regolamenti erano ricchi di prescrizioni riguardanti i materiali, la loro composizione e i controlli da effettuare, ma poco esaustive riguardo alle modalità di esecuzione dei singoli elementi costruttivi; in particolare, i solai in conglomerato cementizio armato risulteranno normati, come visto, solo dal Regio Decreto Legge del 16 novembre 1939 n. 2229.

Gli stessi solai erano invece ampiamente trattati nei manuali dell'epoca, ricchi di dettagli e di indicazioni sulle modalità costruttive.

La manualistica consigliava, ad esempio, di contenere lo spessore del solaio tra 1/24 ed 1/28 della luce per le tipologie in latero-cemento; valori più bassi potevano accettarsi solo per i solai di copertura, mentre per quelli a nervature incrociate lo spessore non doveva risultare inferiore ad 1/40 della luce.

Per l'interasse dei travetti era consigliato, quale limite superiore, il valore di 15 volte lo spessore medio della soletta, fino ad un massimo di 80 cm.

La larghezza media delle nervature non doveva essere inferiore ad 1/8 dell'interasse e si potevano considerare appartenenti alla nervatura

[45] *Ivi*, p. B7.

anche le eventuali pareti laterali di laterizio formanti cassero, sempre che fosse assicurata l'aderenza tra i due materiali.

Gli elementi di ripartizione erano da ritenersi necessari in presenza di carichi concentrati, oppure quando era esplicitamente richiesto dalle normative, ed andavano realizzati con una larghezza pari a 10-15 cm, un'armatura composta da 4 ø10 o 4 ø12 e staffe ø6 di passo pari a 20-25 cm. Era buona consuetudine utilizzarli anche quando si avevano solai adiacenti con luci variabili o notevolmente differenti tra loro e quando gli orizzontamenti confinavano con travi emergenti parallele al senso di orditura.

La soletta in conglomerato cementizio semplice o armato, se presente, poteva avere funzione statica o di ripartizione. Nel primo caso doveva avere uno spessore generalmente non inferiore ad 1/5 dell'altezza totale del solaio; nel secondo caso era necessario prevedere uno spessore adeguato, normalmente variabile tra i 2 ed i 4 cm, armato con tre barre del diametro di 6 mm per metro lineare.

Per quanto attiene alla resistenza a flessione, le nervature con sezione a T erano adatte a sopportare momenti positivi, mentre verso gli appoggi intermedi, dove i momenti sono in genere negativi, poteva accadere che la larghezza del travetto fosse insufficiente e quindi era consigliata di aumentarla mediante un allargamento dello stesso, usando pignatte a pianta trapezoidale e fondello variabile, oppure estendendo l'ala piena di calcestruzzo della trave. In genere, era consigliato di adottare come armatura a flessione un ferro diritto ed uno piegato per ogni travetto; erano, inoltre, consigliate come distanze di inizio della

sagomatura a 45° il valore di 0,07-0,08 volte la luce della campata dall'appoggio di estremità e 0,11-0,12 volte la luce della campata dall'appoggio intermedio. In corrispondenza dei momenti negativi si potevano conteggiare fra le armature resistenti anche le staffe contenute nell'ala della trave nonché le barre trasversali di un'eventuale rete di ripartizione disposte nella cappa di calcestruzzo.

Le prime strutture in conglomerato cementizio armato

Con la diffusione dei primi manuali e l'introduzione delle normative si determinò il passaggio da un sapere edilizio di tipo artigianale ad uno di tipo industriale. Il primo, consolidato, generato e tramandato in cantiere dai capomastri, era fortemente condizionato dalle esigenze tecnologico-costruttive locali, nonché dalla qualità dei materiali presenti nelle vicinanze del cantiere e dalle capacità delle maestranze impiegate nelle lavorazioni svolte prevalentemente a piè d'opera; il secondo, più moderno, era caratterizzato dalla corsa al miglioramento tecnologico e dalla ricerca tesa alla riduzione dei tempi e dei costi di costruzione, attraverso l'utilizzo dei materiali e delle tecnologie proprie del mondo industriale, adattate alle esigenze del settore delle costruzioni edili.

È tra la fine dell'Ottocento e gli inizi del Novecento che la conoscenza architettonica venne stravolta dalla sempre maggiore spinta verso la specializzazione e la differenziazione dei mestieri, dei materiali e delle tecnologie. Una convergenza di fattori sollecitava la tradizione architettonica. Gli sviluppi della geometria descrittiva consentirono una rappresentazione grafica rigorosa e puntuale dei singoli elementi

costruttivi; l'istituzione di scuole specialistiche consentì la formazione di tecnici che sapessero produrli, interpretarli e realizzarli; l'assunzione di un unico sistema di riferimento metrico insieme allo sviluppo della stampa e dei nuovi metodi di riproduzione, favorirono la diffusione di tutte le informazioni e le conoscenze raggiunte; la realizzazione di nuove attrezzature di cantiere e di macchine edilizie, nonché il perfezionamento e la meccanizzazione degli strumenti già esistenti determinarono un aumento della quantità di materiali presenti sul mercato, della qualità degli stessi e conseguentemente delle possibilità creative. Nel suo testo del 1900 l'ingegnere Giuseppe Vacchelli dedica, infatti, un intero capitolo, il nono, alla fabbricazione a mano e meccanica del calcestruzzo oltre ai paragrafi conclusivi dei capitoli quarto e quinto alla preparazione dei materiali pietrosi e delle malte idrauliche. Elenca le macchine in uso nel periodo e ne descrive dettagliatamente il funzionamento, le dimensioni, i materiali, la quantità ed i tempi di produzione e ne allega una schematizzazione grafica[46]. La rivoluzione industriale, teorica e pratica, comportò, inoltre, sostanziali modifiche nel sapere scientifico-sperimentale della tecnica delle costruzioni, sempre più tesa al predimensionamento degli elementi strutturali, così come riscontrato nei manuali studiati. Ancora, la definizione, da un lato, di nuovi materiali (ghisa, ferro, vetro e successivamente conglomerato cementizio armato) e le nuove potenzialità espresse dalla tecnica delle costruzioni, dall'altro, nella misura per esempio dei parametri di resistenza dei materiali stessi,

[46] Vacchelli G., *op. cit.*, pp. [48-55], [69-75], [105-129].

consentirono di definire univocamente le qualità di ogni singolo componente e di scegliere di volta in volta quello più conveniente.

Il Mazzocchi nel testo del 1895 scrive "*intento precipuo del costruttore moderno è di conseguire, col minimo di materiale e di spesa, il massimo di stabilità e di celerità nei lavori: ciò egli giunse ad ottenere abbandonando il vecchio empirismo e applicando all'arte sua i risultati della teoria e dell'esperimento, pei quali è dato di riconoscere e scoprire il modo di comportarsi dei diversi materiali d'opera in ogni singola parte d'una costruzione*"[47].

È facile comprendere come, nella ricerca tesa all'individuazione di un nuovo sistema costruttivo che presentasse migliori requisiti in termini di economicità, affidabilità e durabilità, il confronto tra tradizione (murature, volte in pietra e/o mattoni, solai lignei) ed innovazione (strutture in ghisa, ferro, calcestruzzo e conglomerato cementizio armato) propendesse per la seconda. I materiali tipici del passato, legati alle antiche tecniche costruttive ormai consolidate, conservavano le specificità legate al luogo di estrazione e/o di raccolta, presentavano proprietà diverse a seconda del tipo di pietra o di essenza lignea od anche semplicemente della zona fisica di scavo o della partita d'origine, dei trattamenti successivi cui erano sottoposti ed il loro impiego era condizionato fortemente dalla vicinanza al cantiere.

[47] Mazzocchi L., *Calci e cementi. Norme pratiche ad uso degli ingegneri, architetti, costruttori, capimastri ed assistenti di fabbrica*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1895, p. II.

I materiali della modernità erano invece prodotti industrialmente, secondo processi a catena, ripetitivi e controllabili nelle diverse fasi, ed erano composti essi stessi da materiali ovunque reperibili che presentavano caratteristiche e proprietà teoricamente prevedibili e ripetibili. Ancora, i materiali tradizionali davano corpo ad organismi architettonici composti da elementi minuti e successivamente assemblati, che per la loro posa in opera richiedevano procedure manuali da parte di una manodopera fortemente specializzata; essi, inoltre, componevano un insieme statico-costruttivo, le cui caratteristiche erano state determinate nel corso di anni, attraverso un approccio puramente empirico, che non presentava pertanto alcun fondamento teorico dimostrabile con modelli di calcolo idonei e verifica nella scienza delle costruzioni.

Al contrario, i nuovi materiali permettevano un'esecuzione pressoché monolitica e nel caso in cui dovevano essere realizzate unioni tra elementi, queste erano ottenute mediante l'impiego di materiale di uguale natura, caratterizzato da comportamenti meccanici facilmente tabellabili.

Essi consentivano, inoltre: una maggiore ed inesplorata arditezza di forme con luci strutturali difficilmente controllabili se non impensabili per i sistemi costruttivi tradizionali; di scongiurare l'eventualità degli incendi, problema all'epoca molto diffuso soprattutto per il grande impiego di materiali lignei, utilizzati in particolar modo per la costruzione degli orizzontamenti; di ridurre i tempi di posa in opera e di fattura dei materiali stessi, grazie all'introduzione di innovativi macchinari e tecnologie.

Tutto questo, unitamente ad una generalizzata crescita demografica che interessò le diverse realtà urbane nella prima metà del Novecento, cui fece seguito una richiesta sempre crescente di strutture sia pubbliche che private, decretò la propensione all'impiego dei materiali moderni in campo edile, che consentiva di soddisfare tali esigenze, oltre che di rispettare, nel contempo, anche gli *standards* igienici ed economici, aspetto quest'ultimo ritenuto di fondamentale importanza in quanto permetteva di evitare il ripetersi delle epidemie che avevano afflitto la popolazione europea alla fine del secolo precedente.

Si cominciò così ad avere una migliore organizzazione del cantiere, unitamente ad una suddivisione ben precisa dell'*iter* costruttivo secondo fasi successive, che potevano svolgersi anche in parallelo (ad esempio contemporaneità delle fasi di preparazione dei ferri di armatura, dell'allestimento delle casseforme, della preparazione del materiale). Di pari passo con la divisione delle fasi di produzione di cantiere si verificava anche la specializzazione delle imprese: nasceva, infatti, proprio in quegli anni la distinzione tra quelle che si occupavano delle strutture in ferro e calcestruzzo e quelle che eseguivano le finiture o le strutture murarie; sovente venivano redatti capitolati separati e cominciò ad essere consuetudine consolidata che la realizzazione delle opere strutturali fosse subappaltata, proprio a conferma della divisione che si andava delineando tra "chiusura" e "struttura". L'edificio architettonico del passato era, infatti, caratterizzato dalla rispondenza ad un unico materiale-elemento, dalle esigenze di divisione, isolamento, coibenza; quello moderno cominciò ad essere composto, invece, dalla

giustapposizione di elementi semplici ed indipendenti, fortemente connotati e rispondenti ad una funzione specifica e per questo realizzabili singolarmente da operatori differenti e in luoghi differenti.

Pian piano le dimensioni di porte e finestre si liberarono dalle costrizioni dimensionali dettate dalla portata della pietra da taglio o del legno disponibile e sfruttarono l'impareggiabile possibilità offerta dai nuovi materiali di indipendenza tra struttura e tamponamento. Cominciò, quindi, a delinearsi proprio in questo periodo quella porzione di costruito storico appartenente ad una forma ibrida che presentava la convivenza, all'interno dello stesso edificio, di alcune soluzioni tecnologiche appartenenti alla prassi architettonica tradizionale, struttura muraria e/o lignea, ed altre a quella moderna, in ferro, ghisa, calcestruzzo armato.

Agli immobili con elementi verticali in muratura con orizzontamenti voltati in pietra o realizzati in legno o con materiali metallici, si affiancarono, quindi, molteplici strutture ibride che, pur mantenendo la struttura portante verticale in muratura, o parte di essa, vedevano l'impiego di strutture in conglomerato cementizio armato per i solai, per i corpi scala e/o per parte delle strutture verticali, con pilastri per le maglie centrali dell'edificio o inseriti all'interno delle pareti murarie; si giunse, infine, all'ossatura portante intelaiata in conglomerato cementizio armato con chiusure in muratura, secondo i criteri dettati dalle moderne teorie scientifiche basate su principi inoppugnabili, e non più sulla regola dell'arte, consentendo così di sfruttare a pieno le specificità dei nuovi materiali.

Per decine d'anni si assistette, quindi, all'edificazione contemporanea di edifici in muratura tradizionali, di edifici a scheletro in conglomerato cementizio armato o in ferro e di edifici a struttura mista ovvero di manufatti edilizi realizzati con struttura portante perimetrale in muratura, con o senza muro di spina in pietra, e solai in ferro o conglomerato cementizio armato (nervati o latero-cementizi); struttura portante perimetrale in muratura, pilastri in ferro o conglomerato cementizio armato centrali e solai in ferro o latero-cementizi; struttura portante dell'edificio in muratura e quella della scala in ferro o conglomerato cementizio armato; struttura intelaiata in conglomerato cementizio armato e chiusure in muratura con solai in ferro o latero-cementizi, e così via.

È facilmente intuibile che la spinta verso la ricerca e l'impiego delle strutture intelaiate, in sostituzione di quelle massicce tradizionali, derivò da esigenze speculative: maggiore luce, minori costi di fabbricazione e di manodopera, maggiore superficie disponibile, maggiore sicurezza del fabbricato agli incendi.

Le esperienze ed i risultati ottenuti nei vari paesi occidentali determinarono ovunque un rapido sviluppo della nuova tecnologia; ben presto, oltre alla definizione delle specifiche procedure e dei dosaggi per la realizzazione di materiali, delle nuove ipotesi e metodi di calcolo e progettazione delle strutture, si ebbe anche la definizione di coerenti forme estetiche.

In verità, in Italia, a cavallo tra Ottocento e Novecento, un atteggiamento forse diffidente e scettico condusse tutti gli operatori del

campo edilizio, dalle imprese ai progettisti ai committenti, ad impiegare il calcestruzzo, anche se largamente e con maestria, quasi esclusivamente in ambito decorativo e nelle opere di finitura, attraverso la pratica del cosiddetto "cemento artistico". Si realizzarono, così, elementi lapidei o strati superficiali artificiali mediante una specifica tecnica che permetteva la fedele riproduzione dell'apparato decorativo fino ad allora realizzato in pietra naturale; non solo se ne imitavano al meglio le forme e le qualità, utilizzando calcestruzzi con inerti selezionati e procedure artigianali appropriate, ma se ne riducevano i costi di produzione, nonché le difficoltà tecniche di realizzazione. Tutto questo, però, sempre in ritardo sul resto del panorama occidentale; infatti, se in Francia la produzione industriale del cemento naturale cominciò nel 1830 e quella del cemento artificiale nel 1850, in Italia bisognò attendere il 1858 per quella del cemento naturale (Società delle Ferrovie per l'Alta Italia presso Palazzolo in Lombardia) ed il 1930 perché la produzione di cemento artificiale diventasse competitiva grazie alle officine di Civitavecchia.

D'altro canto le prime sporadiche realizzazioni in conglomerato cementizio armato in territorio italiano risalgono a prima del 1891 (si ricordano le voltine *Monier* che definiscono 260.000 mq di solai di magazzini a Trieste e alcuni serbatoi realizzati a Brescia[48]) ma in tutta la penisola continuarono ad annoverarsi comunque, fino alla prima metà del Novecento, contemporanei esempi di edilizia in ferro ma soprattutto in conglomerato cementizio armato misto a muratura tradizionale. L'uso dei

[48] Iori T., *op. cit.*, p. 26.

nuovi materiali veniva a volte celato, talvolta dichiarato e pubblicizzato come “un vanto per la costruzione”, talaltra bandito, altre ancora preferito a seconda dell’area geografica, dei materiali disponibili, delle esigenze economiche, delle maestranze locali e soprattutto delle specifiche funzioni degli edifici. Alcune tipologie edilizie nascevano, infatti, in conglomerato cementizio armato, altre invece erano più radicate alla tradizione e quindi “opposero maggiori resistenze” ai cambiamenti, altre ancora videro il graduale inserimento di componenti edilizi realizzati con i nuovi materiali.

Queste conquiste, insieme alle proprietà del calcestruzzo di resistere al fuoco, portare carichi maggiori a parità di sezione strutturale e ridurre i rumori, determinarono il crescente impiego dello stesso nelle industrie e negli edifici per civili abitazioni.

Il periodo autarchico

Le costruzioni in conglomerato cementizio armato, che in Italia avevano assunto nei primi decenni del Novecento caratteri di spiccata inventività, stimolata dai fattori economici descritti in precedenza, rischiarono di subire una battuta d'arresto nella seconda metà degli anni Trenta a causa dell'adozione di una politica autarchica. L'autarchia, in risposta alle sanzioni economiche imposte all'Italia dalle grandi Potenze per l'invasione dell'Etiopia, definiva infatti un'economia di autosufficienza, in cui non erano consentite relazioni commerciali con l'estero, poiché mirava ad un'autonomia della nazione italiana da un punto di vista produttivo ed economico[49].

Il conglomerato cementizio armato, che dipendeva dall'estero per le importazioni del legno necessario per la costruzione delle casseforme, e del ferro per le armature, si rivelava, pertanto, essere un materiale fortemente antiautarchico. I diversi studi effettuati evidenziarono, però, che i materiali ritenuti autarchici, quali le tradizionali murature, risultavano invece avere un elevato costo in oro delle materie prime d'importazione, come il combustibile per la cottura dei mattoni, e sancivano in linea generale la convenienza economica delle strutture in conglomerato cementizio armato[50]. Nonostante ciò e soprattutto a causa della necessità che si aveva di destinare tutto il ferro disponibile

[49] Tampone G., *Strutture e costruzioni autarchiche di legno in Italia e Colonie. Caratteri e criteri di conservazione* in "Bollettino Ingegneri", n. 11, 2002, p. 3.

[50] Poretti S., *Modernismi e autarchia* in Ciucci G., Muratore G. (a cura di), "Storia dell'architettura italiana. Il primo Novecento", Mondadori Electa, Milano 2004, p. 463.

all'industria bellica[51], se ne cominciò prima a limitare l'uso ai soli edifici che presentavano più di cinque piani (con oltre tre o quattro piani nelle zone sismiche) col Decreto Legge del novembre del 1937, arrivando successivamente al completo divieto d'uso sancito dal Decreto Legge del settembre del 1939, salvo deroghe che il Ministero si riservava di concedere ad opere ritenute di particolare interesse pubblico[52].

Con queste imposizioni le costruzioni in conglomerato cementizio armato rischiarono seriamente di essere messe in discussione, ma la presa di coscienza di tecnici e studiosi, fautori del nuovo materiale, comportò la nascita di numerose sperimentazioni volte a migliorare il "grado di autarchia" dello stesso, cui fece seguito la diffusione di un elevatissimo numero di brevetti di invenzione, che riproposero quel clima pionieristico che aveva caratterizzato la diffusione del conglomerato cementizio armato all'inizio del secolo scorso.

La sperimentazione autarchica interessò, in particolar modo, gli orizzontamenti per i quali si cominciarono a pensare alternative all'impiego del ferro per le armature e del legno per le casseforme. Per il primo furono proposte canne di bambù[53], abbondanti nelle colonie

[51] Il ferro reperibile sul mercato estero e disponibile nel paese era ritenuto indispensabile per lo sviluppo dell'industria bellica. La constatazione portò, prima, ad estendere il divieto di impiegare ferro ai soli elementi di finitura e poi, ormai in prossimità dell'entrata in guerra, persino a recuperare le parti in ferro asportabili dagli edifici (recinzioni, cancellate, ecc.), come sancito dalla Legge dell'8 maggio 1940, n. 408, *"Denuncia e raccolta delle cancellate in ferro o di altro metallo"* (G.U. n. 119 del 22 maggio 1940).

[52] Iori T., *op. cit.*, p. 160.

[53] Nei solai le canne, in fasci compatti ma leggeri, venivano utilizzate in sostituzione delle pignatte; il giunto e il vimini lavorati ad intreccio come casseforme a perdere.

africane ma che necessitavano di essere sottoposte a particolari procedimenti (bakelizzazione o resinificazione artificiale) al fine di risolvere il problema della putrescibilità o anche leghe a base di alluminio che però presentavano un modulo di elasticità troppo basso, coefficiente di dilatazione troppo elevato e soprattutto risultavano soggette alla corrosione a contatto con il calcestruzzo (fig. 3); per il secondo, cominciarono ad essere usati materiali quali il cemento-amianto, ottenuto dall'impasto di cemento di *Portland* con le fibre di amianto, che però determinava un comportamento fragile della struttura, che, portata a rottura, cedeva all'improvviso, senza deformazioni e preavvisi[54].

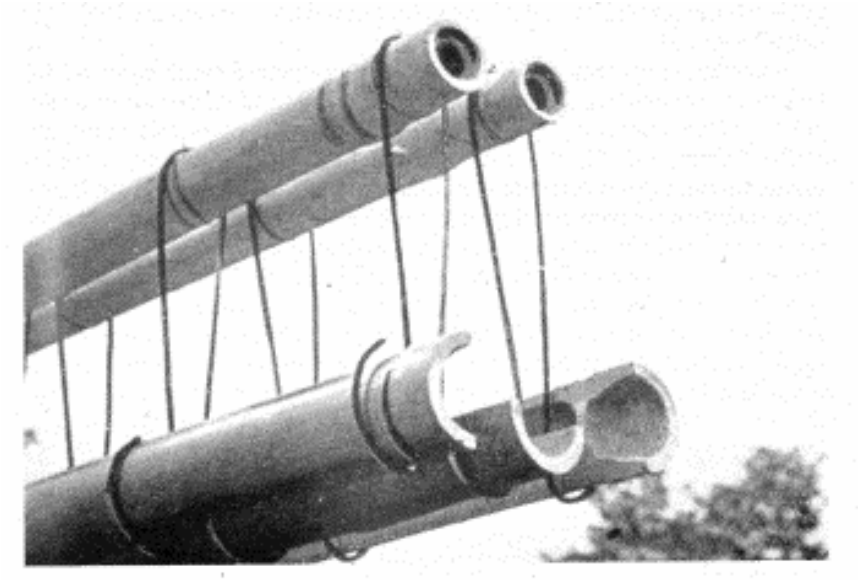


fig. 3: armature di canne di bambù (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

[54] Iori T., *op. cit.*, pp. 165-166.

La tendenza a voler ridurre e talvolta anche ad eliminare il ferro e il legno delle casseforme, portò nel campo degli orizzontamenti all'introduzione delle tipologie *SAP*[55] (acronimo di "Struttura Autoportante senza armatura Provvisoria") e *SIF* (acronimo di "Senza Impiego di Ferro").

Brevettato nel 1932, il solaio tipo *SAP*[56], è costituito da travetti prefabbricati e sfruttava tra l'altro la possibilità sostenuta dal professore Luigi Santarella, di eliminare la soletta superiore tenendo conto della collaborazione dei laterizi nella resistenza a compressione; possibilità che, nonostante la vivace opposizione di uno dei padri dell'ingegneria del calcestruzzo armato in Italia, il professore Camillo Guidi[57], venne poi ammessa dalle norme tecniche[58].

Il solaio *SIF*, brevettato dall'ingegnere Eugenio Miozzi nel 1937, era costituito da strati di pianelle laterizie romboidali e dentellate saldate con

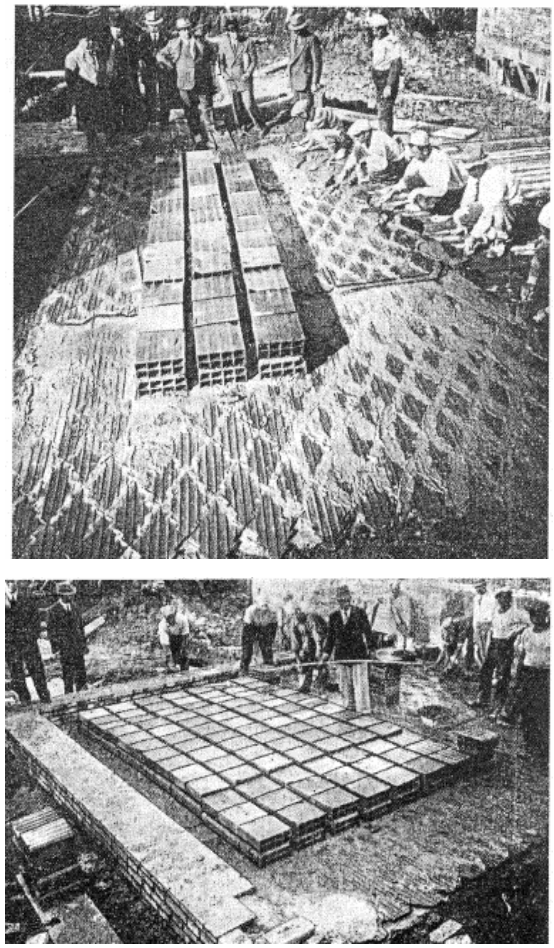
[55] Campioli A., Laner F., *Storia e cultura del solaio in laterocemento* in "Costruire in laterizio", n. 29, sett. - ott. 1992.

[56] Il solaio *SAP* venne segnalato come sistema costruttivo dalla Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 22 del 21 gennaio 1936 - "*Segnalazione di materiali e sistemi costruttivi*", «Bollettino Ufficiale», 4, 1936.

[57] Famoso è l'articolo a sua firma pubblicato sulla rivista "Il Cemento Armato" nel 1933, nel quale definiva i solai senza soletta "*costruzioni temerarie*"; Guidi riteneva indispensabile l'uso della soletta, in quanto considerava la resistenza dei laterizi fortemente incerta a causa delle inevitabili imperfezioni di forma dei forati, delle loro incrinature, sia originarie che prodotte in cantiere, e della scarsa continuità che i giunti di malta erano in grado di assicurare tra forato e forato (da *L'audacia di certe costruzioni moderne* in "Il Cemento Armato", n. 11, 1933, pp. 130-131).

[58] R.D.L. del 23 maggio 1932, n. 832 - "*Norme per l'accettazione degli agglomerati idraulici e per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio*" (convertito in legge 22 dicembre 1932, n. 1830) e Santarella L., *La collaborazione del laterizio nei solai di cemento armato* in "Atti Ricerche e Studi. Scuola di specializzazione per le costruzioni in cemento armato", Fondazione Fratelli Pesenti, Milano 1932, pp. [3-59].

pasta di cemento ad alta resistenza che assorbivano gli sforzi di trazione per il tramite dell'incastro fra i diversi pezzi[59] (figg. 4 e 5).



figg. 4: solaio *SIF* in costruzione secondo il brevetto Miozzi (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

[59] Iori T., *op. cit.*, pp. [176-178].

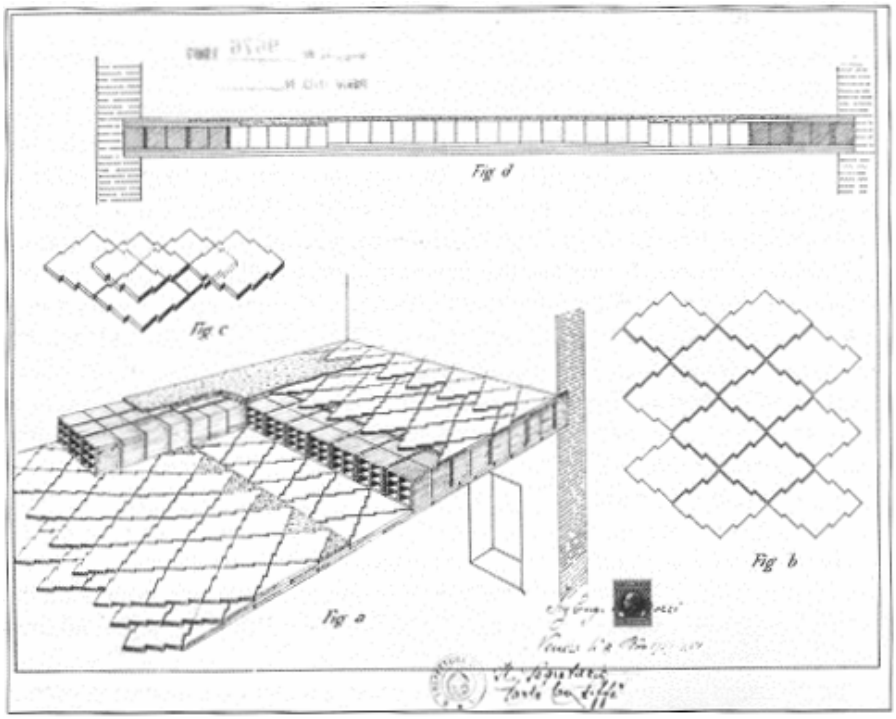


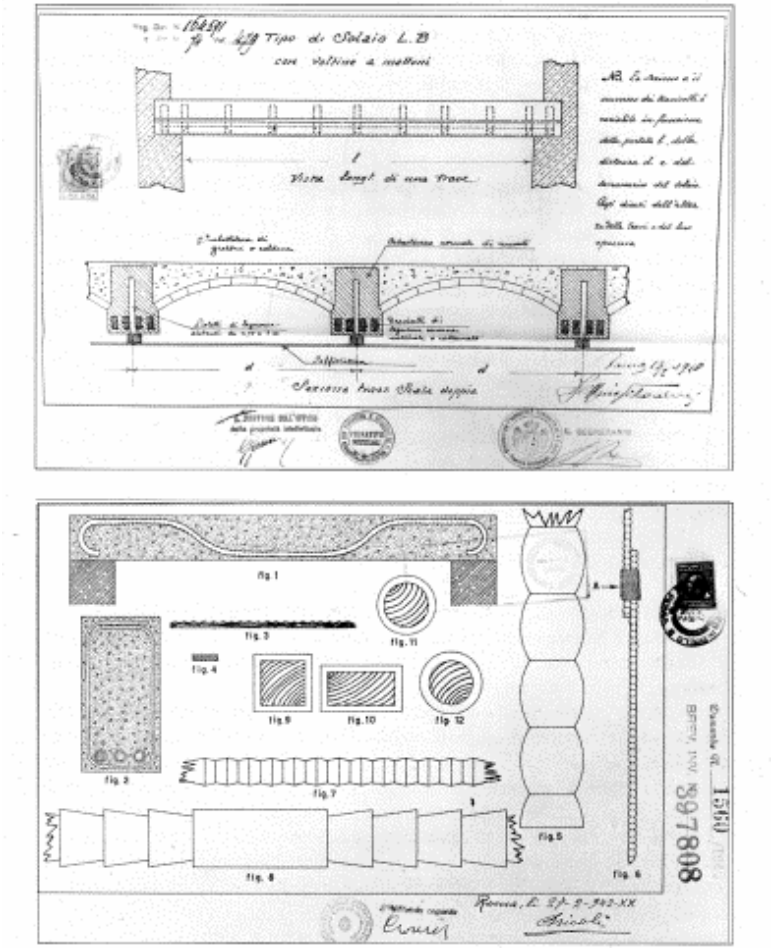
fig. 5: brevetto n. 364671, E. Miozzi, Venezia, *Nuovo tipo di solaio in laterizio forato senza impiego di ferro*, 8 novembre 1937 (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

A questi seguirono decine di brevetti per solai a travetti di laterizio armato nonché l'introduzione dei solai senza soletta a nervature di calcestruzzo armato, completate da tavelle laterizie e da una soletta di spianamento (si ricordano ad esempio il solaio *STIMIP* e quello *Varese*) [60].

Vi furono anche brevetti, in cui si tentò di sostituire le barre di ferro con travetti lignei[61] (figg. 6 e 7) che però non ebbero molta diffusione in quanto non risolvevano il problema del basso grado autarchico del legno ed, inoltre, i travetti tendevano a rigonfiare e, se non preventivamente immersi in acqua, assorbivano durante la presa quella rilasciata dal calcestruzzo; altri problemi erano dovuti alla scarsa aderenza cui si cercava di sopperire a prezzo di costose connessioni metalliche e al basso modulo elastico del legno rispetto a quello del calcestruzzo, che dava origine a forti allungamenti, anche per carichi modesti, che il calcestruzzo in zona tesa non poteva assecondare.

[60] Le norme del 1939 riducevano a 4 centimetri lo spessore minimo della soletta e consentivano l'adozione di solai misti "[…] *senza soletta di collegamento, purché i laterizi, di provata resistenza, presentassero rinforzi di conveniente spessore atti a sostituire la soletta di conglomerato* […]". Vedi R.D. del 16 novembre 1939, n. 2229 - "*Norme per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato"* (G.U. n. 92 del 18 aprile 1940).

[61] Si ricordano tra gli altri il brevetto *Bordone* del 1928 che proponeva un solaio con travetti di legno, eventualmente anche armati all'intradosso; il brevetto *Piccioli* del 1937, caratterizzato dalla presenza di tavelle di cotto che impedivano, confinandoli, gli svergolamenti dei travetti lignei; il brevetto *Salvagli* del 1936, che presentava travetti lignei a sezione trapezoidale con il bordo superiore più stretto, compresso e ben confinato dalle pignatte anch'esse di forma trapezoidale; il brevetto *Nicoli* del 1942 che prevedeva l'utilizzazione di tondini di legno di faggio con incavature anulari (per aumentarne l'attrito nel calcestruzzo) e immersi preventivamente nel bitume per evitare che assorbissero l'acqua dell'impasto (da Tampone G., *op. cit.*, pp. 4-5).



figg. 6: brevetti che illustrano procedimenti per la sostituzione del legno alle armature metalliche: brevetto n. 164591, M. Viscardini, Roma, *Solaio in legno béton per adoperarsi nell'industria edilizia sostituendo nelle piattabande di cemento armato, armature di legno alle usuali armature di ferro*, 13 febbraio 1918 (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

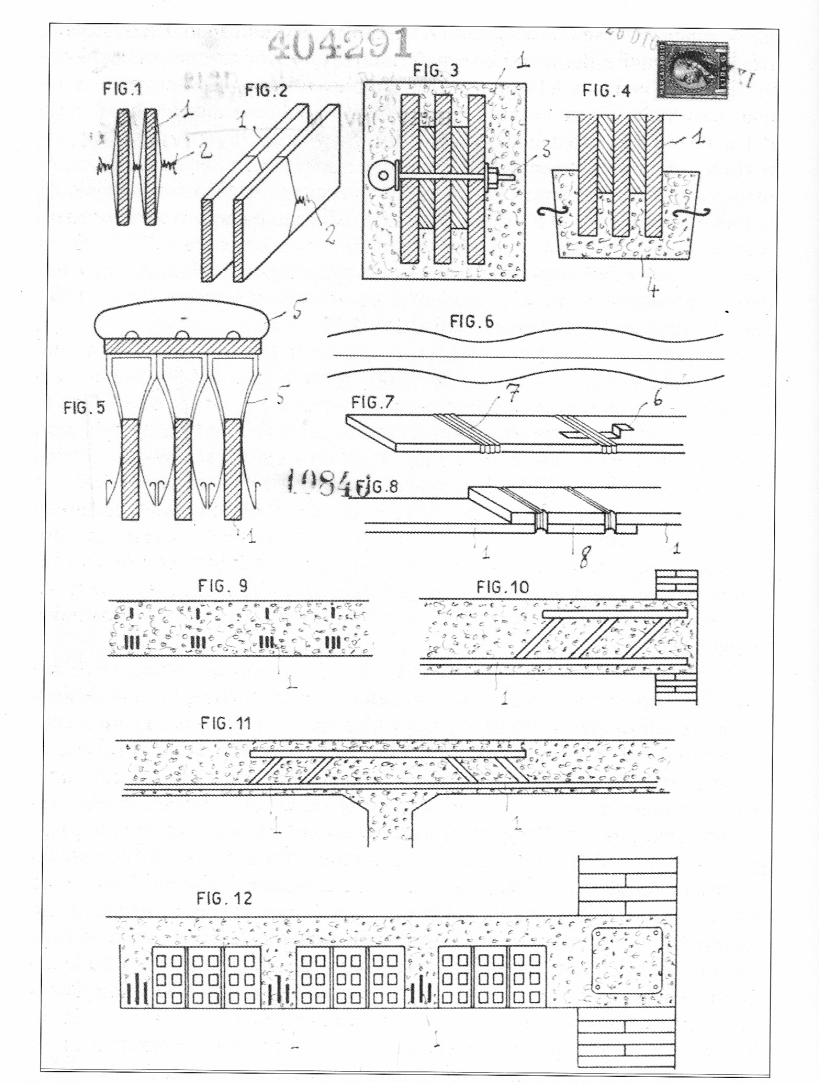


fig. 7: brevetto che illustra un procedimento per la sostituzione del legno alle armature metalliche: brevetto n. 397808, S. Nicoli, Roma, *Tondini e staffe in legno per cemento armato*, 27 febbraio 1942 (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

L'unica alternativa possibile consisteva dunque nel perfezionare il solaio latero-cementizio, rendendolo ancora più leggero, ottimizzando l'impiego delle armature e riducendo al minimo i costi di esecuzione.

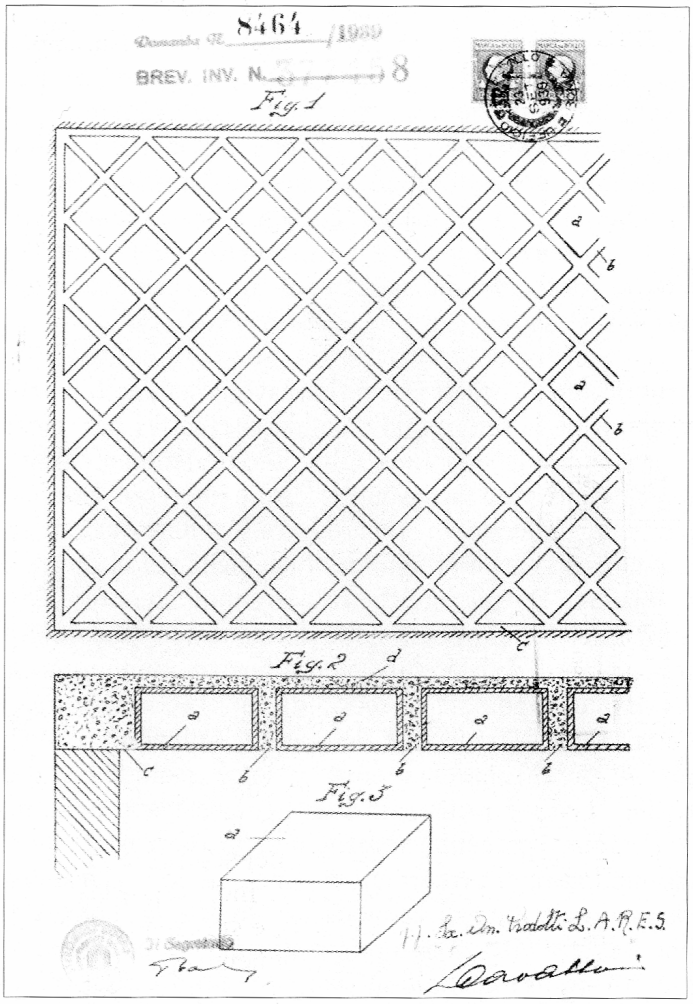
Si cominciarono così a sostituire i laterizi, con materiali ancora più leggeri, quali le pomici o calcestruzzi alleggeriti, fattore che determinò un impegno delle ditte edili in nuove numerose sperimentazioni che portarono a soluzioni innovative sia per i solai che per le pareti. Degni di menzione sono: il solaio *LARES* (figg. 8), caratterizzato da nervature incrociate non armate e blocchi di alleggerimento cavi di calcestruzzo di pomice e una sottile soletta di ripartizione; il solaio *Lazise* (fig. 9) realizzato con travi prefabbricate che presentavano speciali profili per accogliere due solette, una inferiore ed una superiore, in calcestruzzo alleggerito; il solaio proposto dall'ingegnere Alberto Bevilacqua nel quale il collegamento fra le parti non era affidato solo all'incastro geometrico, bensì anche ad armature ad uncino che avrebbero dovuto garantire una migliore collaborazione; il solaio brevettato dall'ingegnere Giorgio Neumann (fig. 10), nel quale tutti gli sforzi venivano assorbiti solamente dal conglomerato, una sorta di solaio rovescio, con le pignatte dislocate all'estradosso[62].

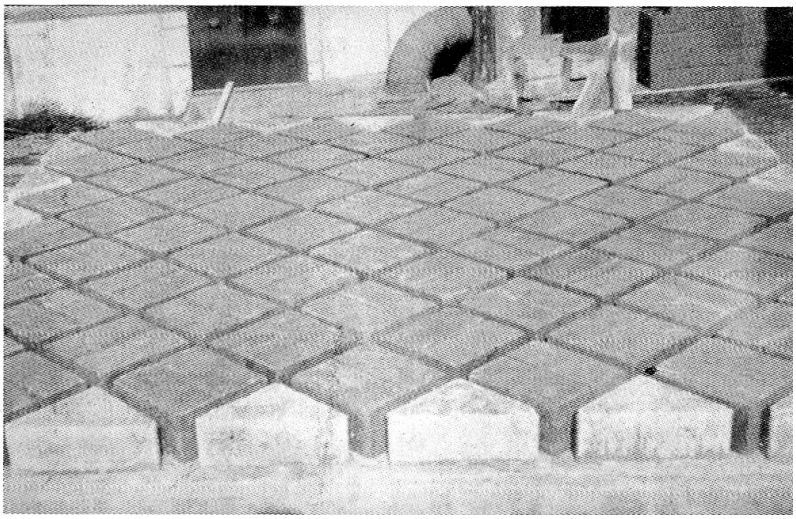
I brevetti, come detto, si moltiplicavano, ma non trovavano in verità alcuna applicazione se non in piccole costruzioni sperimentali. Infatti, pur manifestando sorprendentemente un comportamento egregio sotto i carichi previsti dalle norme, presentavano comunque elevati costi di

[62] Iori T., *op. cit.*, p. 178.

costruzione, lunghi tempi di esecuzione e impiego di manodopera specializzata.

Il blocco delle costruzioni, conseguente alla dichiarazione di stato di guerra nel giugno del 1940, non consentì ulteriori sviluppi di queste sperimentazioni che nel dopoguerra, tornato disponibile il ferro, non furono più riprese.





figg. 8 (immagini pp. 84 e 85): brevetto n. 377158, Società Anonima LARES, Roma, *Solaio con travetti di agglomerato cementizio senza ferro disposti a traliccio diagonale*, 23 settembre 1939 e solaio *LARES* in costruzione (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

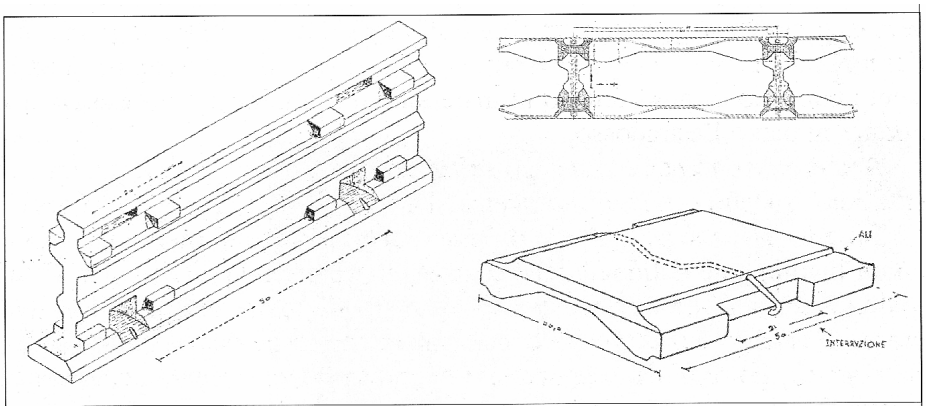


fig. 9: schema del solaio *Lasize*, 1938 (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

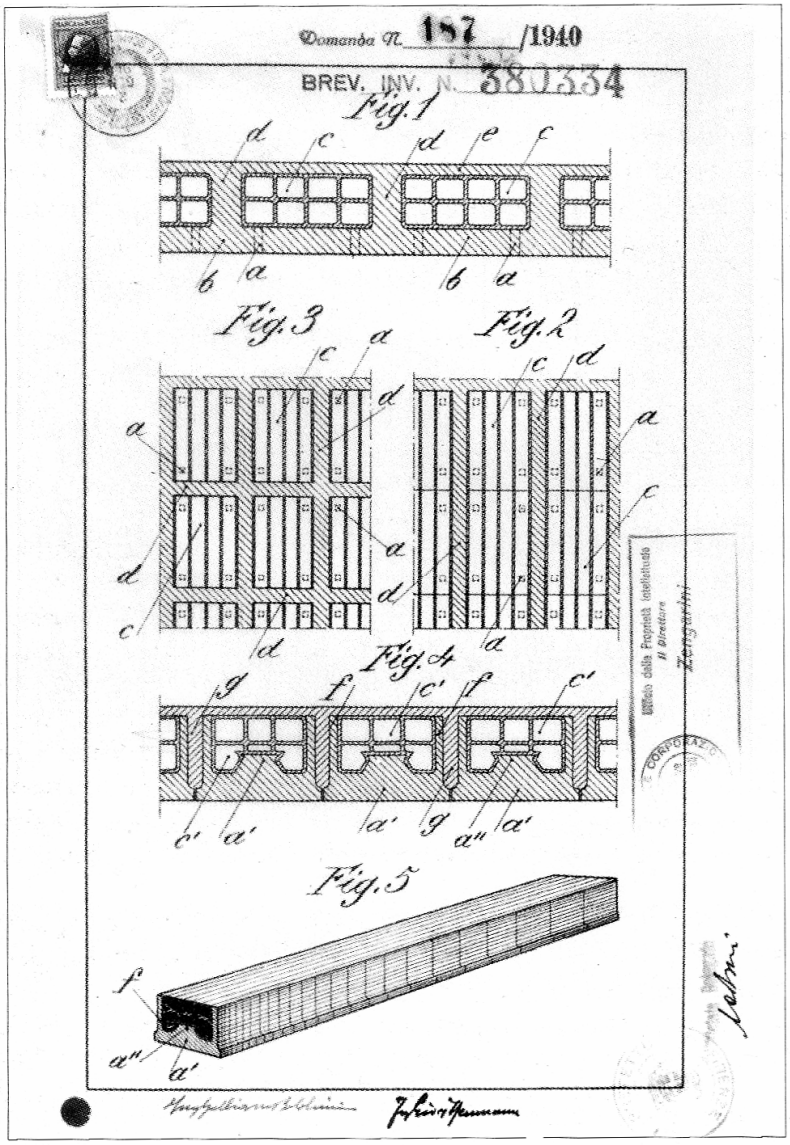


fig. 10: brevetto n. 380334, G. Neumann, G. Boldrini, Firenze, *Solaio od altro in calcestruzzo privo di armature metalliche*, 3 gennaio 1940 (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

La precompressione

A seguito del periodo autarchico, che imponeva nella progettazione una serie di accorgimenti finalizzati ad impiegare una ridotta quantità ferro, nel settore delle costruzioni cominciò a diffondersi sempre più la tendenza alla ricerca di strutture più razionali.

I risultati di questi studi portarono alla definizione da un lato di strutture sottili di spessore ridotto ma molto armate (il cosiddetto ferro-cemento) e, dall'altra, all'introduzione dei primi elementi in calcestruzzo armato precompresso, ambedue concretamente utilizzate solo alla fine del secondo conflitto mondiale.

Il ferro cementato, ideato dall'ingegnere Luigi Nervi, era costituito da multipli strati di reti sovrapposte dello spessore pari a quello della costruenda soletta, rivestiti da cemento e sabbia, che consentiva la realizzazione di coperture di grandi luci, eliminando completamente le casseforme, con una notevole economia di legname che si era dimostrata essere molto più rilevante di quella del ferro[63].

La tecnica della precompressione, invece, si rivelò essere di grande importanza, in quanto per il tramite di un'azione di presollecitazione esercitata sul calcestruzzo, rendeva quest'ultimo capace di resistere anche alle sollecitazioni di trazione, grazie al benefico meccanismo della sovrapposizione degli effetti, che risolveva il problema della fessurazione in zona tesa.

[63] *Ivi*, p. 192.

I primi tentativi di realizzare opere in calcestruzzo armato precompresso, furono sviluppati già tra la fine dell'Ottocento e gli inizi del Novecento, ma con scarsi risultati, in quanto usando una resistenza molto bassa e un tasso di lavoro intorno ai 100 MPa, l'effetto dell'azione di precompressione veniva precocemente annullato dai fenomeni di ritiro e scorrimento viscoso del calcestruzzo.

I primi risultati soddisfacenti si ebbero solo intorno al 1930, ma solo grazie agli importanti perfezionamenti già introdotti dall'ingegnere Gustavo Colonnetti nel 1917, quali il rivestimento dei cavi di acciaio con guaine protettive e la messa in tensione delle travi solo a ritiro avvenuto, che portarono alla definizione del noto, e ancora oggi in uso, brevetto *Morandi*[64].

Relativamente al calcestruzzo armato precompresso le prime disposizioni regolamentari italiane furono emanate solo nel dicembre del 1947 con Decreto del Capo Provvisorio dello Stato n. 1516 *"Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche"*. In esso si prevedeva che il progetto delle strutture in conglomerato cementizio armato precompresso dovesse essere preventivamente sottoposto al Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per l'approvazione; il Ministro, a sua volta, delegava gli Istituti di Scienza delle Costruzioni delle Università e dei Politecnici per le relative verifiche e controlli[65].

[64] *Ivi*, p. 209.
[65] Siviero E., Cantoni, R., Forin M., *op. cit.*, p. 204.

ALLEGATO I

MANUALI D'EPOCA

LE COSTRUZIONI IN CALCESTRUZZO ED IN CEMENTO ARMATO

Autore: ing. Giuseppe Vacchelli

Luogo di pubblicazione: Milano

Editore: Ulrico Hoepli

Anno di pubblicazione: 1900

Destinato a: ingegneri e costruttori italiani.

Scopo: riunire in un unico volume *"quanto si riferisce alle applicazioni del calcestruzzo e del cemento armato, in modo da soddisfare alle esigenze della pratica. L'autore si propone dunque di raccogliere diligentemente quello che di più notevole vi è nelle pubblicazioni straniere ed italiane* [...], *i tipi caratteristici delle costruzioni eseguite, le norme per la loro esecuzione ed i risultati che se*

ne ottengono, [...] *lo studio delle proporzioni da adottarsi nella esecuzione delle strutture di getto, ed a quello della stabilità di queste strutture"*.

Bibliografia: contiene praticamente tutti i volumi allora esistenti in Europa e pubblicati a partire dal 1887.

Contenuto: l'autore si preoccupa fondamentalmente di chiarire e sistematizzare le conoscenze relative alla composizione e all'impiego delle calci idrauliche e dei cementi. Dopo un breve *excursus* storico (Capitolo I), riporta le proprietà degli stessi materiali (Capitolo II), le prescrizioni relative, le norme del 1887 seguite in Germania per la fornitura dei cementi, quelle adottate nella realizzazione della fognatura a Torino del 1894 e quelle impiegate in Francia per l'ufficio di *Ponts et Chaussèes* del 1896 (Capitolo III), la tipologia dei materiali pietrosi (Capitolo IV), delle malte idrauliche ed il loro impiego (Capitoli V e VI), dei calcestruzzi (Capitoli VII e VIII), nonché i metodi e le macchine necessarie per il confezionamento (Capitolo IX) e la posa in opera (Capitolo X).

L'autore cerca di effettuare anche un resoconto sui pregi del materiale: resistenza alle temperature elevate; compattezza della massa; invariabilità di volume in condizioni variabili di umidità e di temperatura; facilità di confezionamento; possibilità di metterne in opera grandi quantità ed in gettate subacquee; minor tempo di realizzazione; maggiore economicità dovuta ad una minore specializzazione della manodopera ed alla possibilità d'impiego di mezzi meccanici; ma anche sui difetti delle strutture in calcestruzzo: necessità delle casseforme, che

determinano un aumento dei costi e una maggiore occupazione dello spazio ma che consentono, però, una grande libertà nella realizzazione di svariate forme; difficoltà di apportare modifiche alla struttura una volta eseguita. Viene sottolineato come la nota precedente influenza molto l'edilizia residenziale (Capitolo XI) per poi procedere all'individuazione delle applicazioni del calcestruzzo nelle costruzioni idrauliche, marittime, fluviali, stradali, ferroviarie ed industriali e negli edifici civili (Capitoli XII-XIII-XIV) ed a quelle in calcestruzzo armato nelle costruzioni stradali, idrauliche ed edilizie (Capitoli XVII-XVIII).

Calcolo: "*nello stabilire le dimensioni delle strutture in calcestruzzo, i criteri* [...] *sono offerti da considerazioni di indole pratica, e dipendenti dall'insieme della costruzione; come allorché è il peso soltanto che occorre raggiungere nella massa. Raramente, occorre preoccuparsi della resistenza unitaria della struttura, poiché per solito la resistenza offerta, con sicurezza, dalla struttura è notevolmente superiore a quella alla quale può venire sollecitata la costruzione"*.

Immagini: sono poche, fatta eccezione per i macchinari impiegati per la fabbricazione del calcestruzzo.

Osservazioni: il termine calcestruzzo viene impiegato nella prefazione del testo in riferimento alle strutture non armate, mentre per queste ultime nello stesso paragrafo a pagina XII si legge "[…] *fra le costruzioni di getto sono importantissime quelle con ossatura metallica, indicate col nome di strutture in cemento armato od in ferro cemento"*.

A pagina 90, ancora, si precisa che "*il calcestruzzo è generalmente costituito di volumi ben definiti di pietra, di ghiaia o pietrisco, e di una*

malta fatta con determinate proporzioni di sabbia e agglomerante. Alla parola calcestruzzo corrisponde in francese la parola béton, ed in tedesco beton. In Inghilterra col nome di concrete si designa ciò che si ottiene coll'aggiunta di una quantità determinata di cemento ed un miscuglio in proporzioni, spesso non definite, di sabbia, ghiaia, ciottoli ed anche pietre". È anche interessante l'attenzione posta al parametro costo, sia in termini economici che di tempo, tanto come elemento discriminante per la scelta della migliore tecnologia per la fabbricazione del calcestruzzo in relazione ai quantitativi necessari, quanto per la preparazione delle varie calci, cementi a lenta ed a rapida presa, misti, speciali, ecc.

LA CASA DELL'AVVENIRE

Vademecum dei costruttori, dei proprietari di case e degli inquilini

Autore: ing. Antonio Pedrini

Luogo di pubblicazione: Milano

Editore: Hoepli

Anno di pubblicazione: 1902

Destinato a: costruttori, proprietari di case ed inquilini.

Scopo: vuole riunire *"tutti i principi di ingegneria sanitaria pubblica e privata concernenti la costruzione delle case civili, operaie e rustiche e la loro manutenzione"*.

Bibliografia: assente, ma è allegato l'elenco delle opere della stessa case editrice pubblicate all'epoca.

Contenuto: dopo un breve cenno sui destinatari dell'opera e sullo scopo della stessa, si riepiloga velocemente lo sviluppo dell'attenzione verso l'igiene. L'autore affronta il problema sempre dal punto di vista della salubrità che condiziona la scelta del luogo di ubicazione dell'edificio, dei materiali da impiegare, delle tipologie, della distribuzione interna dei locali e delle loro dimensioni consigliabili.

Descrive orizzontamenti e finiture idonee sollevando di volta in volta i pro e i contro di ciascuna scelta; riporta gli arredi ritenuti più consoni, le forme di ventilazione, di riscaldamento, di distribuzione dell'acqua, delle fogne, di disinfestazione e di illuminazione degli

ambienti. Affronta il "problema" del decoro esterno dell'immobile, della sua immagine e tratteggia le linee per la manutenzione ed il risanamento delle case, individuando nell'umidità la causa più frequente di insalubrità degli ambienti.

Calcolo: trattandosi di un testo non destinato a tecnici non vengono riportati ipotesi o metodi di calcolo; raramente si riscontrano le dimensioni di alcuni elementi.

Immagini: non molto numerose.

Osservazioni: si tratta di un manuale ricco di curiosità di costume, ma anche di "attenzioni" tecniche già sollevate al fine di evitare l'insorgere di problemi di salubrità e di igiene.

CALCE E CEMENTI

Autore: ing. Luigi Mazzocchi

Luogo di pubblicazione: Milano

Editore: Hoepli

Anno di pubblicazione: 1895

Destinato a: ingegneri, architetti, costruttori, capimastri e assistenti di fabbrica.

Scopo: "*intento precipuo del costruttore moderno è di conseguire, col minimo materiale e di spesa, il massimo di stabilità e di celerità nei lavori"*; è per questo che l'ingegnere Mazzocchi vuole rendere note tutte le proprietà dei nuovi materiali ritenendoli più economici e più affidabili.

Bibliografia: assente, ma è allegato l'elenco delle opere della stessa case editrice pubblicate all'epoca.

Contenuto: vengono raccolti e riportati tutti i risultati ottenuti a seguito di esperienze svolte sulle calci comuni, gesso, pozzolana, calci idrauliche, cementi, malte e calcestruzzi; vengono, inoltre, trattate le diverse applicazioni (intonaci, pavimenti, murature, volte, tubazioni, costruzioni in ferro e calcestruzzo - sistema *Monier*).

Calcolo: vengono riportati solo i risultati di alcuni test effettuati sui materiali.

Immagini: poche.

Osservazioni: nel 1905 ne viene redatta una prima ristampa riveduta e corretta, nella quale si introduce un capitolo sulla cottura delle calci e

dei cementi. Il capitolo XI, che nell'edizione del 1895 aveva per titolo "*Costruzioni in ferro e cemento*" (Sistema *Monier*), in questa edizione è intitolato *"Strutture in cemento armato"* ed il suo contenuto è stato incrementato sia a livello di numero di pagine che di argomenti trattati, conseguentemente ai progressi della tecnica. Vengono riportate al termine le locandine delle ditte produttrici dei materiali cementizi.

MANUALE DELL'ARCHITETTO

Autore: ing. arch. Daniele Donghi

Luogo di pubblicazione: Torino

Editore: UTET

Anno di pubblicazione: 1906

Destinato a: architetti.

Scopo: preparare la categoria degli architetti perché *"solo ha diritto di chiamarsi architetto quegli che, nell'ideare e nel costruire un fabbricato qualsiasi, provvede non solo a renderlo solido e duraturo,* [...]*, ma a ridurne minime le spese di riparazioni e di mantenimento"*.

Bibliografia: al termine di ogni capitolo è presente una nutrita bibliografia di testi nazionali ed internazionali.

Contenuto: affronta caratteristiche, modalità di posa in opera, finiture consone e di realizzazione dei diversi materiali e delle strutture relative: legname, muratura, tetti, costruzioni metalliche.

Calcolo: sono assenti.

Immagini: sono ridotte sia per dimensioni che per quantità.

Osservazioni: i calcestruzzi ed i cementi sono annoverati all'interno del capitolo dedicato alla muratura; i solai prefabbricati in calcestruzzo o quelli in conglomerato cementizio armato semplici sono, invece, riportati nel paragrafo relativo ai solai metallici.

LA PRATICA DEL FABBRICARE

Autore: ing. Carlo Formenti

Luogo di pubblicazione: Milano

Editore: Hoepli

Anno di pubblicazione: 1909

Destinato a: ingegneri, costruttori, capimastri e studenti.

Scopo: è assente la prefazione.

Bibliografia: è assente.

Contenuto: nella prima parte si fa un nutrito elenco degli aspetti che riguardano le tipologie di opere di fondazione, murature, volte, colonne, tetti, solai in conglomerato cementizio armato; nella seconda vengono sviluppati da un punto di vista tecnologico-prestazionale, i temi delle finiture, delle scale, delle tramezzature, dei controsoffitti, degli impianti annessi alla fabbrica.

Calcolo: è assente.

Immagini: sono dettagliate e ben definite.

Osservazioni: tra le tecniche di realizzazione dei muri non sono riportate le murature in getto di terra ma vengono annoverati i muri con intercapedine.

TEORIA E PRATICA DEL CEMENTO ARMATO

Autore: ing. E. Mörsch

Luogo di pubblicazione: Milano

Editore: Hoepli

Anno di pubblicazione: 1910

Destinato a: ingegneri.

Scopo: è assente la prefazione.

Bibliografia: è assente, ma sono riportati in nota alcuni riferimenti bibliografici.

Contenuto: si tratta di un testo interamente incentrato sulle costruzioni in conglomerato cementizio armato e soprattutto sulle caratteristiche di questo materiale. Sono, infatti, riportati i risultati della ricerca scientifica (sperimentale e teorica) svolta fino ad allora. Vengono esaminati gli aspetti concernenti la resistenza e l'elasticità del *béton*, il suo comportamento a flessione, a compressione, a tensione, i metodi calcolo, i cedimenti elastici. Si riportano le applicazioni comuni di questo materiale nonché la normativa vigente.

Calcolo: gran parte del testo è dedicato all'individuazione del metodo di calcolo e al dimensionamento delle strutture in conglomerato cementizio armato sottoposte alle varie sollecitazioni.

Immagini: si tratta per lo più di schemi statici e di immagini che sintetizzano i risultati ottenuti a seguito di campagne di prove sperimentali eseguite.

Osservazioni: così come è approfondita la parte destinata alla trattazione teorico-pratica dei metodi di calcolo, superficiale è la trattazione delle applicazioni del conglomerato cementizio armato.

L'ARTE MODERNA DEL FABBRICARE

vol. II – La tecnica del fabbricare

Autore: ingg. G. Misuraca e M. A. Boldi

Luogo di pubblicazione: Milano

Editore: Dottor Francesco Vallardi

Anno di pubblicazione: 1916

Destinato a: ingegneri, costruttori, capimastri e studenti.

Scopo: è assente la prefazione.

Bibliografia: è assente.

Contenuto: vengono trattati i vari elementi costituenti la fabbrica: archi, volte, solai, scale, tetti, elementi di finitura (soffitti, pavimenti, infissi, intonaci e tinteggiature), nonché gli impianti di riscaldamento e ventilazione.

Calcolo: vengono riportati pochi cenni per il dimensionamento strutturale; si tratta molto spesso di tabelle riassuntive che permettono di conoscere l'ordine di grandezza degli ingombri dei singoli elementi.

Immagini: mirano alla comprensione della dimensione tecnologico-architettonica degli elementi.

Osservazioni: i solai in conglomerato cementizio armato sono compresi nel capitolo dei solai in ferro.

TRATTATO TEORICO-PRATICO DI COSTRUZIONI

civili, rurali, stradali ed idrauliche

Autore: ing. C. Levi

Luogo di pubblicazione: Milano

Editore: Hoepli

Anno di pubblicazione: 1907, 1911, 1924

Destinato a: studenti e tecnici.

Scopo: *"l'arte di costruire consiste essenzialmente nel prevedere ed apprezzare in giusta misura le difficoltà da vincersi per l'esecuzione di un dato lavoro, nello scegliere con giusto criterio i mezzi più convenienti per superarle* [...], *a facilitare questa razionale preparazione, ed a servire perciò di guida* [...] *mira il presente libro"*.

Bibliografia: sono riportati i riferimenti bibliografici in nota.

Contenuto: nella prima parte l'autore tratta di tutti i materiali da costruzione e fornisce le nozioni elementari sulla resistenza dei materiali; nella seconda affronta la trattazione degli elementi di fabbrica (archi, volte, solai, tetti, scale, finiture); nella terza sono descritti alcuni edifici civili e rurali; nella quarta la legislazione esistente e la stima dei costi.

Calcolo: sono presenti calcoli dettagliati al fine di dimensionare i singoli elementi.

Immagini: sono ridotte e poco numerose, generalmente riscontrabili in testi precedenti.

Osservazioni: tra l'edizione del 1907 e quella del 1924 la parte relativa agli elementi in conglomerato cementizio armato si sviluppa e si arricchisce.

TRATTATO GENERALE DI COSTRUZIONI CIVILI

con cenni speciali alle costruzioni grandiose

vol.III – opere in ferro

Autore: G. A. Breymann

Luogo di pubblicazione: Milano

Editore: Dottor Francesco Vallardi

Anno di pubblicazione: 1925

Destinato a: studenti e tecnici.

Scopo: è assente la prefazione.

Bibliografia: sono riportati i riferimenti bibliografici in nota.

Contenuto: la trattazione cura ogni aspetto delle costruzioni in ferro, le qualità dello stesso come materiale, il calcolo delle strutture, i collegamenti tra i vari elementi, le strutture orizzontali e verticali, le coperture, le scale, i tetti, le finiture.

Calcolo: vengono riportati i metodi di calcolo per ogni tipologia di elementi considerata, in particolar modo per gli orizzontamenti.

Immagini: sono poche nel testo, mentre sono numerose le tavole allegate.

Osservazioni: ovviamente i solai in conglomerato cementizio armato sono all'interno del capitolo sui solai in ferro.

MANUALE ELEMENTARE PRATICO DI VOLGARIZZAZIONE DEL CALCOLO DEL CEMENTO ARMATO

Autore: ing. L. Rosci

Luogo di pubblicazione: Torino

Editore: G. Lavagnolo Editore

Anno di pubblicazione:1939

Destinato a: ingegneri, costruttori, "capimastri".

Scopo: il criterio seguito dall'autore è stato quello di fornire ai lettori tutte le indicazioni e i chiarimenti necessari per affrontare i problemi connessi alla tecnica costruttiva che quotidianamente si incontrano nel corso della pratica di cantiere, senza dover ricorrere alle formule matematiche di cui la letteratura coeva abbonda, di modo che la sua opera possa essere utile sia a coloro i quali non hanno sufficiente dimestichezza con i calcoli, ma anche ai tecnici che possono trovare in tale scritto un ottimo *vademecum* "*utile per trarsi d'impaccio nelle usuali occorrenze*". Lo stesso autore, infatti, scrive: *"da qualche anno annotavo in un quadernetto, per mio uso, formole e regole relative alla resistenza dei materiali impiegati nelle costruzioni edilizie, molto utili nella pratica e corredate da esempi di calcolo. Il quadernetto, specialmente dopo le trattazioni inerenti ai cementi armati, che non trascurai di seguire da vicino, raggiunse una tale consistenza da indurmi a riordinare il materiale raccolto e pensare alla stampa di un manuale che potesse servire di indirizzo e di guida facile per chi ha bisogno di risolvere*

sollecitamente i problemi riguardanti la resistenza dei materiali suddetti senza dover leggere, talvolta, pagine e pagine in pubblicazioni dove l'esposizione è irta di formole e non è sempre assimilabile senza ponderato esame e senza particolare conoscenza della matematica superiore […]. *L'impiego del cemento armato si è generalizzato al punto che, ormai, non vi è opera dove non si adotti la soletta, il pilastro e la trave* […], *sia per economia di spesa che di spazio, sia per talune soluzioni che in altro modo non riuscirebbero facilmente attuabili* […]*".*

Il Rosci ritiene, pertanto, di particolare utilità la redazione di manuali, come questo, che assumano funzione di "[…] *guide pratiche per tali risoluzioni comuni fornendo facili e sicuri elementi con lo scopo di favorire l'orientamento dei costruttori verso un impiego più studiato e razionale del cemento armato invece di agire per analogia o "a lume di buon senso tutt'affatto speciale che non ha nessun appoggio alle calcolazioni* […]*"*.

Bibliografia: assente, ma è allegato l'elenco delle opere della stessa case editrice pubblicate all'epoca.

Contenuto: lo studio di opere importanti richiede da parte dei tecnici la perfetta conoscenza del calcolo ed esige talvolta speciali accorgimenti nei particolari costruttivi per ben coordinare le varie, complesse sollecitazioni e stabilire con esattezza gli sforzi da vincere e contrastare.

In questo testo sono, infatti, illustrati i diversi aspetti concernenti la costruzione di strutture in conglomerato cementizio armato, partendo da elementari premesse sul comportamento e sull'equilibrio dei solidi di struttura omogenea fino a giungere all'impostazione e allo svolgimento

di calcoli di ordinari ed elementari elementi costruttivi. Attraverso un'esposizione molto chiara e lineare l'autore "[…] *porta il lettore ad esaminare oltre i pilastri, le travi e le solette semplici, anche i solai con nervature, i solai misti con elementi laterizi, le opere in sbalzo, le travi continue, qualche caso di carico concentrato, fondazioni, serbatoi, muri di sostegno ed anche un ponte a travate rettilinee, non trascurando l'esame delle frecce di inflessione, la loro calcolazione e misura alle prove di carico"*. Ogni trattazione è seguita da esercizi di applicazione pratica con discussione dei risultati. Sono, infine, riportate le disposizioni del Regio Decreto 29 luglio 1933 n. 1213 (convertito in Legge 5 febbraio 1934 n. 313) oltre alle prescrizioni ministeriali del 17 maggio e 31 luglio 1937, relative all'impiego di acciaio semiduro.

Calcolo: sono riportati numerosi esercizi di calcolo per svariate applicazioni nei casi normalmente in uso compresi i pilastri, le travi ed i solai in conglomerato cementizio armato, secondo le ultime prescrizioni dell'epoca. Nella maggior parte dei casi, ad ogni esempio di calcolo diretto, fa seguito la relativa verifica di stabilità con le formule fondamentali della scienza delle costruzioni.

Immagini: sono dettagliate e ben definite.

Osservazioni: l'autore critica *"il dannoso sistema di sorpassare qualche dubbio con l'aumento della sezione dei ferri"*, spesso senza nessun vantaggio per la stabilità, in quanto *"a nulla serve il ferro – anche abbondante – se viene collocato laddove non è necessario e, per contro, si avranno seri guai se non lo si colloca dove è indispensabile"* e precisa, inoltre, che "[…] *un'applicazione non può servire per un'altra che può*

sembrare analoga ma che non è rigorosamente nelle identiche condizioni e ciò a causa della diversità del comportamento elastico di uno stesso solido a seconda delle circostanze di impiego che variano notevolmente […]".

CAPITOLO SECONDO

I SOLAI IN CALCESTRUZZO ARMATO DEL PRIMO NOVECENTO: ASPETTI MATERICI E TECNOLOGICI

Dai primi impieghi ad oggi, la tecnologia come anche i singoli materiali costituenti gli orizzontamenti in calcestruzzo armato (conglomerato cementizio, ferri di armatura, laterizi, casserature) hanno subito una notevole evoluzione sia in termini di proprietà chimico-fisiche e meccaniche che di modalità di confezionamento e posa in opera, di cui si riportano a grandi linee i caratteri principali.

Il conglomerato cementizio

Generalità

Da un punto di vista scientifico il calcestruzzo può definirsi un materiale composito formato da elementi lapidei tenuti assieme da un collante di natura inorganica costituito da una miscela di acqua e legante, essendo il legante a sua volta una polvere ottenuta per cottura e macinazione di pietre naturali. Da un punto di vista etimologico il

termine calcestruzzo deriva dal latino *calcis structio*, cioè struttura a base di calce. In realtà, il termine utilizzato da Vitruvio per definire un conglomerato molto simile al calcestruzzo che attualmente impieghiamo, costituito da rottami di pietre o mattoni mescolato con calce, sabbia ed acqua, era *opus caementicium*. Soprattutto per le opere idrauliche o comunque esposte all'azione delle acque piovane, la sabbia veniva sostituita in parte o in tutto da pozzolana di origine vulcanica, *pulvis puteolana*, o da cocciopesto. Il rottame di pietra usato per confezionare il calcestruzzo (non più grosso di una mano, secondo Vitruvio) veniva indicato con il termine *caementum* dal verbo *caedo* che significa "taglio in pezzi". Il termine *caementum* dal latino classico, divenuto *cementum* nel latino volgare, conservò prima il significato originale di "rottame di pietra" per poi assumere nel Tardo Medioevo il significato di conglomerato (l'attuale calcestruzzo). Solo alla fine del XVIII secolo il termine "cemento" assunse il significato di legante, mentre al conglomerato si attribuì definitivamente quello di calcestruzzo[66].

Importanti furono gli studi condotti tra la prima metà dell'Ottocento e gli inizi del Novecento, grazie ai quali vennero messi in evidenza importanti aspetti concernenti la composizione chimica del calcestruzzo che ne consentirono la produzione industrializzata.

Il Donghi, agli inizi del secolo scorso, nel *"Manuale dell'architetto"* definiva il calcestruzzo "*un impasto di malta idraulica o cementizia e di ghiaia, ciottoli, pietrisco, rottami di mattoni* […] *particolarmente*

[66] Collepardi M., *op. cit.*, p. 2.

utilizzato nei casi in cui si andavano a costruire strutture nell'acqua e nei luoghi umidi[67]*"*.

Le caratteristiche del calcestruzzo erano particolarmente influenzate dalla qualità degli elementi di cui era costituito e dalle loro proporzioni all'interno dell'impasto dalle quali dipendevano il grado di durezza, l'impermeabilità e la presa del calcestruzzo stesso.

Il calcestruzzo in uso agli inizi del Novecento veniva classificato in magro e grasso: il primo era caratterizzato da un volume di malta inferiore a quello dei vuoti, risultando quindi estremamente poroso; il secondo era, invece, caratterizzato da un volume di malta uguale o superiore a quello dei vuoti formati dalla ghiaia o dal pietrisco ed aveva pertanto buoni requisiti di impermeabilità[68].

Un calcestruzzo magro veniva utilizzato per strutture che non erano a contatto diretto con l'acqua; viceversa, qualora la struttura doveva resistere alla pressione dell'acqua, esso doveva essere grasso e, pertanto, fortemente impermeabile.

Il materiale che veniva utilizzato per il confezionamento del calcestruzzo doveva essere perfettamente lavato, scevro da residui argillosi e da tutti quei residui di sostanze organiche ed estranee che potessero ostacolare la perfetta aderenza del materiale con la malta.

La granulometria degli aggregati variava a seconda della tipologia di opera che si andava a realizzare; ad esempio, *"per i solai si utilizzavano materiali minuti, mentre invece per grandi opere si utilizzavano*

[67] Donghi D., *Manuale dell'architetto*, UTET, Torino 1906, p. 338.
[68] *Idem.*

frammenti anche grossi"[69]. L'impiego di materiali minuti veniva, tuttavia, raccomandato anche quando si utilizzavano frammenti grossi al fine di colmare gli interstizi che si formavano tra questi: questo accorgimento si rivelò fondamentale in quanto consentiva di rendere omogenea e compatta la massa, conferendole la giusta resistenza e generando nel contempo un'economia dovuta al minore quantitativo di cemento utilizzato.

Resistenza del calcestruzzo

La diffusione del calcestruzzo fu favorita principalmente dalle sue caratteristiche di resistenza che risultarono da subito di molto superiori a quelle di una malta cementizia, con analogo dosaggio di cemento; le prove empiriche dimostrarono, infatti, che ad un mese dall'impasto si raggiungevano per il calcestruzzo comune resistenze a compressione pari a 100-250 kg/cmq.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle caratteristiche dei principali tipi di calcestruzzo, particolarmente diffusi nel periodo oggetto di studio, riscontrati a seguito di una lettura critica del testo dell'ingegnere Vacchelli, più volte sopra menzionato (tab. 6).

[69] *Ivi*, p. 343.

Calcestruzzi	
Caratteristiche	**Valori**
Resistenza a compressione	Da 65 a 302,5 kg/cmq
Resistenza a trazione	20 kg/cmq
Resistenza allo scorrimento	1,15 ad 1,5 volte più grande della resistenza a tensione
Coefficienti di sicurezza	1/10
Modulo di elasticità	Da 100.000 a 320.000 kg/cmq
Coefficiente d'attrito superficiale	Da 0,70 a 0,75
Coefficiente di dilatazione lineare	0,0000143
Peso di un metro cubo	Da 1.100 a 2.350 kg/mc
Aderenza della malta alle pietre	Da 16 a 30 kg/cmq

tab. 6: tabella riassuntiva delle caratteristiche del calcestruzzo e dei rispettivi valori (da Vacchelli G., *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*, Hoepli, Milano 1900).

Fabbricazione del calcestruzzo

La fabbricazione del calcestruzzo veniva effettuata agli inizi del secolo generalmente a mano secondo due metodologie. La prima prevedeva di mescolare a secco il cemento con la sabbia fino ad ottenere una miscela omogenea, aggiungendovi poi, sempre a secco, la ghiaia o il pietrisco; dopo aver ben rimescolato il tutto, vi si spargeva sopra l'acqua gradualmente, continuando il mescolamento. La seconda metodologia prevedeva di formare dapprima la malta, idraulica o cementizia, la quale veniva successivamente combinata in quantità ridotte con la ghiaia ed il pietrisco, mescolando sempre energicamente l'impasto che andava così formandosi; questo secondo procedimento si dimostrava essere migliore

del precedente, sia perché dava luogo ad un prodotto molto più omogeneo rispetto a quello ottenuto col primo procedimento, sia perché richiedeva minore sforzo fisico in quanto nell'impasto da mescolare vi era la presenza di acqua che rendeva più facilmente lavorabile il tutto.

Si doveva, inoltre, aver cura di fabbricare il calcestruzzo avvalendosi di personale esperto che effettuasse le operazioni di confezionamento e di posa in opera con la massima celerità e con quantità limitate di prodotto, poiché l'impasto poteva cominciare a far presa e ad indurire prima del completamento del getto, pregiudicando la buna riuscita della costruzione.

Il Vacchelli affermava che "[...] *La fabbricazione a mano si fa generalmente sopra una piattaforma unita e resistente (di struttura muraria o di legno, ma non deve mai farsi sul nudo terreno).* [...] *Devesi sempre seguire il noto precetto di Vicat e cioè malta consistente e pietra umida e pulita. Gli operai impastano la massa colle pale, rimestandola tutta completamente due o tre volte: da alcuni si fa uso di un utensile a 2 o più punte di ferro col quale si rimesta e si tira fuori il materiale, mentre colla pala si continua a rivoltarlo in dentro*" [70].

La fabbricazione a mano poteva, tuttavia, impiegarsi per la produzione di un quantitativo di calcestruzzo pari al massimo a 250 mc; oltre questo limite era necessario ricorrere alla fabbricazione meccanica mediante l'ausilio di macchinari che ebbero grande diffusione a seguito della rivoluzione industriale.

[70] Vacchelli G., *op. cit.*, pp. 105-106.

Tra i principali si ricordano la macchina di *Krantz*, costituita da una cassa a piramide quadrangolare aperta alle due estremità, all'interno della quale erano disposti sui lati paralleli dei piani inclinati a 45°, in senso inverso, in modo da mescolare il materiale che veniva caricato dalla bocca superiore; tale macchinario, di altezza pari a circa 3 m, presentava nella parte inferiore della cassa un foro di circa 80x60 cm dal quale si aveva la fuoriuscita dell'impasto (fig. 11).

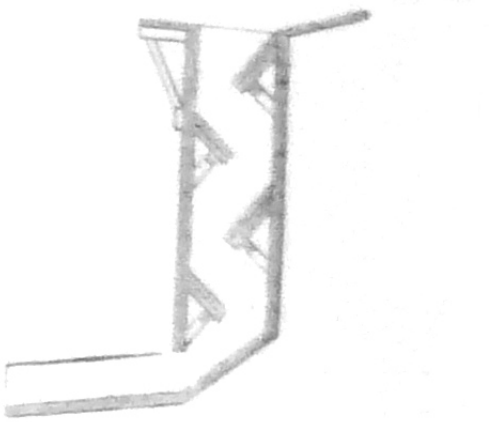


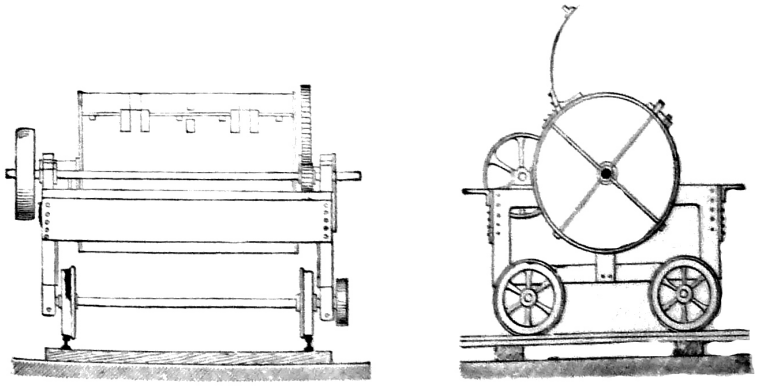
fig. 11: apparecchio *Krantz* per impastare il calcestruzzo (da Donghi D., *Manuale dell'architetto*, UTET, Torino 1923).

Un altro meccanismo era quello composto da un cilindro di lamiera con asse inclinato che, muovendosi di moto rotatorio attorno ad un albero orizzontale, mescolava tra loro gli ingredienti costituenti il conglomerato, dando una produzione di calcestruzzo pari a 60-80 mc giorno.

La *macchina a truogoli* era, invece, formata da dieci truogoli in fila ed imperniati su di un lato: gli operai riempivano il primo truogolo con gli ingredienti componenti il calcestruzzo e li facevano ruotare nel

truogolo successivo; a mano a mano che gli ingredienti passavano da un truogolo a quello successivo, si mescolavano tra loro dando luogo così all'impasto.

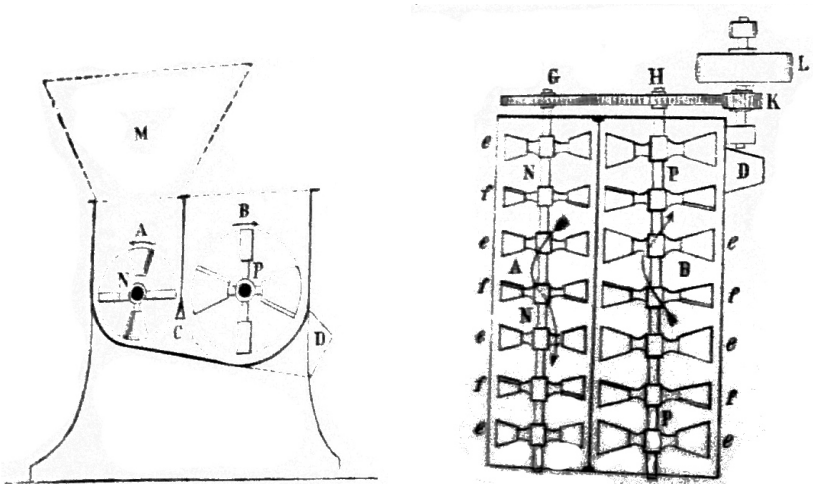
Altri macchinari molto diffusi erano: la *macchina Schlosser*, molto simile a quella *Krantz*, solo che a differenza della precedente questa aveva la cassa sostituita da un cilindro in lamiera di ferro con aste metalliche, in luogo dei precedenti piani inclinati, poste trasversalmente al cilindro ad altezze diverse e la *macchina marsigliese* caratterizzata da un cilindro di ferro girevole e orizzontale del diametro di 95 cm e lungo circa 1,30 m; qui i materiali venivano mescolati, per mezzo della rotazione del cilindro, da traverse di ferro in esso contenute e disposte a varia distanza secondo i diametri del cilindro stesso (fig. 12).



figg. 12: macchina marsigliese per impastare calcestruzzo (da Donghi D., *Manuale dell'architetto*, UTET, Torino 1923).

Altre macchine ugualmente buone e che davano lodevoli risultati erano quelle di *Schlickeysen* e *Messent*.

La prima si componeva di una grande cassa divisa in due scomparti *A* e *B* a forma di U e di grandezza diversa, comunicanti per mezzo dell'apertura *C*; lo scomparto *B* presentava un'apertura *D* per l'uscita del calcestruzzo. All'interno dei due scomparti giravano gli assi *N* e *P* attorno ai quali venivano disposte radialmente delle palette che servivano a mescolare l'impasto. Il macchinario funzionava nel seguente modo: nella tramoggia *M* venivano versati i materiali componenti la miscela cementizia a secco, in genere cemento *Portland*, sabbia e ghiaia minuta, prevalentemente dosati che scendevano lentamente nello scomparto *A*, all'interno del quale venivano mescolati per mezzo delle palette e portati verso l'apertura *C* di modo che potessero passare nello scomparto *B*. Alla massa giunta nello scomparto *B*, veniva aggiunta acqua in numerosi e sottili getti per il tramite di un innaffiatoio, mentre le palette la mescolavano, portando l'impasto verso l'apertura *D* da cui il calcestruzzo usciva formato per poi essere caricato su camion per il trasporto o gettato direttamente nello scavo o nella forma da riempire, qualora la macchina si trovava in cantiere. Questo macchinario risultava essere particolarmente efficiente in quanto poteva fornire dai 5 ai 30 mc di calcestruzzo all'ora (fig. 13).



figg. 13: macchina *Schlickeysen* per impastare calcestruzzo: *A*, *B* scomparti della cassa impastatrice; *C*, apertura di comunicazione fra i due scomparti; *D*, bocca di uscita del calcestruzzo; *e*, palette in piano; *f*, palette inclinate agli assi *N* e *P*; *G*, *H* e *K*, ingranaggio per il movimento degli assi *N* e *P*; *L*, puleggia; *N* e *P*, assi di rotazione delle palette (da Donghi D., *Manuale dell'architetto*, UTET, Torino 1923).

La macchina *Messent*, adatta per calcestruzzi a ghiaia grossa o pietrisco, era formata, invece, da una cassa impastatrice *A*, incernierata sopra un asse di rotazione *B-B*, munito o di manovelle *D* o di pulegge di trasmissione; la cassa era provvista di un'apertura con coperchio a tenuta d'acqua per il carico dei materiali e lo scarico del calcestruzzo formato, che ricorda molto le moderne betoniere a bicchiere. Sopra la cassa, fissate all'intelaiatura della macchina, trovavano collocazione il carrello *C-C*, la tramoggia di carico *F* e il serbatoio dell'acqua *G*.

Una volta riempita la cassa *A*, la si metteva in rotazione al fine di mescolare l'impasto: ogni impasto si otteneva con circa 7 giri e mezzo di cassa, versando nell'ordine l'acqua necessaria, la sabbia, la ghiaia ed

infine il cemento, riuscendo ad avere un rimescolamento completo ad ogni quarto di giro. Quando la cassa si fermava, l'apertura *E* era volta verso il basso in modo da consentire la fuoriuscita del calcestruzzo su di un vagoncino di carico o direttamente nello scavo. "*Gli ingredienti che generalmente si usavano con tale macchina erano: 1 parte di cemento Portland, 2 parti e mezzo di sabbia, 6 parti e mezzo di ghiaia mista, grossa e minuta. Se l'apparecchio veniva mosso a braccia con l'impiego di 4 operai, si potevano ottenere dai 35 ai 40 mc di calcestruzzo in 10 ore di lavoro; a questi si aggiungevano altri due operai per misurare e caricare i materiali e un garzone per controllare l'acqua*"[71]. Se la macchina veniva mossa a vapore si potevano ottenere invece dai 100 ai 300 mc di calcestruzzo in 10 ore. In generale, il calcestruzzo fabbricato a mano era ritenuto migliore di quello impastato a macchina anche se macchine tipo quella *Messent* davano comunque un impasto omogeneo e presentavano il vantaggio di poter confezionare il calcestruzzo nel punto stesso dove andava impiegato poiché poteva essere montata su rotaie (fig. 14).

[71] Donghi. D., *op. cit*., p. 347.

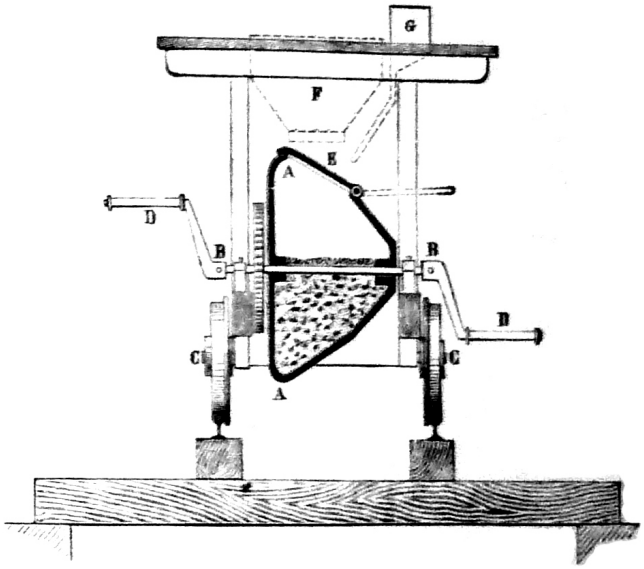


fig. 14: macchina *Messent* per impastare il calcestruzzo: *A,A*, cassa impastatrice; *B,B*, asse di rotazione; *C,C*, carrello; *D,D*, manovella; *E*, coperchio a tenuta d'acqua della cassa *A* e bocca di caricamento dei materiali; *F*, tramoggia di caricamento; *G*, serbatoio d'acqua (da Donghi D., *Manuale dell'architetto*, UTET, Torino 1923).

Durante il getto si doveva avere cura di distendere il calcestruzzo per strati di altezza pari a 20-30 cm. Appena formato lo strato, se il getto era molto esteso, occorreva battere fortemente il calcestruzzo con opportuni attrezzi, *mazzeranghe*, fino a quando non si vedeva affiorare l'acqua in superficie; solo successivamente si poteva procedere al getto dei successivi strati.

Dosatura del calcestruzzo

Per i calcestruzzi di calce idraulica erano ritenute dosature comuni quelle di 250, 200,150 kg di calce in polvere con 0,40-0,50 mc di sabbia,

0,75-0,80 mc di ghiaia, variabili a seconda della tipologia di struttura che si andava a costruire: per calcestruzzi di cemento a lenta presa in lavori idraulici in genere, erano frequenti dosature da 200 a 250 kg di cemento, da 0,40 a 0,45 mc di sabbia e da 0,75 a 0,80 mc di ghiaia; per getti sottili si passava da 300 finanche a 450 kg di cemento, con le anzidette quantità di ghiaia e sabbia. Secondo le prescrizioni ministeriali dell'epoca (D.M. 10 gennaio 1907), il conglomerato a dosatura normale (300 kg di cemento a presa lenta, 0,40 mc di sabbia asciutta e non compressa e 0,80 mc di ghiaia) dopo 28 giorni di maturazione in ambiente umido doveva presentare una resistenza allo schiacciamento non inferiore a 150 kg per cmq. In sostituzione della ghiaia o del pietrisco poteva essere opportuno l'uso di rottami laterizi (coccio), grazie ai quali si ottenevano risultati soddisfacenti, per la già nota proprietà che aveva il laterizio pesto di conferire idraulicità agli impasti cui veniva commisto; altre volte si impiegavano lapilli e detriti di origine vulcanica, o anche scorie e *coke* frantumato, quando si aveva necessità di avere particolari requisiti di leggerezza; con questi materiali era, tuttavia, opportuno abbondare nella quantità della malta.

Ad ogni modo, salvo indicazioni di massima riguardo alla composizione del conglomerato cementizio, non potevano essere stabilite proporzioni univoche, in quanto assolutamente variabili da costruzione a costruzione, difatti le stesse ditte costruttrici dell'epoca si dimostrarono in generale alquanto restie a rendere pubbliche notizie di tal genere.

Tuttavia da un'attenta disamina dei manuali dell'epoca è possibile affermare che una proporzione spesso impiegata nelle costruzioni italiane

del primo Novecento era quella di 1 volume di cemento per 3 volumi di sabbia, cioè da 400 a 450 kg di cemento per metro cubo di sabbia. "[...] *Allorché occorre sviluppare una forte resistenza, oppure allorché si tratta di strutture che devono resistere alla pressione delle acque od essere assolutamente impermeabili,* [...] *si impiegano 2 volumi di cemento per 3 di sabbia, od anche volumi uguali. La grossezza massima ammissibile pei grani di sabbia varia secondo la natura della costruzione.* [...] *La quantità d'acqua deve essere limitata al puro necessario"*[72].

Disarmo

Il disarmo, secondo l'ingegnere Vacchelli poteva avvenire generalmente dopo 4-10 giorni dal getto, ma dipendeva sostanzialmente dalla complessità dell'edificio; secondo il Levi bisognava, invece, attendere periodi variabili tra 28 e 45 giorni.

Degna di nota è una considerazione dell'ingegnere Vacchelli circa l'importanza della modalità d'impianto del cantiere ai fini dell'efficienza, della produttività e dell'economicità delle lavorazioni, che lo rende estremamente moderno in considerazione del fatto che il suo manuale risale agli inizi del Novecento. Egli sottolineava, infatti, il ruolo fondamentale che avevano la pianificazione dei percorsi per la movimentazione del materiale all'interno del cantiere, della spesa di sollevamento di ogni metro cubo di materiale, nonché della forza motrice

[72] Vacchelli G., *op. cit.*, p. 222.

necessaria, del costo di ogni singolo macchinario e della relativa quota di ammortamento. Vacchelli suggeriva, inoltre, che squadre diverse di operai dovessero avere mansioni differenti di modo che fosse più facilmente individuata una mancanza di qualità o di efficienza e che si creasse una specializzazione della manovalanza, cosa che avrebbe comportato anche una migliore distribuzione delle responsabilità.

I laterizi

Sono definiti comunemente laterizi tutti i materiali da costruzione ottenuti artificialmente mediante la lavorazione dell'argilla. L'origine dei mattoni, ossia delle pietre artificiali fatte con terre argillose, composte principalmente di silice ed allumina, calce carbonata, sabbia, ossido di ferro e acqua, risale alla più alta antichità, essendo stata la loro produzione facilitata dall'abbondanza della materia prima, l'argilla, e dalla facilità della lavorazione della stessa, essendo essa perfettamente plasmabile anche a mano.

Le prime generazioni che abitavano in pianura e principalmente in prossimità di fiumi, ove il terreno era più fertile, non trovando *in loco* pietre naturali atte a fabbricare le loro abitazioni, cominciarono ad utilizzare per le loro costruzioni una terra plastica e facile da impastare, che induriva cuocendo.

Inizialmente i mattoni di argilla venivano posti in opera crudi, disseccati al sole, ed in tal modo non potevano raggiungere che modesti risultati di resistenza e durevolezza; successivamente, si venne a conoscenza della grande miglioria che la cottura al fuoco apportava alle loro qualità, pervenendo così all'uso dei mattoni cotti, con la produzione di materiali laterizi di grande varietà e consistenza, tecnologia che ancora oggi è largamente presente nelle costruzioni edili.

La fabbricazione dei laterizi poneva, tuttavia, due grandi problemi: il modellamento e la cottura.

Il modo più antico per il modellamento dei laterizi era quello a mano che, naturalmente, con l'avvento della rivoluzione industriale venne

messo in discussione, tanto che per dare forma agli elementi si passò dagli stampi di legno riempiti a mano alle presse meccaniche e poi alle filiere per l'estrusione della pasta.

Nonostante, infatti, le prime macchine per la lavorazione dell'argilla si fanno risalire agli inizi del secolo XIX[73], nei primi decenni del XX secolo vi era ancora una marcata persistenza e diffusione della lavorazione manuale tanto in Italia, quanto all'estero[74].

Diverso si delineava il discorso dei mattoni cavi e dei tubi destinati al trasporto delle acque sotterranee per la fognatura, per la costruzione dei quali si trovava utile, efficace ed imprescindibile l'impiego delle macchine. La macchina per la costruzione dei mattoni cavi e dei tubi venne ideata dagli ingegneri civili Borie e da essi presentata all'esposizione di Londra nel 1851[75]; tale macchinario si presentava estremamente innovativo in quanto poteva produrre in un giorno 4500

[73] Le prime di cui si ha conoscenza sono quelle di *Hostenberg* (1807), *Kinsley* (1813), *Delamorimere* (1825). Nel 1854 Schlickeysen, modificando l'antica impastatrice olandese, dando forma speciale alle alette e introducendo il concetto della filiera e della tagliatrice, aprì il campo alla costruzione delle moderne macchine.

[74] *"La piccola spesa d'impianto, la facilità della lavorazione non faranno abbandonare tanto presto questo sistema per quello a macchina [...]. Eppure esistono parecchie centinaia di tipi di macchine per modellare laterizi delle quali molte buonissime e perfezionate. Le considerazioni che presiedono in favore della lavorazione a mano sono parecchie e principalmente il costo notevole di una macchina, la spesa di una installazione a macchina possa sopportare la concorrenza della lavorazione a mano, che richiede pochi operai ambulanti, poco capitale d'impianto e piccole spese di manutenzione pur permettendo di fare circa 2 milioni di mattoni per stagione"* in Revere G., *I laterizi*, Hoepli, Milano 1907.

[75] Riuscendo facile l'applicazione di questa macchina, venne attivata anche in Italia specialmente per la formazione dei tubi, non avendo trovato del resto molto riscontro l'uso dei mattoni cavi (Cantalupi A., *Istituzioni pratiche elementari sull'arte di costruire la fabbriche civili*, Di Salvi, Milano 1862).

mattoni, "*col lavoro di un solo operaio e tre aiutanti, dei quali uno portava la terra e gli altri due portavano i mattoni e li trasportavano*"[76].

Fra le prime macchine si ricordano anche la macchina *Julienne* e la macchina *Durand*[77]: la prima era un macchinario molto rapido che si muoveva a braccia d'uomo, prevedeva "*l'impiego di un solo operaio aiutato a un ragazzo*"[78] e poteva dare una produzione di circa 4000 mattoni al giorno; la *Durand* invece richiedeva "*3-4 cavalli di forza con il lavoro di 5 uomini*"[79] ma dava una produzione giornaliera di circa 15 mila mattoni, per di più quasi già completamente essiccati, che potevano essere infornati quasi subito (fig. 15).

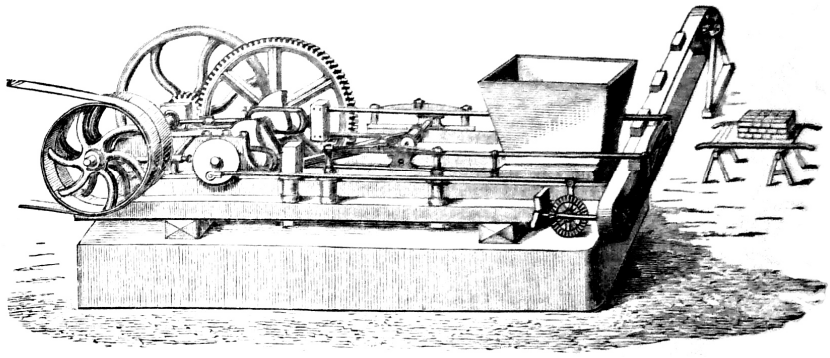


fig. 15: macchina *Durand* per formare mattoni (da Donghi D., Manuale dell'architetto, UTET, Torino 1923).

Fra le macchine a laminatoio si ricordano, invece, quelle di *Jardin-Cazanave*, che richiedevano l'impiego di 1 operaio, 3 garzoni e 4

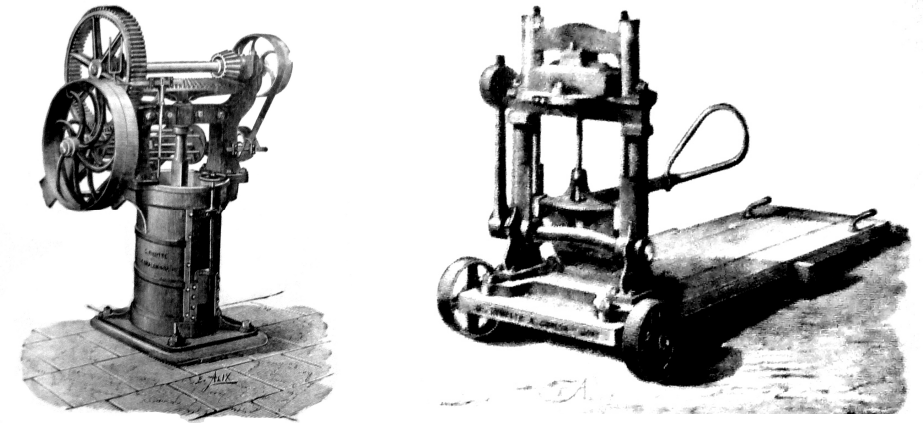
[76] Donghi D., *op. cit.*, p. 266.
[77] *Ivi*, p. 267.
[78] *Idem.*
[79] *Idem.*

manovali, e davano una produzione di circa 10 mila mattoni al giorno, e la macchina di *Cupouillet*, che richiedeva l'impiego di 20 uomini e dava una produzione di circa 40 mila mattoni in 10 ore.

Fra le macchine a trafila, invece, si ricordano le macchine di *Witehead di Preston (Lancashire)* cha davano una produzione di 10 mila mattoni al giorno, la macchina di *Henry-Chayton* della produzione di 12-15 mila mattoni al giorno e, infine, la macchina di *Hertel (Nieuburg, Prussia)*[80] che poteva produrre fino a 14 mila mattoni al giorno.

Le più conosciute ed importanti macchine per la produzione di laterizi, restano ad ogni modo quelle inventate dal *Pinette*[81]; si ricordano tra queste il *rimescolatore* che aveva lo scopo di rimescolare l'argilla al fine di restituirle la coesione persa con la cilindratura per renderla il più omogenea possibile (fig. 16), la *macchina da tirare* (fig. 17) che plasmava l'argilla sotto forma di nastri, che venivano poi tagliati mediante fili di acciaio di lunghezza conveniente per fare mattoni; le operazioni di finitura si effettuavano con lo *strettoio riformatore* (fig. 16) che modellava il mattone per il tramite di stampi di ghisa.

[80] *Idem.*
[81] *Ivi*, p. 268.



figg. 16: rimescolatore (a sinistra) e strettoio riformatore (a destra) (da Donghi D., *Manuale dell'architetto*, UTET, Torino 1923).

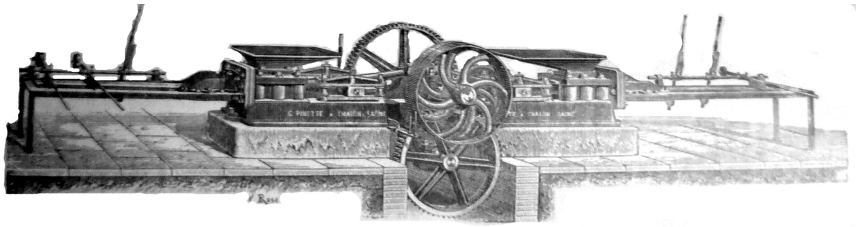


fig. 17: macchina da tirare (da Donghi D., *Manuale dell'architetto*, UTET, Torino 1923).

Sotto il profilo della produzione, la difficoltà maggiore era senza dubbio quella della "cottura", che doveva avvenire a temperature oscillanti tra gli 850°C e i 1100°C, temperature non certo facili da ottenere nei primitivi forni a legna e soprattutto non facili da mantenere con costanza in spazi ampi, per cui nella stessa camera di cottura le temperature variavano ampiamente, dando luogo a prodotti assai diversi

per resistenza, colore e con notevoli scarti e moltissimo impiego di carbone.

Furono ideati diversi tipi di fornaci, alimentate con combustibili a lenta fiamma, quali legna, torba, lignite, catrame, carbone di legna e *coke*, che consentivano di regolare convenientemente la temperatura del forno; tra tutti si ricordano le *fornaci a soli muri laterali* (fig. 18), quelle circondate da muri e coperte da volte aventi delle aperture o veri e propri camini per l'uscita dei prodotti della combustione, che però presentavano un unico grande inconveniente, quello dovuto alla grande perdita di tempo a cui dava luogo il loro raffreddamento, necessario per togliere il materiale.

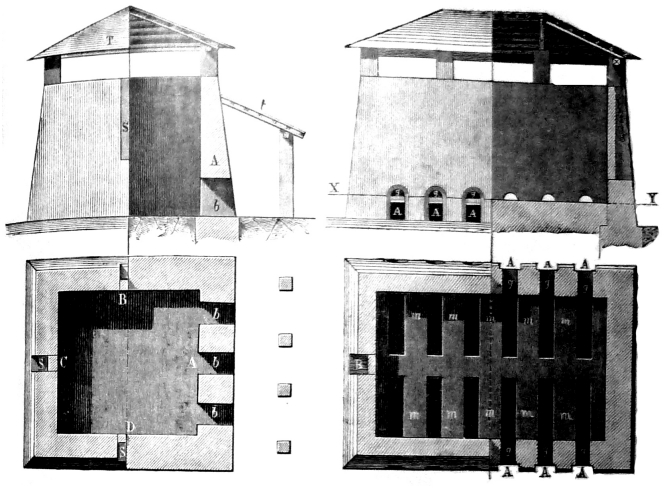


fig. 18: fornace per laterizi a soli muri laterali (a sinistra): *A, B, C* e *D* sono i muri di contorno a scarpa; *b*, le bocche di fuoco; *S*, i vani di caricamento; *t*, la tettoia per i fornaciai. Altra tipologia di fornace a soli muri laterali (a destra): *A* sono i focolari; *g*, le graticole; *B*, le bocche di caricamento; *m*, i muri laterali per il sostegno della carica (da Donghi D., *Manuale dell'architetto*, UTET, Torino 1923).

Un passo decisivo nella risoluzione di tale problema fu compiuto con la *fornace circolare o meglio a fuoco continuo* inventata da Hoffmann nel 1856 e brevettata nel 1858, che consentiva di recuperare il calore disperso e di controllare e regolare le temperature in maniera più precisa, ottenendo quindi una grande economia di carbone, oltre ad avere una maggiore economia e una produzione di laterizi di qualità decisamente migliore rispetto a quelli prodotti con le fornaci precedenti.

Era, infatti, costituita da tante celle comunicanti fra loro, ma che potevano essere isolate in caso di necessità; mentre il fuoco era ubicato in sole due celle, i prodotti della combustione riscaldavano i mattoni posti nelle celle successive e l'aria, che entrava dalle porte delle celle antecedenti, si scaldava a contatto con mattoni in queste contenuti, già in via di raffreddamento, accelerando così il raffreddamento stesso ed acquistando calore in modo da rendere più sollecita la cottura dei mattoni posti nelle celle in cui si aveva il fuoco. Si scaricavano così le celle nelle quali i mattoni si erano raffreddati e si ricaricavano le stesse con materiali pronti per la cottura; l'operazione diventava in tal modo continua, da qui la denominazione di fornaci a fuoco continuo (fig. 19).

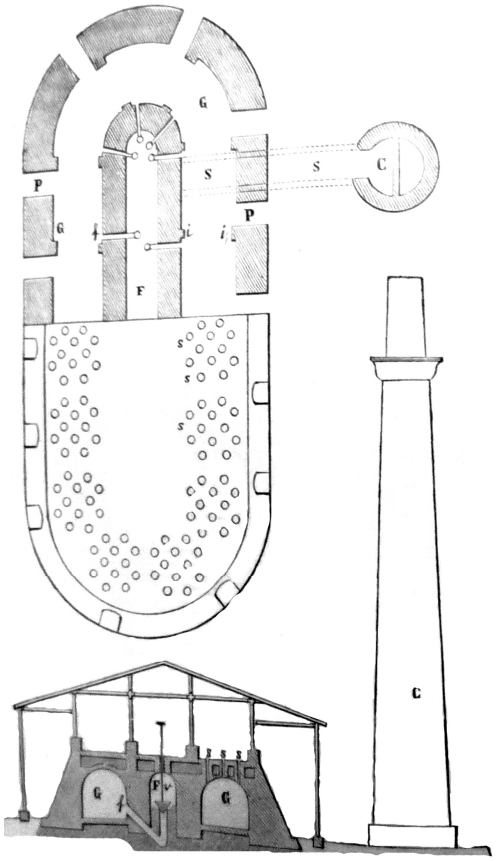


fig. 19: fornace *Hoffmann* a fuoco continuo per la cottura dei laterizi: *G*, galleria delle celle; *F*, camera del fuoco; *C*, camino; *S*, condotto sotterraneo dalla camera, *F* al camino, *C*; *i*, alette per la divisione delle celle con porte in ferro; *P*, porta delle celle per il carico e lo scarico dei laterizi; *f*, bocche di fumo delle celle; *v*, valvola di ciascuna bocca, *f*; *s*, bocche di caricamento del combustibile (da Donghi D., *Manuale dell'architetto*, UTET, Torino 1923).

Negli anni a cavallo tra il XIX ed il XX secolo, si susseguirono esperimenti tecnologici, e conseguentemente materici, tesi ad un incremento di qualità, di quantità e di varietà del prodotto che supportavano e, a loro volta, venivano supportati dal diversificarsi della

produzione industriale[82].

Nello specifico settore della produzione di laterizi dei primi anni del Novecento, si riscontravano principalmente:

- laterizi per murature (mattoni comuni, mattoni da paramento, mattoni cuneiformi e mattoni cavi per tavolati, per muri leggeri, ecc.);
- laterizi per pavimentazioni;
- laterizi per solai e coperture;
- laterizi ornamentali;
- laterizi per condutture;
- tavelloni per impalcature, tetti piani, tavelline per soffitto;
- laterizi diversi.

Tra questi, quello che è possibile definire il protagonista indiscusso della scena produttiva di quegli anni è il laterizio forato.

Si ricorda che in Italia i primi esempi di applicazione di "laterizi forati" in edilizia furono le anfore adoperate nel periodo romano,

[82] 1884: Nord America, produzione in larga scala di "terracotta *lumber*", cottura di una miscela di segatura e argilla. La segatura nel forno bruciava e ne risultava un blocco poroso il che comportava una voluta riduzione di peso (da Singer I., *Storia della tecnologia*, Bonnghien, Torino 1984).

1911: venivano brevettati appositi laterizi cavi - Eredi Frazzi, Cremona - i quali si prestavano a collegarsi l'uno con l'altro in modo da lasciare dei vani per la gettata di nervature in ferro e cemento (da Levi C., *Manuale del capomastro assistente. I materiali da muro. Le macchine edili. Le opere di fabbrica*, Hoepli, Milano 1924).

1925: per alleggerire i solai molto pesanti si raccomandava di impiegare per le volte possibilmente un materiale leggero. A tale scopo risultavano particolarmente adatti i mattoni composti da una mescolanza di carbone e argilla, che nell'arroventarsi al fuoco lasciavano spazi vuoti: "pietre porose"; se queste si costruivano con fori si chiamavano "pietre porose forate" (da Breymann G.A., *Trattato generale di costruzioni civili*, Vallardi, Milano 1925).

impiegate per alleggerire il peso proprio delle volte realizzate in getto o nei frenelli destinati a contrastare le spinte delle volte alle reni.

Da allora, per ritrovare l'impiego di laterizi alleggeriti nella realizzazione di elementi costruttivi bisognerà aspettare fino ai primi anni del Novecento, quando saranno introdotti i laterizi forati, come modernamente intesi, prodotti con criteri industriali ed in diversi tipi per forma, numero di fori e dimensioni, destinati a vari impieghi in ambito delle costruzioni edili.

Un primo campo di applicazione che interessò le costruzioni civili fu la costruzione dei solai in ferro per i quali vennero prodotti speciali volterrane e tavelloni di vario tipo, piani ed arcuati, che consentivano una rapida e facile esecuzione delle opere provvisionali.

La spinta notevole alla produzione di speciali laterizi forati provenne dall'avvento dei solai misti in calcestruzzo armato e "pignatte". Con l'utilizzo del calcestruzzo armato, infatti, venne ridotto l'uso dei mattoni pieni e si passò da una struttura in laterizi portante ad una portata, quindi leggera, che dava luogo alla produzione di nuovi elementi, di materiale forato e di blocchi per solai, e consentì il diffondersi delle svariate tipologie di solai.

I primi blocchi laterizi erano caratterizzati da elementi unici, con piani laterali corrugati per favorire l'aderenza; successivamente al fine di favorire un'ottimizzazione della collaborazione tra travetti e soletta, furono introdotti sul mercato nuovi laterizi che presentavano migliori superfici di aderenza, scanalate o con tasche che potevano ospitare ferri di armatura. Talvolta erano accompagnati da fondelli, ossia elementi

laterizi prolungati sull'intradosso dei travetti, per costituire un opportuno copriferro[83].

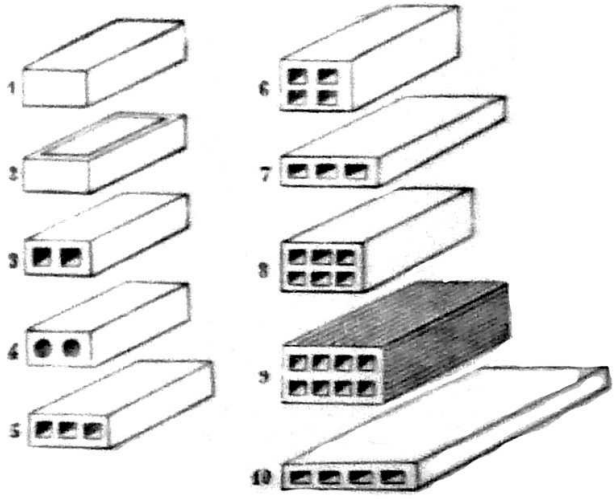


fig. 20: diversi tipi di laterizi prodotti all'epoca (da Donghi D., *Manuale dell'architetto*, UTET, Torino 1923).

[83] Zevi B. (a cura di), *op. cit.*, p. B 11.

I materiali metallici

Composizione e generalità

Il ferro come materiale da costruzione è una lega di ferro e carbonio; in base alla percentuale di carbonio è possibile avere differenti materiali da costruzione:

- ferro dolce = fino a 0,5% di carbonio;
- acciaio = da 1,5 a 2% di carbonio;
- ghisa = da 2,5 a 5% di carbonio,

che presentano diverse caratteristiche:

- ferro dolce (od omogeneo): malleabile, saldabile, fonde a 1.500°C circa e non assume tempera (col quale si producono lamiere e tubi, bulloni, ecc.);
- acciaio: meno malleabile difficilmente saldabile, fonde da 1500°C a 1200°C, assume tempera (con gli acciai dolci si realizzano ferri modanati da costruzione, chiodi, pezzi da fucina, ecc.; con quelli semi-dolci pezzi di macchine; con quelli semi-duri e duri non più saldabili e suscettibili di buonissima tempera, cuscinetti, rotaie, fili per cavi metallici, ecc.)[84];
- ghisa: non malleabile, fonde facilmente intorno a 1300°C, a 1050°C e non assume tempera.

Dal punto di vista della resistenza alla rottura l'acciaio è il migliore dei tre materiali, venendo poi, in ordine decrescente, il ferro e la ghisa[85].

[84] Levi C., *op. cit.*, p. 107.
[85] Breymann G. A., *op. cit.*, pp. [3-5].

Per quanto riguarda il processo di produzione del ferro, quello più semplice e diretto consisteva nel ridurre il minerale in forno in muratura refrattaria, all'interno del quale veniva posizionato carbone di legna, posto tra il minerale ed il getto d'aria calda. Le particelle ferrose che si formavano a mano a mano tendevano a saldarsi e una volta agglomerate venivano ribattute al martello per liberarle dalle scorie; tale processo, detto *catalano*, dava luogo a una notevole perdita di metallo e rendeva necessario l'uso di carbone di legna.

Con l'avvento della rivoluzione industriale, si ebbe l'introduzione di diversi tipi di forni fino ad arrivare ai primi grandi forni a forma di tino, *altiforni*, la cui cavità si componeva essenzialmente di una parte superiore (*c*) leggermente tronco-conica detta tino, e di una inferiore (*b*) a tronco di cono rovesciato, detta sacca; la parte più larga (*d*) ove i due tronchi si raccordavano veniva denominata ventre; sotto alla sacca vi era una zona cilindrica (*a*) detta laboratorio, alla cui sommità arrivava l'aria dai tubi od ugelli; la parte inferiore del laboratorio era formata dal crogiuolo, in cui si raccoglievano i prodotti della fusione. Gli altiforni erano generalmente a pianta circolare, alti 15,00-25,00 m con rapporto fra l'altezza ed il diametro al ventre pari a circa 4; la muratura era fortemente cerchiata, in modo da presentare la resistenza necessaria per la elevatissima temperatura ed era inferiormente appoggiata su colonne cave (*n*) in ghisa; essa era esternamente fatta con mattoni ordinari, ed internamente presentava una doppia camicia di materiale refrattario (fig. 21).

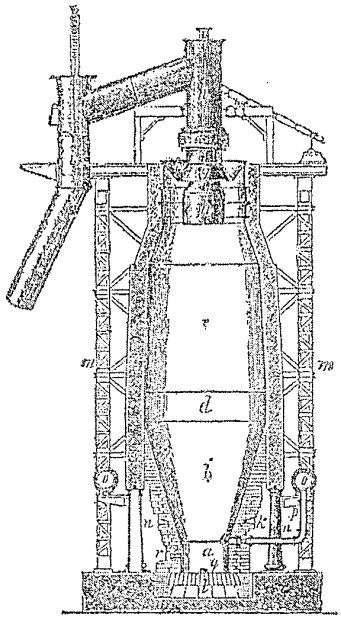


fig. 21: schema di un altoforno (da Giedion S., *Spazio, tempo ed architettura*, trad. it., Hoepli, Milano 1954).

Il ferro, noto sin dall'antichità, a seguito del suo complesso ciclo di produzione, non venne sfruttato su larga scala in ambito delle costruzioni edili fino all'avvento della rivoluzione industriale.

I minerali di ferro, infatti, erano tradizionalmente fusi con carbone vegetale; il prodotto ottenuto veniva poi rifuso e colato in stampi per ottenere la ghisa o lavorato alla forgia per ottenere il ferro dolce.

Nei primi decenni del Settecento, però, Abramo Darby di Coalbrookdale sostituì il *coke* al carbone vegetale e ne mantenne segreto il procedimento affidandolo ai suoi discendenti. Nel 1740 il signor Huntsmann, un orologiaio di Sheffield, riuscì a fondere l'acciaio in

piccoli crogiuoli ottenendo un materiale dalle caratteristiche di gran lunga superiori a quello precedente. A partire dalla fine del Settecento tali progressi cominciarono a diffondersi fino a diventare di dominio pubblico, generando così la nascita dei primi impianti al fine di sfruttare industrialmente la ghisa.

Risale invece al 1836 la produzione industriale di travi a doppio T, largamente utilizzate per le prime coperture in acciaio e per i tradizionali solai in ferro e legno e ferro e laterizi.

Tra la fine dell'Ottocento e gli inizi del Novecento, grazie alla diffusione del conglomerato cementizio armato, che andava sempre più affermandosi in Europa e in Italia prima solo per la costruzione di orizzontamenti poi per intere strutture, vennero introdotti svariate tipologie di armature per strutture in conglomerato cementizio armato, ed in particolare per gli orizzontamenti, oltre a strumenti atti a produrre e a lavorare il ferro d'armatura; vennero brevettati, inoltre, diversi tipi di "piegaferri" per staffe, tronchesine e attrezzi vari, tutti ad azionamento manuale.

Il tipo di ferro che meglio si adattava ad essere utilizzato per la costruzione di armature per orizzontamenti in conglomerato cementizio armato era quello colato ottenuto con procedimento basico dai forni Martin-Siemens[86]. Di solito si adoperava sotto forma di tondini per tutte le armature, talvolta di ferro piatto o *mojetta* per le staffe e di fili per le legature.

[86] Arcangeli A., *Manuale pratico per l'impiego del cemento armato, Ulrico Hoepli, Milano 1919*, p. 33.

Qualità e i requisiti dei ferri

Per la determinazione delle caratteristiche dei materiali prodotti ovvero per la loro accettazione e commercializzazione venivano eseguite prove meccaniche e tecnologiche ed analisi al microscopio secondo le norme approvate all'inizio del Novecento con Decreto Ministeriale 29 febbraio 1908 "*Norme e condizioni per le prove e per l'accettazione dei materiali ferrosi*". I ferri erano sottoposti, oltre alle tradizionali prove di trazione, anche a prove di piegamento a caldo e a freddo. La prima consisteva nel riscaldare un pezzo di ferro omogeneo fino al color rosso chiaro ed immergerlo in acqua a temperature che variavano dai 10 ai 20°C: tale ferro doveva potersi piegare col martello su se stesso in modo da formare un cappio di diametro uguale a quello del ferro, senza che si producessero fenditure; la piegatura a freddo, invece, consisteva nel piegare un pezzo di ferro agglomerato a freddo col martello, ad U attorno ad un cilindro, il cui diametro fosse pari a 6 volte quello del ferro, senza che si producessero al solito fenditure.

Nel disporre le armature per le costruzioni in calcestruzzo armato, occorreva spesso eseguire giunzioni, non essendo sempre possibile fare uso di barre composte da un pezzo unico. Per tali giunzioni si provvedeva con saldature o con manicotti filettati: le prime erano ritenute poco sicure in quanto non escludevano in maniera assoluta l'evenienza di una discontinuità con una diminuzione di resistenza nella zona di unione; le seconde, invece, offrivano una unione abbastanza pratica e sicura, specie se si tempravano dolcemente le filettature dei tondini.

Si usava, con ottimi risultati, anche la saldatura elettrica delle barre; l'unione migliore però, che si presentava più semplice e più pratica per i ferri di piccolo e medio diametro, era quella che si otteneva sovrapponendo due tondini per una lunghezza di 30 diametri (fig. 22), ripiegandone le estremità ad uncino ed avviluppandoli di conglomerato ben aderente.

In tal modo l'ancoraggio dei ferri nella massa di calcestruzzo per il tramite dell'uncino e l'aderenza del calcestruzzo stesso ai ferri, evitavano qualsiasi scorrimento reciproco tra i due materiali. Diffusa era l'abitudine di legare i due ferri nel tratto in cui essi erano sovrapposti, pratica che comunque venne successivamente ritenuta necessaria solo quando non fosse stato possibile per qualche motivo arrivare ad una sovrapposizione pari a 30 diametri.

Per garantire un buon ancoraggio dei ferri all'interno della massa di calcestruzzo, il Considère propose di ripiegare le estremità a forma di uncino (fig. 23), accorgimento che si rivelò essere alquanto prezioso in quanto consentiva al ferro di resistere a sollecitazioni fino al suo limite di snervamento.

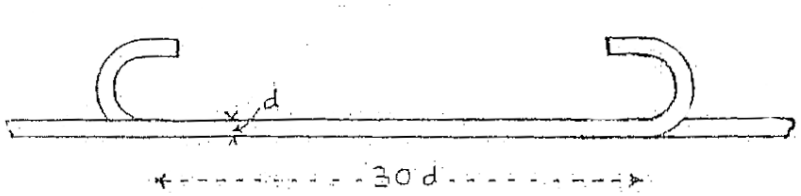


fig. 22: lunghezza di sovrapposizione dei ferri d'armatura (da Arcangeli A., *Manuale pratico per l'impiego del cemento armato,* Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1919).

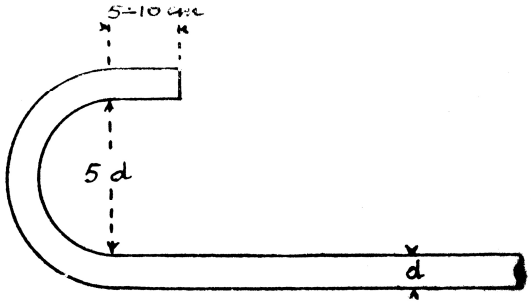
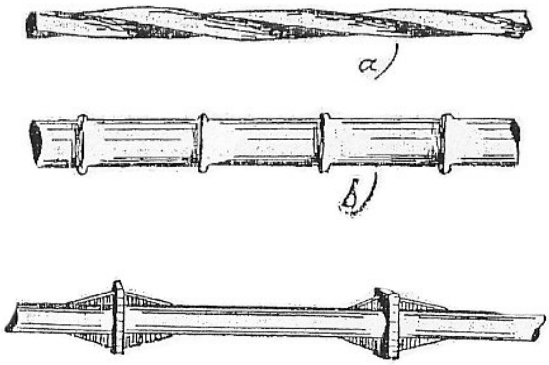


fig. 23: dettaglio dell'estremità dei ferri di armatura piegati a forma di uncino (da Arcangeli A., *Manuale pratico per l'impiego del cemento armato*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1919).

Come per i solai, anche per le armature si ebbe una fervida sperimentazioni che condusse all'introduzione sul mercato di svariate tipologie di ferri allo scopo di migliorare l'aderenza tra il ferro ed il calcestruzzo: furono, infatti, ideati dagli americani, ferri speciali caratterizzati da superfici scabre con incavi alternati da risalti. Il Tracher ed il Johnson proposero, infatti, ferri con rigonfiamenti in direzione alternata e barre con rilievi prismatici sulle quattro facce; il Ransone, ferri ottenuti per torsione da barre a sezione quadrata (fig. 24a); il Mensch, tondini con ondulazioni ad intervalli regolari (fig. 24b); il Trus-Con, aste cilindriche di acciaio dolce su cui erano fissati rigidamente, a distanza costante, dei dischi circolari o quadrati (fig 24); infine, il Porcheddu, in Italia, fece uso di alcuni speciali ferri concavi, sulle cui facce vi erano calettati dei risalti (fig. 25).



figg. 24: armature tipo *Ransone* (*a*) e tipo *Mensch* (*b*) (in alto); armatura tipo *Trus-Con* (in basso) (da Arcangeli A., *Manuale pratico per l'impiego del cemento armato*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1919).

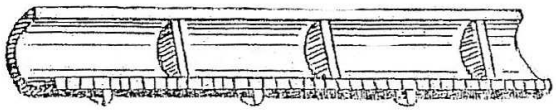


fig. 25: armatura utilizzata dal Porcheddu (da Arcangeli A., *Manuale pratico per l'impiego del cemento armato*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1919).

Altri costruttori idearono armature complesse di facile posa in opera. Tra le principali si ricordano quelle dell'Hyatt, che ispirandosi al brevetto *Monier*, ideò un'armatura metallica con barre a sezione rettangolare, munite di fori, entro i quali si facevano passare tondini di piccolo diametro costituenti l'armatura di ripartizione (fig. 26); quello del Cottancin che propose dei veri e propri reticolati costituiti da un tessuto fatto con una sbarra continua, ripiegata alle estremità (fig. 27); quello del

Kahn che usava barre a sezione quadrata con nervature laterali, ripiegate a 45° rispetto alle barre stesse, evitando così di eseguire la piegatura e riunendo in certo qual modo in un'unica armatura quella principale e le staffe (fig. 28).

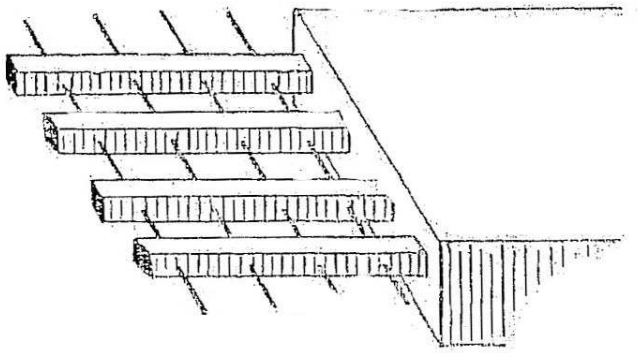


fig. 26: armatura tipo *Hyatt* (da Arcangeli A., *Manuale pratico per l'impiego del cemento armato,* Ulrico Hoepli Editore – Libraio della Real Casa, Milano 1919).

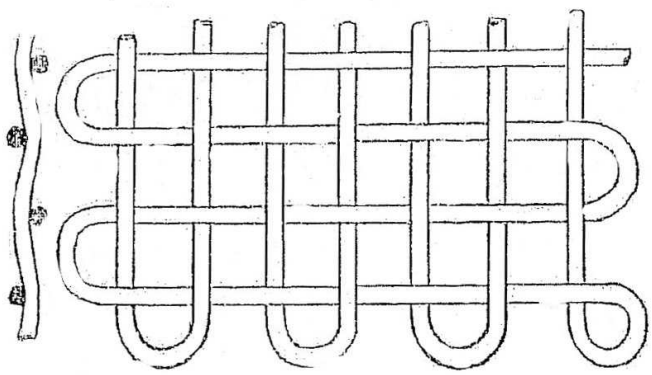


fig. 27: armatura tipo *Cottancin* (da Arcangeli A., *Manuale pratico per l'impiego del cemento armato,* Ulrico Hoepli Editore – Libraio della Real Casa, Milano 1919).

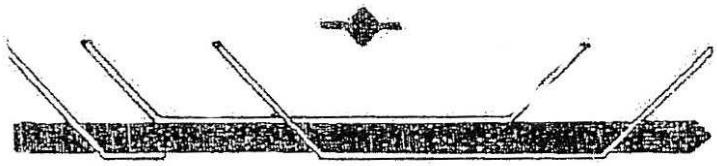


fig. 28: armatura tipo *Kahn* (da Arcangeli A., *Manuale pratico per l'impiego del cemento armato,* Ulrico Hoepli Editore – Libraio della Real Casa, Milano 1919).

Un'armatura speciale molto in uso per le costruzioni in calcestruzzo armato, perché di facile impiego e tale da garantire un'uniforme ripartizione del ferro nel calcestruzzo, era la lamiera stirata, *expanded metal*, di origine americana che si otteneva tagliando convenientemente e stendendo a freddo, per mezzo di appositi meccanismi, una lamiera di acciaio dolce, in maniera da formare un traliccio o reticolato rigido a maglie rombiche (fig. 29), che presentava una rigidezza nettamente maggiore di quella della lastra da cui era stata ricavata, sebbene coprisse una superficie da tre a dodici volte maggiore.

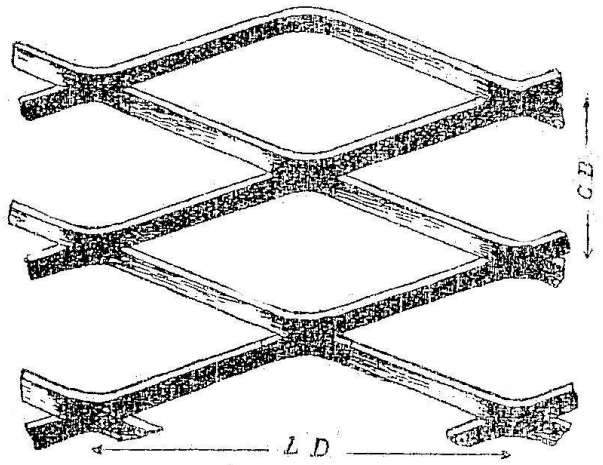


fig. 29: lamiera stirata, *expanded metal* (da Arcangeli A., *Manuale pratico per l'impiego del cemento armato,* Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1919).

Tale armatura offriva un coefficiente di aderenza di gran lunga superiore a qualsiasi altro tipo, essendo impossibile lo scorrimento delle maglie entro il calcestruzzo, e si prestava particolarmente bene, specialmente alla costruzione di solette semplici e di pareti sottili, come ad esempio i tramezzi; i tipi più leggeri venivano utilizzati come armatura d'intonaco.

Le lamiere stirate erano utilizzate anche per le costruzioni di solai, per i quali, detto *P* il carico proprio e sovraccarico per mq, *L* la luce, *H* lo spessore da assegnarsi alla soletta, *p* il peso per metro quadrato di lamiera stirata da impiegarsi come armatura, si utilizzavano le seguenti formule:

$$H = L^* (P/48)^{0.5} \text{ e } p=0,4^*H$$

Per il numero di fogli di lamiera stirata da inserire in un solaio si faceva riferimento a tabelle diffuse dagli stessi produttori che tenevano conto dell'ampiezza delle maglie, *CD* e *LD*.

L'aspetto negativo di questa tipologia di armatura si manifestava durante la preparazione, quando la lamiera veniva sottoposta a notevoli sforzi durante le operazioni di taglio e stiramento che ne pregiudicavano la resistenza e l'elasticità.

Nonostante il proliferare di tutte queste invenzioni, fu provato empiricamente che in costruzioni ben eseguite, risultava essere più che sufficiente l'aderenza che si aveva tra calcestruzzo e ferri tondi, i quali, rispetto ai tipi sopra descritti, offrivano il vantaggio di avere una maggiore regolarità nella loro costituzione fibrosa e garantivano un miglior contatto del calcestruzzo su tutta la superficie esterna e, quindi, risultavano anche maggiormente preservati dalla ruggine.

Staffe

Le staffe sono particolari ferri che vengono ancora oggi utilizzati per vincere gli sforzi di scorrimento particolarmente elevati alle estremità di travi e pilastri, ove è opportuno che siano dunque più numerose.

Nei primi solai in conglomerato cementizio armato non si riscontra sovente la presenza di staffe, in particolar modo nei solai a soletta piena, in quanto all'epoca si riteneva che gli sforzi di taglio fossero molto poco rilevanti; se ne ritrova la presenza nelle travature dei solai nervati, in quanto per la loro conformazione si riteneva che lo sforzo di taglio

potesse assumere valori molto elevati, che il solo calcestruzzo e i ferri rialzati non fossero in grado di sopportare.

Le staffe venivano costruite utilizzando tondini di ferro e la loro posa in opera doveva essere particolarmente curata in modo tale che gli estremi delle staffe terminassero nella zona compressa del calcestruzzo, per evitare che tali estremi potessero diventare sede di deformazioni nella parte tesa.

Piegatura dei ferri

I ferri venivano taglianti su misura, mediante l'utilizzo di cesoie, in base alle indicazioni contenute nei particolari costruttivi delle tavole di progetto.

Dopo il taglio, la piegatura dei ferri, in particolare per quelli di non grande diametro, veniva effettuata a freddo ed a mano su di un'apposita tavola (fig. 30), sulla quale erano conficcati dei perni in corrispondenza dei punti di piegatura; si doveva avere molta cura nell'eseguire tale operazione per non sfibrare il metallo.

Talvolta, per ferri di diametro maggiore o per economia di manodopera, si adoperavano speciali macchine piegatrici, con le quali si potevano piegare a freddo anche barre di 3 o 4 cm di diametro.

La mancanza in molti cantieri di macchine piegatrici portava nella pratica ad evitare l'impiego di ferri di diametro superiore a 16 mm[87].

[87] Zevi B. (a cura di), *op. cit.*, p. B 8.

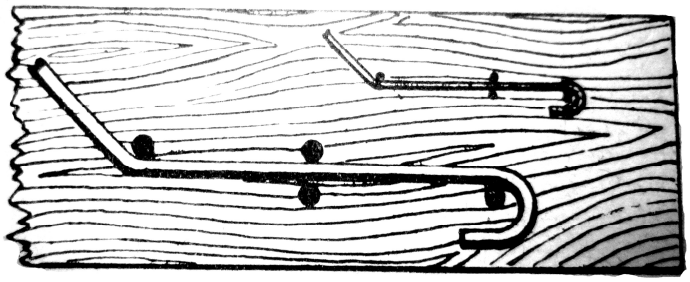


fig. 30: tavola utilizzata per la piegatura dei ferri (da Arcangeli A., *Manuale pratico per l'impiego del cemento armato,* Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1919).

Per le piegature dei ferri il Mörsch consigliava di adottare un raggio di curvatura pari a 13 volte il diametro del ferro (fig. 31).

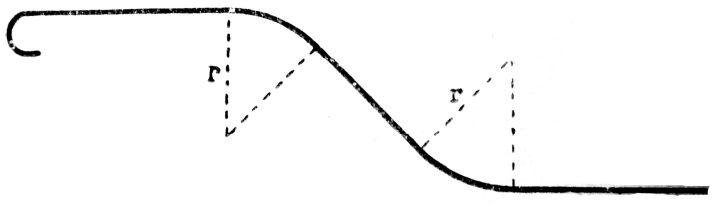


fig. 31: raggio di curvatura per le piegature consigliato dal Mörsch e pari a 13 volte il diametro del ferro (da Arcangeli A., *Manuale pratico per l'impiego del cemento armato,* Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1919).

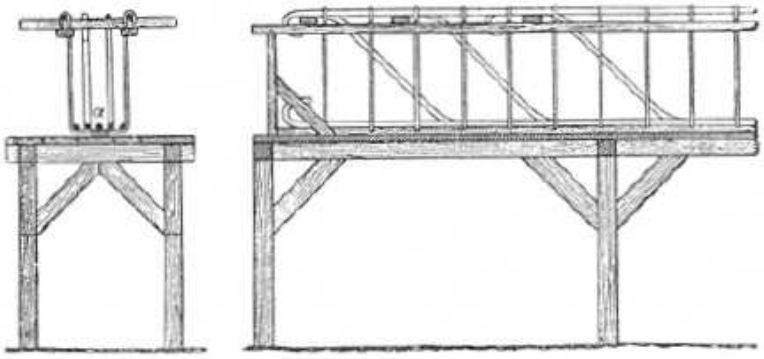
I ferri più comunemente utilizzati nelle ordinarie costruzioni in conglomerato cementizio armato dei primi del Novecento erano i seguenti:

- per le solette si avevano diametri di 6, 8 e 11 mm, le cui sezioni erano pari rispettivamente a 0,25, 0,50 e 1 cmq;

- per le piccole nervature si avevano diametri di 14, 16 e 20 mm, con sezioni di 1,50, 2 e 3 cmq;

- per le nervature principali si avevano diametri di 25 e 30 mm, per sezioni di 5 e 7 cmq.

Era buona norma utilizzare poca varietà di diametri nel corso dell'esecuzione di un'opera in modo da facilitare l'utilizzazione dei "ritagli" di barre.



figg. 32: schemi di un banco per l'assemblaggio delle armature (da Zevi B. (a cura di), *Il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma 2008).

Arrugginimento dei ferri

Inizialmente si credeva che il conglomerato preservasse completamente i ferri in esso immersi dalla ruggine: ciò in parte risultava vero se il ferro non fosse venuto mai a contatto con l'aria o con l'acqua, ma da studi empirici, invece, risultò già all'epoca che il calcestruzzo sovente si fessurava, provocando sulle sottostanti armature la formazione di uno strato di ruggine che aumentava col passare degli anni e che talvolta determinava anche l'espulsione di parti di calcestruzzo.

Si cominciarono, pertanto, a studiare diverse metodologie atte ad evitare la formazione di fessurazioni nel calcestruzzo al fine di ottenere una struttura compatta ed impermeabile.

Essendo, però, difficile evitare completamente tali microlesioni, si pensò di rivestire i ferri con malta di cemento puro o con altre sostanze che li preservassero dalla ruggine, come ad esempio il minio e il catrame e si cominciarono ad evitare gli impasti eseguiti con abbondante quantità d'acqua o poveri di cemento.

I sostegni e le casseforme per il getto

Trattando delle caratteristiche dei materiali costituenti i solai in conglomerato cementizio armato, dai quali dipendeva spesso la buona riuscita dell'intera costruzione, non si può non fare un breve cenno alle casseforme e ai sostegni utilizzati per il getto, in quanto contribuivano anch'essi alla perfetta riuscita dell'opera ed in più influenzavano sensibilmente il costo unitario del conglomerato cementizio armato a causa del grande quantitativo di legno che spesso era necessario per la costruzione di diversi elementi costruttivi, tra cui i solai con particolare riferimento alle tipologie a soletta piena e a soletta nervata (fig. 33).

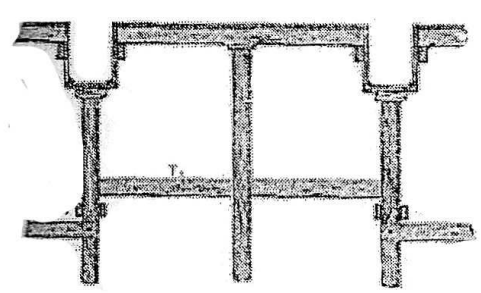


fig. 33: complicata cassaforma per il getto del solaio a nervature (da Levi C., *Manuale del capomastro assistente. I materiali da muro. Le macchine edili. Le opere di fabbrica*, Hoepli, Milano 1924).

Era impensabile, soprattutto all'epoca, il fare economia su questi elementi, in quanto è stato dimostrato empiricamente che avevano (ed hanno ancora oggi) una grande influenza sulla buona riuscita della costruzione; infatti, qualora fossero stati utilizzati sostegni di

insufficiente resistenza, il rischio sarebbe stato quello di produrre spostamenti e deformazioni alle membrature, poiché casseforme poco rigide potevano, infatti, con le loro vibrazioni, disturbare la regolare presa del calcestruzzo e, in taluni casi, comprometterne la resistenza; oltre il 50% dei disastri verificatisi nelle costruzioni in calcestruzzo armato dell'epoca, furono determinati da insufficienza di casseforme.

Gli elementi di cui si componevano le casseforme, utilizzate in Italia nei primi decenni del Novecento, per la costruzione di opere in conglomerato cementizio armato erano[88]:

- tavole di spessore da 2 a 3 cm e di larghezza variabile dai 10 ai 20 cm, denominate *assicelle* o comunemente tavole sottomisura, di qualità molto scadente, utilizzate principalmente per la costruzione delle pareti delle casseforme;

- tavoloni dello spessore da 5 a 7 cm, che prendevano il nome di *palancole*, che si adoperavano per i fondi delle casseforme delle travi o dei travetti, per gli impalcati delle solette e per i sostegni;

- per le armature di sostegno e per le impalcature si utilizzavano invece i cosiddetti *travicelli*, già utilizzati nella costruzione di solai in legno, definiti anche *murali* o *sostacchine*, ecc.

Tali elementi sono ancora ad oggi correntemente in uso sui nostri cantieri e conservano grossomodo anche la stessa denominazione.

Nella preparazione delle casseforme occorreva, tuttavia, riservarsi la possibilità di eseguire disarmi parziali e di recuperare agevolmente il

[88] Arcangeli A., *op. cit.*, p. 48.

legno impiegato, in modo da poterlo riutilizzare successivamente per formare le casseforme di elementi simili.

Generalmente, allo scopo di limitare l'impiego del legno ed anche di facilitare l'indurimento del calcestruzzo, si disarmavano le fiancate delle casseforme a 2-4 giorni dal getto, lasciando tutti i restanti elementi fino ad una sufficiente maturazione del calcestruzzo. Occorreva, pertanto, eseguire i collegamenti in modo da poter togliere le fiancate senza muovere le altre parti e senza dover imprimere urti o scosse alla costruzione ancora fresca.

Le casseforme venivano costruite accostando semplicemente le tavole l'una all'altra senza *immaschiettatura*[89] o sovrapposizione a mezzo legno, ma badando che la connessione fosse sufficientemente chiusa così da non lasciar sfuggire la malta di cemento ed unendole con traverse chiodate; per dette traverse si usavano i "ritagli" delle stesse tavole.

Per i puntelli si adoperavano generalmente le *sostacchine* od altri legni consimili di maggiore o minore robustezza, a seconda dei pesi che dovevano sostenere, e di solito si formavano con esse delle stampelle; per i sostegni intermedi, meno importanti, si adoperavano invece delle semplici *palancole* in piedi.

Tutti i puntelli venivano sempre poggiati al piede su legni orizzontali, *dormienti*, atti a ripartire la pressione per evitare l'affondamento del puntello stesso nel terreno o, qualora il puntello

[89] *Ivi*, p. 49.

appoggiasse su di un sottostante solaio, per non avere un pericoloso carico concentrato su questo.

Tra il dormiente e il puntello era sempre opportuno collocare dei cunei ben rinzeppati per facilitare il disarmo della costruzione. Tutta l'armatura di sostegno doveva poi essere irrigidita mediante l'unione di tutti i puntelli, nei due sensi, con croci di Sant'Andrea formate generalmente da tavole, e doveva essere ispezionata e sorvegliata di continuo durante l'esecuzione dei getti, specialmente se si trattava di opere importanti e di notevole peso.

Per i solai a soletta e nervature poco pesanti, per i quali non occorrevano sostegni molto ravvicinati (fig. 34), si costruivano i fondi delle nervature con *palancole* e le fiancate al solito con *assicelle*. Lungo queste fiancate venivano disposti correnti sui quali trovavano appoggio i travetti che sostenevano il tavolato di fondo della soletta ed erano generalmente costituiti da *palancole* disposte con un interasse pari a 65 cm.

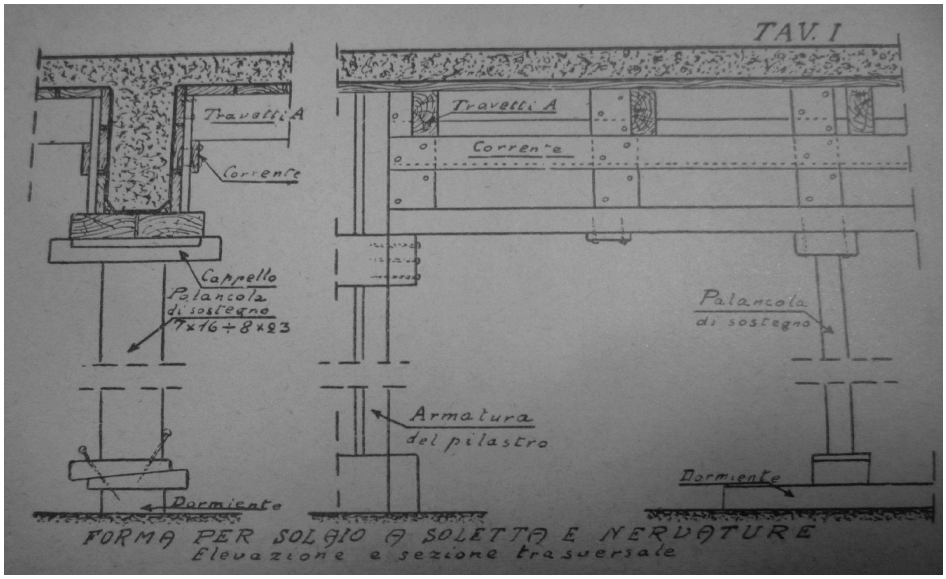


fig. 34: casserature di un solaio a soletta e nervature (da Arcangeli A., *Manuale pratico per l'impiego del cemento armato*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1928).

Per gli orizzontamenti di costruzione più complessa ovvero sollecitati a carichi più elevati, si adottavano invece disposizioni particolari, del genere di quella rappresentata in figura (fig. 35), nella quale si praticava un collegamento della cassaforma della nervatura secondaria, caratterizzate da *palancole* più robuste, con quella della nervatura principale, che presentava sostegni costituiti da *stampelle* od anche, se necessario, da puntelli doppi controventati tra loro con *assicelle*.

Le pareti laterali erano costituite da tavole mentre le singole assi erano tenute insieme da listelli trasversali. Le tavole laterali possedevano una discreta capacità portante e pertanto venivano utilizzate come

appoggio per l'orditura di sostegno dei piani di getto dei solai. A tale scopo veniva fissato in alto sui listelli un'asse orizzontale sulla quale venivano poggiati gli estremi dei travetti. A seconda della luce dei solai, questi elementi erano supportati in punti opportuni mediante puntelli.

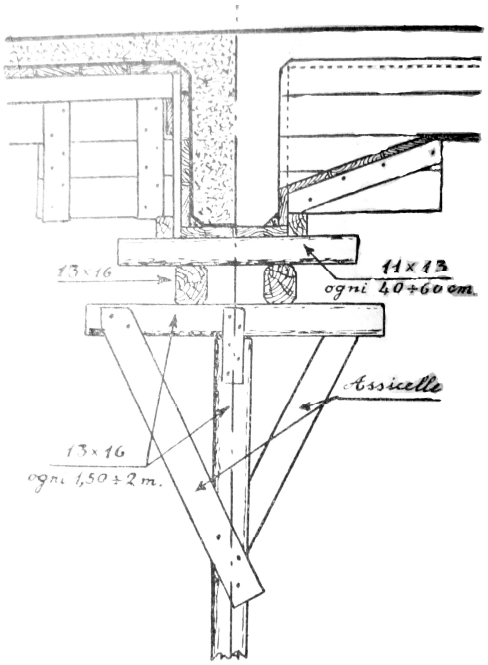
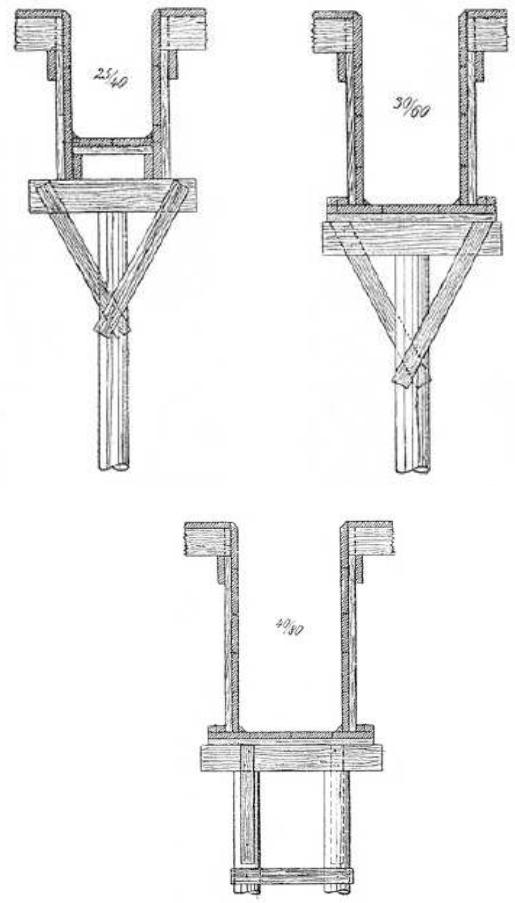


fig. 35: particolare di una casseratura lignea di un solaio nervato e del relativo sostegno (da Arcangeli A., *Manuale pratico per l'impiego del cemento armato,* Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1928).



figg. 36: sezioni di casseri di nervatura di diversa grandezza e loro rispettiva armatura di sostegno (da Zevi B. (a cura di), *Il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma 2008).

Il tavolato era tenuto insieme e collegato con fasciature esterne in legname o anche da sottili strisce in ferro, *mojette*, disposte a distanza opportuna onde evitare che le travi si inflettessero sotto il peso o sotto il carico del getto di calcestruzzo.

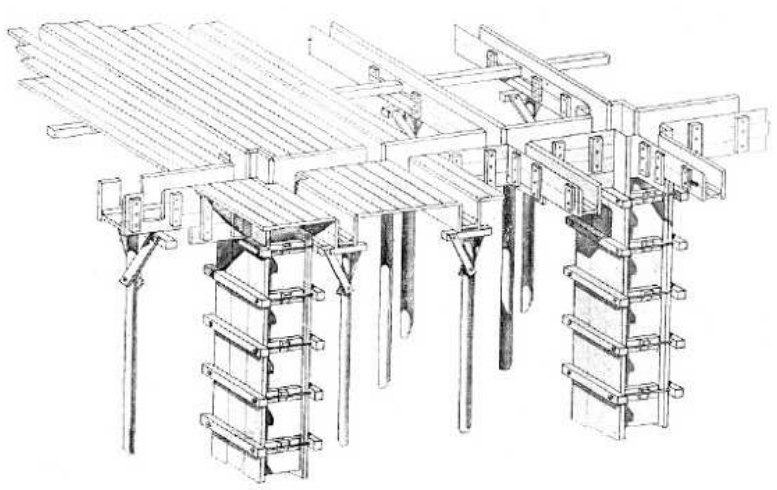


fig. 37: complessa cassaforma per la realizzazione di solai latero-cementizi gettati in opera (da Guerra C., *Architettura Tecnica - Lezioni parte prima - Tavole*, Tipografia Giannini, Napoli 1934 , XIII e. f.).

Si ovviò a questi sistemi così complessi formando i solai con laterizi forati e struttura in calcestruzzo armato. I laterizi forati venivano disposti in piano nella parte inferiore della struttura ed in modo che tra laterizio e laterizio si potessero ricavare travetti resistenti che venivano poi collegati da una soletta che si estendeva al di sopra dei laterizi: con questo sistema l'armatura si riduceva ad un semplice tavolato piano, sul quale si disponevano opportunamente i laterizi, e la spesa delle casseforme in legno per ottenere le travi e la soletta dei comuni solai veniva così ridotta al minimo. L'unico accorgimento era quello di praticare un inspessimento in corrispondenza di eventuali pilastri di modo che la struttura potesse meglio resistere agli elevati sforzi di taglio che si manifestavano in quella zona.

Non essendo tuttavia molto diffuso l'uso di distanziatori dei ferri dalle casseforme, era frequente, soprattutto nelle solette e nelle strutture sottili, la presenza di copriferri insufficienti, fattore che ha comportato nel tempo gravi problemi di durabilità dei manufatti.

Si riportano in tabella, per completezza di trattazione, le dimensioni minime dei travetti in relazione alla portata e allo spessore della soletta (tab. 7).

Spessore della soletta	***Portata dei travicelli in metri***				
	1,50	***2,00***	***2,50***	***3,00***	***3,50***
cm	*cm*	*cm*	*cm*	*cm*	*cm*
8	7x13	7x15,5	7x17	8x20,5	8x23
10	7x13	7x15,5	7x18	8x20,5	8x23
12	7x13	7x15,5	8x20,5	8x23	-
14	7x13	7x17	8x20,5	8x23	-
16	7x13	7x18	8x20,5	-	-
18	7x15,5	7x20,5	8x23	-	-
20	7x15,5	7x20,5	8x23	-	-
22	7x15,5	7x20,5	8x23	-	-
24	7x15,5	7x20,5	-	-	-

tab. 7: dimensioni dei travicelli utilizzati nelle casserature per la realizzazione di solette (da Arcangeli A., *Manuale pratico per l'impiego del cemento armato*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1928).

Evoluzione tecnologica dei solai in calcestruzzo armato

"Nella prima metà del Novecento si conducevano in Italia le prime sperimentazioni sui nuovi materiali e quindi sulle nuove tecniche costruttive, con i primi esempi, soprattutto nell'Italia settentrionale, di impiego del calcestruzzo armato in sostituzione delle vecchie strutture in muratura portante; ciò che mancava, però, era essenzialmente l'esperienza nell'uso di questa nuova tecnologia nel campo pratico delle costruzioni. Mentre lo sviluppo tecnologico continuava nelle scuole di Applicazione per Ingegneri, che andavano istituendo i primi corsi di "Tecnica delle costruzioni" accanto ai corsi di "Scienza e Meccanica delle Costruzioni", l'uso del calcestruzzo armato si diffondeva tra le imprese e i tecnici italiani, stimolando l'emanazione di una serie di norme e prescrizioni tecniche a livello nazionale.

Sviluppato il congegno ed il funzionamento combinato armatura metallica-calcestruzzo in una visione più ampia, la sperimentazione brevettuale si andava concentrando, in genere, sullo studio dei singoli elementi costruttivi, come ad esempio i solai a soletta piena o nervata o misti, che avevano affiancato e quasi del tutto sostituiti gli elementi costruttivi propri della tradizione edilizia. I nuovi studi avevano portato, infatti, alla realizzazione delle prime travi prefabbricate e all'introduzione dei primi solai latero-cementizi, preferiti ai più pesanti solai a soletta piena o a quelli con nervature, che presentavano non poche difficoltà nella fase esecutiva. Due furono le principali strade seguite nell'evoluzione della tecnologia costruttiva dei solai: una industriale, con la fabbricazione di travi in officina, e l'altra in opera,

con la grande proliferazione di brevetti di solai misti latero-cementizi, che in Italia diede nuovo vigore all'industria dei laterizi, già fortemente attiva nella fornitura di mattoni per solai con poutrelles in ferro.

Nei primi decenni del secolo scorso, i solai cementizi furono frequentemente impiegati come orizzontamenti negli edifici in muratura portante, costituendo un buon collegamento delle strutture in elevazione e consentendo di ottenere, attraverso i cordoli in calcestruzzo armato, una buona distribuzione del carico" [90].

I solai in calcestruzzo armato rappresentarono una svolta evolutiva di fondamentale importanza nell'edilizia, sia negli edifici in muratura, nei quali assicuravano il collegamento delle strutture di elevazione e la distribuzione uniforme del carico attraverso i cordoli in conglomerato cementizio armato, che nelle strutture intelaiate nelle quali, per la completa solidarietà fra i vari componenti costruttivi, essi collaboravano intimamente alla resistenza del complesso. Negli edifici in muratura portante, i cordoli venivano disposti per l'intero spessore della muratura ed erano realizzati con la stessa altezza dei solai e con un'armatura doppia simmetrica; nelle strutture a scheletro indipendente in calcestruzzo armato i solai collegavano trasversalmente le travi, cui erano perfettamente incastrati, collaborando alla resistenza delle stesse.

La grande diffusione dei solai con elementi portanti in conglomerato cementizio armato fu dovuta ad una serie di vantaggi che subito si erano

[90] Miccio G., Ribera F., *Sviluppo edilizio e tecniche costruttive a Salerno tra le due guerre* in AA.VV., "Salerno, Il Palazzo di Città", Paparo Edizioni, 2010, pp. 97-98.

palesati con le prime costruzioni realizzate in Europa e in Italia tra la fine dell'Ottocento e gli inizi del Novecento.

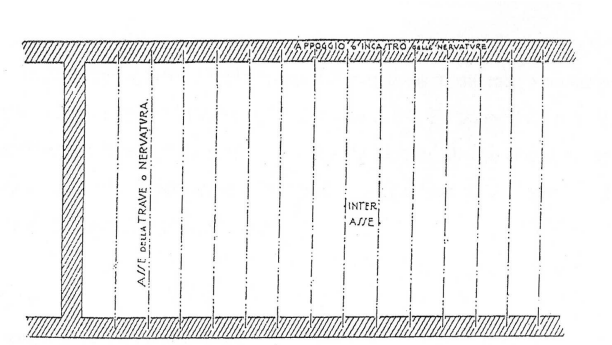
Si era riscontrata, infatti, una riduzione dei costi di realizzazione e dei tempi rispetto all'esecuzione mediante l'utilizzo dei materiali tradizionali, quali legno e/o acciaio, in particolare quando si trattava di coprire ambienti di grandi luci e soggetti a carichi elevati. L'impiego del calcestruzzo, poi, si dimostrava particolarmente vantaggioso per i requisiti di impermeabilità, igienicità, adattabilità e monoliticità e si riteneva rendesse immune dalla ruggine e dal fuoco l'armatura in esso annegata, risolvendo così i problemi che affliggevano da sempre gli orizzontamenti realizzati in legno e ferro.

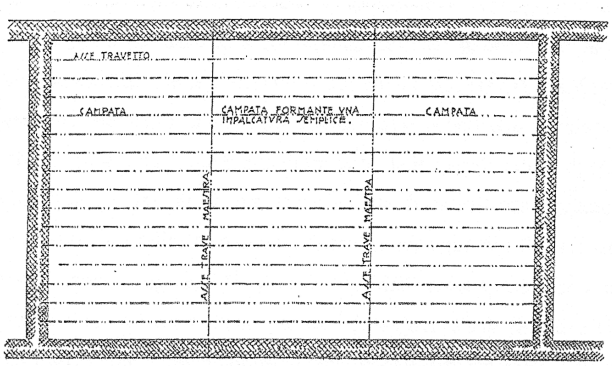
Altri vantaggi, noti a seguito di studi ma soprattutto di esperimenti svolti in un clima di grande fermento culturale e che contribuirono a promuovere oltremodo la diffusione dei solai in conglomerato cementizio armato, derivarono dall'assenza di spese di manutenzione ordinaria, necessarie, invece, per i tradizionali orizzontamenti in legno e in ferro, e dalla circostanza che i carichi accidentali non gravavano più solo sulla parte di elemento strutturale direttamente sollecitata, quale ad esempio il singolo travetto, ma, grazie alla soletta di ripartizione, venivano distribuiti su una zona più estesa del solaio, evitando danni localizzati e crolli imprevisti.

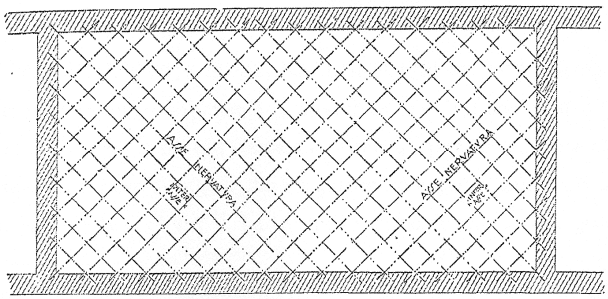
Per tutte queste ragioni, sull'onda dell'entusiasmo, il solaio in calcestruzzo armato venne ritenuto all'inizio "eternamente duraturo", anche se, non molto dopo, cominciarono a palesarsi tutta una serie di problematiche legate a fattori estetici e più tardi anche strutturali.

Per i solai in conglomerato cementizio armato, più comunemente utilizzati nell'edilizia italiana dei primi decenni del Novecento, una prima classificazione può riguardare la modalità di orditura ovvero l'orientamento dei travetti, seguendo la trattazione fornita dal Formenti nel suo testo (figg. 38):

- schema di impalcatura semplice a travi parallele;
- schema di impalcatura composta da travi maestre e travetti;
- schema di impalcatura con nervature incrociate diagonalmente.







figg. 38 (immagini pp. 163 e 164): schema di impalcatura semplice a travi parallele (in alto, alla pagina precedente); schema di impalcatura composta da travi maestre e travetti (in basso, alla pagina precedente); schema di impalcatura con nervature incrociate diagonalmente (in alto) (da Formenti C., *La pratica del fabbricare*, Hoepli, Milano 1893).

Altra classificazione, maggiormente diffusa e più completa ed esaustiva, è quella nella quale si evidenziano gli aspetti che hanno prodotto l'evoluzione storica degli orizzontamenti in conglomerato cementizio armato, partendo dai primi solai a soletta piena, passando per quelli con nervature, fino ad arrivare a quelli latero-cementizi, sottolineandone le caratteristiche dimensionali, materiche e tecnologiche (fig. 39).

- **solai monolitici**
    - soletta piena
        - monodirezionale
        - bidirezionale
    - soletta nervata
        - monodirezionale
        - bidirezionale

- **solai misti in calcestruzzo armato e laterizi**
  - solai misti gettati in opera
  - solai misti con travetti prefabbricati.

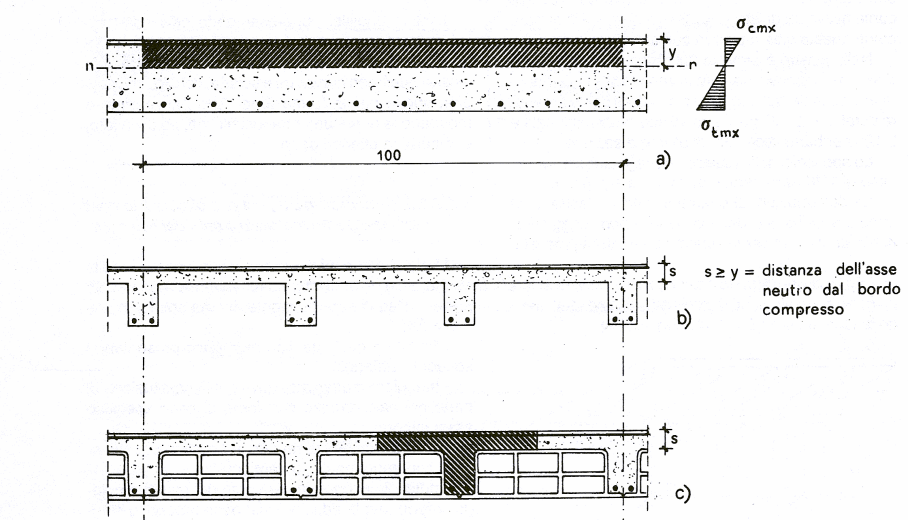


fig. 39: schema di sintesi dell'evoluzione storica degli orizzontamenti in conglomerato cementizio armato (da Caleca L., *Architettura Tecnica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2007).

I solai monolitici del tipo a **soletta piena** rappresentarono le prime espressioni dei solai in calcestruzzo cementizio armato e vennero realizzati per luci fino a 4,00 m; essi presentavano uno spessore minimo pari ad 1/25 della luce con una soletta di dimensione variabile dai 5 agli 8 cm.

Il Rosci nel "*Manuale pratico di volgarizzazione del calcolo del cemento armato"* affermava, infatti, che lo spessore della soletta, stando alle prescrizioni del Regio Decreto del 29 luglio 1933, n. 1213, non

doveva essere inferiore ad 1/25 della luce del vano da coprire ed, in ogni caso, non inferiore a 7 cm, valore quest'ultimo che poteva ridursi fino ad un massimo di 5 cm per i solai speciali con elementi laterizi.

"I ferri che si calcolano sono quelli da disporre lungo il senso della portata e si chiamano ferri di resistenza. Per solette di un certo spessore si rialzano generalmente uno sì, uno no agli estremi una metà circa delle barre e si completa l'armatura nella sezione d'incastro mediante spezzoni" [91].

Ai suddetti ferri si aggiungevano poi, superiormente e trasversalmente, altri ferri più radi e di diametro minore, che venivano denominati ferri di ripartizione perché servivano per l'appunto a ripartire gli sforzi su tutta la soletta, collegando tra di loro i ferri di resistenza.

Questa disposizione di armatura era valida nel caso dei solai di forma quadrata che si armavano nei due sensi paralleli ai lati; la stessa disposizione di armatura poteva essere adottata anche per i solai di forma rettangolare fino a quando, però, "*il lato più lungo non sorpassi di 2/3 quello più corto e cioè fino al rapporto, fra lati, di 3 a 5 e non oltre"* [92].

Il Regio Decreto del 1933 prescriveva, inoltre, che per solette di forma quadrata, l'armatura doveva essere uguale per entrambe le direzioni; per solette di forma rettangolare, invece, l'armatura longitudinale non doveva essere inferiore a quella trasversale "*ridotta nel rapporto del quadrato del lato minore a quello maggiore"* [93].

---

[91] Rosci L., *op. cit.*, pp. [133-139].
[92] *Idem.*
[93] *Idem.*

L'incastro delle solette con la muratura perimetrale non doveva, infine, mai essere inferiore a due volte e mezzo lo spessore del conglomerato.

Da altri manuali dell'epoca si evince che l'armatura principale di una soletta, era formata da ferri retti sagomati, posti inferiormente in mezzeria e rialzati con piegatura a 45° in prossimità degli incastri, e monconi superiori agli appoggi, al fine di assorbire gli sforzi di taglio (motivo per cui non si riteneva necessario l'inserimento di staffe); i ferri dovevano essere distanziati tra loro di circa 1,5 volte lo spessore della soletta e comunque non più di 15 cm.

La percentuale di armatura longitudinale, nella zona tesa, riferita alla sezione rettangolare di calcestruzzo, doveva essere convenientemente diffusa e non inferiore a 0,25.

A questa doveva essere aggiunta un'armatura secondaria di ripartizione, non inferiore al 20% di quella principale ed ortogonale ad essa, costituita da tondini di diametro ø6-8 mm, distanziati di 25-30 cm, posti in prossimità dell'estradosso della soletta.

Ove vi era la presenza di carichi concentrati si provvedeva a disporre ulteriori ferri e, in prossimità degli appoggi, si disponeva un'armatura inferiore aggiuntiva, convenientemente ancorata, in grado di assorbire le sollecitazioni da taglio.

Sia per le solette quadrate che per quelle rettangolari, le armature si potevano disporre ortogonalmente tra loro (armature incrociate) e lo spessore della soletta poteva raggiungere un minimo di 1/40 della luce, ma mai inferiore agli 8 cm; "*nel calcolo o si consideravano tutti i ferri*

collaboranti alla resistenza o si faceva affidamento solo su quelli disposti parallelamente al lato minore mentre agli altri si affidava la ripartizione dello sforzo"[94].

Il Donghi nel 1906 affermava che "*gli spessori dei solai in cemento armato e le dimensioni dei ferri* [d'armatura] *variano a seconda della luce e dei carichi che il solaio è destinato a portare"* ed anche che *"i solai semplici e* [senza nervature principali] *fino a 4 ed anche 5 metri di portata, hanno grossezze da 10 a 12 cm"* [95].

Un vantaggio degli orizzontamenti a soletta piena era quello di non essere più obbligati ad una uniformità di interasse, difatti le travi potevano disporsi come il progettista meglio riteneva opportuno, in funzione dei sostegni verticali, poiché la soletta poteva essere realizzata delle dimensioni che occorrevano.

Il primo esempio di solaio in conglomerato cementizio armato a soletta piena costruito in Europa, tra la fine dell'Ottocento e gli inizi del Novecento, può essere considerato quello realizzato con il sistema *Monier*, che prevedeva una lastra di calcestruzzo, detta soletta, di spessore solitamente limitato, caratterizzata da una leggera armatura metallica sulla faccia inferiore, costituita da una doppia serie di sottili barre di ferro generalmente a sezione circolare (altrimenti quadrata o rettangolare o anche a forma di T, V, A, L), disposte una sull'altra ortogonalmente e bloccate agli incroci da fili di ferro.

---

[94] Catalano A., *Le coperture ed i solai negli edifici antichi* in De Sivo B., "Il restauro degli edifici in muratura. La formazione del Direttore dei Lavori di recupero", Dario Flaccovio, Palermo 1992, p. 96.

[95] Donghi D., *op. cit.*, p. 234.

Tale struttura si presentava per la sua resistenza, speditezza e facilità di lavoro, molto conveniente, tanto da poter essere impiegata in sostituzione delle tradizionali voltine di cotto, all'epoca molto utilizzate.

Per quanto riguardava la composizione, l'ingegnere Vacchelli indicava "*per spessori piccoli 1 volume di cemento per 3 a 5 di sabbia e ghiaia; per spessori maggiori 1 di cemento per 5 fra sabbia e ghiaia. Per strutture leggere 1 di cemento 1 di sabbia e 4 a 5 di scorie"* [96].

Dal punto di vista strutturale, sempre secondo quanto riportato dai sopra citati manuali, la soletta aveva uno spessore compreso tra i 4 e i 20 cm ed era armata con barre tonde del diametro di 4-5 mm, di passo variabile a seconda delle esigenze (6-10 cm) e con copriferro di circa 15 mm, disposte perpendicolarmente tra loro; per solette alte e fortemente sollecitate si prevedeva l'impiego di due o più reticolati metallici sovrapposti in due e in tre piani[97].

In presenza di forti carichi accidentali, le due orditure di ferri avevano sezione diversa: quella superiore aveva diametro pari a 5 mm, l'altra dipendeva dalla luce.

Nel suo testo l'ingegnere Vacchelli, invece, distingueva la maglia metallica in ferri *a* (inferiori) e ferri *b* (sovrapposti ai precedenti) (fig. 40), sempre tondi e differenti a seconda della dimensione della sezione."[…] *Le sbarre a sono distanti da 5 a 10 cm, sono di diametri variabili col carico che la lastra è destinata a sopportare,* [mentre] *le sbarre b sono sempre poste alla stessa distanza ed hanno diametri da 3 a*

[96] Vacchelli G., *op. cit.*, p. 257.
[97] *Ivi*, p. 256; Donghi D., *op. cit.*, p. 385.

6 mm. I due sistemi di sbarre sono legati agli incroci con filo di ferro di 1 mm"[98].

Successivamente si ebbe che il passo della maglia e la dimensione dei ferri di ripartizione furono ridotti rispetto a quella dei ferri "strutturali".

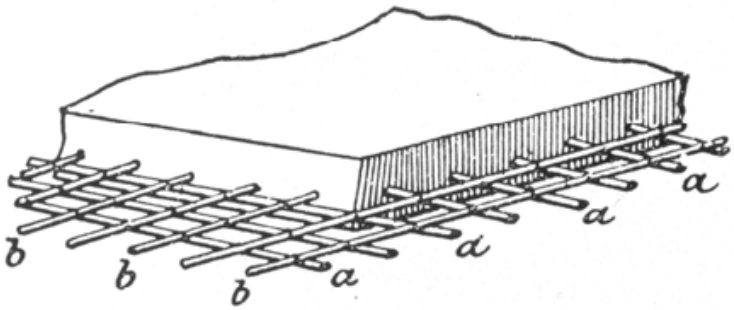


fig. 40: soletta in calcestruzzo armato realizzata con il sistema *Monier* (da Vacchelli G., *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*, Hoepli, Milano 1900).

Dagli studi condotti non sembrano esistere calcoli circa il dimensionamento delle strutture realizzate secondo questo brevetto, che era basato solo ed esclusivamente su risultati di natura empirica.

Per luci maggiori lo spessore delle solette monolitiche sarebbe risultato troppo elevato, per cui i solai a soletta piena furono sostituiti con quelli definiti comunemente a **soletta nervata**, caratterizzati da nervature, all'interno delle quali trovava ubicazione l'armatura, collegate tra loro da una sottile piastra di calcestruzzo nella quale veniva disposta un'armatura di ripartizione.

[98] Vacchelli G., *op. cit.*, p. 256.

Altro motivo fondamentale, che determinò il passaggio dai primi solai a soletta piena a quelli a soletta nervata, fu che gli studiosi dell'epoca cominciarono ad assimilare il solaio ad una trave inflessa a sezione rettangolare, che presentava in mezzeria sollecitazioni di compressione nella parte superiore all'asse neutro e sollecitazioni di trazione nella parte inferiore; il calcestruzzo, non resistente a trazione, risultava superfluo nella parte inferiore in quanto esso aveva solo funzione di collegamento tra i ferri tesi inferiori e il calcestruzzo superiore e, pertanto, si pensò di raggruppare i ferri tesi in nervature parallele, collegate tra loro da una soletta armata nella quale veniva disposta un'armatura di ripartizione.

Ne esistevano due varianti: solai monolitici a **soletta nervata monodirezionale** e a **soletta nervata bidirezionale**[99]; questi ultimi, definiti a nervature incrociate, formavano un vero e proprio cassettonato e si prestavano ottimamente per la copertura di ambienti a pianta quadrata o rettangolare non molto allungata.

I **solai a soletta nervata monodirezionale** avevano le armature principali, caratterizzate da ferri diritti e ferri sagomati posti inferiormente in mezzeria e rialzati con piegatura a 45° in prossimità degli incastri, disposte lungo il lato minore e poste ortogonalmente ai sostegni, muri o travi; il numero di nervature, di altezza compresa tra 1/8 e 1/12 della luce, e l'interasse tra le stesse dipendeva dalla luce da

[99] I solai possono definirsi monodirezionali quando poggiano su muri o travi paralleli e il loro comportamento statico può essere schematizzato da una serie di travetti tra loro paralleli; sono bidirezionali quando l'armatura viene disposta in direzione dei due assi, in maniera che i carichi di flessione siano equamente ripartiti.

coprire: ad esempio, in un solaio della luce di 6,00 m, si disponevano 4 nervature poste ad un interasse di 1,50 m.

Il Colombo nel *"Manuale dell'ingegnere civile ed industriale"* definiva i solai con nervature come "*solai formati da solette e travi*, [che erano da utilizzarsi quando] *la portata del solaio era maggiore di 4 m"*[100].

Si è riscontrato in tale tipologia di solai la completa assenza di staffe in quanto non vi era spazio a sufficienza per il loro inserimento; per sopperire a ciò spesso si era soliti allargare le nervature alle estremità di modo che il calcestruzzo offrisse resistenza agli sforzi generati dalle sollecitazioni da taglio ed alle sollecitazioni di compressione che, in prossimità dell'incastro, interessano le fibre inferiori (fig. 41).

Talvolta si aveva anche la realizzazione di un cordolo di ripartizione, posto ortogonalmente alle nervature, che aveva la funzione di ripartire i carichi concentrati su più di un travetto.

[100] Colombo G., *Manuale dell'ingegnere civile e industriale*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1920, pp. [186-190].

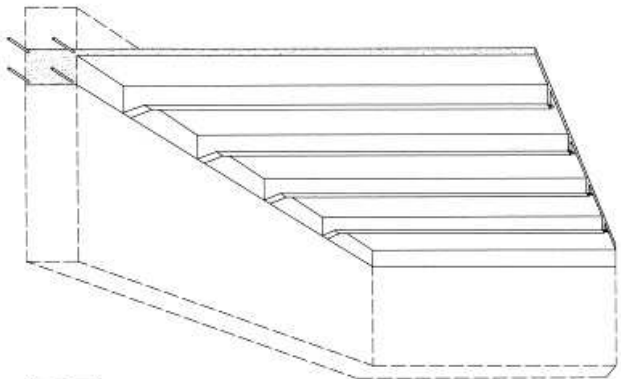


fig. 41: solaio a nervature parallele con allargamento della sezione all'appoggio (da Zevi B. (a cura di), *Il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma 2008).

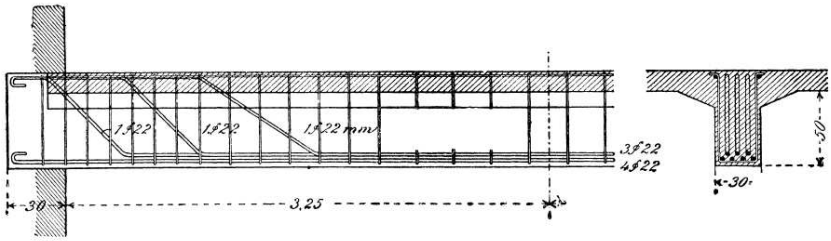


fig. 42: disposizione dei ferri in una nervatura semplicemente appoggiata. Le armature superiori ed inferiori risultavano ancorate solo con un semplice uncino. Le staffe non erano presenti nelle sezioni simmetriche a ridosso della mezzeria. Le svasature di raccordo tra trave e soletta non presentavano armatura all'interno (da Zevi B. (a cura di), *Il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma 2008).

La costruzione di un **solaio a soletta nervata bidirezionale** prevedeva come punto di partenza la costruzione di un cassettone di legno (o forma) e di una solida armatura atta a sostenerlo unitamente al peso di tutta la costruzione di getto. Costruito il cassettone, si procedeva col collocare le armature delle nervature principali e successivamente si gettavano le nervature inferiori fino a raggiungere la superficie del lastrone orizzontale formante il pavimento; si collocavano, poi, i tondini di ferro, costituenti l'armatura di ripartizione del lastrone orizzontale, e si completava il tutto con il getto di quest'ultimo. Dopo una settimana, avevano inizio le operazioni di disarmo cui seguivano le lavorazioni connesse alla finitura che interessavano i diversi elementi.

Per i solai a soletta rinforzata da doppie nervature, utilizzati per coprire luci di 6,00-7,00 m, si determinava prima lo spessore da assegnare alla soletta, calcolata come se fosse semplice, "*considerandola di portata all'interasse fra due nervature contigue che, ordinariamente, si tiene fra 2,5 m e 3,5 m*"[101], e la si poneva in opera con le stesse modalità già descritte per i solai monolitici con armatura parallela o incrociata. Essi, oltre alla soletta, presentavano nervature principali, paragonabili alle travi maestre dei solai ad orditura composta, che avevano generalmente sezione rettangolare, preferibilmente alta e stretta oppure leggermente trapezia rastremata verso il basso per facilitare il disarmo dei casseri, di altezza pari a 1/20 della luce del vano da coprire e disposte secondo il lato corto della pianta, cui erano ortogonalmente

[101] Rosci L., *op. cit.*, pp. [133-139].

ordite le nervature secondarie, poste ad un interasse variabile tra 1,50 e 3,00 m. *"Tuttavia affinché vi fosse uno sfruttamento razionale delle nervature nelle due direzioni ortogonali, occorreva che il rapporto tra i lati dell'ambiente coperto non risultasse maggiore di 1,2-1,3: in caso contrario la maggior parte dei carichi veniva assorbita dalle nervature di lunghezza minore, e quelle ortogonali finivano per assumere una semplice funzione di irrigidimento e di ripartizione"*[102].

Dette nervature, che per la partecipazione della soletta assumevano la forma a T o ad L rovescia, si incastravano alla muratura perimetrale per 30-50 cm (fig. 44).

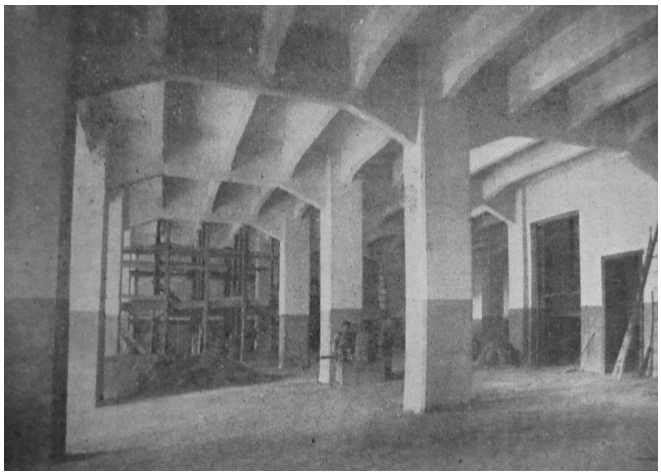


fig. 43: immagine dei magazzini di juta e cotone costruiti a Napoli dalla Società Anonima Romana Cemento Armato per conto del Genio Civile. Gli ambienti sono coperti da un solaio in conglomerato cementizio armato a nervature incrociate (di luce pari a 6,00 m nel senso longitudinale e 5,25 m in quello trasversale), che presenta un aumento di sezione in prossimità degli appoggi (da Vacchelli G., *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*, Hoepli, Milano 1900).

[102] Catalano A., *op. cit.*, p. 98.

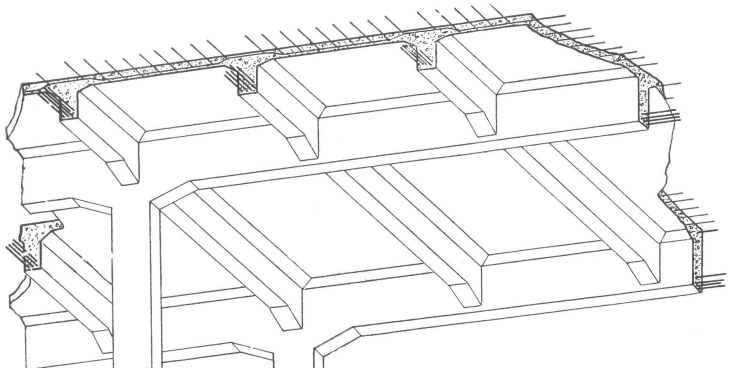
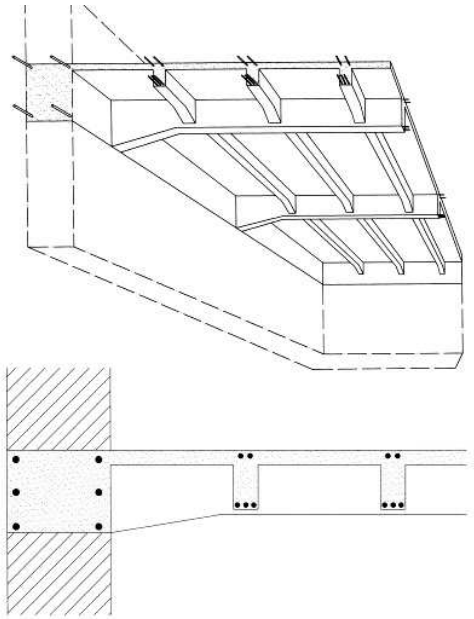


fig. 44: solaio in calcestruzzo armato con soletta, nervature principali e secondarie (da Guerra C., *Architettura Tecnica - Lezioni parte prima - Tavole*, Tipografia Giannini, Napoli 1934, XIII e. f.).



figg. 45: solaio a nervature incrociate con allargamento della sezione all'appoggio e dettaglio delle armature (da Zevi B. (a cura di), *Il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma 2008).

Camillo Guerra affermava che *"norme fisse* […] *per la suddivisione della pianta di un ambiente con travi maestre e secondarie e per stabilire interasse delle nervature, non ve ne sono. Si può stabilire l'interasse delle travi secondarie, lo spessore che* […] *deve assegnarsi alla soletta e cioè 1/25 della luce e come minimo 8,5 cm.* […]. *Per queste ragioni l'interasse delle nervature non dovrebbe superare i 2 m*"[103]. L'armatura di ripartizione era caratterizzata da 3 tondini del diametro di 6 mm per ogni metro di portata della soletta; importante era l'accorgimento che prevedeva l'inserimento di barre di ricoprimento disposte vicine tra loro e perpendicolarmente alle nervature per meglio assicurare la compartecipazione della soletta all'inflessione delle stesse; venivano, a tale scopo, posti in opera, nella parte superiore della soletta, spezzoni del diametro di 6-7 mm e della lunghezza di 1,00 m, distanti 10-15 cm l'uno dall'altro.

Lo spessore del copriferro, inoltre, non doveva essere inferiore a 2 cm per le travi e 0,8 cm per la soletta.

Contrariamente ai solai a soletta nervata monodirezionale, nei solai nervati bidirezionali si aveva sovente l'inserimento delle staffe, dovuto all'esigenza di migliorare il collegamento tra la parte compressa del calcestruzzo e quella tesa, evitando la formazione di lesioni longitudinali dovute all'azione delle estremità uncinate dei ferri.

[103] Guerra C., *Architettura Tecnica* - Parte Prima, Casa Editrice Pironti e Figli, Napoli 1952.

Solitamente le nervature giacevano ordinariamente al di sotto della soletta; tuttavia vi erano dei casi particolari in cui si era costretti a posizionarle al di sopra, come ad esempio in corrispondenza di vani finestra.

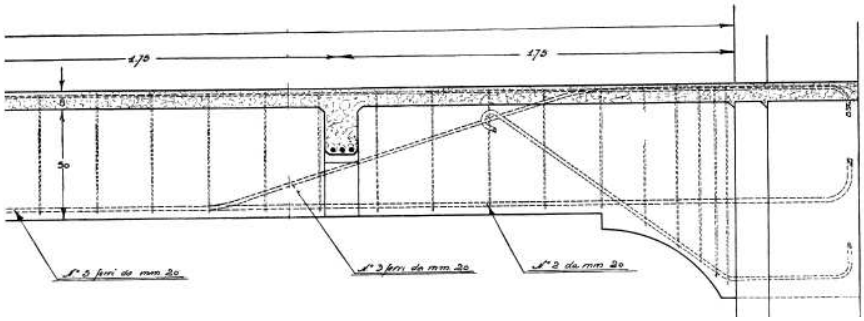


fig. 46: disposizione e piegatura dei ferri d'armatura in un solaio a nervature incrociate (da Zevi B. (a cura di), *Il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma 2008).

Uno dei principali brevetti utilizzati per la costruzione di solai con nervature incrociate era il sistema *Hennebique*. I solai costruiti con questo brevetto erano costituiti da un lastrone di conglomerato cementizio e nervature poste sulla parte inferiore dello stesso e orientate nel senso della minore dimensione del vano da coprire, all'interno delle quali trovavano collocazione le barre d'acciaio tese (fig. 47).

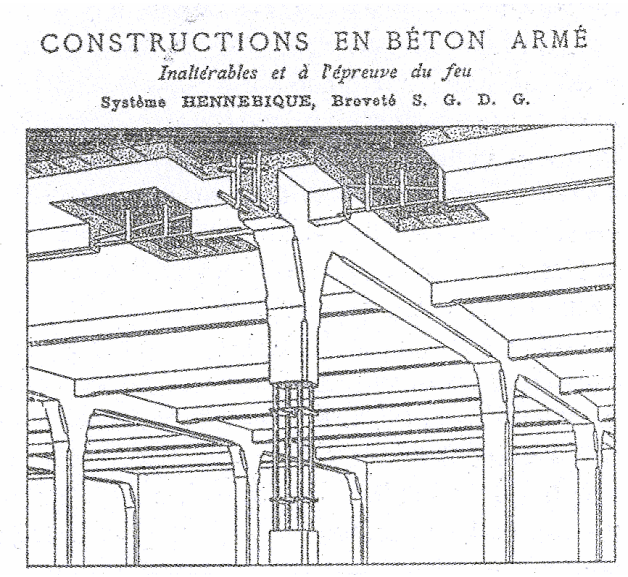


fig. 47: immagine esemplificativa delle strutture Hennebique, riportata quale intestazione nelle buste di corrispondenza della *Maison Hennebique* (da Nelva R., Signorelli B., *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia: il sistema Hennebique*, Edizioni di Scienza e Tecnica, Milano 1990).

Non erano indicati spessori univoci per il lastrone e le nervature, né per il diametro delle barre metalliche, in quanto essi erano variabili a seconda della portata del solaio e del carico cui esso era soggetto, pertanto era necessario calcolarli di volta in volta a seconda dei casi.

Ad ogni modo dai dati riscontrati nei diversi manuali esaminati si può affermare con sufficiente precisione che per portate da 4,00 a 7,00 m, l'altezza della soletta monolitica, incluse le nervature, era variabile proporzionalmente da 20 a 28 cm e l'interasse tra le nervature variava tra i 40 e i 60 cm.

A seconda della portata e dei carichi, queste strutture *Hennebique* costavano da lire 5,50 a lire 14 al metro quadrato[104]; esse erano perfettamente incombustibili ed impermeabili, presentavano una grande rigidezza e resistenza e per gli edifici industriali comprendevano anche il pavimento.

La caratteristica di questo sistema consisteva in una più razionale distribuzione dei ferri presenti nel getto di calcestruzzo: non più diversi livelli di maglie di armatura come nel sistema *Monier*, ma ferri tondi inferiori, di cui alcuni venivano rialzati agli appoggi, e ferri superiori con la presenza di staffe ad U, disposte in verticale, che avvolgevano inferiormente i ferri e risalivano sino alla zona compressa.

Venivano poi disposte, parallelamente ed alternativamente, barre diritte e barre piegate in corrispondenza degli appoggi: le prime collocate nella parte inferiore della struttura, le seconde in posizione tale che i loro estremi venissero ripiegati nella parte superiore della soletta: con tale disposizione si concentrava un maggiore quantitativo di armatura laddove erano massimi gli sforzi di trazione, facendo, così, fronte all'inversione del momento.

Per luci notevoli il solaio con nervature e solette era preferibile perché risultava meno pesante di quello a spessore costante ma presentava, tuttavia, l'inconveniente delle nervature sporgenti all'intradosso, che potevano essere accettate solo per edifici industriali o per grandi ambienti in cui si riusciva a conferire ad esse una disposizione

[104] Mazzocchi L., *op. cit.*, p. 178.

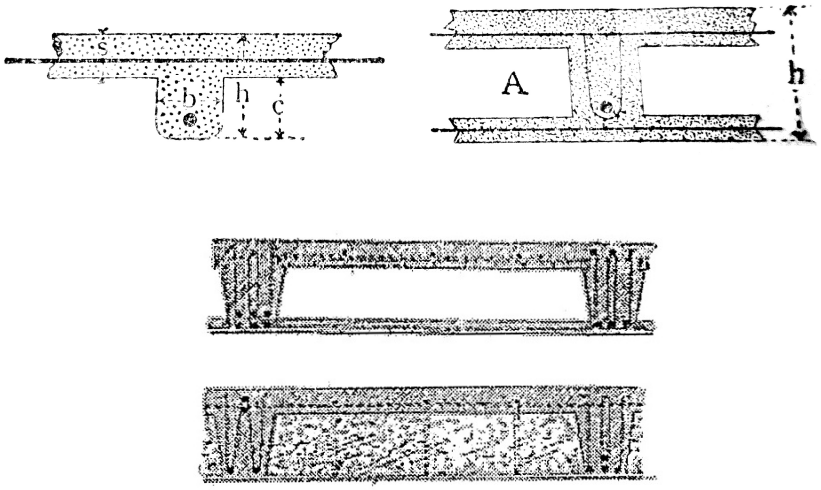
accuratamente studiata in modo da ripetere gli schemi classici degli antichi soffitti in legno, con un'unica differenza sostanziale: nel solaio in conglomerato cementizio armato tutto l'insieme nervatura-soletta collaborava alla funzione portante.

Ben presto, infatti, sia per l'una che per l'altra tipologia oltre a questo problema di tipo estetico, cominciarono a palesarsi le prime esigenze di tipo pratico, cui si è fatto cenno in precedenza, quali la necessità di alleggerire la soletta piena quando questa, per solai di grande luce, assumeva spessori rilevanti[105], di ridurre gli elevati oneri di costruzione nonché di attenuare i difetti connessi alla sonorità e alla coibenza.

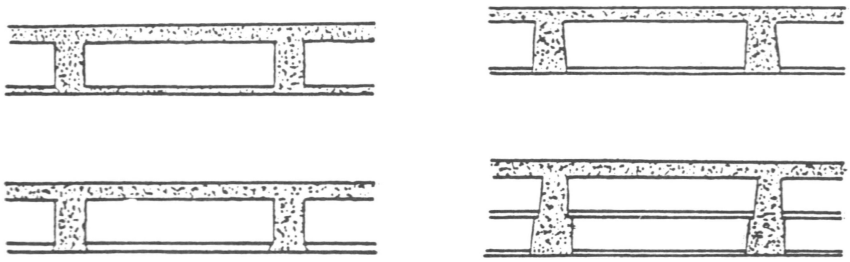
Per soddisfare tali esigenze, cominciarono a disporsi, inferiormente alle nervature, controsolette in calcestruzzo[106], denominate *plafones* (figg. 48 e 49), dello spessore variabile tra i 3 e i 4 cm, solitamente armate con 4-6 tondini di ferro del diametro di 6 mm per ogni metro di larghezza della soletta, che presentavano un'altezza complessiva di 30-40 cm con una camera d'aria che oscillava tra i 12 e i 20 cm e che spesso veniva riempita di scorie o altro materiale leggero per evitare risonanze e trasmissione del calore: da qui il nome di **solai a camera d'aria** o **a travi nascoste**.

[105] Catalano A., *op. cit.*, p. 96.

[106] La ditta Porcheddu, infatti, fu una delle prime a realizzare solai a camera d'aria, sostituendo le casseforme in legno a perdere con una lastra prefabbricata a perdere in conglomerato cementizio di 4-6 cm, poggiante sul bordo delle nervature precedentemente gettate in opera.



figg. 48: esempi di solai con controsolette in calcestruzzo armato (da Colombo G., *Manuale dell'ingegnere civile e industriale*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1920).



figg. 49: esempi di solai con controsolette in calcestruzzo armato (da Catalano A., "Le coperture ed i solai negli edifici antichi" in De Sivo B., *Il restauro degli edifici in muratura. La formazione del Direttore dei Lavori di recupero*, Dario Flaccovio, Palermo 1992).

In questi tipi di solai, alla soletta superiore veniva dato uno spessore minimo di 5 cm nei locali ad uso civile abitazione e di 7 cm nei locali adibiti ad uso industriale.

L'altezza delle nervature, poste ad un interasse compreso tra 1,00 e 1,40 m, era pari a 1/25 e 1/10 della portata; quella delle travi maestre doveva essere maggiore di almeno 5 cm rispetto a quella delle travi secondarie; la loro larghezza non doveva essere inferiore ai 12 cm; i ferri di armatura si disponevano in uno o più piani, lasciando tra loro una distanza netta di circa 2 cm.

Tale tipo di orizzontamento poteva raggiungere un'altezza totale variabile tra 20 e 25 cm, per luci di 4,00-6,00 m; qualora questo veniva utilizzato, invece, per locali industriali, lo spessore del solaio poteva raggiungere anche i 50-60 cm con campate di luci fino a 10,00 m e un sovraccarico variabile tra i 100 e i 500 kg per metro quadrato.

Tuttavia le controsolette in calcestruzzo armato, realizzate utilizzando sottili lastre prefabbricate in calcestruzzo come casseforme a perdere[107], risultarono ben presto essere troppo pesanti e furono pertanto sostituite con plafonature in cotto, che garantivano ugualmente un intradosso piano e la formazione di una camera d'aria col vantaggio, però, di non contribuire ad aumentare il peso proprio dell'orizzontamento.

[107] Nelva R., *Typologies of the reinforced concrete industrial buildings in North Italy at the beginning of the 20th century: examples of Hennebique system realizations* in Catalano A., Sansone C. (a cura di), *op. cit.*, p. 73.

Gustavo Giovannoni ricorda, infatti, l'impiego di "*soffitti* [che] *possono allora essere in legno, in stuoia di canna, in rete metallica, piani, a volta schifo o a cassettoni o soffitto Perret*, […] *esistono solai con tavelloni di terracotta al posto delle solette per renderli meno conduttori di suoni con armatura in apposite nicchie*" [108].

Se le nervature erano ravvicinate, il soffitto o *plafone*, poteva essere ottenuto anche con tavelle laterizie che si impostavano su apposite sporgenze offerte dalle nervature stesse; per l'imposta si adoperavano anche appositi laterizi, che ricoprivano inferiormente la nervatura alla quale si incastravano mediante alcuni denti. Per portate superiori agli 8,00-9,00 m, si riscontravano solai con un doppio ordine di nervature disposte secondo due direzioni perpendicolari; generalmente la pianta del vano era rettangolare ed era possibile distinguere le travi maestre o principali, parallele ai lati minori del rettangolo, e quelle secondarie poste tra loro ad intervalli regolari e di lunghezza netta pari alla distanza tra due travi principali consecutive.

Anche altri autori dell'epoca tentarono di annoverare quelle che nel tempo furono le tecniche utilizzate per far fronte alle carenze isolanti ed estetiche delle tipologie di solai con nervature a vista: "[…] *Quando si vuole rendere coibente al calore un solaio [ovvero] diminuire la trasmissione dei rumori [o solo si vuole ottenere un intradosso piano] per motivi igienici o per motivi estetici* […] *si ricorre all'uso della*

[108] Un tipo di solaio del genere si ha con un soffitto *Rabitz*, ottenuto fissando una rete metallica intonacata a cemento a degli appositi uncini che si lasciano sporgere dalle nervature o dalla soletta (da Giovannoni G., *Corso di Architettura*, ed. Paolo Cremonese, Roma 1932, pp. [314-318]).

contro soletta […] *in gettata di calcestruzzo, con spessore di pochi centimetri, ed armatura di tondini leggeri in numero di circa 5 per metro* […]. *Necessariamente il legname fra contro soletta e soletta rimane perduto nel getto;* […] *talora si dispongono al di sopra della controsoletta delle cassette di legno, col fondo verso l'alto,* […] *disposte in file parallele. Ancora una volta gettate le nervature a una distanza di 1,00-1,10m, si posizionano le spallette delle nervature in modo che siano inclinate in modo da dar luogo a nervature trapezoidali con lato maggiore verso l'altro, si gettano le nervature, si tolgono le spallette e si poggiano tra una nervatura obliqua e l'altra dei tavelloni cavi laterizi. Al posto di contro solette gettate in opera si possono utilizzare dei plafoni di costruzione posteriore: a) si includono nel getto delle nervature dei tasselli in legno incastrati nella faccia inferiore, ed a questi si inchioda un soffitto ottenuto con lamiera stirata o rete metallica* […] *contro la quale si fa con la cazzuola il getto di un leggero strato di calcestruzzo, b) il soffitto è ottenuto mediante tavelline forate laterizie, le quali vengono impostate su appositi pezzi rivestenti inferiormente le nervature; questi pezzi si assicurano alle nervature con malta cementizia, incastrandosi anche mediante piccole indentature"*[109].

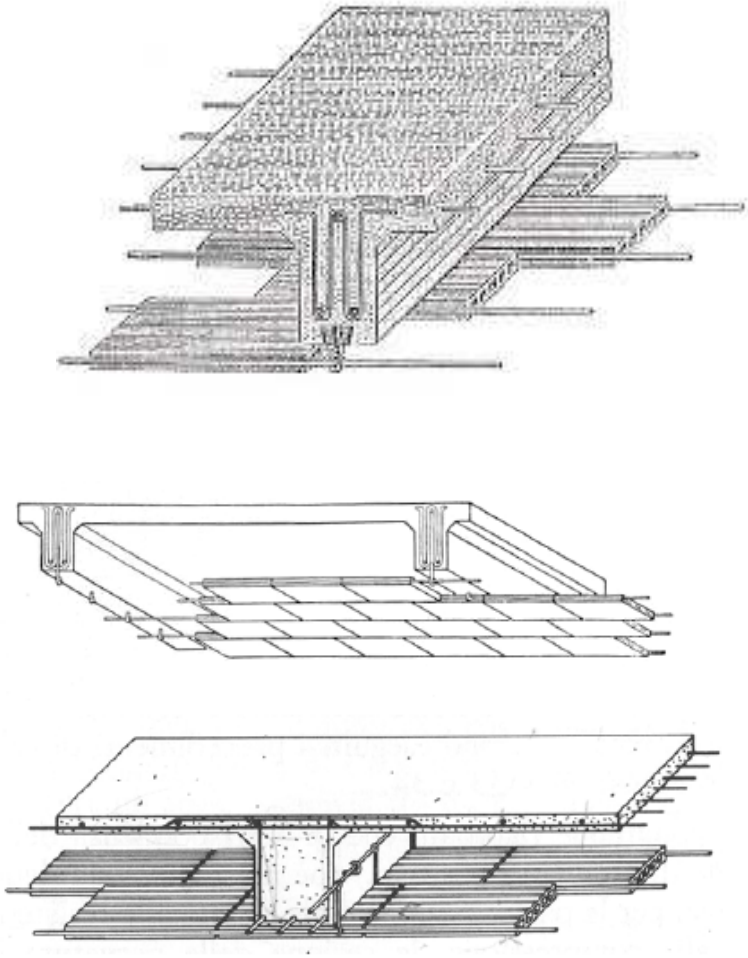
"Nei grandi solai oltre alle grandi travi si riscontrano quelle piccole perpendicolari armate allo stesso modo, ed i cui ferri si incrociano a diverse altezze con quelle delle travi principali dando luogo a solai a cassettoni. Sui muri dell'ambiente sui quali è incastrato il

[109] Levi C., *op. cit.*, pp. [338-341].

solaio si deve rendere solidale l'armatura delle travi con la muratura attraverso catene orizzontali, bolzoni o palette verticali. […] *Analogamente a quanto avviene per le travi maestre presso gli appoggi, si verifica pure per le solette un incastro all'incontro delle travi principali; ed allora è necessario che l'armatura della soletta, in direzione normale della trave, si accosti alla faccia superiore della soletta* […]*; si rialzano i piccoli ferri tondi di quell'armatura in modo alternato* […] *e si aggiungono pure delle piccole staffe"*[110].

Una tipologia di solaio con camera d'aria molto diffusa nella prima metà del XIX secolo era quella realizzata con il sistema *Perret*, caratterizzata da un *plafone* in cotto ottenuto mediante tavelle forate sostenute da barrette di ferro opportunamente collegate con ganci alle nervature e alle solette; le tavelle di dimensioni costanti (40x25x2,5 cm) e del peso di 2 kg presentavano sui fianchi incavi destinati a ricevere le barre di ferro, con la relativa malta di gesso o di cemento a presa rapida, che consentivano un perfetto occultamento delle nervature, realizzando un controsoffitto dalla superficie intradossale perfettamente piana (figg. 50).

[110] Breymann G.A., *op. cit.*, pp. 223-224.

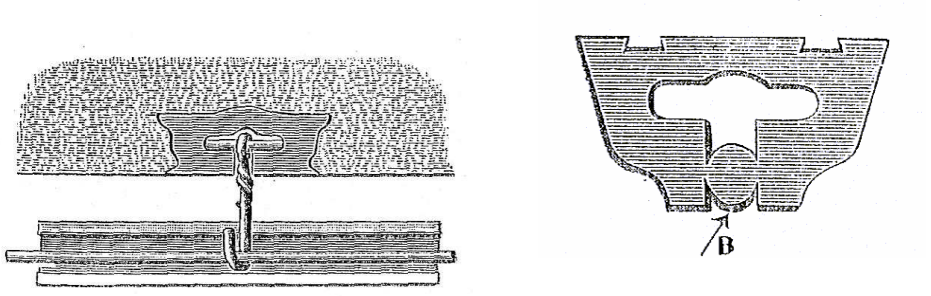


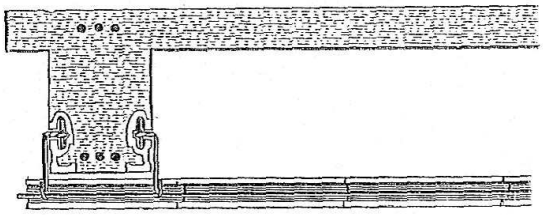
figg. 50: diversi tipi di controsoffitti realizzati con tavelloni forati (da Baluffi G., *Costruzioni in cemento armato*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1922 (in alto); Guerra C., *Architettura Tecnica - Lezioni parte prima - Tavole*, Tipografia Giannini, Napoli 1934 , XIII e. f. (al centro) e Caleca L., *Architettura Tecnica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2007 (in basso)).

Le metodologie di attacco dei ganci alle nervature in conglomerato cementizio armato erano abbastanza semplici e venivano realizzate mediante l'utilizzo di un'asta di legno, di larghezza pressoché uguale alla base dell'attacco, con la quale si aprivano dei solchi rettilinei paralleli lungo tutta la lunghezza della nervatura, nei quali venivano allineati i diversi attacchi, previa abbondante bagnatura, che venivano poi fatti solidarizzare col resto della struttura mediante il getto.

Gli attacchi venivano posti in opera con l'imboccatura della cavità ostruita da un bastoncino di cotto (B), debolmente fissato al pezzo, al fine di evitare il depositarsi di materiale all'interno della scanalatura e di consentire un'agevole intonacatura della superficie; tale bastoncino veniva poi fatto saltare al momento di avvalersi della scanalatura (fig. 51).

Un tipo particolare di attacco era costituito da ganci particolari che si allineavano sul fondo dei casseri, in modo da costituire gli spigoli inferiori delle travi (fig. 51).





figg. 51 (immagini pp. 188 e 189): particolari tipi di attacchi (da Baluffi G., *Costruzioni in cemento armato*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1922).

Altro esempio di solaio a camera d'aria era il solaio brevettato dalla ditta "Frazzi" di Cremona, caratterizzato da imposte laterizie, "*destinate a restare solidali colle nervature*"[111], e da tavelloni piani forati posti in opera (fig. 52).

Le imposte avevano la doppia funzione di rivestire completamente la faccia inferiore delle nervature, e di fungere, nello stesso tempo, da sostegno ai tavelloni forati che completavano la controsoffittatura.

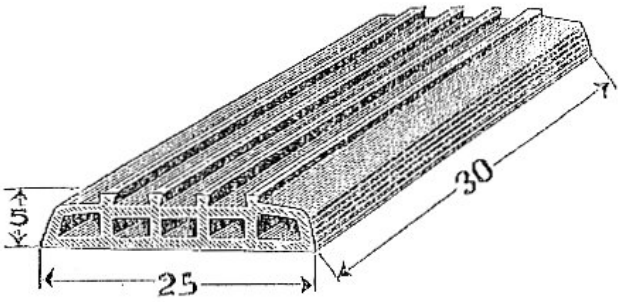


fig. 52: tavellone piano forato (da Baluffi G., *Costruzioni in cemento armato*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1922).

[111] Baluffi G., *Costruzioni in cemento armato*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1922, p. 105.

La ditta “Frazzi” produceva imposte di tre profili differenti: un primo tipo con larghezza inferiore del laterizio di 12,5 cm, per nervature di larghezza inferiore ai 10 cm e per campate di piccola ampiezza; un secondo tipo, che veniva maggiormente usato, avente larghezza inferiore di 25 cm, che si adattava a nervature di 10-15 cm di larghezza; un terzo profilo, utilizzato per nervature di larghezza variabile dai 15 ai 25 cm, che presentava una larghezza di 50 cm.

La lunghezza delle imposte, in generale, era pari a 30 cm; lo spessore dei tavelloni che completavano la soffittatura variava con la larghezza della campata ed era compreso tra i 3 e i 6 cm. La posa in opera delle imposte doveva necessariamente avvenire prima del getto di calcestruzzo; il peso della controsoffittatura variava tra i 30 e i 40 kg, a seconda dello spessore dei tavelloni (fig. 53).

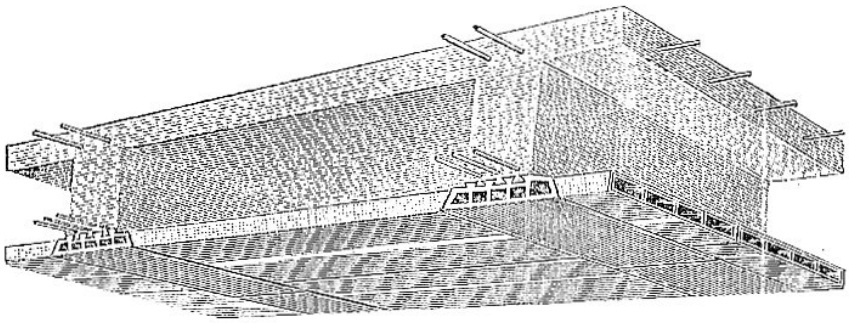


fig. 53: solaio a camera d’aria prodotto dalla ditta “Frazzi” (da Baluffi G., *Costruzioni in cemento armato*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1922).

fig. 54: pubblicità d'epoca dei tavelloni prodotti dalla ditta "Frazzi" (Listino dei prezzi Napoli, 1922).

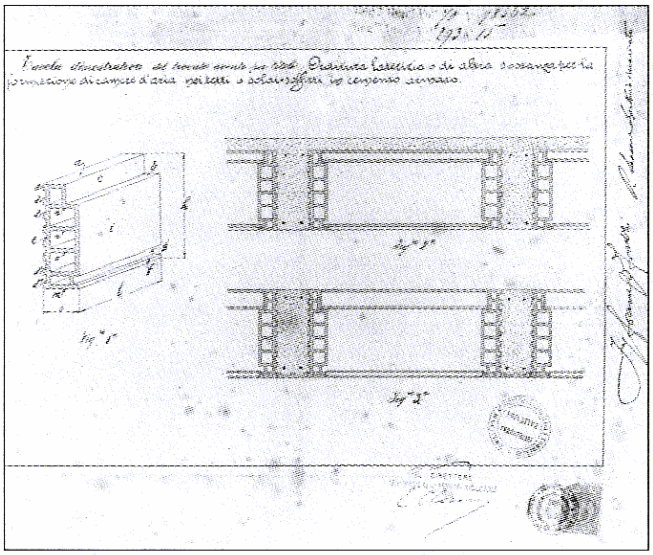


fig. 55: brevetto n. 98562, F. Frazzi, Cremona, *Orditura laterizia o ad altra sostanza per la formazione di camere d'aria nei tetti o solai-soffitti in cemento armato*, 19 ottobre 1908 (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

Un tipo di soffittatura più economica poteva essere ottenuta con imposte e tavelline, come quella riportata in figura (fig. 56).

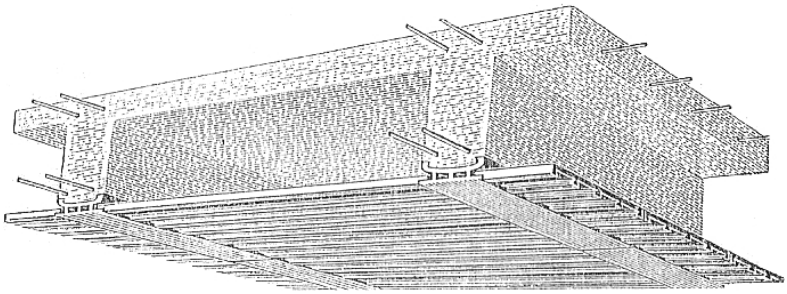
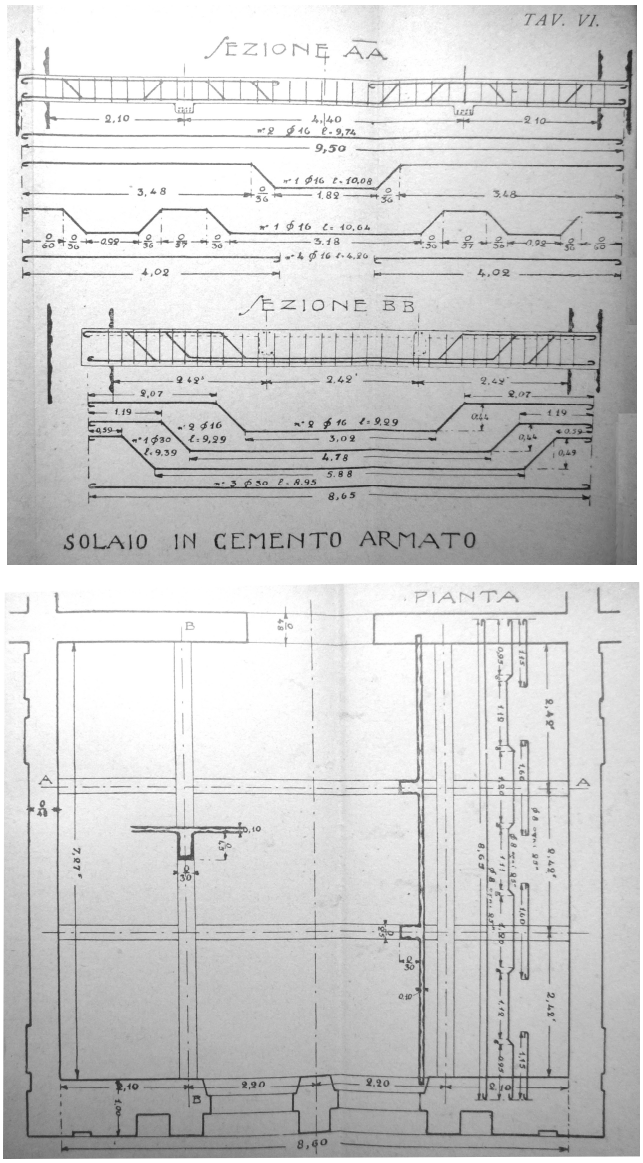


fig. 56: solaio a camera d'aria con controsoffittatura ottenuta con imposte e tavelline (da Baluffi G., *Costruzioni in cemento armato*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1922).

Tra i vantaggi di tale tipologia di solaio si potevano annoverare:

- la praticità di avere un soffitto piano;
- un maggiore isolamento acustico e termico;
- una buona portata del solaio.



figg. 57: distinta delle armature di un solaio a nervature in conglomerato cementizio della prima metà del Novecento (da Arcangeli A., *Manuale pratico per l'impiego del cemento armato*, Ulrico Hoepli Editore – Libraio della Real Casa, Milano 1928).

Tipo particolare di solaio a camera d'aria era quello brevettato dall'ingegnere Gaetano Vinaccia nel 1927. Questo era costituito da nervature, poste ad interasse di un metro, che venivano costruite con casseforme in laterizio, denominate *formatravi*, sulle quali si appoggiavano mezzi tavelloni, ottenuti per predisposta spaccatura all'atto della loro posa in opera[112]. Il tutto veniva completato col getto di una soletta che aveva lo spessore di 3,5 cm (4 cm con il laterizio). La particolarità di questo solaio stava nel fatto che le tavelle nervate impedivano il ritiro del calcestruzzo, mettendolo in tensione, e comprimendo il laterizio.

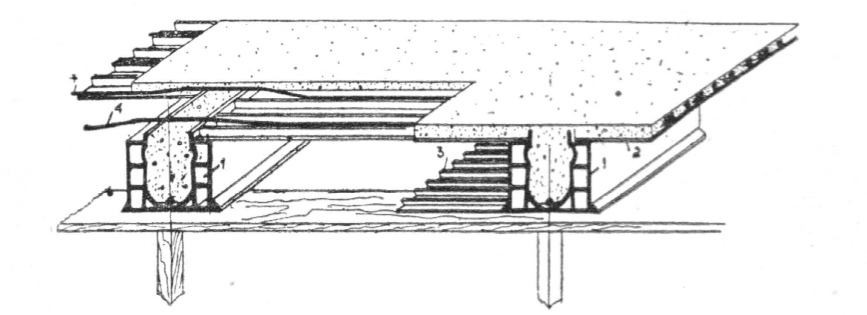


fig. 58: solaio brevetto dall'ingegnere Vinaccia: 1. *formatravi* in laterizio; 2. *formasoletta* in laterizio nelle cui scanalature si poneva il ferro di armatura della soletta; 3. tavelle da soffitto in laterizio (da Vinaccia G., *Le strutture laminari in cemento armato*, Vitali e Ghianda Casa Editrice, Genova 1960).

[112] Vinaccia G., *Le strutture laminari in cemento armato*, Vitali e Ghianda Casa Editrice, Genova 1960, pp. 16-17.

I solai monolitici, pur presentando indiscussi vantaggi rispetto a quelli in legno e in ferro, presentavano, però, l'inconveniente del notevole peso, della complessità dell'armatura di sostegno e dell'elevata sonorità; inoltre, quelli con nervature e solette, richiedevano, come visto, notevoli oneri per la formazione delle casseforme e mostravano le nervature intradossali che, se occultate, comportavano ulteriori costi aggiuntivi.

Per ovviare a ciò si cominciò a pensare di avvicinare le nervature e di riempire in qualche modo lo spazio tra esse in modo da ottenere un intradosso piano, continuo e facilmente intonacabile; furono, perciò, inseriti negli orizzontamenti file di forati di vario tipo, denominati pignatte, alternati a travetti in conglomerato cementizio armato e collegati superiormente da una soletta in calcestruzzo, determinando la nascita dei solai latero-cementizi, tuttora in uso, che si diffusero in Italia a partire dagli anni Trenta.

Il Rosci descriveva tale tipologia di solai come quegli orizzontamenti la cui caratteristica principale era quella di collocare laterizi forati comuni o di forma speciale nella zona dove si sviluppava solo lavoro di trazione.

Gli orizzontamenti in latero-cemento oltre all'intradosso piano presentavano, inoltre, importanti requisiti quali: la leggerezza, dovuta alla sostituzione di parte del calcestruzzo con forati di peso specifico assai minore; la facilità di realizzazione; la coibenza termica e acustica, dovuta all'aria contenuta negli elementi forati; l'economia derivante dalla minore quantità di ferro, per la riduzione del peso proprio e dal risparmio

di legname per la cassaforma; la presenza di nervature più ravvicinate e quindi di spessori minori delle stesse e della soletta, pur potendo nel contempo raggiungere luci di 6,00-7,00 m.

È, infine, utile precisare che questi tipi di solai si prestavano a ricevere qualunque sistema di pavimento e l'intradosso poteva essere intonacato a piacimento mediante l'utilizzo di malta comune, malta idraulica, stucco o malta di cemento.

Generalmente un solaio misto in calcestruzzo armato era ed è tuttora costituito da una soletta alleggerita mediante la sostituzione del calcestruzzo teso con laterizi forati in modo da costituire una serie di piccole nervature assai vicine, 25-35 cm, dette travetti, che possono essere disposte in maniera parallela o incrociata, atte a collegare l'armatura metallica, concentrata nella loro parte inferiore, con la solettina superiore compressa in calcestruzzo (fig. 59).

Spesso, per solai di luce superiore ai 5,00-6,00 m, per migliorare ulteriormente la distribuzione dei carichi accidentali, si faceva ricorso al travetto rompitratta, disposto trasversalmente ai travetti del solaio e realizzato verso la mezzeria, interrompendo per una decina di centimetri la continuità dei filari dei blocchi forati; tale travetto aveva la funzione, quindi, di collegamento e di ripartizione ed era armato generalmente con quattro barre diritte e con staffature.

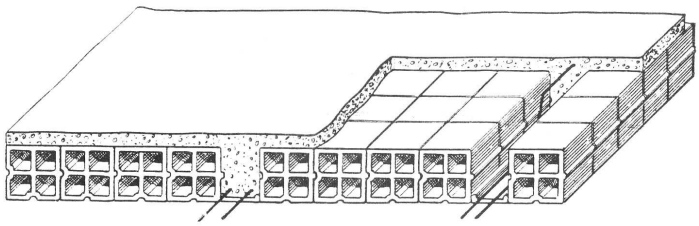
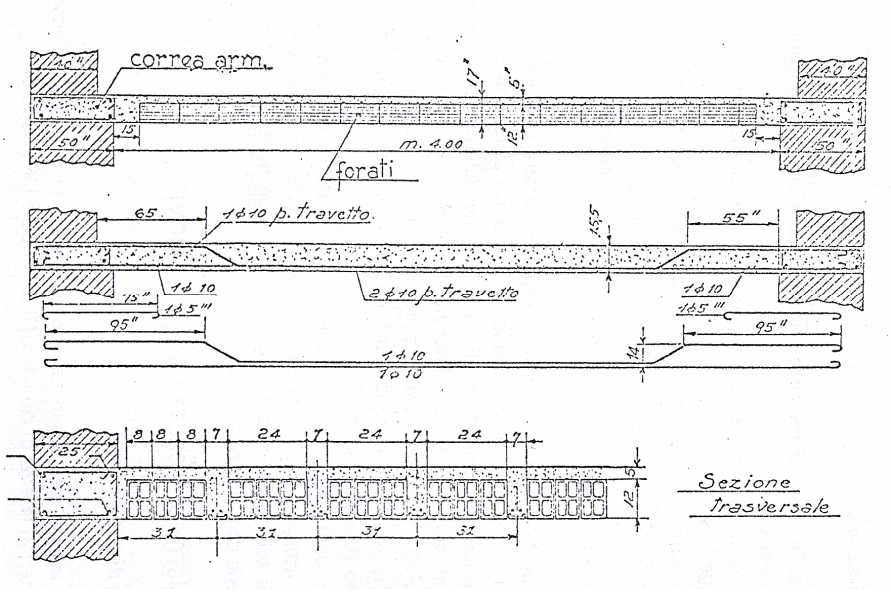


fig. 59: solaio latero-cementizio formato da travetti e laterizi comuni (da Guerra C., *Architettura Tecnica - Lezioni parte prima – Tavole*, Tipografia Giannini, Napoli 1934 , XIII e. f.).



figg. 60: sezioni di un solaio latero-cementizio formato da travetti e laterizi comuni (da Irace A., Pizzo L., *I solai*, CUEN, Napoli 1989).

L'industria del laterizio rese possibile la realizzazione dei solai misti latero-cementizi con l'introduzione sul mercato dei blocchi forati per

solaio, prima utilizzati esclusivamente solo per la realizzazione di controsoffittature.

C'è da dire, però, che l'impiego del laterizio negli orizzontamenti degli edifici fu molto precedente all'avvento del conglomerato cementizio armato e alla diffusione del sistema costruttivo del solaio latero-cementizio.

L'uso di voltine in laterizio sostenute da travi in legno apparve in Europa, infatti, già verso la fine del Settecento e si diffuse successivamente in misura notevole; ma era soprattutto nell'ambito dei solai in ferro che il laterizio venne impiegato a costituire, tra trave e trave, voltine, realizzate dapprima in mattoni pieni e poi, sempre più frequentemente, in mattoni forati, sì da conferire al complesso maggiore leggerezza e quindi sempre maggiore diffusione. Un'evoluzione del sistema si ebbe con il passaggio alle volterrane, elementi forati che funzionavano come conci di una struttura spingente poggiata sugli elementi portanti in acciaio, in modo da realizzare un orizzontamento a intradosso piano esteticamente più soddisfacente.

In tutte queste strutture era evidente l'azione protettiva esercitata dal laterizio nei confronti del fuoco; ma la sua funzione essenziale era quella statica che si perse con l'avvento del calcestruzzo armato e la comparsa dei solai misti. In questi ultimi il laterizio aveva, infatti, la funzione di alleggerimento, evidente nei confronti dei solai a soletta piena; con essi si esaltavano, inoltre, i vantaggi che, in fase esecutiva, derivavano dalla possibilità di sostituire le complesse casserature delle strutture nervate

con un semplice assito su cui venivano poggiati gli elementi in cotto prima di eseguire il getto di completamento.

Il recupero della funzione statica del laterizio avvenne successivamente, come può essere desunto dalle prescrizioni ufficiali italiane sul calcestruzzo armato che si susseguirono nel secondo e nel terzo decennio del XX secolo. Nelle prime norme ufficiali italiane, contenute nel D.M. del Ministero dei LL.PP. del 10 gennaio 1907, venivano menzionate solo le solette in conglomerato cementizio armato rinforzate da nervature. Quelle comparse invece nel 1927, 1928 e 1930, pur dedicando maggiore attenzione alle solette nervate, riservavano comunque un primo accenno ai solai speciali con laterizi, allo scopo di fissare il minimo spessore consentito per la soletta.

Successivamente, nel Regio Decreto Legge n. 832 del 23 maggio 1932 comparve la frase: *"Può consentirsi l'impiego di laterizi speciali aventi funzione statica, anche senza soletta, il cui tipo sia stato riconosciuto tecnicamente meritevole di applicazione"*. Fu il primo riconoscimento ufficiale del contributo che gli elementi di cotto potessero fornire alla resistenza dell'orizzontamento e si trattò di un riconoscimento talmente rilevante, che consentì la riduzione prima, e addirittura l'eliminazione poi, di un componente essenziale del solaio nervato, la soletta in conglomerato cementizio armato, purché i laterizi presentassero rinforzi di conveniente spessore atti a sostituirla, restando perfettamente incastrati fra le nervature (fig. 61).

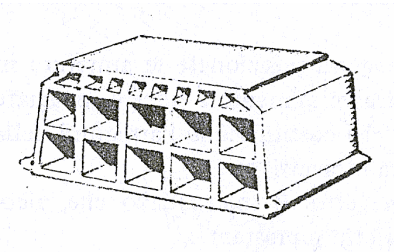


fig. 61: laterizio speciale (da Irace A., Pizzo L., *I solai*, CUEN, Napoli, 1989).

L'evoluzione del laterizio come elemento resistente fu dovuta principalmente alla constatazione che anche le semplici pignatte, usate nei solai a scopo di alleggerimento, conferivano a questi una maggiore rigidezza. Ma vi furono, tra la seconda metà degli anni Venti e i primi anni Trenta, studi sperimentali condotti in varie sedi, promossi generalmente dalle società produttrici di solai, a seguito dei quali si ebbe una diffusione forse eccessiva, probabilmente incentivata dal regime fascista per motivi di autarchia, di solai senza soletta contro i quali si scagliò, nel 1933, nella rivista *"Il Cemento Armato"*, il professore Camillo Guidi in un articolo molto citato nella letteratura tecnica. In esso i solai venivano definiti "costruzioni temerarie" e si sosteneva la necessità di usare sempre la soletta, in quanto la resistenza dei laterizi risultava incerta per le inevitabili imperfezioni di forma dei forati, per le loro incrinature sia originarie che prodotte in cantiere, per la scarsa continuità che i cordoni di malta erano in grado di assicurare tra forato e forato[113].

[113] Guidi C., *L'audacia di certe costruzioni moderne* in "Il Cemento Armato", n. 11, 1933, pp. 130-131.

Tuttavia questa presa di posizione, anche se suscitò non poche polemiche, non valse ad arrestare la diffusione di strutture in cui i laterizi assumevano un'importanza statica fondamentale. Ci si preoccupò solo di vietarne l'uso negli edifici ricadenti nelle zone sismiche, come risulta dall'articolo 23 del R.D.L. n. 2105 del 22 novembre 1937 contenente *"Norme tecniche di edilizia con speciali prescrizioni per le località colpite dai terremoti"*, dove veniva prescritta una soletta di almeno 5 cm di spessore.

Il tipo più semplice di solaio misto in calcestruzzo armato con forati si eseguiva utilizzando laterizi a 4, 6 o 8 fori a seconda della maggiore o minore altezza dei travetti. Si disponevano una o più file di laterizi in modo da lasciare fra essi lo spazio per le nervature in conglomerato cementizio armato, ad interasse variabile a seconda dei carichi, e il tutto era completato con la realizzazione di una soletta di adeguato spessore, nella quale veniva disposta un'armatura di ripartizione.

All'uso dei laterizi forati ordinari seguì lo studio e successivamente l'impiego di svariate tipologie di laterizi forati speciali, allo scopo di aumentare la resistenza e la portata degli orizzontamenti e di semplificarne la posa in opera.

Nel Ventennio fascista, infatti, sull'onda del grande fermento culturale di quegli anni, ingegneri ed imprenditori, spinti dall'entusiasmo sempre crescente nei confronti del nuovo materiale, svilupparono numerosissimi brevetti di orizzontamenti in latero-cemento, che potevano essere gettati in opera o con travetti prefabbricati: si trattava di orizzontamenti costituiti da travetti in conglomerato cementizio armato

che si differenziavano l'uno dall'altro per numero, forma e dimensione dei forati utilizzati che consentivano, a seconda dei casi, un maggiore o minore interasse, cui fecero seguito uno svariato e consistente numero di varianti tipologiche.

Vi erano, infatti, ditte che ideavano proprie tipologie di orizzontamenti e fornivano esse stesse i laterizi speciali di cui erano costituiti unitamente a tabelle con i dati costruttivi, a seconda delle portate e dei sovraccarichi.

Solaio Frazzi: fu ideato dalla ditta "Frazzi" di Cremona, produttrice anche di alcune tipologie di tavelloni per la realizzazione di controsoffittature in laterizio.

Ne esistevano diverse varianti, tutte comunque caratterizzate dall'utilizzo di laterizi ad incastri multipli, che formavano vere e proprie camere d'aria tubolari doppie o quadruple, che alternati ai travetti in conglomerato cementizio armato, consentivano di ottenere un intradosso a vista perfettamente piano.

La ditta ne costruiva di diversi tipi e dimensioni in modo da non avere interassi obbligati.

Scelti i tipi di mattoni del profilo occorrente, questi venivano posti in opera a secco su di un tavolato, lasciando i vuoti per le nervature, nei quali venivano collocati i tondini e le staffe costituenti l'armatura dei travetti, al di sopra dei quali veniva poi disposta l'armatura della soletta.

L'unica accortezza doveva essere quella di bagnare abbondantemente i laterizi prima di procedere al getto di calcestruzzo,

onde evitare che essi sottraessero acqua all'impasto. La faccia inferiore delle nervature veniva, infine, mascherata con fondelli in laterizio di rivestimento dello spessore di circa 8 millimetri e di larghezze varie (figg. 62 e 63).

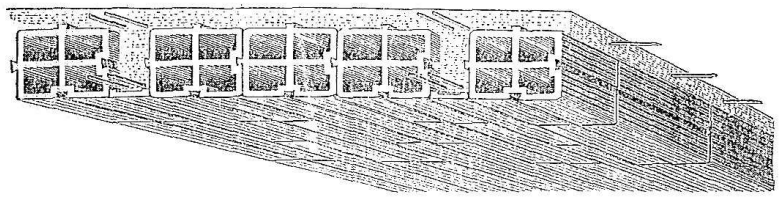
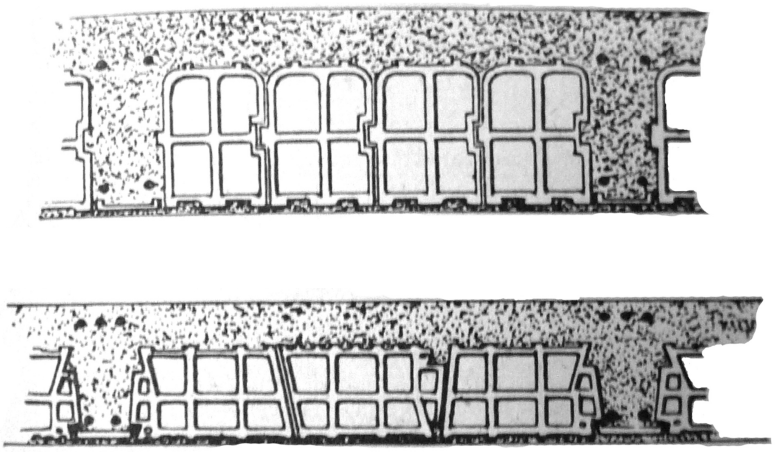
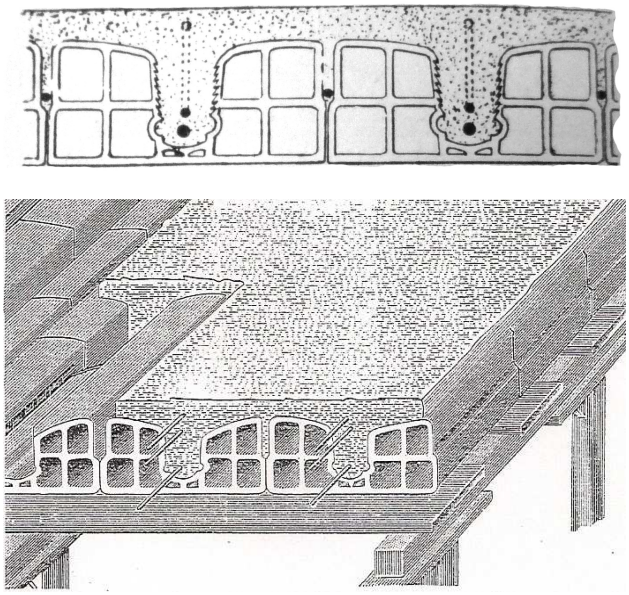


fig. 62: solaio *Frazzi* (da Baluffi G., *Costruzioni in cemento armato*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1922).



figg. 63: due varianti del solaio *Frazzi*: la prima *con elementi tipo mattoni* (in alto) e la seconda *con elementi tipo volterrane* (in basso) (da Vacchelli G., *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*, Hoepli, Milano 1921).

Solaio a camera d'aria Miozzi-Salerni: questo sistema, brevettato dalla ditta "Magnani-Rondoni e Castori" di Milano, si basava sull'impiego di speciali laterizi forati, con forma diversa a seconda della portata del solaio, e presentava nervature poste ad un interasse di circa 25 cm per portate fino a 7,00 m. L'armatura dei travetti risultava leggera e la soletta, dello spessore di 3-4 cm, aveva funzione di collegamento e solitamente non veniva armata, anche se spesso, per cautela, veniva inserito in essa un tondino di ferro *una tantum* (fig. 64).



figg. 64: solai del tipo *Miozzi-Salerni* (da Vacchelli G., *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*, Hoepli, Milano 1921 (in alto) e Baluffi G., *Costruzioni in cemento armato*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1922 (in basso)).

Il calcolo di tale tipologia di orizzontamento si riduceva, in pratica, al semplice calcolo dell'armatura delle nervature, considerate come perfettamente incastrate nei muri, nei quali rientravano per 25 centimetri, per poi essere ripiegate ad uncino alle estremità.

Uno dei vantaggi di questo solaio era quello di consentire una parziale riduzione nella realizzazione delle costose casseforme lignee, indispensabili negli ordinari solai in calcestruzzo armato, grazie alla particolare forma dei laterizi.

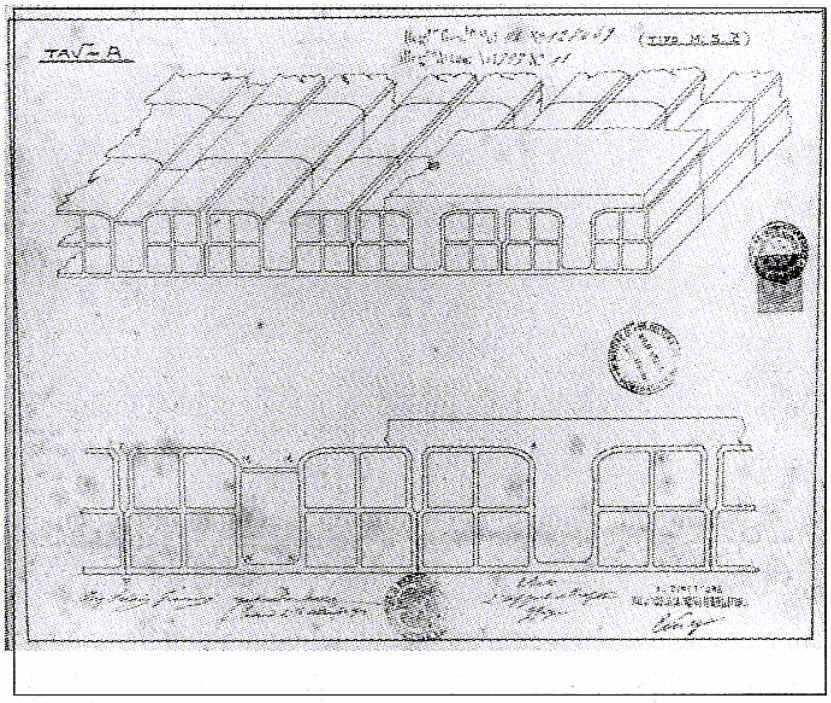
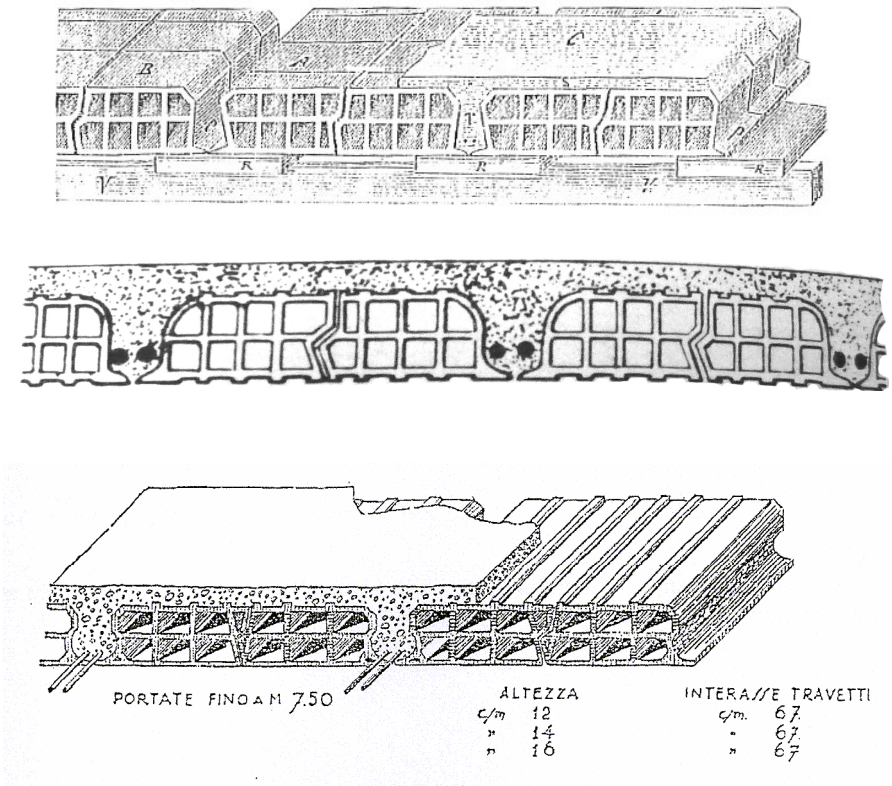
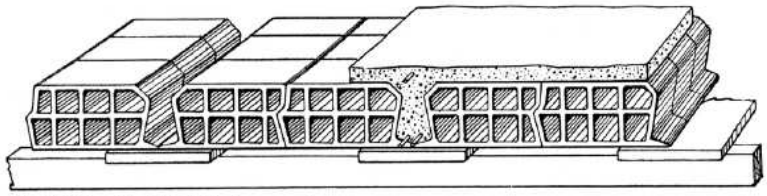


fig. 65: brevetto n. 128069, G. Salerni, A. P. Miozzo, Venezia, Padova, *Sistema di costruzione di solai economici in cemento armato e volterrane di cotto*, 16 settembre 1912 (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

Sistema Villa: la ditta dell'ingegnere Piero Villa di Milano brevettò questo tipo di solaio con laterizi che consentiva di coprire ambienti con luci di 8,00 m e aveva un peso variabile tra i 40 e gli 85 kg per mq.

I solai *Villa* erano caratterizzati da particolari tipi di laterizi forati complementari ad incastro, denominati volterrane, utilizzati come materiale di alleggerimento, alti dai 12 ai 20 cm e larghi 25 cm, con piattelli in cotto in corrispondenza delle nervature, all'interno delle quali venivano posizionate le armature, annegate nel successivo getto di calcestruzzo (fig. 66).





figg. 66 (immagini pp. 206 e 207): solai misti con laterizi speciali a nervature parallele - sistema *Villa* (da Baluffi G., *Costruzioni in cemento armato*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1922 (in alto, alla pagina precedente); Vacchelli G., *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*, Hoepli, Milano 1921 (al centro, alla pagina precedente); Formenti C., *La pratica del fabbricare*, Hoepli, Milano 1893 (in basso, alla pagina precedente); Breymann G.A., *Trattato generale di costruzioni civili*, Vallardi, Milano 1925 (in alto)).

La ditta brevettò anche due ulteriori tipi di solaio: uno con nervature a reticolato, che conferiva una maggiore rigidezza all'intero orizzontamento e distribuiva razionalmente i carichi sui muri perimetrali (fig. 67); un secondo del tipo a camera d'aria con imposte armate a doppio appoggio e tavelloni accoppiati (figg. 68).

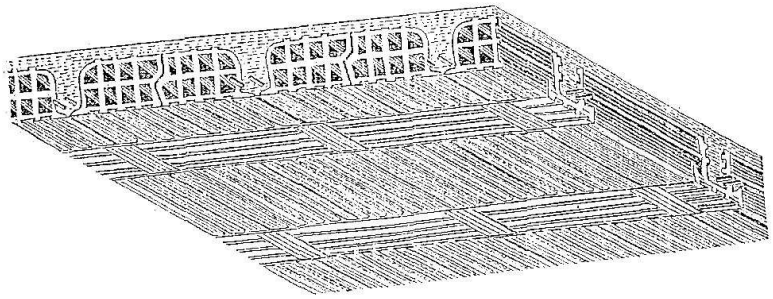


fig. 67: variante del solaio tipo *Villa* con nervature a reticolato (da Baluffi G., *Costruzioni in cemento armato*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1922).

Le imposte armate a doppio appoggio erano simmetriche, costituite da forati in cotto, e terminavano con una sporgenza nella parte bassa che fungeva da sostegno alle tavelline usate come *plafone*; mentre col sistema delle volterrane armate gli interassi erano limitati a 65 cm, con le imposte armate a doppio appoggio si poteva arrivare fino a 1,50 m.

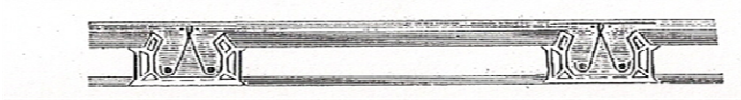


fig. 68: solaio tipo *Villa* con imposte armate (da Baluffi G., *Costruzioni in cemento armato*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1922).

Simile a questa tipologia era il solaio prodotto dalla ditta "Galotti" di Bologna, che presentava anch'esso un'armatura concentrata tutta nelle nervature e caratterizzata da 2 tondini di diametro per portate di circa 6,00 m e 4 tondini per portate maggiori.

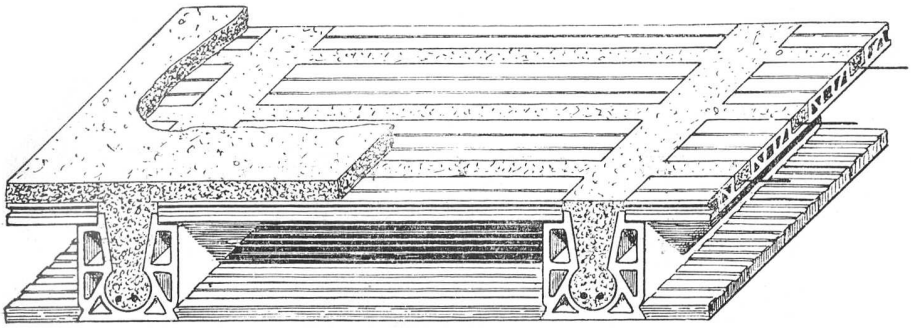


fig. 69: solaio prodotto dalla ditta "Galotti" di Bologna (da Guerra C., *Architettura Tecnica* - Lezioni parte prima – Tavole, Tipografia Giannini, Napoli 1934 , XIII e. f.).

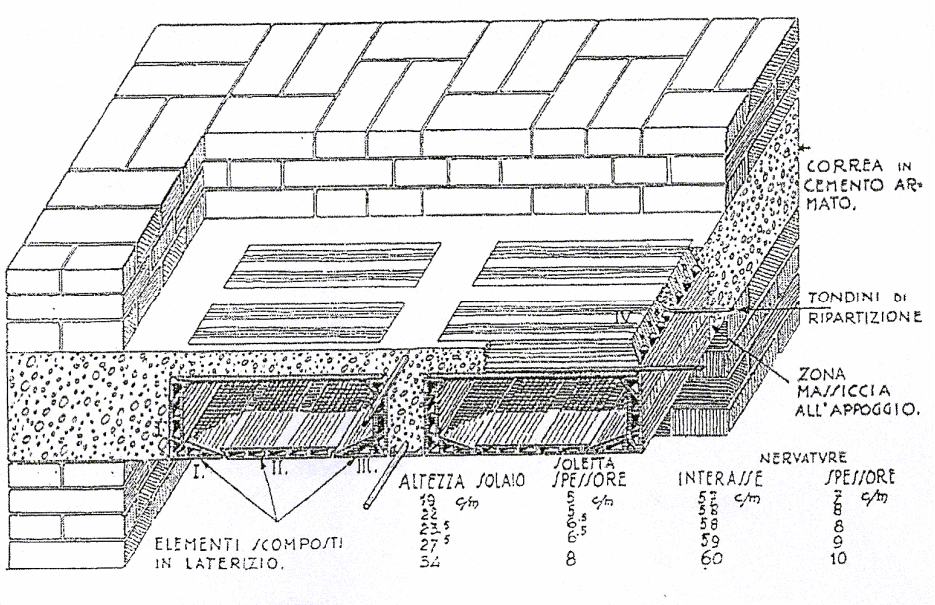
Solaio Stimip: tale tipologia di orizzontamento rientrava nella categoria dei solai definiti "senza soletta", caratterizzati dall'impiego di speciali laterizi che presentavano la parete superiore di spessore maggiore con funzione di soletta. I laterizi si disponevano con la parete più spessa superiormente, nelle zone di momento positivo, inferiormente nelle zona con momento negativo, e garantivano una resistenza alla compressione superiore a quella dei comuni calcestruzzi.

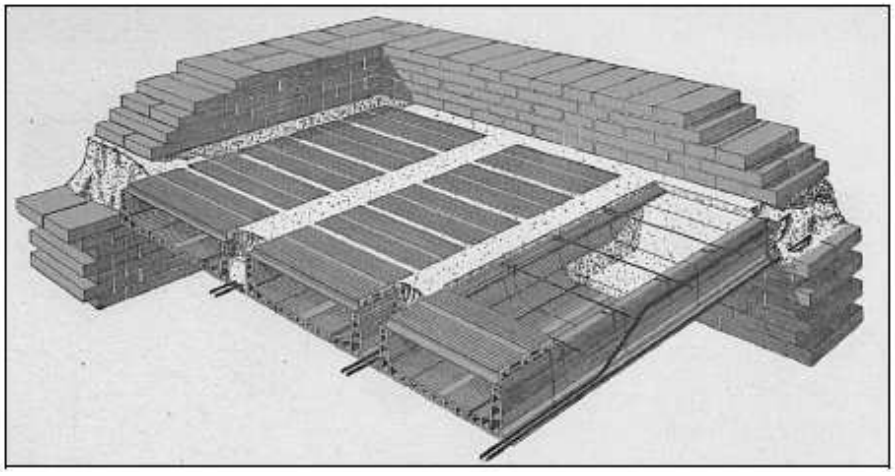
Il solaio *Stimip* poteva essere realizzato a nervature incrociate o parallele ed era studiato in modo da realizzare una camera d'aria che conferisse al solaio un'elevata coibenza termica.

I laterizi erano costituiti da due elementi laterali a forma di L, da un tavellone forato superiore di chiusura e da una tavella di cotto poggiata alle ali inferiori per la formazione dell'estradosso piano.

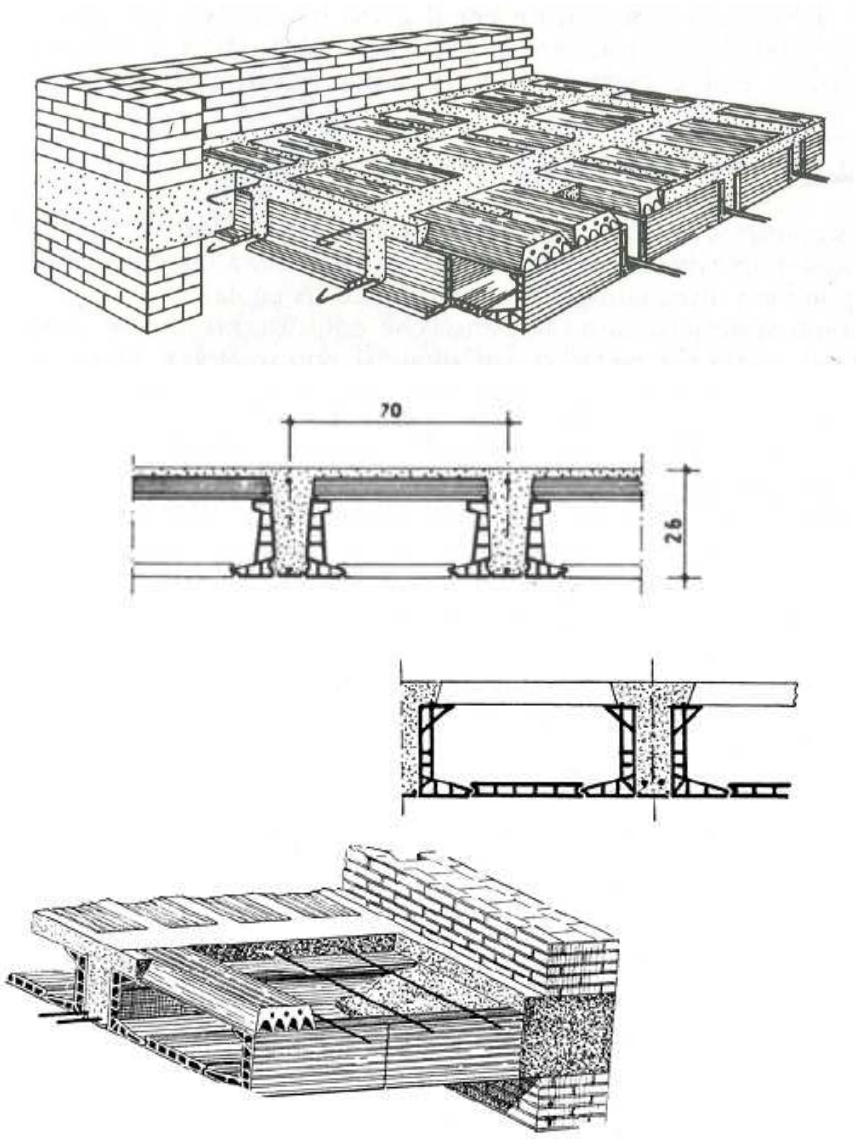
Il tavellone forato superiore, dello spessore di 5 cm, presentava profonde scanalature, all'interno delle quali veniva disposta l'armatura di ripartizione, che, una volta riempite di calcestruzzo, si comportavano come una vera e propria soletta.

Questo solaio era generalmente utilizzato per luci fino a 11,00 m (spesso anche oltre) e poteva avere un'altezza compresa tra i 19 e i 36 cm; il suo peso era molto variabile a seconda della tipologia, infatti, si passava dai 150 kg/mq, per quelli di altezza pari a 19 cm, ai 300 kg/mq per altezze di 36 cm (figg. 70 e 71).





figg. 70: solai con soletta in laterizio con nervature parallele tipo *Stimip* (da Formenti C., *La pratica del fabbricare*, Hoepli, Milano 1893 e Guerra C., *Architettura Tecnica - Lezioni parte prima - Tavole*, Tipografia Giannini, Napoli 1934 , XIII e. f.).



figg. 71: solai a nervature incrociate tipo *Stimip* (da Petrignani A., *Tecnologie dell'architettura*, Gorlich-Istituto Geografico De Agostini Novara S.p.A., Roma 1984 e Guerra C., *Architettura Tecnica - Lezioni parte prima - Tavole*, Tipografia Giannini, Napoli 1934 , XIII e. f.).

Altezza Solaio	***Spessore soletta***	***Dimensione maglie***	***Larghezza nervature***	***Volume conglomerato***	***Peso laterizio***	***Peso proprio solaio***
H	***S***	***bxb_1***	***bxb_{fs}***	***per m^2***	***-***	***-***
cm	*cm*	*cm*	*cm*	*m^3*	*kg*	*kg*
19	5	50x57	6x7	0,044	90	195
22	5	50x57	6x7	0,052	98	222
22	5	51x58	7x8	0,070	105	273
30,5	6,5	52x59	8x9	0,090	120	336
35,5	6,5	53x59	9x8	0,095	133	385
41	8	54x60	9x10	0,133	146	466
48	10	54x60	9x10	0,155	174	546

tab. 8: caratteristiche di un solaio *Stimip* a nervature incrociate (da Petrignani A., *Tecnologia dell'architettura*, Gorlich-Istituto Geografico De Agostini Novara S.p.A., Roma 1984).

Sistema Villeneuve: definito nel 1911 "di recente introduzione" consisteva nel disporre su tavole file di mattoni accostati, lasciando a regolari intervalli fra file successive, un vano corrispondente alla sede della nervatura; al di sopra dei mattoni ed entro i successivi vani veniva effettuato il getto di conglomerato previa collocazione dei tondini di armatura (fig. 72).

Tipi particolari di laterizi (di altezza pari a 8-10 o 12 cm) offrivano il vantaggio, mediante apposite rientranze e sporgenze, di unirsi solidamente tra loro ed al getto di conglomerato; ponendo i laterizi anche in corrispondenza delle nervature si otteneva inferiormente un'unica

superficie in cotto, alla quale l'intonaco aderiva perfettamente, sicché si evitava ogni condensazione di umidità contro la superficie fredda e non assorbente del calcestruzzo.

Tale sistema veniva utilizzato, oltre che per i solai, anche per la costruzione di pareti (fig. 73).

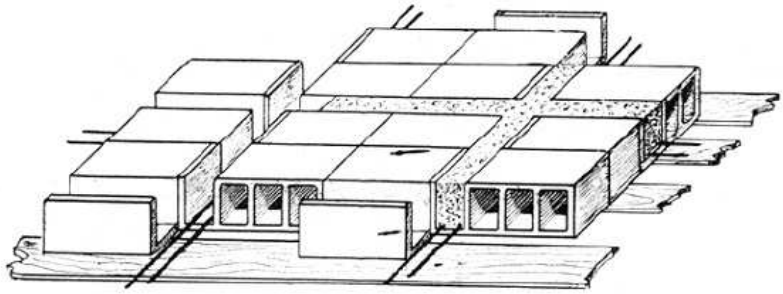


fig. 72: solaio misto a nervature incrociate - sistema *Villeneuve* (da Guerra C., *Architettura Tecnica - Lezioni parte prima - Tavole*, Tipografia Giannini, Napoli 1934 , XIII e. f.).

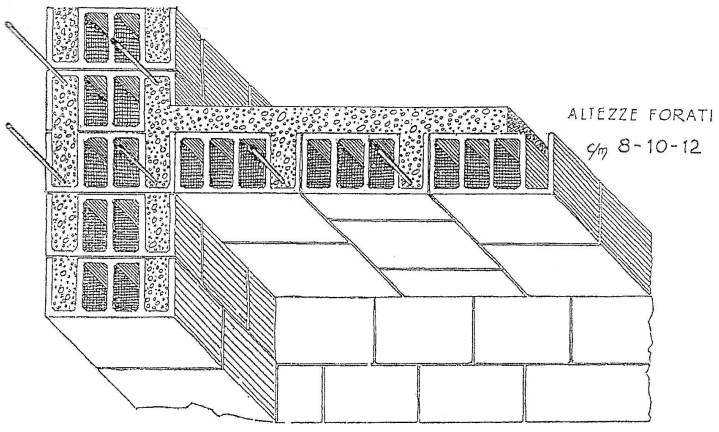
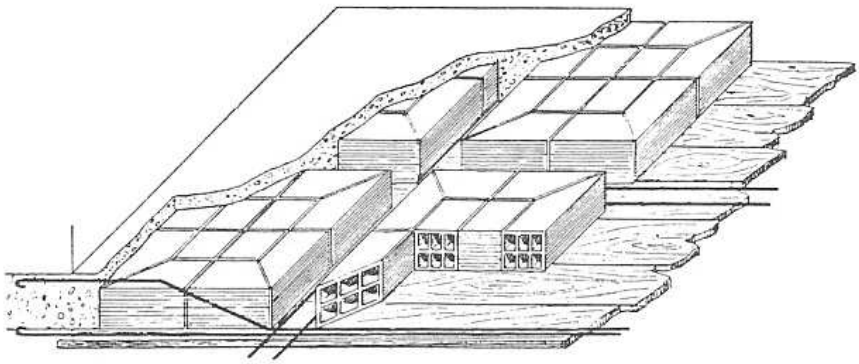
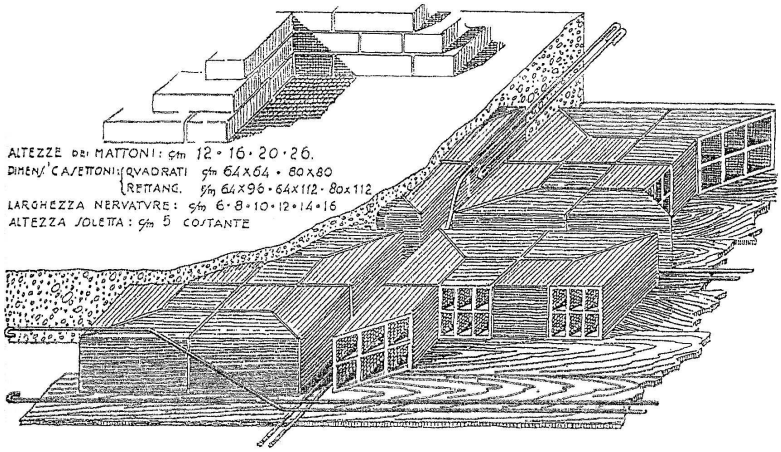


fig. 73: muri e solai a struttura mista di calcestruzzo armato e laterizio - sistema *Villeneuve* (da Formenti C., *La pratica del fabbricare*, Hoepli, Milano 1893).

Sistema Duplex (brevetto Danusso[114]): si trattava di un solaio in calcestruzzo armato ed elementi in cotto, realizzato mediante l'assemblaggio di differenti tipi di laterizi, retti o tagliati a becco di flauto, a seconda dei carichi e delle luci in gioco, che davano luogo a scomparti distanziati tra loro, veri e propri cassettoni, in modo da definire la sede del getto delle nervature. L'altezza dei laterizi era pari a 12-16-20-26 cm; gli scomparti quadrati presentavano lati di lunghezza pari a 64 o 80 cm; gli scomparti rettangolari presentavano, invece, dimensioni di 64x96 cm, 64x112 cm o 80x112 cm. La larghezza delle nervature variava da 6 a 16 cm con uno spessore medio pari a 10 cm; l'interasse nei due sensi era variabile: 74, 90 o 112 cm. Il pacchetto del solaio così realizzato era completato nella fascia estradossale dalla consueta soletta continua spessa minimo 5 cm (figg. 74, 75 e 76).



[114] Sistema che prende il nome da Arturo Danusso che lo brevettò nel 1911 (brevetto n. 119964, A. Danusso, Torino, *Perfezionamenti nei solai in cemento armato a doppia serie di travi ad angolo tra di loro*, 24 agosto 1911).



figg. 74 (immagini pp. 214 e 215): solai *Duplex* a nervature incrociate e laterizi - sistema *Danusso* (da Guerra C., *Architettura Tecnica - Lezioni parte prima - Tavole*, Tipografia Giannini, Napoli 1934 , XIII e. f.).

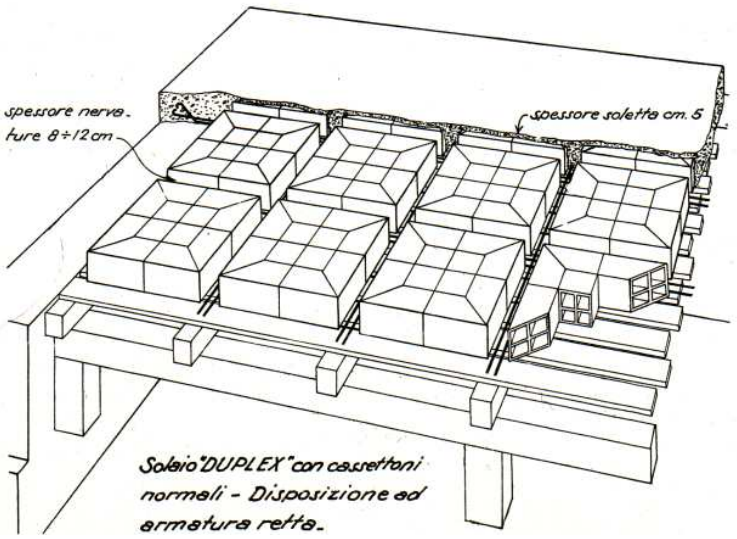


fig. 75: solaio *Duplex* a nervature incrociate e laterizi - sistema *Danusso* (da Formenti C., *La pratica del fabbricare*, Hoepli, Milano 1893).

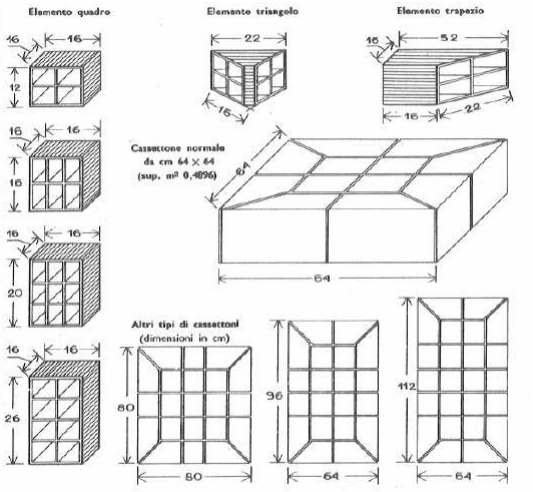
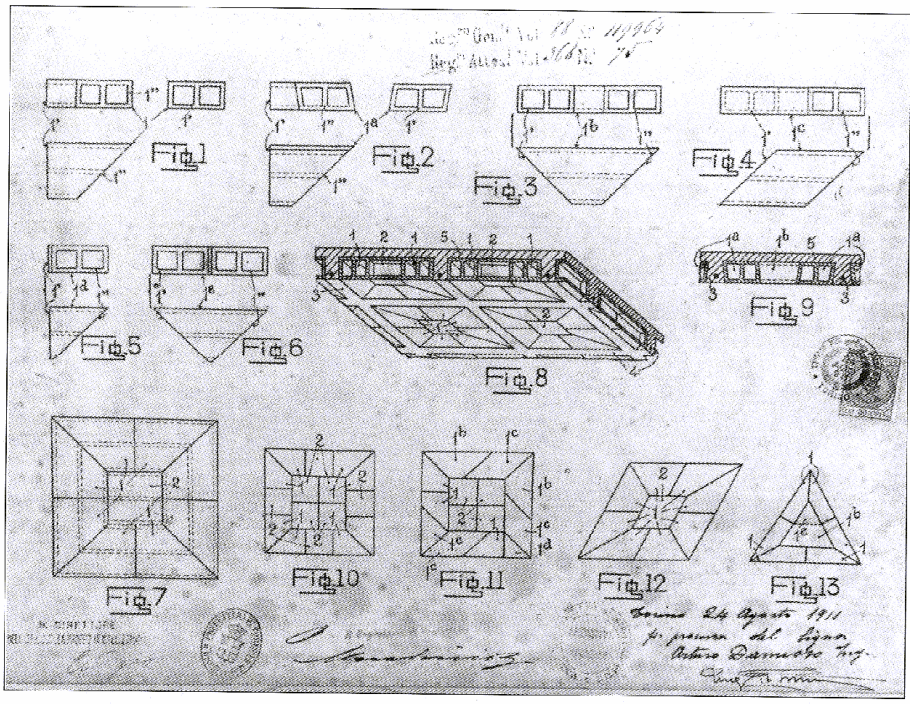
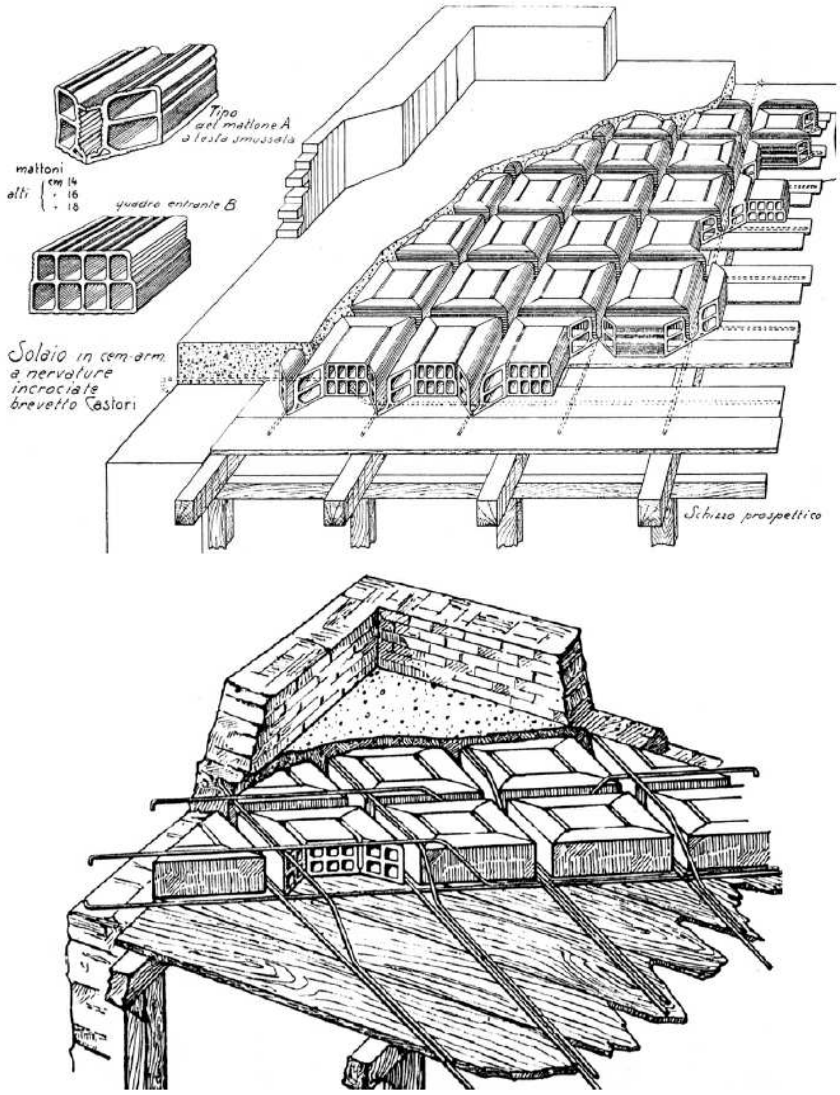


fig. 76: tipologia di solaio *Duplex* e particolare dei laterizi (da AA.VV., *Manuale dell'architetto - compilato a cura del Consiglio Nazionale delle Ricerche - pubblicato dall'Ufficio Informazioni Stati Uniti in Roma*, 1946).



figg. 77 (immagini pp. 216 e 217): brevetto n. 119964, A. Danusso,Torino, *Perfezionamenti nei solai in cemento armato a doppia serie di travi ad angolo tra di loro*, 24 agosto 1911: prima versione (1911) del solaio che successivamente prenderà il nome di *Duplex* (sopra); solaio *Duplex* posto in opera nella Casa del Fascio di Como nel 1933 (alla pagina precedente) (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

Simile al *Duplex* erano il solaio tipo *Castori* e il tipo *Diagonal-Cavallazzi*, caratterizzati da due soli tipi di laterizio (figg. 78).



figg. 78: solai tipo *Castori* (in alto) e *Diagonal-Cavallazzi* (in basso) (da Breymann G.A., *Trattato generale di costruzioni civili*, Vallardi, Milano 1925).

Sistema Berra: si trattava di un solaio latero-cementizio a doppio strato di laterizi armati, caratterizzato da due file contrapposte (una

inferiore e l'altra superiore) di mattoni triangolari forati, collegati con uno spessore sottile di calcestruzzo (2-3 cm), costituente una sezione "ondulata", limitata fra i mattoni (figg. da 79 a 82).

Nella parte inferiore dello strato di calcestruzzo veniva posto in opera un tondino di ferro, in corrispondenza di ogni filare di mattoni, affinché nelle zone di momento positivo, la sezione fosse dotata di sufficiente resistenza a trazione. La zona compressa era rappresentata dalla parte superiore dello strato di calcestruzzo e dalla parete superiore del laterizio. In prossimità dell'incastro, si provvedeva al momento negativo, armando con un tondino anche la zona superiore del calcestruzzo, e piegando sovente verso gli appoggi il ferro sottostante; in quest'ultimo caso, era opportuno eliminare i mattoni dello strato superiore in corrispondenza dei ferri piegati, facendo occupare i vuoti dal calcestruzzo.

In presenza di travi maestre, i laterizi venivano allontanati dalla trave fino a lasciare una lunghezza libera che era considerata necessaria per la trave. Lo strato superiore di mattoni era sfalsato rispetto a quello inferiore: ciò assicurava un migliore collegamento tra solaio e trave. I ferri di armatura del solaio dovevano attraversare la trave e, qualora occorresse giuntarli, bisognava curare che i ferri di una campata fossero prolungati attraverso la trave nell'altra campata.

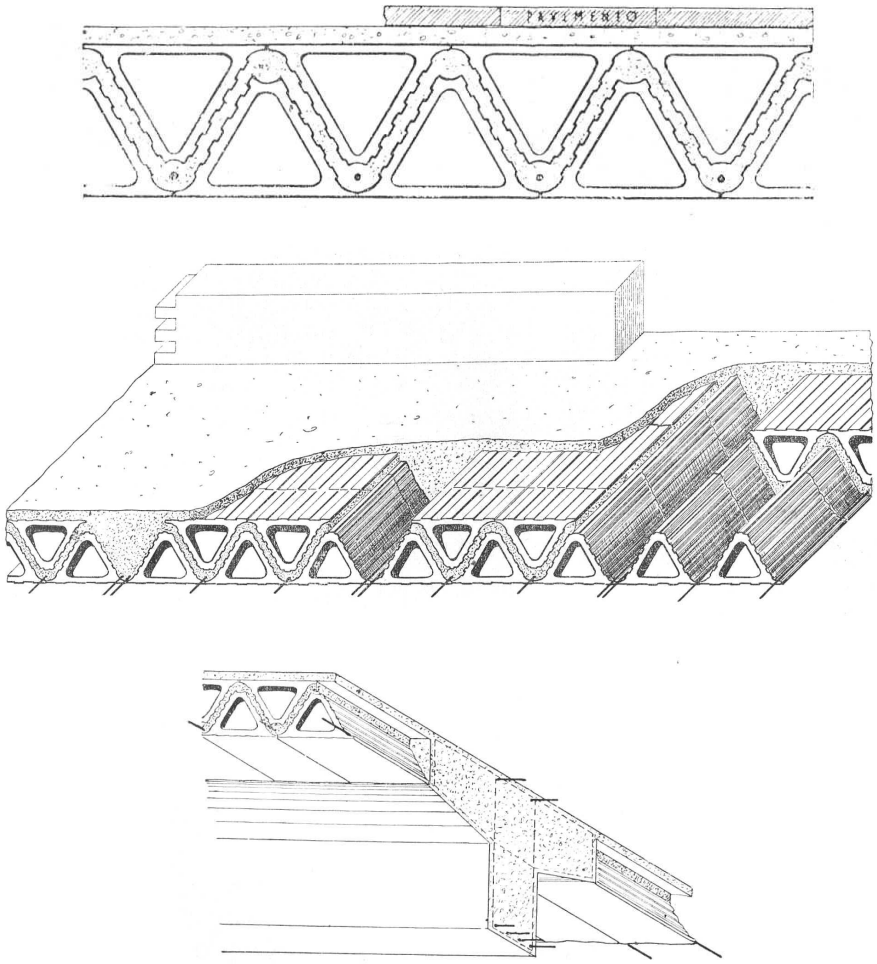
Il solaio *Berra*, nei casi di carico più comunemente adottati, prevedeva la realizzazione di una soletta estradossale di spessore non inferiore a 5 cm; qualora si aveva la necessità di rinforzarla, si procedeva

alla costruzione di nervature parallele che venivano realizzate eliminando un filare di mattoni superiore ogni due o tre filari di laterizi (figg. 79).

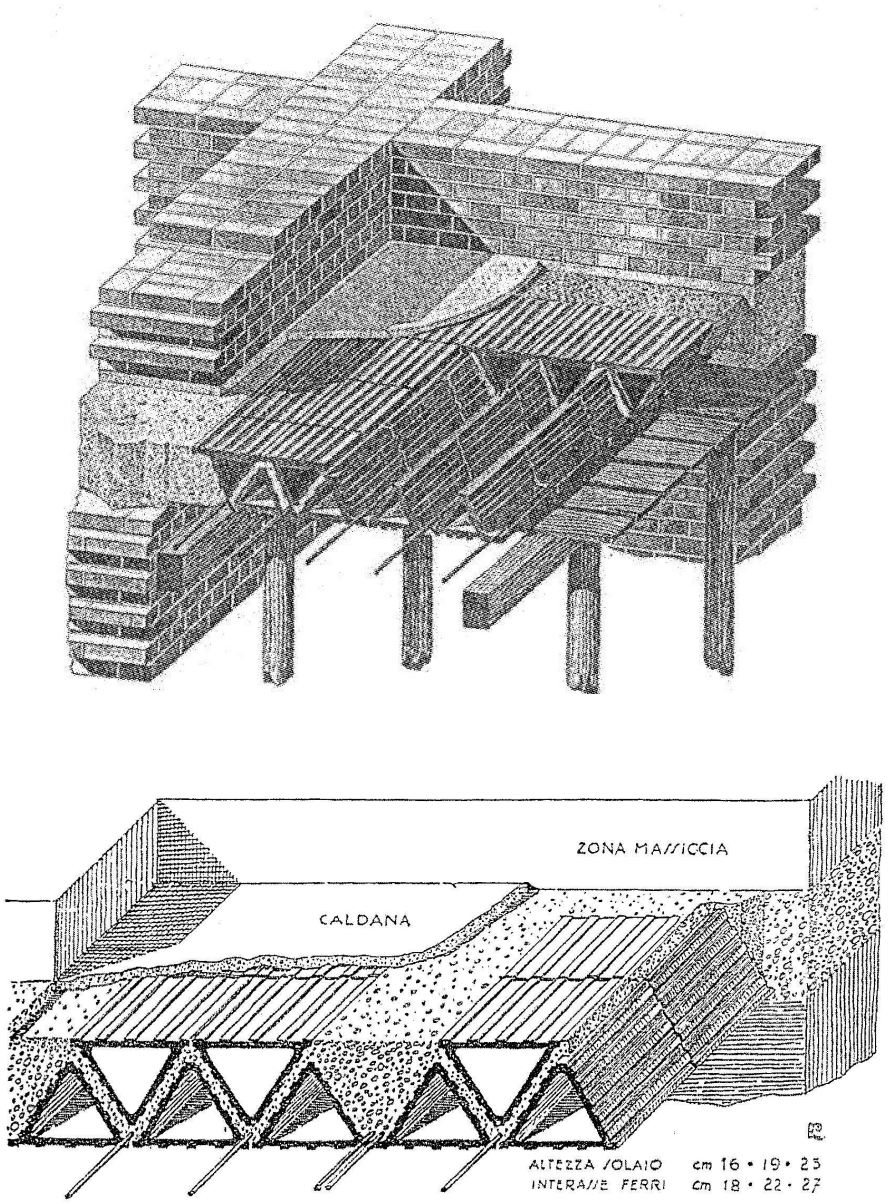
Dal punto di vista dimensionale si aveva che le dimensioni degli elementi laterizi variavano a seconda dei carichi e delle luci e generalmente avevano base di 18-22-27 cm, altezza di 12-16-19-22-27 cm ed erano lunghi dai 25 ai 30 cm.

La posa in opera di questo solaio andava particolarmente curata in quanto era necessario tener presente che il calcestruzzo andava gettato in uno o più filari continui per tutta la lunghezza dell'orizzontamento. Successivamente si disponevano i ferri, come da progetto, e si collocavano i mattoni dello strato superiore capovolti, sfalsandoli di modo che la malta rifluisse lateralmente fino ad affiorare al piano superiore fra i bordi dei mattoni; risultava, infine, essere molto utile una spalmatura superficiale di malta di cemento sopra i mattoni per ben sigillarne le connessure.

Questa tipologia di solaio non ebbe comunque grandissima diffusione a causa degli elevati costi di costruzione.



figg. 79: solaio misto in calcestruzzo armato e laterizi triangolari tipo *Berra* (in alto); solaio misto tipo *Berra* rinforzato con solette e nervature (al centro); disposizione del solaio tipo *Berra* in corrispondenza di una trave (in basso) (da Guerra C., *Architettura Tecnica - Lezioni parte prima - Tavole*, Tipografia Giannini, Napoli 1934, XIII e. f.).



figg. 80: solaio tipo *Berra* (da Formenti C., *La pratica del fabbricare*, Hoepli, Milano 1893).

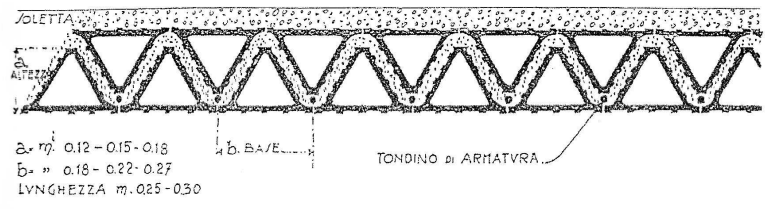


fig. 81: tipo di solaio in cotto e calcestruzzo armato - sistema *Berra* (da Formenti C., *La pratica del fabbricare*, Hoepli, Milano 1893).

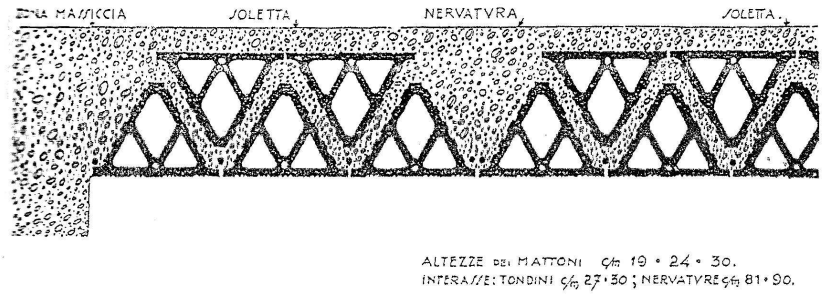


fig. 82: variante del solaio *Berra* con nervature per luci elevate (da Formenti C., *La pratica del fabbricare*, Hoepli, Milano 1893).

Sistema Unic: questo sistema era ottenuto interponendo ad ogni coppia di forati, appositi fondelli in laterizio con un interasse di circa 39 cm per portate fino a 7,00 m. La soletta aveva funzione di collegamento e presentava uno spessore pari a 5 cm; i travetti avevano larghezza di circa 7 cm e le dimensioni dei forati erano pari a: 16x12, 18x12, 20x12 e 25x12 cm.

Nei vani, nei quali veniva successivamente effettuato il getto di calcestruzzo, si disponevano i tondini (e talvolta le staffe) costituenti l'armatura dei travetti; al di sopra l'armatura della soletta (figg. 83 e 84).

Generalmente l'armatura dei travetti era costituita, salvo per quelli precompressi, da due tondini, uno dritto e l'altro sagomato, con le estremità rialzate in corrispondenza degli appoggi (in caso di momenti negativi rilevanti veniva rinforzata l'armatura all'incastro con l'aggiunta di uno spezzone). Gli sforzi di taglio erano assorbiti dall'armatura rialzata a 45°. Il diametro dei ferri era fissato con criterio assolutamente pratico.

L'introduzione dei fondelli in laterizio (fig. 85), alternati alle file di pignatte in corrispondenza delle nervature, permetteva il rapido posizionamento dei vari elementi garantendo una larghezza costante del travetto oltre ad un'omogeneità della superficie di intradosso del solaio e ad una sensibile economia nella posa in opera, essendo sufficiente un tavolato di sostegno parzialmente chiuso per il getto di completamento[115].

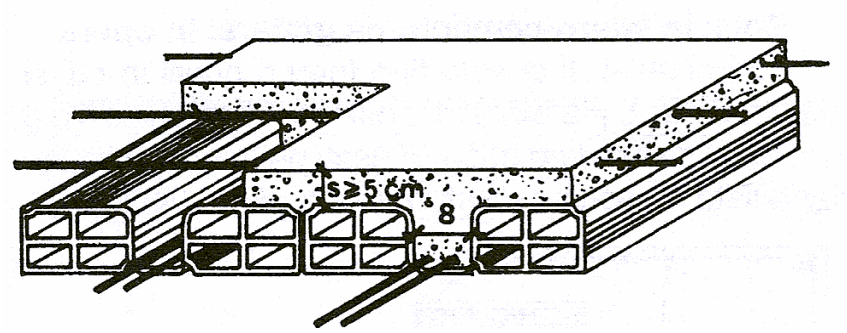


fig. 83: solaio a nervature parallele tipo *Unic* (da Caleca L., *Architettura Tecnica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2007).

[115] Irace A., Pizzo L., *I solai*, CUEN, Napoli 1989, pp. 33-34.

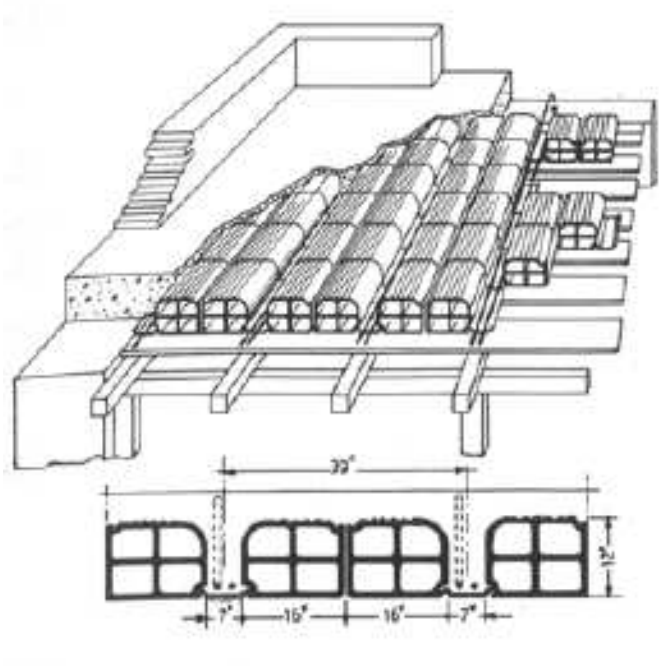


fig. 84: solaio a nervature parallele tipo *Unic* (da Petrignani A., *Tecnologia dell'architettura*, Gorlich-Istituto Geografico De Agostini Novara S.p.A., Roma 1984).

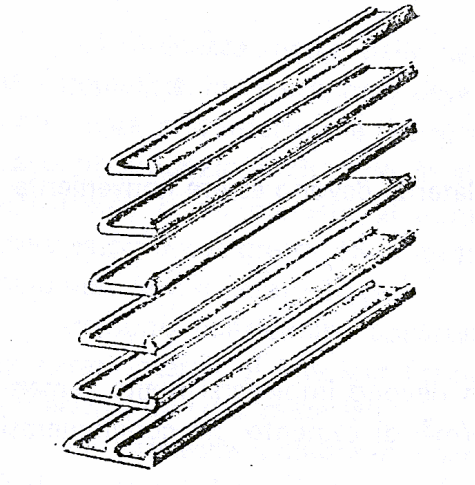
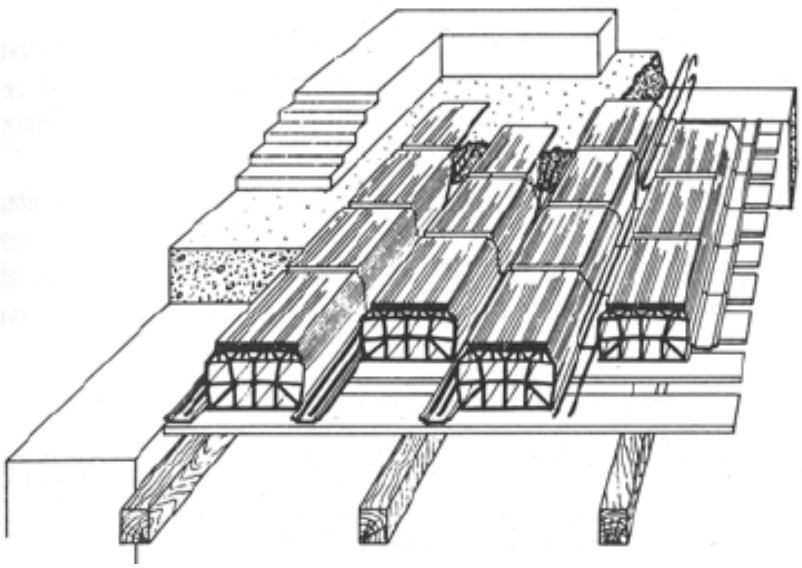


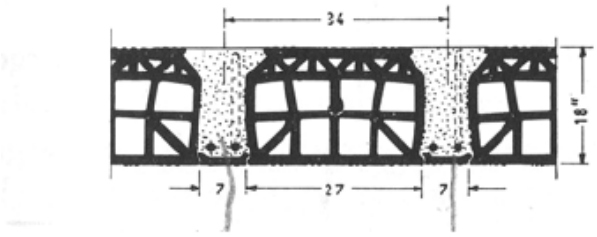
fig. 85: fondelli in laterizio posizionati nella parte inferiore delle nervature (da Irace A., Pizzo L., *I solai*, CUEN, Napoli 1989).

Sistema Perretunic: era realizzato con forati robusti (volterrane) e non necessitava della soletta superiore di ripartizione.

Le volterrane (di larghezza pari a 27 cm, lunghezza di 40 cm e altezza di 14-18 o 22 cm) venivano posizionate a giunti sfalsati per ottenere una uniforme resistenza alla compressione, venivano smussate nella parte superiore per consentire l'allargamento della sezione del calcestruzzo nella zona compressa ed avevano la superficie corrugata sulle fiancate per migliorare l'ammorsamento; presentavano, inoltre, un fondello di cotto che poggiava su apposite sedi ricavate nelle fiancate delle volterrane (figg. 86).

I travetti, larghi circa 8 cm, avevano forma allargata nella parte superiore e presentavano un interasse di circa 34 cm (fig. 87).





figg. 86 (immagini pp. 226 e 227): solaio *Perretunic* (da Petrignani A., *Tecnologia dell'architettura*, Gorlich-Istituto Geografico De Agostini Novara S.p.A., Roma 1984).

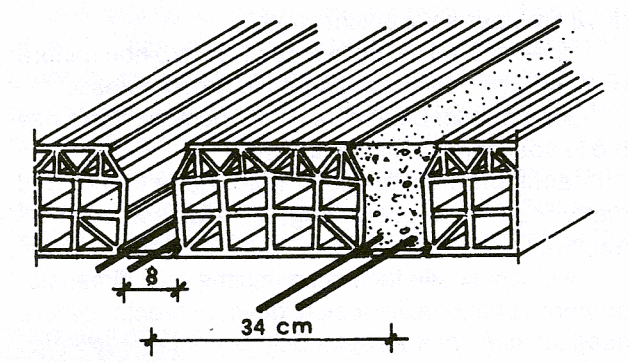


fig. 87: solaio *Perretunic* a nervature parallele (da Caleca L., *Architettura Tecnica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2007).

Sistema Magneti: si tratta di un solaio latero-cementizio con nervature incrociate ed elementi di cotto con fondelli per le nervature. Il laterizio era sostanzialmente una sorta di grosso mattone forato, chiuso da un diaframma ad uno delle testate. A seconda dei carichi e delle luci variavano le dimensioni dei forati realizzati a scomparti, quadrati o rettangolari, accoppiando nelle due direzioni perpendicolari i laterizi costituiti da 4-9 elementi se quadrati, da 6-12 elementi se rettangolari. Il pacchetto del solaio così realizzato era completato nella facciata

estradossale dalla consueta soletta continua dello spessore di 5 cm. Le dimensioni dei blocchi di laterizio potevano essere pari a 12x25x25 cm o 15x20x30 cm; l'altezza del solaio era di 12-15-20-25 cm cui si aggiungevano i 5 cm di soletta; la dimensione dei riquadri si aggirava intorno a 50x50 cm o 60x60 cm, mentre il peso del laterizio era pari a 60-70-90-115 kg/mq (fig. 88).

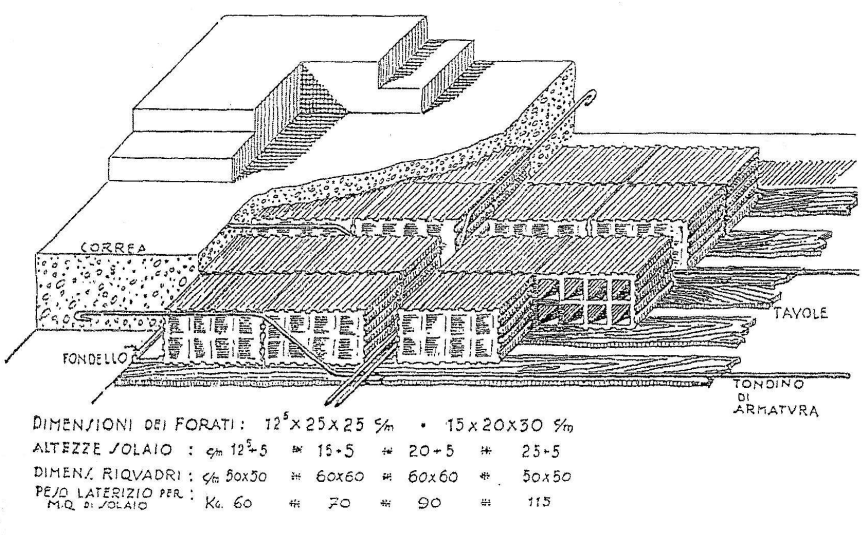


fig. 88: solaio in calcestruzzo armato a nervature incrociate - sistema *Magneti* (da Formenti C., *La pratica del fabbricare*, Hoepli, Milano 1893).

Solaio Bidelta: questo solaio, brevettato anch'esso dalla ditta "Eredi Frazzi"[116], presentava la soletta realizzata in calcestruzzo e aveva pregi di coibenza termica e sonora.

[116] Brevetto n. 98562, F. Frazzi, Cremona, *Orditura laterizia o ad altra sostanza per la formazione di camere d'aria nei tetti o solai-soffitti in cemento armato*, 19 ottobre 1908.

I laterizi fungevano anche da casseri per i travetti ed erano composti da spondali lunghi 25 cm con alette di rivestimento per le nervature, tavelle superiori di 4 cm e tavelle inferiori di 3,5 cm ed erano caratterizzati da strombature terminali, che servivano a realizzare mensole orizzontali in prossimità degli appoggi aventi lunghezza multipla di 25 cm. Gli spondali per le strombature erano tagliati a sghembo e una volta separati, fornivano "pezzi destra e sinistra" con i quali veniva realizzato il divaricamento delle fiancate. Gli allargamenti delle nervature alle loro estremità consentivano di assorbire gli sforzi di taglio all'appoggio e quelli di compressione all'incastro derivanti dall'inversione del momento. Questo particolare comportamento delle nervature allargate alle estremità permetteva, in definitiva, una sensibile economia nell'armatura metallica del solaio.

Particolare cura doveva porsi nel posizionamento delle tavelle che dovevano essere sagomate in modo da bloccare gli spondali; quella superiore, in particolare, doveva presentare ritegni che avevano la funzione di stabilizzare i laterizi durante il getto (fig. 89).

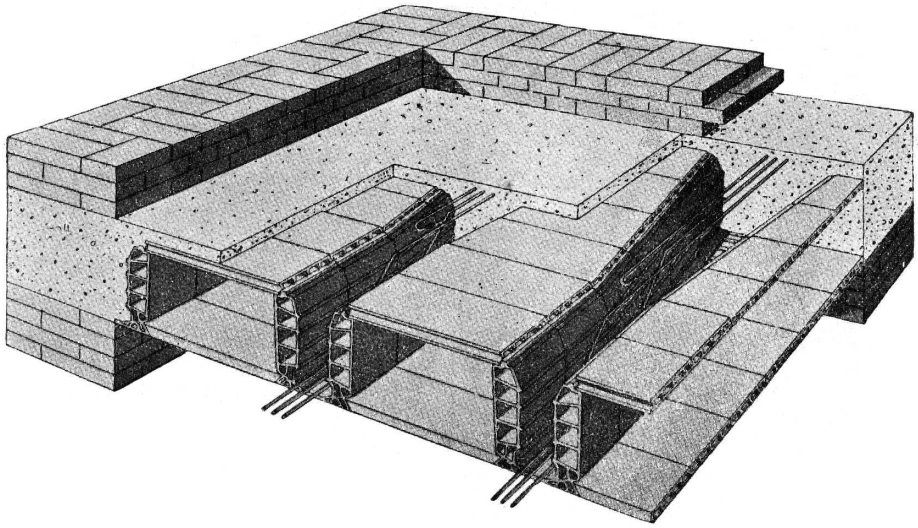
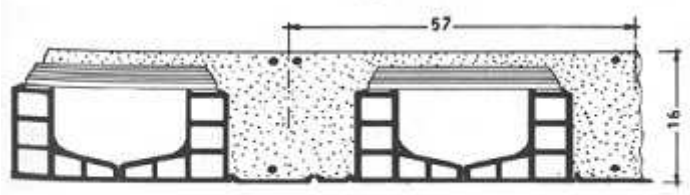


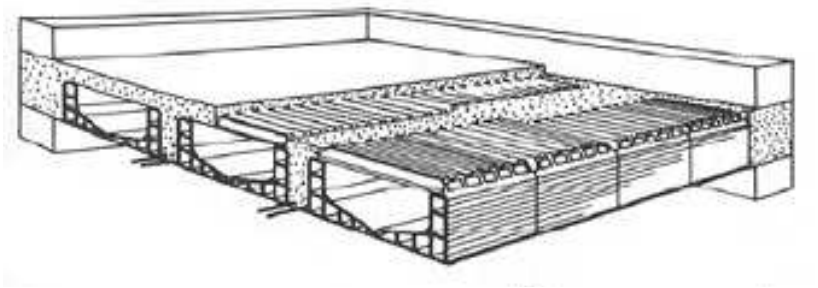
fig. 89: solaio *Bidelta* (da Guerra C., *Architettura Tecnica - Lezioni parte prima - Tavole*, Tipografia Giannini, Napoli 1934 , XIII e. f.).

Solaio Cappa: aveva la particolarità di presentare grandi vani longitudinali formanti una camera d'aria che conferiva all'intero solaio un elevato grado di coibenza termica.

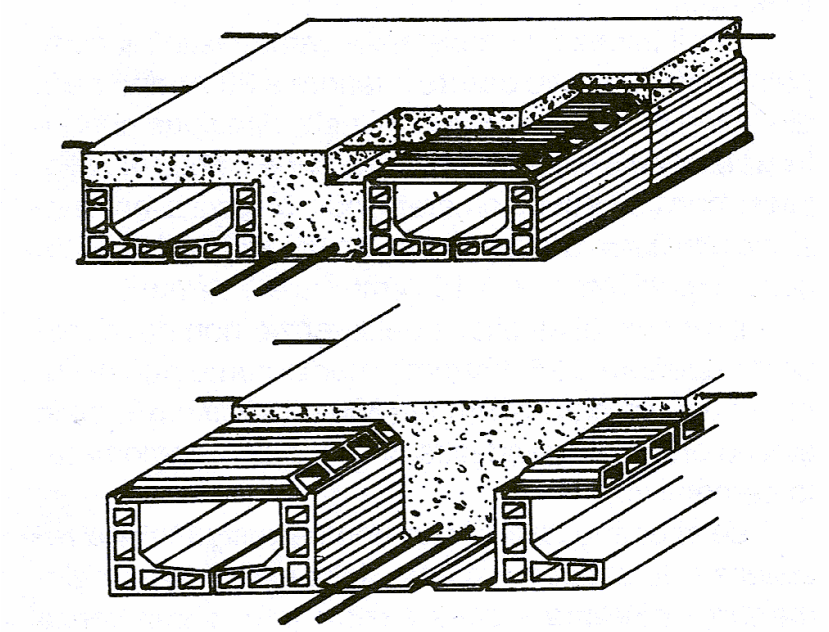
Veniva realizzato montando due laterizi a forma di L ed un tavellone forato di chiusura.

I fondelli erano di due misure e consentivano di assegnare larghezze diverse alle nervature (figg. 90 e 91).





figg. 90 (immagini pp. 230 e 231): sezione (pagina precedente) e assonometria (in alto) di un solaio *Cappa* (da Petrignani A., *Tecnologia dell'architettura*, Gorlich-Istituto Geografico De Agostini Novara S.p.A., Roma 1984).



figg. 91: solaio *Cappa* a nervature parallele con fondelli semplici e doppi (da Caleca L., *Architettura Tecnica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2007).

Esistevano, inoltre, anche altri tipi brevettati di solai del tutto simili, come dimensione e comportamento, alle tipologie di orizzontamenti appena descritte, dalle quali si differenziavano solo per la forma del laterizio utilizzato (figg. da 92 a 100).

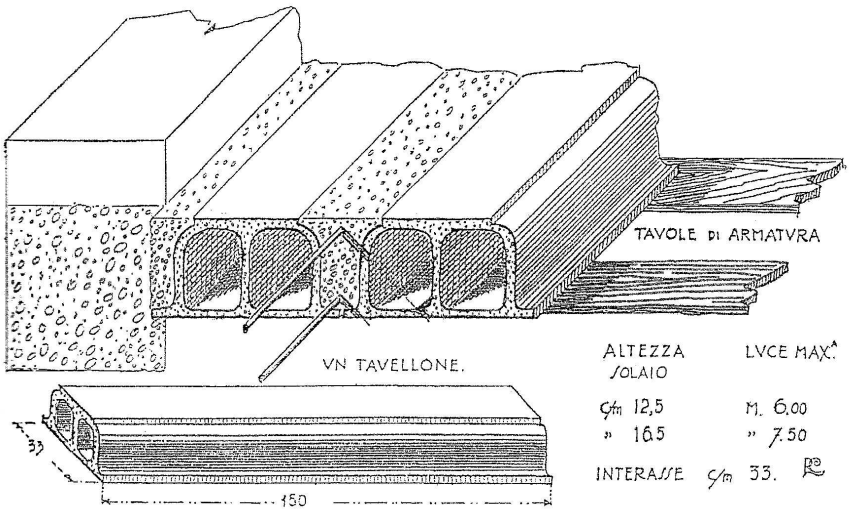
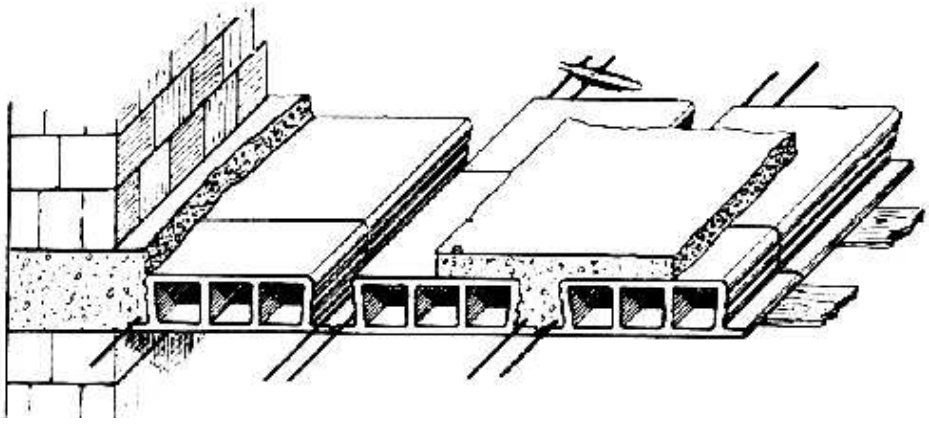
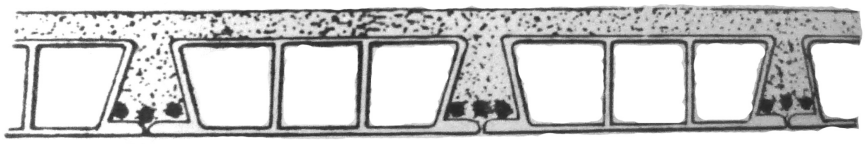


fig. 92: solaio *M.A.L.I.* a tavelloni (da Formenti C., *La pratica del fabbricare*, Hoepli, Milano 1893).





figg. 93 (immagini pagina precedente e in alto): solaio a nervature parallele tipo *Cannovale e Dellepiane*[117]. Si tratta di un solaio misto in calcestruzzo armato gettato in opera e laterizi forati molto diffuso a Salerno nel periodo compreso tra le due guerre. Era costituito da nervature parallele in calcestruzzo armato e laterizi forati (detti *cannavali*) con soletta superiore di circa 5 cm che si estendeva per tutto lo spessore delle murature di perimetro (da Vacchelli G., *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*, Hoepli, Milano 1921 e Guerra C., *Architettura Tecnica - Lezioni parte prima - Tavole*, Tipografia Giannini, Napoli 1934 , XIII e. f.).

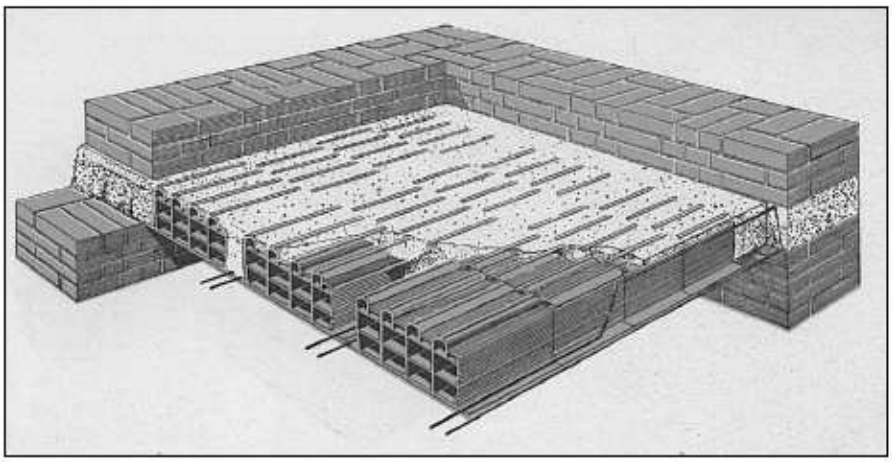
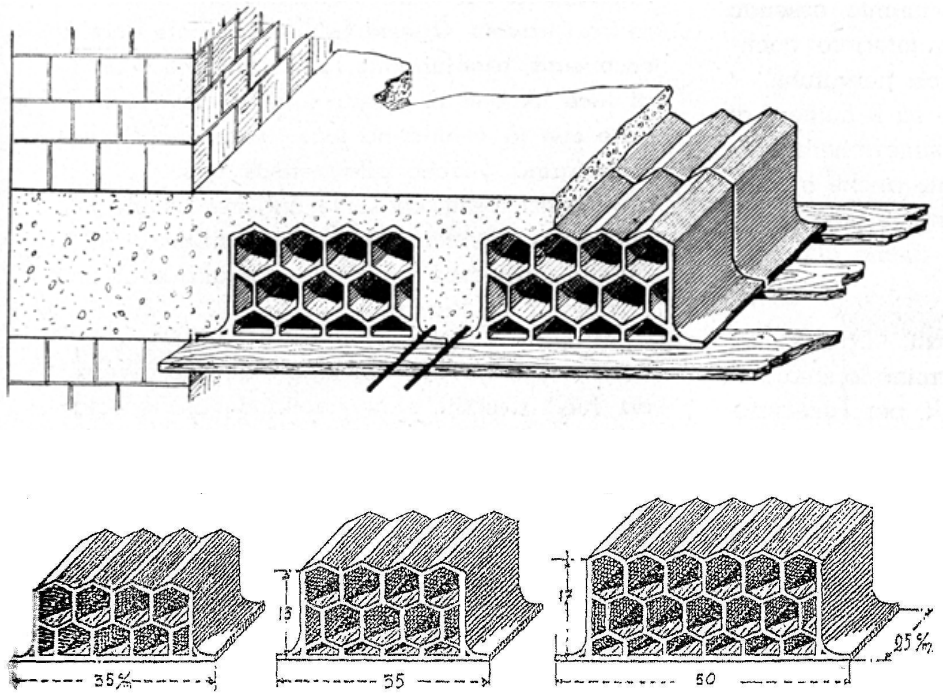


fig. 94: vista assonometrica del solaio *Excelsior M*, formato da laterizi monoblocco (da Guerra C., *Architettura Tecnica - Lezioni parte prima - Tavole*, Tipografia Giannini, Napoli 1934 , XIII e. f.).

[117] Brevetto n. 84447, G. Cannovale, Genova, *Nuovo tipo di tavelloni per la costruzione di solai in cemento armato a camera d'aria*, 4 ottobre 1906.



figg. 95: solaio misto a nervature parallele con laterizi forati tipo *Esagonal* - brevetto *Adamoli* utilizzato per luci fino a 7,00 m (da Guerra C., *Architettura Tecnica - Lezioni parte prima - Tavole*, Tipografia Giannini, Napoli 1934 , XIII e. f. (in alto) e Formenti C., *La pratica del fabbricare*, Hoepli, Milano 1893 (in basso)).

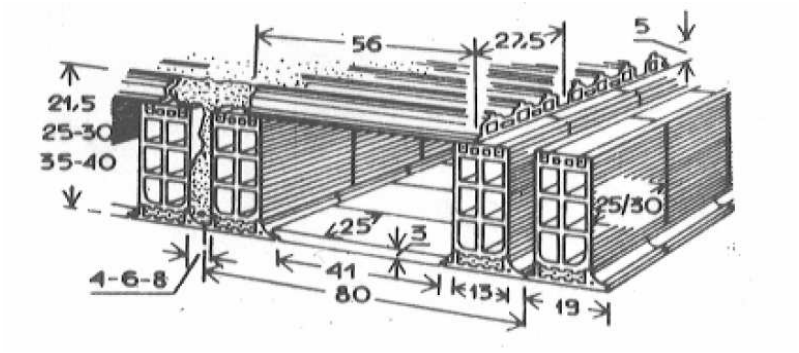


fig. 96: solaio *Sapal*. Era caratterizzato da nervature in conglomerato cementizio armato di larghezza pari a 4-6 o 8 cm, poste ad interasse di 80 cm, affiancate da due blocchi di laterizio prefabbricati di 13 cm di larghezza. Dall'intradosso del solaio è visibile un modulo di tre laterizi di larghezza pari a 19-41-19 cm (da AA.VV., *Manuale dell'architetto - compilato a cura del Consiglio Nazionale delle Ricerche - pubblicato dall'Ufficio Informazioni Stati Uniti in Roma*, 1946).

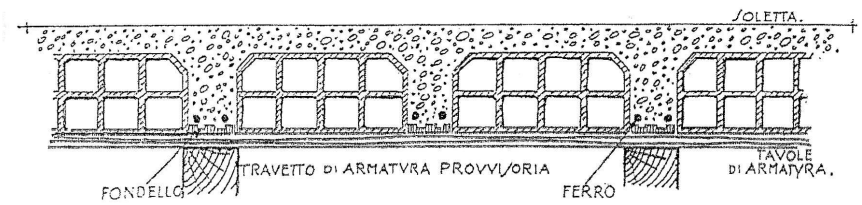


fig. 97: solaio misto in calcestruzzo armato e laterizi con fondelli in cotto in corrispondenza dei travetti (da Formenti C., *La pratica del fabbricare*, Hoepli, Milano 1893).

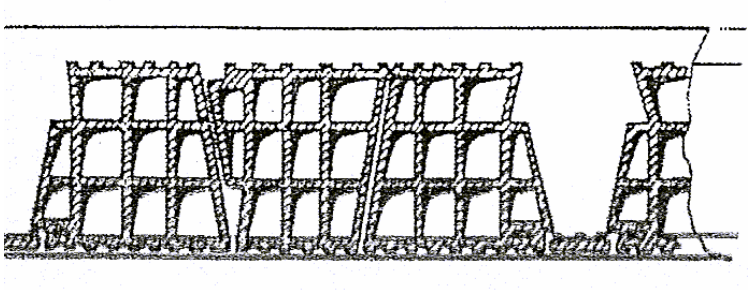


fig. 98: blocchi con rientranze laterizie impostate su appositi pezzi che fungevano da rivestimento delle nervature (da Nelva R., Signorelli B., *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia: il sistema Hennebique*, Edizioni di Scienza e Tecnica, Milano 1990).

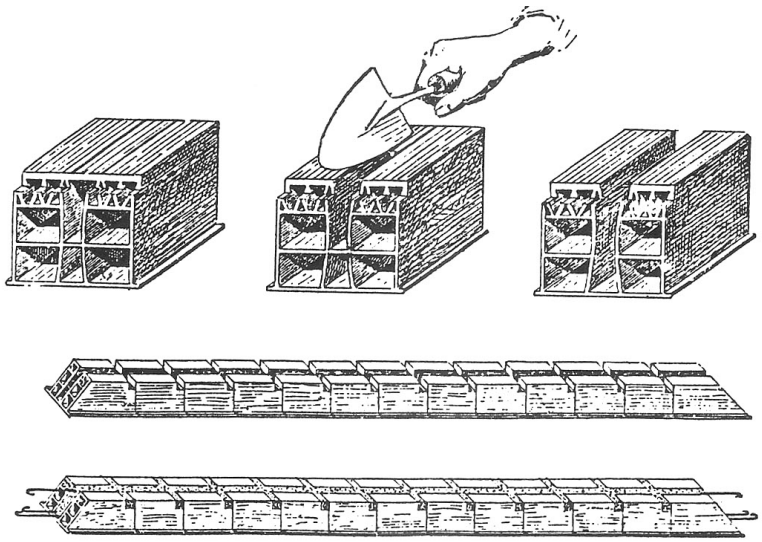


fig. 99: solaio tipo *Pratico* in cui il travetto si realizzava in opera aprendo con leggeri colpi di cazzuola gli opportuni alloggiamenti nei laterizi che costituivano sede per le armature e per il successivo getto di calcestruzzo. Ve ne era anche una variante costituita da travetti prefabbricati realizzati a piè d'opera e successivamente assemblati in cantiere (da AA.VV., *Materiali e tecniche per il recupero edilizio*, Luciano Editore, Napoli 2005).

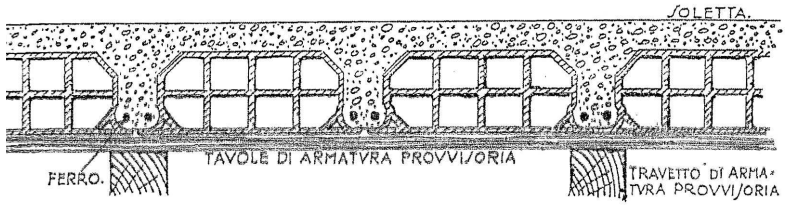


fig. 100: solaio misto in calcestruzzo armato e laterizi con alette (da Formenti C., *La pratica del fabbricare*, Hoepli, Milano 1893).

Vi erano ancora ulteriori tipi di solai comunemente utilizzati di cui, però, non si ha traccia di particolari brevetti ma che sono ugualmente degni di nota.

Il Rosci descriveva, ad esempio, un tipo di solaio a camera d'aria, con nervature parallele e intradosso perfettamente piano.

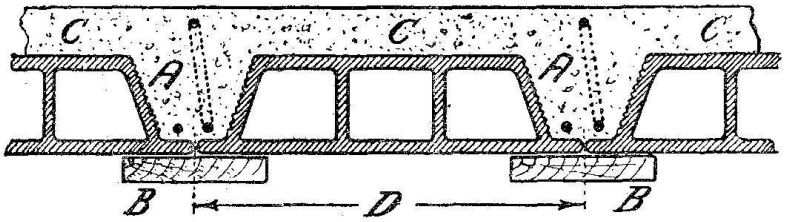


fig. 101: solaio misto in calcestruzzo armato e laterizi di forma trapezia (da Rosci L., *Manuale pratico di volgarizzazione del calcolo del cemento armato*, G. Lavagnolo Editore, Torino 1939).

L'economicità di tale orizzontamento era determinata "*dall'armatura di legno occorrente per la costruzione* [che] *si riduceva*

ad un semplice assito discontinuo necessitando il sostegno dei laterizi solo sotto i loro giunti di unione (B)"[118] (fig. 101).

Ogni due filari, i laterizi creavano le sedi delle nervature cementizie (*A*) nelle quali si posavano i tondini di ferro; per lo spessore di conglomerato sopra i forati (*C*), il R.D. 29 luglio 1933 n. 1213, prescriveva uno spessore non inferiore ai 5 cm.

Per questi solai non era ritenuta necessaria l'armatura di ripartizione; era, invece, buona regola tenere i laterizi distaccati di 20-25 cm dagli incastri o dagli appoggi, riempiendo il vano di conglomerato per un più efficace collegamento.

Anche il Vacchelli descriveva alcuni tipi di solai fino ad ora esaminati, affermando in sintesi che nei tipi *Frazzi* e delle *Fornaci Pisane* (fig. 102), in corrispondenza dell'intradosso delle nervature in calcestruzzo armato, si aveva un sottile copriferro in cotto; nei tipi *Villa* e *Cannovale e Dellepiane*, il fondo delle nervature era formato dalle stesse alette di due laterizi contigui; nel tipo *Miozzo Salerni*[119], i laterizi erano conformati in modo da creare alloggiamento per le nervature in conglomerato cementizio armato.

[118] Rosci L., *op. cit.*, p. 152.

[119] Brevetto n. 128069, G. Salerni, A. Miozzo, Venezia e Padova, *Sistema di costruzione di solai economici in cemento armato e volterrane in cotto*, 16 settembre 1912.

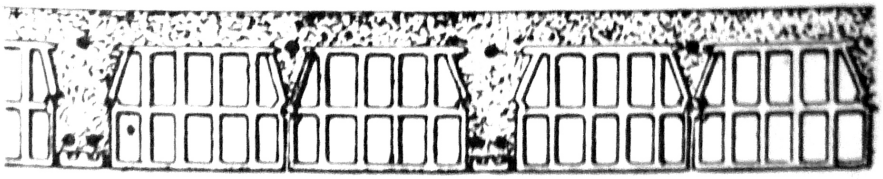
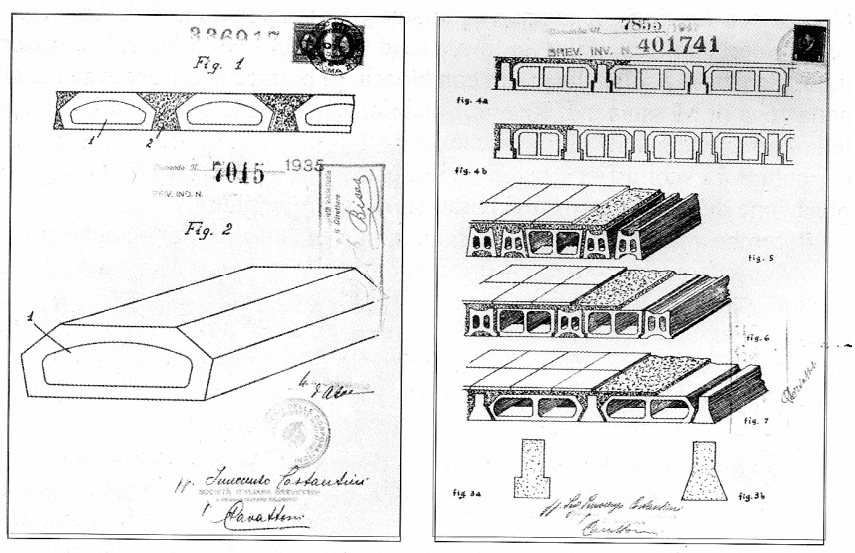
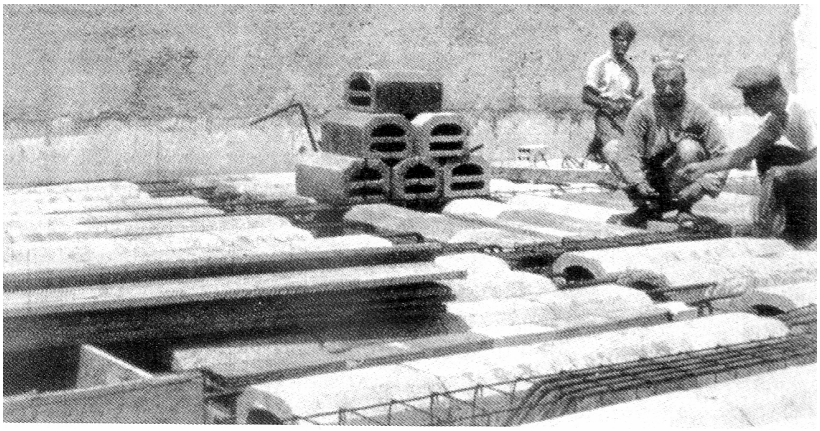


fig. 102: solaio *Fornaci Laterizi Pisana* (da Vacchelli G., *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*, Hoepli, Milano 1921).

Verso la fine degli anni Trenta, in pieno regime autarchico, si sono succeduti tentativi, più o meno fortunati, di sostituire i laterizi con altri materiali (calcestruzzi leggeri, polistirolo, impasti di fibre vegetali, ecc.), con lo scopo di aumentare le caratteristiche di leggerezza, coibenza termica e afonicità.

Tra le tipologie gettate in opera si diffusero solai di tipo analogo a quelli sopra descritti, in cui il laterizio veniva sostituito con materiale leggero di altra natura, come ad esempio blocchi di calcestruzzo poroso e pomice (che fungevano unicamente da riempimento in quanto tutta la funzione resistente era affidata al calcestruzzo armato) (figg. 103) o anche pezzi speciali o blocchetti di paglia o fibre vegetali (*eraclit*, *celotex*, ecc.) mischiate a cemento, che venivano disposti fra i travetti di conglomerato cementizio armato (fig. 104).





figg. 103: solai con pignatte di pomice (brevetto n. 336917, I. Costantini, Roma, *Solaio composto di pignatte in materiali pomicei e cemento e di travetti in cemento armato*, 8 ottobre 1935; brevetto n. 401741, I. Costantini, Roma, *Solai leggeri in conglomerato di pomice*, 3 settembre 1942; un'applicazione del 1939) (da Poretti S., *Modernismi italiani - architettura e costruzione nel Novecento*, Gangemi Editore, Roma 2008 e Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

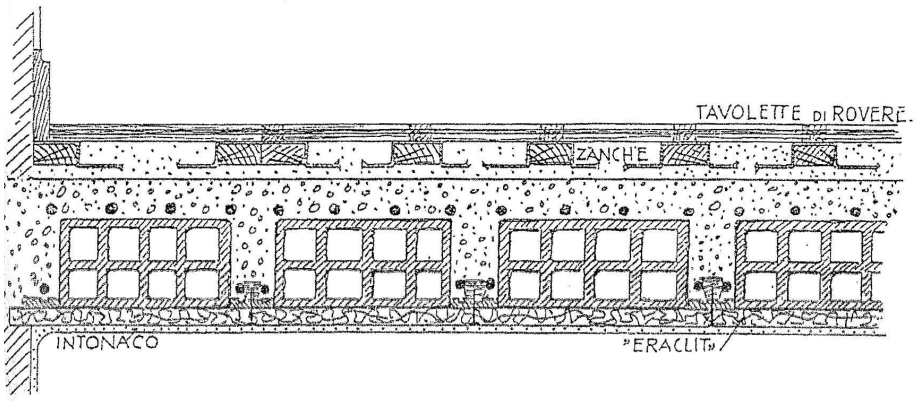
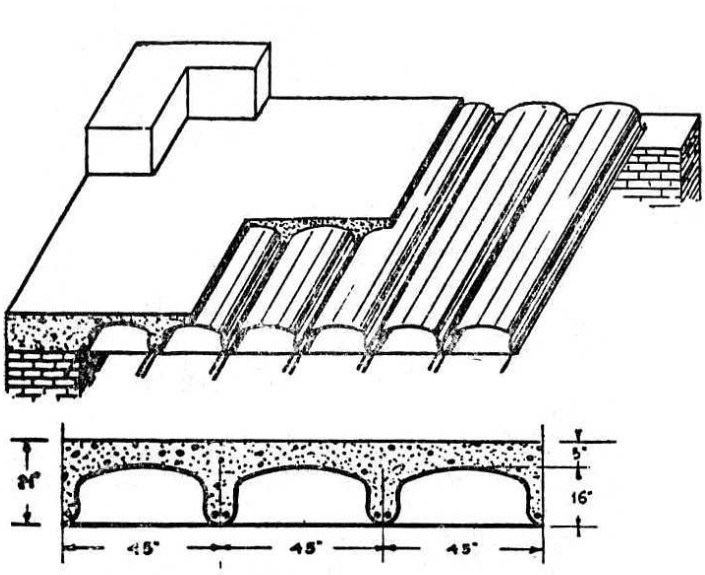
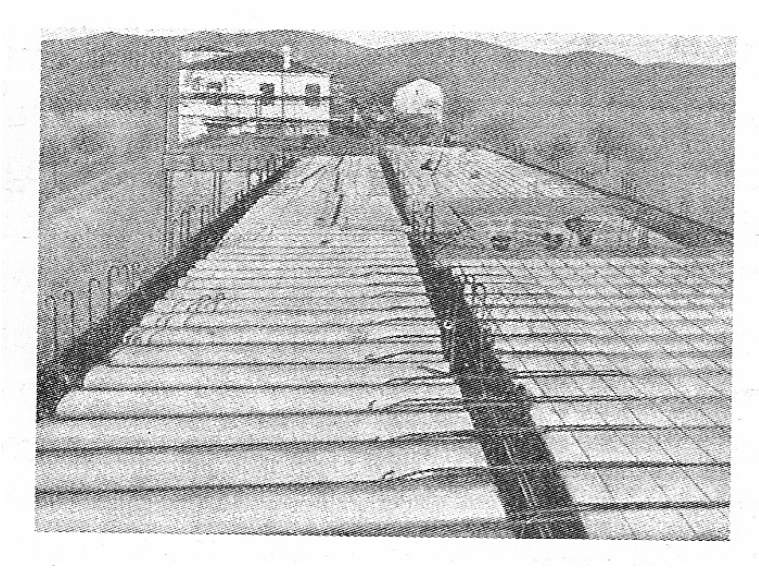


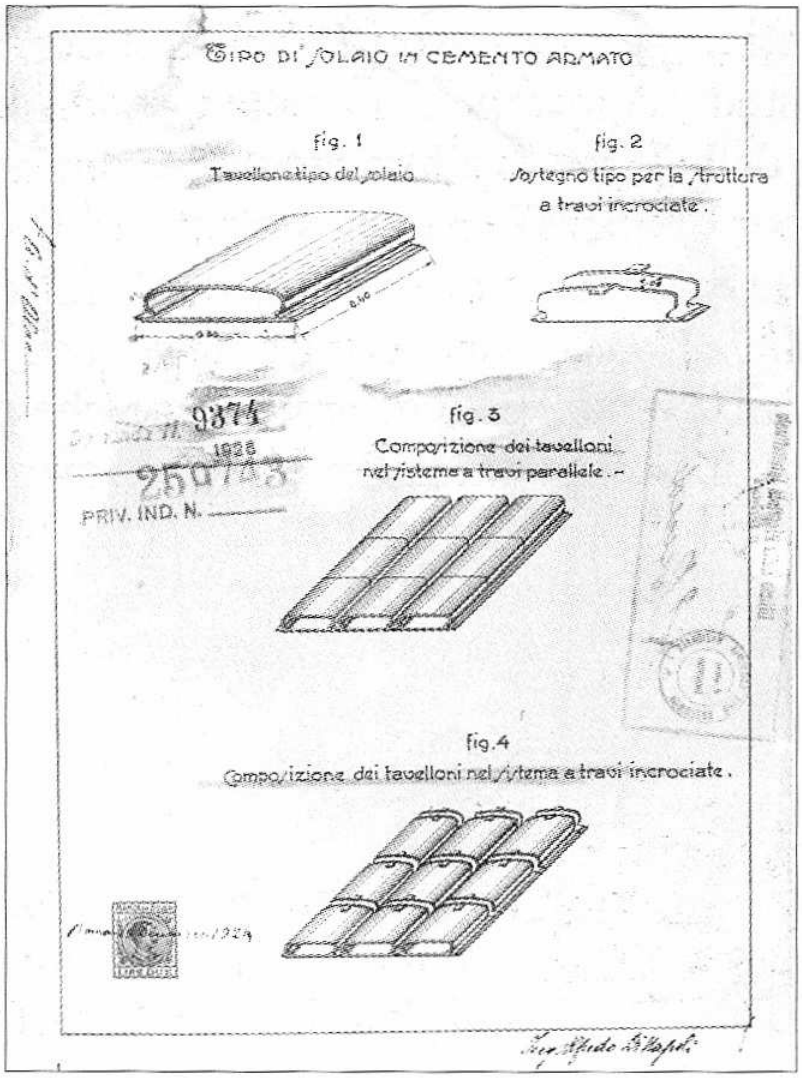
fig. 104: tipo di solaio in calcestruzzo armato e cotto con soffitto isolato con lastre di *eraclit* (da Formenti C., *La pratica del fabbricare*, Hoepli, Milano 1893).

Un tipo che ebbe una certa diffusione fu quello con voltine di *eternit* (fig. 105) che, ordinate anche su misura, raggiungevano lunghezze fino a 7,00 m di luce. Anche in questi solai la voltina era sostanzialmente una cassaforma, perché alleggeriva il solaio più dei laterizi forati, consentendo un'esecuzione facile ed economica senza, però, contribuire alla resistenza perché non conferiva alla struttura la rigidezza dei laterizi.



figg. 105: vista assonometrica e sezione di un solaio misto in calcestruzzo armato e voltine di *eternit* (da Guerra C., *Architettura Tecnica - Lezioni parte prima – Tavole*, Tipografia Giannini, Napoli 1934 , XIII e. f.).





figg. 106 (immagini pp. 242 e 243): solaio con tavelloni di cemento-amianto, posa in opera (pagina precedente) e brevetto n. 259743, A. Di Napoli, Roma, *Solaio in cemento armato a travi parallele ed a travi incrociate, eseguito con tavelloni di Eternit, ossia con tavelloni formati con cemento e amianto*, 15 dicembre 1926 (in alto) (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

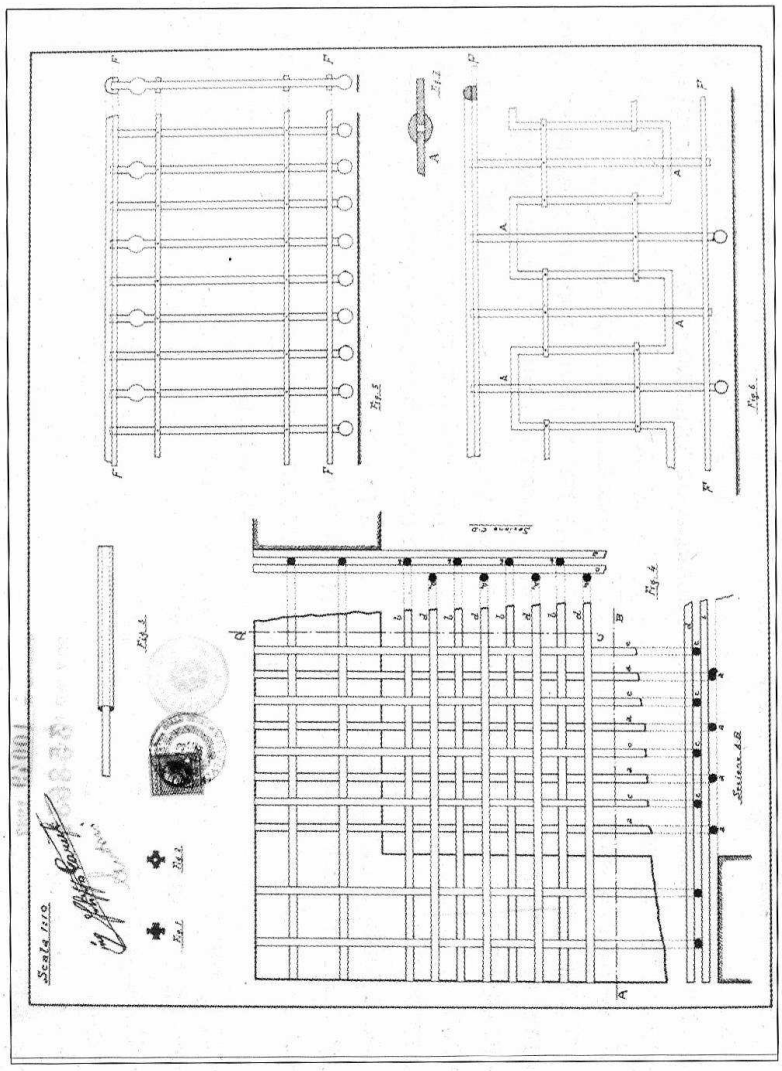


fig. 107: brevetto n. 358631, F. Garufi, Catania, *Impiego di verghe di cemento amianto in sostituzione del ferro nella tecnica del cemento armato e nelle costruzioni in genere, 14 dicembre 1937* (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

Le ditte stesse erano solite fornire opuscoli delucidativi, prezzi e calcoli statici inerenti ai solai prodotti.

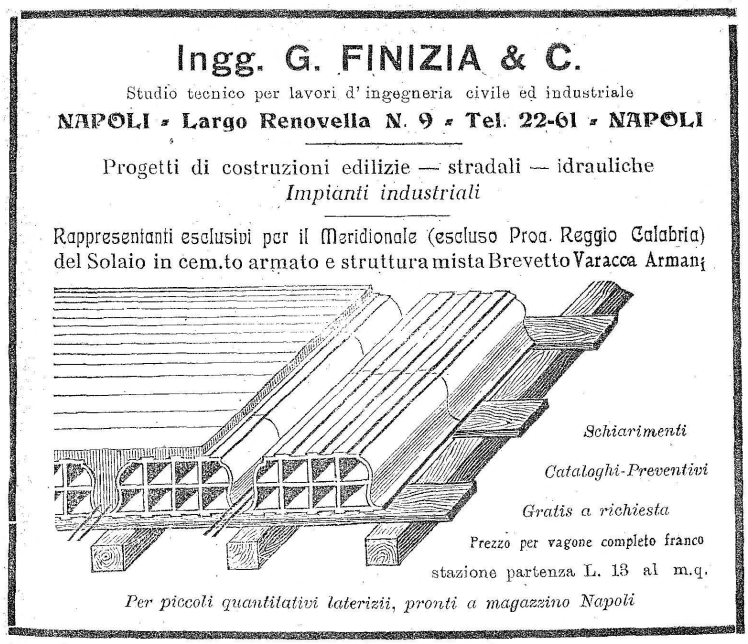


fig. 108: una delle tante pubblicità di aziende edili specializzate nella produzione di solai in conglomerato cementizio armato (da Analisi prezzi Napoli 1922).

Si hanno, inoltre, testimonianze dell'impiego di alcuni solai in calcestruzzo armato a nervatura semplice o incrociata, brevettati, alleggeriti mediante blocchi cavi di semplice cartone bitumato[120] o di rete metallica irrigidita con malta cementizia[121]. Sempre in sostituzione delle

[120] Brevetto n. 253115, G. Rubinich, Fiume, *Applicazione nelle costruzioni di cemento armato di scatole di cartone o di altro materiale equivalente come peso e resistenza reso impermeabile con pece od altro ingrediente poste su strato di calcestruzzo armato di incannucciato*, 17 febbraio 1927.

[121] Brevetto n. 205187, V. Baldassarre, Milano, *Solai e coperture economiche in cemento armato*, 23 novembre 1921.

pignatte laterizie, troppo costose, furono impiegati anche cestini di vimini rovesciati o semplicemente imbottiture di cannicci[122].

Queste soluzioni, che vedevano l'impiego di materiali "alternativi", erano riservate a situazioni particolari, per lo più sperimentazioni per la realizzazione di costruzioni autarchiche, mentre nella maggior parte dei casi venivano messi in opera i più affidabili solai latero-cementizi, dei tipi descritti in precedenza.

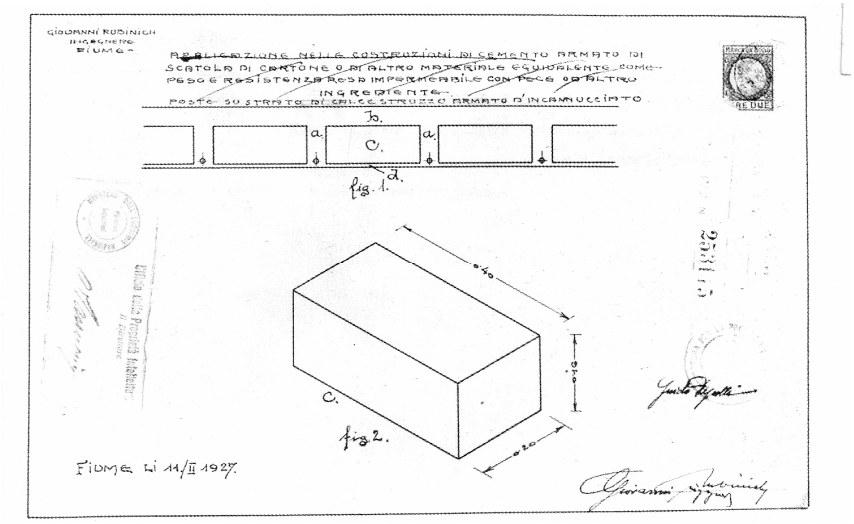


fig. 109: brevetto n. 253115, G. Rubinich, Fiume, *Applicazione nelle costruzioni di cemento armato di scatole di cartone o di altro materiale equivalente come peso e resistenza reso impermeabile con pece od altro ingrediente poste su strato di calcestruzzo armato di incannucciato*, 17 febbraio1927 (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

[122] Brevetto n. 177385, G. Monti, Roma, *Nuovo sistema di solai leggeri in calcestruzzo, armato con ferro e canne vegetali*, 11 agosto 1919 e brevetto n. 180062; A. Garboli, G. Tomiolo, Roma, *Strutture cave in cemento armato ottenute con l'interposizione di forme di canne, vimini ed altri materiali simili che ne costituiscono la sagoma intera*, 10 dicembre 1919.

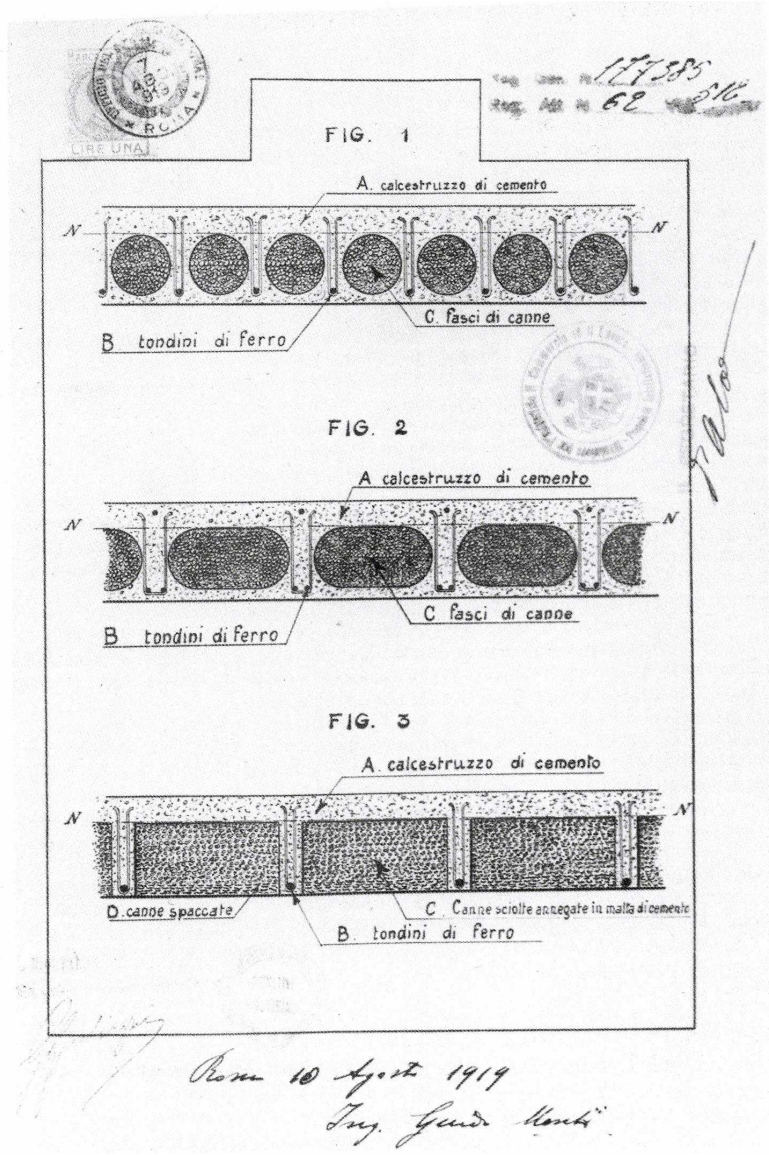


fig. 110: brevetto n. 177385, G. Monti, Roma, *Nuovo sistema di solai leggeri in calcestruzzo, armato con ferro e canne vegetali*, 11 agosto 1919 (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

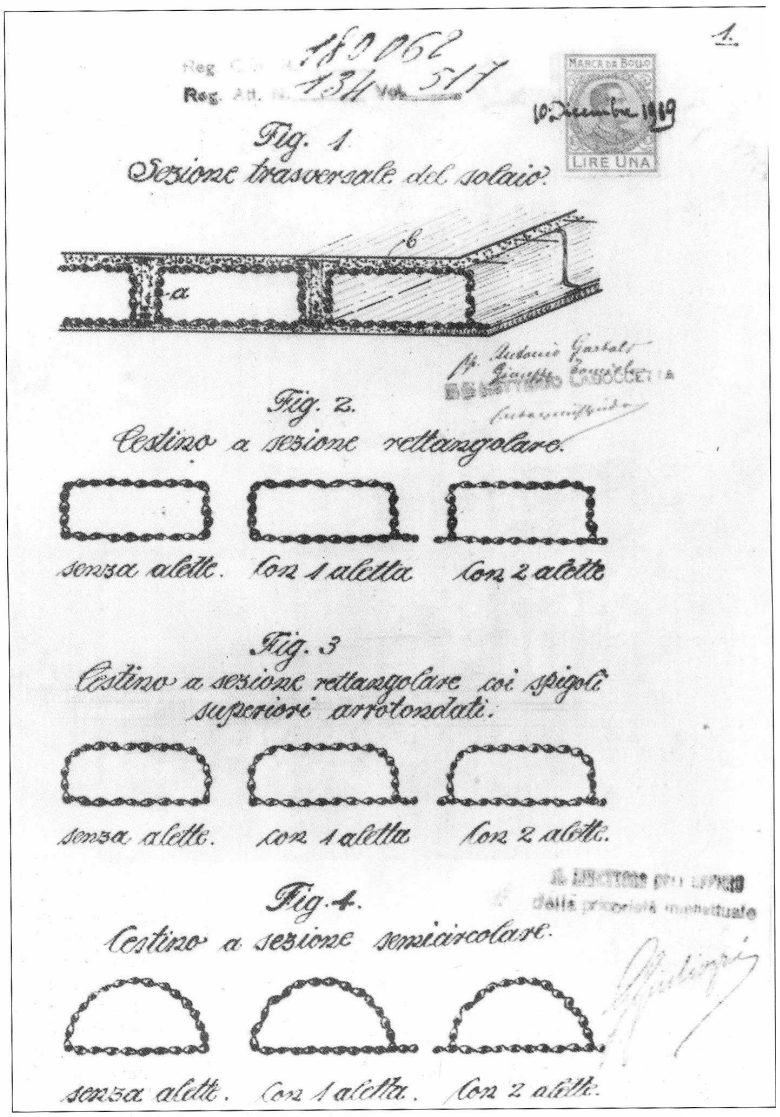


fig. 111: brevetto n. 180062, A. Garboli, G. Tomiolo, Roma, *Strutture cave in cemento armato ottenute con l'interposizione di forme di canne, vimini ed altri materiali simili che ne costituiscono la sagoma intera*, 10 dicembre 1919 (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

Oltre alle numerose tipologie di solai latero-cementizi, vale la pena fare un breve cenno anche a particolari solai realizzati in vetro-cemento armato, che ebbero comunque una discreta diffusione.

Come le fabbriche di laterizi misero in commercio vari tipi di elementi forati per la costruzione di solai in calcestruzzo armato a struttura mista, così le vetrerie fabbricarono tipi di elementi di vetro ad alta resistenza per la costruzione di orizzontamenti. Si ebbe, così, la diffusione dei solai in vetro-cemento armato a camera d'aria con doppia struttura, che consentivano un miglior isolamento termico ed evitavano il fenomeno della condensazione.

Altra soluzione proposta era l'accostamento di vetro e cemento per dar luogo a piccole nervature armate con un tondino tra le quali, o sopra le quali, venivano poste dei "bicchieri" o mattonelle in vetro che davano una buona rifrazione alla luce e una forte resistenza ai carichi.

I vetri che si fabbricavano per tali strutture erano generalmente a pianta circolare o quadrata e venivano denominati diffusori. I tipi di diffusori maggiormente utilizzati presentavano asperità lungo la superficie esterna, appositamente create per una migliore aderenza al getto di conglomerato cementizio, e avevano diametro (o lato) compreso fra i 10 e i 15 cm circa, altezza compresa tra i 5 e gli 8 cm ed uno spessore della parete di vetro di circa 12-13 mm. Il loro peso variava, per ciascun pezzo, da 0,8 a 1,7 kg circa. Per solai di elevata portata e soggetti a forti carichi erano più adatti i diffusori rotondi che meglio resistevano alle sollecitazioni di pressione sulla parete circolare (figg. da 112 a 116).

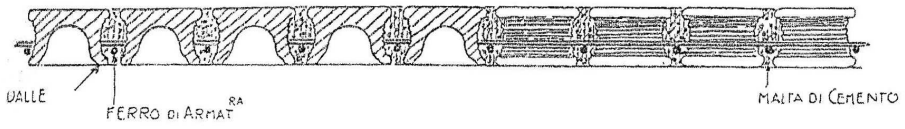


fig. 112: pavimenti in vetro armato con pavè *Saint Gobain* circolari (da Formenti C., *La pratica del fabbricare*, Hoepli, Milano 1893).

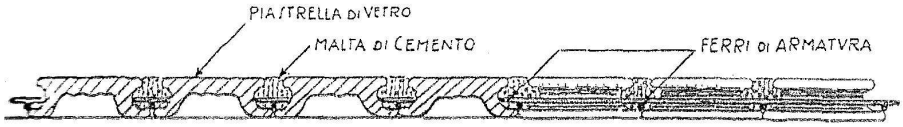


fig. 113: pavimenti in vetro armato e piastrelle (da Formenti C., *La pratica del fabbricare*, Hoepli, Milano 1893).

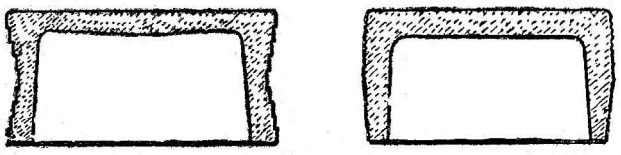


fig. 114: diffusori in vetro (da Rosci L., *Manuale pratico di volgarizzazione del calcolo del cemento armato*, G. Lavagnolo Editore, Torino 1939).

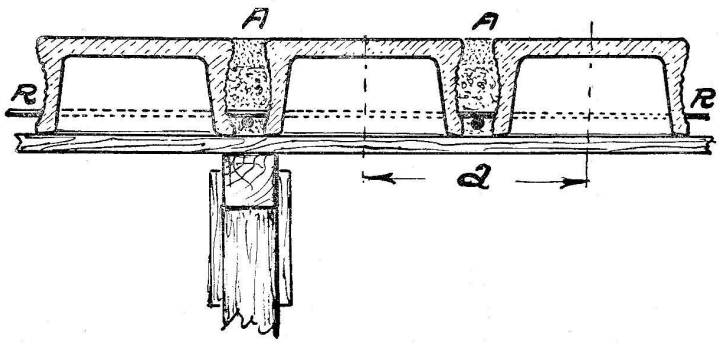


fig. 115: esempio di solaio in calcestruzzo armato con diffusori in vetro. Per la costruzione di questa tipologia di solaio veniva allestito un assito continuo per tutta l'estensione del vano da coprire sul quale venivano disposti i diffusori. La distanza fra di essi, *a*, era funzione della portata e del carico del solaio. In *A* veniva disposta l'armatura e successivamente gettato il calcestruzzo per la realizzazione dei travetti; spesso si disponeva nelle scanalature orizzontali un ferro di ripartizione *R*, legandolo ad ogni incrocio col precedente ferro di resistenza (da Rosci L., *Manuale pratico di volgarizzazione del calcolo del cemento armato*, G. Lavagnolo Editore, Torino 1939).

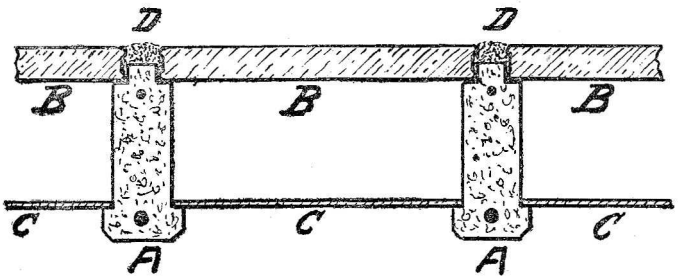


fig. 116: solaio in vetro-cemento con diffusori piatti. Disposte le nervature *A*, venivano collocati all'estradosso i diffusori *B* e all'intradosso comuni vetri lucidi, *C*, successivamente fissati con mastice bituminoso, *D* (da Rosci L., *Manuale pratico di volgarizzazione del calcolo del cemento armato*, G. Lavagnolo Editore, Torino 1939).

Altri elementi utilizzati per la produzione di solai in vetro erano quelli in vetro soffiato che presentavano buone capacità isolanti dal caldo, dal freddo, dall'umidità e dai rumori, tra cui si ricorda il tipo *Falconnier* (fig 117), fabbricato dalla *Société anonyme des verrieres de Dorignies*[123].

La posa in opera si faceva impiegando cemento *Portland*, aggiungendovi 1/5 di sabbia pulita e pura.

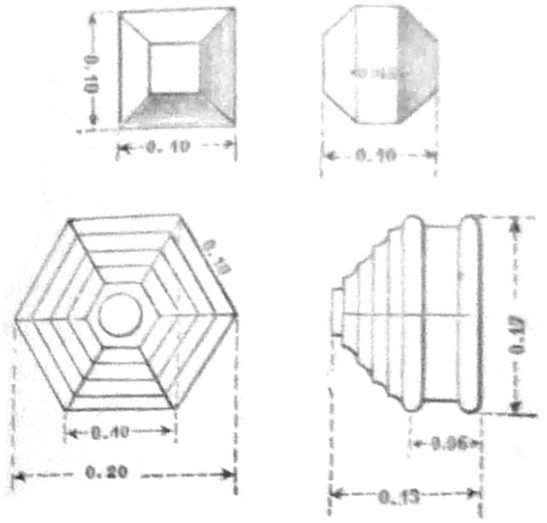


fig. 117: mattoni Falconnier di vetro soffiato (da Donghi D., *Manuale dell'architetto*, UTET, Torino 1923).

[123] Donghi D., *op. cit.*, p. 284.

Si conclude trattando dei **solai a travetti prefabbricati**.

Allo scopo di non rinunciare ai vantaggi di leggerezza e afonicità offerti dai laterizi forati, furono studiati travetti prefabbricati in laterizio armato; questi speciali laterizi presentavano scanalature, adatte al posizionamento dei ferri di armatura, ricavate all'intradosso e sui fianchi, che consentivano la costruzione a piè d'opera degli elementi trave (fig. 118) che, accostati e collegati tra loro in opera con calcestruzzo di cemento, davano luogo ad una soletta a sezione rettangolare alleggerita da fori, caratterizzata da una suddivisione dell'armatura metallica, in tondini di piccolo diametro, razionalmente e stabilmente fissata ai laterizi.

Si trattava, dunque, di solai ottenuti a seguito di ricerche atte a ridurre i tempi di realizzazione del solaio stesso, riducendo od azzerando quelli di presa mediante la produzione di travi o di intere parti di solai, secondo procedure di prefabbricazione e puntando su una maggiore qualità del prodotto realizzato. Rinunciando, quindi, alla caratteristica della monoliticità, vennero proposti elementi semplicemente accostati in modo da formare il solaio. Tale struttura offriva numerosi vantaggi tra cui quelli di: risparmiare le casserature lignee; eliminare le sospensioni dei lavori in cantiere a causa di condizioni climatiche sfavorevoli; presentare una camera d'aria; permettere il completamento dell'intero orizzontamento mediante l'apposizione di un semplice rinforzo inferiore, al fine di consentire un collaudo preventivo.

Erano realizzati con travetti prefabbricati o semiprefabbricati in laterizio o in traliccio metallico, completati in opera insieme al getto del solaio.

I travetti prefabbricati in calcestruzzo armato venivano realizzati da ditte specializzate e portati in cantiere dopo un adeguato periodo di stagionatura e garantivano sicurezza e resistenza superiori a quelli realizzati in opera.

I solai con travetti in conglomerato cementizio armato prefabbricati ripetevano gli schemi statici dei solai in ferro di tipo classico.

I travetti presentavano un profilo particolare che consentiva l'appoggio degli elementi di completamento (tavelloni o pignatte) e venivano posti in opera con interasse variabile da 0,50 a 1,00 m (fig. 119). In questi tipi di solai, come per quelli in ferro di tipo classico, le lavorazioni eseguite in cantiere si riducevano al solo getto della soletta di completamento; pertanto, oltre ai requisiti di leggerezza, afonicità, semplicità ed economia di posa in opera, essi offrivano la garanzia dei controlli che ditte specializzate potevano eseguire sui comportamenti al fine di assicurare agli elementi trave le caratteristiche richieste[124].

[124] Irace A., Pizzo L., *op. cit.*, pp. [37-39].

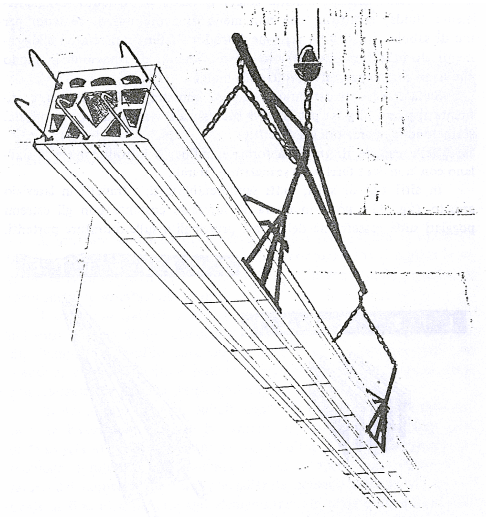


fig. 118: elementi travi prefabbricati (da Irace A., Pizzo L., *I solai*, CUEN, Napoli 1989).

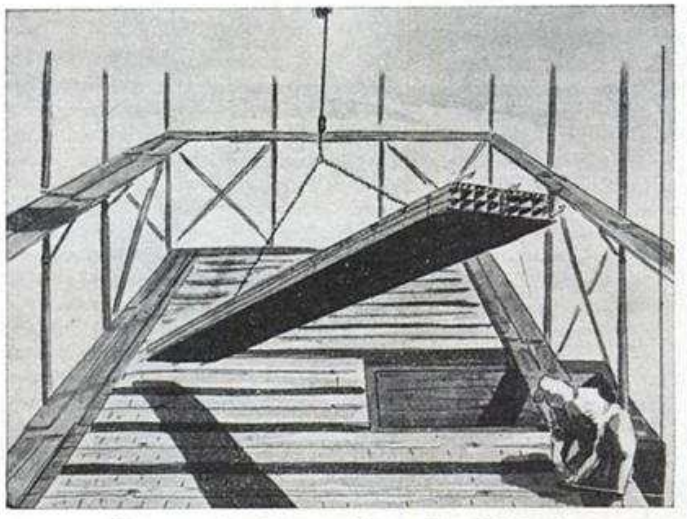


fig. 119: posa in opera di pannelli prefabbricati (da Astrua G., *Manuale completo del capomastro assistente edile*, Hoepli Editore, Milano 1995).

Degni di particolare menzione erano i tipi che per la loro costruzione non richiedevano armature o ponteggi di sostegno perché i vari elementi si collegavano e cementavano tra di loro a piè d'opera, poi sollevati e posti in opera affiancati l'un l'altro, con grande speditezza e notevole economia.

Si richiama l'attenzione su tre particolari tipi.

Il primo tipo riportato dalla rivista *"Il Cemento"* (p. 63 del numero di aprile, anno 1937) era caratterizzato da elementi forati uniti tra di loro a piè d'opera, in fila, nel senso della lunghezza, fino a raggiungere la luce desiderata.

Una volta messi in fila i vari elementi, su di un piano ben livellato, solitamente un tavolato in legno, si posavano i tre ferri *a*, *b* e *c* e si colava, nelle rispettive sedi, malta ricca di cemento.

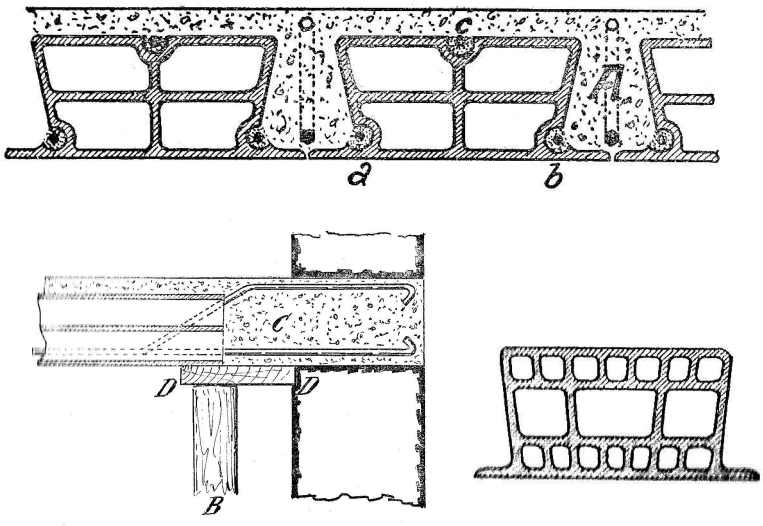
A stagionatura avvenuta il blocco di laterizio era monolitico e poteva essere sollevato e posto in opera.

I vari pezzi si affiancavano l'un l'altro appoggiando le estremità sulla tavola di bancale *D-D*, sostenuta dal ritto *B*, che costituivano gli unici elementi di armatura lignea occorrente.

Detta trave in legno, oltre a reggere le testate degli elementi di solaio, serviva anche a sostenere il conglomerato *C* che completava le testate delle travi in laterizio e si internava nel muro di piedritto.

Nel vano *A*, che costituiva la vera e propria nervatura portante del solaio, si realizzava il travetto; come per gli altri solai venivano prima posizionati i ferri di armatura e successivamente veniva colato il conglomerato (figg. 120).

In alcuni casi, ed in particolar modo per i solai di copertura soggetti a carichi minori[125], l'altezza complessiva si riduceva alla sola altezza dell'elemento laterizio[126], in quanto non si aveva necessità di avere una soletta superiore.



figg. 120: sezione e particolari di un solaio prefabbricato caratterizzato da elementi forati uniti tra di loro a piè d'opera, in fila, nel senso della lunghezza, fino a raggiungere la luce desiderata (da Rosci L., *Manuale pratico di volgarizzazione del calcolo del cemento armato*, G. Lavagnolo Editore, Torino 1939).

Il secondo è il solaio tipo *SAP* ideato in pieno regime autarchico.

Veniva utilizzato per la copertura di vani fino a 4,50 m di luce ed era costituito da travetti in laterizio armato, di larghezza pari a 20 cm,

[125] Per i solai di copertura sovente vi era l'assenza della soletta di completamento in quanto erano soggetti a carichi minori rispetto ai sottostanti solai di interpiano.

[126] L'elemento laterizio presentava le pareti inclinate di modo che il travetto, che aveva una forma trapezia con la base maggiore in basso, ne evitava lo sfilamento.

realizzati a piè d'opera e successivamente assemblati in cantiere. Su di una superficie leggermente incurvata, per conferire ai travetti una leggera monta (2-3 cm) dovuta alla naturale flessione che si aveva durante la posa in opera e il susseguente carico, si allineavano i forati capovolti uno di seguito all'altro e si collocavano, nelle apposite scanalature di circa 2,5 cm, tondini di acciaio semiduro o di ferro omogeneo (2 ø3 per la parte superiore e 3 ø3 o ø5 mm nella parte inferiore), posti ad una distanza non superiore a 7 cm. Le armature venivano fissate al laterizio e ricoperte con malta di cemento e sabbia fine a dosatura non inferiore a 450 kg/mc; dopo la presa i travetti così formati venivano capovolti e messi in opera accostati e collegati tra loro con canaletti di sigillatura in malta di cemento (figg. da 121 a 127). Non richiedevano solette superiori anche se talvolta si riscontra la presenza di una solettina di pochi centimetri al fine di avere una migliore distribuzione del carico nonché una regolarizzazione della superficie superiore sulla quale veniva poi posato il pavimento.

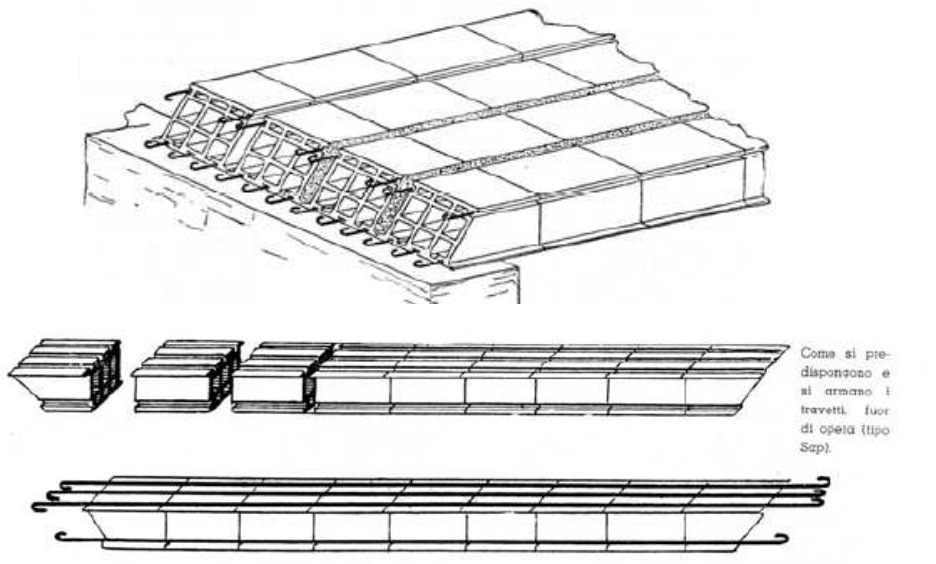
I forati potevano avere altezze di 8-12 e 16 cm e talvolta anche 20 cm (tab. 9).

La posa in opera avveniva in maniera molto semplice. Gli unici inconvenienti erano quelli di presentare scarsa protezione del ferro e di avere una imperfetta sigillatura dei giunti tra i travetti.

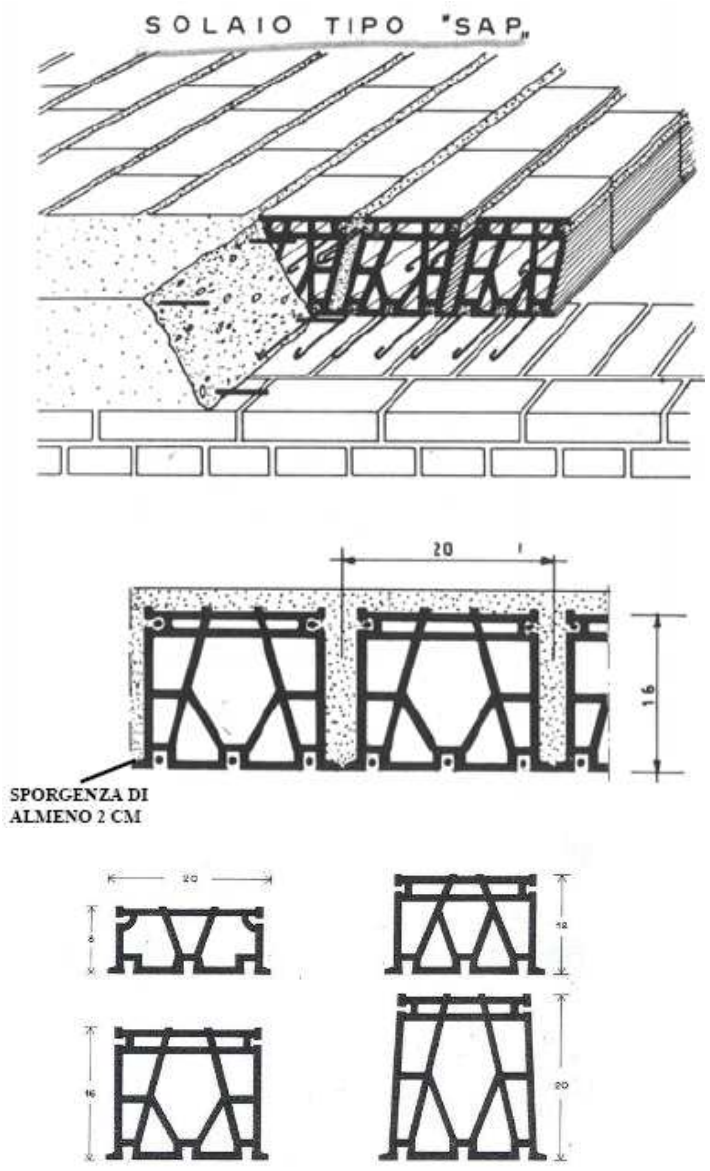
I momenti di servizio, dedotti sperimentalmente, e le opportune istruzioni per la dosatura del cemento erano riportate in tabelle diffuse dalle stesse case produttrici.

Tipo di struttura	***Peso proprio [kg/m^2]***	***Momenti totali massimi di servizio riferiti alle striscia di solaio larga 1m [kg·m]***				
SAP 8	85	230	290	405	-	-
SAP 12	110	385	540	655	-	-
SAP 16	130	615	720	960	1290	-
SAP 20	175	700	1170	1430	1890	2025
Armatura per ogni trave larga cm 20 [ømm]		3 ø3	3 ø4	3 ø5	3 ø6	4 ø6
Carico di snervamento minimo dell'acciaio σ_s [kg/mm^2]		70	60	55	50	60

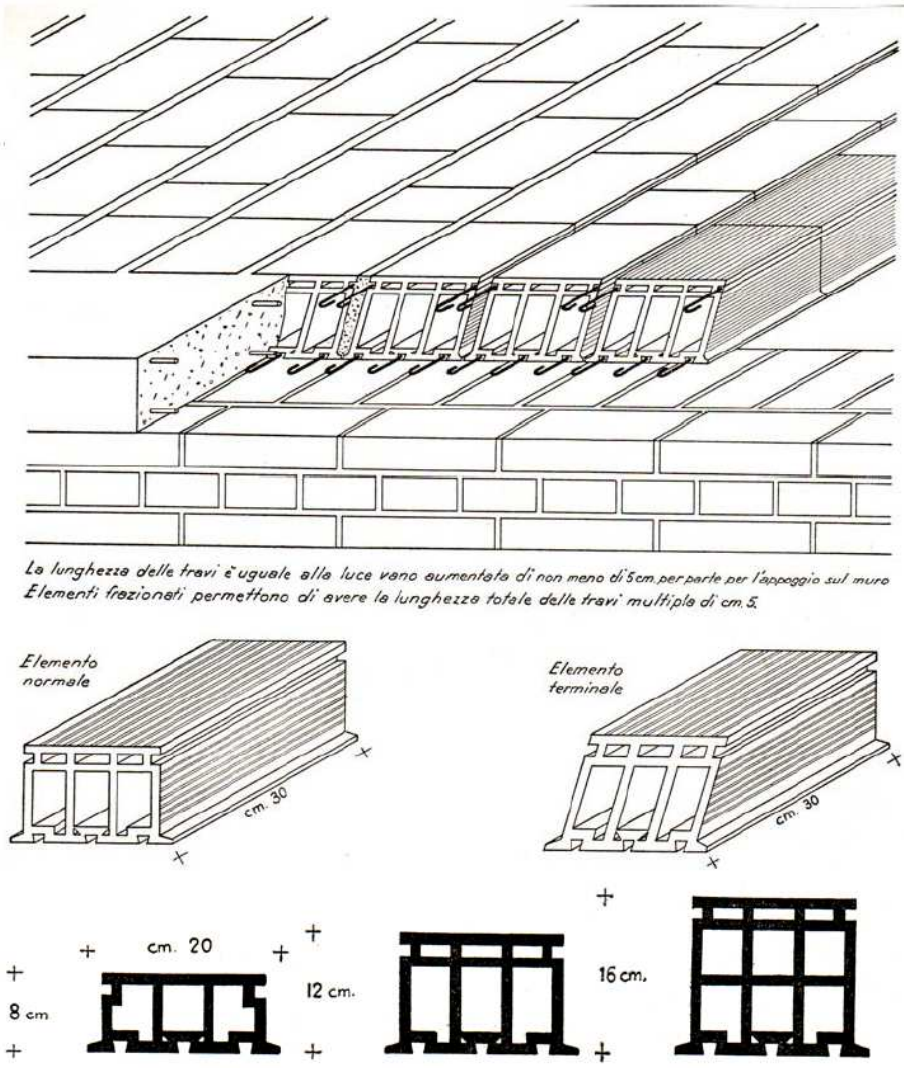
tab. 9: caratteristiche solaio tipo *SAP* (da Petrignani A., *Tecnologie dell'architettura*, Gorlich-Istituto Geografico De Agostini Novara S.p.A., Roma 1984).



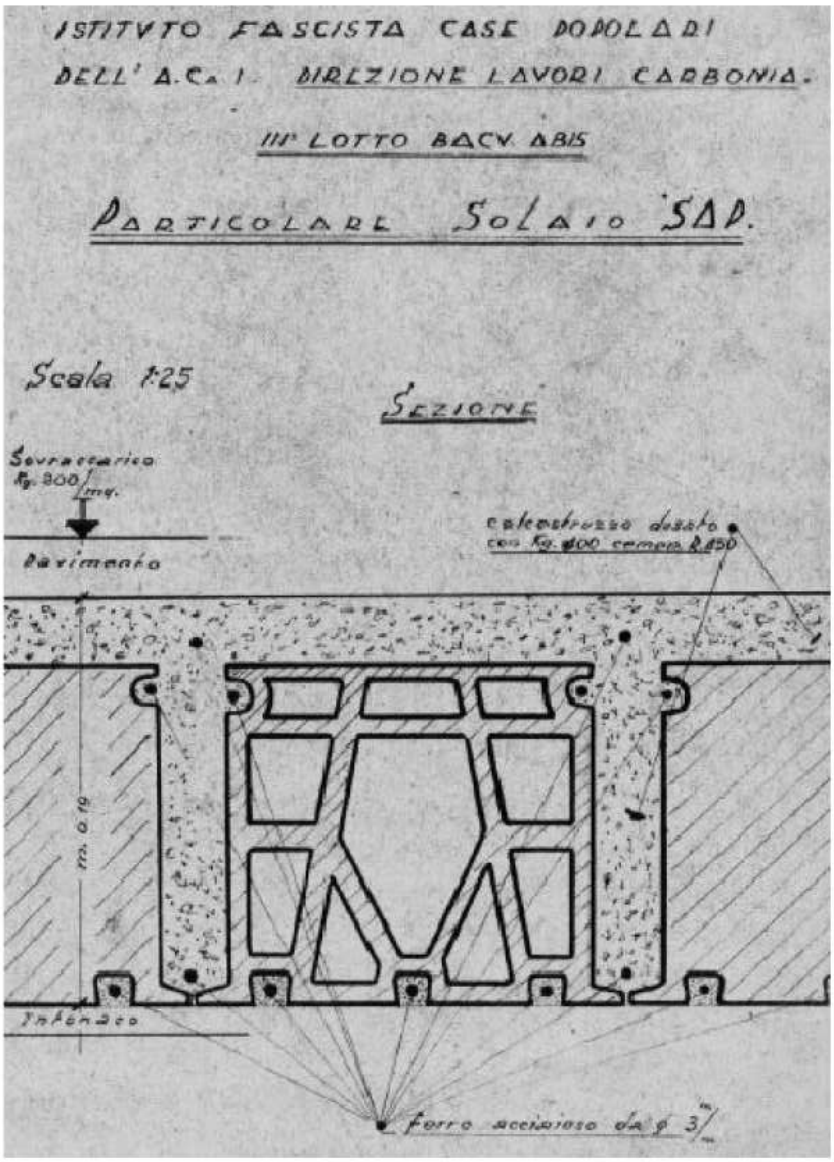
figg. 121: solaio tipo *SAP* con elementi predisposti fuori opera e successivamente armati (in alto). I travetti ottenuti (in basso) venivano posti in opera capovolti e il tutto era completato con un getto di calcestruzzo (da AA.VV., *Materiali e tecniche per il recupero edilizio*, Luciano Editore, Napoli 2005).



figg. 122: solaio *SAP* e particolari (da Caleca L., *Architettura Tecnica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2007).



figg. 123: solaio *SAP* e particolari (da AA.VV., *Manuale dell'architetto - compilato a cura del Consiglio Nazionale delle Ricerche - pubblicato dall'Ufficio Informazioni Stati Uniti in Roma*, 1946).


ISTITVTO FASCISTA CASE POPOLARI
DELL' A.C.A.I. DIREZIONE LAVORI CARBONIA.
III° LOTTO BACV ABIS
PARTICOLARE SOLAIO SAP.
Scala 1:25
SEZIONE
Sovraccarico Kg. 300 / mq.
Pavimento
calcestruzzo dosato con Kg. 400 cemento R 450
m. 0.19
Intonaco
ferro acciaioso da ø 3/

D A T I T E C N I C I

DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA		SAP 8	SAP 12	SAP 16	SAP 20
Peso degli elementi laterizi	mq.	Kg.	50	70	80	95
Peso delle travi confezionate	ml.	Kg.	14	18	20	22
	mq.	Kg.	70	90	100	110
Peso proprio solaio in opera	mq.	Kg.	85	110	130	175
Quant. cemento per sola confez. travi	mq.	Kg.	5	5	5	5
Quant. sabbia per sola confez. travi	mq.	mc.	0.007	0.007	0.007	0.007
Quantità malta di cemento per riempimento delle nervature fra le travi	mq.	mc.	0.007	0.011	0.015	0.032
Mano d'opera per confezionatura travi — muratore	mq.	ore	0.40 (=24')	0.40 (=24')	0.40 (=24')	0.40 (=24')
Mano d'opera per confezionatura travi — garzone	mq.	ore	0.40 (=24')	0.40 (=24')	0.40 (=24')	0.40 (=24')

CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEL LATERIZIO
(valori medi)

Modulo di elasticità	a compressione	Kg/cmq.	225.000
	a tensione	»	216.000
Rottura	a compressione semplice	»	1.238
	a tensione semplice	»	94
	a taglio	»	57
Aderenza laterizio conglomerato		»	25

DOSATURA DELLA MALTA DI CEMENTO

PER CONFEZIONAMENTO TRAVI A PIÈ D'OPERA		PER SIGILLATURA TRAVI IN OPERA	
Sabbia viva	mc. 1	Sabbia grossa	mc. 1
Cemento (tipo 450)	Kg. 600-700	Cemento (tipo 450)	Kg. 400

figg. 124 (immagini pp. 262 e 263): "*Istituto Fascista Case Popolari dell'A.C.I. - Direzione lavori Carbonia. Particolare del solaio SAP*". Sezione, scala 1:25 e dati tecnici (da http://www.box.com/shared/uc0tr36xa0).

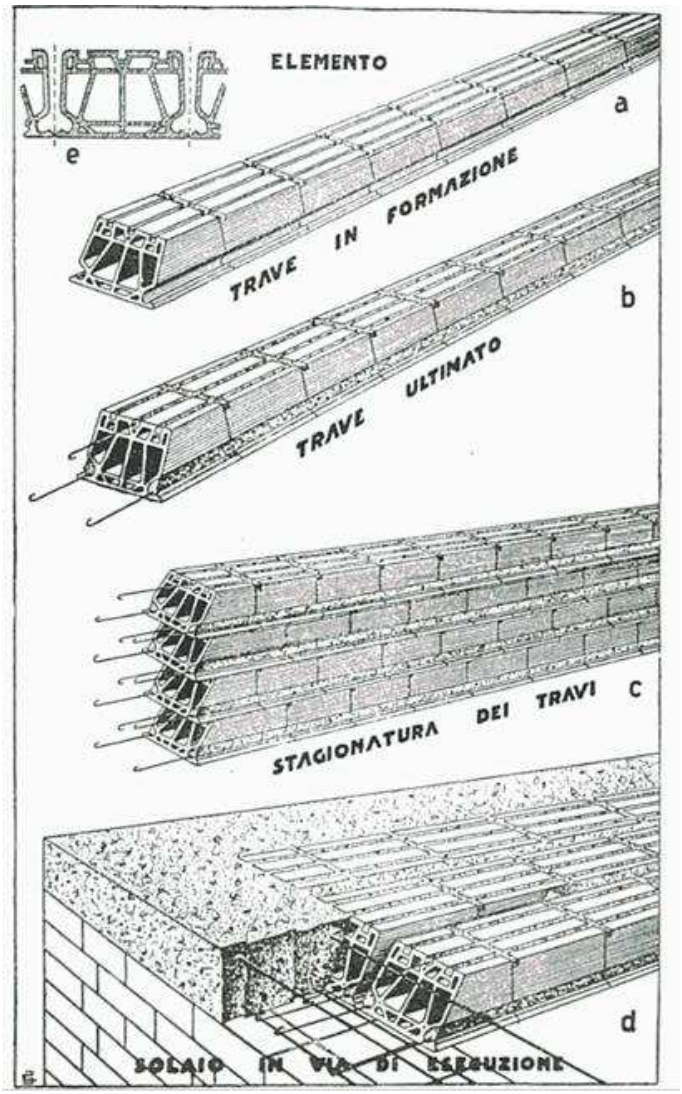


fig. 125: elementi costituenti il solaio *SAP* e particolari costruttivi. Osserviamo in *a* un travetto in costruzione con la disposizione degli elementi laterizi; in *b* il travetto ultimato con l'aggiunta dell'armatura e del getto di calcestruzzo ad alta resistenza; in *c* la stagionatura delle travi; in *d* il solaio durante la fase di esecuzione; in *e* l'elemento laterizio singolo (da Astrua G., *Manuale completo del capomastro assistente edile*, Hoepli Editore, Milano 1995).

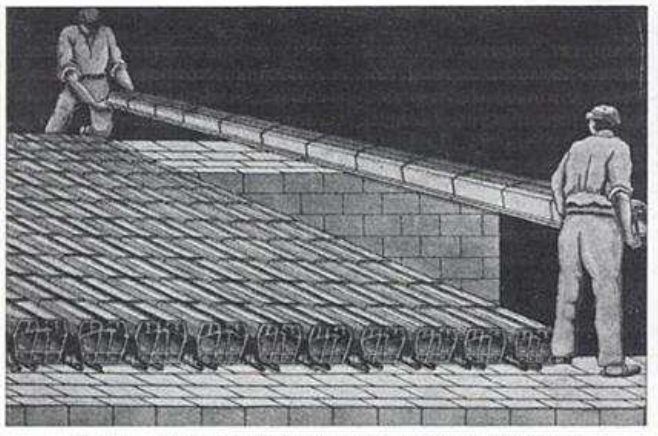


fig. 126: posa in opera delle travi *SAP* prefabbricate (da Astrua G., *Manuale completo del capomastro assistente edile*, Hoepli Editore, Milano 1995).

fig. 127: pubblicità del solaio *SAP* della ditta "RDB" di Piacenza (da Poretti S., "Modernismi e autarchia" in Ciucci G., Muratore G. (a cura di), *Storia dell'architettura italiana. Il primo Novecento*, Mondadori Electa, Milano 2004).

Simili al *SAP* erano altre soluzioni progettuali, quali i solai tipo *Rex*, *TL*, *CA*, *Pratico*, *Fert*, *ESSEBI*, *IMER* ugualmente brevettati e sperimentati in diverse città italiane (Piacenza, Ancona, Roma) ad opera di tecnici e imprese locali (figg. da 128 a 130).

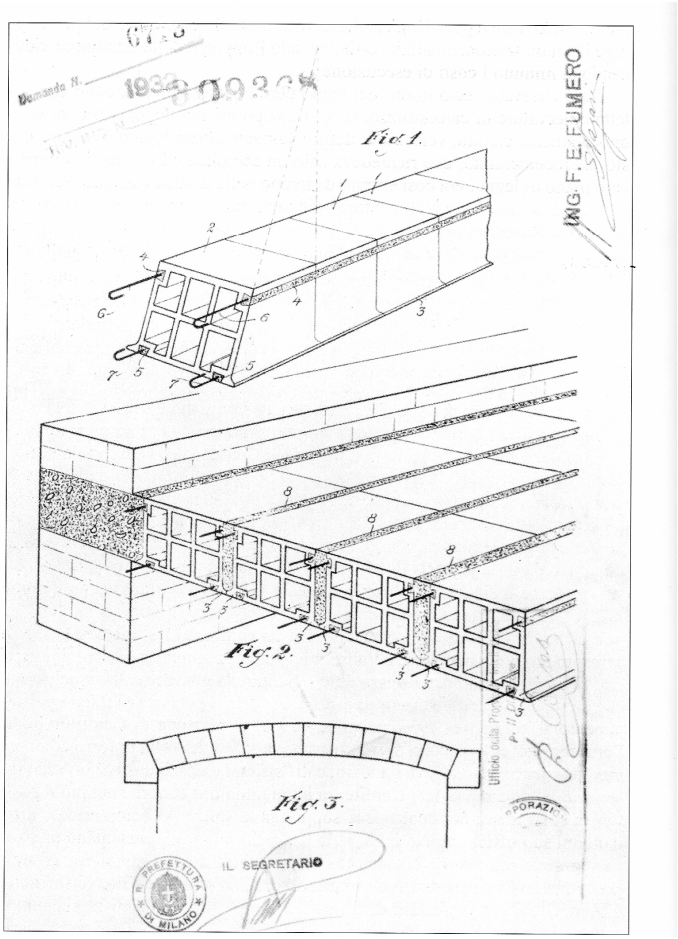
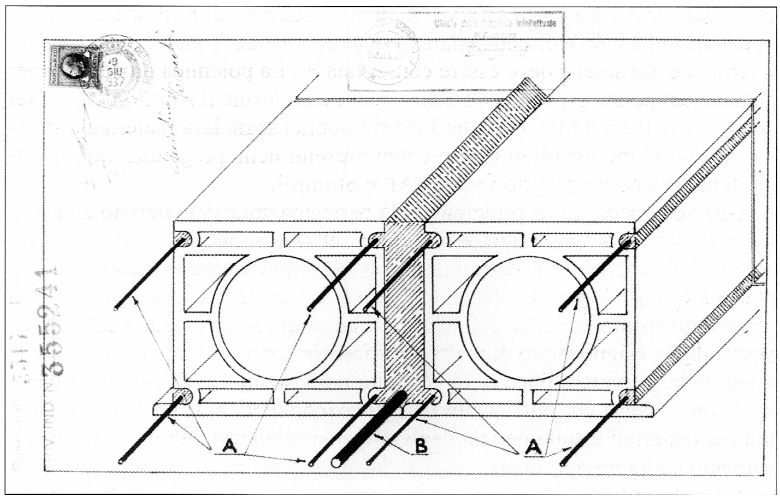
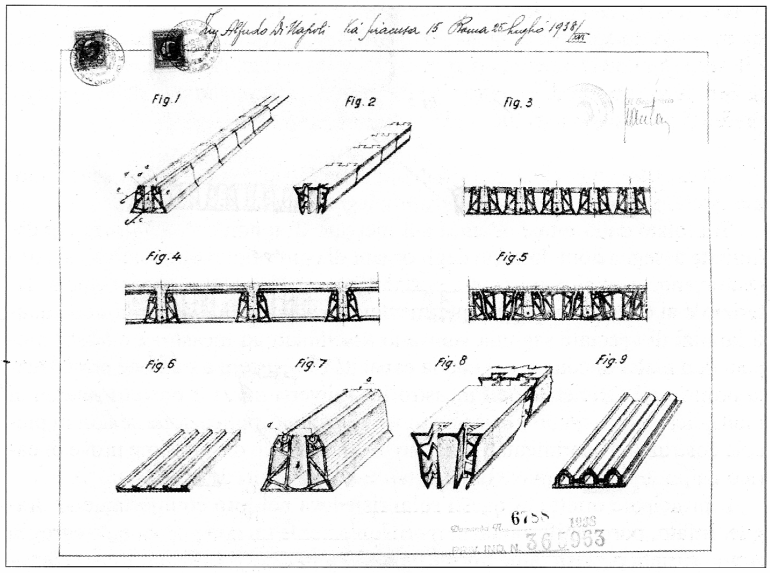
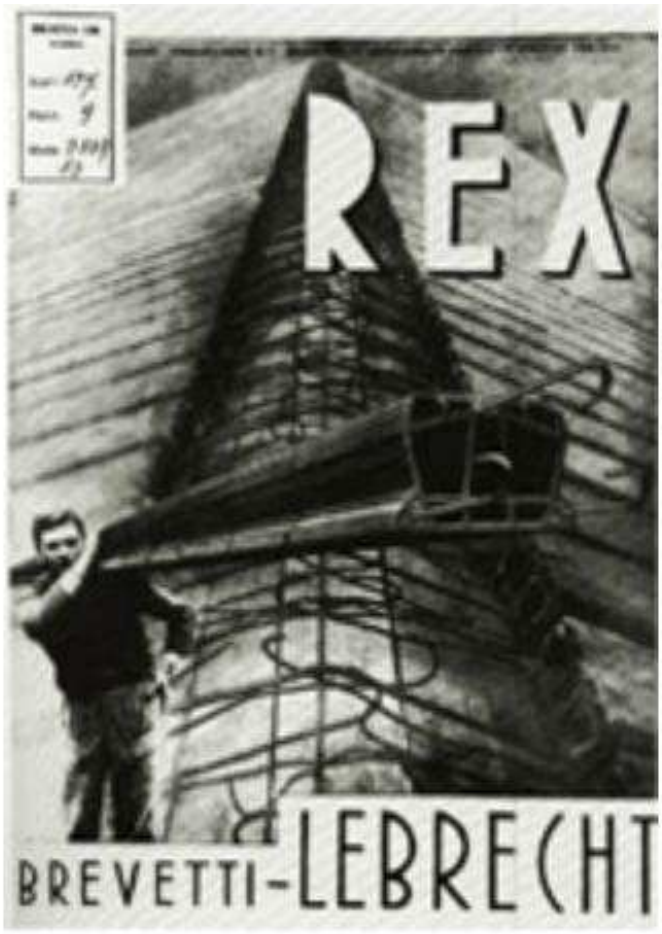


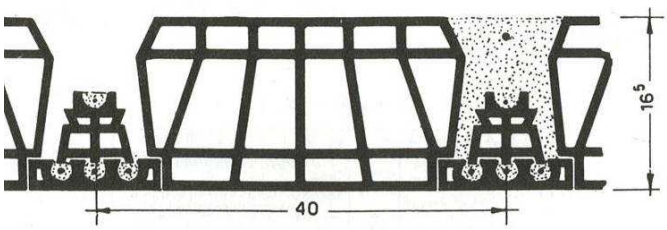
fig. 128: brevetto n. 309368, Ditta Rizzi, Donelli e Breviglieri, Piacenza, *Struttura portante a travi armate costituite da blocchi laterizi forati*, 26 settembre 1932 (da Poretti S., *Modernismi italiani - architettura e costruzione nel Novecento*, Gangemi Editore, Roma 2008).

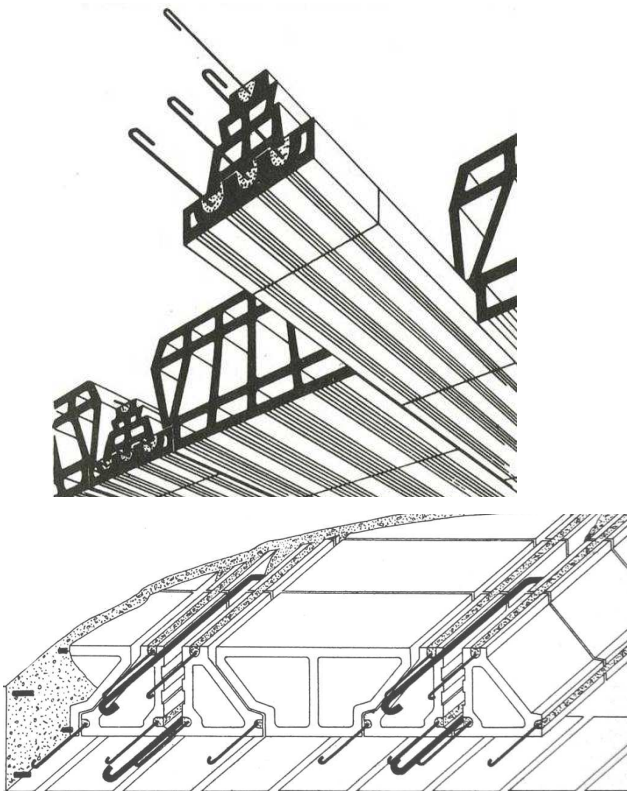




figg. 129: brevetto n. 355241, G. Verrocchio, Ancona, *Solaio in laterizio e c.a. eseguito fuori opera*, 28 giugno 1937 e brevetto n. 365963, A. Di Napoli, Roma, *Solaio in cemento armato e laterizi a travi, senza impiego di impalcatura e procedimento di fabbricazione*, 25 luglio 1938 (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).


REX
BREVETTI-LEBRECHT


16,5
40



figg. 130: brevetto *Lebrecht* per solaio *Rex* introdotto sul mercato italiano dalla Valdadige negli anni Trenta (dal sito Valdadige Costruzioni: http://www.valdadige.it/ita/institutional/history.html) e sezione solaio *ESSEBI* (da Caleca L., *Architettura Tecnica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2007) (alla pagina precedente); assonometria solaio *ESSEBI* (in alto) e assonometria solaio *IMER* (in basso) (rispettivamente da Caleca L., *Architettura Tecnica*, cit. e Donghi D., *Manuale dell'architetto*, UTET, Torino 1906).

La terza tipologia è il solaio tipo *Varese* caratterizzato da travi sagomate in calcestruzzo armato (dette *longarine*) a doppia armatura, costruite fuori opera, che presentavano interassi variabili da 1,00 m a 0,50 m a seconda del carico ed erano collegate da un doppio ordine di

tavelle in cotto forato con soprastante solettina in calcestruzzo dello spessore di almeno 3 cm (figg. 131 e 132).

Le *longarine* avevano sezione ridotta al minimo per ottenere il minor peso possibile e per facilitare il trasporto e la posa in opera e venivano gettate in officina, col piano inferiore incurvato, per poi essere collegate l'una all'altra con tavelloni retti forati, assai leggeri, dello spessore di 3-4 cm; esse venivano poste in opera ad un interasse varabile dai 50 ai 90 cm circa.

Questi solai si costruivano senza alcuna armatura aggiuntiva e riuscivano convenientissimi sia per la loro leggerezza che per la coibenza offerta dalla presenza di una camera d'aria.

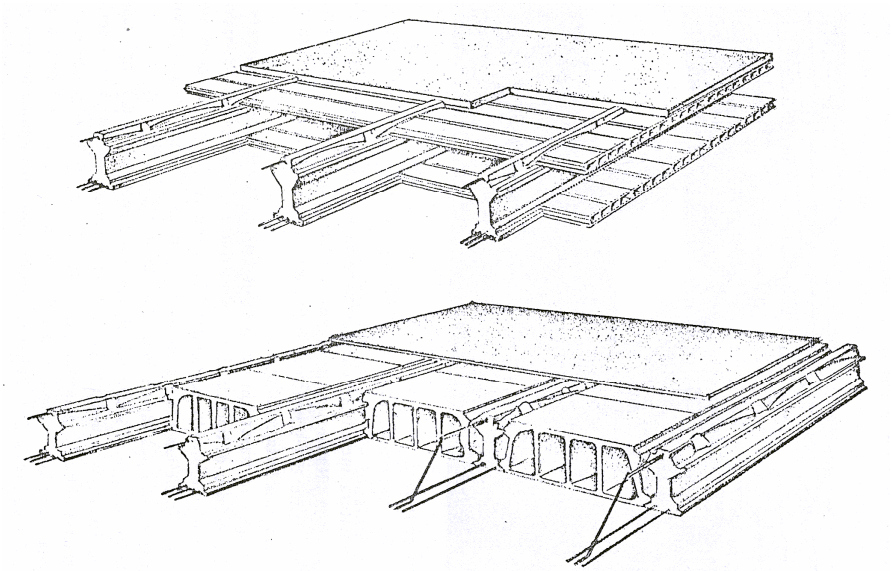
Le travi avevano altezze di 16-19-21-24-27-34-41-48 cm e venivano impiegati per luci fino a 15,00 m.

Si riportano di seguito sotto forma tabellare i carichi e gli interassi corrispondenti a seconda del tipo di travi da utilizzare (tabb. 10).

Sovraccarico [kg/m^2]	***Interasse [cm]***	***Peso proprio del solaio (travi + doppia tavella + cm 3 spianamento)***				
		19	*21*	*24*	*27*	*34*
150		100	139	145	151	160
200	90	142	149	155	165	175
250	80	146	153	160	171	183
300	73	149	157	165	177	190
350	65	153	162	172	185	199
400	57	159	169	180	195	211
450	50	165	177	189	207	225

Sovraccarico ***[kg/m²]***	***Travi tipo***	***19***	***21***	***24***	***27***	***34***	***Misura tavella*** ***[cm]***
450	Interasse [cm]	49	50	51	52	52	43x25x4
400		56	57	58	59	59	50x25x4
350		64	65	66	67	67	57x25x4
300		72	73	74	75	75	65x25x4
250		79	80	81	82	82	72x25x4
200		89	90	91	92	92	82x25x4
150		99	100	101	102	102	92x25x4

tabb. 10: caratteristiche solaio tipo *Varese*.



figg. 131: solai tipo *Varese* (da Irace A., Pizzo L., *I solai*, CUEN, Napoli 1989).

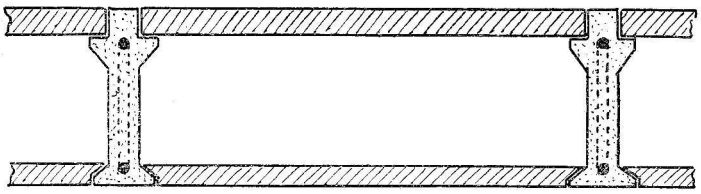


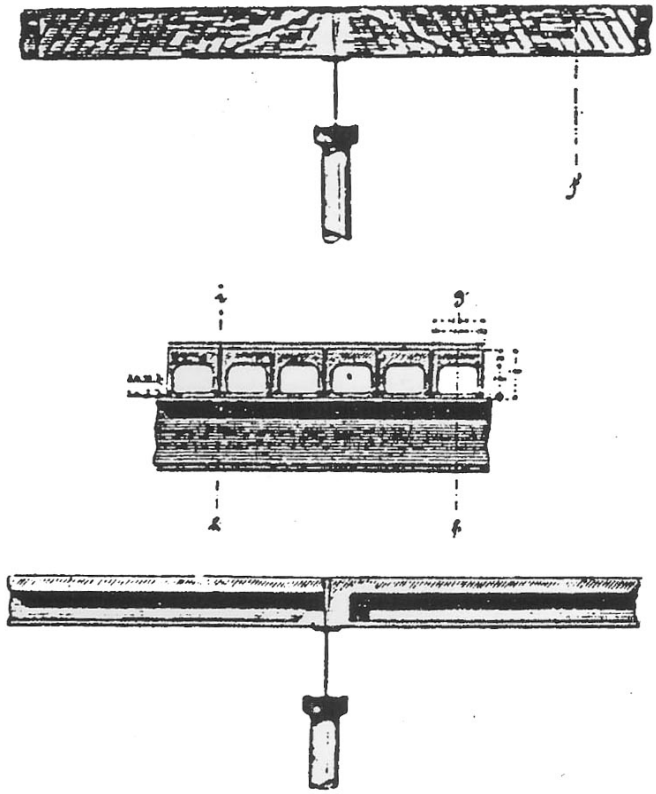
fig. 132: solaio tipo *Varese* (da Rosci L., *Manuale pratico di volgarizzazione del calcolo del cemento armato*, G. Lavagnolo Editore, Torino 1939).

I fattori materico-dimensionali dei solai con travetti prefabbricati variavano a seconda della tipologia impiegata ed erano normalmente strettamente legati alle luci da coprire.

Altro esempio di travi prefabbricate, utilizzate per la costruzione di solai in conglomerato cementizio armato, erano le travi tubolari *Siegwart*[127] a sezione rettangolare smussata e cava, realizzate in cantiere e armate con tondini posti sulla faccia inferiore. Esse presentavano nelle pareti esterne solchi obliqui in cui si faceva colare il calcestruzzo, dopo che le travi erano state poste in opera una di fianco all'altra, "*formando, alla fine, un orizzontamento che offriva vantaggi di carattere economico (per il risparmio delle centine), tecnologico (per lo sfruttamento dei vuoti come camera d'aria) e di rapidità di finitura all'intradosso.*

[127] L'ideatore di queste travi fu un architetto svizzero; proprietaria del brevetto era una società svizzera. Risulta all'epoca concessionario del brevetto per tutta l'Italia l'ingegnere Antonio Porcheddu.

È opportuno precisare che tale sistema poteva essere messo in opera anche su travi in ferro e che tra i giunti dei vari elementi veniva colata malta cementizia per rendere solidale l'intero sistema"[128] (figg. da 133 a 135).



figg. 133: solaio prefabbricato tipo *Siegwart* (da De Sivo B., Iovino R. (a cura di), *Manuale del recupero delle antiche tecniche costruttive napoletane*, CUEN, Napoli 1993).

[128] Catalano A., *op. cit.*, p. 98.

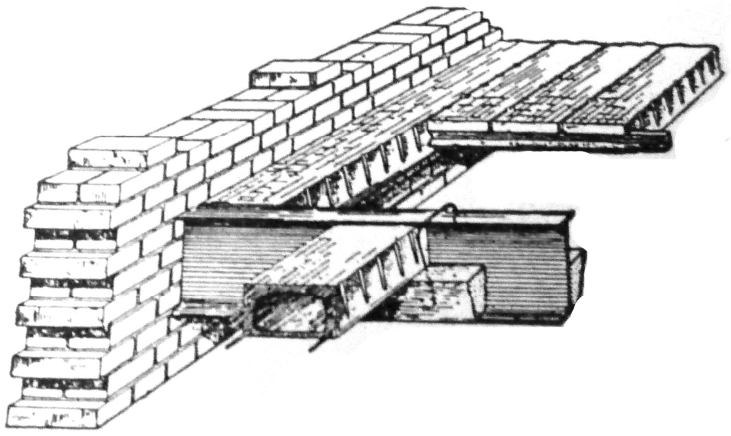


fig. 134: travi tubolari tipo *Siegwart* (da Vacchelli G., *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*, Hoepli, Milano 1921).

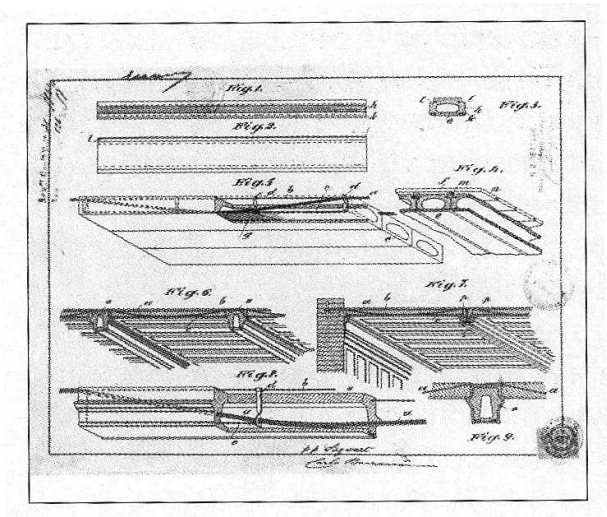
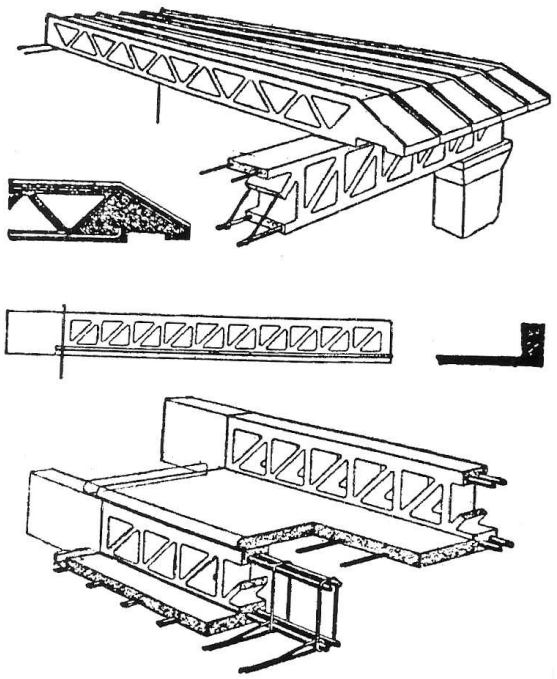


fig. 135: brevetto n. 55624, Società Internazionale Travi Siegwart, Lucerna (Svizzera), *Poutres et solives pour la constructions des plafonds*, 30 giugno 1900 (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

Altri tipi di travi prefabbricate erano le travi a traliccio *Franz Visintini*, che costituivano una sorta di strutture reticolari, interamente realizzate in conglomerato cementizio armato.

Presentavano una soletta superiore in calcestruzzo armato ed una inferiore collegate da diagonali; in particolare, la soletta inferiore era armata con ferri longitudinali collegati ai tiranti delle diagonali tese. Tali travi, di altezza pari a 28 cm e base di 20 cm, venivano realizzate a piè d'opera e successivamente accostate con un getto superiore che solidarizzava tutti gli elementi.



figg. 136: travi a traliccio tipo *Visintini* (da De Sivo B., Iovino R. (a cura di), *Manuale del recupero delle antiche tecniche costruttive napoletane*, CUEN, Napoli 1993).

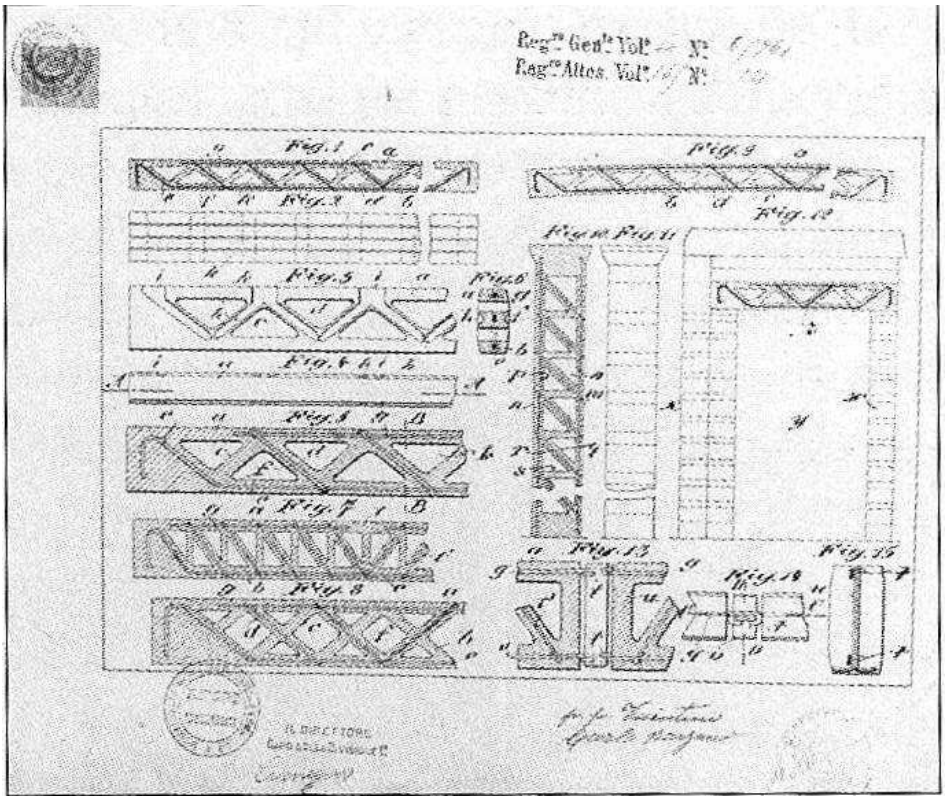


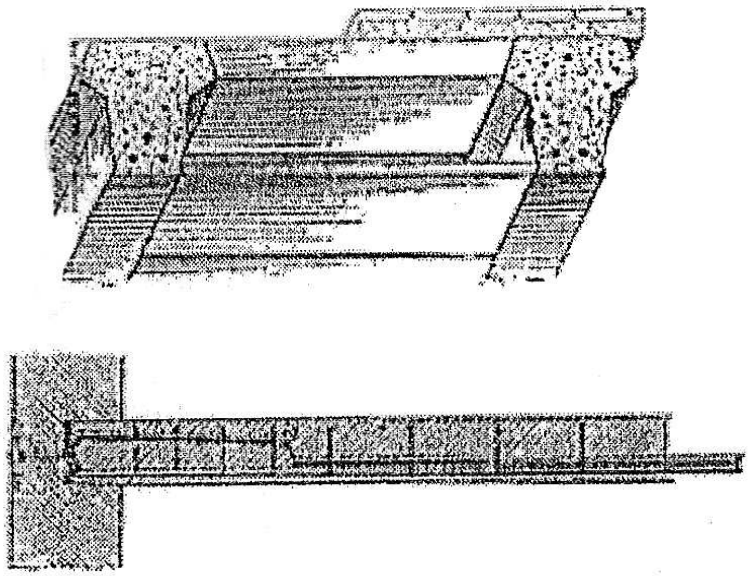
fig. 137: brevetto n. 66761, F. Visintini, Zurigo (Svizzera), *Trave a traliccio*, 20 novembre 1902 (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

Quelle *Corradini* avevano, invece, una sezione a T, quasi ottagonale, ed erano foggiate in modo che potessero avere una opportuna imposta per i tavelloni forati e la controsoffittatura; la disposizione dei ferri era simile a quella delle travi *Hennebique*, fatta eccezione per le staffe che non erano di lamiera ma realizzate in filo di ferro; il getto di calcestruzzo era preferibilmente caratterizzato dall'impiego di scorie di carbone fossile in sostituzione della ghiaia. Potevano avere una lunghezza variabile tra i

3,00 e i 6,00 m; essendo costante la sezione, con il variare della luce variava l'interasse delle travi e la sezione delle barre metalliche impiegate per l'armatura.

Ciascuno di questi elementi veniva, poi, unito all'altro mediante malta di cemento.

L'appoggio sui muri d'ambito o sopra le piattabande di ferro o di calcestruzzo armato, era in generale pari a 15 cm.



figg. 138: assonometria e sezione di una trave *Corradini* (da Donghi D., *Manuale dell'architetto*, UTET, Torino 1906).

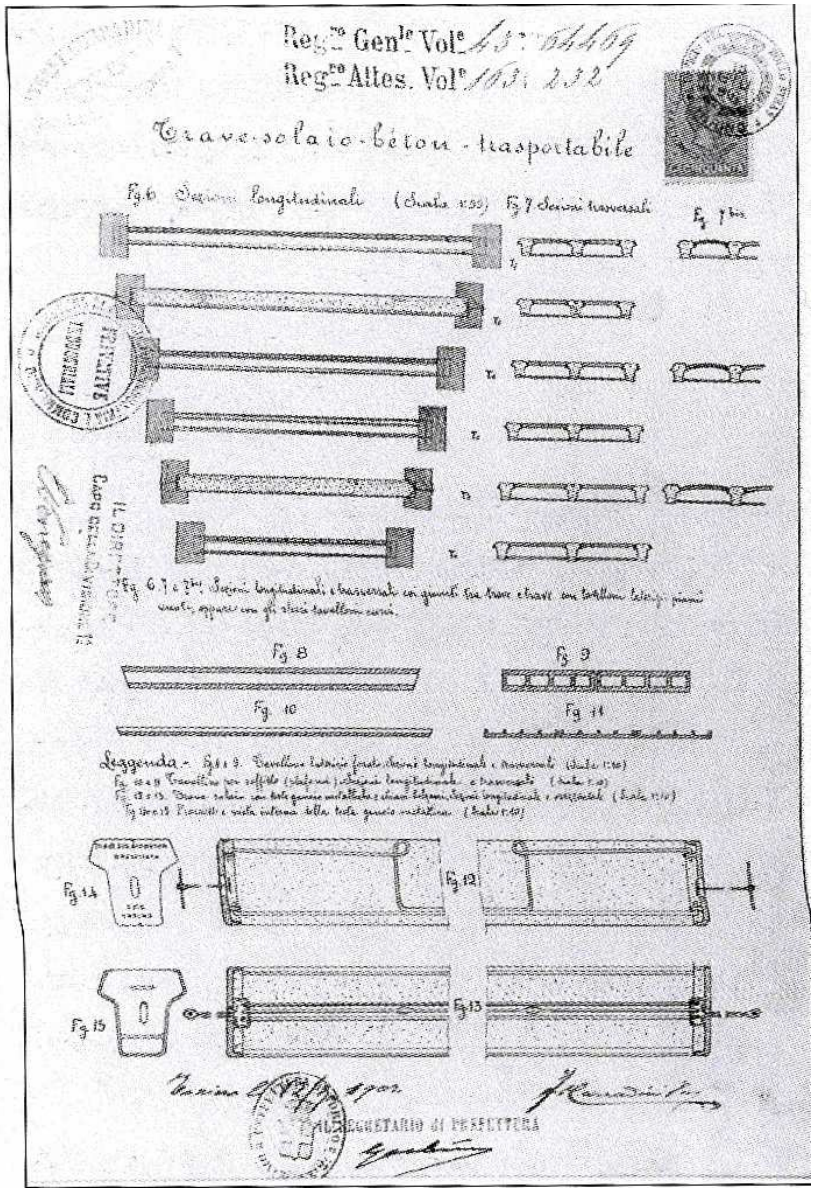


fig. 139: brevetto n. 64469, F. Corradini, Torino, *Trave solaio béton trasportabile*, 17 luglio 1902 (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

Se la malta impiegata per la posa in opera delle travi era del tipo cementizio*"assai più difficile riusciva il recupero delle travi intere qualora si fosse dovuto demolire il solaio, mentre invece le malte di calce o di gesso permettevano tale recupero"*[129].

Spesso l'intonaco all'intradosso presentava fenditure lungo le linee di separazione tra le travi, le quali specialmente se di notevoli dimensioni, risultavano poi poco agevoli da trasportare, maneggiare, porre in opera, e se di forma tubolare o a traliccio, potevano essere soggette a rotture o lesioni.

L'uso di acciai di qualità, con resistenza molto elevata e la possibilità di confezionare calcestruzzi di controllata ed elevata resistenza, rese possibile in un secondo momento la realizzazione di solai con travetti prefabbricati precompressi.

La precompressione, imponendo ai travetti un valore di compressione pari all'incirca al valore di trazione sotto carico, faceva fronte alla scarsa attitudine del calcestruzzo a resistere alle sollecitazioni di trazione inevitabili nelle strutture inflesse. Il sistema di precompressione dei travetti era ed è ancora oggi basato sulla trasmissione al calcestruzzo, per aderenza, di forze di segno opposto a quelle applicate prima del getto, alle armature metalliche. Su apposite piste, in grado di contenere più travetti affiancati, venivano sottoposte preventivamente a trazione le armature metalliche costituite da tondi o trecce di acciaio ad altissima resistenza.

[129] Donghi D., *op. cit.*, p. 845.

Una macchina formatrice, passando sui gruppi di fili tesi, depositava e vibrava il calcestruzzo opportunamente dosato. I travetti, appena formati, venivano stagionati artificialmente in *tunnel* a vapore e, a stagionatura avvenuta, venivano rilasciati alle testate i fili di acciaio preventivamente tesi. Questi, come molle in tensione, appena rilasciati, tendevano elasticamente a ritornare alla loro lunghezza iniziale e, pertanto, conferivano al calcestruzzo indurito, che si opponeva per aderenza al loro accorciamento, uno stato di precompressione. I solai con travetti precompressi venivano messi in opera come quelli semplicemente prefabbricati già descritti e completati al solito con la soletta collaborante.

Con i travetti in precompresso si otteneva una grande economia di acciaio, fino al 75%, e un peso proprio alquanto modesto. I travetti, considerati appoggiati ai fini del calcolo, venivano posti in opera con un appoggio pari a circa 1/20 della luce; le loro estremità si annegavano nelle travi o nei cordoli così come si faceva per i travetti prefabbricati.

A questi seguirono molti altri differenti tipi di solai. Si ricordano tra gli altri:

- il solaio tipo *Cirex*, caratterizzato da travetti in laterizio armato posti in opera affiancati, ad interasse di 25 cm oppure distanziati a mezzo di blocchi interposti. Tale tipologia poteva avere un'altezza di 12,5-16,5-20,5 cm e generalmente non presentava soletta di ripartizione; vi era, inoltre, la possibilità di disporre armature aggiuntive nell'intercapedine tra due laterizi (fig. 140);

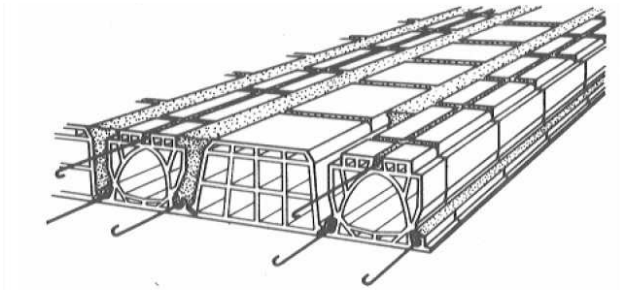
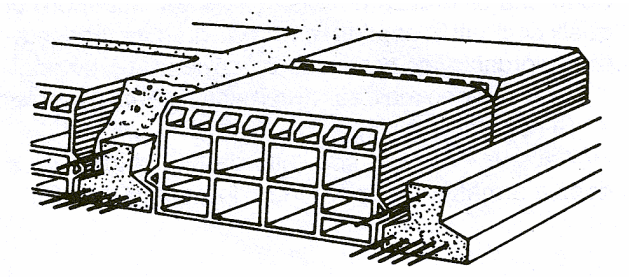
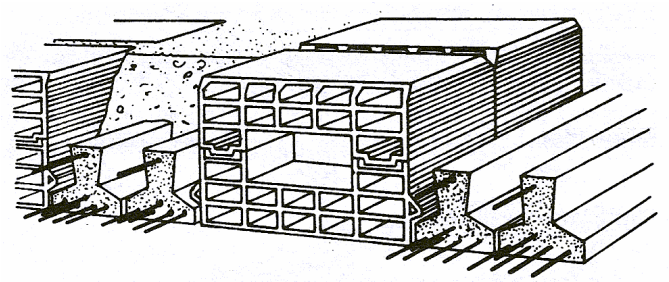


fig. 140: solai tipo *Cirex* (da AA.VV., *Manuale dell'architetto - compilato a cura del Consiglio Nazionale delle Ricerche - pubblicato dall'Ufficio Informazioni Stati Uniti in Roma,* 1946).

- il solaio tipo *Celersap,* era caratterizzato da travetti in calcestruzzo armato precompresso aventi sezione a T rovescia con anima verticale a coda di rondine, disposti a 50 cm di interasse, che venivano normalmente abbinati a blocchi forati di laterizio con la parte superiore rinforzata, che poteva sostituire in tutto o in parte la soletta. Detti travetti potevano avere un'altezza di 9 o 13 cm e una larghezza di 12 o 14 cm. Prima del getto si aggiungevano armature complementari in acciaio, soprattutto in prossimità degli incastri, oltre agli abituali ferri di ripartizione (fig. 141);





figg. 141 (immagini pp. 280 e 281): solai tipo *Celersap* (da Caleca L., *Architettura Tecnica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2007).

- il solaio tipo *SCAC* era caratterizzato da travetti in precompresso e poteva avere quattro varianti di altezze rispettivamente di 14-18- 24- 30 cm, cui corrispondevano altrettante diverse larghezze delle suole; esso presentava superiormente intagli equidistanti che servivano per distanziare alcuni ponticelli metallici sui quali si appoggiavano i tavelloni di cotto destinati a sostenere la soletta che, ammorsata ai travetti, per effetto del taglio obliquo delle estremità dei tavelloni, diveniva solidale ad essi come in un solaio monolitico in calcestruzzo armato con nervature e soletta. Il solaio che si otteneva era resistente, leggero ed economico (figg. 142 e 143);

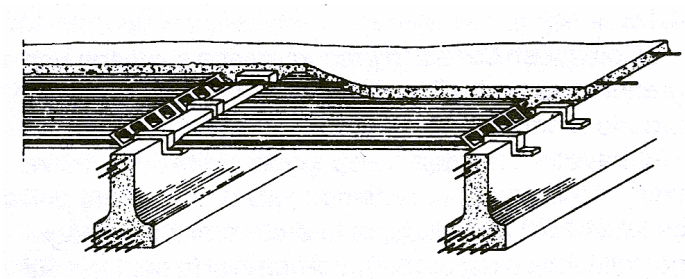


fig. 142: solaio tipo *SCAC* (da Caleca L., *Architettura Tecnica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2007).

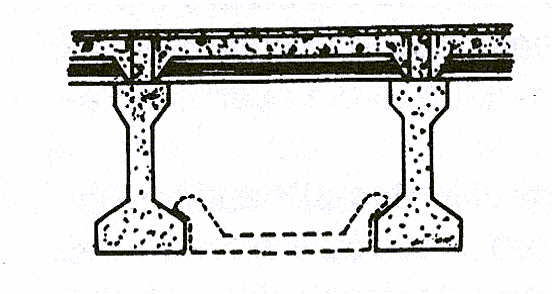


fig. 143: variante del solaio tipo *SCAC* (da Caleca L., *Architettura Tecnica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2007).

- il solaio tipo *T.P. 55*, presentava travetti in conglomerato cementizio armato precompresso, simili a quelli del tipo *Celersap*, spesso prodotti con la suola rivestita in laterizio. Si disponevano in opera con interasse di 55 cm e su di essi si poggiavano volterrane, di altezze pari a 12,5-16,5-20,5 cm, che delimitavano le nervature per il getto di completamento (fig. 144);

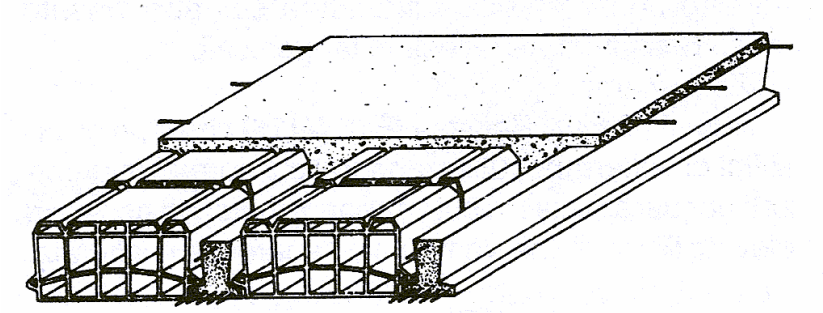


fig. 144: solaio tipo T.P. 55 (da Caleca L., *Architettura Tecnica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2007).

- il solaio tipo *STALP* era formato da travetti composti da listelli di laterizio (6x10 cm) con tre scanalature in cui erano ubicate le armature

metalliche, formate da trefoli a due fili di acciaio, annegate in malta di cemento vibrata. Disposti in opera col necessario interasse di 65 cm, i travetti sostenevano pignatte in laterizio o in cemento-pomice che formavano i casseri delle nervature; l'armatura dei listelli aveva la funzione di assorbire gli sforzi di trazione in mezzeria, mentre venivano poste armature sussidiarie superiormente agli incastri (fig. 145).

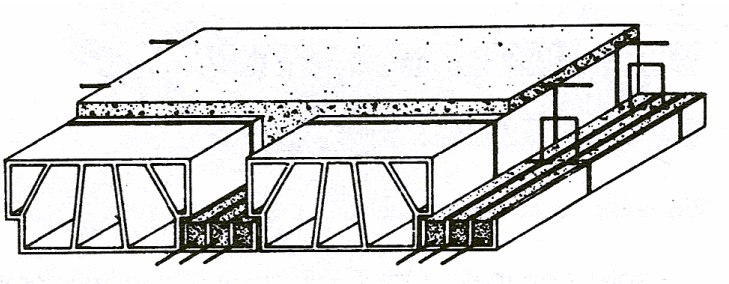
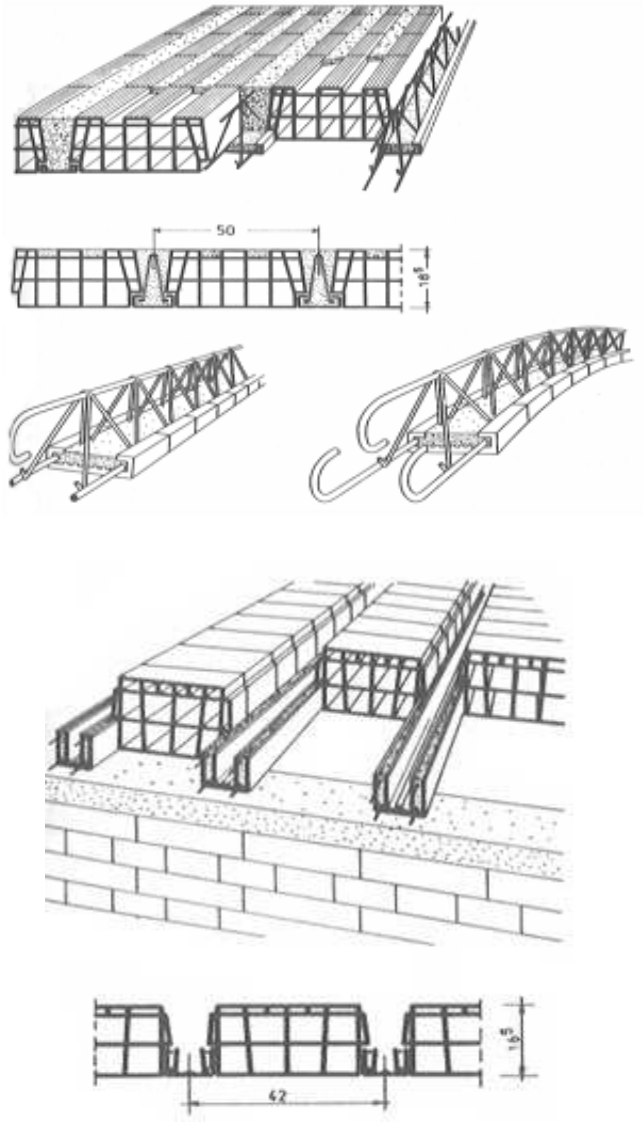
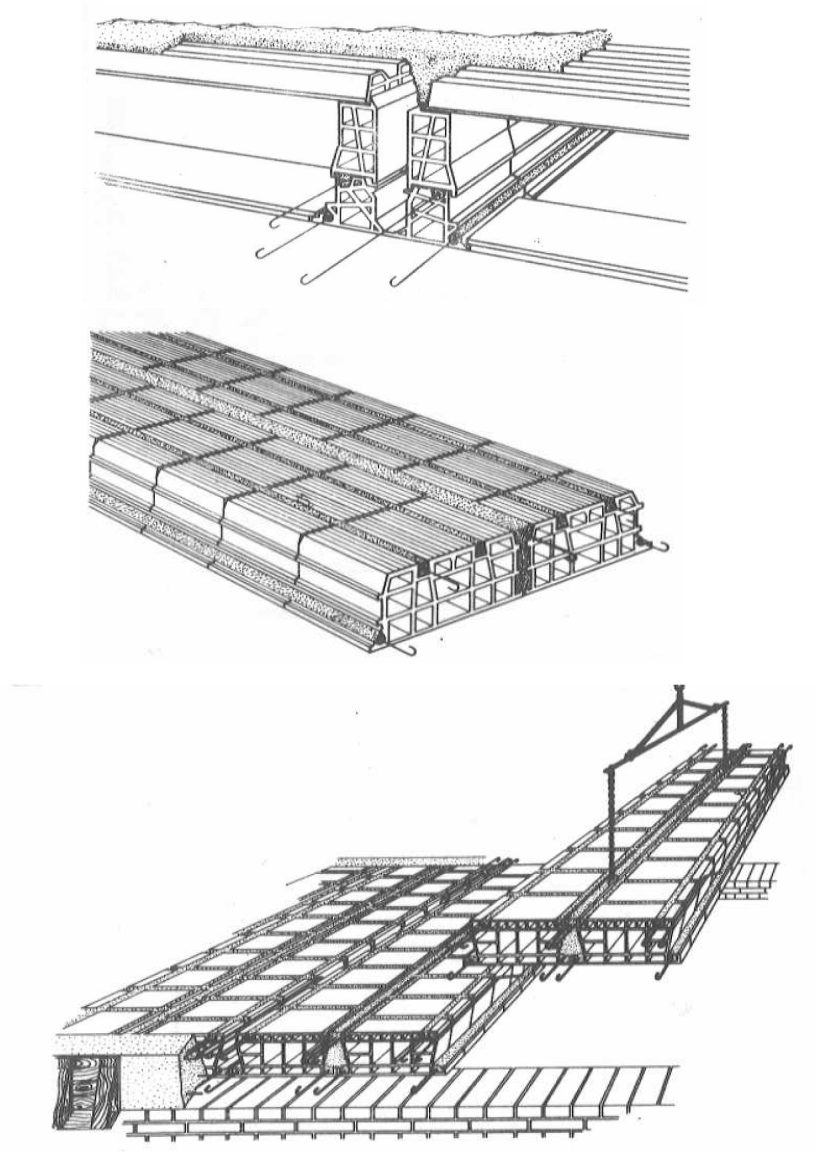


fig. 145: solaio tipo *STALP* (da Caleca L., *Architettura Tecnica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2007).

Altri tipi di solai particolarmente diffusi erano i tipi *Fert*, *Listex*, *Adige*, *Rapidstrut*, *Bisap*.



figg. 146: solaio tipo *Fert* (in alto) e *Listex* (in basso) (da Petrignani A.,*Tecnologie dell'architettura*, Gorlich-Istituto Geografico De Agostini Novara S.p.A., Roma 1984).



figg. 147: solaio tipo *Adige* (in alto), *Rapidstrut* (al centro) e *Bisap* (in basso) (da AA.VV., *Manuale dell'architetto - compilato a cura del Consiglio Nazionale delle Ricerche - pubblicato dall'Ufficio Informazioni Stati Uniti in Roma*, 1946).

Per la copertura di grandi luci venivano spesso utilizzate anche volte ad elementi prefabbricati (fig. 150).

Il sistema era analogo a quello dei solai prefabbricati e si distinguevano anch'esse per numerosi tipi di brevetti.

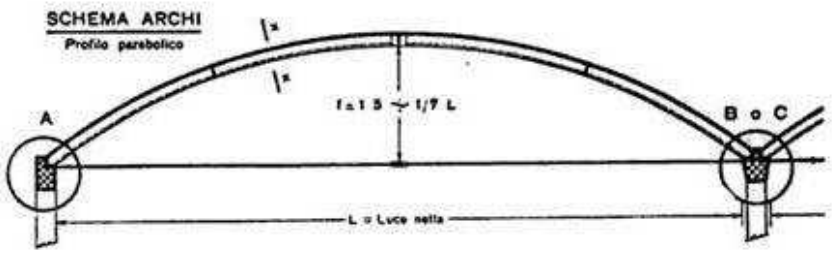


fig. 148: schema di volta a elementi prefabbricati per grandi ampiezze (da Astrua G., *Manuale completo del capomastro assistente edile*, Hoepli Editore, Milano 1995).

Vi erano, tra le altre, tipi di volte a traliccio formate da elementi laterizi a forma triangolare che caratterizzavano l'arco e vi conferivano una particolare resistenza o anche volte i cui elementi portanti erano costituiti da travi in conglomerato cementizio armato prefabbricate, sulle quali venivano posati i laterizi di copertura ed eventualmente una tavella sottile inferiore per la controsoffittatura, laddove si ravvisava la necessità di formare una camera d'aria (fig. 149).

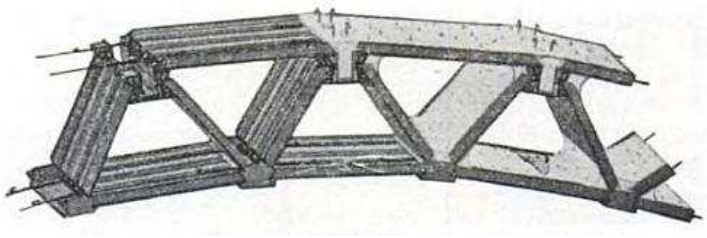


fig. 149: elementi laterizi di una volta a traliccio (da Astrua G., *Manuale completo del capomastro assistente edile*, Hoepli Editore, Milano 1995).

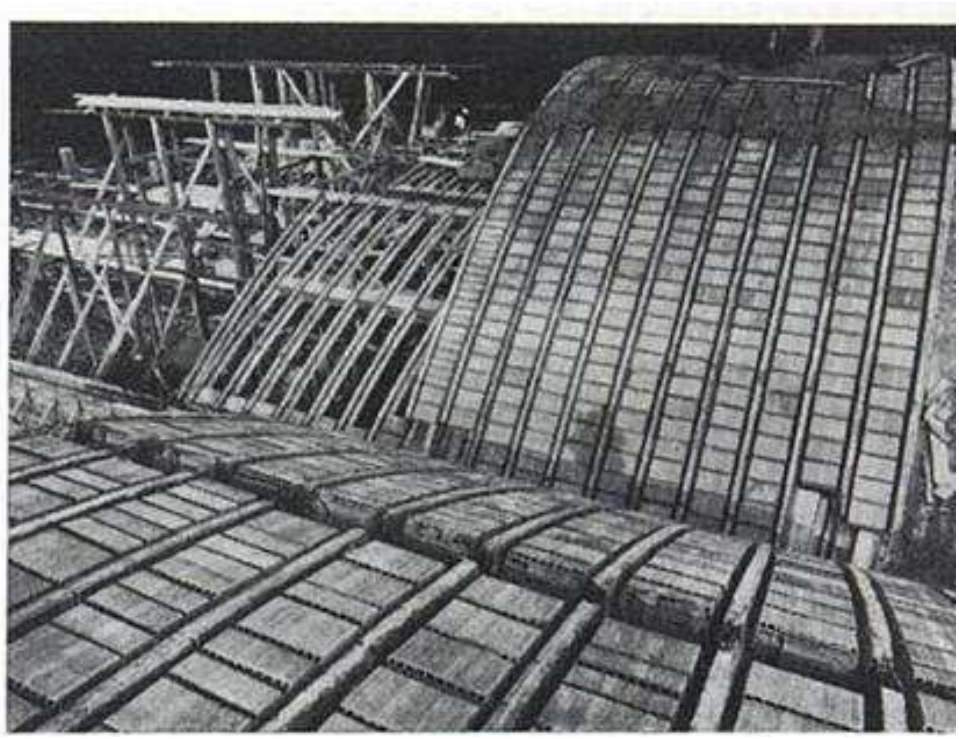


fig. 150: volta con travi in conglomerato cementizio armato e laterizi prefabbricate. Dalla figura si possono osservare sia gli elementi prefabbricati a posa ultimata che l'incastellatura portante (da Astrua G., *Manuale completo del capomastro assistente edile*, Hoepli Editore, Milano 1995).

ALLEGATO II

BREVETTI SOLAI

Si descrivono in questa appendice alcuni approfondimenti inerenti ai principali brevetti di orizzontamenti in conglomerato cementizio armato particolarmente diffusi in Italia nella prima metà del Novecento.

Sistema Monier: fu ideato nel 1863 da Joseph Monier, giardiniere parigino, il quale, ottenuti buoni risultati avvolgendo un reticolato metallico con malta cementizia nel tentativo di foggiare grandi vasi da giardino per piante esotiche, piccoli chioschi ed altri lavori congeneri, pensò di applicare tale procedimento anche alle costruzioni edili.

La grande diffusione del sistema *Monier*, che in trent'anni si estese ad ogni sorta di opere, fu dovuta al fatto che il calcestruzzo manteneva inalterato il ferro, preservandolo dalla ruggine e la compattezza tra i materiali era assicurata dalla loro perfetta aderenza, favorita anche dal medesimo valore del coefficiente di dilatazione termica[130].

[130] Vacchelli G., *op. cit*., p. 218.

Il sistema prevedeva la realizzazione di un reticolato metallico (fig. 151) della forma dell'opera che si intendeva realizzare, ottenuto mediante l'impiego di piccole barre o tondini (del diametro compreso tra 5 e 16 mm) fissati ad ogni incrocio con filo di ferro, che veniva ricoperto completamente, sia all'interno che all'esterno, con malta cementizia ottenuta impastando con acqua, cemento *Portland* e sabbia grossa di fiume[131].

Mörsch sottolineava che, durante i primi anni di impiego, l'armatura di ripartizione era molto fitta per impedire lo scorrimento dei ferri; quando poi si verificò, sempre sperimentalmente, l'adesione "naturale" tra i due materiali, i ferri cominciarono a disporsi in maniera più rada e vennero eliminate le connessioni col filo di ferro[132].

Tale brevetto, registrato il 16 luglio 1867 a Parigi col n. 77165, è considerato la prima applicazione di solaio in calcestruzzo armato, nel quale il conglomerato cementizio e il ferro davano origine ad una struttura leggera ed economica, ma soprattutto rigida e resistente. Ad esso sono, poi, seguiti numerosi brevetti di perfezionamento[133], oltre ad altri utilizzati per la costruzione di tubazioni, cisterne, pannelli prefabbricati per le facciate, ponti e travi.

---

[131] Mazzocchi L., *op. cit.*, pp. 204-205.

[132] Mörsch E., *op. cit.*, p. 212.

[133] Brevetto francese n. 120989, J. Monier, *Système perfectionné de traverses et de supports en ciment et fer, applicables aux voies, chemins ferrés et non ferrés*, 3 novembre 1877; brevetto n. 15697, J. Monier, *Système perfectionné de traverses pour voies ferrées, récipientes de toutes sortes, constructions en général en fere t en ciment*, 16 luglio 1883; brevetto n. 15697, J. Monier, *Système perfectionné de traverses pour voies ferrées, récipientes de toutes sortes, constructions en général en fere t en ciment*, 29 luglio 1883.

Nel 1884 il brevetto *Monier* venne acquistato da Conrad Freytag per la realizzazione di opere in calcestruzzo armato nel Sud della Germania, il quale, poi, a sua volta ne concesse gratuitamente i diritti a Gustav Adolf Wayss.

fig. 151: lastra *Monier* (da Mazzocchi L., *Calci e cementi. Norme pratiche ad uso degli ingegneri, architetti, costruttori, capimastri ed assistenti di fabbrica,* Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1895).

Significativi sono i risultati di una prova di resistenza effettuata su di una struttura *Monier*[134] caratterizzata da una lastra di lunghezza pari a 1,00 m, larghezza pari a 0,60 m e spessore di 0,015 m, appoggiata agli estremi, costituita da un reticolato a maglie quadrate di lato 0,10 m con tondini del diametro di 6 mm:

- lastra con reticolato: carico di rottura 2763 kg al cmq,
- lastra senza reticolato: carico di rottura 517 kg al cmq.

[134] Arcangeli A., *op. cit.*, pp. 207-208.

Sistema Bordenave: si tratta di un'altra tipologia di solaio in conglomerato cementizio armato a soletta piena, per la quale si hanno diverse varianti tutte brevettate[135], che prende il nome dall'ingegnere francese Bordenave.

La soletta era armata mediante due serie di barre in acciaio, per lo più a sezione speciale (C, T rovescia, I, L), sagomate con piccoli spessori[136], e armature con diametro compreso tra i 4 e i 5 mm.

Circa la composizione del materiale utilizzato, l'ingegnere Vacchelli riporta che"*per spessori piccoli* [veniva] *utilizzato 1 volume di cemento per 3 a 5 di sabbia; per spessori maggiori* [invece] *1 di cemento per 5 fra sabbia e ghiaia. Per strutture leggere* [si preferiva un composto di] *1 di cemento, 1 di sabbia e 4 a 5 di scorie"*[137].

Sistema Coignet: si tratta di un'ulteriore tipologia di solaio in conglomerato cementizio armato a soletta piena, la cui armatura era costituita da un unico ordine di barre disposte parallelamente ed equidistanti tra loro oppure da due ordini incrociati e collegati con fili di ferro ad un ferro minore, a sezione circolare di piccolo diametro, in un

[135] Brevetto francese n. 178671, J. Bordenave, *Emploi dans les constructions des ciments, chaux ou autres matières appliquées sur des grillages de fer*, 22 settembre 1886.

Brevetto n. 21405, J. Bordenave, Parigi, *Système de construction de tuyaux egouts et autres ouvrages à ossature métalliques avec remplissage de ciment, béton, mortier et autres matières analogues*, 25 marzo 1887.

Brevetto n. 31901, J. Bordenave, Parigi, *Système de construction de tuyaux egouts, reservoirs et autres ouvrages à ossature en fer ou aciers à double T et remplissage de ciment, béton, mortier et autres matières analogues*, 17 maggio 1892.

[136] Donghi D., *op. cit.*, p. 385.

[137] Vacchelli G., *op. cit.*, p. 257.

unico piano verticale. Le barre di sezione maggiore costituivano l'ordine inferiore e venivano denominate barre di resistenza; quelle di sezione minore appartenevano all'ordine superiore ed erano definite barre di ripartizione. Il Coignet apportò ulteriori modifiche all'armatura delle solette, disponendo le barre in modo da ottenere un determinato angolo con la direzione degli sforzi di flessione, così da poter assegnare ad esse la stessa sezione in quanto tutte ugualmente sollecitate.

Secondo il Mazzocchi, tale sistema ebbe comunque ben poche applicazioni[138].

Sistema Cottancin: anche questo è un sistema brevettato (brevetto n. 26026 del 12 agosto 1889) per la realizzazione di solai a soletta piena in conglomerato cementizio armato, caratterizzato da due reti metalliche, connesse mediante un elaborato intreccio metallico e senza legature in filo di ferro[139]. Cottancin, ideatore del brevetto, estese in seguito i suoi studi all'intero edificio, cosicché tale sistema non venne utilizzato esclusivamente per la realizzazione di orizzontamenti, ma consentiva la progettazione di un intero apparato costruttivo.

Dal punto di vista della composizione del materiale si impiegavano "*per spessori piccoli: 1 volume di cemento per 3 a 5 di sabbia; per spessori maggiori: 1 di cemento per 5 fra sabbia e ghiaia. Per strutture*

[138] Mazzocchi L., *op. cit.*, p. 234.
[139] Mörsh E., *op. cit.*, pp. 212-213.

leggere si utilizzavano 1 [parte] *di cemento, 1 di sabbia e 4 a 5 di scorie"*[140].

Il sistema descritto cadde in disuso poco dopo l'ottenimento del brevetto a seguito della circolare francese del 1906 che di fatto ne vietava l'impiego, in quanto le sue caratteristiche statiche non erano dimostrabili mediante formule matematiche.

Sistema Hennebique: altre peculiarità di questo sistema, oltre a quelle già descritte, erano l'eliminazione delle barre di ripartizione da un lato e l'introduzione di staffe e ferri piatti a forma di U detti *morette*[141] (fig. 152) che, avvolgendo le barre poste inferiormente, raggiungevano la parte compressa del calcestruzzo. Le staffe avevano il compito di resistere agli sforzi di taglio che si generavano all'interno delle nervature ed erano, perciò, distribuite in modo più fitto in corrispondenza degli appoggi dove lo sforzo assume il suo massimo valore; esse presentavano una sezione di 20-30 mm (15-20 mm secondo Levi) per 1,5-2 mm di spessore, terminavano verso l'alto con leggere ripiegature ad uncino[142] (fig. 153) ed erano poste in opera con passo variabile dai 10 ai 60 cm[143].

[140] Vacchelli G., *op. cit.,* p. 257.
[141] Mörsh E., *op. cit*., p. 342.
[142] Levi C., *op. cit*., pp. 337-338.
[143] Misuraca G., Albertini C., Boldi M. A., Giovannoni G., Spichi C., Vanghetti V., *L'arte moderna del fabbricare*, Vallardi, Milano 1916.

Dal Breymann si apprende che in generale il passo tra le staffe si poteva assumere variabile tra 0,46 e 0,60 m in corrispondenza della mezzeria delle nervature, tra 0,10 e 0,15 m agli estremi[144].

Caratteristico era il collegamento tra pilastri e travi che spesso presentava mensole di raccordo inclinate in prossimità dell'appoggio, particolare che rivela come il brevetto utilizzasse il ferro in ottemperanza alle sue specifiche caratteristiche.

Si impiegavano solette nervate in conglomerato cementizio armato quando la portata dei solai con carichi ordinari superava i 3 metri.

Lo spessore della soletta era normalmente compreso tra 8 e 15 cm, i ferri avevano un diametro compreso tra 8 e 16 mm e se ne collocavano di solito tra 4 e 10 per metro di larghezza della soletta, in totale assenza di calcoli progettuali, preferendo i diametri minori con piccoli intervalli. Le solette appoggiavano sui muri perimetrali per un tratto di 15-20 cm e se *"più ambienti contigui erano coperti allo stesso livello, si aveva un unico orizzontamento protraendosi la soletta al di sopra dei muri divisori"*[145].

Le nervature, collegate monoliticamente alle solette, formavano strutture resistenti con sezione a T, sviluppate nei due sensi ortogonali del solaio. La ripartizione tra ferri dritti e ferri piegati avveniva generalmente in parti uguali. Tutti i ferri dovevano terminare con ganci e grande cura veniva posta negli ancoraggi sul perimetro del solaio.

[144] Breymann G.A., *op. cit.*, p. 223.
[145] Levi C., *op. cit.*, pp. 337-338.

"Tali costruzioni monolitiche si adattavano assai bene alle costruzioni in mattoni, di cui costituivano un validissimo legamento"[146].

I ferri d'armatura presenti nelle nervature ubicate al di sotto della soletta erano collocati l'uno sull'altro: quello inferiore veniva posto in opera dritto e quello superiore veniva sagomato più o meno in corrispondenza di 1/3 della luce; *"secondo la resistenza necessaria, ciascuna nervatura presenta una o più di queste coppie di barre; quando vi sono più coppie di barre, l'inizio della ripiegatura delle barre superiori viene fatto in sezioni diverse da una coppia all'altra. L'armatura delle solette è perpendicolare a quella delle nervature e corre al di sopra di queste per più di una campata* […]. *Le nervature hanno sezione rettangolare, spigoli smussati, altezza compresa tra 1/15 e 1/20 della luce e larghezza non inferiore a 15 cm; sono parallele alla direzione minore dell'ambiente e non distano di solito più di 3-3,50 m da asse ad asse; se le nervature sono di una certa importanza, sovente in corrispondenza dei relativi appoggi i muri d'ambito presentano apposite lesene e mensole. Talora, invece di adottare solette di forte spessore, con nervature robuste e notevolmente intervallate, si preferisce adottare solette di minor spessore con nervature non distanti più di 1-1,50 m; in tal caso, per poter appoggiare le nervature anche in corrispondenza di larghe aperture perimetrali, conviene limitare superiormente le aperture stesse con piattabande in c.a."*[147].

[146] Breymann G.A., *op. cit.*, pp. 442-443.
[147] Levi C., *op. cit*., pp. [338-341].

Il numero delle barre piegate in corrispondenza degli appoggi dipendeva dal momento, ma "[era] *bene piegarne una si e una no, indipendentemente dai calcoli eseguiti* […]. *Allorché, pel modo come sono appoggiati alle estremità, si ha luogo a ritenere che ivi si trovino in condizioni di semi-incastramento, occorre disporre l'ossatura metallica in modo che nella sezione di incastro, si trovino delle sbarre anche nella parte superiore* […] *il momento d'incastro è minore del momento massimo nel mezzo della trave, quindi basta generalmente rialzare una sbarra ogni due*"[148].

Le armature erano distanti tra loro 15 cm circa ed erano poste a 2 cm dall'intradosso del solaio, alternativamente piegate o lasciate dritte in corrispondenza degli incastri.

Tale brevetto veniva utilizzato per la realizzazione di solai, ma anche per travi e passerelle.

I materiali da adoperarsi erano il cemento e la sabbia, che potevano anche mescolarsi con pietrisco a spigoli vivi e ghiaia. "*Nella provincia di Napoli, dove si poteva avere a buon mercato scoria vesuviana, si sostituiva con vantaggio la metà della sabbia con altrettanta scoria. In generale, il miglior impasto era dato da 400 Kg di cemento Portland a rapida presa, per un metro cubo di sabbia fine, lavata e passata per setaccio con la maglia superiore ad 1 mm e mezzo. Per formare l'impasto si adoperava la minima quantità d'acqua possibile (non oltre i 300 litri per il suddetto quantitativo di cemento e sabbia). In quanto al*

[148] Vacchelli G., *op. cit.*, p. 260.

ferro, si faceva molto uso dell'acciaio dolcissimo, ossia del ferro omogeneo"[149].

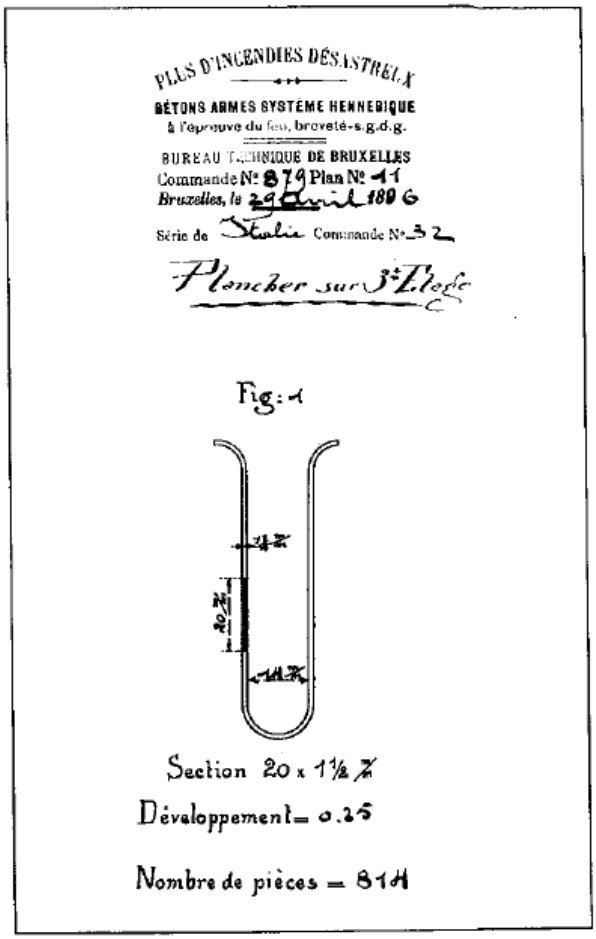


fig. 152: foglio prestampato con indicate le dimensioni delle staffe delle travi, proveniente dal *Bureau Technique de Bruxelles* (da Nelva R., Signorelli B., *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia: il sistema Hennebique*, Edizioni di Scienza e Tecnica, Milano 1990).

[149] Mazzocchi L., *op. cit.*, p. 178.

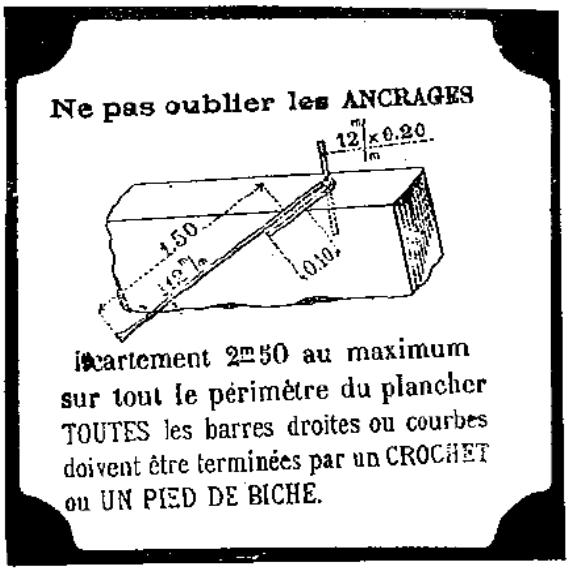


fig. 153: timbro utilizzato dalla *Maison Hennebique* per ricordare la necessità di terminare le barre di armatura con piegature ad uncino e di disporre di ancoraggi agli estremi (da Nelva R., Signorelli B., *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia: il sistema Hennebique*, Edizioni di Scienza e Tecnica, Milano 1990).

Anche il sistema *Hennebique*, come quello *Monier*, era basato sull'osservazione e sul rilievo di dati sperimentali, dai quali si estrapolavano formule semplici ed assolutamente empiriche: nel caso della flessione si attribuiva un momento resistente al conglomerato ed uno di valore uguale al ferro, e si adottavano (indipendentemente dalla congruenza delle deformazioni elastiche) opportune tensioni medie di calcolo. In pratica, si imponeva che il momento esterno venisse assorbito per metà dal conglomerato cementizio e per l'altra metà dal ferro, ricavando, in prima fase di progetto, l'area di conglomerato necessaria

reagente a compressione. *"Si adottava al riguardo una tensione media di 25 kgF/cmq (circa 25 daN/cmq) ammettendo che nelle fibre estreme più sollecitate tali valori siano superiori. Successivamente si ricavava l'area dell'armatura in ferro fissando (in base al progetto e in base all'esperienza) la lunghezza del braccio di leva delle forze interne (in proporzione con le altre dimensioni della trave) e adottando una tensione di 1000 kgF/cmq"*[150] (fig. 154).

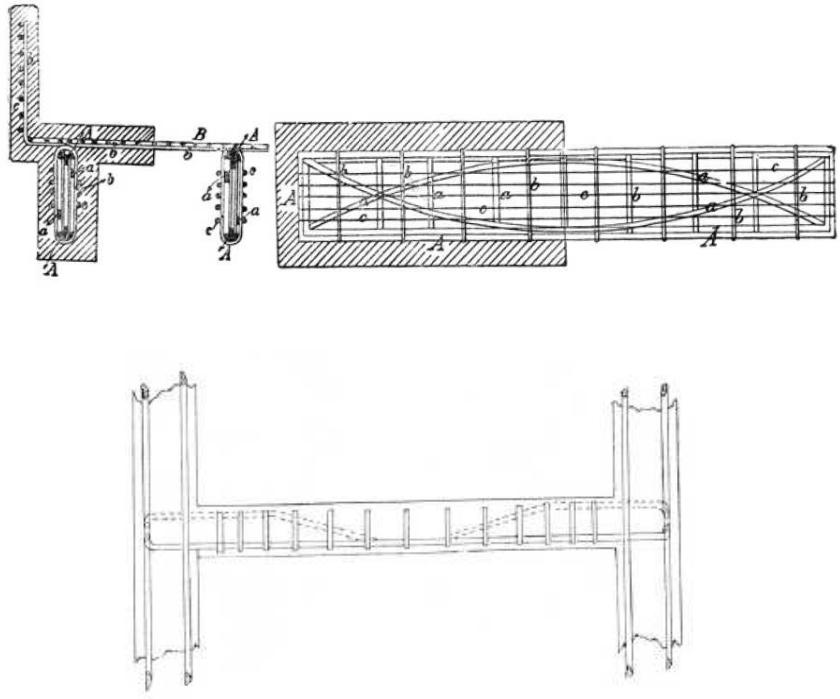
La progettazione delle sezioni degli elementi portanti, come anche il sistema di calcolo, si basava su dati di natura sperimentale e prevedeva proporzioni verificate dall'esperienza che rendevano i rapporti tra le diverse dimensioni delle membrature abbastanza simili e ripetibili (rapporto tra altezza e base delle travi, luce delle travi secondarie, ecc.).

In effetti, se nelle prime fasi di applicazione del conglomerato cementizio armato questo metodo di calcolo si era dimostrato soddisfacente, con il passare degli anni lo sviluppo delle teorie di calcolo su basi scientifiche resero criticabile l'intero sistema, sino a ridurne notevolmente l'applicabilità con la comparsa nei diversi stati europei di norme e regolamenti di calcolo.

I dimensionamenti ottenuti con le formule empiriche di Hennebique sono risultati comunque abbastanza simili (anche se i risultati dipendevano dall'esperienza dell'operatore) a quelli ottenuti con gli usuali metodi di progetto (tensioni ammissibili) e l'ottimo

[150] Nelva R., Signorelli B., *op. cit.*, pp. 16-17.

comportamento statico nel tempo delle opere ne ha confermato indirettamente la validità nel contesto delle applicazioni svolte[151].



figg. 154: schematizzazione del primo brevetto *Monier* per travi in calcestruzzo armato nel quale si nota che i ferri longitudinali erano disposti, oltre che sui due lembi esterni della struttura, anche secondo due fusi (in alto); schema di una trave secondo il brevetto *Hennebique* (in basso). Rispetto al sistema *Monier*, le armature del sistema *Hennebique* erano disposte secondo criteri sicuramente più vicini a quelli odierni (da Zevi B. (a cura di), *Il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma 2008).

[151] *Idem.*

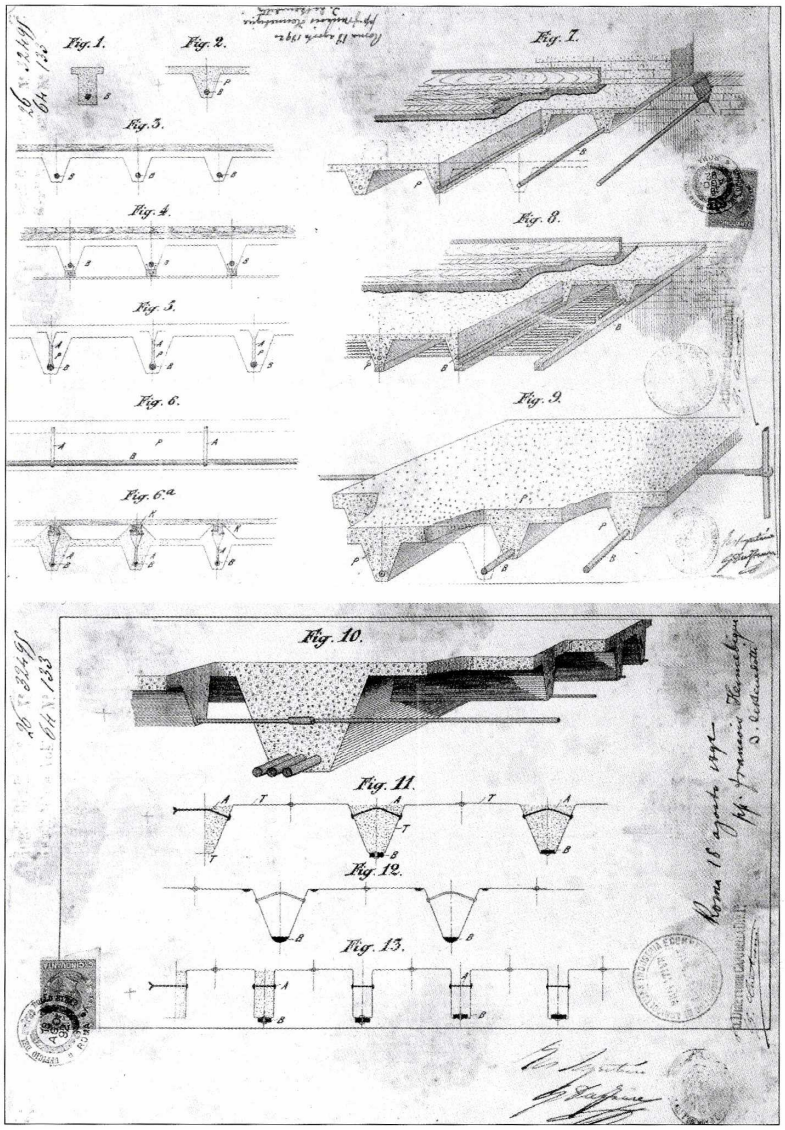


fig. 155: brevetto n. 32495, F. Hennebique, Bruxelles, *Combinaison particulière du metal et du ciment en vue de la création de poutraisons très légères et haute résistance*, 18 agosto 1892 (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

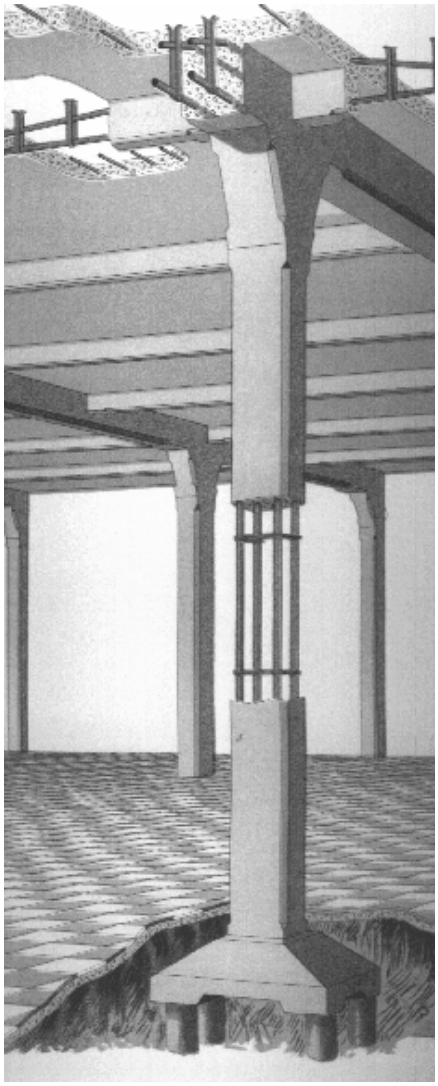


fig. 156: il sistema *Hennebique* permetteva la costruzione completa di un'ossatura portante monolitica in conglomerato cementizio armato che prevedeva plinti di fondazione (o travi rovesce o platee), pilastri, travi principali, travi secondarie e solette (da tesi di laurea di Casotto A., Sarain M., Stievano B., *Il recupero dell'area dell'ex macello di Padova*, laurea quinquennale in Architettura, Istituto Universitario di Architettura di Venezia, 1996, relatore Paganuzzi P.).

Sistema Matrai[152]*:* le solette realizzate con questo brevetto, denominato *Matrai-Odorico*[153], erano armate con tondini di ferro disposti a fascio o reticolato, inclinati a 45° rispetto alla direzione delle travi, che assumevano la forma di una catenaria (fig. 157). Negli impalcati senza travi maestre, i fili erano fissati a due funi metalliche disposte lungo i lati maggiori del vano da coprire, che erano a loro volta ancorate alle murature mediante ganci posti ad intervalli di circa 1,00 m, tenuti in posizione mediante paletti solidarizzati verticalmente alla muratura; accadeva spesso che le diagonali venivano fissate anche direttamente nei muri perimetrali. Le travi maestre degli impalcati erano costituite da travi in ferro poggiate sui muri ed immerse nel calcestruzzo e l'ancoraggio dei fili veniva effettuato facendoli passare sul bordo superiore delle travi a doppio T (semplici, composte, reticolari), cui venivano avvolte per intero fino a ritornare sullo stesso bordo per essere diretti poi nell'altra campata.

È utile osservare come tutti gli sforzi gravanti sulla struttura dovevano essere assorbiti unicamente dall'armatura metallica, costituita da fili di acciaio con diametro compreso tra 2 e 6 mm, in quanto il calcestruzzo aveva soltanto una funzione di riempimento, rivestimento, protezione e consentiva la collaborazione di tutti i cavi metallici.

Questo tipo di armatura permetteva di scaricare il peso in corrispondenza degli appoggi, così da poter ridurre il momento massimo e quindi la sezione delle travi principali, come se il carico fosse inferiore

[152] Vacchelli G., *op. cit.*, pp. 259-260.

[153] Brevetto n. 42720, *Perfectionnement à la fabrication de plafonds ou de murs, etc. resistants*, 2 ottobre 1896, depositato in Italia nel 1896 da Alexander Matrai, professore del politecnico di Budapest da Iori T., *op. cit.*, p. 37.

di ¼ rispetto a quello effettivo[154]. L'ingegnere Vacchelli aggiungeva anche che la freccia di queste catenarie era uguale all'altezza della trave e che le strutture *Matrai* presentavano il vantaggio di un notevole risparmio nella quantità di ferro impiegato e di un minore peso della costruzione.

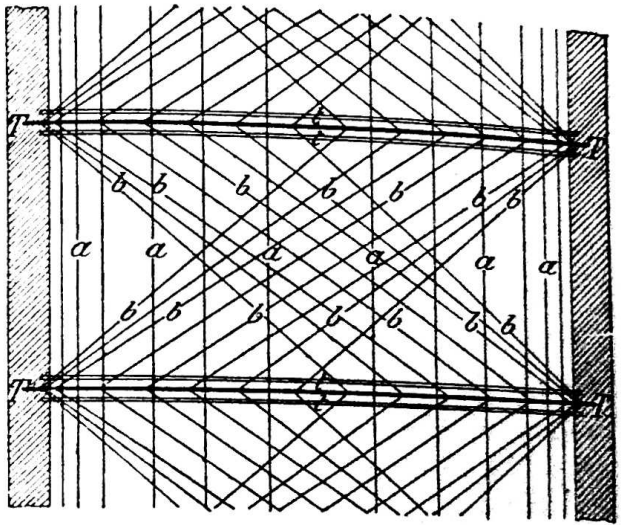


fig. 157: brevetto *Matrai*: le catenarie *a* e *b*, costituivano un'ossatura capace da sola di resistere al peso della struttura di getto e del sovraccarico e ne trasmettevano il peso alle travi principali, *T* (da Vacchelli G., *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*, Hoepli, Milano 1900).

Il calcestruzzo utilizzato per la realizzazione di tali solette, potendo avere ridotte capacità portanti, veniva realizzato impiegando semplici calci idrauliche o cemento in piccole dosi. Il Matrai preferiva, tuttavia, impiegare un impasto ottenuto con scorie di carbone e malta di cemento

[154] Vacchelli G., *op. cit.*, pp. 248-249.

magra, denominato *machefer*, molto leggero, resistente all'azione del fuoco e cattivo conduttore del suono e del calore.

La metodologia di calcolo utilizzata per tale sistema "*prescinde dalla resistenza del calcestruzzo, e si calcola che tutti gli sforzi sieno sostenuti dalla struttura metallica. Si hanno allora le travi principali in ferro, le quali non sono da considerarsi caricate da tutto il carico nella struttura, poiché le catenarie dei fili delle campate sono disposte in modo da scaricare una parte del peso sugli appoggi; mentre le travi stesse sono poi ancora rinforzate da catenarie disposte parallelamente e lateralmente ad esse.* […] *Il procedimento di calcolo proposto dall'autore* […] *è molto semplice, dà risultati sufficientemente confermati dall'esperienza. L'autore, ritiene che ¼ del peso sia sostenuto dalle travi ad I, ¼ dalle catenarie principali disposte parallelamente a queste, mentre il rimanente viene scaricato sugli appoggi dai fasci di catenaria trasversali e diagonali. Rammentasi poi che una catenaria di forma molto allungata, caricata di p kg per metro lineare, lunga l e con freccia f viene sollecitata ad una tensione di T kg=$pl^2/8f$ approssimativamente*"[155].

[155] *Idem.*

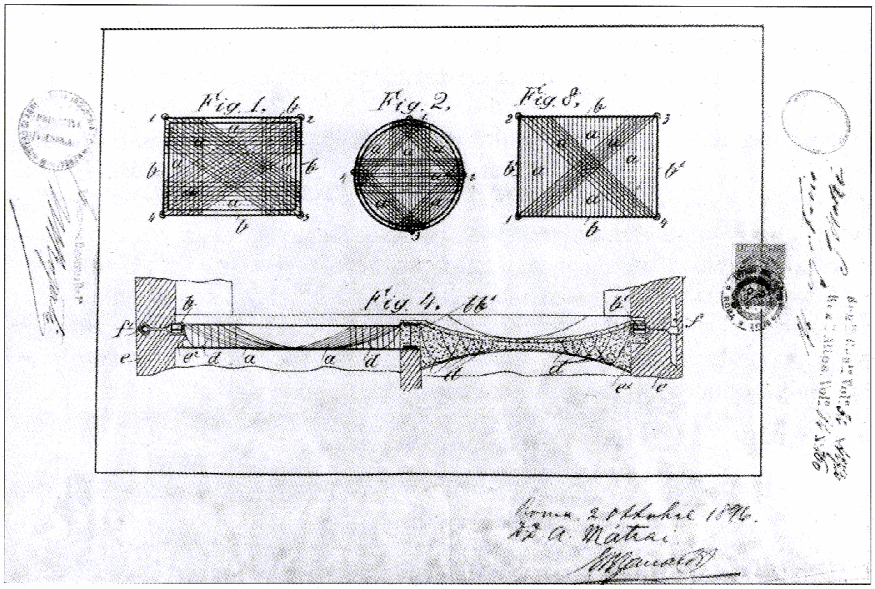
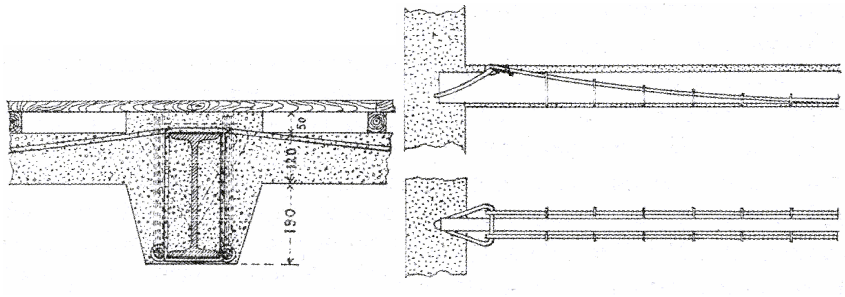


fig. 158: brevetto n. 42720, A. Matrai, Budapest, *Perfectionnement à la fabrication de plafonds ou de murs, etc. resistants*, 2 ottobre 1896 (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).



figg. 159: dettagli di un solaio realizzato col sistema *Matrai* (da Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001).

SOTTOCAPITOLO

I SOLAI SALERNITANI DEL VENTENNIO FASCISTA

Partendo dalla certezza di conoscere per poter riconoscere, conservare e valorizzare il patrimonio edilizio esistente, la presente ricerca intende promuovere la conoscenza di una porzione del costruito storico salernitano della prima metà del Novecento al fine di definire un intervento mirato di conservazione in continuità con le specificità storiche, formali, tipologiche e costruttive dei manufatti.

Tra la fine del XIX e gli inizi del XX secolo, pur diffondendosi in Europa e in Italia la grande innovazione della tecnica del calcestruzzo armato, le costruzioni in muratura continuarono ad essere costruite fino alla soglia del secondo conflitto mondiale. Tale processo determinò la nascita di un'edilizia definita mista nella quale convivevano all'interno di un unico organismo edilizio sia la muratura tradizionale che gli elementi costruttivi sempre più rilevanti in calcestruzzo armato: si svilupparono, così, edifici con struttura portante in muratura e corpo scala e/o orizzontamenti in conglomerato cementizio armato. Più tardi furono

realizzati edifici che conservarono la struttura muraria nella configurazione perimetrale e, oltre alle scale e ai solai, furono inseriti telai in conglomerato cementizio armato che sostituirono definitivamente i tradizionali muri di spina. Nel seguito viene descritto brevemente questo processo di evoluzione tipologica del costruire con particolare riferimento alla città di Salerno, dove proprio il solaio in conglomerato cementizio armato fu uno dei primi elementi a diffondersi nella realtà costruttiva locale.

Tra la fine degli anni Venti e l'inizio degli anni Trenta nella città di Salerno ebbe inizio un radicale processo di espansione e rinnovamento, dovuto ad un forte sviluppo sociale, economico ed urbano, conseguenza del periodo di grande fervore che interessava il mondo dell'industria e della tecnica a livello europeo. Fu proprio in questo periodo che vennero adeguati e potenziati i collegamenti viari e ferroviari e vennero installate nuove reti idriche, elettriche e di distribuzione del gas oltre ad un moderno sistema fognario.

"[…] *Il processo di rinnovamento interessò l'intero tessuto sociale ed urbano, coinvolgendo ogni settore delle attività civili, sia pubbliche che private; tutto andava rapidamente evolvendosi, richiedendo spazi e strutture in grado di garantire l'assolvimento dei nuovi compiti e delle diverse funzioni secondo livelli di efficienza che il nuovo secolo richiedeva, dall'istruzione all'assistenza sanitaria, ai servizi della pubblica amministrazione, al commercio e soprattutto, all'abitazione popolare e a quella per i nuovi ceti borghesi.*

[…] *A partire dai primi anni del Novecento la città si trovò inoltre a dover affrontare due emergenze: la rapida crescita demografica della popolazione (che nel 1927 sarà più che raddoppiata rispetto al 1881, passando da circa 30.000 abitanti a circa 62.000) e le insufficienti condizioni igienico-sanitarie delle abitazioni, spesso sprovviste degli impianti igienici necessari.*

La crescita demografica metteva in evidenza una carenza generale, oltre che di abitazioni, anche e soprattutto di infrastrutture: le scuole, le strutture sanitarie, le istituzioni pubbliche erano ancora per lo più dislocate in immobili o in complessi conventuali resi disponibili a seguito della soppressione ed incameramento da parte dello Stato dei beni degli Ordini religiosi avviata nel 1807, prima, e con le leggi post-unitarie poi. Agli inizi del secolo si iniziarono, dunque, ad avviare i primi programmi di ampliamento e trasformazione dell'impianto urbano che trovarono in gran parte attuazione nel periodo tra le due guerre, quando la città fu al centro di una serie di interventi edilizi e urbanistici che ne configurarono il nuovo volto, per larghi tratti ancora individuabile nella città dei nostri giorni"[156].

"È in questo periodo che la città registrava un notevole incremento edilizio, teso a soddisfare prevalentemente la crescente domanda di case per abitazioni borghesi[157]*"*.

[156] Miccio G., Ribera F., *op. cit.*, pp. 97-98.

[157] La Stella A., *L'edilizia popolare dalla Legge Luzzatti ad oggi* in "Cultura materiale, arti e territorio in Campania", inserto in "La voce della Campania", VI, 1978, p. 588.

"[…] *Iniziarono così le vendite all'asta dei lotti edificatori, sulla base di un capitolato di vendita che stabiliva anche, per ciascun lotto, la destinazione d'uso, le dimensioni ed i caratteri che avrebbero dovuto assumere le nuove costruzioni.*

[…] *Fu, quindi, negli anni Venti e negli anni Trenta che vennero realizzati, oltre ad alcune sedi istituzionali alle quali appositamente furono destinati alcuni lotti, tutti i fabbricati residenziali per i ceti della ricca borghesia cittadina che definirono la cortina edilizia del Lungomare Trieste* […], *oltre ai primi interventi di edilizia abitativa economica e popolare, tra cui si ricordano le palazzine della Cooperativa Case Ferrovieri a sud della via Irno (1922-25), le Case economiche dei Ferrovieri in via Bastioni e via Arce (1928-1931), le palazzine dell'Istituto Nazionale per le Case degli Impiegati Statali (INCIS) in via C.A. Alemagna (1931-1935), le case per i Postelegrafonici sempre in via C.A. Alemagna (1932-1935), le abitazioni per i Mutilati e Invalidi di guerra in piazza Principe Amedeo (1935-1938) e le case popolari dell'IACP in via Paolo de Granita (1935-1942)"*[158].

Lo sviluppo urbanistico ed edilizio della città di Salerno nel Ventennio fascista è stato comunque compiutamente trattato nel corso di una ricerca del dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Salerno, a cura della professoressa Federica Ribera, i cui risultati sono stati oggetto di due mostre, una sull'edilizia residenziale pubblica, scolastica e sanitaria, l'altra sull'edilizia privata, cui ha fatto seguito la

[158] Miccio G., Ribera F., *op. cit.*, p. 100.

pubblicazione di un catalogo dal titolo *"Salerno tra le due guerre: l'edilizia pubblica e le residenze private"*. Da essa si evince come tale sviluppo sia risultato fondamentale per l'attuale assetto della città, caratterizzata per l'appunto da una tipologia edilizia a struttura mista che si ritrova in particolar modo negli edifici o nella maggior parte degli edifici costituenti la cortina del Lungomare Trieste, via Roma e corso Giuseppe Garibaldi, via dei due Principati, piazza XXIV Maggio (ex piazza Malta), via Francesco Paolo Volpe e le zone limitrofe dello stato comunale "Donato Vestuti". Lo studio ha interessato diverse tipologie di edifici costituenti il tessuto ordinario della città di Salerno in base alla loro funzione; vi sono, infatti, abitazioni economiche e popolari, case borghesi, luoghi di assistenza e cura, edifici scolastici ed edifici pubblici, in modo da pervenire ad una lettura sufficientemente documentata dello sviluppo edilizio, incentrata sull'evoluzione tecnico-costruttiva dell'intera città.

Partendo dai risultati della ricerca, ancora in corso, obiettivo del presente lavoro è una conoscenza completa e puntuale degli edifici salernitani con orizzontamenti in calcestruzzo armato, costruiti nel Ventennio fascista che, purtroppo, non sempre è stata possibile acquisire *de visu* nel corso delle mirate visite in sito, in quanto la maggior parte di essi sono ad oggi abitati e discretamente manutenuti o sono stati oggetto di recenti lavori di ristrutturazione edilizia, che hanno occultato le strutture esistenti o ne hanno stravolto completamente le caratteristiche.

Per la maggior parte dei casi, infatti, è stato possibile ottenere notizie certe sulle diverse parti di fabbrica, ed in particolar modo sui solai,

attraverso la consultazione di archivi cittadini, pubblici e privati, ricchi di materiale relativo alla progettazione e alla costruzione, che ha consentito uno studio approfondito delle tavole di progetto originali (molto ben conservate), degli interessanti libretti di misura, dei computi metrici, delle relazioni tecniche, dei capitolati d'appalto, dei filmati e delle immagini d'epoca e di tutti gli altri documenti reperiti, dagli atti delle gare di appalto ai contratti, dalla corrispondenza, ai collaudi, alle contestazioni, alle riserve delle imprese.

Solo nei rari casi in cui gli edifici versano in condizioni di parziale o completo abbandono è stato possibile riconoscere e osservare direttamente le strutture portanti, nonché la maggior parte degli elementi costruttivi della fabbrica, che, a causa del forte degrado che si manifesta sotto forma di distacchi di intonaco o danni localizzati, si sono presentati il più delle volte completamente messi a nudo. Tutto il materiale rinvenuto, dopo essere stato accuratamente esaminato, è stato anche rielaborato in modo da evidenziare, per quanto possibile, le dimensioni delle parti strutturali (travetti e nervature), gli elementi di alleggerimento nonché la disposizione e la consistenza delle armature metalliche.

Nel seguito sono illustrati alcuni edifici salernitani, che devono la propria origine a questo processo di evoluzione del costruire, suddivisi in gruppi a seconda della tipologia di orizzontamento in conglomerato cementizio armato che li contraddistingue o che nella fattispecie li accomuna. Seguendo lo schema proposto dell'evoluzione tecnologica degli orizzontamenti in conglomerato cementizio armato (solai a soletta piena, solai con nervature, solai latero-cementizi e solai con travetti

prefabbricati), si è proceduto, quindi, alla descrizione e alla restituzione grafica di ciascun orizzontamento, mettendo comunque in evidenza le variazioni riscontrate nei diversi tipi base, riportando per tutti le fonti da cui è stato possibile ricavare notizie certe, indicando, nel contempo, laddove possibile, i materiali generalmente impiegati per la loro costruzione.

CAMPIONATURA EDIFICI SALERNITANI PRESI COME CASI STUDIO

A. Edifici con solai a soletta piena, nervature parallele o incrociate e a camera d'aria

	EDIFICIO	TIPOLOGIE DI SOLAI IN CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO
A.1	OO.RR. "San Giovanni di Dio e Ruggi d'Aragona"	Solai *Hulhanec e Leemann* (solai a camera d'aria con nervature incrociate occultate da una solettina in calcestruzzo armato)
A.2	Edificio Scolastico Occidentale "Gennaro Barra" (aule)	Solai a camera d'aria con nervature parallele occultate da una controsoffittatura
A.3	Casa del Combattente	Solaio a cassettoni con nervature incrociate a vista
A.4	Villaggio Marino Sanatoriale di Torre Angellara: "Aerium"	Solai a nervature incrociate a vista (sistema *Hennebique*)
A.5	Palazzo di Giustizia	Solai a cassettoni con nervature incrociate a vista e solai a nervature parallele
A. 6	Palazzo di Città ("Sala del Gonfalone")	Solaio con nervature incrociate a vista e diffusori in vetro
A. 7	Camera di Commercio (deposito e "Sala Genovesi")	Solaio a nervature parallele e solaio a cassettoni con nervature incrociate a vista
A.8	Villaggio Marino Sanatoriale di Torre Angellara: Ospizio "Vittorio Emanuele III"	Solai con soletta piena nervata con controsoffittatura realizzata con il sistema *Perret*
A.9	Palazzo delle Poste e dei Telegrafi	Solai a nervature incrociate
A.10	Palazzo "Rizzo-Iannone"	Solai a nervature incrociate *di resistenza e di ripartizione*
A.11	Palazzo "Mazzini"	Solai a camera d'aria
A.12	Palazzo "Olimpia"	Solai a camera d'aria
A.13	Palazzo della ditta "Di Filippo"	Solai a camera d'aria *insonori*

B. Edifici con solai latero-cementizi

	EDIFICIO	TIPOLOGIA DI SOLAIO IN CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO E LATERIZI
B.1	Edificio Scolastico Orientale "Giacinto Vicinanza"	Solai del tipo a blocchi *Zeni*, a blocchi *Provera*, *Duplex*, *SAP* e *Stimip*
B.2	Edificio Scolastico Occidentale "Gennaro Barra" (corridoi)	Solai gettati in opera del tipo *Cannovale e Dellepiane*
B.3	Liceo classico "Torquato Tasso"	Solai con travi incrociate a vista con campi gettati in opera secondo il sistema *Cannovale e Dellepiane*
B.4	Pontificio Seminario Regionale "Pio XI"	Solai latero-cementizi gettati in opera con laterizi forati
B.5	OO.RR. "San Giovanni di Dio e Ruggi d'Aragona": padiglione "Regina Elena" e padiglione d'isolamento	Solai latero-cementizi gettati in opera con travetti sagomati a doppio T e forati dotati di alette laterali
B.6	Palazzo di Città (palcoscenico-platea del cinema e locali prospicienti il portico)	Solai gettati in opera del tipo *Cannovale e Dellepiane*
B.7	Palazzo "Angrisani-Pagliara"	Solai gettati in opera del tipo *Cannovale e Dellepiane*
B.8	Rione Cooperativa Case dei Ferrovieri	Solai gettati in opera del tipo *Cannovale e Dellepiane*
B.9	Palazzo "Pennasilico"	Solai gettati in opera del tipo *Cannovale e Dellepiane*
B.10	Rione Case Popolari	Solai gettati in opera del tipo *Cannovale e Dellepiane*
B.11	Palazzo "Belgiorno-Maccarelli"	Solai gettati in opera del tipo *Cannovale e Dellepiane*
B.12	Palazzo di Giustizia	Solai gettati in opera del tipo *Cannovale e Dellepiane*
B.13	Palazzo "Clarizia"	Solai gettati in opera del tipo *Cannovale e Dellepiane*
B.14	Palazzo della "Società Cooperativa Finanziaria"	Solai gettati in opera del tipo *Cannovale e Dellepiane*
B.15	Palazzo "Pastore"	Solai gettati in opera del tipo *Cannovale e Dellepiane*

B.16	Palazzo “Ladalardo”	Solai gettati in opera del tipo *Cannovale e Dellepiane*
B.17	Palazzo “Genovese”	Solai gettati in opera del tipo *Cannovale e Dellepiane*
B.18	Istituto Magistrale “Regina Margherita”	Solai gettati in opera del tipo *Cannovale e Dellepiane* e a blocchi *Zeni*
B.19	Palazzo “Marsilia-Pastore”	Solai gettati in opera con blocchi *z* ad armatura semplice
B.20	Convitto “Nicoletti”	Solai del tipo a blocchi *Provera*
B.21	Palazzo “Cuoco-Santoro”	Solai latero-cementizi
B.22	Rione dei Mutilati: la “Casa del Mutilato”	Solai del tipo *Stimip*
B.23	Palazzo “Stanzione”	Solai gettati in opera del tipo *Unic*
B.24	Palazzo “D’Alessandro-De Crescenzo”	Solai a travetti prefabbricati del tipo *Rex*

C. Edifici con altre strutture in calcestruzzo armato

	EDIFICIO	TIPOLOGIA DI STRUTTURA IN CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO
C.1	Palazzo di Città (cinema)	Volta a fascioni e cassettoni
C.2	Pontificio Seminario Regionale “Pio XI” (cappella centrale)	Capriate

Stralcio planimetrico con individuazione degli edifici in base alla tipologia di orizzontamento

Edifici con solai a soletta piena e nervature parallele o incrociate

A.1 OO.RR. "San Giovanni di Dio e Ruggi d'Aragona"

UBICAZIONE E IDENTIFICAZIONE

Via Michele Vernieri, 16

Anno di costruzione: 1909-1923

Progettisti: Ingg. Ernesto Donzelli e Gustavo Toma

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E TIPOLOGICHE

Edificio in muratura portante di tufo giallo.

CARATTERISTICHE DEGLI ORIZZONTAMENTI

L'edificio è caratterizzato da solai in conglomerato cementizio armato a camera d'aria con nervature incrociate del tipo *Hulhanec e Leemann*, come si evince dalla voce n. 12 del computo metrico ed

estimativo del 23 marzo 1916, facente parte degli atti del "*Progetto del nuovo edificio - Ospedali riuniti san Giovanni di Dio e Ruggi d'Aragona"* (figg. 160 e 161), e come può essere attualmente riscontrato *in loco* in zone controsoffittate.

Questo brevetto, innovativo ed unico per la città di Salerno, di cui, infatti, non state ritrovate testimonianze né in altri edifici salernitani né su manuali coevi, veniva utilizzato per coprire ambienti con luci di massimo 8,00 m, come appuntato dallo stesso ingegnere progettista su di un foglio di lavoro (fig. 162). Da questo schizzo, raffigurante pianta e sezioni del solaio, si evince che si tratta di una tipologia di orizzontamento a nervature incrociate delimitanti una camera d'aria. L'orditura principale è di 5 cm, armata con ferri ø25, la secondaria, con funzione di collegamento, è caratterizzata dalla presenza di ferri ø12; entrambe sono poste ad un interasse rispettivamente di 30 e 49 cm. L'altezza del solaio è pari complessivamente a 32,5 cm, inclusa la camera d'aria di 20 cm; la soletta superiore di completamento, non armata, ha uno spessore di circa 10 cm; la solettina inferiore, posta ad occultamento delle nervature a vista, presenta uno spessore di circa 2,5 cm.

Tale solaio veniva realizzato con casserature lignee a perdere, tuttora visibili (fig. 163), di dimensioni pari a 25x44 cm, anche se il progettista, nel sopra citato schizzo di lavoro, rappresenta un cassettonato con maglie di forma pressoché quadrata.

Non si hanno, tuttavia, informazioni circa i materiali impiegati.

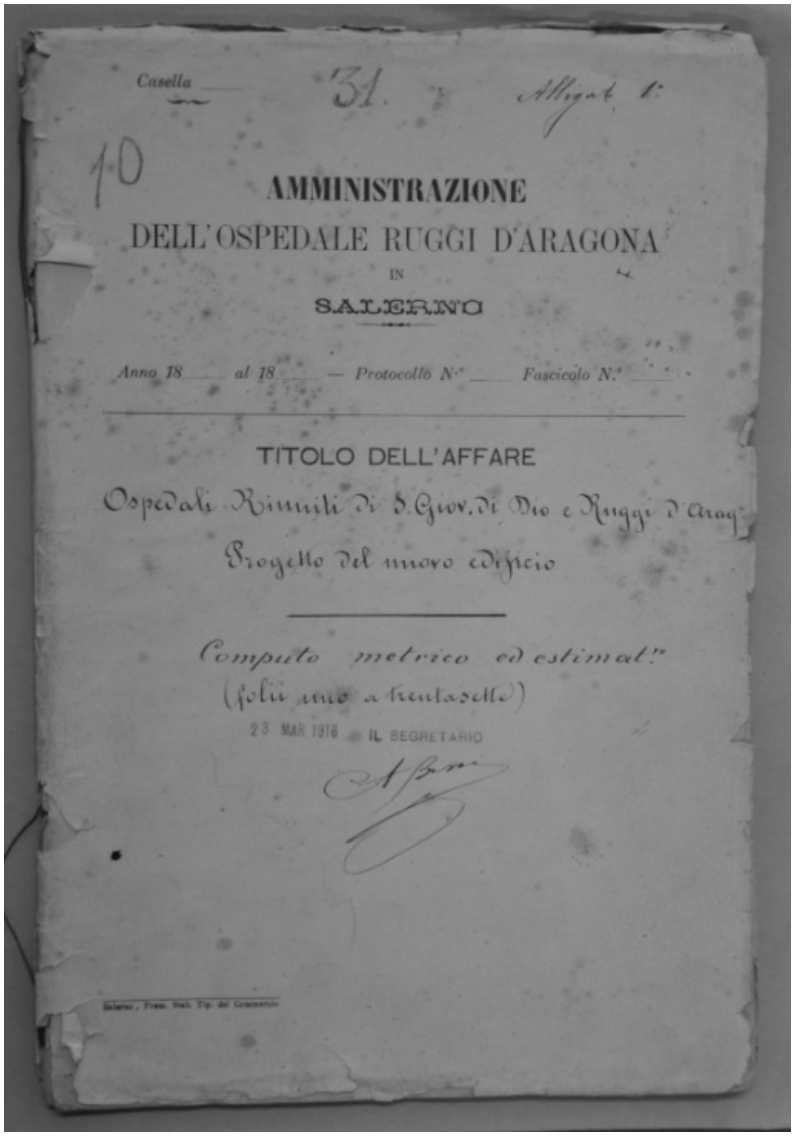
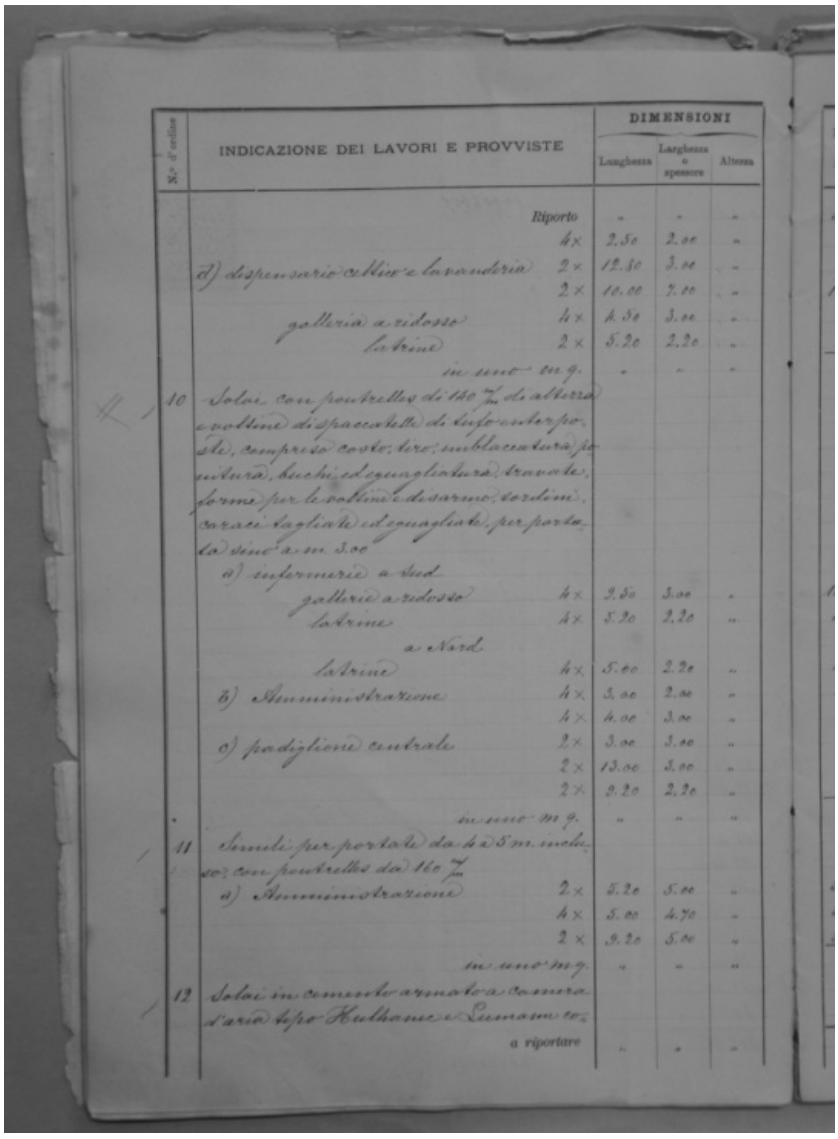


fig. 160: Amministrazione dell'Ospedale Ruggi d'Aragona di Salerno, ingg. Gustavo Toma ed Ernesto Donzelli, *"Ospedali Riuniti San Giovanni di Dio e Ruggi d'Aragona. Progetto del nuovo edificio - Computo metrico ed estimativo (folii uno a trentasette)"*, 23 marzo 1916: frontespizio (da Archivio privato Capece - Salerno).



N.° d'ordine	INDICAZIONE DEI LAVORI E PROVVISTE		DIMENSIONI Lunghezza	Larghezza o spessore	Altezza
	Riporto		"	"	"
		4×	2.30	2.00	"
	d) dispensario cattivi e lavanderia	2×	12.80	3.00	"
		2×	10.00	7.00	"
	galleria a ridosso	4×	4.50	3.00	"
	latrine	2×	5.20	2.20	"
	in uno m q.		"	"	"
10	Solai con pontrelli di 160 ⅞ di altezza a volterre di spacchetti di tufo interpo- sti, compreso cavo, tiro, mbblacatura fo- nitura, buchi ed equagliatura travate, forme per le volterre di disarmo, cordoni, cerraci tagliati ed equagliati, per porta- la sino a m. 3.00				
	a) infermerie a Sud				
	galleria a ridosso	4×	2.50	3.00	"
	latrine	4×	5.20	2.20	"
	a Nord				
	latrine	4×	5.00	2.20	"
	b) Amministrazione	4×	3.00	2.00	"
		4×	4.00	3.00	"
	c) padiglione centrale	2×	3.00	3.00	"
		2×	13.00	3.00	"
		2×	2.20	2.20	"
	in uno m q.		"	"	"
11	Simili per portate da 4 a 5 m. mobi- sto con pontrello da 160 ⅞				
	a) Amministrazione	2×	5.20	5.00	"
		4×	5.00	4.70	"
		2×	2.20	5.00	"
	in uno m q.		"	"	"
12	Solai in cemento armato a camera d'aria tipo Kulbane e Lumam co-				
	a riportare		"	"	"

fig. 161: Amministrazione dell'Ospedale Ruggi d'Aragona di Salerno, ingg. Gustavo Toma ed Ernesto Donzelli, *"Ospedali Riuniti San Giovanni di Dio e Ruggi d'Aragona. Progetto del nuovo edificio - Computo metrico ed estimativo (folii uno a trentasette)"*, 23 marzo 1916: foglio n. 14 (da Archivio privato Capece - Salerno).

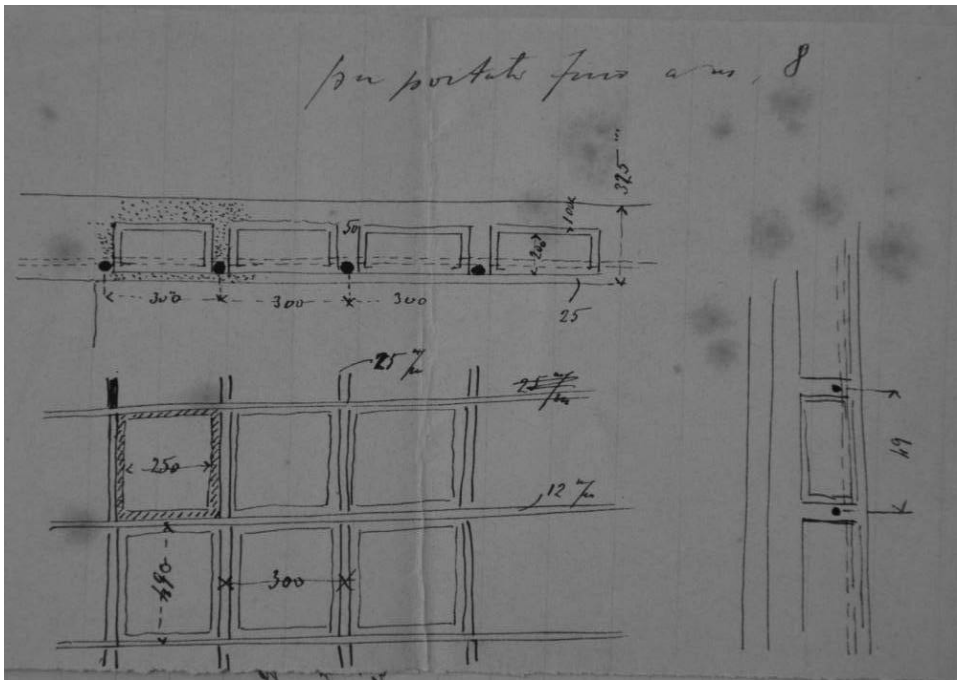
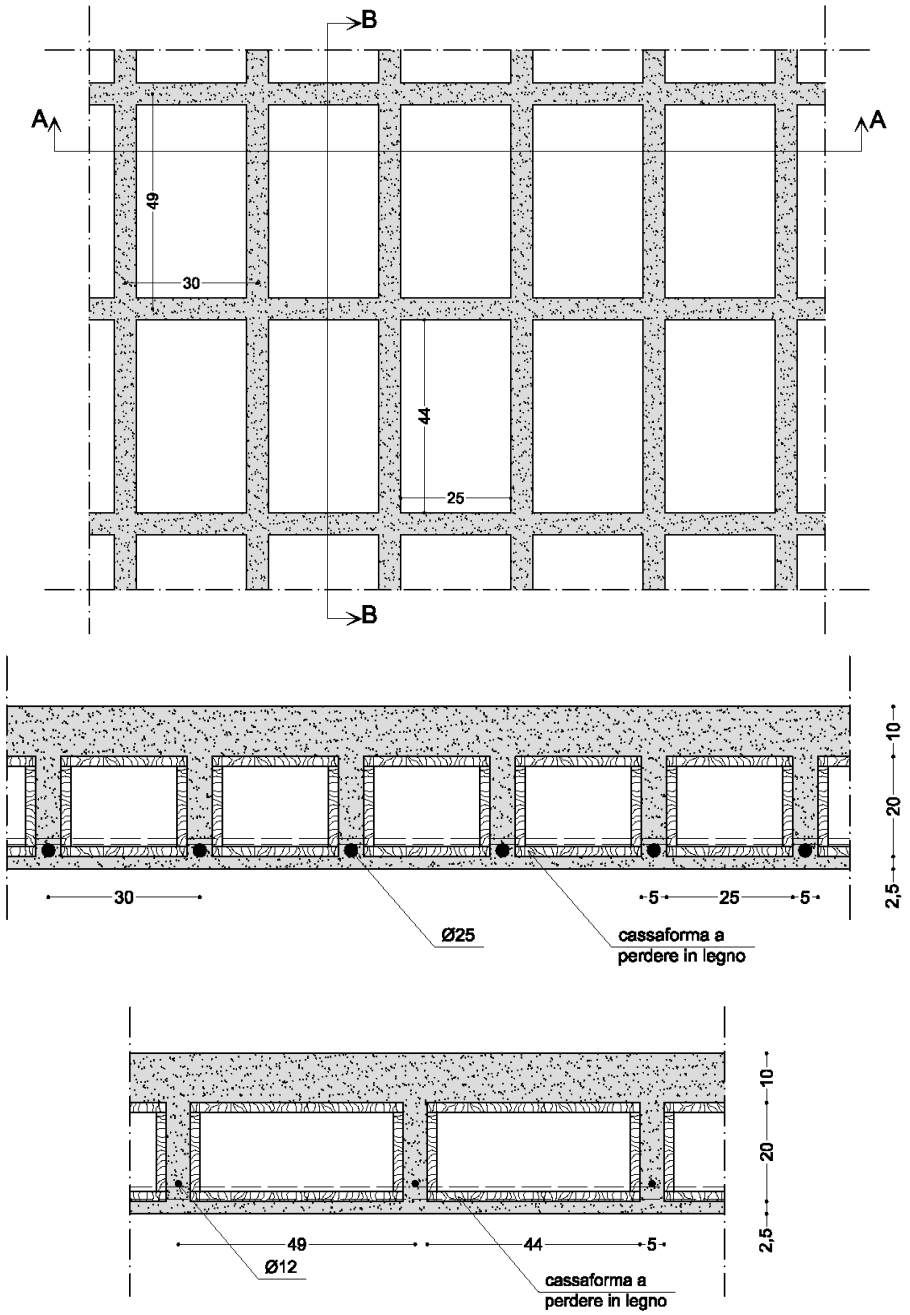
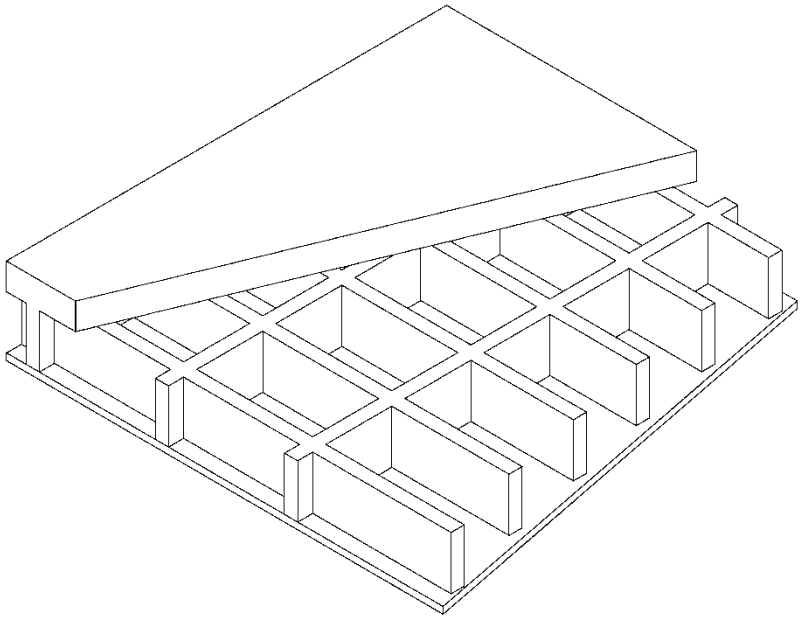


fig. 162: Amministrazione dell'Ospedale Ruggi d'Aragona di Salerno, ingg. Gustavo Toma ed Ernesto Donzelli, "*Ospedali Riuniti San Giovanni di Dio e Ruggi d'Aragona. Progetto del nuovo edificio - Computo metrico ed estimativo (folii uno a trentasette)*", 23 marzo 1916: schizzo di progetto raffigurante la schematizzazione del solaio del tipo *Hulhanec e Leemann* (da Archivio privato Capece).

figg. 163: immagini del solaio *Hulhanec e Leemann* ad oggi ancora visibile in alcune zone controsoffittate dell'edificio.


B
A
A
49
30
44
25
B
10
20
2,5
30
5
25
5
Ø25
cassaforma a
perdere in legno
10
20
2,5
49
44
5
Ø12
cassaforma a
perdere in legno



figg. 164 (immagini pp. 327 e 328): restituzioni grafiche di carpenteria, sezione A-A e sezione B-B (alla pagina precedente) e vista assonometrica semplificata (in alto), ottenute mediante l'utilizzo del CAD.

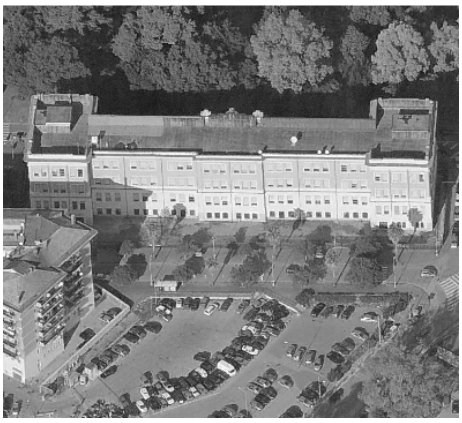
A.2 Edificio Scolastico Occidentale "Gennaro Barra" (aule)

UBICAZIONE E IDENTIFICAZIONE

Via Lungomare Trieste

Anno di costruzione: 1921-1927

Progettisti: Ingg. Michele De Angelis e Carlo Giordano



CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E TIPOLOGICHE

Dall'analisi della relazione di progetto, del capitolato speciale di appalto e del computo metrico a corredo del progetto del 1914 (la cui copiosa documentazione è stata reperita presso l'archivio privato degli eredi dell'ingegnere De Angelis e presso l'Archivio Storico del Comune di Salerno[159]), è possibile evincere i caratteri costruttivi delle principali strutture previste per l'Edificio Scolastico Occidentale. Per questo

[159] Tesi di laurea di Dolgetta P., *I nuovi edifici scolastici a Salerno tra le due guerre: la qualità del progetto e l'evoluzione dei modi di costruire*, laurea specialistica in Ingegneria Civile, Università degli Studi di Salerno, relatore Ribera F., correlatore Miccio G., a.a. 2009/2010.

edificio furono previste tecnologie costruttive proprie della tradizione campana; le murature portanti, infatti, furono realizzate con materiali provenienti dalle cave di località prossime al cantiere, ovvero Baronissi, Roccapiemonte e Pontefratte[160], gli stessi utilizzati da sempre per tutti gli edifici storici di Salerno, sia per la loro grande disponibilità, e quindi per il costo contenuto, che per la familiarità che i tecnici salernitani avevano nel progettare secondo queste tecniche.

Dal confronto con quanto si andava realizzando nel resto d'Italia, emerge, ancora una volta, la netta differenza di tecnologie adottate a Salerno rispetto a quelle impiegate nell'Italia settentrionale. Le uniche strutture che potremmo definire al passo con i tempi vennero introdotte perlopiù in corso d'opera e riguardarono soprattutto gli orizzontamenti, con un uso diffuso e vario delle opere in calcestruzzo armato.

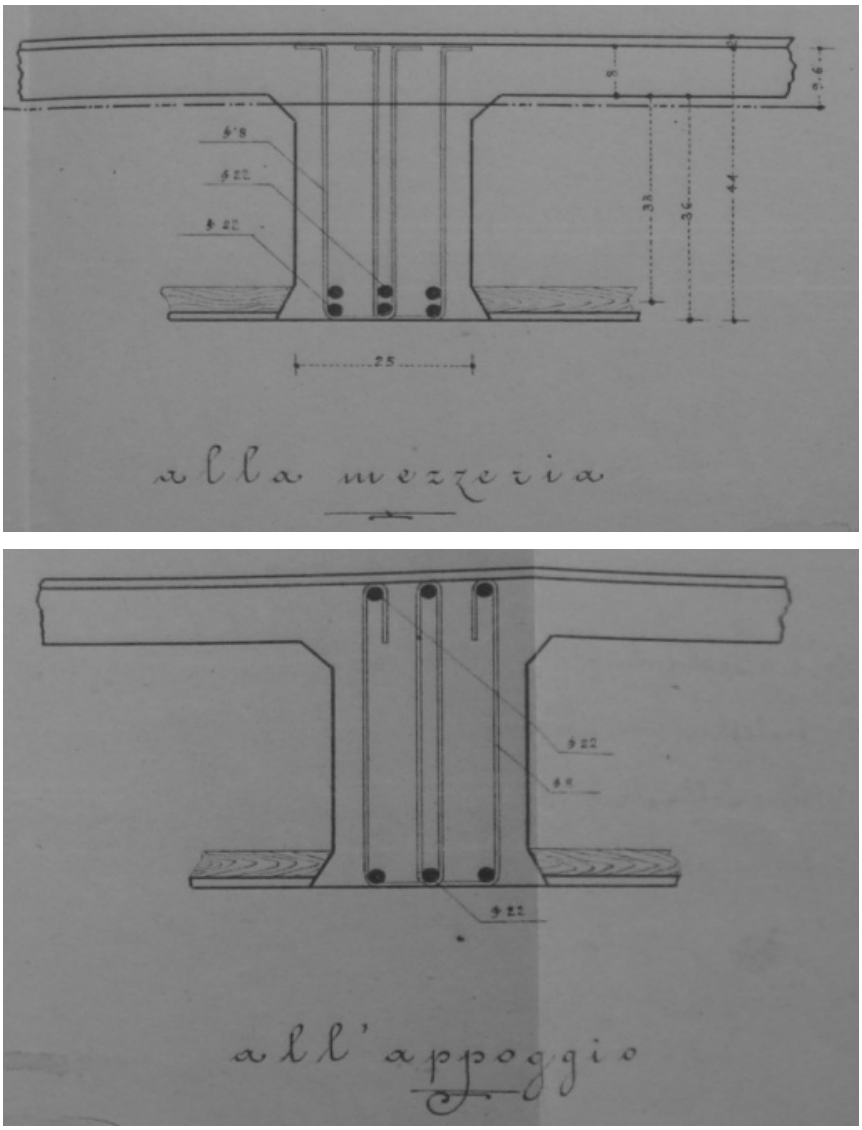
CARATTERISTICHE DEGLI ORIZZONTAMENTI

Le aule dell'edificio scolastico Occidentale sono caratterizzate da solai in conglomerato cementizio armato con nervature parallele occultate da una controsoffittatura. Dalle tavole di dettaglio originali, a firma dell'impresa Rocco Angrisani, si evince che le nervature hanno una base pari a 25 cm ed un'altezza di 36 cm, esclusa la soletta dello spessore di 8 cm, per un solaio di altezza totale pari a 44 cm.

[160] Ingg. Michele De Angelis e Carlo Giordano, *Progetto dei nuovi edifizi scolastici per la città di Salerno*, Relazione, giugno 1908 (da Biblioteca Provinciale di Salerno - DIV. SAL. MISC. Scaf. R.4 C 7/6).

Nelle sezioni di mezzeria le nervature sono armate solo nella parte inferiore con sei barre metalliche, disposte su due livelli, tre su di un piano e tre sull'altro, costituite da ferri ø22 e staffature, realizzate con ferri ø8, che ripiegano ad uncino attorno ad essi.

Nelle sezioni di appoggio, tenuto conto dell'inversione del momento, le nervature sono armate sia inferiormente che superiormente con tre ferri ø22, con ancora la presenza di barre ø8, utilizzate come staffe, che ripiegano attorno ad essi (figg. 165).



figg. 165: particolari delle nervature del solaio - sezione longitudinale e sezione trasversale in mezzeria e all'appoggio (da Archivio Storico del Comune di Salerno).

Da un'altra tavola di progetto, si evince che questa tipologia di solaio era utilizzata per luci di 8,50 m e che le nervature presentano un interasse pari a 2,30 m in corrispondenza delle aperture (fig. 166).

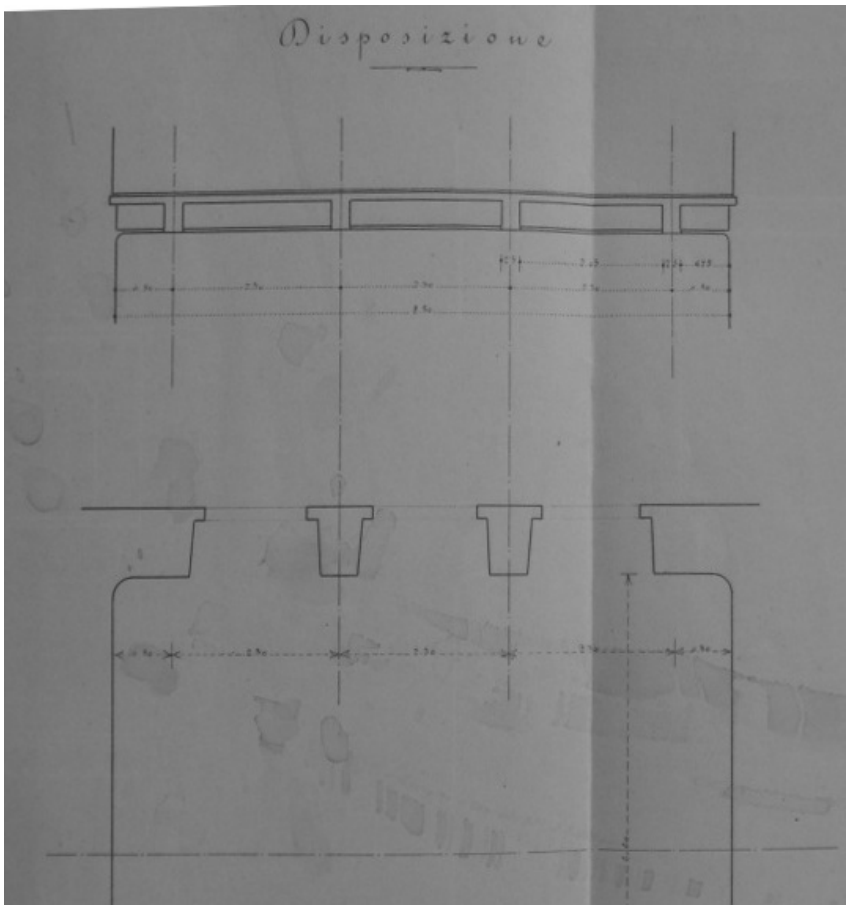


fig. 166: particolare della disposizione delle nervature in corrispondenza delle aperture (da Archivio Storico del Comune di Salerno).

L'ultima tavola, concernente il progetto delle aule, presenta il dettaglio della soletta piena, posta ad occultamento delle nervature.

La soletta risulta essere armata, per le sezioni di mezzeria, con ferri ø8, disposti unicamente nella parte inferiore, con un passo di circa 10 cm, e per le sezioni d'appoggio, sia inferiormente che superiormente, con 5 ferri ø8 ad interasse di 20 cm.

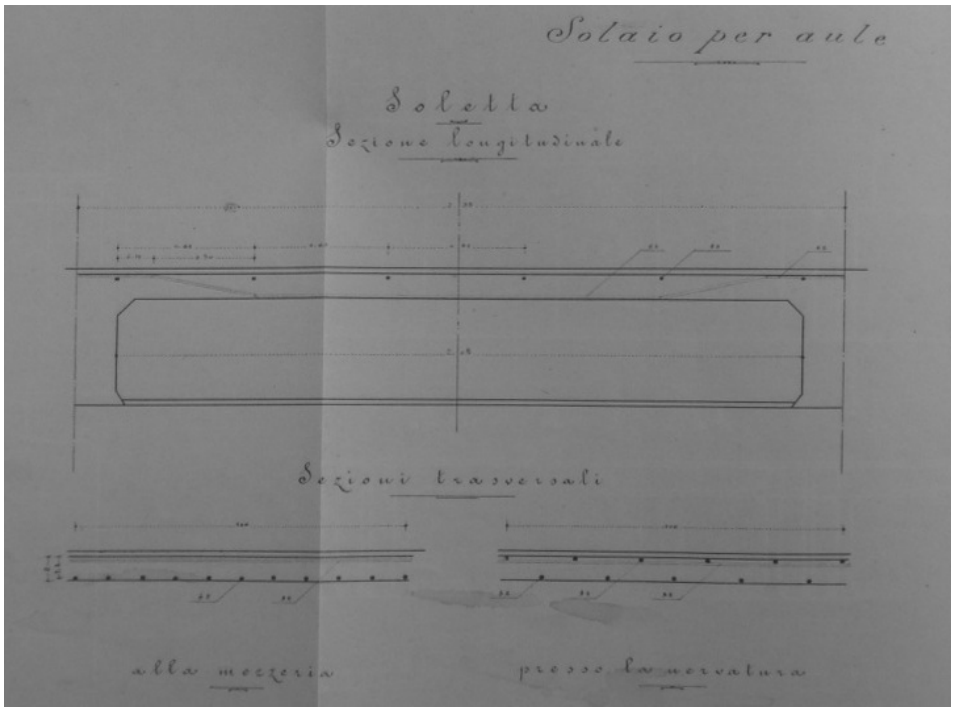
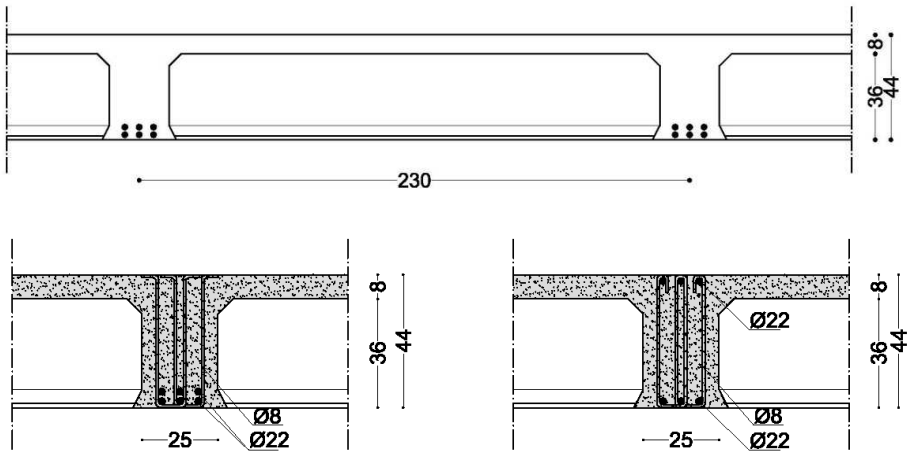
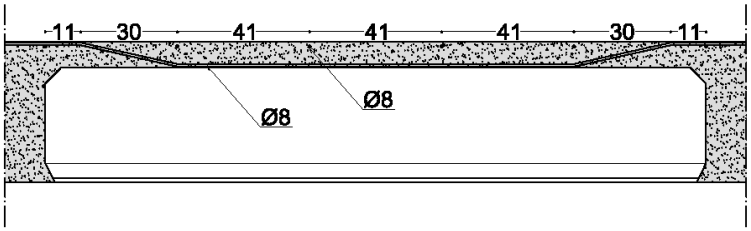


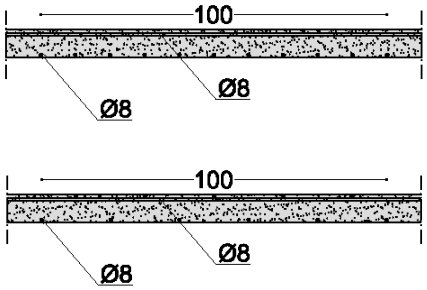
fig. 167: particolare del solaio a nervature parallele - sezione longitudinale della soletta (da Archivio Storico del Comune di Salerno).



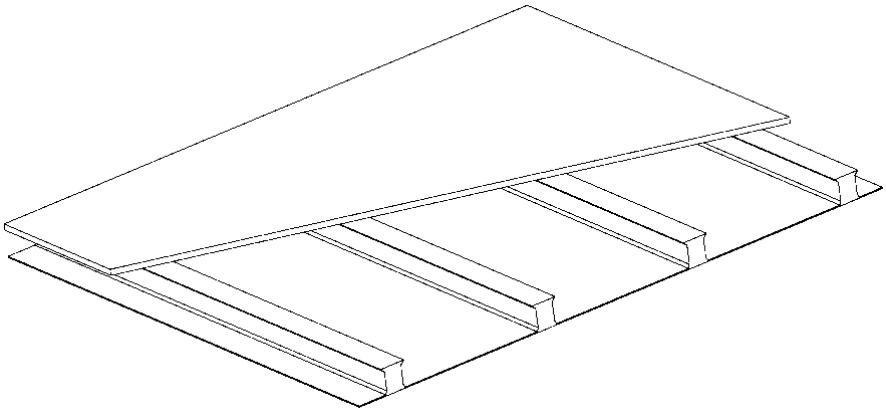
Sezioni trasversali delle nervature in mezzeria (sinistra) e all'appoggio (destra).



Sezione longitudinale della soletta.



Sezioni trasversali della soletta in mezzeria (sopra) e in prossimità della nervatura (sotto).



figg. 168 (immagini pp. 335 e 336): restituzioni grafiche di alcune sezioni del solaio (alla pagina precedente) e di una vista assonometrica semplificata (in alto), ottenute mediante l'utilizzo del CAD.

Circa i materiali impiegati dal capitolato speciale di appalto si evince che "*il calcestruzzo idraulico risulterà dall'impasto di pietrisco calcareo dimazzato e malta idraulica o di terza specie. Il volume di malta sarà uguale al volume di acqua che può entrare tra i vari elementi del pietrisco, quando questo è contenuto in un qualsiasi recipiente. Il pietrisco dovrà essere dimazzato, duro e lavato qualora la Direzione dei Lavori lo richiedesse: dovrà presentare dimensioni varie e le pietre più piccole non dovranno passare attraverso anelli della dimensione di 3 cm, come le pietre più grosse dovranno passare attraverso anelli della dimensione massima di 8 cm. La quantità di materiali piccoli non dovrà eccedere quella strettamente necessaria a colmare i vuoti tra le pietre grosse. Il calcestruzzo sarà confezionato su appositi piani di tavole o*

mattoni. Il calcestruzzo sarà calato a spalla nei cavi e disposto per strati orizzontali dell'altezza massima di 30 cm, opportunamente pigiati; il calcestruzzo in acqua sarà calato con apposite cassette chiuse, da aprirsi tramite un meccanismo sul luogo dove il calcestruzzo dovrà essere collocato, per modo che questo non sia dilavato dall'acqua che sarà tenuta costantemente tranquilla nelle manovre di immissione ed estrazione delle cassette. […]

[…] *Il calcestruzzo di cemento* […] *presenterà le seguenti dosature:*

I. Calcestruzzo magro, che sarà costituito da 300 kg di cemento tipo Portland, 0,4 mc di sabbia e 0,8 mc di ghiaietta;

II. Calcestruzzo grasso, che sarà formato da 400 kg di cemento tipo Portland, 0,333 mc di sabbia e 0,667 mc di ghiaietta.

Queste dosature saranno, a seconda delle indicazioni, usate in tutti i lavori in getto, sia che si tratti di calcestruzzo semplice che di calcestruzzo armato. Per il getto del calcestruzzo, la pigiatura, la stagionatura, per il disarmo e per le prove, saranno seguite le migliori norme indicate nei trattati speciali in materia e i regolamenti statali vigenti"[161].

[161] Ingg. Carlo Giordano e Michele De Angelis, *Progetto dell'edifizio scolastico Occidentale per la città di Salerno - Computo metrico ed estimativo*, 23 marzo 1916 (da Biblioteca Provinciale Salerno).

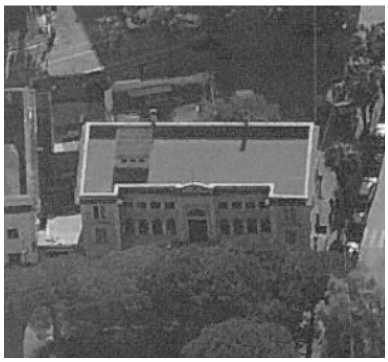
A.3 Casa del Combattente

UBICAZIONE E IDENTIFICAZIONE

Via Lungomare Trieste, 13

Anno di costruzione: 1922-1926

Progettista: Ing. Vincenzo Naddeo



CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E TIPOLOGICHE

Edificio in muratura portante.

CARATTERISTICHE DEGLI ORIZZONTAMENTI

Su questo edificio non si ha nessuna informazione precisa sulla tipologia di orizzontamento presente, né sotto forma di tavole di progetto, né tantomeno in relazioni o documenti di qualsivoglia genere che diano informazioni sui criteri utilizzati per il dimensionamento o sui materiali impiegati. Dal sopralluogo effettuato, tuttavia, è stato riscontrato nel salone centrale a pianta rettangolare (9,50x11,50 m) un solaio a cassettoni in calcestruzzo armato (figg. 170), che ricorda molto la tipologia di solaio in conglomerato cementizio armato a nervature

incrociate del tipo *Hennebique*: l'orizzontamento è caratterizzato, infatti, da nervature principali di dimensioni pari a 40x75 cm, cui si dispongono ortogonalmente le nervature secondarie con base di 20 cm e altezza di 35 cm, poste ad un interasse di circa 3,00 m.

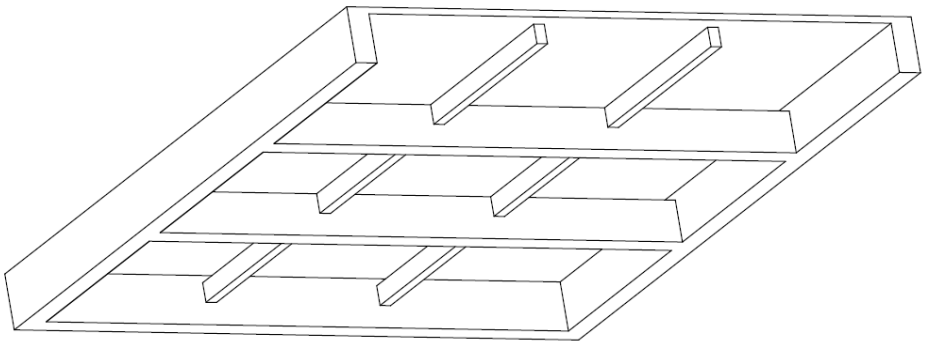


fig. 169: restituzione grafica di una vista assonometrica semplificata, ottenuta mediante l'utilizzo del CAD.

figg. 170: immagini del solaio in conglomerato cementizio armato a nervature incrociate posto a copertura del salone della Casa del Combattente.

A.4 Villaggio Marino Sanatoriale di Torre Angellara: "Aerium"

UBICAZIONE E IDENTIFICAZIONE

Via Salvator Allende

Anno di costruzione: 1924-1931

Progettista: Ing. Camillo Guerra[162]

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E TIPOLOGICHE

Edificio con struttura in conglomerato cementizio armato racchiusa tra muri di tufo giallo.

[162] Camillo Guerra, ingegnere, architetto e docente della Scuola di Ingegneria di Napoli, è stato tra i protagonisti della cultura tecnica salernitana tra la fine degli anni Venti e l'inizio degli anni Trenta. Egli può essere considerato come uno dei pionieri dell'utilizzo del calcestruzzo armato in Italia, difatti partecipò attivamente al radicale processo di espansione e rinnovamento che interessò la città di Salerno, assumendo più ruoli di responsabilità: tra tutti quello di Ingegnere Capo dell'Ufficio Tecnico del Comune di Salerno nel periodo compreso tra il 1928 e il 1934. Si ricordano tra le sue principali opere salernitane: il Palazzo di Città con annessa la sala del cinema-teatro, il Campo Sportivo "Donato Vestuti", il secondo progetto del Palazzo di Giustizia, l'ingresso monumentale del Cimitero di Brignano, il quartiere dei Mutilati di piazza Principe Amedeo, le palazzine INCIS.

CARATTERISTICHE DEGLI ORIZZONTAMENTI

Da un articolo di Luigi Mollo[163], da sopralluoghi effettuati, nonché da foto risalenti a prima dei lavori di recupero della struttura, effettuati nel corso degli anni Ottanta dai volontari dell'Associazione "Soccorso Amico"[164], si è potuto constatare che in due sale ubicate al piano terra, un tempo adibite rispettivamente a dormitorio e a refettorio, i solai sono a soletta piena con nervature incrociate a vista del tipo *Hennebique*.

Dal rilievo effettuato è stato possibile pervenire all'esatta misura delle travi principali e secondarie, entrambe a sezione rettangolare, che presentano i bordi scanalati: le prime hanno una base di 20 cm ed un'altezza di 60 cm; le seconde presentano anch'esse una base di 20 cm, ma un'altezza di 40 cm. L'interasse tra le nervature principali è pari a 3,30 m, quello tra le nervature secondarie è pari a 1,50 m. Il solaio, secondo quanto riportato dal Mollo, presenta una soletta superiore di completamento, dello spessore di 12 cm, poggiante sulla doppia orditura di travi[165]. Non si hanno, tuttavia, dati numerici circa i materiali impiegati.

---

[163] "[…] *I solai che Guerra realizza a Salerno nel Padiglione della Colonia marina sono solai tipo Hennebique"* da Mollo L., *Camillo Guerra. Il padiglione della Colonia Marina di Salerno* in "Costruire e abitare la nuova architettura della città - Atti del Convegno", Bologna 2000, p. 188.

[164] L'"Aerium" è ad oggi sede dell'associazione fondata nel 1973 dal dott. Giuseppe Satriano (dalla tesi di laurea di Cerviglione C., *Il Villaggio Marino Sanatoriale di Torre Angellara a Salerno tra storia e riuso*, laurea specialistica in Ingegneria Civile, Università degli Studi di Salerno, relatore Ribera F., a.a. 2010/2011).

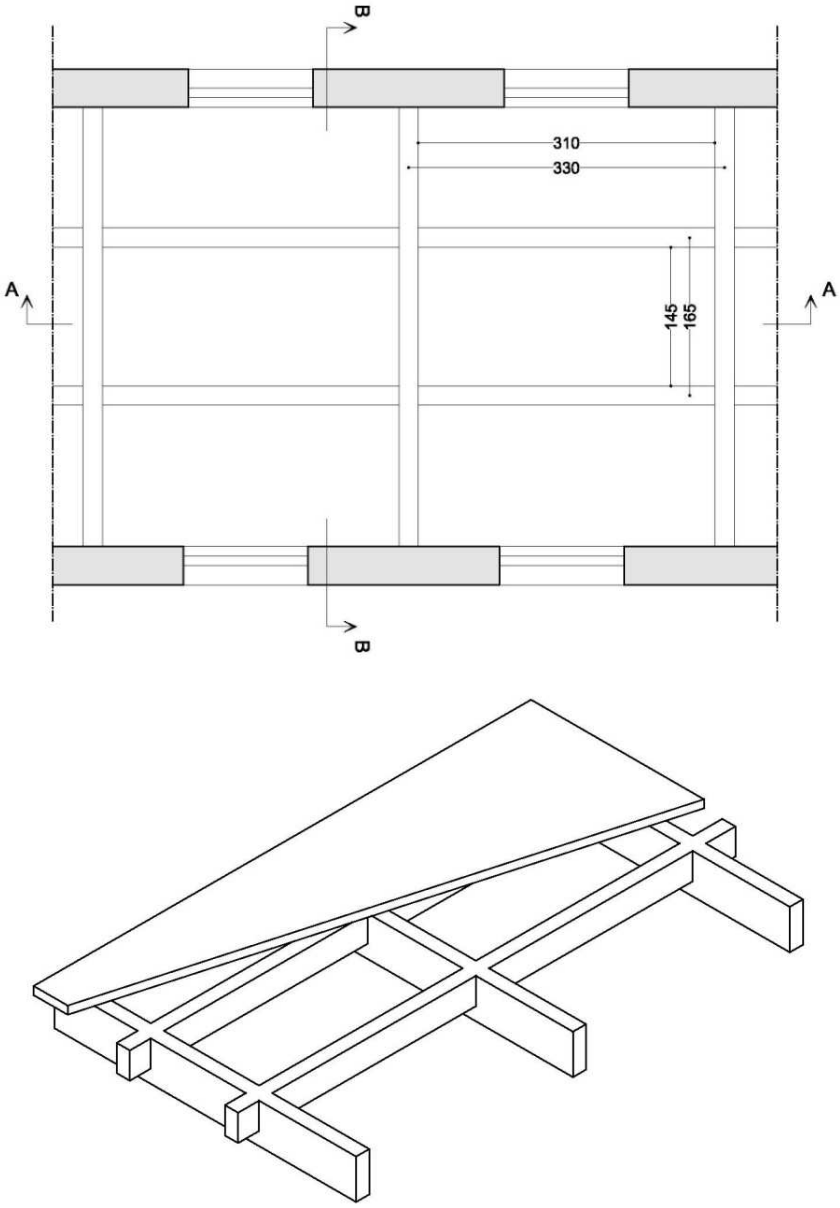
[165] Mollo L., *op. cit.*, p. 189.

fig. 171: immagine del solaio a nervature incrociate in conglomerato cementizio armato posto a copertura dell'attuale salone di rappresentanza dell'Associazione "Soccorso Amico". Le travi, collegate monoliticamente alla soletta, formano strutture resistenti con sezione a T, sviluppate nei due sensi ortogonali del solaio. L'armatura è costituita da una serie di barre tonde, alcune diritte, dislocate in prossimità della faccia inferiore della trave, altre, parallele alle prime, ripiegate alle due estremità verso l'alto, in modo da assicurare, nelle zone di incastro, la presenza di armature metalliche sia al lembo inferiore che a quello superiore della struttura[166].

[166] Nelva R., Signorelli B., *op. cit.*, pp. 16-17.

fig. 172: particolare di un nodo del solaio a nervature incrociate in conglomerato cementizio armato posto a copertura dell'attuale salone di rappresentanza dell'Associazione "Soccorso Amico".

figg. 173: alcune immagini dei solai nervati dell'"Aerium" risalenti a prima dei lavori di recupero della struttura effettuati all'inizio degli anni Ottanta.



figg. 174: restituzioni grafiche della pianta e di una vista assonometrica semplificata, ottenute mediante l'utilizzo del CAD.

A.5 Palazzo di Giustizia

UBICAZIONE E IDENTIFICAZIONE

Corso Vittorio Emanuele

Anno di costruzione: 1930-1939

Progettisti: Ing. Camillo Guerra, Arch. Guido Quercia e Ing. Giuseppe Bottiglieri

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E TIPOLOGICHE

Struttura in muratura portante di tufo.

CARATTERISTICHE DEGLI ORIZZONTAMENTI

Dal capitolato speciale di appalto si evince che i solai sono del tipo a soletta piena con nervature incrociate, alcune completamente a vista, altre occultate da controsolette formanti una camera d'aria; si legge, infatti, che "*le solette saranno incastrate per centimetri da 20 a 30 nei muri perimetrali e le travi almeno per 50 centimetri alle intersezioni delle superfici delle solette e delle travi con muri perimetrali* […]. *Il getto di*

tali raccordi dovrà farsi contemporaneamente a quello della rimanente opera, predisponendo all'opera opportune armature.

Per la costruzione di contro solette sottili, destinate a creare delle camere d'aria nei solai e rendere piane le soffitte o plafoni dei vari locali, saranno adottate identiche norme per la loro esecuzione e per quanto concerne le forme provvisorie, le armature e il conglomerato cementizio, pel quale il ghiaietto o il pietrisco non dovrà superare le dimensioni di centimetri due"[167].

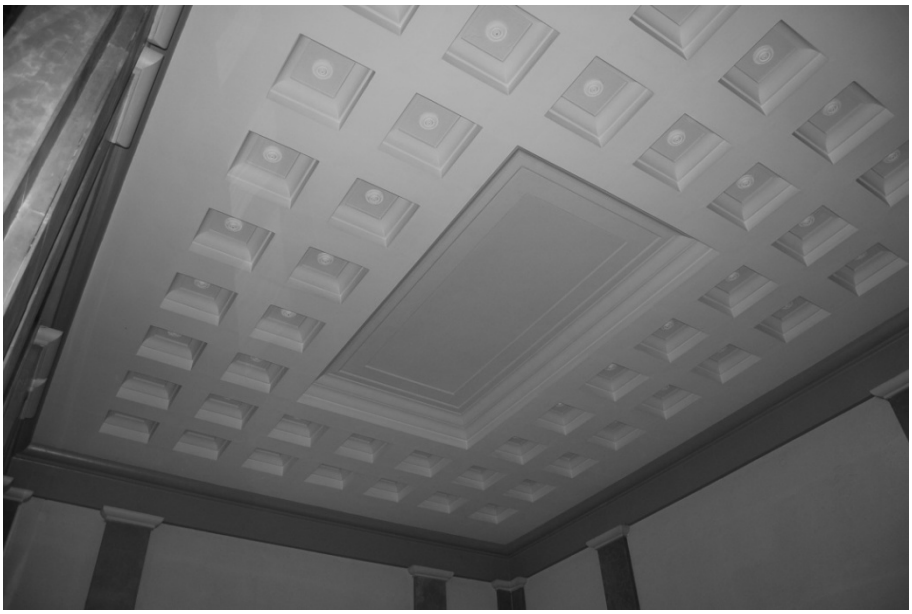
Da sopralluoghi *in loco* è stato possibile effettuare il rilievo dei soli orizzontamenti con nervature a vista al fine di darne una esaustiva descrizione.

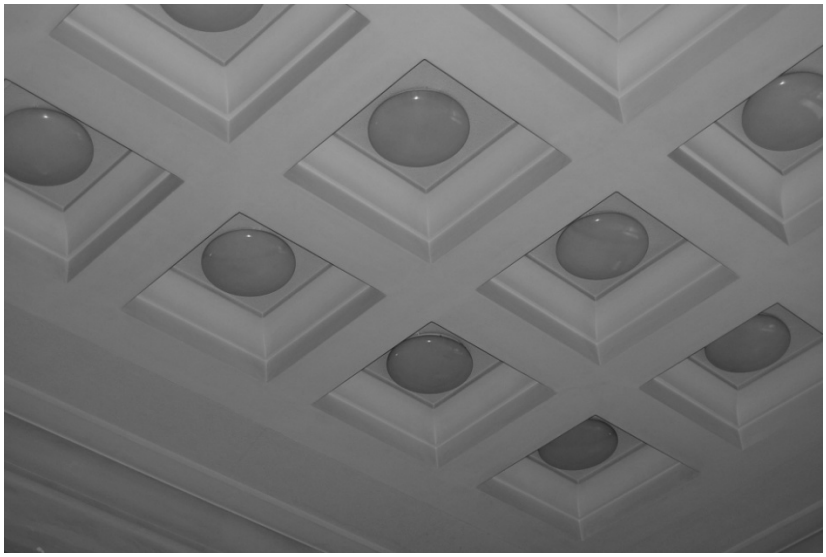
I solai, che costituiscono la copertura degli atri di ingresso al piano terra e al primo piano, sono in conglomerato cementizio armato con travi incrociate, di dimensioni pari a circa 45x70 cm, e delimitano un cassettonato i cui lacunari di forma quadrata, con lato di 95 cm, sono caratterizzati dalla presenza di plafoniere (come nel caso dell'atrio ubicato al primo piano lato corso Giuseppe Garibaldi) o semplici decorazioni all'interno di essi o anche agli incroci tra le nervature (come nel caso dell'atrio del piano terra prospiciente corso Vittorio Emanuele).

[167] Municipio di Salerno, ing. Camillo Guerra, *"Palazzo di Giustizia atti contabili- Capitolato speciale di appalto - Capo 1° Oggetto e prezzo dell'appalto e designazione sommaria delle opere"* (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Settore Affari Generali - Archivio Generale - Sezione storica fascicolo "Palazzo di Giustizia atti contabili", cat. VII class. I Fasc. 18/3 anno 1921-1933).

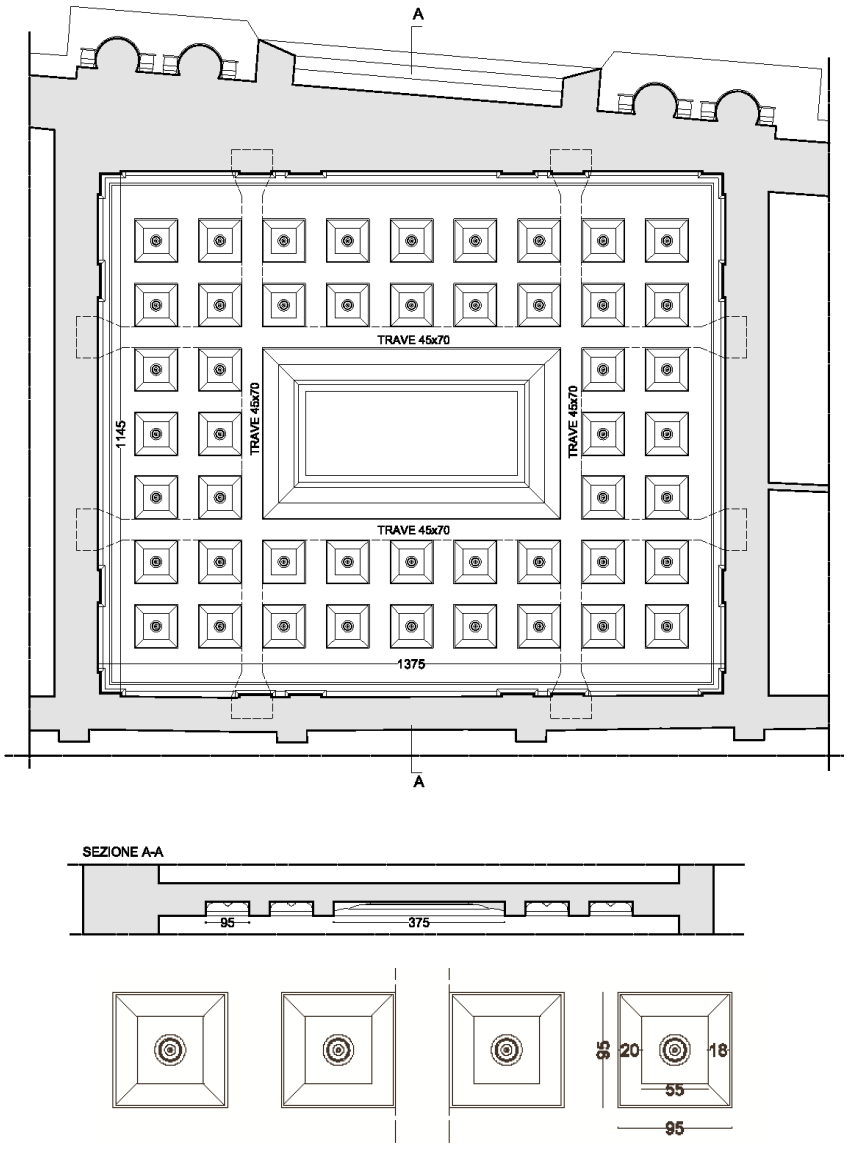
I solai della sale d'udienza "Giucumbi" e "Parrilli", ubicate sempre al primo piano, sono anch'essi in calcestruzzo armato a nervature incrociate, con base sempre di 45 cm ma con un'altezza ridotta di 15 cm rispetto alla tipologia precedente, per un totale di 30 cm[168]. È interessante evidenziare che il motivo del cassettonato con plafoniere viene ripreso sia nella decorazione della zoccolatura esterna dell'edificio che nelle grandi porte interne, come è possibile osservare dall'immagine sotto riportata (figg. 175).

[168] Sia gli atri, che le sale d'udienza hanno forma rettangolare e presentano dimensioni in pianta molto elevate, rispettivamente di circa 16,00x12,00 m e 9,00 x10,00 m.





figg. 175 (immagini pp. 349, 350, 351 e 352): viste e dettagli di una delle porte d'ingresso alle varie sale del primo piano e dei solai a cassettoni posti a copertura, nell'ordine: dell'atrio prospiciente corso Vittorio Emanuele, dell'atrio al primo piano, lato corso Giuseppe Garibaldi e della sale d'udienza "Giucumbi" e "Parrilli", ubicate sempre al primo piano.



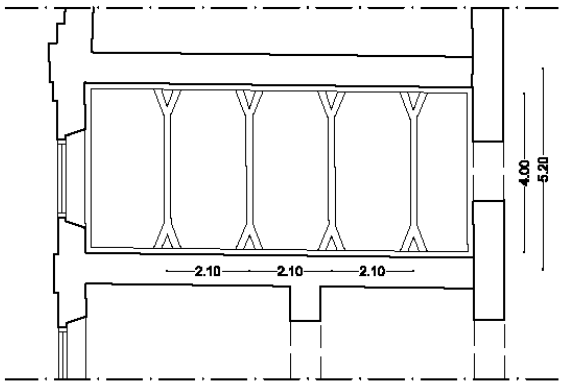
figg. 176: restituzioni grafiche del solaio posto a copertura dell'atrio prospiciente corso Vittorio Emanuele, ottenute mediante l'utilizzo del CAD, partendo da una base di rilievo effettuato dagli studenti del corso di Recupero e Conservazione degli Edifici della facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Salerno, a.a. 2010-2011.

Altri solai, riscontrati negli uffici ubicati al secondo piano, sono del tipo a soletta piena con nervature parallele di rinforzo a vista, di forma diversa, che presentano una luce di circa 5,00 m e sono disposte ad interassi variabili tra i 2,00 e i 2,50 m (figg. 177 e 178).

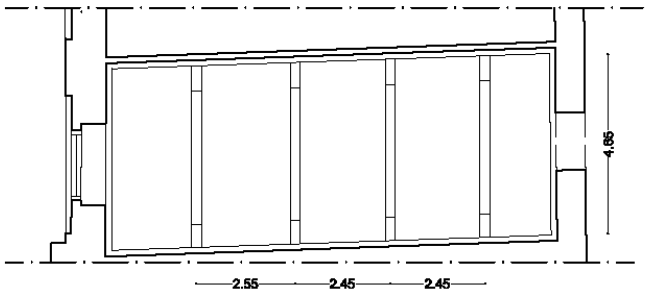
Particolari sono gli appoggi delle travi, le cui specifiche dimensioni sono riportate nei grafici seguenti (figg. 179).

figg. 177 (immagini pp. 354 e 355): solai con travi emergenti ubicati in alcuni locali del secondo piano, nell'ordine: segreteria (in alto); ufficio amministrativo e stanza del G.I.P. (alla pagina successiva).

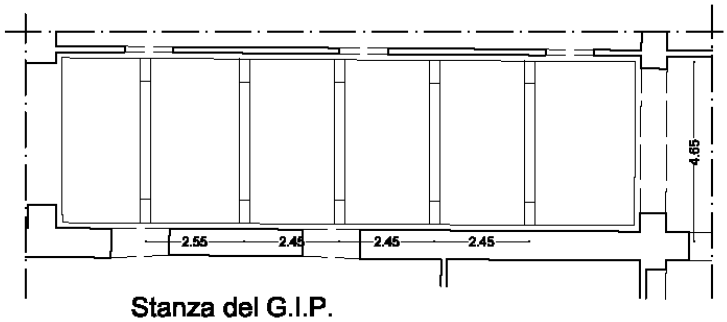
figg. 178: particolari degli appoggi delle travi emergenti ubicati in alcuni locali del secondo piano, nell'ordine: segreteria; ufficio amministrativo; stanza del G.I.P.



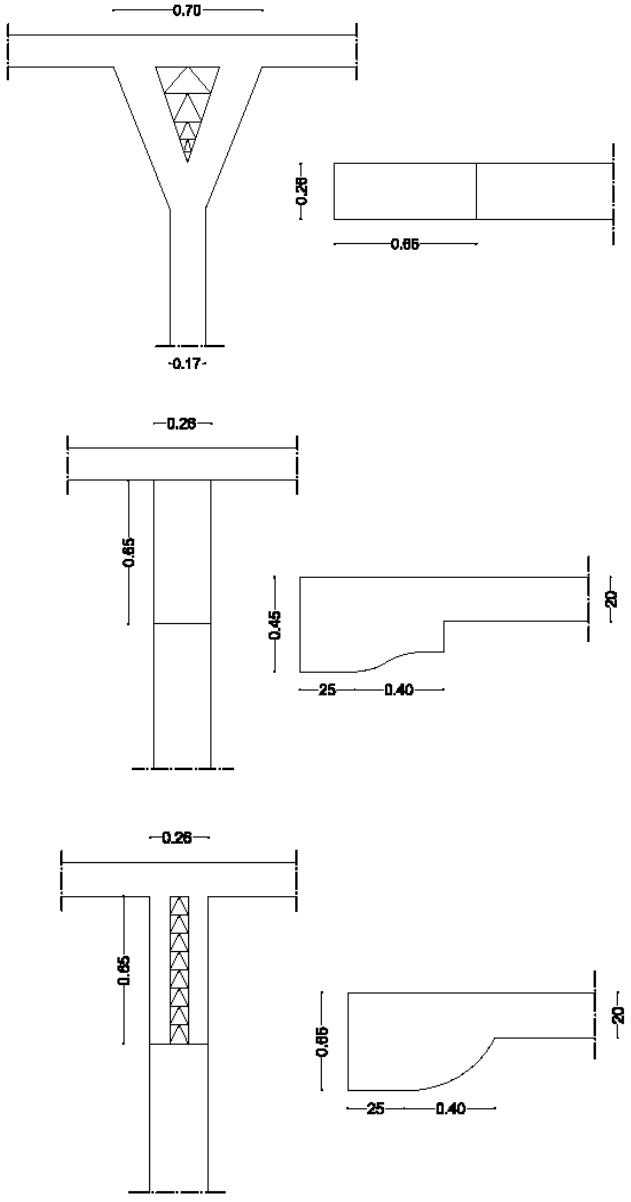
Segreteria del tribunale

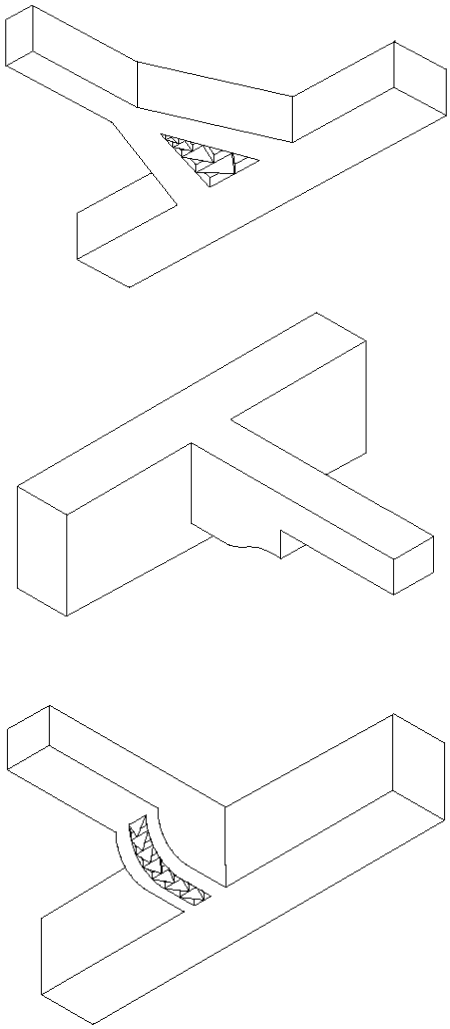


Ufficio amministrativo



Stanza del G.I.P.


0.70
0.26
0.65
0.17
0.26
0.65
0.45
20
25
0.40
0.26
0.65
0.65
20
25
0.40



figg. 179 (immagini pp. 357, 358 e 359): restituzioni grafiche delle piante dei solai, dei dettagli delle travi emergenti (vista dal basso e vista laterale) (alle pagine precedenti) e delle viste assonometriche degli appoggi delle stesse (in alto) ottenute mediante l'utilizzo del CAD, partendo da una base di rilievo effettuato dagli studenti del corso di "Recupero e Conservazione degli Edifici" della facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Salerno a.a. 2010-2011.

Sempre dal capitolato speciale di appalto si evincono, inoltre, informazioni circa i materiali utilizzati nella costruzione dell'imponente edificio che, tuttavia, risultano essere alquanto generiche. Viene, infatti, scritto nell'articolo 4 "*Qualità e provenienza dei materiali"* che "*i materiali che si impiegheranno nella costruzione delle opere dovranno essere tutti delle migliori qualità, senza difetti, rispondenti allo scopo cui furono destinati* […] *per bene conservati e per la eventuale misurazione e pesata"*[169]. Circa la sabbia viene prescritto che essa dovrà essere "*di fiume o di cava* […] *ma che non sia battuta dal mare. Tutte le sabbie dovranno presentarsi ben lavate* […] *e passate al vaglio di mm. 4* […]*"*[170]. La calce invece "[sarà] *scevra di materie eterogenee provenienti da calcari* […] *di recente e perfetta cottura* […]. *La calce spenta verrà impiegata almeno dopo otto giorni dall'estinzione, salvo quella degli intonaci, che dovrà trovarsi approntata e riportata almeno da due mesi"*[171]. Circa il calcestruzzo viene prescritta la completa rispondenza al Decreto Ministeriale 10 gennaio 1907."*La ghiaia e il pietrisco da impiegarsi per sottofondo e calcestruzzi di fondazione saranno vagliati con un vaglio a fori circolari di 5 centimetri di*

[169] Municipio di Salerno, ing. Camillo Guerra, "*Palazzo di Giustizia atti contabili - Capitolato speciale di appalto - Capo 1° Oggetto e prezzo dell'appalto e designazione sommaria delle opere"* (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Settore Affari Generali - Archivio Generale - Sezione storica fascicolo "Palazzo di Giustizia atti contabili", cat. VII class. I Fasc. 18/3 anno 1921-1933.

[170] *Idem.*

[171] *Idem.*

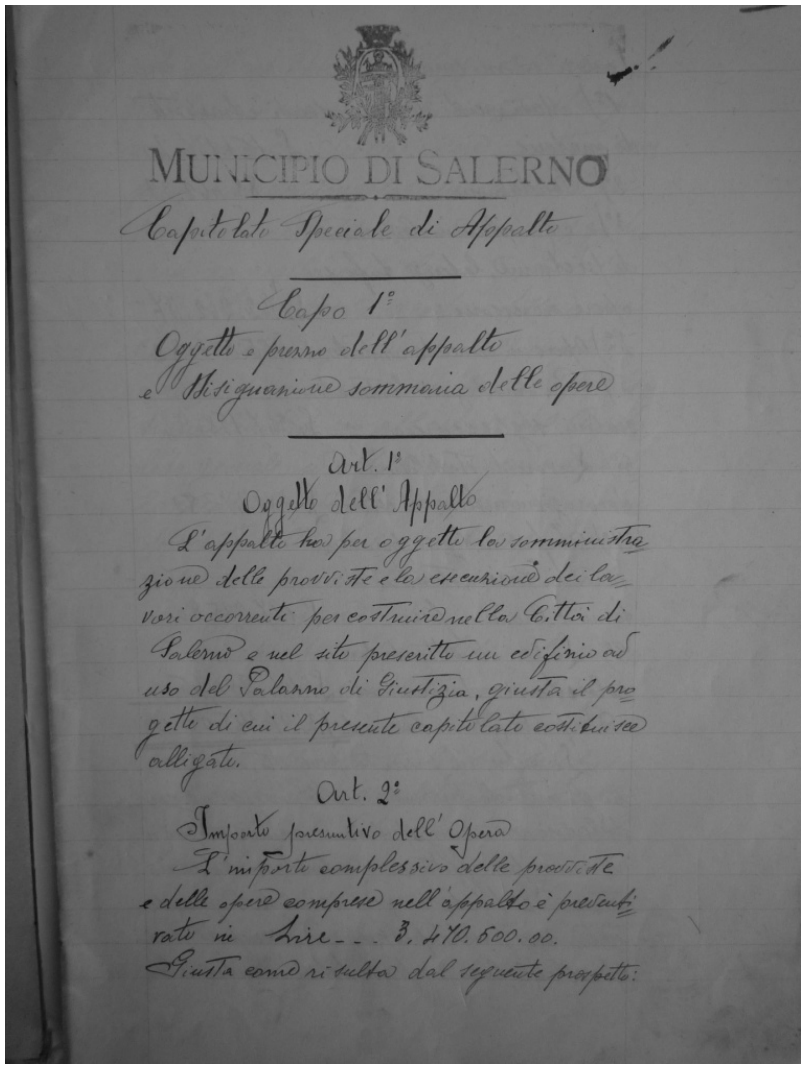
diametro; […] *quella per i lavori in cemento armato con un vaglio da 1 a 3 centimetri"*[172].

Per i metalli, veniva invece richiesta la completa rispondenza "*alle norme e alle condizioni approvate col R.D. 29 febbraio 1908* […]. *Per le armature delle strutture in conglomerato cementizio armato, esse devono presentare una frattura a grana fine ed uniforme, le superfici devono essere lisce, senza gobbe o soffiature e senza screpolature negli spigoli"*[173]. L'articolo 9, sulla composizione dei calcestruzzi, prescrive, invece, l'impiego "*di cemento di Portland passante in vaglio da cm. 3 se per strutture armate, con dosature di chilogrammi 200, 250, 350, 400, 450 e 500 di cemento e sempre con mc. 0,40 di arena e 0,80 di pietrisco da 3 a 4 cm nonché la rispondenza al R.D.L. 7 giugno 1928 n. 1431"*[174].

Viene, inoltre, esplicitamente chiarito che la buona riuscita delle opere realizzate in conglomerato cementizio armato dipende, oltre che dal progetto e dalla qualità dei materiali, anche dalle modalità di posa in opera di questi ultimi.

Degna di nota è una prescrizione in cui viene chiarito "*che il progetto da presentare dalla impresa per le ossature in cemento armato deve essere armonizzato alla esecuzione di tutte le altre membrature resistenti dell'edificio, in modo che non si abbiano a creare deficienze parziali di resistenza per non esatta distribuzione dei carichi"*[175].

[172] *Idem.*
[173] *Idem.*
[174] *Idem.*
[175] *Idem.*



MUNICIPIO DI SALERNO

Capitolato Speciale di Appalto

Capo 1°
Oggetto e prezzo dell'appalto
e designazione sommaria delle opere

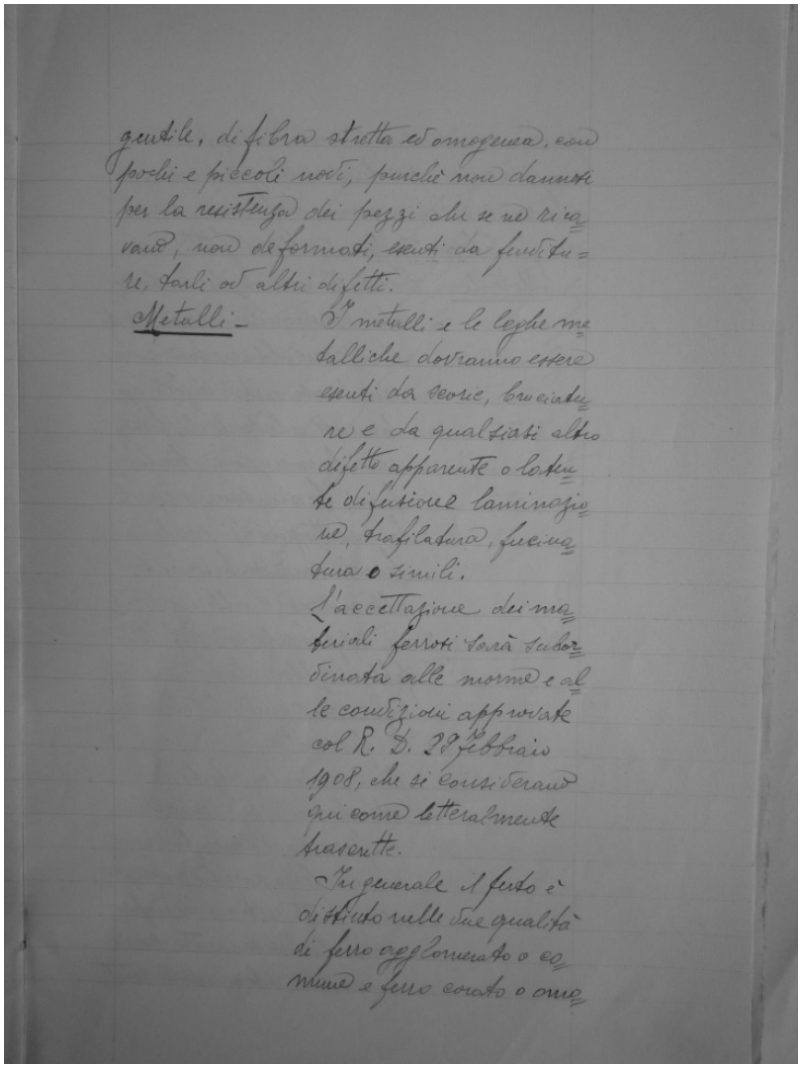
Art. 1°
Oggetto dell'Appalto

L'appalto ha per oggetto la somministrazione delle provviste e la esecuzione dei lavori occorrenti per costruire nella Città di Salerno e nel sito prescritto un edificio ad uso del Palazzo di Giustizia, giusta il progetto di cui il presente capitolato costituisce allegato.

Art. 2°
Importo presuntivo dell'Opera

L'importo complessivo delle provviste e delle opere comprese nell'appalto è presuntivamente in Lire . . . 3.470.600.00.
Giusta come risulta dal seguente prospetto:

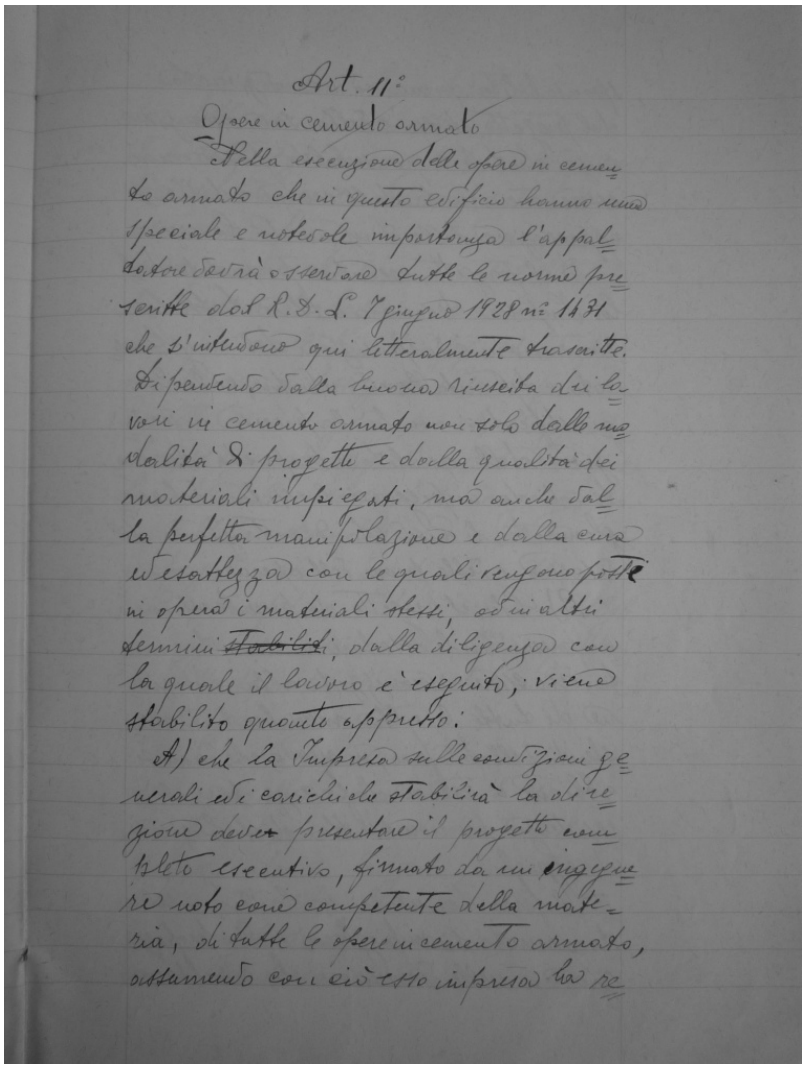
fig. 180: Municipio di Salerno, ing. Camillo Guerra, "*Palazzo di Giustizia atti contabili - Capitolato speciale di appalto - Capo 1° Oggetto e prezzo dell'appalto e designazione sommaria delle opere*": artt. 1 e 2 (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Settore Affari Generali - Archivio Generale - Sezione storica fascicolo "Palazzo di Giustizia atti contabili", cat. VII class. I Fasc. 18/3 anno 1921-1933).



gentile, di fibra stretta ed omogenea, con
pochi e piccoli nodi, purchè non dannosi
per la resistenza dei pezzi che se ne ricavano, non deformati, esenti da fenditure, tarli od altri difetti.

Metalli – I metalli e le leghe metalliche dovranno essere esenti da scorie, bruciature e da qualsiasi altro difetto apparente o latente di fusione laminazione, trafilatura, fucinatura o simili.
L'accettazione dei materiali ferrosi sarà subordinata alle norme e alle condizioni approvate col R. D. 20 febbraio 1908, che si considerano qui come letteralmente trascritte.
In generale il ferro è distinto nelle due qualità di ferro agglomerato o comune e ferro acciaio o omo-

fig. 181: Municipio di Salerno, ing. Camillo Guerra, "*Palazzo di Giustizia atti contabili - Capitolato speciale di appalto - Capo 1° Oggetto e prezzo dell'appalto e designazione sommaria delle opere*": indicazioni sulle caratteristiche dei materiali metallici impiegati (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Settore Affari Generali - Archivio Generale - Sezione storica fascicolo "Palazzo di Giustizia atti contabili", cat. VII class. I Fasc. 18/3 anno 1921-1933).



Art. 11°

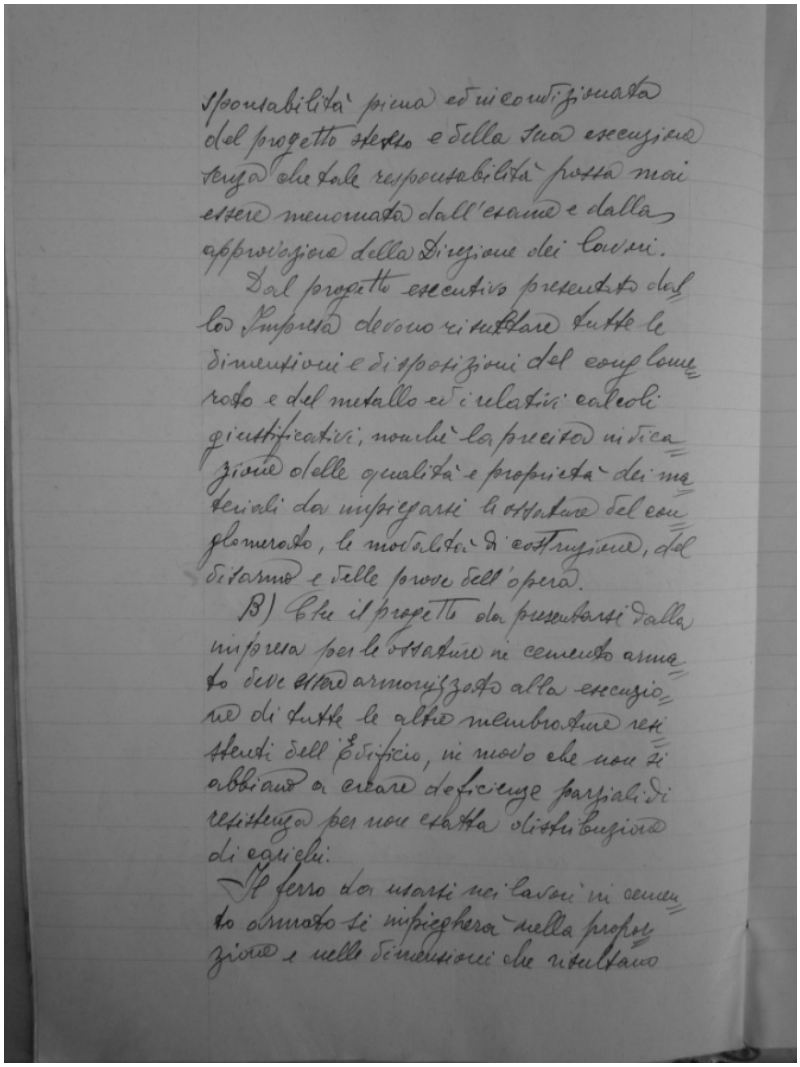
Opere in cemento armato

Nella esecuzione delle opere in cemento armato che in questo edificio hanno una speciale e notevole importanza l'appaltatore dovrà osservare tutte le norme prescritte dal R. D. L. 7 giugno 1928 n° 1831 che s'intendono qui letteralmente trascritte.

Dipendendo dalla buona riuscita dei lavori in cemento armato non solo dalla qualità di progetto e dalla qualità dei materiali impiegati, ma anche dalla perfetta manipolazione e dalla cura e destrezza con le quali vengono posti in opera i materiali stessi, ed in altri termini ~~stabili~~, dalla diligenza con la quale il lavoro è eseguito, viene stabilito quanto appresso:

A) che la Impresa sulle condizioni generali ed capitolato stabilirà la direzione dovrà presentare il progetto completo esecutivo, firmato da un ingegnere noto come competente della materia, di tutte le opere in cemento armato, attenendo con ciò esso impresa la re

fig. 182: Municipio di Salerno, ing. Camillo Guerra, *"Palazzo di Giustizia atti contabili - Capitolato speciale di appalto - Capo 1° Oggetto e prezzo dell'appalto e designazione sommaria delle opere"*: art. 11, indicazioni sulle caratteristiche degli elementi in conglomerato cementizio armato (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Settore Affari Generali - Archivio Generale - Sezione storica fascicolo "Palazzo di Giustizia atti contabili", cat. VII class. I Fasc. 18/3 anno 1921-1933).



sponsabilità prima ed in connessione
del progetto stesso e della sua esecuzione
senza che tale responsabilità possa mai
essere menomata dall'esame e dalla
approvazione della Direzione dei lavori.
Dal progetto esecutivo presentato dal
la Impresa devono risultare tutte le
dimensioni e disposizioni del conglome
rato e del metallo ed i relativi calcoli
giustificativi, nonchè la precisa indica
zione delle qualità e proprietà dei ma
teriali da impiegarsi la struttura del con
glomerato, le modalità di costruzione, del
disarmo e delle prove dell'opera.
B) Che il progetto da presentarsi dalla
impresa per la costruzione in cemento arma
to deve essere armonizzato alla esecuzio
ne di tutte le altre membrature resi
stenti dell'Edificio, in modo che non si
abbiano a creare deficienze parziali di
resistenza per non esatta distribuzione
di cerchi.
Il ferro da usarsi nei lavori in cemen
to armato si impiegherà nella propor
zione e nelle dimensioni che risultano

fig. 183: Municipio di Salerno, ing. Camillo Guerra, "*Palazzo di Giustizia atti contabili - Capitolato speciale di appalto - Capo 1° Oggetto e prezzo dell'appalto e designazione sommaria delle opere"*: art. 11, indicazioni sulle caratteristiche degli elementi in conglomerato cementizio armato (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Settore Affari Generali - Archivio Generale - Sezione storica fascicolo "Palazzo di Giustizia atti contabili", cat. VII class. I Fasc. 18/3 anno 1921-1933).

A.6 Palazzo di Città: “Sala del Gonfalone”

UBICAZIONE E IDENTIFICAZIONE

Via Roma

Anno di costruzione: 1928-1936

Progettista: Ing. Camillo Guerra

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E TIPOLOGICHE

Struttura mista in conglomerato cementizio armato e muratura di tufo giallo.

CARATTERISTICHE DEGLI ORIZZONTAMENTI

Palazzo di Città presenta un singolare solaio a cassettoni in conglomerato cementizio armato con diffusori in vetro posto a copertura di quella che un tempo era la “Sala della Consulta”, oggi denominata “Sala del Gonfalone”.

Tale solaio, come si evince dalla “*Relazione di calcolo delle strutture in cemento armato per la copertura della Sala della Consulta”*

a firma dell'ingegnere progettista Camillo Guerra e, come riscontrato da visite *in loco*, è costituito da una doppia orditura di travi emergenti a forma di T, tra loro ortogonali, di 30 cm di altezza, con base di larghezza pari a 13 cm e larghezza in testa di 27 cm, armate con 4 ferri ø20 nella parte superiore e 6 ø20 nella parte inferiore (figg. da 184 a 188).

Dette nervature delimitano cassettoni quadrati di lato pari a 82 cm, finemente decorati con cornici color oro, che, fatta eccezione per quelli perimetrali, si presentano a loro volta divisi da un doppio ordine di nervature a sezione rettangolare, 4 cm di base per un'altezza di 5 cm, armate con tondini di ferro tipo ø8, disposti nella parte inferiore della sezione; esse delimitano spazi all'interno dei quali sono collocati i diffusori in vetro di forma quadrata con lato di 14 cm.

I lacunari perimetrali si presentano, come detto, diversi in quanto caratterizzati da plafoniere in vetro in sostituzione dei diffusori (figg. 189 e 190).

fig. 184: Municipio di Salerno - Ufficio del lavori pubblici, ing. Camillo Guerra, *"Progetto del Palazzo di Città - Opere di completamento - Particolari della copertura in vetro cemento della sala della Consulta"*, 18 giugno 1934 (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Urb. Storico 11/1, allegato n. 38).

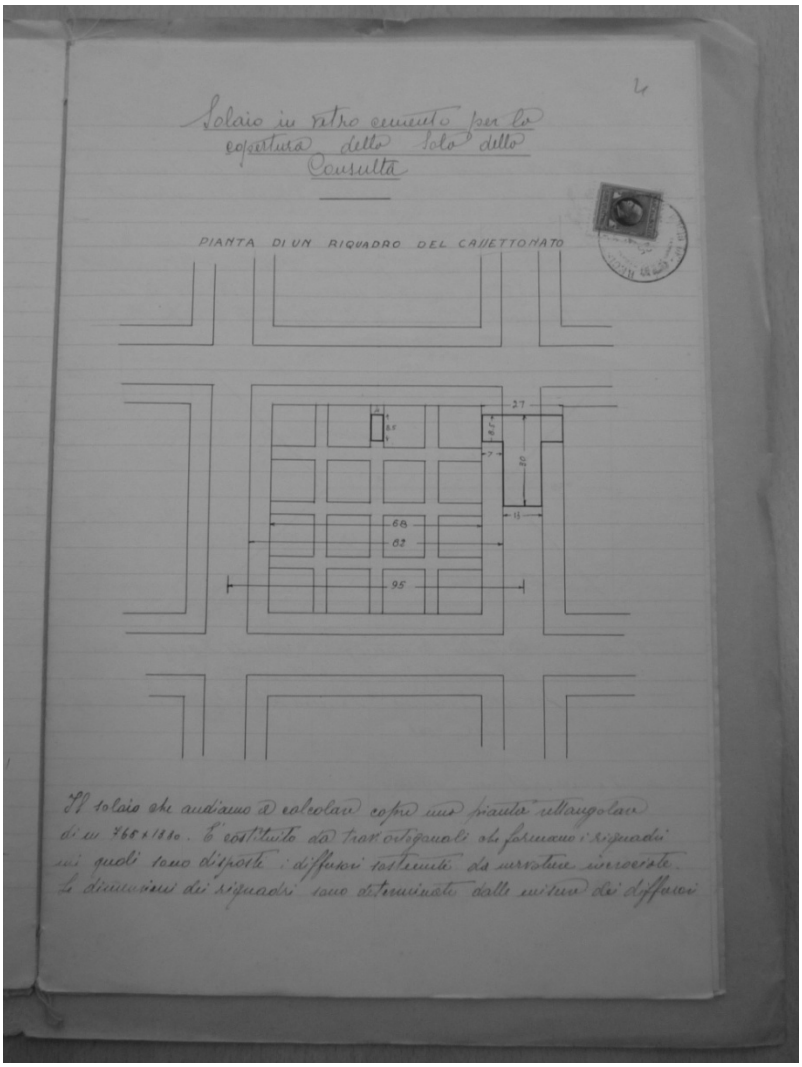


fig. 185: Municipio di Salerno - Ufficio del lavori pubblici, ing. Camillo Guerra, *"Progetto del Palazzo di Città - Opere di completamento - Relazione sui calcoli delle strutture in cemento armato per le coverture in vetro cemento della sala della Consulta e del Cortile"*, 18 giugno 1934 (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Urb. Storico 11/1, allegato n. 2).

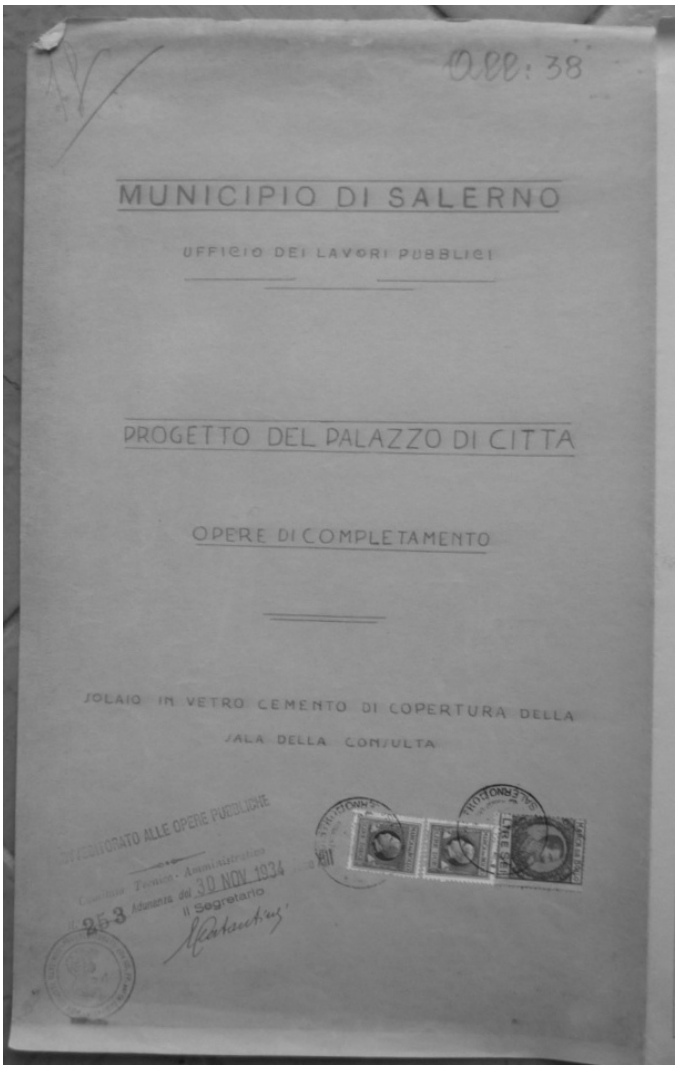


fig. 186: Municipio di Salerno - Ufficio del lavori pubblici, ing. Camillo Guerra, *"Progetto del Palazzo di Città - Opere di completamento - Solaio in vetro cemento di copertura della sala della Consulta"*, 30 novembre 1934 (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Urb. Storico 11/1, allegato n. 38).

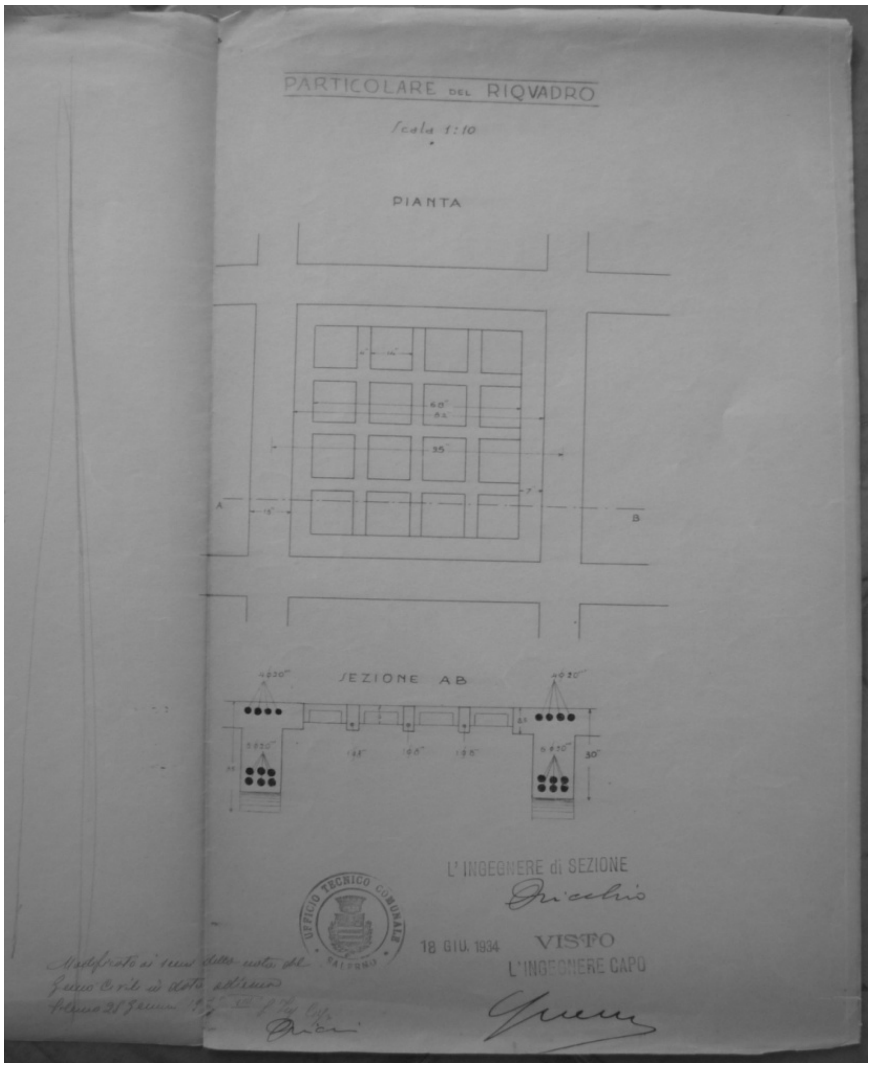


fig. 187: Municipio di Salerno - Ufficio del lavori pubblici, ing. Camillo Guerra, *"Progetto del Palazzo di Città - Opere di completamento - Solaio in vetro cemento di copertura della sala della Consulta"*, 30 novembre 1934 (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Urb. Storico 11/1, allegato n. 38).

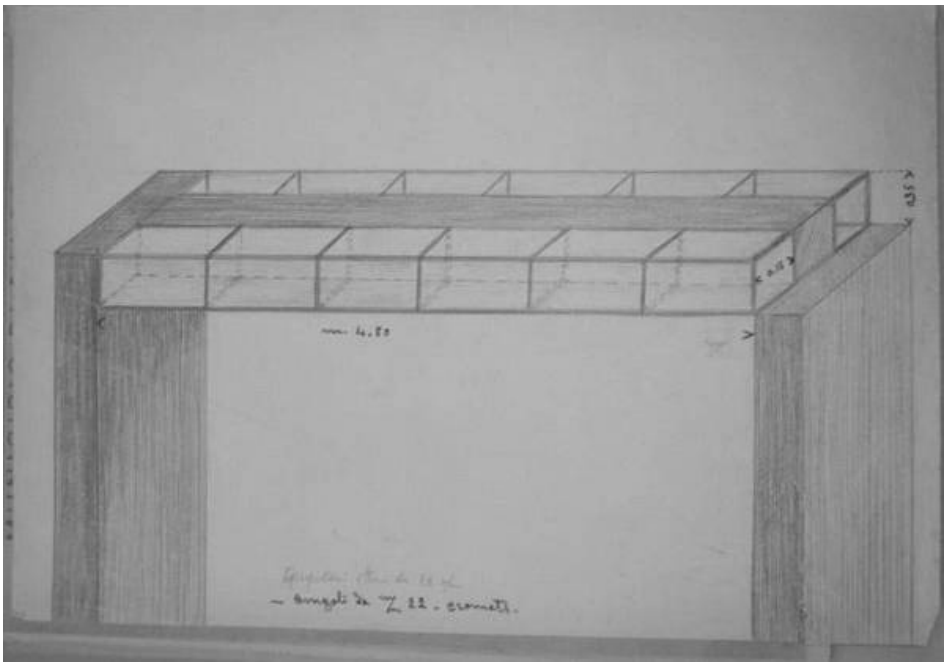
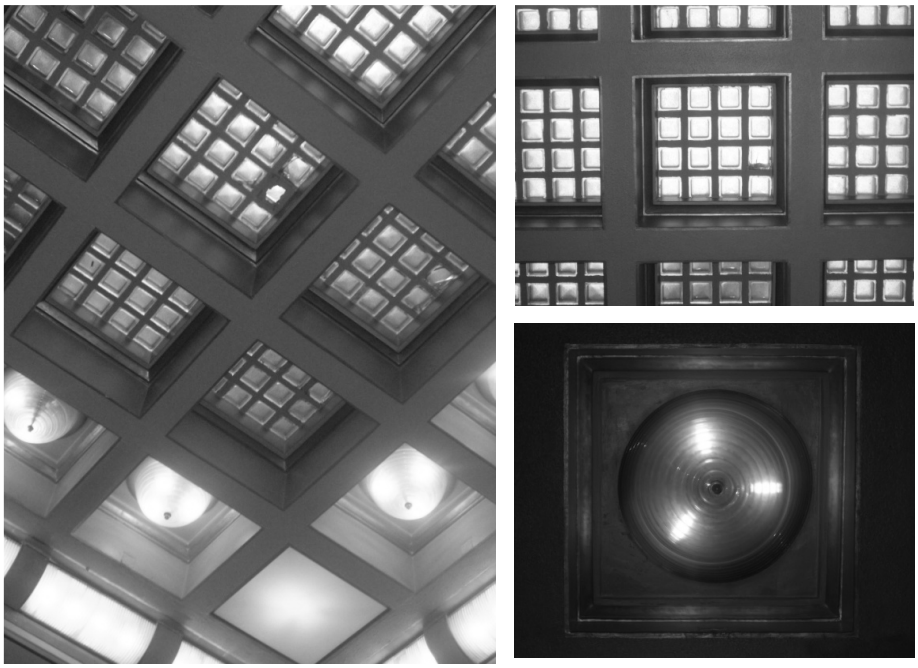
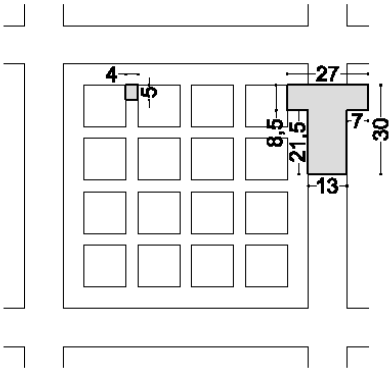


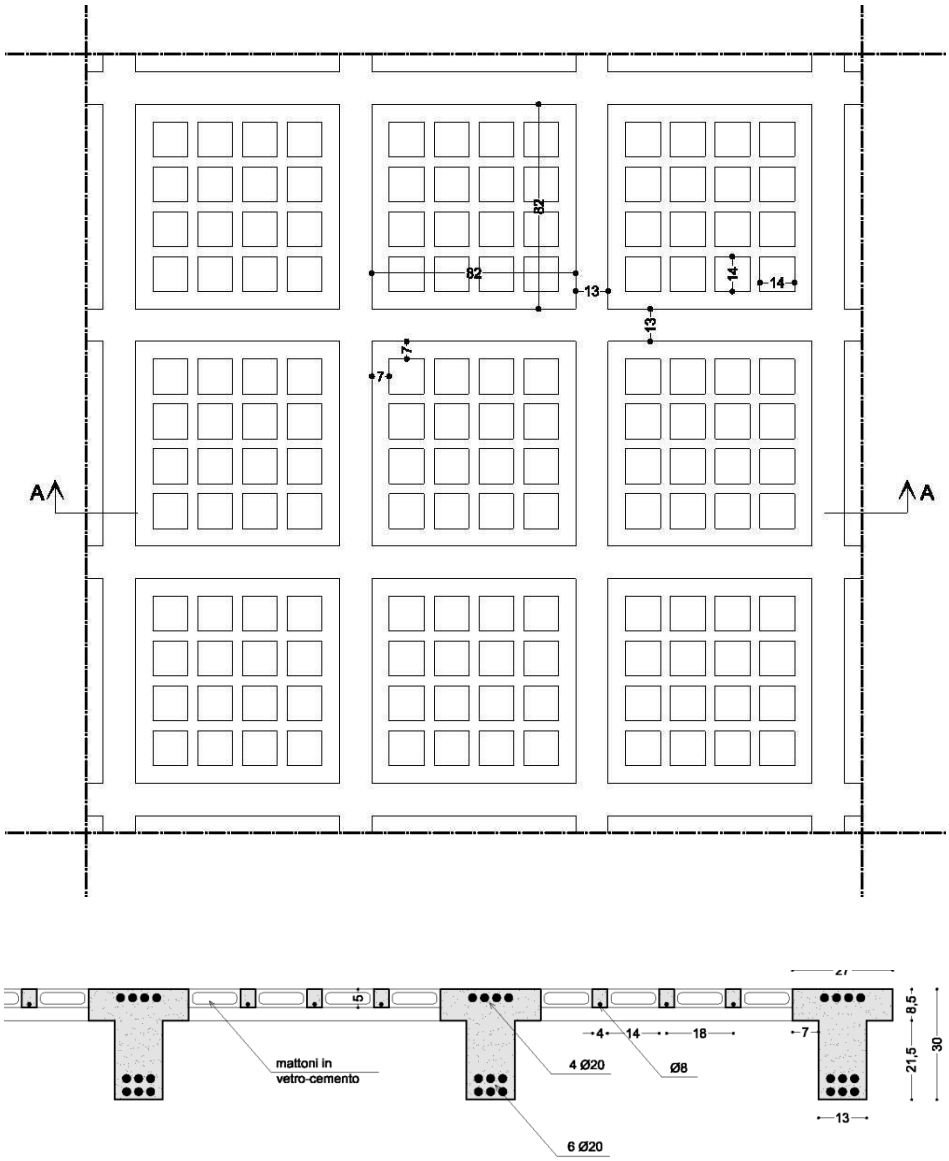
fig. 188: Municipio di Salerno - Ufficio del lavori pubblici, ing. Camillo Guerra, *"Progetto del Palazzo di Città - Opere di completamento - Solaio in vetro cemento di copertura della sala della Consulta"*, 30 novembre 1934 (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Urb. Storico 11/1, allegato n. 38).

fig. 189: immagine del cassettonato di copertura della “Sala del Gonfalone”.



figg. 190: immagini del cassettonato di copertura della “Sala del Gonfalone”: particolari dei lacunari con diffusori e plafoniere.





figg. 191 (immagini pp. 374 e 375): restituzioni grafiche di un particolare del cassettonato (alla pagina precedente) e della carpenteria e di una sezione (in alto), ottenute mediante l'utilizzo del CAD.

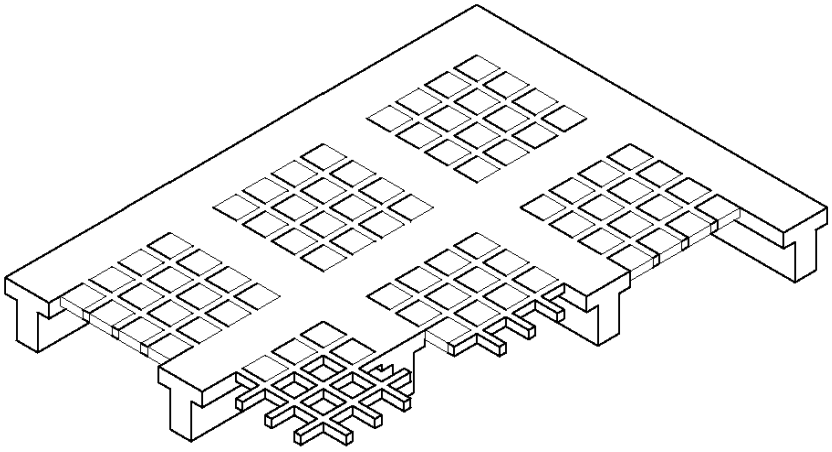


fig. 192: restituzione grafica di una vista assonometrica semplificata vista dall'alto, ottenuta mediante l'utilizzo del CAD.

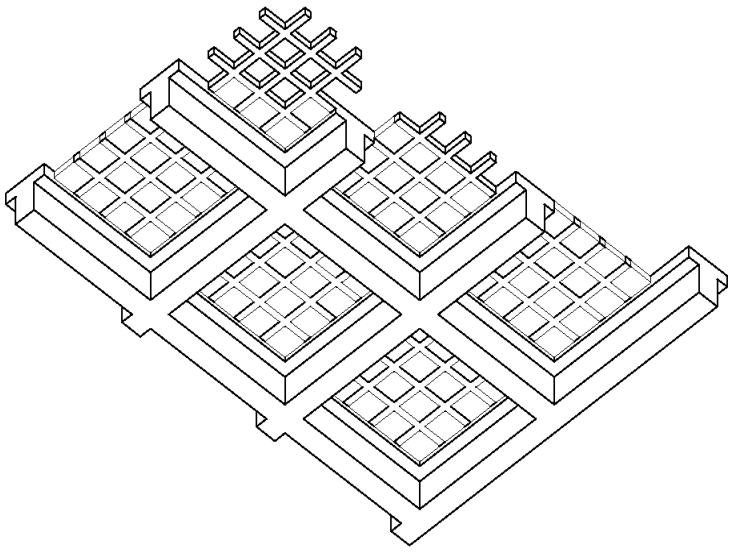


fig. 193: restituzione grafica di una vista assonometrica semplificata vista dal basso, ottenuta mediante l'utilizzo del CAD.

A.7 Camera di Commercio

UBICAZIONE E IDENTIFICAZIONE

Via Roma, 29

Anno di costruzione: 1923-1927

Progettista: Ing. Arch. Arturo Gasparri

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E TIPOLOGICHE

Struttura in muratura portante con elementi in conglomerato cementizio armato.

CARATTERISTICHE DEGLI ORIZZONTAMENTI

Su questo edificio non si ha nessuna informazione precisa sulla tipologia di orizzontamento presente, né sotto forma di tavole di progetto, né tantomeno in relazioni o documenti di qualsivoglia genere che diano indicazioni sui criteri utilizzati per il dimensionamento o sui materiali impiegati. Dal sopralluogo effettuato, tuttavia, è stato riscontrato nel

salone centrale, denominato “Sala Genovesi”, un solaio in conglomerato cementizio armato con nervature incrociate a vista. La sala presenta una pianta rettangolare (17,00x7,00 m) ed un’altezza di 6,50 m; il solaio è caratterizzato da nervature incrociate a vista, di base pari a 20 cm e altezza di 30 cm, che delimitano campi rettangolari e triangolari, fatta eccezione per la parte centrale dell’orizzontamento che presenta un campo di forma ottagonale (figg. 195).

Il ricchissimo apparato è opera del massimo artista salernitano dell’epoca, Pasquale Avallone, il quale realizzò i sei pannelli delle pareti laterali che celebrano le arti ed i mestieri, mentre ad Umberto Amati di Procida è attribuito il pannello centrale del soffitto.

L’edificio presenta, inoltre, un solaio in conglomerato cementizio armato a nervature parallele, posto a copertura di un locale adibito a deposito, anch’esso a pianta rettangolare (17,00x7,20 m), ubicato al piano ammezzato. Le nervature, poste ad un interasse di 1,60 m, hanno un’altezza di 32 cm e una base di 30 cm che si allarga in prossimità dell’appoggio fino a 50 cm; tale accorgimento, come documentato nei manuali coevi, veniva spesso utilizzato affinché l’orizzontamento potesse meglio resistere agli sforzi generati dalle sollecitazioni da taglio (figg. 196).

fig. 194: immagine del solaio a nervature della “Sala Genovesi”.

figg. 195: particolari del solaio a nervature della “Sala Genovesi”.

figg. 196: vista del solaio a nervature parallele del locale deposito e particolare di una delle nervature che presenta un aumento di sezione in corrispondenza degli appoggi per meglio resistere agli sforzi generati dalle sollecitazioni da taglio.

Di seguito si è fatto cenno agli altri edifici salernitani che presentano tipi di solai a nervature in conglomerato cementizio armato, per i quali, tuttavia, non si è potuto procedere ad un riscontro dettagliato degli orizzontamenti, in quanto non vi sono tavole particolareggiate di archivio che ne illustrano le caratteristiche e i dati numerici circa il dimensionamento e, dai sopralluoghi effettuati non è stato possibile visionarne *de visu* la tipologia poiché la maggior parte di essi si presenta ad oggi controsoffittata. Gli unici dati rinvenibili si evincono dai documenti di archivio e/o dai periodici consultati.

A.8 Villaggio Marino Sanatoriale di Torre Angellara: Ospizio "Vittorio Emanuele III"

L'edificio, ubicato in via Salvator Allende, fu costruito tra il 1924 e il 1931 su progetto degli ingegneri Flavio Cermola e Camillo Guerra.

Interamente costruito in muratura portante di tufo grigio, esso presenta solai in calcestruzzo armato; dal capitolato speciale di appalto dei lavori di "*Adattamento e di ampliamento dei pianterreni in Pastena per la Colonia Marina Vittorio Emanuele III"* si evince, infatti, che la struttura presenta solai a soletta piena nervata con controsoffittatura realizzata secondo il sistema *Perret*[176] (figg. 197 e 198).

Non si hanno, tuttavia, informazioni circa i materiali impiegati.

[176] Municipio di Salerno, *"Lavori di adattamento e di ampliamento dei pianterreni in Pastena per la Colonia Marina Vittorio Emanuele III - Capitolato speciale di appalto - Capo I - Indicazioni preliminari e condizioni generali"*: p. 18 (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Misc. E II 9).

A.9 Palazzo delle Poste e dei Telegrafi

La rivista "Idea Fascista" annunciava, nel numero del 4 giugno 1932-X e.f., l'ultimazione del Palazzo delle Poste e dei Telegrafi, ritenuto all'epoca uno degli edifici più grandiosi realizzati a Salerno (fig. 199).

L'edificio, ubicato tra corso Giuseppe Garibaldi e via Lungomare Trieste, venne realizzato tra 1928 e il 1932 sulla base di un progetto redatto dall'ingegnere architetto Roberto Narducci dell'Ufficio Tecnico del Ministero delle Comunicazioni, coadiuvato nella direzione per gli impianti tecnici dall'ingegnere Francesco Canistracci.

La struttura muraria, in pietrame calcareo e travertino fino al primo piano e in tufo giallo per i rimanenti piani, è impostata su fondazioni in calcestruzzo.

I solai in calcestruzzo cementizio armato a travi incrociate sono ammorsati alle murature mediante cordoli e, talvolta, superano anche i 12,00 m di luce, con una portanza di 1000 kg al metro quadrato. Le opere in calcestruzzo armato furono, infatti, tutt'altro che esigue, tanto che furono stimati *"14 mila quintali di cemento e ben 300 mila kg di ferro omogeneo"*[177].

[177] Cfr. *Idea Fascista*, a. X e.f., n. 31, 4 giugno 1932, p. 4 (da Biblioteca Provinciale di Salerno, Fondo riviste della sezione salernitana).

A.10 Palazzo "Rizzo-Iannone"

Ubicato in via dei Principati n. 17, fu costruito nel 1923 su progetto dell'ingegnere Matteo Martuscelli.

L'edificio, in muratura portante di tufo giallo di Roccapiemonte (ad esclusione del piano terra realizzato con travertino), presenta solai in conglomerato cementizio armato, monolitici, "*a travature di resistenza e nervature di ripartizione*"[178], ovvero a soletta nervata con orditure principali e secondarie.

A.11 Palazzo "Mazzini"

Poco si conosce circa le vicende storiche di questo edificio, ubicato in via Arce n. 82, in quanto gli unici documenti d'archivio rinvenuti risalgono agli inizi degli Cinquanta del secolo scorso e riguardano gli interventi edilizi che si sono resi necessari a causa dei danni riportati dalla costruzione nel corso degli eventi bellici.

In una relazione a firma dell'architetto Pasquale Marinari, tecnico incaricato del progetto di ricostruzione di un appartamento al terzo piano con annessa sopraelevazione, si evince che le "*strutture preesistenti sono di tufo giallo e malta comune e che i solai sono in cemento armato e*

[178] I dati si evincono da una breve relazione tecnica, allegata alle tavole di progetto, a firma dell'ingegnere Matteo Martuscelli (da Archivio Storico del Comune di Salerno).

laterizi con camere d'aria, dotati di cordoli di collegamento in cemento armato lungo tutti i muri portanti"[179].

A.12 Palazzo "Olimpia"

Analogamente al precedente, anche per questo edificio, sito in via Francesco Conforti n. 10, si hanno notizie riguardanti la struttura per il tramite di documenti inerenti alle sopraelevazioni realizzate negli anni Cinquanta. L'ingegnere Emilio Guariglia scrive, infatti, in una relazione a corredo del progetto di sopraelevazione, che la costruzione è eseguita *"con tufi gialli e con mattoni cannocchiale e presenta solai misti di laterizio e cemento armato semplici; quelli di copertura saranno, invece, del tipo speciale a camera d'aria"*[180].

Per la sopraelevazione sono stati, invece, utilizzati "*telai in cemento armato impostati su di una robusta trave di collegamento, posta in sommità alle murature esistenti con tamponature a camera d'aria con mattoni pieni all'esterno e tavelle di pomicemento forate all'interno"*[181].

---

[179] Arch. Pasquale Marinari, *"Progetto per la sopraelevazione del 3° piano a completamento del fabbricato danneggiato dagli eventi bellici, in Via Arce, n° 48 - Salerno, approvato dalla Commissione Edilizia nel 1949 con deliberazione del 14.2.1949, n° 645 e successiva istanza del giugno 1950 per l'approvazione di tre quartini sul lato sud-ovest - Relazione"*, 02 maggio 1953 (da Archivio Storico del Comune di Salerno).

[180] Ing. Emilio Guariglia, *"Progetto di sopraelevazione al Corso Vittorio Emanuele in Salerno per il sig. Amedeo Ascolese - Relazione"*, 01 settembre 1950 (da Archivio Storico del Comune di Salerno).

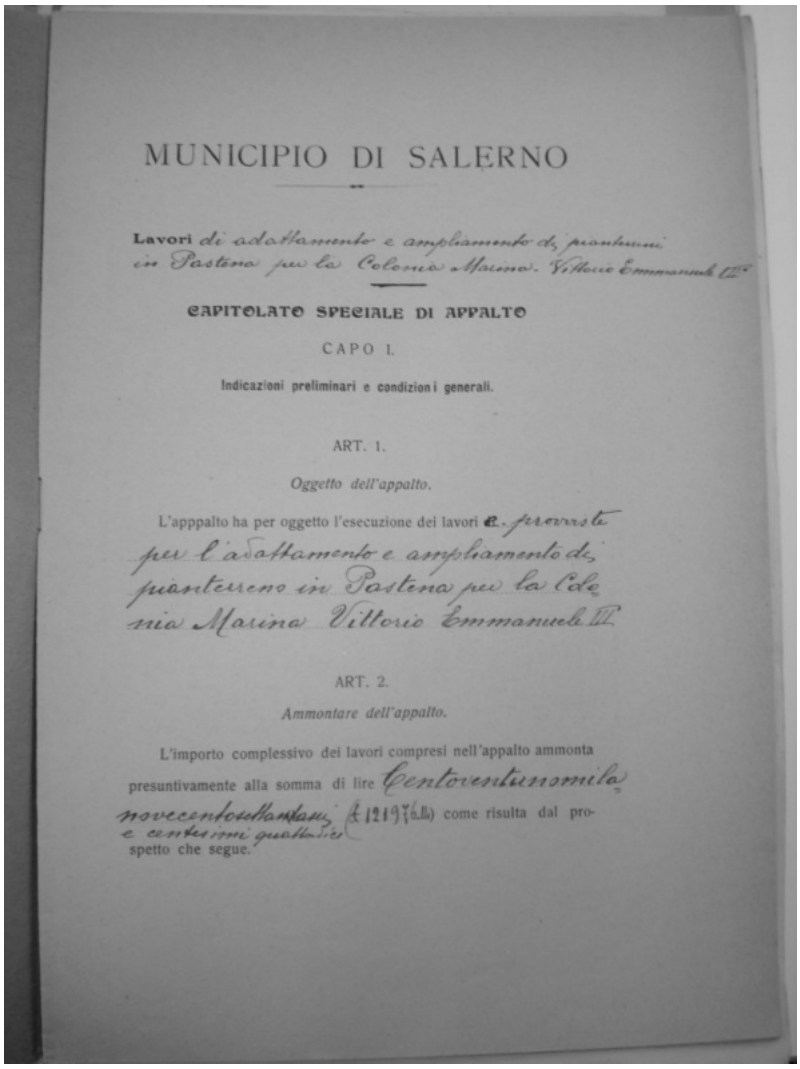
[181] Gerardo (?) Adinolfi, *"Progetto di sopraelevazione del fabbricato condominiale sito in Salerno - via Francesco Conforti, n° 10 - di proprietà Reale, De Martino, Natale e altri - Relazione"*, 30 luglio 1955 (da Archivio Storico del Comune di Salerno).

A.13 Palazzo della ditta "Di Filippo"

Per la costruzione del palazzo della ditta "Di Filippo", ubicato in via Balzico n. 43, la Commissione Edilizia autorizzò il progetto, redatto dall'ingegnere Mario Di Filippo, il 28 gennaio 1932. Il 18 marzo dello stesso anno, si diede effettivo inizio ai lavori che videro la realizzazione di una struttura mista con scheletro in conglomerato cementizio armato e chiusure in travertino (per il piano terra e il piano rialzato) e tufo giallo (per i piani superiori). L'edificio presenta solai "*del tipo misti di laterizi e cemento*[182]*, a camera d'aria insonori*"[183] (fig. 200).

[182] Ing. Mario Di Filippo, *"Progetto per la costruzione di un fabbricato di proprietà della ditta A. & M. ed ing. M. Di Filippo - Relazione"*, 12 novembre 1931 (da Archivio Storico del Comune di Salerno).

[183] *Idea Fascista*, a. XI e.f., n. 27, 20 maggio 1933, p. 7 (da Biblioteca Provinciale di Salerno, Fondo riviste della sezione salernitana).



MUNICIPIO DI SALERNO

Lavori di adattamento e ampliamento di pianterreni in Pastena per la Colonia Marina Vittorio Emanuele III°

CAPITOLATO SPECIALE DI APPALTO

CAPO I.

Indicazioni preliminari e condizioni generali.

ART. 1.

Oggetto dell'appalto.

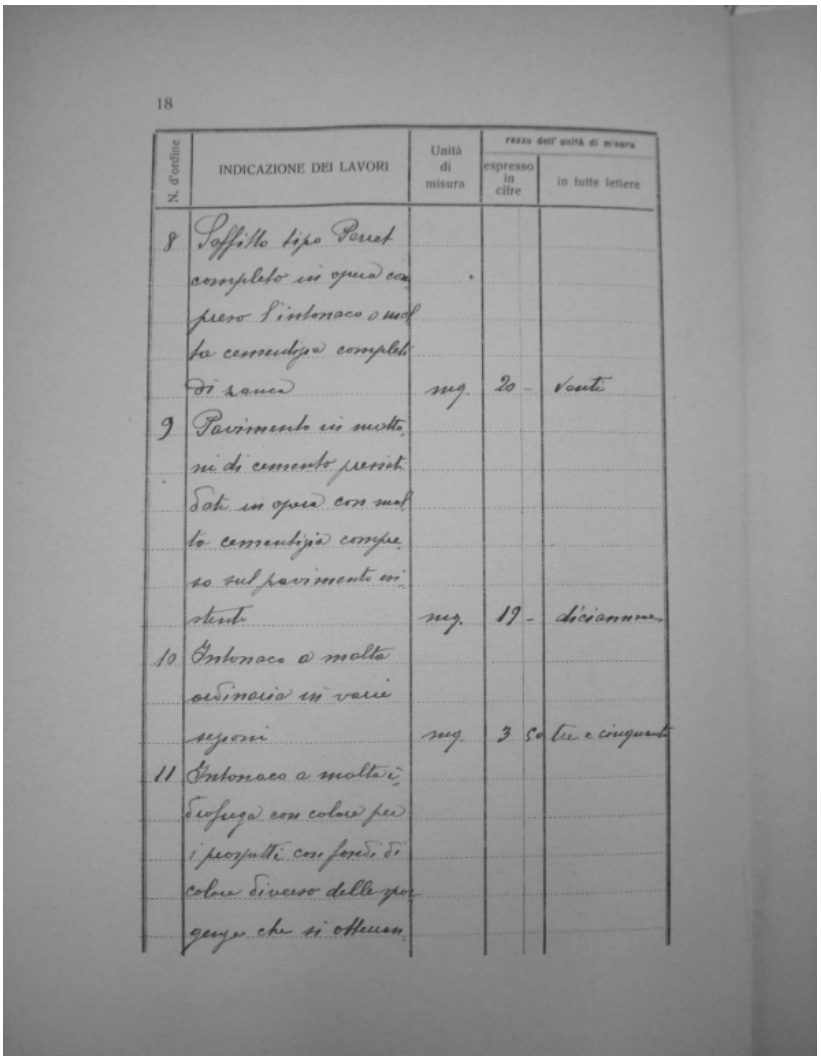
L'apppalto ha per oggetto l'esecuzione dei lavori e. provvisti per l'adattamento e ampliamento di pianterreno in Pastena per la Colonia Marina Vittorio Emmanuele III.

ART. 2.

Ammontare dell'appalto.

L'importo complessivo dei lavori compresi nell'appalto ammonta presuntivamente alla somma di lire Centoventunomila novecentosettantasei (£ 121976) come risulta dal prospetto che segue.

fig. 197: Municipio di Salerno, "*Lavori di adattamento e di ampliamento dei pianterreni in Pastena per la Colonia Marina Vittorio Emanuele III - Capitolato speciale di appalto - Capo I - Indicazioni preliminari e condizioni generali*": frontespizio con articoli 1 e 2 (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Misc. E II 9).



18

N. d'ordine	INDICAZIONE DEI LAVORI	Unità di misura	prezzo dell'unità di misura espresso in cifre	prezzo dell'unità di misura in tutte lettere
8	Soffitto tipo Porret completo in opera compreso l'intonaco e malta cementizia completo di rame	mq.	20 -	Venti
9	Pavimento in mattoni di cemento premiati posti in opera con malta cementizia compreso sul pavimento esistente	mq.	19 -	diciannove
10	Intonaco a malta ordinaria in vari ripori	mq.	3 50	tre e cinquanta
11	Intonaco a malta a fuga con colore per i prospetti con fondo di colore diverso della pietra che si ottiene			

fig. 198: Municipio di Salerno, *"Lavori di adattamento e di ampliamento dei pianterreni in Pastena per la Colonia Marina Vittorio Emanuele III - Capitolato speciale di appalto - Capo I - Indicazioni preliminari e condizioni generali"*: p. 18 (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Misc. E II 9).

LE OPERE DEL REGIME A SALERNO

Il Palazzo delle Poste e Telegrafi

Fra le grandiose opere che il Regime ha compiute a Salerno, realizzando aspirazioni leggittime e coronando pazienti attese di decenni, il Palazzo delle Poste è da considerarsi come una delle maggiori che non soltanto risolve un problema di esigenza materiale, ma conferisce al nuovo prestigio del Capoluogo un adeguato decoro.

Il magnifico, superbo Palazzo delle Poste che profila la sua sagoma di stile moderno sul Corso Garibaldi e sulla Via Lungomare è finalmente ultimato.

Pochi altri lavori di completamento, ed è bell'e pronto ad accogliere i vari ed importanti Uffici della Direzione Provinciale e dei Telegrafi, con tutti i servizi inerenti e dipendenti.

Il 28 ottobre Salerno vedrà inaugurato questo grandioso edificio che il Ministero delle Comunicazioni ha costuito dotando la città nostra oltre che di una degna sede per la Direzione Provinciale delle Poste e dei Telegrafi, di un gioiello architettonico, nel quale la vasta mole si armonizza alla snella e sobria eleganza della linea.

Il progetto è dovuto all'Ing. Architetto cav. Roberto Narducci, del Ministro delle Comunicazioni. Il valoroso progettista ha dovuto risolvere — e lo ha magnificamente fatto — la difficoltà offerta da un'area forse troppo stretta e irregolare con la grandiosità di una costruzione come questa che è venuta ad arricchire la edilizia salernitana.

E diamo ora qualche cifra: Parea occupata è di 1900 metri quadrati, dei quali 1750 costru ti e 250 riservati al cortile interno.

Il palazzo si compone di ben 100 vani, tra i quali è previsto il salone per gli apparati telegrafici di una superficie di 275 metri quadrati e la sala per la stazione amplificatrice del Cavo Telefonico di Stato, di metri quadrati 180 di superficie.

L'altezza totale dell'Edicio dal marciapiedi, è di metri 27; e tutto l'edificio ha una cubatura di oltre 40 mila metri.

La lunghezza del fronte sul Corso Garibaldi è di metri 73,50.

Su di una gettata di calcestruzzo si elevano le murature in pietrame calcareo e travertino fino al 1° piano, in tufo giallo il rimanente, collegate con cordoli di calcestruzzo. Le opere murarie sommano a circa 10 mila metri cubi.

I solai sono in cemento armato a travi incrociate, dal quali solai alcuni hanno una portata superiore a m. 12 e atti a sopportare carichi che possono raggiungere i 1000 kg. per metro quadrato. Le prove di collaudo hanno offerto prove superiori ad ogni previsione, a dimostrazione della diligenza e scrupolosità dei lavori di costruzione e della qualità ottima dei materiali impiegati.

Le opere in cemento armato richiesero ben 14 mila quintali di cemento e ben 300 mila Kg. di ferro omogeneo.

Lo zoccolo e la decorazione dell'ingressio principale che è fiancheggiato da due magnifiche ed imponenti colonne massicce le quali sorregono il balcone centrale sono costituiti da ben 300 metri cubi di pietra bianca a masso, mentre i prospetti, fino al marcapiano del 1° piano sono ad intonaco bugnato con una riuscitissima imitazione travertino, ai come sono i contorni delle indovinatissime finestre del 2° piano e il cornicione.

L'intonaco di fondo delle facciate è di una tinta verde giallognola, sulla qeale l'occhio riposa e che si intona magnificamente allo stile del fabbricato al quale aggiunge un non so che di delizioso. Questa tinta verde giallognola tipo tufo dà ancor maggiore ed elegante risalto al bianco delle decorazioni delle finestre del 1° piano, in pietra artificiale imitante con a perfezione il marmo che anche l'occhio del tecnico ne rimane sorpreso.

Ai due lati della prospettiva quattro gruppi scultorei due ai lati del 1° piano e due ai lati del piano attico dovuti al noto scultore Conti di Roma. Questo sculture completano la decorazione semplice esterna: e il tutto conferisce un carattere di signorile e sobria eleganza all'Edifizio sul prospetto del Corso Garibaldi.

Verso la lungomare Trieste il prospetto, pur conservando la stessa linea architettonica, presenta un movimento più vivace per effetto dei due corpi avanzati ai lati e del rientrante al centro.

Le ampie finestre del primo piano sono muuite da inferriate stile moderno, arricchite da bronzi di squisita fattura; e questi assai pregevoli lavori in ferro, assieme ai magnifici cancelli agli ingressi di Via Lungomare, sono stati eseguiti da un valente e bene merito artigiano nostro: Angelo Catanese.

Ora che l'edificio è completo; ed i salernitani la han visto crescere, man man; ne hanno seguito i progressi; e ne hanno ammirato via via le belle linee architettoniche, dopo averne ammirata la superba mole, la grandiosità delle murature; ora che il Palazzo delle Poste non attende che pochi mesi ancora per poter entrare, finalmente, in funzione, vediamo un pò come saranno distribuiti gli ambienti per i vari uffici e servizi. E cominciamo dagi scantinati, nei quali saranno i depositi per il materiali del Circolo di costruzioni telegrafiche.

Ecocci al piano terra, per il quale si accede dall'ingresso principale di Corso Garibaldi. Dal-

fig. 199: articolo che pubblicizza il Palazzo delle Poste e Telegrafi pubblicato su "Idea Fascista", a. X e.f., n. 31, 4 giugno 1932, p. 4 (da Biblioteca Provinciale di Salerno, Fondo riviste della sezione salernitana).

fig. 200: pagina dedicata al Palazzo della ditta Di Filippo su "Idea Fascista", a. XI e.f., n. 27, 20 maggio 1933, p. 7 (da Biblioteca Provinciale di Salerno, Fondo riviste della sezione salernitana).

Edifici con solai latero-cementizi

B.1 Edificio Scolastico Orientale "Giacinto Vicinanza"

UBICAZIONE E IDENTIFICAZIONE

Corso Vittorio Emanuele

Anno di costruzione: 1912-1918

Progettisti: Ingg. Michele De Angelis e Carlo Giordano

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E TIPOLOGICHE

Edificio in muratura portante: travertino e pietrame per le fondazioni, tufo giallo di Roccapiemonte e grigio di Pontefratte per le strutture in elevazione. Solo il completamento del 1936 venne progettato in parte con una gabbia in conglomerato cementizio armato; in considerazione dell'arretramento del nuovo fronte dell'edificio scolastico, per non costruire grossi spessori in muratura, gli ingegneri progettisti, Michele De Angelis e Carlo Giordano, ritennero opportuno,

infatti, realizzare l'ossatura di una parte del corpo centrale del completamento con una "*incastellatura in cemento armato, con pilastri su plinti tronco-piramidali"*[184].

CARATTERISTICHE DEGLI ORIZZONTAMENTI

Dallo studio dei documenti rinvenuti presso l'archivio privato della famiglia De Angelis[185], è stato possibile tracciare l'evoluzione della tecnologia costruttiva della fabbrica dell'Edificio Scolastico Orientale.

Da un'attenta lettura del capitolato speciale di appalto del 1914 si evince che inizialmente la struttura prevedeva solai in ferro e voltine in mattoni, che nel 1936 si pensò di sostituire con orizzontamenti in conglomerato cementizio armato, ritenuti tecnicamente ed economicamente più convenienti e che potevano essere isolati acusticamente con la realizzazione di un controsoffitto leggero.

Le strutture presentate e calcolate nel 1936 vennero, tuttavia, introdotte solo nel 1939: si ebbe in quell'anno la sostituzione dei solai tradizionali con nuovi brevetti del tipo *Duplex* e *SAP*. Tale scelta seguì alla consapevolezza che le strutture piane in calcestruzzo armato garantivano una maggiore sicurezza rispetto a quelle a volta e determinò il progressivo abbandono delle tecniche tradizionali, anche se queste apparentemente risultavano ancora economicamente convenienti. Inoltre,

[184] Ingg. Michele De Angelis e Carlo Giordano, "*Progetto dei nuovi edifizi scolastici per la città di Salerno - Relazione"*, giugno 1908 (da Biblioteca Provinciale di Salerno – DIV. SAL. MISC. Scaf. R.4 C 7/6).

[185] Tesi di laurea di Dolgetta P., *I nuovi edifici scolastici a Salerno tra le due guerre: la qualità del progetto e l'evoluzione dei modi di costruire*, cit.

le grandi dimensioni in pianta delle aule non consentivano la costruzione di volte leggere con mattoni disposti in foglio, ma esigevano volte caratterizzate da un'eccessiva "*grossezza delle strutture*"[186].

Le strutture orizzontali sono tutte costituite da solai in calcestruzzo armato e laterizi, prodotti dalle fornaci locali, con nervature parallele e/o incrociate del tipo a blocchi *Zeni*, a blocchi *Provera*, *Duplex*, *SAP* e *Stimip*.

Il collegamento dei solai alle murature è assicurato da cordoli in calcestruzzo armato.

Dalla tavola di progetto dei particolari costruttivi dell'edificio, possono evincersi importanti dati dimensionali circa i singoli tipi di orizzontamenti.

[186] Ingg. Michele De Angelis e Carlo Giordano, cit.

Solai con blocchi di cotto Zeni

I solai con blocchi di cotto *Zeni*, di portata teorica fino a 3,50 m circa, sono caratterizzati da laterizi di larghezza pari a 21 cm e si trovavano in commercio con diverse altezze; il solaio in esame presenta nella fattispecie forati di altezza pari a 14 cm.

Nelle sezioni all'incastro i travetti dei solai sono armati sia superiormente che inferiormente, rispettivamente con due barre ø10 (un ferro sagomato e un moncone) e con una barra di armatura ø10.

Nelle sezioni di mezzeria, invece, i travetti, larghi 6 cm e posti ad interasse di 27 cm, sono armati solo nella parte inferiore con due tondini di armatura sempre di diametro ø10, di cui uno è sagomato e si presenta rialzato all'appoggio per contrastare l'inversione del momento. Dagli schizzi di progetto si deduce, inoltre, che il copriferro ha uno spessore di 3 cm (figg. 201 e 202).

Il solaio è stato completato con una soletta superiore di 5 cm e presenta un'altezza complessiva di 19 cm.

Accorgimenti particolari sono la disposizione dei mattoni scostati dal filo dei muri perimetrali e l'inserimento, nello spessore della soletta, di tondini ø6, ogni 50 cm, e di staffe del medesimo diametro, per una migliore ripartizione dei carichi gravanti sui travetti.

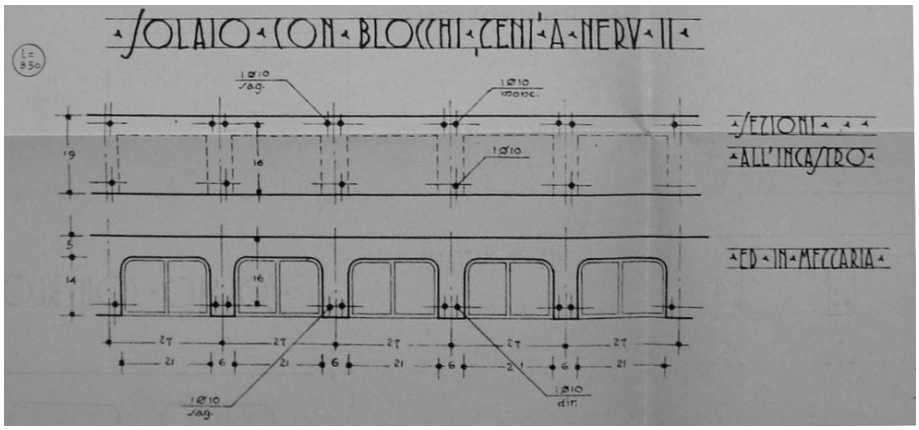
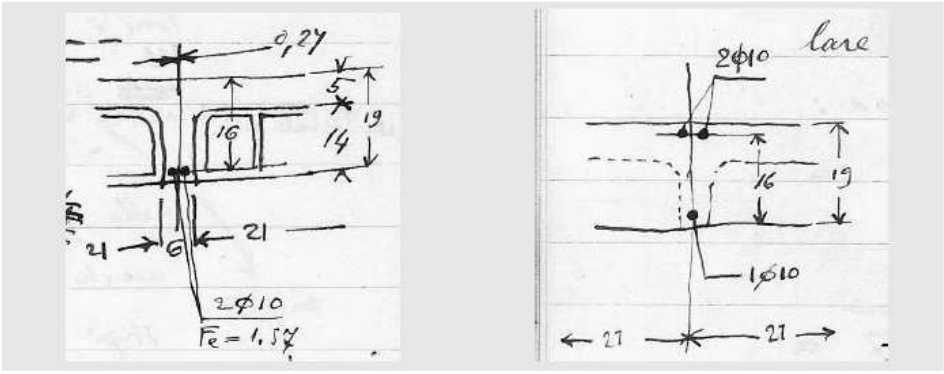
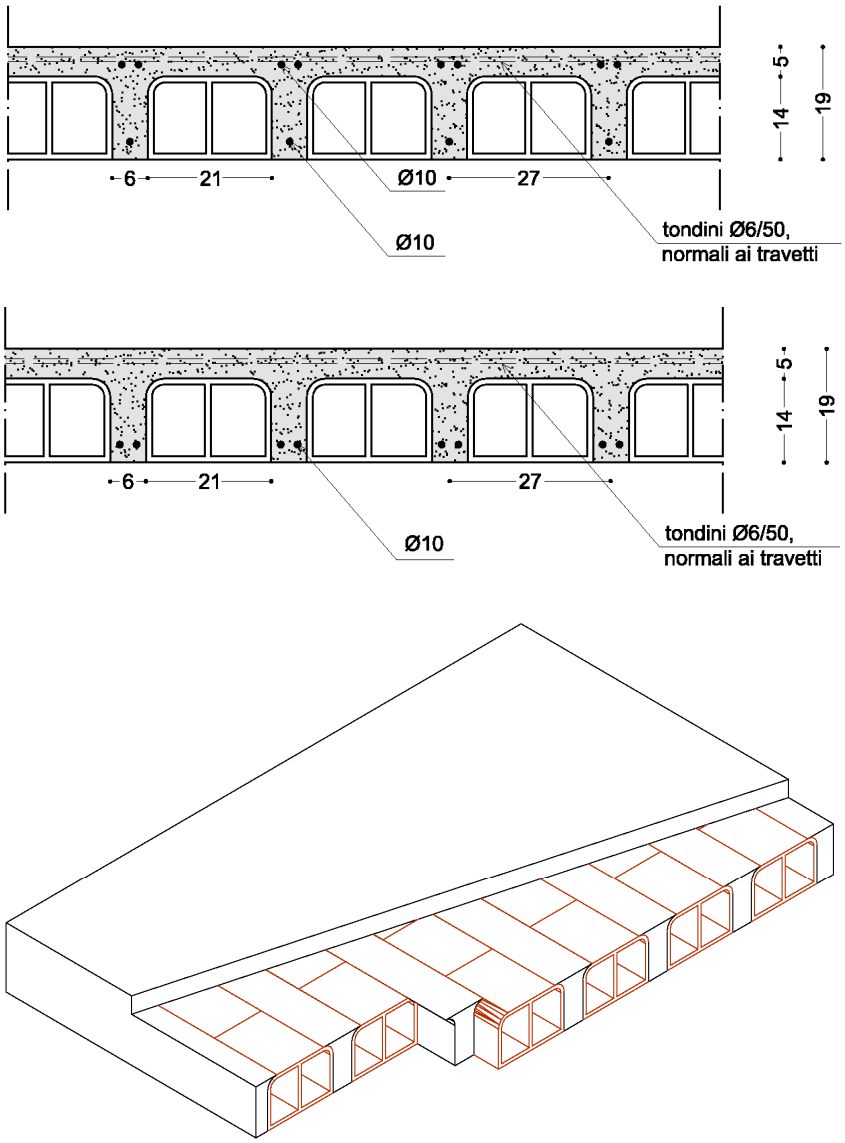


fig. 201: Ingg. Michele De Angelis e Carlo Giordano, "*Progetto del completamento verso il corso Vittorio Emanuele dell'Edificio Scolastico Orientale di Salerno - Dettagli costruttivi delle strutture in cemento armato, Salerno agosto XVI. Solaio con blocchi Zeni a nervature II. Sezioni all'incastro ed in mezzaria*", 28 ottobre 1938 (da Archivio Storico e Urbanistico del Comune di Salerno - ASS, fald. 49 - Urb. Storico - Coll. Provv.).



figg. 202: schizzi di progetto inerenti all'ampliamento dell'Edificio Scolastico Orientale e raffiguranti i dettagli costruttivi di un solaio con blocchi di cotto *Zeni*, redatti dagli ingegneri Michele e Luigi De Angelis (da Archivio privato famiglia De Angelis).



figg. 203: restituzioni grafiche di due sezioni (all'appoggio e in mezzeria) e di una vista assonometrica semplificata, ottenute mediante l'utilizzo del CAD.

Solai con blocchi di cotto Provera

Nella costruzione dell'Edificio Scolastico Orientale sono stati impiegati due varianti del solaio con blocchi di cotto *Provera*, entrambe a nervature parallele e poste ad un interasse di 37 cm, una per portate teoriche fino a 7,00 m e l'altra per portate teoriche fino a 6,00 m (figg. da 204 a 207).

Il solaio è costituito da laterizi di 27 cm di larghezza e 20 cm di altezza e presenta una soletta di completamento dello spessore di 7 cm, per un'altezza totale di 27 cm. Le disposizioni dei ferri, nelle sezioni di appoggio e di mezzeria, sono analoghe a quelle già descritte per il solaio con blocchi *Zeni*; cambiano, tuttavia, i diametri: in sostituzione delle armature ø10, sono stati utilizzate barre di diametri ø16 e ø18, come si evince dalle tavole di archivio e dagli schizzi di progetto. Anche per questa tipologia di solaio lo spessore del copriferro è di 3 cm.

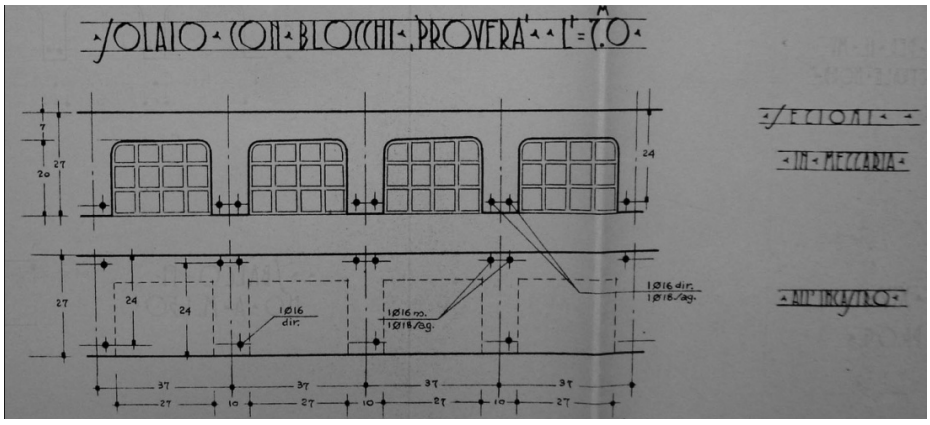
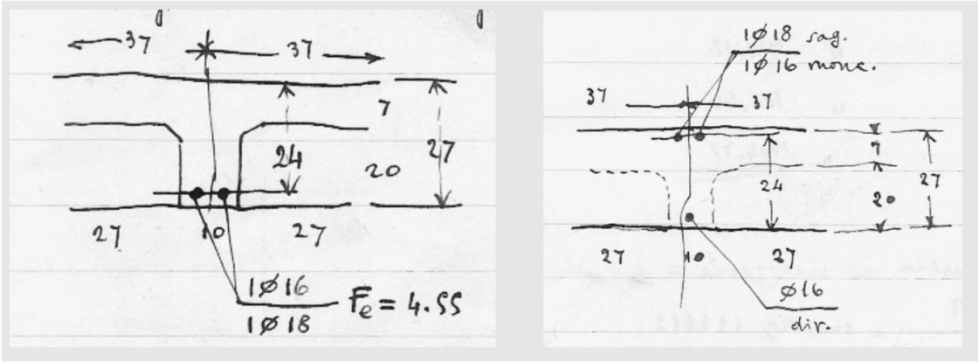


fig. 204: Ingg. Michele De Angelis e Carlo Giordano, "*Progetto del completamento verso il corso Vittorio Emanuele dell'Edificio Scolastico Orientale di Salerno - Dettagli costruttivi delle strutture in cemento armato, Salerno agosto XVI. Solaio con blocchi Provera - L=7,0 m. Sezioni in mezzaria e all'incastro*", 28 ottobre 1938 (da Archivio Storico e Urbanistico del Comune di Salerno - ASS, fald. 49 - Urb. Storico - Coll. Provv.).



figg. 205: schizzi di progetto inerenti all'ampliamento dell'Edificio Scolastico Orientale e raffiguranti i dettagli costruttivi dei solai con blocchi di cotto *Provera* di portata fino a 7,00 m, redatti dagli ingegneri Michele e Luigi De Angelis. Il calcolo dei travetti del solaio con blocchi *Provera* veniva condotto con mattoni alti 20 cm, con interasse tra le nervature di 37 cm e soletta di spessore pari a 7 cm (da Archivio privato famiglia De Angelis).

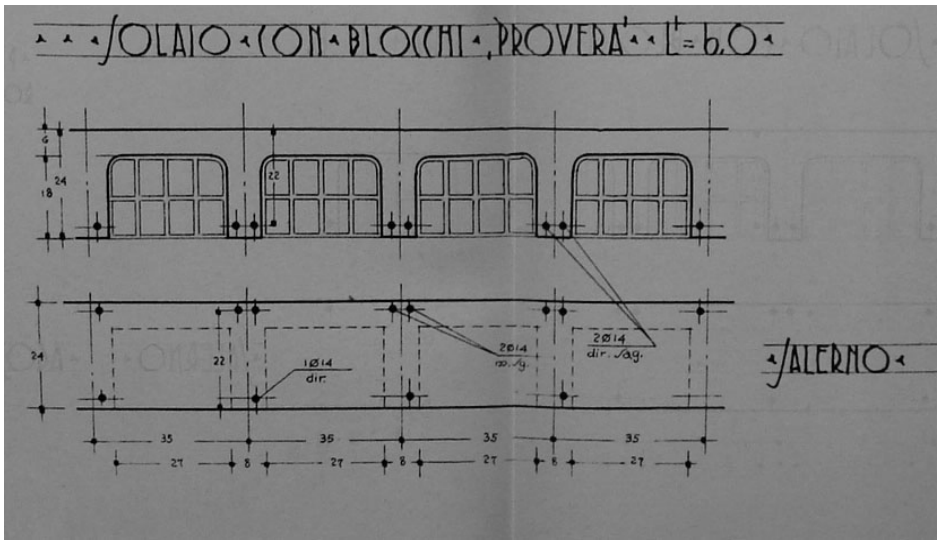
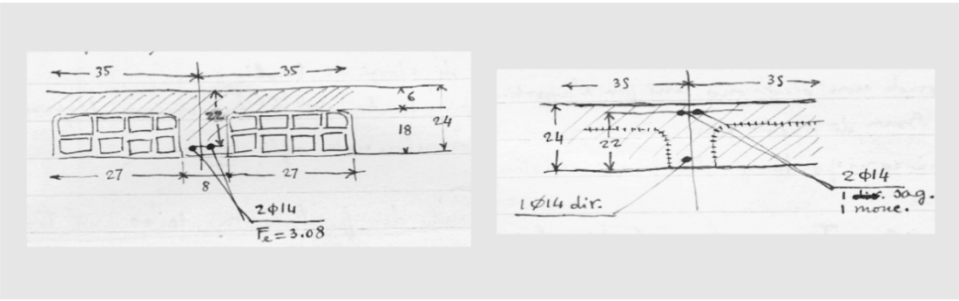
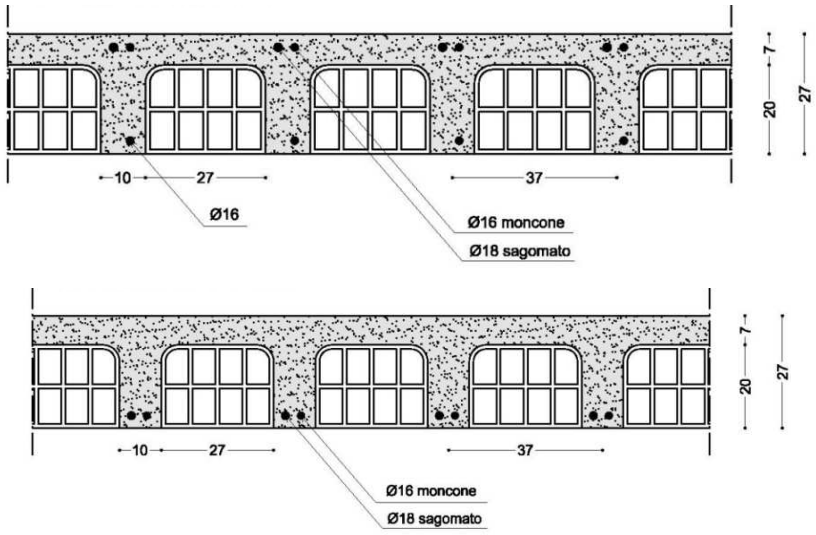


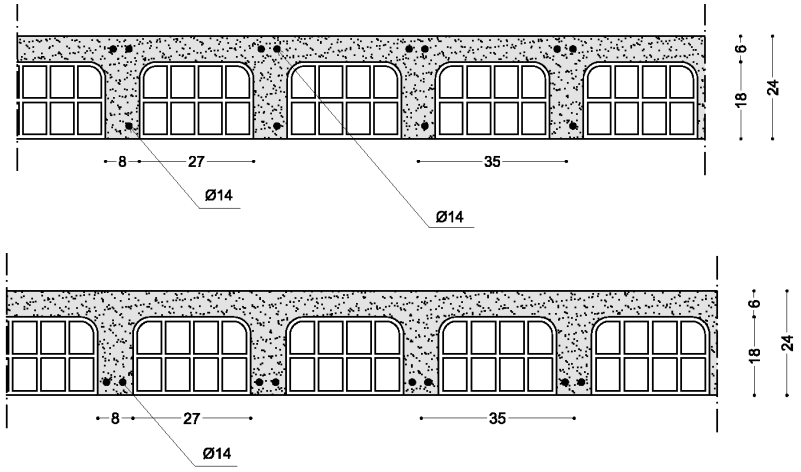
fig. 206: Ingg. Michele De Angelis e Carlo Giordano, *"Progetto del completamento verso il corso Vittorio Emanuele dell'Edificio Scolastico Orientale di Salerno - Dettagli costruttivi delle strutture in cemento armato, Salerno agosto XVI. Solaio con blocchi Provera - L=6,0 m"*, 28 ottobre 1938 (da Archivio Storico e Urbanistico del Comune di Salerno - ASS, fald. 49 - Urb. Storico - Coll. Provv.).



figg. 207: schizzi di progetto inerenti all'ampliamento dell'Edificio Scolastico Orientale e raffiguranti i dettagli costruttivi dei solai con blocchi di cotto *Provera* di portata fino a 6,00 m, redatti dagli ingegneri Michele e Luigi De Angelis (da Archivio privato famiglia De Angelis).



Sezioni di un solaio con blocchi di cotto *Provera* con luce di 7,00 m: all'appoggio (in alto) e in mezzeria (in basso).



Sezioni di un solaio con blocchi di cotto *Provera* con luce di 6,00 m: all'appoggio (in alto) e in mezzeria (in basso).

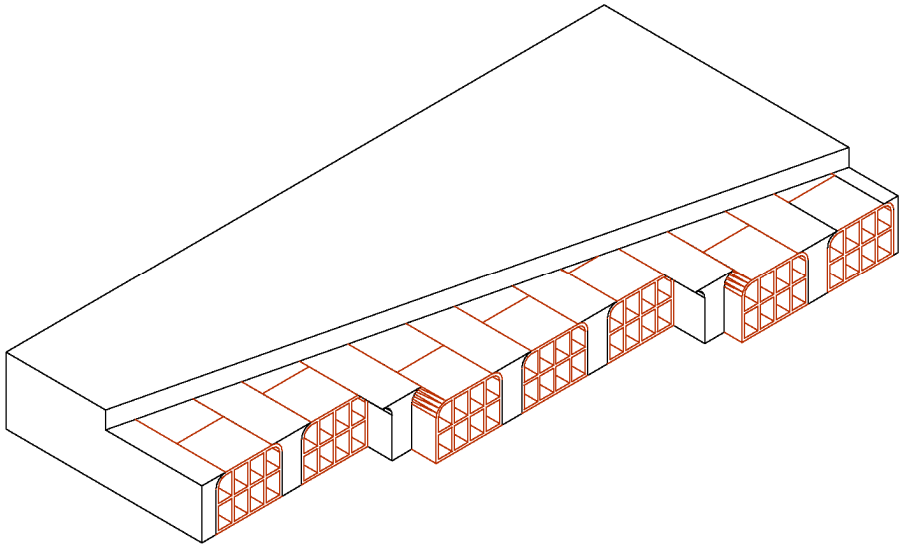


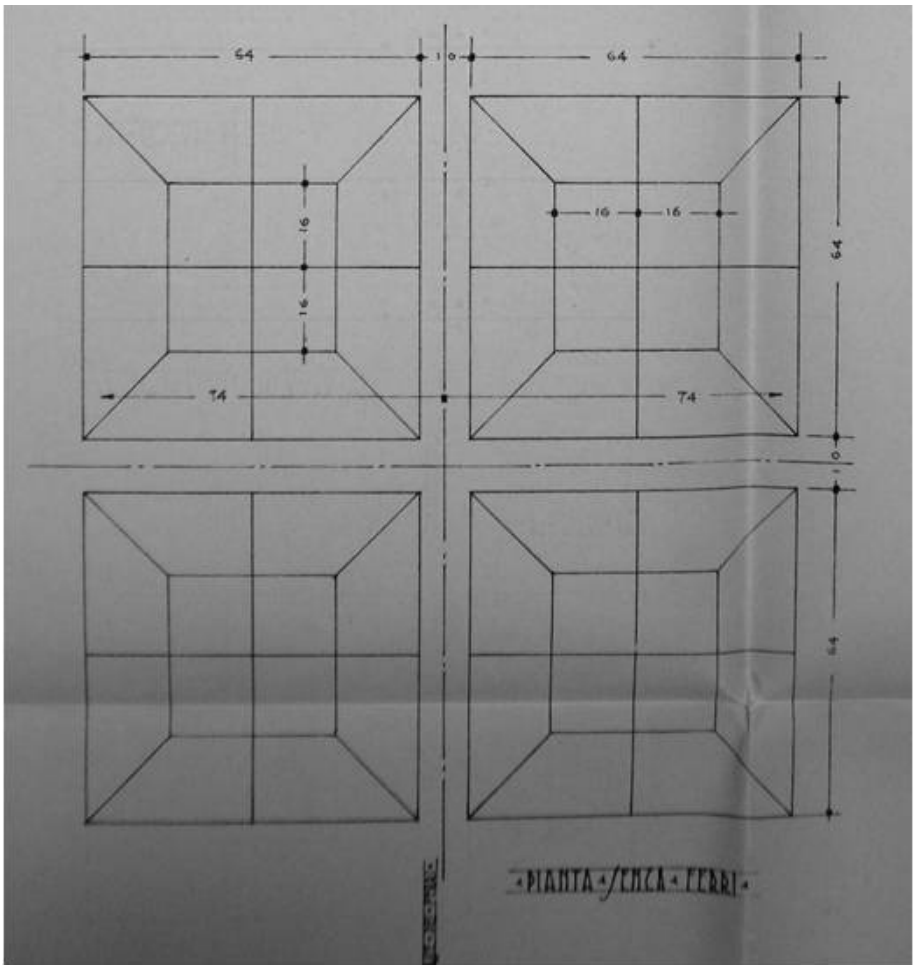
fig. 208 (immagini pp. 400 e 401): restituzioni grafiche di alcune sezioni in base alla luce del solaio (alla pagina precedente) e di una vista assonometrica semplificata (in alto), ottenute mediante l'utilizzo del CAD.

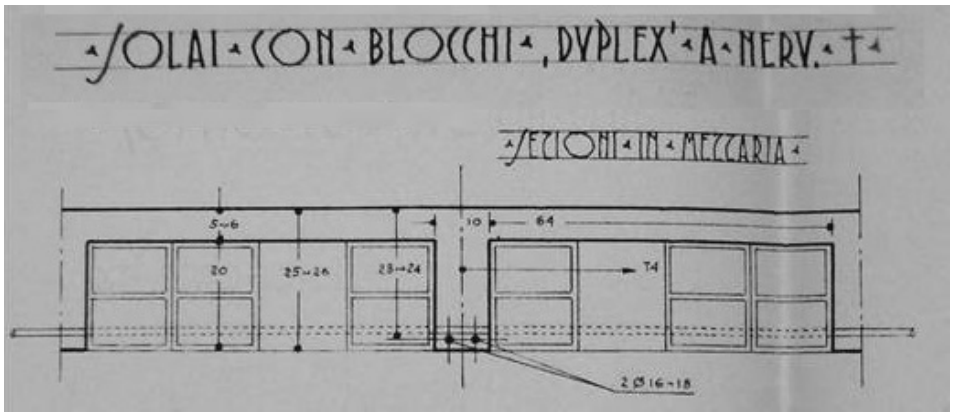
Solai con blocchi Duplex a nervature incrociate

Il solaio a nervature incrociate con blocchi *Duplex* è caratterizzato da forati di altezza pari a 20 cm, retti e tagliati a becco di flauto, che creano cassettoni intervallati da solchi ortogonali formanti i travetti; questi ultimi, di larghezza pari a 10 cm, sono armati secondo quanto riportato nella tabella seguente (tab. 11), tenendo conto delle dimensioni del vano da coprire. La disposizione delle armature, in mezzeria e all'appoggio, risulta essere analoga a quella illustrata per le precedenti tipologie di solai. L'orizzontamento è completato con una soletta di 5-6 cm di spessore, leggermente armata con una rete di ripartizione gettata insieme ai travetti, per un'altezza totale di 25-26 cm (fig. 209).

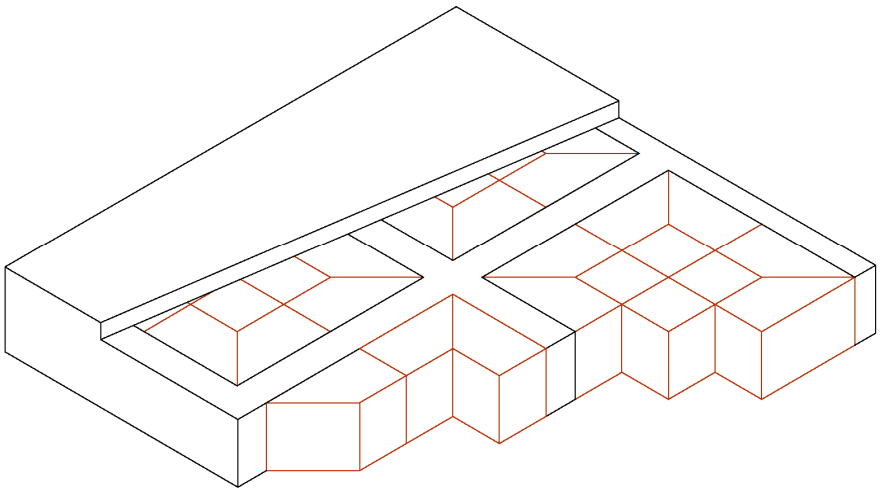
SOLAIO	FERRO diritto	FERRO sagomato	FERRO moncone
8,00x6,60	ø16	ø16	ø16
8,00x6,50	ø16	ø16	ø16
8,00x5,50	ø16	ø16	ø16
10,00x7,40	ø18	ø18	ø18

tab. 11: indicazioni numeriche circa le caratteristiche dei ferri di armatura, fornite dagli stessi progettisti.





figg. 209 (immagini pp. 402 e 403): Ingg. Michele De Angelis e Carlo Giordano, "*Progetto del completamento verso il corso Vittorio Emanuele dell'Edificio Scolastico Orientale di Salerno - Dettagli costruttivi delle strutture in cemento armato, Salerno agosto XVI. Solai con blocchi Duplex a nervature †. Sezioni in mezzaria e pianta senza ferri*", 28 ottobre 1938 (da Archivio Storico e Urbanistico del Comune di Salerno - ASS, fald.49 - Urb. Storico - Coll. Provv.).



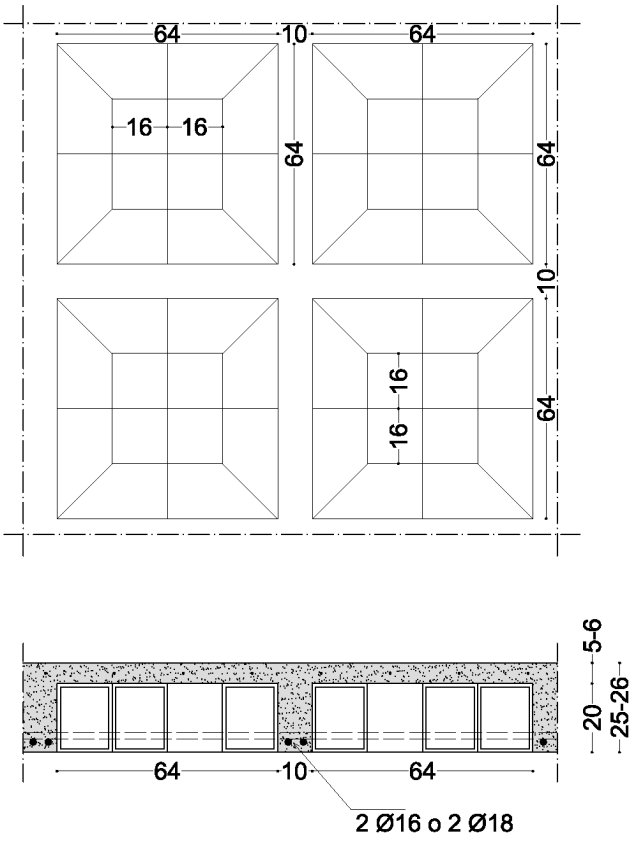


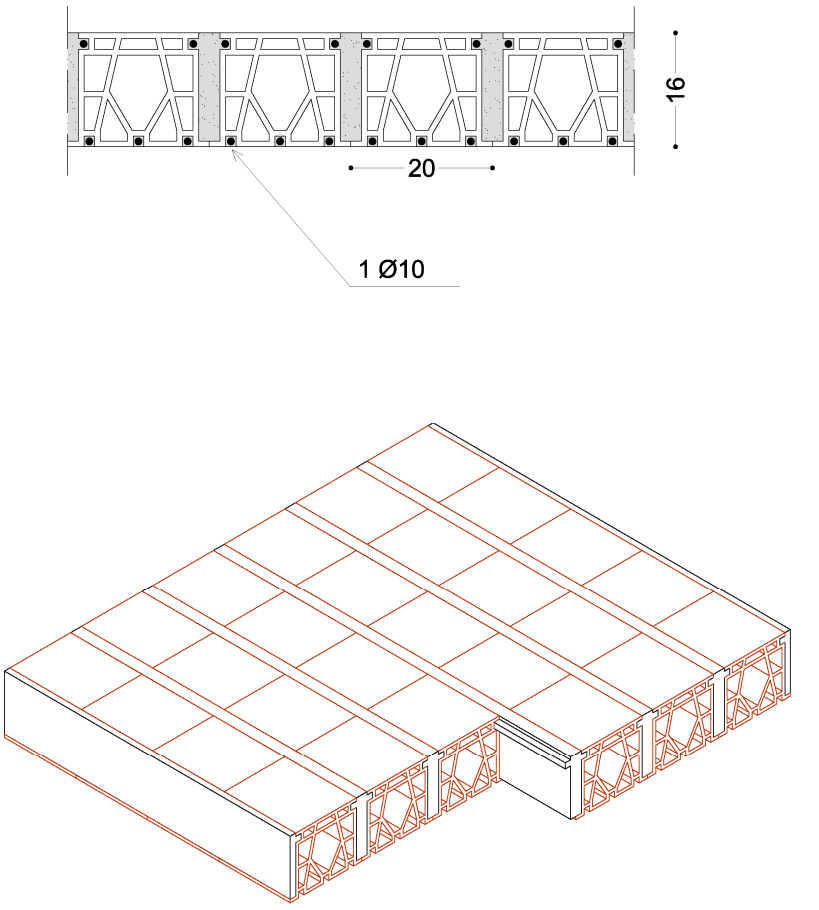
fig. 210 (immagini pp. 403 e 404): restituzioni grafiche di una carpenteria e di una sezione (in alto) e di una vista assonometrica semplificata (alla pagina precedente), ottenute mediante l'utilizzo del CAD.

Solai tipo SAP

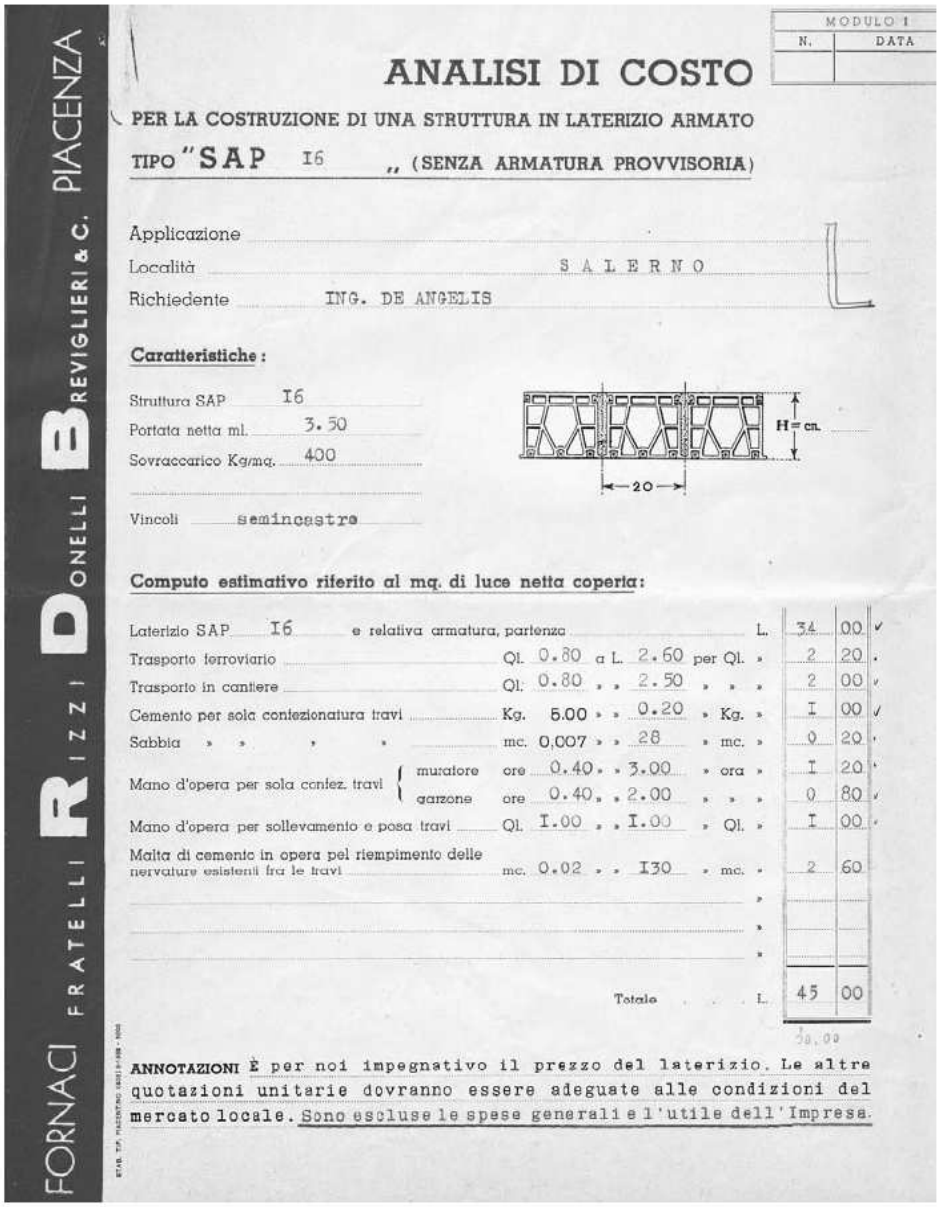
Il solaio *SAP* è costituito da travi in laterizio armato eseguite fuori opera e assemblate successivamente in cantiere, poggiandone le estremità sui muri perimetrali o sugli architravi d'imposta.

Nei solai dell'Edificio Scolastico Orientale i forati utilizzati hanno un'altezza di 16 cm e una larghezza di 20 cm. Essi sono progettati per

una portata netta di 3,50 kg per metro lineare e possono resistere ad un sovraccarico di 400 kg/mq, come si evince dalla scheda tecnica per la commessa delle travi *SAP* alla ditta "RDB", compilata all'epoca dagli ingegneri progettisti (fig. 212).



figg. 211: restituzioni grafiche di una sezione (in alto) e di una vista assonometrica semplificata (in basso), ottenute mediante l'utilizzo del CAD.



FORNACI FRATELLI RIZZI DONELLI BREVIGLIERI & C. PIACENZA

MODULO 1

N.	DATA

ANALISI DI COSTO

PER LA COSTRUZIONE DI UNA STRUTTURA IN LATERIZIO ARMATO

TIPO "SAP I6 „ (SENZA ARMATURA PROVVISORIA)

Applicazione

Località SALERNO

Richiedente ING. DE ANGELIS

Caratteristiche:

Struttura SAP I6

Portata netta ml. 3.50

Sovraccarico Kg/mq. 400

Vincoli semincastro

Computo estimativo riferito al mq. di luce netta coperta:

Laterizio SAP I6 e relativa armatura, partenza					L.	34	00	✓
Trasporto ferroviario	Ql.	0.80	a L.	2.60	per Ql.	2	20	.
Trasporto in cantiere	Ql.	0.80	„	2.50	„ „	2	00	✓
Cemento per sola confezionatura travi	Kg.	5.00	„	0.20	„ Kg.	1	00	✓
Sabbia „ „ „ „	mc.	0,007	„	28	„ mc.	0	20	.
Mano d'opera per sola confez. travi muratore	ore	0.40	„	3.00	„ ora	1	20	.
Mano d'opera per sola confez. travi garzone	ore	0.40	„	2.00	„ „	0	80	✓
Mano d'opera per sollevamento e posa travi	Ql.	1.00	„	1.00	„ Ql.	1	00	.
Malta di cemento in opera pel riempimento delle nervature esistenti fra le travi	mc.	0.02	„	130	„ mc.	2	60	
					„			
					„			
					„			
Totale					L.	45	00	

ANNOTAZIONI È per noi impegnativo il prezzo del laterizio. Le altre quotazioni unitarie dovranno essere adeguate alle condizioni del mercato locale. Sono escluse le spese generali e l'utile dell'Impresa.

fig. 212: scheda tecnica per la commessa delle travi *SAP* alla ditta "RDB" (da Archivio privato famiglia De Angelis).

Solai tipo Stimip

Il solaio *Stimip* a nervature parallele utilizzato per la costruzione dell'Edificio Scolastico Orientale venne segnalato nel 1936, insieme al *SAP*, dal Ministero dei Lavori Pubblici come sistema da preferire nella progettazione delle opere edili. Il R.D. n. 2229 del 16 novembre 1939 riduceva a quattro centimetri lo spessore della soletta di collegamento e prevedeva la possibilità di usare solai misti senza soletta, purché i laterizi presentassero rinforzi atti a sostituire la soletta di conglomerato: lo *Stimip* rispondeva perfettamente a tale requisito, difatti presentava spessori di solette molto esigui o spesso ne era totalmente privo.

Dalla scheda tecnica, compilata dai progettisti per la commessa di questi solai all'industria produttrice "RDB", si evince che un primo tipo di solaio *Stimip* a camera d'aria, utilizzato per la costruzione dell'Edificio Scolastico Orientale, presenta un'altezza totale di 22 cm con nervature a forma di T, di base pari a 8 cm e interasse di 58 cm.

Le armature trovano collocazione nella parte inferiore dei travetti e sono caratterizzate da due ferri, un ø18 (rettilineo) e un ø20 (sagomato). Il solaio presenta un peso proprio di 167 kg/mq ed è progettato per resistere ad un sovraccarico di 400 kg/mq.

Una seconda tipologia di solaio *Stimip*, utilizzata nella costruzione dell'edificio in esame, si presenta sostanzialmente analoga alla precedente, fatta eccezione per l'altezza del solaio che è pari a 19 cm (anziché 22 cm), per la base e l'interasse delle nervature rispettivamente di 6 e 50 cm (anziché 8 e 58 cm) e per la tipologia di armatura impiegata costituita da 2 ø14.

I criteri utilizzati per il dimensionamento possono essere dedotti dai fogli di commessa, nei quali possono trovarsi anche informazioni inerenti all'entità delle sollecitazioni ipotizzate per questa tipologia di orizzontamento (figg. 213).

FORNACI FRATELLI RIZZI DONELLI BREVIGLIERI & C. PIACENZA

MODULO H — N. — DATA

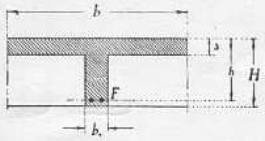
ING. DE ANGELIS — SALERNO

VERIFICA DI STABILITÀ DEL SOLAIO

STIMIP A 22 **a nervature longitudinali**

CON SOLETTA IN LATERIZIO CONSIDERANDO LA TRAVE A T COMPRESA FRA LE MEZZERIE DI DUE SOLETTE CONSECUTIVE, ED m = 10

(TIPO SEGNALATO SUL BOLLETTINO UFFICIALE MINISTERO LL. PP. N. 21-1936)



CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

H = cm. 22 — b = cm. 58

h = cm. 20 — b_0 = cm. 8

s = cm. 5 — F = cmq. 5.68 (1 ø 18 – 1 ø 20)

Distanza dell'asse neutro dal bordo superiore $x = \frac{10\,h\,F + \frac{b\,s^2}{2}}{10\,F + b\,s}$ = cm. 5.36

Distanza fra i centri di compressione e di tensione $j = h - \frac{s}{2} + \frac{s^2}{6\,(2\,x - s)}$ = cm. 18.22

ANALISI DEI CARICHI

Luce netta l = m 7.00

Peso proprio del Solaio STIMIP A 22 ..... Kg.mq. 167

..... » .....

Sovraccarico uniformemente distribuito . . . . . » 400

Carico totale riferito al mq. . . . . p = Kg.mq. 567

Carico totale corrispondente ad una nervatura . . . . (p l b =) Q = » 2302

Condizioni di vincolo: semincastro

MOMENTO FLETTENTE MASSIMO

$M = \frac{Q\,l}{12}\,1{,}05 = \frac{2302 \times 700}{12}\,1{,}05$ = Kg.cm. I40997

SOLLECITAZIONI UNITARIE MASSIME

Compressione σ_c Kg.cmq. $= \frac{M}{\frac{10\,F}{x}\,j\,(h-x)} = \frac{I40997}{2826} =$ 49.90

Tensione σ_t Kg.cmq. $= \frac{M}{F\,j} = \frac{I40997}{I03.50} =$ I362

Scorrimento t_0 Kg.cmq. $= \frac{Q}{2\,b_0\,j} =$ ..... $=$ .....

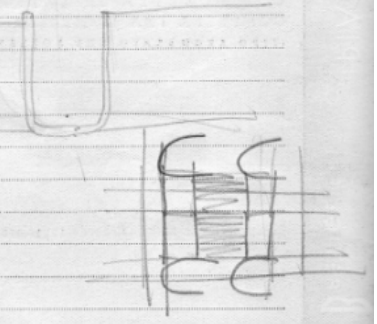
STAFFE PER OGNI METÀ TRAVE

Trascurando la resistenza del calcestruzzo allo scorrimento, e posto il coefficente di sicurezza del ferro al taglio K_t pari a ..... Kg.cmq, essendo l'area totale dei ferri piegati a 45° (.... ø ....) Ω = cmq. .....

il N° delle staffe a 2 rami ø ..... mm. (di area ω ..... cmq.) per ogni metà trave dev'essere :

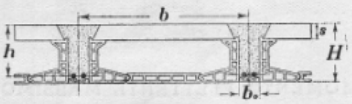
$N \geqq \left(\frac{t_0\,b_0\,l}{4\,K_t} - \sqrt{2}\,\Omega \right) \frac{1}{2\,\omega} \simeq$ .....

Osservazioni: .....

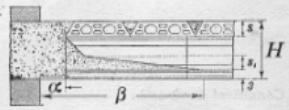


DATI COSTRUTTIVI α = ... cm. β = cm. ..... s_1 = cm. .....

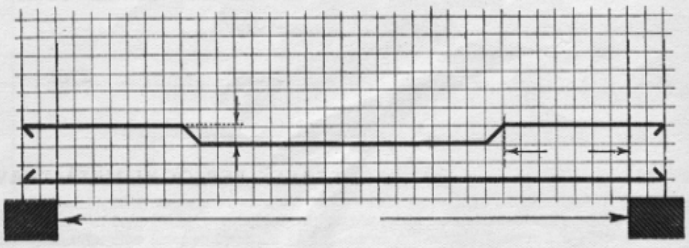
Sezione trasversale di mezzeria



Sezione longitudinale d'incastro



SCHEMA D'ARMATURA



STAFFE - In ogni nervatura si disporranno N. ..... staffe ø ..... a due rami.

STAB. TIP. PIACENTINO

FORNACI FRATELLI RIZZI DONELLI BREVIGLIERI & C. PIACENZA

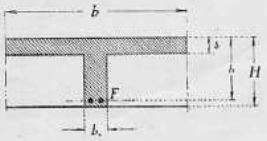
MODULO C — N. — DATA

ING. DE ANGELIS — SALERNO

VERIFICA DI STABILITÀ DEL SOLAIO

STIMIP B I9 — A NERVATURE ~~LONGITUDINALI~~ INCROCIATE

CON SOLETTA IN LATERIZIO CONSIDERANDO LA TRAVE A T COMPRESA FRA LE MEZZERIE DI DUE SOLETTE CONSECUTIVE, ED m = 10



CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

H = cm. I9 — b = cm. 57 (x 50)

h = cm. I6 — b_0 = cm. 7 (x 6)

s = cm. 5 — F = cmq. I.92 (1 ø I0 - 1 øI2)

Distanza dell'asse neutro dal bordo superiore $x = \frac{m F}{b}\left\{-1+\sqrt{1+\frac{b \cdot h}{5 F}}\right\}$ = cm. 2.96 < s

Distanza fra i centri di compressione e di tensione $3 = h - \frac{x}{3}$ = cm. I5.0I

Luce netta l = m 8.00 (x 7.00)

ANALISI DEI CARICHI

Peso proprio del Solaio STIMIP B I9		Kg.mq. I95
Sovraccarico uniformemente distribuito		" 405
Carico totale riferito al mq.	p	Kg.mq. 600
Carico totale corrispondente ad una nervatura	(p l b =) Q	"

Condizioni di vincolo: semincastro

MOMENTO FLETTENTE MASSIMO (metodo DANUSSO)

$M = \frac{Q\,l}{59.70} \cdot 1.05 = \frac{600 \times 0.57 \times 8^2}{59.70} \cdot 1.05$ = Kg.cm. 38300

SOLLECITAZIONI UNITARIE MASSIME

Compressione σ_c Kg.cmq. $= \frac{2 \cdot M}{b \cdot x \cdot 3} = \frac{2 \times 38300}{2530} =$ 30.30

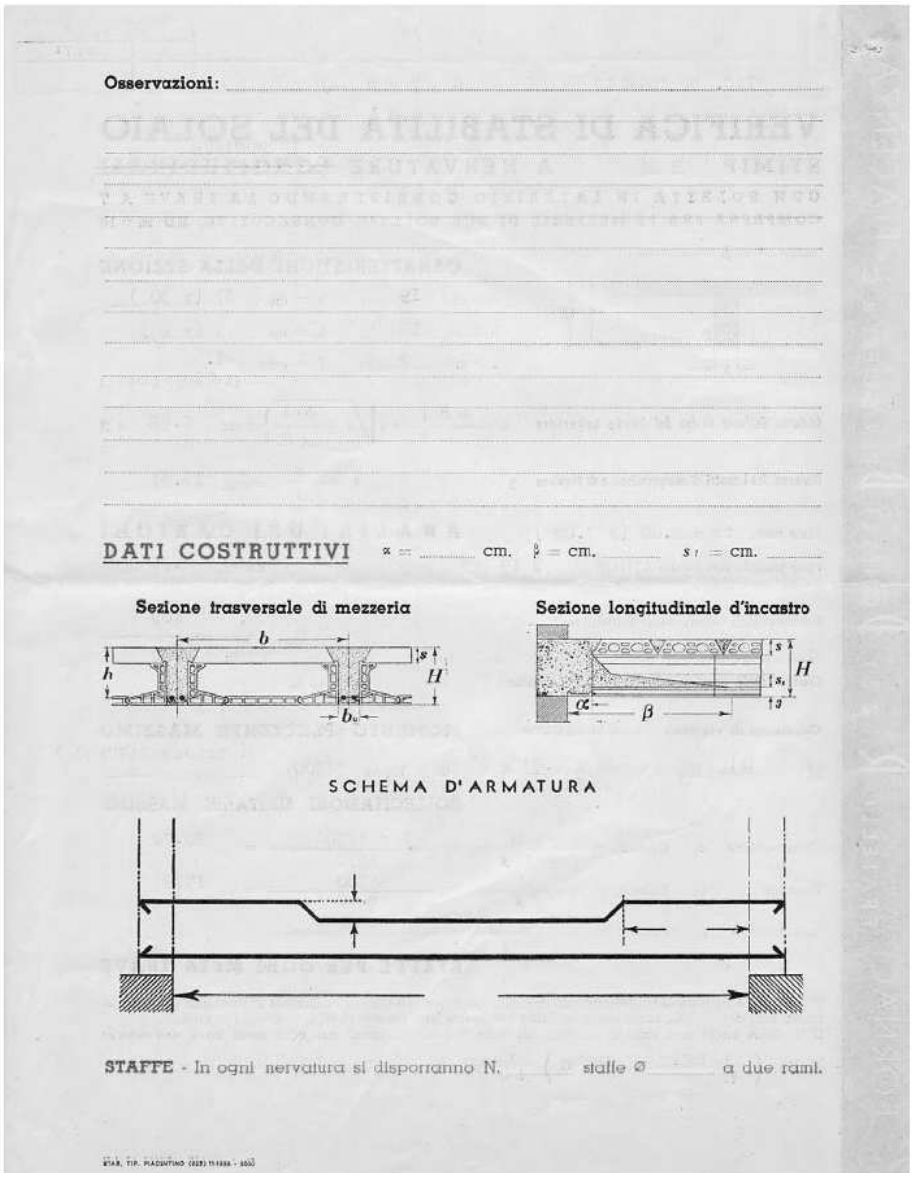
Tensione σ_i Kg.cmq. $= \frac{M}{F\,3} = \frac{38300}{28.80} =$ I328

Scorrimento t_o Kg.cmq. $= \frac{Q}{2\,b_o\,3} =$ —

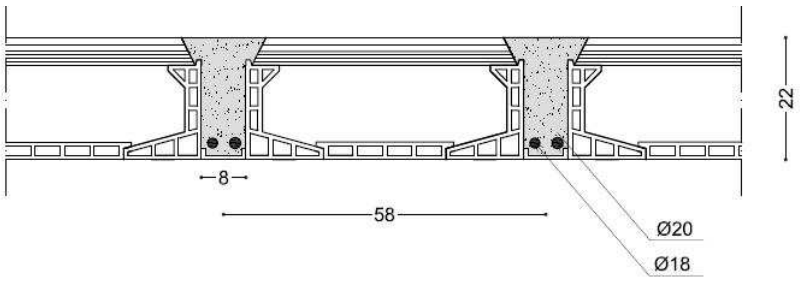
STAFFE PER OGNI METÀ TRAVE

Trascurando la resistenza del calcestruzzo allo scorrimento, e posto il coefficente di sicurezza del ferro al taglio pari a ____ Kg.cmq. essendo l'area totale dei ferri piegati a 45° (ø) = cmq. il N° delle staffe a 2 rami ø ____ mm. (di area ω ____ cmq.) per ogni metà trave dev'essere:

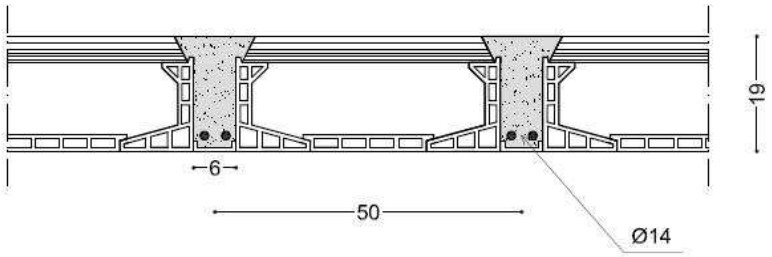
$N \cong \left(\frac{t_o\,b_o\,l}{4.} - \sqrt{2}\,\Omega\right)\frac{1}{2\,\omega} =$



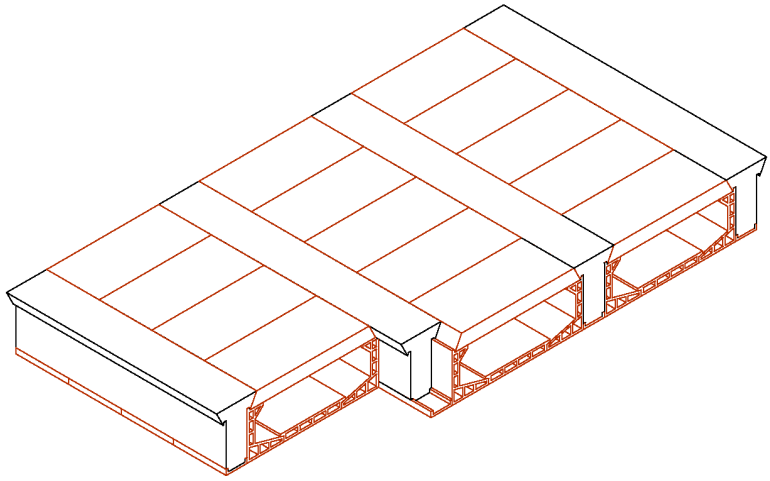
figg. 213 (immagini pp. 409, 410, 411 e 412): schede tecniche per la commessa delle due diverse tipologie di solaio *Stimip*, impiegate nella costruzione dell'edificio, con sezioni longitudinali, trasversali e distinta delle armature (da Archivio privato famiglia De Angelis).



Sezione in mezzeria di un solaio tipo *Stimip* con altezza di 22 cm.



Sezione in mezzeria di un solaio tipo *Stimip* con altezza di 19 cm.



figg. 214: restituzioni grafiche di due sezioni in base alla tipologia di solaio e di una vista assonometrica semplificata, ottenute mediante l'utilizzo del CAD.

Nonostante il grande dettaglio che i progettisti riservarono ai particolari costruttivi, poco veniva detto, però, sulla qualità dei materiali, infatti, da una lettura diretta di alcune delle voci presenti nel computo metrico e nel capitolato speciale d'appalto delle scuole Orientali, l'unica informazione concernente i materiali utilizzati si legge alla voce n. 29 "*il calcestruzzo risulterà dall'intimo impasto di due parti di pietrisco calcareo duro e di una parte di malta idraulica. Dette proporzioni, però, non sono tassative ma dipendono anche dalle dimensioni del brecciame. Quindi nel caso che dette proporzioni dessero calcestruzzo magro, il quantitativo vero di malta soccorrevole sarà uguale al quantitativo di acqua gli interstizi tra le pietre possono contenere. Gli impasti non potranno essere maggiori di un mc. Il pietrisco da impiegare deve essere di vario volume: il minor diametro delle pietre non deve essere minore di 3 cm, il maggiore non deve superare gli 8 cm. La quantità di materiale piccolo deve essere stabilita in proporzioni tali da non superare quella strettamente necessaria a colmare i vuoti tra le pietre. Il calcestruzzo verrà impastato su apposite tavole e verrà calato a spalle nei cavi*"[187].

[187] Ingg. Michele De Angelis e Carlo Giordano, "*Progetto dei nuovi edifizi scolastici per la città di Salerno - Relazione*", giugno 1908 (da Biblioteca Provinciale di Salerno - DIV. SAL. MISC. Scaf. R.4 C 7/6).

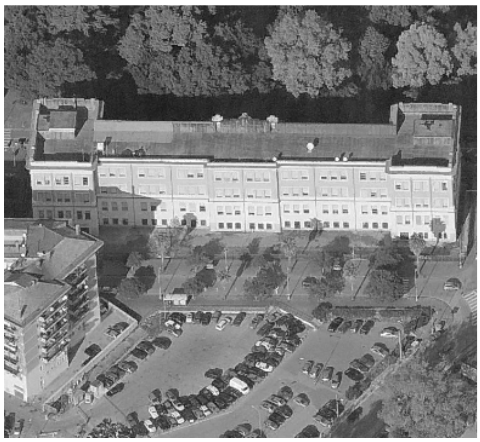
B.2 Edificio Scolastico Occidentale "Gennaro Barra" (corridoi)

UBICAZIONE E IDENTIFICAZIONE

Via Lungomare Trieste

Anno di costruzione: 1921-1927

Progettisti: Ingg. Michele De Angelis e Carlo Giordano



CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E TIPOLOGICHE

Dall'analisi della relazione di progetto, del capitolato speciale di appalto e del computo metrico a corredo del progetto del 1914 (la cui copiosa documentazione è stata reperita presso l'archivio privato degli eredi dell'ingegnere De Angelis e presso l'Archivio Storico del Comune di Salerno[188]), è possibile evincere i caratteri costruttivi delle principali strutture previste per l'Edificio Scolastico Occidentale. È interessante rilevare come, seppur a distanza di soli dieci anni dall'inizio dei lavori

[188] Tesi di laurea di Dolgetta P., *I nuovi edifici scolastici a Salerno tra le due guerre: la qualità del progetto e l'evoluzione dei modi di costruire*, cit.

dell'edificio Orientale, le tecnologie costruttive previste fossero ancora quelle proprie della tradizione campana; le murature portanti, infatti, furono realizzate con materiali provenienti dalle cave di località prossime al cantiere, ovvero Baronissi, Roccapiemonte e Pontefratte[189], gli stessi utilizzati da sempre per tutti gli edifici storici di Salerno, sia per la loro grande disponibilità, e quindi per il costo contenuto, che per la familiarità che i tecnici salernitani avevano nel progettare secondo queste tecniche.
Dal confronto con quanto si andava realizzando nel resto d'Italia, emerge, ancora una volta, la netta differenza di tecnologie adottate a Salerno rispetto a quelle impiegate nell'Italia settentrionale. Le uniche strutture che potremmo definire al passo con i tempi vennero introdotte perlopiù in corso d'opera e riguardarono soprattutto gli orizzontamenti, con un uso diffuso e vario delle opere in calcestruzzo armato.

CARATTERISTICHE DEGLI ORIZZONTAMENTI

Nel progetto iniziale dell'Edificio Scolastico Occidentale per la realizzazione dei solai, posti a copertura dei corridoi, era previsto ancora l'impiego di tecniche proprie della tradizione campana che prevedevano l'utilizzo di travi in ferro e voltine in spaccatelle di tufo; fu solo con le variazioni apportate in corso d'opera che si ebbe l'introduzione dei più moderni solai piani misti in calcestruzzo armato e laterizi, per le migliori caratteristiche di isolamento.

[189] Ingg. Michele De Angelis e Carlo Giordano, *Progetto dei nuovi edifizi scolastici per la città di Salerno*, Relazione, giugno 1908 (da Biblioteca Provinciale di Salerno - DIV. SAL. MISC. Scaf. R.4 C 7/6).

I corridoi dell'Edificio Scolastico Occidentale sono caratterizzati, infatti, da solai misti in conglomerato cementizio armato e laterizi a quattro fori del tipo *Cannovale e Dellepiane*.

Dagli schizzi originali, a firma dei progettisti e dell'impresa Rocco Angrisani per presa visione, si evince che i laterizi utilizzati in questa tipologia di solaio presentano una base di circa 24 cm e un'altezza di 14 cm e sono dotati di alette laterali; in cantiere, essi venivano posizionati su di un tavolato, cui seguiva il getto dei travetti e della soletta superiore, di 5 cm di spessore, per un solaio completo di altezza pari a 19 cm (fig. 215).

L'armatura dei travetti, per le sezioni di mezzeria, è costituita da due ferri di diametro ø12 e ø10, collocati nella parte inferiore della nervatura, su due livelli differenti, e avvolti da una staffatura ad uncino formata da un ferro ø6 (fig. 216).

Per la sezione all'appoggio, al solito, i travetti sono armati sia inferiormente che superiormente per far fronte all'inversione del momento flettente (fig. 217).

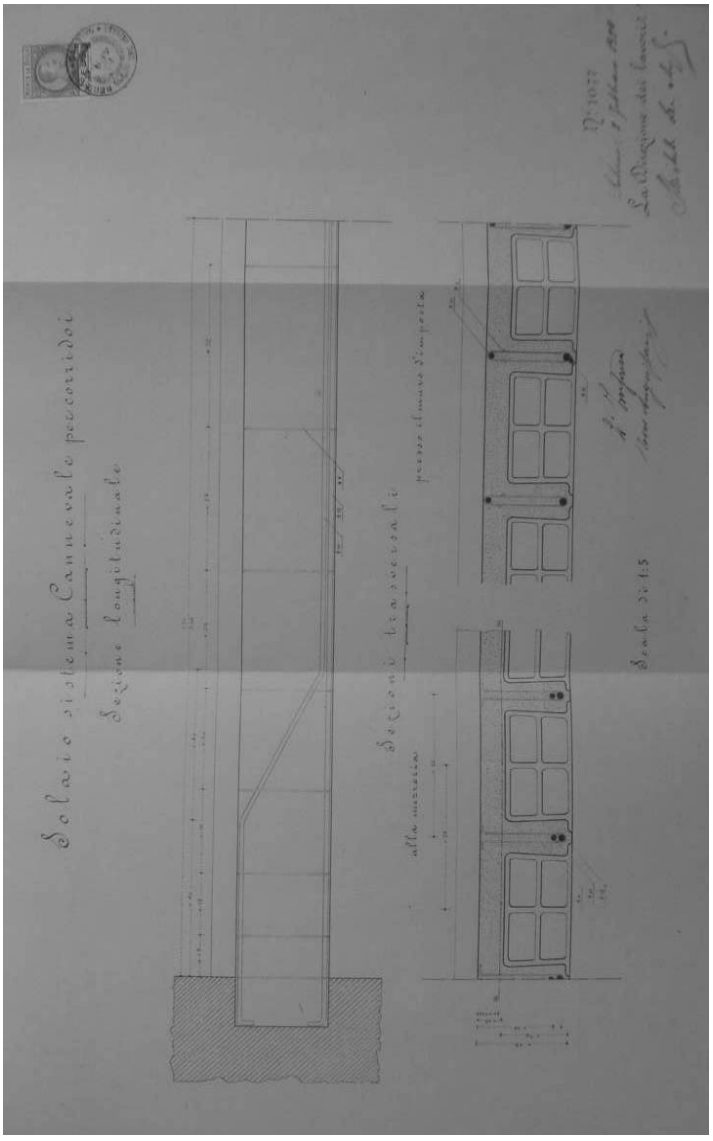


fig. 215: Ingg. Michele De Angelis e Carlo Giordano, "*Solaio sistema Cannevale per corridoi, sezione longitudinale e sezioni trasversali alla mezzeria e presso il muro d'imposta"*, scala 1:5, 7 febbraio 1926 (da Archivio Storico del Comune di Salerno - ASS. X - XIII - 223(1)).

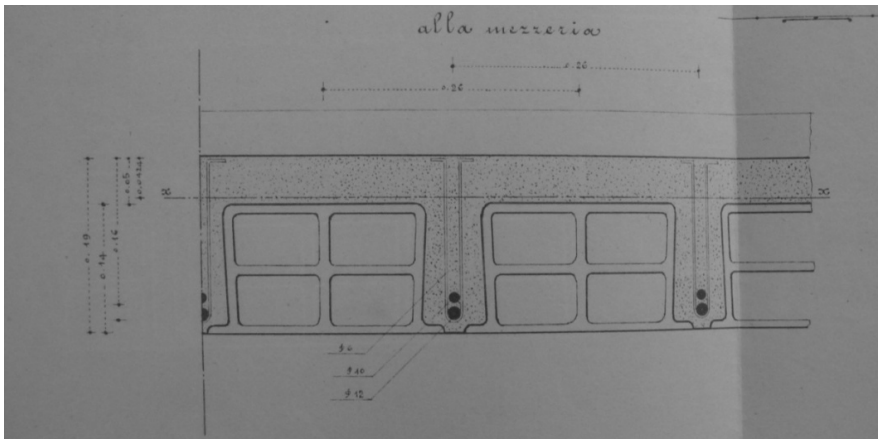


fig. 216: Ingg. Michele De Angelis e Carlo Giordano, "*Solaio sistema Cannevale per corridoi, sezione longitudinale e sezioni trasversali alla mezzeria e presso il muro d'imposta"*, scala 1:5, 7 febbraio 1926. Particolare del solaio nella sezione di mezzeria (da Archivio Storico del Comune di Salerno - ASS. X - XIII - 223(1)).

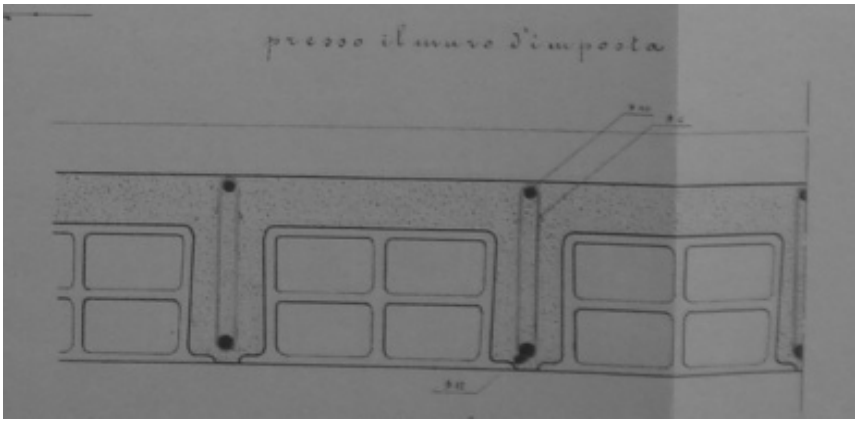
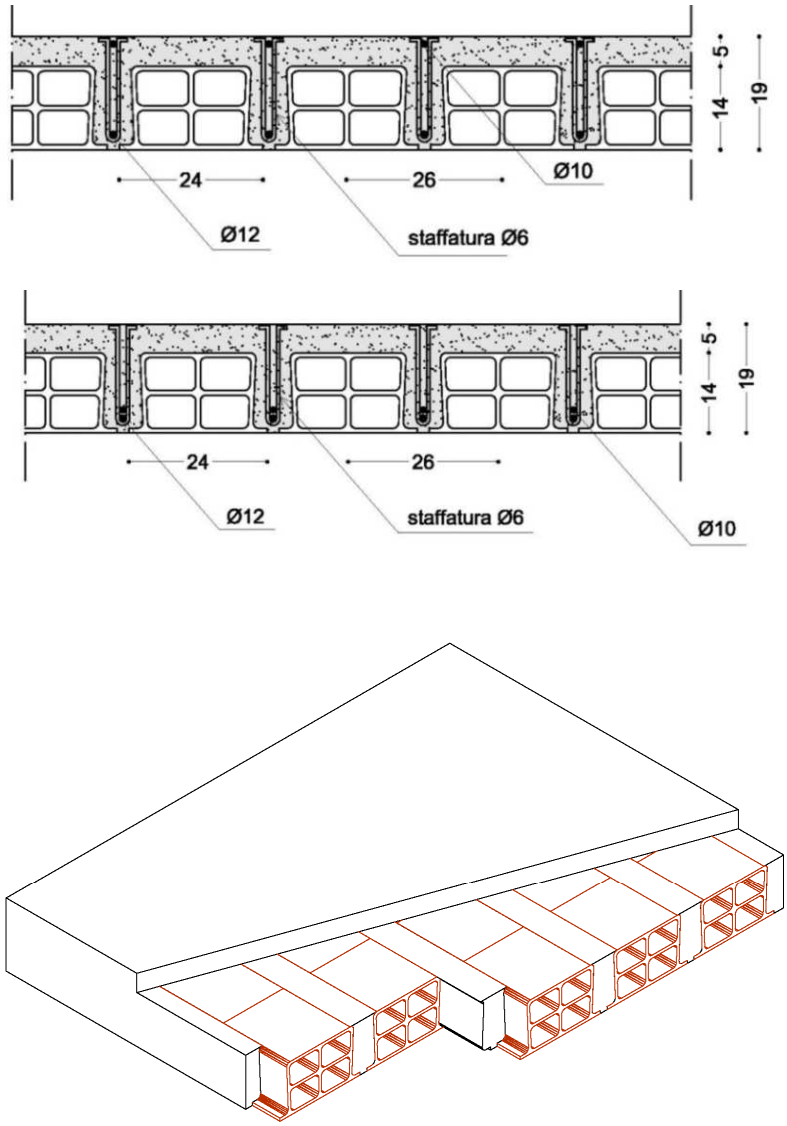


fig. 217: Ingg. Michele De Angelis e Carlo Giordano, "*Solaio sistema Cannevale per corridoi, sezione longitudinale e sezioni trasversali alla mezzeria e presso il muro d'imposta"*, scala 1:5, 7 febbraio 1926. Particolare del solaio nei pressi del muro d'imposta (da Archivio Storico del Comune di Salerno - ASS. X - XIII - 223(1)).



figg. 218: restituzioni grafiche di due sezioni (all'appoggio e in mezzeria) e di una vista assonometrica semplificata, ottenute mediante l'utilizzo del CAD.

Circa i materiali impiegati dal capitolato speciale di appalto si evince che "*il calcestruzzo idraulico risulterà dall'impasto di pietrisco calcareo dimazzato e malta idraulica o di terza specie. Il volume di malta sarà uguale al volume di acqua che può entrare tra i vari elementi del pietrisco, quando questo è contenuto in un qualsiasi recipiente. Il pietrisco dovrà essere dimazzato, duro e lavato qualora la Direzione dei Lavori lo richiedesse: dovrà presentare dimensioni varie e le pietre più piccole non dovranno passare attraverso anelli della dimensione di 3 cm, come le pietre più grosse dovranno passare attraverso anelli della dimensione massima di 8 cm. La quantità di materiali piccoli non dovrà eccedere quella strettamente necessaria a colmare i vuoti tra le pietre grosse. Il calcestruzzo sarà confezionato su appositi piani di tavole o mattoni. Il calcestruzzo sarà calato a spalla nei cavi e disposto per strati orizzontali dell'altezza massima di 30 cm, opportunamente pigiati; il calcestruzzo in acqua sarà calato con apposite cassette chiuse, da aprirsi tramite un meccanismo sul luogo dove il calcestruzzo dovrà essere collocato, per modo che questo non sia dilavato dall'acqua che sarà tenuta costantemente tranquilla nelle manovre di immissione ed estrazione delle cassette.*

[…] *Il calcestruzzo di cemento* […] *presenterà le seguenti dosature:*

I. Calcestruzzo magro, che sarà costituito da 300 kg di cemento tipo Portland, 0,4 mc di sabbia e 0,8 mc di ghiaietta;

II. Calcestruzzo grasso, che sarà formato da 400 kg di cemento tipo Portland, 0,333 mc di sabbia e 0,667 mc di ghiaietta.

Queste dosature saranno, a seconda delle indicazioni, usate in tutti i lavori in getto, sia che si tratti di calcestruzzo semplice che di calcestruzzo armato. Per il getto del calcestruzzo, la pigiatura, la stagionatura, per il disarmo e per le prove, saranno seguite le migliori norme indicate nei trattati speciali in materia e i regolamenti statali vigenti"[190].

[190] Ingg. Carlo Giordano e Michele De Angelis, "*Progetto dell'Edifizio Scolastico Occidentale per la città di Salerno - Computo metrico ed estimativo"*, 23 marzo 1916 (da Biblioteca Provinciale Salerno).

B.3 Liceo classico "Torquato Tasso"

UBICAZIONE E IDENTIFICAZIONE

Piazza San Francesco, 1

Anno di costruzione: 1928-1932

Progettista: Ing. Michele De Angelis

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E TIPOLOGICHE

Si tratta di un edificio a corte centrale. Alla originaria struttura realizzata interamente in muratura, venne pensata in alternativa una struttura con "*ossatura in gabbia di cemento armato con i pilastri, di 0,50 m x 0,30 m tutti collegati con travi portanti, che partivano da una trave di imbasamento poggiata su un blocco di fondazione in calcestruzzo idraulico*"[191].

[191] Municipio di Salerno - Ufficio dei lavori Pubblici, ing. Camillo Guerra, *"Progetto di variante alla costruzione del Liceo - Ginnasio di Salerno - Relazione"*, 19 giugno 1930 - A/VIII. Si tratta di una relazione tecnica allegata al progetto di variante nella quale l'ing. Guerra, in qualità di Ingegnere Capo del Comune di Salerno, fa una descrizione dettagliata delle varianti da apportare al progetto originario (da Archivio

Le chiusure sono realizzate con muratura di travertino, muratura in tufo giallo, muratura in mattoni e muratura calcarea.

Nella medesima relazione viene, inoltre, evidenziata la convenienza di realizzare le strutture portanti in calcestruzzo armato piuttosto che con le tradizionali metodologie " […] *Dai computi istituiti in base ai prezzi di capitolato si desume che mentre per eseguire tutte le strutture murarie dalla fondazione in su occorreva una spesa di L. 1.698.393,45 centesimi, per la esecuzione di tutta l'ingabbiatura di cemento armato e delle murature di tompagno che sono previste in tufo la spesa è di L. 1.636. 893,71 di modo che con la variante che si presenta si realizzerebbe un'economia di 1,698.393,45- 1,636. 893,71= L. 61.499,74.* […]"[192].

CARATTERISTICHE DEGLI ORIZZONTAMENTI

Come si evince dalle tavole di progetto e dal computo metrico estimativo, allegati al progetto di variante, in questo edificio si riscontrano tre tipologie differenti di orizzontamenti in conglomerato cementizio armato:

- solai con blocchi *Zeni*;
- solai tipo *Cannovale e Dellepiane*;
- solai a soletta e nervature armate.

Storico e Urbanistico del Comune di Salerno - fasc. 54 Urb. Storico X XIII 226, allegato n. 5 "Atti recanti alla costruzione del nuovo Liceo T. Tasso e perizia suppletiva finale").

[192] *Idem.*

Della tipologia con blocchi *Zeni* e del tipo *Cannovale e Dellepiane* sappiamo con certezza solo che essi sono stati impiegati per la realizzazione dei solai di copertura delle aule e non vi sono altri dati, di archivio o riscontrabili *in loco*, che possano fornirci dettagli circa le caratteristiche tecnologico-costruttive.

I solai a soletta e nervature armate, al contrario, sono invece ampiamente documentati in una ricchissima tavola di progetto (figg. 219), redatta dall'ingegnere Michele De Angelis[193], nella quale sono descritti in dettaglio le caratteristiche, con particolare riferimento al solaio di copertura dell'aula magna.

Tale tipologia di orizzontamento, a prima vista, sembrerebbe costituita da semplici orizzontamenti monolitici a nervature incrociate. Si riscontra, infatti, la presenza di nervature principali (che possono considerarsi vere e proprie travi) a sezione rettangolare, di altezza pari a 90 cm e larghezza di 30 cm, armate inferiormente con 11 ferri ø26, disposti su tre livelli tra loro sfalsati, per la sezione di mezzeria, da 7 ferri ø26 nella parte inferiore e 5 ø26 in quella superiore, nella sezione all'appoggio, per far fronte all'inversione del momento.

Le nervature secondarie, invece, presentano un'altezza di 60 cm per una larghezza di 25 cm e sono armate in mezzeria con 6 ø16, disposti nella parte inferiore, e all'appoggio con altrettanti ferri ø16, cui se ne aggiungono altri 3 nella parte superiore.

[193] Ing. Michele De Angelis, *"Progetto del liceo ginnasio di Salerno - Solai dell'aula maggiore in cemento armato"*, scala 1:10 (presso l'Ordine degli Ingegneri della provincia di Salerno - stanza Presidente).

Nelle sezioni d'appoggio (sia in prossimità dei cordoli perimetrali che dei nodi intermedi) si riscontra, per entrambe le tipologie di nervature, la presenza di una staffatura ad uncino realizzata mediante l'utilizzo di ferri ø16 (figg. 219), oltre che di una sagomatura delle armature longitudinali a 45°.

La particolarità di questo orizzontamento, che possiamo definire a soletta collaborante e travi emergenti, è che i campi di solaio individuati dalle nervature, non sono costituiti al solito da solette piene in conglomerato cementizio armato, ma sono caratterizzati da veri e propri solai latero-cementizi costruiti secondo il sistema *Cannovale e Dellepiane*.

Questi ultimi presentano laterizi di altezza pari a 14 cm, sormontati da una soletta in calcestruzzo armato di 6 cm, per un'altezza totale di 20 cm. I travetti, larghi 5 cm, sono armati, in prossimità della sezione di mezzeria, con 2 ferri ø10 nella parte inferiore, disposti su due livelli differenti (anche se molto ravvicinati), e con 2 ferri ø10, disposti uno superiormente e uno inferiormente, per le sezioni in prossimità dell'appoggio (figg. 219).

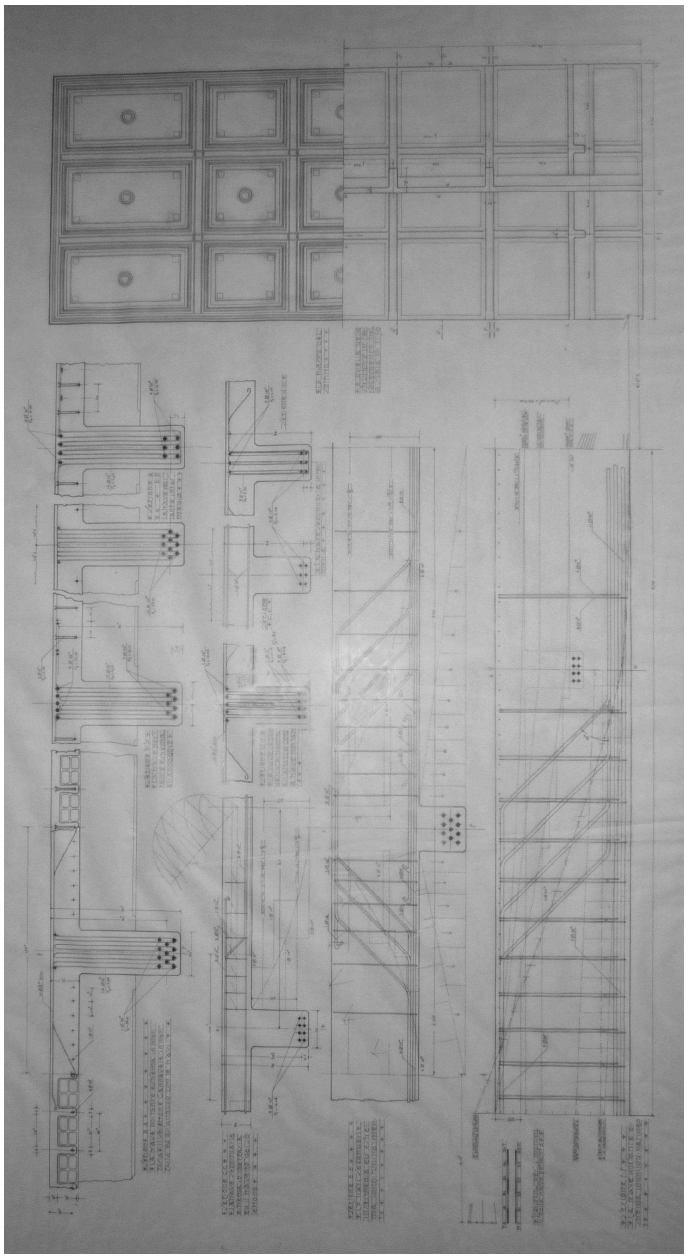
Analogo a quello dell'aula magna, fatta eccezione per un apparato decorativo che si presenta meno ricco, risulta essere il solaio posto a copertura dell'atrio di ingresso principale all'edificio (fig. 221).

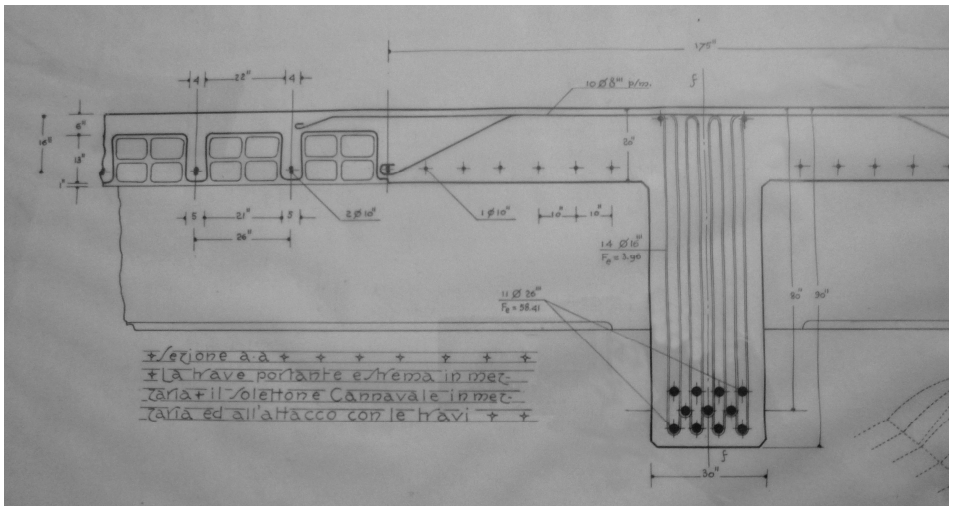
Sempre dai documenti d'archivio, si evince che all'interno dell'edificio sono stati anche realizzati per ogni piano cordoli in conglomerato cementizio armato all'imposta dei solai, non previsti nel progetto originario, ma resi indispensabili da una disposizione statale e

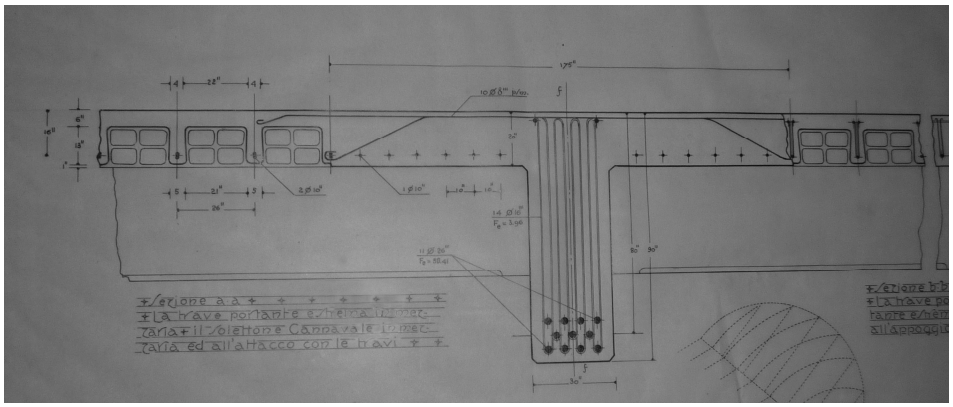
consigliati dopo il terremoto del 1929 al fine di garantire un perfetto ancoraggio dei solai alla muratura[194].

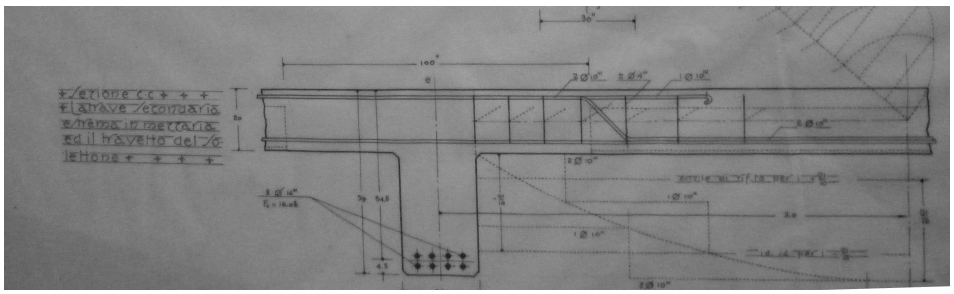
Da alcuni libretti delle misure si evincono, infine, pochissime informazioni sui materiali: "*impiego di calcestruzzo di cemento per solai speciali (voce n. 48), cemento a lenta presa e ferro lavorato; per i cordoli veniva, invece, indicato l'impiego di un'armatura di tipo omogeneo"*[195].

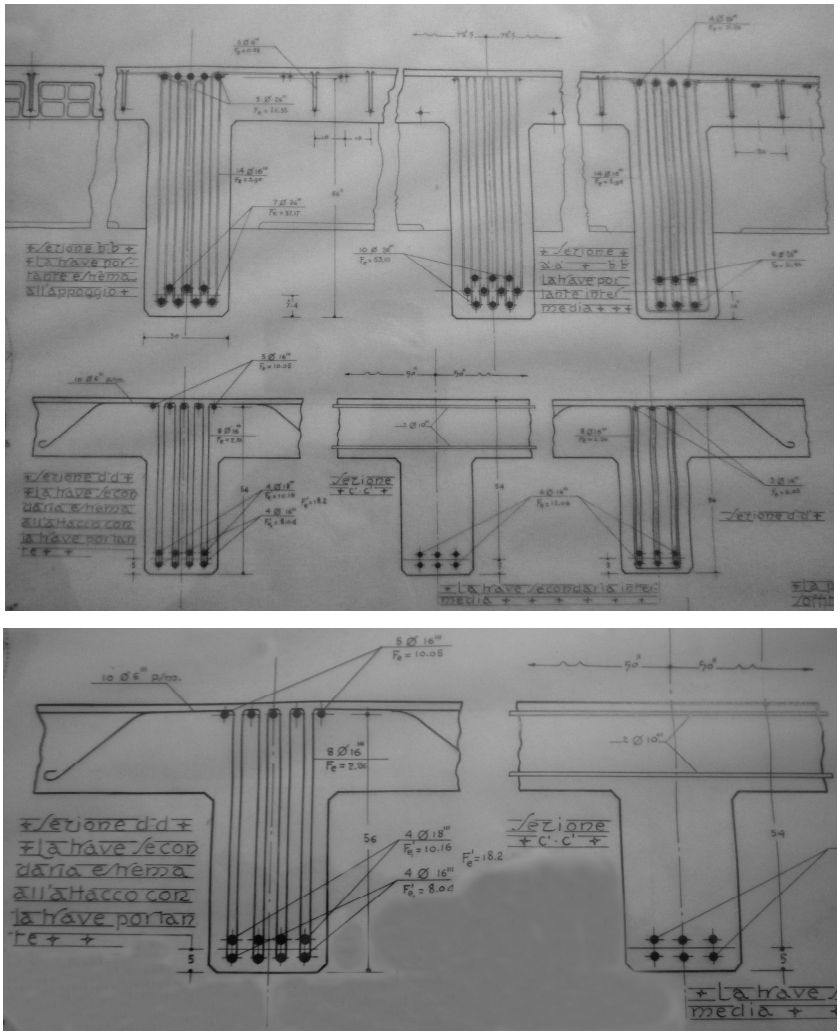
[194] Tesi di laurea di Dolgetta P., *I nuovi edifici scolastici a Salerno tra le due guerre: la qualità del progetto e l'evoluzione dei modi di costruire*, cit.
[195] *Idem.*




Sezione a a
La trave portante centrale in mezzeria il bolettone Cannavale in mezzeria ed all'attacco con le travi

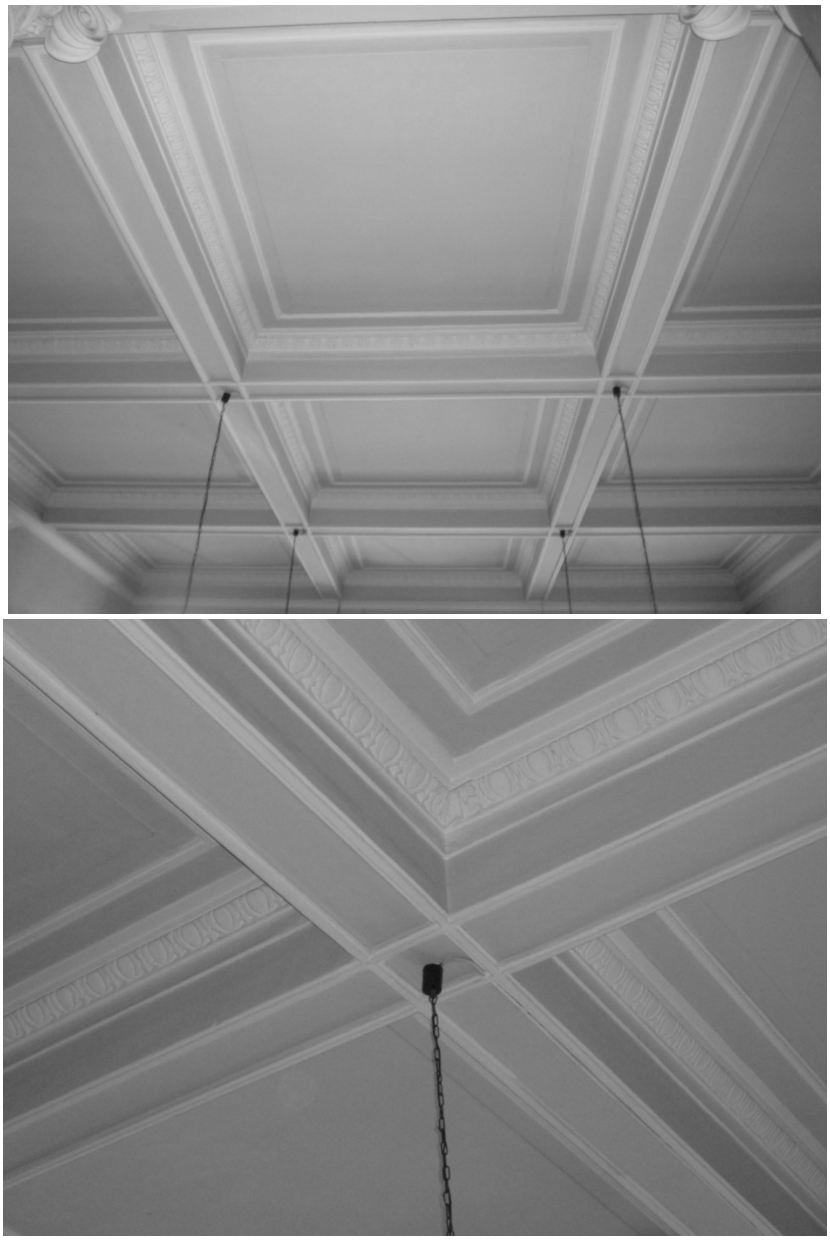

Sezione a a
La trave portante centrale in mezzeria il bolettone Cannavale in mezzeria ed all'attacco con le travi


Sezione c c
La trave secondaria centrale in mezzeria ed il travetto del bolettone

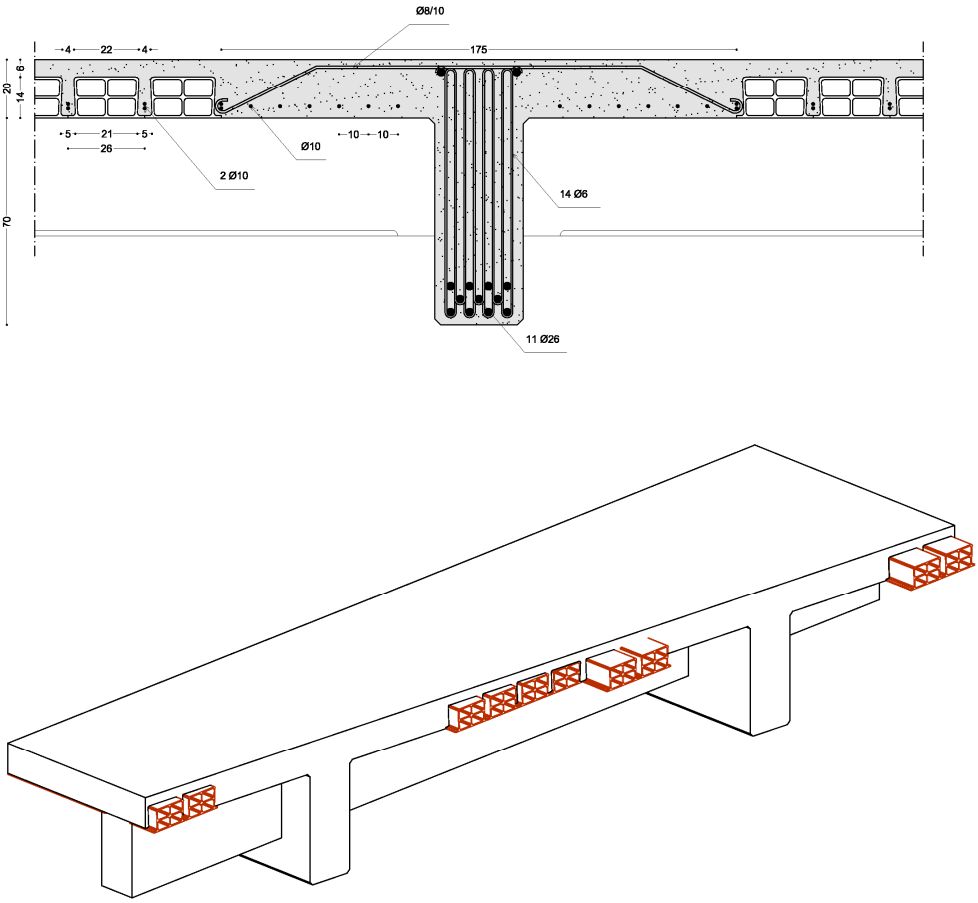


figg. 219 (immagini pp. 428, 429 e 430): Ingg. Michele e Luigi De Angelis, *"Progetto del liceo ginnasio di Salerno - Solaio dell'aula maggiore in cemento armato"*, scala 1:10. Tavola originale e dettagli del solaio a nervature posto a copertura dell'aula magna (presso l'Ordine degli Ingegneri della provincia di Salerno - stanza del Presidente).

figg. 220: viste del solaio a cassettoni, riccamente decorato, posto a copertura dell'aula magna e particolare di un nodo.



figg. 221: viste del solaio a cassettoni posto a copertura dell'atrio di ingresso principale e particolare di un nodo.



figg. 222: restituzioni grafiche di una sezione e di una vista assonometrica semplificata, ottenute mediante l'utilizzo del CAD.

B.4 Pontificio Seminario Regionale "Pio XI"

UBICAZIONE E IDENTIFICAZIONE

Via Urbano II – Via Guerino Grimaldi

Anno di costruzione: 1930-1933

Progettista: Arch. Ing. Giuseppe Momo

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E TIPOLOGICHE

Struttura realizzata interamente con ossatura in conglomerato cementizio armato, tecnologia che rese possibile lo svincolarsi dalle grandi masse murarie, ricavando così i grandi spazi destinati alle funzioni scolastiche e religiose.

CARATTERISTICHE DEGLI ORIZZONTAMENTI

A seguito di visite *in loco* condotte negli ambienti ormai abbandonati e che si presentano in condizioni di forte degrado, quali la chiesa e i locali ad essa annessi, è stato possibile riscontrare che la struttura presenta solai latero-cementizi, per i quali è stato ipotizzato uno

schema costruttivo che, però, risulta essere unico e non associabile a nessuno dei tipi indicati dalla manualistica coeva, cosa che non ha reso possibile l'attribuzione ad esso di una precisa denominazione. Non esistono, infatti, né documenti né grafici d'archivio che forniscono informazioni circa questa tipologia di orizzontamento.

I solai presentano un'altezza di circa 30 cm. Gli elementi di alleggerimento sono costituiti da due coppie di laterizi forati sovrapposte di diversa forma; nello specifico, da una ricostruzione fotografica degli elementi rilevati nella cappella centrale del seminario, si evince che sono stati utilizzati laterizi a 4 fori con alette laterali, all'intradosso, e a 8 fori, sovrapposti ai primi, in prossimità dell'estradosso.

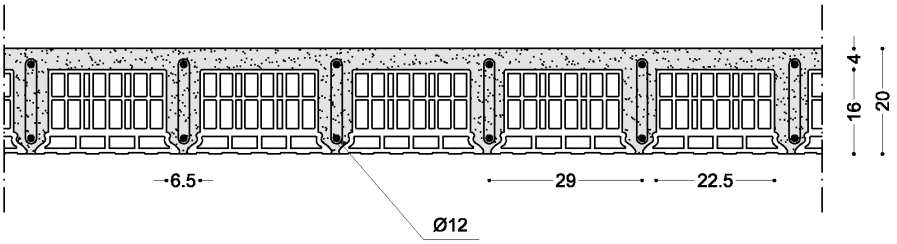
I travetti sono in calcestruzzo armato e sono posti ad un interasse di circa 30 cm.

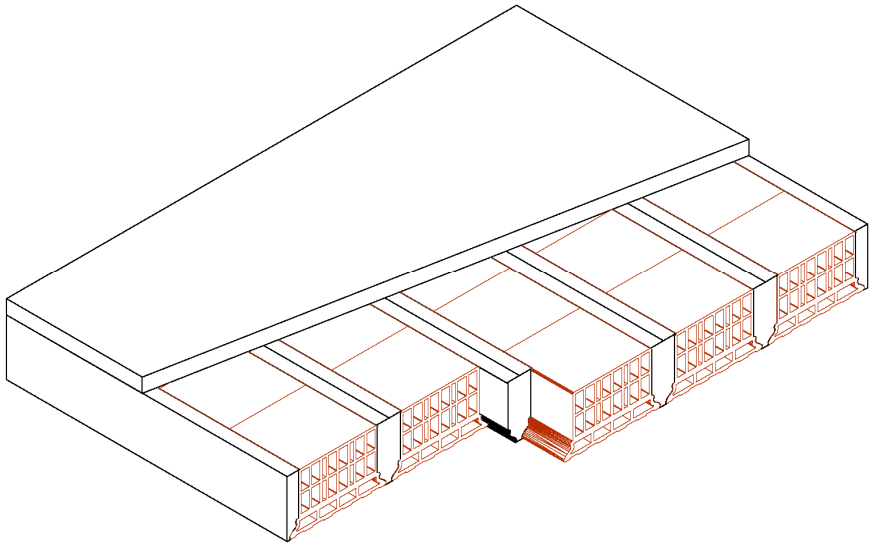
L'armatura, ordita nella direzione del travetto, è costituita da due barre di acciaio all'intradosso[196], delle quali quella superiore è piegata a 45° verso l'alto in prossimità dell'appoggio, per assorbire gli sforzi di trazione che si sviluppano per l'inversione del momento.

Al di sopra dei laterizi è presente una soletta di circa 4 cm, con un ulteriore strato di malta cementizia, per l'allettamento del pavimento.

Compatibilmente con le tecniche costruttive attuate negli anni Trenta, l'acciaio utilizzato è a barre lisce (figg. 223).

[196] Solo in un unico locale è stata riscontrata la presenza di un solaio latero-cementizio i cui travetti sono armati con quattro barre anziché due.





figg. 223 (immagini pp. 436 e 437): immagini di un solaio ammalorato (pagina precedente) e restituzioni grafiche di una sezione all'appoggio e di una vista assonometrica semplificata, ottenute mediante l'utilizzo del CAD.

B.5 OO.RR. "San Giovanni di Dio e Ruggi d'Aragona": padiglione "Regina Elena" e padiglione d'isolamento

UBICAZIONE E IDENTIFICAZIONE

Via Pio XI, 7

Anno di costruzione: 1932

Progettista: Ing. Mario Ricciardi

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E TIPOLOGICHE

Il padiglione "Regina Elena di Savoia" presenta una struttura portante in muratura di tufo giallo; quello d'isolamento è, invece, caratterizzato da una struttura del tipo misto in calcestruzzo armato e muratura di tufo e mattoni pieni.

CARATTERISTICHE DEGLI ORIZZONTAMENTI

Sia il padiglione "Regina Elena di Savoia" che il padiglione d'isolamento presentano solai latero-cementizi gettati in opera.

Anche il padiglione principale, già descritto nella sezione relativa ai solai con nervature, presenta una tipologia di solaio in latero-cemento.

L'informazione deriva da sopralluoghi effettuati in zone della struttura dismesse e fortemente degradate, che hanno consentito di rilevare gli orizzontamenti e di ipotizzarne una possibile restituzione grafica, in quanto non si hanno tavole o documenti d'archivio che illustrano e/o descrivono le tipologie utilizzate, né i materiali impiegati.

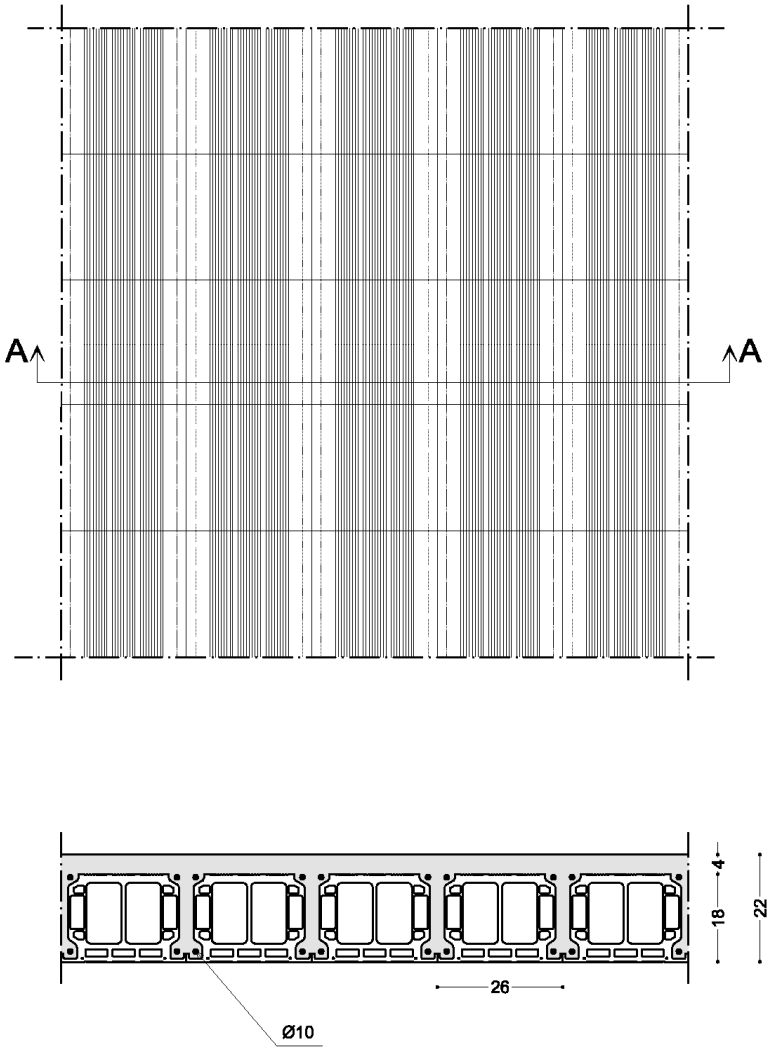
Gli orizzontamenti dei padiglioni sono caratterizzati da laterizi a due fori di dimensioni pari a 25x16 cm e travetti in conglomerato cementizio di base 10 cm armati, per quanto riguarda la sezione di mezzeria, con 3ø16 nella parte inferiore, avvolti da una staffatura che serviva ad evitare le oscillazioni dei ferri stessi durante il getto; il tutto è completato da una soletta superiore di 4 cm armata con ferri di ripartizione (fig. 224).

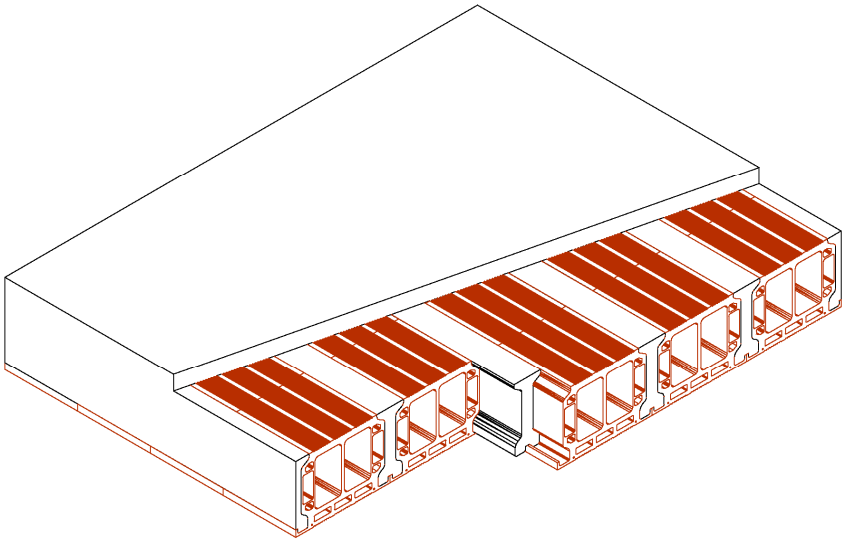
Il solaio del padiglione principale è, invece, costituito da laterizi di forma particolare dotati di alette laterali, che costituiscono un fondello per il travetto, armato con 2 ø10 sia nella parte superiore che nella parte inferiore (fig. 225).

Le tipologie rilevate non risultano essere comunque tra quelle riscontrate nei manuali coevi.

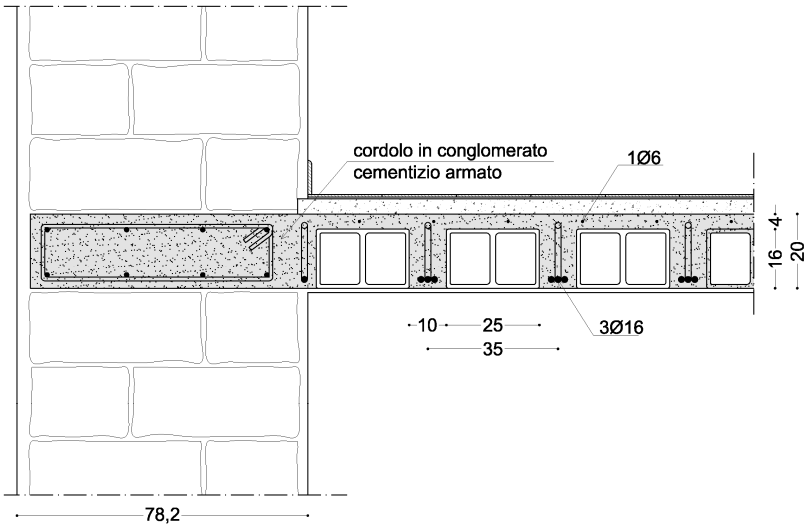
fig. 224: immagine di uno dei solai latero-cementizi del padiglione principale dell'ospedale.

fig. 225: immagine di uno dei solai dei due padiglioni aggiunti che si presenta in uno stato di forte degrado.


A
A
4
18
22
26
Ø10



figg. 226 (immagini pp. 441 e 442): restituzione grafica di una carpenteria e di una sezione (alla pagina precedente) e di una vista assonometrica semplificata (in alto) della tipologia di solai latero-cementizi del padiglione principale, ottenute mediante l'utilizzo del CAD.



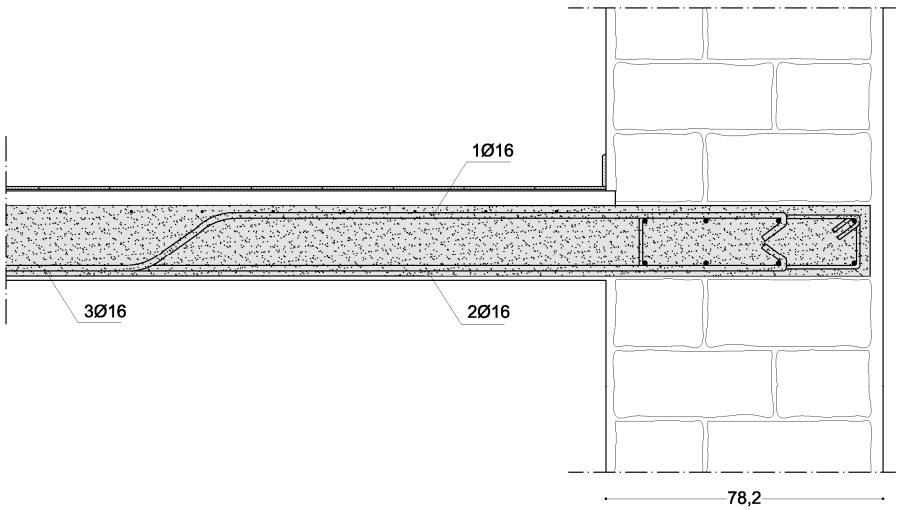


fig. 227 (immagini pp. 442 e 443): sezione trasversale (alla pagina precedente) e sezione longitudinale (in alto) della tipologia di solai latero-cementizi dei due padiglioni aggiunti, ottenute mediante l'utilizzo del CAD.

Per questa tipologia di solaio è stata omessa la restituzione grafica della vista assonometrica in quanto risulta simile a quella realizzata per la tipologia di solaio a blocchi *Zeni*, fatta eccezione per la smussatura degli angoli superiori dei laterizi utilizzati.

B.6 Palazzo di Città: palcoscenico, platea del cinema e locali prospicienti il portico

UBICAZIONE E IDENTIFICAZIONE

Via Roma

Anno di costruzione: 1928-1936

Progettista: Ing. Camillo Guerra

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E TIPOLOGICHE

Struttura mista in conglomerato cementizio armato e muratura di tufo giallo.

CARATTERISTICHE DEGLI ORIZZONTAMENTI

L'edificio, come si evince dai libretti di misura consultati (fig. 228 e 229), presenta solai latero-cementizi gettati in opera del tipo *Cannovale e Dellepiane*, utilizzati per luci di 3,00 e 6,00 m.

Tale tipologia di orizzontamento è stata utilizzata principalmente per alcuni locali prospicienti il portico, sia dal lato di palazzo della Società

Edilizia che lato lungomare, ma anche per la realizzazione del palcoscenico e della platea dell'annesso cinema-teatro.

L'armatura dei solai risulta essere costituita da ferri tondi, con diametro variabile in funzione della luce: per luci fino a 3,00 m, sono stati utilizzati ferri del diametro pari a 10 mm; per luci maggiori di 3,00 m, barre con diametro di 12 mm e per luci di 6,00 m, barre del diametro di 16 mm; quest'ultimo diametro, risultato insufficiente a seguito di verifiche di stabilità condotte già all'epoca, fu sostituito in corso d'opera con barre del diametro pari a 20 mm[197].

Accorgimento particolare era l'inserimento, nelle sezioni di incastro, di ferri del diametro pari a 10 mm, utilizzati come rinforzo, e ferri di 5 mm, per migliorare la ripartizione dei carichi.

L'ingegnere Arturo Carola, titolare dell'impresa esecutrice dei lavori, scriveva nel libretto delle misure che: "[…] *in un mq di solaio cannavale si hanno:*

a) per la soletta 1,00 x 1,00 x 0,05 = mc. 0,05 di calcestruzzo

b) per le nervature 4,5 [numero di travetti in un metro] x 1,00 x 0,05 x 0,13 = mc. 0,03 di calcestruzzo per un totale di mc. 0,08 di calcestruzzo"[198].

[197] Municipio di Salerno - Ufficio dei Lavori Pubblici, Ingg. Camillo Guerra e Arturo Carola, "*Lavori di costruzione del Palazzo di Città - 11° libretto delle misure"* (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Urb. Storico 1, "Libretto misure Carola 9-10-11": foglio n. 21).

[198] Municipio di Salerno - Ufficio dei Lavori Pubblici, Ingg. Camillo Guerra e Arturo Carola, "*Lavori di costruzione del Palazzo di Città - 9° libretto delle misure"* (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Urb. Storico 1, "Libretto misure Carola 9 - 10 - 11": foglio n. 17).

Circa il quantitativo di ferro impiegato in un metro quadrato di superficie si evince che: "[…] *per esattezza di calcolo si considera un tratto di solaio da m. 2,00 corrispondente a 9 nervature, per la campata effettiva di m. 2,95.*

m. 2,00 x 2,95 = mq. 5,90

Ferro impiegato

Diritti 9 (2,95 + 2 x 0,10 + 2 x 0,05) = 9 x 3,25 = 29,25

Sagomati 9 (3,25 + 2 x 0,05 di sagomatura) = 9 x 3,35 = 30,15

Lunghezza dei ferri ml 59,40.

Ferro da mm. 12 ml 59,40 x kg 0,88 = kg 47,52

Ferro da mm. 10 ml 59,40 x kg 0,611 = kg 36,29

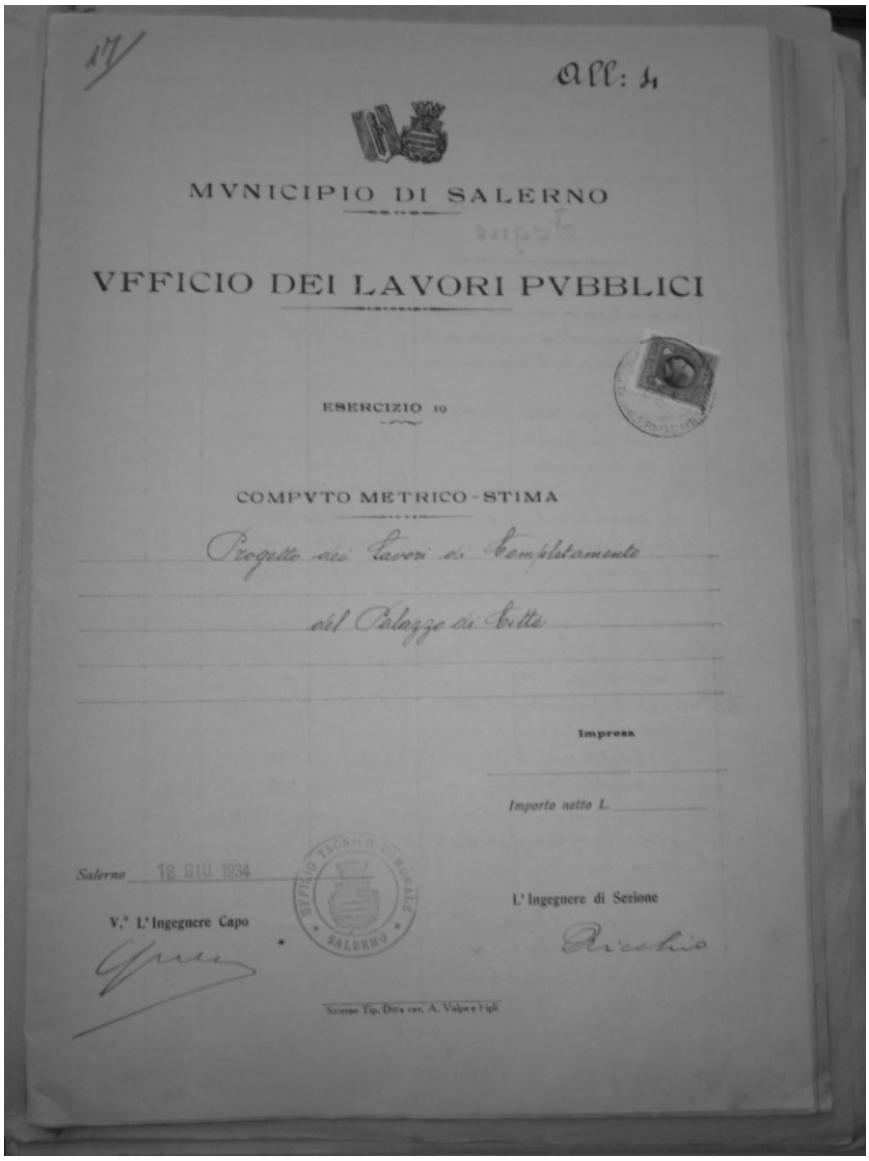
Ferro impiegato in mq 5,90 kg 11,23

Ferro impiegato in mq 1 kg 1,90"[199].

Le uniche informazioni concernenti la tipologia di calcestruzzo impiegato riguardano il quantitativo di cemento utilizzato nell'impasto, pari a 350 kg per le travi in attacco ai solai *Cannovale e Dellepiane*, e a 300 kg per la realizzazione del parapetto della tribuna del cinema e per i solai dei piani ammezzati e del pianterreno[200].

[199] Municipio di Salerno - Ufficio dei Lavori Pubblici, Ingg. Camillo Guerra e Arturo Carola, "*Lavori di costruzione del Palazzo di Città - 10° libretto delle misure"* (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Urb. Storico 1, "Libretto misure Carola 9 - 10 - 11": foglio n. 24).

[200] Municipio di Salerno - Ufficio dei Lavori Pubblici, Ingg. Camillo Guerra e Pietro Oricchio, "*Progetto dei lavori di completamento del Palazzo di Città*. Computo metrico - stima", 18 giugno 1934 (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Urb. Storico 11/1, allegato n. 3: foglio n. 3).



17

All: 4

MVNICIPIO DI SALERNO

VFFICIO DEI LAVORI PVBBLICI

ESERCIZIO 19

COMPVTO METRICO-STIMA

Progetto dei Lavori di Completamento

del Palazzo di Città

Impresa

Importo netto L.

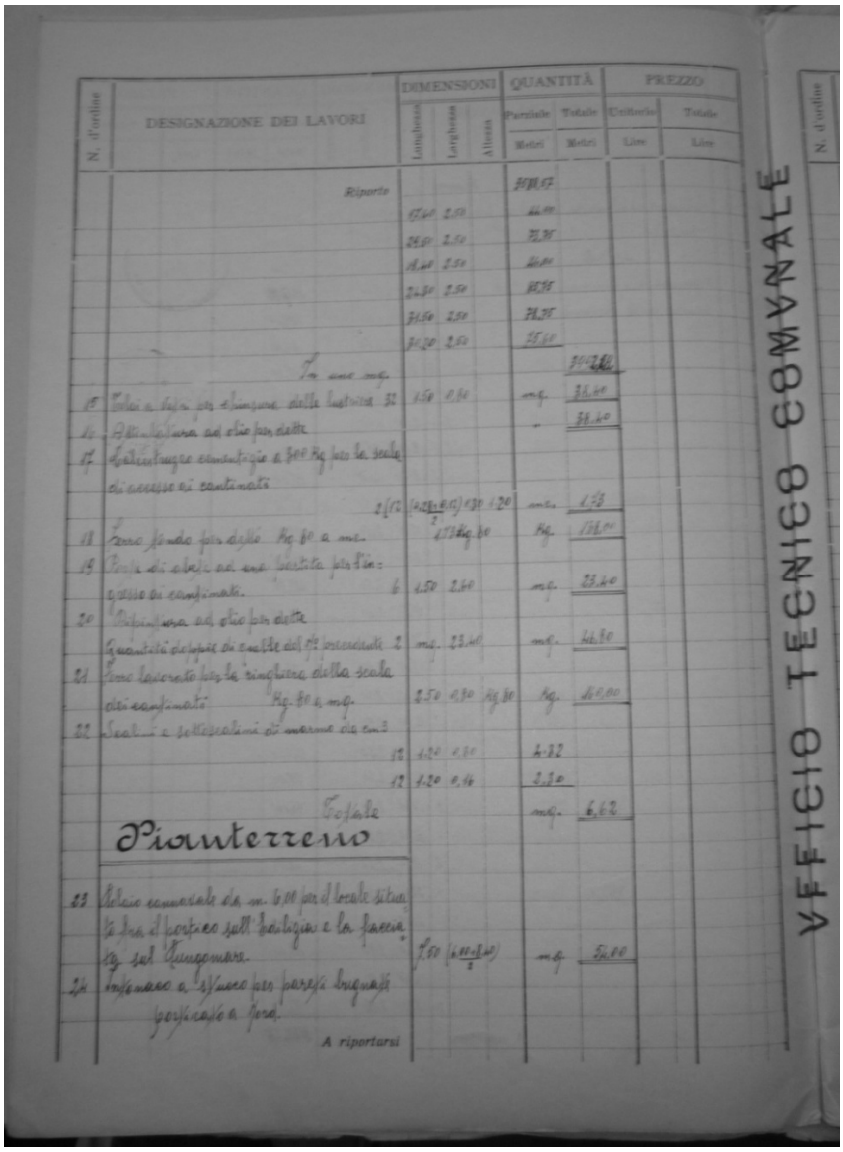
Salerno 18 GIU. 1934

V.° L'Ingegnere Capo

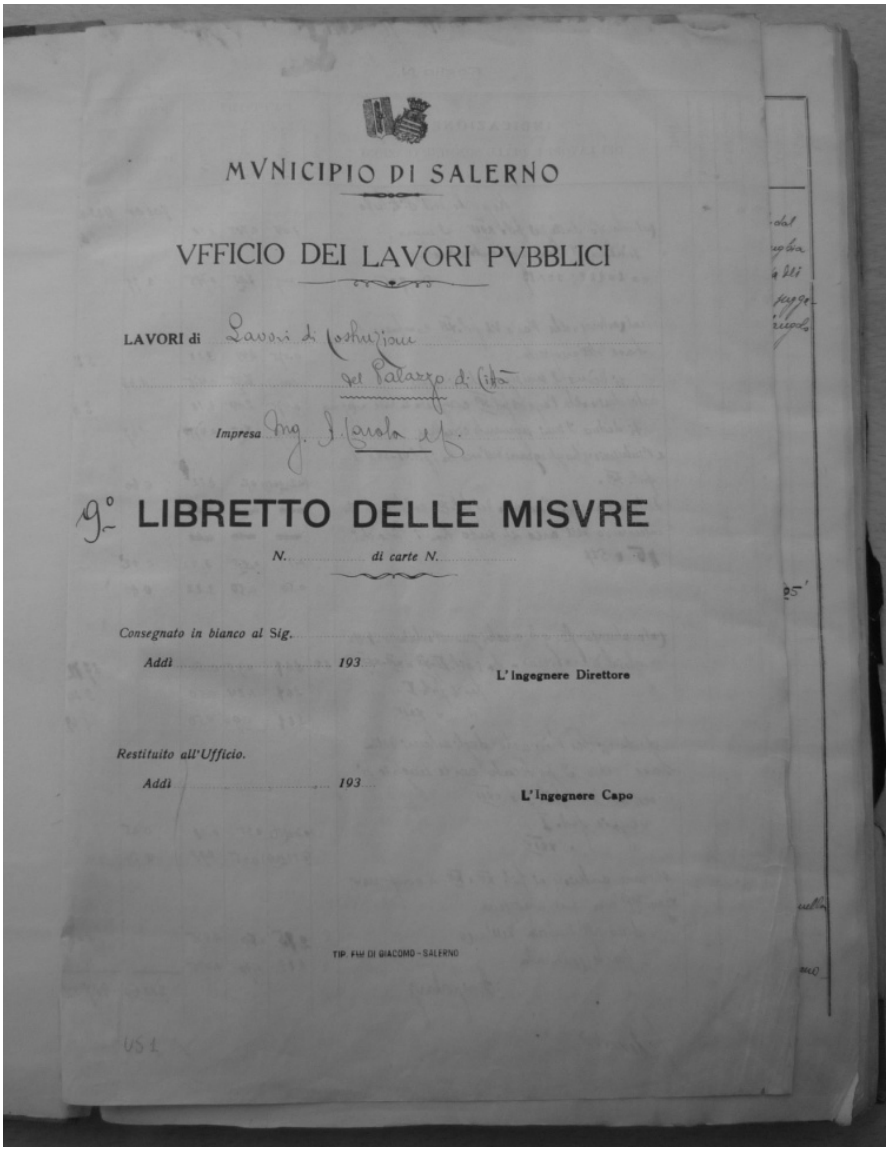
L'Ingegnere di Sezione

Arcuio

Salerno Tip. Ditta ver. A. Volpe e Figli



figg. 228 (immagini pp. 447 e 448): Municipio di Salerno - Ufficio dei Lavori Pubblici, Ingg. Camillo Guerra e Pietro Oricchio, "*Progetto dei lavori di completamento del Palazzo di Città*. *Computo metrico - stima*", 18 giugno 1934 (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Urb. Storico 11/1, allegato n. 4: frontespizio e foglio n. 7).



MVNICIPIO DI SALERNO

VFFICIO DEI LAVORI PVBBLICI

LAVORI di Lavori di costruzione del Palazzo di Città

Impresa Ing. S. Varola e C.

9° LIBRETTO DELLE MISVRE

N. ..... di carte N. .....

Consegnato in bianco al Sig. .....

Addì *193*

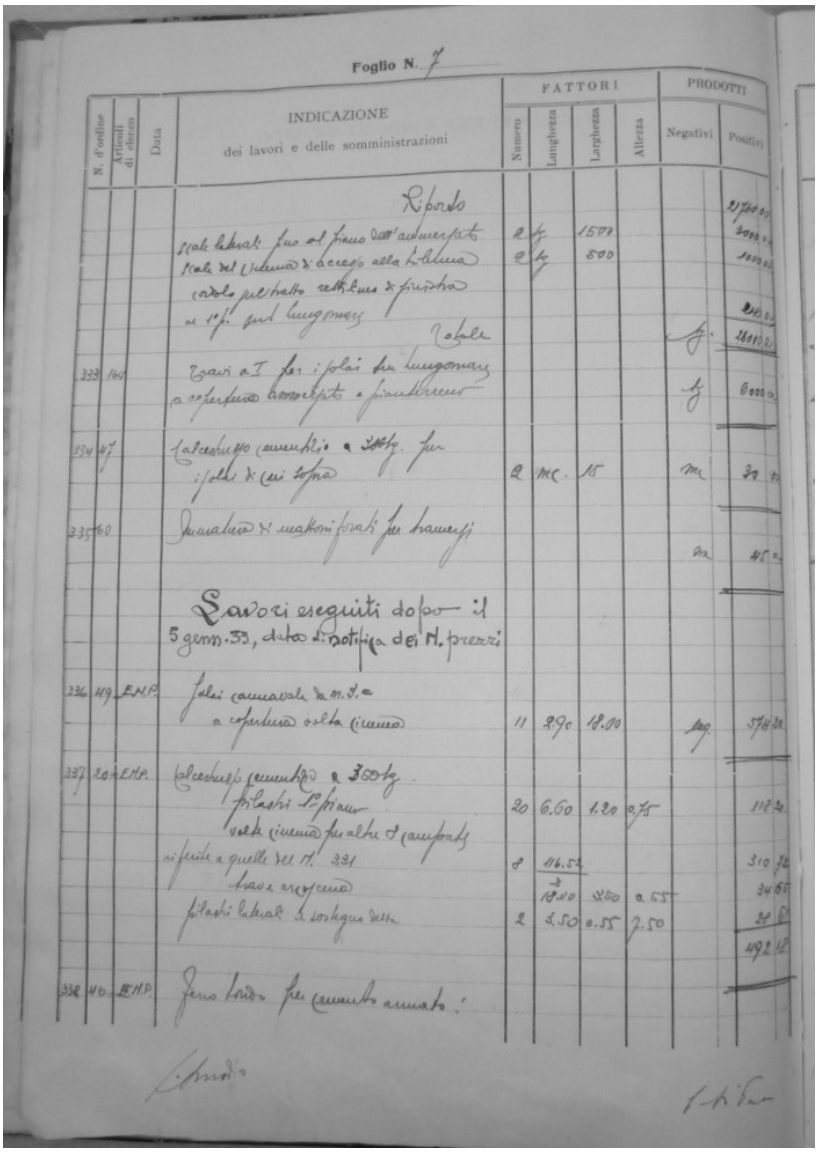
L'Ingegnere Direttore

Restituito all'Ufficio.

Addì *193*

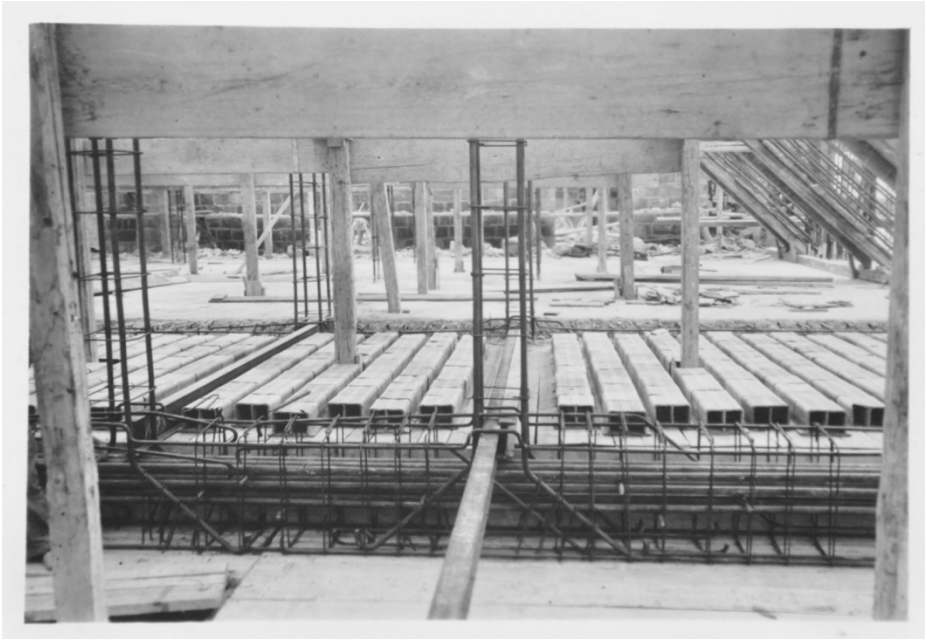
L'Ingegnere Capo

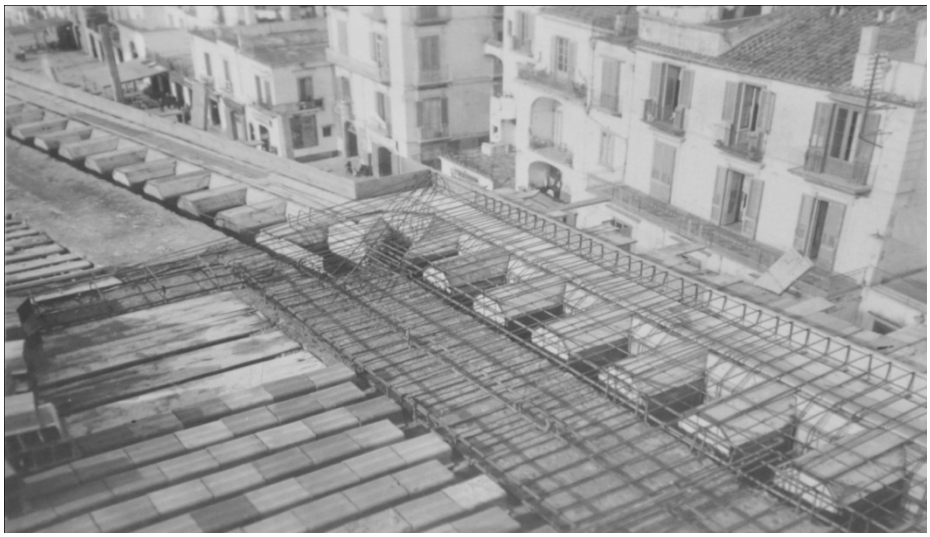
TIP. FIM DI GIACOMO - SALERNO

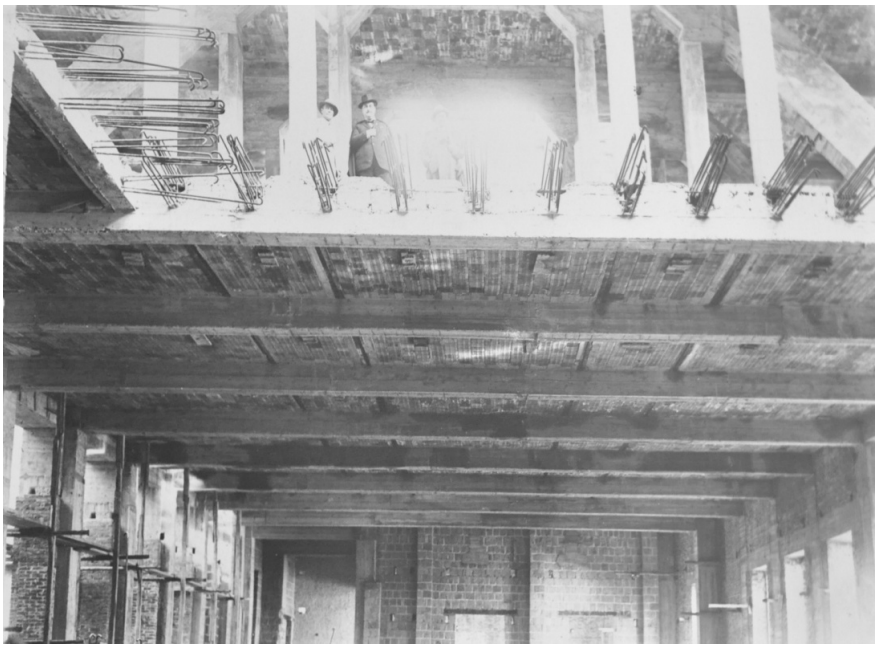


Foglio N. 7

N. d'ordine	Articoli di elenco	Data	INDICAZIONE dei lavori e delle somministrazioni	FATTORI Numero	Lunghezza	Larghezza	Altezza	PRODOTTI Negativi	Positivi
			Riporto						
			Scale Reali fino al piano dell'ammezzato	2	4	1.50			
			Scale del Vicolo S. Lucia alla Libertà	2	4	5.00			
			(valore precedente nell'Elenco di previsione						
			ai n.ri sud luogomezz						
			Totale					kg.	
333	164		Travi a I per i solai dei luogomezz a copertura ammezzato e sottotetto					kg	
334	47		Calcestruzzo cementizio a 300 kg. per i solai di cui sopra	2	mc.	15		mc	
335	60		Incatenature e muretti sopra travi					a2	
			Lavori eseguiti dopo il 5 genn. 33, data di notifica dei N. prezzi						
336	49	E.N.P.	Solai cementati da m. 3.= a copertura volta (vuoto)	11	2.90	18.00		mq	
337	20	E.N.P.	Calcestruzzi cementizio a 300 kg. pilastri 1° piano volte (vuoto) per altre 8 campate	20	6.60	1.20	0.75		
			in più a quelli del N. 331	8	16.50				
			travi ergastolo		2 18.00	0.50	0.55		
			pilastri Istituto S. Sofia Vecchia	2	3.50	0.55	7.50		
338	46	E.N.P.	Getto tondo per cemento armato						







figg. 230 (immagini pp. 451 e 452): immagini di Palazzo di Città in costruzione dalle quali si evince la presenza di solai in latero-cemento. In particolare, dalla prima foto, si riscontra la presenza di solai del tipo *Cannovale e Dellepiane*, con laterizi a due fori e le tipiche alette laterali (da Archivio della Fondazione Guerra - facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli "Federico II").

Come per la sezione precedente, di seguito si è fatto cenno agli altri edifici salernitani che presentano solai in latero-cemento per i quali, però, non si è potuto avere uno studio approfondito, in quanto non vi sono tavole particolareggiate di archivio che ne illustrano le caratteristiche e i dati numerici circa il dimensionamento e, dai sopralluoghi effettuati, non è stato possibile visionarne *de visu* la tipologia poiché la maggior parte di essi si presentano ad oggi in buono stato di conservazione e, pertanto, occultati dall'intonaco di rivestimento.

Gli unici dati rinvenibili si evincono dai documenti di archivio e/o dai periodici consultati.

B.7 Palazzo "Angrisani-Pagliara"

L'edificio, sito in via Roma n. 39 e costruito nel 1919 su progetto dell'ingegnere Gaetano Romano, presenta una struttura intelaiata in conglomerato cementizio armato e chiusure in muratura.

Da quanto si evince dalla relazione tecnica, a firma del progettista, tutti i solai sono in conglomerato cementizio armato gettati in opera con mattoni vuoti del tipo *Cannovale e Dellepiane*[201].

Non si hanno dati circa i materiali impiegati.

[201] Ing. Gaetano Romano, *Progetto di palazzina pei sigg. Rocco Angrisani e Attilio Pagliara sul suolo E al corso Garibaldi a Salerno* - Relazione", 26 luglio 1919 (da Archivio Storico del Comune di Salerno).

B.8 Rione Cooperativa Case dei Ferrovieri

Il Rione della Cooperativa delle Case dei Ferrovieri, costruito tra il 1922 e il 1925, si sviluppa tra via Nizza e via Dalmazia ed è costituito da edifici in muratura portante: di pietrame, in fondazione, e di tufo giallo di Roccapiemonte e tufo grigio sonoro di Acquamela, in elevazione.

Dall'"*Elenco dei prezzi unitari soggetti a ribasso*", è stato possibile risalire alla tipologia di orizzontamento che caratterizza gli edifici dell'intero rione; come si legge, infatti, all'articolo 35 dell'appalto del 17 febbraio 1922 tra le "*provviste a piè d'opera*"[202], vengono annoverati i mattoni forati detti *cannavali* impiegati per la costruzione di orizzontamenti latero-cementizi: questa tipologia di laterizio veniva comunemente utilizzata per la costruzione di solai del tipo *Cannovale e Dellepiane*, da cui essi prendono il nome.

Circa i materiali, sempre dal medesimo documento, si desume che il calcestruzzo utilizzato è stato realizzato *"con kg 30 di ferro per mc, oltre l'aumento di maggiore altezza e le solette, sempre in c.a., con nervature di spessore pari a 6 cm"*[203].

All'articolo 20 del *Capo III, "Qualità dei materiali da costruzione e modo di esecuzione dei lavori"*, veniva, inoltre, specificato che i materiali utilizzati durante l'esecuzione delle opere dovevano essere privi di difetti e approvati dalla Direzione dei Lavori prima della posa in opera.

---

[202] *"Cooperativa Case Ferrovieri Salerno - Lavori di costruzione delle case - Progetto definitivo. Capitolato speciale di appalto"*, p. 29 (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Repertorio per gli atti tra vivi n. 1350 - APPALTO - allegato C).

[203] *Ivi*, p. 31.

I laterizi dovevano *"essere di prima qualità* con *una resistenza di 60 kg per cmq"*[204]. Già all'epoca era ritenuto necessario allontanare dal cantiere, entro ventiquattro ore, i materiali non approvati dalla Direzione dei Lavori, i quali dovevano poi essere sostituiti con altri di prima qualità[205].

Sempre per quanto concerne il calcestruzzo si legge ancora che *"il getto doveva essere fatto a tutto perimetro per un'altezza non superiore a 0,50 metri di altezza"*[206].

Si ritrovano anche diverse indicazioni sulla composizione:

- *"un volume di calce spenta;*
- *da un volume di sabbia;*
- *da un volume di pozzolana di Bacoli;*
- *da quattro volumi di ghiaia o pietrisco.*

  o anche
- *0,40 mc di sabbia;*
- *0,80 mc di ghiaia o pietrisco;*
- *3 quintali di cemento"*[207].

All'articolo 24 si legge, ancora, che *"il cemento armato deve contenere 80 kg di armatura di ferro per mc, che sarà disposto secondo i calcoli del disegno del progetto e la medesima armatura deve essere a non meno di tre cm dalla faccia esterna. Il cemento deve avviluppare interamente l'armatura facendolo rifluire mediante il taglio della*

[204] *Ivi*, p. 20.
[205] *Ivi*, p. 22.
[206] *Idem.*
[207] *Idem.*

cazzuola, gettandolo con continuità senza soste a strati pistonati o battuti con mazzeranghe. Esso dev'essere continuamente bagnato secondo il bisogno onde evitare l'asciugamento"[208].

Dal capitolato speciale di appalto del *"Piano Regolatore del nuovo rione orientale"*, si evincono ulteriori informazioni circa il cemento utilizzato; si legge, infatti, che *"il cemento sia a lenta che a rapida presa dovrà essere sempre asciutto, in polvere finissima e risponderà a tutte le norme prescritte dal R.D. 23 maggio 1932 n. 832, sarà conservato in sacchi e barili, e questi, alla loro volta custoditi entro magazzini completamente al riparo dalle intemperie* […].

[…] *Il calcestruzzo si comporrà con mc 0,90 di pietrisco calcareo ridotto e pezzi passanti per uno staccio a maglie di centimetri 5 e con mc 0,45 di malta che può essere la comune, la semidraulica e l'idraulica dando così luogo a tre diverse specie di calcestruzzo.*

Nella formazione del calcestruzzo si formerà l'impasto della nuova malta impiegandovi la minor quantità di acqua possibile, e poi si aggiungerà la ghiaia ed il pietrisco e si mescolerà il tutto fino a che ogni elemento risulti ben avviluppato in malta.

Il calcestruzzo sarà messo in opera appena confezionato e disposto a strati orizzontali da m 0,30 a m 0,40 di altezza su tutte le estensioni delle parti in opera che si eseguiscono ad un tempo e verrà ben battuto e costipato per modo che non resti alcuno vano nello spazio che deve occupare.

[208] *Ivi*, p. 24.

Finito che sia il getto, e spianata con ogni diligenza la superficie superiore, il calcestruzzo sarà lasciato assodare per tutto il tempo che la Direzione dei Lavori stimerà necessario a raggiungere il grado di indurimento atto a reggere la pressione che deve sopportare.

È vietato l'impiego del calcestruzzo che avanzasse dal giorno precedente, e sarà disperso anche quello in malta idraulica che si trovasse non consumato alla ripresa del lavoro dopo gli intervalli di riposo"[209].

Se ricche sono le informazioni sui materiali, risultano, invece, del tutto assenti le informazioni dimensionali sulla tipologia di orizzontamento.

B.9 Palazzo "Pennasilico"

Ubicato in via Francesco Paolo Volpe n. 15 e costruito nel 1925 su progetto dell'ingegnere Vincenzo Naddeo, presenta una struttura mista con muratura perimetrale portante di tufo giallo di Roccapiemonte e pilastri centrali in conglomerato cementizio armato.

Da quanto si evince dalla relazione tecnica, a firma del progettista, tutti i solai sono latero-cementizi del tipo *Cannovale e Dellepiane*.

Non si hanno, tuttavia, dati numerici circa il dimensionamento e i materiali impiegati.

[209] Municipio di Salerno - Ufficio dei lavori pubblici, *"Piano regolatore del nuovo rione orientale - Sistemazione delle strade del Rione dei ferrovieri - Capitolato speciale di appalto"*, 1934 (da Archivio Storico del Comune di Salerno - "Atti di appalto Fasano").

B.10 Rione Case Popolari

Il Rione delle Case Popolari di largo Annibale Sterzi, progettato dall'ingegnere Tommaso Gualano e costruito tra il 1926 e il 1931, è caratterizzato da edifici realizzati con murature di tufo giallo di Roccapiemonte, per i piani in elevazione, e in pietrame calcareo proveniente dalle cave di Ogliara, per le fondazioni e per le pareti dei piani cantinati.

Dall'articolo 12 dell'"*Appalto dei lavori case popolari ed impianto del nuovo mercato"* del 18 dicembre 1926, aggiudicato dalla Cooperativa "Etna", si legge che "*i solai saranno del tipo Cannovale dati in opera, con le dimensioni del cotto, del travetto in cemento e dei ferri che indicherà la Direzione dei Lavori, i quali debbono essere proporzionati alla luce del solaio e rispondere ad un sopraccarico di 300 kg a mc. Per il ferro e per il calcestruzzo cementizio valgono le condizioni dette per i cementi armati al precedente articolo. Sul solaio sarà poi gettato insieme ai travetti un massetto di calcestruzzo cementizio dello spessore di cm 5. I ferri dovranno appoggiare per cm 25 a 40 sulla muratura e la soletta dovrà estendersi per tutto lo spessore delle murature di perimetro del vano da ricovrire.* […] *l'impalcatura di sostegno dei solai dovrà essere solida e non dar luogo a oscillazioni né a flessioni"*[210].

Proseguendo, inoltre, si hanno informazioni circa i diametri di armatura da utilizzare in base alla luce del vano da coprire: sono utilizzati

[210] Municipio di Salerno, *"Appalto dei lavori case popolari ed impianto del nuovo mercato - Aggiudica alla Cooperativa Etna"*, 18 dicembre 1926, p. 11 (da Archivio Storico del Comune di Salerno).

solai del tipo *Cannovale e Dellepiane*, armati con ferri da 12 mm per campate da 3,00 a 3,50 m e con ferri del diametro di 14 mm, per luci fino a 5,00 m; la soletta presenta un'altezza di 5 cm.

A proposito del calcestruzzo armato si scriveva all'articolo 11 (pagina 10) del suddetto documento che "*L'impasto sarà dosato con kg 300 di cemento Portland a lenta presa, mc. 0,400 di sabbia e mc. 800 di ghiaia e acqua in giusta misura. Sarà impastato con le migliori regole d'arte. A richiesta della Direzione i casseri saranno ingrassati prima della gettata e ciò senza alcun compenso speciale o sovrapprezzo. I ferri saranno in tondini, della migliore qualità e provenienza, della dimensione indicata dalla Direzione dei Lavori e saranno accuratamente ripuliti da ingrassatura o altro.*

Dovranno essere sagomate accuratamente e della forma precisa che sarà indicata dalla Direzione dei Lavori. È tassativamente disposto che i ferri sagomati e disposti nei casseri siano visitati dal direttore dei lavori. Ove l'appaltatore non ottemperi a tale disposizione il già fatto sarà demolito o rifatto a sue spese.

La gettata dovrà procedere uniforme e il calcestruzzo dovrà essere ben pigiato nei casseri.

Il conglomerato cementizio alle prove di schiacciamento in laboratorio dovrà presentare una resistenza non minore di kg. 200 per centimetri quadrati dopo 28 giorni di stagionatura.

I sostegni delle casseforme dovranno essere robusti in modo da impedire assolutamente qualsiasi molleggiamento o inflessione. La giunzione dei ferri sarà fatta per una sovrapposizione di almeno trenta

diametri ed uncinandole le estremità. Le giunzioni delle gettate dovranno essere accuratamente ripulite, lavate ed innaffiate con beverone di cemento puro. Dopo la gettata il calcestruzzo sarà ricoperto di paglia e innaffiato nelle giornate di sole almeno 2 volte al giorno, ciò senza alcun aumento di prezzo. I lavori in cemento armato debbono rispondere alle prescrizioni per i cementi armati e alla prova di ed accettazione dei materiali ferrosi, emanate dai Decreti Presidenziali 15 maggio e 15 luglio 1925"[211].

In merito ai laterizi veniva, invece, stabilito che essi dovevano provenire "[…] *dalle fornaci di Brignano, oppure da altre, purché di qualità non inferiore a giudizio insindacabile della Direzione dei Lavori. Dovranno essere di pasta omogenea e compatta, ben cotti, sonori, senza alcun difetto* […]. *I mattoni saranno di forma parallelepipeda regolare, di lunghezza di cm 6, larghezza cm 13, spessore cm 6, con le facce a quadro e gli spigoli ben profilati"*[212].

Infine, il ferro utilizzato per le opere in conglomerato cementizio armato doveva essere "*delle migliori qualità conosciute in commercio. Dovrà poi essere in ogni caso malleabile e pieghevole, tanto a caldo che a freddo, senza manifestare tracce di rottura, esente da screpolature, saldature ed altri difetti, senza tracce di incrostazioni di ossido o di scavi della superficie e la frattura presenterà una tessitura fibrosa fina* […]. *Il*

[211] *Idem.*
[212] *Ivi*, pp. 22-23.

ferro in ogni caso dovrà corrispondere alle norme ufficiali italiane 10 gennaio 1907 e ai Decreti Presidenziali 15 maggio e 15 luglio 1925"[213].

B.11 Palazzo "Belgiorno-Maccarelli"

Il palazzo "Belgiorno-Maccarelli" si compone di due fabbricati gemelli edificati in via Matteo Ripa nn. 8 e 10 tra il 1929 e il 1933. Il progetto fu redatto dall'ingegnere Vincenzo Belgiorno, marito della signora Bianca Maccarelli, proprietaria del suolo.

Le murature in fondazione e nei piani cantinati sono in pietrame calcareo compatto e malta semi-idraulica di pozzolana con cordoli in conglomerato cementizio armato, mentre quelle dei piani superiori sono in tufo giallo e malta ordinaria, ad esclusione dell'ultimo piano realizzato *in tufo bigio, sempre con cordoli in calcestruzzo armato*[214].

Dalla relazione tecnica a firma dell'ingegnere Belgiorno, a corredo del "*Progetto di due fabbricati ad uso civili abitazioni tra via due Principati e via Irno"*, si evince che i solai sono del tipo latero-cementizi gettati in opera del tipo *Carnevari*. Quasi certamente il progettista con questa denominazione intendeva indicare il classico *Cannovale e Dellepiane*.

[213] *Idem.*

[214] Ing. Vincenzo Belgiorno, *"Progetto di due fabbricati ad uso di civili abitazioni tra via Due Principati e via Irno - Salerno, Proprietà Bianca Belgiorno - Relazione"*, 11 aprile 1929 - VII (da Archivio Storico del Comune di Salerno).

B.12 Palazzo di Giustizia

Il Palazzo di Giustizia, oltre alle tipologie di solai con nervature a vista, descritte nella scheda A.5 della sezione precedente, presenta, a copertura di ambienti con luci di 5,00-6,00 m, anche solai latero-cementizi del tipo *Cannovale e Dellepiane*, come si evince dallo stato finale dei lavori eseguiti al 2 luglio 1932 (fig. 233).

Purtroppo non è stato possibile prendere visione di tali tipologie di solai in quanto nei documenti consultati non sono né indicati gli ambienti dell'edificio caratterizzati dalla presenza di questi orizzontamenti, né tantomeno vi sono parti degradate che ne hanno consentito un riscontro diretto.

L'unica indicazione circa questi solai riguarda i materiali utilizzati, nella fattispecie i laterizi, per i quali, tra le altre indicazioni sulla composizione della pasta, veniva prescritta *"una resistenza allo schiacciamento di almeno 15 chilogrammi per cm quadrato sia allo stato asciutto che a completa imbibizione in acqua"*[215].

B.13 Palazzo "Clarizia"

Il progetto della costruzione di questo edificio, ubicato in via Lungomare Trieste n. 84, fu affidato dal signor Raffaele Clarizia all'ingegnere Alfredo Ravera nel 1931.

[215] Municipio di Salerno, ing. Camillo Guerra, *"Palazzo di Giustizia atti contabili - Capitolato speciale di appalto - Capo 1° Oggetto e prezzo dell'appalto e designazione sommaria delle opere"*: artt. 1 e 2 (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Settore Affari Generali - Archivio Generale - Sezione storica fascicolo "Palazzo di Giustizia atti contabili", cat. VII class. I Fasc. 18/3 anno 1921-1933).

Dalla relazione tecnica di accompagnamento alle tavole di progetto si evince che l'edificio è costituito da una struttura intelaiata in conglomerato cementizio armato, con travi, pilastri e chiusure in muratura, fino al primo piano, e in mattoni pieni per i piani superiori.

I solai sono del tipo a "[…] *struttura mista di travetti di cemento armato e laterizi uso cannovale"*[216].

B.14 Palazzo della "Società Cooperativa Finanziaria"

L'edificio, sito in via Andrea Sabatini n. 7 (un tempo via Caracciolo), fu costruito nel 1931 su progetto dell'ingegnere Angelo Mutarelli. Realizzato con una struttura intelaiata in conglomerato cementizio armato e chiusure in muratura di travertino (per il piano terra e il primo piano) e tufo giallo (per i piani superiori), presenta solai latero-cementizi del tipo *Cannovale e Dellepiane*[217].

B.15 Palazzo "Pastore"

Una volta avuta l'approvazione del progetto da parte della Commissione Edilizia con adunanza del 28 agosto 1935, la ditta edile dei fratelli Pastore, con la collaborazione dell'ingegnere Giuseppe

[216] Ing. Alfredo Ravera, *"Progetto Palazzo "Clarizia" in via Lungomare Trieste - Relazione"*, 1931, p. 5 (da Archivio storico del Comune di Salerno).

[217] Ing. A. Mutarelli, *"Cooperativa 'La Finanziaria' - Progetto di un fabbricato ad uso alloggi per soci, sul suolo fra le vie Porto e Caracciolo - Relazione"*, 22 luglio 1931(da Archivio Storico del Comune di Salerno - Sezione Urbanistica. 1931 CE 20: fascicolo Cooperativa "La Finanziaria", fabbricato fra via Caracciolo e via Porto).

Buonocore, avviò la costruzione di questo edificio sito in via Gian Vincenzo Quaranta.

L'edificio è del tipo a struttura mista, costituita da un telaio in conglomerato cementizio armato e chiusure in muratura portante di tufo giallo, con solai latero-cementizi del tipo *Cannovale e Dellepiane*[218].

B.16 Palazzo "Ladalardo"

Sul suolo di proprietà del signor Emilio Santoro, ubicato alla traversa n. 1 del Rione Vecchio Carmine (oggi via Giovanni Centola, 13), l'ingegnere Gennaro Testa, in qualità di progettista e costruttore, diede avvio nel 1939 alla costruzione di un edificio in muratura portante (pietrame calcareo per il piano seminterrato e tufo giallo per i piani superiori) con solai "*di cemento armato con laterizi del tipo Cannavale, collegati per ogni piano alle murature per il tramite di cordoli in cemento armato*"[219].

B.17 Palazzo "Genovese"

L'edificio, ubicato in via Alberto Pirro n. 2, fu costruito nel 1937 su progetto dell'ingegnere Vincenzo Naddeo, cui fu affidata anche la direzione dei lavori. Nell'istanza presentata al Podestà del Comune di

[218] Ing. G. Buonocore, "*Progetto di un fabbricato per abitazioni di tipo medio da erigersi in Salerno per conto della ditta Raffaele Pastore e fratelli - Relazione illustrativa*", giugno 1935 - XIII (da Archivio Storico del Comune di Salerno - giugno/1935, C.E. n. 75 del 28/08/1935).

[219] Ing. Gennaro Testa, "*Costruzione di un palazzetto per civile abitazione in contrada Carmine Vecchio, Salerno - Relazione*", 16 settembre 1934-XII (da Archivio Storico del Comune di Salerno).

Salerno dal signor Francesco Genovese, in qualità di committente, viene fornita una breve descrizione del costruendo fabbricato "[…] *che avrà struttura mista cemento armato e muratura tufacea con solai del tipo Cannavale*"[220].

Nulla si evince circa i materiali utilizzati per la costruzione.

B.18 Istituto Magistrale "Regina Margherita"

Ultimo tra gli edifici scolastici costruiti a Salerno nel Ventennio fascista, l'Istituto Magistrale "Regina Margherita" rientra tra le opere realizzate dal Comune per risanare il quartiere Fieravecchia. L'edificio, sito in piazza XXIV Maggio (ex piazza Malta), fu progettato dall'ingegnere Alfredo Ravera nel 1939.

Esso si presenta come una struttura realizzata interamente in muratura (pietrame per le strutture di fondazione e pietra di tufo per le opere in elevazione), con solai del tipo *Cannovale e Dellepiane* e a blocchi Zeni[221].

Non si hanno, tuttavia, tavole o documenti d'archivio che ne illustrano o ne descrivono le caratteristiche tecnologiche, né i materiali impiegati; per affinità possono comunque ritenersi valide le descrizioni e le restituzioni ricavate per gli edifici coevi che presentano le medesime tipologie di solai.

---

[220] Richiesta di autorizzazione per la costruzione di palazzo "Genovese" a firma del committente, sig. Francesco Genovese, 20 giugno 1937 - XV (da Archivio Storico del Comune di Salerno).

[221] Tesi di laurea di Dolgetta P., *I nuovi edifici scolastici a Salerno tra le due guerre: la qualità del progetto e l'evoluzione dei modi di costruire*, cit.

B.19 Palazzo "Marsilia-Pastore"

Nel 1934 i signori Antonio Marsilia e Raffaele Pastore commissionarono all'ingegnere Antonio Storniello la progettazione e la direzione dei lavori per la costruzione di un fabbricato ad uso residenziale tra l'ex via Stanislao Lista (ora via Giovan Angelo Papio) e via Gian Vincenzo Quaranta.

La struttura portante del fabbricato è del tipo a struttura intelaiata in conglomerato cementizio armato con chiusure in muratura di tufo giallo.

Circa la tipologia di orizzontamento, dalla relazione tecnica di accompagnamento alle tavole di progetto a firma dell'ingegnere Storniello, si evince che *"i vari piani saranno coperti da solaio con mattoni forati (blocchi z) ed armatura semplice"*[222].

Non si hanno tuttavia dati numerici circa i materiali impiegati.

B.20 Convitto "Nicoletti"

Nel 1928 il ragioniere Arnaldo Nicoletti, già direttore e proprietario del Convitto "Massimo D'Azeglio" ubicato in via Irno, commissionò all'ingegnere Arturo De Marco il progetto di un edificio che ospitasse un nuovo convitto, da ubicarsi in via Arce n. 37.

Nell'adunanza del 3 maggio del 1928, a seguito dell'istanza presentata dal signor Nicoletti, la Commissione Edilizia espresse parere favorevole alla costruzione del nuovo fabbricato con struttura in muratura di tufo giallo e mattoni e "[…] *solai in volterrane a quattro fori con*

[222] Ing. Antonio Storniello, *"Progetto di palazzina ad uso di abitazioni civili in Salerno. Relazione"*, 1934 (da Archivio Storico del Comune di Salerno).

ossatura in cemento armato e tondini di ferro di 0,012 mm di diametro, […] *con conglomerato fatto da tre quintali di cemento per ogni metro cubo di arena lavata.* […]"[223].

Nel 1946 il ragioniere Nicoletti, spinto dalla necessità di dare alla sua famiglia un'abitazione, presentò un'ulteriore istanza per la sopraelevazione di un terzo piano, affidando all'ingegnere Vincenzo Trucillo l'incarico della redazione del progetto e della direzione dei lavori. Il nuovo piano fu relizzato con "[…] *murature perimetrali in mattoni cannocchiale* (fig. 232) *e solai in cemento armato con laterizi tipo Provera di altezza pari a 25 cm*"[224].

B.21 Palazzo "Cuoco-Santoro"

Il 3 febbraio 1924 la Commissione Edilizia espresse parere favorevole per la costruzione di un edificio, ubicato in piazza XXIV Maggio (ex piazza Malta) e progettato dall'ingegnere Vincenzo Naddeo.

L'edificio si presenta a struttura mista con intelaiature in conglomerato cementizio armato e chiusure in muratura di tufo giallo.

Da quanto si evince dalla relazione tecnica a corredo del progetto di sopraelevazione, presentato dall'ingegnere Lorenzo Corino il 18 luglio

[223] Istanza prodotta ed inviata al Podestà del Comune di Salerno dal ragioniere Arnaldo Nicoletti per la costruzione del nuovo convitto di via Arce (Salerno, 26 aprile 1928 - prot. n. 6438) (da Archivio Storico del Comune di Salerno - A.S.S. coll: categoria X, Classe VI, Fascicolo 42).

[224] Ing. Vincenzo Trucillo, "*Relazione tecnica a corredo del progetto di sopraelevazione dell'edificio sito in Salerno alla via Arce n. 7*", 12 maggio 1946 (da Archivio Storico del Comune di Salerno - A.S.S. coll: categoria X, Classe VI, Fascicolo 42).

1945, "[…] *i solai sono in conglomerato cementizio armato a struttura mista con l'impiego di laterizi di altezza pari a 18 cm al fine di ottenere un'idonea camera d'aria* […]"[225].

Non si hanno tuttavia dati circa i materiali impiegati.

B.22 Rione dei Mutilati: la Casa del Mutilato

A Salerno la costruzione della Casa del Mutilato, tema tipico dell'architettura fascista, fu fortemente voluta dall'Associazione Nazionale dei Mutilati ed Invalidi di Guerra, per svolgere funzione di assistenza ai mutilati e agli invalidi di guerra.

Il progetto della Casa del Mutilato faceva parte degli interventi di sistemazione urbana previsti dal Piano Regolatore approvato nel 1937 e redatto da Alberto Calza Bini, presidente del sindacato Nazionale Fascista degli Architetti, e fu commissionato al professore napoletano Camillo Guerra, Ingegnere Capo dell'Ufficio Tecnico del Comune di Salerno.

La Casa del Mutilato è parte del quartiere denominato dei Mutilati, incentrato su di una piazza ottagonale, piazza Principe Amedeo, attorno alla quale sorgono anche i due edifici adibiti ad abitazioni destinate agli invalidi e ai mutilati di guerra, edificati tra il 1935 e il 1936, sempre su progetto dell'ingegnere Guerra.

[225] Ing. Lorenzo Corino, *"Relazione tecnica di accompagnamento al progetto di sopraelevazione"*, 18 luglio 1945 (da Archivio Storico del Comune di Salerno).

Dopo diverse versioni proposte dall'ingegnere Guerra, il progetto fu, infine, realizzato, probabilmente per ragioni economiche, dal geometra Giovanni De Sio, tra il 1958 e il 1959.

Dalla relazione tecnica di accompagnamento alle tavole del progetto esecutivo, si evince che la struttura portante è interamente realizzata in conglomerato cementizio armato e presenta "[…] *solai* […] *in cemento armato e laterizi a nervaturine parallele per le luci minori e solai del tipo STIMIP a nervature incrociate per i due saloni"*[226].

Non si hanno dati numerici o tavole d'archivio circa il dimensionamento degli orizzontamenti e informazioni relative ai materiali impiegati.

Nonostante la poca diffusione del solaio *Stimip* a Salerno, si è ritenuto comunque doveroso fare un'ipotesi di restituzione, consultando i cataloghi delle ditte produttrici dell'epoca (fig. 231).

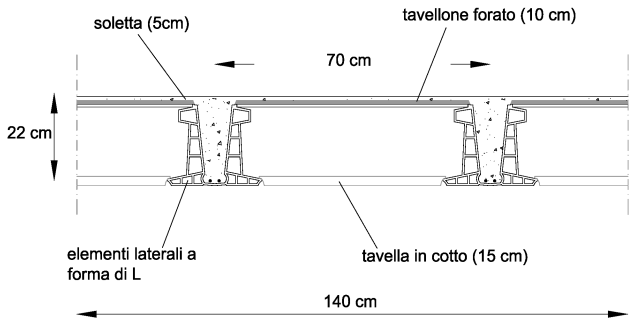


fig. 231: ipotesi di restituzione grafica di una sezione del solaio *Stimip* a nervature incrociate, posto a copertura dei due saloni, ottenuta mediante l'utilizzo del CAD.

[226] Geom. Giovanni De Sio, *"Progetto per la costruzione della sede provinciale di Salerno dell'Associazione Nazionale tra Mutilati ed Invalidi di Guerra - Relazione tecnica"*, 14 aprile 1958 (da Archivio Storico del Comune di Salerno).

B.23 Palazzo "Stanzione"

Circa questo edificio, sito in via Arce, ci pervengono poche notizie in quanto la maggior parte dei documenti d'archivio, inerenti al progetto originario, è andata completamente perduta. Da una relazione del 1925 a firma dell'ingegnere Carlo Milanese, progettista e direttore dei lavori, si riscontra che la struttura è del tipo misto con "[…] *muratura in mattoni con malta di calce e arena, e i pilastri, travature e solette, in cemento armato con tondini di ferro da 0,012 a 0,015 di diametro.* […] *Il conglomerato sarà di tre quintali di cemento di ottima qualità per ogni m.c. di arena lavata, ed i tondini di ferro* […] *saranno di 0,016 di diametro; mentre quelli delle travature, avranno il diametro di 0,018.*

Le solette saranno costituite con conglomerato di cemento e arena come sopra, con poutrelle di ferro di 0,10 di altezza, e tondini di 0,016 di diametro a distanza di 0,40 uno dall'altro, intrecciati con verghelle di 0,005 di diametro a distanza di 0,18 tra una e l'altra."[227].

Da una successiva relazione a corredo dei lavori di ricostruzione post bellica, è possibile riscontrare che la tipologia strutturale è rimasta invariata"[…] *muratura di tufo giallo intramezzati da pilastri in cemento armato"*[228], mentre i solai sono stati ricostruiti con la tipologia *Unic.*

---

[227] Ing. Carlo Milanese, *Relazione a corredo dell'istanza presentata al Comune di Salerno per il progetto di una palazzina in via Arce*, 30 settembre 1925 - prot. n. 14152 (da Archivio Storico del Comune di Salerno).

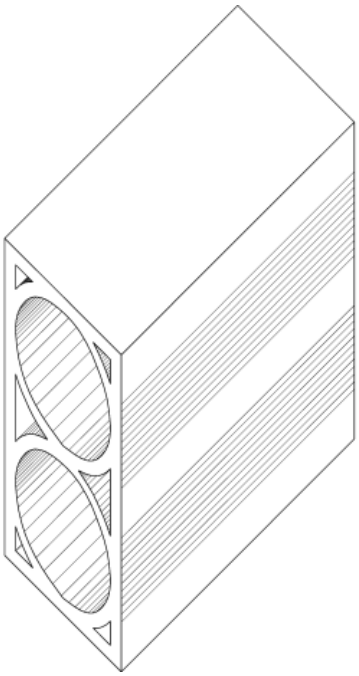
[228] Geom. Gabriele Bevilacqua, *"Ricostruzione fabbricato di proprietà dei sigg. Sibilia Cleofe fu Stanislao e Di Giacomo Alfio fu Giovanni in Salerno alla via Arce n° 13 - Relazione"*, 22 giugno 1947 (da Archivio Storico del Comune di Salerno).

B.24 Palazzo "D'Alessandro-De Crescenzo"

Come per il precedente, anche per questo edificio, ubicato in piazza Vittorio Veneto, sono andati persi tutti i documenti riguardanti la costruzione originaria, avvenuta probabilmente agli inizi degli anni Trenta. Gli unici documenti d'archivio che ci sono pervenuti sono tutti abbastanza recenti (anni Cinquanta e Sessanta) e riguardano progetti di ricostruzione *post* bellica, sopraelevazioni, richieste di concessione per l'apertura e la gestione di un albergo all'interno dello stabile.

Poco viene detto circa le caratteristiche strutturali dell'edificio; solo da una relazione tecnica a corredo di un progetto di variante, per la costruzione di un piano attico sulla verticale Sud-Ovest, a firma del geometra Giuseppe Sullotrone, si ricava un'informazione sui solai di copertura che sono del tipo *Rex*[229].

[229] Geom. Giuseppe Sullutrone, *"Progetto di variante alla costruzione di piano attico sulla verticale sud-ovest del Palazzo d'Alessandro sito in Piazza Vittorio Veneto di Salerno e di proprietà della sig.ra Giovanna Iannone fu Alfonso maritata de Crescenzio dom/ta in Napoli alla Via Bartolomeo Caracciolo, 30 - Relazione tecnica"*, 28 novembre 1958 (da Archivio Storico del Comune di Salerno).



figg. 232: immagine di una parete realizzata con laterizi del tipo cannocchiale e assonometria[230] di un blocco. Si tratta di laterizi a due fori circolari, denominati *"laterizi cannocchiale"*, in riferimento proprio alla loro particolare forma che richiama il citato strumento ottico.

[230] Tesi di laurea di De Rosa D., *Il Pontificio Seminario Regionale "Pio XI" di Salerno: le tecniche costruttive degli anni Trenta del Novecento*, laurea triennale in Ingegneria Civile, Università degli Studi di Salerno, relatore Ribera F., a.a. 2010/2011.

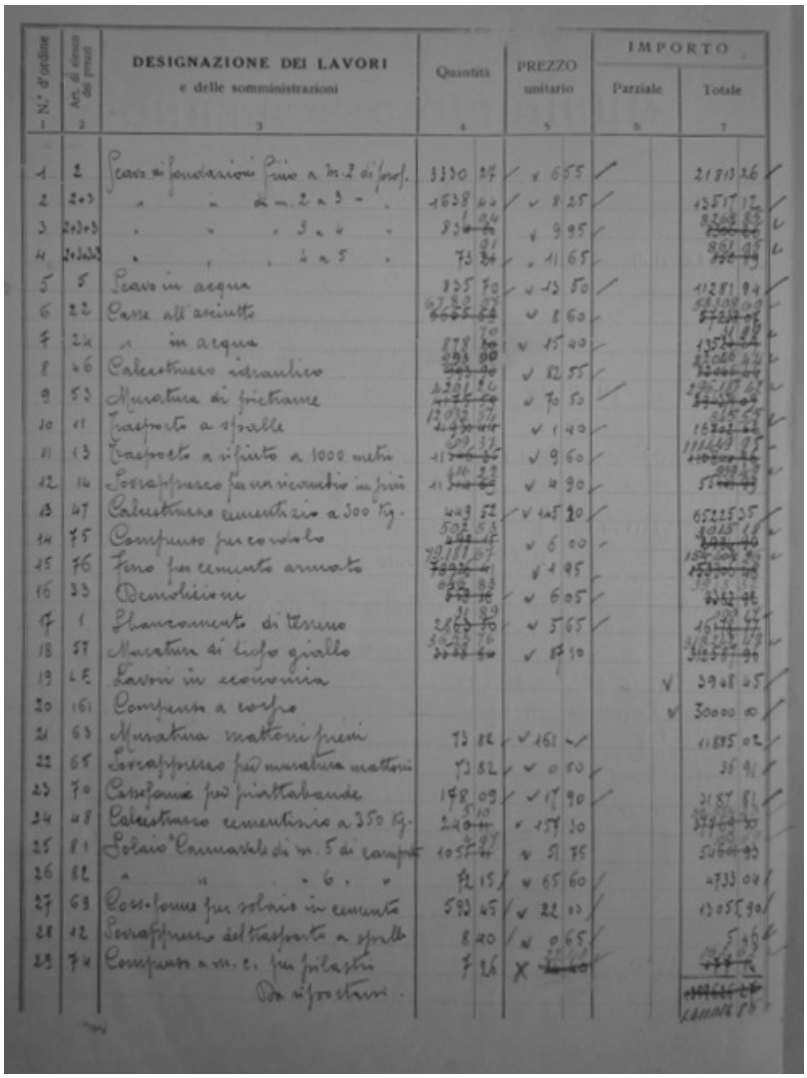


fig. 233: Municipio di Salerno - V Ufficio Lavori Pubblici, Impresa Ing. Arturo Carola e C., "*Lavori di costruzione del Palazzo di Giustizia - Stato finale dei lavori eseguiti a tutto il 2 luglio 1932"* (da Archivio Storico del Comune di Salerno).

Edifici con altre strutture in calcestruzzo armato

C.1 Palazzo di Città: cinema

UBICAZIONE E IDENTIFICAZIONE

Via Roma

Anno di costruzione: 1928-1936

Progettista: Ing. Camillo Guerra

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E TIPOLOGICHE

Struttura mista in conglomerato cementizio armato e muratura di tufo giallo.

CARATTERISTICHE DEGLI ORIZZONTAMENTI

Il Palazzo di Città, oltre al solaio a cassettoni in conglomerato cementizio armato con diffusori in vetro posto a copertura della "Sala del Gonfalone", e dei solai del tipo *Cannovale e Dellepiane* utilizzati per la platea, il palcoscenico del cinema e per alcuni locali prospicienti il

portico, presenta anche una interessantissima volta a fascioni e cassettoni interamente realizzata in conglomerato cementizio armato, posta a copertura del cinema “Augusteo”, ubicato al piano terra dell’edificio.

Data la complessità della struttura e l’impossibilità di procedere ad un accurato rilievo della stessa, se ne fa una descrizione sommaria, elaborando i dati rinvenuti in un foglio di progetto (fig. 234), a corredo di uno dei libretti delle misure dell’epoca, e verificandoli con quelli desunti dai sopralluoghi effettuati.

La volta è costituita da grandi arcate in conglomerato cementizio armato della larghezza di circa 1,00 m con luce di oltre 15,00 m. Tali archi suddividono la volta in fasce di circa 3,00 m, caratterizzate da nervature incrociate, a sezione rettangolare di dimensioni pari a 20x20 cm, che delimitano tre file di cassettoni.

Il peso dell’intera volta scarica su incavallature in calcestruzzo armato, di sezione pari a 60x50 cm, poste ad un interasse di 2,80 m.

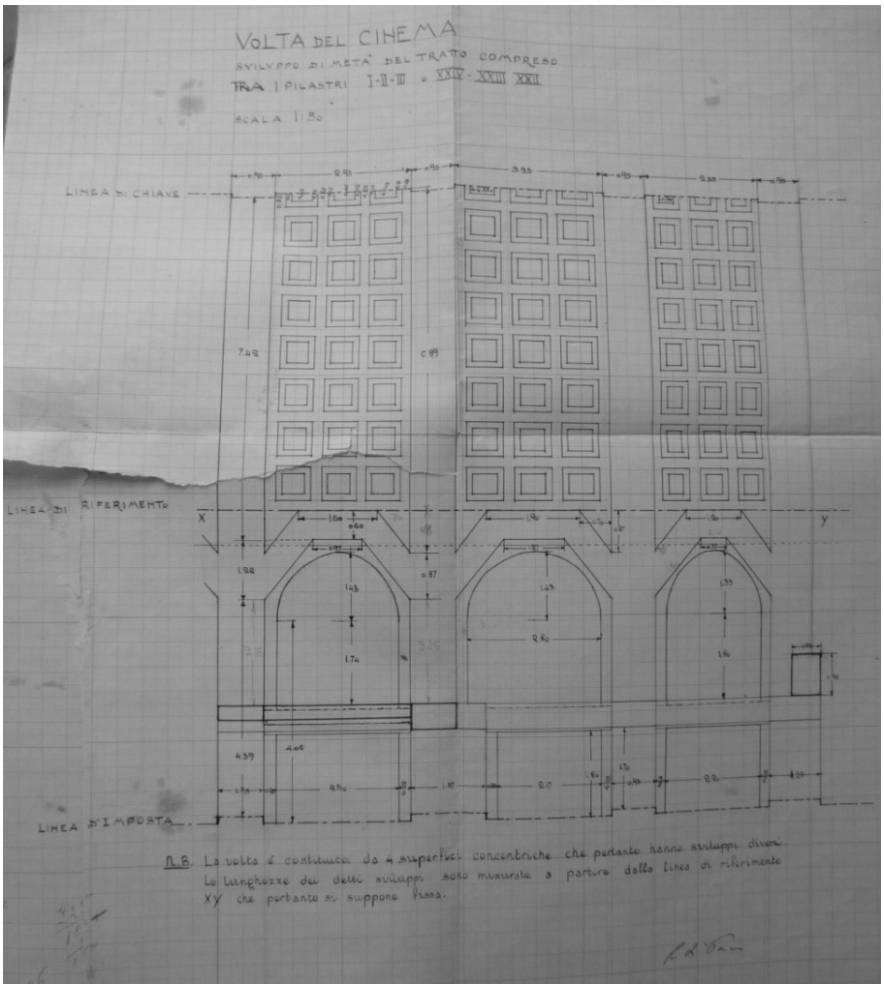
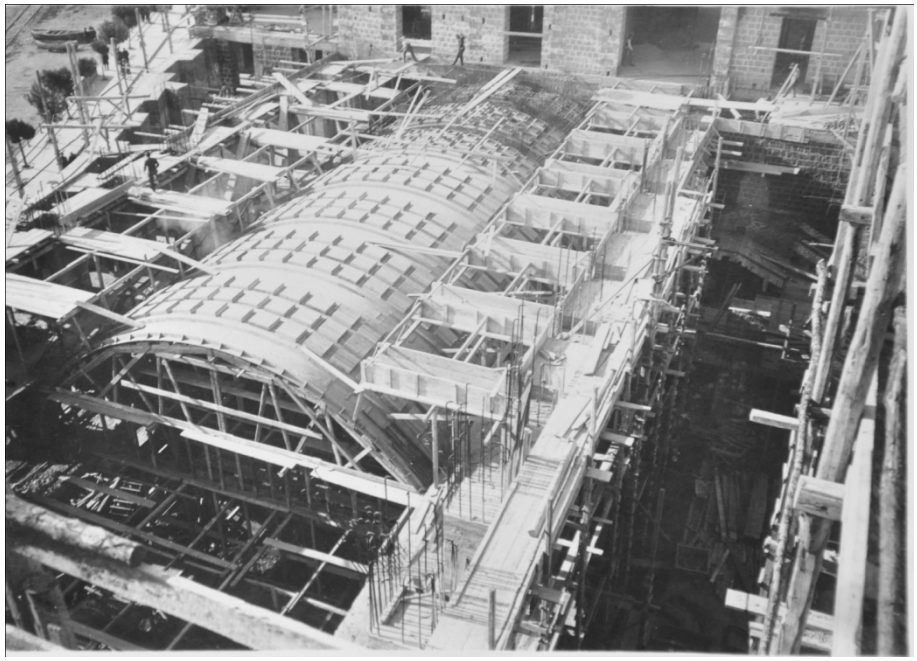
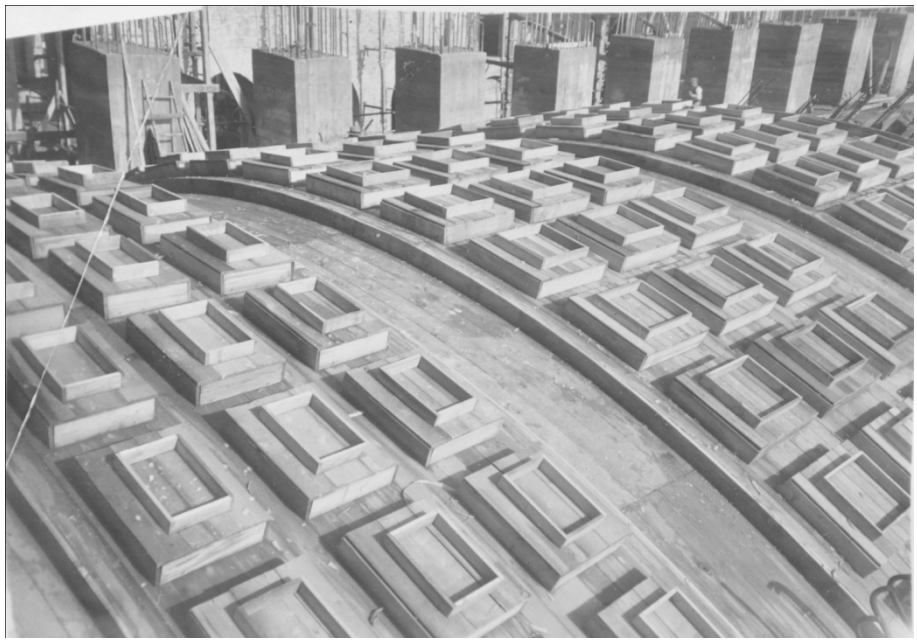
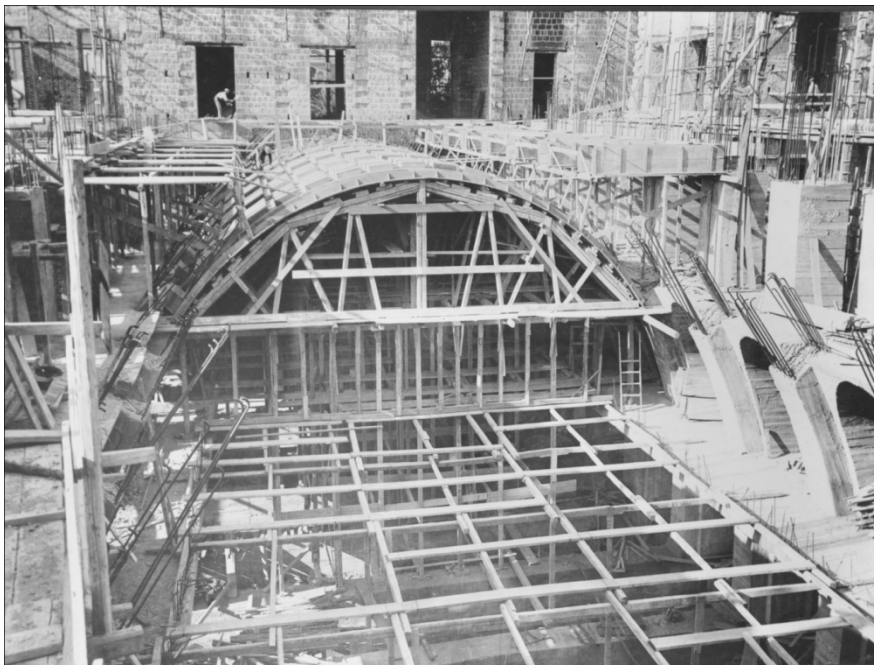
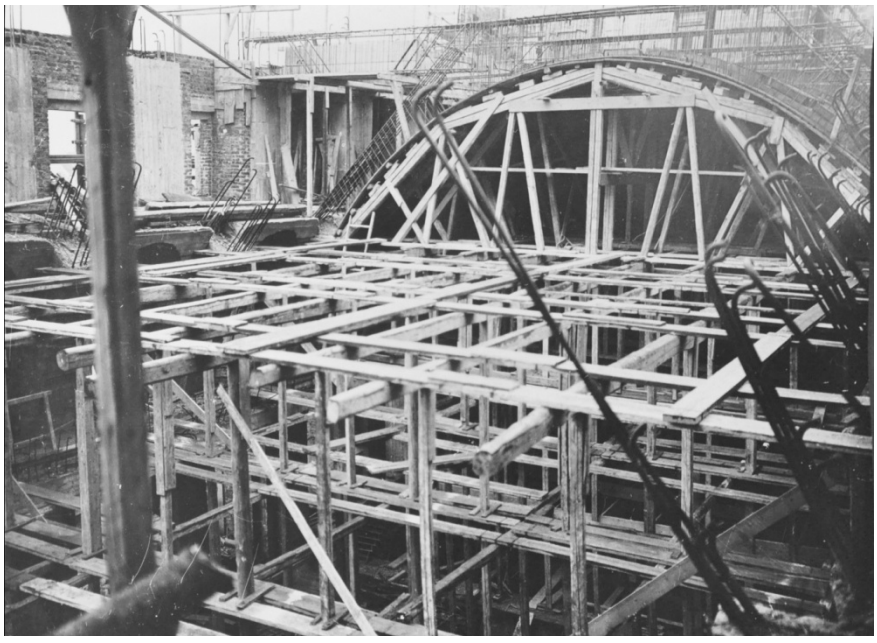


fig. 234: Municipio di Salerno - Ufficio dei Lavori Pubblici, Ingg. Camillo Guerra e Arturo Carola, *"Lavori di costruzione del Palazzo di Città - 10° libretto delle misure"* (da Archivio Storico del Comune di Salerno - Urb. Storico 1, "Libretto misure Carola 9 - 10 - 11": dettaglio foglio n. 26).







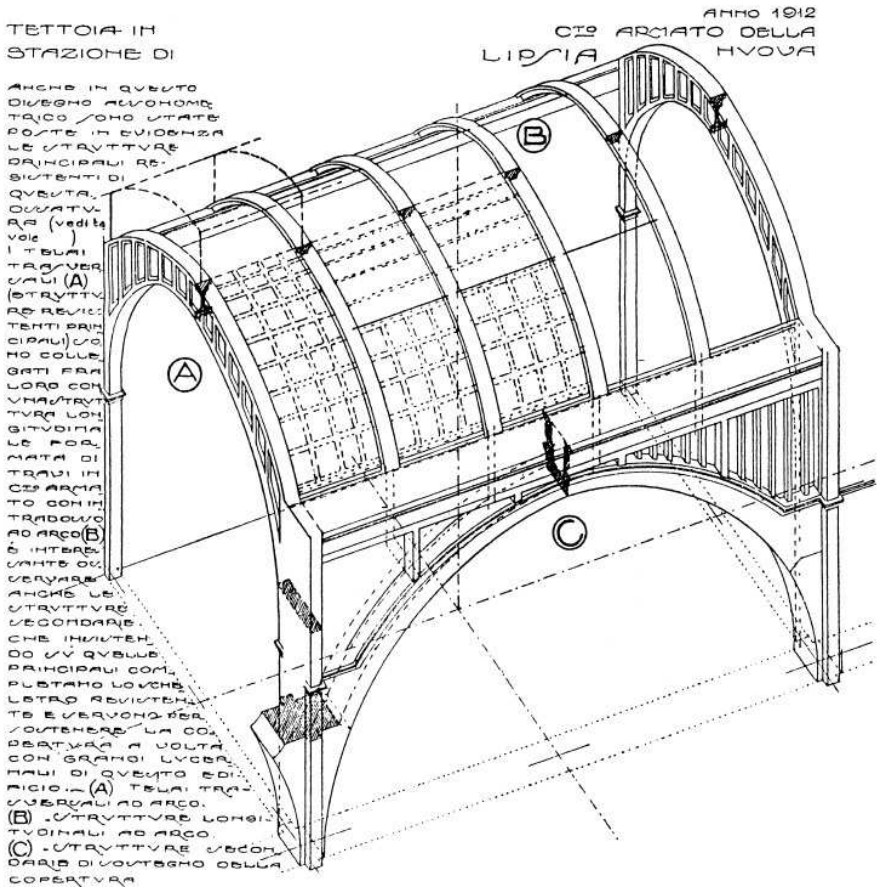


figg. 235 (immagini pp. 477, 478 e 479): foto d'epoca che documentano l'avanzamento dei lavori di costruzione della volta in conglomerato cementizio armato. Sono da notare la grande centina lignea a cassettoni, sostenuta da una complessa incastellatura, i pilastri, posti a sostegno dei grandi arconi laterali, dai quali spuntano i ferri di ripresa e una serie di travi poste all'estradosso della volta, con una probabile funzione di riduzione della luce (da Archivio della Fondazione Guerra - facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli "Federico II").

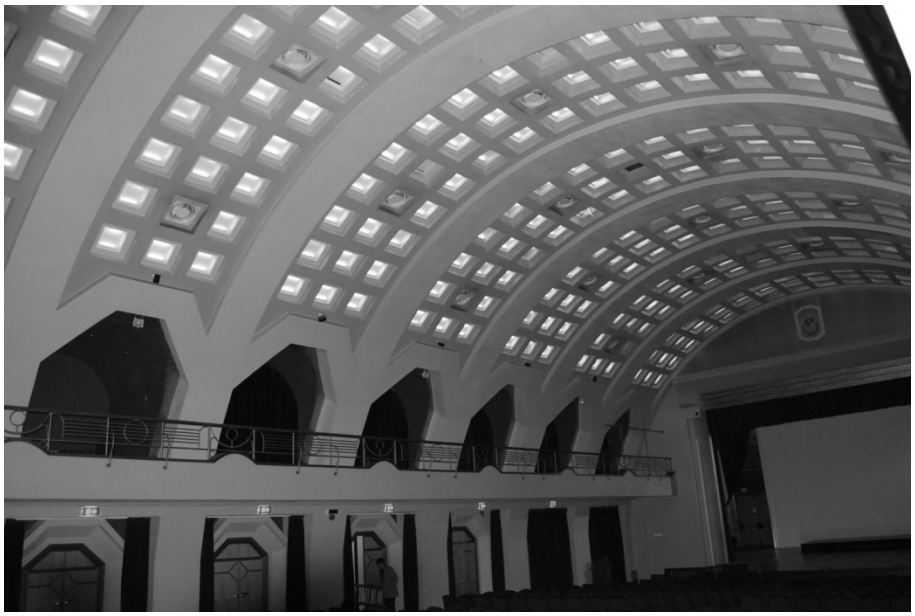
Curiosa è l'analogia tra Palazzo di Città e la stazione costruita a Lipsia nel 1912.

La stazione, che risulta tra le prime opere costruite in calcestruzzo armato, presenta anch'essa una copertura costituita da telai trasversali ad arco (*A*), collegati fra loro con una struttura formata da travi in conglomerato cementizio armato con intradosso ad arco (*B*). È

interessante osservare anche le nervature secondarie (*C*) che, insistendo su quelle principali, completano lo scheletro resistente e sostengono la copertura a volta con grandi lucernari.

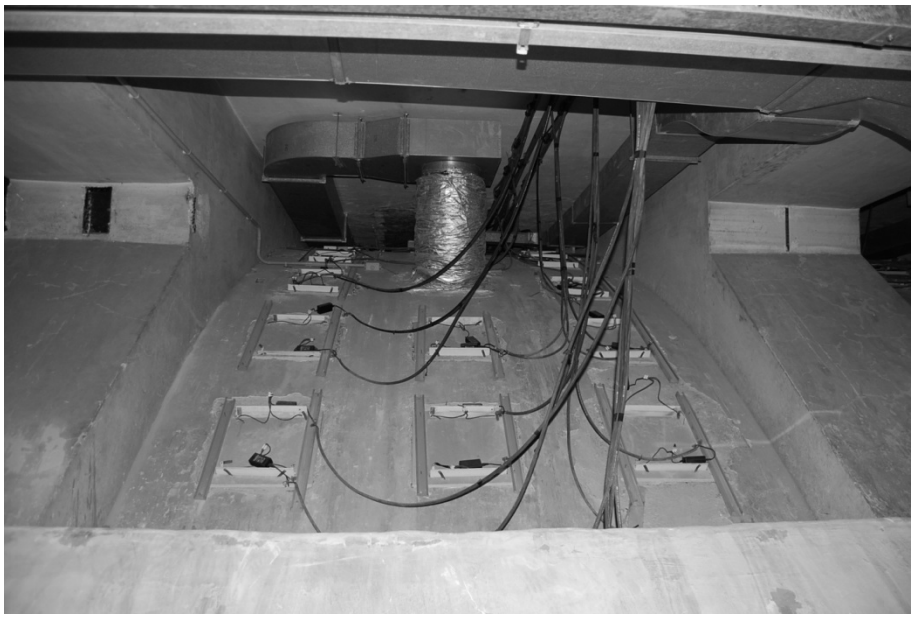


figg. 236: schematizzazione della copertura della stazione di Lipsia costruita nel 1912 (da Zevi B. (a cura di), *Il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma 2008).



figg. 237: immagini dell'intradosso della volta dell'attuale cinema-teatro "Augusteo".

figg. 238: immagini dell'intradosso della volta dell'attuale cinema-teatro "Augusteo".



figg. 239: immagine dell'estradosso della volta in calcestruzzo armato, che ad oggi è adibito a locale tecnico.

C.2 Pontificio Seminario Regionale "Pio XI": cappella centrale

UBICAZIONE E IDENTIFICAZIONE

Via Urbano II - Via Guerino Grimaldi

Anno di costruzione: 1930-1933

Progettista: Arch. Ing. Giuseppe Momo

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E TIPOLOGICHE

Struttura realizzata interamente con ossatura in conglomerato cementizio armato, tecnologia che rese possibile lo svincolarsi dalle grandi masse murarie, ricavando così i grandi spazi destinati alle funzioni scolastiche e religiose.

CARATTERISTICHE DEGLI ORIZZONTAMENTI

Da sopralluoghi effettuati è stato possibile riscontrare che la copertura del quarto padiglione del complesso, che ospita la Cappella Centrale, presenta un particolare tipo di copertura, diversa dagli altri edifici.

Essa, infatti, è realizzata con capriate monolitiche in conglomerato cementizio armato, finemente decorate.

Le sei capriate, disposte ad un interasse di circa 4,50 m, presentano una luce pari a 15,00 m e costituiscono la copertura dell'intera navata della Chiesa. Ognuna di esse è costituita da elementi in calcestruzzo armato di sezione pari a 30x30 cm; gli arcarecci presentano anch'essi una sezione quadrata ma con lato pari a 20 cm. Lo stato di conservazione delle capriate è discreto, nonostante la Chiesa risulti inagibile sin dagli anni Ottanta. Molto probabilmente è stata scelta questa tecnica costruttiva per la notevole luce da coprire e per richiamare, forse, le coperture tradizionali con capriate in legno decorate[231].

[231] Tesi di laurea di De Rosa D., *Il Pontificio Seminario Regionale "Pio XI" di Salerno: le tecniche costruttive degli anni Trenta del Novecento*, cit.

fig. 240: particolare delle capriate della Cappella Centrale del Seminario.

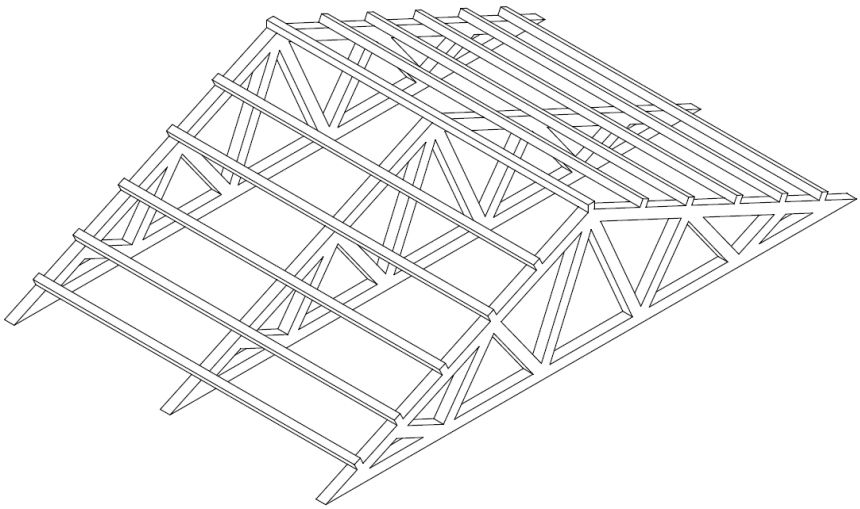


fig. 241: restituzione grafica di una vista assonometrica semplificata, ottenuta mediante l'utilizzo del CAD.

Gli edifici salernitani, esaminati nel corso della ricerca di dipartimento inerente all'edilizia salernitana del Ventennio fascista, sono in tutto 193 (153 edifici privati e 40 edifici pubblici), dei quali solo per un numero pari a 33 è stato possibile identificare la tipologia di orizzontamento presente, mediante indagini *in loco* unitamente ad un'attenta disamina dei documenti d'archivio reperiti.

Per i 33 edifici salernitani, presi come casi studio, sono state individuate 44 tipologie di solai con struttura in conglomerato cementizio armato, oltre a 2 strutture particolari, sempre in calcestruzzo armato, illustrate nel dettaglio nelle schede C.1 e C.2.

Procedendo, quindi, ad una prima suddivisione dei solai in sezioni (A, B e C), che si rapporta alla classificazione degli orizzontamenti illustrata nel capitolo precedente, si è pervenuti ai risultati sintetizzati nel grafico 1. Tra i solai salernitani esaminati, 14 sono del tipo a soletta piena, nervature parallele o incrociate e a camera d'aria (Tipologia A); 30 sono del tipo latero-cementizio (Tipologia B) e 2 sono classificabili come strutture "speciali" in conglomerato cementizio armato (Tipologia C).

È possibile dedurre, quindi, che la maggior parte degli edifici salernitani presenta orizzontamenti del tipo latero-cementizio, molto probabilmente perché la città di Salerno non partecipò subito attivamente alle prime sperimentazioni connesse all'uso del conglomerato cementizio armato nell'ambito delle costruzioni edili; quando poi, tra gli anni Venti e Trenta, cominciarono a divulgarsi in Italia i primi vantaggi che l'impiego di solai latero-cementizi apportavano alla costruzione di un'opera edile (leggerezza, afonicità, semplicità ed economia di posa in

opera, ecc.), cominciarono a diffondersi largamente nella realtà salernitana queste tipologie di solai, anche se per il resto, come si è avuto modo di constatare, la città è rimasta per lo più legata, fino all'avvento della seconda guerra mondiale, alle tradizioni costruttive del passato.

Approfondendo l'indagine, si è effettuata un'ulteriore analisi, più specifica, avente per oggetto i 30 orizzontamenti latero-cementizi rilevati, al fine di avere una panoramica completa delle tipologie riscontrate nella realtà salernitana del Ventennio fascista. Dai risultati di questa seconda indagine, sintetizzati nel grafico 2, si evince che tra i solai latero-cementizi, il tipo maggiormente diffuso è il *Cannovale e Dellepiane* (ben 15 solai sui 30 riscontrati sono ascrivibili in questa tipologia) il cui nome, come è stato possibile constatare nell'attenta disamina dei documenti di archivio, veniva spesso stravolto (*Cannovale e Delle Piane*, *Cannavale e Delle Piane*, *Cannavale Delle Piane*, *Cannovale*, *Cannavale* e *Carnevari*). La denominazione corretta risulta essere, tuttavia, *Cannovale e Dellepiane*, nome di una famosa ditta genoana produttrice di solai latero-cementizi, come si evince da una pubblicità dell'epoca (fig. 242).

Le altre tipologie individuate sono presenti, invece, in un numero esiguo di edifici, come meglio dettagliato nella tabella seguente (tab. 12).

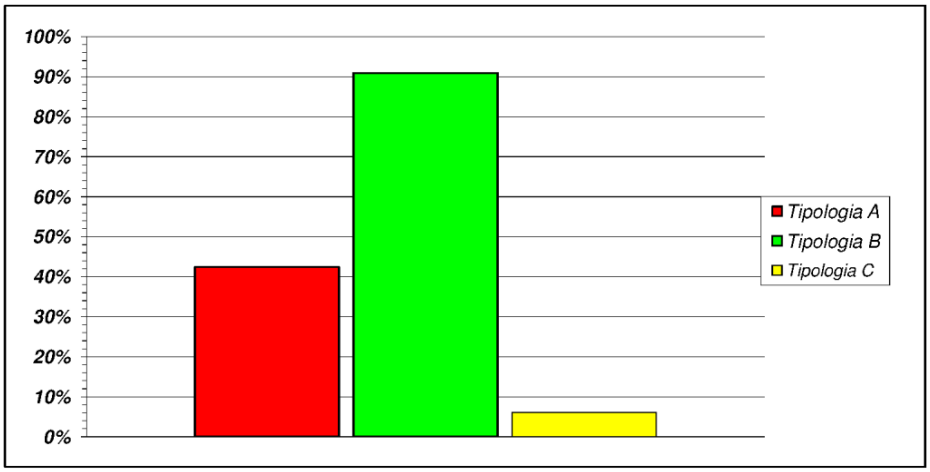


grafico 1: istogramma in cui è rappresentata la grande diffusione dei solai del tipo latero-cementizio nella realtà salernitana del Ventennio fascista.

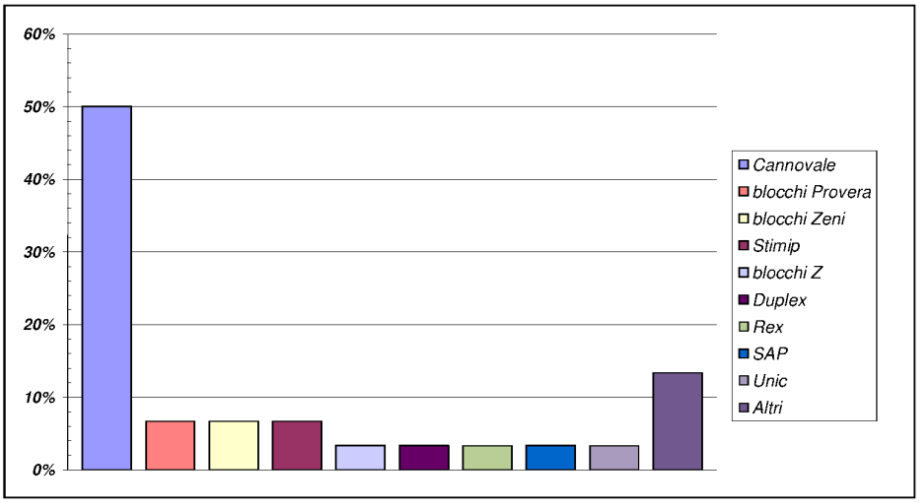


grafico 2: istogramma in cui è rappresentata la grande diffusione nella realtà salernitana del solaio latero-cementizio tipo *Cannovale e Dellepiane*.

TIPOLOGIA DI SOLAI LATERO-CEMENTIZI	**NUMERO DI EDIFICI IN CUI E' STATA RISCONTRTA**
Cannovale e Dellepiane	15
A blocchi Provera	2
A blocchi Zeni	2
Stimip	2
A blocchi Z	1
Duplex	1
Rex	1
SAP	1
Unic	1
Altre	4
TOTALE	30

tab. 12: dettagli delle singole tipologie di solai latero-cementizi individuate negli edifici salernitani.

fig. 242: pubblicità dell'epoca della ditta "Cannovale e Dellepiane" di Genova.

Si è ritenuto opportuno effettuare una dettagliata classificazione degli orizzontamenti salernitani del Ventennio con struttura in calcestruzzo armato, in quanto si è fermamente convinti che una corretta valutazione dello stato di un solaio parta proprio da una precisa identificazione della tipologia e delle sue caratteristiche geometriche, che non sempre risultano essere facilmente riconoscibili *in loco*.

Elaborando, infatti, le informazioni ottenute a seguito delle ricerche archivistiche condotte e dei sopralluoghi effettuati, è stato possibile pervenire ad una classificazione dei solai in base alle luci degli ambienti da coprire, alle altezze degli orizzontamenti stessi e agli interassi tra i travetti e/o nervature, che può essere così sintetizzata:

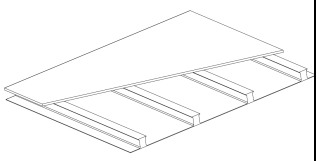
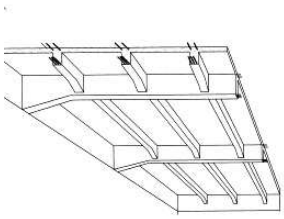
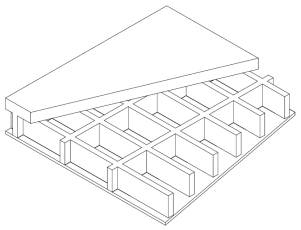
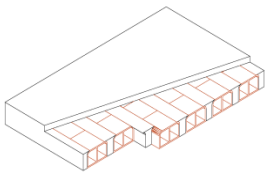
- per luci fino a 4,00 m, solitamente si è avuto l'impiego di solai a soletta piena o di solai in conglomerato cementizio armato con laterizi semplici o armati di altezza variabile tra i 16 e i 19 cm (tipologie a blocchi *Zeni* e *SAP*);
- per luci comprese tra i 4,00 ed i 6,00 - 7,00 m, diffuso è l'uso di solai in conglomerato cementizio armato misto a laterizi o laterizi armati di altezza variabile tra i 16 e i 27 cm (tipologie *Cannovale e Dellepiane*, *Duplex*, *Stimip*, a blocchi *Provera*, ecc.);
- per luci superiore agli 8,00 m era previsto di solito l'utilizzo di solai in conglomerato cementizio armato a camera d'aria (tipologia *Hulhanec e Leeman*) o di solai sempre in conglomerato cementizio armato precompresso (anche se questa tipologia è risultata non essere diffusa tra i solai riscontrabili a Salerno).

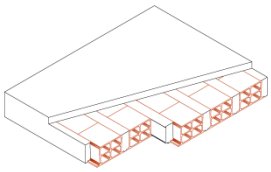
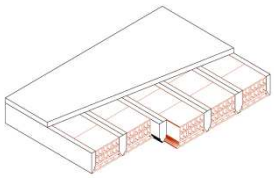
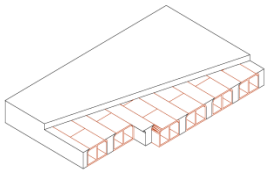
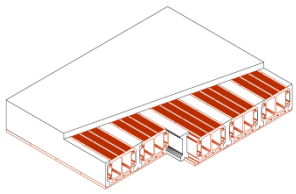
Sempre dalla consultazione dei documenti di archivio e/o effettuando misurazioni *in loco*, laddove gli orizzontamenti si presentavano a vista, è stato possibile constatare che le altezze degli orizzontamenti oggetto di studio (h), rapportate alle luci (L), rispettavano grossomodo già all'epoca il rapporto h=L/25, nonostante venisse accettata anche un'altezza pari a 1/30 della luce (come previsto dal R.D. legge del 16 novembre 1939 n. 2229 "*Norme per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice o armato")*, poi abbandonata a causa delle fratture che si verificavano negli elementi in laterizio prodotte dalle deformazioni eccessive[232].

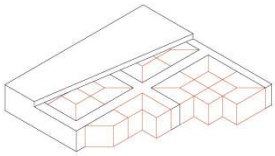
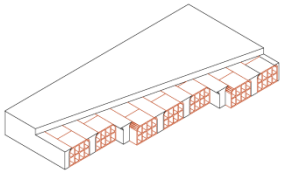
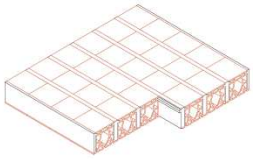
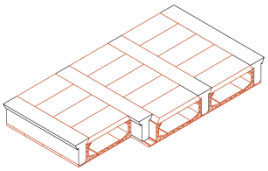
Facendo, dunque, un raffronto tra i tipi di solai salernitani che trovano un riscontro con le tipologie documentate dalla manualistica coeva (esempio *SAP* e *Stimip*), è possibile concludere che essi appaiono correttamente dimensionati in rapporto alla tecnica e alle prescrizioni normative all'epoca vigenti, rispettando le dimensioni *standard* indicate per i medesimi tipi e i singoli elementi; è, tuttavia, opportuno precisare che nella realtà salernitana vi sono anche alcuni orizzontamenti in conglomerato cementizio armato per i quali non risulta possibile trovare una corrispondente descrizione tra quelle fornite dai manuali, in quanto è noto che le tecniche costruttive erano spesso influenzate da tradizioni locali.

[232] Zevi B. (a cura di), *op. cit.*, p. B 13. Secondo le attuali normative, infatti, il limite di 1/30 della luce è accettato esclusivamente per i solai costituiti da travetti precompressi e blocchi interposti (da Edil Test, *Normative tecniche per le costruzioni 1997*, Pacini Editore, Pisa 1997).

I risultati di tale catalogazione, corredati da restituzioni assonometriche, sono stati sintetizzati nella tabella seguente (tab. 13), al fine di costituire un "archivio" di notizie facilmente consultabili e aggiornabili.

TIPOLOGIA	**IMMAGINE**	**LUCE [m]**	**ALTEZZA SOLAIO [cm]**	**INTERASSE [cm]**
a nervature parallele		8,50	44 (36 altezza nervature + 8 soletta)	230
a nervature incrociate		4,50	72 (60 altezza nervature principali + 12 soletta)	330 (nervature principali)
Hulhanec e Leeman		8,00	33 (20 camera d'aria + 10 soletta superiore + 2,5 soletta inferiore)	30-50
a blocchi *Zeni*		3,50	19 (14 altezza laterizio + 4 soletta)	27

Cannovale e Dellepiane		3,00-6,00	20-25 (14 - 19 altezza laterizio + 6 soletta)	24-25
Solaio latero-cementizio gettato in opera con laterizi a quattro fori allineati		5,00	20 (16 altezza laterizio + 4 soletta)	29
Solaio simile a quello a blocchi *Zeni*		5,00	20 (16 altezza laterizio + 4 soletta)	35
Solaio latero-cementizio gettato in opera con laterizi forati e travetti a forma di “osso di cane”		5,00-6,00	22 (18 altezza laterizio + 4 soletta)	26

Duplex		5,00-7,00	25-26 (20 altezza laterizio + 5-6 soletta)	74
a blocchi *Provera*		6,00-7,00	27 (20 altezza laterizio + 7 soletta) o 24 (18 altezza laterizio + 6 soletta)	35-37
SAP		3,50-4,50	16 (solo spessore laterizio in quanto vi è assenza di soletta)	20
Stimip		6,00-7,00	19-22 (solo spessore laterizio in quanto vi è assenza di soletta)	50-58

tab. 13: classificazione sintetica dei solai maggiormente diffusi nella realtà salernitana tra il 1922 ed il 1943 in base alla luce, all'altezza e all'interasse.

Qualora si decidesse di dare un seguito alla presente ricerca in un ambito interdisciplinare, si potrebbero ricavare ulteriori ben più precise informazioni relative al diametro e al posizionamento delle armature, alla portanza del solaio, allo spessore della soletta, che consentirebbero di pervenire ad importanti approfondimenti anche da un punto di vista strutturale.

L'indagine condotta si rivela, quindi, essere preliminare a quelle che sono le problematiche connesse al recupero dell'esistente, in quanto consente di approfondire la conoscenza tipologica e costruttiva degli orizzontamenti salernitani in conglomerato cementizio armato tipici del Ventennio fascista, al fine di escogitare una strategia mirata di intervento, che preveda operazioni, possibilmente puntuali e localizzate, che hanno come obiettivo prioritario quello di preservarne le caratteristiche originarie.

CAPITOLO TERZO

IL DEGRADO E IL RISANAMENTO DEI SOLAI IN CALCESTRUZZO ARMATO: INDIRIZZI PER IL RECUPERO

In campo tecnologico, qualsiasi operazione di recupero produce risultati apprezzabili se consta di una buona fase diagnostica, a carattere interdisciplinare, che mira ad una conoscenza puntuale dello stato di conservazione del materiale. L'approccio diventa più complesso se vengono interessate le variabili riguardanti i materiali ed il loro utilizzo in via sperimentale, come nel caso delle tipologie di orizzontamenti in conglomerato cementizio armato realizzate in Italia, e nello specifico a Salerno, nella prima metà del Novecento.

Nell'architettura del Ventennio, si assiste, infatti, al passaggio dalle tecnologie e tecniche tradizionali consolidate, tipiche dell'edilizia ottocentesca , ad altre che potremmo definire per l'epoca completamente innovative. Si ha in questo periodo un'attiva e prolifera sperimentazione del conglomerato cementizio armato, soprattutto nel campo degli

orizzontamenti che offrivano numerosi vantaggi rispetto a quelli in legno e ferro.

Il recupero di quelle tecnologie nate come innovazione, la verifica della loro durata nel tempo e l'individuazione di idonei strumenti di intervento implica, quindi, uno studio complesso del loro stato, della loro componente tecnologica, materica e degenerativa.

Punto fondamentale di partenza è un'approfondita fase iniziale di analisi diagnostica, dalla quale è possibile ricavare informazioni di carattere storico e tecnologico, oltre a quelle inerenti allo stato di conservazione del manufatto, al fine di consentire il rispetto e la valorizzazione dell'identità del costruito, favorendo l'interpretazione dell'esistente e l'individuazione dei possibili scenari di intervento[233].

Partendo dalla raccolta dei dati storici (documenti e tavole d'archivio originali) dell'edificio, o nella fattispecie del singolo orizzontamento da recuperare, risulta abbastanza agevole ricostruirne la struttura originaria, classificandola a seconda delle caratteristiche dimensionali e costruttive; laddove possibile è opportuno pervenire al reperimento di indicazioni circa le tipologie di materiali impiegati, anche se per verificare la fondatezza di questi dati è bene che vi sia comunque un riscontro oggettivo attraverso successive prove.

Alla conoscenza storica dell'elemento, mediante l'analisi della documentazione teorico-tecnica, segue la fase di conoscenza diretta, attraverso l'esame visivo che fornisce elementi utili per la successiva

[233] Caterina G. (a cura di), *Tecnologia del recupero edilizio*, UTET, Torino 1989.

individuazione dei fenomeni di degrado, come ad esempio fessurazioni diffuse, ferri scoperti, eventuale riduzione della sezione dell'armatura, distacchi, riduzione dello spessore del copriferro, ecc.

All'indagine visiva fanno seguito le prove *in situ*, che per un intervento di recupero si preferisce siano del tipo non distruttivo, tramite le quali è possibile pervenire al rilievo materico, necessario per individuare gli effetti del degrado che si manifestano sulla struttura ed associarli alle possibili cause da cui hanno avuto origine, in modo da poter formulare una corretta diagnosi.

Tali indagini consentono, infatti, di rilevare la presenza di difetti interni non visibili esternamente (fessure e fratture) su un'ampia superficie senza ricorrere, in alternativa, ad un numero considerevole di carotaggi; tra queste si ricordano le prove soniche ed ultrasoniche, che in base alla velocità delle onde consentono di determinare la continuità o meno del materiale attraversato.

Altre informazioni che possono essere ottenute riguardano l'omogeneità del materiale in superficie e il posizionamento dei ferri di armatura con la misura dei relativi diametri e dello spessore del copriferro: le prime possono essere ottenute mediante le prove sclerometriche, che rilevando la durezza superficiale del calcestruzzo, consentono l'individuazione delle zone di minore resistenza dalle quali verranno effettuati prelievi per le successive prove di laboratorio; le seconde sono ottenute per il tramite di indagini magnetometriche.

Per i solai in latero-cemento potrebbe risultare altresì utile l'applicazione della tecnica endoscopica, che, per il tramite di un

endoscopio, previa realizzazione di un foro del diametro di 20 mm, consentirebbe di stabilire lo spessore complessivo dell'orizzontamento nonché le dimensioni dei blocchi di laterizio, dello spessore della soletta e di quello della pavimentazione[234], oltre ad una prima valutazione dello stato di conservazione superficiale dei materiali. Altra importante tecnica è la termografia che, mediante la visualizzazione delle radiazioni infrarosse, consente anch'essa di rilevare i diversi materiali degli elementi che costituiscono un orizzontamento in latero-cemento, travetti e laterizi, oltre alle dimensioni degli stessi.

Dall'interpretazione dei risultati di queste prime prove è possibile procedere alla formulazione delle probabili cause di degrado, la cui attendibilità verrà poi verificata nelle successive indagini di laboratorio, tra le quali si ricordano le diagnosi per l'attacco solfatico e da cloruri, la carbonatazione, l'aggressione da anidride carbonica e alcalo-aggregati e la degradazione provocata da cicli di gelo e disgelo[235].

A ciò deve, tuttavia, seguire un'approfondita indagine strutturale che consenta di analizzare le capacità portanti della struttura preesistente in relazione ai carichi agenti e alle normative vigenti.

Gli interventi sulle strutture devono essere decisi, quindi, solo dopo aver chiaramente identificato le cause del degrado e dei dissesti, avendo verificato che essi siano compatibili con la concezione originaria, le condizioni attuali e i tipi di materiali che costituiscono l'edificio o il

[234] Bellini A., *Tecniche della conservazione*, Franco Angeli Editore, Milano, 2001, pp. [270-275].

[235] Coppola L., *La diagnosi del degrado delle strutture in calcestruzzo* in "L'industria italiana del cemento", 10/1993, p. 657.

singolo elemento da recuperare, al fine di conservare quello che è il documento materiale[236] che gli orizzontamenti salernitani in conglomerato cementizio armato del primo Novecento rappresentano.

Nel prosieguo si esamineranno, pur sempre da un punto di vista meramente tecnologico, i più diffusi metodi di risanamento dei solai in conglomerato cementizio armato, fermo restando che essi devono essere considerati come puramente indicativi, in quanto spetta al progettista la decisione su quando e come utilizzarli in relazione alle diverse casistiche che gli si presentano e alle problematiche riscontrate durante le indagini.

In accordo con quanto stabilito dalla Carta di Cracovia uno degli obiettivi della presente ricerca è individuare tra le tecniche di intervento proposte quelle maggiormente volte al mantenimento dell'autenticità e dell'integrità del singolo orizzontamento, mediante una progettazione dell'intervento di ripristino o di consolidamento concepita come preservazione del bene, al fine di consentire la trasmissione del manufatto alle generazioni future. Si è cercato, infatti, di stimolare "*la conoscenza dei materiali dell'epoca e delle tecniche tradizionali per la loro conservazione nel contesto della moderna società, essendo di per se stesse una componente importante del patrimonio*"[237] in modo da trasmetterne i suoi valori culturali.

Il fatto che un solaio in calcestruzzo armato non risalga ad epoche antiche si è visto che non giustifica la sua manomissione arbitraria, in

[236] Zevi B. (a cura di), *op. cit.*, p. I 47.

[237] *Principi per la conservazione ed il restauro del patrimonio costruito* - Carta di Cracovia, 2000.

quanto anch'esso è da considerarsi testimonianza materica autentica. Il suo consolidamento e la sua manutenzione devono, quindi, essere conformi ai dettami della conservazione, esercitando ogni sforzo per mantenerlo in opera, in funzione, ma soprattutto strutturalmente integro e attivo[238].

Esula dagli obiettivi del presente lavoro di ricerca una dettagliata esposizione delle metodologie di calcolo globale e di adeguamento strutturale, per le quali si rimanda ai numerosi testi specifici e pubblicazioni in materia; verranno comunque trattate nel seguito le problematiche principali relative ai fenomeni di degrado e al consolidamento degli orizzontamenti in conglomerato cementizio armato.

[238] Feiffer C., *Il progetto di conservazione*, Franco Angeli Editore, Milano, 2003, p. 519.

Cenni statistici sul degrado delle strutture in calcestruzzo armato

Fino a non molti anni fa si riteneva che una struttura in conglomerato cementizio armato fosse inalterabile nel tempo: il calcestruzzo sembrava, infatti, in grado di garantire un'adeguata protezione ai ferri e si pensava presentasse la stessa durabilità di quello antico pozzolanico dei Romani. La pratica ha, invece, dimostrato che la realtà è ben diversa e la maggior parte delle strutture realizzate in conglomerato cementizio armato ha manifestato nel corso degli anni fenomeni di dissesto strutturale e di degrado chimico e fisico di entità diversa a seconda della specificità dei casi[239].

Dai risultati di un'indagine condotta dal *CRESME* (*Centro Ricerche Economiche Sociali di Mercato per l'Edilizia e il Territorio*), risalente al marzo 2009, si evince che in Italia il 57% dell'intero valore della produzione nel settore delle costruzioni è rappresentato da interventi di recupero su opere in conglomerato cementizio armato realizzate nel secolo scorso.

In particolare su circa 60 edifici, solo il 13% delle strutture analizzate presenta dissesti localizzati di natura strutturale sui quali intervenire con mirati interventi di consolidamento, mentre la maggior di essi (87%) è interessata da forme di degrado diffuso prevalentemente di tipo corticale in forma di fessurazioni e distacchi (grafico 3).

[239] Zevi B. (a cura di), *op. cit.*, p. I 68.

grafico 3: indagine *CRESME* (*Centro Ricerche Economiche Sociali di Mercato per l'Edilizia e il Territorio*) (da Coppola L., *Il ripristino e consolidamento delle strutture esistenti in calcestruzzo armato e precompresso*, Kerakoll, marzo 2009).

La stessa indagine ha evidenziato come il degrado diffuso fosse da ascrivere, nell'87% delle situazioni, all'impiego di calcestruzzi scadenti, all'adozione di copriferri dal modesto spessore e alla presenza di umidità; solo nel 13% dei casi la degenerazione della struttura può attribuirsi a cause accidentali o al sisma (grafico 4).

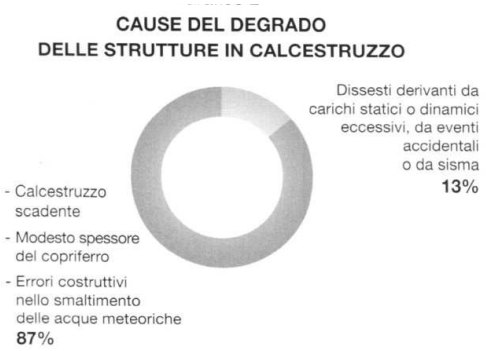


grafico 4: indagine *CRESME* (*Centro Ricerche Economiche Sociali di Mercato per l'Edilizia e il Territorio*) (da Coppola L., *Il ripristino e consolidamento delle strutture esistenti in calcestruzzo armato e precompresso*, Kerakoll, marzo 2009).

Dall'indagine emerge, infine, come in Italia ci sia una scarsa cultura della manutenzione delle opere: il 24% degli edifici analizzati non è stato, infatti, mai sottoposto ad alcun intervento di manutenzione, mentre solo il 13% è sottoposto regolarmente ad interventi manutentivi.

Il dato sconcertante è che nella stragrande maggioranza dei casi (63%) gli interventi di manutenzione sono o di tipo saltuario oppure effettuati quando si rendono indispensabili ovvero quando l'opera è in una fase avanzata di degrado (grafico 5). Ciò comporta pesanti oneri finanziari da parte del committente[240] ma soprattutto il pericolo che, qualora si tratti di strutture di un certo pregio, gli interventi vengano effettuati in maniera frettolosa e senza un adeguato studio preliminare, mettendo a rischio la salvaguardia del bene stesso e dei suoi caratteri di autenticità.

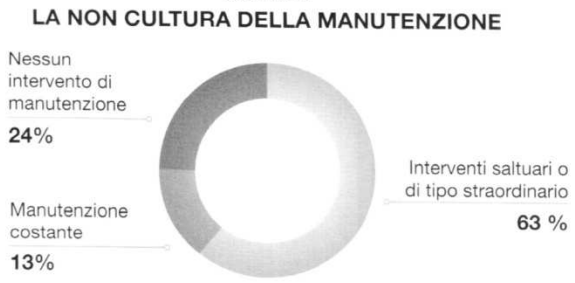


grafico 5: indagine *CRESME* (*Centro Ricerche Economiche Sociali di Mercato per l'Edilizia e il Territorio*) (da Coppola L., *Il ripristino e consolidamento delle strutture esistenti in calcestruzzo armato e precompresso*, Kerakoll, marzo 2009).

[240] Il degrado intenso e diffuso richiede, infatti, interventi di manutenzione straordinaria i cui costi possono risultare da 10 a 15 volte maggiori di quelli richiesti per interventi di manutenzione programmati e costanti nel tempo.

Cause ed effetti del degrado sulle strutture in conglomerato cementizio armato

Il termine "degrado del calcestruzzo" sta ad indicare tutti quei segni di decadimento che portano ad una riduzione delle condizioni ottimali iniziali, tale da imporre opere di risanamento o di adeguamento[241].

Possiamo distinguere le cause di degrado materico e strutturale delle opere in conglomerato cementizio armato in:

- cause dovute all'azione degli agenti atmosferici;
- cause dovute ad eventi accidentali.

Indipendentemente dalle cause che lo hanno provocato, il degrado si manifesta principalmente sotto due forme (effetti):

- disgregazione superficiale del conglomerato con o senza ossidazione delle armature;
- presenza di stati fessurativi profondi che interessano l'intera sezione della struttura o parte di essa.

Questi aspetti del degrado sono strettamente legati tra loro e tendono ad accentuarsi l'un l'altro.

Secondo un approccio fenomenologico la degradazione delle strutture in conglomerato cementizio armato, si manifesta principalmente con la corrosione delle armature e il conseguente degrado e fessurazione del conglomerato cementizio. I due fenomeni sono, infatti, reciprocamente causativi: i prodotti della corrosione delle armature determinano un effetto distruttivo sul calcestruzzo con espulsioni di parti

[241] Zevi B. (a cura di), *op. cit.*, p. I 68.

significative del copriferro e deterioramento delle qualità estetiche e funzionali del calcestruzzo.

Tuttavia affinché si abbia il degrado di un elemento in conglomerato cementizio armato, è necessario che si verifichino contemporaneamente tre condizioni: presenza di umidità, esposizione agli agenti aggressivi (anidride carbonica, cloruri, solfati, ecc.) ed elevata permeabilità del calcestruzzo dovuta ad una cattiva stagionatura o costipazione[242] (fig. 243).

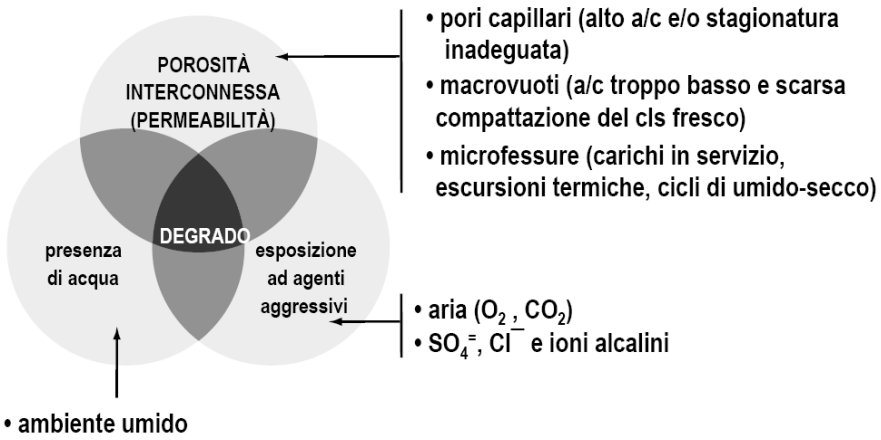


fig. 243: schematizzazione della concomitanza delle cause responsabili del degrado di una struttura in conglomerato cementizio armato[243].

[242] Cfr. prof. Mario Collepardi del Politecnico di Milano. Relazione tenuta nell'ambito del convegno *"Diagnosi del dissesto e consolidamento delle strutture in c.a. e muratura"*, 26 novembre 2011, Grand Hotel Salerno, Lungomare Clemente Tafuri n. 1 - Salerno.

[243] *Idem.*

Oltre alla decalcificazione[244] e ai fenomeni dovuti ai cicli di gelo e disgelo[245], che sono tipici delle strutture direttamente esposte agli agenti atmosferici, è opportuno fare alcuni cenni a quelle che sono le specifiche cause responsabili del degrado degli orizzontamenti in conglomerato cementizio armato.

Attacco solfatico

Tale fenomeno interessa particolarmente le strutture ubicate in prossimità dell'ambiente marino. Il vento trasporta, dal mare verso l'entroterra, gocce di acqua salata che, depositandosi sulla superficie del calcestruzzo, vengono poi assorbite per capillarità, determinando un progressivo incremento della concentrazione salina nei pori.

L'azione distruttiva della pasta cementizia è determinata dai sali solfatici, soprattuto dal:

- solfato di magnesio ($MgSO_4$), che reagendo con l'idrossido di calcio presente nel calcestruzzo ($Ca(OH)_2$ è uno dei prodotti di idratazione del *Portland*) porta alla formazione di gesso. Quest'ultimo in presenza di alluminati può dare luogo alla formazione di ettringite o thaumasite, prodotti espansi, estremamente dannosi per l'integrità della struttura;

[244] Fenomeno che produce un aumento della porosità creando condizioni più favorevoli alla penetrazione di agenti aggressivi all'interno della struttura ed una perdita della resistenza a compressione.

[245] Il congelamento dell'acqua contenuta nelle cavità di corpi porosi provoca un aumento di volume capace di esercitare una pressione tale da rigonfiare il materiale e distruggerlo progressivamente, facilitando la corrosione delle armature.

- gesso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) che rappresenta il prodotto di reazione tra il solfato di magnesio e l'idrossido di calcio presente nel calcestruzzo, che reagiscono tra loro determinando un aumento di volume.

L'attacco solfatico si manifesta, quindi, attraverso il rigonfiamento di parti della struttura cui fa seguito un suo indebolimento; la presenza del cloruro di sodio nei pori favorisce, inoltre, la corrosione delle armature[246].

Carbonatazione

La carbonatazione del calcestruzzo, di per sé, non rappresenta un fenomeno preoccupante, ma è importante in quanto il suo evolversi può favorire la corrosione delle armature. L'acqua contenuta nei pori di un calcestruzzo presenta generalmente valori di pH intorno a 13-14. Tali valori, per effetto di reazioni di neutralizzazione tra i componenti alcalini presenti negli strati esterni della superficie del calcestruzzo e di sostanze acide provenienti dall'ambiente esterno, possono ridursi fino a valori prossimi alla neutralità. Una delle sostanze che maggiormente determina tale fenomeno è l'anidride carbonica (CO_2) per la sua costante presenza nell'aria (600-1000 mg per m^3 d'aria).

L'anidride carbonica, a contatto con gli strati superficiali del calcestruzzo dà luogo alla seguente reazione:

[246] Scialò C., *Consolidamento e manutenzione delle strutture in cemento armato*, Editrice DEI, Roma 1996, p. 14.

$$CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow H_2O + Sali \rightarrow CaCO_3 + HO_2$$

abbassando il pH iniziale dal valore 13-14 a valori minori di 9. In tale ambiente acido aumenta la solubilità del carbonato di calcio presente nel calcestruzzo, sia sotto forma di aggregato che per trasformazione dell'idrossido di calcio.

La carbonatazione è un processo lento e la sua velocità è determinata dalla velocità dei seguenti sottoprocessi:

- diffusione dell'anidride carbonica nel calcestruzzo già carbonatato;
- diffusione dell'acqua all'interno del calcestruzzo[247].

In pratica più che la velocità del processo di carbonatazione, diventa importante conoscere la velocità di avanzamento, ovvero i millimetri di calcestruzzo coinvolti dal processo della carbonatazione nel tempo[248].

In questo processo diventano alquanto determinanti le condizioni ambientali. Il calcestruzzo è un materiale poroso e, pertanto, la penetrazione dell'anidride carbonica (CO_2) e dell'acqua è determinata dalla grandezza e dalla quantità dei pori presenti in superficie. È da tenere presente anche che la velocità di diffusione della CO_2 nell'aria è 10^4 volte più alta della velocità di diffusione della CO_2 in acqua. Da

[247] *Ivi*, pp. 15 e 16.

[248] La determinazione sperimentale dello spessore carbonatato si può ottenere spruzzando su di una superficie degradata del calcestruzzo una soluzione alcolica di fenolftaleina come contenuto nella norma UNI 9944. La fenolftaleina vira al rosso a contatto con materiale a pH > 9,2 (calcestruzzo sano) e rimane incolore per valori di pH inferiori (calcestruzzo carbonatato).

queste considerazioni si evince che un calcestruzzo in atmosfera molto umida (U.R.>80%) e molto secca (U.R.<50%) non può carbonatarsi[249].

Se i pori sono secchi l'anidride carbonica diffonde all'interno degli stessi, ma la carbonatazione non avviene per assenza di acqua. Se, d'altra parte, il calcestruzzo è saturo d'acqua, la carbonatazione non avviene ugualmente per la bassissima velocità di diffusione dell'anidride carbonica in acqua. Dunque, per quantitativi d'acqua all'interno dei pori, dovuti a condizioni ambientali critiche (U.R. 60%-70%) che frequentemente si riscontrano, la carbonatazione procede con la massima velocità verso gli strati più interni del calcestruzzo, modificando progressivamente il valore del pH dell'estratto acquoso contenuto nei pori. La profondità di tali strati, coinvolti dal processo di carbonatazione e di conseguenza dalla diminuzione del pH, viene generalmente definita "profondità di carbonatazione" ed è rappresentata dalla relazione:

$$x = A \cdot t^{1/n}$$

dove:

x è la profondità di carbonatazione espressa in mm;

A è una costante variabile tra i valori 1 e 10 che tiene conto delle condizioni ambientali, della natura e preparazione del calcestruzzo (A=10 per calcestruzzi porosi);

t è il tempo espresso in anni;

[249] Scialò C., *op. cit.*, p. 17.

n è un valore compreso tra 0 e 2 variabile a seconda della resistenza che il calcestruzzo offre alla diffusione della CO_2 (n=2 per calcestruzzi normalmente confezionati, porosi o poco compatti)[250].

La carbonatazione risulta essere, quindi, un processo molto lento e compare anche dopo decenni dalla costruzione della struttura o del singolo elemento; è stato constatato che per un calcestruzzo poroso la profondità di penetrazione risulta di circa 30 mm in 10 anni, quindi la carbonatazione del calcestruzzo non supera la profondità di 2-3 cm dalla superficie esterna, che, però, è proprio la profondità alla quale sono collocate le barre di armatura.

In tale zona accade che si ha una diminuzione dell'alcalinità del calcestruzzo e, per valori del pH al di sotto di 9, viene a mancare quell'ambiente "passivante" che costituisce una naturale protezione dell'acciaio di armatura. Si verifica, infatti, che per valori del pH>9 avviene il fenomeno della passivazione che dà origine alla formazione di ossido ferroso ferrico (Fe_3O_4) che, depositandosi sulle armature, le protegge da ulteriori attacchi; poiché, come detto, il processo della carbonatazione riduce l'alcalinità del calcestruzzo, abbassando il pH al di sotto di 9, tale effetto passivante viene annullato.

Si può, dunque, asserire che i fattori che influenzano la profondità di carbonatazione sono:

[250] *Ivi*, p. 18.

- il tipo di cemento impiegato in quanto da esso dipende, dopo la reazione di idratazione, il quantitativo di $Ca(OH)_2$ contenuto nel calcestruzzo; tale quantitativo risulta essere molto basso per quei cementi che sfruttano le reazioni pozzolaniche (cemento pozzolanico, cemento d'altoforno, cementi con aggiunta di ceneri volanti e fumo di silice: $Ca(OH)_2 + SiO_2 + A_2O_3 + H_2O \rightarrow$ C-S-H);
- la quantità di cemento per m^3 di impasto;
- la compattazione del calcestruzzo in fase di getto;
- la maturazione del calcestruzzo, in quanto da essa dipende il grado di idratazione;
- le condizioni ambientali in cui la struttura è inserita[251].

Per ridurre la corrosione promossa da carbonatazione occorre:

- adottare bassi rapporti *a/c*;
- aumentare lo spessore del copriferro;
- stagionare la superficie dell'elemento in conglomerato cementizio armato;
- impiegare acciaio zincato più resistente alla corrosione da carbonatazione[252].

[251] *Ivi*, p. 19.
[252] Cfr. prof. Mario Collepardi, cit.

Corrosione delle armature

L'ossidazione delle armature, non più protette dalla matrice cementizia, è certamente il fenomeno fondamentale che accompagna il degrado delle strutture in conglomerato cementizio armato.

La corrosione dell'acciaio delle armature avviene mediante un processo elettrochimico nel quale l'anodo e il catodo sono forniti dall'armatura. Lungo una stessa barra, infatti, le zone rivestite di ossidi molto aderenti (calamina) fungono da catodo mentre la soluzione elettrolitica è formata dall'acqua assorbita per capillarità e da un sale solubile. Il processo avviene con costante sottrazione di materiale dall'anodo e deposito di idrato ferrico, comunemente conosciuto come ruggine ($FeO_3 \cdot nH_2O$). Poiché la ruggine occupa un volume da 2 a 6 volte superiore a quello dell'acciaio originario, essa genera tensioni interne di compressione sul conglomerato cementizio e tensioni di trazione in superficie, determinando la comparsa di fessure che corrono parallelamente ai ferri di armatura, con conseguente fessurazione del calcestruzzo e l'esposizione di nuovi tratti di armatura (*spalling*) a causa dell'espulsione totale del copriferro. L'acqua contenuta nei pori del conglomerato cementizio, per la presenza di idrossidi di calcio, sodio, potassio, prodotti dell'idratazione del cemento di impasto, presenta un pH = 12,5-13. Questa alcalinità, determina come descritto in precedenza, una naturale passivazione delle armature e quando il pH, per effetto della carbonatazione si abbassa sotto il valore 9, l'ossigeno presente nell'estratto acquoso dei pori del calcestruzzo, a contatto con le armature, induce corrosione. La corrosione può essere indotta anche per azione di

sostanze aggressive (cloruri, magnesio e ammonio) presenti nel calcestruzzo in quanto trasportati dall'ambiente esterno o presenti nell'impasto originario (impiegando, ad esempio, sabbia di mare non lavata o additivi acceleranti). Tali sostanze, in presenza di acqua ed ossigeno, intaccano gli ossidi protettivi presenti sulle armature, anche in conglomerati cementizi non carbonatati, creando quindi una zona anodica dalla quale si sviluppa il processo elettrochimico della corrosione.

Indipendentemente dal meccanismo innescante, il processo evolve secondo le seguenti fasi:

- dal catodo una sostanza riducente dà luogo alle reazioni catodiche;
- la soluzione elettrolitica (acqua con sali disciolti) favorisce il movimento degli ioni dal catodo all'anodo[253].

Da quanto detto, si evince che i fattori responsabili della corrosione delle armature sono la ridotta alcalinità del calcestruzzo (pH 9), che distrugge l'effetto passivante degli ossidi di ferro stabili, la presenza dell'acqua e soprattutto dell'ossigeno, senza i quali il processo non potrebbe aver luogo; a parità di altre condizioni, infatti, la velocità del processo corrosivo dipende dalla quantità di ossigeno presente e si arresta quando questo viene a mancare. È da notare che le conseguenze dei fenomeni corrosivi sono notevoli e non riguardano soltanto gli aspetti funzionali o lo stato esteriore delle opere interessate dal processo, ma anche gli aspetti strutturali e, quindi, le condizioni di sicurezza: la loro profondità, infatti, può interessare in breve tempo spessori considerevoli

dell'armatura con riduzioni apprezzabili della sezione dei ferri, le cui caratteristiche meccaniche tendono a ridursi col tempo in modo apprezzabile[254].

Effetti del fuoco

La varietà di cemento più diffusamente impiegata per il confezionamento del conglomerato cementizio utilizzato nelle costruzioni dei primi decenni del Novecento è il cemento *Portland*. Il comportamento termico di un calcestruzzo confezionato con cemento *Portland* è caratterizzato da una modesta dilatazione fino a 100°C per poi progressivamente subire una contrazione fino a 1000°C e nel conseguente raffreddamento fino a 0°C.

Questo è dovuto alla progressiva disidratazione irreversibile con conseguente distruzione della struttura cristallina della malta cementizia, rispetto alla quale gli inerti presentano una differente dilatazione termica, già a temperature inferiori ai 500°C.

Per effetto delle alte temperature il calcestruzzo subisce cambiamenti delle proprie caratteristiche meccaniche dovute alla progressiva distruzione della struttura cristallina e per la perdita dell'acqua di idratazione: la sua superficie diventa sempre più porosa fino a presentarsi friabile. Al crescere della temperatura l'acciaio modifica la sua struttura cristallina, perdendo le sue caratteristiche elastiche fino a diventare plastico. Per le armature delle strutture in

[253] Scialò C., *op. cit.*, p. 20.
[254] *Ivi*, p. 21.

conglomerato cementizio armato, è importante individuare la temperatura per la quale si crea una tensione nell'acciaio, definita "temperatura critica", tale da indurre un allungamento pari allo 0,002, cioè al limite elastico. Per gli acciai, comunemente impiegati in edilizia, la temperatura critica varia tra i 500-550°C, inferiore a quella del calcestruzzo, valutabile intorno ai 600°C. È da tener presente anche che, mentre nel campo delle temperature di impiego nelle costruzioni in conglomerato cementizio armato l'acciaio ed il calcestruzzo hanno uguale dilatazione termica, per temperature maggiori, come quelle che possono crearsi per effetto di un incendio, l'acciaio continua a dilatarsi, mentre il calcestruzzo si contrae; si generano, così, stati tensionali elevati che portano alla frantumazione del conglomerato cementizio[255].

[255] *Ivi*, pp. [21-23].

Le problematiche costruttive connesse ai solai della prima metà del Novecento

La sperimentazione edilizia della prima metà del Novecento permise la realizzazione di una grande varietà di tecnologie e tipologie costruttive di solai in conglomerato cementizio armato gettati in opera o parzialmente prefabbricati, i quali tuttavia alla prova del tempo hanno dimostrato tutta la loro vulnerabilità[256].

A provocare il deterioramento di tali orizzontamenti, oltre alle cause del degrado precedentemente elencate (agenti atmosferici, cause accidentali, cambi di destinazioni d'uso, ecc.), vi sono anche fattori riconducibili a carenze cognitive e costruttive, dovute al carattere sperimentale delle nuove metodologie dell'epoca, applicate senza un approfondito supporto scientifico; tra i difetti intrinseci più frequenti imputabili alla progettazione, alle tecnologie costruttive utilizzate o alla posa in opera, si annoverano:

- il cattivo posizionamento delle armature che presentavano sovente diametri ridotti;
- il modesto spessore del copriferro, responsabile della fessurazione e della successiva espulsione di parti di calcestruzzo;
- la ridotta altezza dei solai (per lungo tempo è stato, infatti, accettato uno spessore pari a 1/30 della luce, come previsto dal

[256] Calvanese V., *I solai in cemento armato* in "CITTAM - Centro Interdipartimentale di Ricerca per lo Studio delle Tecniche Tradizionali dell'area Mediterranea. Università degli Studi di Napoli "Federico II" - Polo Delle Scienze e delle Tecnologie Materiali e Tecniche per il Recupero Edilizio", Napoli, 2005, Luciano Editore, pp. 228-229.

già più volte citato Decreto Legge del 16 novembre 1939 n. 2229 *"Norme per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice o armato"*), che determina deformazioni eccessive, causa dell'insorgere di fratture negli elementi in laterizio; frequenti sono anche le rotture delle pignatte per i rigonfiamenti dovuti all'umidità[257];

- mancanza di una soletta di ripartizione e di collegamento tra i travetti che provoca un'insufficiente resistenza ai carichi concentrati e una diffusa comparsa di lezioni.

Ne sono un esempio alcune tipologie di solai tipiche della prima metà del Novecento, in parte riscontrate anche nella realtà salernitana:

- il solaio tipo *Perretunic*, costituito da travetti gettati su fondello in laterizio tra pignatte forate, che presentava la totale assenza della soletta di ripartizione;
- il solaio tipo *Unic* a nervature parallele, gettato in opera, caratterizzato da travetti di modeste dimensioni e modesti copriferri;
- il solaio tipo *Varese*, con travetti prefabbricati, doppio strato di laterizio forato, con interclusa camera d'aria, e una soletta superiore di completamento di altezza ridotta;
- il solaio tipo *Pratico*, in cui il travetto si realizzava in opera sfondando opportuni alloggiamenti nel laterizio che costituivano

[257] Zevi B. (a cura di), *op. cit.*, p. B 13.

la sede per le armature e che presentava uno scarso o nullo copriferro;

- il solaio tipo *SAP*, che presentava travetti armati con barre di piccolo diametro, alloggiate a secco direttamente in appositi interspazi lasciati nel laterizio, facilmente attaccabili dalla corrosione, soprattutto in presenza di umidità o infiltrazioni, in quanto il calcestruzzo del getto non riusciva sempre a coprirle in maniera sufficiente[258];
- il solaio tipo *Duplex* o *Danusso*, completamente gettato in opera, con travetti a nervature incrociate e soletta superiore di ripartizione, che veniva alleggerito mediante l'impiego di riquadri in laterizio forato, la cui posa in opera presentava non pochi problemi.

Nei solai in conglomerato cementizio armato realizzati nella prima metà del Novecento, il ridotto spessore del copriferro delle armature tese, i modesti diametri delle barre e la diffusa fessurazione hanno concorso, quindi, all'ossidazione precoce delle barre inducendo un rapido deterioramento della struttura.

[258] Questa tipologia di solaio era eseguita con travetti in laterizio preparati fuori opera. Le pignatte presentavano una maggiore robustezza che avrebbe dovuto consentire loro di resistere alle sollecitazioni di compressione insieme alla solettina di calcestruzzo che le proteggeva superiormente e che veniva gettata in opera insieme ai cordoli in conglomerato cementizio armato del solaio, dopo l'ultimo allineamento dei travetti. Il calcestruzzo cementizio, penetrando negli spazi compresi fra un travetto e l'altro, completava la sigillatura dei giunti e la fattura del solaio. La sua resistenza statica rimaneva affidata alle sottili armature metalliche predisposte durante la realizzazione dei travetti e alla possibilità di resistenza alla compressione dei laterizi e delle solettine. Le esili armature non risultavano, perciò, sufficientemente protette dall'ossidazione.

È da osservare, inoltre, che il comportamento statico di questi solai prevedeva che la trasmissione degli sforzi interni, dal laterizio al calcestruzzo dei travetti e da questo all'armatura tesa, fosse affidata unicamente all'aderenza laterizio-calcestruzzo, la quale, pur essendo notevole, poteva essere ridotta od annullata da difettosa esecuzione, da ritiro anormale del conglomerato, dal tempo, dalle vibrazioni cui eventualmente il solaio stesso poteva essere sottoposto.

Per molto tempo vennero, inoltre, sottovalutati i problemi relativi alle tensioni da taglio nel calcestruzzo e a quelli prodotti dalla deformabilità flessionale dei solai[259].

Ciò era dovuto principalmente alla normativa dell'epoca che, seppur ricca di specifiche sui materiali da costruzioni e sulle prove ai quali questi dovevano essere sottoposti, forniva invece poche indicazioni circa la posa in opera e le modalità di esecuzione, i carichi e il dimensionamento degli orizzontamenti in conglomerato cementizio armato.

Le prescrizioni antecedenti l'emanazione del R.D.L. n. 2229 del 16 novembre 1939, considerato il riferimento principe nella progettazione dell'epoca, dettagliavano, infatti, le sole fasi relative a ciascuna preparazione ed esecuzione, dall'intonaco alla muratura di vario tipo, con pochi cenni ai solai e nessuna informazione riguardo ai problemi connessi alla durabilità del materiale, in quanto si riteneva all'epoca che

[259] Zevi B. (a cura di), *op. cit.*, p. B11.

il calcestruzzo fosse, come più volte ribadito in precedenza, un materiale "eterno".

I dissesti degli orizzontamenti in conglomerato cementizio armato

Il termine dissesto indica letteralmente una situazione che si discosta dal corretto posizionamento ed ha, quindi, una valenza sostanzialmente strutturale, che comprende anche la presenza di fratture e danni, tali da richiedere interventi di consolidamento o adeguamento[260].

Le principali cause di dissesto degli orizzontamenti in conglomerato cementizio armato, sia del tipo con nervature a vista che in latero-cemento, sono grossomodo analoghe; si è ritenuto comunque opportuno suddividerle in due sezioni solo per chiarezza di trattazione.

Dissesti dei solai con nervature a vista

Nelle nervature a vista, che possono essere assimilate in tutto a vere e proprie travi, soggette principalmente a sollecitazioni di flessione e taglio, i dissesti possono essere originati da cause di natura statica o costruttiva, dovute principalmente a:

- errata progettazione;
- insufficienza delle sezioni metalliche o di quelle in conglomerato cementizio;
- mancanza di un'armatura di ripartizione;

[260] *Ivi*, p. I 68.

- insufficienza dell'armatura metallica a flessione, che si manifesta con fratture verticali intradossali nella mezzeria della nervatura ed estradossali in prossimità degli appoggi della stessa;
- brusca variazione delle sezioni delle barre di armatura metalliche nei pressi della piegatura a 45°;
- insufficienza dell'armatura metallica destinata ad assorbire gli sforzi di taglio, che provoca l'insorgere di lesioni e fratture a 45° in prossimità degli appoggi, per deficienza di staffe e/o delle barre a 45°;
- cattiva qualità del conglomerato cementizio (dovuta a insufficiente dosatura di cemento, eccesso d'acqua di impasto, cattiva qualità degli aggregati, presenza di impurità, inosservanza dei rapporti granulometrici, ecc.) o cattiva posa in opera dello stesso;
- variazione dei carichi di progetto, spesso a causa di una destinazione d'uso differente da quella di progetto;
- cattiva posa in opera dei ferri di armatura;
- disarmo precoce[261].

Insufficienza statica

I quadri fessurativi e deformativi delle strutture in conglomerato cementizio armato, sono generati dalla coesistenza di talune delle cause sopra elencate e risultano essere facilmente diagnosticabili in quanto

[261] Mastrodicasa S., *Dissesti statici delle strutture edilizie - Diagnosi, consolidamento e istituzioni teoriche*, Ulrico Hoepli, Milano, 2003, p. 641.

presentano caratteristiche ben precise per localizzazione, forma geometrica, ampiezza ed estensione.

Nei solai a nervature parallele o incrociate in conglomerato cementizio armato le lesioni dovute ad un'insufficienza di tipo statico-costruttiva si manifestano in particolare con le sollecitazioni da flessione e da taglio, di seguito sinteticamente descritte.

Flessione

Le lesioni da flessione sono attribuite generalmente ad una scarsa altezza delle nervature, ad un aumento crescente dei carichi, ad un'insufficiente sezione delle armature metalliche, ad un'eccessiva compressibilità del calcestruzzo o anche ad una cattiva qualità dell'impasto.

Esse si manifestano nelle zone tese della nervatura, ove il momento flettente assume valore massimo ovvero sulla parte intradossale della mezzeria della trave, dove le fibre tese sono quelle inferiori, e sulla parte estradossale degli appoggi della stessa, dove le fibre tese sono quelle superiori. In entrambi i casi l'ampiezza delle lesioni decresce verso il centro della nervatura e presenta apertura massima all'estradosso, in prossimità degli appoggi, e all'intradosso in prossimità della mezzeria.

Un incremento crescente dei carichi determina un aumento dell'ampiezza delle lesioni, con conseguente sgretolamento del calcestruzzo compresso, fino allo snervamento dei ferri d'armatura tesi cui fa seguito la crisi della struttura.

Una deficiente armatura metallica intradossale determina, nella mezzeria, fratture semplici o multiple, verticali, risalenti dall'intradosso ove hanno la massima ampiezza fino alla parte superiore della nervatura dove l'ampiezza si riduce gradatamente fino allo zero (fig. 244).

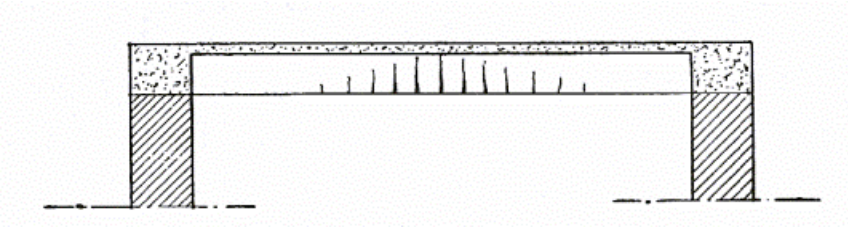


fig. 244: schematizzazione dell'andamento delle lesioni da flessione nella mezzeria di una nervatura (da Mastrodicasa S., *Dissesti statici delle strutture edilizie - Diagnosi, consolidamento e istituzioni teoriche*, Ulrico Hoepli, Milano 2003).

Nelle travi continue le fessure conservano le caratteristiche ora descritte anche agli appoggi in presenza di un momento negativo, ove presentano ampiezze massime all'estradosso e discendono poi verso il basso ove si restringono fino allo zero (fig. 245).

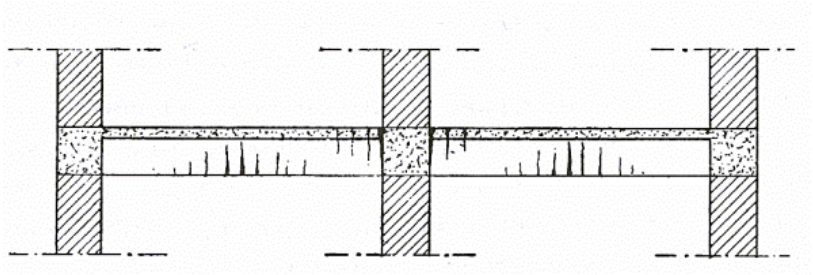


fig. 245: schematizzazione dell'andamento delle lesioni da flessione nelle travi continue (da Mastrodicasa S., *Dissesti statici delle strutture edilizie - Diagnosi, consolidamento e istituzioni teoriche*, Ulrico Hoepli, Milano 2003).

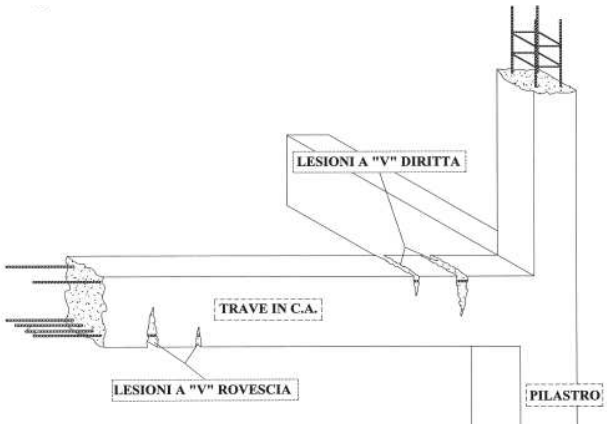


fig. 246: schematizzazione di alcune lesioni da flessione in prossimità di un nodo (da Zevi B. (a cura di), *Il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma 2008).

Taglio

In una struttura in conglomerato cementizio armato, "*le fessurazioni da taglio sono dovute principalmente ad una totale assenza di staffe o ad un'inadeguata ed irregolare distribuzione delle stesse e dei ferri di armatura piegati a 45°, oltre che a difetti di presa e di indurimento o a una cattiva qualità del calcestruzzo*"[262].

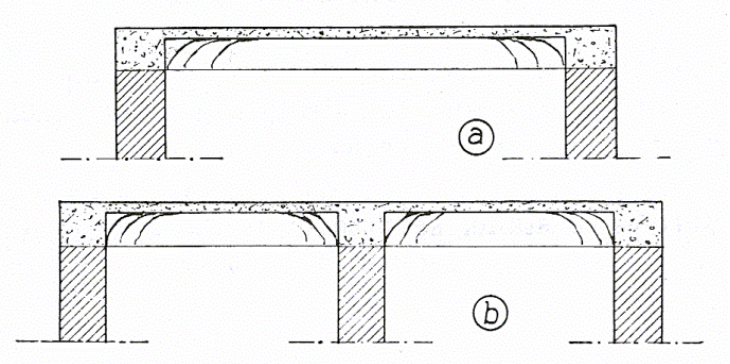
Esse si manifestano sotto forma di lesioni inclinate a 45° in prossimità degli appoggi, dove il taglio assume il valore più elevato.

In presenza di sollecitazioni da taglio, inizialmente è il solo conglomerato cementizio che assorbe gli sforzi taglianti; alla comparsa delle prime lesioni e al crescere delle stesse, sono le staffe ad assorbire tutti gli sforzi fino al raggiungimento della tensione di snervamento.

[262] Zevi B. (a cura di), *op. cit.*, p. I 68.

L'incremento dei carichi, a questo punto, viene assorbito dall'effetto bloccante delle facce opposte di ciascuna lesione e dall'effetto "spinotto" dell'armatura longitudinale tesa; il collasso si raggiunge per sgretolamento del calcestruzzo compresso[263].

Uno stato fessurativo provocato da una deficiente armatura al taglio, è caratterizzato, come detto, da lesioni a 45° in prossimità degli appoggi, che si presentano inclinate verso la parte della mezzeria col ventre fessurativo a metà dell'altezza della nervatura, con la cuspide inferiore normalmente all'intradosso e tangenti, all'estradosso, al piano di connessione della nervatura con la soletta. La conversione verticale superiore, dei rami a 45°, si rileva invece sovente nelle vicinanze degli appoggi continui sede delle trazioni interne estradossali[264] (figg. 247).



figg. 247: schematizzazione dell'andamento delle lesioni da taglio agli appoggi di una nervatura (a) e nelle travi continue (b) (da Mastrodicasa S., *Dissesti statici delle strutture edilizie - Diagnosi, consolidamento e istituzioni teoriche*, Ulrico Hoepli, Milano 2003).

[263] Scialò C., *op. cit.*, p. 30.
[264] Mastrodicasa S., *op. cit.*, p. 642.

Un grave errore che spesso veniva commesso in passato era quello di non attribuire la giusta considerazione ai fenomeni di taglio. L'intero taglio veniva, infatti, affidato alle sole barre piegate a 45°, posizionate agli estremi della nervatura, trascurando l'impiego delle staffe, che venivano utilizzate solitamente solo per elementi di grandi dimensioni; questo mancato accorgimento, frequente soprattutto nell'edilizia della prima metà del Novecento, ha dato origine spesso alla formazione di lesioni, in quanto l'armatura risulta insufficiente ad assorbire gli sforzi generati dalle tensioni tangenziali.

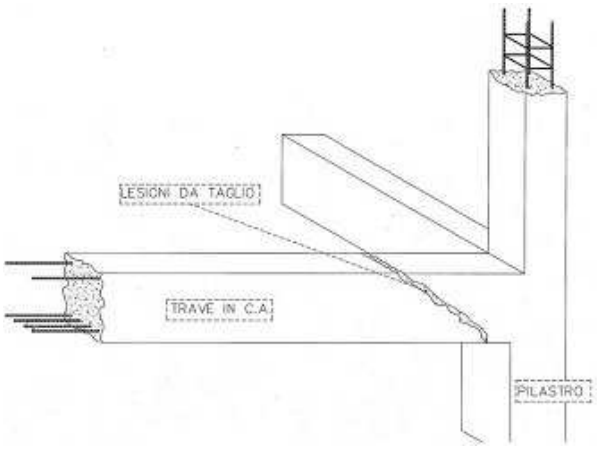
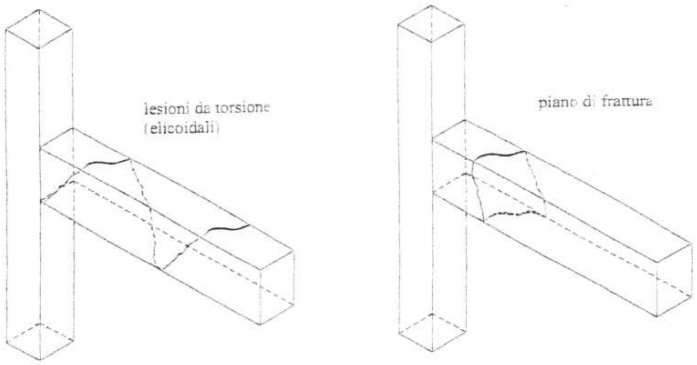


fig. 248: schematizzazione di alcune lesioni da taglio (da Zevi B. (a cura di), *Il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma 2008).

Più complessi sono i casi di lesioni derivanti dalla concomitanza delle azioni da flessione e da taglio, che producono danni ancora più seri di quelli precedentemente illustrati.

Torsione

Nei solai a nervature incrociate può verificarsi l'insorgere di sollecitazioni da torsione che generano lesioni analoghe a quelle prodotte dalle sollecitazioni da taglio, con la differenza che, mentre nel caso del taglio le lesioni a 45° si ritrovano parallele sulle due facce della trave, nel caso della torsione, le lesioni sono sempre orientate a 45°, ma si presentano con inclinazione opposta (si ricorda, infatti, che le isostatiche di trazione e compressione nel caso della torsione hanno andamento elicoidale) [265] (figg. 249). Esse danno luogo ad uno stato fessurativo complesso che, dopo lo snervamento delle staffe e lo sgretolamento del calcestruzzo compresso, porta alla crisi della struttura.



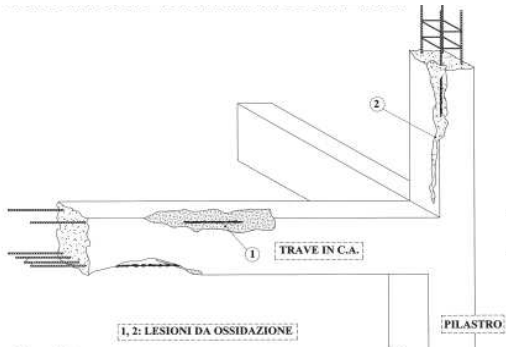
figg. 249: schematizzazione di alcune lesioni da torsione e piano di frattura (da Rizzano G., *Corso di Riabilitazione strutturale - dispense didattiche - parte 2*, Salerno 2007).

[265] Rizzano G., *Corso di Riabilitazione strutturale - dispense didattiche - parte 2*, Salerno 2007, p. 605.

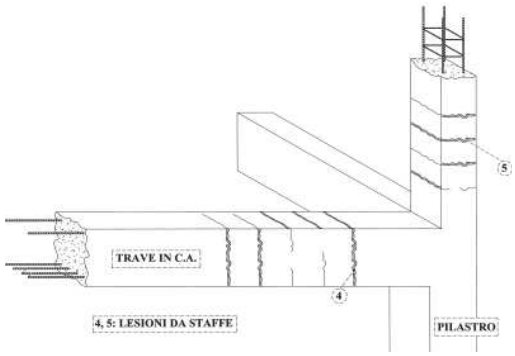
Altre cause fonti di degrado

Oltre alle fessurazioni anzidette, ve ne sono altre, molto simili per aspetto a quelle provocate da deficienze strutturali, ma che si sviluppano lungo direttrici variabili (in corrispondenza delle staffe o delle armature longitudinali) e sono dovute alle cause più disparate (ossidazione delle armature, riprese dei getti, dilatazioni e contrazioni termiche, ritiro, varietà dei cementi e loro diverso periodo di stagionatura, diverso grado d'umidità degli impasti, staffe con spessore del copriferro insufficiente, ecc.).

L'ossidazione delle armature, ad esempio, determina spesso la comparsa di lesioni che si manifestano in corrispondenza dei bordi delle nervature, mentre un copriferro insufficiente nelle staffe può causare la comparsa di lesioni in corrispondenza delle stesse[266]; il ritiro, invece, determina spesso, nelle strutture di conglomerato cementizio armato, fratture capillari, che possono dare origine alla formazione di varchi, capaci di agevolare l'accesso dell'umidità o di vapori aggressivi verso l'armatura metallica (figg. 250).



[266] Zevi B. (a cura di), *op. cit.*, p. I 70.



figg. 250 (immagini pp. 532 e 533): schematizzazione di alcune lesioni causate dall'ossidazione delle armature (alla pagina precedente) e da un insufficiente copriferro (in alto) delle staffe (da Zevi B. (a cura di), *Il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma 2008).

Dissesti tipici degli orizzontamenti in latero-cemento

Uno dei fattori che provoca il degrado dei solai latero-cementizi, in aggiunta a quelli già elencati per le tipologie con nervature a vista, è l'ossidazione delle armature che rappresenta la causa più frequente di dissesti per questi tipi di solai. In particolare, per le tipologie realizzate nella prima metà del Novecento, si ha che l'ossidazione scaturisce principalmente da:

- una non sempre garantita qualità dei calcestruzzi, nonostante le numerose prescrizioni normative all'epoca vigenti, soprattutto in considerazione di quelle che erano le conoscenze tecniche del tempo ed i mezzi di produzione;

- scarsi riferimenti per procedere ad una corretta posa in opera dei materiali (acciaio e conglomerato cementizio), oltre che alla loro qualità;
- tassi di lavoro dell'acciaio teso, sovente molto elevati, che determinavano l'insorgere di stati di fessurazione nel calcestruzzo;
- scarsa attenzione alla qualità dei materiali, alla composizione e alla corretta posa in opera, a causa del fatto che, per la grande diffusione dei solai in latero-cemento e per la rapidità di posa in opera (soprattutto per quanto riguarda le tipologie con travetti prefabbricati), molti operatori del settore edilizio dei primi del Novecento si improvvisarono "prefabbricatori" senza averne le competenze necessarie.

Queste condizioni hanno reso spesso l'armatura dei solai estremamente vulnerabile all'ossigeno con conseguenti e frequenti fenomeni di ossidazione che, a causa delle forti tensioni generate dall'ossido di ferro (prodotto della corrosione) sulle parti in conglomerato cementizio, hanno determinato l'espulsione del copriferro.

In molti casi, poi, nei solai gettati in opera, a causa dell'intima connessione che si stabilisce tra l'intradosso dei travetti e quello dei blocchi in laterizio, per il tramite dell'intonaco od anche delle alette di cui alcune tipologie di laterizi erano dotate (si veda ad esempio i laterizi utilizzati nel solaio tipo *Cannovale e Dellepiane*), lo stato tensionale si

trasferisce anche all'elemento laterizio, provocandone il distacco della parte inferiore (da fig. 251 a fig. 253) [267].

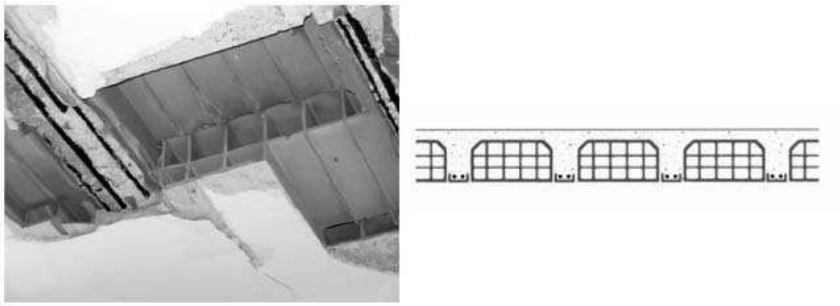


fig. 251: immagine di un dissesto che ha interessato un solaio con travetti che presentano fondelli in laterizio, di cui è riportata una schematizzazione. Il distacco del copriferro coinvolge il fondello che, a sua volta, in alcuni casi, a causa della continuità creata dall'intonaco, può trasmettere gli sforzi anche alla parete di fondo del blocco di laterizio.

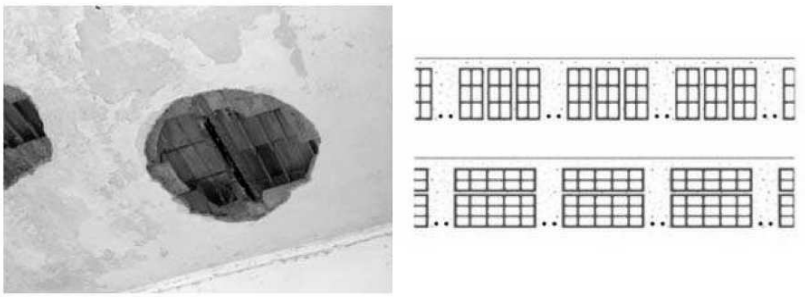


fig. 252: immagine di un dissesto che ha interessato un solaio con travetti che presentano l'intradosso in calcestruzzo, di cui è riportata una schematizzazione. Il blocco di laterizio non presenta alette ma l'intonaco ha creato comunque continuità tra il fondo della nervatura e quello del blocco. Il fenomeno è localizzato. Nella maggior parte dei casi è solo l'intonaco a staccarsi.

[267] Becco V., *Recupero di un solaio in latero-cemento* in "La gazzetta dei solai" - anno 5, n. 44, a cura della sezione solai dell'Audil Assolaterizi - "Mensile di informazione tecnica sui solai in laterizio", p. 2.

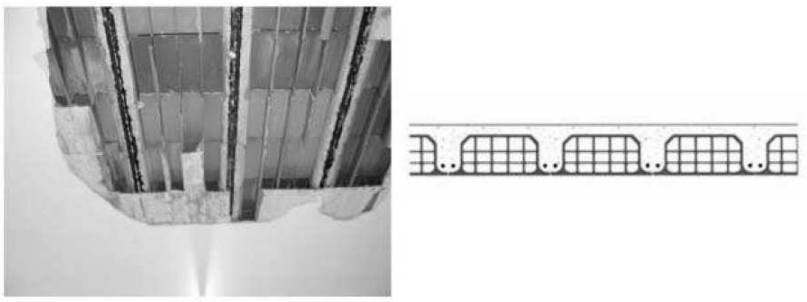


fig. 253: immagine di un dissesto che ha interessato un solaio con blocchi che presentano alette laterali inferiori, di cui è riportata una schematizzazione. È questo il caso più comune di rottura della parete inferiore del blocco poiché l'ossidazione esercita un'azione diretta su di esso attraverso l'aletta. Il fenomeno in questo caso può essere esteso se l'ossidazione è diffusa lungo tutta la lunghezza dell'armatura (tutte le immagini pp. 535 e 536 sono tratte da Becco V., *Recupero di un solaio in latero-cemento*, in "La gazzetta dei solai" - anno 5, n. 44, a cura della sezione solai dell'Audil Assolaterizi - Mensile di informazione tecnica sui solai in laterizio).

Insufficienza statica

Anche per un solaio latero-cementizio alcune cause di degrado possono ricondursi ad un'insufficienza di tipo statico. Il degrado si manifesta con la formazione di lesioni: disposte ortogonalmente ai travetti, nella mezzeria della zona intradossale, se l'armatura presente risulta essere insufficiente ad assorbire le sollecitazioni flessionali originate dal momento positivo; agli appoggi, nella parte estradossale, se l'armatura è insufficiente ad assorbire il momento negativo.

Se consideriamo la generica sezione trasversale del solaio come una trave incastrata all'estremità è possibile individuare, quindi, lesioni del 1°

tipo, che si manifestano superiormente in prossimità della trave e lesioni del 2° tipo, inferiormente in campata.

Nei solai è possibile, tuttavia, riscontrare anche lesioni dirette parallelamente ai travetti, denominate del 3° tipo, dovute alla corrosione dell'armatura, a ritiro del calcestruzzo o a variazioni termiche[268] (fig. 254).

Alcuni esempi di solai realizzati nel corso degli anni della sperimentazione del conglomerato cementizio armato, possono presentare oggi problemi legati ad un'eccessiva deformabilità dovuta all'utilizzo di spessori troppi esigui, a causa della volontà dell'epoca che tendeva a ridurre sempre più gli spessori complessivi dell'orizzontamento, sia per motivi economici che per esercitazioni di calcolo miranti al migliore sfruttamento delle potenzialità del nuovo materiale.

[268] Rizzano G., *op. cit.*, p. 597.

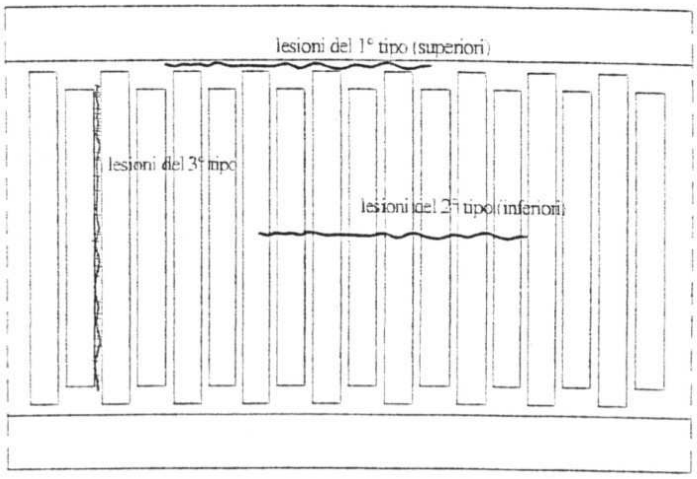


fig. 254: schematizzazione di un possibile quadro fessurativo che potrebbe interessare un solaio in latero-cemento interessato da un'insufficienza di tipo statico (da Rizzano G., Corso di Riabilitazione strutturale - dispense didattiche - parte 2, Salerno 2007).

Altre cause fonti di degrado

Per quanto riguarda il sisma gli orizzontamenti sono meno esposti ai danni diretti rispetto agli altri elementi strutturali, quali travi e pilastri. Essi, infatti, non risultano sollecitati in maniera sensibile dalle azioni orizzontali e risentono prevalentemente della componente sussultoria, che comporta un sovraccarico verticale dello stesso tipo per il quale sono stati progettati. Inoltre, almeno ai livelli di sollecitazione lontani dalla rottura, hanno buone risorse di ridistribuzione in virtù di un effetto piastra.

Si possono riscontrare, comunque, fessurazioni sottili denunciate dagli intonaci, parallele alle nervature, che non destano tuttavia alcuna

preoccupazione; più raramente si osservano distacchi o cadute di laterizi tra i vari travetti, o indizi di perdita di collegamento fra travi portanti e travetti prefabbricati, ordinari o precompressi, dove spesso si riscontra una insufficiente lunghezza dei monconi longitudinali alle estremità[269].

Oltre al conglomerato cementizio, è bene precisare che anche i laterizi possono essere interessati da fenomeni di degrado, innescati dalla presenza dell'acqua.

La degradazione dipende dal livello di porosità del materiale e dalla presenza di eventuali sali e di composti solubili in acqua. L'acqua, infatti, assorbita dal mattone per suzione capillare, entra all'interno di esso, occupandone tutti i pori. Il congelamento dell'acqua assorbita dal materiale, ovvero la cristallizzazione dei sali scioltisi in soluzione acquosa, determinano un aumento di volume e, quindi, il degrado fisico del mattone[270].

[269] Ufficio del Ministro per il Coordinamento della Ricerca Scientifica e Tecnologica - *Edifici in cemento armato danneggiati da terremoti: analisi, riparazioni e consolidamento*, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Libreria dello Stato, Roma, 1981, p. 36.

[270] Iovino R., *Il degrado delle pietre artificiali* in De Sivo B., *op. cit.* , p. 21.

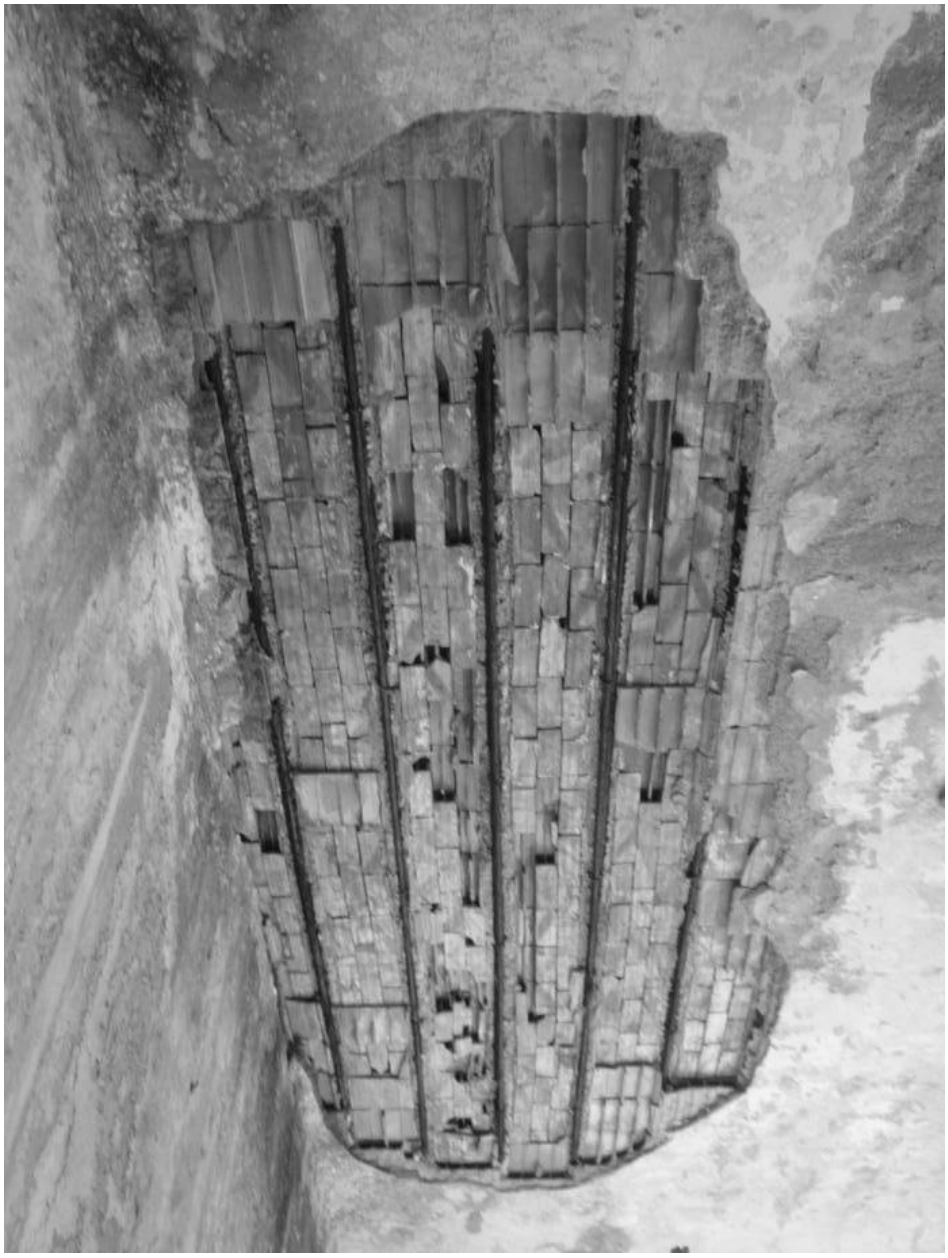
Si riportano di seguito una serie di immagini relative ad alcuni solai, realizzati a Salerno nella prima metà del Novecento, che si presentano ad oggi interessati da diversi fenomeni di degrado.

figg. 255: degrado dei solai a nervature incrociate a vista del tipo *Hennebique* dell'"Aerium" (Villaggio Marino Sanatoriale di Torre Angellara) (scheda A.4).

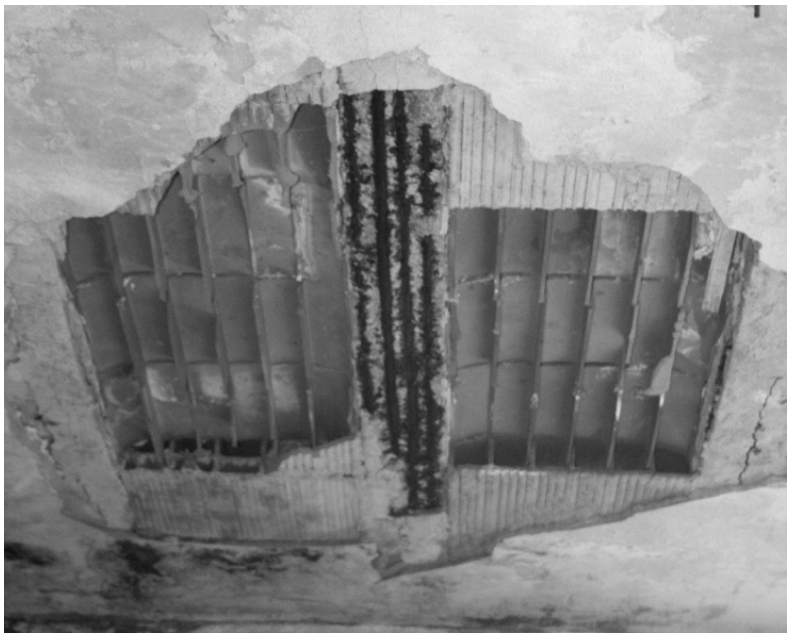
Le immagini dei solai a nervature incrociate a vista del tipo *Hennebique* del padiglione “Aerium” del Villaggio Marino Sanatoriale di Torre Angellara (figg. 255), risalgono a prima dei lavori di recupero effettuati all’inizio degli anni Ottanta.

In quegli anni l’intero complesso versava in condizioni di totale abbandono e tutti gli elementi strutturali presentavano gravi segni di degrado localizzato, che interessavano sia le nervature che i campi di solaio da esse sottesi.

Dall’immagine sono chiaramente visibili le armature, in gran parte scoperte per la disgregazione del materiale, oltre ad un diffuso stato d’ossidazione dei ferri, che in alcuni punti vedono ridotta notevolmente la loro sezione; si riscontra una minima presenza di staffe, che non sembrano, tuttavia, essere distribuite in modo più fitto in corrispondenza degli appoggi, dove lo sforzo di taglio assume il suo massimo valore, e più rade al centro, come lo stesso Hennebique prescriveva (si veda Allegato II - Brevetti solai - *Sistema Hennebique*).



figg. 256 (immagini pp. 542 e 543): degrado di alcuni solai di copertura del Pontificio Seminario Regionale “Pio XI” (scheda B.4).



figg. 257: degrado di alcuni solai del Pontificio Seminario Regionale “Pio XI” (scheda B.4).

I solai di copertura di alcuni ambienti annessi alla cappella centrale del Pontificio Seminario Regionale "Pio XI" sono ad oggi completamente abbandonati e, come si evince dalle immagini riportate (figg. 256 e 257), si presentano in condizioni di forte degrado.

Sono state evidenziate, infatti, perdite diffuse nello strato di finitura e un quasi totale distacco del copriferro che lascia così a vista la struttura portante costituita da travetti armati con due o quattro barre longitudinali, intervallati da laterizi forati a 4 fori allineati nella parte inferiore e 8 in quella superiore.

Si denotano visibili segni di corrosione dell'armatura, nonché la presenza di un conglomerato cementizio nel quale sono evidenti inerti di granulometria notevole, che hanno prodotto, con ogni probabilità, soluzioni di discontinuità.

Inoltre, l'esistenza di qualche crosta nera di probabile origine chimico-fisica e la rilevante presenza di patine biologiche fanno dedurre che la struttura sia interessata da una forte infiltrazione di acque meteoriche, proveniente dalla copertura sovrastante.

Il degrado degli orizzontamenti in conglomerato cementizio armato sopra illustrati deriva, quasi sempre, dalla carbonatazione del conglomerato cementizio. Il fenomeno è legato alla graduale penetrazione dell'anidride carbonica nel calcestruzzo attraverso porosità e microfessurazioni. Quando, per effetto della carbonatazione, la reazione del calcestruzzo diviene acida, lo strato di copriferro perde la sua efficacia dando inizio al fenomeno dell'ossidazione dei ferri. La formazione di ossido sui tondini ne provoca un graduale rigonfiamento e

la ruggine, occupando un volume superiore a quello del ferro, spinge verso l'esterno lo strato di copriferro che si trova, quindi, a lavorare a trazione. Non essendo il calcestruzzo idoneo a sopportare tale tipo di sollecitazione, si ha la formazione di fessurazioni, seguita dal distacco definitivo del copriferro. In breve tempo i ferri affiorano su ampie superfici e, pertanto, si deteriorano con estrema rapidità mettendo in pericolo la stabilità dell'intero impalcato.

Altre forme di degrado presenti sono molto probabilmente dovute alla presenza di umidità.

L'umidità, dovuta all'infiltrazione di acqua piovana dalle coperture, si è certamente accentuata conseguentemente all'abbandono delle strutture.

Dal rilievo effettuato si sono, infatti, riscontrate alcune zone dei solai interessate da macchie di umidità, muffe, deterioramento e distacco degli intonaci o del calcestruzzo; queste si trovano in una posizione tale da non poter attribuire la causa del degrado ad altro se non ad un elevato tasso di umidità degli ambienti.

Si è anche riscontrato spesso il deperimento delle strutture e delle finiture dovuto al normale decadimento dei materiali o alle problematiche legate alla sperimentazione progettuale di soluzioni edilizie d'avanguardia o comunque alternative.

I materiali utilizzati per le operazioni di ripristino e consolidamento

Negli interventi di ripristino e consolidamento delle strutture in conglomerato cementizio armato, particolare importanza riveste la scelta dei materiali che devono presentare caratteristiche meccaniche e chimiche ben definite. I materiali da impiegare oltre ad essere in grado di resistere a quelle sollecitazioni di carattere chimico, fisico o meccanico alle quali il calcestruzzo originale non è stato in grado di resistere, devono anche garantire un'efficace compartecipazione alla risposta dinamica, essere poco sensibili alla viscosità e possedere stabilità volumetrica nel tempo. Il conglomerato cementizio è soggetto, infatti, a due fenomeni reologici: lo scorrimento viscoso (*creep*) e il ritiro, entrambi capaci di inficiare la riuscita dell'intervento. All'inizio delle operazioni, può, infatti, considerarsi esaurito il comportamento viscoso del materiale preesistente, mentre per contro il materiale di apporto possiede per intero le caratteristiche viscose: è evidente che nel tempo le tensioni migreranno dal materiale più viscoso a quello meno viscoso, rendendo inefficace l'intervento.

Conseguenze analoghe possono ottenersi per effetto del ritiro, con l'aggravio che quest'ultimo fenomeno si verifica indipendentemente dallo stato di sollecitazione esistente all'atto dell'intervento. Ad evitare i fattori negativi cui si è accennato, si rende necessaria la scelta di materiali appropriati che rispondono a tali requisiti[271].

[271] Scialò C., *op. cit.*, p. 36.

Ad ogni modo, la scelta dei materiali più idonei da impiegare per il risanamento di opere in conglomerato cementizio armato dipende fortemente dalle considerazioni emerse nella diagnosi del degrado di un determinato elemento e, quindi, dalle cause che l'hanno generato.

Il progettista è tenuto, tuttavia, ad utilizzare solo materiali identificati e certificati dal produttore con prestazioni conformi a quanto previsto dal D.M. 14 gennaio 2008 "*Norme Tecniche per le Costruzioni*".

Materiali di protezione ed inibitori

Si tratta di rivestimenti superficiali impermeabili ma traspiranti, che costituiscono un'ottima barriera all'acqua, ai cloruri e all'anidride carbonica, provocando quindi un blocco dei due principali fenomeni innescanti la corrosione delle armature: la carbonatazione ed il *pitting* da cloruri.

I materiali più comunemente impiegati sono i formulati epossidici in emulsione acquosa, prodotti a base di resine acriliche-poliuretaniche e soluzioni di silossani o silani o resine siliconiche, quest'ultimi in ambienti con assenza di cloruri.

Quando l'intervento di risanamento risulta localizzato, il blocco delle sostanze aggressive può avvenire direttamente sulle armature corrose, mediante prodotti protettivi capaci di creare una separazione tra le armature e le sostanze aggressive.

Acciaio per rinforzi

L'acciaio, sotto forma di piatti, laminati o profilati di diversa forma, è uno dei materiali maggiormente impiegati nelle operazioni di ripristino e consolidamento che prevedono un rinforzo strutturale degli elementi in conglomerato cementizio armato mediante integrazione o sostituzione delle armature esistenti.

Prodotti a base cementizia: malte a ritiro compensato

Il conglomerato cementizio degradato viene solitamente integrato o sostituito con prodotti a base cementizia, quali le malte a ritiro compensato. Esse presentano come caratteristiche peculiari: un'elevata aderenza al supporto cui sono applicate (conglomerato cementizio o barre di armatura), un ridotto diametro dei pori che le rendono praticamente impermeabili, un ritiro contenuto (ottenuto grazie all'aggiunta di prodotti polimerici o plastici all'impasto).

Ve ne sono di diversi tipi: mono-componenti, che si presentano in polvere da miscelare con acqua, a seconda dei rapporti indicati dal produttore; bi-componenti, sempre in polvere, da miscelare con un'emulsione preconfezionata e predosata, di acqua e polimeri sintetici; tri-componenti, ottenute in cantiere, impastando nei rapporti consigliati acqua, cemento, aggregati di opportuna granulometria e resine epossidiche.

Le tecniche applicative variano a seconda della tipologia di intervento da effettuare: l'impiego di betoncini per colaggio entro casseri si utilizza quando si tratta di riparare spessori relativamente elevati (> 5

cm); le malte a spruzzo o a cazzuola si usano in presenza di superfici di grande estensione e di piccolo spessore (<5 cm); infine, per la sigillatura di fessure (> 1 mm), si preferisce l'impiego delle boiacche cementizie per iniezione.

Formulati epossidici: le resine epossidiche

Le resine epossidiche sono adesivi costituiti da due o più componenti chimici mescolati fra loro, in un preciso rapporto, immediatamente prima dell'applicazione: la resina vera e propria e l'indurente, cui possono essere aggiunti particolari additivi (agenti *tixotropici*) che, formando leggere strutture reticolari all'interno della resina, consentono il mantenimento della forma, facilitandone l'applicazione anche su superfici verticali.

L'uso delle resine epossidiche senza l'aggiunta di aggregati sarebbe, infatti, limitato ad un impiego come collante, ma con l'aggiunta di *filler*, sabbia o ghiaia, si ottengono prodotti con proprietà di adesivo, di malta o di calcestruzzo in funzione delle proporzioni fra i componenti.

Resina ed indurente reagiscono per poliaddizione (polimerizzazione) e, una volta innescato il processo di indurimento, raggiungono velocemente le caratteristiche di resistenza finali grazie allo sviluppo di calore e al conseguente aumento della velocità di reazione.

Le proprietà dei formulati epossidici sono fortemente condizionate dal tipo di indurente e dagli additivi impiegati e le loro composizioni chimiche sono varie e subiscono continuamente cambiamenti evolutivi per adattarsi a nuove richieste di impiego; sono, infatti, disponibili in

commercio un gran numero di composizioni resina-indurente che portano a prodotti con moduli elastici e caratteristiche meccaniche, che variano anche in relazione alla natura del supporto.

Per impieghi nelle riparazioni di lesioni di elementi in conglomerato cementizio armato esistono molteplici composizioni specifiche per le diverse pose in opera in funzione di temperatura, spessori, lavorabilità, uso come collante o come malta, posa in opera con o senza preparazione delle superfici in calcestruzzo. Anche la temperatura esterna, infatti, influisce notevolmente sia sulla velocità di reazione che sulle caratteristiche meccaniche del prodotto, per cui esistono gamme di resine adatte ad impieghi stagionali e a particolari condizioni ambientali (in ambienti aggressivi o umidi è più idoneo utilizzare resine epossidiche, mentre in ambienti ricchi di cloruri risultano più efficaci le resine poliuretaniche).

Le resine epossidiche presentano una grande versatilità e possono essere impiegate come collanti (incollaggio tra calcestruzzo vecchio e nuovo o piastre di acciaio su supporto in calcestruzzo, garantendo una perfetta aderenza e monoliticità strutturale), sigillanti di lesioni, riempimento di vuoti o fessure, rivestimenti protettivi, materiali di apporto, conglomerati epossidici.

Il loro impiego, in sostituzione di boiacche o malte cementizie, anche se additivate, offre i vantaggi di una protezione chimica durevole, di un’ottima adesione, di iniettabilità in lesioni con andamento particolarmente complesso e di perfetta impermeabilità.

Le resine comunemente utilizzate nel campo dei rinforzi strutturali possono essere del tipo mono-componente e bi-componente. Le resine mono-componenti sono caratterizzate dalla presenza di un solvente che, una volta evaporato, consente l'indurimento della resina e pertanto possono essere utilizzate in luoghi ove non sia impedita tale evaporazione; le si utilizza spesso come rivestimenti superficiali. Le resine bi-componenti sono formate da due componenti monomerici (A e B), entrambi liquidi fin quando sono conservati separatamente; una volta mescolati danno luogo ad una reazione che provoca l'indurimento della miscela. Tali resine sono impiegate principalmente come adesivi nelle principali tecniche di recupero delle strutture in conglomerato cementizio armato (*béton plaqué*, ancoraggi chimici, applicazioni di materiali fibrorinforzati (*FRP*), ecc.), nonché come riempimento di lesioni per il tramite di iniezioni, a patto che le fessure non siano eccessivamente ampie.

Gli inconvenienti dovuti all'impiego di questa tipologia di prodotto sono: fenomeni di *fluage* che risultano essere anche superiori a quelli del calcestruzzo; una rottura di tipo fragile, senza segni di preavviso; mancanza di dati sperimentali per la quantificazione del fenomeno di invecchiamento e scarsa resistenza al fuoco ed alle alte temperature con conseguente necessità di protezione mediante pannelli di materiale coibente.

Materiali compositi fibro-rinforzati (FRP)

I materiali compositi fibro-rinforzati (meglio noti con la sigla *FRP*, acronimo di *Fiber Reinforced Polymer*) sono particolari prodotti appartenenti alla classe dei compositi strutturali e derivano dalla combinazione di una struttura fibrosa impregnata in una matrice costituita prevalentemente da resine polimeriche.

Le matrici hanno principalmente il compito di legare tra loro le fibre, di proteggerle dai danneggiamenti accidentali e dall'aggressione degli agenti ambientali, di trasferire e ripartire uniformemente gli sforzi, di conferire all'intero materiale caratteristiche di tenacità e resistenza alla fatica.

Le fibre incidono sulle proprietà meccaniche in base al diametro, alla lunghezza e alla loro orditura; esse presentano un'elevatissima resistenza a trazione, anche per carichi prolungati nel tempo e ripetuti, e buona resistenza alle alte temperature e agli agenti chimici[272].

Le tipologie di fibre maggiormente utilizzate nelle applicazioni nell'ambito dell'ingegneria civile sono le fibre di carbonio, le fibre di vetro e le fibre di aramide; per la matrice si utilizzano, invece, resine termoindurenti (epossidiche, vinilestere, poliestere, poliuretaniche, fenoliche) e termoplastiche (nylon, polietilene, acrilico, polistirene).

Le resine epossidiche, in particolare, presentano ottime proprietà adesive e una buona resistenza all'umidità e agli agenti chimici.

[272] Manfroni O., Arduini M., Forlani R., Gentilini D., *Rinforzo di solai in latero-cemento con materiali compositi innovativi* in "Costruire in laterizio", periodico bimestrale, Anno 11, N. 64, luglio/agosto 1998, p. 310.

Le fibre (di diametro compreso tra 6 e 10 *micron*) sono commercializzate in una vasta gamma di prodotti: fili, composti da un massimo di 4000 fibre attorcigliate fra loro per garantirne la coesione; cavi, composti da un numero di fibre compreso fra 10000 e 15000, attorcigliate fra loro in maniera molto leggera; *roving*, insieme di fasci compatti di fibre, generalmente non attorcigliate; fasce unidirezionali, composte da più fili allineati fra loro in modo da formare un piano; tessuti, in cui più fili sono disposti perpendicolarmente fra loro in modo da formare una trama ed un ordito[273]; le lamine pultruse, ottenute mediante un processo di estrusione[274].

Tra tutti i tessuti risultano essere il prodotto di più vasta diffusione perché consentono una maggiore facilità di lavorazione e, una migliore e più uniforme distribuzione delle sollecitazioni; sono impiegati soprattutto quando il prodotto deve avere una buona resistenza in ogni direzione.

Dato il numero delle variabili, si può affermare che esistono molti tipi diversi di tessuti e che ogni applicazione può disporre del tipo di tessuto specifico per le caratteristiche finali richieste.

Per la posa in opera, si adoperano adesivi strutturali *tixotropici* di tipo epossidico applicando sia sulla struttura da rinforzare, che sui nastri di rinforzo, uno strato adesivo di spessore compreso tra 1 e 2 mm.

[273] I tessuti si differenziano per il tipo di fibre utilizzate, per il numero di fili per centimetro (cui è direttamente collegato il peso per metro quadrato del tessuto) e per il tipo di tessitura.

[274] Zevi B. (a cura di), *op. cit*., p. I 73.

I materiali compositi, ed in particolare le fibre di carbonio, presentano, oltre a quelli già elencati, una serie indiscussa di vantaggi, sia in termini di caratteristiche proprie (buone proprietà fisico-meccaniche; resistenza all'urto ed elevato potere di smorzamento per le vibrazioni; resistenza agli agenti esterni) che in termini pratici (bassissimo peso e, quindi, facilità di posa in opera; flessibilità da cui la possibilità di trasporto di nastri di notevole lunghezza arrotolati, senza la presenza di giunti; possibilità di incrociare i tessuti in maniera agevole; facile utilizzo in spazi ristretti; richiesta minima di manutenzione; elevato rapporto prestazioni/costo e competitività con i materiali tradizionali).

A fronte di tali vantaggi occorre evidenziare anche i limiti di tale tipologia di intervento: le fibre di carbonio, ad esempio, presentano una scarsa resistenza a compressione; il costo del materiale, oggi abbastanza elevato, ne limita la possibilità di utilizzo; il sistema risulta particolarmente sensibile alle variazioni termiche; le fibre di carbonio, nonché gli adesivi ed i prodotti chimici di pulizia, possono risultare nocivi per cui risulta raccomandabile utilizzare abiti, guanti ed occhiali di protezione nel maneggiare tali prodotti; gli scarti di produzione devono essere considerati rifiuti speciali; gli stessi produttori consigliano di evitare di esporre i laminati all'irraggiamento solare diretto in quanto, evidentemente, i raggi *UV* svolgono una funzione negativa sulle caratteristiche tecnologiche dei tessuti e dei laminati stessi[275].

[275] Baruchello L., Assenza G., *Diagnosi dei dissesti e consolidamento delle costruzioni*, DEI, Milano, 2004.

Ad ogni modo i differenti prodotti *FRP* disponibili sul mercato (fibre, resine e lamine) sono corredati da schede tecniche che ne riportano le caratteristiche fisiche e meccaniche. A tal riguardo il *Documento CNR-DT 200/2004*, nel primo capitolo dedicato ai materiali, fornisce specifiche indicazioni sui contenuti minimi delle suddette schede perché esse possano concretamente supportare i tecnici nelle fasi di progettazione, come anche nelle valutazioni comparative tra costi e prestazioni[276].

Particolare attenzione deve, infine, essere rivolta a quegli interventi di affiancamento di nuovi materiali agli esistenti, nei quali l'intera efficacia è affidata alla capacità del materiale adesivo (le resine) o nei quali vengano totalmente alterate le condizioni di scambio igrometrico tra calcestruzzo ed ambiente esterno. Non casualmente tali interventi configgono in maniera decisa con i criteri di compatibilità dei materiali e di reversibilità degli interventi, facendo presagire la possibilità che in futuro emergano conflittualità tra i comportamenti dei singoli prodotti, peraltro di non facile risoluzione, proprio a causa della loro scarsa reversibilità.

[276] Ascione L., Giordano A., *Riabilitazione strutturale con materiali compositi fibrorinforzati. Interventi su edifici di conglomerato cementizio armato*, Polipress - Politecnico di Milano 2009, p. 87.

Il risanamento dei solai in conglomerato cementizio armato: note metodologiche

Interventi di ripristino e consolidamento

Le principali tecniche di intervento utilizzabili correttamente per il risanamento degli orizzontamenti in conglomerato cementizio armato, costituiscono, pur con le inevitabili varianti, un consolidato patrimonio tecnico-operativo.

È opportuno ricordare che tali metodologie di intervento seguono sempre ad accurate indagini preliminari, effettuate secondo le moderne tecniche, al fine di constatare l'effettiva consistenza dei materiali oltre alle caratteristiche statiche delle strutture interessate.

Nell'ampio panorama delle tecniche di intervento edilizio si possono individuare diverse categorie: si spazia, infatti, da tecniche tradizionali, a tecniche che, anche se recenti, hanno ormai acquisito una loro "storia", fino a tecniche recentissime, attualmente ancora in fase di evoluzione, per le quali sono in corso sperimentazioni[277].

Sulle tecnologie applicabili alle strutture in conglomerato cementizio armato è, infatti, disponibile una vasta serie di ricerche, di proposte e di prodotti per i diversi procedimenti da utilizzarsi in un intervento di ripristino o consolidamento.

[277] Bardelli P.G., Nelva R., *Tecniche di intervento nel recupero* in "Modulo, Mensile di Tecnologia e progetto per la qualità edilizia", n. 152, giugno 1989, BE-MA edizioni, Milano, p. 136.

È opportuno ricordare che i livelli di degrado delle opere in conglomerato cementizio armato possono essere distinti in due macrocategorie che non tengono conto, però, delle cause che li hanno generati: un degrado di tipo superficiale, con o senza ossidazione delle armature, e un degrado più profondo, di tipo strutturale.

Quando i fenomeni di degrado non hanno prodotto danni alle armature e le strutture non necessitano di interventi di adeguamento, è sufficiente effettuare interventi di recupero dell'esistente e di ripristino delle situazioni originarie, di disossidazione dei ferri di armatura o del blocco dei fenomeni corrosivi.

A livello minimo si hanno, quindi, i cosiddetti provvedimenti leggeri, rivolti alla sigillatura di fessurazioni, o di lievi lesioni, per il tramite di iniezioni, effettuate con pressione opportuna, di malte cementizie o a base di resine epossidiche, al fine di evitare che si provochino ulteriori fenomeni disgregatori. Il ripristino di parti di conglomerato degradate o mancanti, e la bonifica di lesioni consistenti, richiedono in generale l'uso di calcestruzzo, con additivi e con eventuali collanti per dare soluzione al basilare problema dell'aderenza. Oltre a ciò, altri due aspetti ai quali deve essere prestata la giusta attenzione sono quelli del ritiro e del diverso *fluage*; ad entrambi si cerca di provvedere con additivi a composizione particolare.

Laddove le armature sono sufficientemente protette ed un eventuale attacco della corrosione non ne ha compromesso la sezione resistente, si procede, quindi, ad un semplice ripristino del copriferro.

La tecnica di risanamento più comunemente usata prevede: l'asportazione del calcestruzzo ammalorato fino ad arrivare alle zone ritenute meccanicamente solide; la disossidazione dei ferri di armatura mediante trattamenti protettivi con formulati epossidici; il ripristino della sezione originaria della struttura, eseguita con l'impiego di malte reoplastiche a ritiro compensato, previa realizzazione di uno strato di ancoraggio mediante l'applicazione a pennello di una boiacca ottenuta con un formulato epossidico in dispersione acquosa e cemento[278]. Tale materiale, oltre ad assicurare la perfetta aderenza della malta al vecchio calcestruzzo, garantisce anche l'impermeabilità delle superfici trattate, il ripristino dell'aderenza ferro-calcestruzzo, la protezione dagli agenti esterni.

Nei casi più gravi, invece, quando l'effettiva capacità statica delle strutture è compromessa in maniera sensibile o le soluzioni originarie risultano insufficienti, si procede all'integrazione o al ripristino dell'armatura esistente o di parti di conglomerato; a ristabilire l'aderenza ferro-calcestruzzo o calcestruzzo-calcestruzzo persa o compromessa; a proteggere le barre in acciaio da ulteriori fenomeni corrosivi, ripristinando eventualmente l'originaria azione passivante o bloccando il processo di corrosione.

È possibile, pertanto, effettuare un intervento localizzato per il tramite dell'inserimento di nuove armature, da collegare idoneamente alle precedenti ed al calcestruzzo con getti integrativi, cui segue il

[278] Scialò C., *op. cit.*, p. 57.

ripristino della sezione in calcestruzzo. Fra le tecniche comportanti l'aggiunta di elementi collaboranti, si ricordano il placcaggio esterno delle sezioni in conglomerato cementizio armato con lamine metalliche incollate con resine epossidiche o altri dispositivi, le fasciature con fibre di carbonio, sempre poste in opera mediante l'impiego di collanti sintetici[279], o anche i ringrossi con incamiciatura di conglomerato cementizio armato o di acciaio[280].

Preparazione delle superfici

L'esito finale di un intervento di risanamento dipende in larga parte dalla corretta preparazione delle superfici in conglomerato cementizio armato da recuperare, come anche da quelle del materiale di apporto, sia esso ancora conglomerato cementizio armato o lamine metalliche.

La preparazione delle superfici inizia con la rimozione del calcestruzzo superficiale ammalorato, e di sostanze estranee depositatesi sul manufatto, per il tramite di idonee attrezzature meccaniche. La profondità dell'asportazione dipende dalla situazione di degrado, ma anche dal tipo di materiale che si intende impiegare nel ripristino[281].

Le tecniche di rimozione del materiale degradato sono diverse; quelle maggiormente utilizzate sono: la scarificazione che si effettua mediante l'uso di attrezzature meccaniche; la sabbiatura, effettuata con

[279] Calvanese V., *op. cit.*, p. 314.
[280] Feiffer C., *op. cit.*, p. 519-520.
[281] Con malte cementizie la profondità minima necessaria è di almeno 2 cm, mentre con resine epossidiche si possono effettuare anche ripristini dell'ordine di pochi mm.

un getto di sabbia ed aria; l'idrodemolizione, che con getti di acqua ad alta pressione provoca il distacco del materiale incoerente presente sulle superfici da trattare.

Si prosegue, poi, con la preparazione delle superfici, le cui diverse metodologie utilizzate dipendono dalla tipologia, dall'estensione e dalla posizione dell'applicazione, come pure dal tipo di substrato da trattare, previa verifica della tenuta dello stesso; una buona esecuzione, infatti, non può essere ottenuta su di un supporto debole o poco resistente, in quanto sarebbe lo stesso supporto ad essere la causa della cattiva riuscita dell'intervento.

Questa operazione risulta essere di particolare importanza in quanto da essa dipende la ridistribuzione degli stati tensionali, naturale conseguenza di un qualsiasi intervento di consolidamento che presenti l'accostamento di un materiale nuovo ad uno preesistente già posto in opera.

Se l'elemento aggiunto non aderisce perfettamente, rimane evidentemente scarico; ugualmente se la struttura originaria non viene puntellata e scaricata completamente, continuerà a sopportare interamente i carichi. Viceversa, se il nuovo elemento aderisce perfettamente e la struttura originaria viene completamente scaricata durante le opere di risanamento, i carichi si distribuiranno su entrambi gli elementi, in proporzione alle rispettive rigidezze; un'eccessiva rigidezza

del materiale di apporto rispetto a quello originario, può indurre una eccessiva concentrazione di tensioni sul nuovo elemento[282].

Superfici in conglomerato cementizio

Le superfici in conglomerato cementizio armato devono presentarsi sane, esenti da polveri, parti friabili, prive di tutte quelle sostanze che possono pregiudicare l'aderenza tra il materiale preesistente e quello di apporto.

La rimozione delle sostanze estranee può essere effettuata mediante spazzolatura meccanica, levigatura a secco, sabbiatura, decapaggio termico, previo trattamento della superficie.

La preparazione di queste superfici è particolarmente importante, infatti, il calcestruzzo esistente in virtù della propria porosità tende ad assorbire i fluidi presenti nel materiale di apporto (calcestruzzi o malte), variandone sensibilmente la composizione chimica a ridosso della superficie di transizione; è fondamentale, pertanto, una corretta umidificazione della superficie prima dell'intervento.

Per evitare i problemi dovuti al ritiro, è bene che gli impasti per gli interventi di ripristino siano in genere del tipo a ritiro compensato o leggermente espansivi.

[282] Zevi B. (a cura di), *op. cit.*, I 70.

Superfici metalliche

Un'adeguata preparazione delle piastre metalliche, utilizzate come elementi di rinforzo nell'ambito di alcune tipologie di interventi, non è meno importante di un'adeguata preparazione delle superfici in calcestruzzo. Anche le superfici metalliche devono essere, infatti, libere da polvere, impurità, oli, grassi, ruggine ed altre sostanze che potrebbero pregiudicarne l'incollaggio; l'olio ed i grassi sono eliminati con solventi idonei, la ruggine e le scorie vengono comunemente rimosse con le operazioni di smerigliatura o sabbiatura.

Una volta eseguito l'intervento di preparazione, si procederà all'applicazione del formulato epossidico che consente l'incollaggio della lamina metallica al sottofondo in conglomerato cementizio.

Cenni sui possibili metodi di recupero degli orizzontamenti in conglomerato cementizio armato

Troppo spesso accade nella prassi quotidiana che un solaio in conglomerato cementizio armato datato e seriamente degradato venga demolito e successivamente ricostruito, perché troppo oneroso ne risulterebbe il recupero. Operando in questo modo, però, si perde totalmente la memoria storica delle tecniche costruttive passate, motivo per cui sono stati illustrati una serie di interventi atti al recupero di alcune tipologie di solai cui possono essere assimilate quelle tipiche del Ventennio fascista, al fine di pianificare un corretto intervento di recupero di questi ultimi, nel rispetto dei loro caratteri di originalità in quanto testimonianza storica di un'era di grande fermento culturale e di notevole progresso scientifico.

Interventi di consolidamento su solai a nervature

Le metodologie applicabili per il recupero degli orizzontamenti in conglomerato cementizio armato con nervature a vista sono analoghe a quelle utilizzate per il risanamento delle travi, cui le nervature di detti solai possono essere assimilate.

Le tecniche oggi più utilizzate per il consolidamento delle nervature sono:

- l'incremento delle sezioni con integrazione di conglomerato cementizio armato;
- l'applicazione di piastre o casseri metallici (*béton plaqué*);

- l'applicazione di materiali polimerici rinforzati con fibre ad alta resistenza (*FRP*, *Fiber Reinforced Polymers*);
- le iniezioni in lesioni.

Indipendentemente dalla tipologia di intervento che si intende utilizzare, risulta essere strettamente necessario in fase preliminare il puntellamento delle travi effettuato per il tramite di martinetti: se le travi non vengono puntellate e scaricate, gli elementi di consolidamento aggiunti entreranno in carico solo al momento dell'applicazione di ulteriori carichi (carichi accidentali non presenti al momento dei lavori) e le parti originarie risulteranno, quindi, essere sovraccaricate[283].

Incremento delle sezioni con integrazione di conglomerato cementizio armato

Tale tecnica può essere annoverata tra quelle tradizionali utilizzate per il risanamento di nervature in conglomerato cementizio armato in quanto non richiede l'impiego di manodopera specializzata, sia in fase di preparazione delle superfici da trattare che nell'esecuzione delle specifiche operazioni di intervento.

Tale metodologia consente di effettuare interventi localizzati in zona compressa e in zona tesa oltre che sull'intero elemento.

Gli interventi in zona compressa si effettuano mediante l'apposizione di una soletta in calcestruzzo armata con una rete elettrosaldata. La solidarizzazione tra vecchio e nuovo getto si ottiene

[283] Zevi B. (a cura di), *op. cit.*, I 73.

con adesivi, ma la trasmissione degli sforzi di taglio deve essere assicurata mediante opportuni connettori.

In zona tesa, l'intervento di solito consiste nell'aggiunta di nuove armature che servono a scaricare le barre preesistenti, eventualmente snervate, o ad incrementare l'effettiva armatura tesa.

A tal fine, asportato il copriferro, le nuove armature si salderanno in più punti alle barre preesistenti (fig. 258); esse verranno, poi, avvolte da monconi di staffe, conformate ad U, anch'esse saldate alle preesistenti e ricoperte di calcestruzzo o gunite[284].

Occorre, tuttavia, prestare particolare cura al problema dell'ancoraggio delle barre aggiuntive, prolungate fino alla zona compressa, e al pericolo di un indebolimento dell'acciaio nei punti di saldatura.

[284] La gunite è una malta spruzzata che ha in genere una granulometria massima di 4 mm, ed è usata soprattutto per impermeabilizzazioni e rivestimenti sottili.

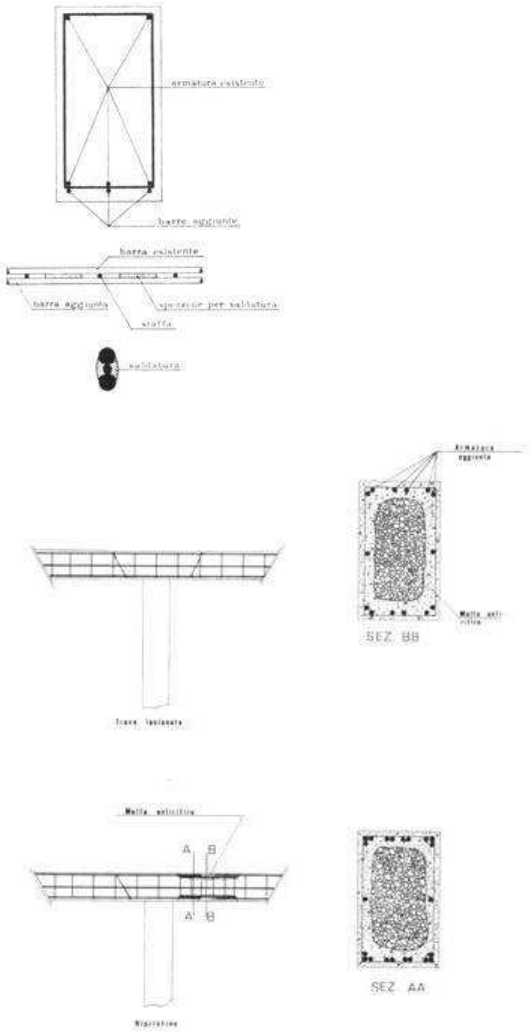


fig. 258: schematizzazione di un intervento di aggiunta di armatura in zona tesa mediante saldature (in alto) e ripristino di nervature con conservazione delle dimensioni della sezione originaria (in basso) (da Ufficio del Ministro per il coordinamento della ricerca scientifica e tecnologica, *Edifici in cemento armato danneggiati da terremoti: analisi, riparazioni e consolidamento*, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Libreria dello Stato, Roma 1981).

Nei casi in cui non vi siano vincoli dimensionali rigidi, risulta opportuno aumentare le capacità portanti delle nervature mediante l'aggiunta di armature all'intradosso, inglobate in uno spessore sufficiente (di almeno 5 cm) di calcestruzzo molto fluido costituito con malte ad elevata resistenza, a ritiro compensato e con adesività al calcestruzzo esistente tale da superare la resistenza a trazione di quest'ultimo.

Le malte, a base di cemento corretto con polimeri sintetici, possono anche essere rinforzate con fibre.

Qualora dovesse essere necessario migliorare anche la resistenza alle sollecitazioni da taglio, oltre alle armature, si integrano anche le staffature della trave con analoga tecnica.

Essendo usualmente le nervature sormontate da solette, occorre praticarvi i fori necessari per il passaggio delle staffe aggiuntive, con l'accorgimento di evitare l'interferenza con le armature esistenti, oltre alle aperture che si rendono necessarie per il getto del calcestruzzo.

Alla posa in opera delle armature e delle staffe segue la posa in opera delle casserature, entro le quali viene effettuato il getto del conglomerato, che vengono rimosse ad avvenuta maturazione del tutto.

Tale intervento ad oggi può essere anche realizzato evitando l'aggiunta di barre di armature che necessitano di spessori considerevoli (dai 6 ai 10 cm), utilizzando malte fibrorinforzate che consentono di incamiciare le nervature con spessori ridotti (3 cm).

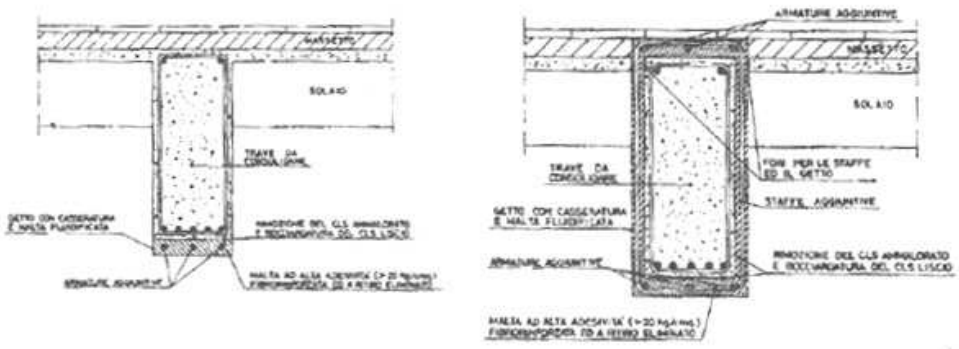


fig. 259: schematizzazione di un rinforzo di nervature in conglomerato cementizio armato mediante armature e betoncino ad alta adesività (da Baruchello L., Assenza G., *Diagnosi dei dissesti e consolidamento delle costruzioni*, DEI, Milano 2004).

Uno dei grandi vantaggi offerti da tale tecnica, oltre a quelli precedentemente elencati, riguarda l'adesione tra il calcestruzzo esistente e quello di rinforzo. Trattandosi, infatti, di materiali della stessa natura, non si manifestano problemi legati alla compatibilità; l'unico accorgimento deve essere quello di bagnare accuratamente la superficie del supporto, onde evitare problemi connessi all'assorbimento dell'acqua di impasto da parte del vecchio materiale sul nuovo.

Altro aspetto positivo è che la connessione tra i due elementi risulta, inoltre, facilmente potenziabile mediante l'aggiunta di imperniature o con l'applicazione di strati di aggrappante a base di resine epossidiche, che determinano anche una bonifica locale per effetto dell'impregnazione degli strati di calcestruzzo adiacenti alla superficie d'incollaggio.

Un aspetto negativo è, invece, l'incremento delle sezioni con conseguenti ingombri e modifiche architettoniche.

Applicazione di piastre o casseri metallici (béton plaqué)

Tale tecnica di intervento si applica nei casi di armature insufficienti a resistere alle sollecitazioni di flessione e/o taglio.

Essa viene sovente utilizzata in alternativa alla tecnica precedentemente illustrata ed è basata sull'applicazione di piastre metalliche, di spessore variabile, applicate in aderenza o comunque solidarizzate alle superfici delle nervature, previa adeguata preparazione delle stesse.

Le piastre possono assumere diverse disposizioni a seconda del tipo di rinforzo che si intende effettuare: nel caso di rinforzo a flessione (insufficiente armatura tesa), l'intervento consiste nell'applicare un elemento metallico lungo tutto l'intradosso delle nervature da risanare; se, invece, occorre sopperire ad un'insufficienza da taglio, le piastre si disporranno ai lati della nervatura, in prossimità degli appoggi, collegate da bulloni trasversalmente passanti. Dalla combinazione di questi casi si ottengono tutte le possibili disposizioni (fig. 260).

Prima di procedere alla solidarizzazione degli elementi occorre accertarsi che il sottofondo sia sufficientemente solido e privo di residui pulverulenti. Nel caso si presentino superfici incoerenti, occorre procedere alla scarificazione delle stesse, operazione che conferisce anche un giusto grado di asperità al fine di porre in opera l'adesivo utilizzato per il fissaggio della piastra all'elemento in conglomerato cementizio armato. È buona norma proteggere anche le superfici della piastra mediante appositi cicli di verniciatura o, meglio, con la posa in opera di un anticorrosivo epossidico oltre ad un rivestimento o strato

protettivo per garantire un'adeguata protezione al fuoco, capace di resistere almeno 120 minuti alle fiamme (*REI 120*)[285].

Il fissaggio dei piatti avviene per il tramite di barre filettate fissate alla struttura mediante pasta epossidica che hanno anche la funzione di assorbire gli sforzi di taglio esistenti (fig. 261). Ad avvenuto indurimento della pasta epossidica, impiegata per l'ancoraggio delle suddette barre, si applica su tutta la superficie altra pasta per fissare la piastra in acciaio alla nervatura, serrandola mediante le suddette barre e rimuovendo la pasta epossidica in eccesso.

I materiali utilizzati per l'incollaggio, che si appongono sia sul calcestruzzo che sugli elementi metallici, sono adesivi a base di resine epossidiche (per spessori di lamiera non superiori a 3 mm), ovvero anche mediante chiodi o barre filettate passanti tra i due elementi, previa interposizione di un sottile strato di malta cementizia espansiva. Nel caso di lamiere di maggiore spessore (oltre 3-4 mm), la solidarizzazione può essere ottenuta con tasselli di acciaio ad espansione serrati sino a far rifluire le resina in eccesso lungo i bordi delle placcature. Allo scopo sarà predisposta una serie di fori sfalsati sia nelle piastre metalliche che nella struttura di sottofondo.

Durante l'operazione di incollaggio delle lamiere è importante evitare, per quanto possibile, la formazione di bolle d'aria tra gli elementi da incollare, sedi di pericolose concentrazioni degli sforzi e responsabili di ridurre l'area effettiva di contatto. Per tale motivo occorre adoperare

[285] Scialò C., *op. cit.*, p. 63.

un quantitativo di adesivo più che doppio rispetto a quello necessario in quanto, fuoriuscendo dall'interspazio tra base e rivestimento, elimina almeno una parte dell'aria occlusa.

All'incollaggio segue il mantenimento in aderenza a pressione della piastra fino ad indurimento oppure si procede iniettando resina o adesivo epossidico, fino al totale riempimento dell'intercapedine tra la piastra metallica e la nervatura.

Una metodologia alternativa per il fissaggio del rinforzo alla nervatura consiste nell'accostare a secco la piastra alla superficie d'intradosso mediante puntellatura inserendo, nell'interstizio tra la nervatura e la piastra, tubicini di diametro di 3 o 4 mm, per il tramite dei quali viene iniettata una resina molto fluida che garantisce il completo riempimento dello spessore libero tra gli elementi da solidarizzare. Oltre ai tubicini per l'iniezione della resina ve ne sono altri, orientati verso l'alto, che svolgono la funzione di eliminare l'aria presente e controllare che la resina abbia raggiunto ogni punto della giunzione (fig. 262).

La piastra deve essere sempre sorretta da puntelli provvisori di sostegno che saranno rimossi solo quando la resina si è completamente indurita.

Questa tecnica ha il notevole vantaggio di essere molto versatile, relativamente semplice da realizzare, economica e veloce; essa, inoltre, contrariamente all'intervento precedentemente descritto, non comporta un aumento dello spessore dell'elemento rinforzato, salvaguardando le volumetrie degli ambienti.

Questo procedimento presenta, tuttavia, alcuni inconvenienti: comporta un aumento della rigidezza dell'elemento da rinforzare; i piatti in acciaio sono molto pesanti e quindi difficili da maneggiare in opera, tanto da richiedere la costruzione di impalcature che incidono sia sui costi che sui tempi di lavoro; richiede una particolare cura nella disposizione dei puntelli che devono essere applicati lateralmente in modo da lasciare libero l'intradosso per l'applicazione delle piastre; una costante manutenzione delle piastre metalliche al fine di preservarle dai negativi effetti della corrosione.

Altra problematica legata a questa tipologia d'intervento è il distacco, anche locale, che può verificarsi tra rinforzo e nervatura. Infatti, nonostante le resine di incollaggio posseggano adeguate caratteristiche meccaniche capaci, quindi, di garantire una sufficiente aderenza tra materiali incollati (calcestruzzo ed acciaio), può avvenire che il calcestruzzo si sfaldi in zone più o meno ampie; è quindi necessario che la superficie del calcestruzzo sia perfettamente liscia, pulita, ma soprattutto resistente.

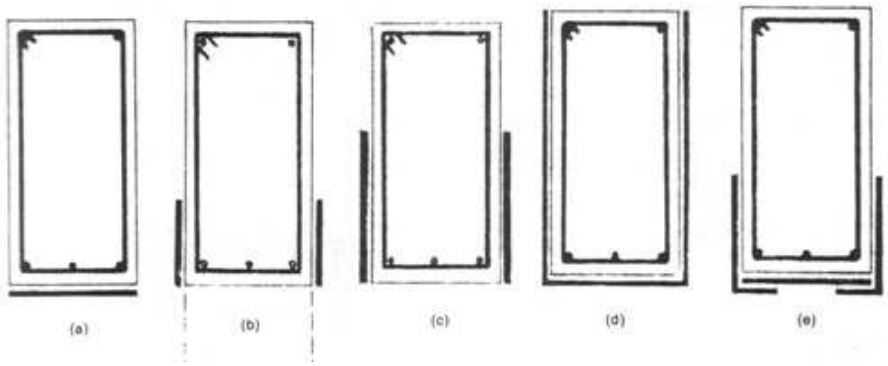


fig. 260: disposizioni alternative di piastre di armatura (metodo del *béton plaqué*): (a) armatura a flessione; (b) alternativa ad (a) quando l'intradosso della trave è difficilmente accessibile; (c) armatura a taglio; (d) armatura a flessione e taglio; (e) alternativa a (d) (da Ufficio del Ministro per il coordinamento della ricerca scientifica e tecnologica, *Edifici in cemento armato danneggiati da terremoti: analisi, riparazioni e consolidamento*, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Libreria dello Stato, Roma 1981).

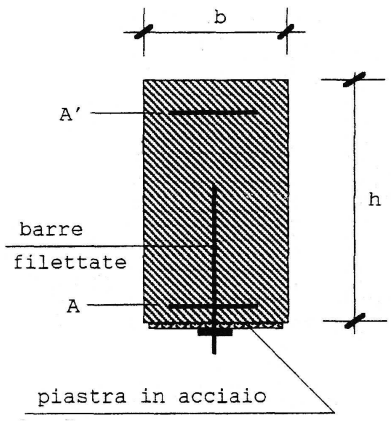


fig. 261: schematizzazione della sezione di una nervatura con piastra incollata (*béton plaqué*) (da Scialò C., *Consolidamento e manutenzione delle strutture in cemento armato*, Editrice DEI, Roma 1996).

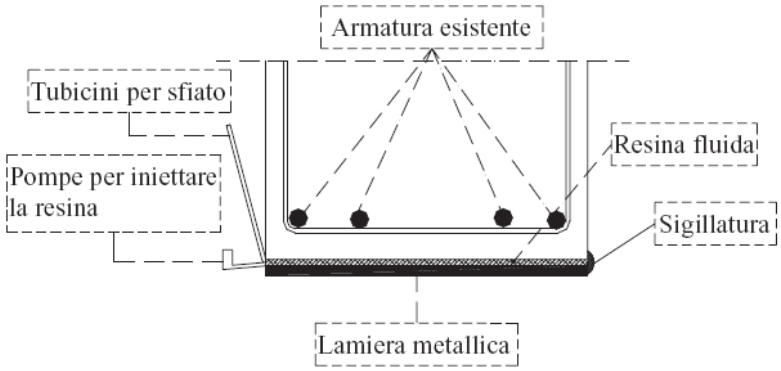


fig. 262: schematizzazione del risanamento di una nervatura per il tramite dell'incollaggio di una lamiera (Zevi B. (a cura di), *Il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma 2008).

Quando la qualità del calcestruzzo non risulta, quindi, tale da poter ritenere il supporto meccanicamente solido, l'intervento con la tecnica del *béton-plaqué* non può essere effettuato, in quanto la scarsa resistenza del calcestruzzo comprometterebbe l'incollaggio della piastra.

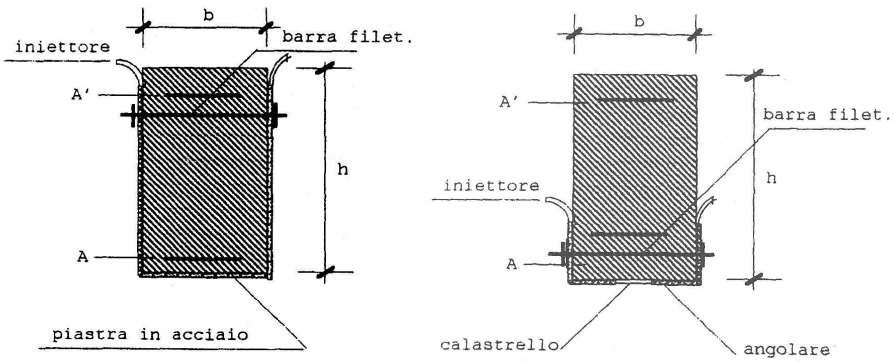
È il caso di elementi realizzati con conglomerati cementizi porosi e facilmente attaccabili dagli agenti atmosferici, costituiti da inerti non idonei, senza una precisa curva granulometrica, dosaggi non sempre uniformi, copriferro di spessore insufficiente, tecniche di realizzazione non ancora assimilate dagli operatori.

Il rinforzo di queste strutture, mediante elementi metallici, può essere ottenuto con una tecnica di intervento diversa dal *béton-plaqué* che prende il nome di "metodo del cassero metallico"[286] che prevede il

[286] *Ivi*, p. 64.

fissaggio di profilati ad “L” o ferri piatti, posizionati lungo gli spigoli della struttura mediante barre filettate a secco, senza cioè l'applicazione del collante epossidico (figg. 263).

Si procede, quindi, alla sigillatura dei bordi del profilato con pasta epossidica e all’applicazione di idonei iniettori attraverso i quali, dopo i tempi tecnici di indurimento della pasta di sigillatura, si inietta resina epossidica liquida a bassa pressione nell’intercapedine tra profilato e nervatura. La resina, spinta dalla pressione di iniezione ed in virtù della sua bassa viscosità, penetra attraverso i pori e le microfessure del conglomerato, realizzando contemporaneamente l’incollaggio ed il consolidamento del supporto.



figg. 263: schematizzazioni di sezioni di una nervatura rinforzata con lamiera incollata (a sinistra) e con profilati di rinforzo incollati (a destra) con il metodo del “cassero metallico” (da Scialò C., *Consolidamento e manutenzione delle strutture in cemento armato*, Editrice DEI, Roma 1996).

Applicazione di materiali polimerici rinforzati con fibre ad alta resistenza (FRP, Fiber Reinforced Polymers)

Rientrano tra le tecniche recentissime, solitamente utilizzate in alternativa a quella più tradizionale del *béton plaqué*, gli interventi di ripristino sulle strutture inflesse in conglomerato cementizio armato realizzati mediante l'applicazione di tessuti o lastre pultruse in materiali polimerici rinforzati con fibre (solitamente di carbonio) ad alta resistenza (*CFRP, Carbon Fiber Reinforced Polymers*).

Tale tecnica, utilizzata anch'essa per rinforzi a flessione e/o a taglio, prevede una preparazione delle superfici (che devono presentare un'asperità non superiore a 1 mm, al fine di rendere possibile una corretta posa del nastro) e una disposizione delle fasce dei tessuti o delle lamine pultruse (che dovranno essere anch'esse pulite da eventuali sostanze che potrebbero ridurre l'efficacia dell'incollaggio) analoghe a quelle descritte per i piatti in acciaio utilizzati nella tecnica del *béton plaqué*.

Il rinforzo a flessione delle nervature si realizza, infatti, incollando le fibre sulla faccia tesa della nervatura in calcestruzzo armato.

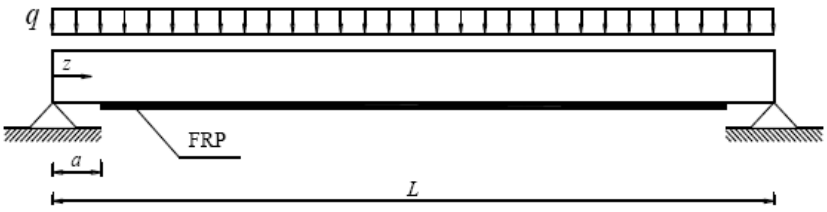


fig. 264: schematizzazione dell'applicazione di materiale *FRP* all'intradosso di una nervatura (da Istruzioni CNR *DT 200/2004*).

Il rinforzo a taglio può realizzarsi con diverse disposizioni delle lamine sulle facce laterali delle nervature mediante strisce distribuite, disposte ad U o in avvolgimento (figg. 265).

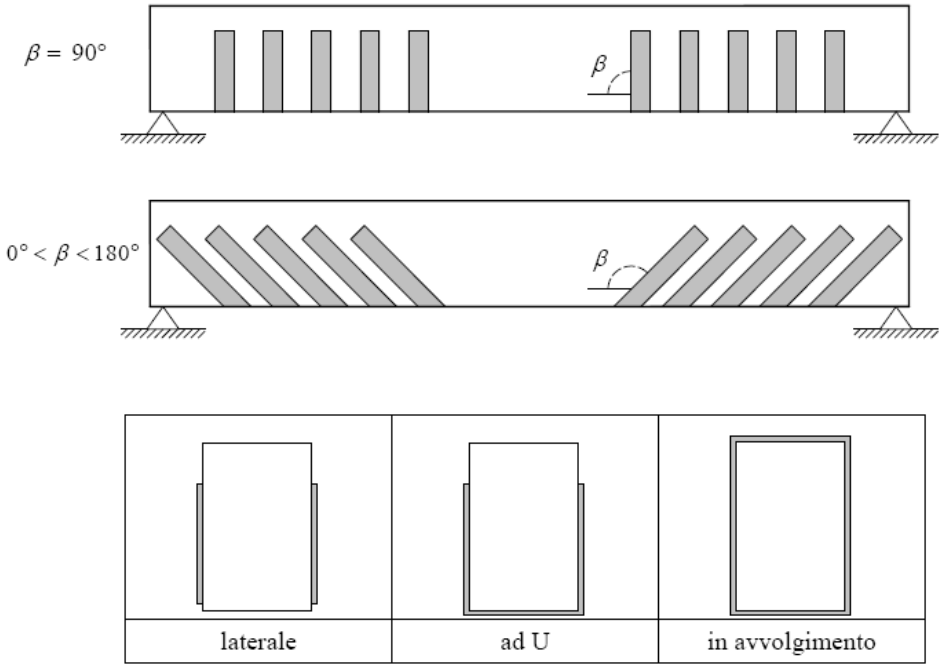


fig. 265: orientamenti del rinforzo a taglio in forma di strisce (in alto) e disposizione del rinforzo a taglio attorno alla sezione (da Istruzioni CNR *DT 200/2004*).

L'impiego di questa tecnica consente di superare tutti i predetti problemi connessi all'uso del *béton plaqué* in quanto il materiale risulta molto leggero, contrariamente alle pesanti lastre metalliche, pur presentando una resistenza unitaria a trazione almeno dieci volte superiore a quelle dell'acciaio, ma con un peso specifico nettamente inferiore e, inoltre, non presenta problemi legati alla corrosione.

I tessuti in *FRP*, infine, grazie alla loro capacità di adattarsi alla forma della struttura, consentono, inoltre, di completare l'intervento di rinforzo a flessione con fasciature nelle testate delle nervature allo scopo di eliminare eventuali mancanze nei confronti dell'azione tagliante. Questi tipi d'intervento diventano di difficilissima, se non impossibile, esecuzione se eseguiti con piastre d'acciaio.

Il problema legato a questa tipologia di intervento è che la trasmissione degli sforzi è assicurata dall'effettiva trasmissione al supporto dello sforzo di trazione incrementale, rispetto allo sforzo originariamente affidato alle armature metalliche; tale trasmissione è assicurata fino a quando la deformazione del rinforzo non supera un ben determinato valore oltre il quale l'interfaccia collassa ed il rinforzo si distacca dal supporto.

Il fenomeno, noto come delaminazione, è provocato dalle concentrazioni tensionali, che si manifestano in corrispondenza delle fessure da flessione presenti soprattutto nella zona centrale della trave (delaminazione intermedia).

Un'analoga concentrazione tensionale si verifica anche in prossimità delle zone terminali del rinforzo, per effetto delle discontinuità introdotte dalle sezioni di attacco di quest'ultimo (delaminazione di estremità), del tutto analoghe alle discontinuità generate dalle fessure per trazione[287].

La delaminazione può manifestarsi, inoltre, anche per imperfezioni causate da irregolarità e rugosità della superficie di calcestruzzo.

[287] Ascione L., Giordano A., *op. cit.*, p. 22.

Per evitare la delaminazione agli estremi è possibile introdurre sistemi di ancoraggio che possono essere costituiti da strisce di fibre disposte trasversalmente, in quanto risulta generalmente difficile realizzare la fasciatura completa a causa della continuità dei solai lateralmente alla trave. L'efficacia di tale azione confinante si riduce progressivamente in quanto la presenza degli spigoli (che vanno opportunamente arrotondati in fase di posa in opera) determina la formazione di zone in cui il calcestruzzo non risente dell'azione esercitata dal composito.

Iniezioni in lesioni

Le lesioni che si manifestano nelle nervature in conglomerato cementizio armato hanno uno spessore estremamente variabile: esse possono essere di tipo superficiale, senza coinvolgere l'intera sezione o essere passanti, cioè interessare l'intera sezione. Volendo intervenire con iniezioni occorre innanzitutto risalire alle cause della fessurazione e possibilmente eliminarle in quanto, se la struttura dovesse subire successivi assestamenti, si creerebbero nuove lesioni diverse da quelle già iniettate.

Per la natura stessa di tali lesioni sono state messe a punto tecniche di intervento tendenti ad assicurare la penetrazione della miscela resinosa. Normalmente si effettua un taglio a V sul calcestruzzo in prossimità della lesione e si realizzano fori trapanati ad intervalli regolari sui lembi della fessura. Successivamente si allontana dalla lesione ogni traccia di polvere di materiale friabile e si inseriscono nei fori ugelli del

diametro di circa 6 mm, che vengono fatti aderire mediante l'impiego di una pasta epossidica, successivamente utilizzata anche per la sigillatura della lesione. A indurimento avvenuto, si inietta attraverso gli ugelli, sotto pressione controllata, un formulato epossidico di resina a bassa viscosità, senza solventi, procedendo dal basso verso l'alto. Gli inconvenienti derivanti dall'applicazione di tale tecnica sono: la possibile otturazione delle fessure con tappi di polvere, nella fase di perforazione del calcestruzzo e di preparazione dei lembi a V; la non certezza che l'iniettore vada ad investire la lesione una volta applicato nel foro.

Per ovviare a ciò possono essere impiegati particolari iniettori piatti in *PVC*, che vengono incollati a cavallo delle lesioni mediante pasta epossidica e che non comportano la preparazione delle lesioni. Questi iniettori interessano una sezione di fessurazione assai vasta con conseguente migliore distribuzione della resina e risparmio di tempo nell'intero ciclo lavorativo. Vengono applicati ogni 15-20 cm mentre l'intera fessura viene sigillata con pasta epossidica. L'iniezione avviene sempre dal basso verso l'alto e gli iniettori evidenziano l'avanzamento della resina, passando da un iniettore al successivo superiore o laterale quando la resina fuoriesce dallo stesso[288].

Solitamente si tende ad evitare l'iniezione di materiali a base cementizia, sia per la ridotta adesione che contraddistingue queste miscele, sia perché essendo soggette al naturale fenomeno del ritiro

[288] Scialò. C., *op. cit.*, p. 54.

igrometrico esse finirebbero per fessurarsi e distaccarsi in tempi relativamente brevi, vanificando così l'intervento.

Per questo motivo i sistemi iniettanti impiegati per questa tipologia di interventi sono basati sull'impiego di prodotti polimerici ed in particolare epossidici. Questi ultimi sono, invece, da evitare in presenza d'acqua a causa delle interferenze che si creano nel processo di polimerizzazione con conseguente scadimento delle prestazioni elasto-meccaniche del materiale indurito. In questa evenienza occorrerà valutare caso per caso quale tipologia di sistema iniettante impiegare[289].

Altre tipologie di intervento

Altre possibili metodologie di intervento per i solai a nervature possono essere quelle realizzate mediante la tecnica della precompressione o mediante chiodature, che si riportano esclusivamente per completezza di trattazione in quanto risultano essere ad oggi obsolete e quindi scarsamente utilizzate.

Precompressione

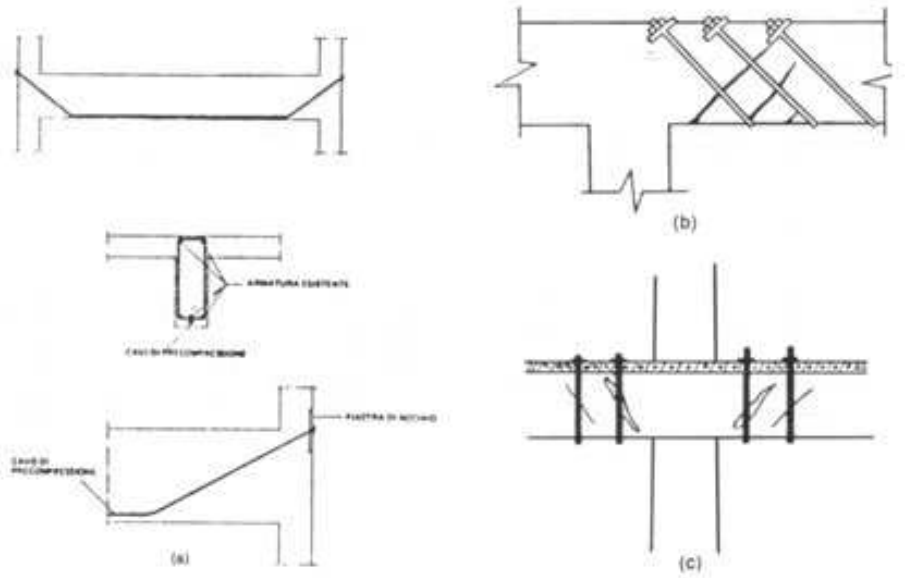
Questa tecnica prevede la disposizione di tiranti, realizzati mediante trefoli, lungo la nervatura interessata che diventa un vero e proprio elemento precompresso. Si effettua la realizzazione di un solco, della profondità di 1-2 cm, all'interno del quale viene posizionato il tirante, che attraversando la testata delle nervature va ad ancorarsi ad una piastra

[289] Coppola L., *Il ripristino e consolidamento delle strutture esistenti in calcestruzzo armato e precompresso*, Kerakoll, marzo 2009, p. 143.

di acciaio. Oltre a dover risolvere le numerose difficoltà esecutive, occorre valutare attentamente la capacità del calcestruzzo di sopportare l'accresciuta compressione: questa tecnica è, quindi, applicabile soltanto in caso di armatura insufficiente e calcestruzzo integro (figg. 266).

Chiodature

Le lesioni localizzate in un tratto limitato possono essere chiuse mediante l'utilizzo di chiodi metallici, posti in leggera pretensione, che attraversano le nervature in direzione ortogonale all'asse delle stesse oppure ortogonalmente alle lesioni (figg. 266). Trattasi di un intervento particolarmente complesso che è stato, pertanto, completamente sostituito dalle fasciature che sono di più semplice realizzazione e di maggiore efficacia.



figg. 266: (a) Precompressione; (b) Cucitura con tiranti a 45°; (c) Cucitura con tiranti a 90° (da Ufficio del Ministro per il coordinamento della ricerca scientifica e tecnologica, *Edifici in cemento armato danneggiati da terremoti: analisi, riparazioni e consolidamento*, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Libreria dello Stato, Roma 1981).

Interventi di consolidamento di solai latero-cementizi

Analogamente ai solai in conglomerato cementizio armato con nervature a vista, anche per le tipologie di solaio in latero-cemento si illustrano quali sono le principali tecniche di interventi di consolidamento:

- interventi all'estradosso mediante l'apposizione di una soletta superiore collaborante;
- interventi all'intradosso mediante integrazione dell'armatura metallica inferiore;
- interventi all'intradosso mediante applicazione di fibre di carbonio;
- intervento per il rinforzo a taglio mediante la realizzazione di una fascia piena in prossimità degli appoggi.

Interventi all'estradosso mediante l'apposizione di una soletta superiore collaborante

Questa tecnica prevede la realizzazione di una soletta collaborante in conglomerato cementizio armato solidarizzata all'estradosso del solaio preesistente.

È particolarmente utilizzata in presenza di evidenti carenze statiche originarie o quando sia richiesto un aumento della capacità portante dell'orizzontamento a seguito di sopravvenute esigenze.

Si eseguono le operazioni di puntellamento dell'orizzontamento e si procede alla rimozione del pavimento e del massetto con conseguente preparazione delle superfici, che devono essere opportunamente bagnate.

Vengono, poi, realizzati sui travetti dei fori di diametro pari a 12 mm, posti ogni 30 cm, con una profondità pari ai 2/3 dello spessore del travetto.

Ultimati i fori, viene posta in opera su predisposti distanziatori una rete metallica elettrosaldata che funge da elemento ripartitore dei carichi. All'interno dei fori, dopo la pulitura con aria compressa, si inseriscono spinotti filettati in acciaio, connettori o spezzoni di ferro di armatura opportunamente uncinati a squadro. I primi e i secondi possono essere connessi alla rete tramite fili di ferro annodati; gli altri vengono agganciati con il rigiro terminale[290].

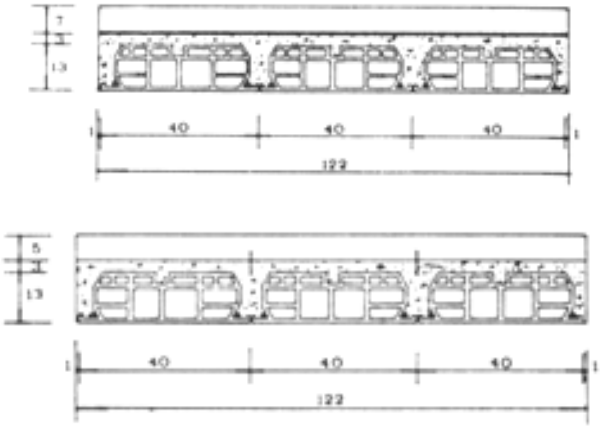
Per l'ancoraggio dei connettori ai travetti in conglomerato cementizio armato si eseguono iniezioni di malta cementizia o a base di resina epossidica moderatamente espansiva.

Su tutta la superficie viene stesa a pennello o a spruzzo una resina epossidica, sulla quale si realizza, infine, il getto della soletta con calcestruzzo di cemento ad alta fluidità, additivi antiritiro ed inerti di granulometria ridotta. Il getto può essere effettuato anche con malta strutturale premiscelata fibrorinforzata a ritiro controllato.

Con questa tecnica si realizza un rinforzo della zona compressa che comporta un conseguente aumento della sezione resistente, una maggiore ripartizione di carichi concentrati, oltre che una migliore distribuzione delle forze sismiche sulle strutture portanti (figg. 267 e 268).

[290] Zevi B. (a cura di), *op. cit.*, I 76.

Gli svantaggi riguardano, invece, l'aumento di carico e il relativo aumento delle sollecitazioni che interessano tutta la struttura.



figg. 267: schematizzazione di un intervento di rinforzo su solai latero-cementizi mediante l'apposizione di una nuova soletta incollata (in alto) o chiodata (in basso) alla preesistente (da Ufficio del Ministro per il coordinamento della ricerca scientifica e tecnologica, *Edifici in cemento armato danneggiati da terremoti: analisi, riparazioni e consolidamento*, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Libreria dello Stato, Roma 1981).

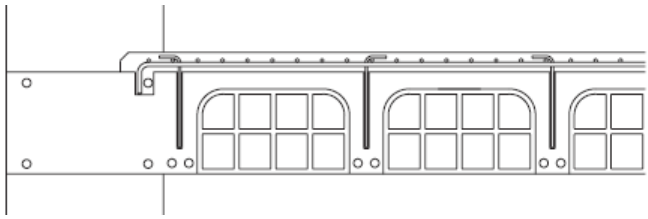


fig. 268: schematizzazione di un intervento all'estradosso mediante l'apposizione di una soletta superiore collaborante ancorata alla preesistente per il tramite di tirafondi (da Zevi B. (a cura di), *Il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma 2008).

Singolare è il riscontro dell'impiego di questa metodologia già nel 1934, per un intervento di rinforzo di un solaio di uno stabilimento industriale, come documentato dal Rosci nelle pagine del manuale edito nel 1939, nel quale l'ingegnere tratta di un problema legato ad una deficienza statica di "[…] *un solettone a portare un sovraccarico di 1300 kg/mq* […] *si divisò, allora, di rinforzare la esistente soletta costruendone al di sopra un'altra dello spessore di cm. 10 in perfetta aderenza ed armata in modo da rispondere alle necessità dei momenti e delle reazioni, queste ultime con particolare riguardo agli sforzi di taglio"*[291].

Il tecnico spiega anche i motivi che hanno fatto propendere alla scelta di tale metodologia di intervento "*Tale divisamento era anche la conseguenza del fatto che non si voleva comunque cessare od intralciare l'esercizio dei canali sottostanti per evitare sospensioni o fermi di stabilimenti industriali"*. È interessante osservare, inoltre, che già all'epoca erano noti i problemi legati a questo tipo di intervento, infatti, lo stesso Rosci scriveva che "[…] *in gioco vi era la perfetta aderenza fra le due solette costruite in epoca diversa.* […] *Si ritenne tuttavia di raggiungere un buon risultato adottando, nella esecuzione del lavoro, tutte le cure e tutti gli accorgimenti del caso. Vantaggioso si presentava il fatto che la superficie superiore della vecchia soletta era assai scabra per essere stata finita, a suo tempo, piuttosto grossolanamente* […]. *Dove la scabrosità non si giudicava sufficiente si sarebbero aggiunte*

[291] Rosci L., *op. cit.*, pp. 303-304.

scalpellature e rigature profonde. Ad ogni modo, per garantire più decisamente l'aderenza fra i due solidi e resistere contro gli scorrimenti longitudinali, si previde la messa in opera di adatti cavalletti in ferro in numero non inferiore ai tre per ogni mq. di superficie, per rendere vincolati i nuovi tondini della nuova soletta con la vecchia soletta traendo anche partito dei vecchi ferri eventualmente messi a nudo coi fori pei ganci ed anche con le scalpellature e rigature"[292].

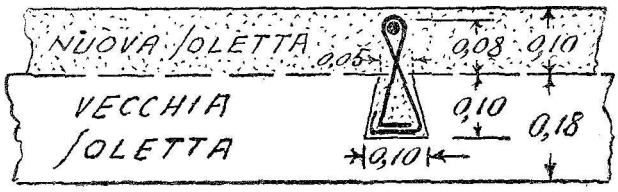


fig. 269: schematizzazione di un intervento di rinforzo eseguito su di un solaio a soletta piena nel 1934 e documentato dal Rosci nel 1939 (da Rosci L., *Manuale pratico di volgarizzazione del calcolo del cemento armato*, G. Lavagnolo Editore, Torino 1939).

Interventi all'intradosso mediante integrazione dell'armatura metallica inferiore

L'intervento, simile alla tecnica del *béton plaqué* illustrata per i solai con nervature a vista, consiste nell'integrazione dell'armatura metallica inferiore dei travetti mediante l'inserimento di nuove barre di armatura o lamine di acciaio solidarizzate all'intradosso degli stessi.

Questa tecnica di intervento è particolarmente utilizzata nei casi in cui il solaio presenti evidenti carenze statiche originarie (insufficiente

[292] *Idem.*

armatura inferiore), quando il degrado ha portato ad una riduzione della sezione dei ferri d'armatura inferiori o, ancora, quando sia richiesto un aumento della capacità portante dell'orizzontamento a seguito di sopravvenute esigenze.

L'operazione ha inizio al solito con il puntellamento dell'orizzontamento, avendo cura di lasciare liberi ed accessibili gli intradossi dei travetti oggetto dell'intervento.

Si procede, poi, alla rimozione delle parti ammalorate mediante le operazione di scarificazione meccanica o idrodemolizione, al fine di mettere a nudo il sottofondo compatto.

Si continua con la messa a nudo dei ferri di armatura, successivamente disossidati mediante sabbiatura.

Nel caso in cui le armature originarie non siano state fortemente danneggiate dalla corrosione, si inseriscono nuove barre di armature che vengono saldate ed opportunamente ancorate alle preesistenti; il tutto viene successivamente protetto con uno strato di malta cementizia polimerica anticorrosiva. In alternativa alle barre, laddove l'ossidazione dei ferri d'armatura risulti particolarmente grave, si può procedere anche al posizionamento di strisce di lamiera di piccolo spessore, previa interposizione di uno strato di adesivo epossidico all'intradosso dei travetti ed eventuale successiva chiodatura.

Le parti asportate sono ricostruite con l'applicazione corticale a cazzuola di malta cementizia o polimerica epossidica *tixotropica* a ritiro compensato, eventualmente fibrorinforzata.

Nel caso di applicazione di un nastro di acciaio, la superficie deve essere preventivamente predisposta con uno strato di *primer* epossipoliamminico applicato a rullo o a pennello, per migliorare le capacità di incollaggio della struttura; si procede, poi, all'incollaggio del nastro in acciaio a mezzo di collante a base epossidica, avendo cura di proteggere il metallo dalla corrosione mediante l'applicazione di specifici prodotti anticorrosivi.

Data la presenza della resina, particolarmente accurata deve essere anche la protezione dalle alte temperature.

Anche operando all'intradosso si ottiene un aumento della sezione resistente in acciaio ma si evita di rimuovere, e successivamente sostituire, la pavimentazione (o l'impermeabilizzazione, nel caso di un solaio di copertura).

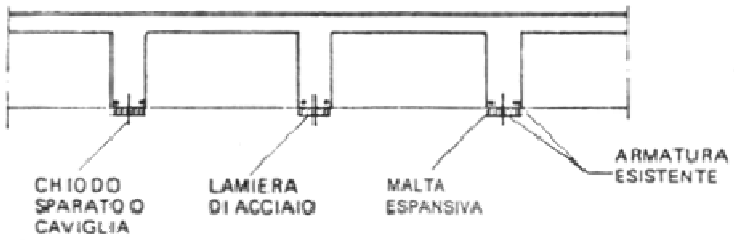


fig. 270: schematizzazione di un intervento di rinforzo su di un solaio in conglomerato cementizio armato e laterizi con lamiera chiodata o incollata (da Ufficio del Ministro per il coordinamento della ricerca scientifica e tecnologica, *Edifici in cemento armato danneggiati da terremoti: analisi, riparazioni e consolidamento*, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Libreria dello Stato, Roma 1981).

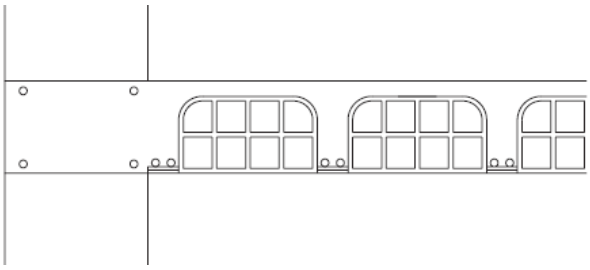


fig. 271: schematizzazione di un intervento all'intradosso mediante integrazione dell'armatura metallica inferiore (da Zevi B. (a cura di), *Il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma 2008).

Interventi all'intradosso mediante l'applicazione di fibre di carbonio

L'intervento per l'integrazione dell'armatura con fasce di materiale polimerico rinforzato con fibre di carbonio consiste nell'incollaggio di tessuti o lamine pultruse alla base dei travetti del solaio.

Questa tipologia, come la precedente, è utilizzata nei casi in cui il solaio presenti evidenti carenze di armature all'intradosso o quando il degrado ha portato ad una riduzione della sezione dei ferri d'armatura inferiori o, ancora, quando sia richiesto un aumento della capacità portante dell'orizzontamento a seguito di sopravvenute esigenze.

Effettuate le già più volte descritte operazioni inerenti al puntellamento del solaio, alla scarificatura ed asportazione delle parti ammalorate, alla preparazione delle superfici, al risanamento dei ferri di armatura e alla riprofilatura dei travetti, si procede all'incollaggio dei tessuti o lamine in fibra di carbonio a mezzo di collante a base epossidica, previa applicazione con rullo o pennello di un *primer* tipo

epossipoliamminico al fine di migliorare l'aderenza del materiale alla superficie in conglomerato cementizio armato del travetto[293].

Grande importanza riveste la protezione dei tessuti o lamine in materiale polimerico dal rischio incendio.

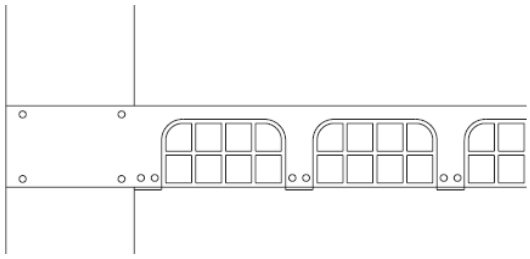


fig. 272: schematizzazione di un intervento all'intradosso mediante applicazione di materiali rinforzati con fibre di carbonio (da Zevi B. (a cura di), *Il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma 2008).

Intervento per il rinforzo a taglio mediante la realizzazione di una fascia piena in prossimità degli appoggi

L'applicazione di questo intervento è particolarmente indicata soprattutto per quelle tipologie di solaio nelle quali la resistenza alle sollecitazioni di taglio è affidata agli elementi in laterizio.

Esso consiste nella realizzazione di una fascia piena in calcestruzzo cementizio armato in corrispondenza degli appoggi, ottenuta rimuovendo una o più file di pignatte, che, oltre ai benefici perseguibili con le tecniche precedentemente illustrate, porta anche ad un aumento della resistenza a taglio dell'intero impalcato.

[293] Zevi B. (a cura di), *op. cit.*, I 77.

Dopo le operazioni di puntellamento si procede alla demolizione prima della soletta mediante idrodemolizione, avendo cura di lasciare integri gli eventuali ferri di questa, cui segue poi quella delle pignatte di estremità.

Il passo successivo prevede la realizzazione di fori nei cordoli o nelle travi di bordo, isolando le parti di armature di questi sulle quali viene effettuato l'attacco dei nuovi ferri; analogamente, si procede alla perforazione dei travetti finitimi nei punti di connessione con le nuove armature.

Si prosegue, poi, con la posa in opera dell'armatura ad incroocio della fascia piena ottenuta collocando alcune barre, parallelamente ai travetti e innestandole nei fori predisposti sulle travi di bordo, altre in direzione ortogonale ai travetti stessi, che si innestano nei fori praticati in questi ultimi, il tutto mediante resine epossidiche o malte espansive[294].

L'operazione si conclude con il getto del conglomerato cementizio cui sono aggiunti additivi antiritiro.

[294] *Idem.*

Esempi applicativi di ripristino e consolidamento di solai in conglomerato cementizio armato eseguiti mediante l'applicazione di polimeri rinforzati con fibre di carbonio (*CFRP*)

L'impiego dei polimeri rinforzati con fibre (*FRP*) negli interventi di consolidamento di solai in conglomerato cementizio armato è da considerarsi una delle tecniche di intervento che consente di ristabilire la portanza del solaio, inficiata da una riduzione della sezione dell'armatura, oppure di incrementarla per nuove necessità di impiego nel contempo sopravvenute.

Se ne riportano di seguito alcuni esempi applicativi su solai latero-cementizi e a nervature incrociate a vista**,** eseguiti mediante l'applicazione di polimeri rinforzati con fibre di carbonio (*CFRP*) all'intradosso delle nervature.

Ripristino e consolidamento di un solaio latero-cementizio

L'intervento ha inizio con l'esatta individuazione della posizione dei travetti in conglomerato cementizio armato, cui segue la realizzazione di un taglio longitudinale per il tracciamento della linea di separazione tra i bordi dei travetti e quelli dei laterizi (fig. 273).

Con questa operazione è possibile asportare le parti in conglomerato cementizio ammalorato, per il tramite dell'operazione definita di scarificazione, pervenendo così alla zona di calcestruzzo non soggetta a fenomeni di degrado e alla messa a nudo dei ferri di armatura.

Se l'operazione viene svolta con una certa attenzione, è possibile conservare i blocchi in laterizio, col sottostante strato di intonaco, e procedere ad un'agevole successiva ricostruzione delle nervature, previo trattamento antiossidante delle armature metalliche cui seguirà l'applicazione, a pennello, di opportuni prodotti neutralizzanti, al fine di ripristinarne lo strato passivante.

Segue, quindi, la stesura di un *primer* aggrappante sulle superfici in calcestruzzo sulle quali si procede all'applicazione di un'idonea malta cementizia al fine di ricostruire il copriferro.

Questa operazione è facilitata sia dal fatto che i travetti stessi assumono funzione di casseratura, che dalla presenza della rimanente parte dell'intonaco all'intradosso dei laterizi che assume funzione di guida per la successiva lisciatura (fig. 273).

A questo punto se l'armatura esistente è sufficiente a sopportare l'impegno statico previsto, allora si procede al semplice ripristino dell'intonaco mediante stuccatura e successiva pitturazione. Se invece la sezione residua dovesse presentare un'insufficienza di tipo statico, allora si rende necessario procedere ad un'integrazione delle barre d'acciaio già presenti.

La tecnologia utilizzata è quella dell'applicazione delle fibre di carbonio (*CFRP*) all'intradosso dei travetti in conglomerato cementizio armato, precedentemente ricostruiti (fig. 274).

Al fine di creare un'efficace connessione tra le estremità di ciascuno strato di rinforzo e il supporto in conglomerato cementizio, evitando pericolosi distacchi, si procede all'asportazione dei primi blocchi di ogni

filare, nella zona d'appoggio, in corrispondenza della fascia piena, in modo da consentire la fasciatura delle testate e delle superfici laterali dei travetti con strisce di tessuto in *CFRP* (fig. 274).

Con questa applicazione, oltre ad un rinforzo a flessione dei travetti, si perviene anche ad un rinforzo alle sollecitazioni di taglio, proprio grazie alla fasciatura delle superfici laterali che rappresenta anche il dispositivo di connessione (aggancio) delle estremità degli strati longitudinali di rinforzo.

Altro vantaggio di questo intervento è che, agendo dall'intradosso, si lascia intatto tutto l'estradosso con le relative finiture e disposizioni impiantistiche[295].

[295] Becco V., *op. cit.*, pp. 3 e 4.

figg. 273: individuazione dei travetti in conglomerato cementizio armato mediante l'asportazione dell'intonaco (in alto) e ricostruzione della sezione degli stessi (in basso) (da Becco V., *Recupero di un solaio in latero-cemento* in "La gazzetta dei solai"- anno 5, n. 44, a cura della sezione solai dell'Audil Assolaterizi - Mensile di informazione tecnica sui solai in laterizio).

figg. 274: rinforzo dei travetti mediante l'applicazione di lamine in *CFRP* all'intradosso (in alto). È importante notare che nella zona vicina all'appoggio (fascia piena), si è proceduto all'asportazione dei primi blocchi di ogni filare in modo da consentire la fasciatura delle testate e delle superfici laterali dei travetti con strisce di tessuto in *CFRP* (in basso) (da Becco V., *Recupero di un solaio in latero-cemento* in "La gazzetta dei solai" - anno 5, n. 44, a cura della sezione solai dell'Audil Assolaterizi - Mensile di informazione tecnica sui solai in laterizio).

Ripristino e rinforzo strutturale dei solai di uno dei padiglioni del Seminario Pontificio "Pio XI"

Il caso proposto riguarda gli interventi di ripristino e rinforzo strutturale dei solai di uno dei padiglioni del Seminario Pontificio "Pio XI"[296] di Salerno, che versava in condizioni di forte degrado, con distacco di parti consistenti di calcestruzzo e segni tangibili di insufficienza statica, nonostante ospitasse alcuni uffici comunali.

La prima tipologia di intervento, di tipo localizzato, ha interessato ridotte superfici che presentavano solo un distacco di parti del copriferro per le quali si è proceduto alla rimozione del calcestruzzo deteriorato mediante scarificazione, cui hanno fatto seguito le operazioni inerenti alla pulizia dei ferri di armatura, al trattamento delle armature mediante pittura anticorrosiva e al rifacimento dello strato di intonaco.

La seconda tipologia di intervento, invece, ha interessato interi campi di solaio ed ha avuto come obiettivo quello di conferire un incremento della capacità flessionale dell'intera struttura mediante il placcaggio dell'intradosso dei travetti con lamine pultruse di materiale rinforzato con fibre di carbonio (*CFRP*).

Si tratta di un materiale composito polimerico a base di fibre di carbonio, applicato alla struttura mediante adesivo epossidico.

Secondo quanto riferito dall'ingegnere Lucio Caiazzo, funzionario tecnico del Comune di Salerno, in qualità di progettista e direttore dei

[296] L'edificio, interamente realizzato con ossatura in conglomerato cementizio armato, si presenta particolarmente articolato in pianta, meno in elevazione, ed è stato edificato nella prima metà del Novecento a Salerno con tipologie costruttive tipiche del periodo.

lavori, l'impiego dei polimeri rinforzati con fibre di carbonio è stato preferito alle tradizionali tecniche di intervento per la rapidità di applicazione, la scarsa invasività e l'elevata resistenza specifica del materiale. Non vi sono, inoltre, controindicazioni estetiche poiché i tessuti in composito "scompaiono" sotto l'intonaco e l'incremento di massa è da considerarsi nullo, data la leggerezza dei tessuti. Di particolare rilievo è stato l'aspetto concernente la salvaguardia delle finiture in genere, fattori che hanno compensato largamente l'incremento del costo dell'intervento rispetto all'ipotetico costo legato ad un intervento di tipo tradizionale. I costi di ripristino dell'esistente si sono ridotti, infatti, alle sole opere necessarie alle riprese di intonaco e alla tinteggiatura.

Di seguito sono elencate e documentate le diverse fasi dell'intervento[297]:

- puntellamento e disposizione di tutte le misure necessarie affinché si possa intervenire in sicurezza (fig. 275);
- rimozione dell'intonaco ammalorato e scarificazione di tutte le parti incoerenti o degradate del supporto;
- messa a nudo delle armature dei travetti (fig. 275);
- riempimento con materiale di alleggerimento dei vuoti lasciati dai laterizi mancanti;

[297] Le informazioni e il materiale fotografico sono stati forniti dall'ing. Lucio Caiazzo, funzionario tecnico del Comune di Salerno, in qualità di progettista e direttore dei lavori per lo "Studio e la verifica di staticità della copertura dell'immobile padiglione ex Seminario Regionale, di proprietà del Comune di Salerno - Lavori padiglione uffici e direzione Settore II.MM.".

- riparazione dei travetti in conglomerato cementizio armato, previo trattamento delle armature metalliche con miscele a base di resine e realizzazione di un piano liscio per la successiva posa in opera delle lamine pultruse, atte a rinforzare flessionalmente i travetti, previo stendimento di *primer* aggrappante (figg. 276);
- posa in opera della lamine in fibra di carbonio previa applicazione di malta epossidica (fig. 277);
- applicazione di una rete in fibra di vetro per l'irrigidimento del solaio;
- rifacimento dello strato di intonaco.

figg. 275: operazioni di puntellamento (in alto) e messa a nudo delle armature dei travetti (in basso).

figg. 276: operazioni di trattamento delle armature metalliche con miscele a base di resine (in alto) e riparazione dei travetti (in basso).

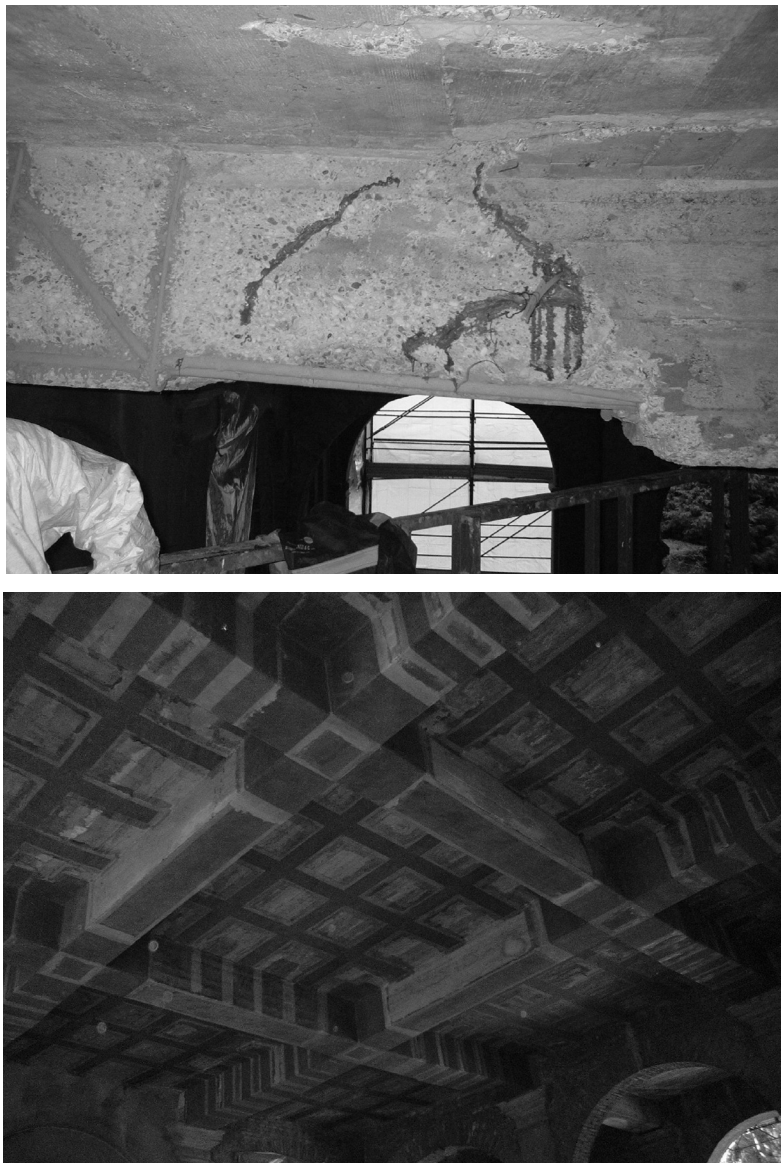
figg. 277: operazioni immediatamente successive alla posa in opera delle lamine in fibra di carbonio (in alto) e vista del solaio come appare oggi dopo l'intervento (in basso).

Rinforzo strutturale del solaio a nervature incrociate a vista di Palazzo "Campori" (Modena)

Oltre all'intervento sui solai latero-cementizi effettuato mediante l'applicazione di materiali compositi rinforzati con fibre di carbonio, si illustrano visivamente alcune fasi dell'applicazione della stessa tecnica ad un cassettonato in conglomerato cementizio armato (figg. 278 e 279).

Si tratta delle medesime operazioni, precedentemente elencate, che sono ora applicate al caso di rinforzo strutturale con fibre di carbonio (*CFRP*) del solaio a nervature incrociate a vista di Palazzo "Campori", ubicato a Modena in via Ganaceto, mostrate dal professore Alberto Balsamo, docente presso la facoltà di *"Ingegneria e tecnologie innovative con utilizzo di materiali compositi per interventi di riparazione e rafforzamento strutturale"* dell'Università di Napoli "Federico II", in una lezione tenuta nell'ambito del 6° corso di perfezionamento in *"Ingegneria per i beni culturali"* (a.a. 2010/2011) presso il Centro Interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali (C.I.Be.C.) dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II".

figg. 278: alcune immagini delle fasi dell'intervento di rinforzo strutturale con *CFRP* - una nervatura dopo l'operazione di scarificazione delle parti incoerenti o degradate (in alto) e trattamento dei ferri di armatura con miscele a base di resine (in basso).



figg. 279: alcune immagini delle fasi dell'intervento di rinforzo strutturale con *CFRP* - fase immediatamente precedente alla riparazione dei travetti in conglomerato cementizio armato per la successiva posa in opera dei tessuti in fibra di carbonio (in alto) e tessuti posti in opera (in basso).

ALLEGATO III

PROCEDURE DI RIPRISTINO E CONSOLIDAMENTO DI SOLAI IN CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO: MODALITÀ TECNICHE ESECUTIVE[298]

CASO I

Riparazione corticale delle nervature/travetti in conglomerato cementizio armato con trattamento dei ferri di armatura

[1] Battitura e saggio di tutte le superfici in conglomerato cementizio armato mediante attrezzi manuali;

[2] Demolizione di ogni parte in conglomerato cementizio che si presenta in fase di distacco o che non sia comunque dotata di sufficiente resistenza o coerenza, mediante idrodemolizione eseguita con lance e pompe a 2000 bar o attrezzi manuali, elettrici o pneumatici, per tutto lo spessore del copriferro;

[298] Le procedure descritte nel prosieguo sono state ottenute sulla falsariga di quelle proposte nel capitolato tecnico redatto da Luigi Franco Lamanna e AnnaLaura Bellincini in *Il risanamento delle strutture in cemento armato e muratura*, Carocci Editore, Roma 2008, pp. [11 - 25].

[3] Test chimico per la valutazione della profondità di carbonatazione mediante l'applicazione di un reagente chimico (fenolftaleina) sulle parti interessate. Tale metodo consente di distinguere le parti in conglomerato cementizio carbonatate da quelle non carbonatate: finché il materiale non manifesta una variazione di colore occorre continuare a demolire fino alla parte di conglomerato cementizio non carbonatata, che assume una colorazione variabile tra il violetto ed il rosso;

[4] Scarifica meccanica per almeno 1 cm dell'intera superficie corticale del conglomerato cementizio, mediante apparecchiature, azionate elettricamente e/o pneumaticamente, dotate di scalpelli, fino a mettere a nudo il sottofondo sano e compatto che viene reso sufficientemente scabro, al fine di consentire l'aggrappaggio del successivo strato di regolarizzazione realizzato con malta del tipo bi-componente (A+B) adesiva, premiscelata, costituita da inerti di granulometria fine, leganti idraulici modificati e opportuni additivi (A), amalgamati con polimeri acrilici in emulsione (B);

[5] Rimozione completa dello strato di conglomerato cementizio che avvolge i ferri di armatura in modo da prepararli al successivo trattamento cui dovranno essere sottoposti;

[6] Rimozione delle tracce di eventuali precedenti interventi di riparazione o di riporto non più perfettamente aderenti. Tale operazione dovrà essere eseguita con attrezzi manuali o

comunque tali da non danneggiare, con eccessive vibrazioni, lo strato di conglomerato cementizio non ammalorato;

[7] Accurata pulizia, a mezzo di spazzolatura o sabbiatura, di tutte le superfici interessate dai successivi trattamenti (inclusi i ferri di armatura) con una completa rimozione di sostanze o depositi estranei (es. ruggine, polveri, ecc.); tale trattamento consente anche di ottenere un'adeguata rugosità delle superfici, utile per una migliore aderenza dei materiali di riporto;

[8] Trattamento dei ferri di armatura mediante l'applicazione a pennello in due mani, a distanza di circa 3 ore l'una dall'altra, di una malta cementizia bi-componente a base di leganti idraulici, polveri silicee, inibitori di corrosione e dispersioni di polimeri acrilici;

[9] Ove si rendesse necessario si può procedere all'applicazione di un *primer* in resina sintetica epossidica su tutta la superficie in conglomerato cementizio precedentemente pulita, al fine di aumentare l'aderenza superficiale tra il vecchio conglomerato cementizio ed il successivo materiale di riporto. Il *primer* deve essere posto in opera su di un supporto liscio, con pennello o sistema *airless*, di modo che possa penetrare, anche per capillarità, nei pori del conglomerato cementizio e aderirvi stabilmente dopo l'indurimento, al fine di costituire uno strato superficiale sufficientemente compatto per accogliere il successivo materiale di riporto;

[10] Le ricostruzioni del copriferro e delle eventuali parti mancanti possono avvenire mediante l'uso di malta cementizia premiscelata a ritiro controllato, mescolata con acqua. L'impasto, preparato in betoniera o in impastatrice per almeno 5 minuti, deve risultare omogeneo e privo di grumi, con un quantitativo d'acqua pari a quello prescritto dal fabbricante nella quantità necessaria per un impiego immediato ed essere preparato, per quanto possibile, in prossimità del getto o della ripresa. In presenza di temperature elevate, di forte umidità ambientale o di gelate, fattori che possono influenzare i tempi di lavorabilità della malta, devono essere opportunamente variati i quantitativi occorrenti di acqua oppure si sceglie di utilizzare il prodotto ad una temperatura predefinita. L'applicazione della malta deve essere eseguita, per spessori fino a 2 cm a dorso di cazzuola o spatola, avendo cura di bagnare a rifiuto il sottofondo prima dell'applicazione; in alternativa, per getti di grande volume, il ripristino può essere realizzato con una malta cementizia tradizionale additivata con un inibitore di corrosione. L'inibitore, infatti, formando una sottile pellicola passivante submicroscopica sulla superficie delle armature, previene attivamente ed in modo permanente l'effetto corrosivo dell'ossigeno sull'acciaio;

[11] Regolarizzazione di tutte le superfici in conglomerato cementizio, riparate e non, mediante applicazione di malta di tipo bi-componente (A + B) adesiva, premiscelata, costituita da inerti selezionati di fine granulometria, leganti idraulici modificati e

opportuni additivi (A), amalgamati con polimeri acrilici in emulsione (B). Questo impasto, senza l'aggiunta di acqua, dovrà formare una miscela *tixotropica* con basso modulo elastico, da applicare con uno spessore maggiore di 5 mm. L'applicazione deve essere eseguita a spatola, ad una temperatura compresa tra i + 5 °C e i + 35 °C, su sottofondo bagnato a rifiuto e successivamente rifinita con frattazzino di spugna;

[12] Protezione delle superfici riparate e dell'intera struttura mediante verniciatura protettiva.

CASO II

Riparazione delle nervature/travetti in conglomerato cementizio armato per spessori superiori alla profondità del copriferro con ripristino della sezione originaria o con aumento della sezione del conglomerato cementizio resistente

[1] Battitura e saggio di tutte le superfici in conglomerato cementizio armato mediante attrezzi manuali;

[2] Demolizione di ogni parte in conglomerato cementizio che si presenta in fase di distacco o che non sia comunque dotata di sufficiente resistenza o coerenza, mediante idrodemolizione eseguita con lance e pompe a 2000 bar o attrezzi manuali, elettrici o pneumatici, per tutto lo spessore del copriferro;

[3] Test chimico per la valutazione della profondità di carbonatazione mediante l'applicazione di un reagente chimico (fenolftaleina) sulle parti interessate. Tale metodo consente di distinguere le parti in conglomerato cementizio carbonatate da quelle non carbonatate: finché il materiale non manifesta una variazione di colore occorre continuare a demolire fino alla parte di conglomerato cementizio non carbonatata, che assume una colorazione variabile tra il violetto ed il rosso;

[4] Scarifica meccanica per almeno 1 cm dell'intera superficie corticale del conglomerato cementizio, mediante apparecchiature, azionate elettricamente e/o pneumaticamente, dotate di scalpelli, fino a mettere a nudo il sottofondo sano e compatto che viene reso sufficientemente scabro, al fine di consentire l'aggrappaggio

del successivo strato di regolarizzazione realizzato con malta del tipo bi-componente (A+B) adesiva, premiscelata, costituita da inerti di granulometria fine, leganti idraulici modificati e opportuni additivi (A), amalgamati con polimeri acrilici in emulsione (B);

[5] Rimozione completa dello strato di conglomerato cementizio che avvolge i ferri di armatura in modo da prepararli al successivo trattamento cui dovranno essere sottoposti;

[6] Rimozione delle tracce di eventuali precedenti interventi di riparazione o di riporto non più perfettamente aderenti. Tale operazione dovrà essere eseguita con attrezzi manuali o comunque tali da non danneggiare, con eccessive vibrazioni, lo strato di conglomerato cementizio non ammalorato;

[7] Accurata pulizia, a mezzo di spazzolatura o sabbiatura, di tutte le superfici interessate dai successivi trattamenti (inclusi i ferri di armatura) con una completa rimozione di sostanze o depositi estranei (es. ruggine, polveri, ecc.); tale trattamento consente anche di ottenere un'adeguata rugosità delle superfici, utile per una migliore aderenza dei materiali di riporto;

[8] Trattamento dei ferri di armatura mediante l'applicazione a pennello in due mani, a distanza di circa 3 ore l'una dall'altra, di una malta cementizia bi-componente a base di leganti idraulici, polveri silicee, inibitori di corrosione e dispersioni di polimeri acrilici;

[9] Ove si rendesse necessario si può procedere all'applicazione di un *primer* in resina sintetica epossidica su tutta la superficie in conglomerato cementizio precedentemente pulita, al fine di aumentare l'aderenza superficiale tra il vecchio conglomerato cementizio ed il successivo materiale di riporto. Il *primer* deve essere posto in opera su di un supporto liscio, con pennello o sistema *airless*, di modo che possa penetrare, anche per capillarità, nei pori del conglomerato cementizio e aderirvi stabilmente dopo l'indurimento, al fine di costituire uno strato superficiale sufficientemente compatto per accogliere il successivo materiale di riporto;

[10] Le ricostruzioni del copriferro e delle eventuali parti mancanti possono avvenire mediante ripristino della sezione originaria o con aumento della sezione resistente in conglomerato cementizio.
La sezione originaria viene ripristinata mediante l'uso di malta cementizia premiscelata a ritiro controllato, mescolata con acqua. L'impasto, preparato in betoniera o in impastatrice per almeno 5 minuti, deve risultare omogeneo e privo di grumi con un quantitativo d'acqua pari a quello prescritto dal fabbricante nella quantità necessaria per un impiego immediato ed essere preparato, per quanto possibile, in prossimità del getto o della ripresa. In presenza di temperature elevate, di forte umidità ambientale o di gelate, fattori che possono influenzare i tempi di lavorabilità della malta, devono essere opportunamente variati i quantitativi occorrenti di acqua oppure si sceglie di utilizzare il

prodotto ad una temperatura predefinita. L'applicazione della malta deve essere eseguita, per spessori fino a 2 cm a dorso di cazzuola o spatola, avendo cura di bagnare a rifiuto il sottofondo prima dell'applicazione; in alternativa, per getti di grande volume, il ripristino può essere realizzato con una malta cementizia tradizionale additivata con un inibitore di corrosione. L'inibitore, infatti, formando una sottile pellicola passivante submicroscopica sulla superficie delle armature, previene attivamente ed in modo permanente l'effetto corrosivo dell'ossigeno sull'acciaio.

L'aumento della sezione resistente in conglomerato cementizio si realizza mediante colatura, entro casseri metallici[299], di malta

[299] Qualora si tratti di spessori elevati, i casseri da utilizzare sono lasciati "a perdere" e presentano uno spessore di 3 mm. La superficie interna a contatto con il conglomerato cementizio, deve essere preventivamente sabbiata a secco e trattata con una resina sintetica del tipo epossidico-zincante, per contrastare l'insorgere di fenomeni corrosivi. È altresì necessario che i casseri siano fissati con un sistema che escluda l'impiego di distanziatori metallici compresi ed affioranti dal getto.
I casseri in lamiera metallica, che restano inglobati nel getto, devono essere protetti esternamente secondo le seguenti procedure:

- accurata pulizia mediante spazzolatura o meglio sabbiatura di tutte le superfici interessate dai successivi trattamenti, con completa rimozione di sostanze o depositi estranei quali ruggine, polveri, grassi, ecc.;
- applicazione a pennello, rullo o sistema *airless*, di una mano di *primer* anticorrosivo-zincante del tipo epossidico;
- applicazione a finire, dopo 48 ore dal trattamento con il *primer*, di due mani (ad intervallo di almeno 12 ore) mediante pennello, rullo o sistema *airless*, di un rivestimento sintetico del tipo epossipoliuretanico o del tipo a base di polietilene clorosulfonato, monocomponente e/o bicomponente, a basso contenuto di solvente, avendo cura di miscelarlo con un diluente specifico, utilizzando un agitatore montato su di un trapano a bassa velocità in modo da ottenere un impasto uniforme.

cementizia premiscelata con l'aggiunta di ghiaietto (quando gli spessori lo consentono), strutturalmente collaborante con il materiale esistente, allo scopo di ripristinare le originarie caratteristiche morfologiche e strutturali dell'elemento.

L'armatura mancante, o che si presenta in avanzato stato di corrosione, deve essere integrata, o nel secondo caso sostituita, tramite giunzione, mediante saldatura del tipo elettrico-manuale con elettrodo, utilizzando barre in acciaio del tipo liscio o ad aderenza migliorata;

[11] Ove si rendesse necessario si può procedere alla posa in opera di una rete metallica elettrosaldata da apporre sulle superfici da risanare (solitamente per spessori minori o uguali a 2 cm), del tipo a maglia 50x50 mm con diametro del filo pari a 3 mm (per spessori fino a 4 cm) e del tipo a maglia 50x50 mm con diametro del filo pari a 4 mm (per spessori fino a 6 cm).

Nel caso in cui si presentassero aree con spessori di rivestimento variabili, occorre applicare sull'intera superficie la rete metallica elettrosaldata più adatta, a seconda dello spessore massimo da ripristinare, avendo cura di posizionarla a 2 cm dalla superficie esterna del rivestimento finito;

[12] Regolarizzazione di tutte le superfici in calcestruzzo, riparate e non, mediante applicazione di malta di tipo bi-componente (A + B) adesiva, premiscelata, costituita da inerti selezionati di fine granulometria, leganti idraulici modificati e opportuni additivi (A), amalgamati con polimeri acrilici in emulsione (B). Questo

impasto, senza l'aggiunta di acqua, dovrà formare una miscela *tixotropica* con basso modulo elastico, da applicare con uno spessore maggiore di 5 mm. L'applicazione deve essere eseguita a spatola, ad una temperatura compresa tra i + 5 °C e i + 35 °C, su sottofondo bagnato a rifiuto e successivamente rifinita con frattazzino di spugna;

[13] Protezione delle superfici riparate e dell'intera struttura mediante verniciatura protettiva.

CASO III

Recupero di nervature/travetti in conglomerato cementizio armato carbonatati

[1] Demolizione delle parti decoese o poco resistenti tramite idrodemolizione o attrezzi manuali fino al raggiungimento dell'intero spessore del copriferro;

[2] Valutazione della profondità di carbonatazione e demolizione fino al raggiungimento della zona non carbonatata;

[3] Scarificazione meccanica della superficie sana, per almeno 1 cm dell'intera superficie corticale del conglomerato cementizio, al fine di realizzare un sottofondo aggrappante;

[4] Pulitura delle armature dalla ruggine ed eventuale reintegro delle stesse;

[5] Trattamento dei ferri con due mani di malta cementizia bi-componente a base di leganti idraulici, polveri silicee, inibitori di corrosione e dispersione di polimeri acrilici;

[6] Applicazione di un *primer* di resina epossidica sulla superficie del calcestruzzo;

[7] Riporto di malta cementizia a ritiro controllato, eventualmente contenente microfibre in polipropilene, da applicarsi con cazzuola o spatola bagnando a rifiuto il sottofondo;

[8] Regolazione delle superfici con malta ad inerti di fine granulometria ed additivi amalgamanti con polimeri acrilici in emulsione;

[9] Verniciatura protettiva.

CASO IV

Rinforzo strutturale di nervature/travetti in conglomerato cementizio armato mediante placcaggio esterno (tecnica del *béton-plaqué* per incollaggio diretto)

I rinforzi strutturali con applicazione e/o integrazione delle armature metalliche degradate e/o mancanti o che comunque non risultano essere più idonee a sopportare le sollecitazioni a cui sono sottoposte, si eseguono mediante la tecnica del *béton-plaqué* che prevede il placcaggio esterno dell'elemento in conglomerato cementizio armato con lamiere e/o piatti metallici o anche lastre in fibra di carbonio (*CFRP*), al fine di incrementare la sezione del ferro resistente.

L'intervento mediante tale tecnica, per incollaggio diretto di lamiere e/o piatti in acciaio, prevede le operazioni di seguito descritte:

[1] Pulizia mediante sabbiatura delle superfici in conglomerato cementizio sulle quali si posizionano le piastre metalliche;

[2] Realizzazione del fissaggio meccanico tra le piastre metalliche e il sottofondo in calcestruzzo. Gli elementi metallici, di spessore variabile dai 5 ai 10 mm, vengono preventivamente sabbiati anch'essi dal lato a contatto con il sottofondo in conglomerato cementizio, al quale vengono solidarizzati per il tramite di tasselli ad espansione;

[3] Stesura di uno spessore millimetrico (massimo 3 mm) di resina sintetica del tipo epossidico, a consistenza di stucco, esente da solventi, sia sul lato delle piastre in acciaio sabbiate che sul

conglomerato cementizio di sottofondo, avendo cura di far rifluire la resina in eccesso lungo i bordi degli elementi metallici;

[4] Protezione esterna delle piastre in acciaio dalla corrosione secondo le seguenti procedure:

- accurata pulizia mediante spazzolatura o meglio sabbiatura di tutte le superfici interessate dai successivi trattamenti, con completa rimozione di sostanze o depositi estranei quali ruggine, polveri, grassi, ecc.;
- applicazione a pennello, rullo o sistema *airless*, di una mano di *primer* anticorrosivo-zincante del tipo epossidico;
- applicazione a finire, dopo 48 ore dal trattamento con il *primer*, di due mani (ad intervallo di almeno 12 ore), mediante pennello, rullo o sistema *airless*, di un rivestimento sintetico del tipo epossipoliuretanico o del tipo a base di polietilene clorosulfonato, monocomponente e/o bi-componente, a basso contenuto di solvente, avendo cura di miscelarlo con un diluente specifico, utilizzando un agitatore montato su di un trapano a bassa velocità in modo da ottenere un impasto uniforme;

[5] In alternativa alle piastre in acciaio possono essere utilizzate anche lastre in fibra di carbonio (*CFRP*) dello spessore di 1,2 - 1,4 mm per una larghezza variabile dai 50 e ai 120 mm, che devono essere anch'esse adeguatamente protette seguendo le seguenti indicazioni:

- pulizia mediante sabbiatura delle superfici in conglomerato cementizio sulle quali si posizionano le lastre in fibra di carbonio (*CFRP*);
- stesura di uno spessore millimetrico (massimo 3mm) di resina sintetica del tipo epossidico, a consistenza di stucco, esente da solventi sul lato delle lastre in fibra di carbonio (*CFRP*) a contatto con il calcestruzzo e successiva pressatura mediante un rullo di gomma al fine di far rifluire la resina in eccesso lungo i bordi delle lastre stesse;
- fissate al sottofondo le lastre in fibra di carbonio, si procede, poi, alla protezione anche del lato esterno con l'applicazione di due mani (ad intervallo di almeno 12 ore), mediante pennello, rullo o sistema *airless*, di un rivestimento sintetico del tipo epossipoliuretanico o del tipo a base di polietilene clorosulfonato, monocomponente e/o bi-componente, a basso contenuto di solvente, avendo cura di miscelarlo con un diluente specifico, utilizzando un agitatore montato su di un trapano a bassa velocità in modo da ottenere un impasto uniforme.

CASO V

Rinforzo strutturale di nervature/travetti in conglomerato cementizio armato mediante placcaggio esterno (tecnica del *béton-plaqué* per iniezione o colaggio)

I rinforzi strutturali o la ricostruzione di parti in conglomerato cementizio mancanti possono essere realizzati con il placcaggio esterno dell'elemento in conglomerato cementizio armato mediante casseri in lamiera e/o piatti metallici mediante la tecnica del *béton-plaqué* per iniezione o colaggio. Questo procedimento comprende le fasi di seguito elencate:

[1] Pulizia mediante sabbiatura delle superfici in conglomerato cementizio interessate dall'intervento;

[2] Fornitura di casseri in acciaio, di spessore variabile dai 3 ai 5 mm, preventivamente sabbiati dal lato a contatto con il sottofondo in conglomerato cementizio, avendo cura di lasciare tra l'elemento esistente ed il rinforzo un'intercapedine di uno spessore sufficiente ad assicurare un corretto colaggio della malta di resina sintetica fluida o malta cementizia premiscelata pronta all'uso;

[3] Realizzazione di fori sfalsati nella casseratura e nel sottofondo di calcestruzzo, al fine di dare luogo tra questi ad un fissaggio meccanico, per il tramite di tasselli ad espansione/chimici e/o con puntelli forzanti;

[4] Colaggio, entro le casserature metalliche, della malta di resina sintetica fluida o della malta cementizia premiscelata pronta all'uso. L'impasto, preparato in betoniera o in impastatrice per

almeno 5 minuti, deve risultare omogeneo e privo di grumi, con un quantitativo d'acqua pari a quello prescritto dal fabbricante nella quantità necessaria per un impiego immediato, ed essere preparato, per quanto possibile, in prossimità del getto. In presenza di temperature elevate, di forte umidità ambientale o di gelate, fattori che possono influenzare i tempi di lavorabilità della malta, devono essere opportunamente variati i quantitativi occorrenti di acqua oppure si sceglie di utilizzare il prodotto ad una temperatura predefinita;

[5] Anche le parti esterne delle casserature e/o delle piastre metalliche devono essere adeguatamente protette dalla corrosione seguendo le indicazioni descritte:

- accurata pulizia mediante spazzolatura o meglio sabbiatura di tutte le superfici interessate dai successivi trattamenti, con completa rimozione di sostanze o depositi estranei quali ruggine, polveri, grassi, ecc.;
- applicazione a pennello, rullo o sistema *airless*, di una mano di *primer* anticorrosivo-zincante del tipo epossidico;
- applicazione a finire, dopo 48 ore dal trattamento con il *primer*, di due mani (ad intervallo di almeno 12 ore) mediante pennello, rullo o sistema *airless*, di un rivestimento sintetico del tipo epossipoliuretanico o del tipo a base di polietilene clorosulfonato, monocomponente e/o bi-componente, a basso contenuto di solvente, avendo cura di miscelarlo con un diluente specifico, utilizzando un agitatore montato su di un

trapano a bassa velocità in modo da ottenere un impasto uniforme.

CASO VI

Riparazione di nervature/travetti in conglomerato cementizio armato oggetto di lesioni passanti mediante iniezioni di resine sintetiche

[1] Pulitura mediante spazzolatura delle superfici immediatamente adiacenti alla lesione;

[2] Stuccatura della lesione fissando contemporaneamente, ogni 20-30 cm, tubicini di iniezione e sfiato per il tramite dei quali viene introdotta successivamente una resina sintetica del tipo epossidico, senza solventi, a consistenza di stucco;

[3] Ad avvenuto indurimento della stuccatura si procede all'iniezione della resina sintetica, a consistenza fluida, utilizzando un'apposita pompa a bassa pressione. È necessario cominciare l'operazione partendo dal tubicino inferiore ed iniettare la resina fino a quando non fuoriesca da quello superiore. Per poter completare tutto il circuito di iniezioni, intasando completamente la lesione, si deve ostruire il tubicino inferiore e ripetere l'operazione in quello superiore, procedendo con la stessa tecnica fino alla chiusura di tutti i tubicini.

OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

L'obiettivo di questo lavoro è stato quello di analizzare gli aspetti inerenti all'evoluzione tecnologico-costruttiva e alla diffusione del conglomerato cementizio armato in Italia, con particolare riferimento agli orizzontamenti e all'edilizia salernitana della prima metà del Novecento.

In particolare, a seguito di svariati sopralluoghi e con il supporto di documentazioni progettuali di archivio, sono state analizzate le diverse tipologie di orizzontamenti in conglomerato cementizio armato di alcuni dei più rappresentativi edifici salernitani, illustrandone e confrontandone le peculiarità. Sono stati, difatti, riscontrati nella realtà salernitana molti solai per i quali sono state reperite tavole esecutive, con i dettagli delle armature, dei calcoli effettuati dal progettista (vedi volta del Palazzo di Città – scheda C.1) od anche schizzi a mano, abbastanza chiari e dettagliati (vedi solai degli OO.RR. "San Giovanni di Dio e Ruggi d'Aragona" e degli edifici scolastici "Torquato Tasso" e "Giacinto Vicinanza" – schede A.1, B.1 e B.3), dai quali è stato possibile ricavare le informazioni necessarie per la realizzazione di restituzioni grafiche in

spaccato assonometrico che hanno permesso la ricostruzione del modello originario.

Oltre all'aspetto legato all'approfondimento della conoscenza delle tecniche costruttive, che hanno caratterizzato l'edilizia italiana del Ventennio fascista, ci si è soffermati anche sugli aspetti concernenti lo stato di conservazione di tale patrimonio.

Dallo studio condotto è possibile affermare che, ad esclusione di qualche caso in cui lo stato di avanzato degrado è da ascriversi ad una condizione di totale abbandono, gli orizzontamenti salernitani si presentano per la maggior parte in un discreto stato di conservazione[300] con circoscritti fenomeni di degrado, con il distacco del copriferro e la conseguente ossidazione dell'armatura sottostante. Ciò generalmente è il risultato dell'impiego di materiali, di tecniche esecutive, di dettagli costruttivi innovativi o insoliti, comunque poco sperimentati e non codificati, basati esclusivamente sulle regole dell'arte.

Tuttavia in nessun caso sono state riscontrate situazioni che, anche solo visivamente, possano far pensare ad un'insufficienza di tipo statico, anche se per esserne certi occorrerebbe approfondire la ricerca con ulteriori studi ed indagini diagnostiche.

L'attualità della ricerca sta nel fatto che questa porzione di costruito storico, benché discretamente conservata, risulta comunque essere

[300] "[…] *La cura con la quale venivano* […] *eseguite le prime strutture in cemento armato ed il rispetto per un corretto rapporto acqua/cemento, permettevano di ottenere mediamente strutture di migliore durabilità. Non è raro trovare in opere risalenti ai primi decenni del XX secolo situazioni di degrado assai limitato, se non, in alcuni casi, assolutamente assente"* da Zevi B. (a cura di), *op. cit.*, p. B 7.

prossima al traguardo dei cento anni, e pertanto manifesterà a breve concrete necessità di intervento per le quali occorre siano individuate adeguate metodologie di recupero, garanti della preservazione e della trasmissione ai posteri dei caratteri di originalità delle strutture esaminate, grandiosa testimonianza della sperimentazione basilare della storia del costruire della prima metà del Novecento, ovviando ad "*una strategia manutentiva basata esclusivamente su una logica d'intervento a guasto avvenuto*"[301].

Considerando che la difficoltà del recupero risiede spesso nella carenza di informazioni sulle effettive caratteristiche tecnologiche e meccaniche delle strutture analizzate e sulle ipotesi assunte (o che si presume siano state assunte) dai progettisti circa il comportamento dei materiali, i criteri di sicurezza, le condizioni di carico, si è ritenuto opportuno fare un *excursus* storico abbastanza approfondito di quanto in merito è stato possibile evincere da normative e manuali dell'epoca.

Per un buon intervento di recupero è opportuno, infatti, avere una conoscenza intrinseca delle tecniche costruttive dell'epoca nonché di quelle di risanamento che si presentano sempre più evolute e che sono state descritte nel dettaglio nel corso del capitolo precedente, "*cui però*

[301] Di Giulio R., *Manuale di manutenzione edilizia - Valutazione del degrado e programmazione della manutenzione*, Maggioli Editore, Dogana (Repubblica di San Marino 2003, p. 9.

deve essere affiancata necessariamente una sensibilità di intervento che dialoghi con le caratteristiche di originalità dell'epoca"[302].

Lo studio effettuato si conclude, quindi, con l'individuazione di alcune considerazioni utili ai fini di un corretto intervento di recupero dei solai in conglomerato cementizio armato della prima metà del Novecento, dalle quali sono scaturiti i seguenti indirizzi:

1. *Individuazione delle tecnologie utilizzate*

Prevede un'attenta analisi degli aspetti connessi alla progettazione e alle metodologie costruttive utilizzate che riguardano anche i materiali impiegati e il loro stato conservativo.

Da tale studio emerge che la realizzazione dei solai in conglomerato cementizio armato del primo Novecento è caratterizzata da una eterogeneità di soluzioni costruttive e tecnologiche che mettono in evidenza una discreta conoscenza dei rapporti dimensionali tra i vari elementi e la rispondenza degli stessi a quanto previsto dalle normative all'epoca vigenti.

2. *Valutazione delle qualità prestazionali e individuazione delle metodologie di intervento*

La fase conoscitiva non può limitarsi al solo aspetto morfologico e dimensionale ma deve indagare anche sui singoli materiali utilizzati e sulla resistenza degli stessi.

[302] Cacciaguerra G., Gatti M.P., *Having knowledge of existing reinforced concrete structures and increasing their value. The case of the stadium grandstand in Bolzano* in Catalano A., Sansone C. (a cura di), *op. cit.*, p. 389.

Alle indagini preliminari (analisi della documentazione grafica e di altri documenti d'archivio - analisi visiva e documentazione dei degradi e dei dissesti) devono dunque seguire necessariamente le indagini diagnostiche interdisciplinari (prove *in situ* e in laboratorio) che consentono di ottenere informazioni strettamente necessarie al fine di individuare preliminarmente la metodologia di intervento più adatta a seconda delle specificità dei casi.

Alle valutazioni preliminari può, tuttavia, seguire anche la necessità di effettuare in aggiunta indagini specifiche che prevedono l'analisi di ulteriori documenti e/o dati, analisi visive, misure e prove *in situ* e di laboratorio che conducono a valutazioni molto più dettagliate.

Solo a conclusione di un'accurata campagna di indagini conoscitive, le diverse ipotesi vagliate potranno essere validate o meno e si procederà all'individuazione degli interventi indirizzati al mantenimento della struttura originaria dell'orizzontamento, limitando al minimo le alterazioni, e all'eventuale adeguamento delle qualità prestazionali in ottemperanza alle vigenti normative.

Una volta individuati gli interventi si perverrà, poi, alla redazione del progetto di manutenzione, se vi è un'immediata necessità di ripristino, o del programma di manutenzione, se non urge invece tale necessità.

3. Contenimento delle trasformazioni

Altro elemento fondamentale per la realizzazione di un buon intervento è la necessità di contenere le trasformazioni e dare prevalenza alla conservazione, anche in termini di recupero dei singoli elementi componenti gli orizzontamenti in conglomerato cementizio armato. Sono

dettagli da non sottovalutare perché determinano lo stato delle trasformazioni in maniera abbastanza invasiva determinando la perdita dei caratteri di originalità che li contraddistinguono e che li rendono meritevoli di tutela.

4. Individualità dell'intervento

Dato il grande fermento culturale del periodo oggetto di studio, vi sono, oltre alle tipologie di solai riscontrabili in manuali d'epoca, anche talune tipologie di orizzontamenti in conglomerato cementizio armato per le quali non è possibile trovare riscontro alcuno nei documenti coevi. Alcune soluzioni progettuali sono state realizzate, infatti, adattandole alla tecnica costruttiva locale e alle necessità specifiche del cantiere e, pertanto, necessitano di un intervento di recupero che preveda soluzioni spesso artigianali e ripetibili solo su elementi che presentano le medesime caratteristiche.

5. Recupero del conglomerato cementizio armato

Per il recupero del materiale è ovvio che ci si riferisca al caso in cui i processi di carbonatazione hanno già compromesso l'integrità del copriferro e hanno intaccato le armature. La prassi che si suggerisce si inserisce nell'ottica del rispetto materico e tecnico e prevede la rimozione del calcestruzzo carbonatato e l'applicazione di malta alcalina[303] o degli specifici prodotti indicati nel paragrafo dedicato ai materiali utilizzati per

[303] Cantone F., Giuffrida A., *Linee guida per l'intervento di recupero su edifici in calcestruzzo armato. Il villaggio rurale del Biviere a Lentini (SR)* in Catalano A., Sansone C. (a cura di), *op. cit.*, p. 425.

il recupero. In questa metodologia vi è poco di originale ma si persegue il rispetto delle caratteristiche morfologiche originarie del manufatto.

A valle delle linee guida appena espresse e tenendo conto delle metodologie di intervento proposte per il recupero degli orizzontamenti in conglomerato cementizio armato, descritte nel corso del capitolo precedente e indicate anche dalla Circolare del 10 aprile 1997, n. 65 del Ministero dei Lavori Pubblici, si denota comunque una impossibilità di esprimere una preferenza per una determinata tipologia di intervento piuttosto che un'altra, in quanto ogni situazione risulta essere diversa dall'altra, sia per le peculiarità intrinseche di ogni orizzontamento che per la grande variabilità dei fenomeni di degrado, della loro manifestazione e intensità ma anche per le possibilità economiche di spesa e per la sensibilità in materia di conservazione del costruito del tecnico operante.

A ciò si aggiunge, tuttavia, un'importante considerazione cui si è pervenuti a valle di tutto il lavoro di ricerca ed in particolar modo a seguito delle valutazioni effettuate: al fine di preservare l'autenticità del costruito storico dovrebbero potersi applicare unicamente gli interventi che non producono effetti negativi sulla salvaguardia dello stesso e che soddisfino i requisiti di efficacia, compatibilità, durabilità, reversibilità, riconoscibilità e minimo intervento, come stabilito dai più noti criteri riguardanti la conservazione delle architetture ritenute di particolare interesse storico-artistico.

Naturalmente, non pochi sono i problemi che sorgono nell'interpretazione ed adattamento di questa filosofia, tarata su

un'edilizia tradizionale, al caso delle costruzioni in conglomerato cementizio armato.

Facendo dunque uno sforzo per provare ad analizzare procedure, tecniche ed esiti degli interventi proposti per il recupero degli orizzontamenti in conglomerato cementizio armato si è riscontrato, infatti, che non sempre le metodologie proposte si inseriscono nelle griglie della tradizione della conservazione e, pertanto, risulterebbe necessario inaugurare una stagione di ripensamenti dei sistemi di intervento per il recupero delle strutture in conglomerato cementizio armato che propongano parametri che siano consoni alle caratteristiche del "nuovo" materiale da tutelare: "*Solo per fare un esempio, si pensi al requisito di reversibilità: come realizzare una simile condizione, già difficilissima nel caso delle strutture in muratura per una tecnologia che si imposta costruttivamente sull'idea di monoliticità e solidità?*"[304].

Manca ancora, quindi, una coscienza diffusa che un manufatto in conglomerato cementizio armato di interesse storico e monumentale richieda tecniche e cautele specifiche, ancora tutte da precisare benché la conservazione dell'architettura moderna sia da considerarsi un argomento di grande attualità tra professionisti e storici che si pongono il problema della salvaguardia e della conservazione di questi edifici, al fine di tramandare, con l'impiego di adeguati strumenti, le testimonianze tecnologiche che segnano la storia di un'epoca.

[304] Cfr. prof. Mario Collepardi, cit.

Le indicazioni pratiche fornite rappresentano, tuttavia, un punto di riferimento utile, anche perché contengono una rassegna sintetica dei metodi di intervento più diffusi, nel panorama odierno caratterizzato dalla proliferazione di prodotti e proposte commerciali non sempre di agevole gestione.

In conclusione, si può asserire che con la presente ricerca:

- È stata effettuata una sistematizzazione di materiale inedito riguardante quella porzione di edilizia salernitana che presenta orizzontamenti in conglomerato cementizio armato e che richiederà a breve interventi di ripristino e/o consolidamento;

- Si è giunti alla considerazione che il recupero non può essere solo mero ripristino funzionale e morfologico, ma, soprattutto, per quelle costruzioni la cui realizzazione è stata effettuata mediante l'impiego di tecniche poco conosciute a quei tempi, diviene uno strumento di tutela dell'identità del manufatto;

- Si è tentato di fornire uno strumento utile alle figure tecniche che si ritrovano ad intervenire sull'edilizia costruita tra le due guerre, al fine di sensibilizzarne il rispetto della stessa, preservandone i caratteri di originalità, lasciando quindi traccia di quello che viene definito documento materiale, custode di una memoria storica di un periodo di particolare fervore scientifico che portò, come detto, alla sperimentazione di svariate tipologie di orizzontamenti;

- Si è tentato di fornire un contributo minimo affinché cominci a diffondersi il concetto che un manufatto in conglomerato cementizio armato di interesse storico richieda tecniche e cautele specifiche ancora

tutte da precisare, soprattutto in considerazione del fatto che "*l'attenzione è sempre richiamata sulle costruzioni "antiche", e lo spazio del moderno come patrimonio a rischio è ancora tutto da definire. Nel caso di opere di edilizia minore (che hanno peraltro rappresentato una proficua e feconda forma di espressione nella storia dello sviluppo del calcestruzzo armato), la coscienza del valore "monumentale", in quanto testimonianza culturale e storica dello sviluppo tecnologico, non è percepita a livello amministrativo e politico, mettendo tante opere di grande interesse architettonico e formale, oltre che tecnico, a serio rischio di sopravvivenza"*[305].

[305] Mezzina M., Uva G., *Degrado e riabilitazione strutturale delle architetture in cemento armato: il patrimonio infrastrutturale delle ferrovie apulo-lucane a Bari* in "Atti del 15° Congresso C.T.E.", Bari 4-5-6 novembre 2004, p. 2.

BIBLIOGRAFIA

Testi

Capitolo primo

Amore R., *Prime applicazioni del calcestruzzo armato nella trasformazione di antichi edifici* a Napoli in Atti del Secondo Convegno Nazionale, *Storia dell'ingegneria*, Napoli, 8-9 marzo 2006 (tomo primo)

Benevolo E., *Storia dell'architettura moderna*, Laterza Editore, Bari 1966

Castenetto S., Sebastiano M. (a cura di), *Il terremoto del Vulture* - 23 luglio 1930 - VIII e.f., Istituto Poligrafico e Zecca Dello Stato, Roma 2002

D'Orazio M., *Contributi alla storia della costruzione metallica - Progetti e realizzazioni degli anni '30 per l'edilizia abitativa*, Alinea Editrice, Città di Castello (PG) 1939

Filemio V., *From the Roman opus caementicium to concrete today. A study through techniques, technologies and materials* in Catalano A., Sansone C. (a cura di), "Concrete 2009. The building tecniques - I

International congress. Technological development of concrete. Tradition, actualities, prospects", Luciano Editore, Formia 2009

Gori R., *Le prime teorie scientifiche sul calcestruzzo armato* in Atti del Primo Convegno Nazionale, *Storia dell'ingegneria*, Napoli, 8-9 marzo 2006 (tomo secondo)

Griffini E., *Costruzione razionale della casa*, Hoepli Editore, Milano 1932

Guagnini A., *1910: un coraggioso approccio al cemento armato. Il caso della Sinagoga di Trieste* in Atti del Primo Convegno Nazionale, *Storia dell'ingegneria*, cit.

Iori T., *Il cemento armato in Italia, dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Edilstampa, Roma 2001

Marioni A., *L'invenzione delle strutture parzialmente precompresse: un contributo tutto italiano all'evoluzione della precompressione* in "Giornate AICAP, Lo sviluppo del cemento armato e del precompresso in Italia e la lezione di questo secolo", Torino 1999

Perretti A., Ghersi A., Di Pietro S., *La continuità storica nell'invenzione tecnologica e teorica del cemento armato* in Atti del Primo Convegno Nazionale, *Storia dell'ingegneria*, cit.

Poretti S., *Elementi tipici della costruzione moderna a Roma negli anni Trenta: studio di casi esemplari, analisi del degrado, proposte di restauro* in AA. VV., "La costruzione moderna in Italia - Indagine sui caratteri originari e sul degrado di alcuni edifici", Edilstampa, Roma 2000

Poretti S., *Modernismi italiani - architettura e costruzione nel Novecento,* Gangemi Editore, Roma 2008

Poretti S., *Modernismi e autarchia* in Ciucci G., Muratore G. (a cura di), "Storia dell'architettura italiana. Il primo Novecento", Mondadori Electa, Milano 2004

Sabatini W., *I cementi armati - ad uso dei capomastri*, Ulrico Hoepli, Milano 1923

Sersale R., *Evoluzione del calcestruzzo di cemento da tempi remoti al giorno d'oggi* in Atti del Primo Convegno Nazionale, *Storia dell'ingegneria*, cit.

Sorana D., *L'evoluzione dei solai misti* in "Recuperare l'Edilizia", n. 33, maggio 2003.

Vacchelli G., *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*, Hoepli, Milano 1900 e 1921

Siviero E., Cantoni, R., Forin M., *Durabilità delle opere in calcestruzzo*, Franco Angeli Editore, Milano 1995

Tampone G., *Strutture e costruzioni autarchiche di legno in Italia e Colonie. Caratteri e criteri di conservazione* in "Bollettino Ingegneri", n. 11, 2002

Riferimenti normativi consultati:

- R.D. 10 gennaio 1907, all. B - *"Prescrizioni per l'esecuzione delle opere in cemento armato"*;
- D.M. LL. PP. del 13 giugno1911;
- L. 24 giugno 1923, n. 1385;

- R.D.L. 23 ottobre 1924, n. 2089 - *"Norme Tecniche ed igieniche"* (sostituiscono le norme tecniche ed igieniche del Decreto Luogotenenziale 19 agosto 1917 n. 1399 - G.U. 30 dicembre 1924, n. 303);
- D.P. 15 maggio 1925 - *"Prescrizioni per l'accettazione di agglomerati idraulici e l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice ed armato"*;
- D.M. LL. PP. del 15 luglio 1925;
- R.D.L. 13 marzo 1927, n. 431 - *"Norme Tecniche ed igieniche di edilizia per le località colpite dal terremoto"* (sostituiscono le norme tecniche ed igieniche del Regio Decreto Legge 23 ottobre 1924, n. 2089 - G.U. 08 aprile 1927, n. 431);
- R.D.L. 13 marzo 1927, n. 431;
- R.D.L. 23 giugno 1927, n. 1529;
- R.D.L. 4 settembre 1927, nn. 1981 e 2325 - *"Nuove norme per l'accettazione di agglomerati idraulici e l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice ed armato"*;
- R.D.L. 7 giugno 1928, n. 1431 - *"Prescrizioni per l'accettazione di agglomerati idraulici e l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice ed armato";*
- L. 3 gennaio 1929, n. 58;
- R.D.L. 4 aprile 1929, n. 592 - *"Norme per l'accettazione di cementi speciali"*;

- R.D.L. 3 aprile 1930, n. 682 - *"Nuove norme tecniche ed igieniche di edilizia per le località sismiche"* (G.U. n. 133 del 7 giugno 1930);
- R.D.L. 18 luglio 1930, n. 1133 - *"Norme per le prove di accettazione di agglomerati idraulici e l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio"*;
- R.D.L. 3 agosto 1930, n. 1065 - *"Terremoto del 23 luglio 1930 – provvedimenti"*;
- R.D.L. 23 maggio 1932, n. 832 - *"Norme per l'accettazione di agglomerati idraulici e per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio"*;
- L. 22 dicembre 1932, n. 1830 - *"Conversione in legge del R.D.L. 23 maggio 1932 n. 832, recante norme per l'accettazione di agglomerati idraulici e per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio"*;
- R.D.L. 29 luglio 1933, n. 1213 - *"Norme per l'accettazione dei leganti idraulici e per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio"* convertito in Legge 5 febbraio 1934, n. 313 che stabiliva i requisiti cui dovevano rispondere i materiali e le modalità di esecuzione delle opere, le norme per i calcoli, le norme per i progetti;
- R.D.L. 25 marzo 1935, n. 640 - *"Nuovo testo delle norme tecniche di edilizia con speciali prescrizioni per le località colpite dai terremoti"*;

- Legge 23 dicembre 1935, n. 2471 - *"Norme di buona costruzione"*;
- Norme ministeriali del 17 maggio e 31 luglio 1937;
- R.D.L. 22 novembre 1937, n. 2105 - *"Norme tecniche di edilizia con speciali prescrizioni per le località colpite dai terremoti"*;
- Legge 25 aprile 1938, n. 710 - *"Conversione in Legge del Regio Decreto Legge 22 novembre 1937, n. 2105 concernente norme tecniche per l'edilizia, con speciali prescrizioni per le località colpite dai terremoti"* (G.U. 11 giugno 1938, n. 710);
- R.D.L. 16 novembre 1939, nn. 2228 e 2229 - *"Norme per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice o armato"*;
- R.D.L. 16 novembre 1939, n. 2232 - *"Norme per l'accettazione delle pietre naturali da costruzione"* (G.U. 18/04/1940, n. 92 - suppl.);
- Decreto Provvisorio del Capo dello Stato 20 dicembre 1947, n. 1516 - *"Norme per l'esecuzione e l'impiego delle strutture di cemento armato precompresso"*.

Capitolo secondo

Allen E., *I fondamenti del costruire*, Mc Graw-Hill, Milano 1997

Arcangeli A., *Manuale pratico per l'impiego del cemento armato*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1919 e 1928

Astrua G., *Manuale completo del capomastro assistente edile*, Hoepli Editore, Milano 1995

AA.VV., *Manuale dell'architetto, compilato a cura del Consiglio Nazionale delle Ricerche - pubblicato dall'Ufficio Informazioni Stati Uniti in Roma*, 1946

AA.VV., *Materiali e tecniche per il recupero edilizio*, Luciano Editore, Napoli 2005

Casciato M., Mornati S., Scavizzi P.C. (a cura di), *150 anni di costruzione edile in Italia.* Atti del II Seminario Internazionale, Edilstampa, Roma 1992

Baluffi G., *Costruzioni in cemento armato*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1922

Breymann G.A., *Trattato generale di costruzioni civili*, Vallardi, Milano 1925

Caleca L., *Architettura Tecnica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2007

Campioli A., Laner F., *Storia e cultura del solaio in laterocemento* in "Costruire in laterizio", n. 29, set. - ott. 1992

Cantalupi A., *Istituzioni pratiche elementari sull'arte di costruire le fabbriche civili*, Di Salvi, Milano 1862

Catalano A., *Le coperture ed i solai negli edifici antichi* in De Sivo B., "Il restauro degli edifici in muratura. La formazione del Direttore dei Lavori di recupero", Dario Flaccovio, Palermo 1992

Collepardi M., *La produzione del calcestruzzo antico e moderno* in "Calcestruzzi antichi e moderni: storia, cultura e tecnologia", Atti del Convegno di Studi, Bressanone, 6-9 luglio 1993

Colombo G., *Manuale dell'ingegnere civile e industriale*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1920

Curioni Giovanni, *L'arte di fabbricare. Costruzioni civili, stradali ed idrauliche*, Augusto Federico Negro Editore, Torino 1870

De Sivo B. e Iovino R. (a cura di), *Manuale del recupero delle antiche tecniche costruttive napoletane*, CUEN, Napoli 1993

Donghi D., *Manuale dell'architetto*, UTET, Torino 1906 e 1923

Formenti C., *La pratica del fabbricare*, Hoepli, Milano 1893

Formenti C., Cortelletti R., *La pratica del fabbricare*, Hoepli, Milano 1933

Giovannoni G., *Corso di Architettura*, ed. Paolo Cremonese, Roma 1932

Guerra C., *Architettura Tecnica* - Parte prima, Casa Editrice Pironti e Figli, Napoli 1952

Guerra C., *Architettura Tecnica* - Lezioni parte prima - Tavole, Tipografia Giannini, Napoli 1934 , XIII e. f.

Iori T., op. cit.

Irace A., Pizzo L., *I solai*, CUEN, Napoli 1989

Legault R., *Catastrofe e nuovi materiali. Parigi-Messina, un laboratorio per la casa in cemento armato* in Casciato M., Mornati S., Scavizzi P. C. (a cura di), cit.

Levi C., *Manuale del capomastro assistente. I materiali da muro. Le macchine edili. Le opere di fabbrica*, Hoepli, Milano 1924

Levi C., *Trattato teorico - pratico di costruzioni civili, rurali, stradali e idrauliche*, Hoepli, Milano 1924

Listino prezzi Napoli, 1922

Manuale RDR, 1962

Mazzocchi L., *Calci e cementi. Norme pratiche ad uso degli ingegneri, architetti, costruttori, capimastri ed assistenti di fabbrica*, Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa, Milano 1895

Miccio G., Ribera F., *Sviluppo edilizio e tecniche costruttive a Salerno tra le due guerre* in Collana Archivio per l'Architettura Moderna e Contemporanea di Salerno, 1 in AA.VV., *Salerno, Il Palazzo di Città*, Paparo Edizioni, Napoli 2010

Misuraca G., Albertini C., Boldi M. A., Giovannoni G., Spichi C., Vanghetti V., *L'arte moderna del fabbricare*, Vallardi, Milano 1916.

Mörsch E., *Teoria e pratica del cemento armato*, Hoepli Editore, Milano 1923

Nelva R., *Typologies of the reinforced concrete industrial buildings in North Italy at the beginning of the 20th century: examples of Hennebique system realizations* in Catalano A., Sansone C. (a cura di), "Concrete 2009", cit.

Nelva R., Signorelli B., *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia: il sistema Hennebique*, Edizioni di Scienza e Tecnica, Milano 1990

Pedrini A., *La casa dell'avvenire. Vade-mecum dei costruttori, dei proprietari di case e degli inquilini,* Ulrico Hoepli Editore - Libraio della Real Casa di Milano, Milano 1910

Petrignani A., *Tecnologie dell'architettura*, Gorlich-Istituto Geografico De Agostini Novara S.p.A., Roma 1984

Poretti S., *Le tecniche costruttive negli anni Trenta tra modernismo ed autarchia. Una nota sulla Casa del Fascio* in Casciato M., Mornati S., Scavizzi P. C. (a cura di), cit.

Revere G., *I laterizi*, Hoepli, Milano 1907

Revere G., *Le prove dei materiali da costruzione e le costruzioni in cemento armato*, Hoepli, Milano 1910

Rosci L., *Manuale pratico di volgarizzazione del calcolo del cemento armato*, G. Lavagnolo Editore, Torino 1939

Rosci L., *Statica e Resistenza dei materiali per costruzioni edilizie*, Ulrico Hoepli Editore, Milano 1939

Singer I., *Storia della tecnologia*, Bonnghien, Torino 1984

Vacchelli G., *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*, Hoepli, Milano 1900 e 1921

Vinaccia G., *Le strutture laminari in cemento armato*, Vitali e Ghianda Casa Editrice, Genova 1960

Vivarelli G., *L'arte di costruire: raccolta di nozioni tecnico - pratiche di costruzioni, utile per allievi, ingegneri, architetti, capomastri, geometri e agronomi*, Ulrico Hoepli, Milano 1912

Zevi B. (a cura di), *Il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma 2008

Sottocapitolo

Carnevale G., *Salerno, uno sguardo sul passato. Cinquant'anni di cartoline (1895-1945)*, Bibloteca Ed., Atripalda (AV) 1993

D'Angelo G., Mazzetti M., Oddati N. (a cura di), *I giorni di Salerno capitale*, Edizioni 10/17, Salerno 1994

Della Torre A. (a cura di), *Catalogo delle vecchie cartoline di Salerno*, Buoninfante Ed., Salerno 1950

Della Torre A., *Salerno Ippocratica. Nuovo Catalogo delle cartoline di Salerno*, Fotoprint Ed., Salerno 1994

Della Torre A., *Salerno: torniamo un attimo indietro. Una vecchia guida del 1894 e vecchie cartoline*, Antonio Volpe &C. Ed., Salerno

Dodaro V., *Salerno durante il Ventennio: gli edifici pubblici, l'edilizia popolare, l'urbanistica*, De Luca Editore, Salerno 1997

Edil Test, *Normative tecniche per le costruzioni 1997*, Pacini Editore, Pisa 1997

Ghiringhelli O., *Camillo Guerra (1889-1960). Architettura meridionale tra eclettismo e modernismo*, Electa Napoli 2004

Giannattasio G., *La città cancellata: Salerno dopo gli anni 20*, Campo Ed., Salerno

Giannattasio G., *La città cerca casa: Edilizia economica e popolare a Salerno, 1920-1984*, Kappa Ed., Roma 1984

Giannattasio G., *Salerno. La città moderna*, Edizioni 10/17, Salerno 1995

Giannattasio G. (a cura di), *Un secolo in progetto: cento anni di studi, carte e piani*, Campo Ed.,Salerno 1983

La Stella A., *L'edilizia popolare dalla Legge Luzzatti ad oggi* in "Cultura materiale, arti e territorio in Campania", inserto in "La voce della Campania", VI, 1978

Martuscelli E., *Lotta per l'autarchia*, Tipografia Fratelli Jovane di Gaetano, 1940 - XVIII e.f.

Mollo L., *Camillo Guerra. Il padiglione della Colonia Marina di Salerno* in "Costruire e abitare la nuova architettura della città", Atti del Convegno, Bologna 2000

Serio M., *Uno sguardo alla città di Salerno* in "Salernum - Rassegna mensile dell'azione fascista nel salernitano" a cura dell'Istituto Provinciale Fascista di Cultura, anno I - n. 2, aprile 1935 - XIII e.f.

Serio M., *Per la più grande Salerno*, estratto dalla pubblicazione "Autarchia" edita dal Consiglio Provinciale delle Corporazioni in occasione della "I Rassegna Autarchica Salernitana" con mostra di caccia e pesca - febbraio 1940 - XVIIII e.f.

Capitolo terzo

Albi Marini A., *Consolidamento e riabilitazione delle strutture in cemento armato* in CITTAM - Centro Interdipartimentale di Ricerca per lo Studio delle Tecniche Tradizionali dell'area Mediterranea - Università degli Studi di Napoli "Federico II" - Polo Delle Scienze e delle Tecnologie, *Materiali e Tecniche per il Recupero Edilizio*, Luciano Editore, Napoli 2005

AA. VV., *La costruzione moderna in Italia*, cit.

Ascione L., Giordano A., *Riabilitazione strutturale con materiali compositi fibrorinforzati. Interventi su edifici di conglomerato cementizio armato*, Polipress - Politecnico di Milano 2009

Bardelli P. G., Filippi E., Garda E. (a cura di), *Curare il moderno. I modi della tecnologia*, Marsilio Editori, Venezia 2002

Bardelli P.G., Nelva R., *Tecniche di intervento nel recupero* in "Modulo, Mensile di Tecnologia e progetto per la qualità edilizia", n.152, giugno 1989, BE-MA edizioni, Milano

Baruchello L., Assenza G., *Diagnosi dei dissesti e consolidamento delle costruzioni*, DEI, Milano 2004

Becco V., *Recupero di un solaio in latero-cemento* in "La gazzetta dei solai" - anno 5, n. 44, a cura della sezione solai dell'Audil Assolaterizi - Mensile di informazione tecnica sui solai in laterizio

Bellini A. (a cura di), *Tecniche della conservazione*, Ex Fabrica Franco Angeli Editore, Milano 2001

Cacciaguerra G., Gatti M.P., *Having knowledge of existing reinforced concrete structures and increasing their value. The case of the stadium grandstand in Bolzano* in Catalano A., Sansone C. (a cura di), "Concrete 2009", cit.

Calvanese V., *I solai in cemento armato* in CITTAM - Centro Interdipartimentale di Ricerca per lo Studio delle Tecniche Tradizionali dell'area Mediterranea. Università degli Studi di Napoli "Federico II" - Polo Delle Scienze e delle Tecnologie, *Materiali e Tecniche per il Recupero Edilizio*, cit.

Cantone F., Giuffrida A., *Linee guida per l'intervento di recupero su edifici in calcestruzzo armato. Il villaggio rurale del Biviere a Lentini (SR)* in Catalano A., Sansone C. (a cura di), "Concrete 2009", cit.

Catalano A., Sansone C. (a cura di), *Concrete 2009*, cit.

Caterina G. (a cura di), *Tecnologia del recupero edilizio*, UTET, Torino 1989

Cesaroni A., *Il calcestruzzo e l'ecclettismo: indicazioni per una salvaguardia a partire dalla documentazione di cantiere. La Biblioteca nazionale e centrale di Firenze di Cesare Bazzani* in Catalano A., Sansone C. (a cura di), "Concrete 2009", cit.

CITTAM - Centro Interdipartimentale di Ricerca per lo Studio delle Tecniche Tradizionali dell'area Mediterranea - Università degli Studi di Napoli "Federico II" - Polo Delle Scienze e delle Tecnologie, *Materiali e Tecniche per il Recupero Edilizio*, cit.

Collepardi M., Coppola L., Pistolesi C., *Materiali e tecnologie per il restauro delle opere in calcestruzzo* in Atti delle «Giornate A.I.C.A.P. 1975», Sanremo 2-5 ottobre 1975

Collepardi M., Guella S. M., Valente M., *Degradazione del calcestruzzo provocata da cicli di gelo e disgelo* in Atti delle «Giornate A.I.C.A.P. 1975», cit.

Coppola L., *Il ripristino e consolidamento delle strutture esistenti in calcestruzzo armato e precompresso*, Kerakoll, marzo 2009

Coppola L., *La diagnosi del degrado delle strutture in calcestruzzo* in "L'industria italiana del cemento", 10/1993

De Sivo B., cit.

Di Giulio R., *Manuale di manutenzione edilizia - Valutazione del degrado e programmazione della manutenzione*, Maggioli Editore, Dogana (Repubblica di San Marino 2003

Feiffer C., *Il progetto di conservazione*, Franco Angeli Editore, Milano 2003

Fiandaca O., *L'impulso impresso all'evoluzione del cemento armato dalla sperimentazione antisismica messinese* in Catalano A., Sansone C. (a cura di), "Concrete 2009", cit.

Franceschi S., Germani L., *Linee guida per il recupero architettonico*, DEI, Roma 2004

Fumo M., *Alcune considerazioni sulle potenzialità e le prospettive del calcestruzzo armato* in Catalano A., Sansone C. (a cura di), "Concrete 2009", cit.

Iovino R., *Il degrado delle pietre artificiali* in De Sivo B., "Il restauro degli edifici in muratura", cit.

Istruzioni CNR DT 200/2004

Gori R., *Le prime teorie scientifiche sul calcestruzzo armato* in Catalano A., Sansone C. (a cura di), "Concrete 2009", cit.

Lamanna L.F., Bellicini A.L., *Il risanamento delle strutture in cemento armato e muratura*, Carocci Editore, Roma 1998

Mastrodicasa S., *Dissesti statici delle strutture edilizie - Diagnosi, consolidamento e istituzioni teoriche*, Ulrico Hoepli, Milano 2003

Manfroni O., Arduini M., Forlani R., Gentilini D., *Rinforzo di solai in latero-cemento con materiali compositi innovativi* in "Costruire in laterizio", periodico bimestrale, Anno 11, n. 64, luglio/agosto 1998

Manuale del recupero Comune di Roma

Manuale del recupero Città di Castello

Mezzina M., Uva G., *Degrado e riabilitazione strutturale delle architetture in cemento armato: il patrimonio infrastrutturale delle ferrovie apulo-lucane a Bari*, Atti del 15° Congresso C.T.E. Bari, 4-5-6 novembre 2004

Mochi G., Predari G., *The european contribution to the development of reinforced concrete within the end of 1800* in Catalano A., Sansone C. (a cura di), "Concrete 2009", cit.

Nelva R., *Typologies of the reinforced concrete industrial buildings in North Italy at the beginning of the 20th: examples of Hennebique system realizations* in Catalano A., Sansone C. (a cura di), "Concrete 2009", cit.

Peru M., *Materiali compositi: polimeri fibrorinforzati (FRP) e loro impiego nelle costruzioni* in CITTAM - Centro Interdipartimentale di Ricerca per lo Studio delle Tecniche Tradizionali dell'area Mediterranea. Università degli Studi di Napoli Federico II - Polo Delle Scienze e delle Tecnologie, *Materiali e Tecniche per il Recupero Edilizio*, cit.

Pretelli M., *Restauro vs calcestruzzo. Considerazioni preliminari ad un dibattito* in Catalano A., Sansone C. (a cura di), "Concrete 2009", cit.

Principi per la conservazione e il restauro - Carta di Cracovia

Raffaele Gigante, *Interventi di ristrutturazione statica degli edifici in muratura*, Il Sole 24 Ore, 2007

Rizzano G., *Corso di riabilitazione strutturale - dispense didattiche - parte 2*, Salerno 2007

Rocchi P., *Manuale del consolidamento: contributo alla nascente trattatistica*, DEI , Roma 1998

Rocchi P., *Prodotti speciali per il recupero ed il* restauro. *Catalogo comparato, Edizioni* Kappa

Scialò C., *Consolidamento e manutenzione delle strutture in cemento armato,* Editrice DEI, Roma 1996

Ufficio del Ministro per il coordinamento della ricerca scientifica e tecnologica, *Edifici in cemento armato danneggiati da terremoti: analisi, riparazioni e consolidamento*, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Libreria dello Stato, Roma 1981

Zevi B. (a cura di), cit.

Periodici

“Idea fascista’’ - settimanale della federazione salernitana dei fasci di combattimento diretto dall’avv. P. Palladino, anni 1930 - 1934

“Opere pubbliche: edilizia - idraulica - strade - ferrovie - porti - archeologia” - rassegna mensile illustrata, anno III - nn. 11 - 12, 1934 - XII e.f.

“Salernum”, rivista mensile dell’Istituto Fascista di Cultura, anno I - n. 1, 1935 - XIII e.f.

“L’ingegnere” - rivista tecnica, sindacato nazionale fascista ingegneri - circoli di cultura degli ingegneri, volume V, 1931 - anni IX - X e.f.

Massida L., *Le cause di degrado del calcestruzzo e delle opere in calcestruzzo armato* in “Enco Journal” - Periodico sulla tecnologia dei materiali da costruzione, 2011 - anno XVI, n. 53

Tesi consultate

Tesi di laurea di Casotto A., Sarain M., Stievano B., *Il recupero dell'area dell'ex macello di Padova*, laurea quinquennale in Architettura, Istituto Universitario di Architettura Di Venezia, relatore Paganuzzi P., a.a. 1996/1997 - http://www.sacs.it/tesi/indice.htm#cap4.

Tesi di laurea di Cerviglione C., *Il Villaggio Marino Sanatoriale di Torre Angellara a Salerno tra storia e riuso*, laurea specialistica in Ingegneria Civile, Università degli Studi di Salerno, relatore Ribera F., a.a. 2010/2011

Tesi di laurea di De Rosa D., *Il Pontificio Seminario Regionale "Pio XI" di Salerno: le tecniche costruttive degli anni Trenta del Novecento*, laurea triennale in Ingegneria Civile, Università degli Studi di Salerno, relatore Ribera F., a.a. 2010/2011

Tesi di laurea di Dolgetta P., *I nuovi edifici scolastici a Salerno tra le due guerre: la qualità del progetto e l'evoluzione dei modi di costruire*, laurea specialistica in Ingegneria Civile, Università degli Studi di Salerno, relatore Ribera F., correlatore Miccio G., a.a. 2009/2010

Tesi di dottorato di De Tommasi D., *Conservazione, miglioramento e manutenzione dell'edilizia a struttura mista del XX secolo*, dottorato di ricerca in "Sicurezza e conservazione del costruito storico" - XVI ciclo (2000/2003), Università degli Studi di Napoli "Federico II", relatore D'Agostino S.

Tesi di dottorato di Fisciano R., *Valutazione della vulnerabilità statica di edifici in c.a. esistenti*, dottorato di ricerca in "Ingegneria dei

Materiali e della Produzione" - XX ciclo (2004/2007), Università degli Studi di Napoli "Federico II", relatore Acierno D.

Documentazione archivistica

La documentazione storica e grafica relativa agli edifici salernitani presi come casi studio è stata acquisita presso l'Archivio Storico del Comune di Salerno e presso gli archivi privati delle famiglie De Angelis e Capece.

INDICE

RINGRAZIAMENTI *5*

INTRODUZIONE *7*

CAPITOLO PRIMO
LA DIFFUSIONE DEL CALCESTRUZZO ARMATO *15*
Le origini e l'evoluzione 15
La divulgazione del sapere per il tramite dei manuali 29
La normativa dei primi decenni del XX secolo 34
Le prime strutture in conglomerato cementizio armato 64
Il periodo autarchico 73
La precompressione 86

ALLEGATO I
MANUALI D'EPOCA *89*
LE COSTRUZIONI IN CALCESTRUZZO ED IN CEMENTO ARMATO 89
LA CASA DELL'AVVENIRE 93
CALCE E CEMENTI 95
MANUALE DELL'ARCHITETTO 97
LA PRATICA DEL FABBRICARE 98
TEORIA E PRATICA DEL CEMENTO ARMATO 99
L'ARTE MODERNA DEL FABBRICARE 101
TRATTATO TEORICO-PRATICO DI COSTRUZIONI 102
TRATTATO GENERALE DI COSTRUZIONI CIVILI 104

MANUALE ELEMENTARE PRATICO DI VOLGARIZZAZIONE DEL CALCOLO DEL CEMENTO ARMATO 105

CAPITOLO SECONDO
I SOLAI IN CALCESTRUZZO ARMATO DEL PRIMO NOVECENTO: ASPETTI MATERICI E TECNOLOGICI 109
Il conglomerato cementizio 109
Generalità 109
Resistenza del calcestruzzo 112
Fabbricazione del calcestruzzo 113
Dosatura del calcestruzzo 120
Disarmo 122
I laterizi 124
I materiali metallici 135
Composizione e generalità 135
Qualità e i requisiti dei ferri 139
Staffe 146
Piegatura dei ferri 147
I sostegni e le casseforme per il getto 151
Evoluzione tecnologica dei solai in calcestruzzo armato 160

ALLEGATO II
BREVETTI SOLAI 289

SOTTOCAPITOLO
I SOLAI SALERNITANI DEL VENTENNIO FASCISTA 309
CAMPIONATURA EDIFICI SALERNITANI PRESI COME CASI STUDIO 316
A. Edifici con solai a soletta piena, nervature parallele o incrociate e a camera d'aria 316
B. Edifici con solai latero-cementizi 317
C. Edifici con altre strutture in calcestruzzo armato 318
Stralcio planimetrico con individuazione degli edifici in base alla tipologia di orizzontamento 319
EDIFICI CON SOLAI A SOLETTA PIENA E NERVATURE PARALLELE O INCROCIATE 321
A.1 OO.RR. "San Giovanni di Dio e Ruggi d'Aragona" 321

A.2 Edificio Scolastico Occidentale “Gennaro Barra” (aule).....329
A.3 Casa del Combattente 338
A.4 Villaggio Marino Sanatoriale di Torre Angellara: “Aerium” ...341
A.5 Palazzo di Giustizia 347
A.6 Palazzo di Città: volta del cinema.....366
A.7 Camera di Commercio 377
A.8 Villaggio Marino Sanatoriale di Torre Angellara: Ospizio “Vittorio Emanuele III” 382
A.9 Palazzo delle Poste e dei Telegrafi 383
A.10 Palazzo “Rizzo-Iannone” 384
A.11 Palazzo “Mazzini” 384
A.12 Palazzo “Olimpia” 385
A.13 Palazzo della ditta “Di Filippo” 386
EDIFICI CON SOLAI LATERO-CEMENTIZI.....*391*
B.1 Edificio Scolastico Orientale “Giacinto Vicinanza” 391
B.2 Edificio Scolastico Occidentale “Gennaro Barra” (corridoi)....415
B.3 Liceo classico “Torquato Tasso” 423
B.4 Pontificio Seminario Regionale “Pio XI” 434
B.5 OO.RR. “San Giovanni di Dio e Ruggi d’Aragona”: padiglione “Regina Elena” e padiglione d’isolamento.....438
B.6 Palazzo di Città: palcoscenico, platea del cinema e locali prospicienti il portico.....444
B.7 Palazzo “Angrisani-Pagliara”.....453
B.8 Rione Cooperativa Case dei Ferrovieri.....454
B.9 Palazzo “Pennasilico” 457
B.10 Rione Case Popolari.....458
B.11 Palazzo “Belgiorno-Maccarelli” 461
B.12 Palazzo di Giustizia.....462
B.13 Palazzo “Clarizia” 462
B.14 Palazzo della “Società Cooperativa Finanziaria”.....463
B.15 Palazzo “Pastore” 463
B.16 Palazzo “Ladalardo”.....464
B.17 Palazzo “Genovese” 464
B.18 Istituto Magistrale “Regina Margherita”.....465
B.19 Palazzo “Marsilia-Pastore” 466
B.20 Convitto “Nicoletti” 466
B.21 Palazzo “Cuoco-Santoro” 467

B.22 Rione dei Mutilati: la Casa del Mutilato 468
B.23 Palazzo "Stanzione" 470
B.24 Palazzo "D'Alessandro-De Crescenzo" 471
EDIFICI CON ALTRE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO ARMATO *474*
C.1 Palazzo di Città 474
C.2 Pontificio Seminario Regionale "Pio XI": cappella centrale 484

CAPITOLO TERZO
IL DEGRADO E IL RISANAMENTO DEI SOLAI IN CALCESTRUZZO ARMATO: INDIRIZZI PER IL RECUPERO *499*
Cenni statistici sul degrado delle strutture in calcestruzzo armato 505
Cause ed effetti del degrado sulle strutture in conglomerato cementizio armato 508
Attacco solfatico 510
Carbonatazione 511
Corrosione delle armature 516
Effetti del fuoco 518
Le problematiche costruttive connesse ai solai della prima metà del Novecento 520
I dissesti degli orizzontamenti in conglomerato cementizio armato .524
Dissesti dei solai con nervature a vista 524
Insufficienza statica 525
Flessione 526
Taglio 528
Torsione 531
Altre cause fonti di degrado 532
Dissesti tipici degli orizzontamenti in latero-cemento 533
Insufficienza statica 536
Altre cause fonti di degrado 538
I materiali utilizzati per le operazioni di ripristino e consolidamento 547
Materiali di protezione ed inibitori 548
Acciaio per rinforzi 549
Prodotti a base cementizia: malte a ritiro compensato 549
Formulati epossidici: le resine epossidiche 550
Materiali compositi fibro-rinforzati (FRP) 553

Il risanamento dei solai in conglomerato cementizio armato: note metodologiche....557
Interventi di ripristino e consolidamento....557
Preparazione delle superfici....560
Superfici in conglomerato cementizio....562
Superfici metalliche....563
Cenni sui possibili metodi di recupero degli orizzontamenti in conglomerato cementizio armato....564
Interventi di consolidamento su solai a nervature....564
Incremento delle sezioni con integrazione di conglomerato cementizio armato....565
Applicazione di piastre o casseri metallici (béton plaqué)....570
Iniezioni in lesioni....580
Altre tipologie di intervento....582
Precompressione....582
Chiodature....583
Interventi di consolidamento di solai latero-cementizi....585
Interventi all'estradosso mediante l'apposizione di una soletta superiore collaborante....585
Interventi all'intradosso mediante integrazione dell'armatura metallica inferiore....589
Interventi all'intradosso mediante l'applicazione di fibre di carbonio..592
Intervento per il rinforzo a taglio mediante la realizzazione di una fascia piena in prossimità degli appoggi....593
Esempi applicativi di ripristino e consolidamento di solai in conglomerato cementizio armato eseguiti mediante l'applicazione di polimeri rinforzati con fibre di carbonio (*CFRP*)....595
Ripristino e consolidamento di un solaio latero-cementizio....595
Ripristino e rinforzo strutturale dei solai di uno dei padiglioni del Seminario Pontificio "Pio XI"....600
Rinforzo strutturale del solaio a nervature incrociate a vista di Palazzo Campori (Modena)....606

ALLEGATO III
PROCEDURE DI RIPRISTINO E CONSOLIDAMENTO DI SOLAI IN CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO: MODALITÀ TECNICHE ESECUTIVE....609

CASO I 609
Riparazione corticale delle nervature/travetti in conglomerato cementizio armato con trattamento dei ferri di armatura.....609
CASO II 614
Riparazione delle nervature/travetti in conglomerato cementizio armato per spessori superiori alla profondità del copriferro con ripristino della sezione originaria o con aumento della sezione del conglomerato cementizio resistente.....614
CASO III.....620
Recupero di nervature/travetti in conglomerato cementizio armato carbonatati.....620
CASO IV 621
Rinforzo strutturale di nervature/travetti in conglomerato cementizio armato mediante placcaggio esterno (tecnica del *béton-plaqué* per incollaggio diretto).....621
CASO V.....624
Rinforzo strutturale di nervature/travetti in conglomerato cementizio armato mediante placcaggio esterno (tecnica del *béton-plaqué* per iniezione o colaggio).....624
CASO VI 627
Riparazione di nervature/travetti in conglomerato cementizio armato oggetto di lesioni passanti mediante iniezioni di resine sintetiche....627

OSSERVAZIONI CONCLUSIVE *629*

BIBLIOGRAFIA.....*639*
Testi 639
Periodici.....655
Tesi consultate 656
Documentazione archivistica.....657

INDICE.....*659*