



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

LABORATORIO DI RESTAURO 1 – RESTORATION WORKSHOP II

Corso di Laurea Magistrale, quinquennale

ARCHITETTURA (CLASSE LM-4 C.U.)

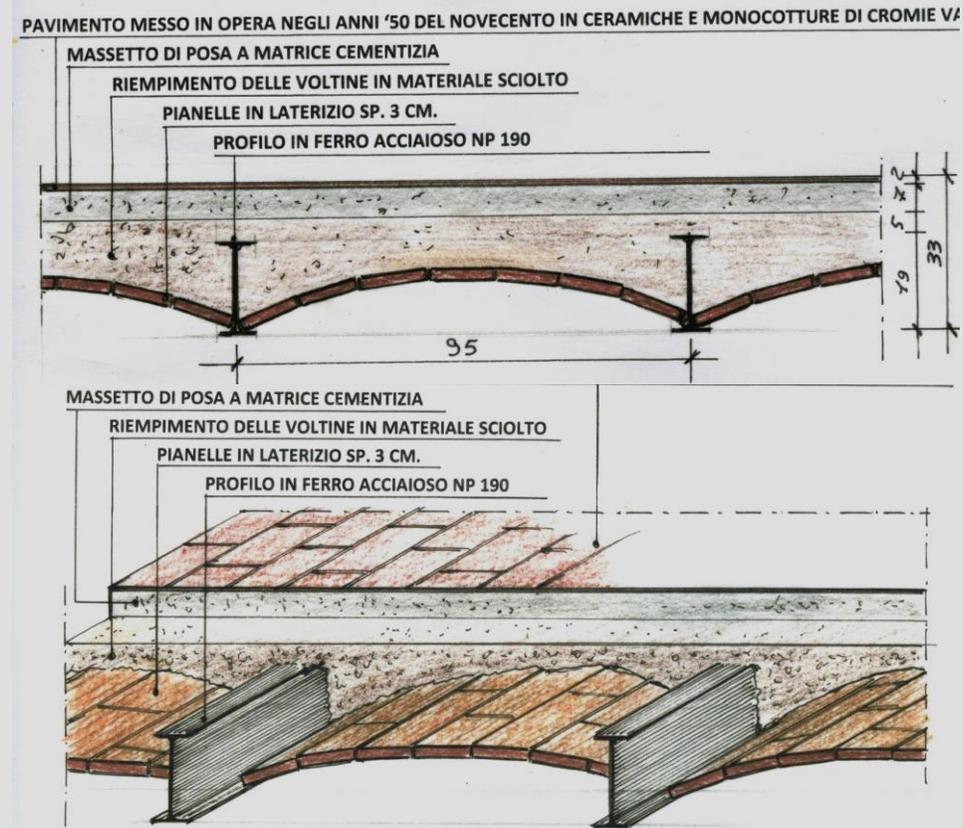
Prof. Arch. Giuseppe A. Centauro

B015351 – a. a. 2019 / 2020

*Il ferro nell'edilizia:
tiranti, capichiave e
cerchiature.*

*Solai con travi in
ferro*

Gli elementi strutturali



Docenti: Prof. Giuseppe Alberto Centauro e Prof. Silvio Van Riel

Tutor: Ph.D Arch. Andrea Bacci, Arch. Francesco Masci
e con la collaborazione di: Arch. Luca Brandini



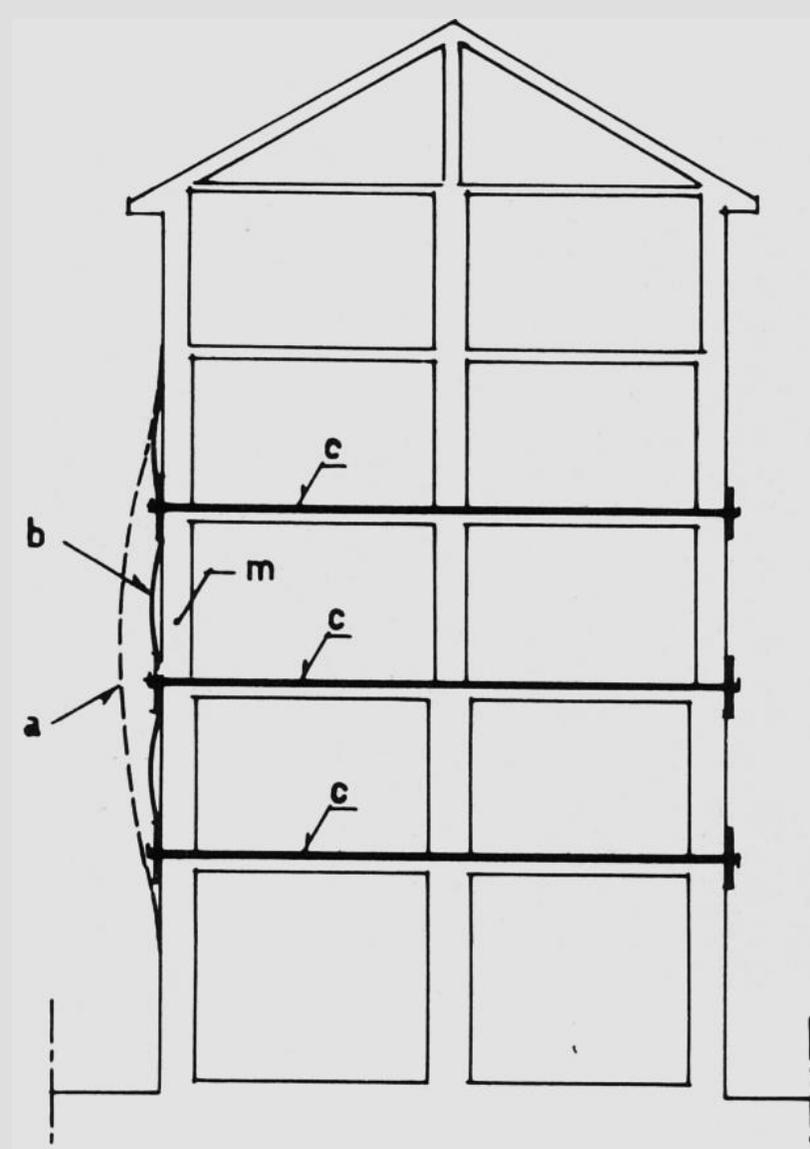
Tiranti, capichiave e cerchiature

I **tiranti di acciaio** possono essere, in determinate circostanze, efficacemente impiegati come organi provvisori di consolidamento e, inseriti all'interno di un organico progetto di riabilitazione strutturale, diventare elementi definitivi.

I **tiranti** e le **catene** impiegati per contrastare la spinta di elementi quali archi, volte e cupole si sono rivelati, nel tempo, gli unici accorgimenti validi ed utili per evitare deformazioni nei piedritti di appoggio di queste strutture.

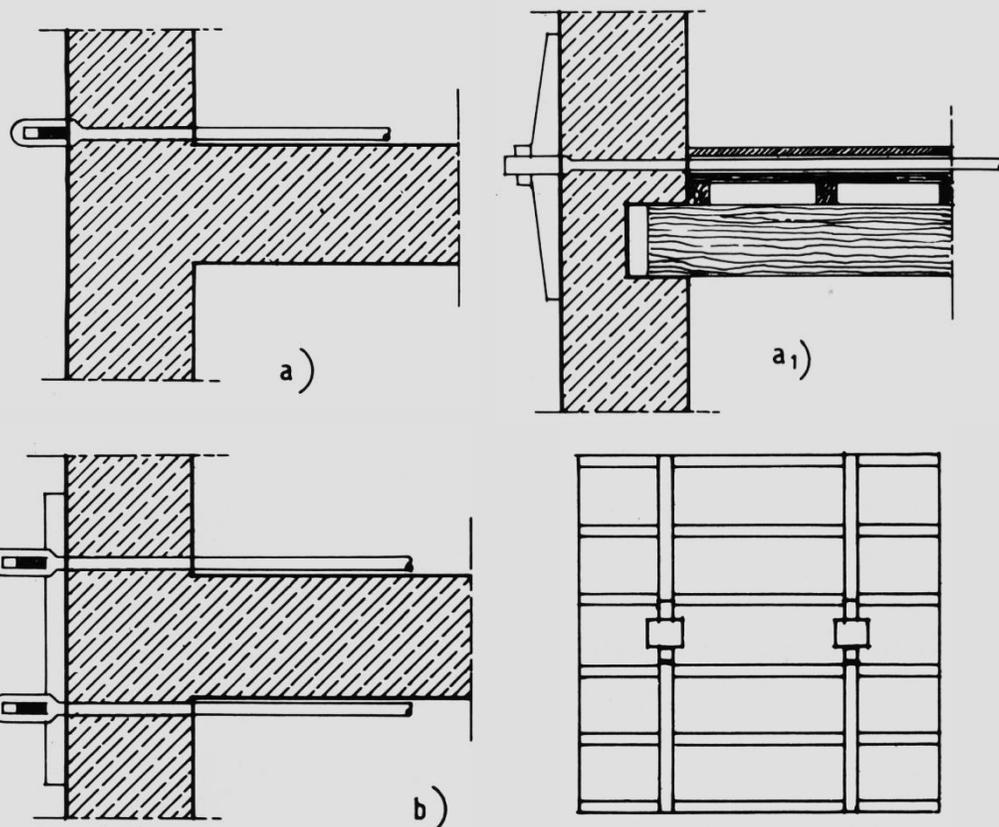
Negli ultimi anni questa tecnica, antichissima, è ritornata in auge per migliorare il comportamento sismico degli edifici in muratura; in particolare per contrastare i dissesti sismici per pressoflessione negli edifici in muratura.

Nelle murature degli edifici a più piani; quando questi siano deformati per pressoflessione o carico di punta, la applicazione delle catene risulta efficace se l'onda di inflessione comprende due o più piani, in tale caso le catene vengono sistemate in corrispondenza dei solai, al disotto del pavimento, riducendo in tal modo la lunghezza dell'onda di inflessione, che risulta frazionata, da piano a piano, con evidente vantaggio nei riguardi alla pressoflessione.



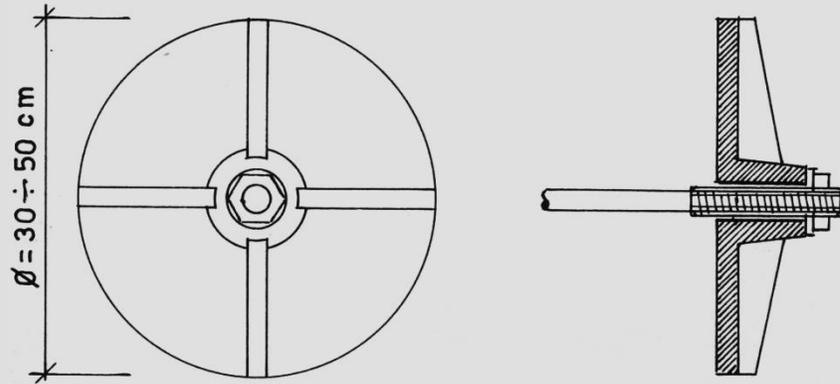
Deformazione per pressoflessione del muro m.
a) onda originaria di inflessione. b) onda frazionaria di inflessione dopo l'applicazione delle catene. c) catene.

Qualora i **solai**, per la loro **struttura** o **fatiscenza**, non offrano un valido contrasto all'azione di compressione esercitata su di essi dalle **catene**, e comunque ogni qualvolta sia possibile, è di norma disporre le catene, sempre al livello dei solai, in adiacenza ai muri trasversali che, più degli impalcati, contrastano efficacemente il tiraggio delle catene stesse.



a, a₁ - pianta e sezione di catena semplice, aderente al muro trasversale, meglio se a 35 - 45° per interessare al contrasto il muro di spina..

b, b₁ - Pianta e prospetto di catena binata e relativo capochiave.



Capochiave circolare in ghisa fusa.

La disposizione più razionale è quella delle due catene gemelle (catene binate) adiacenti, una da una parte e una dall'altra, dello stesso muro trasversale anche se risulta più costosa e antiestetica, data la forma e le dimensioni dei capichiave, qualora tali organi presidiari dovessero rimanere in opera per un tempo indeterminato.

I **capichiave** delle **catene binate** sono in genere costituiti da due **paletti terminali** e da una serie di trasversi formanti una superficie quadrata o rettangolare.

I **capichiave** delle **catene semplici** sono invece di **tre tipi**: o a paletto oppure a piastra circolare od ellittica.



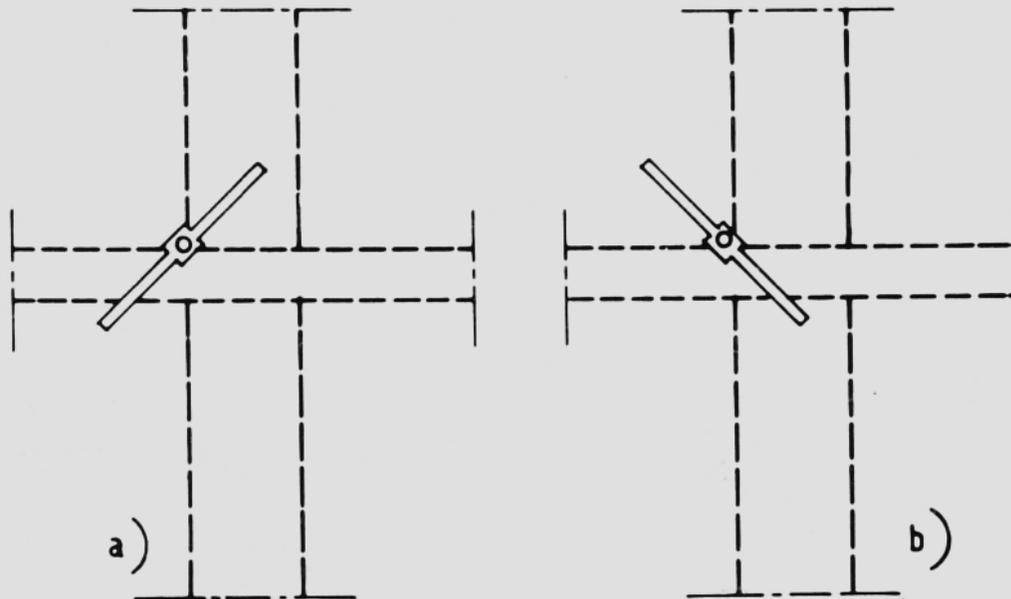
Esempio di tiranti metallici con capochiave a piastra ellittica.



Consolidamento con tirante metallico. Il capochiave a paletto è posto inclinato per contrastare da un lato (destro) con il solaio e dall'altro (sinistro) con il muro interno trasversale.

La posizione orizzontale o verticale dei paletti è errata.

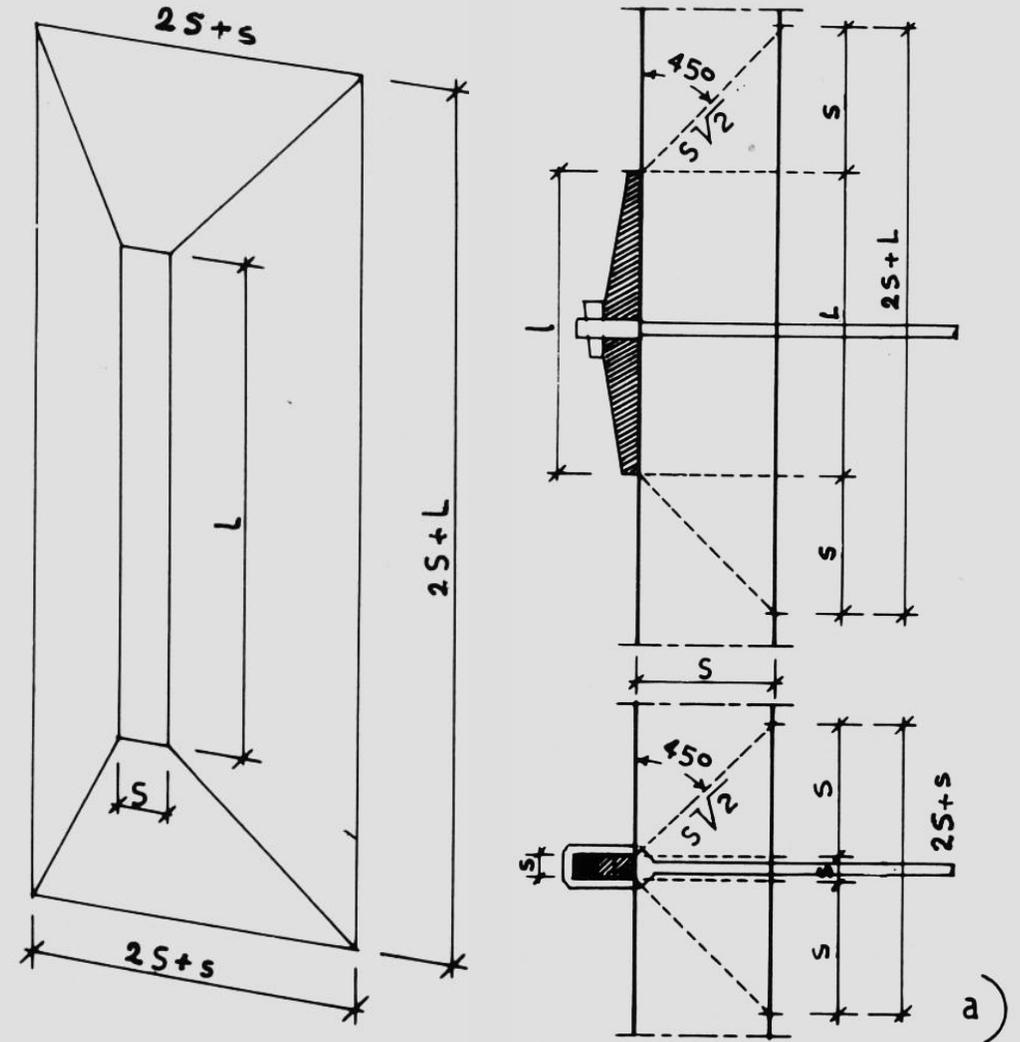
L'orientamento dei **capichiave** va scelto in funzione delle reazioni che possono offrire le strutture sulle quali svolgono la loro azione. Una **catena**, posta aderente ad un muro trasversale e sotto il pavimento, troverà il miglior contrasto possibile in queste due strutture e, perché ciò sia possibile, il paletto dovrà essere orientato (a circa 45° sulla verticale) con il suo braccio superiore rivolto verso il muro.



Capochiave a paletto:
a) disposizione corretta,
b) disposizione errata.

Per il **dimensionamento delle catene di acciaio** bisogna prendere in considerazione la resistenza a trazione del materiale metallico e quella, al taglio, del muro su cui agisce il capochiave.

Il fatto di considerare la resistenza al taglio, per quanto riguarda il muro su cui è applicato il capochiave, può considerarsi lecito perché, come abbiamo visto, le catene vanno poste a ridosso dei muri trasversali e dei solai, posizione questa che riduce gli sforzi flessionali a valori trascurabili nei confronti di quelli taglienti.



Solido di distacco della muratura per trazione provocata dall'azione del capochiave a paletto.



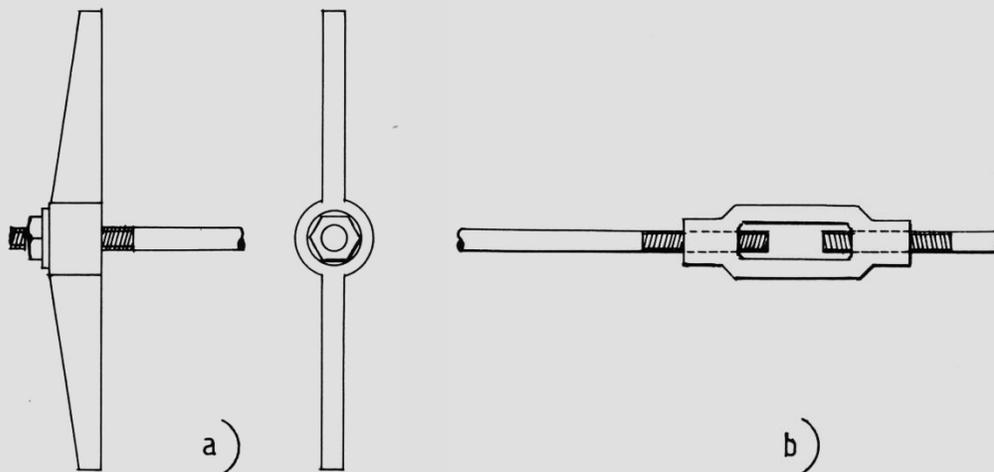
Per mettere in tiraggio le catene l'**allungamento ΔL** può essere ottenuto sia a **caldo** che a **freddo**.

Si esamina ora l'allungamento a caldo: una volta posta in opera la catena, ed assicuratisi della sua esatta posizione retta, si forzano leggermente le zeppe di contrasto con i capichiave, quindi si riscalda un tratto centrale con una fiaccola a benzina fino a che non si allentano le zeppe e si raggiunge l'allungamento calcolato ΔL .

A questo punto basta forzare nuovamente le zeppe medesime e la catena svilupperà la sua azione progressiva con il raffreddamento.

Dato che le catene, per la maggior parte dei casi, corrono all'interno di locali e sono protette da intonaci e pavimenti, non è in genere necessario, nel tiraggio, tener conto degli sbalzi stagionali di temperatura.

Per poter eseguire l'allungamento a freddo è necessario che le **catene** abbiano, almeno ad un **estremo, una filettatura e che il capochiave** sia forato per permetterne il passaggio. Il **tiraggio** avviene avvitando il dado sull'estremo filettato della catena, misurando contemporaneamente, col decimetro, fino a raggiungere l'allungamento ΔL precedentemente calcolato.
Invece del dado di testa, che contrasta sul capochiave, il tiraggio può avvenire a mezzo di manicotto intermedio, con filettature destra - sinistra.



- a) catena con dado terminale e capochiave forato
- b) catena con manicotto centrale.



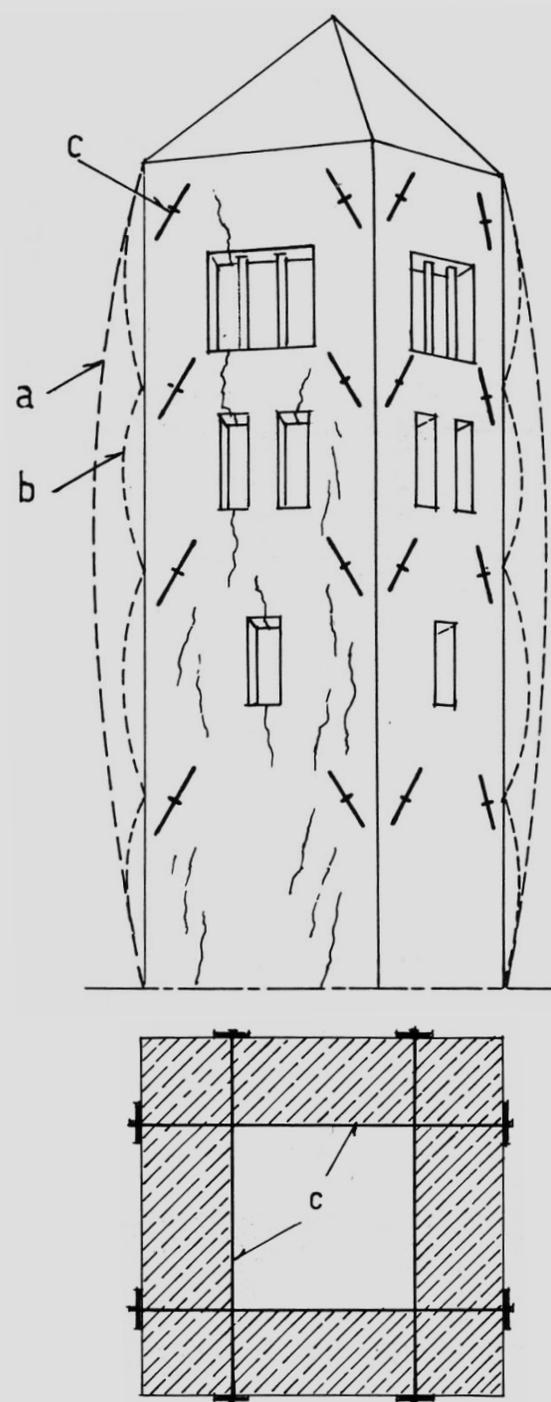
Nelle costruzioni alte, costituite da murature senza vincoli intermedi efficaci (solai) come sono appunto i campanili e le torri in genere, la compromessa resistenza allo schiacciamento, derivante dalla faticenza, facilita l'insorgere della pressoflessione e del carico di punta, con manifestazioni deformative e fessurative che presentano, il più delle volte, una progressione costante o accelerata.

Specialmente nei **campanili** che, solitamente, sono muniti di strutture orizzontali intermedie costituite da **alcuni impalcati lignei**, assolutamente incapaci di esprimere una efficace azione di ritegno orizzontale, per il fatto che il più delle volte la muratura è disomogenea si generano delle deformazioni per **pressoflessione**, con onde inflesse di notevole altezza che favoriscono l'instabilità al carico di punta.

Il rimedi da prendere per il consolidamento variano, specialmente, a seconda dell'importanza architettonica dell'oggetto da restaurare.

Lo scopo è sempre quello di ottenere un **frazionamento delle onde di inflessione**, insieme ad una **rigenerazione della muratura**.

Si raggiunge lo scopo con l'impiego delle catene, che vanno poste nel due sensi, verso gli spigoli e in adiacenza ai muri, dal lato interno.

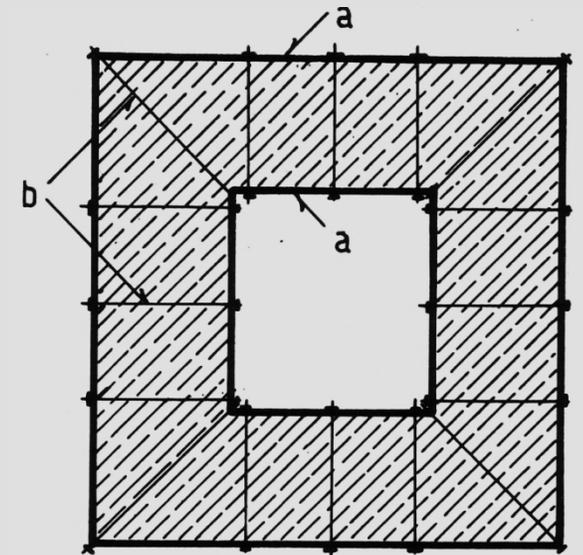
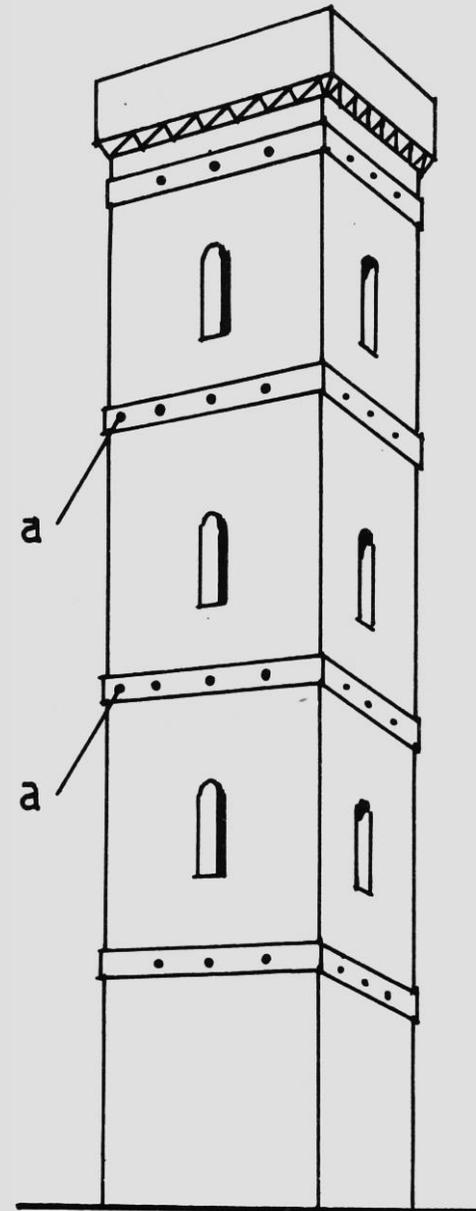


Incatenamento di un campanile, in dissesto per pressoflessione.

- a) onda di inflessione,
- b) onde ridotte di inflessione a mezzo delle catene,
- c) catene di acciaio.

Un **rimedio**, che può considerarsi definitivo, consiste nella cerchiatura, che si realizza con robuste fasce di acciaio, da porre in opera sia all'esterno che all'interno nei muri lesionati.

Le **cerchiature** vanno collegate fra di loro con **tiranti antiespulsivi**, attraverso fori eseguiti nella **muratura** con trapani o trivelle rotative.



Cerchiatura interna ed esterna di una torre:
a) cerchiature,
b) tiranti antiespulsivi tesi fra la cerchiatura interna e quella esterna.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA



Incatenamento del campanile. Si notano: i capichiave circolari in ghisa al primo piano e quelli a paletto nel secondo e quarto. La posizione verticale dei paletti è giustificata dall'assenza, in quelle zone, dei solai, per cui essi contrastano solo con i muri trasversali esterni.



Presidio provvisorio di campanile lesionato a mezzo di tiranti metallici anulari e relative squadre di acciaio disposte agli angoli.



Mentre la **cerchiatura** può essere considerata un rimedio definitivo (sempre integrata, naturalmente, da una rigenerazione della muratura) il **consolidamento** a mezzo di **catene** non può essere considerato che provvisorio.

Il fatto che nella pratica si ritrovino numerosissimi esempi di campanili e torri, anche di notevole interesse storico e ambientale, consolidati con l'applicazione di catene, questo avviene per evitare pericoli di crolli repentini e per questioni di incolumità onde prevenire i giudizi penali ad esse collegati.

Una volta applicati gli organi di consolidamento provvisorio si dovrebbe effettuare un restauro definitivo, che molte volte non viene eseguito soltanto per ragioni di carattere economico.



Quando non si voglia **compromettere l'estetica** non si può ricorrere né alle **catene** né alla **cerchiatura metallica** che, pur essendo efficaci sotto l'aspetto statico, alterano l'aspetto architettonico delle torri.

Il sistema più opportuno, sia per garantirci dalla pressoflessione che sotto il profilo estetico, è quello di creare dei diaframmi orizzontali rigidi che suddividono in diversi piani il vano interno della torre.

Tali **diaframmi** possono essere realizzati con **strutture di acciaio**, in **calcestruzzo armato** (come avveniva in passato) o in elementi di **acciaio e impalcati in legno**. Queste strutture vanno efficacemente ancorati alle pareti murarie in maniera da impedire la deformazione di quest'ultime.



Il tutto va poi completato con la rigenerazione delle murature, tramite iniezioni o coli di malta aerea additivata, a seconda del grado di faticenza.

Una interessante applicazione di “**cerchiatura**” con iniezioni armate è stata effettuata, nel 1963, sul **campanile** della cattedrale di S. Ciriaco ad Ancona.

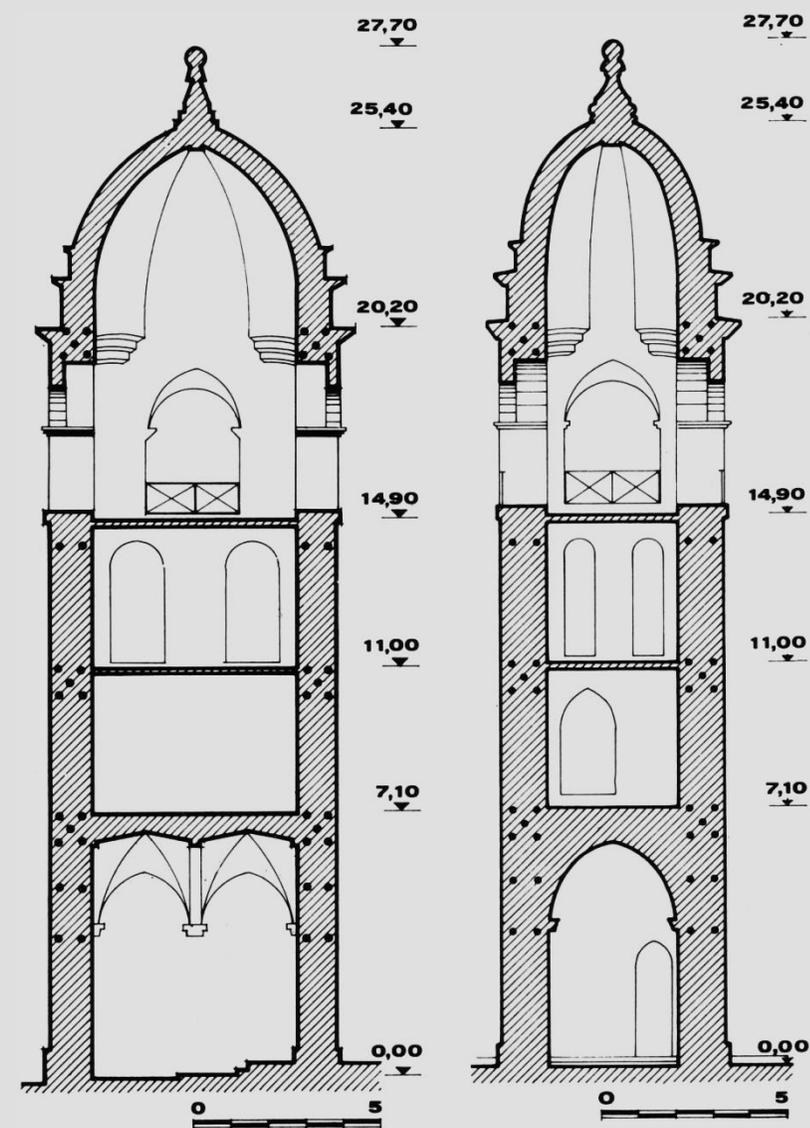
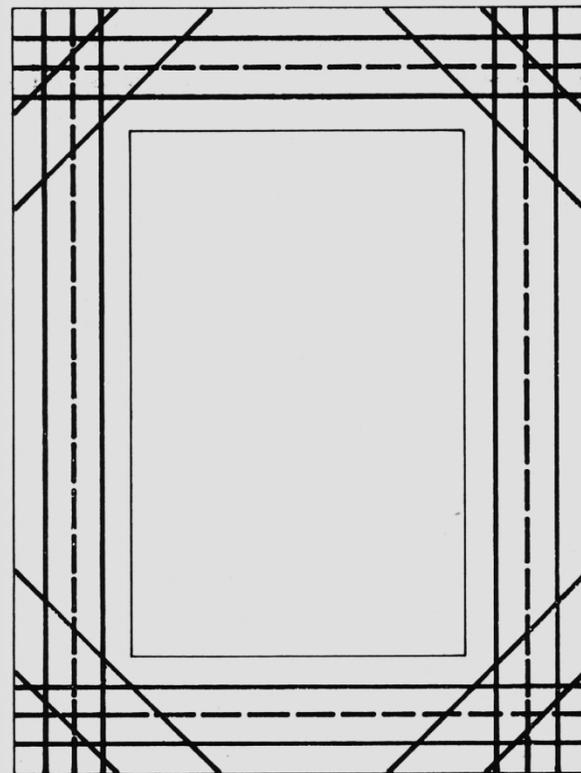
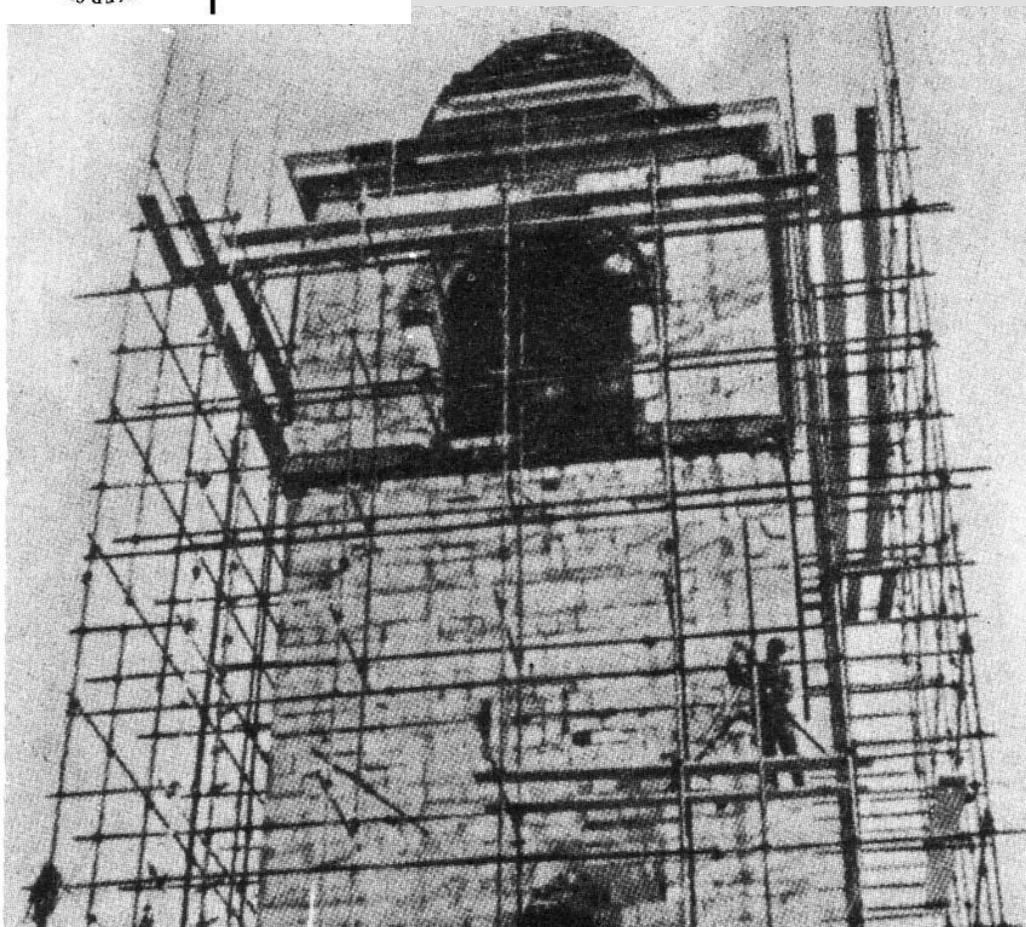
Il monumento si presentava con vari dissesti nelle murature di elevazione, originati da diverse cause (bombardamenti, vibrazioni delle campane, vetustà, danni sismici) ma il quadro più preoccupante risultava quello di un generale schiacciamento, particolarmente accentuato nelle murature sottostanti la cella campanaria.



Il distacco dei giunti verticali fra i conci e la presenza di numerose lesioni, ad andamento verticale, minacciavano imminenti pericoli di più gravi dissesti per pressoflessione.

Il provvedimento principale risultò di conseguenza quello di rigenerare le murature, per aumentarne la resistenza, e di collegare saldamente le quattro pareti della torre con delle **cerchiature nascoste**, ottenute, appunto, con **iniezioni armate**.

Nelle figure sono chiaramente visibili la disposizione dei fori, della lunghezza di circa 6 ed 8 metri, rispettivamente nelle pareti trasversali e longitudinali, e la relativa posizione delle armature metalliche e delle iniezioni di cemento formanti dei telai orizzontali di irrigidimento, che assolvono il compito di efficaci cerchiature.



Ancona. Il campanile della Cattedrale di S. Ciriaco. Veduta della torre durante i lavori di consolidamento. Schema planimetrico delle armature dei telai di irrigidimento. Sezione longitudinale e trasversale con l'indicazione della posizione delle armature dei nuovi telai di irrigidimento.



Solai con travi di ferro

L'utilizzazione delle **strutture profilate in acciaio, travi e pilastri** presenti nella classica manualistica dell'Ottocento¹, non proponeva ancora veri e propri **sistemi costruttivi intelaiati a travi e pilastri**, si riscontra piuttosto l'utilizzo di **pilastri in muratura** (di laterizi o di pietrame ben squadrate) o **colonne in ghisa** interni all'edificio, sui quali poggiavano **travature in ferro** che sostenevano i muri continui del piano superiore.

Tali **travature** poggiavano perciò sia sulle murature di telaio della fabbrica, sia sulle suddette pilastrate intermedie. Ponendo l'attenzione sulle **colonne in ghisa**, materiale di applicazione tipicamente ottocentesca, infatti le **colonne in ghisa** non compariranno più nei manuali di costruzioni del Novecento, come citato dal Formenti.



«Le travature che hanno una certa lunghezza e devono reggere a grandi carichi, si appoggiano nel mezzo, od in altri punti speciali, sopra sostegni, i quali convengono di materiale molto resistente, perché non abbiano a risultare di grossezza tale da arrecare ingombro nell'interno dei locali; questi sostegni poi, molte volte, si fanno colle loro forme entrare nella composizione architettonica delle parti sia interne che esterne degli edifici.

Per queste opere la ghisa è il materiale che solitamente viene preferito, sia per la sua resistenza alla compressione, come per la facilità colla quale viene colla fusione modellato, quantunque, segnatamente in Germania, ora si tenda a sostituirlo col ferro, per meglio garantirsi dai difetti che eventualmente i getti possono presentare».

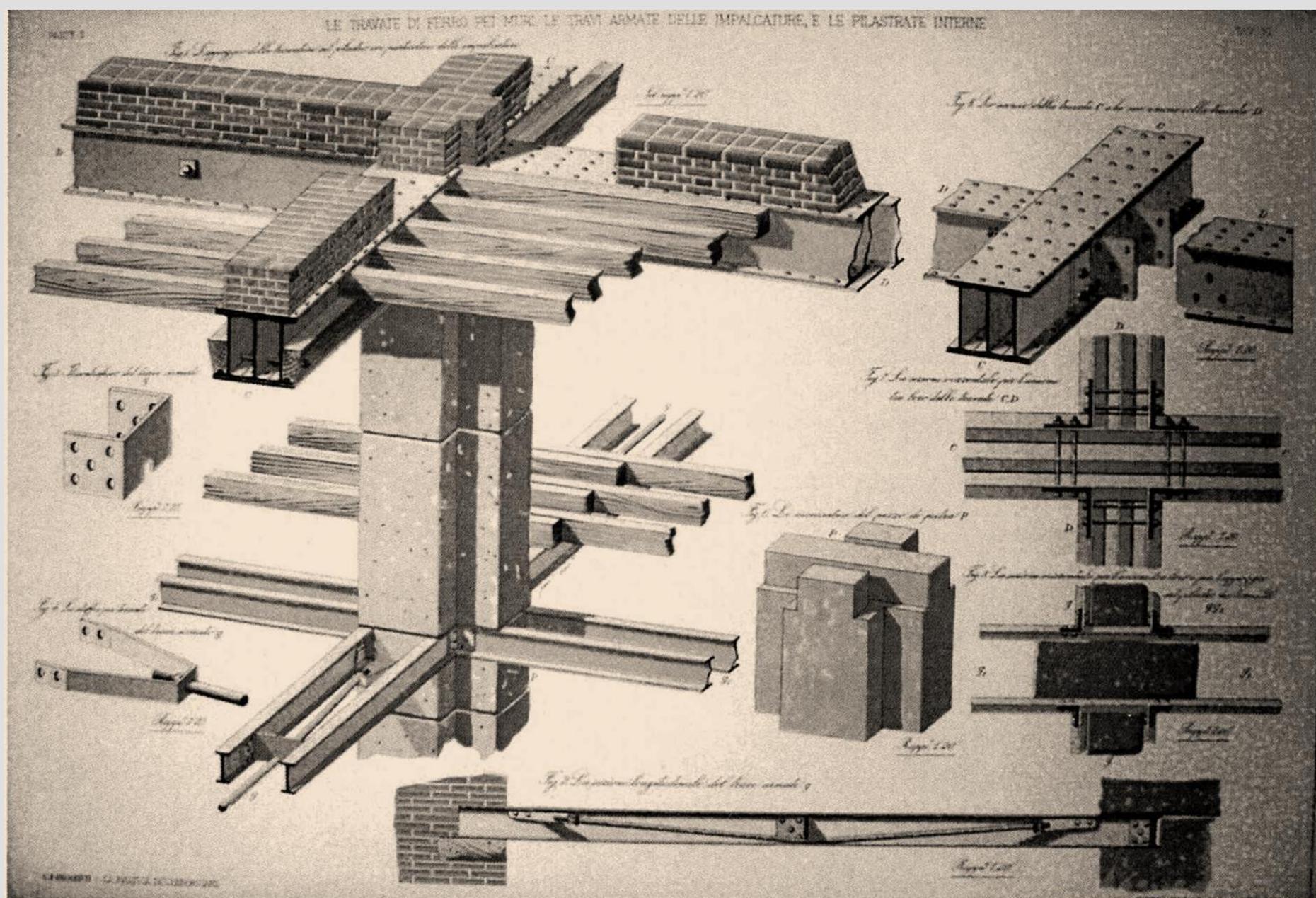


Tavola con i dettagli di profili in ferro per solai e pilastri interni al fabbricato, (da Formenti, 1893).



L'impiego delle **travi profilate d'acciaio** permise di ottenere, tra il finire del secolo XIX e i primi decenni del XX, una **tipologia di solai** che mostrava, rispetto a quelli di **legno**, significativi miglioramenti:

- per l'omogeneità e la qualità delle caratteristiche tecnologiche,
- per la praticità del montaggio, anche in relazione alla forma in sezione,
- per la possibilità di riduzione degli spessori e di realizzazione di elementi della forma e dimensioni desiderate.

Inoltre per le maggiori e più certe prestazioni tensionali.

In pratica questi **solai**, ritenuti vantaggiosi anche rispetto alle pesanti volte murarie, soppiantarono, quelli in **legno**, finché essi stessi non furono messi da parte con l'avvento del **cemento armato**.

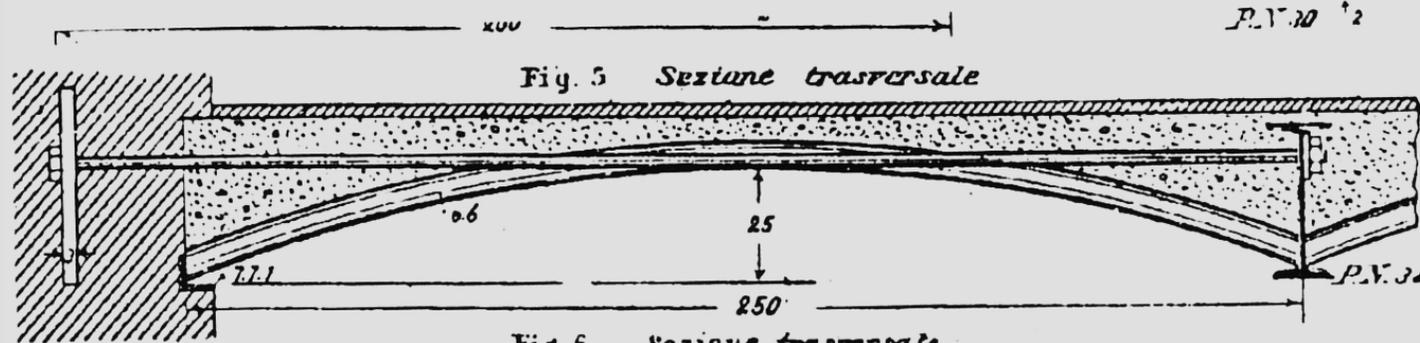


Fig. 5 Sezione trasversale

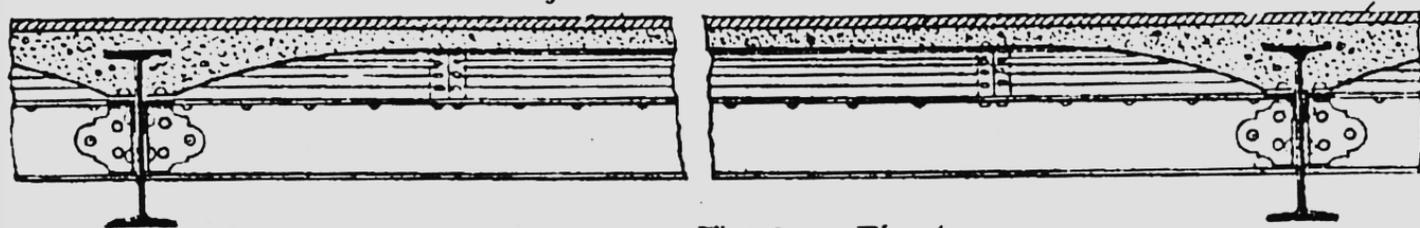


Fig. 6 Sezione trasversale

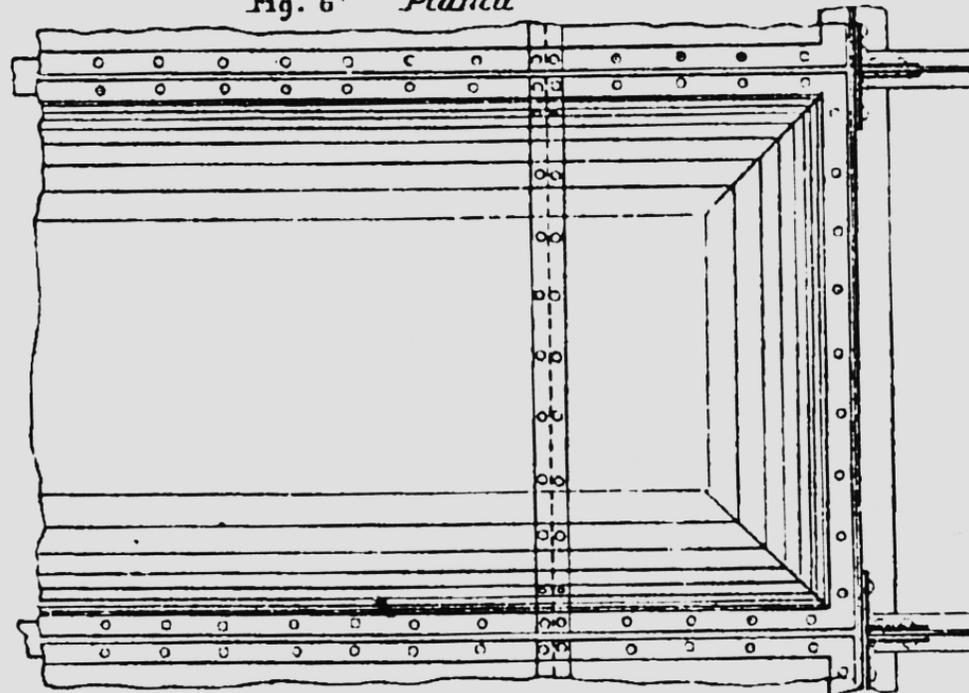


Fig. 6 Pianta

1:15 per le Fig. 5. e 7

1:15



Nei primi solai di ferro, per limitare l'impiego degli ancora costosi profili, si usava miscelare alle nuove tecnologie quelle murarie tradizionali. Questo solaio con cassettoni risolti con voltine a padiglione in muratura di 2,5 m di corda, costituisce un esempio di queste prime sperimentazioni (da Breyman, 1927 [1849]).



La possibilità di comporre il **solaio** con elementi lineari, magari saldabili o facilmente imbullonabili, per ottenere travature di lunghezza maggiore, con necessità di pochi appoggi e con la possibilità, spesso, di utilizzare quelli lasciati dai vecchi solai di legno, unita ai generali vantaggi già ricordati, ne consigliò spesso l'uso negli edifici storici.

Il **Formenti** presentava, nel suo manuale, i solai in legno, i **solai in ferro** e i **solai a struttura mista ferro-legno**. Le impalcature di ferro erano ottenute con travi a sezione a doppio T, che venivano appoggiati sulle murature maestre delle fabbriche, completando la struttura con legnami o con volticciole di muratura; «queste impalcature, anche se più pesanti e costose di quelle in legno, dovrebbero essere ognora preferite a queste ultime, segnatamente per la loro maggiore resistenza».



I **profili metallici** avevano un'altezza compresa tra **100 e 220 mm** e presentavano una lieve monta verso l'alto, la cui saetta era di circa 5 mm per ciascun metro di corda; essa serviva a dare una maggiore rigidità alla struttura e per resistere meglio agli sforzi di flessione.

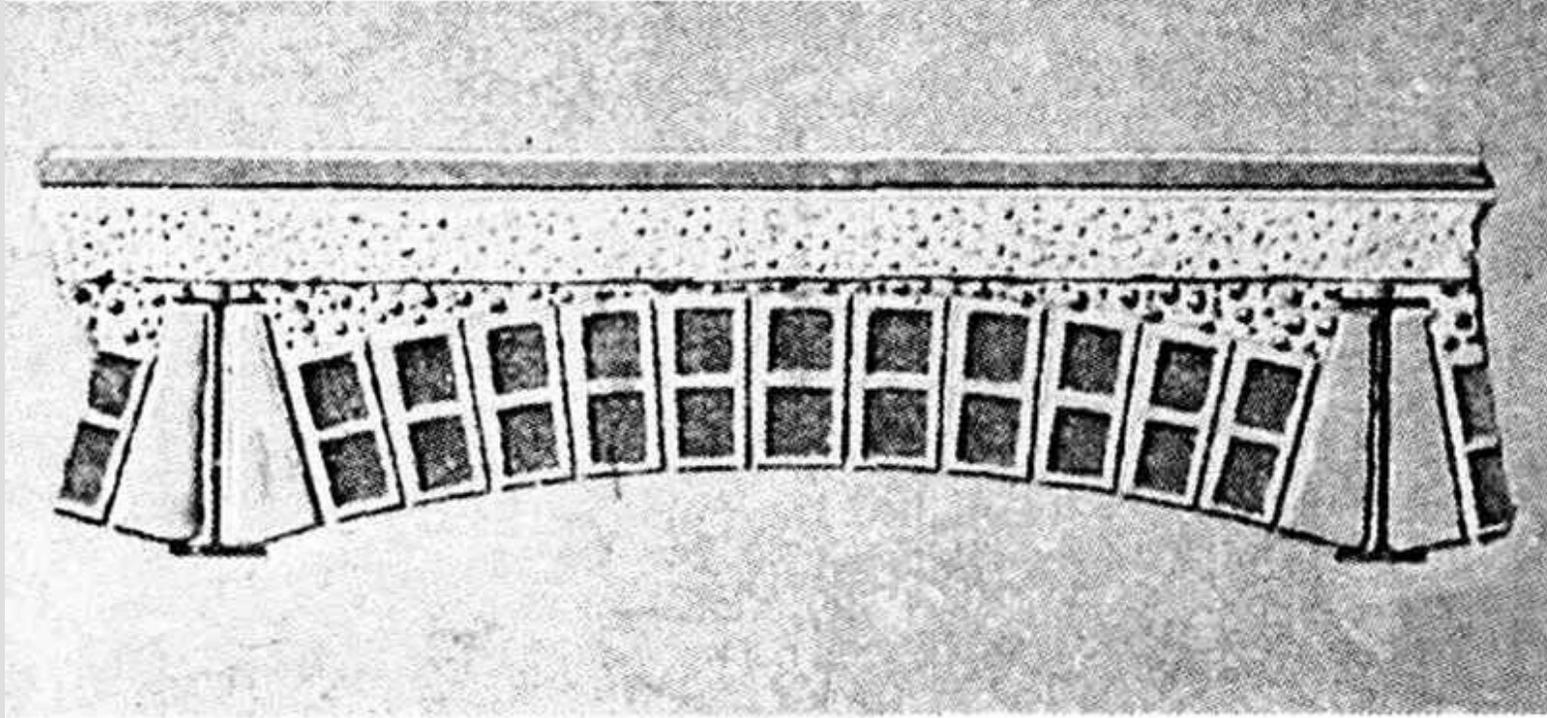
La distanza tra questi profili variava solitamente da m 0,60 a 1, per le impalcature con voltine, e da m 1 a 1,50 per quelle completate con legnami.

Per ottenere impalcature molto robuste e tali da resistere anche all'umidità, le **travi in ferro** si completavano con **voltine in mattoni, cilindriche ribassate**, impiegando a volte i **mattoni cavi**, per renderle meno **pesanti**. All'imposta di queste voltine erano spesso previsti laterizi, opportunamente tagliati, per migliorare l'appoggio della volta

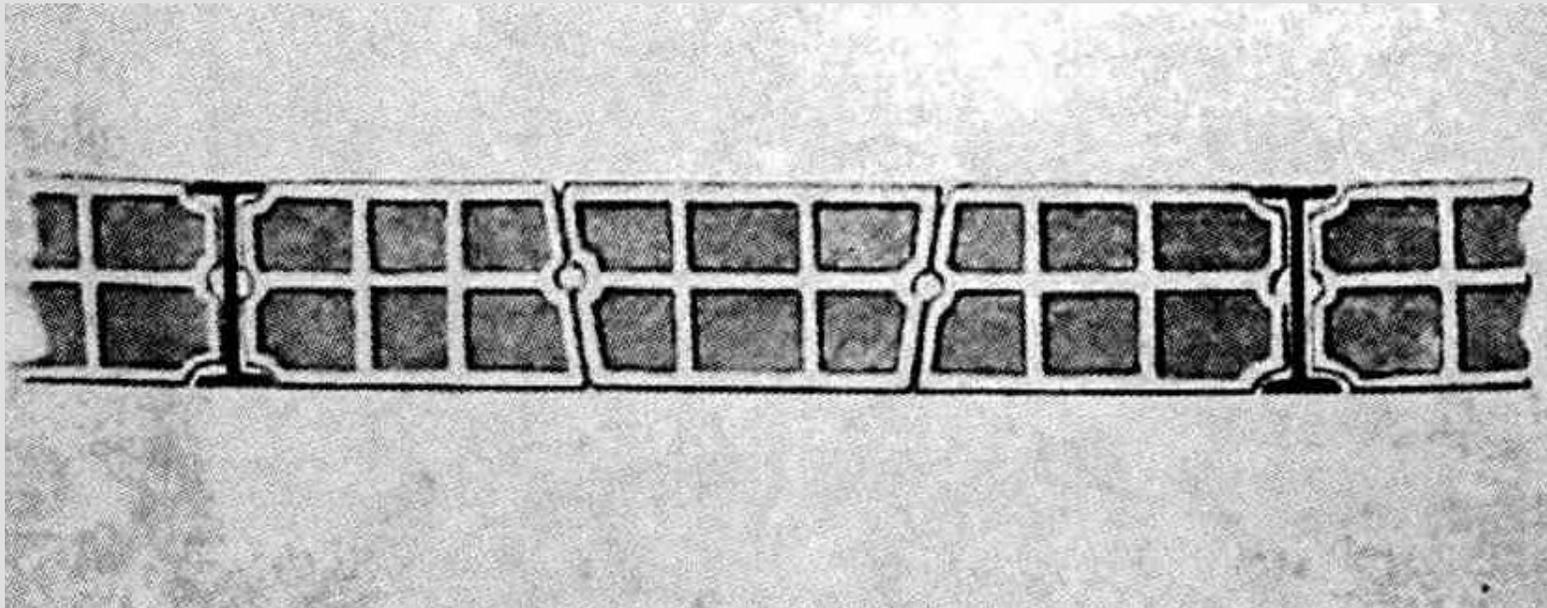


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA



Sezione verticale di
una impalcatura in
ferro con voltine ad
una testa di mattoni
cavi o forati.



Solaio con volterrane
piatte, di altezza
uguale o poco minore
di quella dei profili di
ferro.



Non è ben chiaro quanto fosse praticata in Italia la tecnica *longarine* e *volterrane* per gli orizzontamenti poiché i pareri dei manualisti di fine Ottocento in proposito erano discordanti, nonostante i vantaggi prestazionali. Probabilmente a limitare la diffusione dell'impalcato in travi di ferro, in Italia, era stato soprattutto il maggior costo.

Inoltre, data la maggiore resistenza delle travi metalliche, si otteneva la riduzione dello spessore dei solai e, quindi, dell'altezza complessiva dell'edificio a parità di volume abitabile.

Con luci fra i supporti di **5-5,5 m** e **carico accidentale di 500 kg/m²** si usava contenere entro **22-25 cm** l'intero spessore dell'orizzontamento, comprensivo di solaio, pavimento e soffittatura.

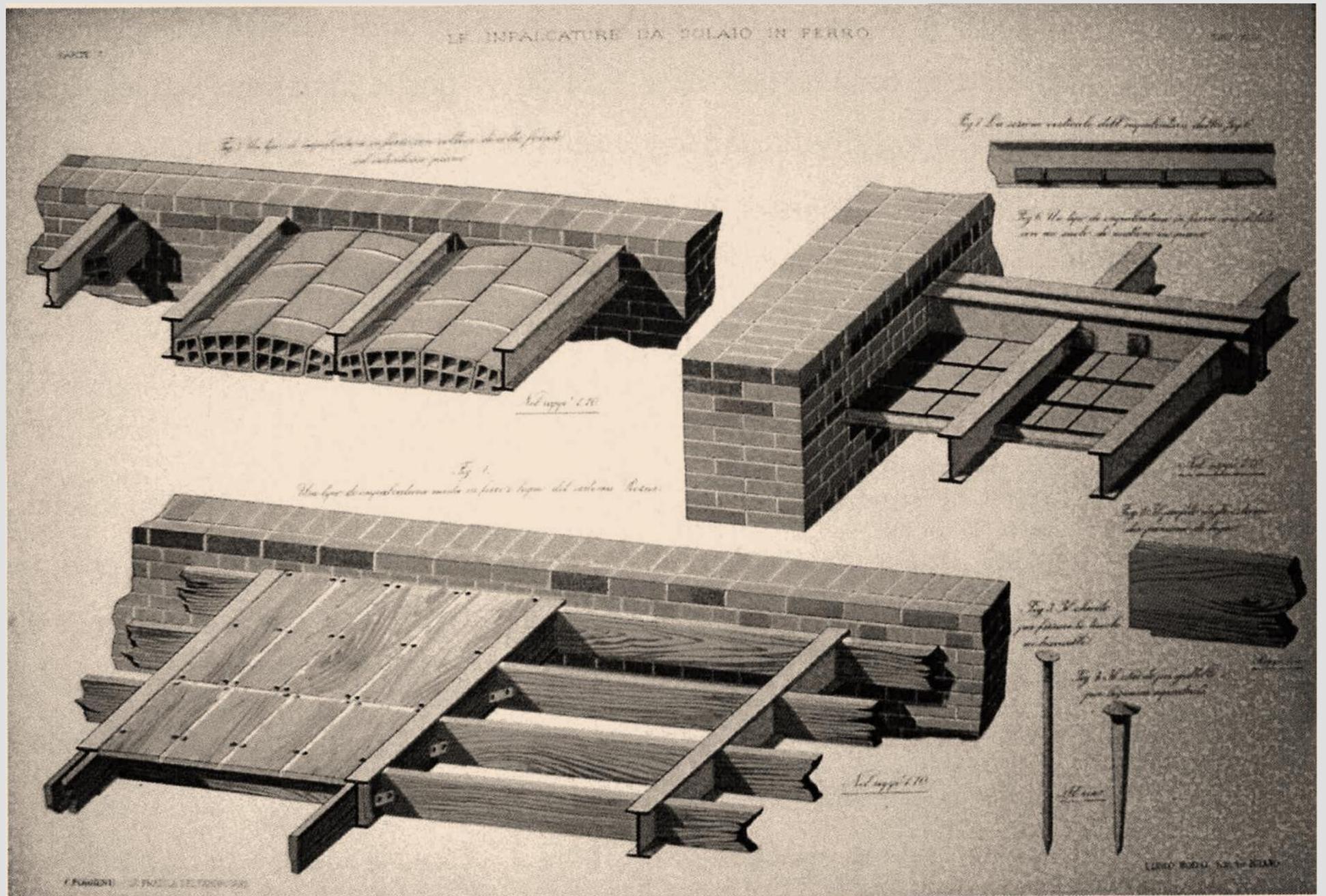


Tavola comprendente varie tipologie costruttive miste, (da C. FORMENTI, 1893).

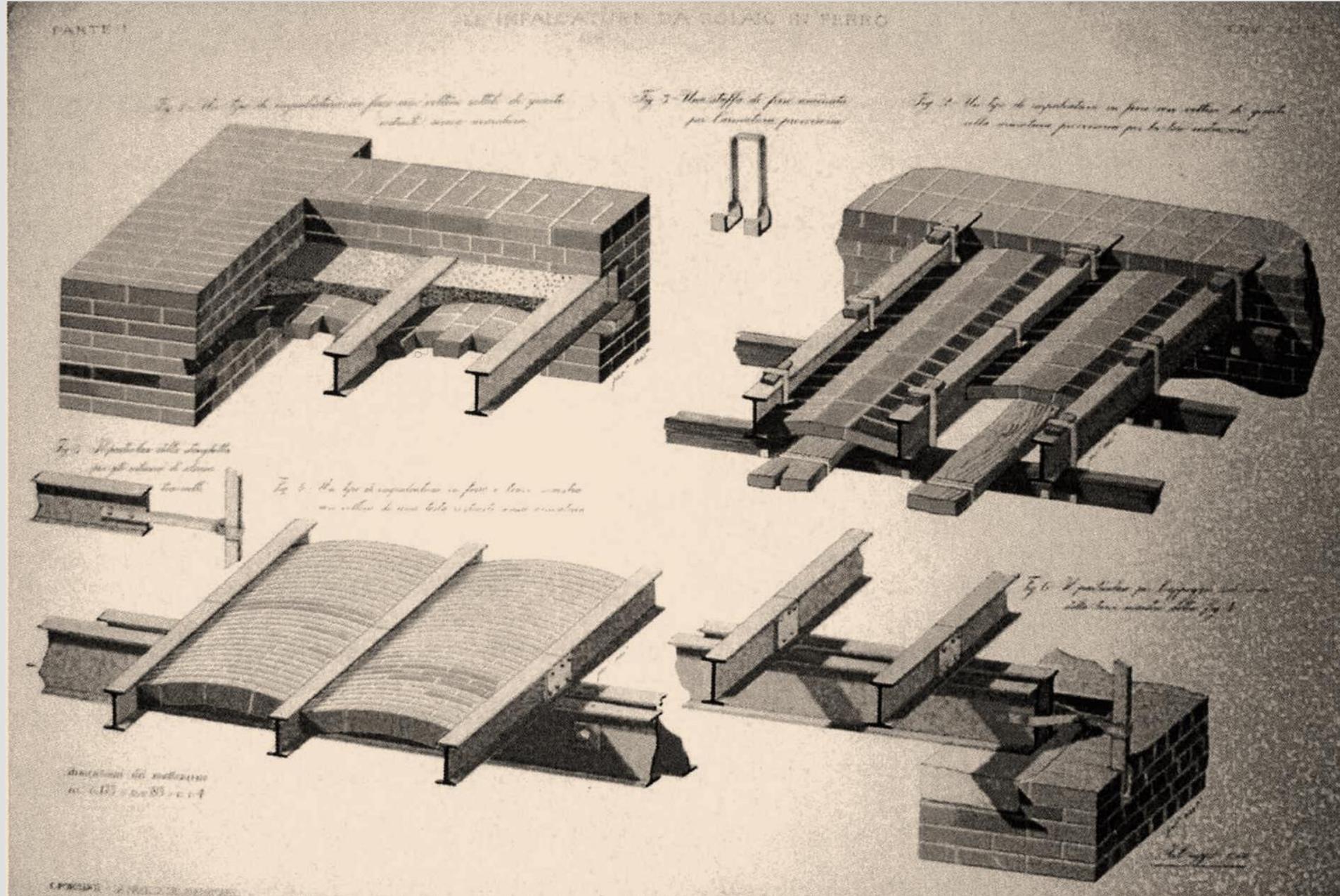


Tavola comprendente altre comuni tipologie innovative per la costruzione di solai in ferro, (da C. FORMENTI, 1893).



Solo a partire dal 1887, cioè da quando venne deciso di raddoppiare il dazio sugli acciai di importazione, che in Italia cominciò ad organizzarsi quella che si può definire un'industria nazionale; si segnala a questo proposito l'attività degli stabilimenti toscani di Piombino e Follonica.

Logica conseguenza di questa situazione fu che negli ultimi decenni dell'Ottocento in Italia le attività a carattere speculativo iniziarono ad investire nel settore meccanico metallurgico e soprattutto in quello delle costruzioni edilizie.

Tra le ragioni di questo ritardo pesa l'assenza di **combustibili adeguati** e di **tecniche evolute**, fattori invece presenti in altri paesi europei come la Francia, l'Inghilterra, la Germania.



Fu proprio da questo momento che prese avvio lo sviluppo delle acciaierie di Terni, fortemente favorito dalle commesse statali relative al campo ferroviario e a quello militare.

Fino al 1902, la siderurgia italiana otteneva l'acciaio dalla rifusione dei rottami, in quell'anno la gestione delle miniere dell'Isola d'Elba, che fino a quel momento erano state prevalentemente esportatrici, fu concessa a titolo quasi gratuito alla Società Siderurgica di Savona, alla quale venne imposto il divieto dell'esportazione della materia prima. Come prima diretta conseguenza, venne praticamente raddoppiata la produzione di ghisa degli altiforni di Piombino*.

*Cfr. S. ORTALI, Tecniche innovative nella prima metà del Novecento. Strutture in conglomerato cementizio armato e solai in laterizio e ferro, Tesi di Laurea, relatore Prof. S. VAN RIEL, correlatori Prof. N. LOMBARDINI e Arch. A. RIDOLFI, discussa nel luglio 2007 presso la Facoltà di Architettura di Firenze.



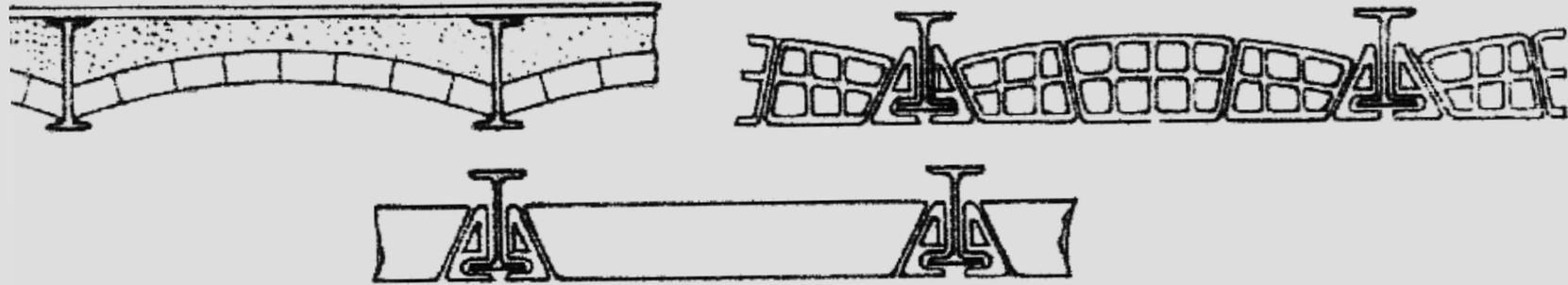
Sul finire del secolo e per i primi anni del Novecento al **ferro saldato** e alla **ghisa** subentrò poi l'**acciaio laminato** a caldo prima, successivamente a freddo in profili di diverse forme e dimensioni.

Nel frattempo era già molto diffusa la costruzione dei solai con **travi in ferro a doppio T**, sulle ali inferiori delle quali venivano appoggiate **voltine di laterizio, pieni e forati**.

Tra i solai con travi in ferro ritroviamo ancora quelli misti in ferri e legno.

Erano composti da **travi maestre in profilati a doppio T**, sulle cui ali si appoggiano i **travicelli di legno**.

VOLAI IN FERRO

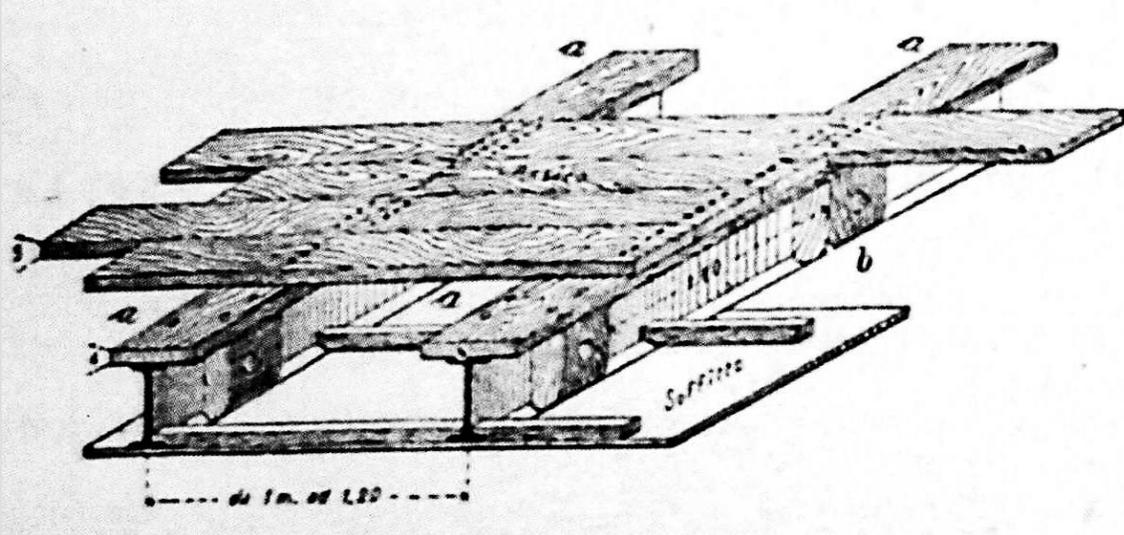


TRAVETTI. Travetti a I distanti da centro a centro 0,70 + 1 m. Impostamento nel muro 0,25 ÷ 0,30 m. La seguente tabella dà le portate e le distanze a cui sono applicabili per $K = 10 \text{ Kg. per mm}^2$ i travetti a I di 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 cm di altezza della tabella

TABELLA PER LE DIMENSIONI DEI TRAVI A DOPPIO I PER VARIE PORTATE

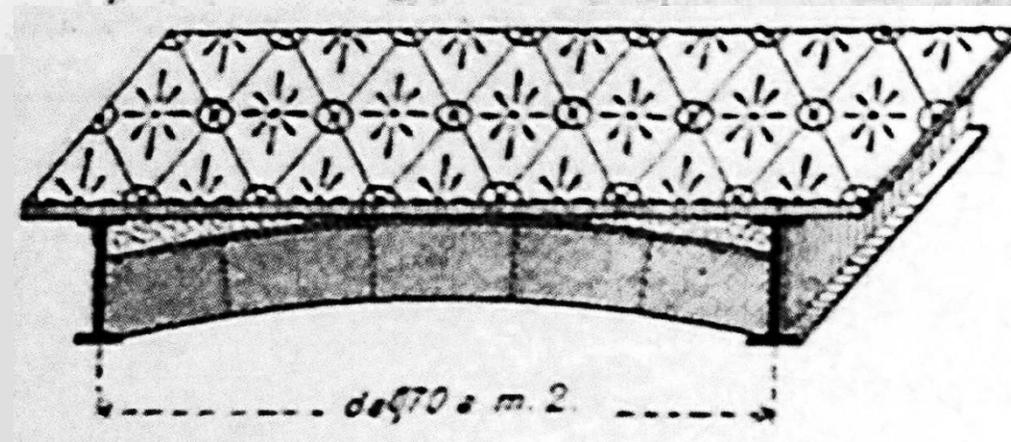
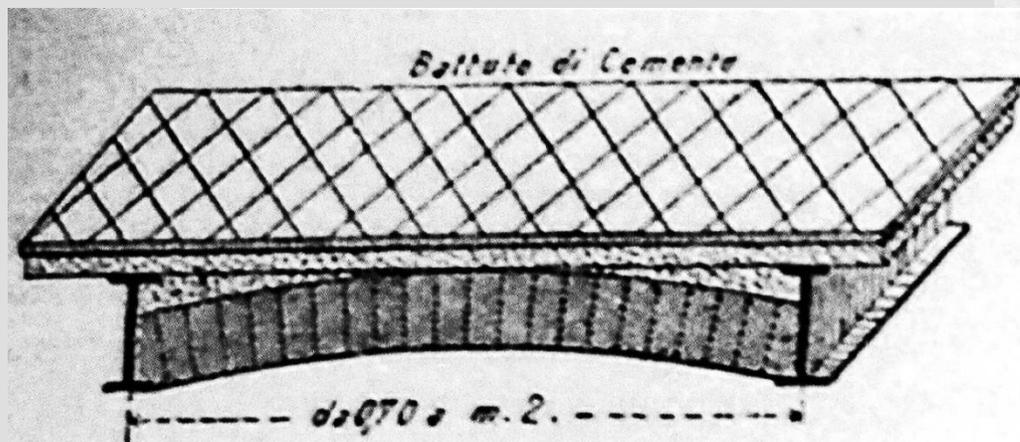
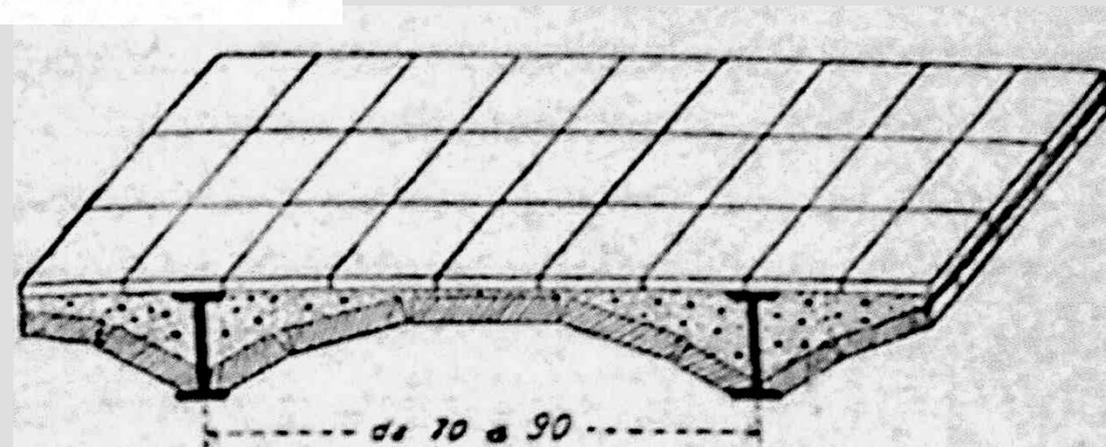
PORTATA	ALTEZZE E DISTANZE DA CENTRO A CENTRO DEI TRAVETTI A I PER UN CARICO TOTALE AL m^2 DI Kg								
	300		400		500		600		
	ALT.	DIST.	ALT.	DIST.	ALT.	DIST.	ALT.	DIST.	
m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
2,50	0,08	0,85	0,10	0,95	0,12	0,97	0,12	0,81	
3	0,10	0,86	0,12	0,85	0,14	1,15	0,14	0,96	
3,50	0,12	0,83	0,14	1,06	0,14	0,85	0,16	0,96	
4	0,14	1,08	0,14	0,81	0,16	0,89	0,18	1,01	
4,50	0,14	0,85	0,16	0,88	0,18	0,96	0,18	0,80	
5	0,16	0,95	0,18	0,97	0,18	0,78	0,20	0,79	
5,50	0,18	1,07	0,18	0,80	0,20	0,78	0,22	0,81	
6	0,18	0,90	0,20	0,82	0,22	0,81	0,22	0,68	
6,50	0,20	0,95	0,22	0,87	0,22	0,69	0,22	0,58	
7	0,22	1,00	0,22	0,75	0,22	0,60			
7,50	0,22	0,87	0,22	0,65	-	-			
8	0,22	0,76	0,22	0,57	-	-			

Tabella tratta da un manuale d'epoca che riporta i principali dimensionamento delle travi a doppio T disponibili nel periodo, fine Ottocento. In alto sono illustrate le tipologie costruttive più comuni.



Solaio in ferro e legno. (da E. Marullier, *Guida pratica per la costruzione degli edifici*, 1918).

Varie tipologie costruttive di solai a volticciole, (da E. Marullier, 1918).





Il riempimento della **voltina**, cioè lo spazio tra la voltina e lo “spianamento”, era in calcestruzzo di buona malta idraulica, calce dolce e pozzolana.

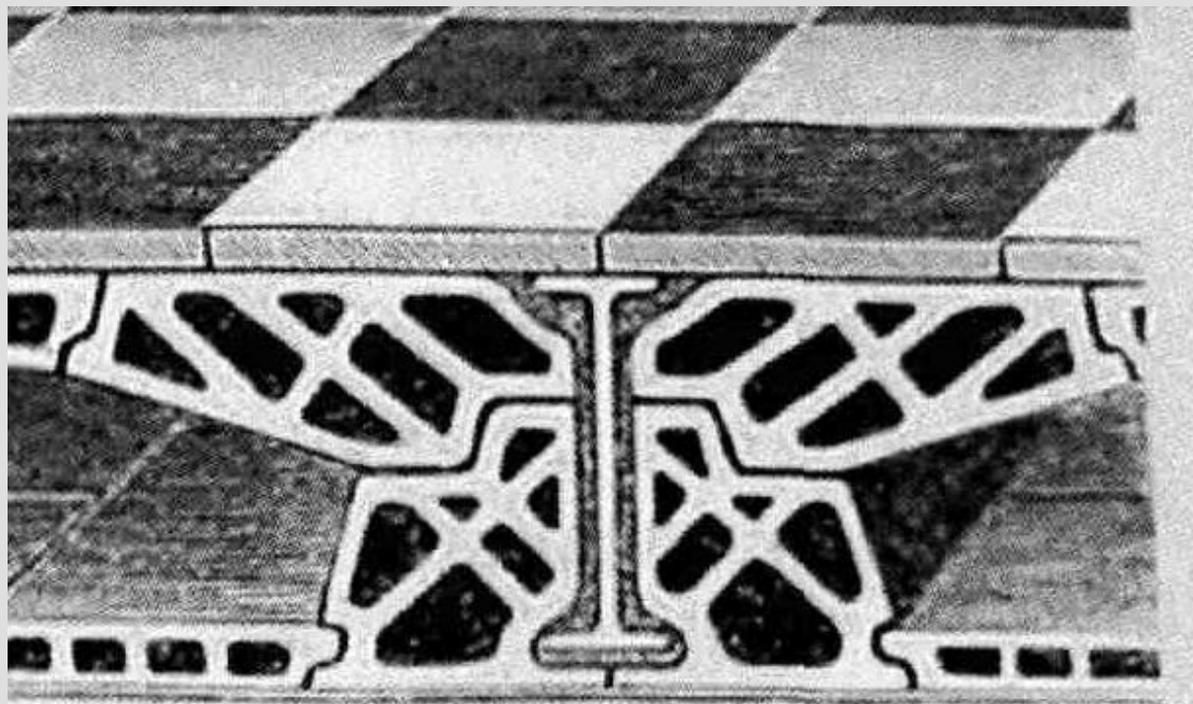
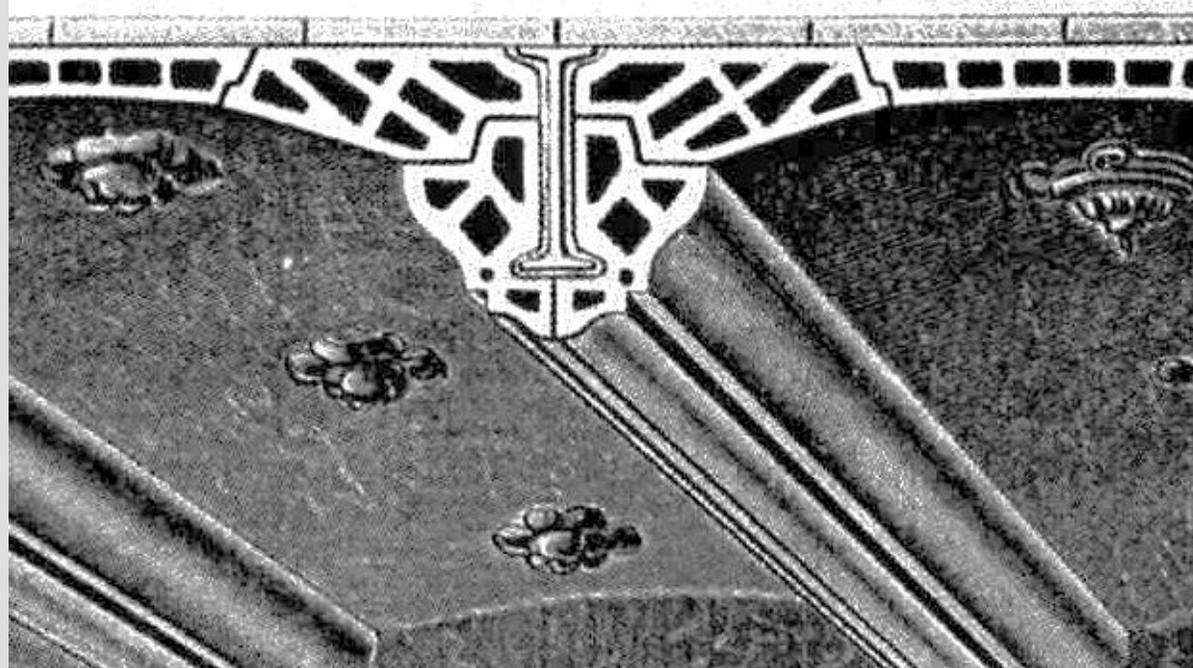
Quando si esigeva una **maggiore leggerezza**, ai laterizi pieni venivano sostituiti quelli forati, adottandosi per le imposte una fila di elementi pieni opportunamente smussati, tecnica già presente a fine Ottocento, a cui venivano preferiti i cosiddetti “**copriferri**”, pezzi speciali forati a forma prestabilita.

Le voltine non superavano, col loro estradosso, l'ala superiore delle putrelle ed avere il materiale ordinato secondo le due principali direzioni. Le travi dovevano appoggiare almeno per 25 cm sui muri e l'impalcato si completava con un estradosso in piano.

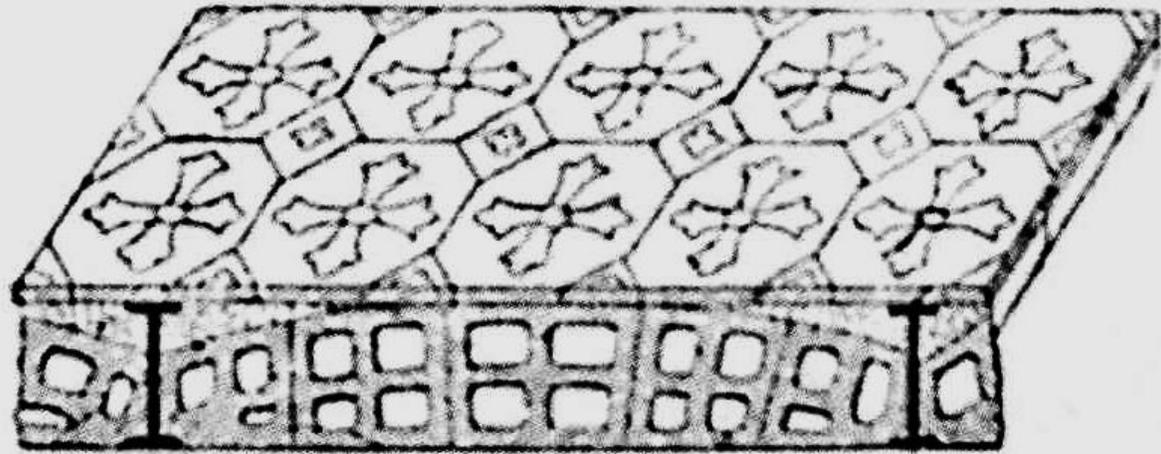


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

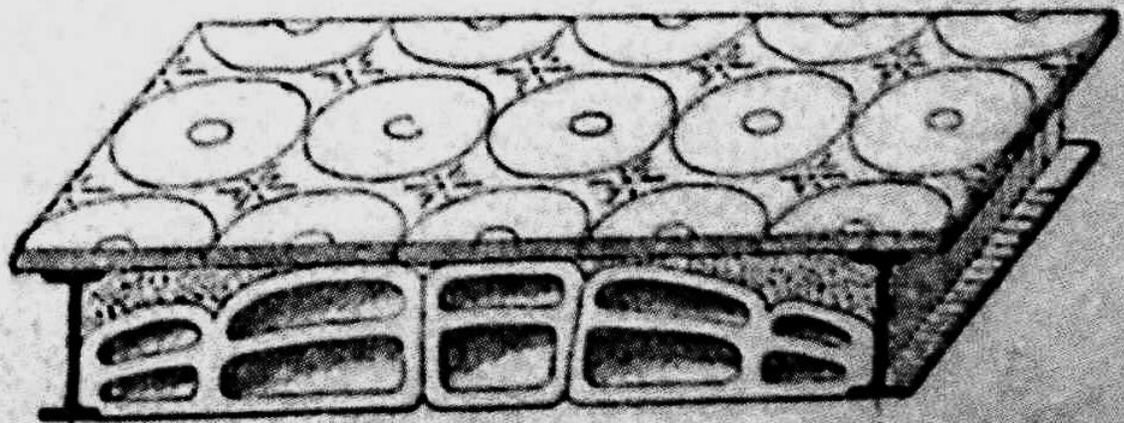
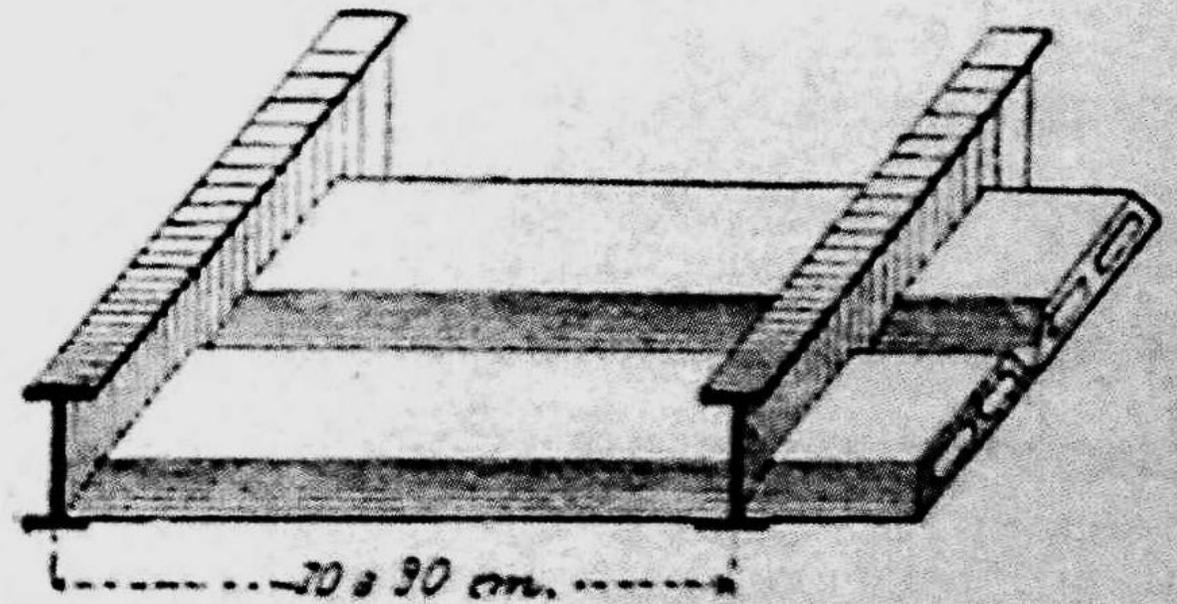
DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA



Due tipologie di copriferro
che componevano il solaio
del Sistema Mantel. (dalla
rivista "Il Cemento", 1909).



da 70 a 90



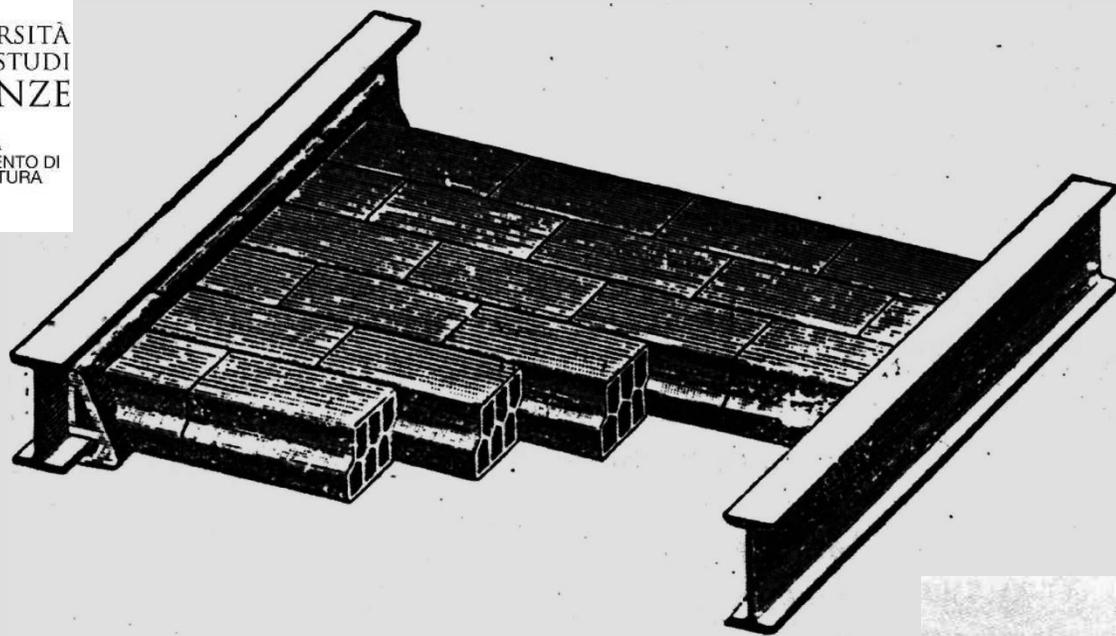
da 70 a 90 cent.

Solai ad intradosso piano
ottenuto con volterrane di
laterizi forati o tavelloni piani.
(da E. MARULLIER, 1918).



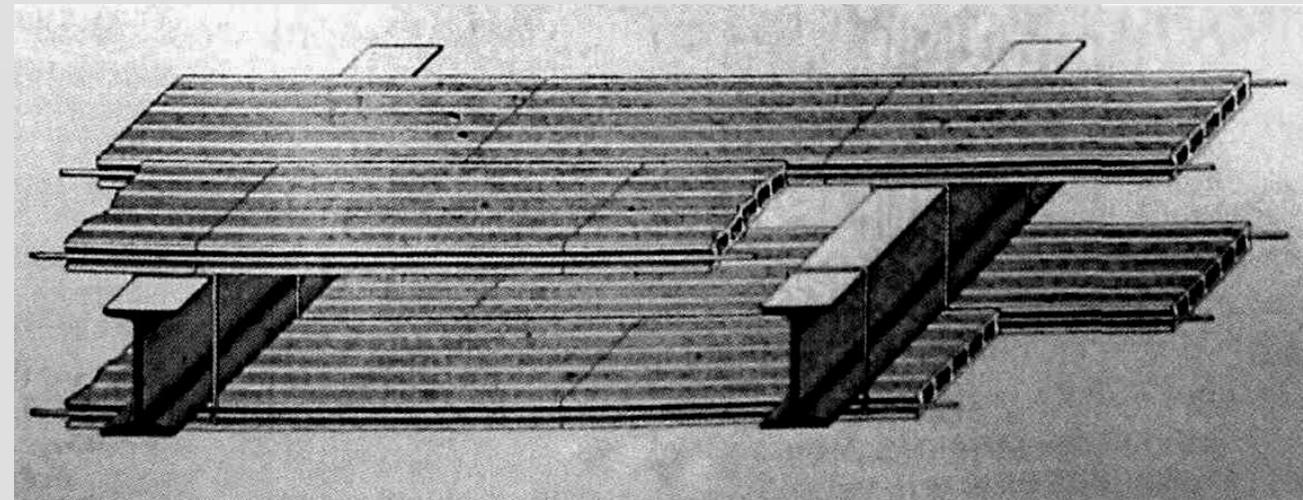
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

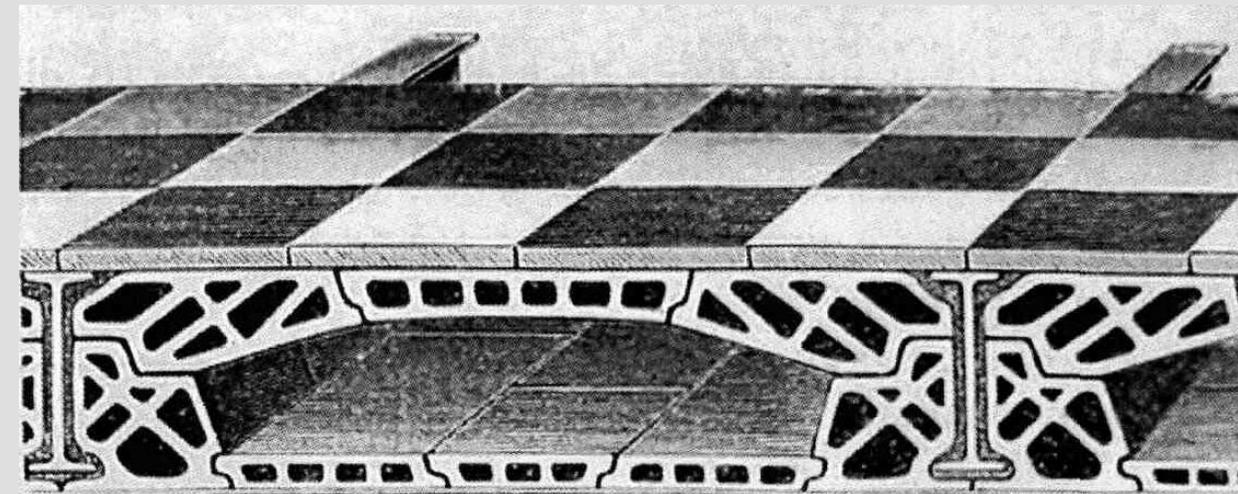


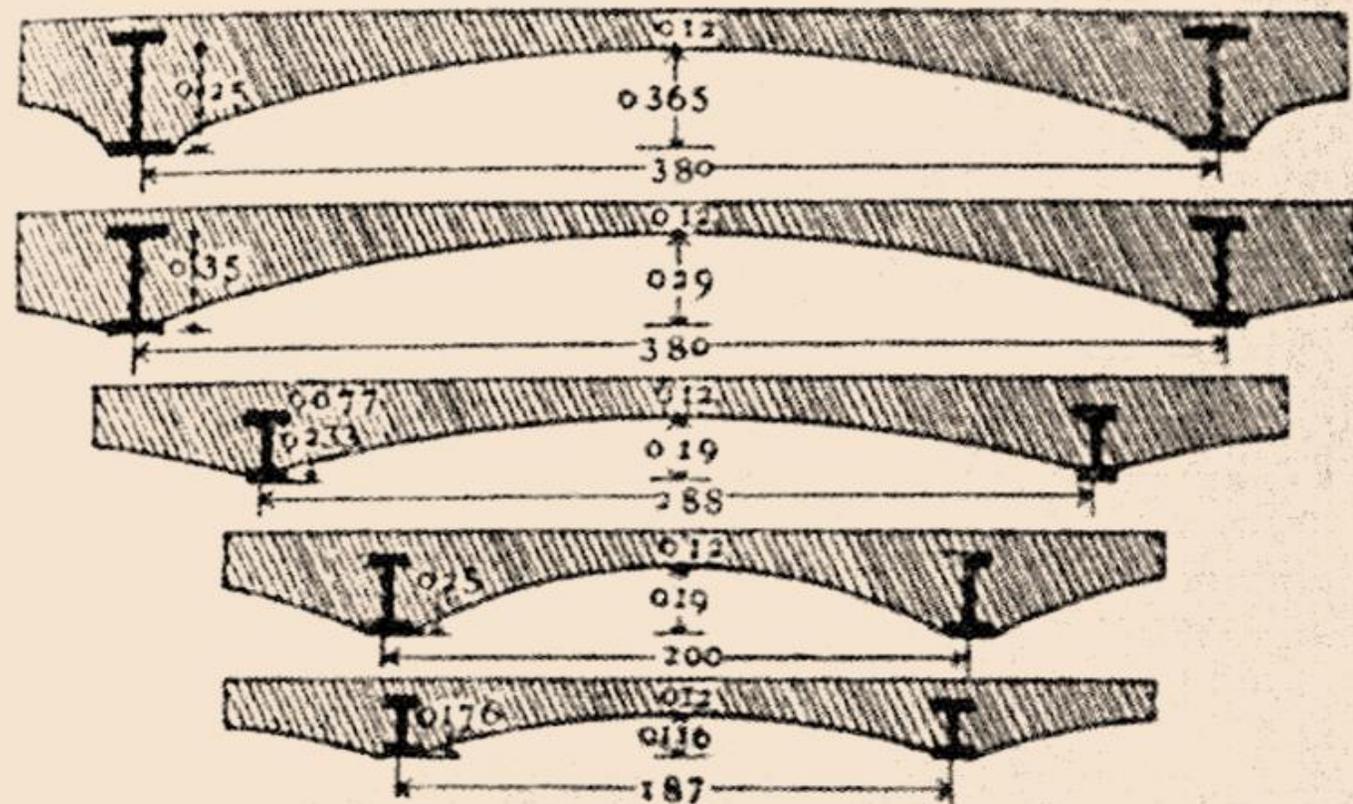
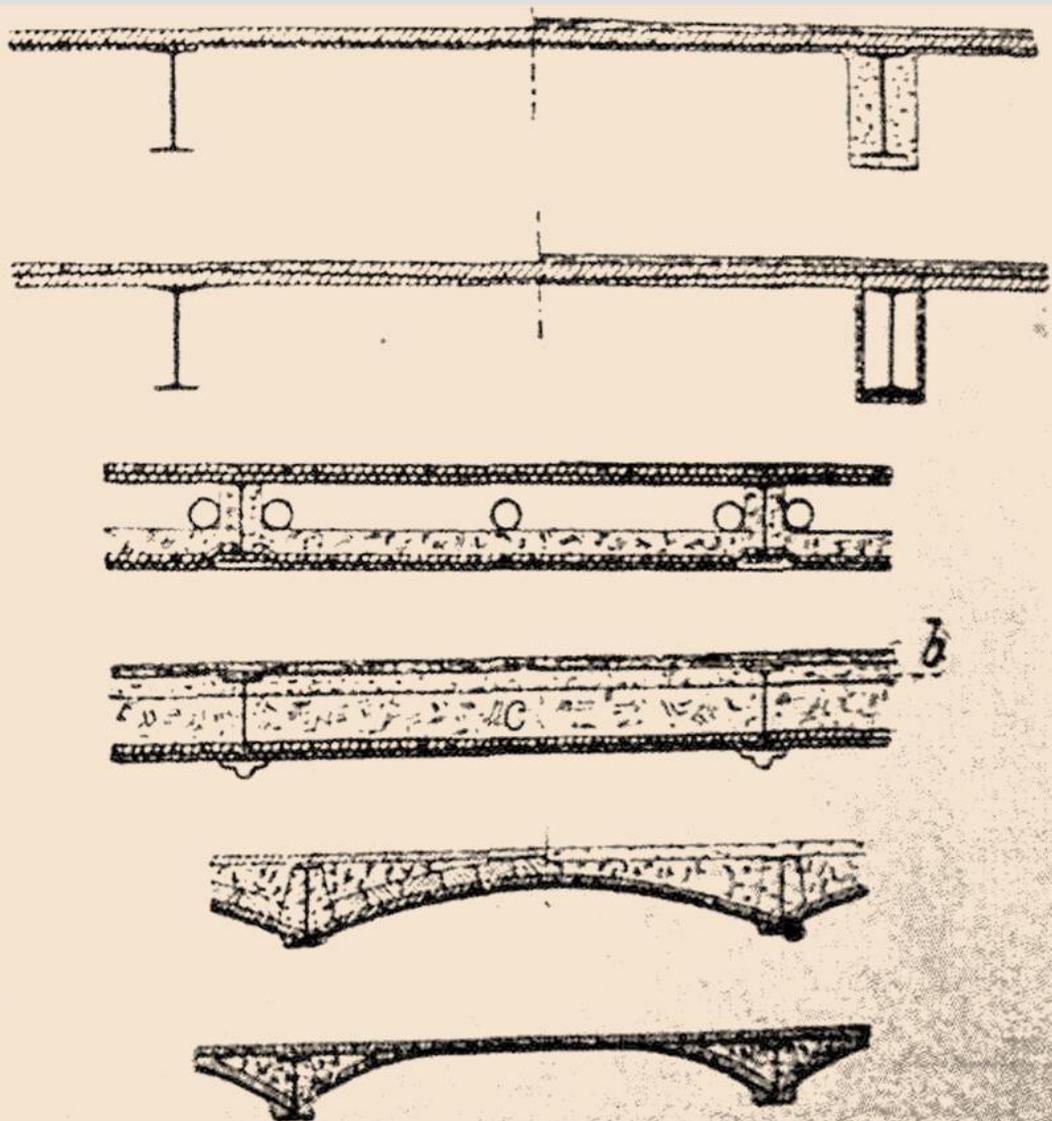
Solaio Foerster, di origine tedesca. (da D. DONGHI, *Manuale dell'architetto*, 1925).

Impalcato Sistema Perret comprensivo di plafone Perret. (dalla rivista "Il Cemento", 1909).



Impalcato di solaio piano Sistema Mantel. (dalla rivista "Il Cemento", 1909).





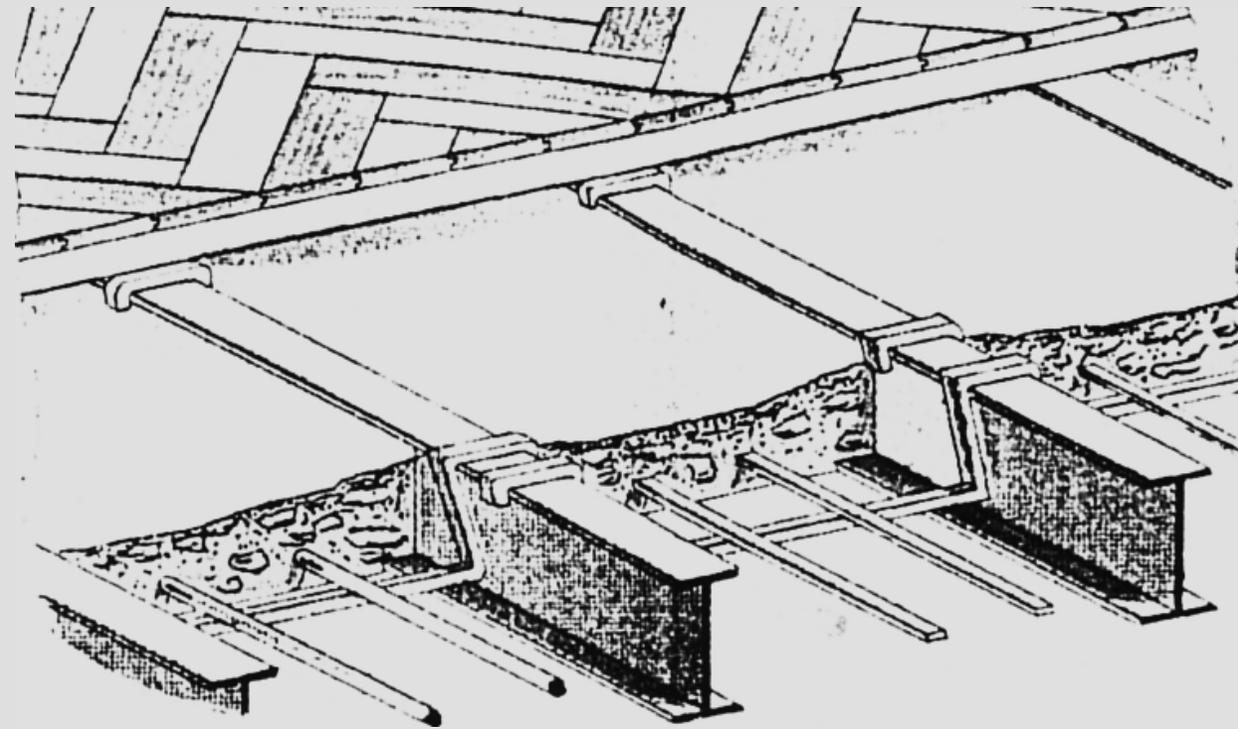
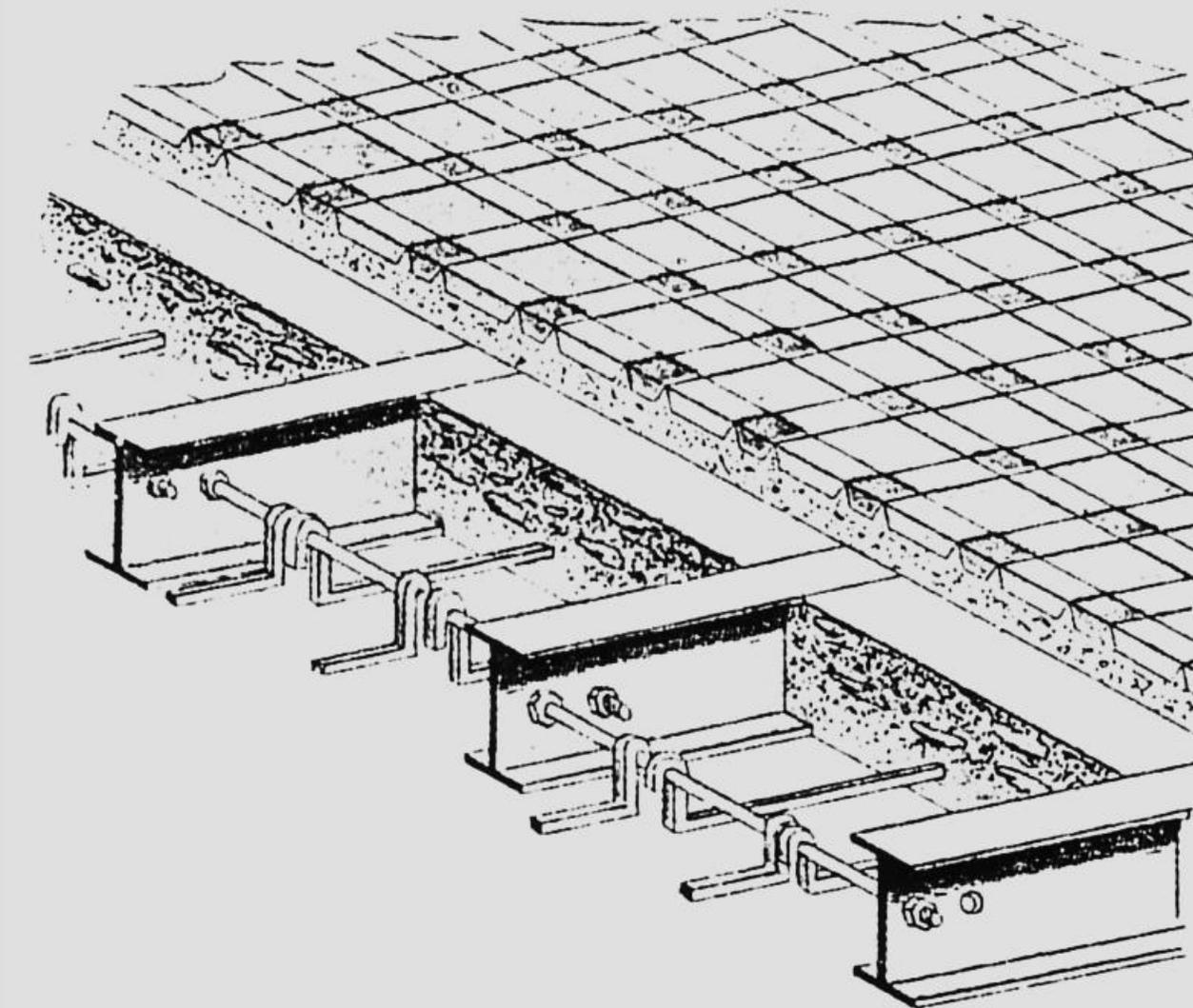
Solai in "ferro e cemento", con intradosso curvo di calcestruzzo gettato in opera a) e piano b). (da G. VACCHELLI, *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*, 1906).



La forma più abituale per queste sezioni è quella a **doppio T** o a **T rovescio**, si trovano peraltro dei **profili a doppio T ma asimmetrici** (l'ala inferiore maggiore), **rotaie da ferrovia** riutilizzate e **profilati a C**, inoltre si usavano, talvolta, sezioni composte da più profilati o da ferri piatti.

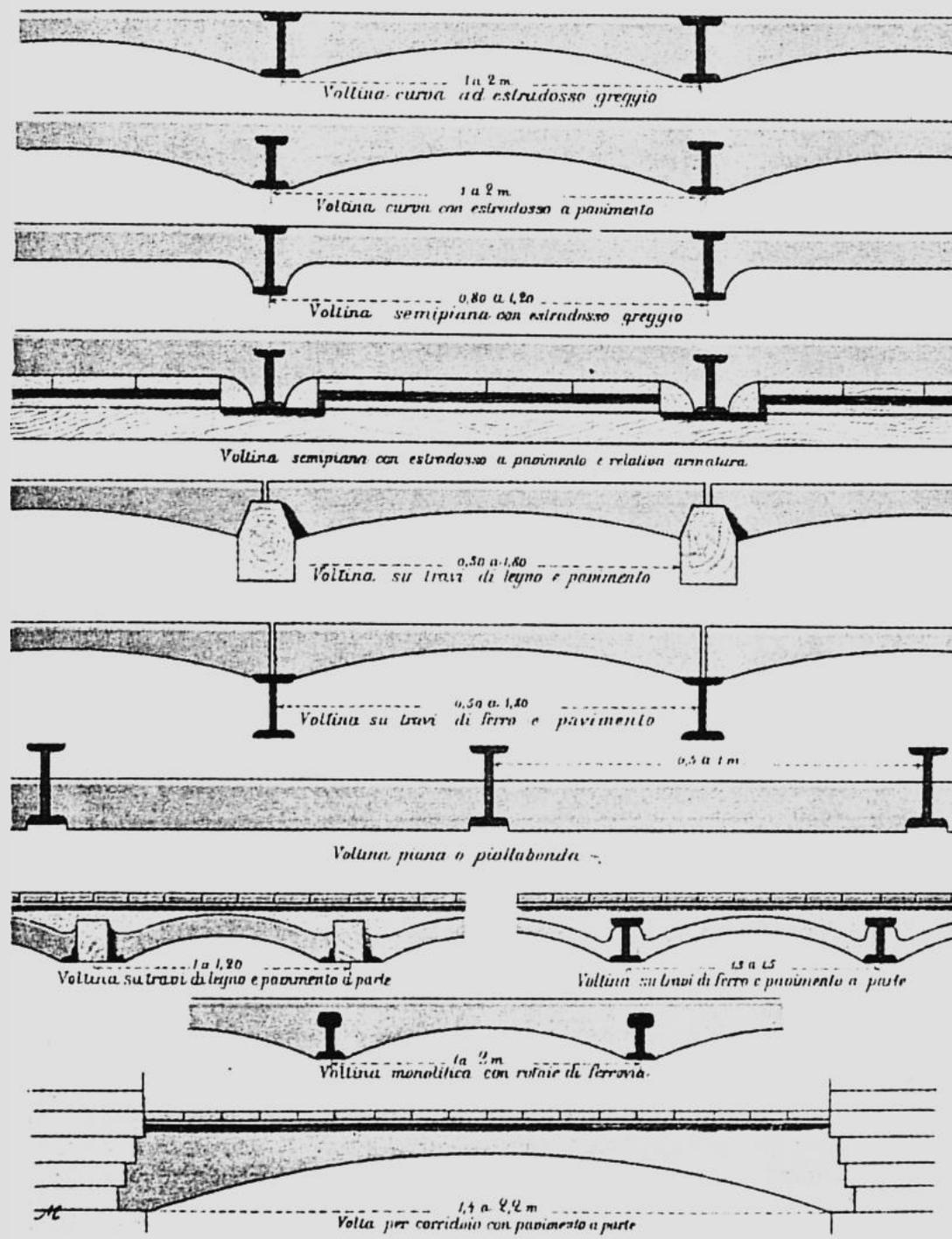
Le **voltine a botte**, realizzate con laterizi posati di piatto in foglio, dette **volterrane**, costituiscono frequentemente la tessitura intermedia fra le travi; sono volte sottili che con il riempimento, il quale distribuisce i carichi, divengono perfettamente idonee per le luci generalmente non superiori al metro o al metro e 20 centimetri (in qualche caso anche 1,5-1,8 m).

L'imposta delle **voltine** si realizzava sull'estradosso dell'ala inferiore del profilato e la **monta (freccia)**, per arco ribassato o ellittico, era generalmente di circa **5 cm** e comunque tra **1/10** e **1/15 della corda**.



Altro esempio di solaio "alla francese" con travi di ferro e intercampo saturato con getto di calcestruzzo armato con ferri piatti. Si tratta di prototipi arcaici di solai in calcestruzzo armato, della seconda metà dell'Ottocento.

Esempio di solaio detto "alla francese" con travi di ferro e intercampo strutturato con getto di calcestruzzo armato con ferri piatti (da Misuraca , 1916).



Nella figura, alcuni esempi con zona intermedia tra le travi strutturata con voltine, tavelloni o getti armati.

Tra i solai se ne notano alcuni con le travi di legno sagomate per sostenere l'impostazione delle voltine.

Si tratta di un particolare connubio tra elementi rigidi, quali le parti murarie, ed elementi elastici e fortemente deformabili come le travi di ferro o legno.

Questi ultimi erano spesso sottodimensionati in base a criteri di sicurezza meno rassicuranti di quelli attuali. Ciò, insieme agli sbalzi termici e a seguito delle deformazioni viscosi, comportava l'insorgere di avvallamenti dei pavimento e lesioni all'intradosso, (da Misuraca, 1916).

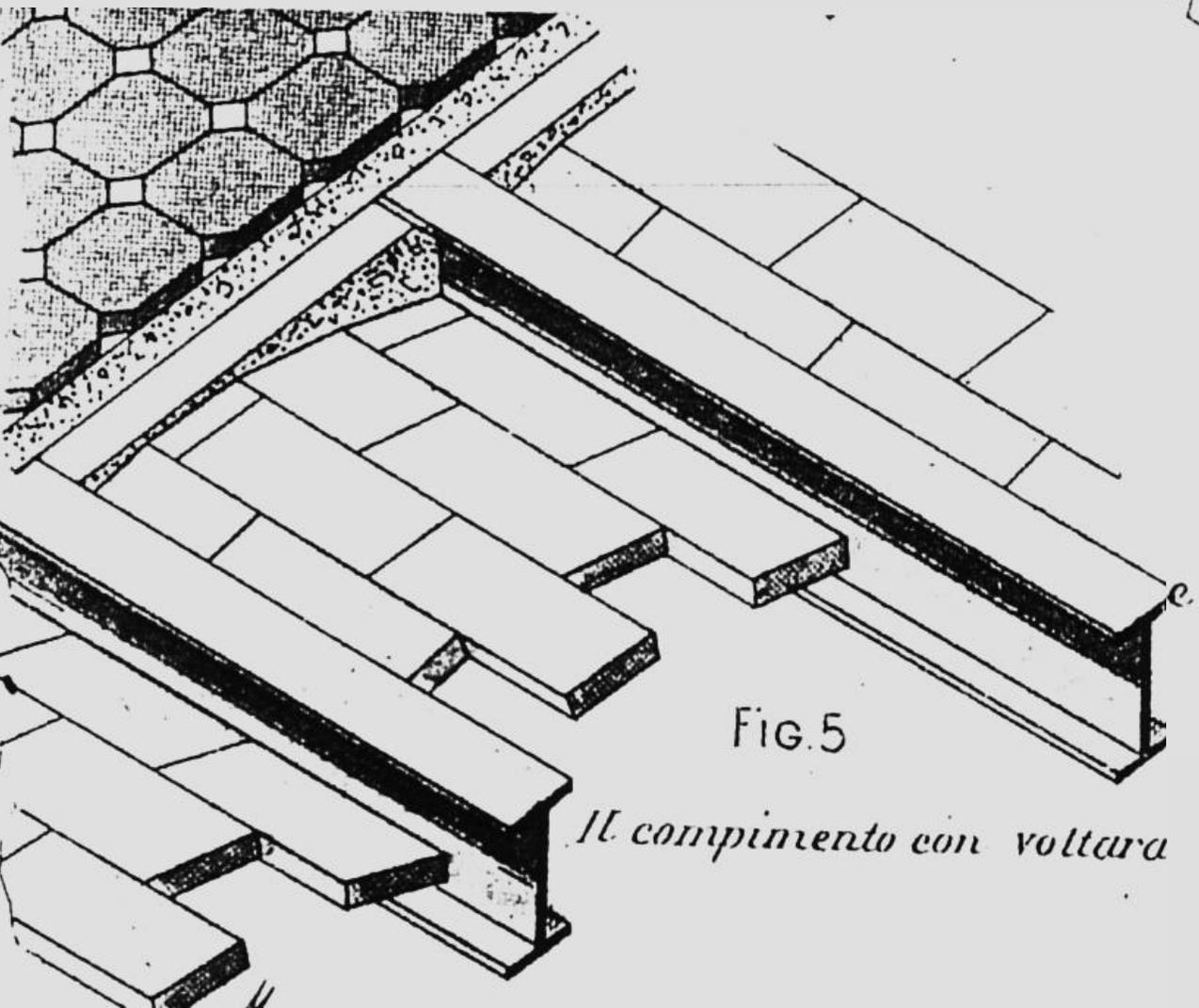


FIG.5

Il compimento con volta

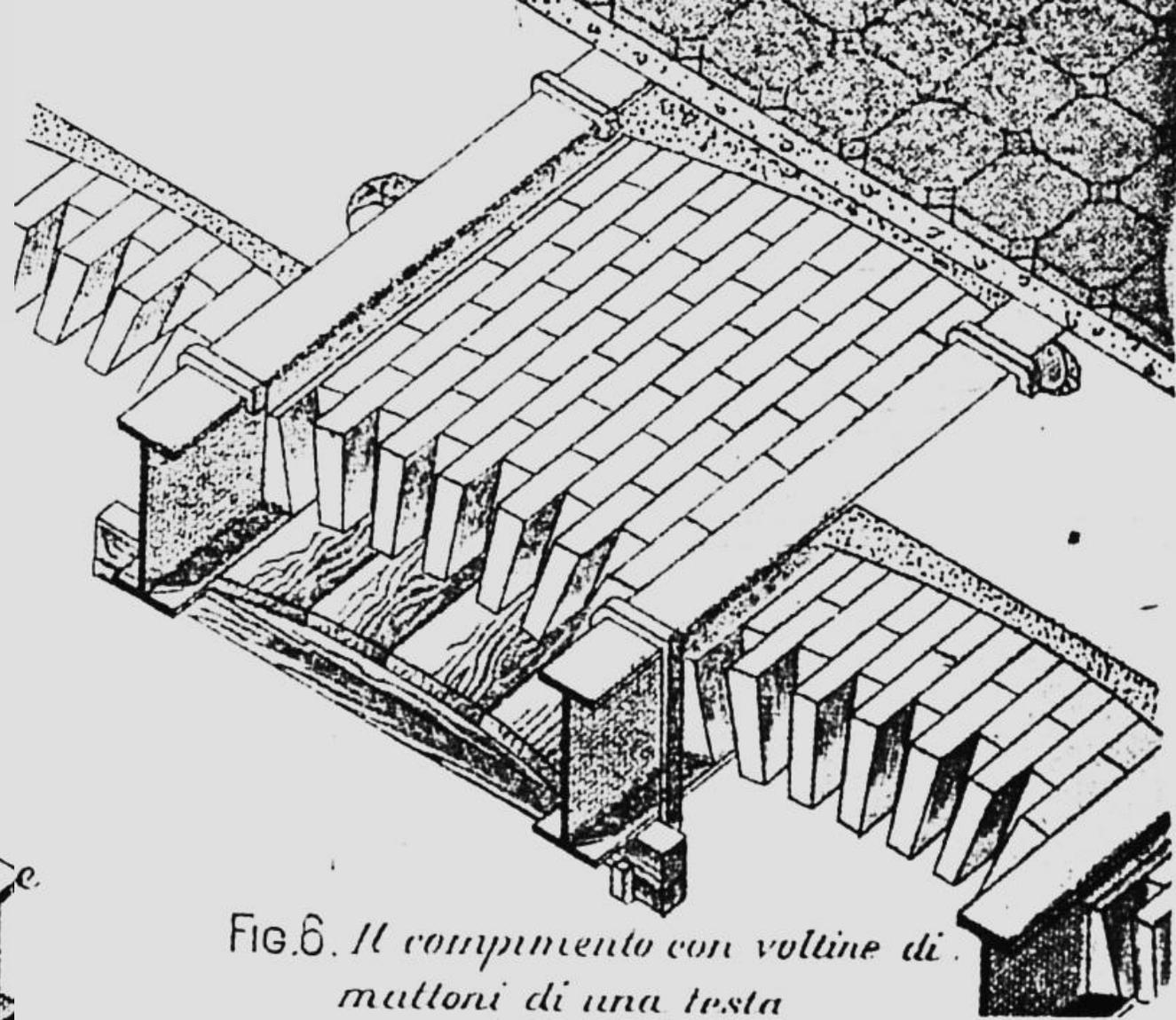
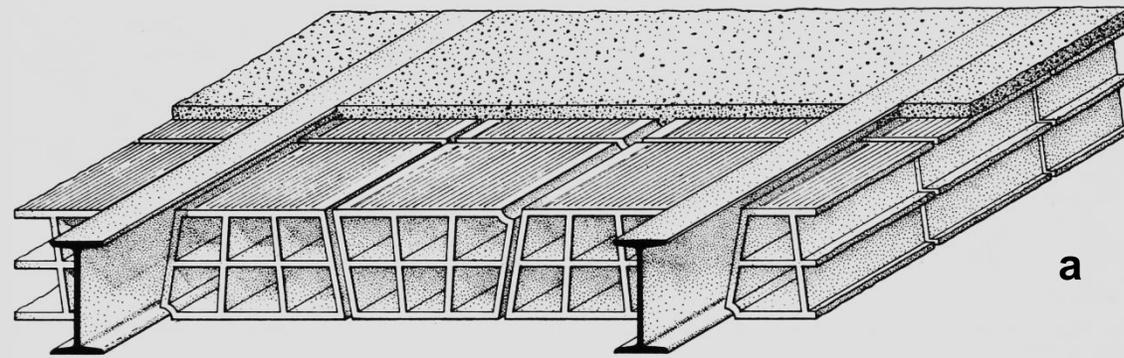
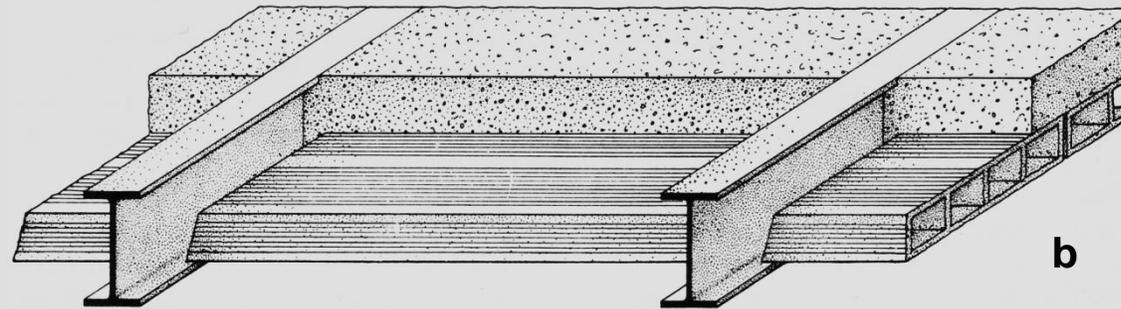


FIG.6. *Il compimento con voltine di mattoni di una testa*

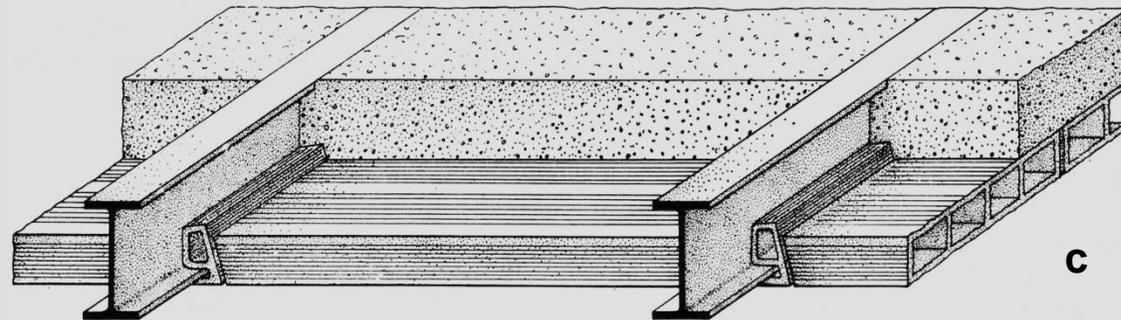
Voltine dei solai di ferro realizzate con laterizi in foglio e a coltello. (da Misuraca, 1916).



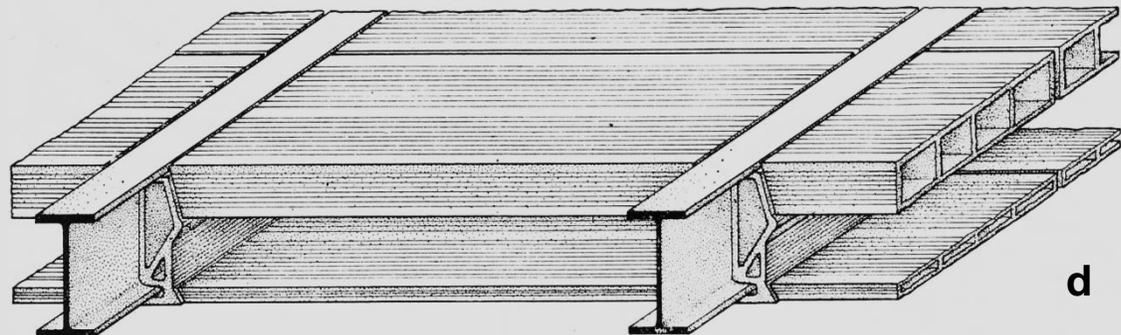
a



b



c



d

Tipologie costruttive di solai in ferro all'apice dello sviluppo tecnologico:

- a) solaio con travi in ferro e pignatte in laterizio,
- b) b) travi in ferro e tavelloni in laterizio forati,
- c) i tavelloni sono appoggiati sul copriferro in laterizio,
- d) solaio con copriferri alti, tavelloni superiori e tavelline.



A titolo indicativo si riporta il consolidamento di un solaio con travi in ferro, messo in opera negli anni Sessanta.

Tale intervento si è reso necessario per riabilitare strutturalmente l'impalcato in occasione della ristrutturazione del fabbricato che prevede un sostanziale aumento del sovraccarico di esercizio.

Il solaio originale è realizzato con travi in acciaio NP 200 e pignatte in laterizio dello spessore di diciotto centimetri, la luce delle travi risulta essere di sei metri e mezzo, a seguito delle verifiche effettuate e dell'estrema deformabilità della struttura si è reso necessario l'intervento di consolidamento.



Questo prevede la messa in opera, dopo un'accurata rimozione della vecchia pavimentazione e del sottofondo, di una serie di barre ϕ 16 in acciaio sagomati e saldati all'ala superiore del profilo originale.

Completa l'intervento la sovrapposizione di un piano di tavelloni delle spessore di 6 centimetri e il getto di una soletta in cls armata con una rete in acciaio elettrosaldato ϕ 8 a maglie di 20 x 20 cm.

Al fine di adeguare le sollecitazioni di taglio sono state inserite agli appoggi due barre ϕ 22 incastrate nel cordolo perimetrale in spessore di solaio, anche questo realizzato nell'intervento di riabilitazione strutturale, come indicato nelle immagini seguenti.



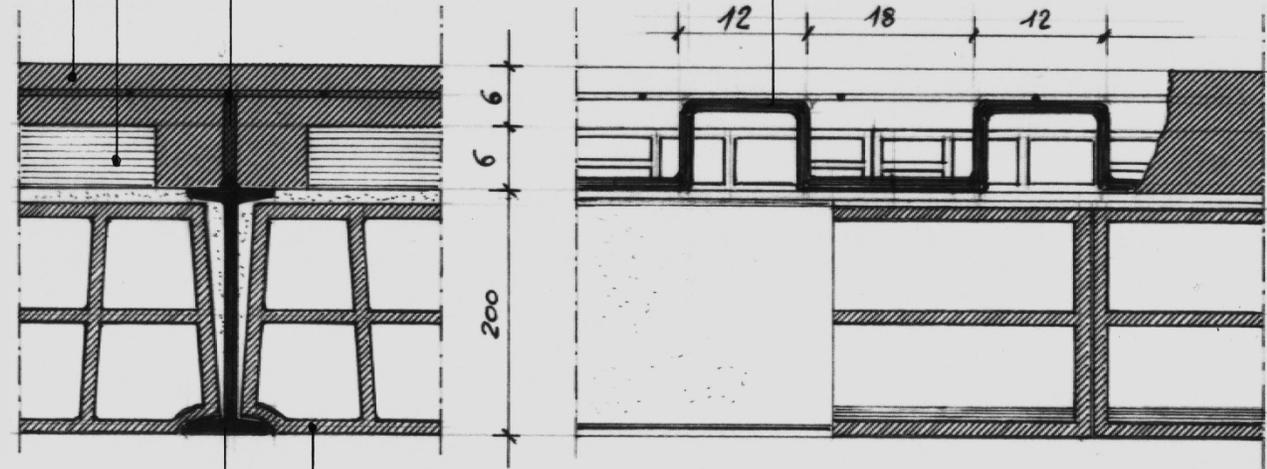
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

SOLETTA IN CLS ARMATA CON RETE Φ 8 20 X 20" SPESS. 6 CM

NUOVI TAVELLONI SPESS. 6 CM

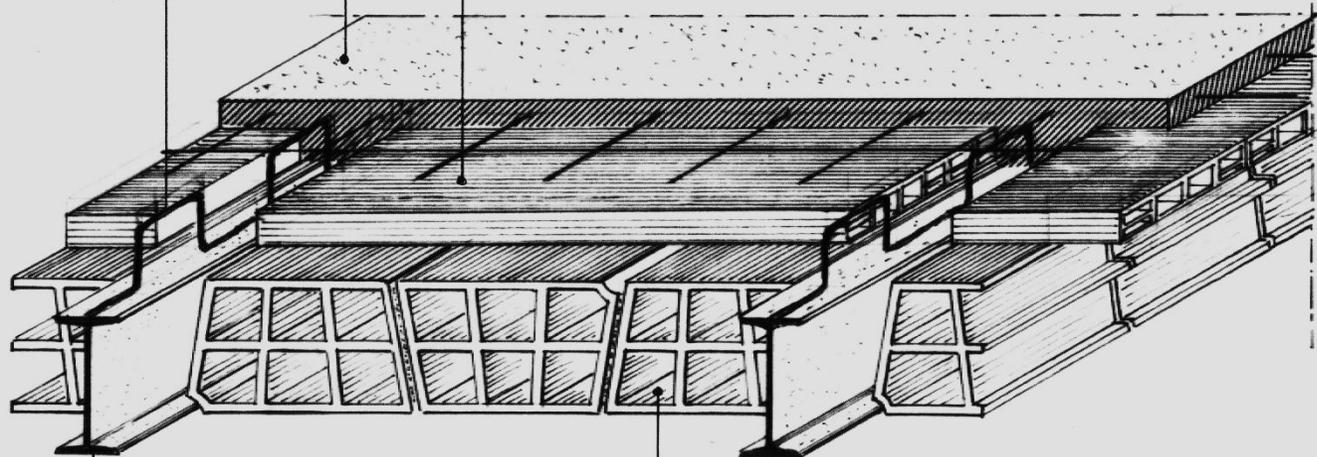
BARRE IN ACCIAIO Φ 16 DI CONSOLIDAMENTO PIEGATE E SALDATE AL PROFILO ORIGINALE



BARRE IN ACCIAIO Φ 16 DI CONSOLIDAMENTO PIEGATE E SALDATE AL PROFILO ORIGINALE

SOLETTA IN CLS ARMATA CON RETE Φ 8 20 X 20" SPESS. 6 CM

NUOVI TAVELLONI SPESS. 6 CM



PIGNATTE IN LATERIZIO ORIGINALI

PROFILO NP 200 ORIGINALE

PIGNATTE IN LATERIZIO ORIGINALI

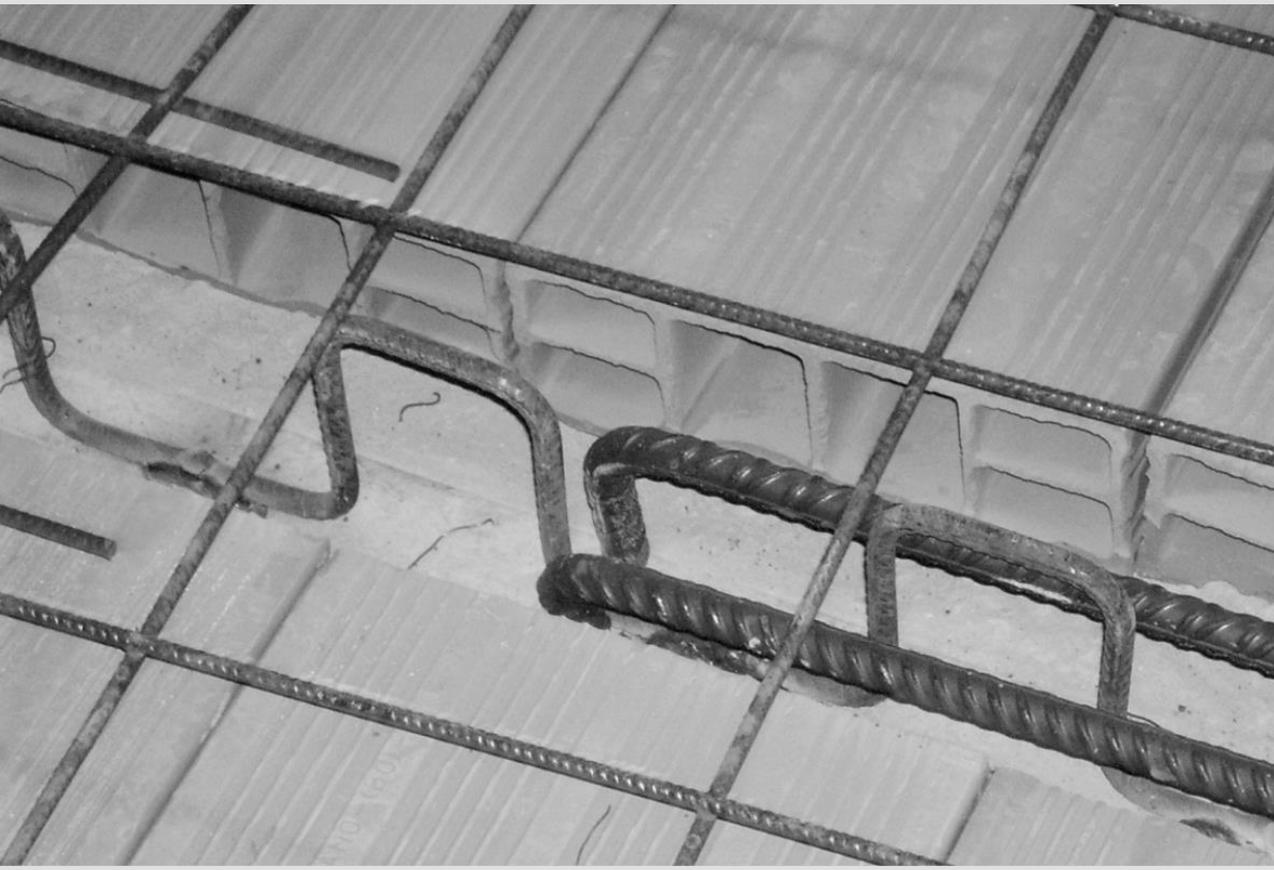
PROFILO NP 200 ORIGINALE

Particolari grafici dell'intervento di consolidamento.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA



Immagini fotografiche dei lavori eseguiti.
Si segnala l'inserimento del cordolo perimetrale in
spessore di solaio e di una trave in spessore nella
mezzeria del solaio per ridurre le deformazioni
trasversali della struttura.