

3) SOLAI.

3.1.1) Aspetto morfologico.

Il primo aspetto, che chiameremo morfologico, considera la geometria dei vari elementi che compongono il solaio. La geometria varia sostanzialmente con il tipo di solaio ed esiste in effetti una estesa varietà di tipi, di dimensioni, di accoppiamenti di elementi diversi, di dettagli costruttivi, ecc. Per quanto riguarda i tipi si hanno: solette piene, solette nervate con nervature parallele o incrociate, solette alleggerite con blocchi di laterizio o di altro materiale leggero. In ciascuno tipo possono adottarsi varie qualità di materiali, ad esempio tondi di acciaio, barre nervate, elementi precompressi con trecce di acciaio ad alto limite elastico e così via; per ciascun tipo esiste ancora la possibilità di una estesa variabilità dei rapporti geometrici dei vari componenti. L'esame dettagliato di questo aspetto e di quello successivo esulano dai limiti di questo volume.

3.1.2) Aspetto tecnologico.

Per ogni materiale oltre la morfologia variano le caratteristiche meccaniche in un campo molto ampio; ciò vale per l'acciaio, che può essere di resistenza molto variabile per i laterizi che possono collaborare o meno con il conglomerato e per il conglomerato stesso che si suddivide in classi, (*) secondo la re-

(*) Si definisce classe di un conglomerato il complesso delle sue più importanti caratteristiche meccaniche

sistenza Il conglomerato infine, per quanto attiene la sua tecnologia, puo' essere vitrato, pestonato, trattato a vapore, ecc. puo' essere di composizione variabile sia per il cemento, che per il pietrisco ed eventuali additivi.

L'insieme di tali tecniche e tecnologie esecutive e' oggetto di altre apposite specifiche trattazioni. Bastino qui questi pochi cenni a dimostrare quanto sia elevato il numero di tipi di solaio impiegati oggi nelle costruzioni edilizie. Tale fenomeno ha la sua giustificazione nel rilevante peso che il solaio ha sul costo della struttura e sulla sua suscettibilita' di essere realizzato per accoppiamento di elementi tra loro simili e quindi unificatili e producibili in serie.

Nell'aspetto tecnologico va ancora considerato il procedimento di realizzazione del solaio, ovvero il complesso delle fasi costruttive, che conduce, per agsemblaggio, montaggio e trasformazione, dai singoli elementi al prodotto finito. In dipendenza del luogo in cui si sviluppano tali fasi si dira' che la struttura e' costruita *in opera*, *a pie' d'opera* o *in stabilimento*, o, in altri termini, e' *parzialmente prefabbricata*, o *completamente prefabbricata*. La conoscenza delle fasi costruttive e' indispensabile per l'esame statico di una qualsiasi struttura ma in particolar modo lo e' per i solai, perche', per le stesse ragioni economiche precedentemente prospettate, il costo di costruzione dei solai rappresenta un'aliquota notevole del costo dell'intera struttura. Le tecnologie di esecuzione sono quindi oggetto di particolari e continui studi dei tecnici del settore operativo, sia nell'ambito del cantiere finale che di quelli di prefabbricazione in stabilimenti fissi. Noi ci limiteremo a considerare i tre casi innanzi menzionati, rimandando per maggiori dettagli e per altri tipi particolari, alle

specifiche trattazioni.

Nel caso di solai eseguiti completamente in opera, i singoli elementi costruttivi sono inizialmente del tutto privi di capacita' portante autonoma e sono disposti su una cassaforma che deve avere quindi la capacita' di portare l'intero peso morto del solaio. L'assemblaggio avviene quindi con il getto del conglomerato sulla cassaforma "completa" o "chiusa".

Se invece alcune parti del solaio sono prefabbricate con elementi dotati di una capacita' portante autonoma, sia pure parziale, la cassaforma puo' avere in conseguenza ridotta capacita' portante e puo' essere, inoltre, "discontinua" o "aperta".

Esiste logicamente il caso di prefabbricazione completa fuori opera, che non richiede affatto cassaforma, ma solo il montaggio e la saldatura con gli altri elementi analoghi e con le travi e pilastri, che costituiscono l'ossatura principale dell'edificio.

3.1.3) Aspetto statico.

Il terzo aspetto, che chiamiamo statico, considera lo schema strutturale inteso nel senso piu' lato della parola. Per comodita' si possono considerare separatamente:

- a) lo schema della struttura: (piastra, nervature incrociate, nervature parallele, trave continua, sbalzi, ecc.);
- b) lo schema dei carichi: (peso proprio, sovraccarichi fissi, sovraccarichi accidentali, azioni termiche, ecc.);
- c) altri effetti statici: (collegamenti trasversali con altri elementi strutturali, effetti termici, ecc.).

a) Schema della struttura

Tutti gli aspetti innanzi considerati sono tra loro strettamente legati: ad ogni tipo di solaio caratterizzato da determinati procedimenti e materiali si accompagnano rapporti geometrici e schemi strutturali, legati strettamente alla scelta effettuata.

Il filo conduttore, che deve guidare chi si accinge all'esame di un solaio, deve partire dai singoli elementi costitutivi e definire quindi le fasi costruttive e le caratteristiche che assumono i singoli materiali ed il complesso finale, considerando cioè gli schemi che la struttura assume (variabili per vincoli, forma, carichi, caratteristiche meccaniche dei materiali, ecc) in ciascuna delle eventuali fasi di passaggio intermedio.

Il numero (e la qualità) degli schemi da considerare aumenta naturalmente con il numero delle fasi di "unione" dei vari elementi perché, per ognuna di esse, sia in stabilimento, che durante il trasporto, che, infine, in occasione delle operazioni di montaggio e di completamento, sussistono forme, carichi e vincoli diversi.

E' opportuno precisare che la variabilità dello schema statico non è necessariamente legata al concetto di prefabbricazione, ma sussiste anche per un normale solaio realizzato completamente in opera. Infatti, anche in questo caso, solai aventi la stessa geometria, ma disposti in diverse zone dell'edificio hanno condizioni di vincolo dipendenti dalle caratteristiche locali della struttura principale (pilastri e trave) anch'esse variabili da punto a punto dell'edificio sia in pianta che in altezza.

Le travi, ad esempio, hanno spesso dimensioni trasversali e luci diverse tra loro. anche nell'ambito di una stessa campata e rappresentano per il solaio vincoli di cedevolezza variabile, verticale ed angolare; inoltre, ai piani inferiori dell'edificio, i pilastri sono molto più rigidi che in sommità e rappresentano vincoli di rigidità angolare variabile. Questa variabilità vincolare sussiste quindi per un qualsiasi tipo di solaio; inoltre, come si è detto, occorre anche tener conto delle fasi intermedie che il solaio attraversa durante la costruzione stessa dell'ossatura, ovvero delle trasformazioni di schema che subisce l'ossatura principale dell'edificio dopo la realizzazione del solaio stesso. Si consideri ad esempio un solaio eseguito in opera: nel primo periodo di maturazione esso riposa sulla cassaforma e solo dopo un certo periodo di tempo, che dipende dall'organizzazione del cantiere e dalla velocità di maturazione del conglomerato, è sottoposto all'azione del peso proprio e di quello del solaio immediatamente sovrastante, attraverso le corrispondenti impalcature provvisorie di sostegno. Intanto nello stesso periodo sono stati realizzati i pilastri del piano superiore e tutti i getti hanno subito la corrispondente maturazione; quindi le condizioni di vincolo, nel tendere all'assetto definitivo risultano variabili.

Oltre alla variabilità nel tempo del grado di incastro agli estremi, esiste, come si è detto, una variabilità di rigidità della struttura dipendente dalla ubicazione del solaio. In genere la rigidità dell'ossatura è maggiore ai piani inferiori se si considera l'ossatura stessa nel suo assetto definitivo.

Invece, si è visto che introducendo il fattore tempo nella fase iniziale anche ai piani inferiori la

rigidezza e la resistenza dei pilastri in particolare, sia per la breve stagionatura che per il modesto valore del cerice assiale, possono essere molto minori di quelle definitive.

E' necessario a questo punto particularizzare il discorso generale impostato all'inizio, (che a sua volta e' una specificazione della teoria generale dei modelli che costituisce la matrice comune di ogni teoria di componenti).

Orbene, come si e' detto all'inizio, la "teoria" deve tener conto di ogni fatto e quindi di tutto quanto si e' fin qui illustrato; deve quindi considerare per uno stesso solaio una fascia di variabilita' delle condizioni d'incastro di conveniente ampiezza. Tale ampiezza naturalmente cresce quando si voglia procedere, 'cosi' come si fa in realta', alla unificazione costruttiva di piu' zone di solaio. In edifici multipiani si richiede generalmente nell'industria edilizia che le caratteristiche morfologiche dei solai siano le stesse a tutti i piani dell'edificio, il che risponde, come si e' gia' detto, ad una evidente necessita' di semplicita' ed economia; se l'eguaglianza si verifica per tutti gli elementi orizzontali (travi e solai) del piano, si perviene al cosiddetto "piano tipo".

In definitiva si ha un ampliamento del concetto di fascia che non si riferisce solo ad un unico schemama ad una gamma di schemi strutturali morfologicamente identici ma con vincoli diversi tra loro.

Per il calcolo del solai tipo, generalmente a nervature parallele occorre individuare i limiti esterni delle "fasce" relative ad ogni schema. Lo schema statico che si assume per la valutazione delle caratteristiche della sollecitazione in una striscia di solaio a nervature parallele, e' quello di trave di

una o piu' campate per il quale si devono discutere le condizioni di vincolo e di carico.

Per quanto riguarda i vincoli si prescinde in un primo momento da legami trasversali che saranno trattati in seguito. In tali ipotesi e per normali edifici (oggetto di queste lezioni) i vincoli sono costituiti dalle travi. Essi si considerano non cedevoli verticalmente; si considerano cioe' trascurabili gli effetti statici dipendenti dagli abbassamenti differenziali tra gli appoggi. L'ipotesi e' generalmente accettabile: gli abbassamenti infatti dipendono dalla flessibilita' delle travi, e dalla cedevolezza delle strutture verticali (compressibilita' dei pilastri e del piano di posa).

Innanzitutto si osserva che l'ipotesi di appoggi fissi (o meglio egualmente cedevoli) e' tanto piu' accettabile quanto piu' piccoli sono i valori assoluti dei cedimenti e quanto piu' grande e' la deformabilita' del solaio (a parita' di spessore, quanto piu' grande e' la luce; basta infatti ricordare che in una struttura iperstatica i momenti corrispondenti ad un cedimento differenziale sono proporzionali al momento di inerzia della sezione e al cedimento stesso, ed inversamente proporzionali al quadrato della luce). Se i pilastri sono tutti proporzionati con gli stessi criteri la sollecitazione (e quindi la compressibilita') risulta la stessa.

Per un normale edificio si suppone infine che le fondazioni siano poco cedevoli e che per ogni pilastro la superficie di impronta della fondazione sul terreno sia proporzionata al carico. In definitiva quindi i cedimenti sono piccoli in valore assoluto, tra loro comparabili (quindi poco diversi) ed il solaio e in genere sottile e quindi dotato di deformabilita' sempre tanto elevata da indurre forze vincolari tra-

scurabili per il prevedibile piccolo valore del cedimento differenziale tra le file di pilastri che ne costituiscono il vincolo.

In effetti solo nel caso che le caratteristiche del piano di posa sono molto variabili da punto a punto dell'edificio, i cedimenti differenziali possono essere tanto elevati da non poter essere trascurati nel calcolo dei solai (1)

Si passi ora alla cedevolezza angolare dei vincoli di cui occorre invece tener adeguato conto. È facile comprendere che è ben ardua una sua valutazione quantitativa. Il problema è stato già discusso precedentemente al cap. 2-2, in cui per superare questa difficoltà si sono formulate ipotesi limiti sui confini della solita fascia sufficienti a contenere la realtà fisica. Il problema è perfettamente analogo: per un singolo solaio un limite è rappresentato dal semplice appoggio e l'altro dalla rigidità flessionale dei ritti, nella ipotesi che le travi siano infinitamente rigide (par. 2-2 c).

Per estendere il concetto di fascia al solaio tipo basta osservare che ai piani inferiori di edifici multipiani i pilastri sono molto rigidi e quindi il limite dipendente dalla rigidità dei pilastri si avvicina all'incastro perfetto, realizzando così uno schema di più elevata iperstaticità. Si è già visto e si rivedrà meglio in seguito che tenendo conto delle

(1) Le vigenti leggi vietano di costruire edifici se il piano di posa presenta caratteristiche bruscamente variabili da zona a zona. Poiché in tali casi è difficile una valutazione quantitativa si preferisce spesso operare in modo drastico supponendo distrutte in partenza tutte le risorse dovute alla continuità e considerando tutte le campate semplicemente appoggiate agli estremi; le armature di continuità valgono in tale caso a ridurre gli effetti localizzati di frattura.

fasi di costruzione interviene una condizione di vincolo piu' vicina al semplice appoggio; d'altra parte considerando che, per quanto riguarda la sicurezza, assumere uno schema con ridotta iperstaticita' rappresenta quasi sempre un elemento favorevole perche' condizione piu' gravosa per la statica, in pratica si tiene ten ferma la condizione limite di appoggio semplice e si rinunzia all'ipotesi di un incastro quasi perfetto, che corrisponderette alla presenza di pilastri di rigidita' molto elevata. In questo caso, che si presenta ai piani inferiori di edifici multipiani, si ammette che la' dove si inducono momenti flettenti d'incastro eccedenti il limite previsto, si verifichi un cedimento elastoplastico locale del solaio: l'insergere di conseguenti eventuali lesioni, dal punto di vista strettamente statico, per le ipotesi fatte, non e' dannoso; inoltre il fenomeno fessurativo e' sempre contenuto in proporzioni accettabili dal punto di vista estetico; la preservazione del metallo e' assicurata dalle stesse armature metalliche che sono ivi sempre disposte per assortire il previsto grado d'incastro.

Con queste premesse si puo' definire un primo schema del solaio (valido per il suo assetto definitivo di servizio), che e' costituito da una trave continua di una o piu' campate, i cui vincoli cioe', per ipotesi limite (fig. 3-1a), sono appoggi semplici angolarmente liberi; essi nel secondo schema limite (fig. 3-1b) sono angolarmente cedevoli nella misura corrispondente alla massima rigidita' dei ritti con travi torsionalmente rigide secondo criteri gia' esposti in precedenza (par. 2-2c) (*).

(*) Nel secondo schema, per evitare il calcolo di telaio si possono assumere ritti infinitamente rigidi (incastri perfetti) oppure, sulla base della propria esperienza momenti discretionalmente inferiori

Si è così svolto un primo esame strutturale per il solaio tipo che si riferisce però solo ai carichi verticali. Per esso, occorre discutere ancora l'entità del carico, degli effetti di eventuali procedimenti di prefabbricazione, degli effetti della gradualità di costruzione dell'ossatura e di altri effetti particolari.

t) Schema di carichi

Per quanto riguarda i carichi, ci limitiamo in questa sede solo ad osservare che nella normalità dei casi per i solai si assumono carichi uniformi "convenzionali" che equivalgono rispettivamente all'effetto del peso proprio e dei sovraccarichi permanenti (g) e dei sovraccarichi utili (p) (fig. 3-1).

La discussione relativa alla rispondenza tra tali carichi convenzionali e quelli effettivi si svolgerà nel capitolo dedicato all'analisi dei carichi sui pilastri; basta qui accettare che per la verifica del solaio lo schema di carico possa essere assunto pari a due stese uniformi g e p , di cui g (peso proprio + permanente) esteso a tutte le campate e p applicato in modo da ottenere per tutte le sezioni di volta in volta i massimi effetti statici.

I procedimenti di calcolo che risolvono il problema si suppongono qui già noti e quindi si ritiene acquisito il risultato grafico della fig. 3-1c) in cui sono rappresentati i diagrammi dei momenti corrispondenti

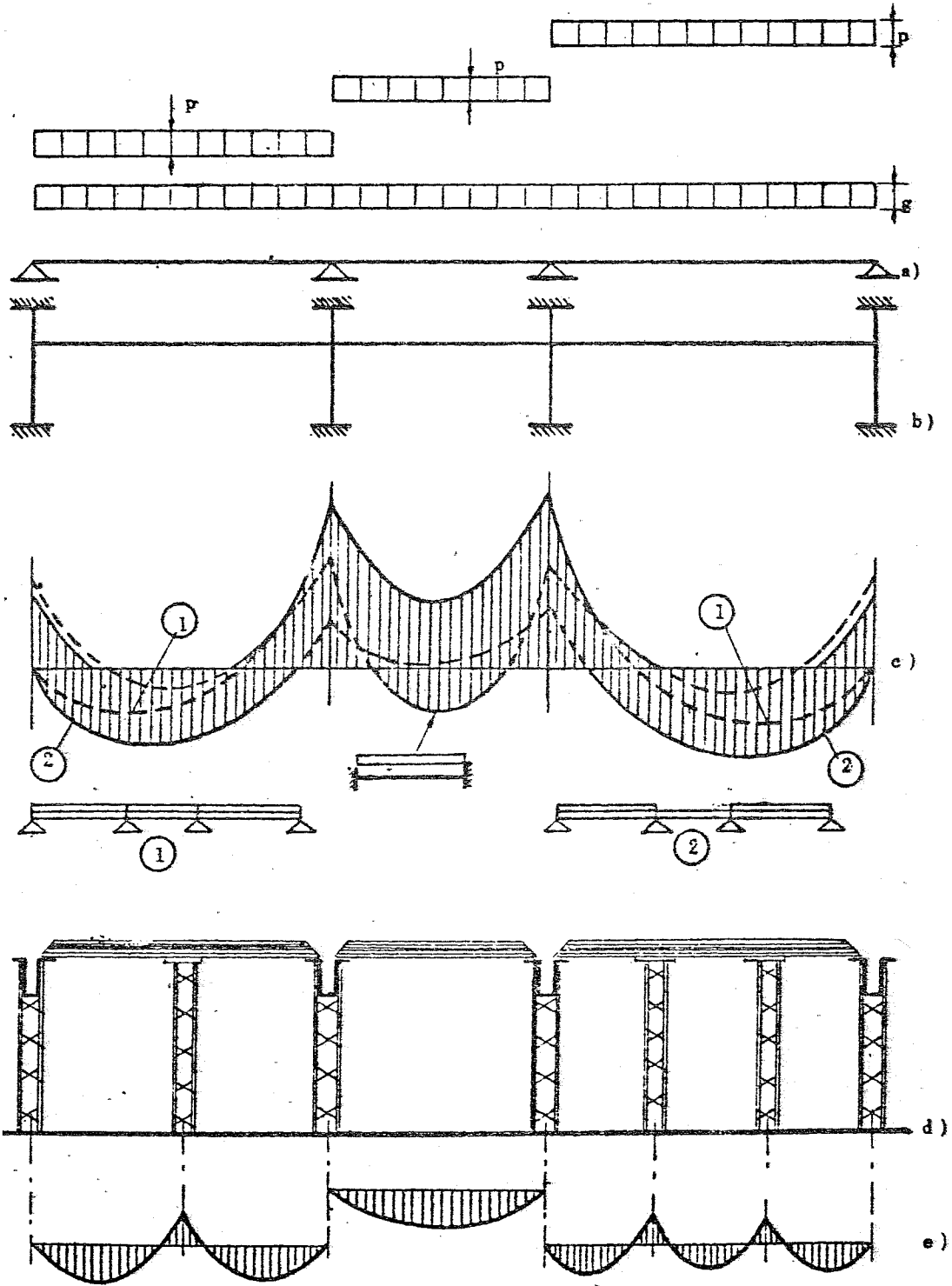


Fig. 3-1.-La figura intende solo indicare qualitativamente l'iter per ottenere la fascia flessionale di un solaio; alcune condizioni di carico, sono trascurate per semplicità di disegno.
a) Primo schema limite b) Secondo schema limite c) Fascia flessionale
d) flessioni per fasi costruttive intermedie.

ti alle varie ipotesi di carico e alle varie condizioni di vincolo.

Alla ipotesi limite di appoggi semplici corrispondono i diagrammi ① e ② dovuti alle possibili diverse disposizioni del sovraccarico; in ogni sezione si ha quindi un massimo ed un minimo momento corrispondente a questa prima ipotesi; nell'altra ipotesi limite di vincoli rigidi, si hanno altri diagrammi che ampliano la fascia di valori in ogni sezione. È significativo come per questa seconda ipotesi non solo si hanno momenti negativi in sezioni che nella prima ipotesi erano sottoposte solo a momenti positivi, ma si possono anche avere (campata centrale) momenti positivi dove la prima ipotesi limite comportava solo momenti negativi.

c) Altri effetti statici (prefabbricazione, legamenti trasversali, effetti termici).

Gli effetti statici derivanti dal fatto che la costruzione si realizza per gradi, sono già inclusi nelle ipotesi limite innanzi definite. Infatti per il solaio generico si hanno rigidità dei vincoli ridotte perché all'atto del getto del solaio superiore i ritti superiori, di ridotto modulo elastico, sono per di più liberi in testa e quindi di rigidità nulla (figura 3-2). Si ha quindi una condizione di vincolo intermedia tra le due innanzi considerate.

C1 si avvicina naturalmente ancor di più all'i :

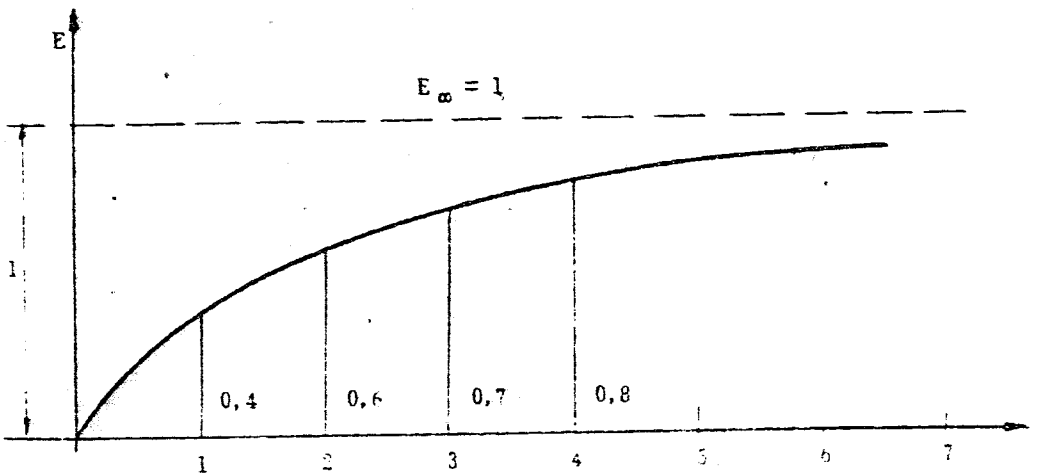
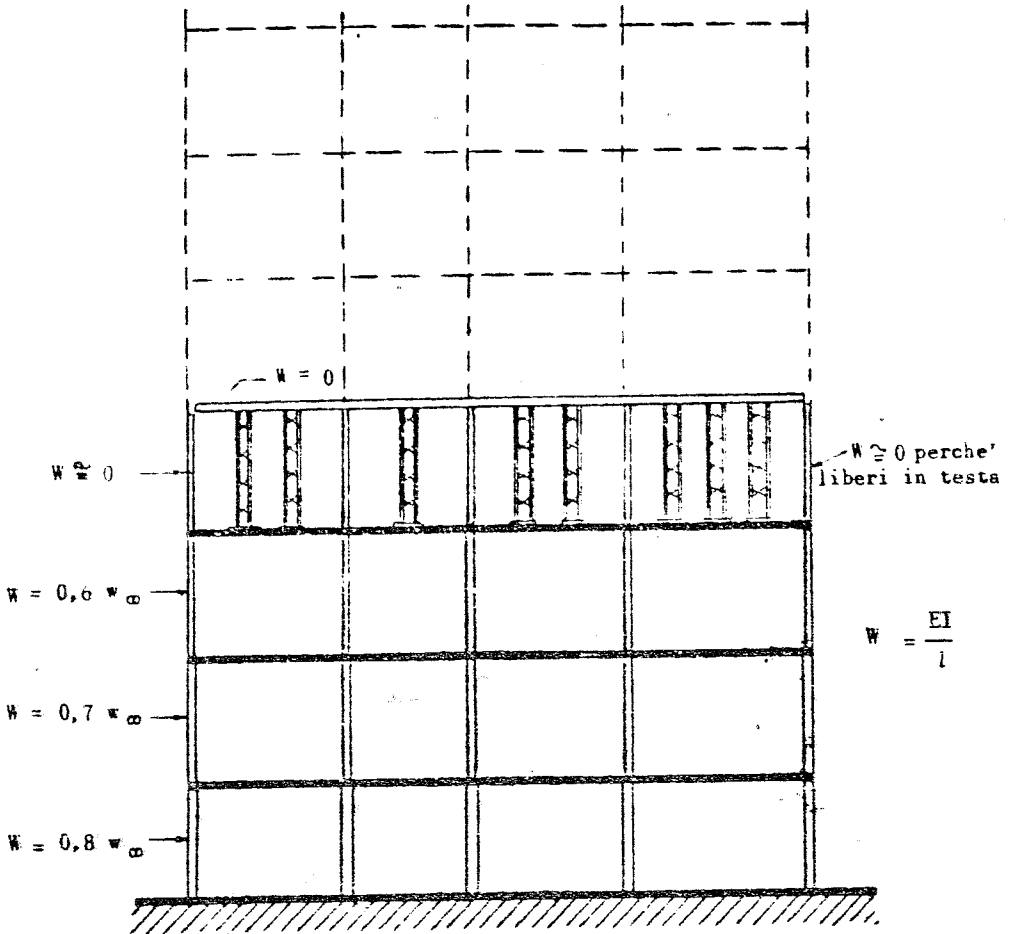


Fig. 13-2

settimane

potesi di semplice appoggio se il solaio e' prefabbricato, perche', in tal caso, la sua maturazione e' piu' avanzata di quella delle strutture circostanti ed e' quindi maggiore la sua rigidita'.

l'effetto di una eventuale prefabbricazione puo' variare da caso a caso come si deduce dal seguente esempio relativo ad un solaio parzialmente prefabbricato nel quale i travetti eseguiti fuor d'opera sono predisposti con lo schema di puntellature rappresentato in fig. 3-1 d).

Quando il numero dei puntelli e' grande, il peso proprio del prefabbricato e quello del getto producono momenti di valore trascurabile rispetto a quelli finali (fig. 3-1 e). Se ne deduce che lo stadio intermedio di prefabbricazione puo' essere trascurato nelle verifiche di stabilita', se la luce totale e' grande rispetto all'interesse necessario per i puntelli; invece per piccole luci del solaio puo', al limite, avvenire che la capacita' portante dell'elemento prefabbricato consenta di disporre i puntelli agli estremi della campata definitiva senza alcuna puntellatura intermedia. Ad esempio nella campata centrale della fig. 3-1 d), il comportamento del travetto prefabbricato all'atto del suo montaggio e del successivo getto e' quello di trave semplicemente appoggiata e pertanto nella campata esistono momenti positivi non solo non piu' trascurabili, ma di entita' tale da riuscire ad invertire il segno di quelli corrispondenti all'ipotesi di trave continua.

Il primo caso invece si verifica nelle campate laterali dello stesso esempio di fig. 3-1 d). Effet-
.....

ti di questo genere hanno importanza crescente con lo aumentare del grado di prefabbricazione del solaio.

(effetti trasversali)

La striscia di solaio si e' fin qui considerata a se' stante; si e' prescisso cioe' da effetti trasversali che in pratica si considerano separatamente dagli schemi principali utilizzati per il dimensionamento.

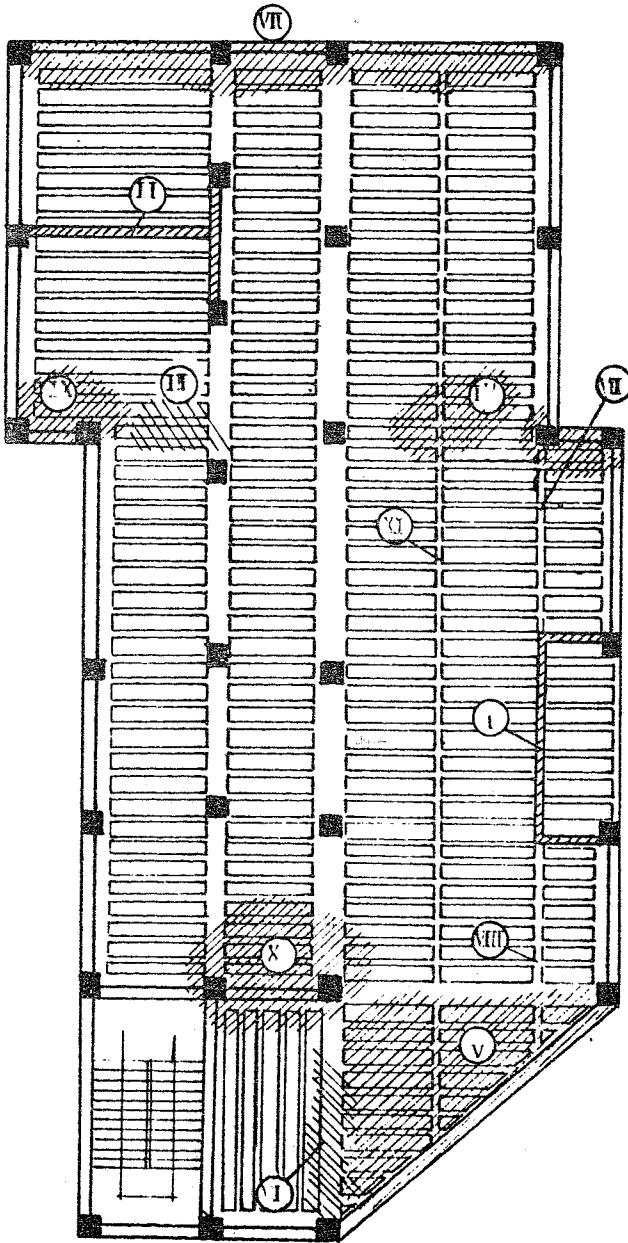
Gli effetti trasversali si destano (fig. 3-3)

- quando agiscono carichi concentrati (I, II);
- quando strisce adiacenti di solaio hanno luci notevolmente diverse tra loro (III, IV);
- quando il solaio ha luce variabile con continuita' (V);
- quando il solaio confina con travi emergenti parallele al senso di orditura (VI, VII, VIII, IX).

Gli effetti trasversali sono fronteggiati da elementi strutturali aventi funzione di cucitura trasversale, quali i travetti e le armature di ripartizione previste dal regolamento (fig. 3-3 b), che l'esperienza indica come accorgimenti efficaci.

Nella fig. 3-3 b sono indicate tutte le zone in cui gli effetti trasversali si manifestano in modo piu' cospicuo ed i provvedimenti piu' comuni per fronteggiarli.

Occorre subito precisare che allo stato attuale non si utilizzano appositi schemi di calcolo per fronteggiare questi effetti, bensì solo decisioni discrezionali. Sono tuttavia ipotizzabili, per i travetti di ripartizione, schemi di travi su suolo elastico e valutazioni approssimate per la determinazione della

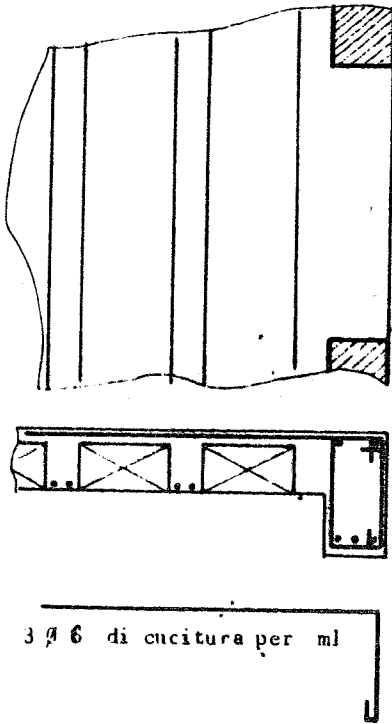


- I Muro di perimetro costituente carico concentrato solo su una zona del solaio (provvedimento armatura e travetti di ripartizione se $l > 5m$)
- II Muro divisorio parallelo all'orditura del solaio (provvedimento solo armatura di ripartizione se la luce è minore di 5 m)
- III IV Luci bruscamente variabili in pianta (idem c.s. cfr. fig. 3-3 b)
- V Luci variabili rapidamente con continuità (idem c.s.)
- VI VII VIII IX Adiacenza del solaio a travi molto più rigide. (cfr. fig. 3-3 b)
- X Sul confine tra i due schemi di solaio tra loro ortogonali lo schema di una sola campata presenta una rotazione che può determinare una frattura (fig. 3-3 b) (provvedimento le armature di ripartizione e portanti ortogonali al confine si accavallano per unire la linea di possibile frattura.)

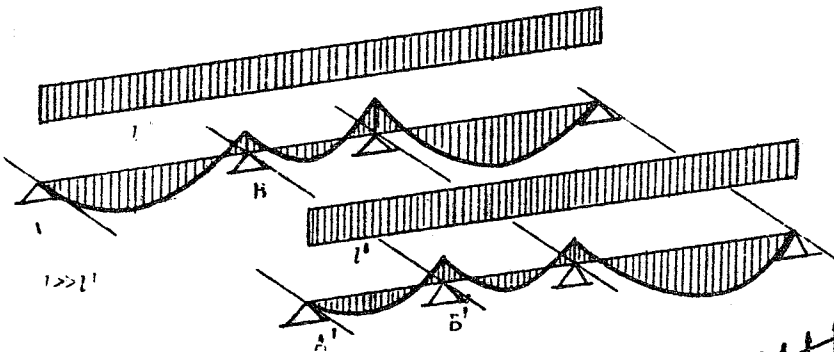
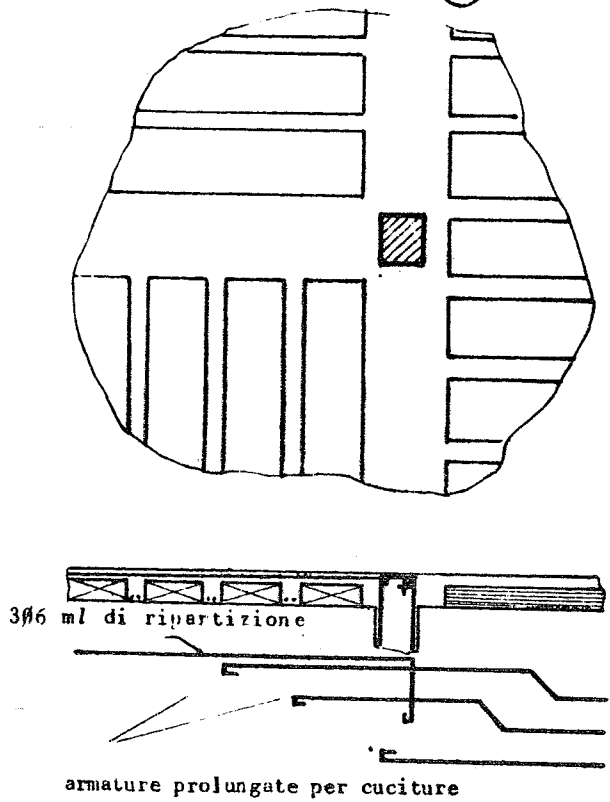
XI L'accidentalità del sovraccarico utile implica la possibilità di distribuzioni disuniformi e richiede per luci maggiori di 5 m. travetti di ripartizione oltre l'armatura della soletta prevista anche per $l < 5 m$.

Fig 3-3 a)

Particolare delle zone (VI) e (VII)



Particolare della zona (X)



Particolari delle zone (III) e (IV)
 reazioni mutue di strisce di solai
 adiacenti di lunghezza notevolmen-
 ta diversa.

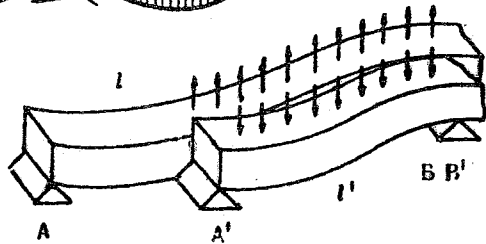


Fig. 3.3 b)

entita' delle cuciture a taglio lungo i bordi adiacenti di strutture aventi caratteristiche molto diverse di deformabilita'.

Gli effetti trasversali per la striscia generica intermedia sono minori quando essa fa parte di una zona di solaio con caratteristiche costanti di schema perche' dipende solo dalle disuniformita' di carico quali ad esempio le tramezzature parallele al senso di orditura.

(effetti termici)

Sebbene nella normale progettazione dei solai si tenga in genere conto solo dei carichi verticali direttamente applicati, esistono altre azioni esterne che talora sarebbe opportuno tener presenti; tra queste, in primo luogo, devono citarsi le variazioni termiche che possono essere sensibili specialmente per i solai di copertura dell'edificio.

Le variazioni termiche, se supposte variabili linearmente nello spessore, possono sempre considerarsi sovrapposizione di un diagramma uniforme e di uno a farfalla. Il primo produce un incremento (o decremento) delle dimensioni planimetriche dell'intero impalcato e quindi effetti statici nei pilastri e nelle travi, che si oppongono con un regime flessotagliante alle eventuali differenze di temperatura tra i due impalcati consecutivi che li contengono.

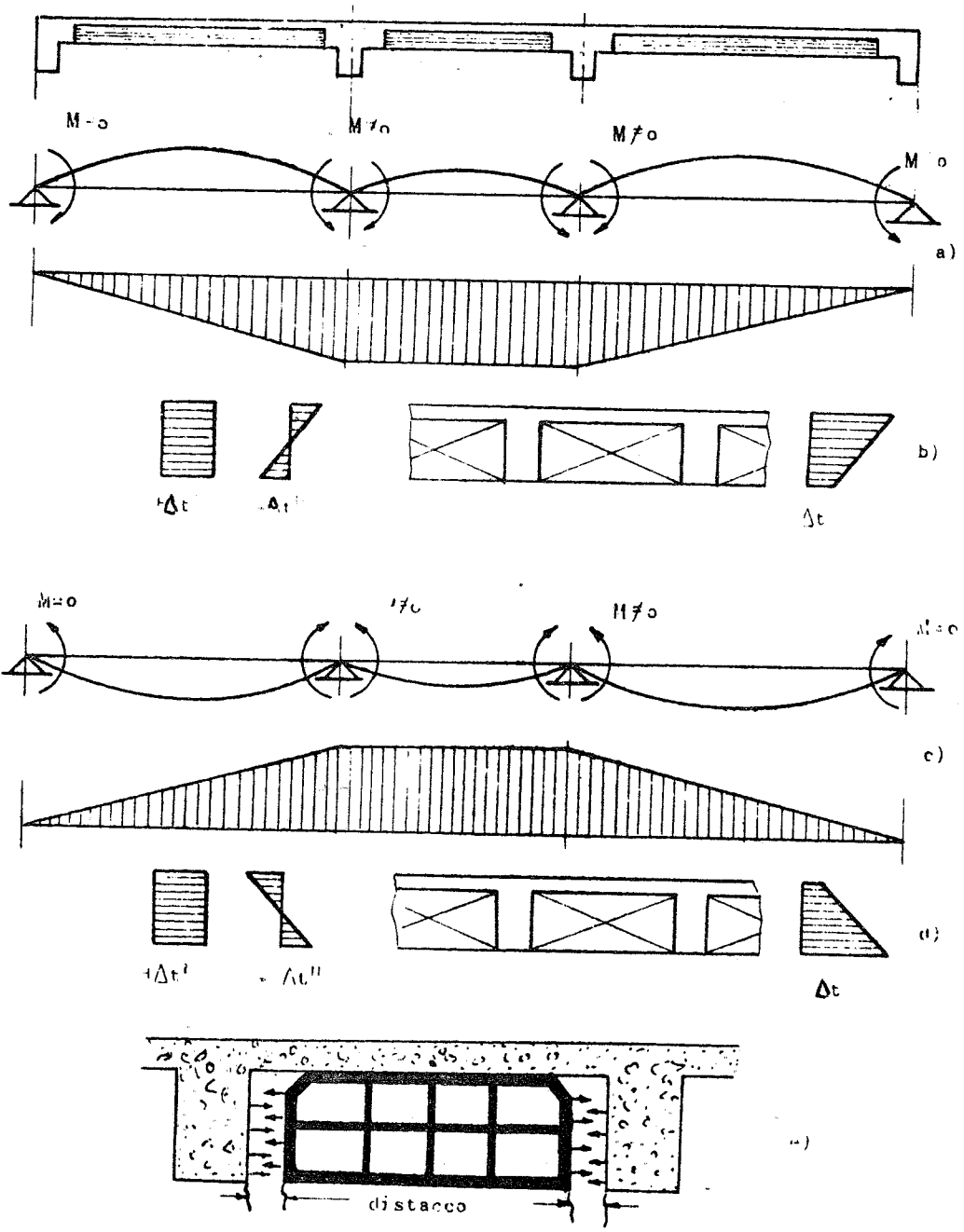
Nel solaio si destano in conseguenza sollecitazioni di flessione, compressione o trazione; specialmente queste ultime danno luogo a cospicue fessurazioni

parallele ai travetti, se le armature di ripartizione non sono in grado di resistervi o, almeno, di suddividere la frattura in piu' piccole e diffuse cavillature non visibili ad occhio nudo.

Il diagramma a farfalla provoca invece, nei solai con schema iperstatico, sollecitazioni di flessione (secondo quanto indicato esemplificativamente in fig. 3-4) che si sovrappongono a quelle corrispondenti ai carichi verticali; esse richiederebbero a rigore un incremento di armatura, che pero' spesso in pratica non viene effettivamente disposto ritenendosi tale effetto gia' compreso nelle provvidenze del coefficiente di sicurezza. Tuttavia, sarebbe sempre opportuno che, almeno in corrispondenza dei solai di copertura, gli effetti termici fossero fronteggiati o quanto meno ridotti con appositi isolanti; questi inoltre sarebbero opportuni anche per evitare condensazioni da "parete fredda" estremamente dannose per la conservazione del metallo, che si troverebbe altrimenti immerso in una "soluzione" umida e quindi in condizioni favorevoli alla corrosione. E' importante per la durevolezza di ogni struttura in cemento armato assumere tutti i provvedimenti necessari affinche' il metallo sia ovunque protetto dal conglomerato e non si determini un ambiente aggressivo (fig. 3-5).

In definitiva puo' determinarsi uno stato di sollecitazione fisico-chimica (*) che, se non fronteggiata con isolanti termici, protezioni chimiche o con ulteriori armature flessionali e di ripartizione, puo' provocare una cospicua fessurazione del conglomerato, lo insorgere di fenomeni di corrosione elettrochimica e, in definitiva, un degrado progressivo della strut-

(*) Si notino i vincoli che si evidenziano tra il modello statico o, quello chimico-fisico e quello termico del solaio.



- a) momenti prodotti da variazioni termiche estive (b)
- c) momenti prodotti da variazioni termiche invernali (d)
- e) distacchi per variazioni termiche dovute a diversi coefficienti di dilatazione.

Fig. 3-4

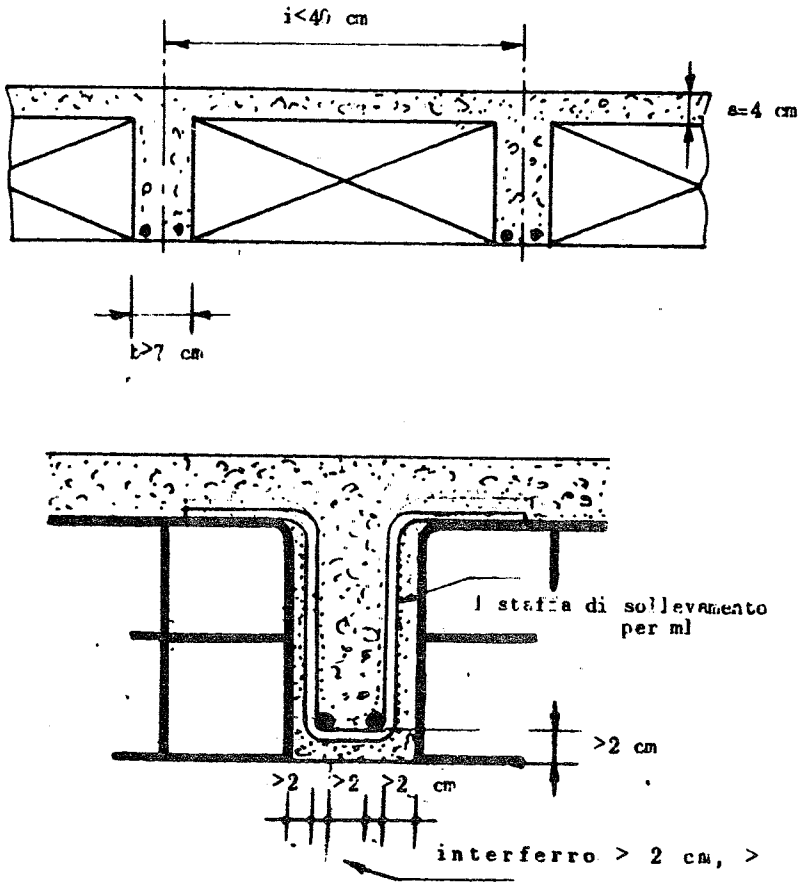


Fig.3-5.- Per un solaio di tipo normale e' opportuno disporre staffe di sollevamento per garantire il distanziamento del metallo dai tonde e dai fianchi della nervatura.

tura (*).

(effetti indotti dall'ossatura spaziale)

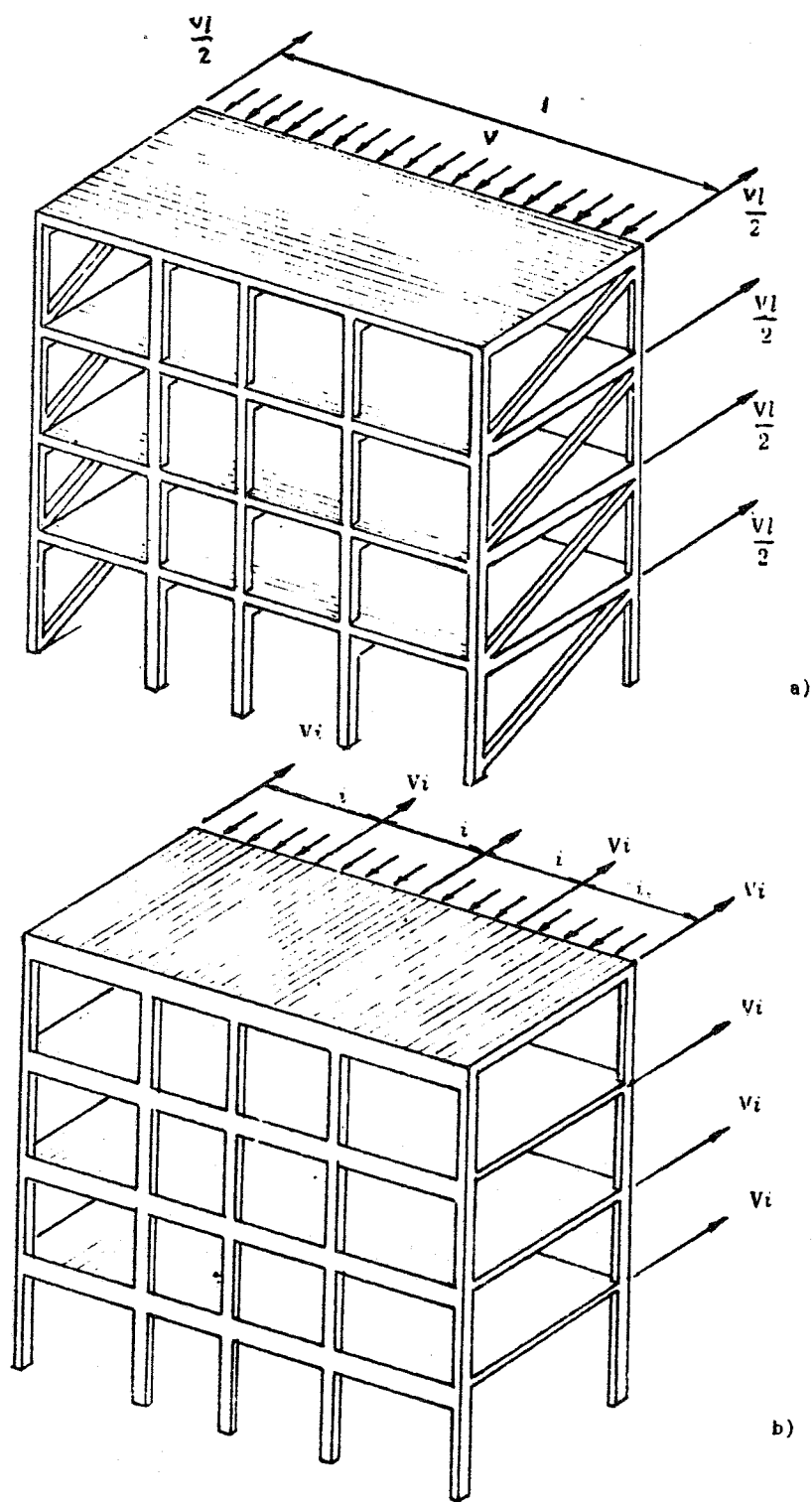
I solai infine collaborano con l'intera ossatura partecipando all'assorbimento delle azioni orizzontali

(*) Gli effetti termici saranno ulteriormente trattati nel capitolo dedicato ai pilastri; la discussione degli effetti termici irreversibili sulle strutture e dei rimedi e' un capitolo della patologia delle strutture.

agenti sull'edificio, quali il vento e l'effetto di scosse sismiche. Questo argomento sarà trattato specificamente nel quarto volume. Qui si vuole però accennare all'opportunità che, in sede di progetto, si prescinda dalla resistenza flessionale dei solai ai fini dell'assorbimento di tali azioni orizzontali, che vanno invece affidate interamente ad apposite strutture di controvento, quali ad esempio tralicci triangolati, oppure al doppio ordine di telai ortogonali costituiti dai pilastri e dalle travi, oppure ancora alle cosiddette pareti sismiche. Anche le murature di tampono dei riquadri dei telai e le strutture della scala possono essere chiamate esplicitamente a collaborare al controventamento dell'intero edificio (figura 3-6 a); anche di ciò si farà menzione nel quarto volume.

Del resto l'elevato valore del rapporto tra la rigidità delle suelencate strutture di controvento e quella dei solai, molto flessibili per il loro modesto spessore, riduce di molto, nella realtà, l'entità del regime flessionale che si trascura. Solo nel caso, non auspicabile, di un edificio privo di strutture di controvento, i solai devono essere chiamati necessariamente ad intervenire come traversi di telai spaziali i cui nodi (torcibili) sono costituiti dalle travi; essi risultano allora sollecitati dal regime flessionale, che corrisponde alle forze orizzontali agenti sull'edificio (fig. 3-6 b). In questo caso, è opportuno considerare per l'intero edificio il comportamento non lineare dovuto all'effetto instabilizzante dei carichi verticali.

Peraltro, in presenza o meno di apposite strutture di controvento, il solaio partecipa sempre alla sta



g.3-6.- a) Le azioni orizzontali sono assorbite dalle due strutture reticolari di controvento.
 b) Le azioni orizzontali sono assorbite (irrazionalmente) dallo scheletro di pilastri, travi e solai; (le travi rappresentano il nodo di collegamento tra i pilastri e i solai).

tica generale dell'edificio sottoposto ad azioni orizzontali, per il fatto che costituisce un diaframma di elevatissima (infinita) rigidezza nel proprio piano e condiziona quindi gli spostamenti delle strutture verticali, riportando le azioni orizzontali agenti sullo involucro esterno dell'edificio a dette strutture. Questo comportamento dei solai, nei normali edifici, in genere non richiede particolari armature suppletive, essendo sufficienti quelle portanti e di ripartizione già previste dalle vigenti norme per il normale progetto. Anche questo problema sarà ripreso nel quarto volume a proposito dell'effetto delle forze orizzontali agenti sugli edifici.

3.2) Problemi particolari relativi ai solai.

Abbiamo precedentemente trattato i vari problemi connessi ad un solaio. Vogliamo ora occuparci di alcuni problemi particolari, che riguardano ancora i solai e che ricorrono frequentemente negli edifici, proponendo soluzioni appropriate.

3.2.1) Fori.

Fori nei solai si rendono necessari per consentire gli attraversamenti relativi agli impianti (elettrico, telefonico, idraulico, igienico-sanitario, di riscaldamento o condizionamento, canne fumarie, montacarichi, ascensori, ecc.) o altre comunicazioni verti-

cali (scale interne, spazi verticali, ecc.). Le loro dimensioni dipendono ovviamente dalle funzioni che esplicano: si passa così da fori di pochi centimetri di lato (ad es. $6 \times 6 + 6 \times 12$ per condotte elettriche e di riscaldamento) a quelli di oltre un metro (montacarichi, scale, ecc.).

Un progetto completo deve prevedere sia il posizionamento dei fori che le eventuali modifiche delle strutture interessate: ciò sia per realizzare economie di mano d'opera che per evitare quelle perniciose improvvisazioni, alle quali si può andare incontro realizzando fori in strutture già eseguite.

I fori rappresentano sempre una turbativa morfologica; non sempre hanno rilevanza statica tale da richiedere una revisione delle verifiche di stabilità delle strutture adiacenti o addirittura una variazione dello schema statico privo di fori. È evidente che un foro ha una rilevanza statica tanto minore quanto più piccole sono le sue dimensioni in rapporto alle corrispondenti dimensioni delle strutture interessate, che abbiano una funzione statica.

Se si ammette che l'ossatura spaziale dell'edificio sia schematizzabile in un sistema gerarchico di componenti strutturali (ad es.: soletta, travetti del solaio portati dalle travi, travi ancorate ai pilastri, pilastri, fondazioni), la rilevanza statica di un foro in rapporto a tutti i componenti fino ad un certo grado è correlazionabile al rapporto tra le dimensioni del foro e la dimensione minima del componente strutturale di quel grado (fig. 3-7). Il foro che non turbi affatto lo schema deve essere quindi conteggiabile nell'interspazio fra due travetti di solaio (di

mensioni minori della luce netta della soletta che e' il componente gerarchicamente piu' basso).

Ne consegue l'esistenza di una scala (gerarchica) di rafforzamenti da adottare man mano che la dimensione del foro impegna le componenti gerarchicamente piu' alte.

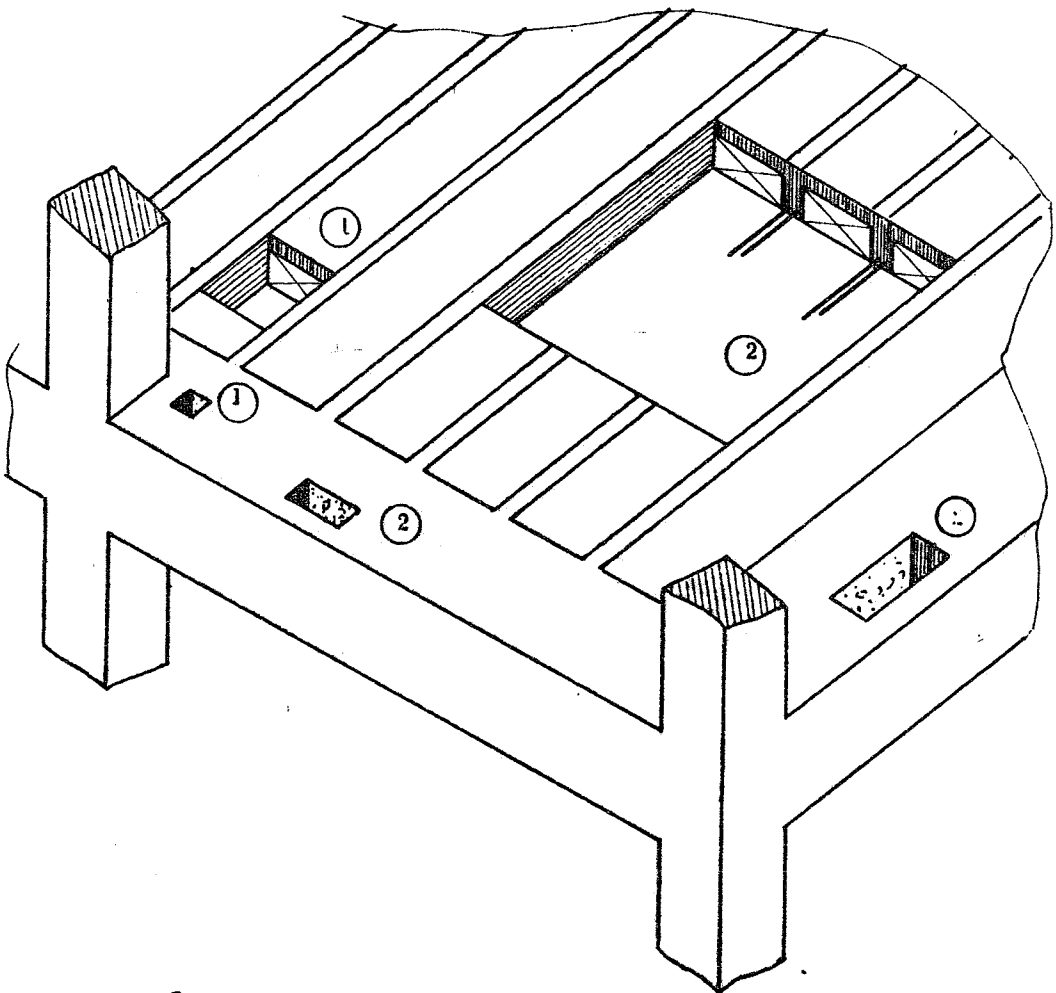


Fig. 3-7. ① Fori che non richiedono revisione delle strutture portanti
② Fori che richiedono rafforzamenti delle strutture (solai e travi) interessate.

Tale è, ad esempio, il caso dei fori di passaggio di montacarichi, ascensori ed altri servizi che interessano una estesa area del solaio, interrompendo uno o più travetti.

Consideriamo, a titolo di esempio, il caso illustrato dalla fig. 3-8. Un provvedimento radicale potrebbe essere costituito da una modifica dello schema strutturale con l'introduzione, ad esempio, di due ulteriori travi di bordo (A) adiacenti al foro prolungate fino alle travi, o ai pilastri, della struttura principale - e conseguente rotazione di 90° del sen-

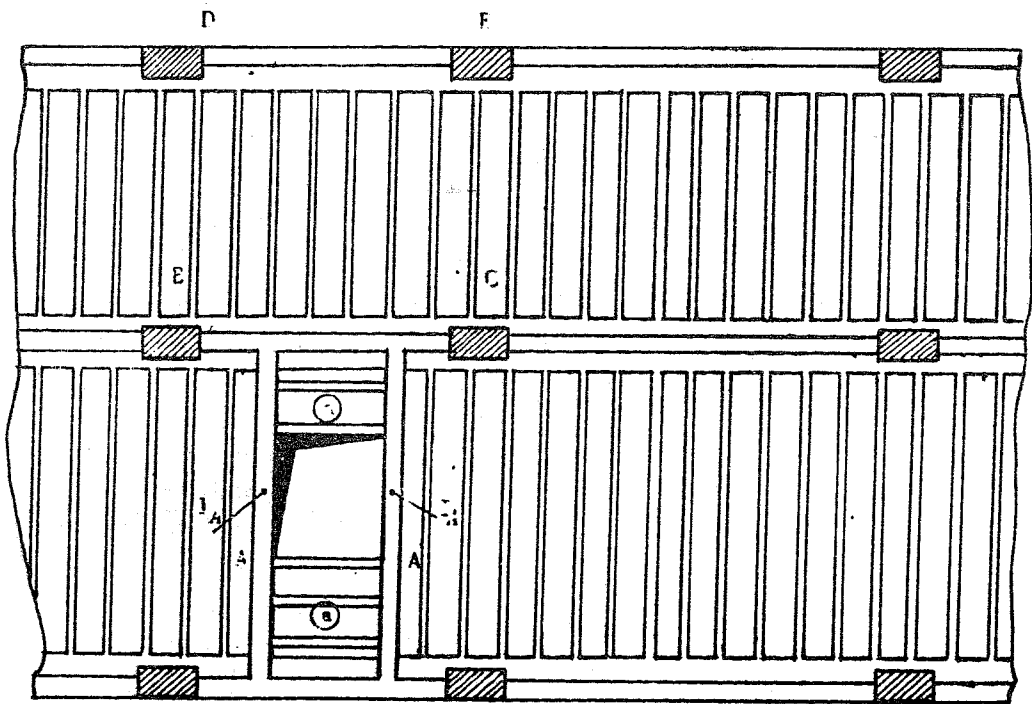


Fig. 3-8.- Per il foro dovuto al passaggio dell'ascensore si sono disposte le travi A che portano le zone (a) di solaio.

so di orditura delle zone di solaio (a) comprese tra le due nuove travi.

Questo tipo di provvedimento, od altro analogo, modifica sostanzialmente lo schema originario della struttura e non presenta particolari difficoltà di analisi.

Sempre con riferimento al caso illustrato in figura 3. 8, il solaio (a) può prudenzialmente considerarsi vincolato ai suoi estremi con semplici appoggi e contemporaneamente, e sempre in base al criterio di "fascia" già illustrato - con un parziale grado di incastro. Le due travi (A) a loro volta possono considerarsi semplicemente appoggiate agli estremi e, contemporaneamente, attraverso un conveniente tronco della trave B-C interessato dalle due stesse travi e supporto rigido a torsione, possono considerarsi legate al rispetto della continuità con la campata di solaio BCDE.

In questa seconda ipotesi intervengono nel calcolo della struttura iperstatica i momenti d'inerzia: $2I_A$ per le travi (A) ed $n \cdot i$ per gli n travetti della zona BCDE; il tratto BC va armato anche a torsione in base al momento d'incastro (dovuto alla continuità tra le due travi ed il retrostante solaio), distribuito nel tratto BC.

Lungo i bordi esterni delle due travi (A) occorre curare la cucitura del solaio adiacente alle travi stesse per evitare la formazione di una frattura indicata qualitativamente con una linea serpeggiata in figura 3- 9; a seguito di tale cucitura le travi (A) ricevono trasversalmente il carico e la collaborazione di un'aliquota del solaio adiacente almeno pari all'interasse tra i travetti.

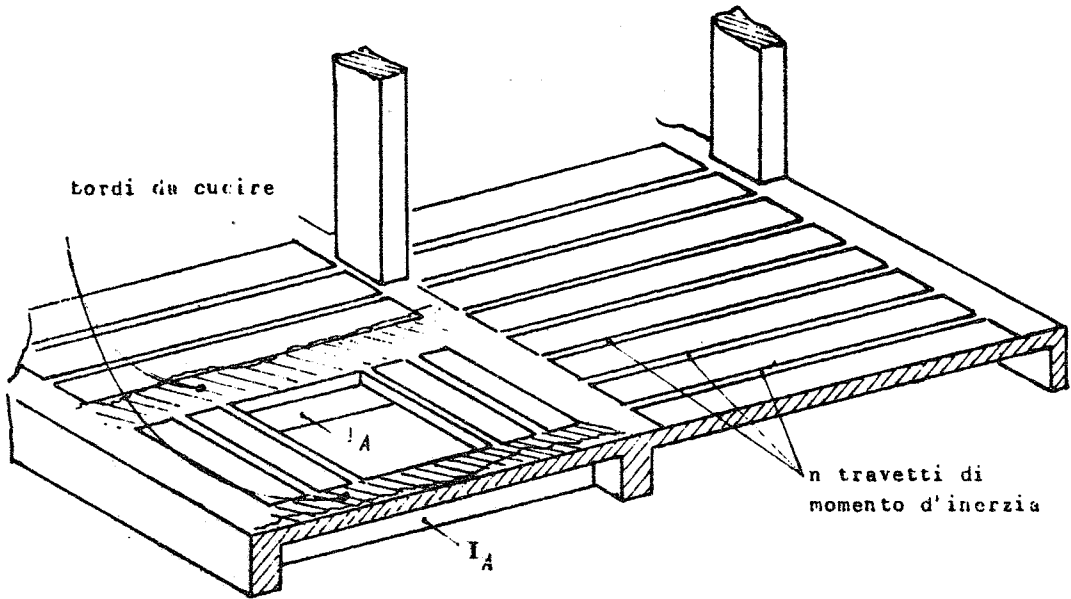


Fig.3-9 Vista prospettica della disposizione rappresentata in fig.3-8 .

Se le travi (A) sono emergenti possono nascere difficoltà distributive per gli ambienti sottostanti; si può cercare in tal caso di realizzarle di altezza pari allo spessore del solaio. Se anche questa soluzione, attesa la luce ed i carichi, risulta impossibile o irrazionale, si può ricorrere al provvedimento illustrato dalla fig. 3-10). Si dispongono interno al foro quattro travi a "spessore" di solaio, in modo da formare un telaio orizzontale; esso deve essere proporzionato in modo da assorbire tutte le sollecitazioni che la zona eliminata di solaio assorbiva lungo il suo contorno. A tal fine può, per semplicità, suppersi sia pure in via approssimata, che le caratteristiche della sollecitazione corrispondenti allo schema

statico originario, al quale apparteneva il solaio integro, siano ancora (globalmente) valide per la fascia di solaio che contiene al suo interno il "telajo". Ciò equivale a supporre che, globalmente, la deformabilità di tale fascia, equivalga a quella del solaio primitivo (con i travetti integri).

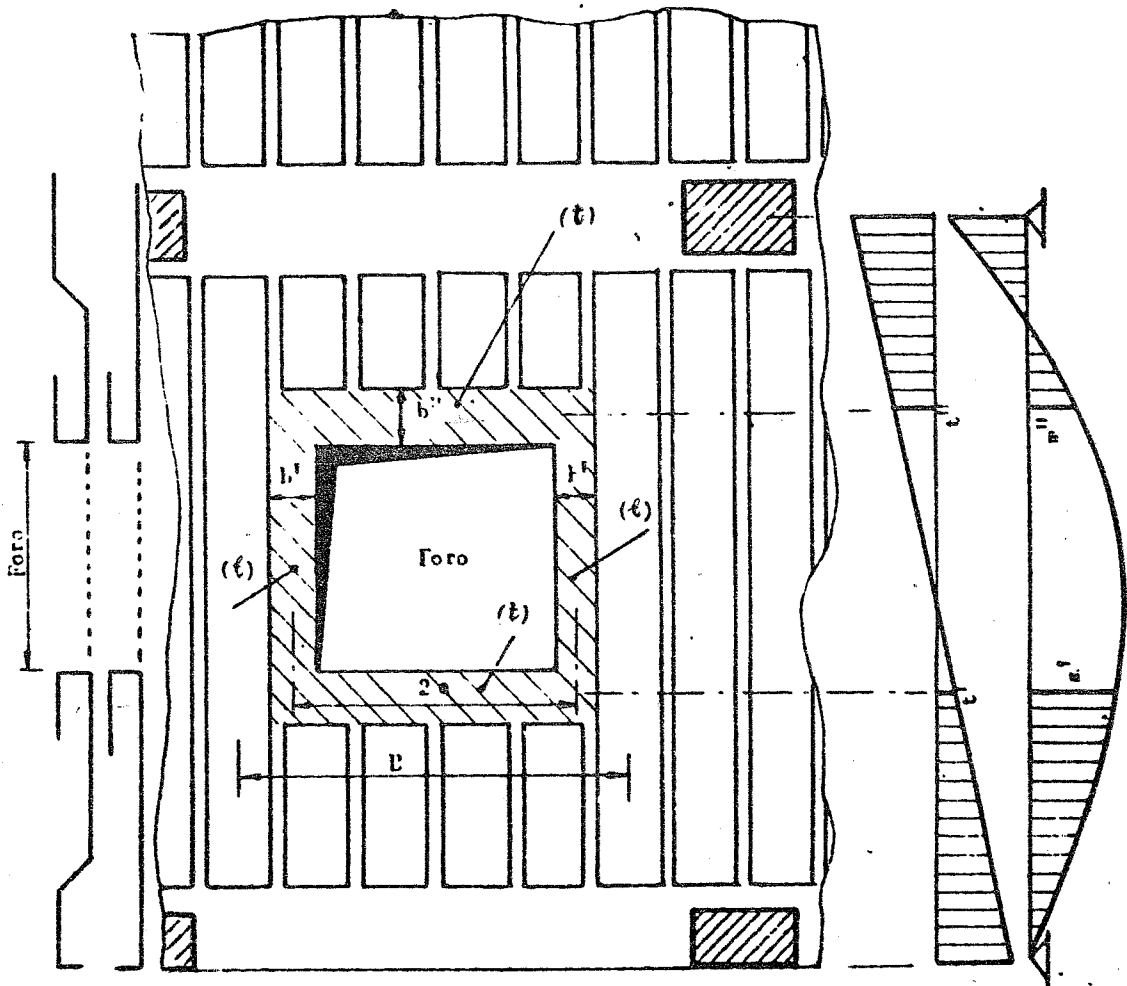


Fig. 3.10. - Per la striscia comprendente il foro si considerano validi i diagrammi di momento e taglio già determinati in assenza di foro.

Possono allora utilizzarsi i risultati del calcolo già eseguito, ovvero i diagrammi dei momenti flettenti e dei tagli relativi al solaio integro. I valori corrispondenti ai bordi della zona eliminata si considerano agenti sulle due travi (t) del telaio ortogonali alla direzione dei travetti. Il momento flettente (distribuito) induce in (t) torsione ed il taglio induce flessione e taglio (la flessione è generalmente trascurabile). Le reazioni ai due estremi di ciascuna di dette travi (t), sono poi assorbite dalle altre due travi (l) di bordo del telaio parallele al senso di orditura dei travetti: le reazioni torcenti di (t) si traducono in momenti flettenti per (l) e i tagli in taglio e flessione. Si richiude così in un sistema equilibrato il complesso delle caratteristiche della sollecitazione; in sintesi le due travi (l) assorbono complessivamente i momenti flettenti e tagli che competevano alla intera striscia B corrispondente al solaio interrotto, alla larghezza delle stesse travi (l) e ad un interasse di solaio (meta' per ogni trave).

Nella fig. 3-11 sono riportati schematicamente i dati che individuano il procedimento, che ovviamente si diversifica al variare dell'ubicazione del foro, dei carichi, ecc.

Qualche considerazione meritano i criteri da seguire nel disporre le armature metalliche; conviene infatti armare le travi del telaio con barre diritte, piegate a squadra agli estremi, disposte lungo il contorno della sezione trasversale e legate con staffe chiuse. Le aree metalliche devono essere commisurate essenzialmente all'entità della caratteristica torcente per le travi (t) e della caratteristica flettente

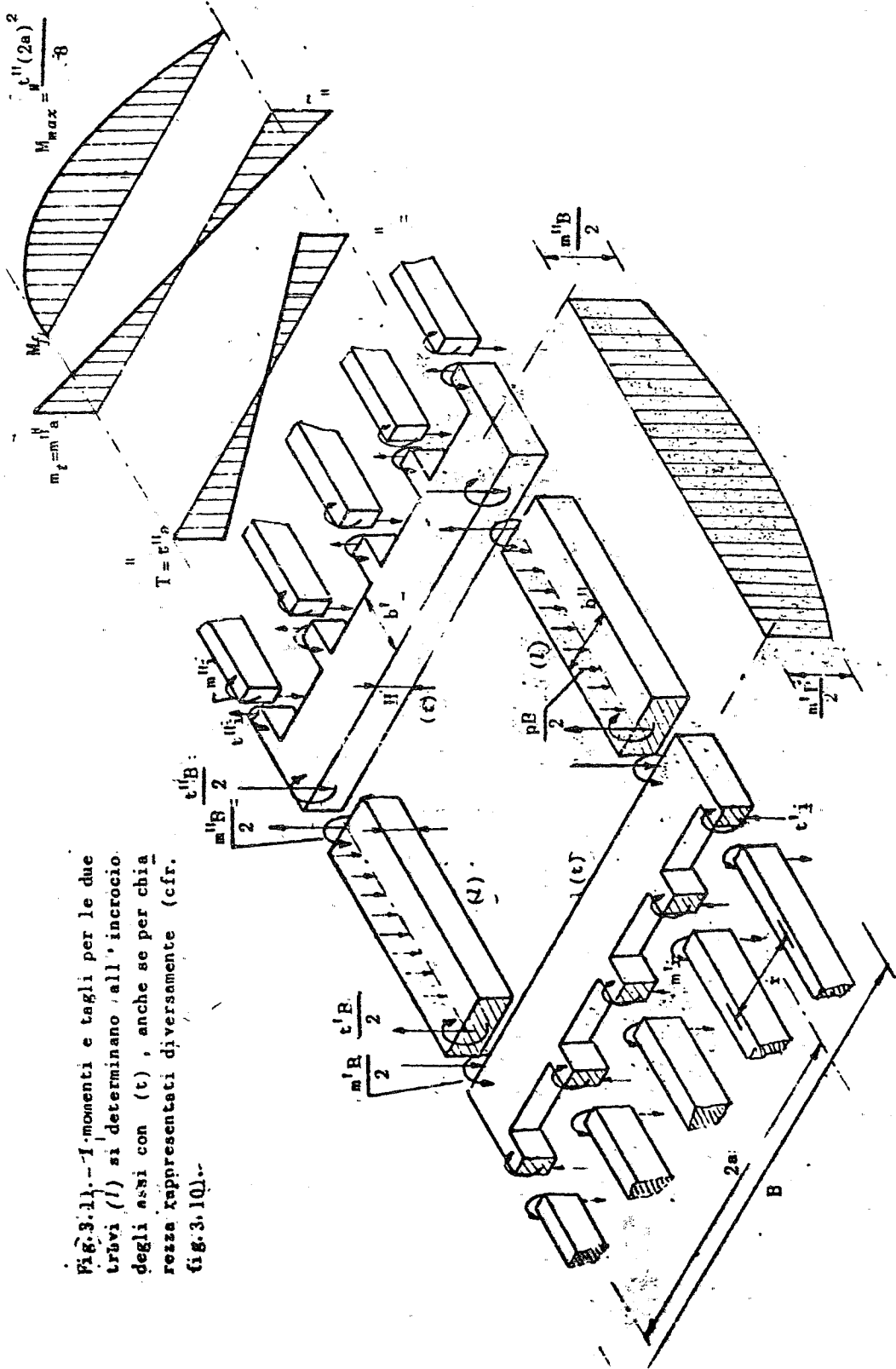
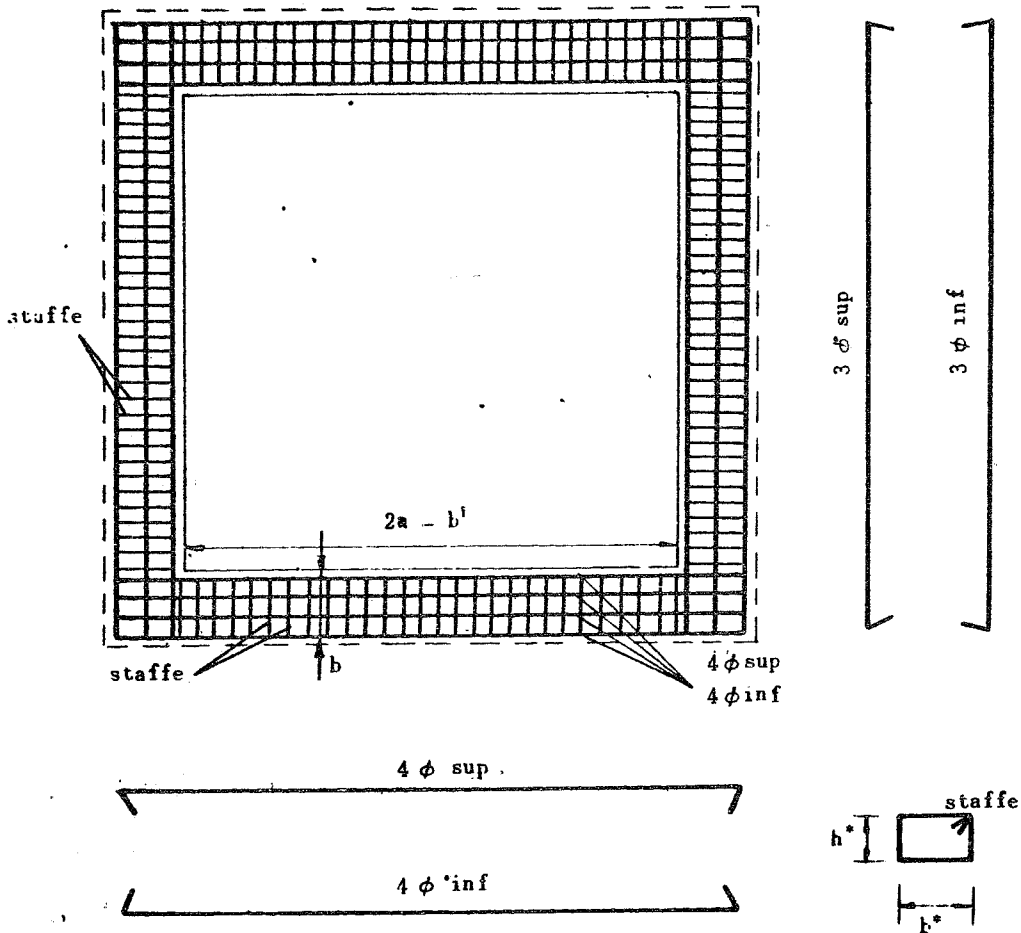


Fig. 3.11. — I momenti e tagli per le due travi (1) si determinano all'incrocio degli assi con (c), anche se per chiazze rappresentati diversamente (cfr. fig. 3.10).—

per le travi (1), determinate secondo i criteri indicati in precedenza.

Le staffe si dispongono solo nei tratti corrispondenti ai lati del foro, giacche' negli angoli s'intersecano le barre longitudinali delle travi del telaio che, proseguendo per tutta la zona d'intersezione, si abbracciano reciprocamente formando una rete a maglie rettangolari.



$$h^* = (H - 3) \text{ cm}$$

$$b^* = (b - 3) \text{ cm}$$

Fig 3 12

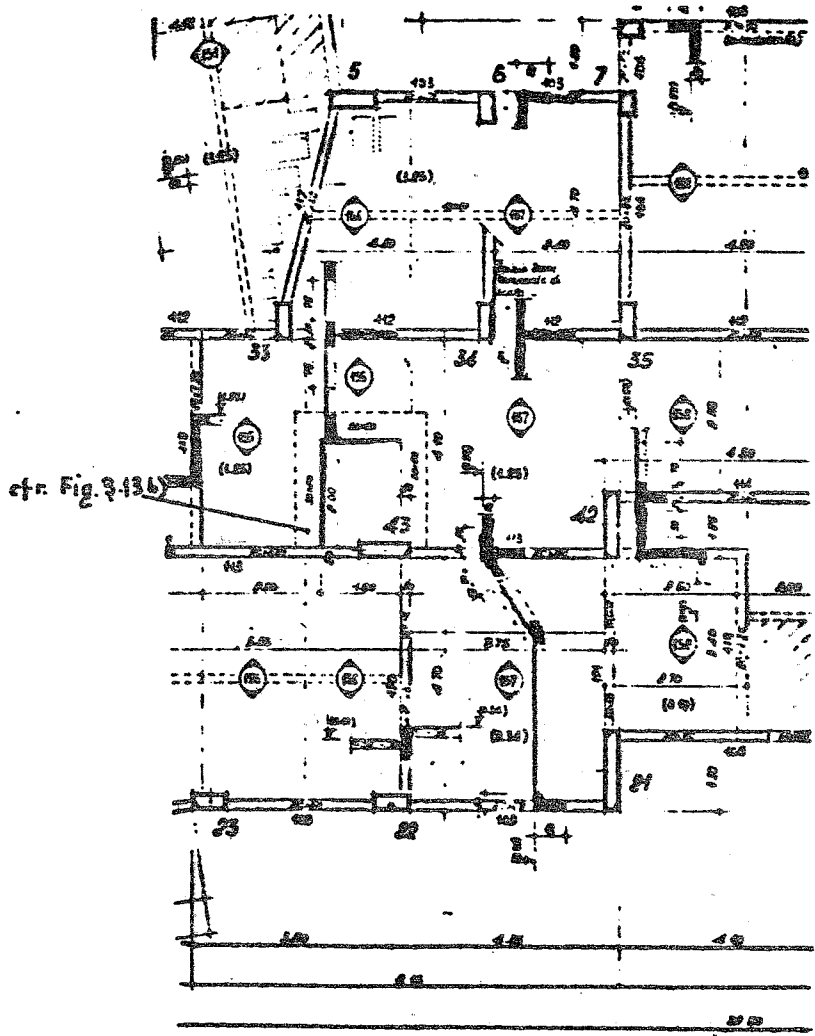
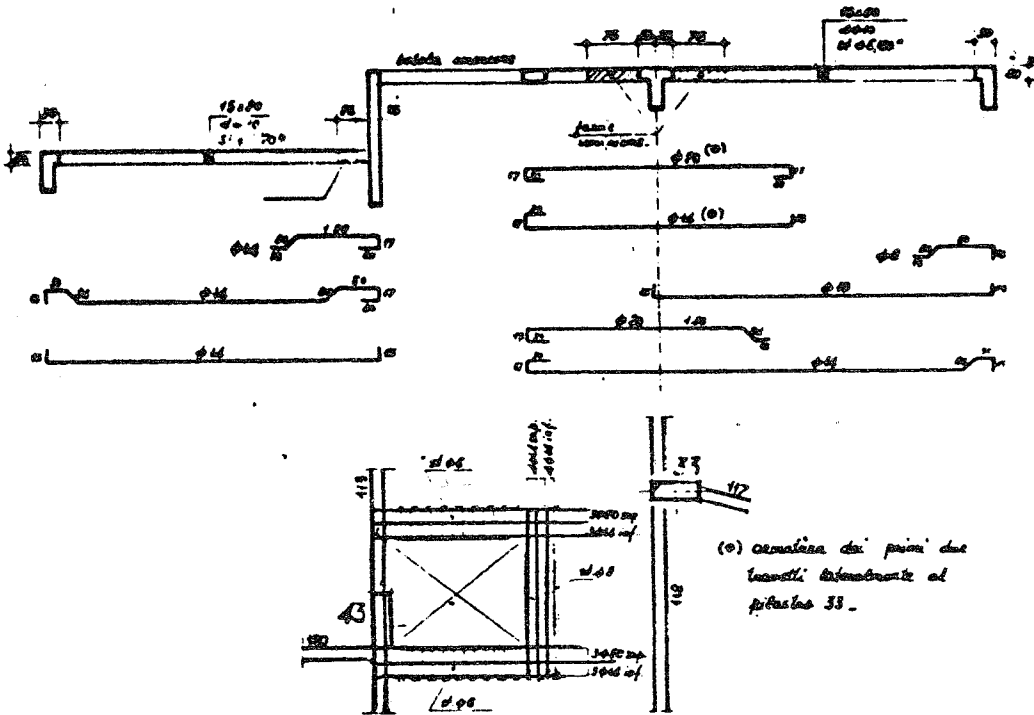


Fig. 3-13 a). - Pianta di una carpenteria esecutiva.

SOLAIO 156..



TRAVETTI PERIMETRALI DELLA BOTOLA ASCENSORE..

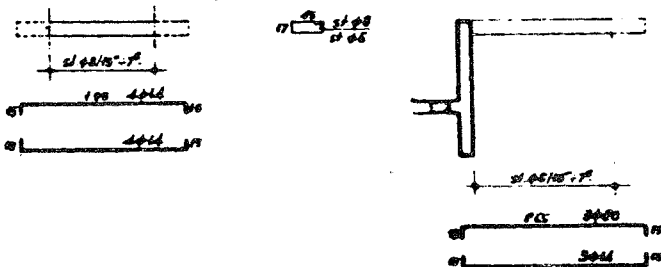
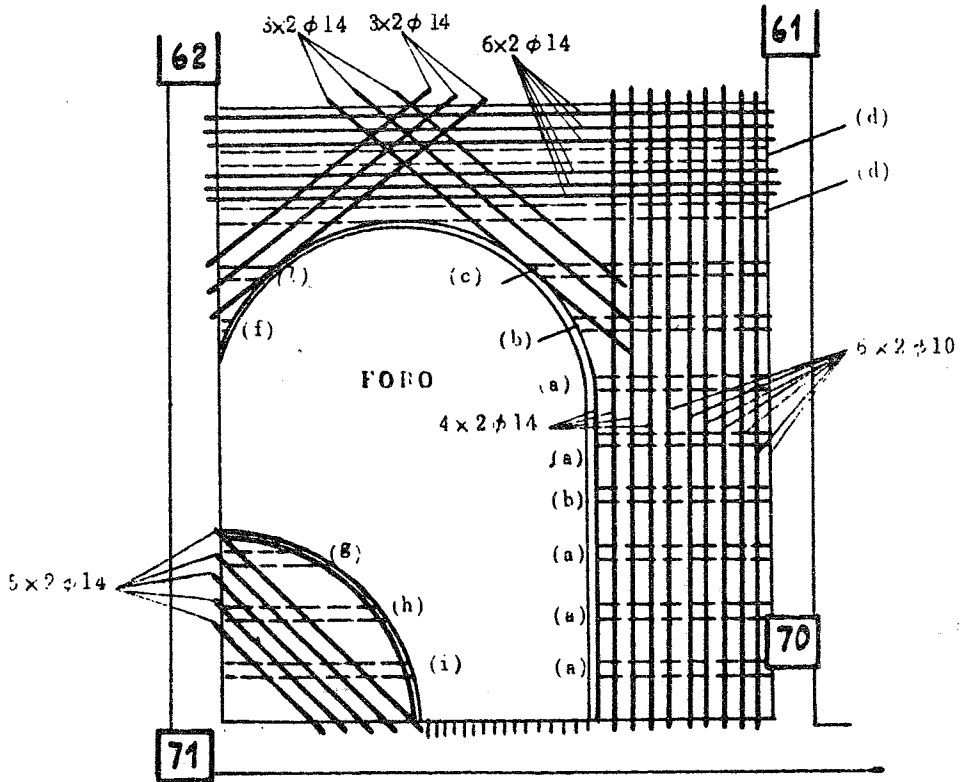


Fig 3.13.b) - Esempio di armatura del telaio orizzontale disposto intorno al foro per il passaggio di ascensore. Un lato del telaio e' costituito da una trave che regge il solaio a due livelli e ne garantisce la continuita'



Sagomario dei ferri esistenti nei travetti

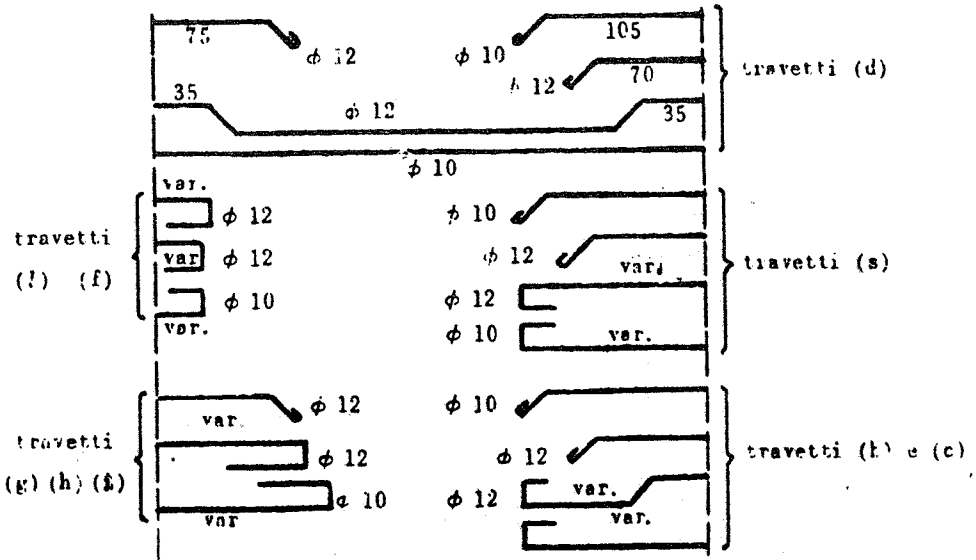


Fig. 3.14 a) Esempio di foro di forma irregolare realizzato a posteriori da molendo le zone circostanti e risagomando i ferri esistenti e disponendone altri lungo il contorno.

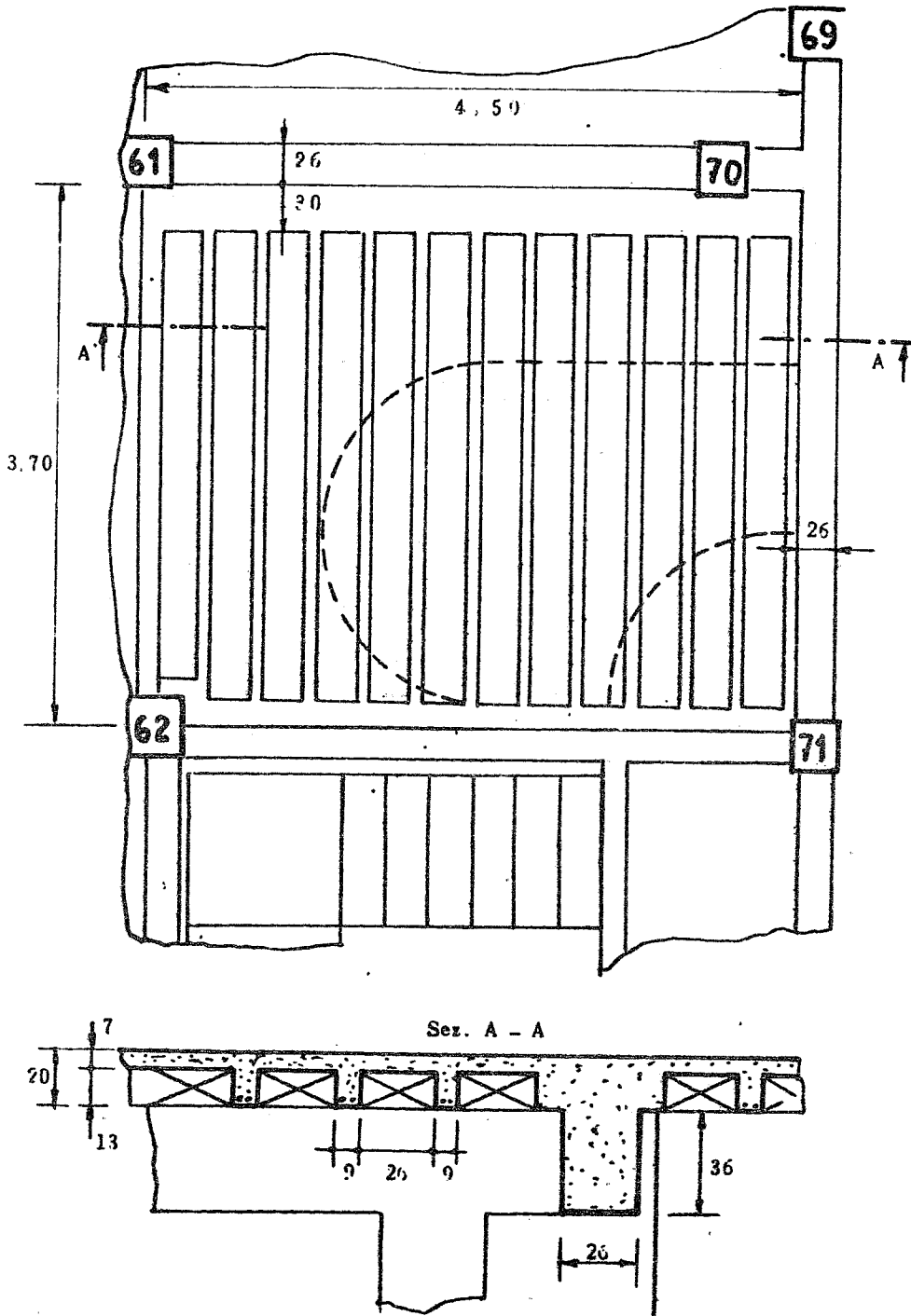


Fig. 3.14.b) La disposizione dei travetti del solaio nel campo 61-70 62-71 prima del taglio: La segoma del taglio e' riportata con linea trattoggiata.

Conviene inoltre evitare ganci alle estremità delle barre di acciaio per non creare grovigli con conseguenti difficoltà di costipamento del conglomerato e per rendere più agevole il montaggio. Le barre di armatura dei travetti del solaio interrotto si ripiegano a doppio squadra in modo da abbracciare le armature delle travi (t) poste al contorno del foro e garantire così la trasmissione dei momenti e dei tagli (vedi fig 3-12) Nelle precedenti figure 3-13 a,b) e 3-14 a,b) sono riportati sia alcuni esempi di fori previsti in esecuzione che di fori realizzati in strutture già eseguite per il passaggio di scale interne

3.2.2) Ribassamenti.

Per la messa in opera degli impianti tecnici, oltre ai fori per il passaggio verticale di condotte e altri servizi, di cui si è detto in precedenza, occorre prevedere, in alcune zone di solaio, "ribassamenti" della superficie di estradosso rispetto al livello generale del solaio stesso, in modo da consentire nel maggior spessore di massetto il passaggio orizzontale di tubazioni. Quasi sempre è sufficiente un ribassamento di pochi centimetri (4-5 cm), sicché basta realizzare un solaio di altezza minore in alcune zone di limitata estensione. In esse s'incrementano le armature metalliche (superiori ed inferiori secondo il segno del momento) in rapporto inverso alla diminuita altezza e si verifica se la sollecitazione nel conglomerato è ancora contenuta nei limiti ammissibili.

Nel caso di schemi iperstatici si commette così

l'approssimazione di trascurare le variazioni di momento flettente, che sono, in rigore, indotte dalla riduzione del momento d'inerzia del solaio nella zona ribassata.

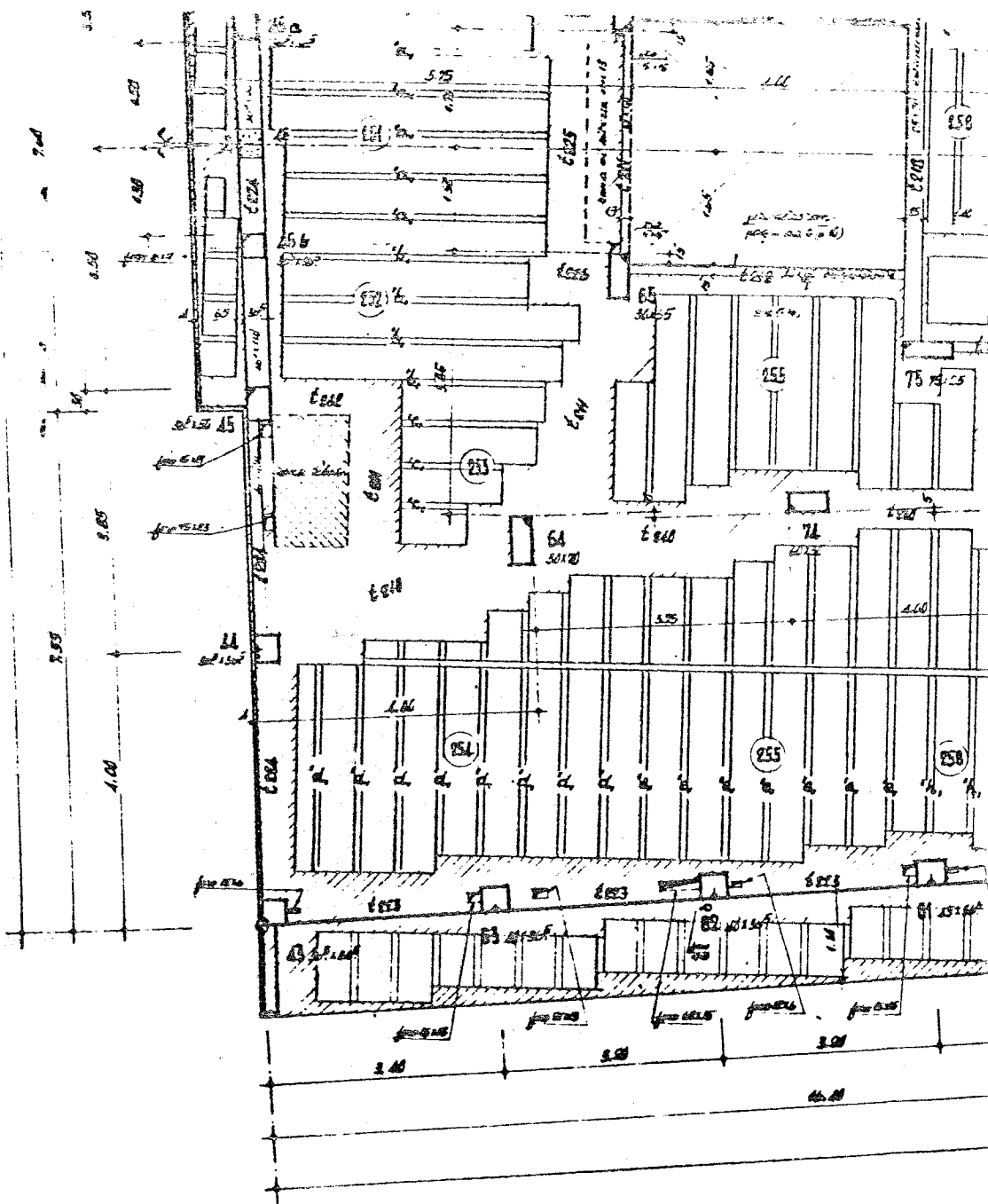
In zone meno estese può essere però necessario realizzare un ribassamento di maggiore entità per far posto ad esempio, a tubazioni molto inclinate, a sifoni etc.

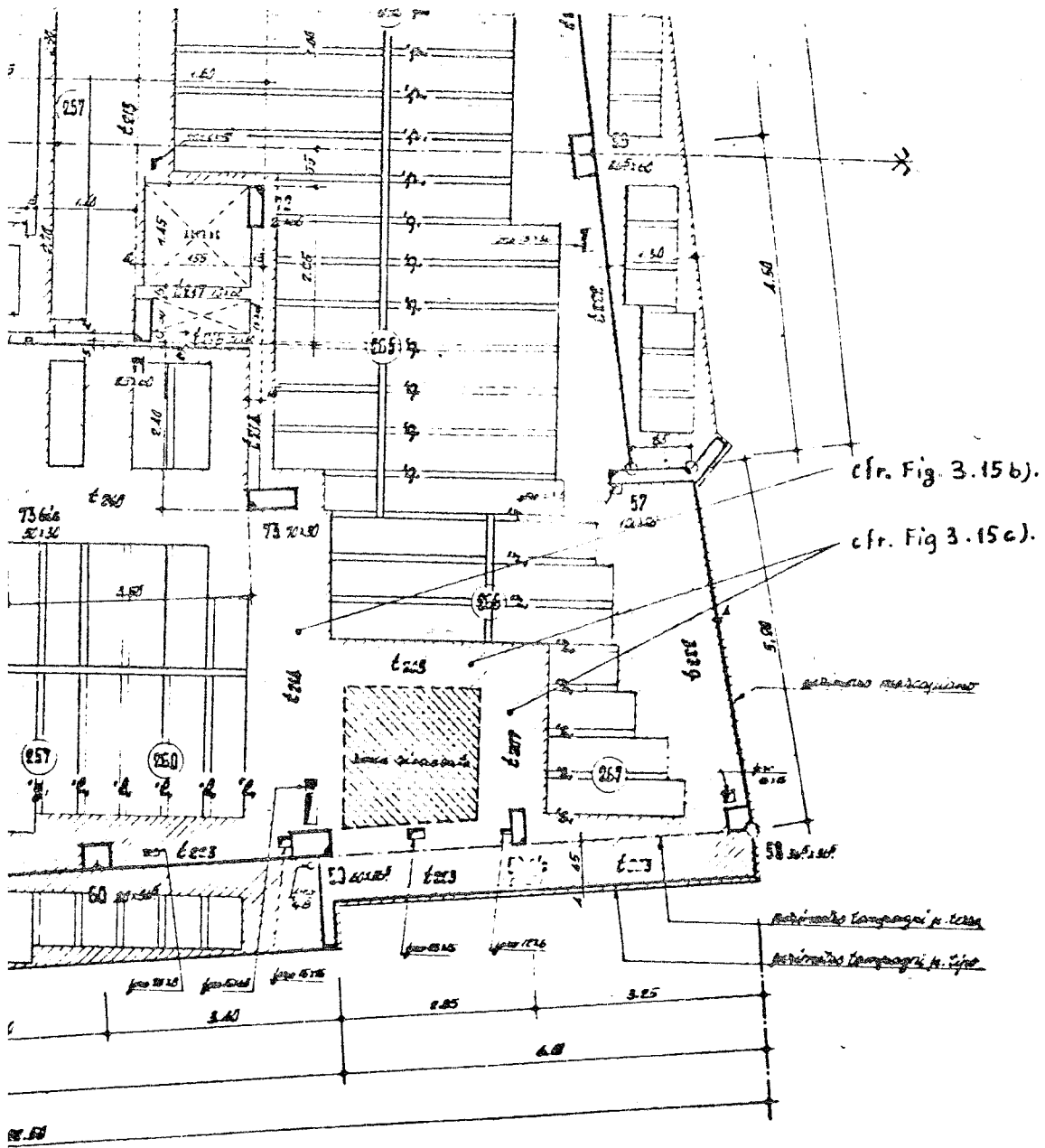
Tale notevole ribassamento comporterebbe in pratica l'annullamento della capacità portante del solaio (ad esempio, se lo spessore originario è di $20 \div 22$ cm ed il ribassamento richiesto è dell'ordine di $13 \div 14$ cm, resterebbero solo $7 \div 8$ cm di spessore residuo di solaio).

Si è ricondotti quindi alla necessità, già considerata nei precedenti paragrafi, di realizzare nel solaio un foro di notevoli dimensioni, con l'aggravante che, in questo caso, non si tratta di un "vuoto" (non pesante), ma di un "pieno", di peso maggiore del resto del solaio, concentrato nella zona ribassata. Infatti, oltre alla soletta di fondo (di $7 \div 8$ cm), dopo aver messo in opera l'impianto, occorre disporre un riempimento che si aggiunge ai normali carichi permanenti e sovraccarichi utili che gravano su tutto il solaio.

Si tratta cioè di un "vuoto pesante". Per il dimensionamento basta richiamare quanto si è già detto in precedenza, tenendo però conto dei maggiori carichi. Essi vanno confrontati con quelli corrispondenti al solaio normale onde apportare nel modo più opportuno, le conseguenti modifiche allo schema dei carichi (l'incremento si può tradurre in carichi concentrati in carichi distribuiti su parte della luce,

PL 33





cfr. Fig. 3.15 b).

cfr. Fig. 3.15 c).

particolari meccanici

particolari lampadari p. letto

particolari lampadari p. bagno

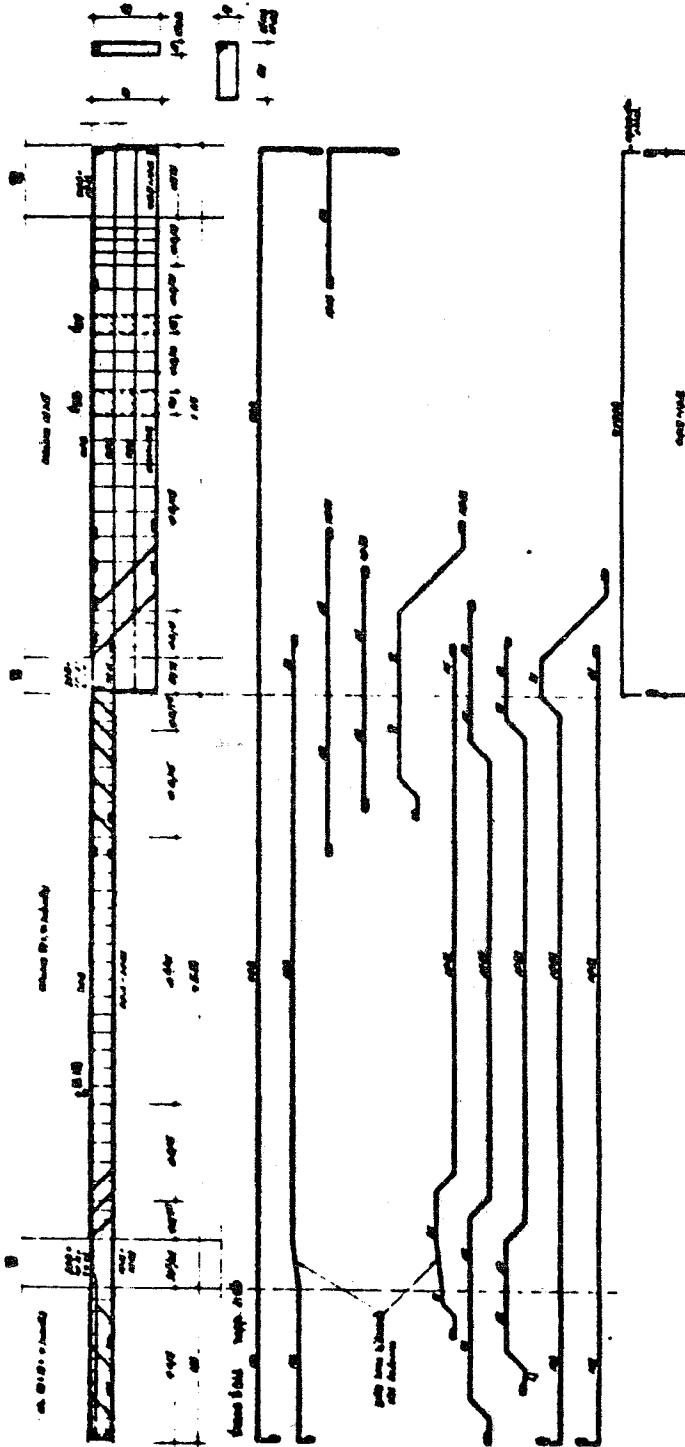


Fig 3 15 b) - Trave appartenente alla carpenteria rappresentata in fig 3 15 a)

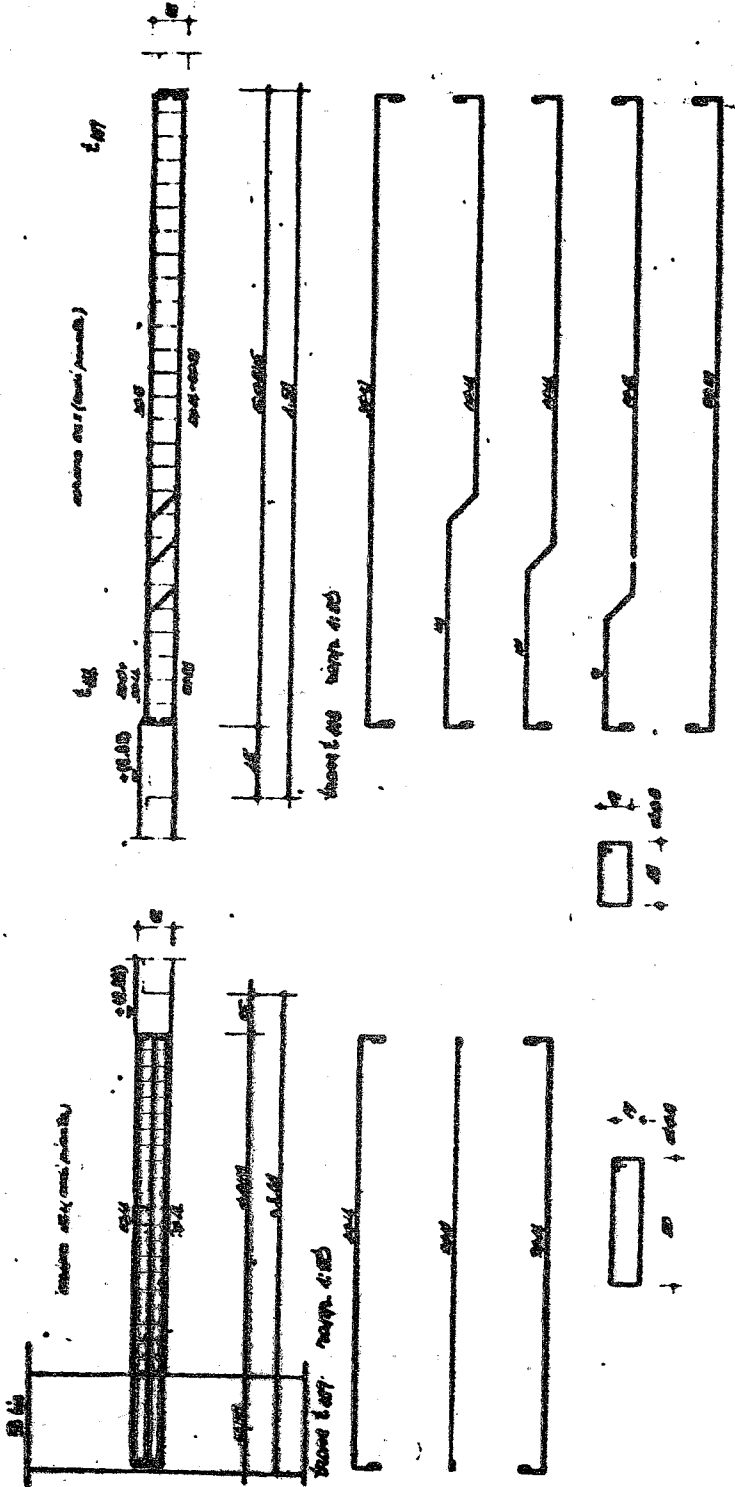


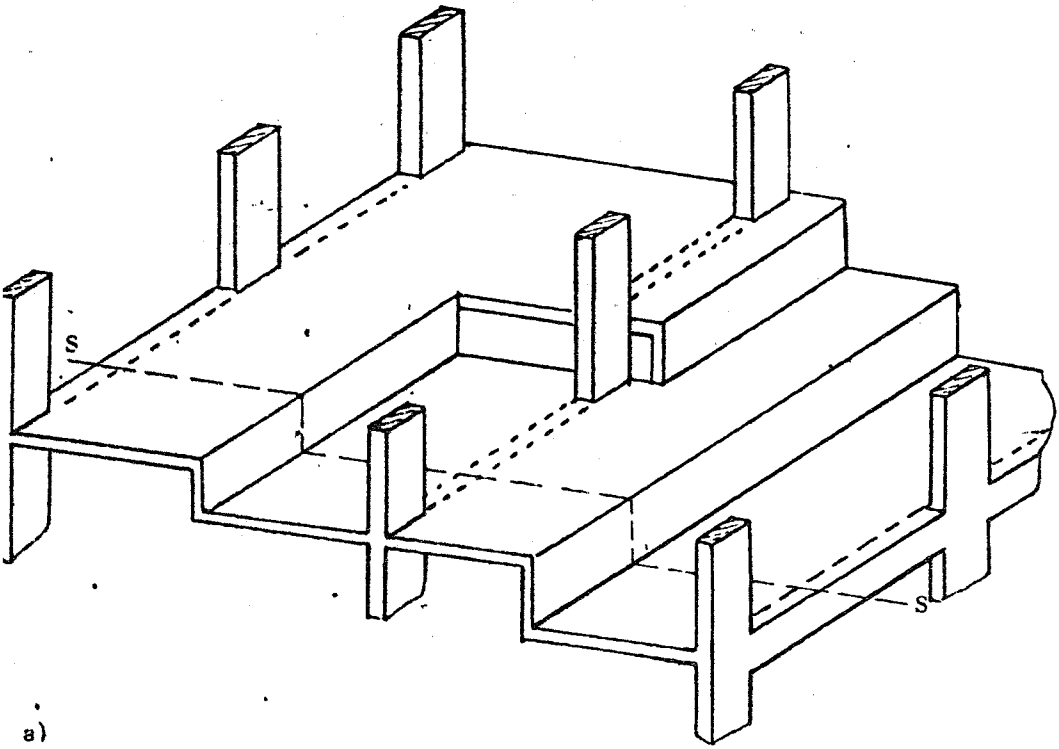
Fig. 3.15 c) - Travi di bordo del ferro pesante (con soletta di fondo) di fig. 3.15 a).

ecc.). E' in genere trascurabile, anche per la resistenza del telaio orizzontale di bordo, il contributo della soletta di fondo della vasca che si e' venuta a formare: a tale soletta si affida solo il compito di sostenere i carichi ad essa direttamente applicati e di riportarli al telaio di perimetro. Una modesta rete metallica e sufficiente a tale scopo. Come si e' gia' accennato, per il criterio di calcolo del telaio di bordo per la disposizione in esso delle armature ed ogni altro dettaglio vale quanto si e' detto in precedenza per i fori passanti (In fig 15 a), t), c) e' riportato un esempio tratto da un caso concreto, di foro con soletta di fondo (vasca pesante) per alloggiamento di impianti igienici

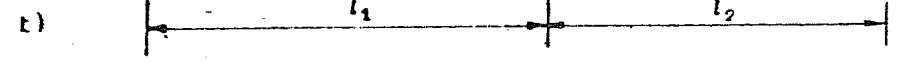
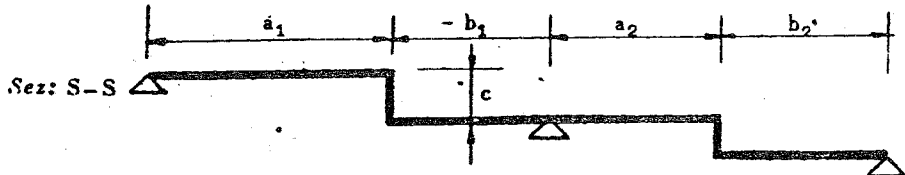
3.2 3) Solai con campate ad asse spezzato.

Quando il piano di campagna adiacente all'edificio e in pendenza puo sorgere la necessita' che il solaio del piano terra sia disposto a livelli variabili in modo che il calpestio dei singoli ambienti, posti lungo il perimetro, segua a gradoni il livello della strada circostante per consentire ad esempio, una destinazione a negozi

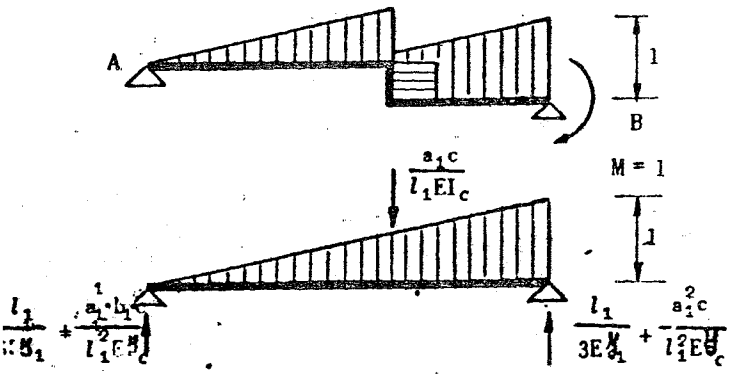
Inoltre una completa funzionalita' distributiva puo imporre che i confini delle zone disposte ai vari livelli debbano essere definiti indipendentemente da un criterio statico, che potrebbe essere, ad esempio, suggerito dallo schema di orditura della struttura principale di travi e pilastri. Lo schema principale generalmente e' gia' condizionato dalla distribuzione del piano "tipo", che, ripetendosi piu' volte in edifici multipiani, assume un'importanza preponderante e decisiva sulla impostazione strutturale dell'edificio.



a)



b)



c)

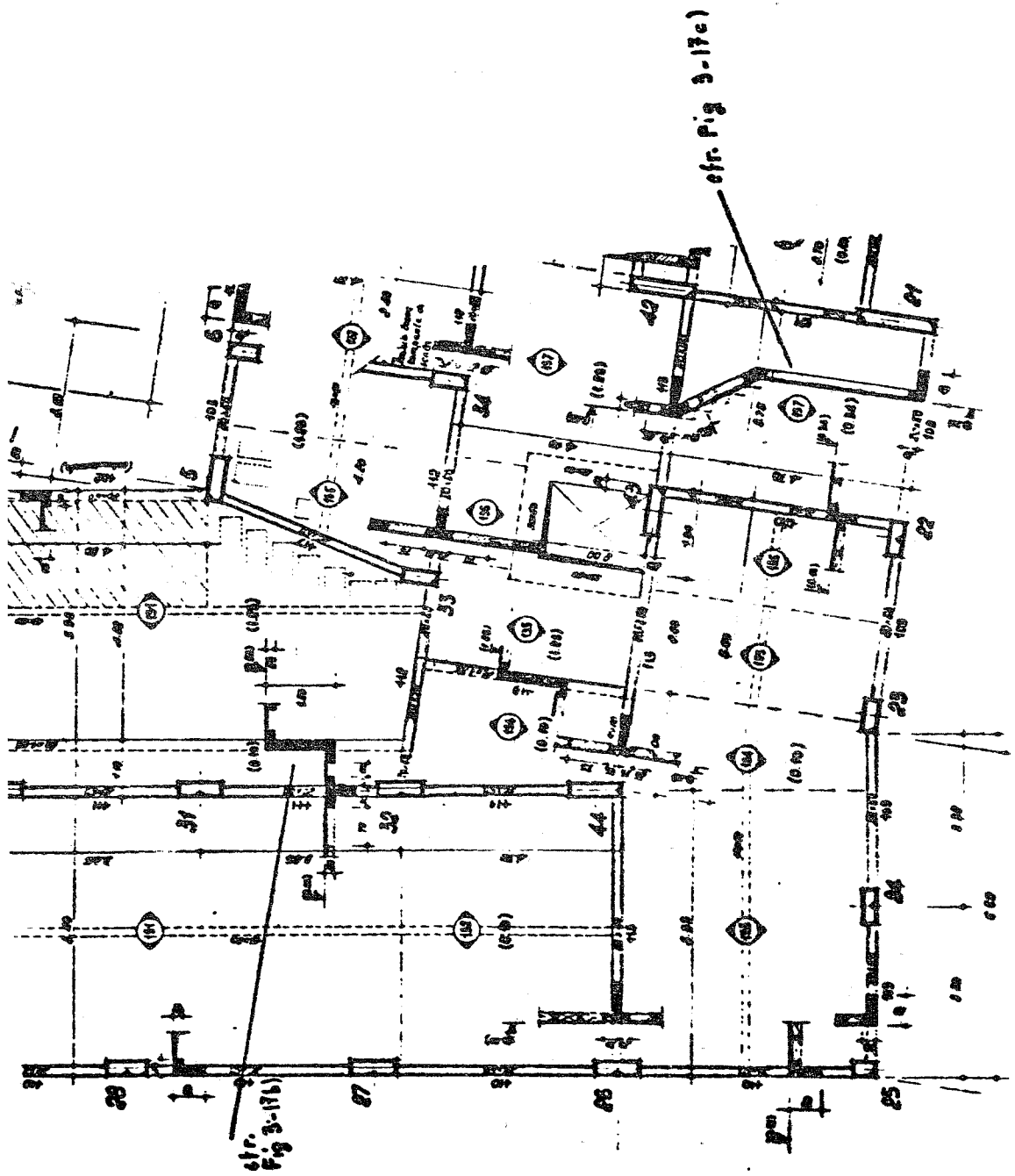
Fig. 3.16

In definitiva puo' avvenire che, per le suddette esigenze, gli appoggi di una o piu' campate di un solaio non siano disposti allo stesso livello, ma secondo l'andamento indicato in fig. 3-16. Il calcolo non offre difficolta' concettuali: si devono solo determinare le nuove rigidezze delle campate ad asse "spezzato". Basta incrementare le deformabilita' corrispondenti all'asse rettilineo di una ulteriore rotazione "concentrata" nella sezione in cui l'asse assume direzione verticale.

Ad esempio per la prima campata della trave rappresentata in fig. 3-16 a) la deformabilita' in B si ottiene sommando al termine $l_1/3EI_1$, che corrisponderebbe alla trave rettilinea, il termine $a_1^2/1_1^2EI_c$, in cui a_1/l_1 e' il valore del momento nel tratto verticale ed a_{1c}/l_1EI_c la rotazione relativa tra le due sezioni estreme di detto tratto. E' chiaro, quindi, che la deformabilita' in B aumenta per la presenza del tratto verticale. Note le deformabilita', e' facile determinare il diagramma dei momenti flettenti e le armature metalliche necessarie.

Merita attenzione il dettaglio costruttivo del tratto verticale. In esso le armature devono essere disposte in modo da non abbracciare angoli convessi; per semplicita' di esecuzione non conviene adottare barre continue (che dovrebbero formare dei cappi, come indicato esemplificativamente in fig. 3-17 a, b e c) bensì spezzate secondo la disposizione, piu' opportuna, indicata qualitativamente in fig. 3 10.

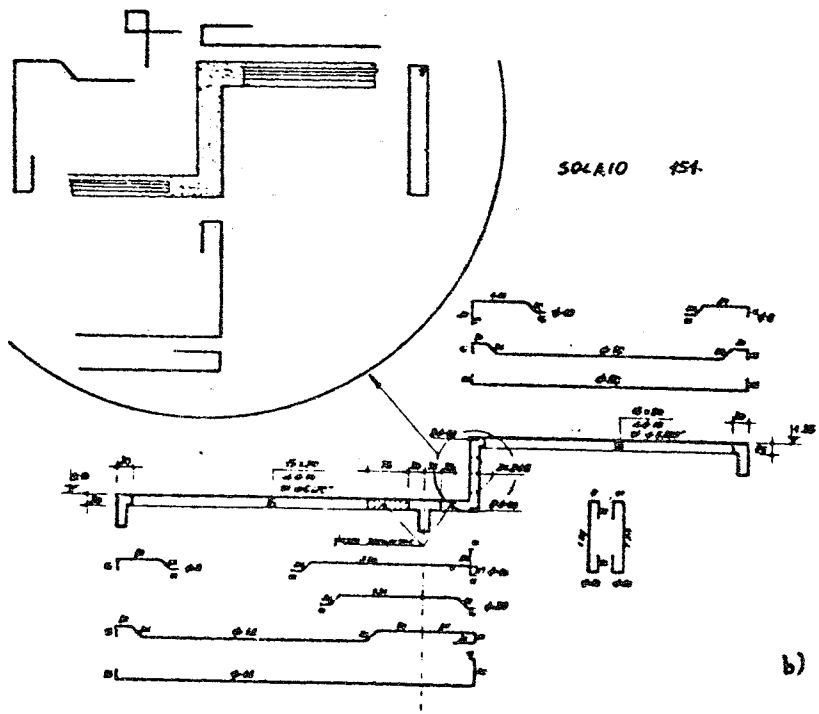
Il tratto verticale non puo', ne' deve, essere alleggerito con laterizi, in modo da poter essere armato anche in direzione trasversale, rispetto all'orditura del solaio, da barre metalliche. Si garantisce



see Fig. 3-17c

see Fig. 3-17a

Fig. 3-17a



SOLAIO 157

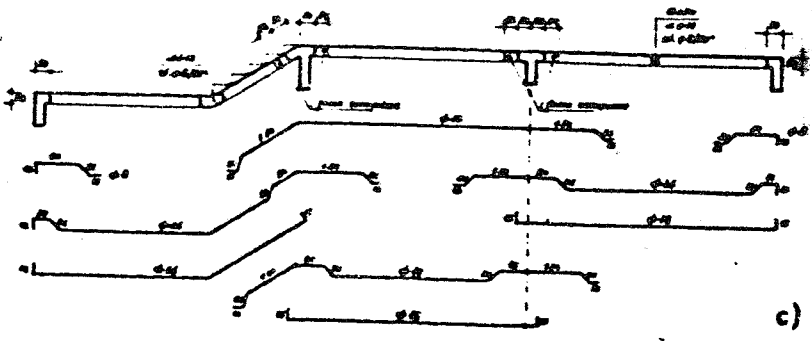


Fig. 3 17 b) c) b) Armature di un solaio ad asse spezzato della carpenteria di fig. 3 17a) (in alto altre possibili disposizioni delle armature. c) Nella prima campata il solaio presenta un tratto ad asse inclinato.