



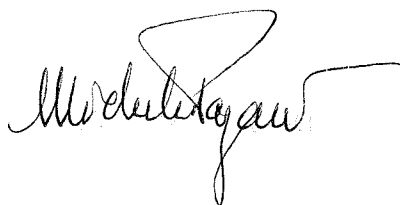
MICHELE PAGANO

# TEORIA DEGLI EDIFICI

*(Lezioni del corso di complementi di tecnica delle costruzioni)*

② EDIFICI IN CEMENTO ARMATO

LIGUORI EDITORE



**Publicato da Liguori Editore  
via Mezzocannone 19, 80134 Napoli**

**© Liguori Editore, S.r.l., 1977**

**Prima edizione italiana Ottobre 1977**

9 8 7 6 5 4

1998 1997 1996 1995 1994 1993 1992 1991

***Le cifre sulla destra indicano il numero e l'anno  
dell'ultima ristampa***

**I diritti di traduzione, di riproduzione e di adattamento totale  
o parziale e con qualsiasi mezzo (compresi microfilm, microfiches  
e riproduzioni fotostatiche) sono riservati per tutti i Paesi.**

**Printed in Italy, Liguori Editore, Napoli**

**ISBN 88 - 207 - 0480 - 3**

## P R E F A Z I O N E

Ritengo che sia piu' che sufficiente per il lettore quanto si dice nella prefazione al primo volume, che vide la luce un anno fa con la presentazione dell'amico Giangreco.

Desidero qui solo rinnovare i miei ringraziamenti al dottor Liguori e, in particolare, all'ing. Pedroni per il particolare impegno che ha posto nell'illustrare questo volume tormentato da anni di successivi ripensamenti.

Devo infine esprimere la mia piu' viva riconoscenza all'ing. Massa per l'acume e la diligenza con la quale mi ha assistito nella critica e discussione del testo nella sua ultima stesura.

*Michele Pagano*



Questo volume dell' amico prof. Pagano sugli edifici in muratura fa parte di un'opera completa nella quale vengono trattati gli edifici in cemento armato, quelli a pannelli portanti e quelli in acciaio, con un discorso unitario ed una metodologia di base che ne costituiscono l'aspetto più interessante.

La raccolta di argomenti sparsi in varie pubblicazioni e testi, con diversità di premesse storiche e di esigenze attuali, ma pure appartenenti ad un unico contesto strutturale costituiscono, a mio avviso, un lavoro particolarmente utile: ma forse l'aspetto più originale che vorrei sottolineare è l'impostazione di fondo, per così dire filosofica, con la quale viene interrogata la fenomenologia e meditata la risposta, sulla base dell'osservazione quotidiana o dell'indagine specifica, con conseguente consapevole assunzione di responsabilità.

È un richiamo etico anche più valido se si guarda alla coerenza dell'Autore che nella sua lunga milizia di studioso e di progettista ha sempre cercato di mutuare la suggestione teorica con la verità sperimentale.

È un insegnamento per i giovani le cui aspirazioni umane e tecniche devono tener presenti i traguardi ideali, ma costruendo e verificando lungo il cammino.

Elio Giangreco

Napoli, Dicembre 1968



## PREFAZIONE

Certamente sarebbe stato opportuno che la prefazione generale che precede questa prima parte dell'opera fosse stata scritta prima che le successive parti vedessero la luce. Invece, per agevolare il compito agli allievi in corso nell'anno 67-68, la terza parte, che era più avanti nella sua stesura, è già stampata con una sua prefazione particolare.

L'opera infatti comprende una parte delle lezioni del Corso di Complementi di Tecnica delle Costruzioni ed è quindi, in questo senso, condizionata agli attuali programmi del Corso, sia pure nella prospettiva scientifica di un logico sviluppo e di una maggiore ampiezza.

Quando con il nuovo ordinamento delle Facoltà d'Ingegneria (1960) fu istituito questo Corso, erano dedicate agli edifici solo poche lezioni richieste dagli allievi, che, ormai alla soglia della laurea, sentivano la necessità di non affrontare, del tutto inesperti, i compiti che all'indomani li attendevano. Ben presto però fu chiaro che l'argomento era ben suscettibile di ampio sviluppo nel rigore di una trattazione unitaria e razionale: era cioè possibile formulare una *teoria degli edifici*, suddivisibile in parti dedicate ai singoli tipi strutturali.

Del resto non poteva né doveva esservi contrasto, né tanto meno un solco da saltare dopo la laurea, tra i compiti professionali e l'insegnamento ufficiale, anche senza invocare le finalità che le stesse leggi istitutive dell'università attribuiscono ai corsi universitari.

D'altra parte nel settore degli edifici, a meno di rare eccezioni, manca nella bibliografia una teoria che tratti in rigore scientifico l'argomento, senza divagazioni del tutto astratte o, di contro, senza semplici descrizioni od elenchi di progetti, nel presupposto implicito che l'argomento sia circoscritto ad una *pratica* non suscettibile di teorizzazione.

Di questa situazione bibliografica particolare e del contenuto dei corsi precedenti della facoltà doveva tener conto l'insegnamento e, quindi, quest'opera, sia pure con le necessarie attenuazioni e limitatamente alle parti a ciò dedicate.

Quindi il lettore, specie se esperto, vorrà essere indulgente e scusare sia la forma che le deficienze, che certamente rileverà in dipendenza del suo particolare punto di vista: vorrà tener presente che il discorso può non essere diretto a lui, ma talora agli allievi della nostra Facoltà inqua-



drati nel loro specifico corso di laurea, talora invece a finalità di carattere esclusivamente scientifico, specie nei settori, che richiedono ancora un vecchio cammino per una stretta più concreta con la realtà.

L'opera si compone di più parti; questa *prima parte* dal titolo : *teoria degli edifici in muratura* per il momento non è oggetto d'insegnamento spinto fino alle applicazioni numeriche.

Si propone, inizialmente, una suddivisione in tre classi degli edifici che presentino elementi portanti in "muratura"; nelle prime due classi si inseriscono rispettivamente: gli edifici *integralmente in muratura* e gli edifici *con ritzi in muratura e con solai in legno o in ferro*; alla terza classe si fanno appartenere i moderni edifici con ritzi in muratura ed impalcati ancorati ad un cordolo in cemento armato ad ogni piano.

Si riporta una indagine bibliografica che, tra i vari Autori, pone in evidenza, all'inizio dello scorso secolo, la grande figura del Rondelet (1800) per l'impostazione e il contributo, tuttora validi, dati allo studio degli edifici della prima classe. Solo recentemente, dopo decenni dalla loro apparizione, la bibliografia si è occupata degli edifici della terza classe; nel settore tecnico-scientifico spiccano gli studi di Haller, relativi alla realizzazione di edifici alti (a sedici piani), e quelli di Angervo-Putkonen, i quali introducono e trattano con rigore scientifico lo schema di telaio con ritzi in muratura; questi studi hanno destato un rinnovato interesse per questo tipo strutturale nella sua più moderna versione.

Notevole interesse bibliografico hanno inoltre il regolamento tedesco e quello russo, per le regole generali e concrete che suggeriscono per una immediata soluzione del problema.

In questo quadro bibliografico questa prima parte inserisce la proposta di un nuovo procedimento di calcolo che presenta sensibili vantaggi; è svolto, con riferimento ad un edificio oggetto di un crollo, un esempio numerico che illustra l'utilizzazione delle tabelle e dei grafici che rendono agevole l'applicazione del nuovo metodo proposto.

Si può, in definitiva, affermare che specie sotto la spinta della prefabbricazione, lo schema degli edifici della terza classe sta uscendo ormai da una penombra di secondo piano per porsi allo stesso livello teorico e tecnico di ogni altro schema di edificio in acciaio o in cemento armato. Tuttavia, come per questi ultimi schemi, occorre ancora e a lungo discutere la validità delle ipotesi di partenza: in questa prima parte si è appena tentato di impostare una discussione, sia pure solo qualitativa, sul suo comportamento effettivo che solo ulteriori studi teorico-sperimentali, particolarmente auspicabili in questo settore, potranno meglio illuminare.

La seconda parte, in corso di stampa, è dedicata alla «teoria degli edifici in cemento armato» e rappresenta in massima parte il contenuto di una ventina di lezioni del Corso. Ampliando la classificazione iniziata nella prima parte, gli edifici in cemento armato sono inseriti al quarto posto, ovvero subito dopo le tre classi dedicate agli edifici in muratura.

Prima di affrontare il loro studio specifico si illustra il criterio generale che si è assunto per teorizzarne il comportamento (*fatto*): ogni «fatto», se opportunamente *meditato* (meditazione = θεωρησις), può essere racchiuso tra due schemi limite che definiscono così una fascia ideale, nella quale esso è compreso.

La teoria di una struttura deve cioè indicare i limiti della «fascia» e così permettere all'ingegnere di assumerne la responsabilità.

Nella seconda parte si considerano normali edifici in cemento armato per civili abitazioni per i quali siano prevalenti i carichi verticali: il comportamento generale dell'ossatura spaziale può scindersi e racchiudersi in un insieme di schemi elementari tanto più semplici quanto maggiore è la larghezza della fascia che si sceglie. È noto che la ricerca si propone di restringere la larghezza di ogni fascia, evitando per quanto possibile strumenti fisico-matematici troppo complessi: occorre caso per caso valutare la convenienza (al momento attuale) nel rispetto del criterio indicato, che può dinamicamente accogliere e valutare ogni risultato dell'evoluzione scientifica.

Nell'ipotesi che siano prevalenti i carichi verticali, ovvero di edifici non disposti in zona sismica o in luoghi ventosi, è conveniente spezzare lo schema spaziale in componenti esaminando separatamente solai, travi, pilastri, scale, fondazioni.

Nell'esame di ciascun componente s'indicano le correlazioni con gli altri componenti e si definiscono le corrispondenti fasce; parallelamente si analizzano e si descrivono alcuni particolari fino al dettaglio costruttivo, nella misura necessaria alle esigenze più sentite della realtà tecnica; a titolo di esempio, nel caso degli impalcati si considerano gli schemi di sbalzo laterale, sbalzo d'angolo, grandi e piccoli fori, solai ad asse spezzato, ecc.

Particolare attenzione è dedicata ai sostegni verticali; per il pilastro appartenente all'edificio multipiano s'introduce il concetto di «carico convenzionale tipo» e si forniscono criteri rigorosi ed approssimati per valutarne i singoli addendi con sensibili semplificazioni.

Per ogni componente si forniscono criteri concreti per la soluzione del suo problema statico cercando di interpretarne il comportamento effettivo con idonei schemi.

L'ipotesi che siano prevalenti i carichi orizzontali, ovvero il caso di edifici in zona sismica o sottoposti per la loro ubicazione (ad esempio

in riva al mare) o per la loro forma (edifici-torre) a notevoli spinte del vento è trattato nelle parti successive.

La terza parte, di contenuto esclusivamente teorico, è pertanto dedicata ai telai a maglie rettangolari sottoposti a forze orizzontali (e verticali).

Infatti nel caso che l'edificio sia sottoposto a forze orizzontali - e si rinunci ancora per semplicità all'analisi dell'intera struttura (spaziale) considerata come un unico insieme - negli usuali procedimenti di verifica si suddivide l'ossatura in schemi di telai piani a maglie rettangolari (i criteri per tale suddivisione e lo studio dell'intera ossatura sono trattati nella quarta parte).

La trattazione prende le mosse dalla nota relazione che lega le forze alle deformazioni; quindi utilizza i tre schemi elementari di nodo, di piano e di traverso, per sviluppare in modo unitario i procedimenti condotti secondo le due note vie maestre delle forze (Cross-Grinter con rotazioni impresse) e delle deformazioni (Kani con rotazioni impresse).

La unitarietà della trattazione comporta semplificazioni formali e sostanziali non prive di interesse ed originalità. I procedimenti teorici di calcolo dello schema di telaio piano rappresentano uno strumento che è poi utilizzato nella parte successiva.

La quarta parte esamina l'edificio in cemento armato sottoposto a carichi orizzontali; l'intera struttura (spaziale) si considera sia come insieme di telai piani (nello spirito dell'attuale regolamentazione in zona sismica), sia come una unica ossatura. In questa ultima ipotesi è indispensabile l'impiego di calcolatori elettronici attesa la complessità numerica del problema. S'indica anche la possibilità di tener conto della collaborazione dei pannelli di chiusura dei riquadri dell'ossatura principale.

La quinta parte dedicata agli «edifici in acciaio» e la sesta parte dedicata agli «edifici speciali» completano, nell'ambito delle usuali tipologie, il quadro logico di una «teoria degli edifici».

Terminata così questa breve rassegna del contenuto, passo a sciorinare con vero piacere, i debiti contratti nella lunga stesura di quest'ope-

ra. Devo innanzitutto esprimere la mia commossa gratitudine all'amico prof. Giangreco per la sua presentazione che eccede i limiti di una semplice formalità.

Devo poi ringraziare tutti gli allievi che nello svolgimento dei vari corsi o di tesi di laurea sono stati i validi interlocutori critici per la discussione e la maturazione di quest'opera; è infatti per me di particolare soddisfazione constatare che si sia creata nel Corso una tradizione di continuità in virtù della quale ogni allievo non si limita ad acquisire l'insegnamento ma contribuisce con una partecipazione critica ad un ulteriore passo in avanti del contenuto delle lezioni.

Un particolare ringraziamento va all'ing. Marchetti per il contributo agli sviluppi analitici ed alla discussione della prima parte.

All'Editore dott. Rolando Liguori ed all'ing. Pedroni, che con affetto, diligenza ed intelligenza hanno contribuito alla stampa del testo in una adeguata veste tipografica, va infine un particolare senso di riconoscenza.

Napoli, dicembre 1968

*Michele Pagano*



## 1) CLASSIFICA DEGLI EDIFICI

Allo scopo di inquadrare i limiti del Corso conviene premettere un tentativo di classificazione dei tipi strutturali degli edifici. Delle prime tre classi si e' gia' trattato all'inizio del primo volume dedicato agli edifici in muratura.

### 1.1) Classe 1<sup>a</sup>: edifici integralmente in muratura.

Nella prima classe s'includono le strutture integralmente in "muratura", intendendo definire con tale termine, in accordo con la bibliografia tecnica, un materiale assolutamente incapace di resistere a sollecitazioni di trazione (1).

Solo gli edifici piu' antichi forniscono esempi di costruzioni integralmente in muratura. I sostegni verticali e gl'impalcati sono realizzati con materiali lapidei. In particolare gl'impalcati, per la possibilita' di assorbire sollecitazioni di flessione semplice, sono sagomati secondo archi a volte compianati superiormente con materiale di riempimento, staticamente inerte.

I carichi - in gran parte costituiti da peso proprio e sovraccarichi permanenti - determinano presso-

(1) In realta' le malte ed i materiali lapidei, naturali o artificiali, che costituiscono la "muratura" hanno una certa qual resistenza a trazione; essa pero' oltre ad essere molto minore di quella a compressione, da' scarso affidamento che si conserva nel tempo. Da qui l'ipotesi limite, ben nota nella pratica tecnica per tutti i materiali lapidei, di completa incapacita' di resistere a trazione

flessione nella generica sezione trasversale, in cui la distribuzione delle sollecitazioni (di sola compressione per la ipotesi fatta) si suppone lineare e corrisponde biunivocamente alla posizione della risultante la sezione e' tutta compressa se la risultante e' all'interno del nocciolo (terzo medio) e parzialmente-compressa se la risultante e' esterna. Le azioni (R) (fig. 1-1) degli archi o delle volte alle imposte si compongono con i pesi (P) delle murature verticali. Ne risulta che queste ultime, perche' la risultante sia sempre contenuta all'interno della sezione - e, meglio ancora, nel terzo medio - debbono assumere notevoli proporzioni.

Tutta la struttura e' in definitiva sollecitata a pressoflessione; per quanto semplice sia questa panoramica qualitativa ben complessa invece risulta l'analisi statica rigorosa di una struttura integralmente muraria, che in genere la bibliografia conduce secondo sistemi alquanto approssimati. Infatti l'ipotesi di assoluta incapacita' di resistere a trazione (e conseguente assenza di quest'ultima) si riferisce ad una condizione limite teorica, a cui tende la struttura. Questa e' dotata inizialmente di alto grado di iperstaticita' perche' sia negli "archi" che nei "piedritti", subito dopo la costruzione, possono sussistere, anzi sussistono certamente almeno in un primo tempo, zone di muratura sottoposte a trazione, naturalmente nell'ambito della resistenza limite.

In questo primo periodo di vita della costruzione si determina quindi il regime statico che corrisponderebbe ad un materiale resistente anche a trazione; la bibliografia tecnica suggerisce per questa fase iniziale di svolgere l'analisi statica della struttura con i normali metodi di calcolo validi per strutture omo-

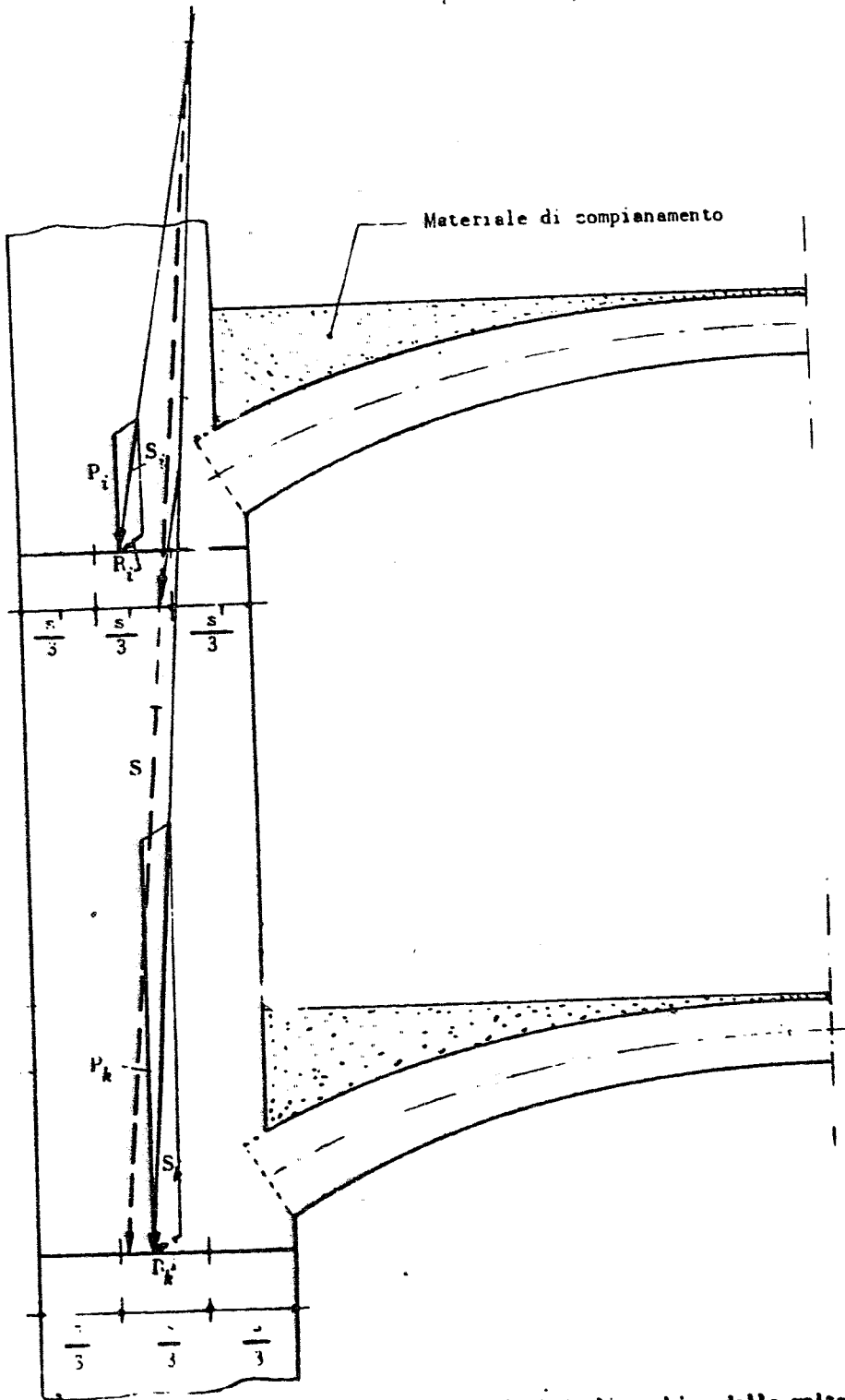


Fig 1 1. Composizione delle azioni degli archi o delle volte con il peso delle murature verticali d'imposta

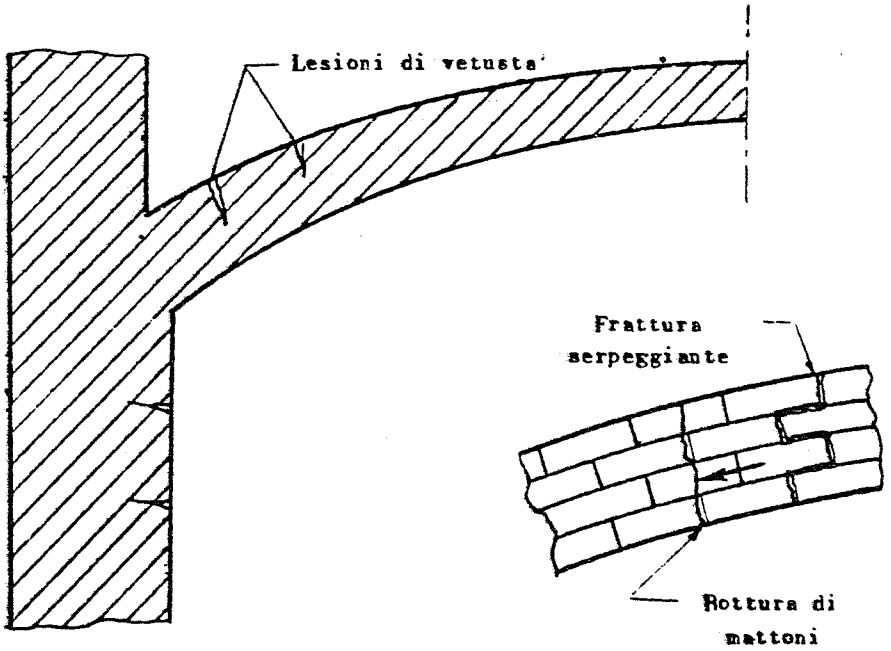


genee e monolitiche. accettando cioè per la muratura ipotesi normali per materiali come acciaio e cemento armato.

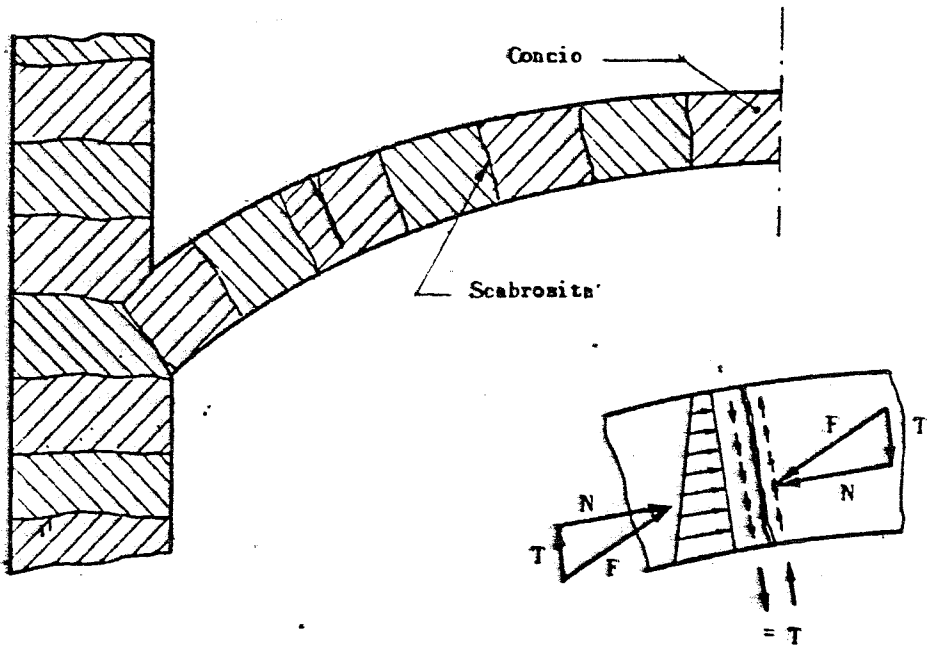
Da tale analisi si deduce l'esistenza e l'estensione delle zone di muratura sottoposte a sollecitazioni di trazione.

Ovviamente col tempo questo regime è destinato a variare. Infatti negli anni successivi si sovrappongono agli effetti iniziali dei carichi esterni gli assostamenti lenti del piano di posa, le coazioni dovute ai cicli termici stagionali, gli effetti del ritiro, del vento, ecc: le zone che sono tese, o per fatica o per superamento della resistenza a trazione, finiscono in gran parte per cedere e fratturarsi. Gli archi ed i sostegni verticali si parzializzano riducendo la loro rigidità; le deformazioni iniziali crescono e la struttura, dallo stato iniziale di completa integrità, passa attraverso nuovi stati caratterizzati da sempre più ampie parzializzazioni delle parti che man mano risultano tese al di là della resistenza limite a trazione (fig. 1-2). Il passaggio è graduale e lo schema statico della struttura, corrispondente all'evoluzione del quadro fessurativo, si modifica successivamente con variazioni delle caratteristiche geometriche ed elastiche, tendendo al limite (teorico) di struttura completamente priva di zone tese.

Si giustifica così la formulazione e l'adozione dell'ipotesi limite finale che considera la "parzializzazione" stessa a "priori" a tutte le sezioni trasversali della muratura; in tal caso il comportamento statico è individuato poiché si suppone che la struttura sia significativamente costituita da un insieme di "conci scabri" tra loro idealmente separati. Il contatto puntuale tra i singoli blocchi è assicurato dalla malta che sposa la scabrosità dei conci lapidei. La capaci-



a) Capacita' di resistenza a trazione



b) Incapacita assoluta di resistere a sforzi di trazione

Fig 1 2. Schematizzazione della muratura in materiale omogeneo  
a) e b) conci scabri b) e relative fratture.

ta portante complessiva di questo schema e' di certo inferiore a quella effettiva e quindi esso e' accettabile a vantaggio di statica.

Infine l'analisi rigorosa delle strutture in muratura e' complicata dal fatto che il legame tra i sovraccarichi accidentali e le corrispondenti sollecitazioni e deformazioni oltre che essere incerto per la natura del materiale, non rispetta le ipotesi di linearita'; quindi, il grado di sicurezza dell'edificio dovrebbe essere determinato come rapporto tra il sovraccarico di rottura e quello di servizio, agenti pero' su schemi strutturali diversi, inizialmente incogniti.

Conviene assumere, per lo schema finale, direttamente l'ipotesi di "conci scabri" e verificare la struttura sottoposta alle condizioni di servizio ed a quelle in cui i sovraccarichi sono moltiplicati per il grado di sicurezza prescritto. Giova infine ricordare che tutto l'insieme delle azioni precedentemente indicate (e escursioni termiche, agenti atmosferici, trasformazioni chimiche, fatica) provoca un degrado che spesso si diagnostica sinteticamente con la dizione "vetusta" che traduce il concetto fondamentale di danno provocato dal tempo. Di questo effetto si puo' tener conto solo proteggendo opportunamente la muratura con un rivestimento capace di fronteggiare almeno una parte di tali azioni

## 1.2) Classe 2<sup>a</sup>: edifici "misti" con piedritti in muratura e solai in legno o acciaio

Nella seconda classe si includono le strutture (parzialmente murarie) con sostegni verticali in muratura ed impalcati in legno o in ferro (senza cordoli in corrispondenza dei piani).

A differenza della classe precedente, le strutture orizzontali, in questa classe, sono realizzate con travi parallele (isolate tra loro) di materiali resistenti a flessione e a taglio; esse si concretano generalmente in travi di legno, a sezione circolare o rettangolare, o in profilati a doppio T di acciaio appoggiate ad ogni piano, sulle murature. In questi edifici le travi in legno o in ferro possono essere facilmente sostituite in caso di necessità. Al limite, anzi, le strutture orizzontali possono considerarsi staticamente indipendenti da quelle verticali, sebbene la buona tecnica costruttiva abbia sempre consigliato di applicare "chiavi" e "radiciamenti" alle testate delle travi per realizzare un mutuo ancoraggio con le murature.

Per la ricerca del grado di sicurezza dell'edificio, è evidentemente più opportuno riferirsi alla condizione limite di travi semplicemente appoggiate agli estremi e di murature verticali prive di vincoli trasversali, che cioè ricevono dai solai azioni esclusivamente verticali.

Conviene inoltre considerare ogni parete muraria staticamente slegata anche dai muri trasversali, ai quali è geometricamente adiacente; questa ipotesi si realizza solo se si verifica un effettivo distacco delle pareti in corrispondenza degli incroci, il che è possibile perché mancano elementi orizzontali resistenti a trazione che assicurano il collegamento (fig. 13).

In definitiva e nella peggiore delle ipotesi, le singole pareti murarie si considerano a se stanti e vanno verificate come mensole verticali caricate dal peso proprio e da quello dei solai, applicato quest'ultimo piano per piano, (secondo il suggerimento più diffuso della Bibliografia) ad un terzo dal filo interno della

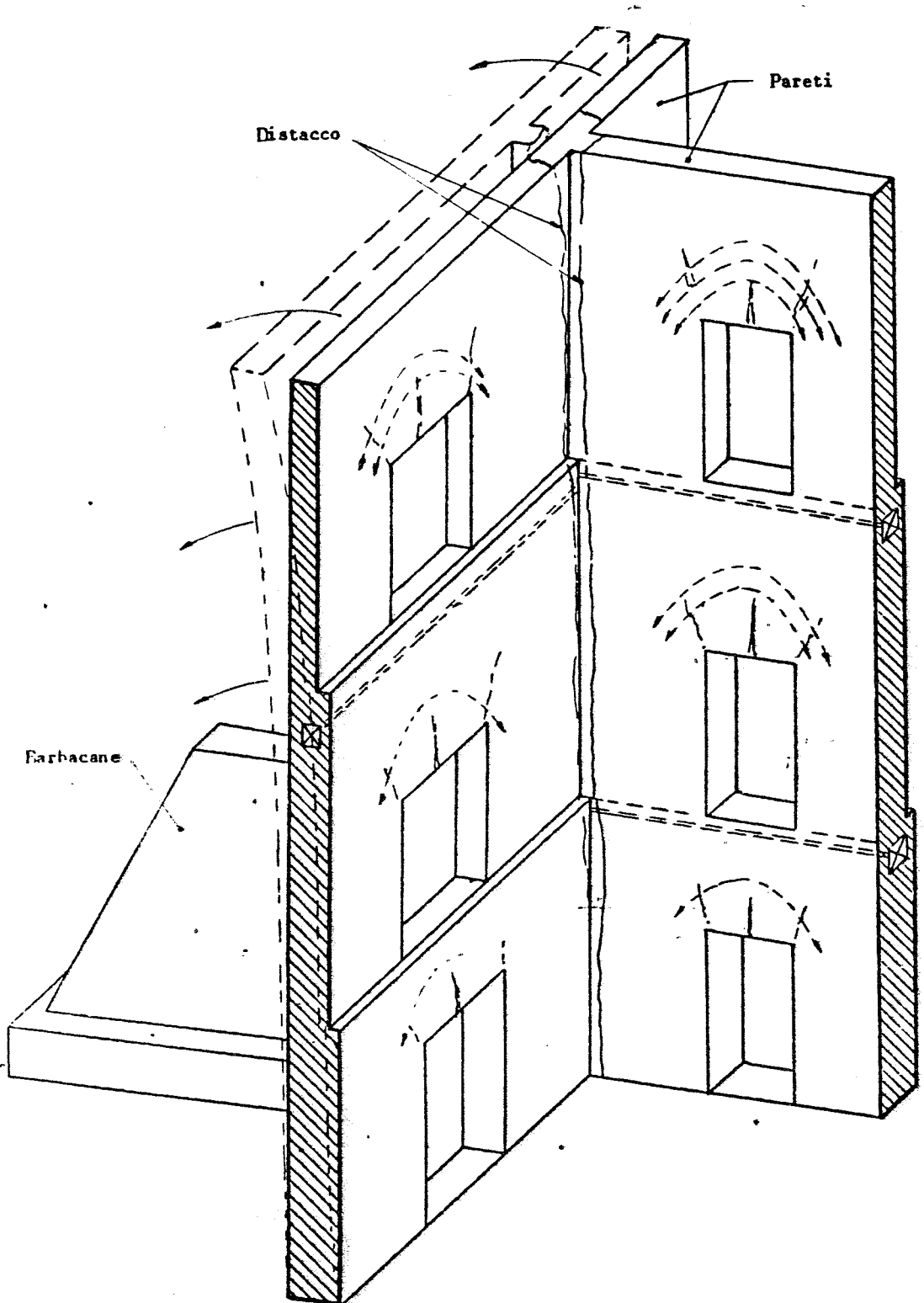


Fig 1 3. Possibilita' di distacchi tra pareti murarie e formazione di archi sui vmi.

zona di appoggio.

È facile controllare che e particolarmente delicata la condizione statica dei muri di perimetro, per che presentano più ampi vani ed elevate eccentricità di forma. Infatti per essi si mantiene costante l'appiombamento della superficie esterna e le riseghe si effettuano tutte all'interno; inoltre negli angoli dell'edificio, là dove i solai risultano orditi parallelamente alla parete, manca ogni vincolo trasversale delle travi (corrispondente almeno all'attrito), ed in definitiva il muro può facilmente manifestare tendenza a ribaltare verso l'esterno.

Sono ben noti in questo caso i provvedimenti di emergenza quali puntellature e barbacani, o definitivi, quali, ad esempio, catene.

### 1 3) Classe 3<sup>a</sup>. edifici in muratura con solai ancorati a cordoli di piano.

Nella terza classe s'includono gli edifici con strutture verticali in muratura e strutture orizzontali di ogni piano ancorate ad un cordolo in cemento armato

La struttura muraria in questa classe non è più continua in verticale, ma interrotta ad ogni piano per l'inserimento di un cordolo in cemento armato in cui s'innesta il solaio in acciaio o meglio, in cemento armato. Il cordolo, che si arma con ferri longitudinali e staffe si sposa perfettamente alle scabrosità della muratura, realizzando un'aderenza completa, e saltata dall'incolleggio e dall'attrito che si sviluppa per effetto della pressione dovuta ai carichi verticali.

ticali. Con il cordolo si realizza in definitiva un collegamento che non permette spostamenti relativi (verticali, orizzontali ed angolari) tra solaio e muratura, oltre che un incatenamento generale dell'edificio (1).

L'esame statico di questo tipo strutturale si può ricondurre agli ordinari metodi validi per i telai, quando la eccentricità dello sforzo verticale nei ritti in muratura è contenuta nel nocciolo della sezione trasversale. Se invece la risultante verticale è esterna al nocciolo occorre tener conto del fatto che il ritto si parzializza perché, come si è supposto, la muratura non è in grado di resistere a sforzi di trazione. In questo caso, la congruenza è ancora rispettata dalla parte reagente del diritto. Il procedimento di calcolo può svolgersi per successive approssimazioni considerando una catena di schemi in cui il grado di parzializzazione si fissa per tentativi e si confronta poi con il risultato del calcolo stesso. Questo tipo strutturale ha trovato moderne espressioni in edifici a sedici e diciotto piani costruiti recentemente in Svizzera. L'esame delle classi precedenti e in particolare di questa classe è stato svolto nel primo volume di questa serie.

#### 1.4) Classe 4<sup>a</sup>: edifici con ossatura in cemento armato.

Nella quarta classe s'incluse il ben noto ed attuale tipo strutturale, a scheletro completamente in cemento armato. I muri in questo caso si considerano non portanti, sebbene contribuiscano ad irrigidire l'edificio; i sostegni verticali sono costituiti da "pilastri"

(1) Con la legge del 1935 si rese obbligatoria l'introduzione di un cordolo in cemento armato in corrispondenza di ogni piano.

isolati collegati da "travi" e "solai" orizzontali. La struttura si schematizza in vari modi secondo il tipo di carico a cui e' sottoposta; per i carichi verticali puo' essere scissa in elementi lineari separati; per carichi orizzontali, in "telai piani" o "spaziali" collegati monoliticamente tra loro.

La schematizzazione piu' completa e' quella che schematizza l'edificio in un unico "scheletro spaziale", diaframmato ad ogni piano da lastre ("solai") rigide nel loro piano; per superare la conseguente maggiore laboriosita' si ricorre all'ausilio dei calcolatori elettronici. Questo volume si occupa solo di questa classe, rinviando l'analisi teorica dei "telai piani e spaziali" a volumi successivi.

### 1.5) Classe 5<sup>a</sup>: edifici con ossatura in acciaio.

Nella quinta classe s'includono gli edifici (analoghi ai precedenti) a scheletro completamente in acciaio.

Questa classe si differenzia dalla precedente oltre che per il materiale (acciaio invece di cemento armato), per gli schemi strutturali che in questo caso assicurano un sufficiente irrigidimento e l'assorbimento delle forze orizzontali indotte dal vento o da scosse sismiche.

Oltre alla possibilita', comune al cemento armato, di assorbire le azioni orizzontali solo con schemi di "telai" irrobustendo pilastri e travi ("telai rigidi") si presentano piu' frequentemente strutture sussidiarie verticali e orizzontali particolarmente adatte al controventamento dell'edificio; esse possono ad esempio essere costituite da travature reticolari di rigidezza, molto piu' elevata degli altri telai. Queste strutture, con la loro alta rigidita', preservano



tutti i pilastri da ogni effetto flesso-tagliante. In tal caso i pilastri praticamente sono sottoposti solo a pressione e possono considerarsi e, volendo, anche realizzarsi, come pendoli cernierati agli estremi nell'interpiano. È opportuno precisare che provvedimenti analoghi sono possibili anche per gli edifici della classe precedente in c.a., ma sono molto più frequenti ed opportuni per quelli in acciaio (negli edifici in c.a. recentemente sono state adottate pareti che per la loro funzione vengono chiamate pareti sismiche). Sono infine fondamentali nelle ossature di acciaio gli effetti della instabilità locale e globale.

#### 1.6) Classe 6<sup>a</sup>: edifici misti acciaio + cemento armato.

Nella sesta classe si possono includere le strutture "miste in acciaio e cemento armato" che comprendono una vasta gamma di varietà. Ad esempio gli edifici con pilastri in acciaio ed impalcati in cemento armato; gli edifici in acciaio irrigiditi da pareti in cemento armato (disposte ad esempio in corrispondenza delle scale) e così via.

Il connubio tra più materiali può essere realizzato anche solo in una parte dell'edificio: esempi significativi sono i solai con travi in acciaio collaboranti con una sovrastante soletta in cemento armato; i pilastri realizzati con tubi in acciaio riempiti di conglomerato, ecc. Queste unioni sono spesso consigliate da ragioni di economia, rigidità, inerzia termica, ecc. e danno risultati che presentano i vantaggi caratteristici dell'incontro tra le due tecniche, che indubbiamente sono protagoniste dell'epoca strutturale in cui viviamo.

### 1.7) Classe 7<sup>a</sup>: altri tipi di edificio.

Nella settima classe si possono includere genericamente tutti i nuovi tipi di edifici che sono espressione della notevole spinta esercitata dalla industrializzazione dell'edilizia.

Tra questi merita una menzione particolare il tipo di edificio comunemente chiamato "a pannelli portanti" in conglomerato. Questo tipo strutturale può considerarsi come l'espressione più moderna ed industrializzata degli edifici in muratura della terza classe: infatti alla "muratura" tradizionale si sostituiscono pannelli in cemento armato il cui spessore è ridotto in proporzione all'incremento di resistenza del materiale base. Al contorno ogni lastra è cucita alle altre con sistemi generalmente schematizzabili con cerniere cilindriche. Ne deriva per l'edificio lo schema di scatola spaziale con le pareti costituite dai "pannelli" .

La costruzione risulta nel complesso molto più rigida di tutte le precedenti e quindi, come gli antichi edifici in muratura, più sensibile ad eventuali cedimenti differenziali del piano di posa ed alle variazioni termiche.

Sono numerosi gli studi e le proposte di altri tipi di edificio, che esprimono, tutti, l'esigenza della edilizia di raggiungere forme suscettibili di un più spinto grado di industrializzazione; allo stato attuale essi non hanno ancora raggiunto una chiara e stabile definizione.

## 2) GENERALITÀ SULLE STRUTTURE PER EDIFICI CIVILI.

### 2.1) Introduzione.

Nelle prossime lezioni esamineremo le strutture di edifici per civili abitazioni della quarta classe e tenteremo di tracciarne una "teoria". E' opportuno però premettere un breve discorso allo scopo di chiarire il significato che intenderemo dare alla parola "teoria", ed indicare i limiti e gli scopi del nostro esame, secondo criteri ampiamente discussi nel primo volume.

La trattazione comporterà innanzitutto la definizione dell'oggetto da esaminare, considerando la morfologia e le proprietà fisico meccaniche dei singoli componenti e dell'oggetto stesso, nonché il processo tecnologico di trasformazione o assemblaggio. L'oggetto così definito va considerato poi sotto ogni altro aspetto che possa interessarci, in tutte le sue fasi di realizzazione e di servizio. In ogni fase c'interessa, in modo prevalente attese le finalità del corso, il suo comportamento sotto le corrispondenti azioni esterne ed, infine, la sua durevolezza. (\*)

Questo complesso di definizioni ed informazioni costituisce un insieme di "fatti obiettivi". Uno studio che mediti su tali "fatti", per trarre su essi conclusioni od interpretazioni di carattere generale ne rappresenta una "teoria" (in greco θεωρημα significa appunto meditazione).

E' evidente da questa posizione che "teoria" dei "fatti" assume il significato di loro "interpretazione".

(\*) Si avrà più volte occasione di constatare che l'edificio costituisce un sistema unico ed inscindibile nel quale interagiscono tutti i componenti e che per trattare separatamente un sottosistema e' necessario definire l'interazione dei vincoli tagliati.

ne generale" e, per essere tale, deve essere sufficientemente aderente - dalle ipotesi schematiche ai risultati matematici - alla loro realta' fisica e, reciprocamente, tale aderenza e' essenziale perche' una generalizzazione possa costituire la "teoria" di quei fatti; altrimenti ha solo un valore astratto, indipendente dalla realta' e costituisce una mera "astrazione". Nel concetto di "teoria" e' quindi anche implicito quello di "realismo e di approssimazione"; se una "teoria" aderisse in modo esatto alla realta' fisica ne sarebbe la "spiegazione", ma poiche' la realta' fisica trascende la natura umana, e' impossibile che noi possiamo trovarne la "spiegazione".

In conclusione e' indispensabile e sufficiente, per definizione che una teoria inquadri la realta' fisica di certi fatti con accettabile approssimazione sul piano quantitativo.

## 2.2) "Fatti" e "teoria"; esempio di una struttura spaziale.

Conviene subito a questo punto affrontare un esempio concreto per meglio chiarire la portata pratica dei concetti innanzi formulati.

A tal fine si consideri un edificio molto semplice, che per sua natura e' una struttura spaziale. Esso e' il "fatto" da meditare; la notevole laboriosita' di una "teoria" che consideri tale "fatto" nella sua completezza induce subito ad introdurre schemi semplificati che scindano, ad esempio, l'insieme spaziale in elementi piani o, addirittura, lineari.

L'insieme di tali schemi semplificati e' il presupposto iniziale di una "teoria"; ma le approssimazioni, a

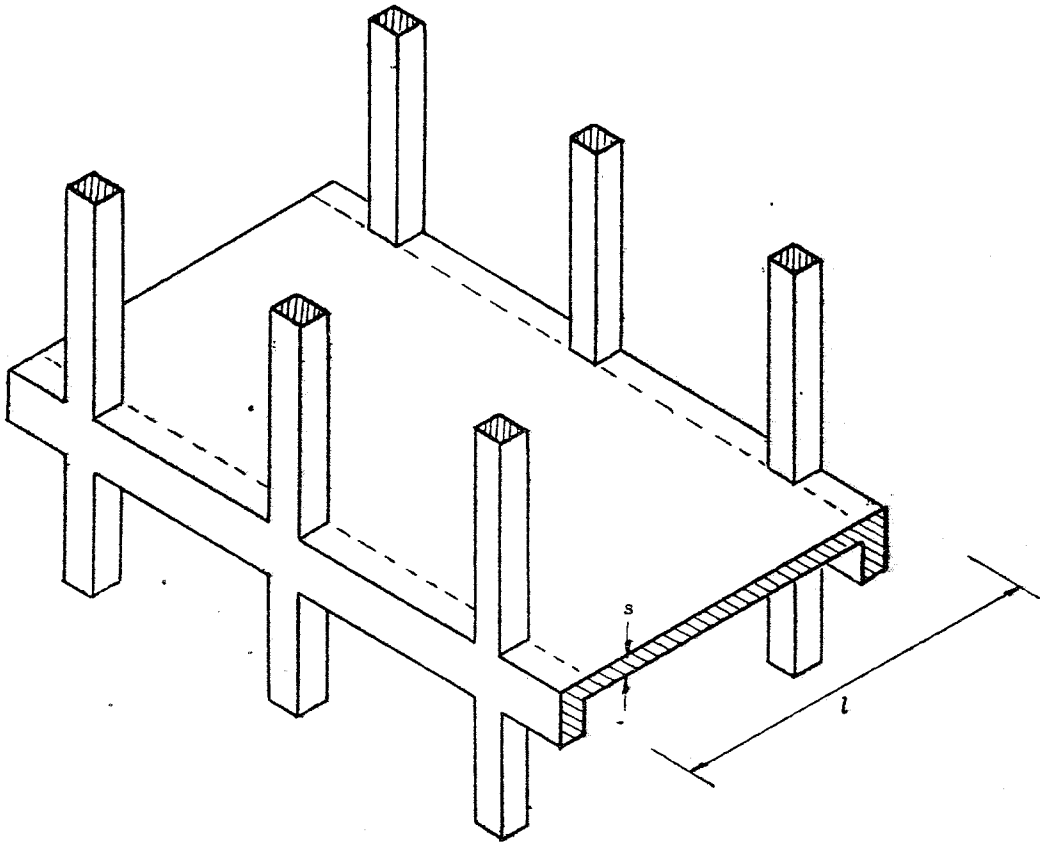
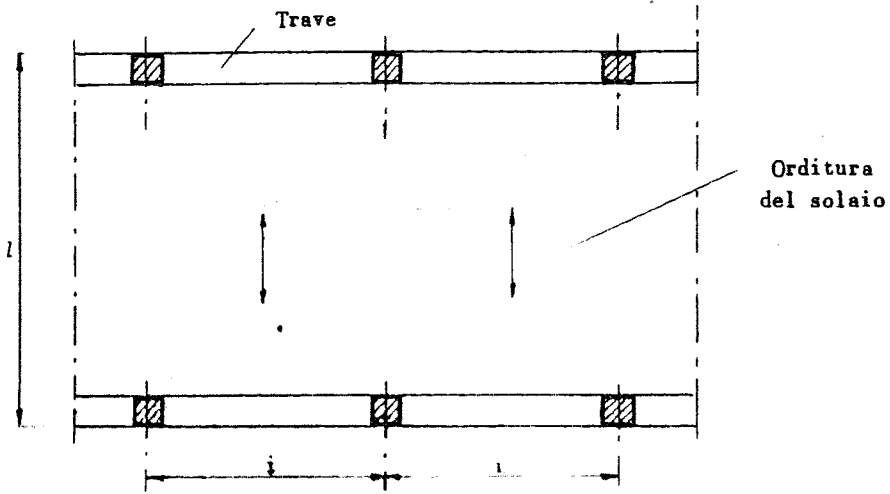


Fig. 2 1 Edificio multipiano a pianta allungata (caso normale).

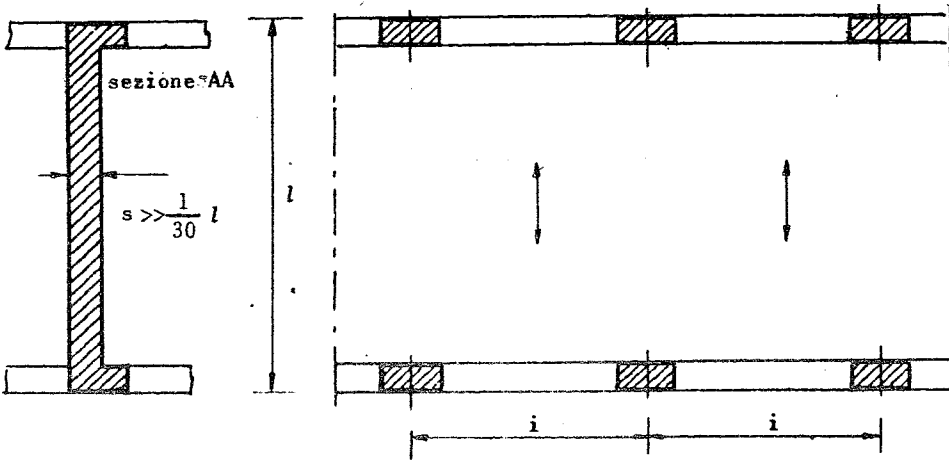
ciascuno di essi connesse, sono accettabili solo entro quei limiti della "geometria" e dello schema di carico che rendono i risultati sufficientemente aderenti alla realtà fisica.

L'edificio oggetto dell'esempio sia ad un solo corpo, multipiano, a pianta allungata (fig.2-1). I pilastri siano disposti soltanto lungo il perimetro ad interassi regolari ( $3 \div 4$  m). In senso trasversale sia ordito un solaio misto a laterizi di grande luce ( $8 \div 12$  m) sostenuto da due travi perimetrali (1).

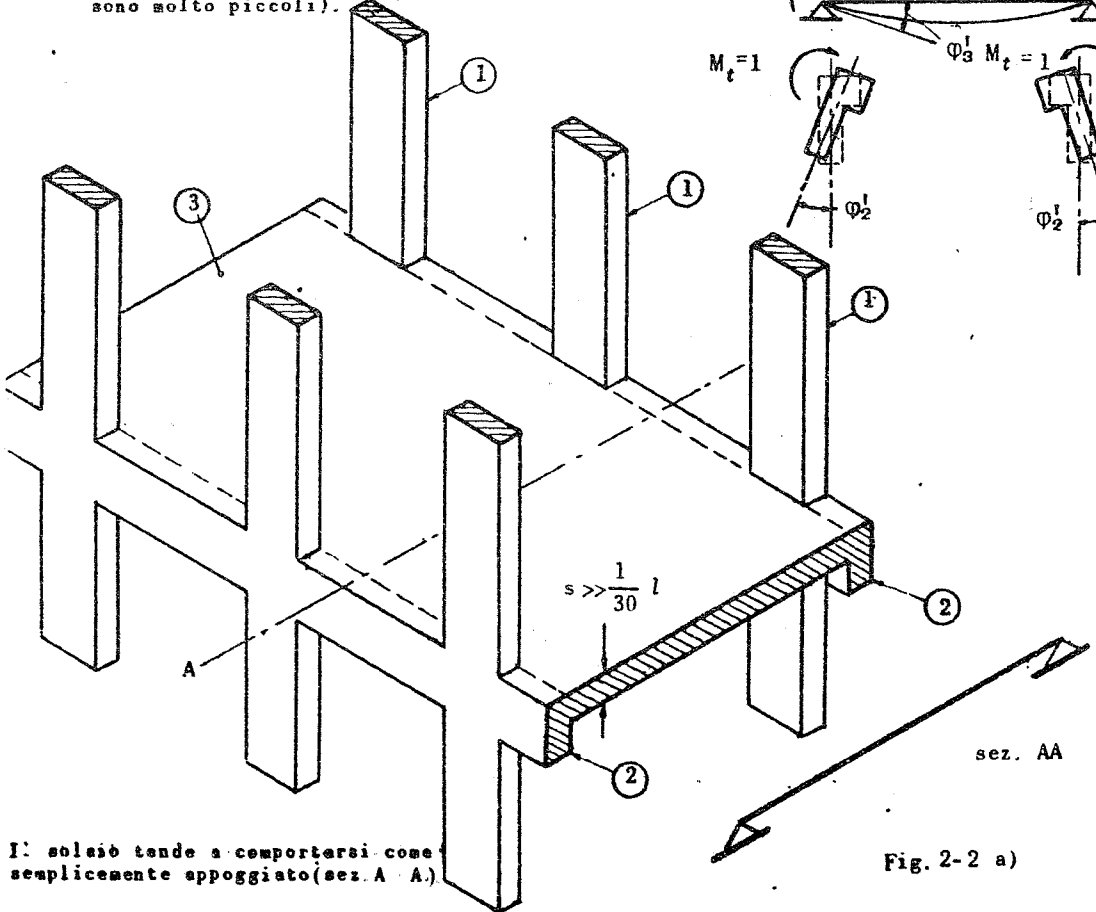
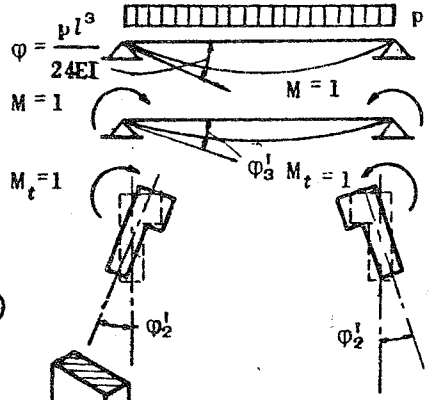
In questo caso - atteso il notevole valore della luce del solaio e dei momenti in gioco - nel calcolo della struttura non si può prescindere dalla spazialità della struttura ovvero dal grado di incastro del solaio nel complesso trave-pilastri. Lungo la trave il solaio ai suoi estremi presenta momenti d'incastro di entità variabile con un massimo in corrispondenza dei pilastri; la trave è soggetta a flessione, torsione e taglio e i pilastri a pressoflessione obliqua.

La soluzione fisico matematica del problema è riportata dalla letteratura tecnica e presenta difficoltà che nella fattispecie potrebbero essere abbastanza facilmente superabili; tuttavia per il fine che ci siamo proposti conviene prescindere da essa e, seguendo i suggerimenti che derivano da una immediata comprensione del problema fisico, formulare e meditare due ipotesi limite:

(1) Dal punto di vista distributivo si dispongono le travi solo in senso longitudinale, nella parete di chiusura perimetrale dell'edificio per ottenere il vantaggio, molto opportuno, ad esempio, nel caso di uffici, di una completa flessibilità della pianta.

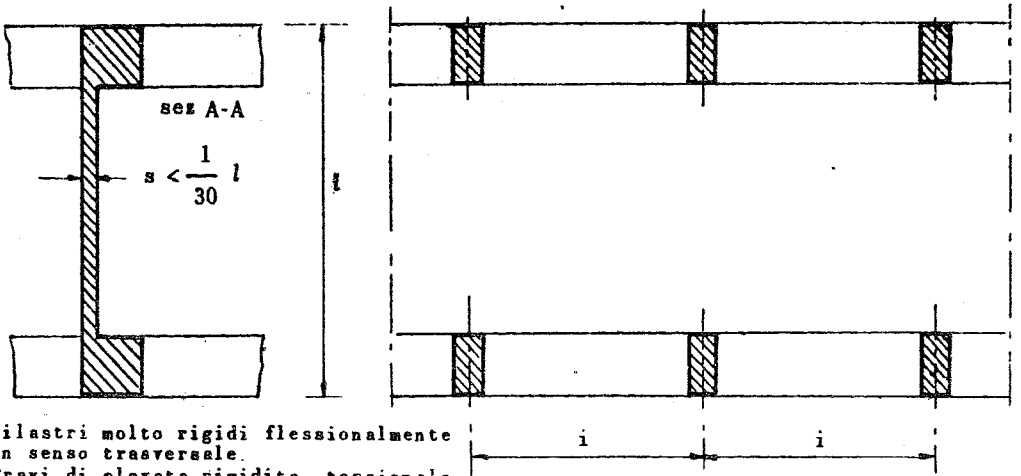


- ① Pilastrini deformabili flessionalmente in senso trasversale
- ② Travi sottili deformabili a torsione ( $\varphi_2^i$  molto grande)
- ③ Solaio molto rigido ( $\frac{pl^3}{24EI}$  e  $\varphi_3^i$  sono molto piccoli).



Il solaio tende a comportarsi come semplicemente appoggiato (sez. A A).

Fig. 2-2 a)



- ① Pilastri molto rigidi flessionalmente in senso trasversale.
  - ② Travi di elevata rigidità torsionale ( $\varphi_2^i$  molto piccolo)
  - ③ Solaio molto deformabile ( $\frac{pl^3}{24EI}$  e  $\varphi_3^i$  sono molto grandi).
- Il solaio tende a comportarsi come in castrato (sez A A)

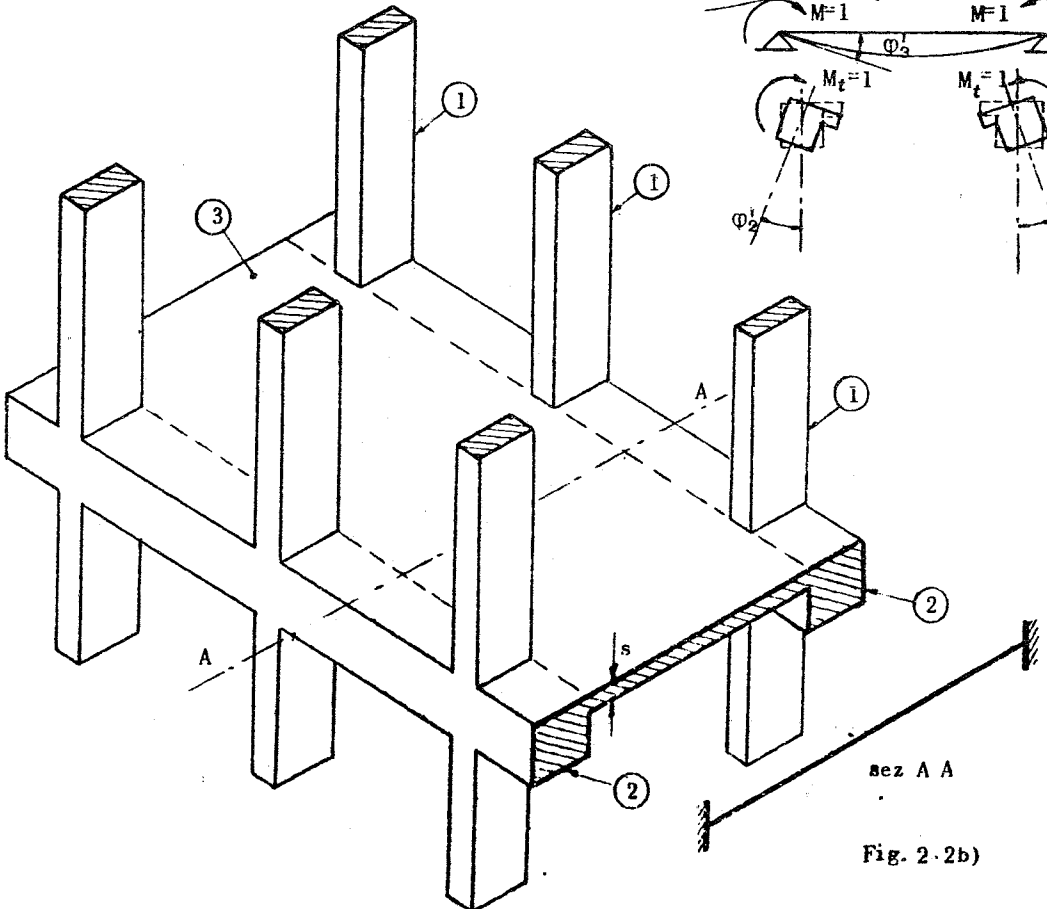
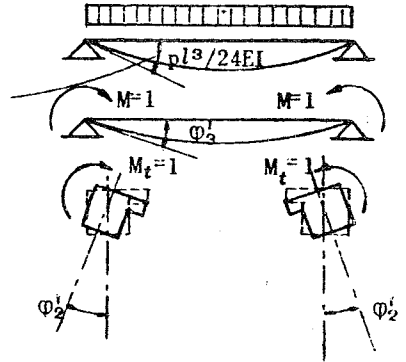


Fig. 2.2b)



### 2.2. a) Prima ipotesi limite.

Si supponga che (fig. 2 - 2 a):

- 1) la trave perimetrale sia molto (al limite completamente) deformabile torsionalmente;
- 2) i pilastri siano deformabili in senso trasversale (ad esempio abbiano sezione trasversale di forma rettangolare allungata in senso longitudinale);
- 3) il solaio sia rigido (ovvero abbia un elevato spessore  $s \gg \frac{1}{30} l$ ).

Queste tre condizioni concordemente tendono a rendere il solaio quasi appoggiato agli estremi: infatti la trave presenta elevate rotazioni torsionali rispetto ai nodi di confluenza con i pilastri e quindi i momenti flettenti trasversali corrispondenti al grado d'incastro del solaio tendono a ridursi ad una modesta aliquota del momento d'incastro perfetto del solaio stesso, che può quindi considerarsi, al limite, semplicemente appoggiato agli estremi.

### 2.2. b) Seconda ipotesi limite.

Si supponga che (fig. 2 - 2 b):

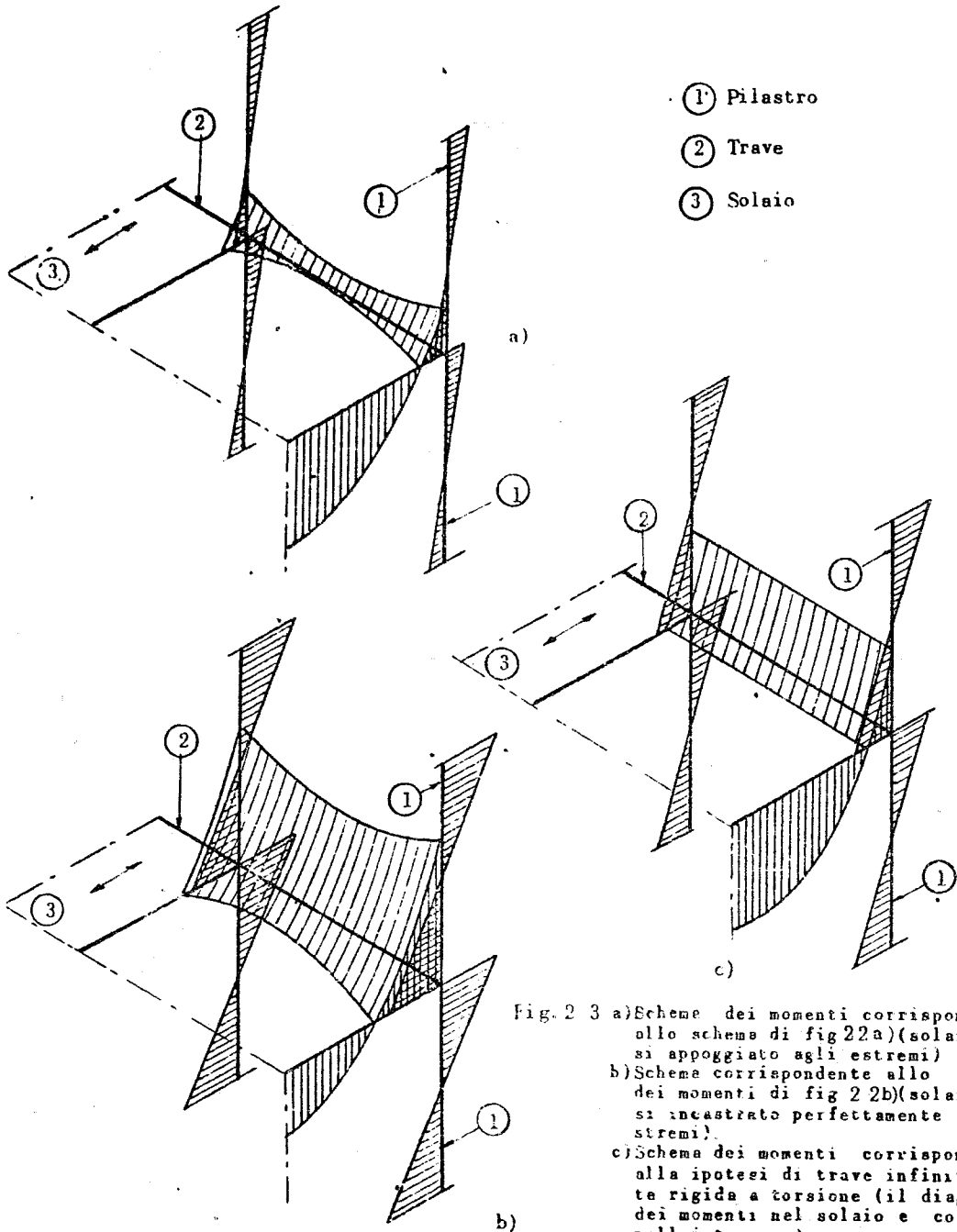
- 1) la trave sia, al contrario, di elevata (al limite infinita) rigidità torsionale;
- 2) i pilastri siano rigidi (ad es. di forma allungata in senso trasversale);

3) i solai siano deformabili avendo modesto spessore  
( $s \ll \frac{1}{30} l$ ) (in violazione alle vigenti norme).

Queste tre condizioni, opposte alle precedenti, tendono a far sì che il solaio si comporti, al limite, perfettamente incastrato agli estremi. Infatti la trave è collegata rigidamente con il nodo e quindi tutte le sue sezioni presentano la stessa rotazione della sezione d'incastro. Il pilastro molto rigido riduce tale rotazione ad una piccola aliquota di quella che il solaio, supposto appoggiato, presenterebbe agli estremi.

In altri termini la trave rappresenta un nodo rigido allungato a tutto l'interasse, che obbliga il solaio, in ogni punto del perimetro, a ruotare di un angolo pari a quello di estremità del pilastro. I momenti flettenti d'incastro all'estremità del solaio, sono costanti lungo tutto lo sviluppo della trave. Il loro valore totale, corrispondente all'interasse tra i pilastri, coincide con quello d'incastro del traverso che compete al portale semplice rappresentato in figura 2-3. Esso, avendo pilastri rigidi, presenta un traverso perfettamente incastrato agli estremi.

Le due schematizzazioni limite racchiudono il comportamento effettivo da bande opposte; esse quindi costituiscono nel complesso una "teoria" della struttura in quanto delimitano una "fascia" in cui è compreso il comportamento effettivo: l'approssimazione potrebbe però essere grossolana perché è evidente che, se le due schematizzazioni raggiungono le condizioni limite la fascia si estende dal semplice appoggio all'incastro perfetto.



### 2.2.c) Riduzione dell' ampiezza della "fascia".

Da quanto innanzi esposto si deduce che il comportamento effettivo e' intermedio tra i due schemi limite (a) e (b) della fig.2-4 e corrisponde in realta' a quello di telaio spaziale i cui ritte sono i pilastri e il traverso e' costituito dalla striscia di solaio di larghezza pari all'interasse tra i pilastri ancorati alla trave di bordo torcibile elasticamente. Poiche' tale schema "esatto" e' di laboriosa soluzione e d'altra parte puo' essere opportuno ridurre l'ampiezza della "fascia" innanzi determinata dagli schemi (a) e (b), si possono assumere come condizioni limiti (a') = (a) e al solaio perfettamente incastrato ai suoi estremi (b), sostituire un solaio incastrato elasticamente secondo lo schema di telaio in cui la trave di bordo sia infinitamente rigida a torsione e i soli pilastri siano elastici. (fig. 2-5).

Tale criterio puo' essere generalizzato ad ogni schema strutturale e puo' cioe' in sintesi assumersi una "fascia" di valori delle caratteristiche della sollecitazione (per ogni verifica statica), che comprenda al suo interno i valori effettivi.

Cio' rappresenta una semplificazione di indubbio interesse pratico che ha anche un significato teorico perche' consente di superare non solo le numerose difficolta' inerenti a schemi "esatti" ma anche quelle che si incontrano ogni qualvolta occorra quantizzare i parametri meccanici (\*), che intervengono nelle formule.

Il concetto di "fascia" consente di comprendere oltre che la variabilita' dello schema, anche l'intervallo di definizione numerica di tali costanti e, quando possibile, altre incertezze quali quelle di natura

(\*) L'introduzione dei parametri meccanici (E, I, l, ecc.) comporta un ulteriore allargamento della "fascia".

tecnologica, le inevitabili difformità tra lo schema

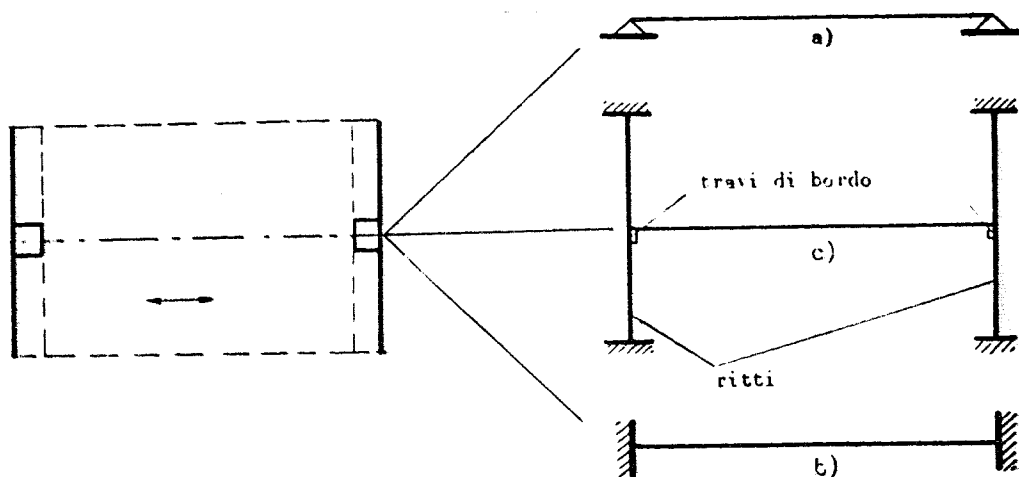


Fig. 2-7 - a) solaio semplicemente appoggiato: comportamento limite della ipotesi di fig. 2-2a);  
b) solaio perfettamente incastrato: comportamento limite della ipotesi di fig. 2-2b);  
c) solaio elasticamente incastrato: comportamento effettivo.

di calcolo e quello effettivo, i difetti costruttivi e le autotensioni.

Tra le difformità basti citare, nel caso dell'esempio, la presenza di travetti di ripartizione nel solaio e di altri legamenti trasversali; tra i difetti costruttivi le riprese di getto, specie in sommità dei pilastri. Il concetto di "fascia" consente di superare tali difficoltà senza peraltro limitare alcuna possibilità di sempre più approfondite indagini, che tendano quindi a stringere la larghezza della "fascia" nell'intento di renderla di spessore nullo, di perseguire cioè la soluzione esatta.

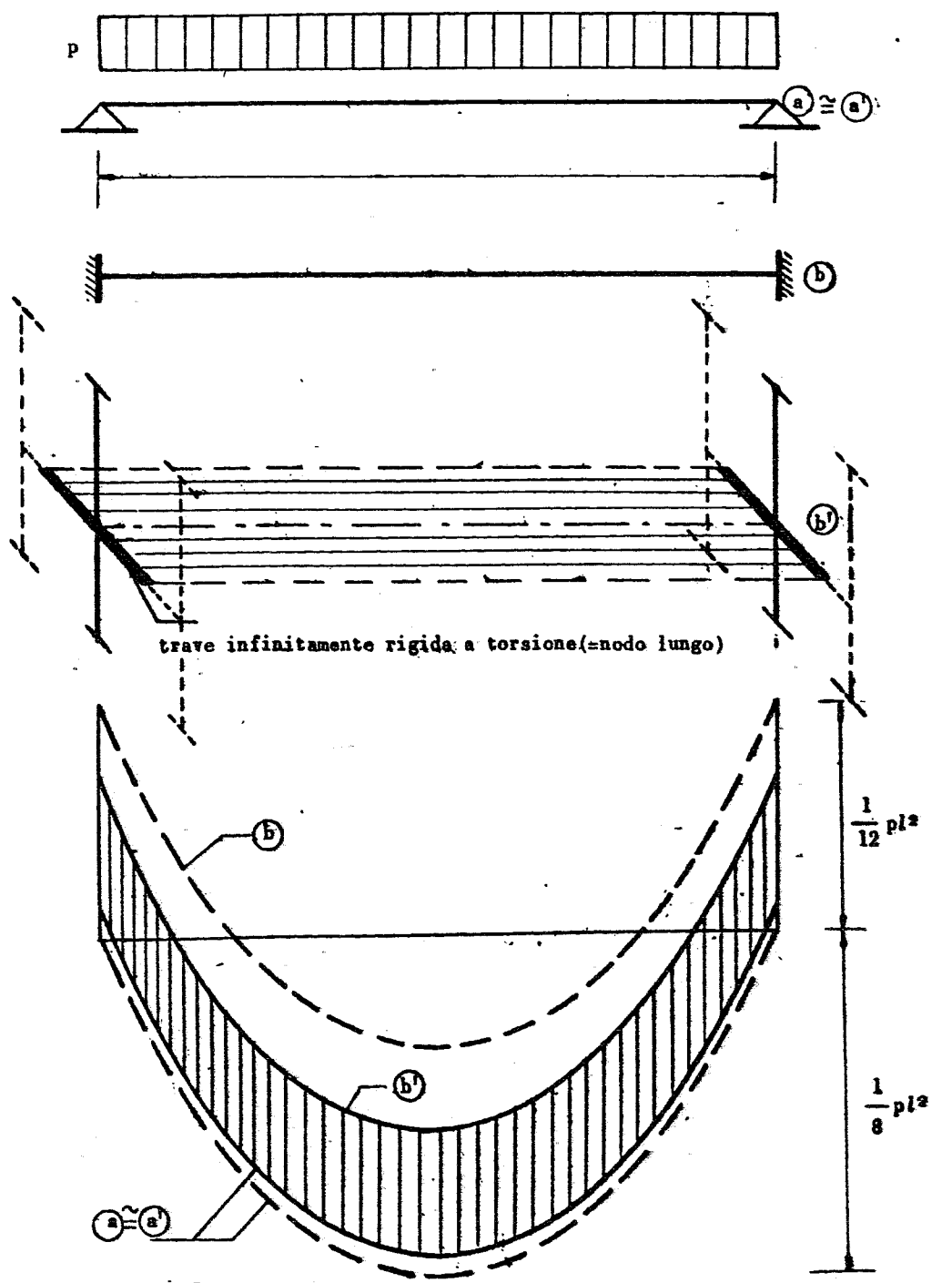


Fig. 2-5  $a = a'$  condizione limite per travi e pilastri deformabili e solaio rigido.  $(\odot)$  presenta un lieve inevitabile grado d'incastro.  
 $b$  condizione limite per travi infinitamente rigide a torsione, pilastri rigidi e flessione e solaio deformabile.  
 $b'$  condizione intermedia con travi infinitamente rigide a torsione e pilastri e solai elastici (telaio con nodo lungo).  
 $b'$  condizione c' effettiva di fig. 2-4 e' intermedia tra  $a'$  e  $b'$ .  
 $b'$  e' intermedio tra  $a$  e  $b$ .

### 2.3) Edifici "normali" (limiti delle loro caratteristiche geometriche).

Nel seguito comunque considereremo solo edifici in cui le "luci" siano contenute entro limiti tali da potersi trascurare almeno per l'effetto dei carichi verticali, la spazialità della struttura. Per schemi di carichi orizzontali (azioni sismiche e vento), l'edificio deve essere sempre considerato nella sua spazialità: si può, per semplicità, ricondurre lo schema effettivo ad insiemi di telai collegati ad ogni piano dagli impalcati.

Un'ulteriore semplificazione, non sempre accettabile anche se molto diffusa, considera l'edificio costituito da telai piani tra loro indipendenti prescindendo dal collegamento tra i telai, costituito ad ogni piano dagli impalcati orizzontali. Riterremo "normale" un edificio con "luci" che mediamente siano di 5 metri, con punte massime di 7 metri, localizzate; l'edificio per la forma della pianta e per la presenza di irrigidimenti biortogonali (pilastri allungati in due direzioni, validi compagni di chiusura, scale robuste) si suppone a "piani fissi" per l'azione dei soli carichi verticali e di modeste azioni orizzontali e per un limitato numero di piani (al massimo 10).<sup>(\*)</sup>

#### 2.3.1) Parametri relativi all'esame statico di un edificio

Per un esame rigoroso e completo di un edificio occorre inoltre prendere in considerazione:

a) **Tutte le possibili condizioni di carico esterno, pesi propri, sovrac-**

(\*) In presenza di modeste carichi orizzontali sono quasi sempre sufficienti i normali irrigidimenti esistenti in un edificio a rendere trascurabili (nulli) gli spostamenti orizzontali dei piani.

carichi fissi, sovraccarichi accidentali statici e dinamici, azioni termiche e di ritiro cedevolezza dei vincoli e carichi orizzontali. Questi ultimi in particolare sono introdotti generalmente come effetto del vento e delle scosse sismiche ondulatorie e si considerano agenti sull'edificio in tutte le direzioni anche se in realta' si dovrebbero considerare fenomeni dinamici piu' complessi costituiti da oscillazioni che suscitano l'insieme di forze di inerzia che ad esse si accompagnano;

b) gli schemi strutturali intermedi corrispondenti alle successive fasi di costruzione, con i corrispondenti carichi, variabili anch'essi in funzione del programma di costruzione e delle attrezzature impiegate;

c) la variabilita' delle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali impiegati; nel caso di conglomerato armato esse riguardano sia il ciclo di maturazione iniziale che la possibilita' di fessurazioni e parzializzazioni di alcuni tratti di membrature;

d) le difformita' tra la struttura schematizzata e quella effettiva per vincoli mutui interni, che si creano per varie cause all'interno dell'edificio; improvvise variazioni dell'orditura dei solai, diversa deformabilita' tra i solai e le travi di bordo parallele alla loro orditura. legamenti trasversali costituiti da armature o travetti di ripartizione dei solai, intervento di pannelli murari nel comportamento della struttura e cosi' via. Si crea per tali cause un intricato insieme di effetti mutui che alterano e spesso in modo sostanziale il comportamento di una parte non sempre limitata della intera struttura;

e) la spinta alla unificazione dei tipi strutturali, che e' una esigenza imposta dalla necessita di in



dustrializzare i procedimenti esecutivi, di cui e' la premessa indispensabile: esempio significativo molto noto e' la pressocche' costante previsione in progetto di un "piano tipo" nel caso di edifici multipiani<sup>(\*)</sup>, e cio' malgrado la evidente variabilita' delle sollecitazioni lungo la altezza dell'edificio. Non solo: anche nell'ambito di uno stesso piano si tende sempre piu' a ridurre il numero di elementi strutturali tra loro diversi. La unificazione comporta che ogni elemento "tipo" sia in grado di resistere alla gamma di sollecitazioni, cui puo' essere sottoposto in tutte le diverse condizioni alle quali e' effettivamente soggetto; poiche' il campo di variabilita' di tali condizioni e' molto ampio, occorre ricercare i limiti che individuano la "fascia" gia' richiamata entro la quale l'elemento "tipo" viene a trovarsi.

#### 2.4) Considerazioni conclusive.

La laboriosita' di un siffatto programma e' fin troppo evidente e l'impossibilita' di un esame completo e rigoroso obbliga spesso i progettisti a formulare schemi ed ipotesi opportunamente semplificati<sup>(\*\*)</sup>. La difficolta' sta nel fatto che in tale scelta occorre evitare da un lato di scivolare in un pericoloso "empirismo" (inteso in senso "deteriore") e dall'altro occorre che ogni passo verso una ulteriore semplificazione tenga sempre conto di tutti i fattori innanzi elencati. Basta a tal fine controllare che ogni semplificazione si traduca nell'allargare i limiti della "fascia" nella quale puo' ritenersi con certezza compresa la

(\*) L'unificazione puo' essere convenientemente estesa anche ai pilastri solo per edifici che non superino i 5 piani.

(\*\*) A costruire cioè, sui modelli piu' semplici tracciati dal modello complesso dell'edificio.

realta' fisica. Deve cioe' sempre effettuarsi il controllo, che le ipotesi che ne definiscono i limiti interpretino realisticamente e completamente la variabilita' di tutti i parametri in modo che alla fine sia assicurato il dovuto grado di sicurezza in tutte le fasi di vita della struttura. Del resto solo a queste condizioni e' possibile in pratica all'ingegnere assumere le gravi responsabilita' che gli competono, e nel contempo conservare ad ogni procedimento, comunque semplificato, la dignita' di "teoria"; si puo' anzi affermare che sotto ogni aspetto una "teoria degli edifici" fondata su un siffatto concetto di "fascia" e' sempre preferibile ad una schematizzazione unica che solo apparentemente mostri di raggiungere una migliore approssimazione.

In questa convinzione, questo criterio sara' adottato nello studio degli edifici e ne costituira' in ogni momento il presupposto logico.

La laboriosita' eccessiva che comporterebbe con i mezzi attualmente disponibili un "calcolo esatto" di un edificio ed il conseguente pericolo che si cada in procedimenti di uso corrente, privi di ogni rigore scientifico e purtroppo adottati talora nella pratica tecnica; costituiscono un dilemma, che puo' sembrare una frattura tra la pratica e la scienza ufficiale,

E' indispensabile che si arrivi ad una chiarificazione; ovvero, in altri termini, che la scienza ufficiale formuli per ogni tipo strutturale una teoria e quindi, nel caso specifico, una "teoria degli edifici". Essa, utilizzando tutti i procedimenti effettivamente applicabili, consideri gli edifici attraverso il

criterio, innanzi illustrato, di "fascia" i cui limiti siano definiti in modo che sia conservato alla dizione "teoria" il suo giusto significato.

E' necessario che tale soluzione si consegua per il caso degli edifici piu' urgentemente che per ogni altro tipo strutturale, perche' schemi piu' complessi si incontrano piu' raramente nella vita professionale, ed in tali casi procedimenti piu' laboriosi possono in pratica essere accettati piu' facilmente.

## 2.5) Elementi costruttivi di un edificio.

Con tali considerazioni pregiudiziali affrontiamo nel seguito l'esame di un edificio tradizionale in cemento armato. Tale esame sara' svolto suddividendolo in parti (componenti), finche' cio' sia possibile compatibilmente con i criteri prestabiliti ed indicando per ognuna di esse i limiti delle "fasce" da considerare. In ogni fase occorrera' controllare che il comportamento effettivo dell'elemento nell'intero edificio sia sempre contenuto nei limiti fissati dai procedimenti proposti sia con riguardo alla variabilita' di tutti i parametri fisico-meccanici che alle fasi di realizzazione e di esercizio dell'opera.

Considerando quindi l'edificio convenzionalmente scisso nei seguenti "elementi costruttivi":

- 1) solai
- 2) travi
- 3) pilastri
- 4) scale
- 5) fondazioni

svolgeremo l'analisi di ciascun elemento precisandone

la morfologia, la tecnologia, le condizioni di carico (\*) e, sulla base di tali precisazioni, cioè dei "fatti", il procedimento (\*\*) che l'ascienza suggerisce per abbracciare in una "fascia" tutta la gamma dei fattori che condizionano la "sicurezza dell'opera". (\*\*\*)

Vedremo che non sempre e' possibile una suddivisione così spinta e che, al variare dei "fatti", occorre una diversa "teoria"; ad esempio considerando fisso l'aspetto morfologico e tecnologico, al variare delle condizioni di carico (carichi prevalentemente verticali o prevalentemente orizzontali) sarà necessario suggerire diverse schematizzazioni e procedimenti. Lo stesso avviene se si fa variare solo un altro dei parametri: ad esempio il materiale, ed in questo spirito abbiamo introdotto all'inizio una classificazione ed abbiamo stabilito di riferirci solo a strutture in cemento armato; ad esempio, per una struttura in acciaio la teoria sarebbe del tutto diversa. Le schematizzazioni e le fasce che essi definiscono sono quindi variabili in modo molto ampio ed il loro complesso costituisce quella che noi chiamiamo la "teoria degli edifici".

Nei paragrafi che seguono noi considereremo normali edifici in cemento armato destinati ad uso di civili abitazioni, eventualmente con negozi ed uffici. Dapprima considereremo il caso che essi siano sottoposti prevalentemente a carichi verticali applicati staticamente; in un successivo volume il caso di prevalenti azioni orizzontali (azione del vento, scosse sismiche).

-----  
(\*). Submodello oggettuale del componente.

(\*\*) Submodello di funzionamento

(\*\*\*) Submodello di comportamento imposto dall'esigenza umana della sicurezza.