

Fasi progettuali e dettagli di un edificio multipiano a struttura intelaiata in c.a.

CAPITOLO 8 – PARTE A

GENERALITA'

La progettazione delle strutture di un edificio è il risultato di una serie di processi sequenziali, tutti ugualmente importanti, che vedono il loro sviluppo progressivo dalla concezione embrionale, fino alla traduzione nei disegni esecutivi di cantiere, attraverso fasi di successivi affinamenti.

Dopo una preliminare definizione del contesto ambientale, sarà possibile determinare il quadro delle azioni principali cui la struttura è chiamata a far fronte; ciò consentirà di formulare le prime ipotesi sulle tipologie strutturali più adatte e di sviluppare i primi dimensionamenti, generalmente fondati su modelli semplificati; tali predimensionamenti consentiranno una definizione più accurata delle azioni ed una più corretta calibrazione delle geometrie, con la finalità di conferire alla struttura quelle capacità prestazionali richieste dai codici normativi, sia in condizioni di esercizio che in prossimità del collasso; i dettagli degli elementi strutturali potranno infine essere compiutamente definiti su modelli più sofisticati, ampiamente disponibili nei più diffusi codici di calcolo.

IL PROGETTO STRUTTURALE

1. DEFINIZIONE DEI CARICHI
2. SCELTA DEL MATERIALE
3. SCELTA DELLO SCHEMA STATICO
4. PREDIMENSIONAMENTO
5. CALCOLO
6. VERIFICA

Nell'impostazione iniziale del progetto occorre in genere tener presente principi di base ed alcuni fondamentali criteri progettuali che possono aiutare a stabilire prime utili indicazioni ed indirizzi.

La **regolarità strutturale**, ad esempio, è una prerogativa che, in generale va privilegiata anche quando l'edificio è principalmente soggetto ad azioni verticali, ma assume il carattere di imprescindibilità in tutti quei casi in cui le azioni sismiche rappresentano le azioni dominanti sulla struttura.

La regolarità va intesa essenzialmente come individuazione di percorsi chiari e diretti nella trasmissione delle azioni ed uniforme distribuzione di masse, rigidezze e capacità duttili.

La localizzazione degli elementi verticali è correlata alla destinazione d'uso dell'edificio, alla distribuzione degli spazi ed alle relative esigenze funzionali.

La carpenteria tipica di un edificio per civile abitazione, quando non strettamente condizionata da particolari azioni orizzontali, è caratterizzata da:

- due telai di facciata e da uno o più telai intermedi con un pilastro ogni 25-30 m².
- solai orditi secondo la luce maggiore e le travi secondo la minore.
- l'orditura dei solai (se possibile) va definita in maniera da privilegiare lo scarico sulle travi emergenti, cercando di ridurre i cambi di orditura, specie quando interrompono la continuità.
- Nei solai continui occorre evitare campate particolarmente corte che possono determinare momenti negativi in campata, staticamente sfavorevoli.

Il dimensionamento dei solai e degli orizzontamenti in genere dipende, prima ancora che dalla domanda di resistenza, dalla necessità di contenerne le deformazioni entro limiti accettabili e, comunque, nel rispetto dei limiti imposti dalle Norme.

Valori di primo dimensionamento sono correlati essenzialmente alla luce e allo schema statico:

- $h > L/7$ per sbalzi;
- $h > L/20$ per schemi in semplice appoggio;
- $h > L/26$ per schemi di continuità).

Per quanto attiene alle travi, quelle disposte di coltello sono da preferire per la loro maggiore razionalità statica, anche se spesso pongono seri impedimenti agli attraversamenti degli impianti. Questi, quando presenti, non possono essere adottati in maniera diffusa e indiscriminata e, comunque, vanno previsti in quelle zone della trave dove non è compromessa la resistenza a taglio richiesta alla trave stessa.

Le geometrie delle sezioni delle travi vanno inoltre calibrate sulle specifiche richieste normative in merito al corretto funzionamento dei nodi trave-pilastro.

FUNZIONI E CARATTERISTICHE DEGLI IMPALCATI NEGLI EDIFICI MULTIPIANO

Solaio e travi rappresentano i componenti fondamentali dell'impalcato.

Funzioni di solai e travi:

- **Raccogliere, secondo una precisa gerarchia, i carichi verticali di piano e trasferirli ai pilastri;**
- **Collegare efficacemente tutte le componenti strutturali che costituiscono l'ossatura portante dell'edificio, conferendo alla stessa una caratteristica essenziale di monoliticità e scatolarità, decisiva nella resistenza alle azioni orizzontali.**

Sotto questo aspetto grande importanza rivestono le modalità costruttive dei solai; quelle di più comune impiego sono:

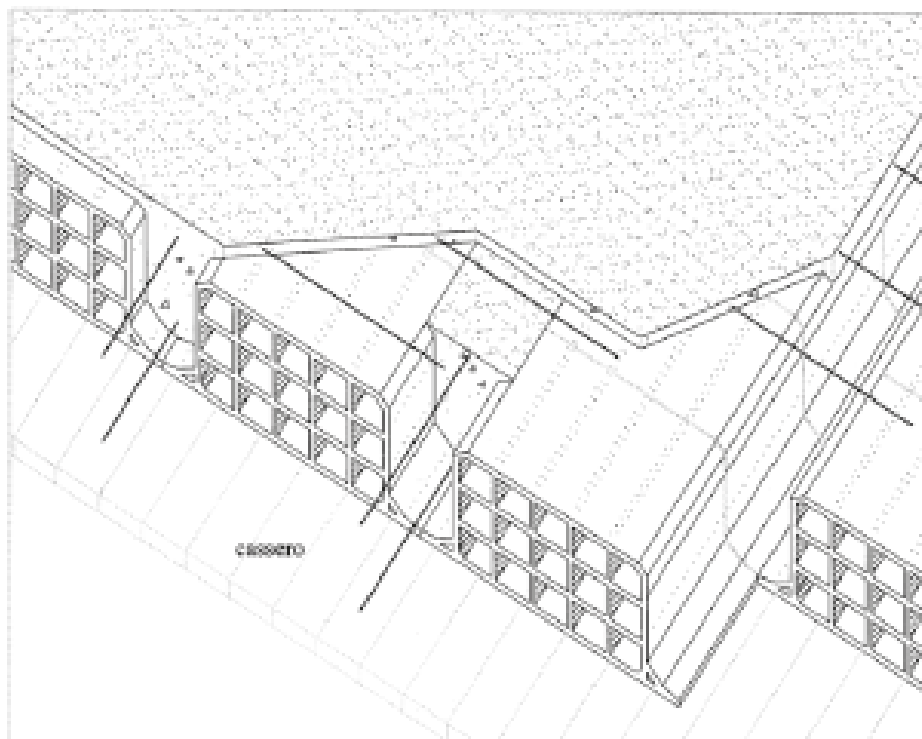
- I. Solai in getto pieno;**
- II. solai con blocchi interposti di alleggerimento in laterizio o altro materiale;**
- III. Solai realizzati dall'associazione di elementi prefabbricati con unioni e/o getti di completamento**

SOLAI IN LATERO-CEMENTO

È la tipologia più usata.

La tipologia deriva da quella di un solaio a nervature e soletta con i vuoti riempiti con speciali laterizi forati (pignatte).

Le nervature sono molto ravvicinate ($40 \div 50$ cm)

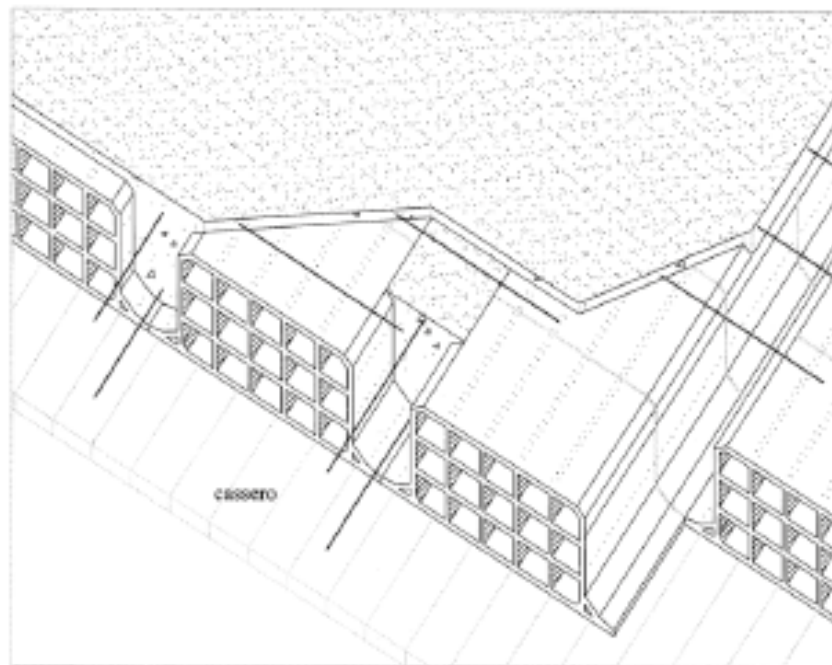


Solaio costruito completamente in opera.

SOLAI IN LATERO-CEMENTO

Il laterizio è molto usato perché ha le seguenti caratteristiche:

- Inalterabile nel tempo;
- Buona aderenza al conglomerato;
- Buona resistenza a compressione ($40 \div 50 \text{ N/mm}^2$) e trazione ($4 \div 5 \text{ N/mm}^2$);
- Si presta ad essere trafilato in pareti sottili e ciò conferisce grande leggerezza, grazie alla possibilità di realizzare più camere d'aria, che favoriscono coibenza e afonicità.



SOLAI IN LATERO-CEMENTO

Ogni nervatura (travetto) viene armata in genere con due tondini, uno dritto, l'altro rialzato verso gli appoggi con l'eventuale aggiunta, quando necessaria, di monconi nelle zone a momento negativo.

In fase di getto occorre garantire il corretto ricoprimento dei ferri di armatura, prevedendo l'adozione di distanziatori e vibrando adeguatamente il calcestruzzo.

Le normative consentono di non disporre armatura specifica a taglio quando i travetti presentano nei confronti di questa sollecitazione adeguata resistenza allo SLU, è preferibile che il solaio sia dimensionato in maniera tale da non esigere specifica armatura a taglio che, fra l'altro, richiederebbe una onerosa posa in opera.

Il laterizio può avere semplice funzione di alleggerimento, ovvero funzione statica di collaborazione con il conglomerato: in entrambi i casi, le normative impongono prescrizioni sulla geometria e sulla resistenza dei blocchi.

L'interasse fra le nervature non deve essere maggiore di 15 volte lo spessore della soletta.

Lo spessore della nervatura non deve essere inferiore ad 1/8 dell'interasse.

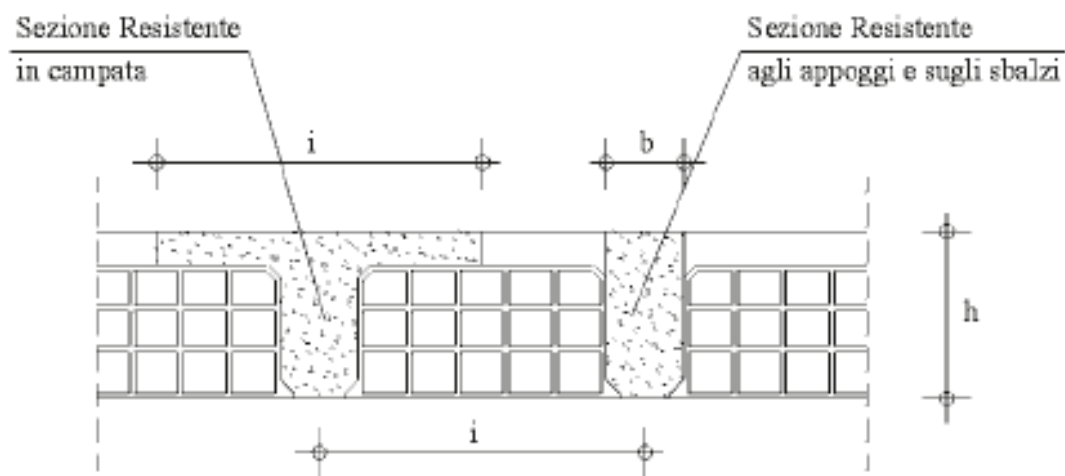
Il blocco di laterizio non deve avere dimensione superiore a 52 cm.

SOLAI IN LATERO-CEMENTO

In presenza di carichi non uniformemente distribuiti (si pensi ad esempio alle azioni dei tramezzi disposti su un singolo travetto), ovvero nel caso di campi di solaio a luce variabile, è indispensabile prevedere accorgimenti tecnici che garantiscano la collaborazione statica fra le diverse nervature che compongono lo stesso campo di solaio.

È bene disporre nervature ortogonali alla direzione di tessitura del solaio (travetti rompitratta) da disporre ad interasse opportuno (generalmente 2.50-3.00 m) in funzione della luce di calcolo.

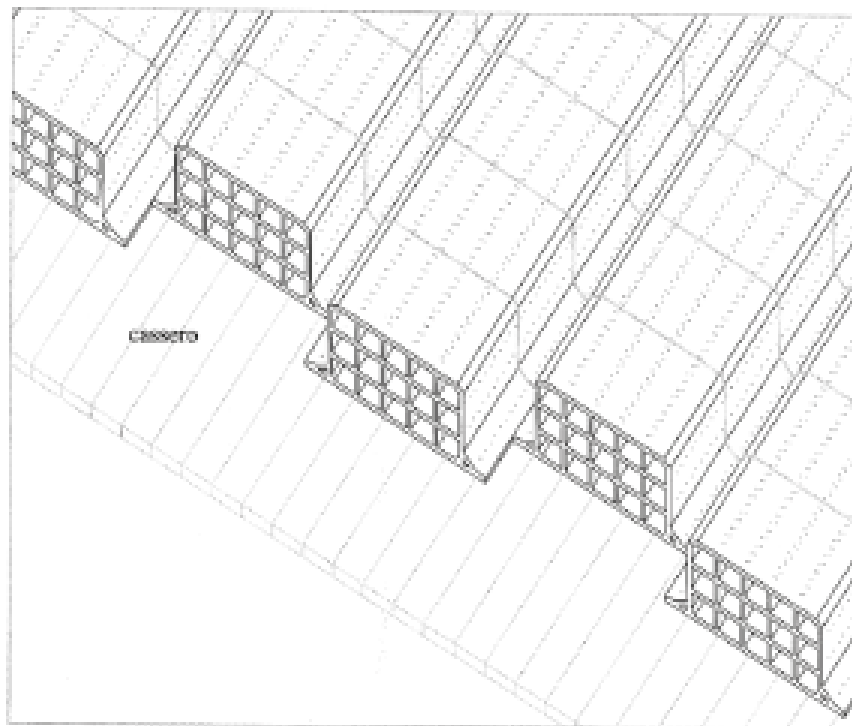
La sezione resistente di un solaio cambia a seconda che la sollecitazione flessionale sia positiva o negativa, penalizzando ovviamente le zone in prossimità degli appoggi, laddove risultano compresse le fibre inferiori delle nervature.



Sezioni resistenti di un solaio.

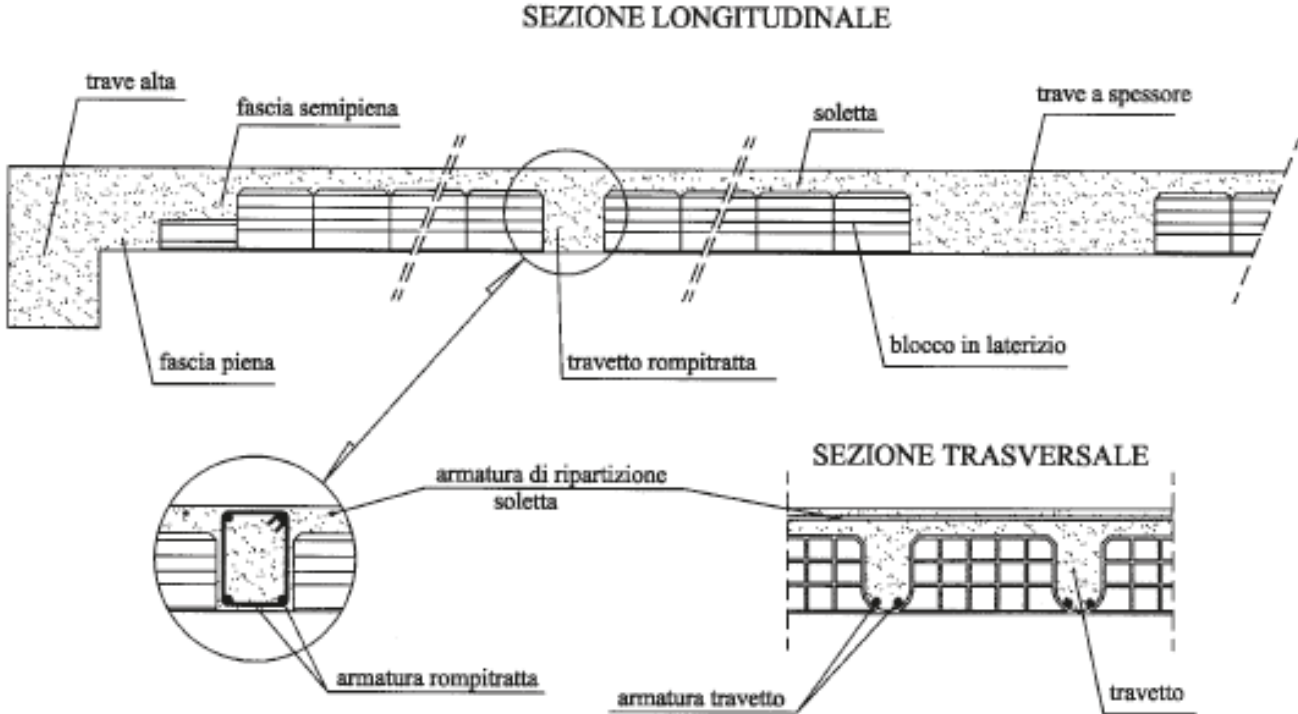
SOLAI IN LATERO-CEMENTO

Per la verifica a taglio è utile realizzare una fascia piena o semipiena, eliminando o riducendo una o più pignatte in prossimità degli appoggi.



Disposizione a pettine (o a giunti sfalsati) dei blocchi di laterizio in corrispondenza dell'appoggio del solaio.

SOLAI IN LATERO-CEMENTO

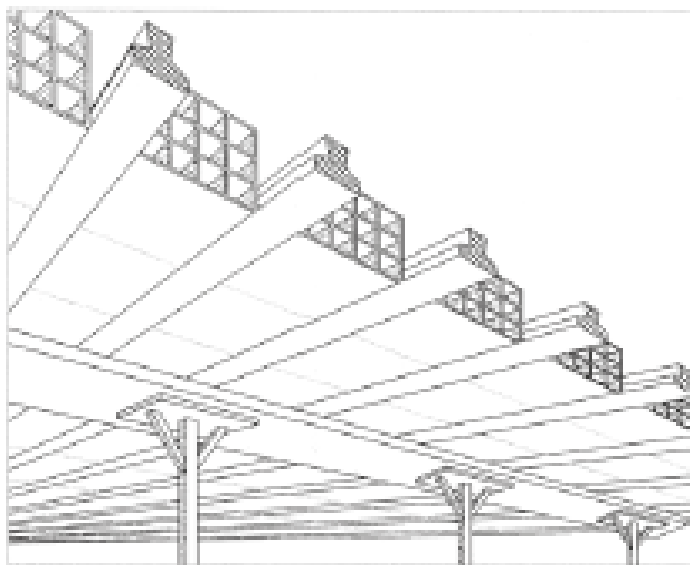


Particolari di un impalcato con solaio in opera.

SOLAI IN LATERO-CEMENTO A NERVATURE PARZIALMENTE PREFABBRICATE

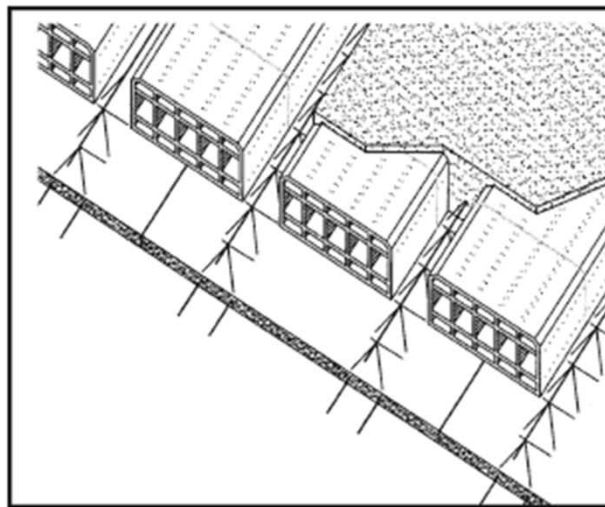
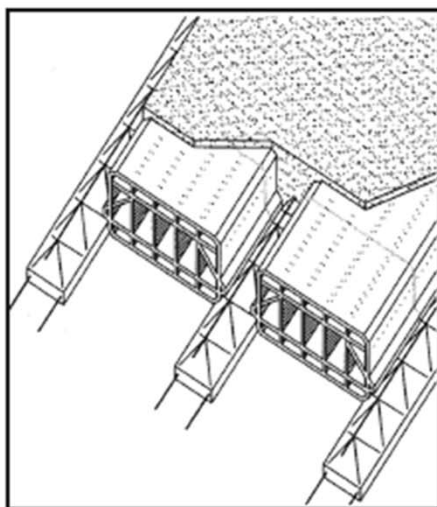
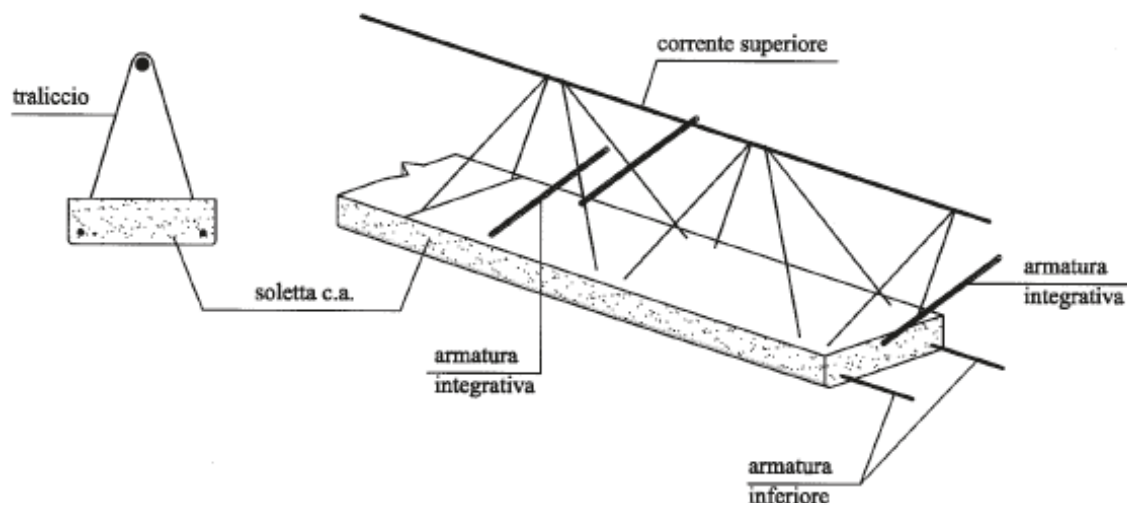
I solai in latero-cemento a nervature parzialmente prefabbricate, sono costituiti da componenti dotati di capacità autoportante che in fase provvisoria, risultano in grado di reggere il getto di completamento in toto o con l'ausilio di un numero limitato di puntelli.

Tale caratteristica conferisce a questa tipologia il non trascurabile vantaggio di una radicale riduzione degli oneri di cassetta con conseguenti economie in materiali, mano d'opera e tempi di esecuzione.



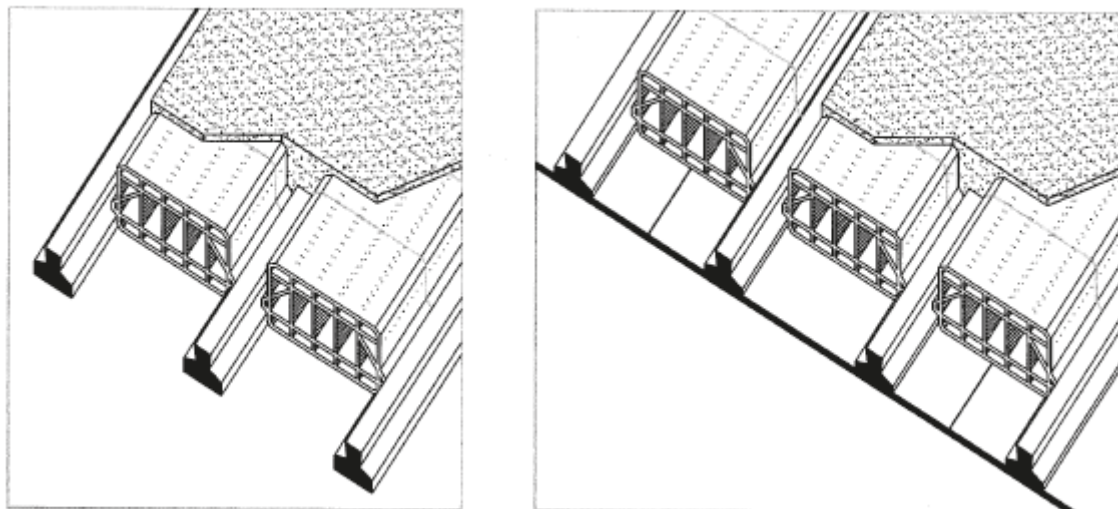
SOLAI IN LATERO-CEMENTO A NERVATURE PARZIALMENTE PREFABBRICATE

I solai in latero-cemento tralicciati (tipo BAUSTA), sono costituiti da travetti con una soola inferiore in c.a. di piccolo spessore, spesso alloggiata in un fondello in laterizio, che porta inglobato un traliccio d'armatura i cui correnti inferiori definiscono l'armatura del travetto a momento positivo.



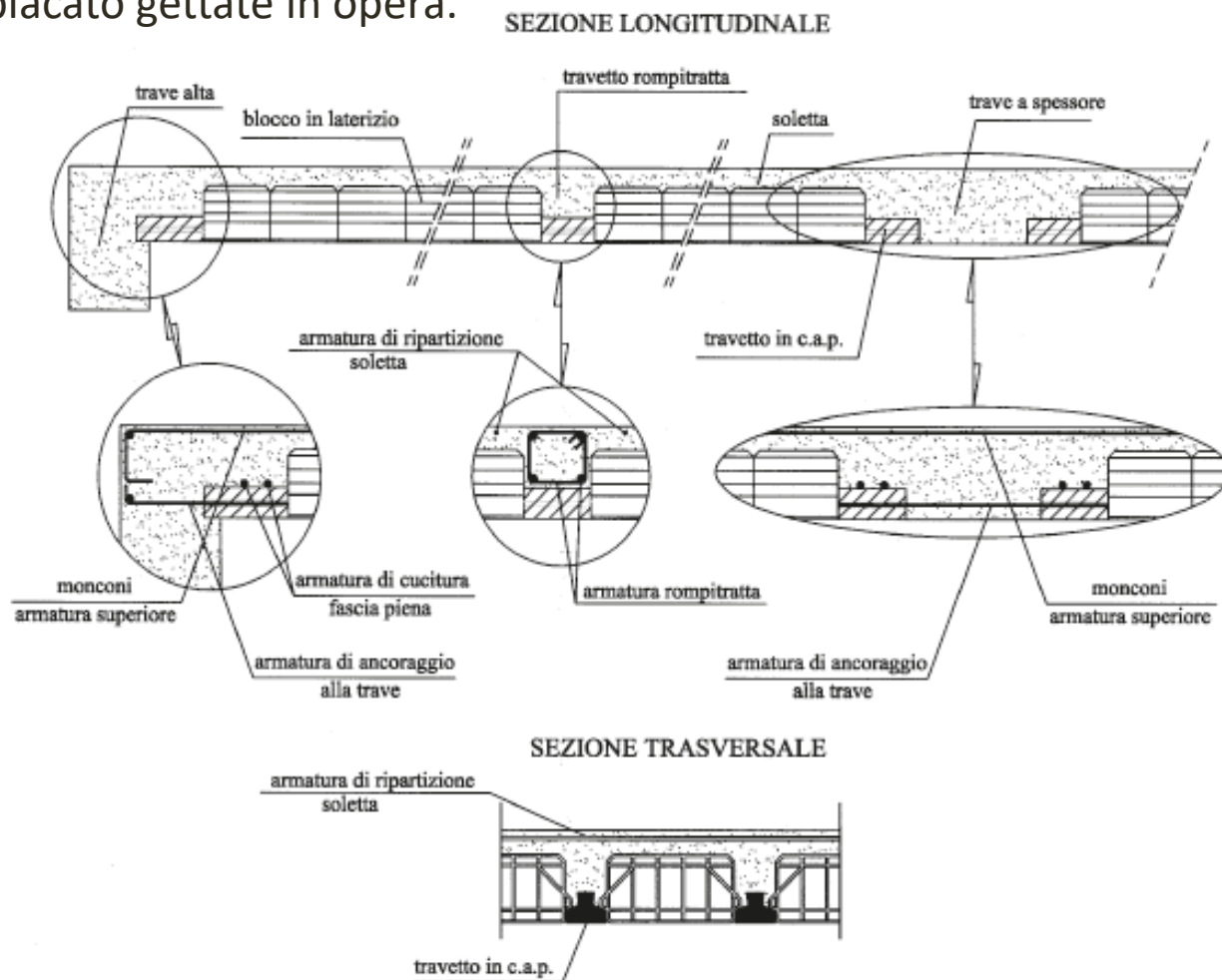
SOLAI IN LATERO-CEMENTO A NERVATURE PARZIALMENTE PREFABBRICATE TRAVETTI IN C.A.P.

I travetti hanno sezione molto ridotta (generalmente inferiore a 100 cm^2), realizzati con calcestruzzo a resistenza ($f_{ck} = 40 \div 55 \text{ N/mm}^2$) più elevata dei comuni getti di completamento e precompressi con il sistema a cavi aderenti, in maniera tale che la forza di precompressione risulti leggermente al di sotto del baricentro.



SOLAI IN LATERO-CEMENTO A NERVATURE PARZIALMENTE PREFABBRICATE TRAVETTI IN C.A.P.

Di fondamentale importanza, per il buon funzionamento di questo tipo di solai, è la cura dei particolari delle cuciture degli elementi precompressi alle parti di impalcato gettate in opera.

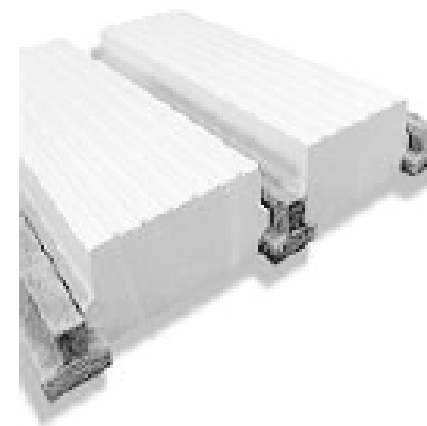
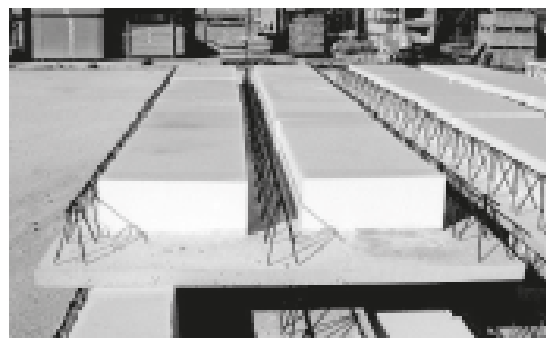
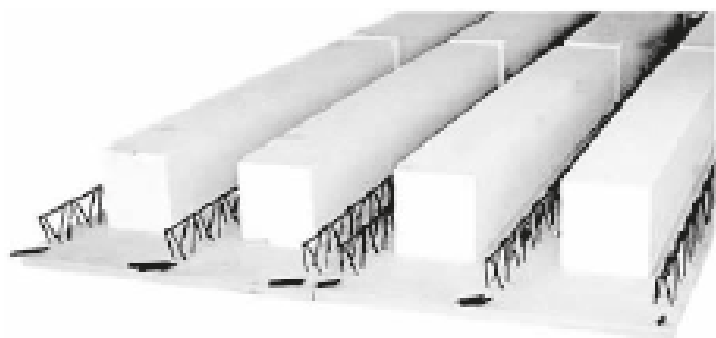


Particolari di impalcato con solaio parzialmente prefabbricato a travetti in c.a.p.

A cura di Mauro Mezzina, *Fondamenti di Tecnica delle costruzioni*, Città Studi © De Agostini Scuola, 2013

SOLAI CON ALTRO MATERIALE DI ALLEGGERIMENTO

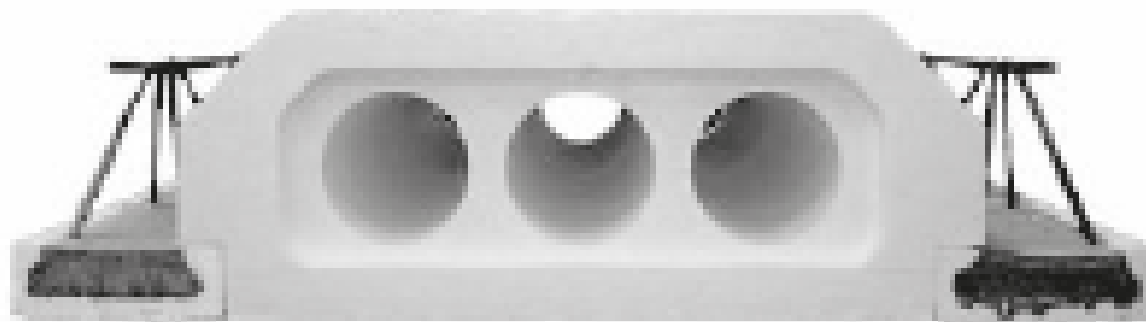
Queste tipologie si differenziano dai solai in latero-cemento, perché il laterizio di alleggerimento è sostituito con elementi di polistirene espanso o con materiale plastico.



SOLAI CON ALTRO MATERIALE DI ALLEGGERIMENTO

Recentemente sono stati brevettati elementi realizzati per termo-compressione in polistirene espanso sintetizzato (EPS) con un peso intorno ai $2 \div 3$ kg per mq di solaio (contro i $60 \div 80$ kg/mq delle pignatte in laterizio), caratterizzati da un'estrema facilità di movimentazione in cantiere, buona adesione alla malta cementizia ed elevato isolamento termico.

Negli elementi sono presenti fori per il passaggio di cavi e tubature, che ne innalzano il livello di funzionalità.



Elemento di alleggerimento in EPS per solaio (brevetto Bovéda – Indagine sperimentale effettuata presso UNICA).

SOLAI INTERAMENTE PREFABBRICATI IN C.A.P

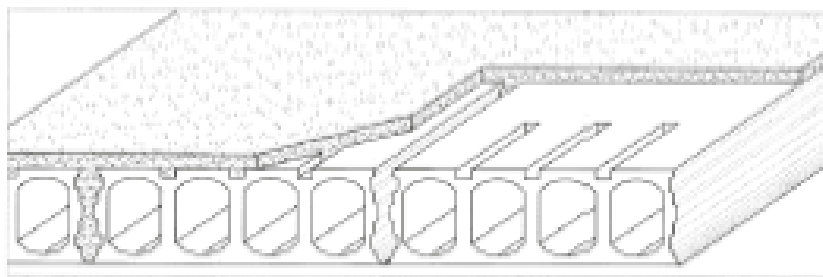
Quando sono richiesti elevati rapporti carico/spessore del solaio (edilizia industriale, autorimesse, ecc.) può risultare conveniente ricorrere a solai interamente prefabbricati in c.a.p.

Si tratta di solai costituiti da lastre autoportanti generalmente di larghezza 120 cm precomprese ed alleggerite mediante estrusione.

Tale tecnica permette di ottenere una doppia superficie piana collegata da nervature che conferiscono alla sezione resistente, a parità di altezza, la massima inerzia flessionale, incrementando il rendimento luce/spessore e garantendo nello stesso tempo deformabilità assai contenute.

Le operazioni di montaggio sono molto rapide poiché non richiedono alcuna fase intermedia di costruzione che è limitata esclusivamente al varo e all'eventuale getto di collegamento in opera.

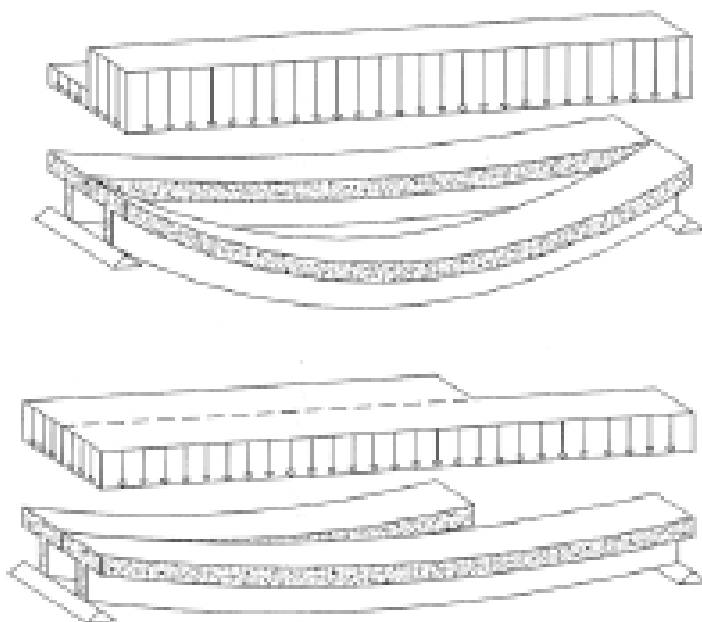
Le lastre presentano lungo tutta la superficie di contatto con quelle adiacenti una sagomatura a risalti che garantisce il trasferimento delle azioni taglianti fra una lastra e l'altra al fine di favorire la corretta ripartizione trasversale anche in presenza di consistenti carichi concentrati.



GETTI DI COLLEGAMENTO

Qualunque sia la tipologia impiegata per un solaio che prevede il getto di completamento in opera, a quest'ultimo è demandata la essenziale funzione di realizzare la monoliticità fra tutti i componenti del solaio (travetti prefabbricati e non, blocchi di laterizio, armatura di acciaio, soletta) e le strutture ad esso collegate (travi e pilastri).

Un corretto getto di completamento conferisce adeguati livelli di rigidezza all'intero complesso strutturale e garantisce, insieme all'armatura, quelle cuciture trasversali i cui effetti sono spesso non considerati in fase di calcolo.



Possibili fratture in mancanza di collaborazione trasversale fra nervature contigue.

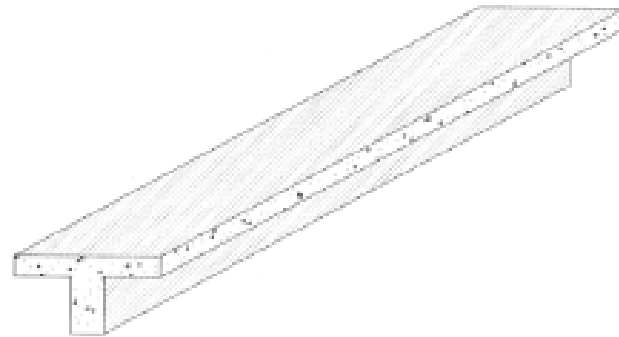


Necessità di cucitura fra campi di solaio con orditura non parallela.

MODELLI PARZIALI PER IL CALCOLO DEI SOLAI

Sulla base delle caratteristiche e delle modalità costruttive descritte ai punti precedenti i solai a travetti (prefabbricati e non) alleggerito, sono senz'altro da considerare quali elementi strutturali bidimensionali; ciò nonostante, per azioni ortogonali al piano del solaio, nella pratica progettuale, si fa costante riferimento al modello semplificato di «striscia elementare».

Questo corrisponde al singolo travetto comprensivo della parte di soletta racchiusa nell'interasse di due travetti adiacenti.



Modello semplificato a "striscia elementare"

È immediato constatare che questa schematizzazione trascura totalmente la collaborazione trasversale fra i singoli travetti che è invece sempre più o meno efficacemente assicurata dalla continuità della soletta e dalla presenza dei travetti rompitratta.

MODELLI PARZIALI PER IL CALCOLO DEI SOLAI

Pur nell'ambito di questa prima drastica semplificazione, **per individuare compiutamente il modello parziale, occorre definire i vincoli cui assoggettare la «striscia elementare»**, che sono esplicitati dal complesso strutturale costituito dalle travi e dai pilastri cui i solai si attestano. Tale schematizzazione è tutt'altro che agevole poiché condizionata da molteplici fattori che, influenzandosi mutuamente, complicano non poco la scelta di semplici modelli di vincolo che possano fedelmente simulare la realtà strutturale.

I più importanti fattori che concorrono alla definizione delle **condizioni di vincolo** delle «strisce elementari» sono:

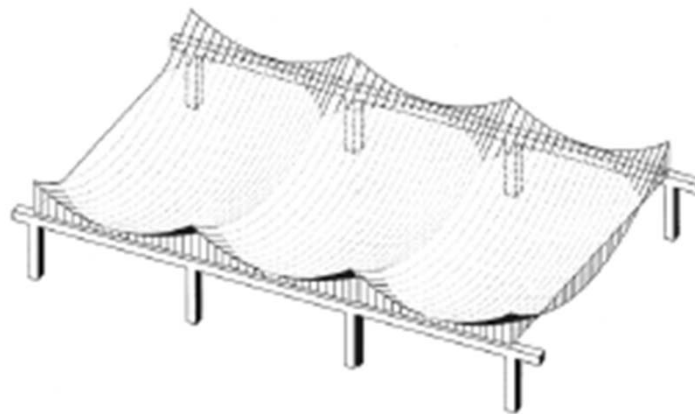
- a) **la rigidità torsionale della trave;**
- b) **la rigidità flessionale della trave;**
- c) **la posizione della «striscia» rispetto al complesso trave-pilastro;**
- d) **la rigidità flessionale del pilastro;**
- e) **la rigidità estensionale del pilastro;**
- f) **il comportamento del complesso trave-fondazione-sovrastuttura;**
- g) **le modalità di costruzione del solaio.**

MODELLI PARZIALI PER IL CALCOLO DEI SOLAI

In relazione agli spostamenti verticali, generalmente questi si ipotizzano nulli in termini relativi; cioè si ipotizza per la « striscia elementare » che i vincoli rimangano « a livello ».

In pratica, questa ipotesi consiste nel trascurare:

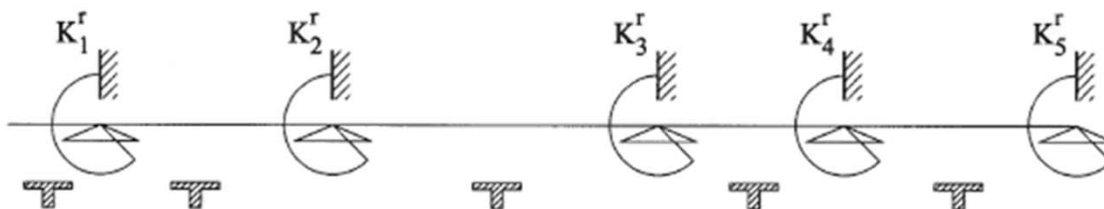
- a) i cedimenti differenziali in fondazione;
- b) gli accorciamenti differenziali dei pilastri;
- c) le frecce differenziali delle travi che vincolano la striscia in corrispondenza delle relative sezioni di vincolamento.;



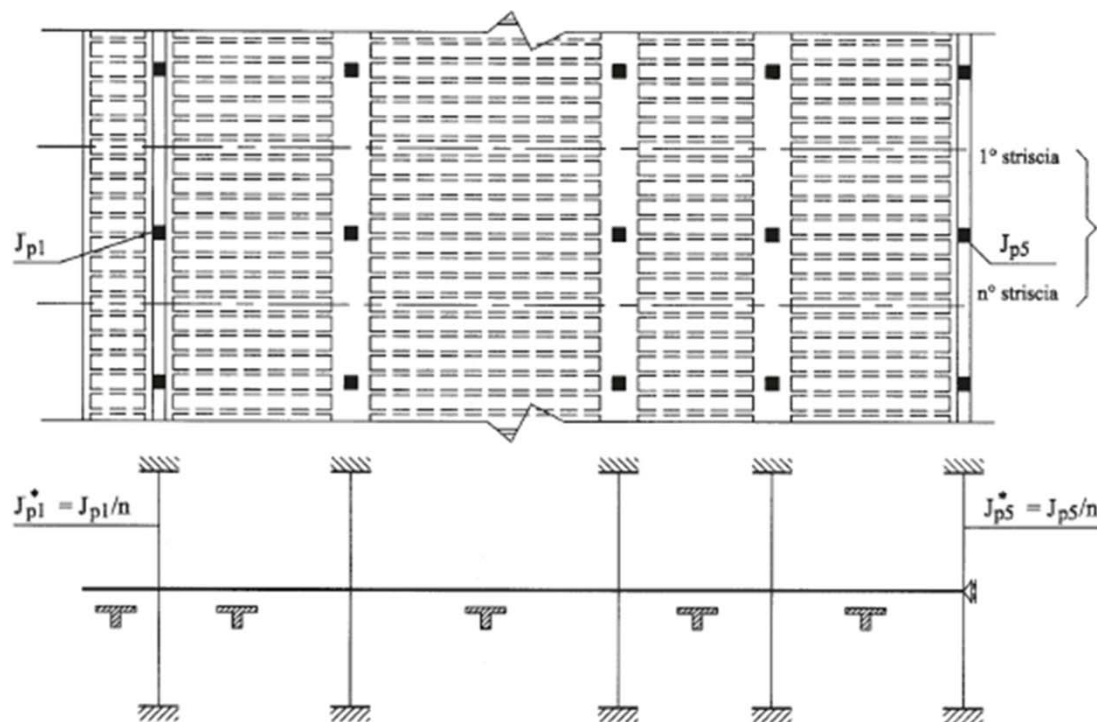
Ogni travetto è vincolato in maniera diversa alle strutture di bordo.

MODELLI PARZIALI PER IL CALCOLO DEI SOLAI

Si possono adottare vari modelli semplificati, per modellare il comportamento del solaio, che generalmente si presenta con schema su più campate, e dei suoi vincoli.



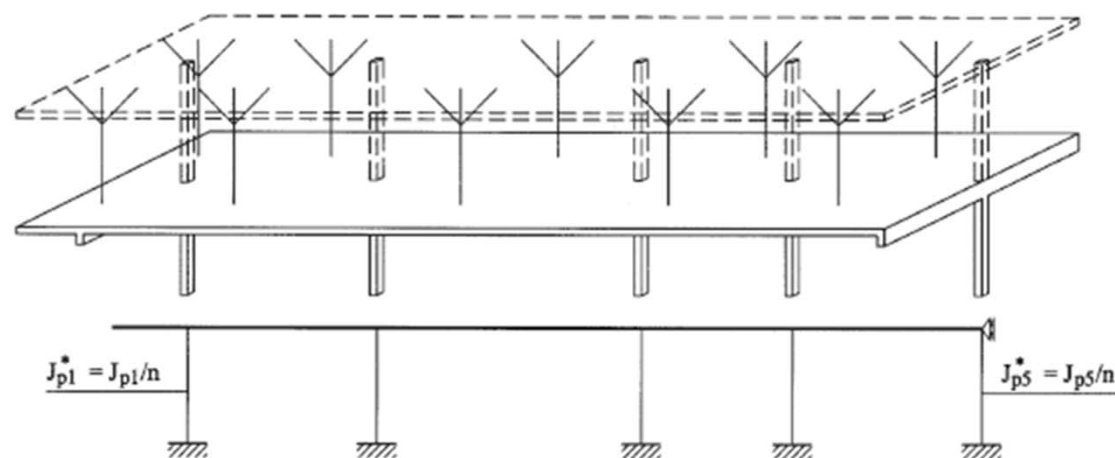
Modello a vincoli rotazionali elastici, presenta l'onere non trascurabile di valutare le costanti elastiche K con cui caratterizzare gli n vincoli della striscia elementare.



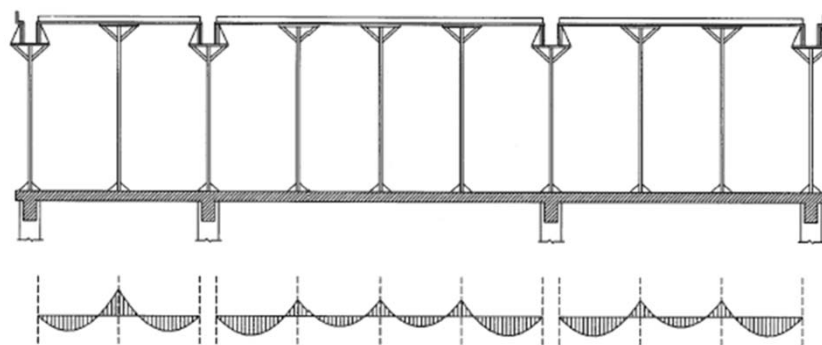
Ipotesi di travi a rigidità torsionale infinita

MODELLI PARZIALI PER IL CALCOLO DEI SOLAI

Un altro aspetto che può condizionare la definizione del modello di calcolo può essere rappresentato dalle modalità di esecuzione degli orizzontamenti.



Il solaio superiore in fase di getto è supportato interamente dal solaio inferiore già realizzato. In questo caso la collaborazione alla definizione della rigidezza dei vincoli da parte dei pilastri superiori è praticamente nulla.



Schema di calcolo di un travetto prefabbricato in fase di getto.

MODELLI PARZIALI PER IL CALCOLO DEI SOLAI

È buona norma effettuare comunque effettuare l'analisi del solaio secondo lo schema di trave continua su più appoggi.



Ipotesi di travi a rigidità torsionale nulla.

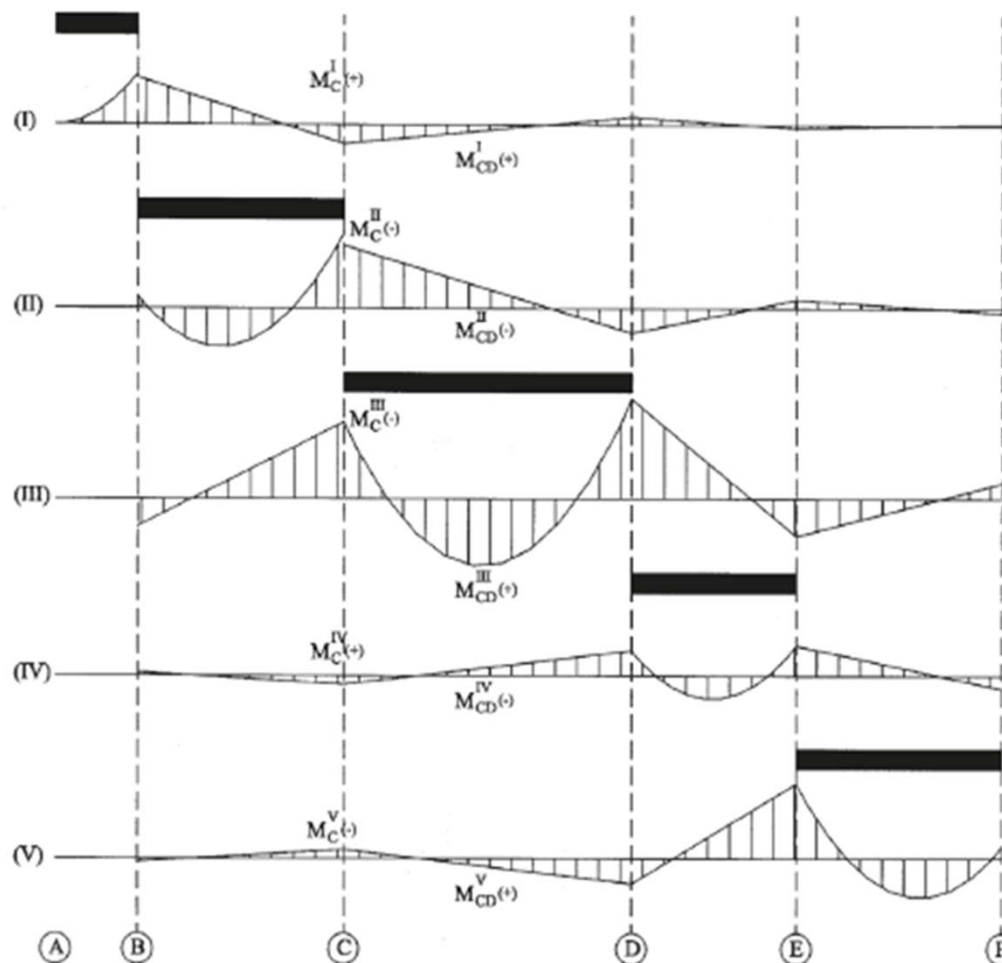
Una corretta valutazione delle sollecitazioni più gravose relative alle sezioni caratteristiche di una «striscia elementare», dipendono ovviamente, non solo dalla scelta di un adeguato modello di calcolo, ma anche dalla individuazione della distribuzione delle azioni da considerare di volta in volta nell'analisi.

Tale distribuzione è funzione non soltanto delle azioni permanenti, la cui posizione ed entità è nota e, per sua stessa natura, immutabile, ma anche dei carichi variabili che, in ciascuna combinazione prevista, vanno considerati oltre che affetti dai rispettivi coefficienti parziali e di combinazione, con una distribuzione tale da rendere di volta in volta massima la sollecitazione presa in esame nella sezione considerata.

MODELLI PARZIALI PER IL CALCOLO DEI SOLAI

Si ipotizza che le azioni variabili sul solaio (ricavate dalla normativa) siano uniformemente distribuite e che, se presenti su una campata, la interessino per tutta la sua luce.

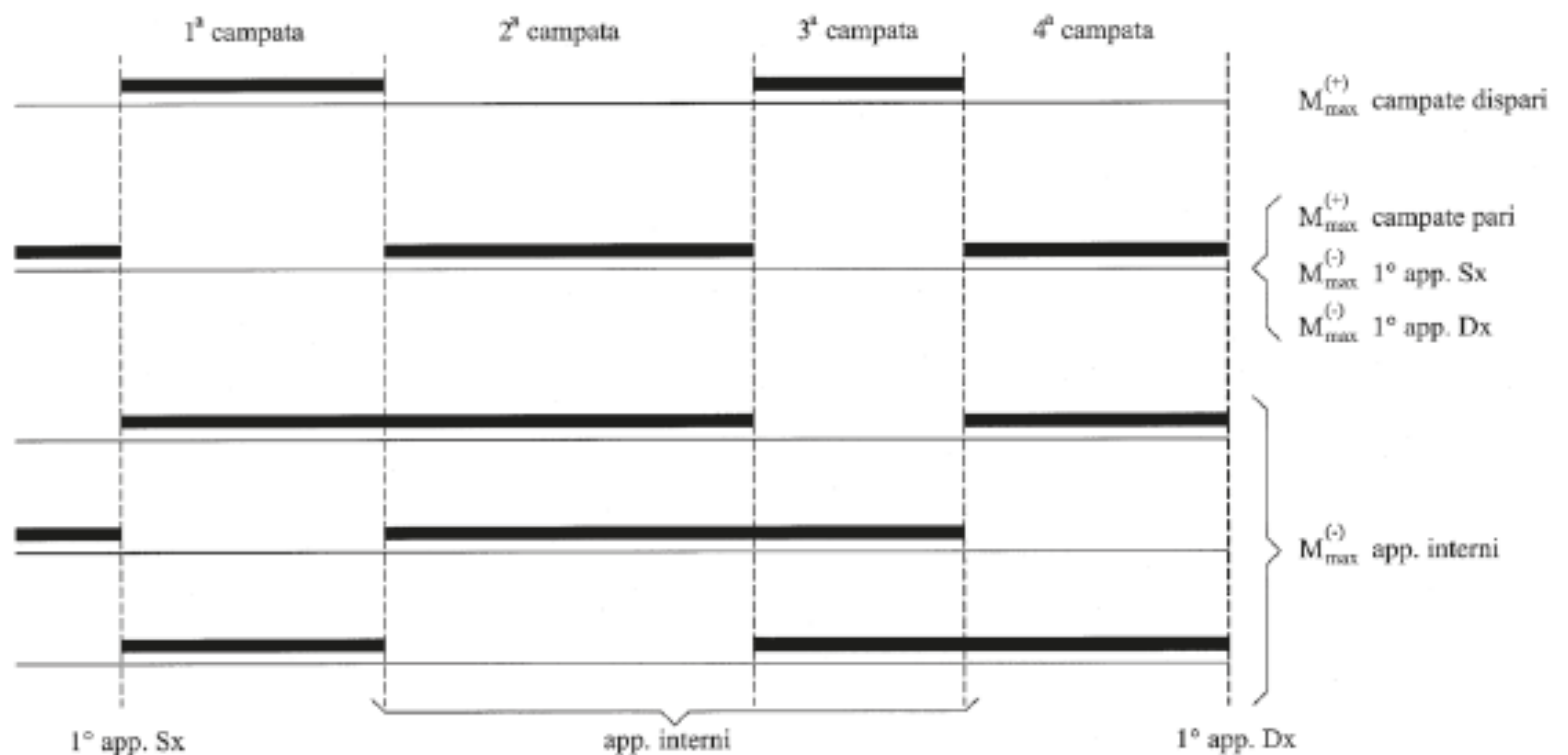
Per ciascuna campata, si punta a valutare i massimi momenti positivi (di campata), i massimi negativi (sugli appoggi) ed i massimi tagli (agli appoggi).



Sollecitazioni flessionali prodotte dalle stese di azioni variabili sulle singole campate (diagrammi estratti da uno schema a telaio).

MODELLI PARZIALI PER IL CALCOLO DEI SOLAI

- Per ottenere il **massimo momento positivo** in una generica campata, occorre considerare le azioni variabili agenti sulla campata in esame e, alternativamente, su quelle ad essa adiacenti;
- Per ottenere il **massimo momento negativo** su un generico appoggio, occorre disporre le azioni variabili su entrambe le campate adiacenti all'appoggio considerato e alternativamente sulle altre.

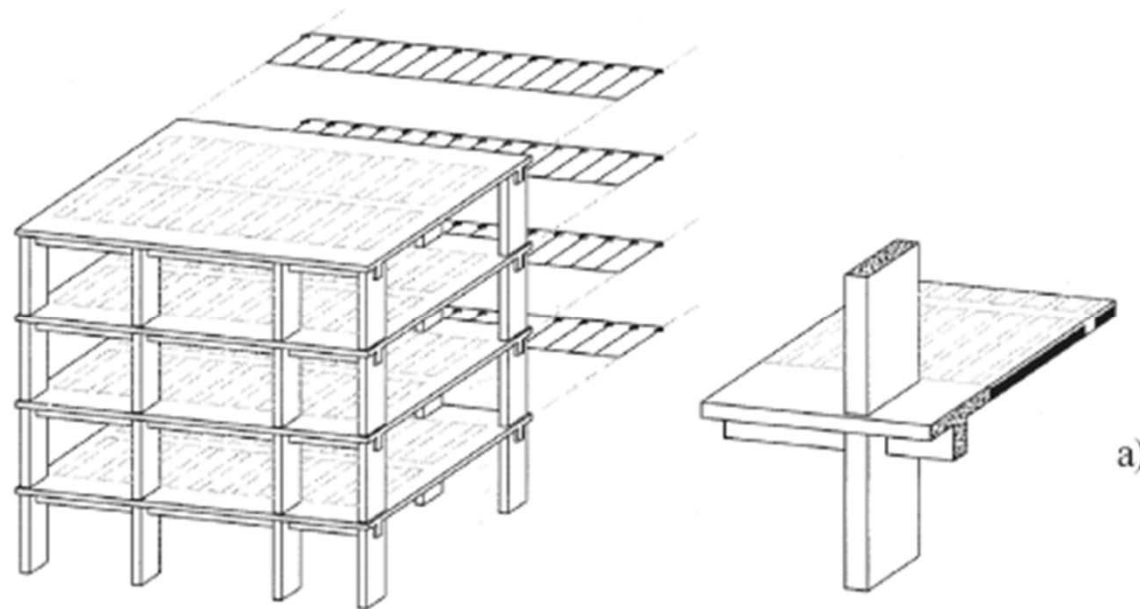


Schemi di carico accidentale da analizzare per ottenere le massime sollecitazioni nelle sezioni caratteristiche del solaio.

MODELLI PARZIALI PER IL CALCOLO DEI TELAI

Anche per l'individuazione di appropriati submodelli di calcolo che consentano di prevedere un attendibile stato di sollecitazione per gli elementi che costituiscono il cosiddetto «scheletro» di un fabbricato in c.a. a struttura intelaiata (travi e pilastri), riveste un ruolo fondamentale il tipo di azione esterna relativamente alla quale si intende analizzarne la risposta.

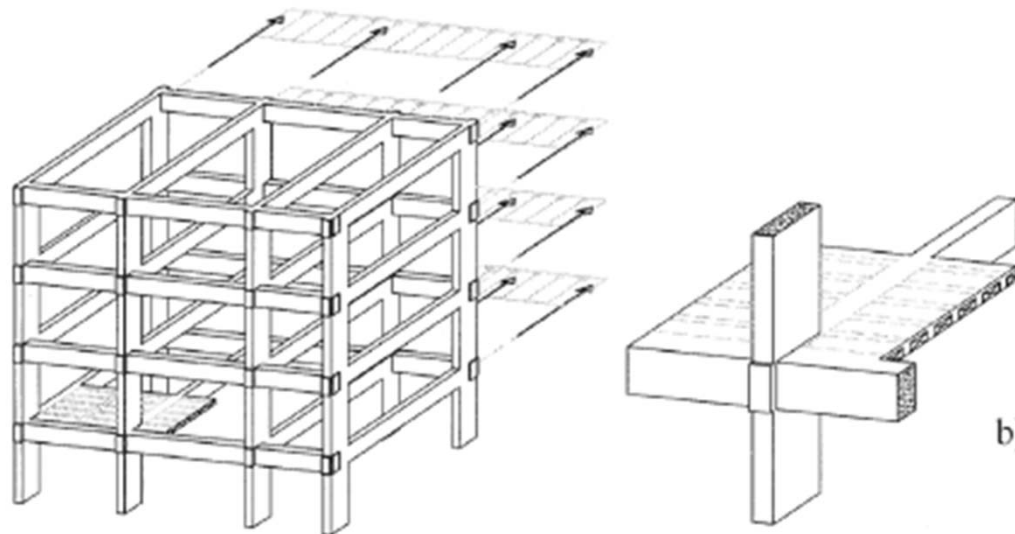
In presenza di azioni orizzontali è irrinunciabile il ricorso a modelli spaziali che possono o meno coinvolgere l'impegno estensionale e/o flessionale dei solai.



Edificio intelaiato multipiano privo di telai di controvento

MODELLI PARZIALI PER IL CALCOLO DEI TELAI

In presenza di telai di controvento, la cui adozione è per altro sempre consigliabile e sotto azioni orizzontali parallele alla direzione di tessitura dei solai, la collaborazione flessionale di questi ultimi può generalmente essere trascurata.



Edificio intelaiato multipiano con di telai di controvento

MODELLI PARZIALI PER IL CALCOLO DEI TELAI

Oltre alle azioni verticali, travi e pilastri devono comunque far fronte alle sollecitazioni dovute ai carichi verticali (permanenti e variabili).

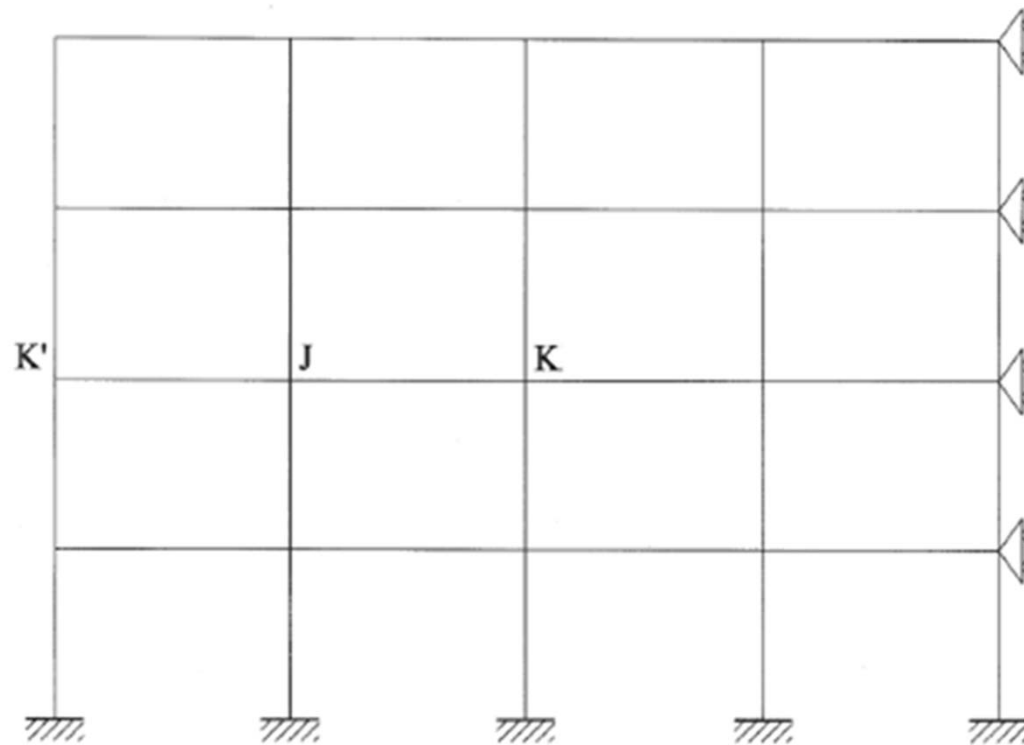
Per la valutazione della risposta a questo tipo di azioni, si preferisce, quando è possibile, fare ricorso a modelli molto semplificati che tendono a disgregare il modello spaziale in una serie di submodelli piani (telai) per i quali viene di norma trascurata la collaborazione con i solai. In altri termini il telaio viene considerato a sé stante e sottoposto, in corrispondenza di ciascuna travata, ai soli carichi verticali trasmessi dai solai, trascurando ogni altra azione di natura diversa che il solaio in realtà trasmette ad ogni trave del telaio.

Anche per i telai, così come per i solai, dopo aver individuato un accettabile modello semplificato, occorre definirne i vincoli esterni.

Nel caso degli edifici multipiano, salvo situazioni particolari, si è soliti ipotizzare i vincoli in fondazione «a livello» e tali da impedire rotazioni di qualsiasi tipo alle sezioni dei pilastri che vi si attestano.

Il fine ultimo è sempre quello di determinare le massime sollecitazioni cui ciascun elemento «trave» o «pilastro» può risultare sottoposto; ne discende la necessità di individuare diverse distribuzioni di carico accidentale, in grado di rendere, di volta in volta, massime le sollecitazioni relative all'elemento considerato.

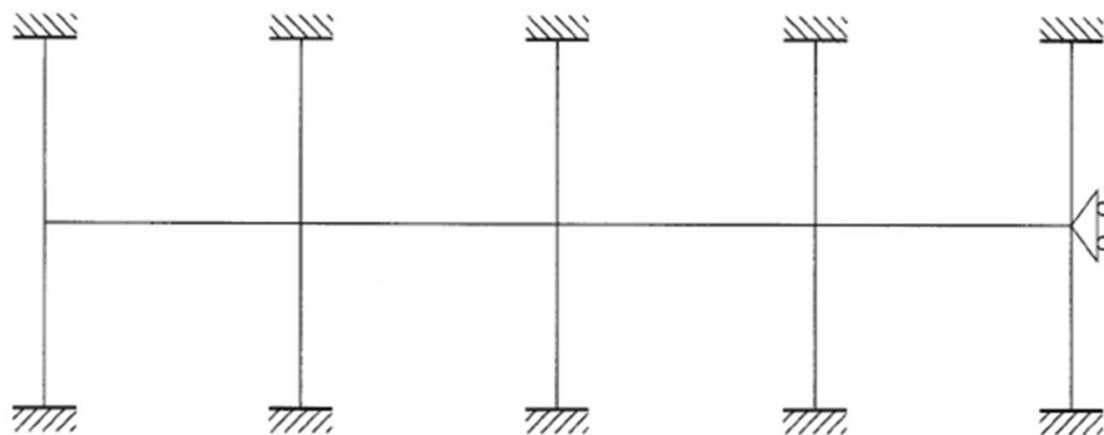
MODELLI PARZIALI PER IL CALCOLO DEI TELAI



Possibile modello di calcolo per valutare gli effetti dei soli carichi verticali su un telaio estratto da un edificio multipiano a debole snellezza.

MODELLI PARZIALI PER IL CALCOLO DEI TELAI

Per strutture multipiano abbastanza regolari e con sovraccarichi non molto difforni da piano a piano, gli effetti dovuti ai carichi applicati alle travate superiori ed inferiori a quella in esame, sono trascurabili, per cui con errori generalmente molto contenuti, in fase di predimensionamento, risulta conveniente sostituire all'analisi dell'intero telaio, più analisi parziali relative alle sole travi dello stesso impalcato, utilizzando modelli ridotti del tipo di quello in figura.



Modello ridotto per travata di telaio.

MODELLI PARZIALI PER IL CALCOLO DEI TELAI - PILASTRI

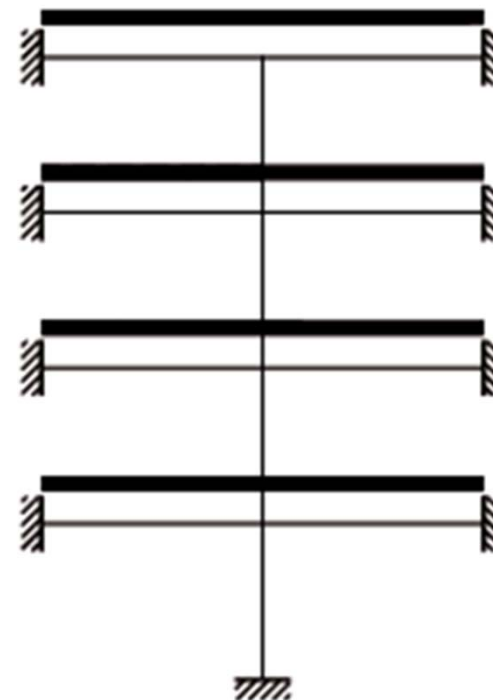
La determinazione delle condizioni di carico più gravose per i pilastri è più complessa di quella delle travi, perché mentre le travi sono elementi prevalentemente inflessi nel loro piano, i pilastri sono elementi generalmente soggetti a presso-flessione anche deviata.

Non è detto dunque che la condizione di carico più gravosa sia quella che induce in una determinata sezione, il massimo sforzo assiale o il massimo momento flettente.

Poiché il numero di combinazioni possibili di carico cresce rapidamente con il numero di aste considerate nel modello, per il predimensionamento è più che mai utile ricorrere a modelli semplificati.

Nella ipotesi di telai «regolari» ed in assenza di azioni orizzontali, spesso si ricorre a modelli che coinvolgono esclusivamente le travi direttamente collegate al pilastro in esame.

In casi in cui i pilastri sono soggetti ad azioni fuori dal piano è indispensabile considerare il modello tridimensionale.



Modello ridotto ricorrente per il calcolo di pilastri interni appartenenti a telai regolari.

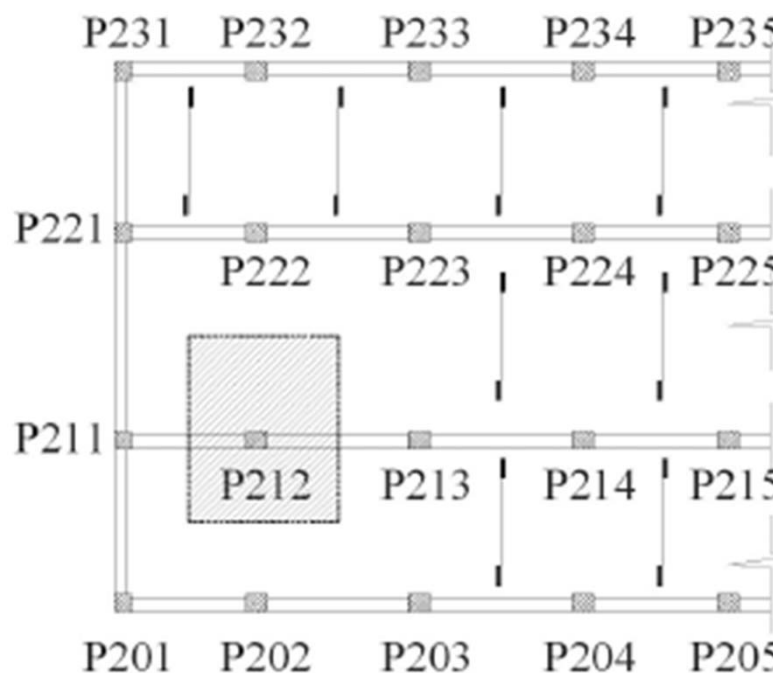
MODELLI PARZIALI PER IL CALCOLO DEI TELAI - PILASTRI

In tutte quelle situazioni in cui è possibile ritenere poco influenti gli effetti flessionali sui pilastri si può, in prima approssimazione, utilizzare il cosiddetto «**metodo delle zone di influenza**» che consiste nell'individuare, per ciascun pilastro, un'area di pertinenza relativa a ciascun piano, equivalente ad un rettangolo le cui dimensioni sono pari alla metà della distanza fra i pilastri adiacenti al pilastro in esame in due direzioni ortogonali.

Alcuni autori suggeriscono l'applicazione di coefficienti correttivi alle aree di influenza per tener conto di una più realistica distribuzione dei carichi verticali fra solai e travi e fra travi e pilastri.

Valori usualmente adottati per tali coefficienti sono:

- 0,8 per i pilastri d'angolo;
- 0,9 per i pilastri di bordo di telai interni;
- 1,1 per il primo pilastro dopo quello di bordo.



Definizione di area di influenza per un generico pilastro interno.