

Ulteriori considerazioni sui vincoli di un solaio

Dopo aver affrontato, nella precedente Gazzetta, lo studio teorico degli schemi statici dei solai, con questa nota si vuole approfondire lo specifico argomento riportando alcune esemplificazioni con riferimento al telaio piano.

Qualitativamente, è possibile valutare subito quali siano le conseguenze della diversa "cedevolezza" dei vincoli di estremità dei solai, intendendo con questo termine sia la deformabilità alla flessione che quella alla rotazione. Se, a parità di altre condizioni, le due travi opposte, portanti il solaio, hanno la stessa rigidezza torsionale, l'andamento del diagramma del momento flettente lungo tutto l'asse delle generiche nervature, al variare della posizione della stessa lungo la trave, sarà quello dell'ipotesi di incastro cedevole con variazione graduale di efficienza. Si avranno, infatti, una traslazione (verso l'alto o verso il basso) della linea fondamentale di riferimento del diagramma e la relativa variazione (aumento o diminuzione) dei momenti positivi e negativi e, quindi, del grado di vincolo (fig. 1).

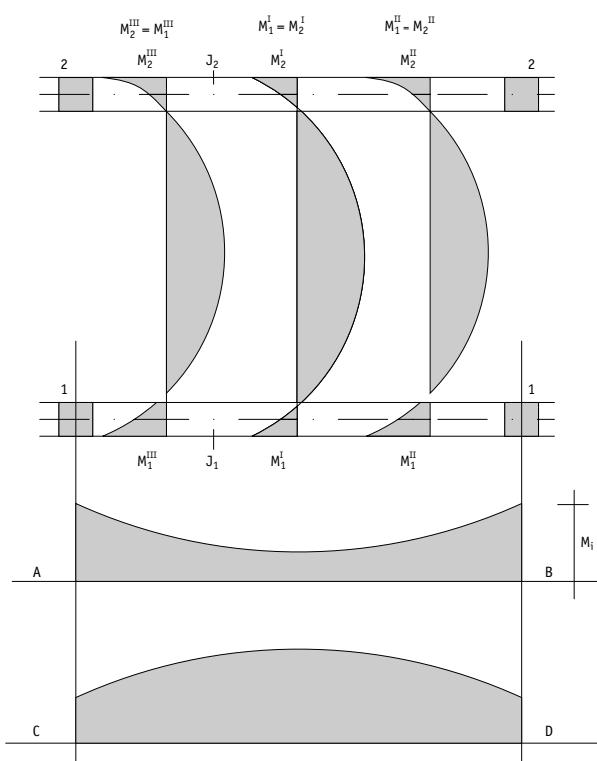


Figura 1 – Variazione del diagramma del momento flettente al variare della posizione della nervatura del solaio rispetto alle due travi su cui poggia.

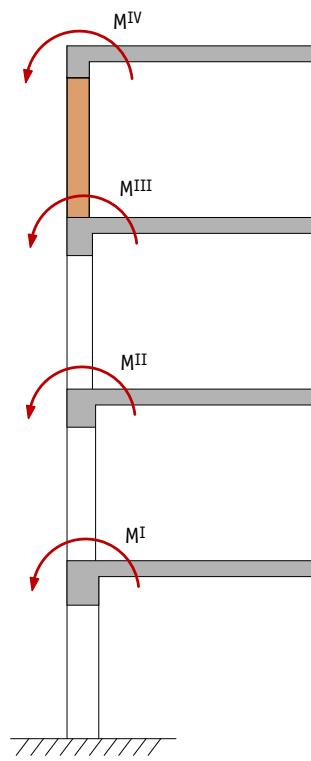


Figura 2 – Solai su strutture in muratura portante: il grado di incastro del solaio aumenta passando dai piani alti ai piani più bassi

Se la rigidezza torsionale delle travi è diversa, allora la trave più rigida conferirà un momento negativo maggiore all'appoggio del solaio, rispetto a quello delle travi meno rigide, a causa del maggior grado di incastro che è capace di fornire. Se, oltre alla stessa rigidezza torsionale, le travi portanti avessero anche la stessa rigidezza flessionale nel loro piano verticale, i cedimenti verticali non avrebbero nessuna influenza nella modalità di distribuzione dei



1

Ulteriori considerazioni sui vincoli di un solaio

2



momenti lungo le generiche nervature (rispetto al caso precedente), in virtù delle rotazioni delle travi stesse.

Se i cedimenti verticali fossero, però, differenziati, allora l'appoggio che si trovasse più in basso causerebbe una diminuzione del momento negativo sulla estremità del solaio, fino anche ad annullarlo ed a cambiare di segno, mentre l'appoggio che venisse a trovarsi più in alto presenterebbe un ulteriore incremento di tale momento. La presenza di rotazioni, poi, aggiungerebbe ulteriori effetti a quelli già individuati.

In caso di struttura portante in muratura, il grado di incastro del solaio aumenta passando dai piani più alti ai piani più bassi. Ciò a causa dell'effetto stabilizzante del peso strutturale sempre maggiore (fig. 2). In tale circostanza, si possono anche ipotizzare cedimenti nulli se si trascura la deformabilità dei materiali.

Altra situazione, che influisce nella determinazione del grado di vincolo delle estremità di un solaio, è la deformabilità flessionale dei piedritti (pilastri o muri). Essa dipende dall'altezza degli stessi e dall'inerzia della loro sezione. I maggiori effetti di cedevolezza (e quindi di riduzione del grado di incastro) si hanno normalmente nei casi di campata unica e, soprattutto, per telai a un solo piano (portali) dove, a causa della flessione dei pilastri, pur in presenza di una grande efficienza del nodo, si possono avere condizioni di momento di campata anche prossime a quelle dello schema di trave semplicemente appoggiata (fig. 3).

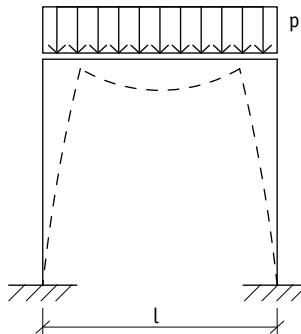


Figura 3 – Schema a portale: deformazione dei pilastri.

Molto spesso, la realizzazione costruttiva del solaio prevede la disposizione di più campate, organizzate in serie, così che la sezione terminale di una sia seguita, in corrispondenza della trave portante, dalla sezione iniziale della successiva, e che tali sezioni siano intimamente collegate tra di loro e alla trave stessa (fig. 4.a). Trascurando ogni deformabilità dei piedritti, il grado di vincolo alla estremità di ogni campata è determinato dal comportamento flessionale e torsionale delle travi, dalle caratteristiche geometriche dei solai di ogni campata e dalle condizioni di carico (quindi dalla deformazione) delle due campate adiacenti e, in minore misura, da quelle più distanti. Per le testate estreme opposte, poi, valgono le considerazioni fatte innanzi per i solai ad una sola campata. Si possono considerare, in questi casi, gli schemi statici rappresentati nelle figure 4.b. e 4.c.

Tutte le considerazioni fin qui fatte portano alla individuazione degli schemi statici ideali da adoperare per la valutazione delle caratteristiche della sollecitazione. Sono possibili due tipi di "schema statico":

- schema a telaio parziale
- schema a trave continua.

I moderni sistemi di analisi (anche tridimensionali) consentono, fatte le opportune

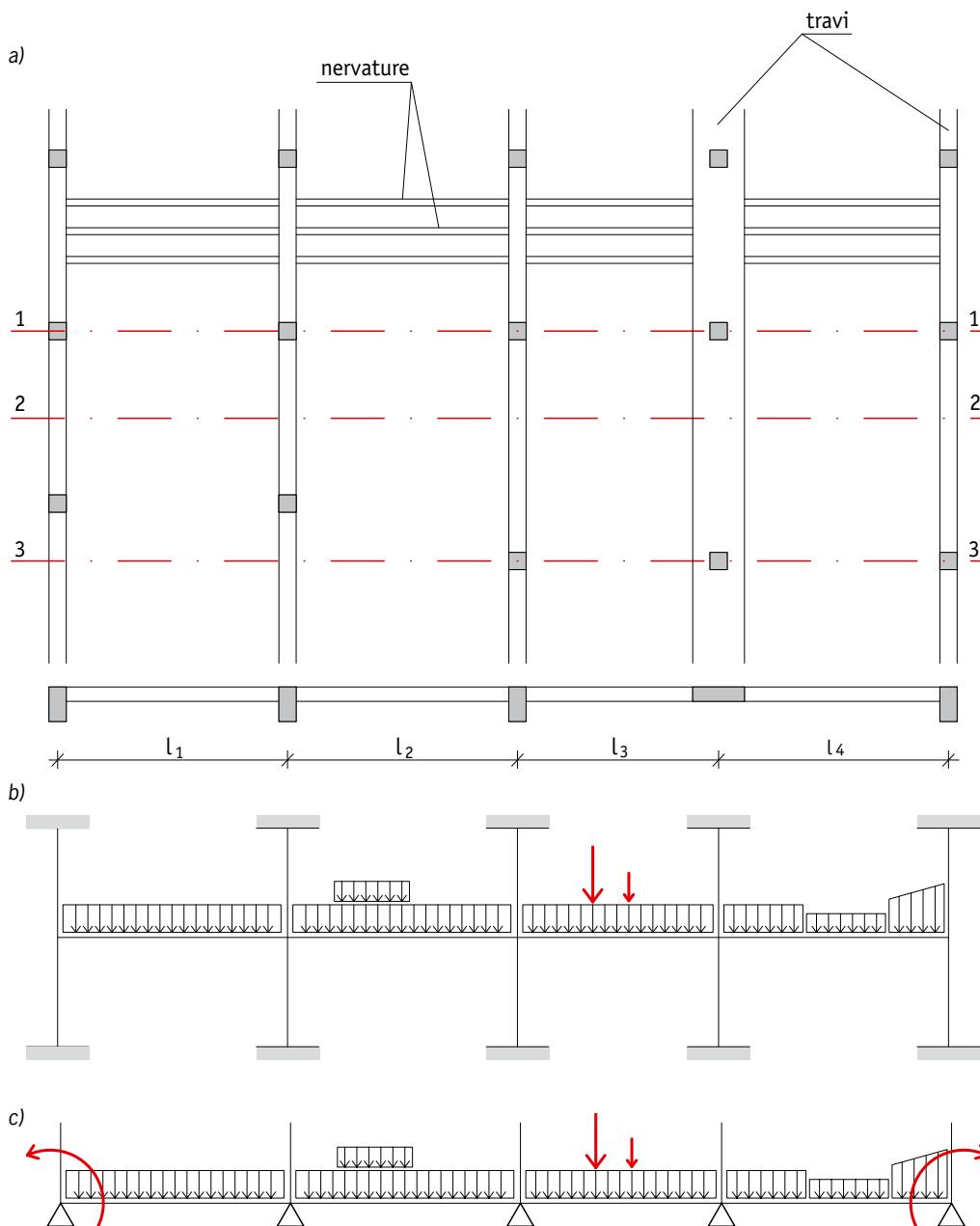


Figura 4 – Solaio in continuità su più campate (a); schema statico a telaio parziale (b); schema statico a trave continua (c).

schematizzazioni, di effettuare valutazioni ancora più spinte su telai “spaziali”. E' opportuno, però, al fine di una migliore comprensione delle problematiche di un solaio, richiamare i metodi tradizionali.

Lo schema a telaio parziale considera il solaio come traverso e la serie di pilastri, superiori ed inferiori, come ritti. Le estremità opposte dei pilastri sono considerate vincolate con incastro perfetto (fig. 4.b.). Tale schema fornisce valori attendibili per la sezione individuata in corrispondenza dell'allineamento dei pilastri (sez. 1-1 della fig. 4.a.). Traslando la sezione verso la mezzeria delle campate, esso non è più valido in quanto le travi tendono a inflettersi e a ruotare e viene gradualmente a diminuire, nell'equilibrio del nodo, il contributo dei pilastri (sez. 2-2 della fig. 4.a.). In tal caso, si dovranno apportare delle correzioni maggiorando i valori dei momenti di campata. Ulteriori incertezze si presentano per quelle sezioni di solaio dove non è più valido l'allineamento dei pilastri (sez. 3-3 della fig. 4.a.).

Per le strutture a muratura portante, lo schema richiederebbe molta cautela, data la scarsa resistenza a flessione delle muratura stessa, e potrebbe essere valido solo ai piani più bassi.



Il vantaggio di questo schema sarebbe, comunque, quello di avere la possibilità di valutare, con una certa approssimazione, il momento di incastro alle due testate opposte delle campate di estremità e di tenere in conto dell'effetto stabilizzante per la rotazione dei nodi intermedi, con buoni vantaggi per i momenti di campata.

Lo schema a trave continua considera sempre il solaio come elemento trave (anche a inerzia variabile), con appoggi intermedi "a cerniera" e vincoli estremi a "incastro parziale". Con tale schema viene a mancare il contributo alla rigidezza torsionale offerto dalla trave o dal nodo solaio-pilastri che, invece, era presente in quello a "telaio parziale". In questo caso, la valutazione del momento di incastro delle due testate opposte delle campate di estremità deve essere fatta caso per caso e affidata alla sensibilità del progettista. Valori pratici sono stati dati da vari autori a seconda delle circostanze. Il "Santarella", riferendosi ad un carico uniformemente distribuito "p", propone le seguenti schematizzazioni:

- solai ad una sola campata, portati da muri, agli ultimi piani:
 - $1/24 \text{ pl}^2$ per gli appoggi
 - $+ 1/8 \text{ pl}^2$ per la mezzeria
- solai ad una sola campata, portati da muri, ai piani intermedi, purché il solaio entri tutto nello spessore del muro perimetrale e sia gravato dal peso dei muri sovrastanti:
 - $1/18 \text{ pl}^2$ per gli appoggi
 - $+ 1/10 \text{ pl}^2$ per la mezzeria
- solai ad una sola campata, portati da travi rigide in cemento armato:
 - $1/12 \text{ pl}^2$ per gli appoggi
 - $+ 1/12 \text{ pl}^2$ per la mezzeria.

Nel caso di solaio a più campate continue, è opportuno risolvere lo schema classico di "trave continua" con le dovute approssimazioni per i vincoli di estremità.

Normalmente, a tale proposito, si eseguono due valutazioni:

- la prima, assumendo momenti di estremità con valori molto bassi ($M = 1/24 \text{ pl}^2$);
- la seconda, assumendo, sempre per gli stessi, valori più vicini a quelli dell'incastro perfetto. Si utilizzeranno, poi, i valori inviluppo sia per i due schemi che per le varie combinazioni di carico. Alcuni criteri semplificativi di progetto (in uso nel passato) prevedono, in assenza di analisi più rigorose, che i momenti flettenti, per i solai continui soggetti prevalentemente a carichi uniformemente distribuiti, per civile abitazione e con luci di calcolo che non differiscano tra loro per più del 20%, possano assumersi come segue:

momenti positivi

- campata di estremità non incastrata: $+ 1/11 \text{ pl}^2$
- campata di estremità incastrata all'appoggio: $+ 1/14 \text{ pl}^2$
- campata intermedia: $+ 1/16 \text{ pl}^2$

momenti negativi

- per il primo appoggio interno di due campate: $- 1/9 \text{ pl}^2$
- per il primo appoggio interno di più campate: $- 1/10 \text{ pl}^2$
- per gli altri appoggi interni: $- 1/11 \text{ pl}^2$
- per gli appoggi esterni secondo la rigidezza del nodo: da $- 1/24 \text{ pl}^2$ a $- 1/16 \text{ pl}^2$.

Questo anche quando l'intera campata sia soggetta a momento negativo, di cui,

però, va sempre tenuto conto prevedendo un'adeguata armatura all'estradosso del solaio. Nella pratica, diverse ditte produttrici di elementi prefabbricati per solai in latero-cemento, al fine di garantire la sicurezza nel maggior numero di ipotesi possibile, operano spesso nel seguente modo per le valutazioni dei momenti, sia sugli appoggi che in campata:

- per il dimensionamento degli appoggi estremi, per solai a una o più campate, assumono valori da $1/18 \text{ pl}^2$ a $1/12 \text{ pl}^2$ riferiti alla luce adiacente, a seconda delle condizioni strutturali;
- per il dimensionamento degli appoggi intermedi, per solai a più campate, considerano dei momenti sugli appoggi estremi da 0 a $1/24 \text{ pl}^2$ (in base al tipo di struttura) e determinano i momenti sugli appoggi intermedi risolvendo lo schema statico individuato con le varie ipotesi di disposizione dei carichi;
- per il dimensionamento dei momenti in campata, considerano gli inviluppi delle due situazioni sopra riportate e delle varie condizioni di carico.

I risultati di tali calcolazioni, però, vanno valutati con le dovute precauzioni in quanto la realtà di cantiere è spesso molto diversa. Normalmente, le ditte produttrici rispettano dei limiti per i valori di campata che sono prudenziali e tengono conto di queste incertezze legate alla realtà esecutiva:

- per solai ad una campata, assumendo come limiti:
 - $1/10 \text{ pl}^2$ per strutture normali in c.a. o per piani bassi di muratura multipiano
 - $1/8 \text{ pl}^2$ per “portali” o piani alti di muratura;
- per solai a più campate, considerando come limiti:
 - $1/14 \text{ pl}^2$ per le campate estreme
 - $1/16 \text{ pl}^2$ per le campate intermedie.

Maggiori restrizioni vengono applicate per luci maggiori di 7,00 m. E' logico, infine, concludere che solo chi ha studiato a fondo la struttura portante (ossia il progettista delle strutture dell'edificio) può avere le cognizioni necessarie e sufficienti per determinare in base a quali condizioni di vincolo al contorno si debba progettare il solaio. Se si prevedono solai semi-prefabbricati, tali informazioni dovranno essere fornite alla ditta produttrice, accanto a disegni ben dettagliati delle carpenterie e a dati ben precisi circa le caratteristiche dei materiali che saranno usati. Ciò per poter permettere a quest'ultima di fare una precisa valutazione, nel rispetto del grado di sicurezza prescritto, relativamente alle caratteristiche geometriche e prestazionali degli elementi componenti da fornire.

In mancanza di queste indicazioni, si rende, ovviamente, necessario prevedere delle condizioni di vincolo che portino comunque a favorire la stabilità strutturale del solaio.