

Estratto dagli atti del 16° Congresso C.T.E.
Parma, 9-10-11 novembre 2006

LE SOLLECITAZIONI INDOTTE DAGLI ELEMENTI DIVISORI INTERNI

LUISA PANI, Università di Cagliari
ANTONIO NURCHI, Funzionario VV.F.
ZAIRA ODONI, Università di Cagliari

SUMMARY

The usual brick partitions of 10 cm, according to the common design could be treated by an equivalent uniformly distributed load, equal to 1,5 times the self-weight of partitions, since they have a self-weight heavier than the limit value fixed in standard. Their exact location on the floor must be taken into account in the design. But it is known that it is normal to change their position during the life of the building.

In the code no indications are offered on the structural form of the floors and on the reacting sections in the usual single direction floors of concrete - brick reinforced with associating slab.

In this paper a wide range of types and locations of partitions have been taken into account, varying the static system and considering or not the lateral distribution of loads on the floor and the possibility of an equivalent uniformly distributed load instead of the partitions. This is done with the main object of showing differences in shear, moment and deformation of the structural floor.

1. INTRODUZIONE

Il recente documento normativo "Norme Tecniche per le costruzioni" D.M. 14.09.2005 [01], ha l'obiettivo di accorpate, rivedere ed aggiornare in un unico manuale tutte le normative tecniche finora sparse in diversi decreti ministeriali.

Il documento, improntato al più moderno indirizzo di normazione prestazionale piuttosto che prescrittiva, ha l'obiettivo di garantire la sicurezza, la stabilità e la funzionalità degli edifici, lasciando libertà di scelta per l'impiego dei diversi modelli di calcolo. Con queste premesse appare in controtendenza una piccola clausola contenuta nella progettazione degli orizzontamenti in relazione al peso proprio degli elementi divisori mobili interni. Il carico trasmesso da detti elementi può essere o meno ragguagliato ad un carico uniformemente distribuito, in funzione del peso dell'elemento divisore e non della sua densità distributiva.

I comuni tramezzi in laterizio da 10 cm secondo la consolidata prassi progettuale, ed in accordo con la normativa del 1996 [02], potevano essere ragguagliati ad un carico equivalente uniformemente ripartito, ottenuto valutando il loro peso effettivo incrementato di 1,5 volte e diviso per la superficie dell'impalcato. Per il nuovo decreto, invece, devono essere considerati in base al loro esatto posizionamento sull'impalcato, poiché hanno un peso a metro lineare superiore al limite prescritto in norma. Tuttavia è ben noto che è usanza comune modificare la disposizione dei tramezzi durante la vita dell'edificio.

In norma nessuna indicazione è data sullo schema statico da adottare e sulle sezioni reagenti nel caso dei comuni solai unidirezionali in latero - cemento armati con soletta collaborante.

Nel presente lavoro è stata considerata un'ampia casistica di tipo e disposizione di tramezzature al variare dello schema statico. Si è tenuto conto o trascurato la ripartizione trasversale dei carichi fra i travetti e la possibilità di ragguagliare il loro peso ad un carico equivalente uniformemente distribuito al fine di mostrare le differenze, in termini di sollecitazione e di deformazioni indotte nel solaio.

2. CONSIDERAZIONI GENERALI

Il D.M. 2005 indica, in luogo della comune parola "tramezzo", il termine "elemento

divisore mobile interno" senza darne una specifica definizione. Per questo motivo, si è reso necessario fare riferimento all'indicazione contenuta nell'EC1 [04] al punto 1.4.7 "Movable partitions: movable partitions are those which can be moved on the floor, e added or removed or re-built at another place"¹. Si è preso quindi atto che i due termini "tramezzo" ed "elemento divisore mobile interno" sono assolutamente equivalenti.

NOTA

¹ "Elementi divisori mobili: gli elementi divisori mobili sono quelli che possono essere spostati sull'impalcato, essere aggiunti o rimossi o ricostruiti in un altro posto".

2.1 Gli elementi divisori interni

Sono stati considerati quattro tipi di tramezzi, distinti sia per il loro peso per unità di lunghezza, cui corrispondono diversi valori del carico ripartito equivalente sull'impalcato secondo le indicazioni del D.M. 2005. I relativi valori sono riportati nella Tabella 1. Dalla Tabella si rileva che non è più consentito equiparare l'effetto prodotto dai tramezzi tipo 1 ad un carico uniformemente ripartito, mentre per quelli di peso minore o uguale al tipo 2, 3 e 4 è lecito considerare un carico distribuito equivalente, indicato per ciascuna tipologia in Tabella. I valori del carico ripartito equivalente proposti dalla norma non considerano però l'effettiva densità distributiva dei tramezzi sull'impalcato.

Tipologia Tramezzo	Peso a metro lineare (kN/m)	Carico equivalente ripartito (D.M. 05) (kN/m ²)
Tipo 1	3,84 ²	non previsto
Tipo 2	≤ 3,00	1,2
Tipo 3	≤ 2,00	0,8
Tipo 4	≤ 1,00	0,5

Tabella 1. Tipologia dei tramezzi

2.2 Distribuzione dei carichi

La posizione in pianta dei tramezzi prevista nell'analisi è riepilogata nella Tabella 2.

Carico	Descrizione
C1	Tramezzo disposto nella mezzeria dell'impalcato, nella direzione dei travetti, ed agisce sulla soletta fra due travetti contigui
C2	Tramezzo disposto nella mezzeria dell'impalcato, nella direzione dei travetti, ed agisce sulla soletta in corrispondenza del travetto
C3	Tramezzo disposto nella mezzeria dell'impalcato, in direzione ortogonale all'orditura dei travetti
C4	Carico uniformemente distribuito
C5	Tramezzo disposto in direzione ortogonale all'orditura dei travetti, ad 1/4 della loro luce
C6	Tramezzo disposto in direzione ortogonale all'orditura dei travetti, a 3/4 della loro luce
C7	Due tramezzi disposti come in C2 e C3
C8	Quattro tramezzi disposti come in C2, C3, C5 e C6

TABELLA 2. Disposizione dei carichi

NOTE

² Si tratta di una muratura in mattoni forati da 8 cm con intonaco sulle superfici pari ad 1 cm, alta 3 m. Il peso specifico della muratura di mattoni e della malta cementizia per l'intonaco valgono rispettivamente 11 kN/m³ e 20 kN/m³.

³ Nel caso di solaio a tre campate le disposizioni dei carichi vengono ripetute uguali in tutte le campate.

2.3 Schema statico

Per le elaborazioni numeriche sono stati considerati due schemi di solaio:

- Schema 1 ad una campata; esso poggia all'estremità su due telai semplici incastrati alla base ed è dotato di cordoli laterali;
- Schema 2 continuo su tre campate; esso poggia su quattro telai semplici incastrati alla base ed è dotato di cordoli di estremità.

Il calcolo è stato eseguito con analisi FEM lineare secondo due modelli:

- Il Modello A considera la collaborazione trasversale fra i travetti, gli effettivi vincoli generati dalle travi dei telai e dai cordoli di collegamento;
- Il Modello B considera il comportamento del singolo travetto; pertanto per lo schema 1 si tratta di trave su due appoggi, per lo schema 2 di trave continua su quattro appoggi.

A titolo di esempio sono stati considerati solai unidirezionali con campate di luce 4 m e dimensione trasversale 5 m. I tramezzi hanno interasse 50 cm ed altezza totale 20 cm (16 + 4 cm di soletta di completamento)

3. ANALISI NUMERICA CONDOTTA

Tre sono i campi indagati:

- a) L'influenza dello schema statico e della collaborazione trasversale dei travetti al variare della disposizione dei tramezzi, nella stima delle sollecitazioni;
- b) L'eventuale inadeguatezza della consolidata prassi di considerare un carico equivalente in luogo dei tramezzi "Tipo 1" effettivamente disposti;
- c) L'influenza della densità distributiva dei tramezzi, per i tre tipi previsti dal D.M. 2005, nella valutazione dello stato di sollecitazione e di deformazione.

Nell'analisi numerica condotta sono stati valutati:

- 1) Le differenze, in termini di sollecitazione e di deformazione, fra il modello A ed il modello B, sia nello schema di solaio 1 che in quello 2, per tutti i carichi riportati in Tabella 2;
- 2) Le differenze fra le sollecitazioni indotte dai comuni tramezzi effettivamente disposti ed il carico equivalente secondo le indicazioni riportate nel D.M. 96, considerando la collaborazione trasversale dei travetti (Modello A) od escludendola (Modello B);
- 3) Lo stato di sollecitazione e di deformazione al variare della densità distributiva dei tramezzi, al variare della loro tipologia.

3.1 Modello A e Modello B, Schema 1 e Schema 2

Per analizzare le differenze fra i risultati ottenuti considerando o meno la collaborazione trasversale fra i travetti, si rende necessario distinguere fra i due schemi di solaio considerati a titolo di esempio nel presente lavoro: il solaio ad una campata (Schema 1) ed il solaio a tre campate (Schema 2).

3.1.1 Solaio ad una campata – Schema 1

Nei diagrammi di Fig. 1, relativi alla freccia, al momento flettente ed al taglio massimi, si osservano differenze rilevanti se si adotta il modello B in luogo dell'A per le condizioni di carico C7 e C8, nel caso di carico uniformemente distribuito (nella figura simbolo) invece i valori della freccia, del momento e del taglio tendono a coincidere.

Nel caso di almeno un tramezzo disposto secondo l'orditura dei travetti (C1, C2, C7 e C8) ed eventualmente altri disposti ortogonalmente, i valori della freccia e del momento

flettente possono essere sopravvalutati anche del 200% se si impiega il modello B in luogo di A, mentre per il taglio si rilevano differenze inferiori, al massimo di $\pm 70\%$ (Fig. 2). In generale il modello B, rispetto a quello A, tende a sopravvalutare tutte tre le grandezze considerate, anche se in presenza di un tramezzo posto nella mezziera dell'impalcato in direzione ortogonale all'orditura dei travetti (C3) il momento flettente risulta sottostimato del 50% ed il taglio in presenza di tramezzi non centrati nell'impalcato, disposti ortogonalmente all'orditura dei travetti (C5 e C6) è sottostimato di circa il 70% (Fig. 2).

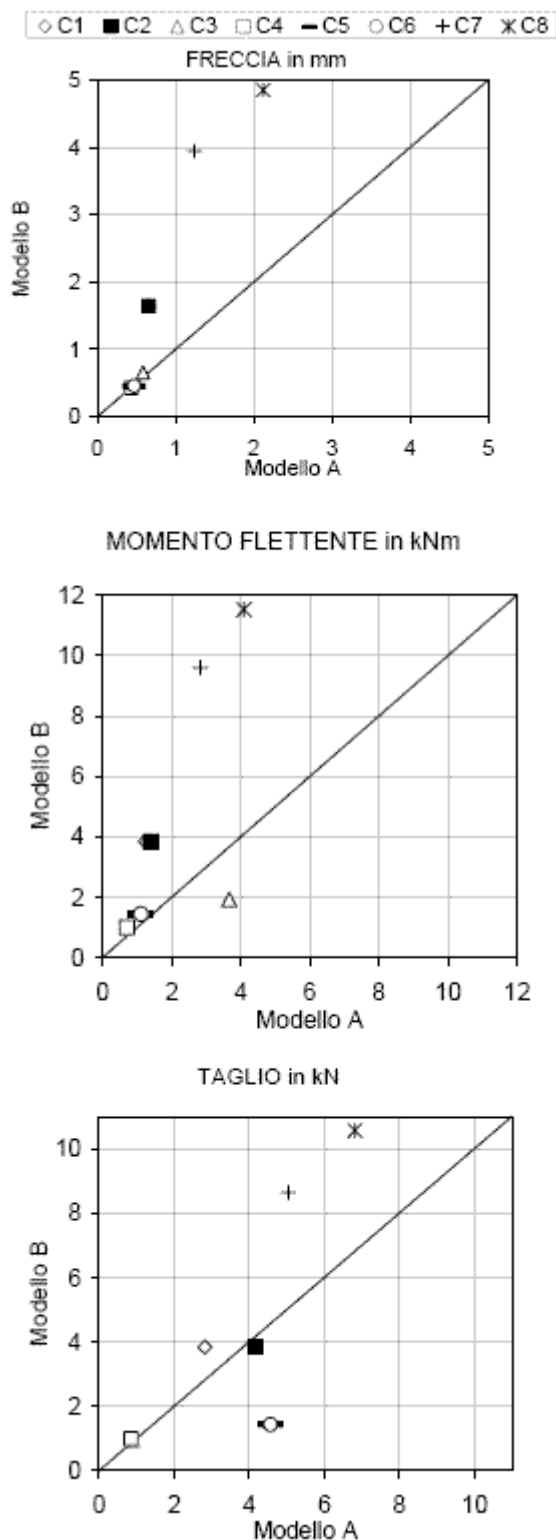


Figura 1. Valori della freccia, del momento flettente massimo e del taglio valutati con il modello A e B, per lo schema di solaio ad una campata.

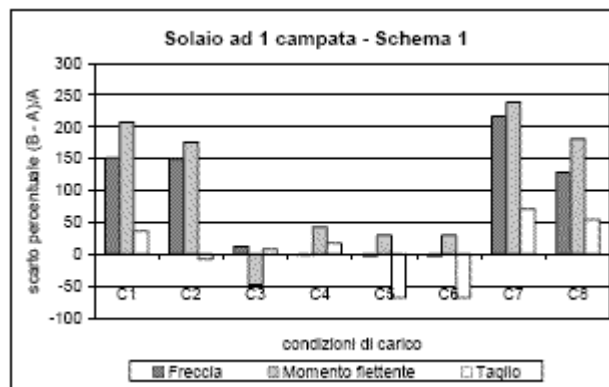


Figura 2. Scarto percentuale fra i valori della freccia, del momento flettente e del taglio considerando reagente il singolo travetto rispetto a quelli ottenuti considerando la collaborazione trasversale.

3.1.2 Solaio a tre campate – Schema 2

Come si osserva dalla Fig. 3, relativa alla freccia ed al momento massimo nella campata laterale ed al taglio negli appoggi intermedi, si ottengono delle stime molto differenti al variare della condizione di carico se si adotta il Modello B in luogo di quello A. In generale si sovrastima.

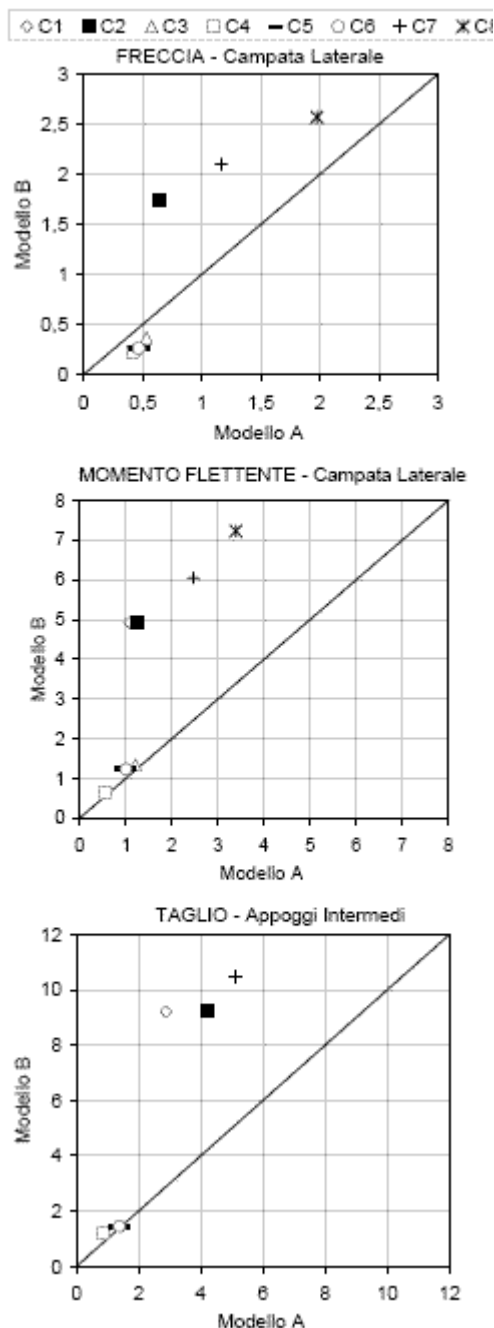


Figura 3. Valori della freccia (in mm) e del momento flettente massimo (in kNm) per la campata laterale, del taglio (in kN), negli appoggi intermedi, valutati con il modello A e B, per lo schema di solaio a tre campate.

Le condizioni di massimo momento e freccia per la campata centrale sono invece generalmente sottostimate se si considera il Modello B in luogo di quello A, come si rileva dai diagrammi di Fig. 4.

Più precisamente, la freccia risulta fortemente inferiore se si considera reagente alle sollecitazioni il singolo travetto, mentre nella valutazione del momento flettente massimo considerare o meno la collaborazione trasversale fra i travetti produce scarti percentuali compresi fra $\pm 50\%$ (Fig. 5).

Il diagramma di Fig. 6 mostra gli scarti percentuali nella valutazione della freccia relativa alla campata centrale ed a quella laterale se si considera o meno la collaborazione trasversale fra i travetti.

Qualora si consideri reagente il singolo travetto, la freccia della campata laterale è valutata in eccesso con scarti anche del 150%, in difetto quella della campata centrale con scarti del 80%, rispetto ai valori ottenibili considerando la collaborazione trasversale fra i travetti.

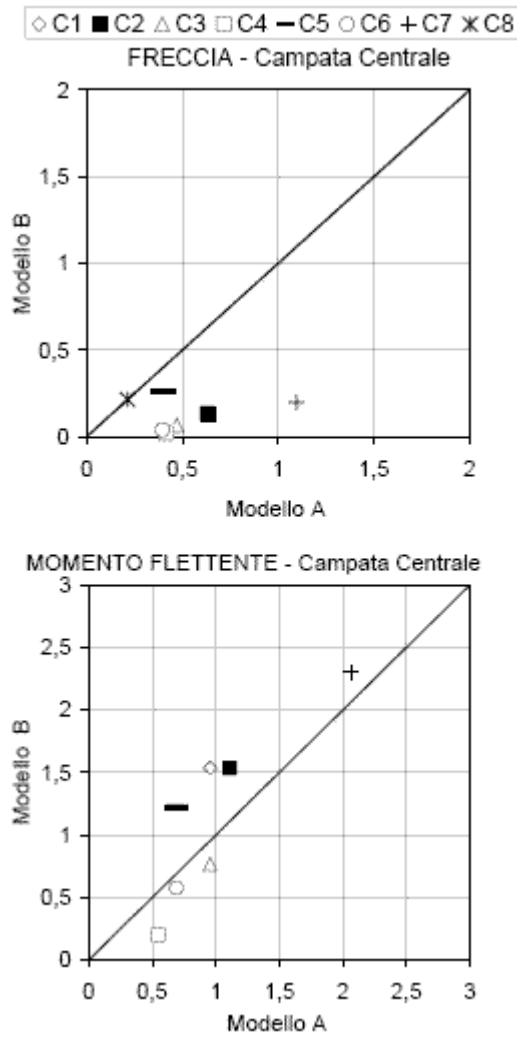


Figura 4. Valori della freccia (in mm), del momento flettente massimo (in kNm) relativi alla campata centrale valutati con i modelli A e B.

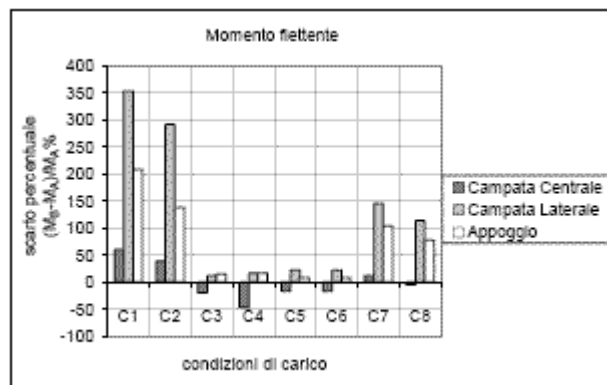


Figura 5. Scarti percentuali sul valore del momento flettente massimo ottenuto con i modelli A e B per la campata centrale, laterale e per l'appoggio.

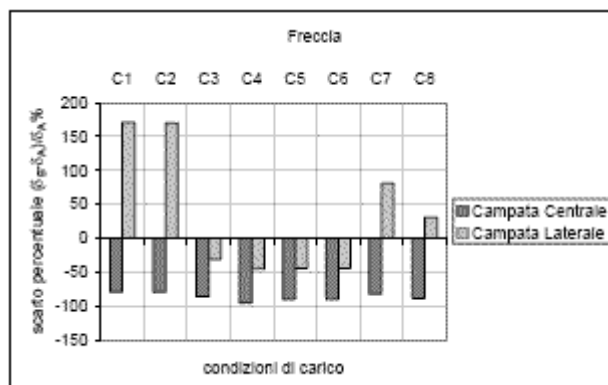


Figura 6. Scarti percentuali sul valore della freccia ottenuta con i modelli A e B per la campata centrale e laterale.

4. IL CARICO EQUIVALENTE

Con il precedente Decreto Ministeriale [02] i tramezzi comunemente adottati, realizzati con mattoni forati da 8 cm e 1 cm di intonaco per parte, potevano essere ragguagliati ad un carico uniformemente ripartito sulla superficie dell'impalcato sulla quale sono distribuiti ottenuto incrementando di 1,5 volte il peso totale dei tramezzi. Nessuna indicazione era data sulle condizioni statiche dell'impalcato.

Partendo dalla considerazione che il reale comportamento del solaio è quello relativo all'effettiva distribuzione dei tramezzi considerando la collaborazione trasversale fra i travetti, i vincoli generati dalle travi dei telai e dai cordoli di collegamento, sono stati valutati i coefficienti amplificativi α del carico uniformemente distribuito q (q = peso totale tramezzi/area dell'impalcato) che consentono di ottenere i medesimi risultati del reale comportamento del solaio. L'analisi è stata effettuata per il Modello A e per quello B, nel caso di solaio ad una campata.

Nei diagrammi di Figg. 7, 8 e 9 si osserva innanzi tutto che il coefficiente amplificativo $\alpha = 1,5$ adottato dal D.M. 96 appare nella maggior parte dei casi inadeguato e privo dei dovuti margini di sicurezza.

La differenza è particolarmente marcata nella sollecitazione di taglio (Fig. 8), meno nella valutazione della freccia (Fig. 9). Ciò che è interessante osservare è che, adottando il carico uniformemente distribuito in luogo della effettiva distribuzione dei tramezzi, i coefficienti di amplificazione sono differenti se si considera il Modello A o B. Ad esempio per il carico C3, relativamente alla stima del momento flettente massimo per il solaio ad una campata, occorrerebbe $\alpha = 5,5$ se si impiega il Modello A, $\alpha = 3,9$ se si impiega il Modello B (Fig. 7).

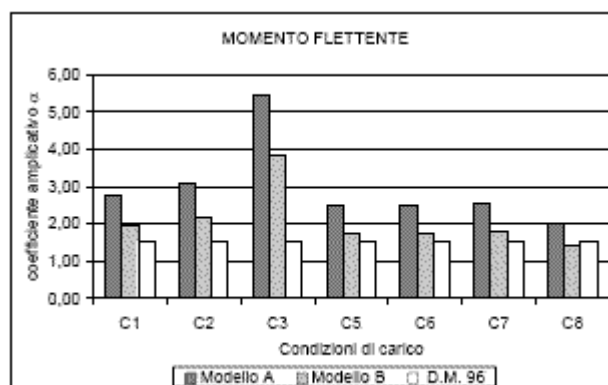


Figura 7. Coefficienti di amplificazione del carico ripartito, considerando i Modelli A e B e le indicazioni del D.M. 96, nella valutazione del momento flettente.

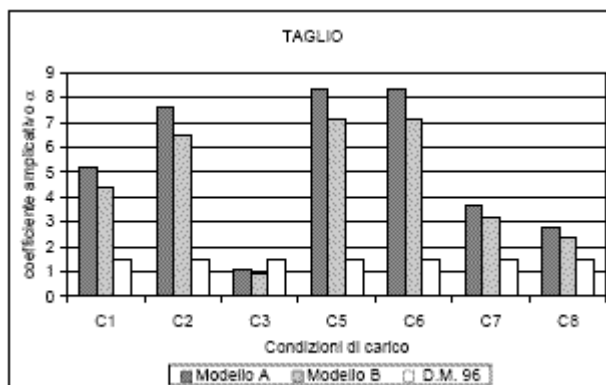


Figura 8. Coefficienti di amplificazione del carico ripartito, considerando i Modelli A e B e le indicazioni del D.M. 96, nella valutazione del taglio.

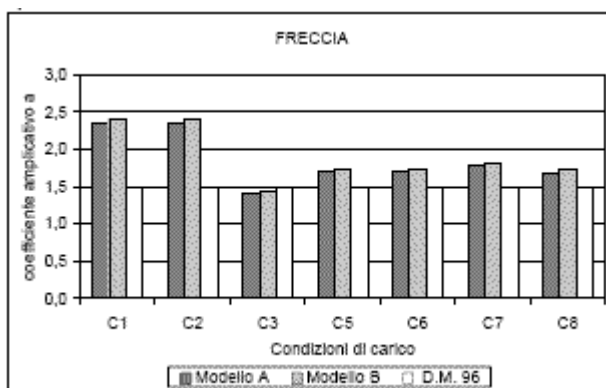


Figura 9. Coefficienti di amplificazione del carico ripartito, considerando i Modelli A e B e le indicazioni del D.M. 96, nella valutazione della freccia.

5. DENSITA' DISTRIBUTIVA

Il D.M. 2005 indica il valore del carico uniformemente distribuito equivalente alla effettiva sollecitazione trasmessa dai tramezzi disposti in maniera discreta sull'impalcato, distinguendo tre tipologie di tramezzi con i relativi carichi uniformi equivalenti. Appare evidente che non è tenuta in alcuna considerazione la densità distributiva dei tramezzi.

L'analisi qui condotta ha avuto l'obiettivo di controllare, nello schema di solaio ad una campata, considerando la collaborazione trasversale fra i travetti (Modello A) ovvero escludendola (Modello B), l'influenza della densità distributiva per le tre tipologie differenti di tramezzi: sono stati confrontati i risultati relativi alla freccia (Fig. 10), al momento flettente (Fig. 11) ed al taglio (Fig. 12) prodotti dalla disposizione effettiva dei tramezzi con quelli del carico equivalente secondo il D.M. 2005. Il momento flettente (Fig. 11) è sottostimato anche del 300% nel caso dei tramezzi da 2 e 3 kN/m, mentre nel caso del tramezzo da 1 kN/m la stima appare corretta quando i tramezzi sono disposti secondo l'orditura dei travetti e la densità è bassa. Nel caso in cui i tramezzi sono disposti ortogonalmente all'orditura del solaio l'errore è elevato (>170%) sia in presenza di scarsa che elevata quantità di tramezzature. Si osserva che la stima della freccia è corretta per le tre tipologie in quasi tutti i casi eccetto nel caso di elevatissima densità distributiva (casi C7 e C8), con valutazioni percentuali in difetto anche del 230% (Fig. 10).

Il taglio è quasi sempre sottostimato (Fig. 12).

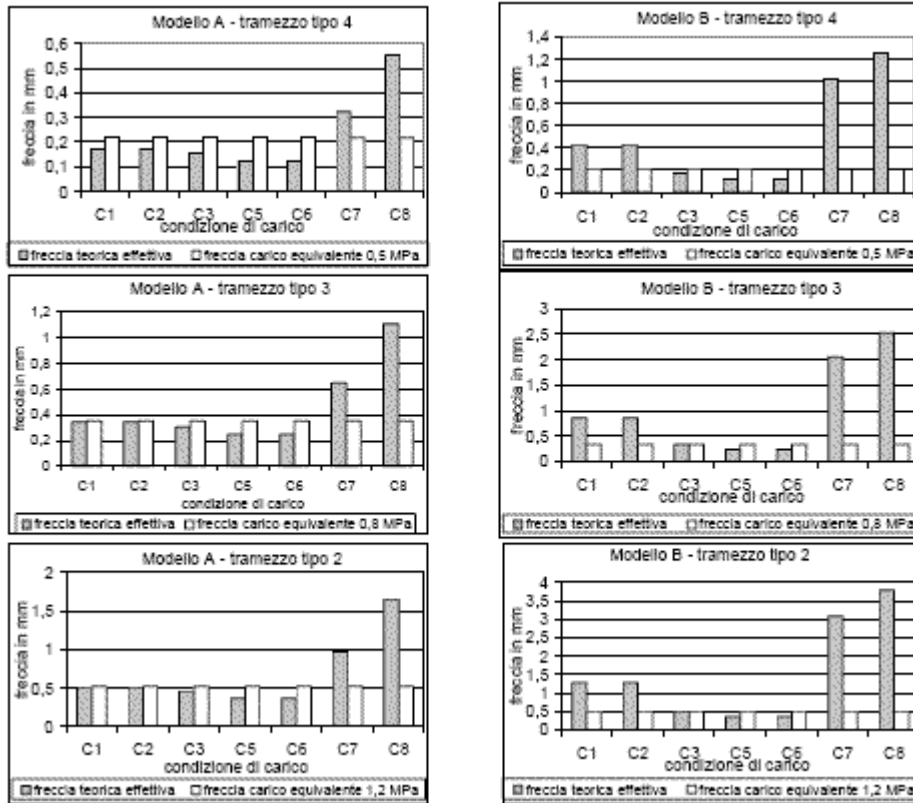


Figura 10. Valori delle frecce calcolati nel solaio ad una campata per i carichi effettivi e per i carichi ripartiti equivalenti (D.M. 2005).

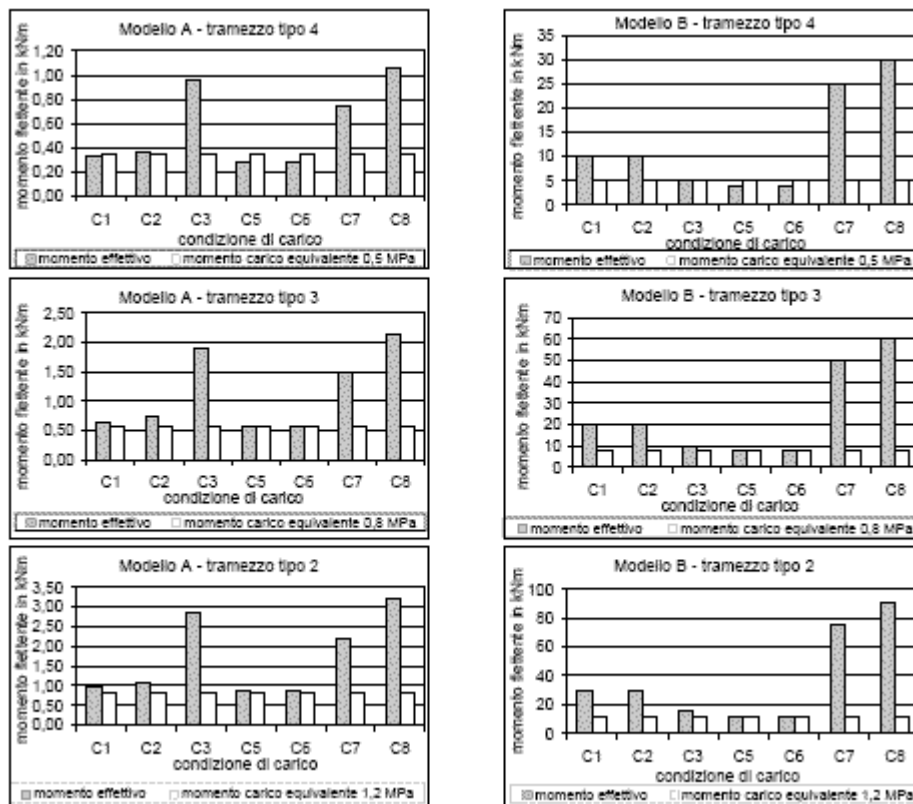


Figura 11. Valori del momento flettente massimo calcolati nel solaio ad una campata per i carichi effettivi e per i carichi ripartiti equivalenti (D.M. 2005).

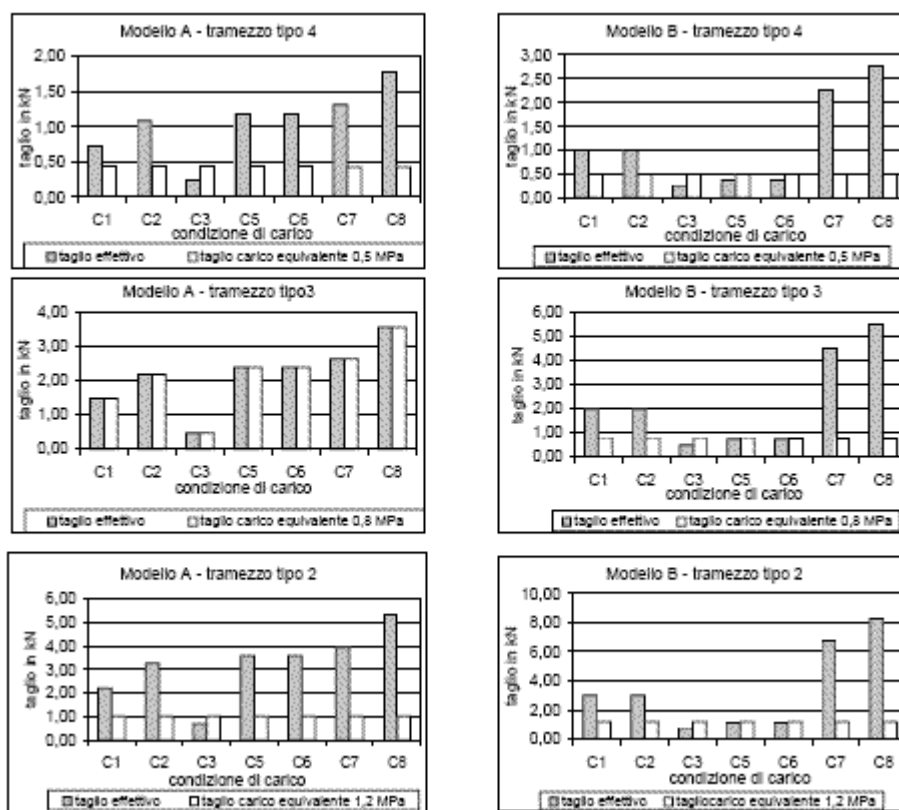


Figura 12. Valori del taglio massimo calcolati nel solaio ad una campata per i carichi effettivi e per i carichi ripartiti equivalenti (D.M. 2005).

6. CONCLUSIONI

L'indagine condotta ha evidenziato con chiarezza che:

1. Qualora si debba considerare l'effettivo posizionamento dei tramezzi sull'impalcato non è più lecito considerare reagente il singolo travetto (modello B). Infatti, ad esempio, nel caso di solaio ad una campata e tramezzo disposto nella mezzera dell'impalcato secondo l'orditura dei travetti, il momento flettente è sovrastimato del 200%. Nel caso di solaio a tre campate la stima può essere anche in difetto come nel caso della freccia della campata centrale, con uno scarto dell'80%. Si ritiene indispensabile che la norma indichi in modo esplicito la necessità di considerare l'effettivo comportamento dello impalcato, tenendo conto della collaborazione trasversale fra i travetti, dei vincoli generati dalle travi dei telai e dai cordoli di collegamento.

2. La comoda e consolidata prassi di considerare un carico equivalente in luogo dei tramezzi effettivamente disposti secondo le indicazioni del D.M. 96, nel caso di tramezzi in muratura di mattoni forati da 8 cm completi di intonaco, appare inadeguata e priva dei dovuti margini di sicurezza. Ad esempio nel caso di solaio ad una campata potrebbe occorrere un coefficiente di amplificazione pari a 6 in luogo del coefficiente 1,5, per valutare correttamente il momento flettente.

3. Il carico equivalente proposto in normativa per le tre tipologie di tramezzi di peso rispettivamente minore o uguale ad 1, 2 e 3 kN/m non è mai idoneo per stimare il taglio, che risulta per qualsiasi tipologia di tramezzo sottostimato, inoltre non tenendo conto della densità distributiva dei tramezzi, risulta che nel caso di elevata quantità di tramezzi - condizioni di carico C7 e C8 analizzate in questo studio - la freccia, il momento flettente ed il taglio massimo appaiono fortemente sottostimati.

In conclusione per ottenere progettazioni corrette di un solaio, nei riguardi delle sollecitazioni prodotte dai tramezzi, occorre considerare l'esatta posizione di questi e l'effettivo comportamento statico dell'impalcato (collaborazione trasversale fra i travetti, condizioni di vincolo generate da travi e cordoli, ecc.), occorre inoltre agire con particolare cautela ogni qual volta, durante la vita dell'impalcato, i tramezzi vengono demoliti per poi essere ricostruiti in altre posizioni.

7. BIBLIOGRAFIA

[01] D.M. 14.09.2005 "Norme Tecniche per le Costruzioni".

[02] D.M. 16.01.1996 "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".

[03] C.M. 04.07.1996, n° 156 AA.GG./STC Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".

[04] UNI ENV 1991-1 31.10.1996 Eurocodice 1. Basi di calcolo ed azioni sulle strutture. Parte 1: Basi di calcolo.

Contatti con gli autori:

Luisa Pani: lpani@unica.it

Antonio Nurchi: annurchi@tiscali.it

Zaira Odoni: odoni@unica.it