

Capitolo 4

IL DIMENSIONAMENTO DELLA STRUTTURA

1. Collocazione del progetto strutturale nel processo edilizio

Il progetto strutturale dovrebbe accompagnare fin dall'inizio l'iter progettuale edilizio. Già a partire dalle scelte su scala urbanistica (localizzazione dei nuovi insediamenti e definizione delle tipologie edilizie) esiste la necessità di tenere in considerazione le esigenze strutturali, particolarmente nelle zone sismiche che tendono ormai a coprire l'intero territorio nazionale. Questa esigenza ovviamente aumenta quando il progetto investe la scala edilizia, perché gli aspetti architettonici della costruzione devono confrontarsi con quelli funzionali, impiantistici e strutturali.

Occorre tuttavia prendere atto che nella prassi professionale questo parallelismo e sinergia tra i diversi aspetti del progetto edilizio, sicuramente auspicabili, sono spesso disattesi, rendendo a volte difficile una piena razionalizzazione del processo decisionale. È infatti consuetudine che il "momento" del progetto strutturale si concretizzi nella fase esecutiva, quando cioè, ottenuta l'autorizzazione amministrativa (concessione edilizia) sulla base di un progetto architettonico che definisce le forme i volumi e le funzioni della costruzione, si decide di realizzare l'edificio. Le difficoltà ed i tempi lunghi per ottenere la suddetta autorizzazione e la sua stessa rigidità (l'apertura di una finestra o il suo spostamento richiedono l'approvazione di una variante alla concessione edilizia) pongono in tal caso un serio limite alle modifiche che possono emergere in relazione ai problemi strutturali. Il progettista si trova quindi a dare consistenza strutturale ad una forma rigidamente già definita, con gravi vincoli al suo lavoro e spesso con l'impossibilità di ottimizzare il comportamento della struttura.

Bozza di un capitolo del testo, in fase di preparazione

A. Ghersi, P. Lenza, Edifici antisismici in cemento armato (progettati secondo la nuova norma sismica) – nuove costruzioni

Suggerimenti e commenti possono essere inviati per posta elettronica all'indirizzo aghersi@dica.unict.it

In effetti, molte scelte che si compiono nell'impostazione di massima del progetto architettonico sono strategiche sotto l'aspetto strutturale. Importanti sono, ad esempio, la forma planimetrica dell'edificio e la posizione del vano scala: piante non simmetriche, come quelle ad L, a T ed a C, e scale collocate in posizione perimetrale possono portare a forti eccentricità tra le masse e le rigidità e quindi creare in situazioni sismiche sensibili problemi di rotazione torsionale del fabbricato. Molto vincolante può essere il contorno della pianta: sbalzi, arretramenti e sporgenze (non sempre motivati da particolari esigenze formali) possono impedire quella regolarità, in termini di luci di travi e solai e di uniforme distribuzione dei pilastri, che risulta particolarmente utile anche per l'impostazione del sistema fondale. Anche le scelte che riguardano l'andamento altimetrico della costruzione si possono rilevare condizionanti per gli aspetti strutturali: la presenza di un piano a portico, libero da tompagnature, può penalizzare notevolmente la duttilità globale della struttura, necessaria per una buona risposta in caso di sismi violenti.

Il progettista strutturale deve spesso convivere con questi condizionamenti e limiti, cercando di dare regolarità e razionalità strutturale ad una costruzione formalmente irregolare. Ad evitare ciò, è importante che il progettista architettonico, anche se non particolarmente esperto di analisi e calcolo strutturale, sia sufficientemente consapevole del comportamento sismico dell'edificio, non per imbrigliare la sua libertà compositiva ma per valutare con cognizione di causa le conseguenze delle sue scelte fondamentali. Le indicazioni del paragrafo che segue, anche se riportate a titolo esemplificativo con riferimento a planimetrie già definite, mirano quindi a consentire anche ai progettisti architettonici di comprendere le ragioni della struttura.

2. Impostazione della carpenteria

2.1. Problematiche generali

Immaginiamo, come avviene in molti casi, di dover affrontare il progetto strutturale di un edificio in zona sismica già definito, dal punto di vista planovolumetrico, da un progetto architettonico difficilmente modificabile. La prima operazione, che determina le più importanti scelte progettuali, è l'impostazione della carpenteria, cioè l'individuazione dell'orditura dei solai e della posizione di travi e pilastri. Il procedimento è analogo a quanto viene fatto per gli edifici soggetti prevalentemente a carichi verticali. La sostanziale differenza consiste nella necessità di realizzare una struttura in grado di sopportare, oltre ai carichi verticali, anche le forze orizzontali agenti in due direzioni ortogonali che simulano l'effetto del sisma. Gli obiettivi cui tendere nell'impostazione della carpenteria sono, come già detto nel capitolo precedente, la semplicità e regola-

Bozza di un capitolo del testo, in fase di preparazione

A. Ghersi, P. Lenza, Edifici antisismici in cemento armato (progettati secondo la nuova norma sismica) – nuove costruzioni

Suggerimenti e commenti possono essere inviati per posta elettronica all'indirizzo aghersi@dica.unict.it

rità, necessarie per una migliore comprensione del comportamento strutturale e per una uniformità di sollecitazione sugli elementi strutturali.

Se la forma planimetrica non appare idonea, occorre innanzi tutto valutare se, per recuperare regolarità e simmetria, non sia opportuno dividere il fabbricato in blocchi, staticamente separati da giunti, ciascuno dotato di una forma più semplice. Ove ciò non sia possibile, o non appaia conveniente perché porta ad una frammentazione eccessiva dell'edificio, si dovrà cercare di correggere, con un'opportuna distribuzione delle rigidezze, le potenziali eccentricità tra il baricentro delle masse (individuabile nel centro geometrico della figura) e quello delle rigidezze.

In questa decisione preliminare interviene anche l'impostazione della struttura della scala. La soluzione con travi a ginocchio introduce elementi molto rigidi, con conseguente concentrazione delle sollecitazioni e riduzione della duttilità globale, particolarmente pericolosa anche perché la scala è strategica per l'evacuazione del fabbricato. Questo nucleo rigido può inoltre creare una forte asimmetria nella distribuzione delle rigidezze. Tale soluzione andrebbe quindi presa in considerazione solo se il corpo scala è un blocco indipendente, giuntato dal resto del fabbricato. L'adozione di una soletta rampante sembra essere la soluzione più idonea in zona sismica. Infatti, l'unica alterazione che essa produce rispetto alla regolarità degli altri telai (trave di testata a quota intermedia, in corrispondenza del pianerottolo di riposo) non influisce in maniera sensibile sulla rigidezza complessiva. In verità, la soletta costituisce comunque un collegamento tra gli impalcati adiacenti, del quale non si tiene conto nel calcolo, e ciò potrebbe avere qualche influenza, specie in caso di collocazione non simmetrica. Sarebbe quindi indubbiamente preferibile la variante "alla Giliberti", illustrata nel capitolo precedente, che mantiene separate le due rampe e quindi svincolati gli impalcati; in essa, inoltre, la collocazione a livello del piano della trave di testata che regge il pianerottolo di riposo contribuisce alla rigidezza e resistenza planimetrica dell'impalcato.

2.2. Criteri per l'impostazione della carpenteria

Negli edifici con pareti o nuclei in cemento armato la resistenza alle azioni sismiche è affidata sostanzialmente a questi elementi, mentre travi e pilastri sono sollecitati principalmente dai carichi verticali. I due aspetti (azioni orizzontali e carichi verticali) possono quindi essere esaminati separatamente.

Al contrario, negli edifici con struttura intelaiata non è possibile una distinzione tra elementi strutturali che sopportano le azioni verticali ed elementi che sopportano quelle orizzontali, perché travi e pilastri sono sollecitati contemporaneamente da entrambe le azioni. Per chi affronta per la prima volta la progettazione antisismica, o ha a che fare con una pianta architettonica complessa, può però essere metodologicamente utile scindere il problema in due fasi.

Bozza di un capitolo del testo, in fase di preparazione

A. Ghersi, P. Lenza, Edifici antisismici in cemento armato (progettati secondo la nuova norma sismica) – nuove costruzioni

Suggerimenti e commenti possono essere inviati per posta elettronica all'indirizzo aghersi@dica.unict.it

È possibile inizialmente definire la carpenteria in maniera tale da sopportare adeguatamente i soli carichi verticali. In tale fase occorre tener presenti i criteri orientativi validi per fabbricati soggetti esclusivamente a carichi verticali, unitamente a criteri derivanti dalla contemporanea presenza di azioni orizzontali:

- a) per compensare parzialmente l'incremento di sollecitazioni sulle travi dovuto al sisma, è bene ridurre l'effetto dei carichi verticali adottando come limite massimo delle luci di sbalzi, solai e travi valori leggermente inferiori a quelli consigliati in assenza di sisma (vedi Tab. 1);
- b) ancor più che per soli carichi verticali, è bene evitare la disuniformità di luci delle travi; essa infatti è negativa anche in presenza di azioni orizzontali perché causa concentrazione di sollecitazione nelle campate più corte; se esigenze architettoniche impongono la realizzazione di alcune campate di luce netta mente inferiore alle altre, è opportuno ridurre la loro rigidità realizzandole a spessore;
- c) è bene evitare una forte disuniformità di carico verticale sui pilastri; essa infatti comporta la necessità di sezioni maggiori, e quindi concentrazione di sollecitazioni sismiche, sui pilastri in cui lo sforzo normale è più elevato; se la realizzazione di pilastri nettamente più caricati degli altri è inevitabile, è opportuno adottare per essi sezioni poco allungate, che presentino momento di inerzia dello stesso ordine di grandezza di quello delle sezioni degli altri pilastri.

Dopo questa definizione di massima, si può esaminare criticamente la carpenteria così ottenuta e modificarla per renderla più idonea a sopportare azioni orizzontali.

Una corretta impostazione della carpenteria dovrebbe garantire un irrigidimento uniforme in entrambe le direzioni e distribuito con regolarità in pianta. Una soluzione ottimale (Fig. 1) potrebbe consistere in pilastri tutti della medesima sezione, di forma quadrata, disposti ad interasse costante e collegati in entrambe le direzioni da travi uguali tra loro (tutte emergenti o tutte a spessore).

Tab. 1. Limiti consigliati per le luci di solai, sbalzi e travi

Elemento	Per soli carichi verticali	In zona sismica
Solaio	7.00 m	6.00 m
Sbalzo	2.50 m	2.00 m
Trave emergente che porta rilevanti carichi verticali	6.00 m	5.50 m
Trave a spessore che porta rilevanti carichi verticali	5.00 m	4.50 m

Bozza di un capitolo del testo, in fase di preparazione

A. Ghersi, P. Lenza, Edifici antisismici in cemento armato (progettati secondo la nuova norma sismica) – nuove costruzioni

Suggerimenti e commenti possono essere inviati per posta elettronica all'indirizzo agheresi@dica.unict.it

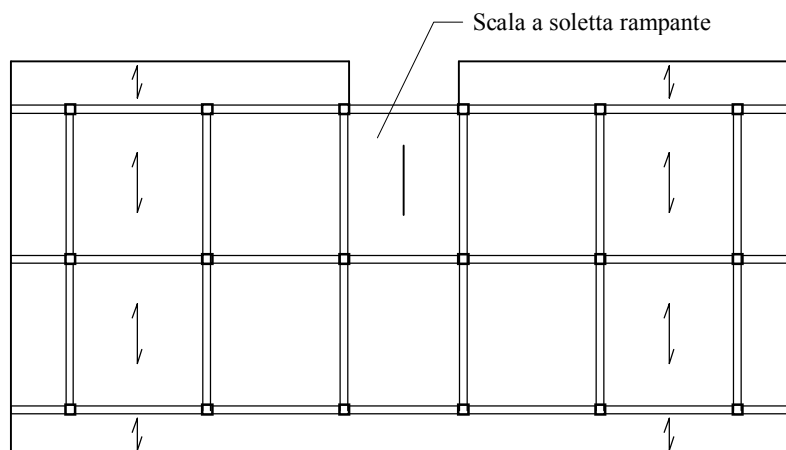


Fig. 1. Carpenteria ideale

Esigenze architettoniche impongono però usualmente la contemporanea presenza di entrambi i tipi di travi e l'adozione di sezioni rettangolari, dotate quindi di un momento d'inerzia maggiore in una direzione e minore nell'altra, per i pilastri. In tale caso, la resistenza all'azione sismica in una direzione è sostanzialmente affidata all'accoppiata costituita da travi emergenti e pilastri allungati nella direzione in esame (Fig. 2a). Un pilastro rigido accoppiato ad una trave a spessore (Fig. 2b) fornisce un contributo basso a tutti i piani, tranne che al primo, grazie al collegamento rigido con la fondazione che si ha alla base. Danno un contributo limitato, in prima approssimazione trascurabile, i pilastri con inerzia minima accoppiati a travi emergenti (Fig. 2c) ed a maggior ragione quelli accoppiati a travi a spessore (Fig. 2d), sicuramente sempre irrilevanti.

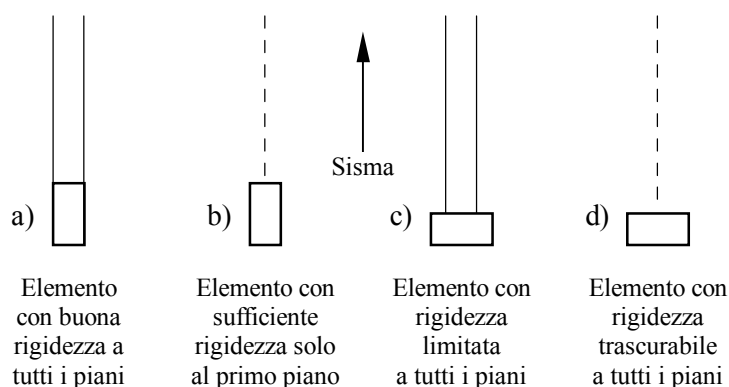


Fig. 2. Contributo dei diversi elementi alla rigidezza della struttura

Bozza di un capitolo del testo, in fase di preparazione

A. Gheresi, P. Lenza, Edifici antisismici in cemento armato (progettati secondo la nuova norma sismica) – nuove costruzioni

Suggerimenti e commenti possono essere inviati per posta elettronica all'indirizzo agheresi@dica.unict.it

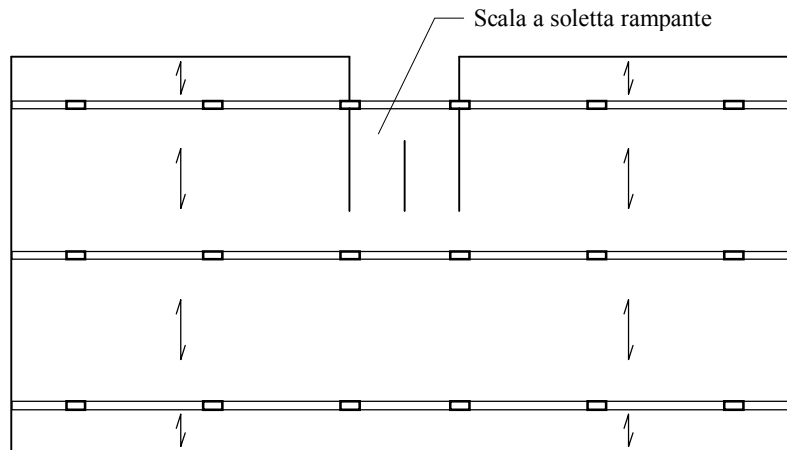


Fig. 3. Carpenteria pensata per soli carichi verticali

In genere, le travi disposte in funzione dei soli carichi verticali non sono sufficienti a conferire adeguata resistenza ad azioni orizzontali in entrambe le direzioni. Si pensi, come caso limite, ad un fabbricato rettangolare allungato, in cui i carichi verticali sono portati da tre travi longitudinali (Fig. 3); in direzione trasversale esso può mancare completamente di elementi idonei all'assorbimento dell'azione sismica.

Si cercherà quindi di ottenere la richiesta uniformità di elementi resistenti orientando opportunamente i pilastri ed aggiungendo travi emergenti non portanti il solaio. La necessità di poggiare tali travi sui pilastri impone a quest'ultimi vincoli di allineamento che non sono invece richiesti in zona non sismica. La tendenza all'allineamento è ulteriormente incentivata dalla normativa, che prescrive collegamenti tra le fondazioni dei pilastri in due direzioni ortogonali.

Anche se poco rilevante ai fini dell'irrigidimento della struttura, è comunque opportuno realizzare in elevazione ulteriori travi, a spessore, per il collegamento trasversale dei pilastri. In tal modo è possibile disporre armature per assorbire sollecitazioni flessione-taglienti (conseguenti alla rotazione dei nodi della struttura) che altrimenti graverebbero sui solai. Si ottiene inoltre un irrigidimento dell'impalcato che, per le azioni orizzontali, si comporta come una lastra nervata chiamata a ridistribuire il carico sismico tra i telai.

2.3. Disegno esecutivo della carpenteria

La carpenteria si disegna sezionando i pilastri e mostrando quello che si vedrebbe guardando il solaio da sotto (o guardandolo da sopra prima del getto del calcestruzzo); appaiono quindi in sezione i pilastri ed in vista le travi e i solai.

Bozza di un capitolo del testo, in fase di preparazione

A. Gheresi, P. Lenza, Edifici antisismici in cemento armato (progettati secondo la nuova norma sismica) – nuove costruzioni

Suggerimenti e commenti possono essere inviati per posta elettronica all'indirizzo agheresi@dica.unict.it

La scala di rappresentazione consigliata è 1:50. Tutti gli elementi strutturali vanno numerati, per creare un riferimento con le tavole che ne rappresentano i dettagli e con la relazione di calcolo. Non esiste una regola assoluta per tale numerazione, ma molti professionisti seguono i criteri appresso indicati.

Occorrerebbe disegnare una tavola di carpenteria per ciascun impalcato. Per edifici dotati di piano tipo può però essere sufficiente un'unica tavola. Gli elementi da indicare nella carpenteria sono:

a) Pilastrini.

I pilastrini vanno numerati con numeri da 1 a 100, seguendo un criterio che possa essere facilmente individuato da chiunque esamini la carpenteria. Un criterio frequentemente utilizzato è quello di partire da un vertice della pianta, seguire in verso orario tutto il perimetro e proseguire poi all'interno con lo stesso verso, secondo una spirale. Quando i pilastrini sono disposti in pianta secondo un reticolo regolare, è però più conveniente numerarli per file, per esempio da sinistra verso destra e dall'alto verso il basso.

Per rendere la carpenteria valida a tutti i piani occorre riportare per ciascun pilastrino almeno un punto fisso, cioè un punto che individui la generatrice obbligata a mantenersi nella stessa posizione ai diversi piani. Esso è anche un punto di riferimento nel disporre le quote. Deve quindi essere indicato anche se la sezione del pilastrino rimane costante per tutti gli ordini.

È opportuno riportare anche nella pianta architettonica le dimensioni massime dei pilastrini per consentire un rapido controllo della loro congruenza con tramezzi, tompagni e aperture.

b) Travi.

Le travi emergenti vanno rappresentate con due linee continue. Le travi a spessore sono individuate dall'assenza di laterizi dal solaio; solo nella fase iniziale di impostazione, non essendo disegnati i laterizi, se ne indicherà l'asse con una linea tratteggiata.

Le travi vanno individuate con i numeri da 101 a 150 per il primo impalcato, da 201 a 250 per il secondo, ecc. Si indicano con uno stesso numero tutte le campate che nel calcolo fanno parte di un unico schema di telaio.

c) Solai.

Si riportano in pianta i travetti ed i laterizi, facendo così vedere le fasce piene e semipiene, i travetti di ripartizione, ecc. Nella fase iniziale di impostazione della carpenteria ci si limita ad indicare con una freccia la direzione di orditura del solaio. I vari solai, differenti per schema statico o carico, vanno individuati con i numeri da 151 a 199 nel primo impalcato, da 251 a 299 nel secondo, ecc.

d) Foro dell'ascensore e fori degli altri impianti a servizio dell'edificio.

Bozza di un capitolo del testo, in fase di preparazione

A. Ghersi, P. Lenza, Edifici antisismici in cemento armato (progettati secondo la nuova norma sismica) – nuove costruzioni

Suggerimenti e commenti possono essere inviati per posta elettronica all'indirizzo aghersi@dica.unict.it

- e) Zone in cui il solaio viene ribassato (di solito di 4 cm) in corrispondenza di cucine e bagni per consentire il passaggio in orizzontale delle tubazioni. Tali zone ribassate vanno individuate nella carpenteria con un tratteggio o mediante un retino.
- f) **Armatura dell'impalcato.**
Nella stessa tavola della carpenteria (o, se si preferisce, in una tavola apposita) devono essere riportate tutte le indicazioni sull'armatura da disporre nella soletta per garantire il suo funzionamento a lastra nel riportare le azioni sismiche ai singoli telai.

3. Primo dimensionamento delle sezioni dei pilastri e delle travi

In assenza di forze orizzontali, l'interazione tra i diversi componenti strutturali produce sollecitazioni di entità modesta e facilmente prevedibile. Una volta definita schematicamente la carpenteria, il dimensionamento delle sezioni può quindi essere effettuato separatamente per ciascun elemento e porta a risultati sostanzialmente univoci.

In una struttura in zona sismica, invece, la mutua dipendenza degli elementi che costituiscono la struttura intelaiata tridimensionale (telaio spaziale) rende accettabili soluzioni anche notevolmente differenti le une dalle altre. Si possono ad esempio adottare in maniera generalizzata travi a spessore, purché si abbondi nelle sezioni dei pilastri; o, viceversa, estendere al massimo l'uso di travi emergenti per mantenere più snelli i pilastri. Per questi, poi, si possono differenziare le sezioni in base al carico verticale portato oppure scegliere una sezione unica; tale differenziazione o uniformizzazione può riguardare i pilastri di uno stesso ordine oppure i diversi ordini di ciascun pilastro.

Non si possono quindi fornire criteri assoluti di dimensionamento, ma soltanto indicazioni generali che ciascun progettista potrà man mano modificare in base alla propria esperienza. La correttezza delle scelte effettuate verrà di volta in volta verificata sia mediante il calcolo imposto dalla normativa che con un esame, non sempre numericamente quantizzabile, del comportamento globale della struttura nei confronti del sisma e della sua rispondenza ai principi che ispirano la normativa stessa.

Solaio

Il solaio ha, innanzi tutto, la funzione di trasmettere i carichi verticali alle travi. In zona sismica, il solaio (o, con più precisione, l'impalcato – ovvero l'insieme di solaio più travi) svolge un ruolo importante nella redistribuzione delle azioni inerziali, dalle masse agli elementi verticali resistenti al sisma, e deve essere pertanto dotato di un'adeguata rigidità e resistenza nel piano. Occorre

Bozza di un capitolo del testo, in fase di preparazione

A. Ghersi, P. Lenza, Edifici antisismici in cemento armato (progettati secondo la nuova norma sismica) – nuove costruzioni

Suggerimenti e commenti possono essere inviati per posta elettronica all'indirizzo aghersi@dica.unict.it

infine ricordare che lo spessore del solaio individua anche l'altezza delle travi a spessore, che devono essere in grado di sopportare sia i carichi verticali che quelli sismici.

Per quanto riguarda i carichi verticali, la normativa prescrive che il suo spessore non debba essere inferiore ad $1/25$ della luce massima ($1/30$ se il solaio è realizzato con elementi precompressi). Si noti che questa limitazione – e la differenziazione tra solai in opera e solai con travetti precompressi – nasce dalla necessità di contenere la deformazione del solaio sotto tali carichi.

Per quanto riguarda la ridistribuzione delle azioni orizzontali, il solaio si comporta come una lastra nervata. La lastra vera e propria è costituita dalla soletta, che deve quindi avere uno spessore adeguato (almeno 4 o 5 cm) e deve essere dotato di una buona armatura (come minimo, una rete $\varnothing 8 \ 25 \times 25$). I travetti del solaio e le travi possono contribuire ad assorbire sollecitazioni di compressione e ad evitare problemi di instabilità locale, ma il loro ruolo è meno importante. Non è quindi necessario aumentare lo spessore del solaio o disporre in modo particolare l'orditura.

Un incremento dello spessore del solaio può invece essere necessario se vi sono travi a spessore contemporaneamente molto lunghe e soggette a rilevanti carichi verticali, oppure quando tutte le travi dell'impalcato sono a spessore.

Travi a spessore

In una struttura dotata contemporaneamente di travi emergenti e a spessore, l'effetto del sisma su queste ultime è relativamente modesto. Nel dimensionarle ci si può quindi basare essenzialmente sui soli carichi verticali. Si ribadisce comunque l'opportunità di limitare la larghezza della sezione (la normativa indica come limite "la larghezza del pilastro, aumentata da ogni lato di metà dell'altezza della sezione trasversale del pilastro stesso", ma questa prescrizione è legata a problemi di duttilità e quindi in un certo senso meno vincolante per elementi che hanno scarsa rilevanza dal punto di vista sismico) e di concentrare le armature in un fascio di ampiezza comparabile a quella del pilastro. La sezione delle travi a spessore di collegamento, parallele all'orditura del solaio e quindi poco caricate, avrà dimensioni ridotte, dettate principalmente da motivazioni geometriche (per esempio, la larghezza può essere pari a 60 cm, ottenuti eliminando dal solaio una fila di laterizi).

In assenza di travi emergenti, invece, il contributo delle travi a spessore al contenimento del sisma non è trascurabile. È opportuno in tal caso adottare un solaio di spessore superiore ai valori usualmente adottati in zona non sismica (almeno 4-6 cm in più), in modo da conferire alle travi maggiore rigidezza e resistenza.

Bozza di un capitolo del testo, in fase di preparazione

A. Ghersi, P. Lenza, Edifici antisismici in cemento armato (progettati secondo la nuova norma sismica) – nuove costruzioni

Suggerimenti e commenti possono essere inviati per posta elettronica all'indirizzo aghersi@dica.unict.it

Travi emergenti

Le sollecitazioni flesso-taglienti indotte dal sisma nelle travi emergenti sono notevoli ai piani inferiori, e spesso anche a quelli centrali, dell'edificio. In fabbricati di 4-6 impalcati esse hanno frequentemente entità comparabile a quella delle sollecitazioni provocate dai carichi verticali. Non è però possibile valutare gli effetti del sisma nella singola campata come percentuale di quelli dei carichi verticali. A differenza di questi ultimi, che crescono con la luce, l'azione del sisma è maggiore nelle campate più corte. Inoltre essa è strettamente legata alla dimensione dei pilastri (è più elevata in corrispondenza dei pilastri più rigidi). Se, poi, le campate emergenti sono poche rispetto a quelle a spessore, o vi è un numero limitato di travi più rigide (per la sezione più elevata o la luce più corta), le sollecitazioni in tali travi e nei pilastri ad esse collegati possono facilmente raggiungere valori inaccettabili; in tal caso è preferibile ridurre la rigidità (meglio avere tutte travi deboli che poche robuste).

La scelta della sezione nasce sostanzialmente dall'esperienza e dal confronto con casi analoghi. Poiché la quantità di armatura da disporre nelle travi sarà sicuramente maggiore di quella necessaria per i soli carichi verticali, è preferibile adottare sezioni di larghezza non inferiore a 30 cm. Per fabbricati di 4 impalcati è spesso sufficiente la sezione 30×60. In presenza di 5-6 impalcati è invece in genere necessario adottare, almeno ai piani inferiori, una sezione maggiore (per esempio 30×70 o 40×60, anche in base alla larghezza dei pilastri). Sezioni più grandi possono rendersi necessarie in zone ad alta sismicità e in edifici di maggiore altezza.

Ai piani superiori dell'edificio l'effetto del sisma è di minore entità. La presenza in essi di travi rigide ha comunque un effetto positivo sui pilastri, che si risente anche ai piani inferiori. Si consiglia quindi la adozione di sezioni non inferiori a 30×60, con la sola eventuale eccezione dell'impalcato di copertura, per il quale usualmente anche i carichi verticali sono minori.

Pilastri

I pilastri di un edificio in zona sismica sono sollecitati a pressoflessione. Una prima indicazione sul loro dimensionamento può ricavarsi dall'esame dei domini di resistenza (Fig. 4), che mostrano le coppie $M-N$ limite per tre sezioni (30×60, 40×60 e 30×80) e per diversi valori dell'armatura.

Si può constatare, innanzi tutto, che il valore massimo del momento flettente che può essere portato da una sezione corrisponde ad uno sforzo normale N_{Sd} per il quale la tensione media N_{Sd} / A_c è all'incirca pari a $0.5 \alpha f_{cd}$. Si ha comunque una buona capacità portante flessionale per valori di N_{Sd} / A_c compresi tra $0.15 \alpha f_{cd}$ e $0.75 \alpha f_{cd}$. Tensioni medie minori o maggiori comportano la necessità di una quantità di armatura rapidamente crescente per sopperire alla crisi rispettivamente del ferro teso e del calcestruzzo compresso.

Bozza di un capitolo del testo, in fase di preparazione

A. Ghersi, P. Lenza, Edifici antisismici in cemento armato (progettati secondo la nuova norma sismica) – nuove costruzioni

Suggerimenti e commenti possono essere inviati per posta elettronica all'indirizzo aghersi@dica.unict.it

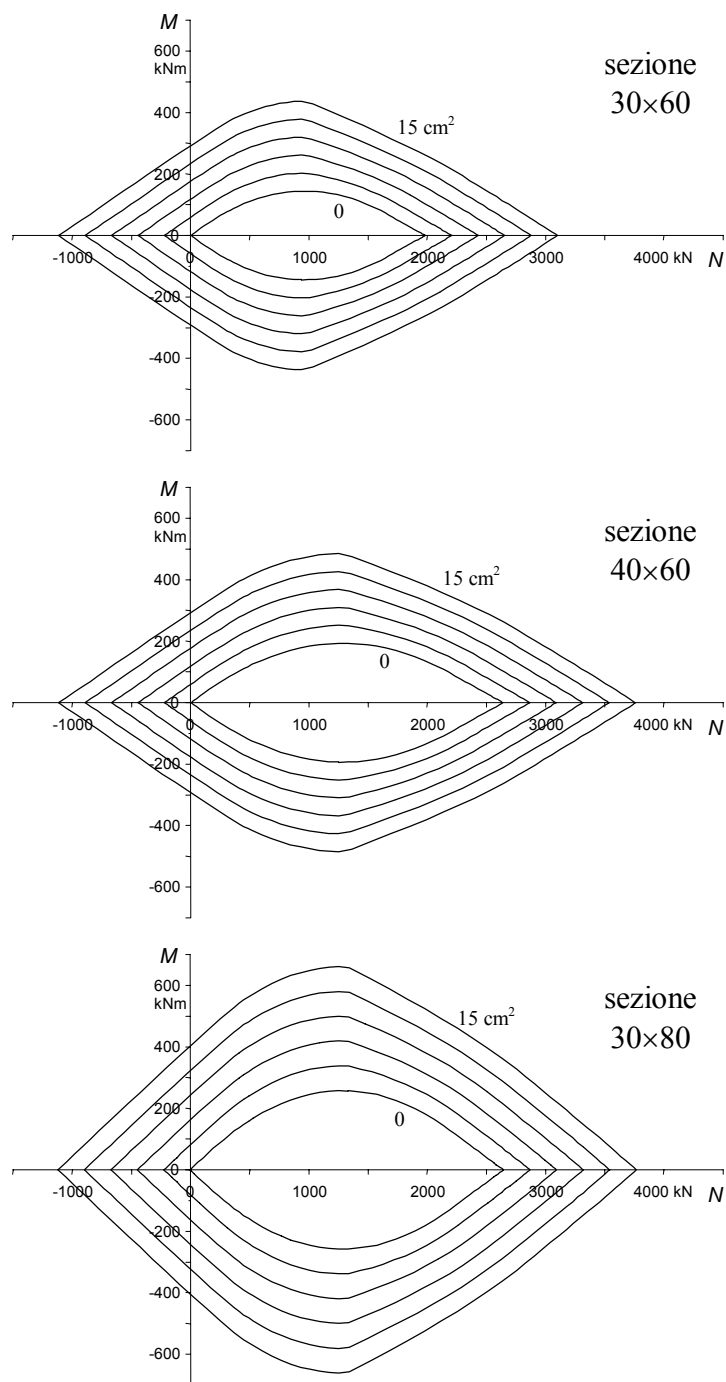


Fig. 4. Domini di resistenza di sezioni in c.a. ($R_{ck}=25 \text{ MPa}$, acciaio FeB44k)

Bozza di un capitolo del testo, in fase di preparazione

A. Gherzi, P. Lenza, Edifici antisismici in cemento armato (progettati secondo la nuova norma sismica) – nuove costruzioni

Suggerimenti e commenti possono essere inviati per posta elettronica all'indirizzo agherzi@dica.unict.it

Si noti inoltre che un aumento della larghezza della sezione (ad esempio da 30×60 a 40×60) consente, a parità di armatura, un proporzionale incremento dello sforzo normale che può essere portato dalla sezione, ma un modesto incremento della capacità flessionale. L'incremento di altezza a parità di sezione (30×80 anziché 40×60) aumenta invece in maniera rilevante il momento flettente resistente a parità di sforzo normale. Si ricordi però che ad un incremento del momento d'inerzia della sezione può corrispondere un proporzionale aumento delle sollecitazioni flessionali indotte dal sisma, tale da vanificare l'aumento di resistenza appena citato.

Nel dimensionare la sezione di base dei pilastri è pertanto opportuno assumere un limite massimo per la tensione media, valutata in condizioni sismiche, cioè per i valori quasi permanenti dei carichi verticali, e con riferimento al solo calcestruzzo. Nel definire tale limite occorre anche tener presente che la struttura deve essere verificata anche per soli carichi verticali: in questo caso lo sforzo normale è molto maggiore, perché valutato incrementando i carichi permanenti e variabili mediante i coefficienti di sicurezza parziali. Si consiglia quindi di non superare mai un valore pari a $0.5 \alpha f_{cd}$ e di mantenersi piuttosto su valori prossimi a $0.4 \alpha f_{cd}$. Ciò vuol dire, ad esempio, che se si utilizza in calcestruzzo di classe $R_{ck} = 25$ MPa il limite di riferimento sarà tra 4 e 4.5 MPa. Nel caso di edifici con interpiano superiore alla media o privi di travi emergenti o situati in zona ad alta sismicità potrebbe essere conveniente utilizzare un valore più basso.

Per procedere al dimensionamento si dovrà valutare preliminarmente, anche senza molta precisione, lo sforzo normale cui i pilastri sono soggetti in condizioni sismiche. Esso è dovuto sostanzialmente ai carichi verticali (valori caratteristici dei carichi permanenti, valori ridotti mediante il coefficiente ψ_2 di quelli variabili), perché l'aliquota provocata dal sisma è modesta, trascurabile in questa prima fase, se si sono evitate travi molto corte e rigide.

Si determinerà poi l'area minima della sezione di base di ciascun pilastro come rapporto tra lo sforzo normale e la tensione media. Rispettando tale minimo, ma anche con un esame globale della carpenteria, verrà scelta una sezione adeguata. È opportuno evitare forme troppo allungate, e soprattutto eccessive differenze di larghezza tra travi e pilastri, per consentire una migliore trasmissione degli sforzi.

Se la carpenteria presenta una sufficiente regolarità, la conseguente uniformità di carico sui pilastri porta automaticamente a sezioni uguali o poco differenti tra loro. In caso contrario, pur non escludendo la possibilità di usare numerose sezioni anche notevolmente diverse, può essere preferibile sovradimensionare i pilastri meno caricati riducendo le sezioni a un numero di tipi limitato (non superiore a 3) e con momento di inerzia massimo non molto dissimile tra loro. Si ottiene così, innanzi tutto, uno sgravio flessionale dei pilastri

Bozza di un capitolo del testo, in fase di preparazione

A. Ghersi, P. Lenza, Edifici antisismici in cemento armato (progettati secondo la nuova norma sismica) – nuove costruzioni

Suggerimenti e commenti possono essere inviati per posta elettronica all'indirizzo aghersi@dica.unict.it

più caricati. Diventa inoltre più facile un esame qualitativo del comportamento dell'edificio nei confronti delle azioni orizzontali ed il riscontro della uniformità planimetrica degli elementi irrigidenti. Risulta infine più rapido sia il controllo di massima che la verifica dettagliata dei pilastri, una volta eseguito il calcolo.

Per ciascun pilastro la sezione potrà essere mantenuta costante oppure differenziata ai diversi ordini. La progressiva riduzione delle sollecitazioni dovute sia al sisma che ai carichi verticali può far propendere per una riduzione della sezione ai piani superiori. La variazione di sezione comporta però problemi esecutivi (sagomatura delle barre metalliche, ecc.) che, se non ben affrontati, possono inficiare la continuità del pilastro nel nodo. Se il fabbricato ha un numero di piani non elevato e le sezioni necessarie alla base non comportano grossi problemi architettonici, si può prendere in considerazione l'adozione di una sezione costante. In caso contrario è comunque opportuno limitare le riseghe sia come numero (mantenendo la sezione invariata almeno per 2 ordini) sia come entità; si dovrà inoltre dedicare una particolare cura alle tavole illustranti in dettaglio i provvedimenti da prendere per una corretta esecuzione della risega.

Bozza di un capitolo del testo, in fase di preparazione

A. Ghersi, P. Lenza, Edifici antisismici in cemento armato (progettati secondo la nuova norma sismica) – nuove costruzioni

Suggerimenti e commenti possono essere inviati per posta elettronica all'indirizzo aghersi@dica.unict.it