

DOCUMENTO redatto da AEDES Software (16.10.2013)

## **Sulla schematizzazione dei solai come piani rigidi o deformabili, e le corrispondenti conseguenze sul comportamento dinamico della struttura e le verifiche di sicurezza**

**1. PCM** non 'ragiona' a priori in nessun altro modo che non sia quello di un software generico ad elementi finiti monodimensionali (aste) che per la muratura modella il sistema a telaio equivalente.

Il vincolamento esterno e interno di tutte le aste è sotto controllo dell'Utente, che può operare le scelte che ritiene più opportune per rappresentare la struttura esaminata.

Proprio questa generalità di schematizzazione costituisce un aspetto vantaggioso per PCM: infatti non c'è alcun modello (macroelemento o similari) predefinito il cui comportamento costituisca un'impostazione predefinita per la schematizzazione dell'edificio. Quando PCM crea il telaio equivalente nel passaggio dal modello architettonico al modello strutturale, semplicemente identifica le aste nel baricentro di muri, travi e colonne definiti nel modello architettonico; esse vengono ricollegate da link rigidi che rappresentano il comportamento d'insieme della struttura e sui quali si può intervenire in vario modo nei vincoli interni.

**2.** Ciò premesso, vediamo alcuni approfondimenti sull'utilizzo di PCM per modellare edifici in muratura, a partire dai casi di edifici esistenti più vulnerabili, con varie criticità, a quelli di edifici consolidati o nuovi.

### **A) EDIFICIO ESISTENTE CON PARETI ORTOGONALI NON COLLEGATE O NON CORRETTAMENTE AMMORSATE AGLI ANGOLI E ALLE INTERSEZIONI DEI MURI. SOLAI FLESSIBILI.**

E' il caso di edifici dove i paramenti murari sono stati 'accostati', magari perché realizzati in tempi successivi, o dove comunque lesioni verticali indicano nello stato di fatto un'assenza di collegamento efficace fra paramenti murari. Un esempio è in figura:



In questo caso, lo stato di fatto non deve essere modellato con un telaio globale 3D, in quanto l'edificio è assimilabile ad un assemblaggio di paramenti ognuno con comportamento piano 2D.

Per valutare la vulnerabilità di paramenti murari 'distaccati' tra loro si dovrà procedere secondo i seguenti punti:

A.1) comportamento fuori piano: analisi cinematica (meccanismi di collasso per ribaltamento)

A.2) comportamento nel piano:

A.2.1) analisi cinematica con meccanismi di collasso nel piano; oppure (più frequentemente utilizzata):

**A.2.2)** analisi pushover di paramenti isolati: in PCM si generano tanti modelli

quanti sono i singoli paramenti oggetto di studio. Non ci sono quindi link di collegamento fra parti diverse dell'edificio.

Uno stato di progetto dovrà provvedere necessariamente al ripristino o alla creazione del corretto ammorsamento tra muri.

## **B) EDIFICIO ESISTENTE CON PARETI ORTOGONALI CORRETTAMENTE AMMORSATE TRA LORO. SOLAI FLESSIBILI.**

E' il caso di edifici dove i paramenti murari sono ben collegati tra loro (o per effetto di un consolidamento agli ammorsamenti d'angolo e alle intersezioni dei muri).



Questi collegamenti 'verticali' (lungo le intersezioni) fra pareti tra loro ortogonali creano già di per sé una 'scatola' muraria, cioè una struttura che ha comportamento spaziale. Nel modello a telaio equivalente, i collegamenti fra i diversi muri sono rappresentati, a livello di impalcato, dai link rigidi.

*Nota.* La presenza di cordoli di ammorsamento dei solai sulle pareti (o comunque di strutture perimetrali, anche in acciaio, che vincolano correttamente il solaio e ne impediscono il movimento indipendente nel corso dell'evento sismico) rafforza questa ipotesi, ma non ha effetto sull'impalcato rigido o meno (questo è determinato dalla configurazione di superficie del solaio stesso: tavolato ligneo, soletta in cls, semplici travi o putrelle in ferro, ecc.). L'effetto dei cordoli perimetrali si esplica soprattutto sulle strutture portanti: p.es. le fasce di piano (che grazie ai cordoli presentano maggiore resistenza alla pressoflessione; in PCM si può inserire un'armatura in estradosso alla striscia, e anche in intradosso se questa si imposta su un'architrave; nel modello di PCM, si propone un comportamento unitario, con un unico elemento orizzontale a sezione composta: ad es. muratura + cls di cordolo); un'altra influenza dei cordoli riguarda le zone rigide in sommità ai maschi murari (comunque in PCM sempre modificabili a piacere).

In questo caso B), il solaio è flessibile: al sistema strutturale non si può assegnare l'indeforabilità rigida dell'impalcato sotto azioni orizzontali; ogni massa vibra localmente (nei nodi sedi di carico). L'analisi modale mostrerà deformazioni compatibili sia con le connessioni d'angolo e di intersezione fra muri, sia con la deformabilità del piano.

**B.1)** I link sono modellati in PCM come incastri perfetti: gli ammorsamenti sono ben realizzati ed efficaci (è questa la situazione più frequente dopo un consolidamento nei confronti dei meccanismi di collasso). Il solaio flessibile mostrerà scostamenti dalla deformazione rigida solo nelle zone delle pareti dove ci sono aperture (travi, fasce) cioè dove effettivamente le masse locali possono vibrare senza rispettare condizioni di legame rigido di piano. E' evidente che se si modella una scatola senza aperture, i link rigidi che simulano la connessione fra le pareti sono già di per sé sufficienti a garantire un'indeforabilità di piano anche nel caso di piani flessibili.

**B.2)** Gli ammorsamenti ci sono, le pareti non possono allontanarsi reciprocamente (e quindi le traslazioni differenziali orizzontali sono impedito), però gli angoli potrebbero 'aprirsi', cioè si potrebbero avere rotazioni differenziali: in questo caso, è sufficiente svincolare la rotazione dei link in corrispondenza dell'angolo. L'ipotesi di piano flessibile evidenzierà come la deformata modale presenta un angolo variato (p.es. a partire da un angolo iniziale di 90°, si ha una diminuzione o un aumento), e quindi si discosta anche per questo aspetto dalla deformazione del piano rigido.

### **C) EDIFICIO ESISTENTE CON PARETI ORTOGONALI CORRETTAMENTE AMMORSATE TRA LORO. SOLAI RIGIDI (QUESTO E' ANCHE IL CASO PIU' FREQUENTE PER GLI EDIFICI NUOVI)**

**C.1)** In questo caso, in PCM vengono in genere considerati link rigidi e solai rigidi: tutte le deformate modali evidenziano il mantenimento degli angoli (rigidità) negli spostamenti orizzontali. Le masse non sono più locali ma vengono concentrate nei nodi master.

### **D) SITUAZIONI INTERMEDIE**

PCM consente l'analisi di tutte le situazioni intermedie possibili:

- alcuni impalcati rigidi (p.es. solai intermedi) e altri no (p.es. copertura flessibile)
- nell'ambito di uno stesso impalcato: zone di solaio rigide e altre flessibili. Si possono modellare in due modi distinti: D.1) piano rigido, ma con alcuni nodi non collegati al nodo master: si avrà quindi una massa baricentrica (nel baricentro dei nodi collegati al master, quindi il baricentro non di tutto l'impalcato ma quello effettivo della parte considerata rigida) + masse locali nei nodi non collegati al master; D.2) piano flessibile, con irrigidimento ottenuto attraverso controventi di solaio: in PCM è possibile definire porzioni di solaio rigide, che automaticamente generano un contorno rigido cioè capace di mantenere la forma sotto azioni orizzontali.

Discutibile è la pretesa (avanzata da altri software) di quantificare in modo preciso una rigidezza di impalcato alle azioni orizzontali (cioè non nulla, come per l'ipotesi di piano flessibile, o infinitamente rigida, come per l'ipotesi di piano rigido): poiché si tratta di un parametro strutturale difficile da definire, nell'incertezza conviene muoversi tra le due ipotesi estreme (assumendo come risultato quello più sfavorevole); eventualmente, quando sia consentito da un assetto strutturale definito attraverso indagini approfondite, nel modello si possono inserire elementi di controvento di solaio (non rigidi) per 'collegare' i contorni della maglia di solaio e contribuire quindi a una minore deformabilità sotto azioni orizzontali. PCM consente queste modellazioni attraverso la definizione di aste di controvento di solaio genericamente definibili dall'Utente (in legno, acciaio, ecc.).

Inoltre, tutte queste funzionalità sono arricchite dal poter considerare ogni massa agente solo in direzione X o solo in direzione Y. Il caso più generale è quello di masse agenti lungo entrambe le direzioni, ma possono esservi situazioni di vincolo e di interferenza di edifici adiacenti che consigliano di modellare masse che si attivano solo in una direzione.

## CONCLUSIONI

Tutto ciò premesso, unito alla assoluta generalità dei vincolamenti esterni ed interni, consente la realizzazione del miglior modello possibile, ovviamente nell'ambito del metodo a telaio equivalente – questo è il metodo adottato da PCM (e consigliato, oltre che dalla Normativa vigente, anche dall'EuroCodice e da numerosi lavori internazionali). Si ribadisce che il metodo di PCM è il **telaio equivalente puro**, senza l'utilizzo (come in altri software) di alcun macroelemento particolare di fronte al quale l'Utente potrebbe non comprendere pienamente il comportamento (soprattutto nelle analisi pushover): in PCM l'Utente ha il pieno controllo delle caratteristiche della struttura attraverso le proprietà di nodi e aste; le aste sono frame (di tipo beam (internamente incastrate), truss (bielle) o con vincolamenti intermedi) ben note come bagaglio culturale ad ogni progettista strutturale, che quindi è perfettamente in grado di adattare PCM al proprio edificio da esaminare e comprendere i risultati.

## ALLEGATI

A titolo esplicativo di quanto sopra illustrato, sono reperibili in [www.aedes.it](http://www.aedes.it) (area Supporto, menu Assistenza-FAQ) i modelli di una scatola muraria senza aperture (Scatola\_Chiusa) e di una con aperture (Scatola\_Con\_Aperture), schematizzati secondo i punti B.1, B.2 e C.1, e con riferimento a due configurazioni murarie:

- una con materiale omogeneo (mattoni pieni), e quindi con perfetta simmetria;
- una con materiali diversi (una parete X e una Y in mattoni pieni, l'altra parete X e l'altra Y in pietrame disordinato – la scelta di materiali nettamente distinti permette di apprezzare gli effetti della dissimmetria).

Per tutti questi esempi, il modello strutturale è stato già generato, e si può eseguire direttamente l'analisi. Consultando i risultati dell'analisi modale, si confrontino periodi, masse partecipanti e deformate per evidenziare l'effetto delle diverse ipotesi.

In particolare, visualizzando le deformate modali si evidenziano le seguenti osservazioni.

- B1: caso di link rigidi:

la scatola chiusa conserva la forma rettangolare grazie ai link anche se il piano è flessibile, questo indipendentemente da materiali omogenei o diversi;

la scatola con aperture conserva gli angoli a 90° ma lungo il parametro si vedono, in corrispondenza delle masse locali determinate dalle aperture, le deformazioni locali che rendono non più rettangolare la deformata;

- B2: caso di link con rotazioni consentite (allargamento o riduzione degli angoli originariamente di 90°):

la scatola chiusa mostra l'effetto del solaio deformabile attraverso la deformazione angolare, e quindi la forma non resta rettangolare neppure nei modi fondamentali traslazionali.

In B1 e B2 nella scatola con aperture, lungo il parametro X (contenente l'apertura) l'effetto del piano flessibile è evidente, mentre gli angoli rispettano la condizione imposta dal vincolamento interno dei link d'angolo (indeformato a 90° nel caso di incastro interno, deformato nel caso di rotazioni consentite);

- C1: piano rigido: sia per la scatola chiusa che per quella con aperture, la deformata modale evidenzia la conservazione della forma rettangolare.