

**Focus tecnico**

# Validazione: come operare in uno studio tecnico

Ing. Danilo Campagna, Ing. Alessandro Aronica\*

Le geometrie che caratterizzano le architetture moderne sono sempre più astratte e conferiscono a molti progetti contemporanei linee accattivanti capaci di attrarre anche l'interesse di un pubblico non propriamente tecnico. Se fino a qualche decennio fa l'architettura ricercava le proprie forme partendo da una concezione tradizionale del costruire, oggi, grazie anche alle moderne tecnologie di cantiere, il limite fisico di un progetto è costituito dal budget a disposizione per realizzare l'opera. Tale circostanza ha permesso agli edifici moderni di superare limiti dimensionali che un secolo fa si ritenevano irraggiungibili. Le forme che caratterizzano questi progetti sono spesso più prossime a quelle di oggetti di design piuttosto che a quelle proprie di edifici; si ritrovano quindi forme fluide caratterizzate ad esempio da geometrie "twistate" o "torte". Queste architetture sono possibili anche grazie all'evoluzione delle tecniche di analisi della moderna ingegneria civile che permettono lo studio dettagliato delle strutture portanti. Grazie anche al recente sviluppo informatico, oggi è possibile, attraverso la tecnica degli elementi finiti, creare modelli analitici che permettono di descrivere numericamente il comportamento statico e dinamico di un edificio complesso.

L'analisi di strutture di grandi dimensioni si caratterizza dunque per un numero di variabili enormemente più grande di quello che gli ingegneri di due o tre generazioni fa dovevano gestire in equivalenti progettazioni. A titolo esemplificativo lo studio di un edificio di 150 m di altezza è caratterizzato da un problema di circa 600'000 incognite tante quanti sono i gradi di libertà del modello ad elementi finiti necessario a rappresentare una strut-

tura di questa grandezza. Questa complessità è legata al fatto che sempre più spesso sono utilizzati elementi di tipo piano (shell elements) o in alcuni casi di tipo solido (brick elements) per modellare parti rilevanti della struttura il cui comportamento statico non è assimilabile a quello di elementi lineari come travi e pilastri. Ciò dipende appunto dal fatto che le geometrie delle architetture da analizzare sono spesso asimmetriche e non riconducibili a schemi statici semplificati. Si possono ritrovare infatti asimmetrie nella disposizione in pianta ed in altezza degli elementi di controvento che condizionano spesso il comportamento dinamico delle strutture portanti. Risulta quindi che la soluzione del problema, dalla quale dipende la stabilità statica e dinamica della struttura, è legata alla determinazione di un numero di incognite molto elevato. La sicurezza che la struttura disponga di una sufficiente resistenza, per equilibrare gli scenari di carico previsti in progetto, dipende dalla soluzione di un problema matematico complesso che il progettista deve saper correttamente impostare, risolvere ed interpretare. Se la matematica non è un'opinione e la soluzione di un problema così impostato dovrebbe essere univoca non è altrettanto scontato che i numeri ottenuti a valle di un'analisi così complessa possano essere presi "come oro colato" e utilizzati per garantire la sicurezza statica associata al problema studiato. Escludendo ragionevolmente l'ipotesi che software di provata affidabilità possano generare calcolazioni errate, è da considerare invece seriamente la possibilità che le idealizzazioni fatte per modellare la struttura e/o i dati di input non siano stati (tutti o in parte) correttamente implementati. Tale possibilità ha quindi un riflesso diretto che condiziona la valenza dei

risultati ottenuti a valle dell'analisi svolta. Per tale ragione la cogente normativa tecnica che disciplina la progettazione delle strutture portanti, quale il decreto 14 Gennaio 2008, al capitolo 10.2 richiede la validazione dei modelli numerici elaborati con l'ausilio di codici di calcolo. Dunque il progettista deve dare evidenza di saper correttamente utilizzare questi moderni strumenti di calcolo definendo quali schemi statici ha adottato nel progetto e come li ha modellati con il software utilizzato. Inoltre l'ingegnere deve saper giustificare i risultati ricavati a valle dell'analisi svolta sapendo interpretare correttamente una grande mole di dati ottenuta nella determinazione delle incognite associate al problema analizzato. Risulta però palese che, quando un problema è caratterizzato da un numero di incognite molto elevato, è complesso poter confermare ogni singolo risultato ottenuto dalla soluzione del problema. Una prima via potrebbe essere quella di rifare tutto il modello numerico con un secondo software di analisi e confrontare i risultati; seppur tale metodo sia molto affidabile risulta essere oggettivamente molto oneroso e poco utilizzato. Appare quindi più sensato saper interpretare i risultati ottenuti scegliendo tra i moltissimi parametri calcolati quelli più significativi che caratterizzano la bontà dell'analisi svolta. Oggi, in particolare, l'analisi dinamica della struttura, svolta per la computazione degli effetti sismici, permette di caratterizzare il comportamento del sistema strutturale. In particolare risulta significativo saper interpretare e confermare i periodi dei primi modi di vibrare ottenuti dall'analisi in frequenza della struttura. Questi parametri, infatti, cumulano due caratteristiche fondamentali del sistema quali la distribuzione delle masse (strutturali e non) e

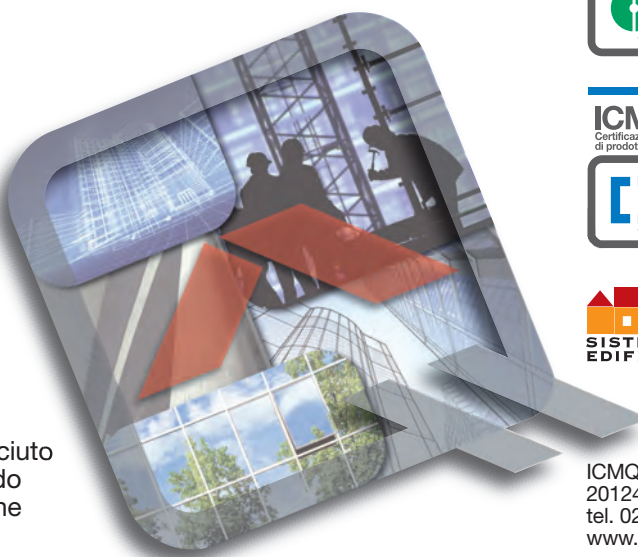


**Certificazioni e controlli  
per le costruzioni**

## Una scelta di eccellenza.

**Con il marchio ICMQ  
dai più valore alla tua azienda  
e ti distingui sul mercato.**

ICMQ, organismo di terza parte indipendente, è riconosciuto come partner competente, rigoroso ed affidabile, in grado di erogare la più ampia gamma dei servizi di certificazione nel mondo delle costruzioni.



ICMQ Spa  
20124 Milano - via Gaetano De Castilia, 10  
tel. 02.7015.081 - fax 02.7015.0854  
www.icmq.org - icmq@icmq.org

www.icmq.org

delle rigidità sul sistema strutturale stesso. Dalla vibratilità dell'edificio dipendono inoltre le forzanti dinamiche risultanti dall'imposizione degli spettri di progetto utilizzati per simulare la sollecitazione sismica. Sempre più spesso i collaudatori statici in corso d'opera, al fine di validare i modelli numerici utilizzati dai progettisti per il dimensionamento e la verifica delle strutture portanti, nelle attività di collaudo confrontano i periodi ottenuti da campagne sperimentali con quelli calcolati numericamente nei modelli ad elementi finiti. Oggi infatti è possibile determinare sperimentalmente le frequenze proprie di un edificio, sollecitato da una forzante indotta (vibrodina) o da una forzante naturale (vento), elaborando con appositi software i dati ottenuti da accelerometri opportunamente posizionati sull'edificio stesso. In alternativa esistono in letteratura dei metodi semplificati, ma spesso accurati, per poter determinare con buona approssimazione i periodi di vibrazione di un sistema strutturale;

questi possono essere così calcolati e confrontati con quelli ottenuti numericamente per poter validare i risultati stessi. Questa attività di analisi critica dei risultati deve quindi essere svolta disponendo di una grande sensibilità nel saper impostare teoricamente il problema e concretizzarlo in modelli ad elementi finiti. L'aumento esponenziale della potenza di calcolo dei nuovi software di analisi deve crescere parallelamente alla sensibilità del professionista che li utilizza, per saper al meglio validare la complessità dell'analisi svolta. Questo processo valorizza quindi l'importanza di una buona formazione accademica che l'ingegnere deve acquisire principalmente nella propria attività universitaria supportata dai fondamentali della scienza delle costruzioni.



\*MSC Associati S.r.l.

**Focus tecnico**

# Validazione e sperimentazione: "connubio" indispensabile!

Ing. Roberto Nascimbene\*

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 Gennaio 2008, e ancora prima dell'Ordinanza 3274-3431, il ruolo dell'analisi strutturale nell'ambito dell'ingegneria sismica è diventato sempre più importante a tal punto da pensare che il progettista non possa essere tale senza l'ausilio di un opportuno strumento di calcolo. Sempre più spesso si riscontra nel mondo professionale la tendenza ad affrontare analisi più o meno complesse "affidandosi" ciecamente al software impiegato e "fidandosi" in maniera incontrollata dei risultati ottenuti.

L'ingegnere strutturista deve ritornare ad essere un utilizzatore consapevole, preparato e critico di procedure numeriche sempre più complesse. Cosa significa "consapevole, preparato e critico?". Capace di compiere scelte, secondo criteri scientifici, nel passare dalla struttura reale, al modello numerico attraverso una opportuna discretizzazione del continuo fino a giungere alla soluzione finale con le relative relazioni di calcolo.

Il tutto è ulteriormente complicato dalla notevole evoluzione che, negli ultimi anni, i metodi di analisi hanno subito nelle norme tecniche: in dettaglio, nell'analisi e verifica sismica si è passati da metodologie lineari statiche (nel materiale e nella geometria solitamente anche bidimensionali) all'uso di modelli, spesso per non dire sempre tridimensionali, altamente non lineari (effetti del secondo ordine, parametri costitutivi di calcestruzzo ed acciaio, grandi deformazioni, ecc.). Inoltre, va aggiunto, ad ulteriore complicazione, che le verifiche di sicurezza su edifici esistenti richiedono di determinare nel modo più accurato possibile la risposta strutturale non solo nei confronti delle azioni in condizione di esercizio, ma anche allo stato limite ultimo.

Tre i passi procedurali che l'ingegnere deve seguire per potersi orientare nel mondo della numerica avanzata:

1. idealizzare la struttura reale da progettare attraverso un modello matematico con un opportuno grado di dettaglio;
2. suddividere il modello matematico costruito in precedenza in elementi finiti;
3. risolvere numericamente il modello discreto, interpretare i risultati e scrivere una relazione di calcolo.

Volendo applicare le fasi appena indicate ad un caso reale, prendiamo la struttura, riportata in figura, e testata sperimentalmente nei laboratori Eucentre su tavola vibrante. Nessun dubbio sul fatto che la prima fase pos-

sa ridursi dicendo che lo schema statico è banalmente quello di una mensola incastrata alla base con una massa concentrata in sommità. Il professionista oppure il ricercatore che nella fase precedente è stato chiamato in causa in merito al passaggio dalla pila in scala reale al modello numerico, ora nella seconda fase deve passare alla discretizzazione e poi al dovuto controllo dei risultati. Deve quindi scegliere il tipo di elemento finito da impiegare (fibra, beam classico), un approccio alle forze oppure agli spostamenti, considerando che la scelta dell'una o dell'altra alternativa non è assolutamente ininfluen-



# midas Gen

il software internazionale adeguato alla normativa italiana

**ACCURATO** midas Gen è la soluzione più accurata per la validazione dei modelli di calcolo strutturale in accordo al capitolo 10.2 dell'NTC08

**COMPLETO** midas Gen è il software specifico per l'analisi e la verifica di strutture di qualunque complessità, in accordo con NTC08 ed Eurocodici

**AFFIDABILE** midas Gen dispone di tutti gli strumenti di controllo specifici per eseguire l'analisi di vulnerabilità sismica di strutture esistenti

**GARANTITO** midas Gen è sviluppato da MIDAS IT, società leader nel settore dei software per l'ingegneria civile e certificata ISO 9001 con un elevato standard di controllo qualità

Nuova Versione 2012

Midas per l'Italia è **cspfea**

via Zuccherificio 5/D 35042 Este (PD)  
Tel: 0429 602404 Fax: 0429 610021  
www.cspfea.net info@cspfea.net

partner **MIDAS** **HARPACEAS**

Viale Richard 1 - 20143 MILANO  
Tel. 02 891741 Fax 02 89151600  
info@harpaceas.it www.harpaceas.it