

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI**

**“FEDERICO II”**



Facoltà di Ingegneria

**CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN  
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO  
(CLASSE DELLE LAUREE SPECIALISTICHE IN INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE 38/S)**

**TESI DI LAUREA**

**VALIDAZIONE DI UN CODICE DI CALCOLO AGLI ELEMENTI  
FINITI**

(Abstract)

Relatori:

Chiar.mo Prof. Ing. Mario Pasquino

Chiar.mo Prof. Ing. Mariano Modano

Candidato:

Angelo Avitabile

matricola

324/163

A.A. 2011/2012

L'evoluzione del quadro normativo nell'ambito dell'ingegneria strutturale segue sempre più approcci probabilistici nei confronti delle azioni variabili e in particolare degli eventi sismici. Tale metodologia comporta la necessità di elaborazioni più complesse per le quali diventa oramai indispensabile l'utilizzo di codici di calcolo in grado di elaborare molte combinazioni di carico. Se da una parte non è più possibile operare senza ricorrere all'utilizzo di calcoli automatici, dall'altra è necessario non rimanere in balia di essi per non perdere la capacità di "progettare" una struttura e non semplicemente di "calcolarla". Il calcolo automatico deve essere un "supporto" e non un "sostituto" all'attività di progettazione, rimane quindi indispensabile un adeguato spirito critico e un'estrema consapevolezza di quanto ottenuto in termini di risultati senza perdere la consapevolezza del fenomeno fisico rispetto all'aspetto numerico.

Nel seguente elaborato di tesi viene evidenziato come un software di calcolo strutturale, leader di mercato nel settore dell'Ingegneria Civile, commetta delle imprecisioni anzi dei veri e propri errori nelle fasi di calcolo. Tale aspetto, a dir poco preoccupante, è stato rilevato durante una serie di studi su svariati modelli di calcolo che non restituivano soluzioni coerenti con i risultati attesi. Quindi, per testare e validare i risultati di tali elaborazioni automatiche sono stati appositamente studiati cinque schemi di travi piane ad asse rettilineo, per i quali sono note le soluzioni teoriche. Tali strutture sono state sottoposte tutte alla stessa condizione di carico, ossia ad una variazione lineare della temperatura lungo l'altezza della sezione trasversale (distorsione termica alla *Navier*). Sono state individuate le caratteristiche delle sollecitazioni interne ed è stata poi condotta un'analisi degli spostamenti. Sono state, quindi, calcolate le funzioni taglio, momento flettente, rotazione e spostamento verticale.

I risultati sono stati ottenuti sia attraverso l'approccio teorico sia mediante l'utilizzo del codice di calcolo da testare sia con un ulteriore codice di calcolo anch'esso leader mondiale nel settore della progettazione strutturali. Tali software sono stati identificati con gli acronimi COD1 e COD2. Il calcolo automatico è stato effettuato sia nel campo monodimensionale attraverso l'utilizzo dell'elemento *beam*, che nel campo bidimensionale attraverso l'utilizzo dell'elemento *shell*.

Dall'analisi dei risultati è stato riscontrato che, nel campo monodimensionale, il codice di calcolo COD2 fornisce delle deformate errate non coincidenti né con quelle calcolate manualmente (metodo della linea elastica) né con quelle ricavate automaticamente mediante l'utilizzo del software COD1 (che invece fornisce soluzioni corrette).

Invece, per quanto riguarda l'analisi delle caratteristiche delle sollecitazioni interne, i risultati sia grafici che numerici, forniti da entrambi i programmi (in particolare dal COD2), non sono affetti da errori.

Una volta individuato il problema, è stata proposta anche la soluzione analitica al problema riscontrato. Si premette che il metodo degli elementi finiti si basa su un concetto fondamentale che è quello di discretizzare la struttura e di descrivere lo stato di deformazione di un sistema continuo mediante funzioni di spostamento o funzioni di forma, definite in piccole regioni (dette appunto elementi finiti) del "continuum". In quest'ottica le soluzioni sono formulate per ciascun elemento e combinate per ottenere la soluzione della struttura originale. In altre parole gli spostamenti lungo ciascun elemento sono legati agli spostamenti nodali attraverso delle opportune funzioni dette di "forma", che solitamente sono di tipo polinomiale. Sulla base di tale osservazione il successivo passo logico effettuato è stato quello di modellare ciascuna trave, non più utilizzando un solo *elemento finito*, ma adottando cinque *elementi finiti*.

Dal confronto dei risultati si evince che il software COD2 fornisce la soluzione esatta in termini di spostamenti verticali soltanto in corrispondenza dei nodi, mentre lungo ciascuno *elemento finito* fornisce una soluzione completamente errata. In termini analitici, questo vuol dire che il software commette un errore nel correlare il campo degli spostamenti dell'elemento e quello degli spostamenti nodali. Ciò significa che le cosiddette "funzioni di forma", utilizzate dal programma, non sono corrette. Approfondendo l'analisi dei risultati quindi è emerso che l'errore di elaborazione, commesso dal programma, è dovuto all'utilizzo di una errata funzione spostamento  $v(z)$  in fase di assemblaggio della struttura.

In conclusione il lavoro sviluppato ha messo in evidenza che un software di calcolo strutturale definito all' "avanguardia" e commercializzato in tutto il mondo, commetta questi preoccupanti errori, ma stupisce ancor di più che tra le migliaia di utenti in tutto il mondo, nessuno abbia individuato tale problema e l'abbia comunicato all'azienda.

Questo aspetto evidenzia come l'evoluzione normativa, pur essendo concettualmente corretta, porta alla necessità di utilizzo di software che alle volte innesca un approccio molto superficiale alla progettazione in quanto l'enorme mole di numeri da gestire spesso fa perdere il senso fisico del problema da studiare.

Se è vero che gli strumenti di calcolo consentono sempre di più una "calibrazione" estremamente accurata dei modelli ed una raffinatezza estrema nel calcolo, è anche vero che sono aumentati a dismisura i parametri da dover considerare nelle elaborazioni, e questo comporta il rischio di sentirsi impreparati o comunque non in grado di tenere sotto controllo tutto il percorso di calcolo e quindi di affidarci in maniera "acritica" al risultato del programma. Sarebbe quindi auspicabile che le norme tecniche per le costruzioni cambiassero totalmente approccio e piuttosto che *"obbligare all'esecuzione del calcolo automatico richiedendo qualche verifica con modelli teorici"* dovrebbero chiedere di eseguire *"il calcolo strutturale mediante modelli teorici (manualmente) e di controllarli mediante un software"*.

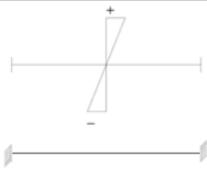
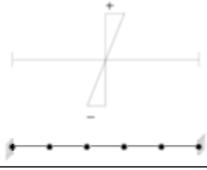
MODELLO	DEFORMATA		
	TEORICA	COD1	COD2
<b>Dominio 1D (1 elemento <i>beam</i>)</b>			
			
<b>Dominio 1D (5 elementi <i>beams</i>)</b>			
			
<b>Dominio 2D (320 elementi <i>shells</i>)</b>			
			

Tabella 1 – Trave incastrata-incastrata.

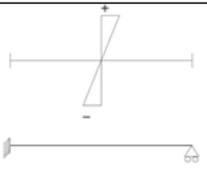
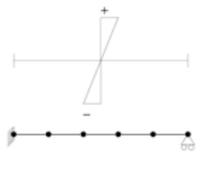
MODELLO	DEFORMATA		
	TEORICA	COD1	COD2
<b>Dominio 1D (1 elemento <i>beam</i>)</b>			
			
<b>Dominio 1D (5 elementi <i>beams</i>)</b>			
			
<b>Dominio 2D (320 elementi <i>shells</i>)</b>			
			

Tabella 2 – Trave incastrata-appoggiata.

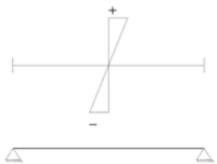
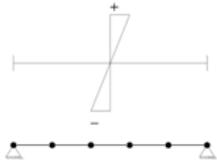
MODELLO	DEFORMATA		
	TEORICA	COD1	COD2
<b>Dominio 1D (1 elemento <i>beam</i>)</b>			
			
<b>Dominio 1D (5 elementi <i>beams</i>)</b>			
			
<b>Dominio 2D (320 elementi <i>shells</i>)</b>			
			

Tabella 3 – Trave appoggiata-appoggiata.

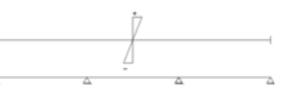
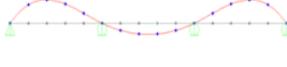
MODELLO	DEFORMATA		
	TEORICA	COD1	COD2
<b>Dominio 1D (3 elementi <i>beams</i>)</b>			
			
<b>Dominio 1D (15 elementi <i>beams</i>)</b>			
			
<b>Dominio 2D (960 elementi <i>shells</i>)</b>			
			

Tabella 4 - Trave continua (1).

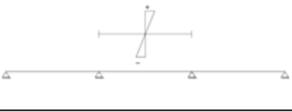
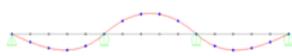
MODELLO	DEFORMATA		
	TEORICA	COD1	COD2
<b>Dominio 1D (3 elementi <i>beams</i>)</b>			
			
<b>Dominio 1D (15 elementi <i>beams</i>)</b>			
			
<b>Dominio 2D (960 elementi <i>shells</i>)</b>			
			

Tabella 5 – Trave continua (2).