

Aldo Cauvin, Giuseppe Stagnitto

COMPLEMENTI DI TECNICA DELLE COSTRUZIONI

Introduzione al volume

INDICE DELL'INTRODUZIONE

Contenuto del volume

Argomento del volume: la *razionale* modellazione strutturale

Presentazione della prima parte del volume

Presentazione della seconda parte del volume

Presentazione della terza parte del volume

Il valore delle sintesi

Contenuto del volume

Per comodità del lettore, raccogliamo in questo volume - che abbiamo denominato *COMPLEMENTI DI TECNICA DELLE COSTRUZIONI* - il contenuto dei seguenti dieci rapporti didattici:

UTILIZZO DEL METODO DEGLI ELEMENTI FINITI IN CAMPO STATICO E DINAMICO

R.D. 08/94 *Introduzione all'uso del metodo degli elementi finiti nella progettazione*

R.D. 01/98 *Analisi dinamica mediante elementi finiti*

R.D. 03/02 *Elementi finiti: concetti, classificazione, criteri di scelta*

MODELLAZIONE DI STRUTTURE METALLICHE, IN CALCESTRUZZO. E IN MURATURA

R.D. 04/02 *Introduzione all'analisi non lineare e modellazione di strutture metalliche*

R.D. 05/02 *Leggi costitutive del calcestruzzo strutturale*

R.D. 06/02 *Modellazione mediante elementi finiti delle strutture in C.A. e C.A.P.*

R.D. 07/02 *Modellazione mediante elementi finiti delle strutture in muratura*

PROCEDIMENTI ANALITICI, NUMERICI E VARIAZIONALI NEL CALCOLO STRUTTURALE

R.D. 08/02 *Tecniche numeriche per la soluzione di sistemi lineari*

R.D. 09/02 *Confronto tra metodi analitici e metodi numerici*

R.D. 10/02 *L'ottimizzazione strutturale*

Chiariamo che questi rapporti sono tra loro correlati, in quanto sviluppano un corso sulla modellazione strutturale didatticamente articolato secondo i seguenti **quattordici argomenti**:

- Arg. 1: Fondamenti del metodo degli elementi finiti
- Arg. 2: L'architettura di un programma ad elementi finiti
- Arg. 3: Analisi dinamica mediante elementi finiti
- Arg. 4: Classificazione degli elementi finiti
- Arg. 5: Strategie d'uso del metodo degli elementi finiti
- Arg. 6: Introduzione all'analisi non lineare
- Arg. 7: Non linearità geometrica, instabilità elastica e strutture metalliche
- Arg. 8: Generalità sul comportamento del calcestruzzo strutturale: leggi costitutive
- Arg. 9: Modellazione mediante elementi finiti delle strutture in c.a. e c.a.p.
- Arg. 10: Modellazione mediante elementi finiti delle strutture in muratura
- Arg. 11: Problemi specifici delle strutture storiche
- Arg. 12: Tecniche numeriche per la soluzione di sistemi lineari
- Arg. 13: Confronto tra metodi analitici e metodi numerici
- Arg. 14: Introduzione all'ottimizzazione strutturale

I 14 argomenti sono stati sviluppati nelle dieci pubblicazioni qui raccolte secondo il seguente schema:

- Arg. 1,2: R.D. 08/94 *Introduzione all'uso del metodo degli elementi finiti nella progettazione*
- Arg. 3 R.D. 01/98 *Analisi dinamica mediante elementi finiti*
- Arg. 4,5 R.D. 03/02 *Elementi finiti: concetti, classificazione, criteri di scelta*
- Arg. 6,7 R.D.04/02 *Introduzione all'analisi non lineare e modellazione di strutture metalliche*
- Arg. 8 R.D. 05/02 *Leggi costitutive del calcestruzzo strutturale*
- Arg. 9 R.D. 06/02 *Modellazione mediante elementi finiti delle strutture in c.a. e c.a.p.*
- Arg. 10,11 R.D. 07/02 *Modellazione mediante elementi finiti delle strutture in muratura*
- Arg. 12 R.D. 08/02 *Tecniche numeriche per la soluzione di sistemi lineari*
- Arg. 13 R.D. 09/02 *Confronto tra metodi analitici e metodi numerici*
- Arg. 14 R.D. 10/02 *L'ottimizzazione strutturale*

Argomento del volume: la razionale modellazione strutturale

Il volume – il cui argomento fondamentale è la **razionalizzazione delle scelte nel processo di modellazione strutturale** - può essere concepito come un naturale *complemento* al testo che raccoglie le lezioni di *Tecnica delle Costruzioni (Tecnica delle costruzioni – Lezioni di A. Cauvin e G. Stagnitto, a cura di E. Paoli)*.

Nelle lezioni di *Tecnica delle Costruzioni* è stata sviluppata, in dettaglio, l'analisi matriciale delle strutture, limitatamente al caso di telai piani; nel presente volume, si mostra l'estensione del metodo a casi più complessi.

L'utilizzo del metodo degli elementi finiti – come è stato illustrato nel testo delle lezioni – può, in alcuni casi capovolgere il tradizionale procedimento di analisi strutturale: a questo proposito, il progettista moderno dovrebbe attentamente considerare la convenienza di seguire quella metodologia di modellazione che abbiamo denominato *inversione del processo di schematizzazione* (rimandiamo, per questi argomenti, alle prime lezioni del corso ove l'argomento è sviluppato e sono introdotti i concetti di modellazioni *decompositiva* e *globale*, mostrando i vantaggi dell'uso del computer e le possibilità nuove che esso offre nella *composizione strutturale*).

Presentazione della prima parte del volume

Nei primi tre rapporti didattici ci si è sforzati di mettere in evidenza alcuni elementi di estrema importanza per un corretto utilizzo del metodo degli elementi finiti.

Questi elementi, riguardanti la filosofia d'impiego e la critica razionale dei risultati, non sono di norma adeguatamente considerati nei manuali d'uso dei programmi, che sono rivolti, essenzialmente, alle particolarità di utilizzo di uno specifico sistema.

Queste considerazioni non trovano neppure posto nei testi che descrivono il metodo degli elementi finiti, i quali si soffermano in particolare sugli sviluppi teorici ed analitici del procedimento.

Il complesso delle tre pubblicazioni raccolte descrive quindi gli aspetti concettuali del metodo, sia in campo statico sia in campo dinamico, senza la preoccupazione di dettagli analitici, ma

cercando invece di chiarire le caratteristiche fondamentali, presentando numerosi esempi elementari.

In particolare, il capitolo sull'analisi dinamica riporta esempi numerici che possono servire allo studente per verificare la comprensione dei metodi ed il corretto utilizzo del proprio programma ad elementi finiti.

Per maggiore chiarezza didattica, si è fatto anche uso di una serie di grafici in guisa di sequenza di fotogrammi cinematografici (allo stesso passo temporale di 4 centesimi di secondo) delle oscillazioni di una struttura elementare.

Presentazione della seconda parte del volume

La seconda parte del volume - costituita dalle successive quattro pubblicazioni - affronta più direttamente il problema della modellazione strutturale secondo le specifiche caratteristiche dei materiali utilizzati nelle costruzioni (acciaio, calcestruzzo, laterizio).

Sono illustrate le strategie generali d'uso dei programmi ad elementi finiti che, per cogliere realisticamente il comportamento strutturale, devono essere sviluppati applicando le cosiddette tecniche di **analisi non lineare**.

Tramite queste tecniche è possibile tener conto sia della non linearità delle leggi costitutive dei materiali, sia della non linearità dovuta alle deformazioni subite dalla struttura (non linearità geometrica e instabilità).

Nella pratica progettuale si giunge, in molti casi, a concepire costruzioni per le quali l'usuale ipotesi di piccoli spostamenti - sotto i carichi che la struttura deve sopportare - non può più ritenersi accettabile.

Come noto, sono soprattutto le **strutture metalliche** a ricadere in questa situazione perché in esse lo spessore è solitamente ridotto e di conseguenza la *snellezza* degli elementi è elevata: il fenomeno deve essere allora indagato con la *teoria del secondo ordine*.

In altri casi, il meccanismo di collasso deriva dall'elevata duttilità del materiale: essa rende legittima quell'analisi non lineare ultra semplificata che viene denominata calcolo rigido-plastico: l'interazione tra i due fenomeni (plasticizzazione ed effetti del secondo ordine) può essere colta solo con un calcolo elasto-plastico incrementale agli elementi finiti.

Il comportamento del **calcestruzzo armato**, a causa della limitata resistenza a trazione del calcestruzzo, con conseguente fessurazione delle zone tese, e della complessa interazione fra i materiali componenti, è particolarmente difficile da simulare.

Sono state illustrate alcune tecniche non lineari semplificate per affrontare questo problema, con accenni a tecniche più avanzate.

Nei rapporti didattici è illustrato il metodo – ideato dal Prof. Cauvin – che consente di simulare il comportamento a flessione di un elemento monodimensionale fessurato con modellazione del fenomeno di *tension stiffening* mediante un' area fittizia di acciaio.

Come è stato chiarito nelle pubblicazioni, costituisce esempio di analisi non lineari semplificate – preziose in ambito progettuale – l'utilizzo di elementi monodimensionali per simulare il comportamento di piastre e lastre in cemento armato.

Parimenti difficile da simulare è il comportamento delle **strutture murarie** degli edifici storici, soprattutto a motivo:

- della complessità strutturale di tali edifici;
- del comportamento altamente disomogeneo e anisotropo delle murature;
- della limitata conoscenza delle vicissitudini subite dalla struttura stessa nei secoli.

La verifica di strutture murarie, quali archi e volte, dovrebbe, a rigore, essere eseguita applicando complessi programmi ad elementi finiti di analisi non lineare elasto-plastico incrementale.

I rapporti didattici chiariscono i limiti di calcoli eseguiti:

- con procedimenti agli elementi finiti (in analisi lineare elastica) il cui utilizzo, potrebbe mascherare la circostanza che la soluzione trovata rappresenta uno solo degli infiniti stati di equilibrio;
- con procedimenti di calcolo rigido-plastico, validi solo se la costruzione è limitatamente deformabile, i quali non colgono il comportamento della struttura in condizioni di esercizio;
- con procedimenti fondati sul solo equilibrio come i classici metodi della statica grafica, che possono cogliere solo situazioni estreme delimitando così il dominio delle soluzioni possibili.

I rapporti didattici mostrano che, in generale, il metodo degli elementi finiti è insostituibile per affrontare tali problemi, ma va utilizzato con estremo buon senso, ed in parallelo agli altri metodi, per ottenere, per lo meno, i limiti entro i quali il regime statico della struttura può ragionevolmente ritenersi compreso.

Presentazione della terza parte del volume

La terza parte del volume, costituita dalle ultime tre pubblicazioni, presenta argomenti di carattere matematico più elevato.

Nel primo rapporto didattico, sono confrontati i procedimenti per risolvere i sistemi lineari con metodi di fattorizzazione e con metodi iterativi (di cui è data l'interpretazione fisica); la soluzione elastica è anche ricercata quale minimo energetico.

Sono mostrati i vantaggi dell'utilizzo delle cosiddette tecniche di *calcolo parallelo* con esempi sempre condotti sino al dettaglio numerico.

Nel secondo rapporto didattico sono confrontati metodi analitici e metodi numerici, come quelli tradizionali fondati sulle differenze finite.

L'ultimo rapporto didattico introduce ai procedimenti di calcolo variazionale, con applicazione degli stessi al tema dell'ottimizzazione strutturale, presentando anche alcuni risultati tratti dalle memorie del Prof. Carlo Cinquini.

Il valore delle sintesi

I temi trattati nel volume sono, ovviamente, complessi e meriterebbero tutti maggiore sviluppo: tuttavia, oggi soprattutto, non è la mancanza di informazioni che dovrebbe preoccupare ma, al contrario, la difficoltà di operarne una sintesi.

Se un pregio può essere rintracciato nella presente raccolta di lezioni, crediamo debba essere individuato in questo sforzo di sintetico chiarimento.

Il fine è quello di non disperdere l'energia dello studente, così che l'attenzione possa dirigersi subito su ciò che è essenziale: il segreto del metodo – insegnava Cartesio – è la scelta dell'obiettivo su cui dirigere la *punta della mente*, l' *acies mentis*.

Su questo *punto* possa egli esercitare la propria, preziosa ed insostituibile, meditazione personale!

Pavia, ottobre 2002

Prof. Ing. Aldo Cauvin

Prof. Ing. Giuseppe Stagnitto

Nota: Alcune delle pubblicazioni qui raccolte costituiscono le dispense di corsi di perfezionamento per Ingegneri tenute dagli autori, presso la SUPSI di Lugano