

[Supporto](#)>[Articoli](#)> **Titolo**

**Articolo tratto dal Sole 24 ore – Eventi speciali Nord Est- Novembre 2006**  
**SOFTWARE AVANZATI PER LA VALUTAZIONE E LA PROTEZIONE**  
**SISMICA**

I primi software per l'analisi di strutture con il metodo agli elementi finiti hanno fatto la loro comparsa sul finire degli anni cinquanta. In particolare in quegli anni si distingueva il gruppo dell'università di Berkeley specializzato nelle strutture di tipo civile e capeggiato dai professori Wilson e Bathe. Questo gruppo ha dato origine alla serie dei primi programmi SAP. In particolare: Sap, Solid Sap, Sap 3, Sap IV, e i vari sviluppi successivi.

Da notare che il nome SAP, acronimo di Structural Analysis Program, in inglese significa anche saccante o sapatello: in altre parole idiota sapiente. Con il nome stesso del programma si voleva ricordare che, per quanto potente, si tratta solo di uno strumento e che in realtà quello che conta è l'intelligenza dell'utilizzatore.

Fino ai primi anni ottanta l'analisi agli elementi finiti è rimasta appannaggio delle università e di alcune grosse organizzazioni capaci di sostenere gli alti costi in termine di Computer Time, tipici dell'epoca.

A partire dal 1984, con la comparsa sul mercato dei primi Personal Computer l'utilizzo di programmi agli elementi finiti si è aperto anche agli studi professionali. Questo utilizzo nei primi tempi un po' timido, si è progressivamente diffuso in misura sempre più prepotente, tanto che oggi è quasi impensabile affrontare la progettazione di una struttura civile senza l'ausilio di un programma FEM.

Il primo programma di analisi agli elementi finiti per uso civile utilizzabile su PC è stato SAP80, di ormai mitica memoria. Si trattava di un programma completamente riscritto dal prof. Edward Wilson in modo da far rientrare nelle limitatissime risorse dei PC di allora quello che precedentemente era un software pensato per computer "main frame". Di concerto con il sempre crescente sviluppo dell'hardware, SAP 80 si è a sua volta evoluto nelle versioni SAP90 ed oggi SAP2000.

Essendosi create le condizioni per l'utilizzo commerciale di questi programmi, è nata a questo scopo nei primi anni ottanta la CSI, una azienda privata di Berkeley, facente capo ai professori Wilson e Habibullah. A SAP si sono affiancati, sempre ad opera della CSI altri programmi FEM di tipo dedicato ad alcune tipologie strutturali specifiche. Tra essi il notissimo programma ETABS, specializzato nell'analisi e la progettazione di edifici. Ricordiamo, tra molti esempi, le Petronia Towers, in Malesia, e qui a Milano, il recente progetto della Torre per la Regione Lombardia, ad opera dello studio Thornton Tomasetti di New York.

## ANALISI LINEARE

Per tutti gli anni 80 e 90 le **analisi eseguite da questi programmi erano** di tipo essenzialmente lineare: in altre parole le forze esterne e la risposta della struttura si mantenevano in una proporzione costante.

Questo tipo di analisi affronta e risolve correttamente il comportamento delle strutture in fase di esercizio. E' adatta allo scopo e fino ad oggi ha perfettamente soddisfatto le esigenze professionali degli ingegneri. Le strutture progettate con questo metodo sono davanti ai nostri occhi e hanno dato e continuano a dare ottima prova di sé.

Il limite di questo tipo di analisi **tuttavia** è che il metodo permette, sì, di produrre strutture corrette, ma non consente di effettuare alcuna valutazione di merito su di esse. Questo limite è avvertibile soprattutto nel caso di progettazione antisismica.

Per rendere la cosa più comprensibile ai non addetti ai lavori ricordiamo i passi attraverso cui si **estrinseca una progettazione di tipo tradizionale**:

1. In prima battuta e sulla base delle esigenze d'uso, architettoniche e ambientali, viene definita la geometria del manufatto.
2. Applicando la normativa (i vari codici o norme di calcolo definiti per legge), vengono poi **definite le forze esterne** (azioni) cui il manufatto deve essere in grado di resistere.
3. Il progettista, servendosi di buon senso ed esperienza, esegue un predimensionamento della struttura.
4. La struttura, con quelle dimensioni e con quelle forze esterne, viene modellata e sottoposta ad analisi con un programma FEM. Il risultato consiste in un dettagliato **elenco delle forze interne (sollecitazioni)** che interessano i vari elementi strutturali.
5. Queste sollecitazioni vengono a loro volta confrontate con la resistenza attribuita a ciascun elemento sulla base di varie disposizioni normative. **Se il confronto** (verifica) è positivo la progettazione è conclusa.
6. Nel caso alcuni elementi non soddisfino alla verifica di cui al punto 5, essi vengono rinforzati e la procedura riprende dal punto 4.

E' chiaro che un procedimento come quello appena descritto produce sicuramente una struttura adeguata, ma non necessariamente "la migliore possibile". La maggiore o minore bontà della stessa dipende unicamente dal buonsenso esercitato dal progettista in fase di predimensionamento (punto 3). Non dipende in alcun modo dagli strumenti stessi messi a disposizione dal software.

## ANALISI NON LINEARE

Analisi non lineare significa spingere l'analisi della struttura in una fase nella quale la risposta non è più proporzionale alla sollecitazione. In pratica in una fase in cui la struttura è ormai danneggiata. Si tratta di una analisi estremamente complessa e onerosa dal punto di vista del calcolo e della comprensione dei risultati. Anche se queste metodologie sono note già da tempo, è solo da pochissimi anni che l'evoluzione del software e capacità dei computer ne hanno reso possibile l'utilizzo professionale.

## PERFORMANCE ASSESSMENT

Grazie all'analisi non lineare il software per l'ingegneria strutturale è ora finalmente in grado di fornire all'ingegnere dei parametri di valutazione sull'effettiva maggiore o minore bontà di una soluzione strutturale.

Performance assessment, appunto.

Per comportamento strutturale si intende qui essenzialmente il comportamento in una fase successiva al danneggiamento iniziale della struttura, e da qui fino al momento del collasso vero e proprio.

Se è vero che con l'analisi lineare era possibile garantire che tutte le strutture arrivassero a sopportare senza danni un certo livello di forze esterne, ora, con l'analisi non lineare, è possibile andare oltre e vedere che cosa succede a quelle medesime strutture quando quel livello di forze viene superato. Si viene così a scoprire che alcune di queste strutture si comportano meglio di altre e resistono più a lungo prima di raggiungere il collasso.

In questa ottica il metodo mette a disposizione del progettista tutta una serie di parametri atti a misurare la qualità del progetto sulla base del comportamento della struttura in campo non lineare. Tende a produrre una struttura non solo sufficientemente sicura, ma (negli intenti) la migliore possibile.

Nel passato la progettazione consisteva essenzialmente nel calcolare le sollecitazioni di una struttura e nel verificare che esse non superassero i limiti stabiliti dalle norme. A questo scopo ci si serviva essenzialmente di una analisi di tipo lineare statico o dinamico. Gli effettivi spostamenti di una struttura sottoposta ad un evento sismico e quindi in realtà in campo non lineare, venivano solo dedotti in modo empirico.

Oggi ci si occupa non più solamente di sollecitazioni, ma anche delle effettive deformazioni e degli spostamenti laterali sostenuti da una struttura nel corso di un evento non lineare.

Per una valutazione dei risultati si stanno diffondendo i concetti **di domanda, capacità e del loro rapporto**: Demand Capacity Ratio. La domanda è costituita dalle sollecitazioni, dalle deformazioni e dagli **spostamenti laterali di una struttura** sottoposta ad azione sismica definita da normativa. La capacità è costituita dalla adeguatezza della struttura a sopportare dette forze e deformazioni ed anch'essa deve essere definita dalla normativa.

Le attuali normative ci forniscono parametri precisi per quanto riguarda la valutazione della capacità di resistere alle forze: non si tratta di altro che della resistenza al limite ultimo di una sezione od altro elemento strutturale. Ci forniscono anche la capacità e cioè i limiti che non devono essere superati **dagli spostamenti laterali**. Poco ci dicono sulla capacità delle strutture a resistere alle deformazioni. In questo senso molto spazio è lasciato a future ricerche e evoluzioni. Questo almeno per quanto riguarda l'Italia.

Fortunatamente esistono estesi studi americani e precisamente i codici FEMA e ATC che permettono di definire in modo abbastanza preciso le capacità di deformazione di elementi strutturali sia in acciaio che in cemento armato. Questi codici in tempi molto brevi dovrebbero diventare norma negli **Stati Uniti. Intempi** molto più lunghi dovrebbero essere assorbiti anche dalle norme Europee e Italiane.

## PERFORM 3D

La CSI è entrata nel campo della non linearità già dalla fine degli anni 90 con il metodo FNA sviluppato da Wilson in modo estremamente innovativo e capace di consentire queste analisi complesse anche su PC.

In seguito si è passati all'analisi non lineare statica (push over) e alla vera e propria analisi non lineare dinamica per integrazione diretta. Tutti questi metodi sono stati via via implementati sia nel programma SAP2000 che in ETABS.

Da ultimo, e parliamo di pochi mesi fa, grazie all'associazione con Graham Powell, professore emerito dell'Università di Berkeley, è nato il programma PERFORM 3D. Si tratta di un programma espressamente dedicato alle nuove tecnologie e cioè al performance assessment di strutture civili nel campo dell'analisi statica e dinamica non lineare e sicuramente rappresenta la punta più avanzata della ricerca in questo settore.

**Perform 3D è alla sua quarta versione nella forma attuale.** Nel corso dei prossimi mesi questo programma, oggi autonomo, verrà perfettamente integrato all'interno programmi SAP e ETABS di cui costituisce il naturale complemento evolutivo.

E' dotato dei più sofisticati dispositivi di modellazione **strutturale in acciaio e c.a. per travi, pilastri** e setti non lineari utilizzando sia i metodi FEMA e ATC che i più generali modelli non lineari a fibre. **Include inoltre isolatori sismici dei tipi più svariati. Fornisce metodi efficaci per valutare il comportamento (performance) della struttura sulla base del rapporto domanda/capacità di un gran numero di stati limite definiti in modo semplice e compatto direttamente dall'utente.**

