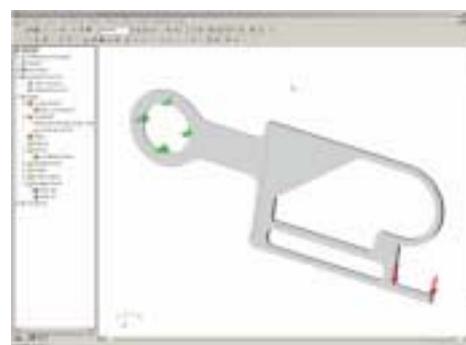


RAMESH RAMALINGAM
DIEGO REDAELLI

ANALISI AGLI ELEMENTI FINITI NON LINEARI

Programmi FEA come COSMOSDesignSTAR sono in grado di gestire e simulare situazioni reali applicando forze e pressioni con piccoli incrementi e aggiornando la geometria e la rigidità del modello ad ogni variazione. Esempio di analisi non lineare su un semplice connettore elettrico



Analisi statica lineare. Condizioni al contorno, il connettore è vincolato in corrispondenza del foro e caricato con una forza pari a 0,5 N all'estremità.

La maggior parte dei problemi reali contiene effetti di tipo non lineare; infatti se prendiamo ad esempio un fermaglio per fogli e lo schiacciamo con sufficiente forza notiamo che il fermaglio manterrà una nuova forma. Per descrivere questo fenomeno con altre parole possiamo affermare che il fermaglio ha subito una deformazione permanente che è un comportamento non lineare. Un trampolino da piscina ci offre un altro esempio. Quando nessuno è sulla pedana esso è orizzontale, quando una persona sale e si posiziona all'estremità notiamo che la pedana si piega con un angolo dipendente dal peso della persona stessa. L'evidente cambiamento di forma provoca una variazione della rigidità della tavola e per seguire questo comportamento è richiesta un'analisi con non li-

nearità geometrica. Un serbatoio sottoposto a un'elevata pressione interna subendo un cambiamento di forma considerevole richiede un'analisi non lineare. In questo caso la pressione agisce normalmente alle pareti: di conseguenza è importante considerarne anche la variazione della direzione del carico dovuta alla deformazione. Un'analisi realistica richiederà quindi un approccio non lineare non conservativo. L'analisi lineare di questa situazione assumerebbe che la rigidità del contenitore e la direzione della pressione siano basate sulla geometria iniziale del serbatoio, è evidente che questo tipo di analisi non considera l'effettiva situazione geometrica. Programmi FEA come COSMOSDesignSTAR sono in grado di gestire e simulare situazioni reali applicando forze e pressioni con piccoli incrementi ed aggiornando la geometria e la rigidità del modello ad ogni variazione.

ANALISI STATICHE LINEARI E NON LINEARI

In un'analisi statica lineare si assume che gli spostamenti indotti siano piccoli, che le variazioni delle rigidità strutturali causate dai carichi siano trascurabili e che la direzione e l'intensità dei carichi non cambino mentre la struttura si deforma. Inoltre si assume valido un andamento lineare fra carichi e spostamenti (risposta indotta). Per esempio se si raddoppia il carico, la risposta del modello (spostamenti, deformazioni e sollecitazioni) raddoppia a sua volta. Queste assunzioni semplificate possono essere accettabili in diversi casi ma in alcuni problemi è necessario un approccio diverso. In generale un problema richiede un'analisi di tipo non lineare se il modello prevede:

- Non linearità geometriche. Condizione derivante da modelli con gran-

di spostamenti e rotazioni, deformazioni o loro combinazioni come ad esempio nel processo di forgiatura dei metalli.

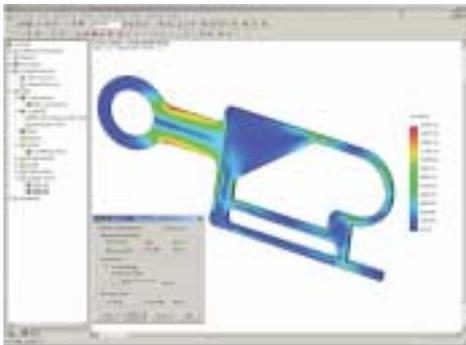
-Non linearità dei materiali. Gomme e materiali iper-elastici sono tipicamente non lineari ma altri esempi includono anche metalli che possono manifestare un comportamento non lineare.

Il comportamento non lineare può derivare dal fatto che la relazione fra stress e deformazioni del materiale dipende dalla storia di carico (come nei problemi di plasticità), dalla lunga durata (analisi di creep) e dall'in-

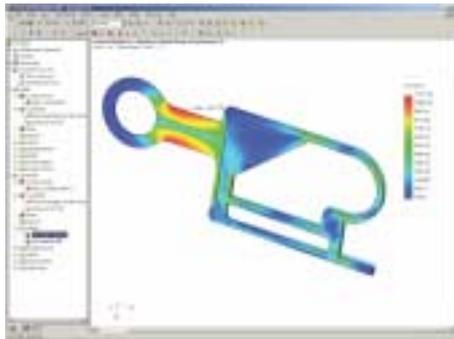
fluenza della temperatura (analisi termo-plastiche).

-Non linearità per contatto. Si verificano quando le condizioni al contorno cambiano a causa dei carichi applicati.

Esempi tipici possono essere il contatto fra i denti di un ingranaggio e un collegamento fra vite e madre-vite. Spesso i progettisti tendono a non



Analisi statica lineare. Andamento dello stress secondo von Mises mostra un massimo pari a 112 MPa contro un limite di snervamento del materiale pari a 55 MPa. Questa condizione indica che è necessario risolvere il problema con un approccio non lineare.



Analisi non lineare. Andamento dello stress secondo von Mises mostra un massimo pari ad 80 MPa. Le condizioni di carico e vincolo sono le stesse dell'analisi statica lineare.

considerare il comportamento non lineare perché ritengono questo approccio difficile, costoso e con lunghi tempi di calcolo. Effettivamente queste considerazioni erano vere prima dell'introduzione dei processori veloci e dei software FEA avanzati.

ANALISI NON LINEARI SU CONNETTORE ELETTRICO

La seguente discussione descrive un'analisi per un semplice connettore elettrico e dimostra la semplicità e le capacità di un moderno efficiente software non lineare come COSMOSDesignSTAR Non Linear.

Il connettore deve essere abbastanza robusto da non flettersi e toccare le parti adiacenti ed è necessaria un'analisi statica lineare preliminare per esaminare i valori delle deformazioni e degli stress. L'analisi non lineare deve essere eseguita se la flessione risulterà consistente o lo stato di tensione maggiore del limite di snervamento.



Analisi non lineare. Stress residuo pari a 32 MPa, il carico è applicato in 25 step e poi rimosso.

SPECIFICAMENTE PER METODOLOGIA FEA

COSMOSDesignSTAR è una suite di programmi per analisi agli elementi finiti pensata e sviluppata per utenti con diverse conoscenze nell'ambito della metodologia FEA. Operatori esperti e progettisti possono così utilizzare uno strumento dotato di un'interfaccia particolarmente facile e con caratteristiche di analisi evolute.

Con la suite COSMOS sono realizzabili le seguenti simulazioni:

- statiche per il calcolo di sollecitazioni e deformazioni,
- dinamiche base con estrazione dei modi propri di vibrare e verifica all'instabilità,
- termiche stazionarie e transitorie (conduzione, convezione ed irraggiamento),
- non lineari per materiale, geometria (inclusi gap e contatti) e non linearità dinamica,
- dinamiche avanzate con risposta dinamica della struttura a carichi variabili,

- fatica con il calcolo del coefficiente di "life",
- elettromagnetiche a basse ed alte frequenze,
- ottimizzazione strutturali e geometriche.

La disponibilità di solutori super veloci FFE assicura la realizzazione di analisi complesse in tempi contenuti, permettendo così l'effettiva verifica dei diversi scenari di utilizzo del prodotto e la valutazione di soluzioni progettuali innovative. COSMOSDesignSTAR è associativo con Autodesk Inventor, Solid Edge e Solid Works, importa le geometrie in formato nativo da Pro/Engineering e Catia V4 / V5, inoltre è dotato di tutte le interfacce standard attualmente disponibili importando così le singole parti od assiemi con più componenti provenienti da qualunque modellatore solido CAD. Le soluzioni COSMOS sono commercializzate e supportate dalla società COSMOS ITALIA con sede in Cremona, Via Lucchini 105; telefono 0372436072, fax 037236049 info@cosmositalia.it www.cosmositalia.it

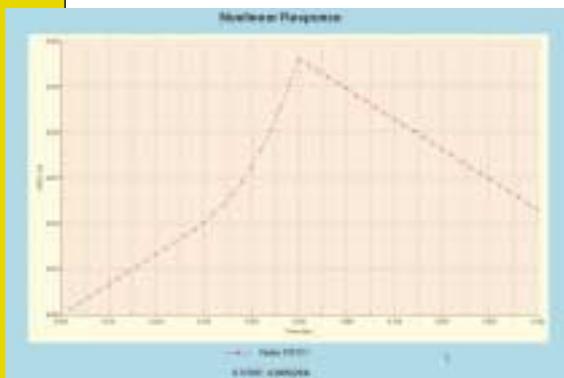


Analisi non lineare. Spostamento residuo all'estremità è pari a 0,0762 mm, il carico è applicato in 25 step e poi rimosso.

vamento del materiale. Successivamente potrebbe essere utile calcolare gli stress residui al termine del ciclo di carico e scarico.

L'analisi statica lineare mostra che con un carico di 0,5 N (figura 1) si ottiene uno stress secondo il criterio von Mises pari a 112 MPa che è circa il doppio del limite di snervamento del materiale che è di 55 MPa (figura 2). Ciò indica chiaramente che è necessario un approccio non lineare per considerare il comportamento del materiale sopra il limite di snervamento.

Un controllo degli spostamenti relativi alle dimensioni complessive del modello mostrano invece valori relativamente piccoli intorno al 2%. È da notare che l'analisi lineare genera un valore di stress conservativo che può portare ad un sovradimensionamento del componente; ciò è dovuto al fatto che il solutore assume



Andamento degli spostamenti nel tempo, si nota la deformazione permanente residua al termine dell'applicazione del carico.

Tabella 1. Alcuni efficienti modelli con le tipiche applicazioni.

CLASSIFICAZIONE DEL MATERIALE	MODELLO	APPLICAZIONI
Elasto-plastico	Von Mises o Tresca	Modelli utili per diversi metalli e plastiche caricati oltre il loro limite elastico. Per i metalli che induriscono dopo l'iniziale applicazione del carico selezionare nel software l'opzione di indurimento isotropico o cinematico.
	Drucker-Prager	Modello utilizzabile per terreno (suolo) e per materiali granulari.
Iper-elastico	Mooney-Rivlin e Ogden	Utilizzabile per elastomeri incompressibili come la gomma.
	Blatz-Ko	Utilizzabile per spugne poliuretatiche comprimibili.
Visco-elastico	Diversi	Per gomme dure e vetro, il modello prevede un comportamento dello stress variabile nel tempo sotto carichi costanti.
Compositi	Diversi	Per l'analisi di compositi si utilizzano modelli che prevedono caratteristiche anisotrope del materiale.

una maggiore rigidità del sistema e quindi calcola stress più elevati. Gli utilizzatori di COSMOSDesignSTAR per realizzare un'analisi non lineare possono riutilizzare diverse impostazioni eseguite per l'analisi lineare. Infatti con le funzionalità "copia ed incolla" tipiche di Windows recuperano tutte le definizioni relative a carichi, vincoli e mesh. Per lo studio di questo modello l'utente può scegliere il modello "bi-lineare" (von Mises plasticity-material model) e fornire il valore del modulo elastico tangente normalmente reperibile in letteratura.

Deve essere poi definita una curva nel tempo per applicare il carico utilizzando piccoli incrementi, la curva associata al carico raggiunge il valore massimo e poi decresce fino a zero e permette al software di calcolare lo stress residuo e la deformazione permanente. L'analisi non lineare valuta l'intensità di stress von Mises pari a 80 MPa (figura 3) relativa al carico massimo di 0,5 N ed uno stress residuo pari a 32 MPa (figura 4).

La deformazione permanente calcolata è pari a 0,0762 mm all'estremità del connettore (figura 5 e 6).

MODELLI NUMERICI PER MATERIALI

Per risolvere un'analisi non lineare l'utente deve scegliere ed assegnare un modello numerico descrivente il comportamento del materiale. I modelli consistono in una serie di algoritmi che descrivono il comportamento del materiale sotto carichi e temperature.

Nella tabella 1 sono descritti alcuni dei più efficienti modelli con le tipiche applicazioni. In ogni caso questi ed altri modelli rappresentano un comportamento del materiale ideale, l'utente dovrebbe sempre verificare le temperature e le deformazioni di test con le effettive condizioni operative del modello.

È inoltre consigliato verificare le caratteristiche definite nel modello con quelle del materiale effettivamente utilizzato.

R. Ramalingam, Cosmos Los Angeles, D. Redaelli, Cosmos Italia Cremona.