

Modellazione e analisi di un componente di una macchina automatica per il confezionamento di prodotti alimentari liquidi

A cura di **Filippo Battisti**, Development Engineer, gruppo Forming and Virtual Verification, Tetra Pak Packaging Solutions S.p.A., Modena

Tetra Pak, per incrementare le prestazioni e la produttività delle proprie macchine, ha implementato una metodologia per la simulazione e lo studio dei componenti a fatica in ambito virtuale.

Introduzione

Le macchine automatiche Tetra Pak per la produzione di pacchetti, lavorando con capacità orarie (in termini di numero di pacchetti/ora) sempre crescenti, necessitano di un accurato studio preventivo dei componenti soggetti a migliaia di cicli/ora, al fine di evitare qualsiasi possibile rottura prematura per fatica.

Al fine di affrontare il fenomeno della fatica meccanica, Tetra Pak ha deciso di implementare una metodologia di simulazione utilizzando quello che è l'approccio multi disciplinare presente in MSC SimXpert.

L'attività è stata svolta attraverso un progetto in collaborazione con l'Università di Modena e Reggio Emilia ed è stata incentrata sullo studio del fenomeno di fatica. In particolare l'obiettivo principale era delineare una procedura chiara per affrontare problemi di fatica multi assiali, grazie anche all'utilizzo degli strumenti forniti dalla MSC Software.

Il fenomeno della fatica meccanica infatti può essere analizzato con teorie mono assiali ormai ben consolidate, o trattato con model-

li multi assiali: questi ultimi permettono di trattare i carichi e le sollecitazioni cicliche nella loro complessità, evitando così di semplificare casi intrinsecamente tridimensionali, senza pertanto commettere errori di stima della vita totale del componente.

Si sottolinea che il lavoro qui brevemente presentato si focalizza sull'aspetto qualitativo e quantitativo del problema, con lo scopo di descrivere completamente una procedura di analisi di un componente facente parte di un assieme.

Il comportamento dinamico e cinematico del meccanismo viene riprodotto in un ambiente multi body, che permette di ricavare le forze agenti sul componente oggetto dello studio di dettaglio e di simulazione in ambito strutturale.

Il caso in esame

Il componente in esame è una camma che regola, attraverso una serie di contatti, il movimento del coltello utilizzato per separare i pacchetti già formati.

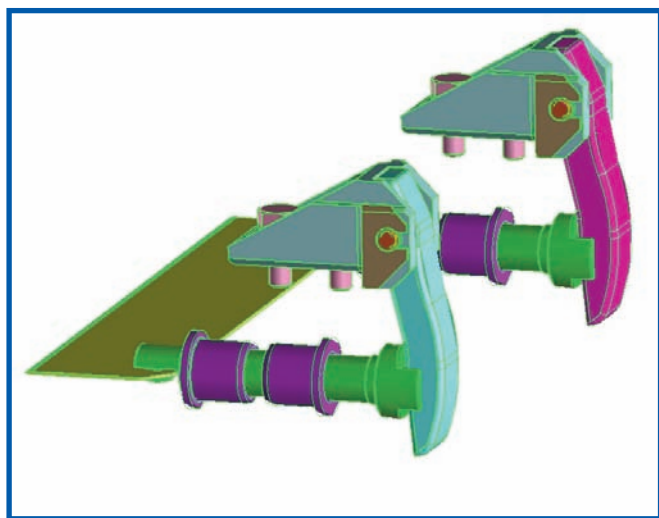
La camma è incernierata, tramite un albero, ad un supporto. Ciclicamente, entrando in

contatto con un rullo, a sua volta incernierato alla struttura della macchina, la camma spinge orizzontalmente il coltello in modo indiretto, vista la presenza di un ulteriore albero cui il coltello è fissato; il contatto della camma sull'albero permette al coltello di arrivare a fine corsa e tagliare un piccolo spessore di materiale. Durante la corsa di ritorno i due componenti si allontanano. Nella fase finale della corsa di ritorno, un fermo meccanico fissa la posizione della camma, generando un urto.

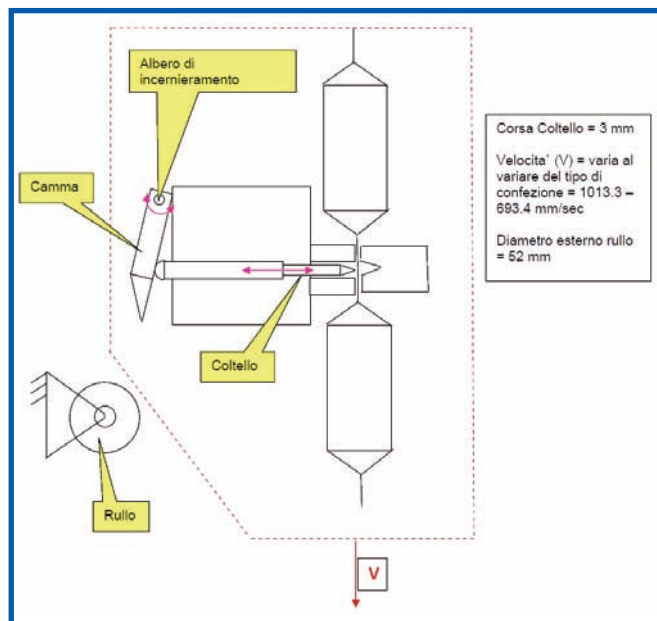
La dinamica dei contatti sopra descritta si traduce in uno stato di sforzo pericoloso per la camma, che ciclicamente è soggetta all'azione di più forze derivanti dall'azione di taglio e soprattutto dal ritorno in posizione del coltello.

Il modello per la simulazione

L'analisi è suddivisa in più fasi. Inizialmente, dalla geometria dell'assieme relativo alla singola maglia, si crea un modello multi body a corpi rigidi. Questa parte della modellazione



Geometria dei componenti dell'assieme.



Modello schematizzato.

viene effettuata all'interno dell'apposito ambiente Motion di Simxpert, importando direttamente il disegno d'assieme del meccanismo. Verificata la dinamica globale, curando in particolare l'impatto e gli attriti presenti durante l'operazione di taglio, si passa alla modellazione flessibile della camma e del perno di collegamento al supporto.

In questa seconda fase, infatti, si sfrutta la potenzialità del solutore multi body di lavorare con alcuni componenti flessibili. Tale tipo di simulazione unisce i vantaggi di tempo di calcolo del solutore multi body alla precisione nel calcolo degli stress sul singolo componente di un'analisi FEM e permette successivamente anche lo studio a fatica.

Il corpo flessibile viene creato "switchando" nell'ambiente strutturale del software. Questo passaggio permette, una volta definite le feature geometriche di connessione con gli altri componenti, la generazione del corpo flessibile da parte di MSC Nastran. L'analisi FEM utilizza la tecnica di condensazione modale di una struttura per consentire il calcolo degli stress e delle deformazioni sul corpo flessibile da parte del solutore multi body.

Il collegamento tra la parte flessibile e i rimanenti componenti avviene mediante MPC, particolari elementi che realizzano un collegamento rigido tra due parti. Tali elementi vengono creati dal software in corrispondenza delle coppie cinematiche appoggiandosi alla geometria del corpo flessibile.

Molta attenzione si è prestata al momento della scelta di tali connessioni (che si ripercuote direttamente sul numero e posizione dei rigid link) per evitare che la zona della camma in corrispondenza del foro fosse erroneamente irrigidita; per questo motivo si è scelto di rendere flessibile anche il perno di accoppiamento della camma, così da evitare un ulteriore Mpc e gestire invece la trasmissione delle forze attraverso un semplice contatto tra corpi flessibili.

La fase di pre-processing prevede la meshatura manuale della parte, al fine di ottenere una precisione ottimale nelle zone maggiormente sollecitate e quindi più a rischio di una possibile rottura. Inoltre sono state scelte al meglio le impostazioni di analisi per guidare in maniera ottimale il processo di riduzione di Craig Bambton.

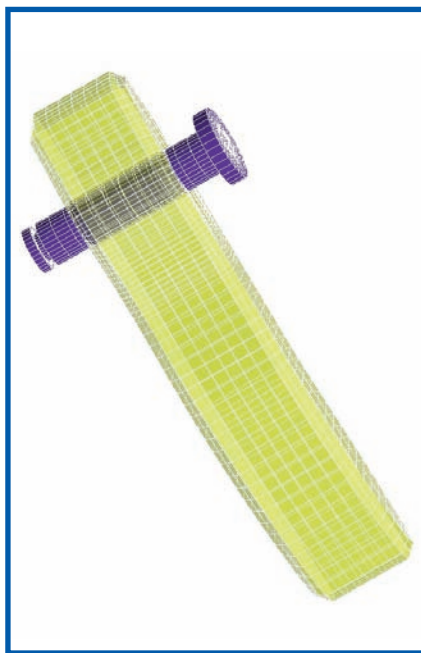
Ottenuti in output dall'analisi modale i modi propri dei componenti da rendere flessibili, si ritorna nell'ambiente motion per lanciare una seconda simulazione multi body, questa volta con i corpi flessibili.

A questo punto si hanno a disposizione tutti i dati necessari per il passaggio alla terza e ultima fase dell'analisi, quella a fatica. Pertanto si utilizza il modulo Fatigue, interno a Msc Patran, importando il modello, i modi della struttura e l'andamento delle sollecitazioni ottenuti dalla simulazione multi body con corpi flessibili.

Per stabilire la natura del fenomeno a fatica, si sceglie di eseguire un'analisi di tipo S-N, richiedendo però in output anche i parametri di verifica della biassialità. Attraverso tali risultati è possibile comprendere se il componente in esame è soggetto ad uno stato tensionale principalmente monoassiale o più genericamente biassiale. Nel secondo caso si



Rottura riscontrata sul componente in esame.



Mesh solida del perno e della camma.

perfezionerà l'analisi proseguendo con uno studio multi assiale del problema.

Lo stress equivalente scelto è il Max. Abs. Principal, la correzione della tensione media è quella di Goodman, mentre il materiale, da cui dipende fortemente la precisione e la

coerenza dei risultati, è stato selezionato tra quelli disponibili nel database interno di MSC Fatigue; si è inoltre tenuto conto dell'ambiente corrosivo di lavoro del componente attraverso opportuni coefficienti correttivi.

È importante sottolineare che l'analisi a fatica viene eseguita sugli elementi esadrici esterni, essendo il fenomeno a fatica un fenomeno puramente superficiale; completata la fase di pre-processing, prima di lanciare l'analisi, risulta indispensabile calcolare le normali uscenti in ogni nodo degli elementi esterni, in modo tale che i valori tensionali in output dall'analisi possano essere riferiti a tali sistemi di riferimento locali, e quindi sia possibile per il software completare un'analisi di biassialità solamente nel piano x-y di ogni elemento.

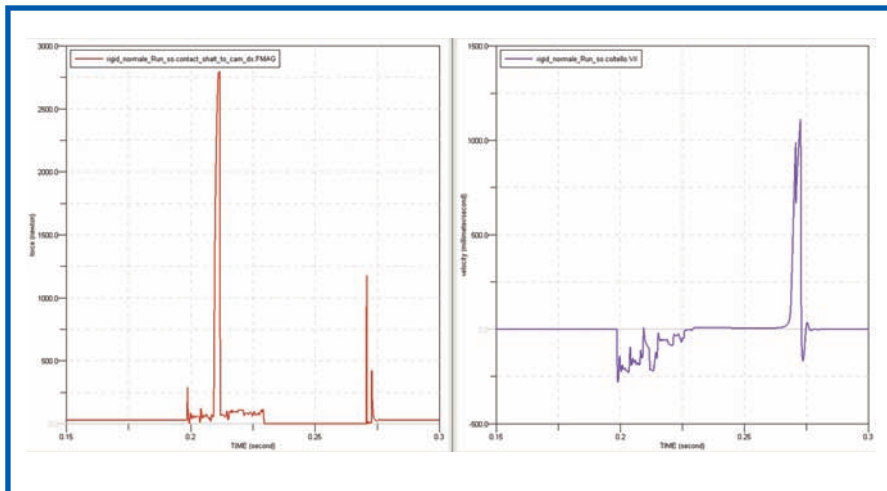
I risultati

I risultati dell'analisi confermano che la rottura riscontrata sulla camma è riconducibile al fenomeno della fatica. Infatti, trascurando la parte numerica dell'analisi, concentrandosi prevalentemente sugli aspetti qualitativi, si osserva che le zone con minore durata, in termini di numero di ripetizioni, corrispondono effettivamente alle zone della struttura in cui si propaga la cricca. Tale cricca si registra tra la rientranza superficiale localizzata poco al di sopra del foro e la superficie leggermente concava, proprio all'opposto, ma al di sotto del foro. Tali discontinuità geometriche danno proprio luogo ad un'ipotetica linea di frattura registrata sui componenti che hanno ceduto durante il funzionamento.

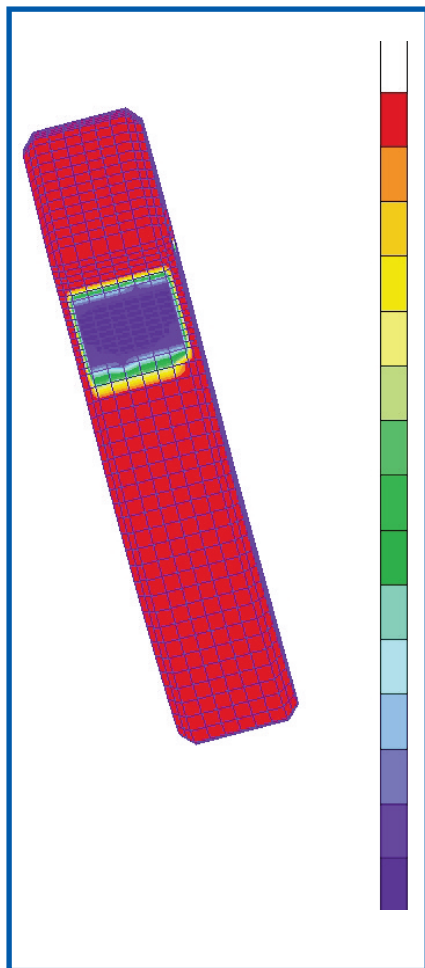
Esaminando questi valori si ha la conferma della corretta modellazione qualitativa del problema e della presenza di sollecitazioni critiche per il componente così strutturato.

Inoltre si deve stabilire se si tratta di un problema con una marcata biassialità o se il tensore degli stress è tale per cui uno studio mono assiale possa essere sufficiente.

Questo punto è considerato di fondamentale importanza e pertanto si ritiene non sufficiente lo studio dei parametri di un'analisi standard; si ricorre quindi alla verifica dei parametri multiassiali, i cui andamenti vengono tracciati in funzione della tensione principale massima assoluta. Tali grandezze



Andamento, nel tempo, della forza di contatto tra la camma e il coltello e relativa velocità di spostamento.



Numero di ripetizioni sostenibili dal componente prima di giungere a rottura.

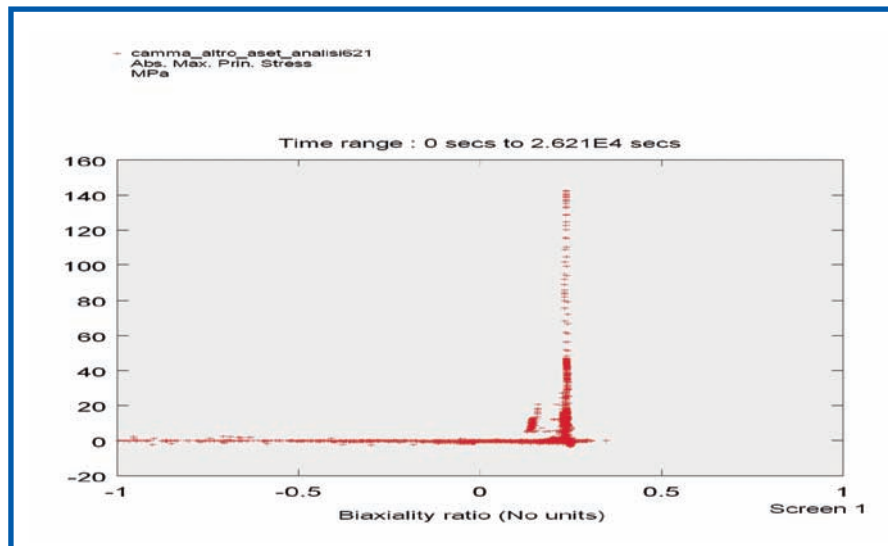
escludono la multi assialità del problema e rendono l'analisi fino ad ora presentata tecnicamente sufficiente.

In conclusione l'analisi sopra descritta ha consentito di individuare le cause di una prematura rottura e soprattutto ha evidenziato le zone maggiormente sollecitate, permettendo così un successivo re-design del componente per migliorarne la risposta. È stato inoltre possibile delineare una completa procedura di calcolo e simulazione in ambiente multi disciplinare, utile nel caso in cui si dovranno affrontare fenomeni di fatica anche di natura multi assiale e facilmente inseribile nel flusso di progettazione dei componenti per migliorarne performance e durata.

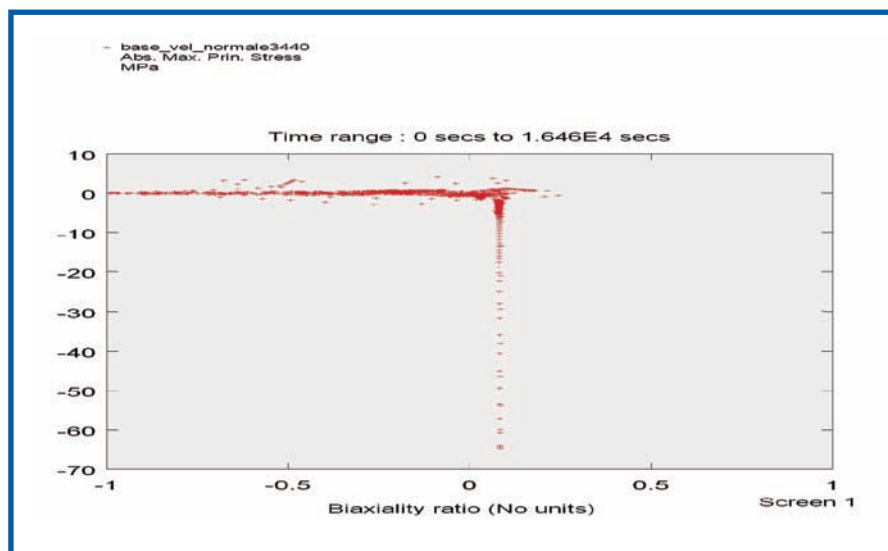
NOTE SULL'AUTORE

Filippo Battisti ha conseguito la laurea in Ingegneria Meccanica presso l'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, a seguito di un periodo di tirocinio della durata di sei mesi, inserito all'interno di un contratto di collaborazione con l'Università, presso Tetra Pak Packaging Solutions S.p.A.

Attualmente è impiegato come Development Engineer nel gruppo di Forming and Virtual Verification Tetra Pak Packaging Solutions S.p.A.



Tensione principale massima in funzione del rapporto di biaxialità nel nodo più danneggiato.



Tensione principale massima in funzione dell'angolo tra la tensione principale massima e asse x della terna locale (nodo più danneggiato).

BIBLIOGRAFIA

- [1] MSC Software Corporation. MSC Fatigue User's Guide, 2005.
- [2] Darrel F. Socie and Gary B. Marquis. Multiaxial Fatigue. Sae International, 2000.
- [3] Ralph I. Stephens, Ali Fatemi, Robert R. Stephens, and Henry O. Fuchs. Metal Fatigue in Engineering. Wiley Inter-Science, 2001.
- [4] Jaap Schijve. Fatigue of Structures and Materials. Springer, 2009.
- [5] Les Pook. Metal Fatigue. Springer, 2009.

LA SOCIETÀ TETRA PAK PACKAGING SOLUTIONS S.P.A.

Tetra Pak Packaging Solutions S.p.A. è una società del gruppo svedese Tetra Laval, che opera nell'ambito dei sistemi di trattamento e confezionamento di prodotti alimentari. Le altre due società del gruppo Tetra Laval sono DeLaval e Sidel; le sedi principali del Gruppo sono a Lund (Svezia) e Losanna (Svizzera). Tetra Pak è un'azienda globale che opera a livello locale. Tetra Pak è presente in più di 190 paesi nel mondo e conta oltre 21.000 dipendenti, di cui circa 1.000 dedicati ad attività di Ricerca & Sviluppo. Nel 2009, ha prodotto 145.030 milioni di confezioni per un totale di 70.674 milioni di litri di alimenti confezionati. È l'unica azienda al mondo a fornire contemporaneamente confezioni, macchine per il confezionamento, processi integrati di trasformazione per l'industria alimentare e tecnologie per l'intero percorso del trattamento e confezionamento degli alimenti. Tetra Pak Packaging Solutions S.p.A. a Modena è un centro mondiale di Ricerca & Sviluppo sui sistemi di confezionamento asettico. Nello stabilimento modenese sono inoltre assemblate e collaudate le macchine confezionatrici.