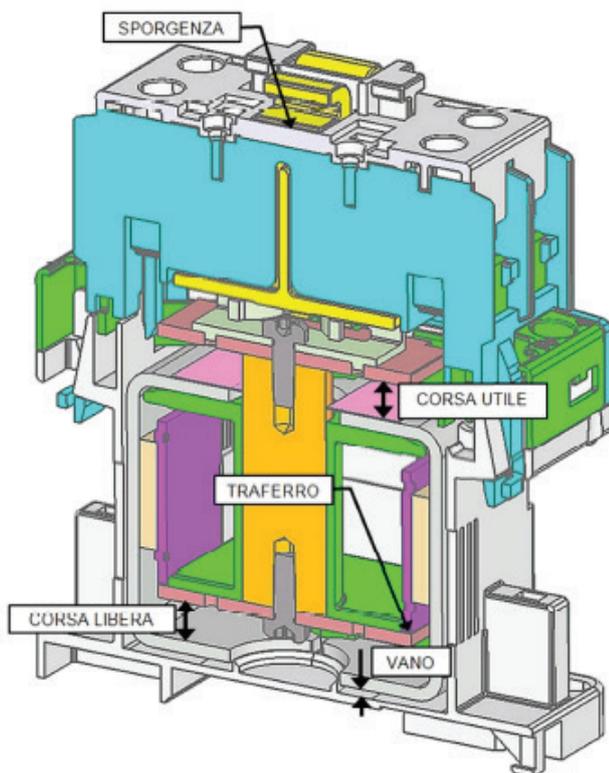


WHITE PAPER

Analisi dell'influenza delle  
tolleranze dimensionali  
e geometriche sulle  
prestazioni di un contattore  
elettromeccanico

Lovato Electric, è una prestigiosa azienda italiana che da oltre novant'anni progetta, industrializza e produce componenti elettromeccanici ed elettronici per usi civili ed industriali. Il vasto catalogo prodotti include interruttori salvamotori magnetotermici, contattori, pulsanti, finecorsa, multimetri digitali, soft-starters, relè, regolatori automatici di rifasamento ed altro ancora. La varietà della gamma, unitamente alla indiscussa qualità ed alla affidabilità, fanno di Lovato Electric un attore protagonista nel mercato mondiale della componentistica elettromeccanica. Il successo dell'azienda è il risultato di una costante valorizzazione delle culture e delle competenze interne, unitamente alla collaborazione con fornitori esterni e clienti.

Nell'ambito di una collaborazione con Lovato Electric, EnginSoft è stata chiamata ad analizzare il problema della propagazione delle tolleranze dimensionali e geometriche applicato ad un contattore elettromeccanico. I contattori costituiscono una frazione importante della gamma prodotti di Lovato Electric. Si tratta di dispositivi compatti formati da un attuatore elettromagnetico collegato meccanicamente ad un set di contatti.



Quando il contattore riceve il segnale elettrico di comando, la bobina produce la traslazione di un gruppo mobile e la commutazione dei contatti. Il contattore viene così utilizzato per interrompere un circuito di potenza senza un diretto intervento manuale. La struttura del dispositivo si compone di parti in plastica e parti metalliche, assemblate quasi esclusivamente per incastro.

I componenti plastici sono ottenuti per stampaggio ad iniezione, mentre quelli metallici per piegatura e formatura di lamine semilavorate. Il perfetto funzionamento del contattore è subordinato alla presenza di giochi ed interferenze, laddove previsti. Precise condizioni geometriche servono a garantire accoppiamenti stabili tra le parti incastrate, libertà di movimento sui giunti scorrevoli o, semplicemente, spazi sufficienti per alloggiare i sottosistemi elettrici.

Il contattore esaminato in questo servizio di consulenza si compone di parti già in produzione (perché usate in un altro dispositivo) e parti progettate ex-novo. L'analisi svolta da EnginSoft è servita a prevedere le caratteristiche della produzione, con riferimento ai valori medi ed alle dispersioni assunte dalle cinque quote funzionali indicate da Lovato Electric. Contestualmente, è stata condotta una analisi di sensibilità per risalire ai fattori che influenzano le stesse quote, così da elaborare strategie correttive da applicare nel caso di risultati insoddisfacenti.

Nella prima fase del servizio, è stato studiato il modello tridimensionale del sistema assemblato, così da individuare le superfici attive nei contatti. Si è quindi risaliti alle catene dimensionali, ovvero alle relazioni geometriche che descrivono in forma vettoriale la dipendenza delle quote funzionali da selezionate dimensioni dei componenti. Nel caso specifico, è emerso che le 5 dimensioni da cui dipende la conformità del contattore dipendevano da ben 35 quote (lineari ed angolari) delle parti. Come atteso, le 5 catene dimensionali sono risultate interdipendenti, perché alcune dimensioni dei componenti comparivano simultaneamente in più di una relazione.

Il passo successivo è stato la creazione di un modello virtuale del dispositivo multi-corpo, che riproducesse fedelmente le interazioni geometriche tra le parti.

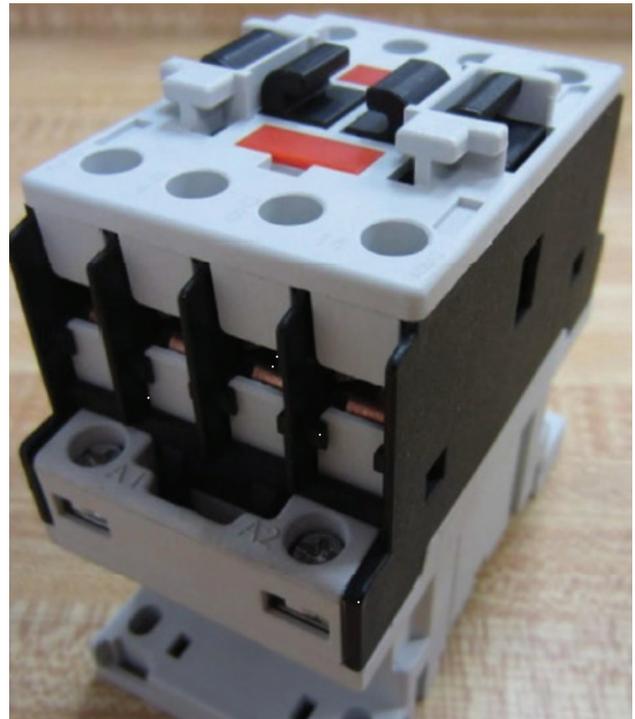
Questo assemblaggio virtuale viene eseguito da CETOL 6 selezionando sul modello CAD aperto le superfici e gli spigoli coinvolti nei contatti. La complessità della modellazione, che rappresenta il valore aggiunto di questa attività, risiede proprio nella descrizione matematica delle interazioni tridimensionali tra i componenti, che viene eseguita dal software in modo completamente automatico. I dettagli geometrici attivi nei contatti sono stati, quindi, parametrizzati per riprodurre la variabilità (di posizione e di forma) sancita dalle rispettive tolleranze. Infine, si è proceduto a definire sul modello virtuale assemblato le 5 quote funzionali, così da ottenere gli indicatori di conformità.

Il modello virtuale, con le caratteristiche descritte, riproduce qualsiasi configurazione del dispositivo, così come potremmo trovarlo a valle di una linea di assemblaggio. Il modello costituisce una rappresentazione numerica delle catene dimensionali: gli output (le misure delle quote funzionali) sono correlati al modo in cui si combinano gli input (le quote dei componenti).

Lo studio statistico è stato condotto ipotizzando che ciascuna quota avesse una distribuzione normale attorno al valore nominale, con deviazione standard fissata ad 1/6 del rispettivo intervallo di tolleranza. Ciò equivale a ritenere che i singoli componenti provengano da processi produttivi di media qualità, con circa 1 scarto ogni 370 campioni.

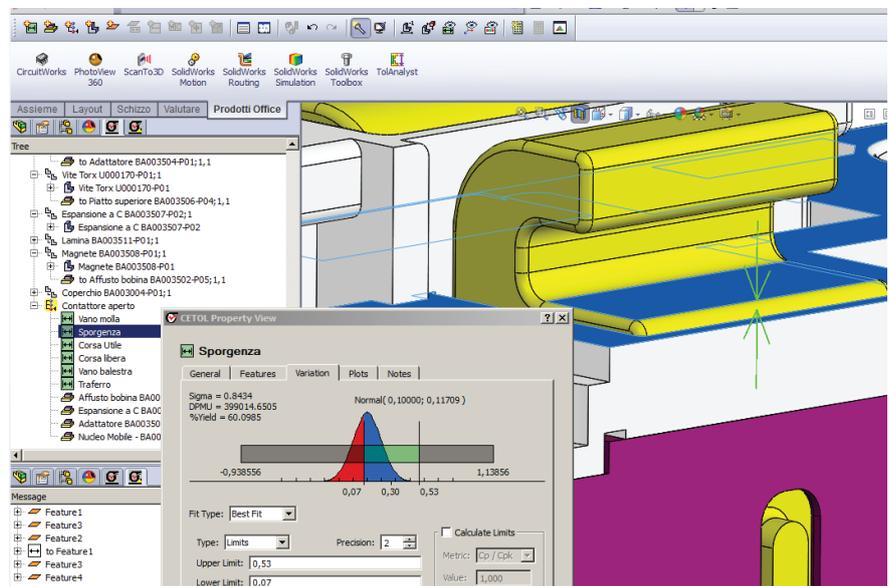
Naturalmente era possibile implementare qualsiasi altro tipo di ipotesi statistica (anche distribuzioni non normali).

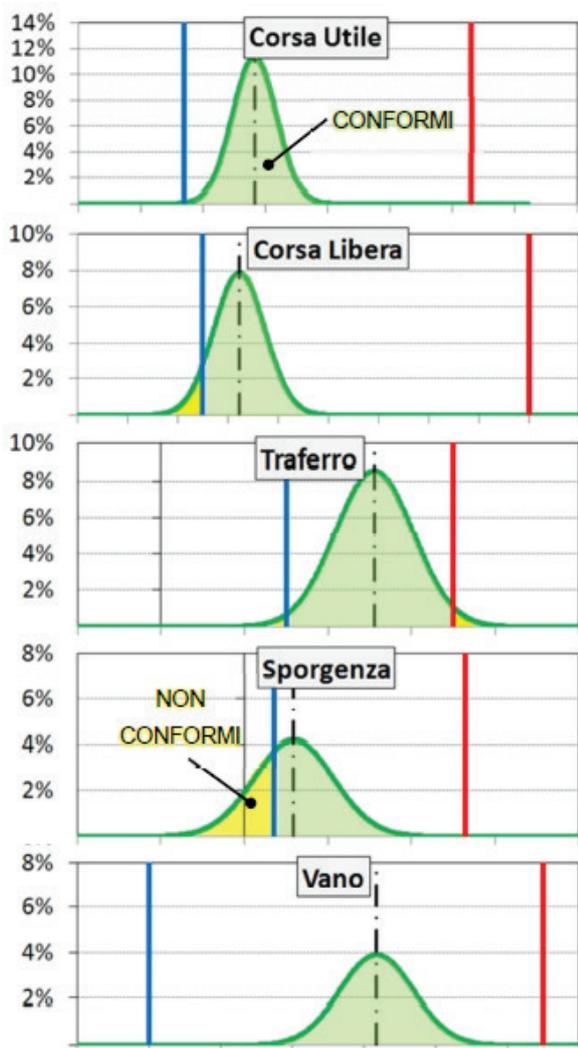
Lo studio della propagazione delle tolleranze sulle dimensioni funzionali è stato eseguito simulando un elevatissimo numero



di configurazioni, in tempi decisamente ridotti. Le distribuzioni dei cinque risultati sono state successivamente confrontate con i previsti limiti di accettabilità, per capire quale percentuale di contattori sarebbe risultata conforme nelle ipotesi da cui si era partiti.

I risultati sono riassunti nella figura, dove sono rappresentate le distribuzioni probabilistiche delle quote funzionali ed i limiti entro i quali dovrebbero variare per non compromettere la funzionalità del contattore. Le distribuzioni ottenute sono tutte di





tipo normale, quasi simmetriche. La verifica ha permesso di individuare l'esistenza di percentuali significative di dispositivi che non avrebbero rispettato i requisiti funzionali. In particolare, la

produzione non conforme raggiungeva circa il 37% del totale. In alcuni casi la non conformità era dovuta alla eccessiva dispersione del traferro, mentre in altre configurazioni era dovuta al disallineamento del valor medio di corsa libera, corsa utile, sporgenza, rispetto ai valori attesi. Lo studio delle influenze statistiche ha consentito di individuare rapidamente quali tra le 35 quote dei componenti possedeva un ruolo chiave nella determinazione dei risultati proposti nella figura a sinistra. A valle di tale studio, sono state semplicemente modificati alcuni valori nominali, senza restringere le tolleranze. Gli interventi proposti si sono rivelati immediatamente molto efficaci, arrivando ad una drastica riduzione della percentuale di contattori non conformi. Il risultato riveste particolare significato perché sottolinea che una progettazione orientata alla produzione, può restituire benefici importanti senza necessariamente aumentare i costi della componentistica. Attraverso la collaborazione con EnginSoft, basata essenzialmente sull'impiego di CETOL 6, Lovato Electric ha potuto verificare i criteri attraverso i quali quote e tolleranze assegnate ai componenti si trasmettono alla funzionalità del prodotto finale. A valle di una corretta attribuzione dei valori di queste grandezze, Lovato Electric ha potuto risparmiare sui tempi di prototipazione fisica e quindi sui complessivi costi di produzione del nuovo contattore.

*Gianmaria Cusimano - EnginSoft*

EnginSoft is a premier consulting firm in the field of Simulation Based Engineering Science (SBES) with a global presence. It was founded in 1984, but its founder and initial employees had been working in SBES since the mid '70s. Throughout its long history it has been at the forefront of technological innovation and remains a catalyst for change in the way SBES and CAE technologies in general are applied to solve even the most complex industrial problems with a high degree of reliability.

Today, EnginSoft is comprised of groups of highly qualified engineers, with expertise in a variety of engineering simulation technologies including FEM Analysis and CFD, working in synergic companies across the globe. We are present in Italy, France, Germany, the UK, Turkey and the U.S.A. and have a close partnership with synergetic companies located in Greece, Spain, Israel, Portugal, Brazil, Japan and the U.S.A.

EnginSoft works across a broad range of industries that include the automotive, aerospace, defense, energy, civil engineering, consumer goods and biomechanics industries to help them get the most out of existing engineering simulation technologies.



[www.enginsoft.com](http://www.enginsoft.com) | [info@enginsoft.com](mailto:info@enginsoft.com)