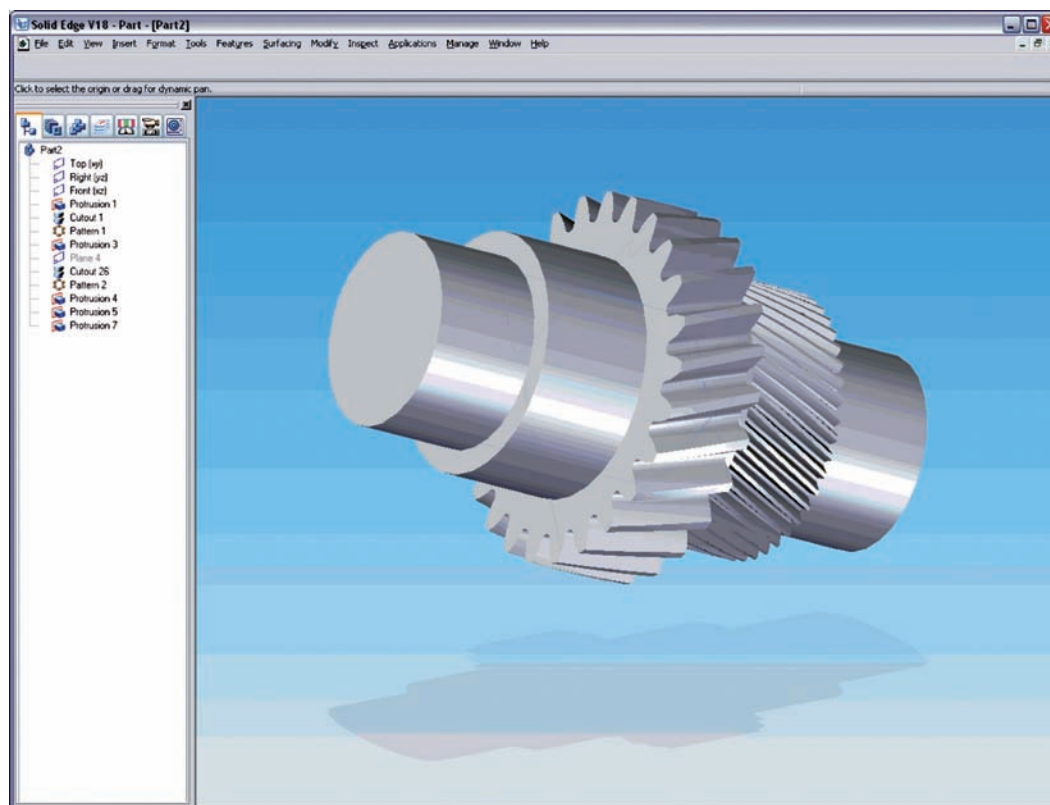


# Verso la progettazione del “sistema trasmissione”

*Il software per il calcolo degli ingranaggi hanno avuto una fortissima evoluzione e sono diventati un potente supporto alla progettazione: purché siano utilizzati nel modo corretto.*

**ⓧ Piermaria Davoli**  
Dipartimento di Meccanica Politecnico di Milano



**U**no dei ricordi più lontani che ho di una discussione sul “calcolo automatico” applicato alla progettazione, alla verifica, al dimensionamento degli ingranaggi risale alla fine degli anni '70. A un Congresso dell'IFTOMM, a pranzo, seduti al tavolo eravamo: io (neofita), il prof. Winter dello FZG (il già allora famoso Centro ricerche della Technische Universität München, Germania), e l'ing. Faure, che a quei tempi era a capo delle attività ingranagistiche del CETIM Francese. Faure discuteva animatamente con Winter riguardo a un metodo semplificato da inse-

rire nelle ISO 6336, che allora erano ad inizio gestazione. I tedeschi tendevano a proporre equazioni apparentemente complesse per calcolare i valori dei fattori, mentre invece i francesi proponevano, sulla scia della filosofia “pratica” di Henriot (i cui libri hanno i diagrammi tracciati a mano dall'autore stesso...), l'uso dei soli diagrammi.

Ero stupito da quanto Faure si infervorasse nel difendere la posizione “francese”, ma alla fine Winter disse semplicemente: ci sono le macchinette calcolatrici programmabili, che proprio in quegli anni entravano negli Uffici Tecnici a rimpiazzare il regolo, ci vuole un niente a fare i conti con le equazioni! E la discussione finì lì, di fronte alla

lapalissiana evidenza del progresso dei mezzi di calcolo.

## L'affermazione dei software di calcolo

Credo non ci sia stata azienda, seppur di piccole dimensioni, impegnata nella progettazione e nel calcolo degli ingranaggi, che non abbia sviluppato negli ultimi venti/trent'anni, all'interno del proprio Ufficio Tecnico, un programma più o meno perfezionato di calcolo o di verifica sulla base delle DIN o delle AGMA.

Si sa che da sempre ogni buon progettista si prepara le sue routine, i suoi metodi, i suoi programmini più o meno evoluti, e non solo

per il calcolo degli ingranaggi. Poi, però, in molte aziende ci si è resi conto del fatto che forse non conviene investire risorse interne nello sviluppo di programmi di calcolo, che richiedono competenze sempre più specialistiche: meglio acquistarli sul mercato, e semmai (ma questo non sempre avviene) investire risorse interne per poterli utilizzare al meglio delle potenzialità.

Così si sono sviluppati software di calcolo e verifica degli ingranaggi, che via via si sono arricchiti di funzioni, inglobando altri organi "vicini", come i cuscinetti e gli alberi, e funzionalità come l'analisi dinamica, le frequenze proprie e così via. Si è andati quindi verso la progettazione complessiva del "sistema" trasmissione, all'interno del quale singoli moduli si occupano del cuscinetto, dell'albero, dell'ingranaggio etc.

Questa, obiettivamente, è la strada del futuro: sempre più software che aiutino nella progettazione del sistema, con moduli singoli che risolvono gli aspetti relativi ai componenti coinvolti. Ciò non toglie che non siano utili anche software specifici dedicati, ad esempio, alla verifica secondo ISO o DIN o AGMA del tale ingranaggio. Servono, sono utilissimi e anzi indispensabili. Ma, più sono inquadrati all'interno di un software di sistema, cioè che aiuta a progettare il sistema e agevola tutti i ricalcoli che vanno fatti ogni volta che si cambia qualcosa, meglio è. Bisogna però che siano possibili i collegamenti.

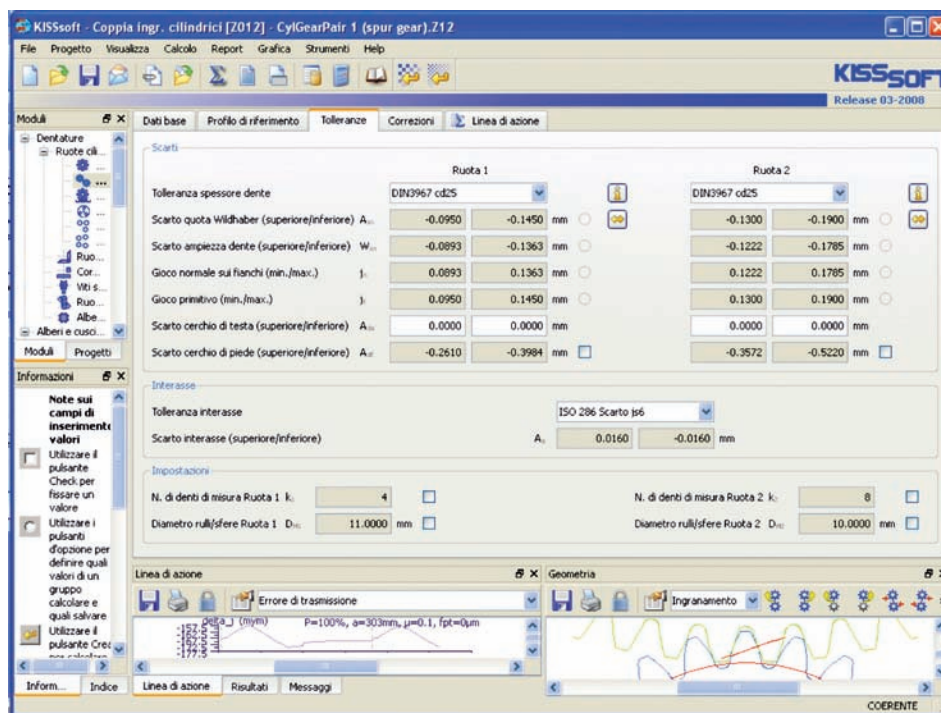
## Questioni cruciali

A questo punto, a mio parere, si apre un'altra questione, tipicamente "ingranaggistica" ma con valenze in tutte le direzioni.

L'uso del software tende a de-professionalizzare l'utente, che ha l'illusione di arrivare a un risultato solo perché il software lo propone, ma spesso non ha il controllo delle scelte che sono state fatte a sua insaputa (nel senso positivo del termine: senza che egli ne abbia consapevolezza).

Un esempio semplicissimo: le ruote dentate, oltre che "progettate", vanno costruite.

Chi le progetta dovrebbe, a mio parere, conoscere tutti i dettagli del ciclo di lavorazione, gli effetti sul risultato finale, le possibili deviazioni; non è detto infatti che un dato



Il nuovo interfaccia utente di KISSsoft 2008; introduzione delle tolleranze di un ingranaggio.

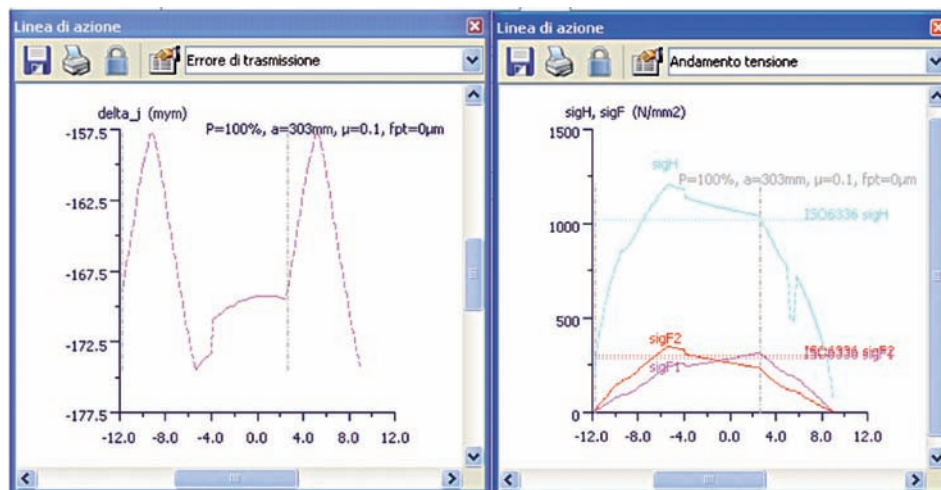
ciclo di lavorazione sia il migliore per ottenere un dato risultato, ad esempio in termini di modifica di profilo.

A mio modesto parere, la questione è già risolta in partenza: il software deve essere utilizzato da esperti, non da neofiti. Direi di più: quanto più si utilizzano i software, tanto più occorre essere esperti dell'"arte", il che vuol dire averla studiata partendo dai

principi fisici che la governano (e non dai risultati, magari belli a vedersi, ma "blindati", che il software propone).

## C'è software e software

In definitiva, cosa ci aspettiamo, o cosa dobbiamo aspettarci, da un software per il progetto di ingranaggi e/o componenti di organi di trasmissione?

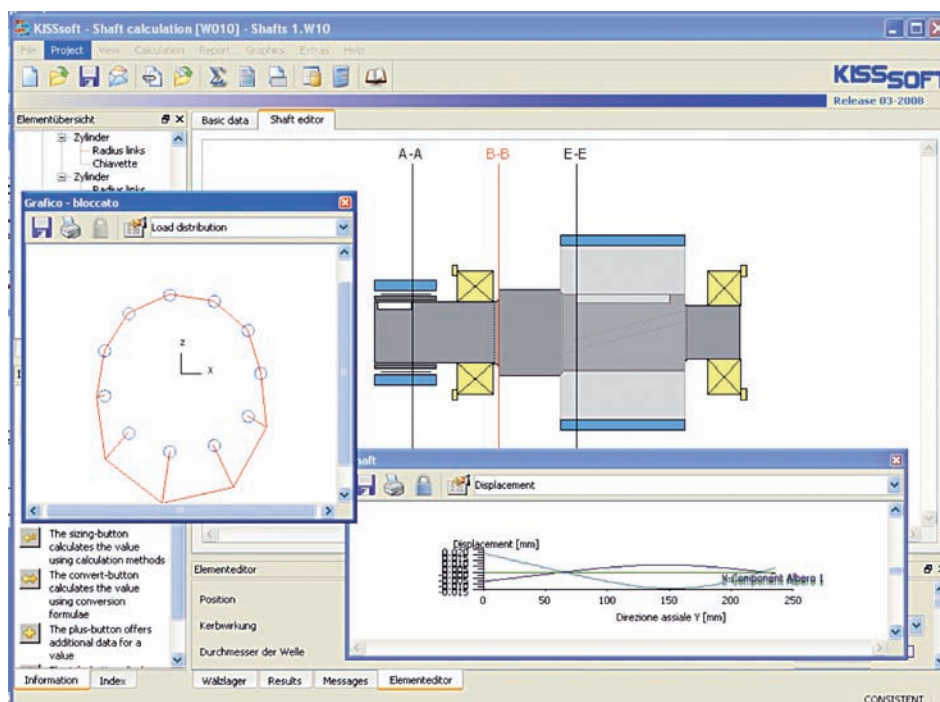


Calcolo dell' errore di trasmissione e della distribuzione della pressione Hertz lungo la linea d'azione di un ingranaggio cilindrico.

Possiamo aspettarci una specie di “normativa automatica”, ossia ad esempio una ISO 6336 che, con i dati di input necessari, ci consenta il calcolo di verifica in tempi brevissimi, e soprattutto ci consenta di effettuare le varianti in modo veloce e semplice. Ciò presuppone di aver già deciso tutto, geometria, materiale, modifiche di elica e profilo, alberi, supporti degli alberi e relative rigidità.

Oppure possiamo aspettarci qualcosa di più: si inseriscono alcuni fondamentali dati di input, vengono proposte alcune scelte, altre vengono via via richieste al momento giusto, ed alla fine, più o meno indirizzati e consigliati dal software, si arriva al risultato.

**Calcolo di un albero, linea di flessione e distribuzione del carico sulle singole sfere del cuscinetto (calcolato con la geometria interna del cuscinetto).**



## Dal calcolo degli ingranaggi al “sistema trasmissione”

*a cura della redazione*

Nel panorama europeo degli sviluppatori di software per il calcolo degli ingranaggi, c'è una società che in questi anni, grazie alla sua competenza specifica, è cresciuta e si è imposta negli ultimi anni come una delle più vivaci e attive. Parliamo di KISSsoft AG di Hombrechtikon, una cittadina vicino a Zurigo, Svizzera. Sotto la direzione dell'ing. Ulrich Kissling, KISSsoft ha iniziato l'attività più di venti anni fa, con lo sviluppo di software dedicati al calcolo degli ingranaggi (il ben noto e molto diffuso KISSsoft); sulla base di un crescente successo, che deriva dall'impostazione rigorosa, dalla facilità dell'utilizzo e dall'eccellente interfaccia grafica, questo software si è via via perfezionato, adeguandosi allo sviluppo delle normative ISO e AGMA e DIN. Ma, soprattutto, si è esteso, passando da un software per il solo calcolo degli ingranaggi ad un software che include tolleranze, misure di controllo, forma del dente dopo lavorazione, ingranaggi in materia plastica, collettivi di carico, e poi cuscinetti, alberi, cinghie, catene, molle, calettamenti, studio della dinamica della trasmissione e molte altre funzioni di progettazione e verifica.



**Ulrich Kissling, fondatore e direttore di KISSsoft AG.**

I programmi sono tre: KISSsoft, che riguarda ingranaggi di tutti i tipi, planetari, alberi anche secondo FKM, calettamenti, cinghie, catene; KISSsys, che riguarda la modellazione e l'analisi delle trasmissioni complete, interfacciandosi direttamente con KISSsoft, con import-export dei modelli 3D, e altre funzioni correlate; KISSqs, che analizza la qualità delle ruote dentate secondo DIN, VDI, ISO, interfacciandosi con gli strumenti di controllo Zeiss, Mitutoyo e Mahr. Abbiamo incontrato Ulrich Kissling che ci ha raccontato le tappe di questo percorso, che ha portato KISSsoft AG al successo.

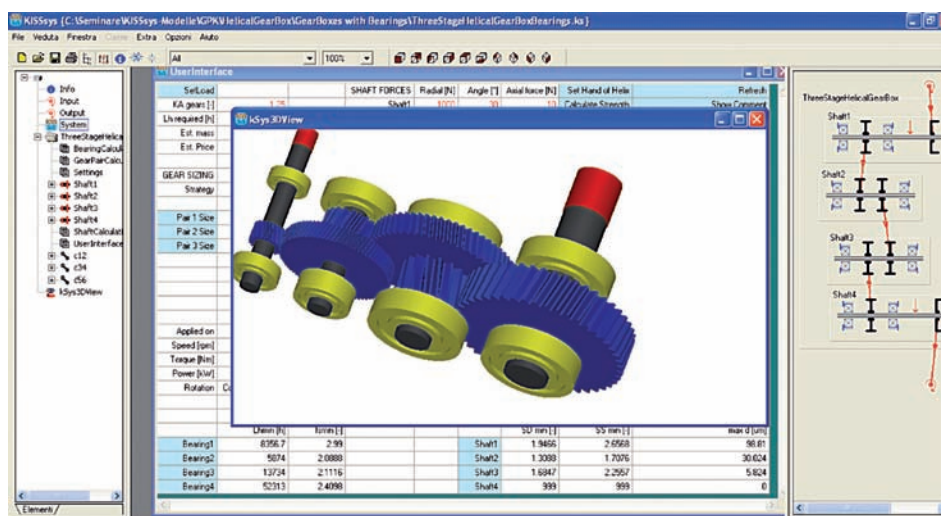
**Ci può brevemente raccontare la storia di KISSsoft; come è nata e chi sono i loro fondatori?**

Abbiamo iniziato con lo sviluppo di un programma di calcolo agli inizi degli anni '80; questo programma, pensato per l'azienda fondata da mio

nonno, produceva dei riduttori di potenza media da installare su skilift e seggiovie nelle Alpi francesi, svizzere e austriache. Sullo skilift la puleggia viene calettata direttamente e messa sull'albero di uscita del riduttore e questo elemento di trasmissione è molto critico, perché deve rispondere a esigenze di sicurezza estreme. Già a partire dagli anni '70 avevamo cominciato con calcoli di verifica

Questo “progetto guidato” non è però esente dai rischi di cui sopra: non c'è niente di più pericoloso che un suggerimento (magari giusto) ma non esplicitamente dichiarato e del quale l'utente non abbia consapevolezza. Ancora di più: se dobbiamo progettare una trasmissione completa, disporre di uno strumento che, oltre al calcolo/verifica dei singoli componenti (ingranaggi, cuscinetti, alberi), consenta la visione d'insieme del comportamento dinamico, delle frequenze proprie, e di tutti gli aspetti connessi può essere di grande utilità. Ancora di più, però, occorre padroneggiare i singoli aspetti dal punto di vista fisico: fare un'analisi dinamica di una trasmissione a ingranaggi senza sapere cosa siano le armoniche, le side-band, l'effetto dello smorzamento, sarebbe un assurdo. Eppure ...

In definitiva, ritengo si possa dire che le più recenti generazioni di software consentono al progettista di lavorare molto meglio che



Calcolo di un riduttore industriale a tre stadi con KISSsys.

nel passato, e più in fretta; ma colossali sono i rischi di errore, molto maggiori di quanti non se ne corressero prima, quando i software non c'erano.

L'unico rimedio a questo rischio, e quindi l'unico modo di usare bene i software, è quello di essere in grado di padroneggiare il problema dal punto di vista fisico. ■

dell'albero, mentre eravamo poco specializzati nel calcolo degli ingranaggi. In occasione della mia tesi di laurea, sulla base delle mie esperienze in azienda, scrissi un programma specifico per calcolare alberi e ingranaggi in DOS. Quando poi nel 1985 entrarono in uso i primi PC, ci chiedemmo se dovevamo continuare a trasferire questi programmi o se dovevamo limitarci a comprarli.

A seguito di una ricerca di mercato scoprimmo con sorpresa che già all'epoca erano disponibili molti programmi, soprattutto sul mercato tedesco. Dopo un'attenta analisi scoprimmo tuttavia che questi prodotti non erano completi; chi effettuava il calcolo per l'ingranaggio, chi quello dei cuscinetti o dell'albero e, per di più, erano programmi di diverse società. Inoltre, per un componente critico da installare sulla seggiovia, necessitavamo di un metodo di calcolo riconosciuto, pubblicato e accettato dalle autorità. Un prodotto così, non c'era.

È nata quindi l'idea di sviluppare un software appropriato che si potesse anche vendere. Nel 1986 abbiamo venduto la prima licenza del nostro software; dal 1990 con l'aiuto di un collega le vendite hanno segnato una crescita notevole. A seguito del successo commerciale di questo prodotto, il 1° gennaio 1998 nasce KISSsoft, come società autonoma e indipendente. Nello stesso periodo abbiamo provveduto al passaggio dalla versione Dos alla versione Windows; non è stato facile compiere questo passo perché KISSsoft era già all'epoca un software complesso, pensato per specialisti. Siamo stati lenti in questa migrazione, lo abbiamo fatto tardi; tuttavia, pensiamo di averlo fatto molto bene.

Per questo le vendite del nostro software, giunto allora alla release 2, sono cresciute costantemente e ci hanno portato nel 2000 a realizzare un'idea che avevamo già da dieci anni: quella di sviluppare un software che riflettesse il modo di pensare dell'ingegnere, per modellare l'intero sistema di trasmissione. È nato quindi il software di calcolo KISSsys.

### Ci sono altri software sul mercato che hanno questa caratteristica oppure ritenete che KISSsys sia unico?

Negli anni '90 ci sono stati diversi tentativi da parte di università tedesche di fare la stessa cosa, ma questi Centri di Ricerca, pur disponendo della struttura DLL, non disponevano dei metodi di calcolo appropriati.

Viceversa, noi avevamo i metodi di calcolo, ma ci mancava il sistema. Era necessaria una trasformazione completa del nostro software. Con lo sviluppo di KISSsys abbiamo raggiunto questo obiettivo.

Grazie a KISSsys abbiamo potuto allargare il nostro mercato alle grandi aziende; mentre KISSsoft si rivolge alla piccola-media impresa che non può permettersi di sviluppare un proprio software, KISSsys si rivolge anche alle aziende con oltre 1.000 addetti, che disponevano al loro interno di programmi per il calcolo dei riduttori; questi prodotti funzionavano ma non avevano la stessa flessibilità di KISSsys.

Grazie a KISSsys i nostri clienti sono cresciuti in numero e dimensione e ora possiamo annoverare anche aziende come Flender, Hansen Transmission e Bonfiglioli.

Oggi sono circa 1.200 le aziende che utilizzano KISSsoft in tutto il mondo e le vendite aumentano costantemente anno dopo anno del 20%.

### Un'obiezione diffusa è che il vostro software sia complicato e che richieda utenti particolarmente esperti. È vero?

Sì e no. Quando nove anni fa abbiamo riscritto il software in versione Windows, esso era abbastanza facile. Poi ogni cliente ha chiesto qualcosa in più, un adattamento, un ulteriore metodo di calcolo e così a poco a poco tutte le interfacce sono diventate più complesse. Questo ha costituito per noi un problema e ci ha indotto attualmente a riscrivere completamente le interfacce utente. In aprile uscirà la nuova versione del

software con un'interfaccia utente adatto anche a chi è meno esperto in ingranaggi! L'interfaccia del software attuale è diventata quindi un po' complicata; va però tenuto conto il fatto che il dimensionamento e l'ottimizzazione di un ingranaggio non si imparano all'università, ci vogliono esperienza e know-how in azienda. Se il progettista non ha nessuna esperienza in materia, si sente perso anche con la migliore interfaccia utente.

#### **Forse il vostro software non viene utilizzato al massimo delle sue possibilità. Perché?**

Sì è vero. Parte del nostro successo è dovuta al fatto che non abbiamo mai smesso di sviluppare. Se un utente propone un'idea nuova, la teniamo sempre in considerazione e viene sempre inserita nel software e così il software è via via cresciuto.

Oggi il software non è una semplice verifica di resistenza di ingranaggi, bensì un sistema di calcolo che permette di ottimizzare rumore, vibrazioni, resistenza e altre caratteristiche. Se l'utente non possiede già un po' di esperienza negli ingranaggi, deve ricorrere alla formazione e ai seminari.

#### **A tal proposito, come giudica la preparazione dei progettisti?**

Soprattutto in Italia mi capita di incontrare progettisti di motori molto bravi, con molta esperienza nella costruzione, ma che non sanno come calcolare un cuscinetto semplice. Sembra un fenomeno tutto italiano. Un fenomeno che è meno radicato, per esempio, in Germania. Sempre in Italia, durante un seminario sul software, mi è stato chiesto per la prima volta di fare un seminario sulla teoria degli ingranaggi. Questo corso poi ha incontrato molto interesse, lo ripetiamo ora in tutto il mondo.

#### **Quali sono i mercati in cui il vostro software è maggiormente richiesto?**

Negli ultimi anni abbiamo incontrato una richiesta forte nei paesi asiatici. Nel 2007 l'Italia ha preso il secondo posto nella lista delle nostre vendite per Paesi! Il nostro mercato principale è da sempre la Germania, dove ci riteniamo leader, nonostante sia il Paese dove è stato sviluppato il più alto numero di software per ingranaggi. Prima del 1995 erano disponibili sul mercato molte soluzioni, ma nessuna era in grado di offrire un progetto globale di trasmissione, che tenesse in considerazione rumore, vibrazioni, resistenza e durata. Ora questi software sono stati dimenticati oppure non esistono più, rimpiazzati da KISSsoft e KISSsys. Non siamo tuttavia ancora in grado di effettuare un calcolo di dinamica, come Adams oppure di analisi dell'emissione acustica globale, anche se prevediamo di approfondire la nostra ricerca in questa direzione.

#### **Che cosa offre di più o di diverso il vostro pacchetto software rispetto agli altri disponibili sul mercato?**

Un'altra caratteristica è che offriamo un unico pacchetto software che permette di calcolare tutti i tipi d'ingranaggi: da quelli cilindrici, ai face gears, ma anche alberi, cuscinetti, collegamenti albero-motore; il tutto sempre con la stessa interfaccia utente. Posso poi passare comodamente dal calcolo della resistenza all'errore di trasmissione senza cambiare programma.

Di contro, i programmi di calcolo tedeschi sono tutti separati l'uno dall'altro. Per esempio, in Germania i membri della FVA, appartenenti alla categoria dei costruttori di riduttori, possono utilizzare gratuitamente il software sviluppato dall'Associazione stessa. Ebbene, l'80% dei membri FVA sono anche nostri clienti.

#### **Per quanto concerne i limiti del vostro software, ci conferma che ci sono problemi con le lavorazioni di skiving, rettifica di forma e di generazione?**

Il nostro software è studiato per il progettista di riduttori; pertanto, simuliamo solo teoricamente i processi di fabbricazione. L'applicazione del componente sulla macchina utensile non è più il nostro campo, ma coinvolge i progettisti responsabili dello sviluppo della macchina utensile stessa.

A tal proposito, durante i seminari, insisto con i progettisti affinché non si concentrino troppo sulla definizione di una correzione di profilo fino al mezzo micron, perché in fase di fabbricazione della macchina utensile in ogni caso ci sarà un errore. L'importante è trovare un giusto compromesso.

#### **Come si evolverà nei prossimi anni il mercato dei software per ingranaggi e trasmissioni?**

Quando ho iniziato lo sviluppo del software non avrei mai pensato che dopo 20 anni ci sarebbe stata ancora una tale richiesta di calcoli. Negli anni '80 si pensava che dal '90 in poi si sarebbero affermati gli elementi finiti. Invece, gli elementi finiti sono rimasti sempre difficili da manipolare.

Per il futuro, abbiamo comprato una biblioteca a elementi finiti come base per offrire ai nostri utenti la soluzione di casi che non sono documentati dalle norme. Faccio un esempio molto semplice: nel calcolo della durata di un albero devo considerare i coefficienti d' intaglio; a tal proposito ci sono delle norme tedesche e italiane che definiscono appieno questi coefficienti. Il problema si ha nel caso di due coefficienti d' intaglio sovrapposti, per esempio lo spallamento d'albero con una linguetta. In questo caso è necessario ricorrere agli elementi finiti. Un altro obiettivo che vorremmo raggiungere è lo sviluppo di un metodo di calcolo per ingranaggi non circolari, cioè ingranaggi ellittici o di altre forme dove si possa definire la trasmissione durante un ciclo del pignone e la riduzione in uscita.

Con KISSsys, infine, vogliamo dare ai nostri clienti la possibilità di calcolare non solo il riduttore con i suoi componenti, ma anche le durate le temperature e le vibrazioni, grazie a un'integrazione completa coi sistemi CAD 2D e 3D. Attualmente il CAD non riconosce una catena cinematica, ma riconosce dei corpi che si mettono insieme. Penso che fra una decina d'anni si potrà realizzare un unico software integrato.

#### **Oltre al mercato europeo e statunitense, in quali mercati si aprono nuove possibilità?**

Negli ultimi tre anni siamo entrati in India e Corea e pensiamo di andare in Giappone e in Cina, mediante nostri rivenditori presenti sul luogo. Mentre in India e Corea abbiamo raggiunto un fatturato di circa 200 mila Euro, in Giappone e Cina fatichiamo a inserirci perché il mercato è molto chiuso. Ma vale la pena esserci.