

Lo sviluppo di una serie di riduttori

La progettazione di una serie di riduttori, composta da differenti taglie con ciascuna una gamma di rapporti di trasmissione, è un problema complesso. Tale compito può essere svolto con la creazione di un modello nell'ambito del software KISSsys, un tool per lo sviluppo di soluzioni per la trasmissione di potenza.

✎ Ulrich Kissling

La progettazione di una serie di riduttori, composta da differenti taglie con ciascuna una gamma di rapporti di trasmissione, è un problema complesso. La serie deve essere separata in modo ottimale per offrire al cliente una valida soluzione a ogni esigenza di trasmissione. Per abbattere i costi è necessario utilizzare, se possibile, stessi pezzi in riduttori di differenti dimensione. Il numero dei pezzi complessivamente utilizzati deve essere minimizzato, cercando di sfruttare al massimo la capacità dei singoli componenti.

Nella valutazione dei costi di una serie, l'utilizzo ripetuto delle componenti è visto in modo positivo; così facendo aumenta il numero di pezzi uguali prodotti permettendo di conseguenza di ridurre i pezzi di ricambio a magazzino. D'altronde, un utilizzo per carichi inappropriati delle stesse componenti, diviene economicamente svantaggioso. L'elaborazione di una strategia di costo ottimale è estremamente complessa poiché (in certi ambiti), un gran numero di parametri può essere variato, in più è importante la separazione delle coppie da grandezza a grandezza e il grado di riduzione per ogni formato. Per esempio per un numero di interassi ($a=60$ mm; 78 mm; 101 mm;) con i corrispondenti stadi di riduzione (per esempio $i=1,5$; 2,1; 2,9;), le possibili soluzioni risultano già molteplici e vanno esaminate e valutate.

Tale compito può essere svolto con la creazione di un modello nell'ambito del software KISSsys.

KISSsys un tool per lo sviluppo di trasmissioni

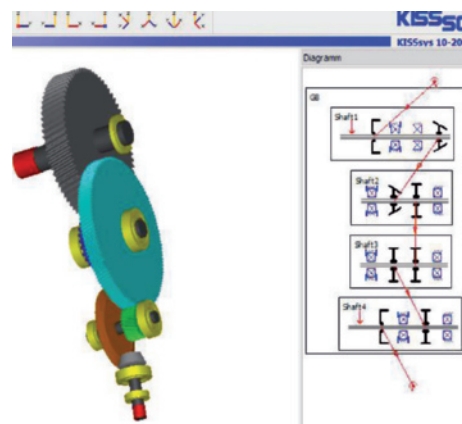
Il programma KISSsys è uno strumento per lo sviluppo di "soluzioni per la trasmissione di potenza" [2]. L'esigenza primaria era quella di sviluppare un programma con cui interfacciare i calcoli di ogni singolo organo di macchina. L'obiettivo era di scomporre il flusso della potenza di un sistema di trasmissione così da poter collegare poi in modo automatico tutti i calcoli. Se in un meccanismo con più stadi viene per esempio variato il rapporto di riduzione di uno stadio, in modo automatico varieranno anche le velocità di rotazione e di conseguenza le coppie di tutti gli elementi successivi.

KISSsys esegue i calcoli relativi a tutti gli elementi del sistema con la semplice pressione di un tasto e indica chiaramente tutti i risultati essenziali.

Le due qualità principali di KISSsys sono:

- effettuazione automatica della progettazione e interpretazione dei risultati (stadi di riduzione a ingranaggi, alberi, cuscinetti) attraverso il programma di calcolo per elementi di macchina KISSsoft;
- utilizzo di un linguaggio di interpretazione proprio, con la possibilità di implementare funzioni e modelli supplementari.

La generazione automatica di rappresentazioni tridimensionali in scala della trasmissione, i controlli delle interferenze attraverso un Kernel-3D e l'accesso immediato a qualsiasi risultato di calcolo sono altre sostanziali qualità che KISSsys mette a disposizione attraverso uno strumento di calcolo estremamente flessibile. Durante lo sviluppo di una "soluzione di trasmissione" vengono continuamente mostrati i margini di sicurezza (in particolare per



esempio la durata della vita) dei singoli pezzi in modo da cogliere immediatamente e in modo chiaro i punti di debolezza del sistema. Con l'aiuto dell'auto-risolutore contenuto all'interno del programma di calcolo KISSsys, è possibile utilizzare in modo efficiente i vari elementi e ottimizzare il sistema. Nella rappresentazione tridimensionale è anche possibile, con l'aiuto del Kernel-3D, visualizzare le più piccole interferenze. Un'iterazione come per esempio per la variazione della ripartizione per i singoli stadi del rapporto di trasmissione per una trasmissione a più stadi viene eseguita in pochi minuti. Se viene trovata una soluzione soddisfacente è possibile anche trasferire il modello-3D (STEP, SAT o IGES) con qualsiasi sistema CAD.

Per la sopra citata soluzione a problemi complessi nella progettazione di riduttori è di centrale importanza l'utilizzo di un linguaggio di interpretazione in combinazione con le funzioni di progettazione proprie di KISSsoft, come per esempio la progettazione automatica degli stadi di riduzione a ingranaggi.

Introdurre geometria

		minimo	massimo
Numero di denti ruota	z_1	11	24
Rapporto tra spessore del dente e modulo normale	b/m_n	6.0000	20.0000
Rapporto tra spessore del dente e circonferenza primitiva	b/d_1	0.0000	1.6000
Rapporto tra spessore del dente e interasse/passso	b/a	0.0000	0.7000

OK Annulla

Impostazioni specifiche del modello

Generale	Materiali	Progetti	Calcoli	Coeff. sicur.	Valori
Vibrazioni					50.0 %
Deviazione del rapporto di trasmissione nominale					20.0 %
Peso					10.0 %
Scorrimenti specifici					35.0 %
Velocità di scorrimento					0.0 %
Lunghezza di accesso					0.0 %
Rendimento					10.0 %
Resistenza					100.0 %

Fig. 1 - Input per la progettazione dell'ingranaggio. Sinistra: inserimento degli intervalli dei parametri di dimensionamento. Destra: valutazione dei criteri per la scelta della soluzione ottimale.

Funzioni di progettazione

Come strumenti per la progettazione automatica dei riduttori nel loro complesso vengono offerte due funzioni essenziali:

- progettazione dello stadio di riduzione con condizioni al contorno definibili a priori e con margini di sicurezza prestabiliti;
- progettazione di alberi (lunghezza, diametro) e scelta cuscinetti, coefficienti di sicurezza minimi (albero) e durata (cuscinetto).

Scopo di tali funzioni è generare una soluzione ponderata e dimensionata correttamente, che rispetti i parametri scelti e che possa essere già utilizzata senza sostanziali modifiche per il disegno costruttivo del pezzo.

Progettazione degli stadi di riduzione

La funzione di progettazione degli stadi di riduzione è un'opzione del programma di calcolo KISSsoft. Questa cosiddetta progettazione di massima, sulla base dell'input della potenza, del numero di giri, delle riduzioni, dei materiali, dei metodi di calcolo (ISO6336, AGMA2001 oppure DIN3990) e di coefficienti di sicurezza, prova e verifica le possibili soluzioni. Al fine di esercitare un controllo delle proporzioni ottimali per i diversi ambiti (per esempio riduttori industriali o cambi di velocità) possono essere inseriti nel programma (fig. 1) dei limiti sui rapporti b/a , b/m_n e b/d_1 tra le grandezze caratteristiche. Come risultato si ottiene una lista di soluzioni relative all'interasse, allo spessore dei denti e al modulo. Inoltre viene definita la massa totale di ogni soluzione. Questo è un parametro che permette di avere un'indicazione sulle differenze di costo tra più soluzioni equivalenti dal punto di vista della resistenza. Lo scopo della progettazione di massima è quindi quello di mostrare le possibili soluzioni a un problema di trasmissione di potenza. Nell'utilizzo completamente automatico della funzione del programma KISSsys, il tool calcola e fornisce la migliore soluzione in base a opportuni criteri di scelta.

Progettazione degli alberi con cuscinetti

La progettazione automatica di un albero con relativi cuscinetti con determinazione della lunghezza e del diametro dell'albero e consi-

derazioni sulla durata del cuscinetto è un'altra funzione molto importante. In fase di dimensionamento dell'albero vengono imposti coefficienti di sicurezza minimi sia per le condizioni di carico statiche che per quelle dinamiche. Per questo la progettazione è già direttamente implementata nel programma KISSsys attraverso formule empiriche. I diametri vengono arrotondati poi a valori unificati dei cuscinetti. L'albero viene infine importato in KISSsoft per una verifica che ne prevede il calcolo esatto della resistenza e all'evenienza anche un'ulteriore ottimizzazione dei diametri.

Per la scelta dei cuscinetti viene utilizzata un'apposita funzione di progettazione per i cuscinetti. L'utilizzatore ne sceglie la forma costruttiva e la durata minima. Se non dovesse esistere un cuscinetto con la forma prescritta e con quell'esatta durata, iterativamente viene aumentato il diametro dell'albero. Con la prova di interferenza viene successivamente verificato che due alberi limitrofi non collidano; nel caso ciò avvenisse, l'utente verrebbe avvisato e consigliato a cambiare la forma del cuscinetto. La determinazione del diametro dell'albero è importante per poter decidere se il pignone può essere cassetto sull'albero o se va realizzato di pezzo. Ciò risulta essenziale per il calcolo del costo di fabbricazione.

Progettazione della serie di riduttori

A titolo di esempio tratteremo un modello KISSsys con cui è possibile progettare una serie a 2 stadi con ingranaggi cilindrici. Tale serie deve poter trasmettere una coppia in uscita di 2.000 Nm per la taglia minore e una coppia di 50.000 Nm per la taglia maggiore. Obiettivo sono stadi di riduzione complessivi da 7,1 a 25,0, tra cui ci devono essere altri 11 rapporti regolarmente distribuiti. Ciò può per esempio essere ottenuto utilizzando per le varie coppie di ruote i seguenti rapporti:

$i=2,66, 2,95, 3,28, 3,64, 4,05, 4,50, 5,00$.

La serie di taglie deve essere tale da consentire al momento torcente di crescere di volta in volta di circa il 40%-50%; Ciò significa che la

Albero automatico/Disposizione dei cuscinetti

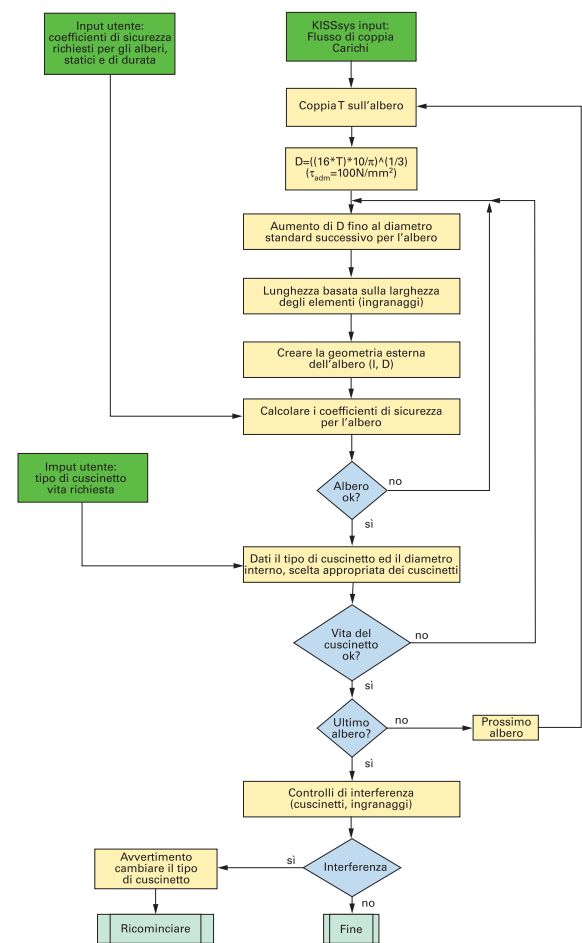


Fig. 2 - Diagramma di flusso della funzione di progettazione per alberi e cuscinetti in KISSsys.

serie di riduttori deve prevedere 9 taglie. La coppia nominale dei vari formati deve perciò raggiungere i seguenti livelli:

$T=2.000, 2.900, 4.100, 6.100, 8.800, 12.500, 180.00, 24.500, 35.000, 50.000$ Nm.

Il modello KISSsys per la progettazione richiede in ingresso, a scelta, la serie dei momenti torcenti nominali o quella degli interassi desiderati. In alternativa è possibile fornire gli stadi di riduzione se si hanno già dati nell'archivio KISSsoft. Il modello KISSsys per la progettazione di una serie di riduttori è rappresentabile attraverso tre diagrammi di flusso. Ciò che il diagramma di flusso "1° passo" mostra (fig.3) è come a partire dal rapporto interasse/

Sviluppo del riduttore - passo 1 - progettazione delle coppie di ruote

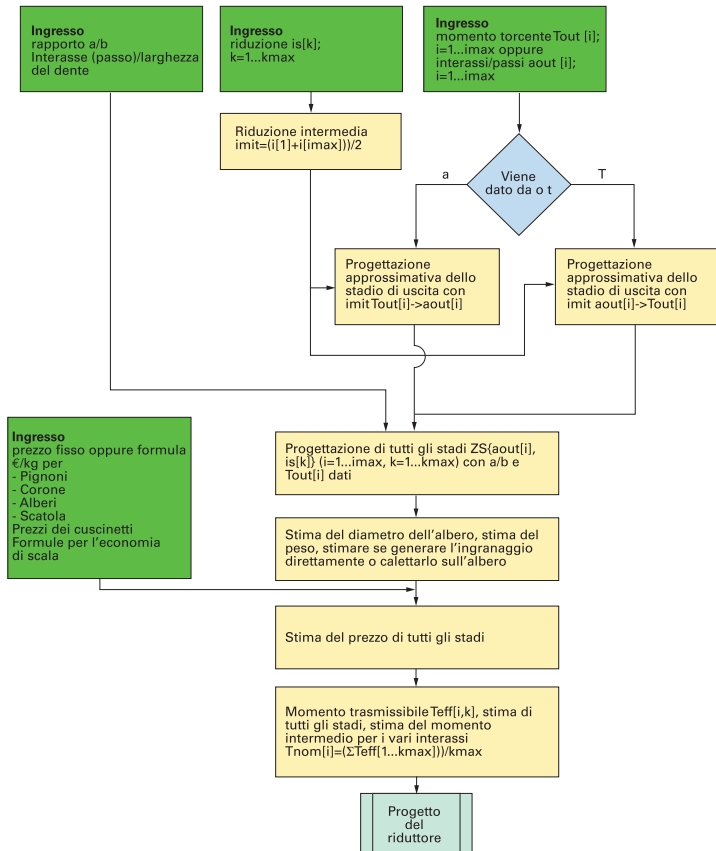


Fig. 3 – Prima parte della progettazione del riduttore: determinazione di tutte le coppie di ruote necessarie (dimensionamento, ottimizzazione e stima dei costi).

larghezza (a/b) del dente venga restituita la serie degli interassi o quella dei momenti nominali a seconda che si passi la serie dei momenti nominale i o quella degli interassi rispettivamente.

Fornendo l'interasse vengono progettate tutte le coppie di ruote dentate; nell'esempio ne vengono concepite 7, conformi alla serie di rapporti, tutte calcolate tenendo conto dello stesso spessore del dente. Lo spessore del dente è definito dal rapporto a/b precedentemente fornito al programma. Per la determinazione delle coppie di ingranaggi è possibile scegliere nelle impostazioni se si preferisce una trasmissione silenziosa (priva di vibrazioni), possibilmente economica (peso) o con elevata resistenza. Successivamente viene eseguita una stima dei costi di produzione delle coppie di ruote. A seconda del diametro necessario per l'albero si opta per un ingranaggio calettato sull'albero oppure realizzato di pezzo.

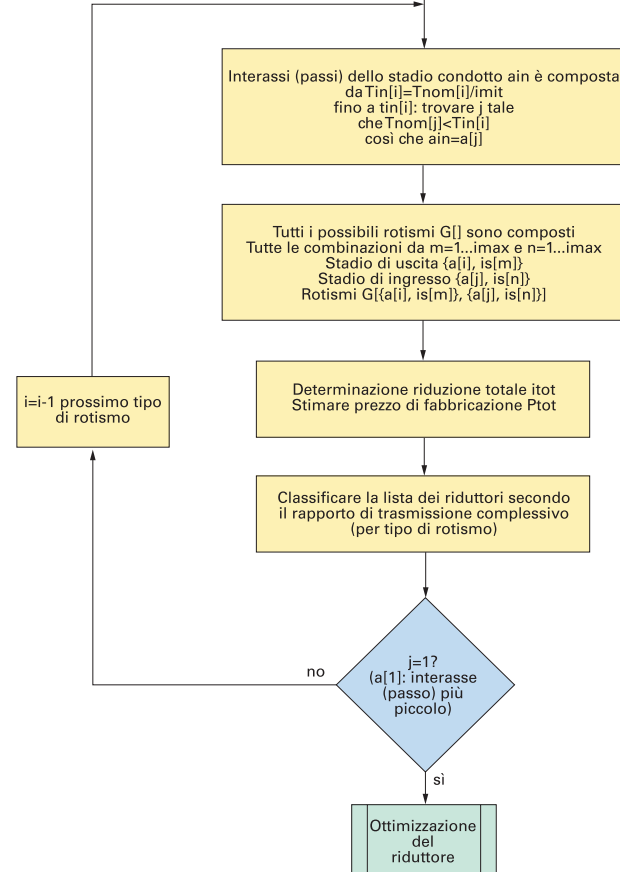


Fig. 4 – Seconda parte della progettazione del riduttore: determinazione del riduttore con tutte le possibili combinazioni di coppie di ruote e stima dei costi.

Definite le coppie di ruote segue, come mostra il "2° passo" (fig. 4), la determinazione del tipo di rotismo. Partendo dalle coppie di ruote con interasse maggiore, che viene preso per l'unità condotta (interasse a2) delle dimensioni maggiori, si cerca la interasse

esatto (a1) per l'unità di comando, in cui il momento nominale (dell'unità di comando) viene trovato con il momento condotto e la demoltiplicazione media dell'unità condotta. La combinazione di tutte le coppie di ruote di a2 con le coppie di ruote di a1 fornisce la

itot	a2	Stufe 1	Price1	Stufe 2	Price2
7.0756	275	Z21_56a178i2_66_z12	430.25	Z21_55a275i2_66_z12	1556.44
7.8603	275	Z21_56a178i2_66_z12	430.25	Z17_50a275i2_955_z12	1644.65
7.8603	275	Z20_59a178i2_955_z12	470.69	Z21_55a275i2_66_z12	1556.44
8.731982	275	Z21_56a178i2_66_z12	430.25	Z18_59a275i3_2827_z12	1725.6
8.731982	275	Z18_59a178i3_2827_z12	460.58	Z21_55a275i2_66_z12	1556.44
8.732025	275	Z20_59a178i2_955_z12	470.69	Z17_50a275i2_955_z12	1644.65
9.7003785	275	Z20_59a178i2_955_z12	470.69	Z18_59a275i3_2827_z12	1725.6
9.7003785	275	Z18_59a178i3_2827_z12	460.58	Z17_50a275i2_955_z12	1644.65
9.700488	275	Z21_56a178i2_66_z12	430.25	Z18_65a275i3_6468_z12	1784.17
9.700488	275	Z22_79a178i3_6468_z12	495.58	Z21_55a275i2_66_z12	1556.44
10.77611929	275	Z18_59a178i3_2827_z12	460.58	Z18_59a275i3_2827_z12	1725.6
10.776192	275	Z21_56a178i2_66_z12	430.25	Z18_73a275i4_0512_z12	1899.37
10.776192	275	Z14_57a178i4_0512_z12	656.33	Z21_55a275i2_66_z12	1556.44
10.776294	275	Z20_59a178i2_955_z12	470.69	Z18_65a275i3_6468_z12	1784.17

Fig. 5 – Lista dei riduttori con interasse a2=275, ordinata secondo il rapporto di trasmissione totale.

massima quantità di meccanismi di una taglia. Tale procedimento viene condotto analogamente per tutte le taglie.

Successivamente segue una stima approssimativa dei costi (scatola e parti essenziali [1]). Tutte le varianti con relativi momenti trasmissibili, riduzioni, costi di fabbricazione e quote (stima dei pezzi con la massima o minima capacità di trasmettere momento) vengono rappresentate in una tabella. La tabella con i risultati (fig.5) contiene oltre alle soluzioni ricercate, anche eventualmente soluzioni doppie. Tutte le soluzioni, che hanno una margine del $\pm 2\%$ sullo stesso rapporto di riduzione totale, tranne una, devono essere eliminate. Per l'eliminazione delle soluzioni si può scegliere tra più criteri. Attraverso una strategia ragionata, esiste una buona probabilità di ottenere una serie di riduttori ottimizzata.

Il diagramma di flusso "3° passo" (fig.6) mostra lo svolgimento dell'ottimizzazione nella sua variante A: tra soluzioni con lo stesso rapporto di riduzione viene sempre scelta quella economicamente vantaggiosa. Un'altra possibile ottimizzazione che permette di scegliere tra soluzioni con prestazioni equivalenti è la variante B. In questo caso, viene favorita ogni volta la soluzione in cui un momento d'uscita - suddiviso nelle varie riduzioni - meglio si adatta al momento d'ingresso.

Una terza variante di ottimizzazione, la C, è quella che minimizza il numero di componenti utilizzati. Qui viene proposta sempre quella soluzione, partendo dalla grandezza maggiore, che utilizza componenti già adoperati in altre soluzioni. Nel caso due o più soluzioni utilizzino componenti precedentemente adoperati, la scelta viene effettuata in base alla frequenza di utilizzo di pezzi uguali. Se non sono presenti pezzi ripetuti, la soluzione viene scelta in base alla variante A.

Il modello KISSsys restituisce in circa due ore di tempo di calcolo tre soluzioni relative a una serie di riduttori completa composta come nell'esempio da 9 taglie ognuna con 13 riduzioni complessive. Inoltre vengono proposte valutazioni e consigli che facilitano nella scelta del criterio da utilizzare (A, B o C). In particolare:

- il conteggio delle componenti necessarie alla realizzazione del riduttore;
- il costo totale per il fabbisogno della produzione annuale per esempio per complessivamente 2.000 ingranaggi, dunque nel nostro

Sviluppo riduttore - passo 3 - ottimizzazione variante A: scegliere sempre la soluzione più economica

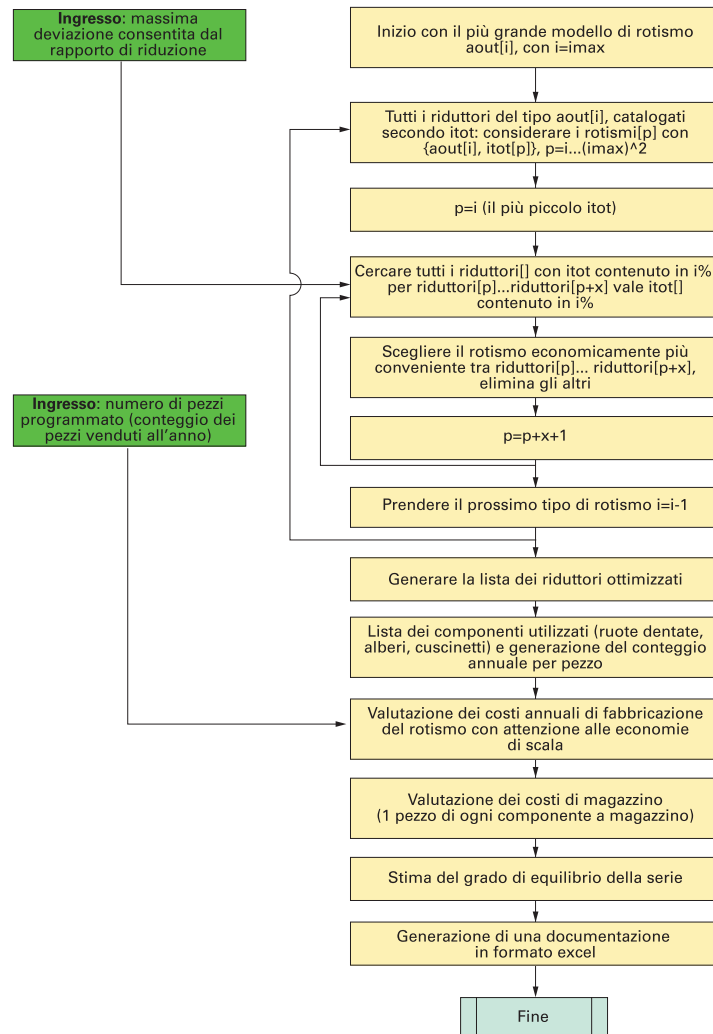


Fig. 6 – Terza parte della progettazione del riduttore: ottimizzazione del riduttore secondo la variante A: scegliere sempre la soluzione economicamente vantaggiosa.

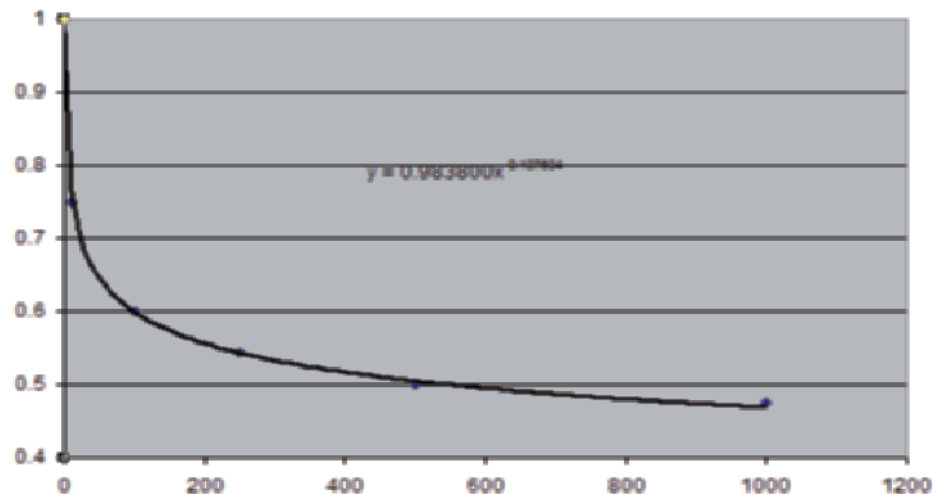


Fig. 7 – Fattore economico di scala in relazione al numero di pezzi prodotti nella previsione dei costi annuali di produzione della serie di riduzioni.

caso 17 pezzi con stessa taglia e riduzione. In questo modo vengono ridotti i costi dei singoli pezzi grazie all'economia di scala (figg. 7 e 8);

- i costi dei ricambi (secondo la filosofia che ogni pezzo passerà sicuramente per il magazzino);
- la variazione del momento trasmissibile nelle diverse riduzioni per ogni grandezza

La figura 9 riassume l'analisi di tali criteri applicati alla serie di riduttori, mostrati secondo le varianti A, B e C. L'analisi mostra come attraverso un coerente utilizzo degli stessi interassi negli stadi di ingresso e uscita e con una ponderata selezione dei pezzi da utilizzare, sia possibile una riduzione di circa il 50% dei componenti necessari. Sorprendente è il fatto che l'ottimizzazione secondo la variante C, quella ovvero che minimizza il numero di componenti (-15%) risulta tuttavia meno vantaggiosa dal punto di vista del costo per unità di coppia trasmessa (+9%). Il risparmio che si ha secondo la variante C (riducendo i pezzi del 42%) viene annullato dalla minor capacità di trasmissione del momento rispetto all'ottimizzazione B. Con costi per la produzione annuale di circa 1,5 milioni di euro, un incremento di momento trasmissibile per unità di valuta del 9% permette di ottenere un prezzo di mercato migliore; per contro il risparmio sullo stoccaggio dei pezzi di ricambio risulta solamente di circa 34000 euro sull'arco dell'anno.

Un altro svantaggio della variante C rispetto alla variante B è la quasi quadrupla variazione di momento d'uscita con differenti riduzioni. Principalmente risulta vantaggioso quando la grandezza di un riduttore riesce a trasmettere circa lo stesso momento in tutte le riduzioni. La variante A, basata sulla valutazione del costo, si interpone tra le varianti B e C anche se spesso è più spostata verso la soluzione B.

I risultati qui citati dipendono molto dalla produzione annua programmata e a seconda dei fattori impostati. A seconda delle condizioni al contorno, la soluzione ottimale non deriva sempre dalla variante di ottimizzazione B. Dalla comparazione di varie analisi è possibile evidenziare che anche altri algoritmi possono essere utilizzabili e che questi possono portare a risultati ancora migliori di quelli trovati. Lo scopo di tale studio è creare uno strumento che consenta un'elegante soluzione di questi delicati compiti. L'elaborazione del modello KISSsys per questo compito mostra come la

1	Number of Gearboxes	117	Amount/GB	11
2				
3	Gear pairs Used	Price/Part	No in use	Discount% Gear Prices
4	Z21_56a110x2 66 z12_gear1	9.00	2	29.43 139.72
5	Z21_56a110x2 66 z12_gear2	73.44	2	29.43 1140.11
6	Z24_71a110x2 955 z12_gear1	7.61	2	29.43 118.14
7	Z24_71a110x2 955 z12_gear2	79.43	2	29.43 1233.10

139	Z17_86a315x5 z12_gear1 (pinion2)	371.44	7	38.33	17639.28
140	Z17_86a315x5 z12_gear2	2397.59	7	38.33	113858.95
141	Z19_50a320x2 66 z12_gear1	220.81	6	37.30	9138.21
142	Z19_50a320x2 66 z12_gear2	1818.41	6	37.30	75254.82
143	Z15_74a320x5 z12_gear1 (pinion2)	460.75	7	38.33	21880.52
144	Z15_74a320x5 z12_gear2	2454.75	7	38.33	116573.41
145	Z19_50a390x2 66 z12_gear1	395.20	6	37.30	16355.33
146	Z19_50a390x2 66 z12_gear2	3285.40	6	37.30	135966.14
147	Z20_90a390x4 5004 z12_gear2	4393.05	0		
148	Z16_79a390x5 z12_gear1 (pinion2)	662.56	7	38.33	31464.26
149	Z16_79a390x5 z12_gear2	4422.66	7	38.33	210027.32
150				Total price	1626224
151					
152	Number of parts	167	Unused part	68	

Fig. 8 – Estratto della tabella dei singoli pezzi con indicazione del numero ("non in uso") degli utilizzi dei vari componenti e i risparmi legati alle economie di scala per le grandezze del lotto sui costi totali di produzione. La tabella in formato CVS viene generata da KISSsys e può successivamente essere importata in excel.

parte più difficile sia non tanto la generazione del riduttore e la stima del suo prezzo, bensì il trovare un criterio valido con cui giudicare le possibili alternative. È sicuramente possibile trovare ulteriori e migliori criteri di quelli fin qui descritti.

Esame di alcuni riduttori di produttori europei

Con il modello per la progettazione di serie di riduttori qui descritto, risulta anche possibile

analizzare progetti già esistenti. Esistono, infatti, molte rinomate aziende che offrono oggi serie standard di riduttori nella fascia tra 5 kNm e 50 kNm. Per testare il modello, abbiamo analizzato le serie di cinque produttori europei e li abbiamo confrontati. Per il test abbiamo scelto un'azienda tedesca, una belga, una finlandese e due italiane. Per l'analisi è necessaria la conoscenza degli interassi (di ingresso ed di uscita, a1 e a2) di tutte le grandezze e la larghezza di fascia. Del produttore

Confronto delle analisi del riduttore secondo le 3 possibili varianti nell'ottimizzazione			
	Serie A	Serie B	Serie C
Numero di formati	9	9	9
Numero di riduzione per formato	13	13	13
Numero di riduttori	117	117	117
Numero massimo teorico di componenti (alberi, pignoni, corone, pignoni lavorati sull'albero)	294	294	294
Riduzione del numero di componenti attraverso l'utilizzo di stadi di dimensioni più grandi o più piccole	102	102	102
Riduzione del numero di componenti secondo il criterio di ottimizzazione A, B e C	25	16	44
Numero effettivo di componenti	167	176	148
Momento trasmissibile con il più piccolo formato (a2=129 mm) Nm	1992	2060	1780
Variazione del momento del più piccolo formato (con riduzione da 7.07 a 25.0)	6.59%	4.26%	15.56%
Momento di trasmissione con il più grande formato (a2=360 mm) Nm	46230	48280	40990
Variazione del momento del più grande formato	7.30%	5.04%	17.60%
Magazzino: conteggio dei componenti	167	176	148
Spese magazzino (per ogni pezzo), €	78420	79960	46310
Prezzo medio del componente per riduttore nella produzione in serie, €	1088	1105	1070
Prezzo medio specifico per unità specifica di momento, €/cent	7.02	6.94	7.58
Costo totale per la fabbricazione annua per 12 riduttori dello stesso formato e riduzione, complessivamente 1404 pezzi, €	1527953	1551475	1502726

Fig. 9 – Criteri di valutazione per i riduttori, scelti in base a differenti metodi.

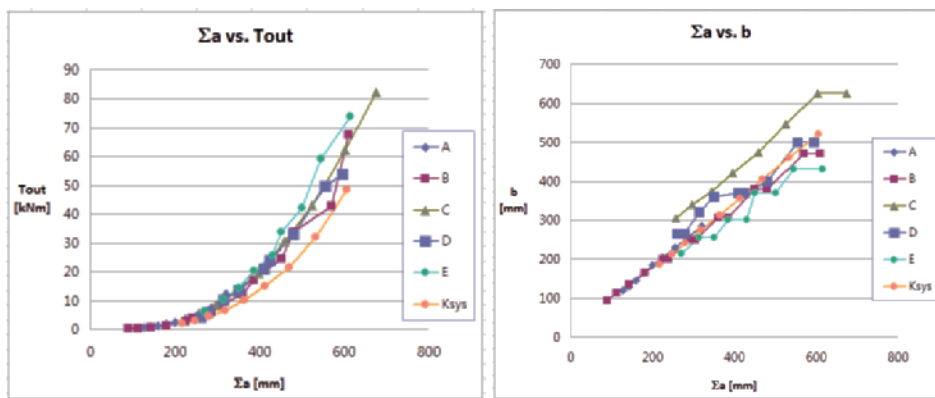


Fig. 10 – Confronto tra soluzioni di produttori europei (“A” – “E”) di riduttori standard a 2 stadi con ingranaggi cilindrici. I dati sono relativi alle schede tecniche fornite dai produttori stessi. KISSsys mostra i risultati del caso preso in esame nel capitolo 4. Sinistra: momento dello stadio di ingresso in funzione della distanza complessiva a1+a2. Destra: larghezza della scatola del riduttore in funzione di a1+a2.

C non si avevano a disposizione i dati relativi agli interessi e si sarebbe potuto solo ipotizzare la distanza a1+a2 del disegno quotato. Per questo la serie di riduttori di tale azienda non è stata inserita nell'analisi.

L'analisi contiene comunque un'impresione intrinseca dato che gli esatti dati delle singole ruote dei vari produttori non sono noti. Dati gli interessi, le riduzioni e le larghezze di fascia, le possibili soluzioni sono in numero limitato. Nell'analisi abbiamo comunque utilizzato le migliori ruote possibili. Il test verte sul confronto tra i valore degli interessi tra stadio di ingresso e stadio di uscita. Per confrontare “le stesse cose nello stesso modo” sono stati presi in considerazione gli stessi rapporti di riduzione per tutti i produttori. I rapporti sono gli stessi presi in esame nel capitolo 4 e sono caratteristici dell'ambito in cui operano i diversi produttori. Per effettuare un confronto realistico sono state prese 9 taglie da ogni produttore, tutte nella stessa fascia di interessi; unica eccezione è la serie A (small) del produttore A che ha interessi leggermente inferiori.

La figura 10 mostra come il momento torcente in relazione alla taglia (interasse totale $\Sigma a = a1+a2$) per i vari produttori concordi. Le coppie del modello KISSsys studiato nel capitolo 4 sono invece leggermente inferiori. Ciò dimostra che le soluzioni adottate dai vari

produttori utilizzano coefficienti di sicurezza e durate leggermente inferiori. Anche la larghezza della scatola del riduttore concordano abbastanza; solamente il prodotto del produttore C è sensibilmente più largo degli altri.

Una debolezza di tale modo di operare sta nell'incertezza sul metodo di ottimizzazione del numero di parti usato dai vari produttori. Per questo sono stati utilizzati tutti e tre i criteri di ottimizzazione prima esposti e successivamente si è mostrata la differenza tra il miglior e il peggior risultato. Il risultato ottimale sta con elevata probabilità in questo intervallo.

Il confronto è mostrato in figura 11. L'analisi mostra significative differenze tra le varie serie di riduttori dei differenti produttori. Il riduttore A (small) del produttore A necessita di almeno il doppio di componenti rispetto al riduttore del produttore E. Il motivo è che in tale riduttore nessuna ruota dello stadio di ingresso può essere adoperata come ruota dello stadio di uscita in quanto i vari interessi differiscono. Per questo i costi di magazzino e il costo specifico per unità di coppia per il riduttore A (small) sono molto elevati. Per contro lo stesso produttore ha utilizzato una strategia differente e sostanzialmente migliore per il riduttore del formato maggiore A (big) in quanto i costi specifici per unità di coppia risultano in assoluto i più bassi.

Un'ulteriore analisi mostra come i produttori B ed E utilizzino meno componenti di quelli teoricamente possibili. Ciò non dipende da un errore nell'algoritmi di analisi; entrambi i produttori prendono ogni volta stessi interessi per lo stadio motore per due taglie differenti. Ciò consente l'utilizzo degli stessi componenti per due taglie. Questo porta a una riduzione dei costi dei pezzi di ricambio per i produttori B ed E ma aumenta il costo per unità di coppi trasmessa in quanto tale modo di progettare non si adatta bene agli equilibri tra ingresso e uscita. Il produttore D utilizza interessi quasi sempre differenti per lo stadio motore e ciò porta a un maggiore numero di pezzi utilizzati. I minori costi di produzione per unità di coppia trasmessa li hanno le serie B, D e A(big), quasi uguali tra loro. In conclusione è importante ricordare che lo scopo di questa analisi comparativa non è dare un giudizio su buona e cattiva progettazione ma solo mostrare come lo strumento di analisi KISSsys riesca mirabilmente a cogliere punti di forza e debolezza di tutti i sistemi analizzati.

Allargamento ad altri tipi di rotismi

Questo modello per la progettazione di serie di riduttori può essere adattato anche a riduttori a tre o più stadi, riduttori conici o epicicloidali. L'approccio sostanziale è il medesimo e anche il metodo di condurre l'analisi rimane lo stesso. La parte aggiuntiva del procedimento interessa solo il “2° passo” (fig. 4) e non è complicata. Il vantaggio del sistema KISSsys è la possibilità di realizzare in modo semplice anche modelli complessi grazie ai semplici comandi e al linguaggio di comunicazione facilmente interpretabile.

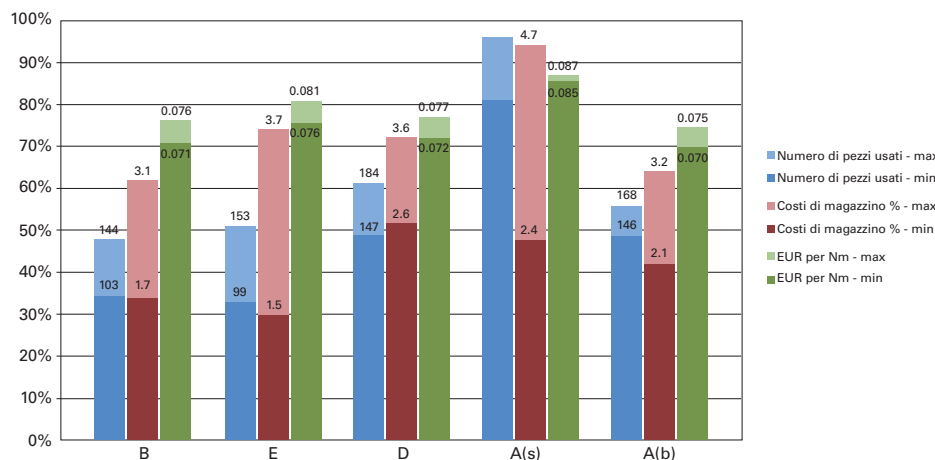


Fig. 11 – Confronto tra riduttori standard di vari produttori europei.

Bibliografia

- [1] Kissling, U., Entwurf von Getrieben in engen räumlichen Randbedingungen mit gleichzeitiger Herstellkosten-Schätzung, SimPEP Kongress 2007, Würzburg.
- [2] <http://www.kisssoft.ag>; -> Produkte -> KISSsoft -> KISSsys.