

# La lubrificazione minimale nei sistemi di guida lineari

**La lubrificazione minimale di guide lineari e viti a ricircolo di sfere sotto forma di erogazione controllata di una miscela aria-olio, nota come Minimal Quantity Lubrication (MQL), trova applicazione sempre più frequente nel settore delle macchine utensili.**

*di Maurizio Mazzoni*

■ Il principio della lubrificazione aria-olio minimale è da anni adottato sui macchinari più performanti come sistema ottimale per la lubrificazione dei cuscinetti a sfere a contatto obliquo nei mandrini per lavorazioni ad alta velocità.

Questo non è tuttavia l'unico caso in cui si presenta la necessità di un apporto minimo e costante di lubrificante. Infatti altri componenti di macchine utensili, come le guide lineari o le viti a ricircolo di sfere, oltre agli ingranaggi per alta velocità,

Figura 1-1a  
Cuscinetti di precisione FAG.



rappresentano punti di lubrificazione in cui la MQL viene sfruttata con benefici e incrementi prestazionali.

Inoltre l'applicazione della MQL per la lubrificazione degli utensili rappresenta oggi una tecnologia in piena espansione per le lavorazioni con asportazione di truciolo. I vantaggi, in termini di drastica riduzione dei lubrificanti, miglioramento delle condizioni di lavoro e incremento dei parametri di lavorazione, rappresentano delle prerogative estremamente interessanti per lo sviluppo tecnologico.

In questo articolo viene preso in considerazione un particolare progetto applicativo della MQL per un sistema di traslazione degli assi di una macchina utensile per alte velocità, ovvero l'impiego della MQL su guide lineari e viti a ricircolo di sfere.

Il progetto è stato realizzato dall'azienda spagnola Fatronik System S.A. di Elgoibar (Gipuzkoa) in collaborazione con la INA Schaeffler KG di Herzogenaurach.

L'analisi dei dati sperimentali rappresenta una valida conferma dei sostanziali vantaggi conseguiti con l'applicazione della MQL.

**Nelle lavorazioni ad alta velocità il sistema di lubrificazione minimale aria-olio comporta vantaggi sostanziali.**

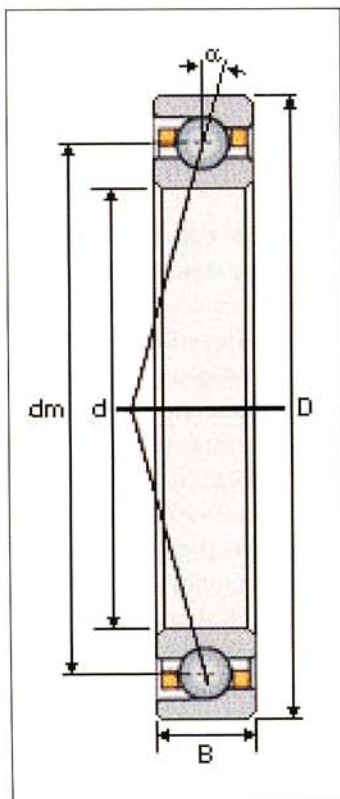


Figura 2  
Il quantitativo minimo di lubrificante viene determinato in base alle dimensioni dei cuscinetti.

sufficiente per ottenere il distacco delle superfici di scorrimento.

Con la MQL non si ha un sistema di lubro-refrigerazione, l'eventuale calore non viene asportato dal fluido lubrificante; tuttavia, la mancanza di eccesso di lubrificante comporta alle alte velocità un contenimento delle temperature, che altrimenti aumenterebbero proprio a causa dell'attrito fluidodinamico causato dal lubrificante in eccedenza.

Quantitativamente le portate in gioco possono variare dai 50 ai 300 mm<sup>3</sup>/h. Di seguito si riassumono i dati caratteristici per queste applicazioni.

#### L'applicazione della MQL nei cuscinetti mandrino

Normalmente si tratta di una corona di sfere a contatto obliquo in esecuzione per alta velocità. Per un cuscinetto dal diametro nominale Dm, il quantitativo limite necessario di lubrificante si determina con la semplice formula pratica: 1mm<sup>3</sup>/h x dm. Per esempio: se Dm è uguale a 100 mm, la portata limite di lubrificante è: Q=100 mm<sup>3</sup>/h. I diversi costruttori di cuscinetti prescrivono le portate di lubrificante necessario in base alle

Figura 3  
Quantitativo d'olio per mandrini FAG lubrificati con la MQL.

#### La MQL nel settore delle macchine utensili

La tecnologia della lubrificazione minimale è nota da almeno trent'anni; nelle macchine utensili viene in genere applicata per i cuscinetti di precisione a contatto obliquo e, più recentemente, anche per gli ingranaggi veloci dei motoriduttori. Concettualmente, lubrificazione minimale significa alimentare un quantitativo di lubrificante minimo, ma

caratteristiche costruttive dei propri prodotti.

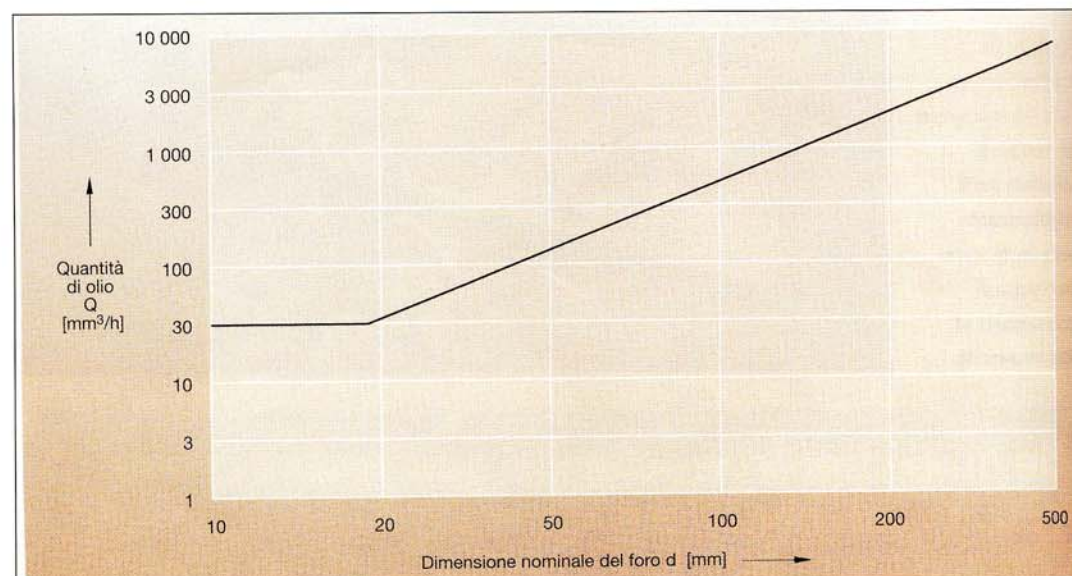
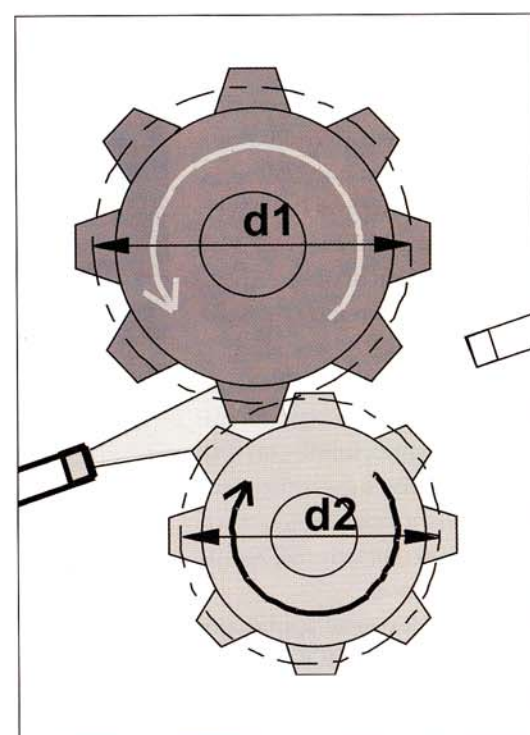
#### La lubrificazione di ingranaggi di teste veloci

Negli ultimi anni sono stati applicati con ottimi risultati sistemi MQL per la lubrificazione di ingranaggi di teste veloci. Si tratta di applicazioni eseguite da costruttori di centri di lavoro.

La quantità di lubrificante necessaria si può desumere con la formula empirica:

$$Q [\text{cm}^3/\text{h}] = (d1+d2) \times b \times 0,2 / 2580$$

Figura 4  
La formula di calcolo per determinare il quantitativo di lubrificante.



dove: d1, d2 [mm] sono i diametri primitivi e b [mm] è la larghezza del dente.

Per esempio con:

$$d1 = 120; d2 = 160; b = 100$$

si ottiene

$$Q = 2,17 [\text{cm}^3/\text{h}].$$

#### L'applicazione della MQL nei sistemi di guida lineare

Nel settore delle guide lineari esistono diverse varianti costruttive che trovano impiego nei progetti delle macchine. Le soluzioni applicative tengono conto sostanzialmente della velocità di movimento, del carico da sup-

portare e delle esigenze di costo. La necessità di un'adeguata lubrificazione nasce dall'esigenza di evitare il più possibile i fenomeni collegati all'attrito di primo distacco. La presenza di attrito sulle guide è dannosa ai fini della lavorazione ad alta velocità sulle macchine ad asportazione di truciolo. Per esempio, nelle lavorazioni di stampi durante le inversioni di traiettorie interpolate, passaggi su spigoli e descrizioni di curve sul pezzo, si rischia, in presenza di attrito radente, di causare tacche sul pezzo ancor più gravi se presenti nella finitura degli stampi.

Un'altra funzione del lubrificante è quella protettiva nei confronti di tutti i processi di ossidazione e aggressione causati dagli agenti presenti nella zona di lavoro (polveri, umido e così via.).

Le applicazioni di sistemi MQL, che sono state realizzate nelle macchine utensili per guide o per viti a ricircolo di sfere o di rulli, hanno comportato un duplice vantaggio; infatti con il sistema aria-olio si garantisce una lieve pressurizzazione interna e quindi la protezione agli agenti esterni dannosi.

I vantaggi dovuti all'applicazione di un sistema MQL in sostituzione di un sistema tradizionale di lubrificazione a ricircolo d'olio o a grasso si possono così riassumere: la riduzione della temperatura d'esercizio con un effetto di maggiore stabilità termica; la pressurizzazione della guida con effetto protettivo all'intromissione di sporcizia; una lubrificazione costante e continua con eventuale controllo automatico del dosaggio di lubrificante; una maggior pulizia, senza imbrattamento dovuto al-

Figura 5  
**Guide con sfere ingabbiate** di produzione INA.

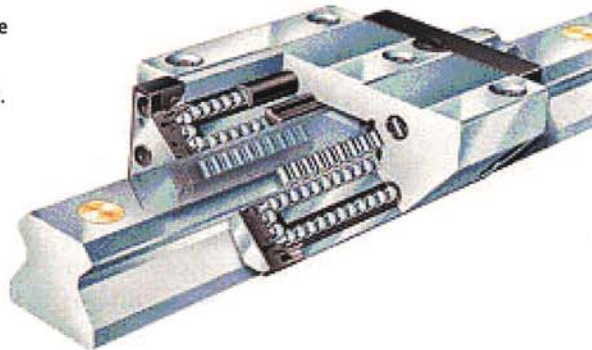
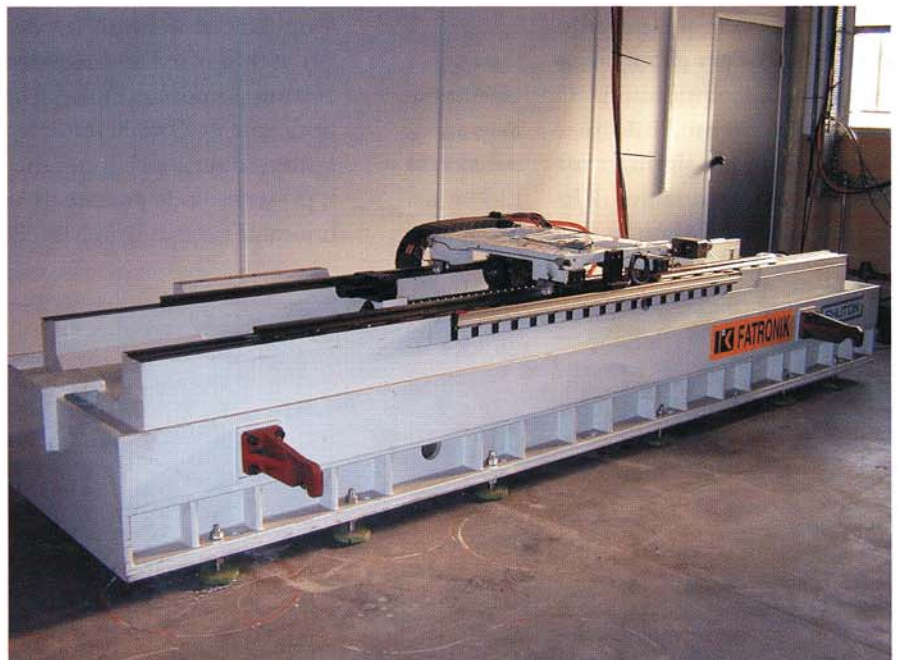


Figura 6  
**Viti a ricircolo di sfere** di produzione Steinmeyer

Figura 7 - La struttura realizzata dalla Fatronik System per **testare le soluzioni per il miglioramento della costruzione meccanica di azionamenti ad alta dinamicità.**



l'eccesso di lubrificante e infine la riduzione del quantitativo di lubrificante con vantaggi ambientali e senza formazione di nebbia inquinante.

### La MQL nei sistemi di guide lineari per alta velocità

Nelle lavorazioni ad alta velocità, lo sviluppo di sistemi di azionamento degli assi ad alta dinamicità, dotati di vite a ricircolo di sfere, rappresenta un elemento determinante per l'implementazione dei macchinari. Le capacità performanti di questi azionamenti sono ben al di sopra degli abituali valori; velocità d'avanzamento di 120 m/min e accelerazioni superiori a 1 g ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ) contro le abituali velocità di 30 m/min con accelerazioni al di sotto di 1 g. Con un sistema d'azionamento ad alta dinamicità si incrementa la produttività della macchina, in particolare massimizzando sia la velocità di traslazione che l'accelerazione con pari potenza installata.

**Nel campo delle guide lineari e delle viti a ricircolo di sfere la MQL viene sfruttata con benefici e incrementi prestazionali.**

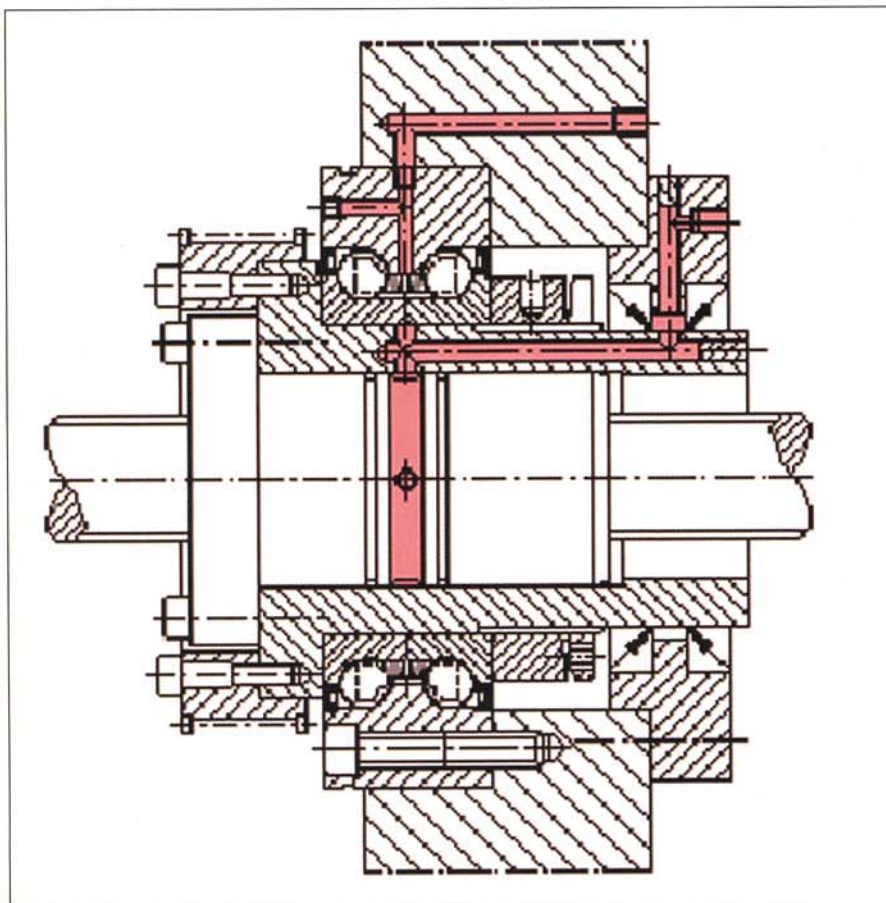


Figura 8  
Lubrificazione  
della madrevite  
dei cuscinetti

la scelta di alcuni componenti costruttivi ed impiantistici. Determinante si è dimostrata la scelta del sistema di lubrificazione, che ha qui un ruolo di primaria importanza. Infatti per le lavorazioni ad alta velocità un sistema MQL aria-olio comporta sostanziali vantaggi.

**Un sistema a tre punti di lubrificazione**

Il sistema deve alimentare il lubrificante sostanzialmente a tre punti di lubrificazione. Essi sono i cuscinetti della madrevite, il sistema di guide lineari e la madrevite stessa. Il sistema di lubrificazione da utilizzarsi viene determinato dalle esigenze del cuscinetto e della madrevite. In questo caso è stato scelto un impianto di lubrificazione MQL aria-olio per l'intero banco prova.

Particolarmente difficile è stato

Un ulteriore aspetto è la precisione degli azionamenti che viene sostanzialmente determinata da due fattori: la rigidità dinamica e statica degli elementi meccanici azionanti e la stabilità della temperatura.

Nel progetto di sviluppo eseguito dalla Fatronik System sono state messe a fuoco diverse soluzioni per il miglioramento della costruzione meccanica di azionamenti ad alta dinamicità. Alcune di queste sono state verificate tramite test eseguiti su una struttura appositamente concepita (Figura 7).

Figura 9  
Cuscinetto assiale a doppia corona di sfere a contatto obliquo tipo ZKLF di fabbricazione INA.

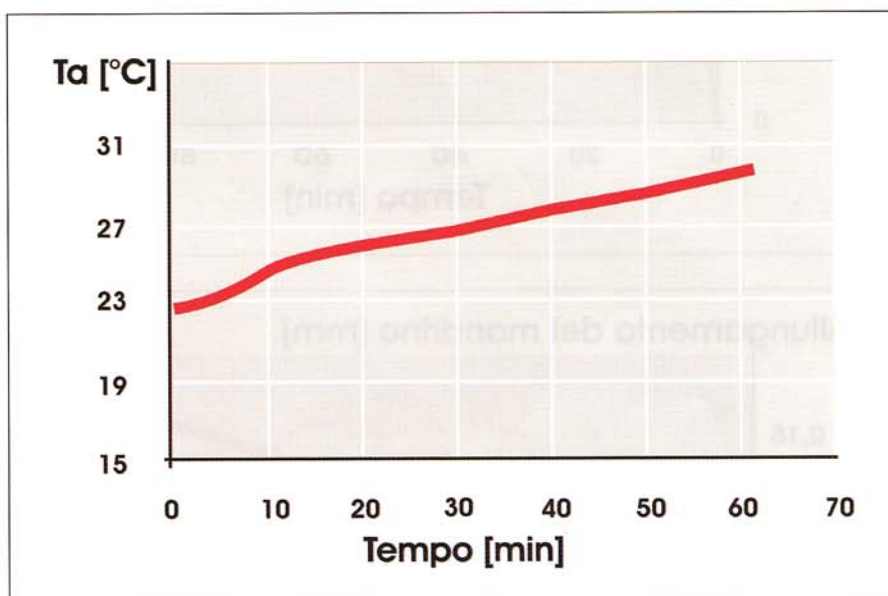


Figura 10  
Riscaldamento  
del cuscinetto,  
provato a  
100 m/min.

Sulla base di questi concetti è stato realizzato un sistema d'azionamento ad alte prestazioni con le seguenti caratteristiche: velocità di avanzamento massima pari a 120 m/min; accelerazione di  $\geq 14 \text{ m/s}^2$ ; massa traslante di 350 kg; corsa massima di 2.000 mm. Dopo la determinazione delle caratteristiche di funzionamento è stata valutata

garantire una lubrificazione idonea della madrevite, poiché si trattava di una madrevite rotante. Per questo motivo è stato progettato un sistema in cui l'olio giunge attraverso una serie di fori alla madrevite.

L'alimentazione olio per la madre vite è integrata in una bussola intermedia. La bussola viene alimentata con olio mediante

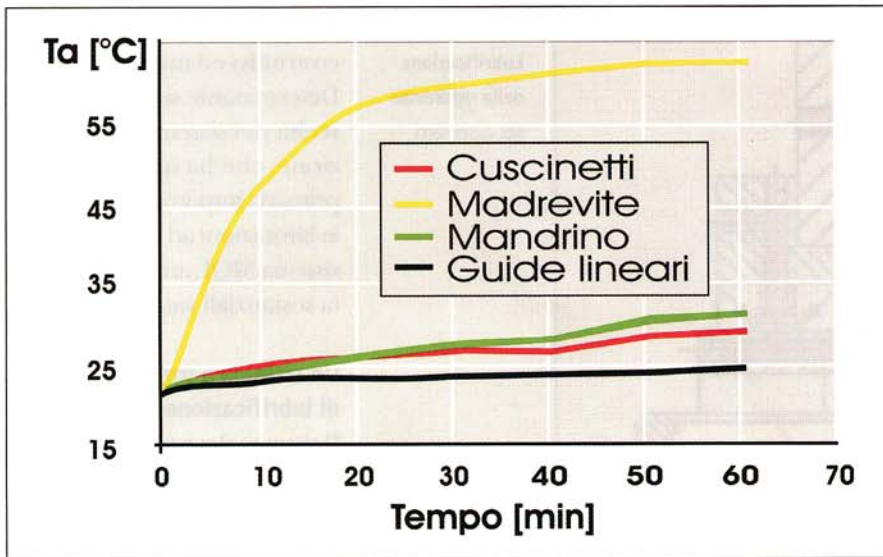


Figura 11  
Riscaldamento  
dei diversi  
componenti.  
Prova a 100  
m/min.

una camera ermetica su entrambi i lati. Per quanto riguarda il cuscinetto della madrebite si tratta di un cuscinetto assiale a due corone di sfere a contatto obliquo, con angolo di contatto di 60°.

I cuscinetti a sfera con lubrificazione a grasso presentano un limite al regime di rotazione di 2.150 min<sup>-1</sup>, che era insufficiente per il valore di velocità prefissata di 120 m/min. Per sopperire a questa limitazione, INA ha realizzato un cuscinetto assiale a sfere a contatto obliquo con corpi volventi in ceramica che con la MQL poteva venire azionato per un lungo periodo di tempo ad un numero di giri di 3000 min<sup>-1</sup> senza rilevanti incrementi di temperatura.

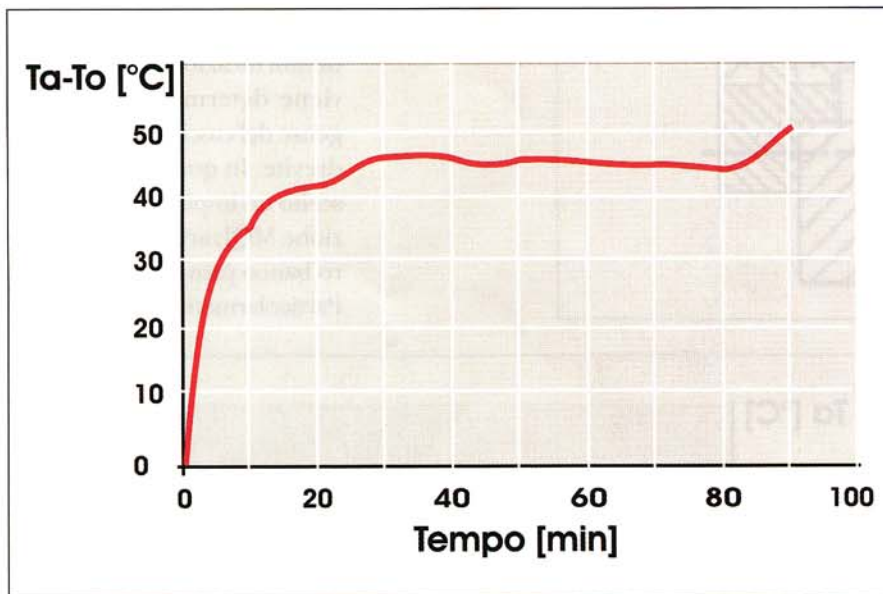


Figura 12  
L'andamento  
della temperatura  
della madrebite.

#### Testare il comportamento termico delle guide

La priorità è stata data ai test per verificare il comportamento termico del sistema di guide lineari.

Sono state svolte le seguenti verifiche: misurazione del riscaldamento dei componenti del banco prova; determinazione della quantità ottimale di lubrificante.

Al fine di valutare il comportamento termico del banco prova è stata misurata la temperatura dei seguenti componenti: madrebite, cuscinetto, mandrino e guida lineare (Figure 10 e 11). Nella figura 11 è rappresentato il riscaldamento dei singoli componenti in un periodo di 60 minuti. La velocità di avanzamento è di 100 m/min. Secondo le raccomandazioni dei fornitori di sistemi di lubrificazione è stato prescelto un olio con viscosità ISO-VG 68.

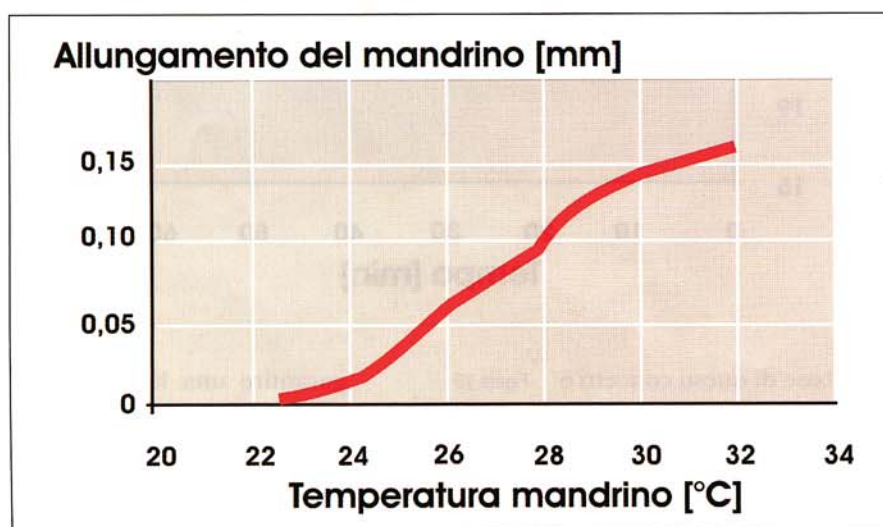


Figura 12a  
La verifica della  
dimensione del  
allungamento  
del mandrino.

Nelle macchine utensili la lubrificazione minimale viene in genere applicata ai cuscinetti di precisione a contatto obliquo.

Tempo 70°C [min]

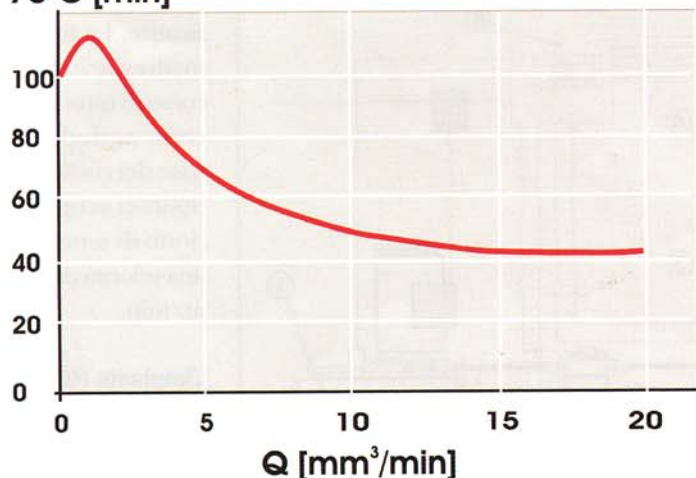


Figura 13

**Ottimizzazione della quantità di lubrificante:** tempo per raggiungere una temperatura di 70°C, con differenti quantità di lubrificante alimentato.

Madrevite [°C]

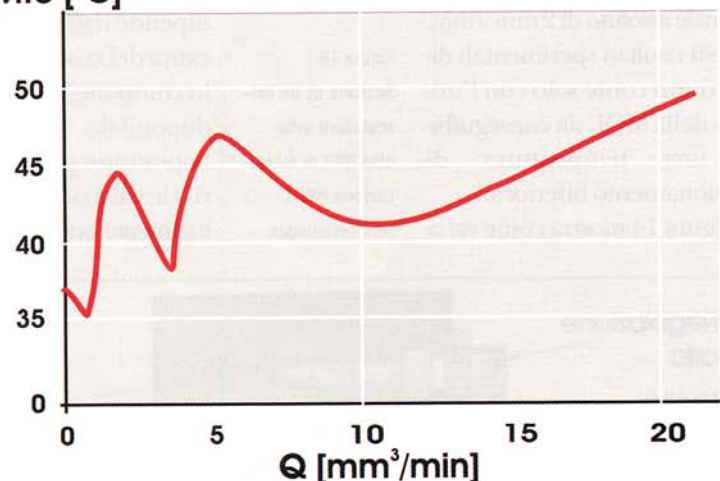


Figura 14

**Riscaldamento della madrevite** in presenza di differenti quantità di lubrificante.

Secondo le aspettative la madrevite si è surriscaldata maggiormente, mentre l'innalzamento della temperatura degli altri componenti era trascurabile. Perciò i successivi sforzi erano tesi a migliorare il comportamento termico della madrevite. La figura 12 mostra l'andamento della temperatura della madrevite.

Dopo un repentino, iniziale riscaldamento, la temperatura permane praticamente la stessa; da ciò si deduce che, sul valore di temperatura costante influisce la determinazione del quantitativo di lubrificante. Parallelamente veniva verificata la dimensione dell'allungamento del mandrino. I risultati sono documentati nel grafico di figura 12a.

**Ottimizzare la lubrificazione delle guide lineari**

Poiché il sistema di guide lineari oggetto del test è soggetto in primo luogo a veloce surriscaldamento della madrevite, era necessario ottimizzarne la lubrificazione. I vantaggi della MQL, come l'alta velocità, le basse perdite per attrito, il basso consumo di olio, spesso utilizzata per lubrificare mandrini e cuscinetti di assi si rivelano utili anche in questo caso.

Una difficoltà di questo metodo di lubrificazione è stabilire la quantità d'olio ottimale, che comporta l'effettuazione di una serie separata di prove con rilevazione termica, che hanno condotto ai seguenti risultati. La figura 13 mostra il tempo occorrente per portare la madrevite a una temperatura di 70 °C, in funzione della quantità alimentata di olio. La velocità di

**Quantità di lubrificante**

Diametro nominale	Portata di lubrificante con sistema di ricircolo d'olio (cm³/h)		Con sistema di lubrificazione minimale MQL (mm³/min)
	Senza refrigerazione	Con refrigerazione	
16	0,12	0,3	1
20	0,15	0,4	1,5
25	0,2	0,5	2
32	0,25	0,7	2,5
40	0,3	0,9	3
50	0,4	1,5	4
63	0,5	2	5

Figura 15 - Le portate di lubrificante per viti a ricircolo di sfere Steinmeyer, con un sistema di ricircolo d'olio senza refrigerazione, un sistema di ricircolo con refrigerazione e un sistema MQL.

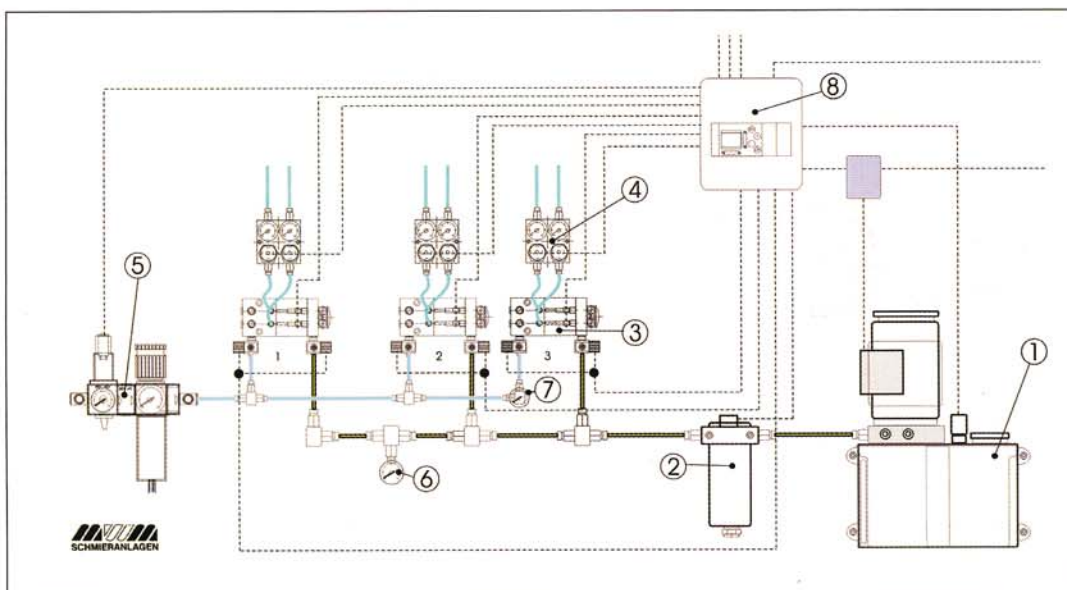


Figura 16  
Schema d'impianto MQL con miscelatori aria-olio controllati.

avanzamento era in questa prova di 100 m/min. Dal diagramma si evince che il mandrino si riscalda più lentamente con una quantità di olio di circa  $2 \text{ mm}^3/\text{min}$  (o  $120 \text{ mm}^3/\text{h}$ ). Le prove realizzate per altre velocità di avanzamento hanno

mi relativi, al di sopra del valore ottimale assoluto di  $2 \text{ mm}^3/\text{min}$ . Questi risultati sperimentali dimostrano come solo con l'utilizzo della MQL sia conseguibile una temperatura di funzionamento inferiore. La figura 14 mostra come varia

Figura 18  
Sezione di un miscelatore aria-olio MVX di fabbricazione MWM Schmieranlagen.

la temperatura della madrevite con differenti quantità di lubrificante. La temperatura della madrevite è stata misurata nel corso di tutte le prove, dopo un certo periodo di tempo. Alla base dei risultati di rilevazione, riportati in figura 14, vi è un periodo di tempo di 20 minuti e una velocità di avanzamento 100 m/min.

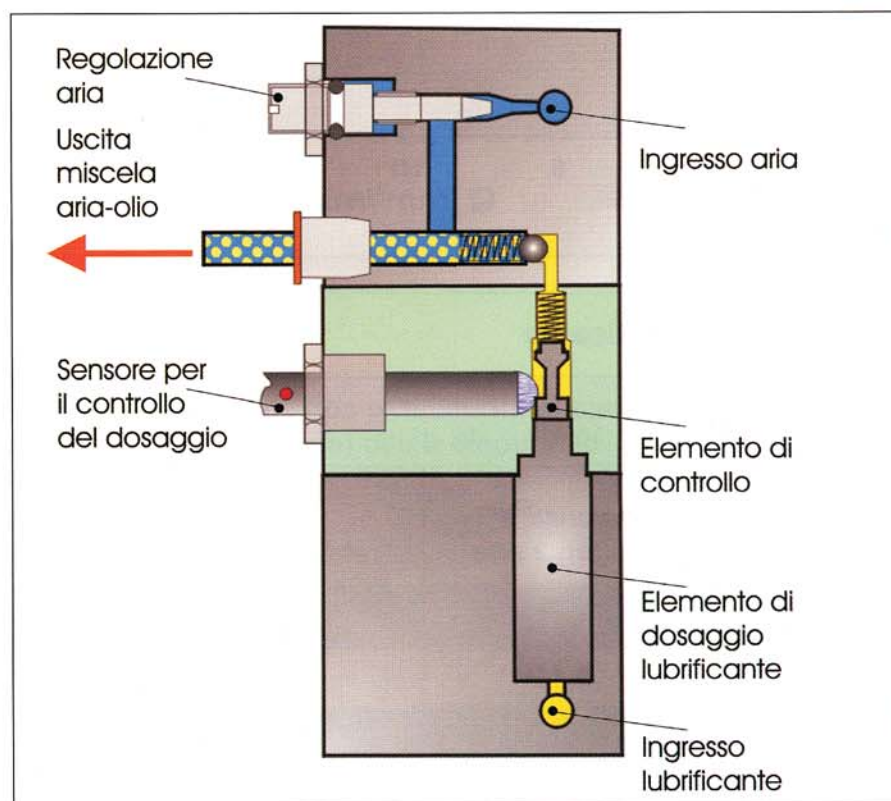
**L'impianto MQL per sistemi di guide lineari**

Il lubrificante utilizzabile e il quantitativo viene di preferenza consigliato dal fabbricante del componente da lubrificare; tuttavia questa informazione, che dipende dall'esperienza applicativa del costruttore del singolo componente, non sempre è disponibile. Soprattutto per le guide lineari o le viti a ricircolo di sfere, attualmente non sempre i dati per



Figura 17  
Miscelatori aria-olio V0E-B di fabbricazione Woerner.

dato luogo a un risultato molto simile. La quantità ottimale d'olio concorda con il valore mostrato in figura 13, cioè circa  $2 \text{ mm}^3/\text{min}$ . Per quantità d'olio maggiori risultano valori mini-



**Il sistema MQL alimenta una quantità di lubrificante minima, ma sufficiente per il distacco delle superfici di scorrimento.**

cisi, come detto dell'ordine dai 50 ai 300 mm<sup>3</sup>/h, ci si avvale di miscelatori aria-olio che oltre a realizzare la miscela devono garantire la precisione dei dosaggi. Il miscelatore aria-olio è pertanto il cuore del sistema e deve essere scelto verificandone le caratteristiche di affidabilità e precisione.

La MWM Schmieranlagen produce miscelatori aria-olio con dispositivo elettronico brevettato di controllo dell'avvenuto dosaggio del lubrificante. La nuova serie MVX, oltre ad avere delle caratteristiche di precisione del dosaggio elevate garantisce la disaerazione automatica del circuito interno d'alimentazione del lubrificante. Questa prerogativa è di fondamentale importanza per la costanza e la precisione dei dosaggi; infatti la presenza di piccole bolle d'aria nella camera di dosaggio del miscelatore causano gravi riduzioni del quantitativo di lubrificante dosato (Figure 18 e 19).

Come gruppo d'alimentazione del lubrificante può essere utilizzato un gruppo motopompa ad azionamento elettrico o pneumatico dotato di adeguato filtro in mandata. Negli ultimi anni si sono avute specifiche richieste per l'utilizzo d'olio con alto grado di filtraggio secondo la classe di pulizia dell'olio 13/10 (ISO 4406) e conseguentemente di centraline dotate di filtri in mandata con grado di filtraggio di 3-6 µ (Figura 20).

Un'altra possibile soluzione è rappresentata da una centralina compatta come quella della figura 21. Qui il sistema MQL è completo di ogni accessorio

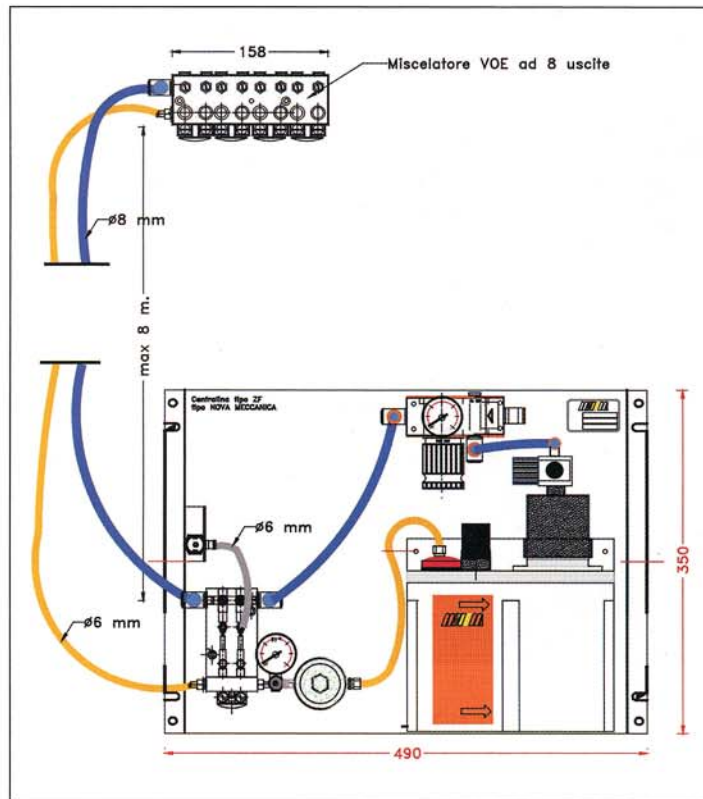


Figura 22  
**Centralina MQL tipo ZF collegata a miscelatore esterno.**  
Fabbricazione MWM Schmieranlagen.

sia per il dosaggio delle quantità di lubrificante che per la regolazione della portata d'aria per ogni singola utenza. Un'ulteriore variante realizza-

tiva è raffigurata nella Fig. 22. Si tratta di un centralina MWM del tipo ZF con miscelatore aria-olio con controllo di dosaggio per la lubrificazione dei cuscinetti mandrino e separatamente un miscelatore aria-olio senza controllo di dosaggio per l'alimentazione della miscela aria-olio per le guide lineari. La versione impiantistica è realizzata su una macchina rettificatrice di giunti omocinetiche (Figura 23). In un sistema di lubrificazione centralizzata a olio, funzionante secondo il principio monolinea, si possono integrare uno o più miscelatori aria-olio. Si realizzerà così in un unico impianto, un duplice sistema di lubrificazione sia ad olio che aria-olio con un'unica pompa ed un unico tipo di lubrificante.

*Maurizio Mazzoni è Responsabile del reparto Ricerca & Sviluppo presso MWM Schmieranlagen, Milano.*

Figura 23  
**Rettificatrice per giunti omocinetiche RTF - U1/1TP/NG dotata di sistema di lubrificazione MQL per le guide lineari.**  
Fabbricazione Meccanica Nova.



La MWM Schmieranlagen produce miscelatori aria-olio con controllo elettronico del dosaggio del lubrificante.