

UTENSILI

Nuove tendenze nel taglio dei materiali metallici

di Roberto Pacagnella e Giuseppe Pellegrini

Il settore dell'asportazione di truciolo è sempre stato caratterizzato da una continua e rapida evoluzione, che ha riguardato i materiali per utensili, la loro geometria, le condizioni operative ecc. Anche negli ultimi anni si è osservato un notevole sviluppo in molte direzioni, alcune delle quali, particolarmente significative. Nel settore dei materiali per utensili, le ricerche condotte e le soluzioni offerte dalle varie ditte costruttrici sono mirate essenzialmente a migliorarne le prestazioni in termini di durata, ad aumentarne la flessibilità, rendendo l'utensile idoneo a lavorare un ampio campo di materiali, a migliorare la finitura della superficie lavorata, a parità di parametri di taglio. Proporre nuove soluzioni in termini di rivestimenti significa migliorare le prestazioni e ridurre l'usura che, come è noto, vede come cause: l'abrasione dovuta allo scorrimento del truciolo sul petto e del pezzo sul fianco dell'utensile; la diffusione dovuta alla solubilità fra alcuni componenti dei materiali a contatto (utensile-truciolo)

con conseguente migrazione di atomi; l'adesione imputabile a microsaldature generate dalle elevate pressioni truciolo-utensile; l'ossidazione; la fatica.

I MATERIALI DEI RIVESTIMENTI

I principali materiali impiegati nei rivestimenti sono: TiN (nitruro di titanio) che assicura, oltre che una buona adesione al substrato, un basso coefficiente

I produttori di utensili riescono a presentare, di anno in anno, soluzioni sempre più performanti, migliorando costantemente i rivestimenti, le geometrie e le forme dei loro prodotti, alla ricerca di prestazioni sempre più spinte

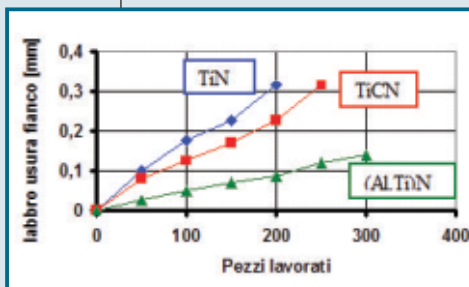


Figura 1 . Taglio d' ingranaggi: andamento del labbro di usura del fianco in funzione del numero di pezzi prodotti per diverse tipologie di rivestimento. Mat.: SCr420H, 31 denti, larghezza 25 mm, modulo 2.5, durezza 140 ÷ 160 HB. Parametri di taglio: v = 100 m/min, avanzamento 3,1 mm/giro (Mitsubishi Carbide).

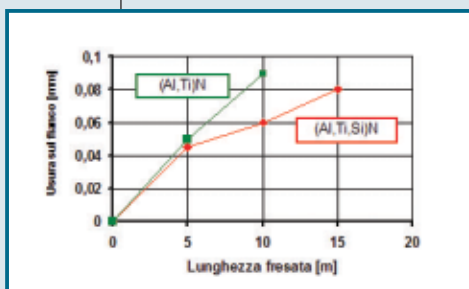


Figura 2 . Fresatura: confronto fra il rivestimento in (Al,Ti,Si)N e in (Al,Ti)N (Mitsubishi Carbide).

d' attrito, un' elevata durezza ed un' ottima resistenza alla temperatura; TiC e TiCN (carburo e carbonitruro di titanio) che conferisce una elevata resistenza all'usura da abrasione; Al₂O₃ (ossido di alluminio) che assicura una elevata resistenza all'usura chimica e alle alte temperature. È proprio giocando sulla struttura e sugli spessori di questi materiali, nonché su nuovi tipi di materiali che i costruttori riescono a conferire agli utensili prestazioni sempre più spinte. Al fine di illustrare l'evoluzione avvenuta in questi ultimi anni, si riportano di seguito alcune novità proposte dai costruttori. Nel campo degli utensili in HSS rivestiti è interessante quanto messo a punto dalla Mitsubishi Carbide che ha introdotto sul

Giocando su nuovi tipi di materiali, sulla loro struttura e sugli spessori, i costruttori riescono a conferire agli utensili prestazioni sempre più alte

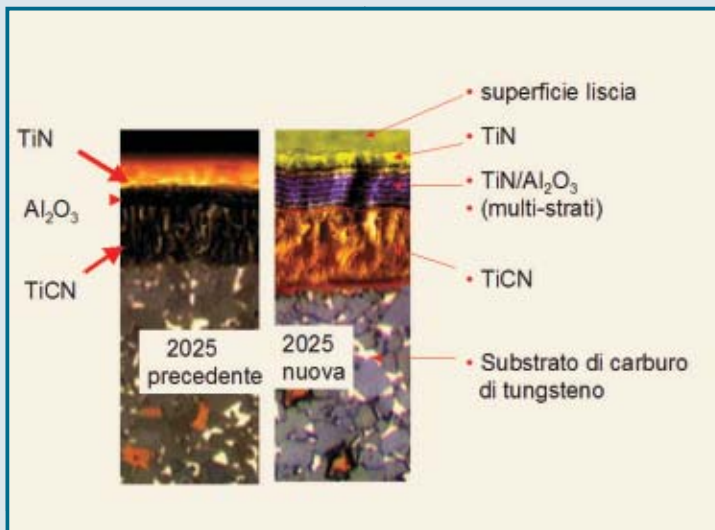


Figura 3 . Rivestimento multistrato (qualità Coromant GC2025, Sandvik).

mercato un nuovo rivestimento in (Al,Ti)N caratterizzato da una elevata durezza (2700÷2900 HV) e una maggiore temperatura di ossidazione (circa 200÷300°C superiore a quella del TiN e TiCN), nonché una maggiore adesione del rivestimento stesso al substrato in HSS. A titolo di esempio in figura 1 si riportano le prestazioni di questi utensili rivestiti nel taglio di ingranaggi in acciaio legato da cementazione, confrontate con quelle di rivestimenti in TiN e TiCN della vecchia generazione [1]. Come si evince, a parità di usura sul fianco il rivestimento in (Al,Ti)N permette di quasi triplicare la produttività. Recentemente la Mitsubishi Carbide ha presentato sul mercato un nuovo rivestimento, adottato su carburi di nuova generazione, composti da (Al,Ti,Si)N che assicura una maggiore durata dell'utensile rispetto ai tradizionali rivestimenti in (Al,Ti)N. Tali maggiori prestazioni sono dovute a una migliore resistenza all'ossidazione: infatti la temperatura di ossidazione per (Al,Ti)N si aggira intorno ai 900°C contro i 1100°C del (Al,Ti,Si)N. Ciò si spiega considerando che l'alluminio e il silicio formano ossidi complessi sulla superficie del rivestimento che 'fanno da barriera' a ulteriori ossidazioni degli strati sottostanti. In figura 2 è riportato il comportamento di tale rivestimento in lavorazioni con

frese a codolo su acciaio fortemente legato con durezza di 69 HRC [2]. Sandvik Coromant ha

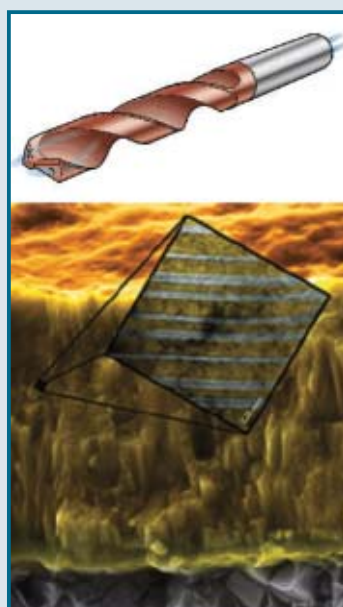


Figura 4 . Utensile integrale in carburi con rivestimento multistrato (qualità Coromant GC2025, Sandvik).

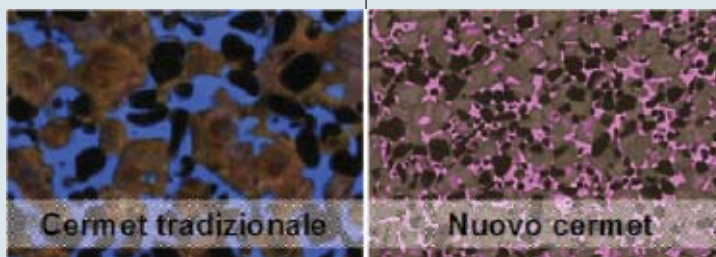


Figura 5 . Confronto fra le strutture di un Cermet tradizionale e un Cermet di nuova generazione (Sandvik Coromant)

recentemente messo sul mercato nuovi rivestimenti caratterizzati da un elevatissimo numero di strati (figura 3). Rispetto a quelli triplorivestiti di tipo tradizionale (per i quali sono generalmente disposti successivamente strati di TiCN, Al₂O₃ e TiN), lo strato intermedio, con funzione prevalente di barriera termica, è sostituito da una struttura caratterizzata dalla presenza di molti strati alternati di TiN e Al₂O₃. Questa soluzione, che si presenta particolarmente efficace per la lavorazione degli acciai inossidabili, presenta diversi vantaggi che concorrono a conferire una elevata resistenza all'usura e alla temperatura. Ricordiamo, a tale proposito, che la conducibilità termica degli acciai inossidabili è minore di quelle degli altri acciai e questo comporta maggiore difficoltà a smaltire calore; risulta quindi necessario un utensile particolarmente resistente alle alte temperature. Una soluzione analoga è impiegata per il rivestimento delle punte elicoidali in metallo duro integrali, dove un rivestimento multistrati in TiN/TiAlN (figura 4) rende idonea la punta alla lavorazione di una ampia classe di materiali: dagli acciai inossidabili alle leghe di alluminio. Novità si presentano anche nel campo dei Cermet. Sono note le loro caratteristiche meccaniche che vanno dall'elevata durezza a caldo (superiore a quella dei carburi), all'elevata resistenza all'usura che permette di lavorare a velocità di taglio alte, nonché a una stabilità chimica superiore agli altri materiali per utensili. A tali vantaggi si associano problemi di fragilità che possono provocare scheggiature, se non rotture, nel

Negli ultimi anni si assiste a una diversificazione dell'offerta da parte della maggioranza dei fornitori, sia nelle geometrie dei rompitruccoli, sia nelle forme stesse degli inserti

Sulle forme degli inserti, alcune novità interessanti riguardano il campo della fresatura, sono infatti apparse sul mercato frese progettate per lavorare con avanzamenti elevati (da 1 a 3,5 mm/dente/ giro) e profondità di passata assiali contenute (1 mm o meno)

caso di taglio interrotto o di taglio continuo su macchine utensili caratterizzate da una scarsa rigidità. Nel campo dei Cermet, Sandvik Coromant ha introdotto sul mercato utensili con un campo di applicazione più vasto e idonei a superfici di elevata qualità, strette tolleranze e per materiali con tendenza all'incollamento. Il nuovo Cermet risulta più tenace grazie al legante di puro cobalto e alla granulometria delle particelle dure resistenti all'usura, più fine di un normale Cermet. In figura 5 sono riportate, per confronto, le strutture di un Cermet tradizionale e di uno di nuova generazione.

Anche nel campo del CBN vi sono novità. È noto come questi utensili, come d'altra parte i Cermet, siano idonei alla lavorazione di pezzi caratterizzati da un'elevata durezza e da un'elevata finitura superficiale; essi possono quindi sostituire, in molti casi, l'operazione di rettifica. Recentemente sono comparsi sul mercato nuovi inserti in CBN rivestiti di uno strato ceramico che permettono migliori prestazioni in termini di velocità di taglio: mentre con inserti non rivestiti il campo di velocità si aggira intorno ai 150÷200 m/min, con quelli rivestiti, pur lavorando su acciai con durezza di 60 HRC, la velocità di taglio può giungere sino a 300 m/min. Le migliori prestazioni di tali inserti si evincono dai grafici di figure 6 e 7.

Come si può notare dalla figura 6 l'elevata resistenza all'usura dei CBN rivestiti permette una durata dell'inserto quasi doppia. Non solo, nell'esempio riportato in figura 7 si nota come anche la rugosità ottenibile sia migliore.

LE GEOMETRIE

Per quanto riguarda le geometrie utensile, negli ultimi anni si assiste a una diversificazione dell'offerta da parte della maggioranza dei fornitori, sia nelle geometrie dei rompitruccioli, sia nelle forme stesse degli inserti. Le geometrie disponibili 'proliferano' per

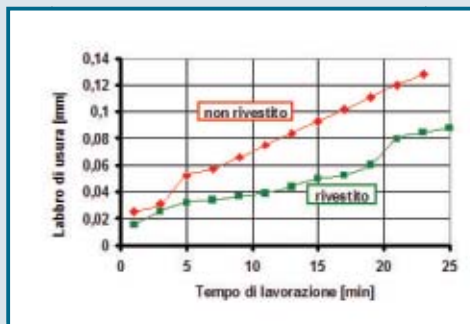


Figura 6 . Confronto fra le prestazioni di utensili in CBN rivestiti e non rivestiti (Mitsubishi Carbide).

numero e tipo di applicazione. Si possono trovare in commercio geometrie ottimizzate per sgrossatura iniziale su grezzi ossidati, per taglio interrotto, per materiali con tendenza all'incrudimento, geometrie più stabili nei confronti delle vibrazioni, mirate a privilegiare la produttività o, al contrario, a essere idonee a una vasta gamma di parametri di taglio, geometrie per finiture spinte ecc. Non si dimentichi che il rompitrucciolo, oltre a generare un truciolo spezzettato, ha anche l'importante funzione di positivizzare il petto; certo che, esasperando questo accorgimento, si riduce la resistenza del cuneo tagliente. Dal momento che, soprattutto nell'ultimo decennio, si è registrato un rapido miglioramento nei materiali per utensile, è oggi possibile progettare più liberamente i rompitruccioli.

A titolo di esempio, il numero delle geometrie disponibili per la tornitura (come risulta dai cataloghi Sandvik Coromant del 1993-94 e da quelli degli ultimi anni) è passato da 21 (6 di base e 15 complementari) a 39; le aggiunte più significative si riferiscono a utensili specificamente progettati per la lavorazione di superleghe e alla serie Wiper.

In questi ultimi anni si sono infatti affermati sul mercato inserti per tornitura con

geometria Wiper (raschianti) che offrono la possibilità di lavorare ottenendo superfici caratterizzate da una ottima finitura pur utilizzando avanzamenti relativamente alti. Tali inserti (figura 8) sono caratterizzati da una geometria che differisce, rispetto a quella degli utensili normali, per una zona di raccordo tra la punta e il fianco. Al fine di un confronto fra le prestazioni di un utensile

Wiper rispetto a uno tradizionale, si riportano i risultati [3] ottenuti in prove di tornitura su acciai per utensili (durezza 60 HRC) con inserti in

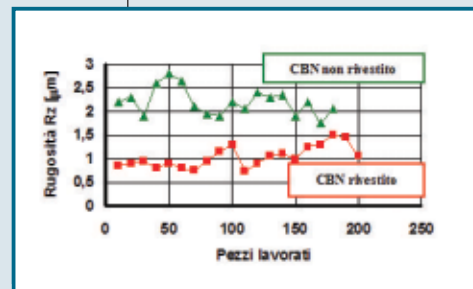


Figura 7 . Rugosità ottenibili con utensili in CBN rivestiti e non rivestiti in funzione del numero di pezzi lavorati. Tornitura a secco di pezzi flangiati (Ø ≈ 100 mm) in 20CrMoS4, (v = 250 m/min, a = 0.06 mm/giro, p = 0.07 mm) (Mitsubishi Carbide).

CBN CNMA 120408 G MB 825 (Mitsubishi Carbide) sia in versione Wiper sia in versione tradizionale. In figura 9 è riportato l'andamento della rugosità ottenuta sul pezzo in funzione del tempo di lavorazione; da tale figura si evince la migliore finitura superficiale ottenuta con il nuovo tipo di inserto: bassi valori di rugosità anche dopo una durata dell'utensile di più di due ore. Da notare che rugosità basse ($R_a = 0,2 \div 0,3 \mu\text{m}$) si riscontrano anche quando l'utensile presenta un elevato labbro di usura sul fianco ($VB = 0,6 \div 0,7 \text{ mm}$). Bassi valori di rugosità, anche con utensile fortemente usurato, trovano giustificazione proprio nella configurazione raschiante dell'utensile che, con il suo raggio di curvatura molto grande

fra punta e fianco, permette la lavorazione lungo un tratto più esteso del tagliente: poiché il tratto raschiante presenta una lunghezza maggiore degli avanzamenti solitamente usati in operazioni di finitura, il pezzo compie diversi giri a contatto con tale tratto, con conseguente modifica della rugosità generata dall'utensile in corrispondenza del raggio di punta vero e proprio.

LA FRESATURA

Sulle forme degli inserti, alcune novità interessanti riguardano il campo della fresatura. Sono infatti apparse sul mercato frese del tipo mostrato in figura 10, progettate per lavorare con avanzamenti elevati (da 1 a 3,5 mm/dente/giro) e profondità di passata assiali contenute (1 mm o meno). In tale modo è

possibile lavorare con ritmi di rimozione elevati, consentire ingressi a rampa più ripida e,

essere impiegati anche con lunghezze utensile notevoli (sono previsti impieghi che

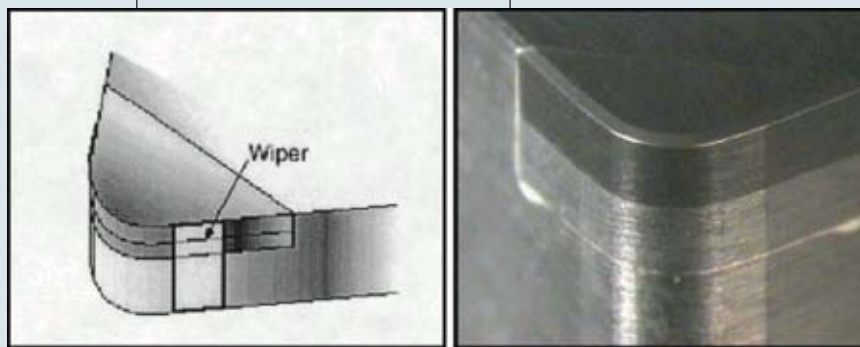


Figura 8 . Geometria degli utensili raschianti (Wiper).

soprattutto, garantire la costanza della sezione del truciolo nelle varie condizioni operative, generando così un taglio più stabile. In aggiunta a questo, si consideri che la conformazione dei taglienti è tale da produrre spinte di taglio prevalentemente assiali, riducendo perciò la componente che tende a flettere la fresa; per questo motivo questi particolari utensili possono

prevedono distanze dal mandrino di circa 400 mm). Come nel caso degli inserti Wiper, la programmazione del percorso utensile per questo tipo di utensili presenta problemi particolari per la descrizione di una geometria del tagliente non standard. I produttori forniscono informazioni per identificare geometrie equivalenti ma, in dipendenza dal tipo di

Nel campo degli utensili in HSS rivestiti, si è notato che, a parità di usura sul fianco, il rivestimento in (Al,Ti)N permette di triplicare quasi la produttività

L'aumento delle velocità comporta maggiori problemi di natura dinamica: il controllo delle vibrazioni è più critico e l'equilibratura degli elementi in rotazione più delicata, in generale, la rigidità del sistema (struttura delle macchine, mandrini...) va ricercata con cura

lavorazione eseguito, può venire lasciato un sovrametallo residuo (qualche decimo di mm per queste frese e qualche centesimo per gli inserti di tornitura Wiper).

TAGLIO AD ALTA VELOCITÀ

Per quanto riguarda la condizioni operative del taglio, le novità più significative sono legate alla tendenza verso le lavorazioni ad alta velocità.

Anche se la definizione di 'alta velocità' non può essere data con precisione, alcune considerazioni di validità generale possono essere fatte. In primo luogo, l'aumento della velocità di taglio comporta lo sviluppo di una maggior quantità di calore; questo fenomeno può essere sfruttato per ridurre la resistenza al distacco del truciolo e generare così minori forze di taglio. Si stima che la potenza termica nel taglio sia prodotta per l'80% circa dalla deformazione meccanica che genera il truciolo, per il 18% circa sull'interfaccia petto-truciolo, per la parte restante, pochi punti percentuali, per attrito tra pezzo lavorato e fianco dell'utensile.

Il calore generato viene allontanato dalla zona di taglio in tre modi principali. Nel caso di alta velocità, gli effetti si ripartiscono nel seguente modo: il 75% circa del calore è rimosso con il truciolo, il 20% circa è trasferito per conduzione attraverso l'utensile, il 5% circa passa nel pezzo in lavorazione.

Rispetto a un taglio convenzionale a velocità medio-bassa, la frazione di calore che rimane nel truciolo è notevolmente aumentata, poiché il truciolo, scorrendo più rapidamente, ha minore possibilità di condurre verso l'esterno. L'aumento delle velocità in gioco comporta

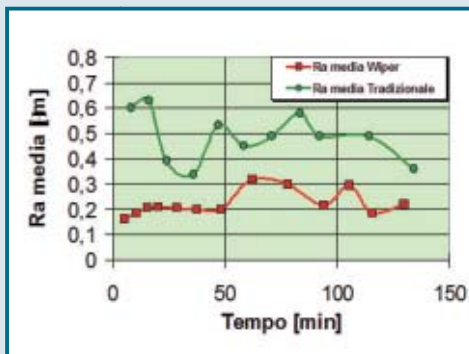


Figura 9 . Andamento della rugosità (media sulla superficie lavorata) in funzione del tempo di lavorazione (utensili in CBN di tipo Wiper e tradizionali). Parametri di taglio: $v = 180$ m/min, $a = 0,1$ mm/giro, $p = 0,2$ mm.

maggiori problemi di natura dinamica: il controllo delle vibrazioni è più critico e l'equilibratura degli elementi in rotazione più delicata. In generale, la rigidità del sistema (struttura delle macchine, mandrini...) va ricercata con cura. In fresatura, ciò comporta particolari accorgimenti per garantire la perfetta equilibratura degli utensili rotanti. Gli attacchi HSK (un acronimo tedesco traducibile con 'codolo conico forato') e i metodi di calettamento a caldo degli utensili sono risposte progettuali a questo tipo di esigenze che si stanno diffondendo nella pratica con una certa rapidità.

I suggerimenti generali per le

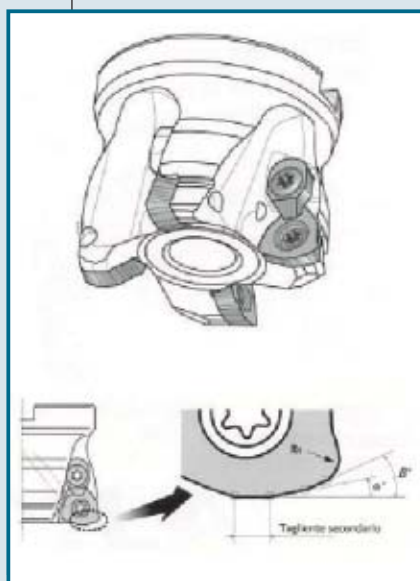


Figura 10 . Fresa torica tipo AJX e particolare dell'inserto (Mitsubishi Carbide).

lavorazioni ad alte velocità possono quindi essere così elencati:

- scegliere geometrie utensile simmetriche (evitare cave, viti di fissaggio radiali), preferire mandrini HSK e dispositivi di calettamento a caldo per evitare vibrazioni;
- mantenere costante la profondità di taglio mediante una scelta adeguata dei percorsi utensile; a questo proposito stanno comparando sul mercato soluzioni CAM specifiche per queste esigenze;
- usare gradi multistrato per gli inserti da taglio, per garantire maggiore resistenza alle azioni termiche;
- su materiali di elevata durezza, non impiegare geometrie eccessivamente positive (un lavoro relativo alla lavorazione di acciaio per stampi DIN 2344 con inserti rivestiti multistrato Kennametal [4] ha mostrato le migliori prestazioni di utensili senza rompitruciolo);
- impiegare ove possibile taglio a secco o lubrificazione a nebbia; date le elevate forze centrifughe in gioco, il lubrorefrigerante non raggiunge la zona di taglio. L'allontanamento del truciolo, unitamente ad una certa azione refrigerante, può essere realizzato con getti d'aria a elevata pressione, eventualmente addizionati con nebbia di lubrificante (lubrificazione minimale).

BIBLIOGRAFIA

- [1] KOHNO K. ET ALII, *Cutting performance of Violet coated gear cutters*, Tool&Tech, n. 2, (2003).
 [2] FUKUNAGA M. ET ALII, *Properties of Miracle Coating (Al,TiSi)N and newly developed carbide for cutting of hardened materials*, Tool&Tech, n. 2, (2003).
 [3] PACAGNELLA R. ET ALII, *Superfinitura: gli utensili in CBN*, RMO, n. 54, (2002).
 [4] http://www.makino.com/production_machinery/automotive/technical_articles/default.asp, consultato il 28.05.04.

Roberto Pacagnella è professore ordinario presso il Dip. di Meccanica del Politecnico di Milano.

Giuseppe Pellegrini è professore associato presso il Dip. di Ingegneria dell'Università di Bergamo.