

ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO

Tornitura a secco: una possibile alternativa

di Roberto Pacagnella e di Giuseppe Pellegrini

RMO numero 62
febbraio - 2003

76

Autorevoli studi attribuiscono ai lubrorefrigeranti costi circa tripli rispetto a quelli per la gestione degli utensili

Al momento attuale, la tendenza a eliminare l'uso di fluido lubrorefrigerante nelle lavorazioni per asportazione di truciolo è molto sentita dalla realtà industriale. Per cercare di capire se si tratti solo di una moda passeggera, riassumiamo le considerazioni in proposito. Autorevoli studi [1] hanno messo luce come i costi legati all'uso del lubrorefrigerante siano piuttosto elevati. In figura 1 sono riportati i risultati di tali ricerche e i dati sono piuttosto sorprendenti: infatti attribuiscono ai lubrorefrigeranti costi circa tripli (7-17% dei costi totali di produzione) rispetto ai costi per la gestione degli utensili (2 - 4%). A proposito di questo dato "a effetto", è necessario precisare due cose:

1) molti autori citano un fondamentale studio condotto presso la Mercedes Benz AG: in questo caso [2] una parte consistente dei costi è qui rappresentata dai costi di investimento per gli impianti, localizzati in zona collinare e soggetti a particolari misure di sicurezza che contribuiscono ad

aumentare in misura significativa i costi;

2) in generale è difficile ripartire i costi totali di impianto in modo così preciso tra varie voci di spesa, l'entità del potenziale risparmio legata all'eliminazione totale o parziale dei fluidi da taglio è difficile da quantificare e in generale varia in relazione alle soluzioni impiantistiche adottate (per esempio se la gestione dei fluidi è centralizzata o indipendente su ogni macchina). Nonostante le cautele da usarsi per estendere i risultati citati ad altre realtà produttive, la sproporzione tra i costi per utensili e lubrorefrigeranti è comunque così evidente da giustificare l'interesse per soluzioni alternative.

PERCHÉ ABBANDONARE IL FLUIDO DA TAGLIO

Il fluido da taglio, se viene usato in grandi quantità, richiede attrezzature specifiche per la sua gestione (miscelazione, stoccaggio, filtrazione); inoltre deve essere rimosso dai particolari prodotti mediante

La lavorazione a secco può sostituire in molti casi quella con fluido riportando conseguenti vantaggi economici ed ecologici, ciò si otterrebbe utilizzando al meglio le caratteristiche degli utensili disponibili sul mercato e operando le opportune scelte in termini di parametri di taglio e di materiali lavorati

lavaggio e, soprattutto, comporta diversi problemi di tipo igienico-ambientale. In particolare, le normative sempre più severe in materia di ecologia e igiene del lavoro tendono ad aumentare i costi legati alla gestione e allo smaltimento dei fluidi.

L'impiego di lubrorefrigerante comincia a essere sempre meno consigliato per altri tipi di lavorazioni: si pensi alla fresatura, per la quale si stima che il taglio a secco possa addirittura portare benefici alla durata dell'utensile [3]. Lo shock termico causato dal brusco

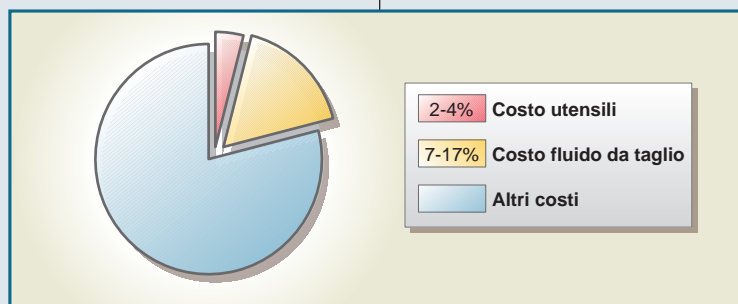


Figura 1. Costo totale di un pezzo: ripartizione dei singoli costi.

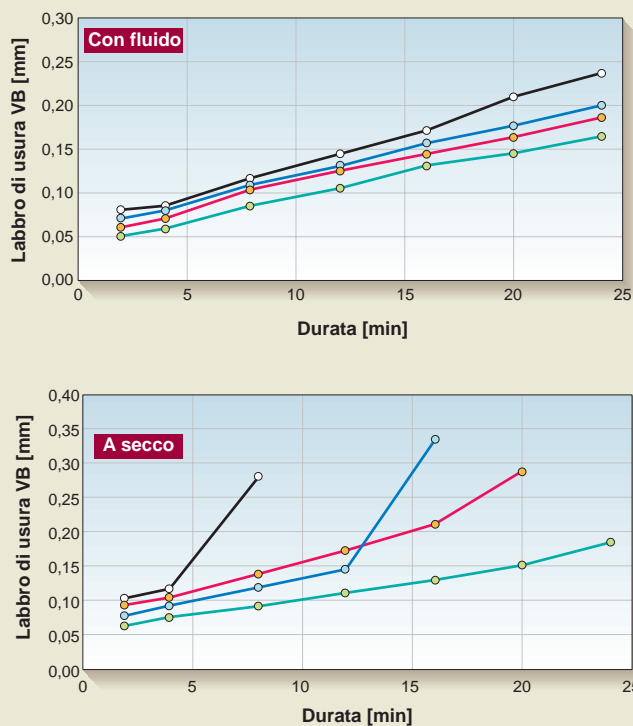


Figura 2. Andamento del labbro di usura in funzione del tempo di taglio di un acciaio inossidabile. Inserto: TNMG 160408 qualità U625 (Mitsubishi), parametri di taglio: $v = 150$ m/min, $a = 0,3$ mm/giro, $p = 1,5$ mm.

raffreddamento degli inserti all'uscita dalla zona di taglio può infatti annullare l'effetto positivo di una minore temperatura media dei taglienti. I risultati di estremo interesse ottenuti per la fresatura a secco giustificano in parte l'attenzione alla possibilità di estendere la pratica del taglio a secco ad altre lavorazioni. Le condizioni di taglio in tornitura sono radicalmente diverse dalla fresatura: il taglio è continuo, non interrotto, ciò comporta shock termici molto minori e temperature di taglio più elevate. È comunque vero che la durata di ogni singola passata di tornitura non supera, in molti casi, i 40 secondi: in queste condizioni lo shock termico (reso più critico da un rapido raffreddamento a opera del fluido) ha effetto particolarmente negativo sull'usura del tagliente, in particolare sulla formazione del labbro di usura sul fianco [4]. Un altro argomento a favore del taglio a secco è legato all'evoluzione dei materiali per utensili disponibili sul mercato. I nuovi utensili, progettati per sopportare temperature di taglio

sempre più elevate, traggono sempre minore beneficio dalla riduzioni della temperatura di taglio operata dal fluido. Anche l'impiego crescente dei rivestimenti superficiali, infatti, ha giocato un ruolo di primo piano. (materiali ultraduri: cermet, ceramici e CBN, con le dovute eccezioni). In aggiunta a ciò, cominciano a presentarsi sul mercato soluzioni alternative di lubrificazione minimale, caratterizzate dall'uso

di modestissime quantità di lubrificante impiegato, addotto nella zona di taglio da un getto d'aria.

ALCUNE RISPOSTE A POSSIBILI DUBBI

Se lavorare a secco può presentare vantaggi, molto spesso gli utilizzatori di macchine utensili sono inclini a pensare che esistano controindicazioni, quali per esempio: minor durata dell'utensile; formazione del tagliente di riporto nel caso di lavorazioni di materiali particolarmente difficili; dilatazioni termiche del pezzo con conseguenti errori dimensionali; difficile evacuazione dei trucioli; scarsa finitura superficiale. Esaminiamo i singoli problemi sopra menzionati singolarmente.

Minor durata dell'utensile

È noto che nel taglio continuo quale è la tornitura, il fluido da taglio gioca un ruolo favorevole nei riguardi della durata utensile. In figura 2 [5] sono riportati, a titolo di esempio, gli andamenti del labbro di usura (VB) rilevati con quattro prove ripetute (a secco e con fluido) nel caso di tornitura di un acciaio inossidabile con utensili in carburo rivestiti. Come si vede la lavorazione a secco comporta una durata inferiore e quindi un aumento dei costi imputabili all'utensile. Tuttavia se si tiene presente che, rispetto ai fluidi da taglio, gli utensili incidono in misura minore sul costo del pezzo (il 2-4% contro il 7-17%)

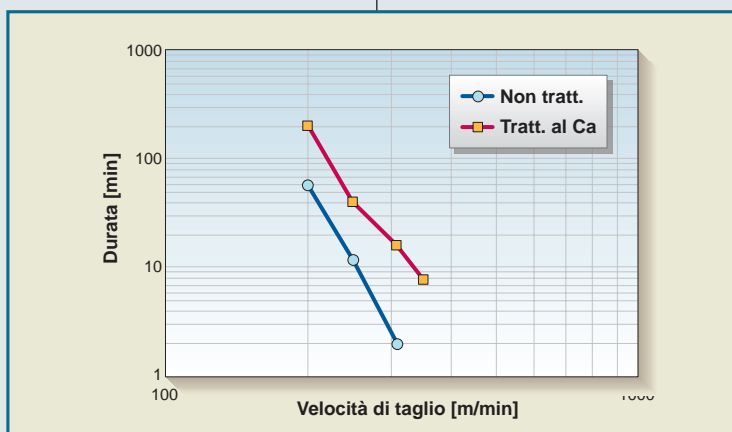


Figura 3. Influenza del trattamento al calcio di un acciaio (38MnSiV5) sulla durata dell'utensile. Tornitura a secco, criterio di usura: $VB = 0,3$ mm.

Le condizioni di taglio in tornitura sono radicalmente diverse dalla fresatura: il taglio è continuo, non interrotto, ciò comporta shock termici molto minori e temperature di taglio più elevate

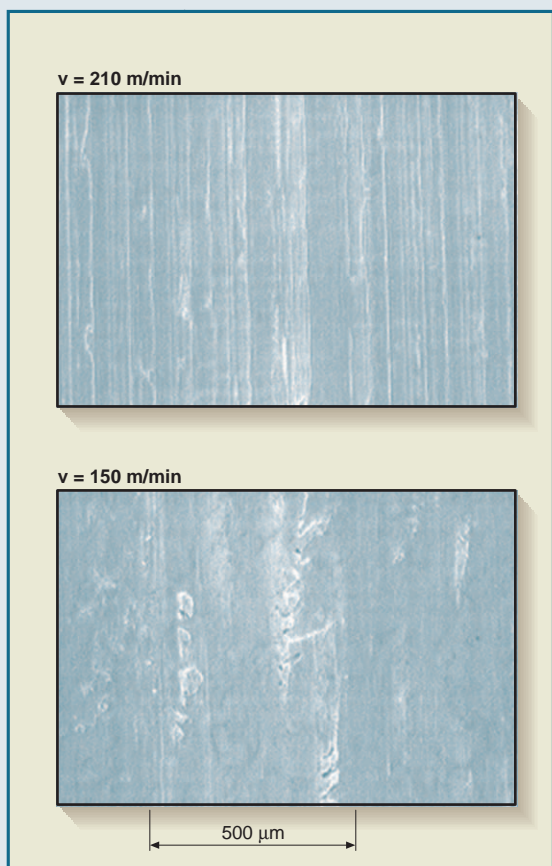


Figura 4. Formazione del tagliente di riporto in tornitura di acciai duplex con $v = 150$ m/min (in basso) e sua eliminazione aumentando la velocità a 210 m/min.

la lavorazione a secco può trovare una giustificazione economica. Tuttavia, come si evince dai grafici, la lavorazione a secco è caratterizzata da una forte dispersione in termini di durata utensile, il che si traduce in una minore affidabilità della lavorazione, affidabilità che gioca un ruolo fondamentale nei sistemi produttivi. Basti pensare alle penalità di tempo e di costo che si possono avere a causa di un cedimento prematuro di un utensile su una linea automatica. In molti casi i problemi connessi alla durata utensile e alla sua affidabilità possono essere risolti mediante una oculata scelta non solo della qualità di base dell'inserto, ma, soprattutto, del tipo di rivestimento e del tipo di geometria del tagliente. Non da ultimo, una buona durata dell'utensile può essere assicurata da una scelta, in fase di progettazione, del materiale costituente il pezzo: per esempio optando per materiali a lavorabilità migliorata. Nel caso di acciai e ghise, la

lavorabilità può essere considerevolmente migliorata sfruttando l'effetto di inclusioni metalliche [1] che, interponendosi fra pezzo e utensile, riducono l'usura di quest'ultimo. Per esempio, trattamenti al calcio di acciai disossidati con alluminio permettono di migliorare la lavorabilità di molti tipi di acciai. Infatti tale trattamento converte le inclusioni di allumina (Al_2O_3), altamente abrasiva, in alluminati di calcio caratterizzati da una maggiore duttilità. La migliore lavorabilità di tali acciai è dovuta comunque alla formazione di strati lubrificanti nella zona di contatto con l'utensile, con conseguente diminuzione dell'attrito e delle temperature generate.

A titolo di esempio si riporta in figura 3 l'andamento della durata di un utensile in funzione della velocità di taglio nel caso di tornitura a secco di un acciaio trattato al calcio rispetto a quello non trattato. Come si può notare la durata dell'utensile aumenta più del 400%.

Formazione del tagliente di riporto

Come è noto la formazione del tagliente di riporto (t.d.r.) è influenzata non solo dai parametri di taglio e dalla geometria dell'utensile, ma anche dall'impiego o non del fluido da taglio. Quest'ultimo, riducendo l'attrito utensile-truciolo, riduce la tendenza alla formazione del t.d.r. Tuttavia è da far presente che, salvo casi particolari,

attualmente il problema non sussiste per diverse ragioni, tutte riconducibili alle caratteristiche degli utensili attualmente sul mercato. Infatti per la maggior parte dei materiali ferrosi il tagliente di riporto si forma a velocità di taglio relativamente basse (30-50-80 m/min) rispetto a quelle richieste dagli utensili in carburi 100-300 m/min e oltre). Inoltre, grazie ai rivestimenti multistrato degli inserti, si riduce l'attrito a tutto vantaggio di una buona formazione del truciolo. Anche per materiali difficili da lavorare e suscettibili alla formazione del t.d.r. (acciai inossidabili austenitici, duplex, leghe di alluminio ecc.), una corretta scelta dei parametri di taglio e della geometria dell'utensile permettono di lavorare a secco. A titolo di esempio si riporta il caso di tornitura di un acciaio duplex che, presentando al 50% la fase austenitica (caratterizzata da una facile deformabilità) è suscettibile alla formazione del t.d.r. anche a velocità di taglio relativamente alte. In figura 4 (in basso) è illustrato il t.d.r. su una superficie tornita con $v = 150$ m/min, $a = 0,15$ mm/giro e $p = 1,5$ mm. Un semplice aumento della velocità di taglio ($v = 210$ m/min) ha permesso di eliminare tale inconveniente (figura 4 in alto).

Soluzioni alternative a un incremento della velocità, possono ricercarsi in una oculata scelta dell'utensile; in particolare indirizzando la scelta verso utensili con angoli di spoglia

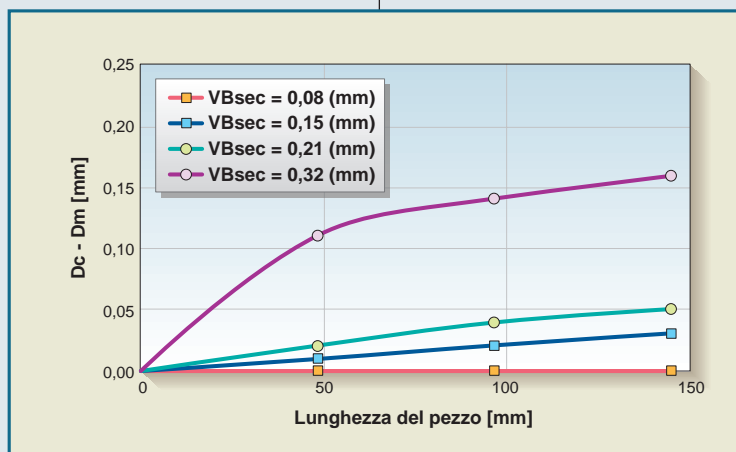


Figura 5. Errori dovuti a dilatazioni termiche in funzione della lunghezza del pezzo per differenti valori del labbro di usura VB. Dc diametro lato controtesta, Dm diametro lato mandrino.

superiore maggiormente positivi e/o caratterizzati da onature di minor estensione, in altri termini optando per utensili con tagliente "più vivo".

Dilatazioni termiche del pezzo ed errori

Gli errori dimensionali sul pezzo sono imputabili a tre fattori: usura dell'utensile, flessione del pezzo (a causa delle forze di taglio) e aumento della temperatura di quest'ultimo nel caso di lavorazione a secco. Mentre il primo fattore è facilmente eliminabile mediante controlli dimensionali sui pezzi e con conseguente compensazione dell'utensile, il secondo e il terzo meritano di essere considerati più dettagliatamente.

Le deformazioni elastiche del pezzo causano un allontanamento del pezzo dall'utensile con conseguente diminuzione della profondità di passata impostata. Gli errori derivanti (trascurabili nel caso di pezzi corti e di diametro elevato) possono essere facilmente ridotti fissando il pezzo opportunamente (per esempio fra mandrino e contropunta o utilizzando lunette) oppure diminuendo la forza di taglio (lavorando con profondità di passata e/o avanzamenti minori). Nel caso, per esempio, di un pezzo in acciaio montato a sbalzo ($L = 300 \text{ mm}$, $D = 40 \text{ mm}$) e lavorato con $p = 1 \text{ mm}$ e $a = 0,15 \text{ mm/giro}$, l'errore imputabile alla flessione è di $0,07 \text{ mm}$. La stessa lavorazione, effettuata con il pezzo sorretto dalla contropunta, riduce l'errore a $0,002 \text{ mm}$. Errore trascurabilissimo.

Nel caso di lavorazione a secco, la temperatura del pezzo aumenta a mano a mano che la lavorazione prosegue, causando dilatazioni termiche con conseguente aumento della profondità di passata via via che l'utensile si avvicina al mandrino. In corrispondenza di questo il pezzo, una volta raffreddatosi, vedrà diametri minori.

Tali errori potrebbero essere, se non annullati, fortemente ridotti, mediante un'analisi preventiva utilizzando il metodo agli elementi finiti (FEM) come proposto in [6]: in base alla conoscenza dello scostamento del profilo reale da quello nominale è

I nuovi utensili, progettati per sopportare temperature di taglio sempre più elevate, traggono sempre minore beneficio dalla riduzione della temperatura di taglio operata dal fluido

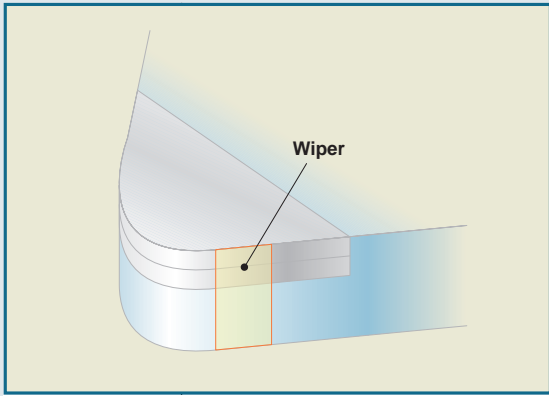


Figura 6. Placchetta tipo Wiper (raschiante).

allontanare il truciolo dalla zona di taglio.

Evacuazione del truciolo

L'utilizzo del fluido da taglio, se abbondante, assicura una buona evacuazione del truciolo. Tale soluzione tuttavia non sempre è necessaria. Come precedentemente detto un getto di aria compressa può ottenere lo stesso scopo. Inoltre la stessa configurazione dei torni attuali (per esempio con banco inclinato) assicura l'allontanamento del

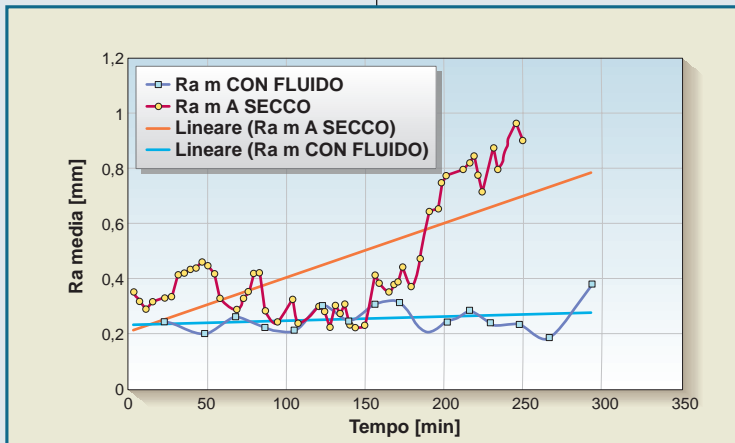


Figura 7. Andamento della rugosità (media sulla superficie lavorata) in funzione del tempo di lavorazione. Confronto fra lavorazione a secco e con fluido da taglio.

La lavorabilità di acciai e ghise può essere considerevolmente migliorata sfruttando l'effetto di inclusioni metalliche che, interponendosi fra pezzo e utensile, riducono l'usura di quest'ultimo

possibile avvicinarsi il più possibile a quest'ultimo mediante opportune correzioni nel programma a CN. C'è da precisare comunque che tali codici di calcolo, pur oggi a disposizione di molte aziende, richiedono personale qualificato e tempi di calcolo non trascurabili; il metodo quindi può giustificarsi solo per lotti di grande serie. Si tenga comunque presente che il fenomeno delle dilatazioni termiche è molto complesso in quanto è fortemente influenzato dallo stato di usura dell'utensile. A titolo di esempio in figura 5 è riportato l'errore riscontrato su un pezzo temprato (montato su autocentrante e contropunta) di lunghezza 140 mm e lavorato con utensili in CBN aventi usure differenti [7].

Tali errori imputabili alle dilatazioni termiche possono ridursi mediante raffreddamento del pezzo con getto d'aria, soluzione che in molti casi si dimostra più che sufficiente e che presenta il vantaggio di

truciolo, purché questo risulti sminuzzato grazie a una corretta scelta della geometria dell'inserto (rompitruciolo). Si ricorda in proposito che una efficiente evacuazione dei trucioli dalla macchina assicura una buona stabilità termica di quest'ultima.

Scarsa finitura superficiale

È fuori dubbio che il fluido da taglio gioca un ruolo favorevole sulla finitura superficiale: a parità di parametri di taglio e di geometria utensile (raggio di punta) il lubrorefrigerante permette di ottenere rugosità minori di quelle ottenibili con torniture a secco. È vero, d'altra parte, che nella maggior parte dei casi, rugosità dell'ordine di Ra = 0,4-0,6 µm sono sufficienti e tali valori sono facilmente ottenibili a secco con avanzamenti dell'ordine di 0,15 mm/giro e con raggio di punta R = 0,4 mm. La comparsa sul mercato di inserti raschianti (Wiper) (figura 6) ha permesso di ridurre ulteriormente le rugosità ottenibili.

Il problema si pone in operazioni di superfinitura, dove la tornitura si sostituisce alla rettifica. In questo caso il fluido da taglio può dimostrarsi necessario. A titolo di esempio in figura 7 è riportato l'andamento della rugosità in funzione del tempo di lavorazione per una tornitura a secco e con fluido, eseguita su acciaio temprato con utensili in CBN. Da un confronto fra i due tipi di lavorazione, si nota che la prestazione dell'inserto che ha lavorato con il fluido è costante nel tempo (anche dopo 4 ore di taglio); l'inserto che ha lavorato a secco invece, poco oltre la metà della durata totale, inizia a generare rugosità crescenti fino a valori di circa 1 µm.

CONCLUSIONI

Per concludere si può affermare che, in molti casi, la tornitura a secco può sostituire quella con fluido con conseguente vantaggi economici ed ecologici. Per ottenere un reale beneficio bisogna utilizzare al meglio le caratteristiche degli utensili oggi disponibili sul mercato, operando opportune scelte sia in termini di utensile, sia di parametri di taglio e di materiale lavorato.

BIBLIOGRAFIA

- [1] KLOCKE F., EISENBLATTER G. *Dry Cutting* Cirp Annals, Vol. 46/2, 1997
- [2] BRINKSMIEIER, WALTER E., *Einsatzbeispiele für minimalmengenschmierung und trockenbearbeitung* Vortrag, Technische Akademie Esslingen, 10th Int. Colloquium, 1996.
- [3] *Moderna guida alla lavorazione dei metalli* - Sandvik
- [4] *Dry turning*, www.carboly.com
- [5] KATSUYOSHI KARINO, *Trouble shooting for cutting*, Mitsubishi Material, 1998
- [6] IACUZZI A., *Tornire a secco conviene*, Meccanica Moderna, febbraio 1997
- [7] FAM P., *Tornitura di acciai temprati: comportamento di utensili in CBN in operazioni di superfinitura*, Tesi di laurea, Politecnico di Milano - Relatori: PACAGNELLA R., PELLEGRINI G., M. BARUCCI, a.a. 1999/00
- [8] PACAGNELLA R., FAM P., CACCARO L., EUSEBIO E. *Superfinitura: gli utensili in CBN* in Rivista Meccanica Oggi, n. 54, maggio 2002.

Roberto Pacagnella è professore ordinario presso il Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano. Giuseppe Pellegrini è professore associato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Bergamo.