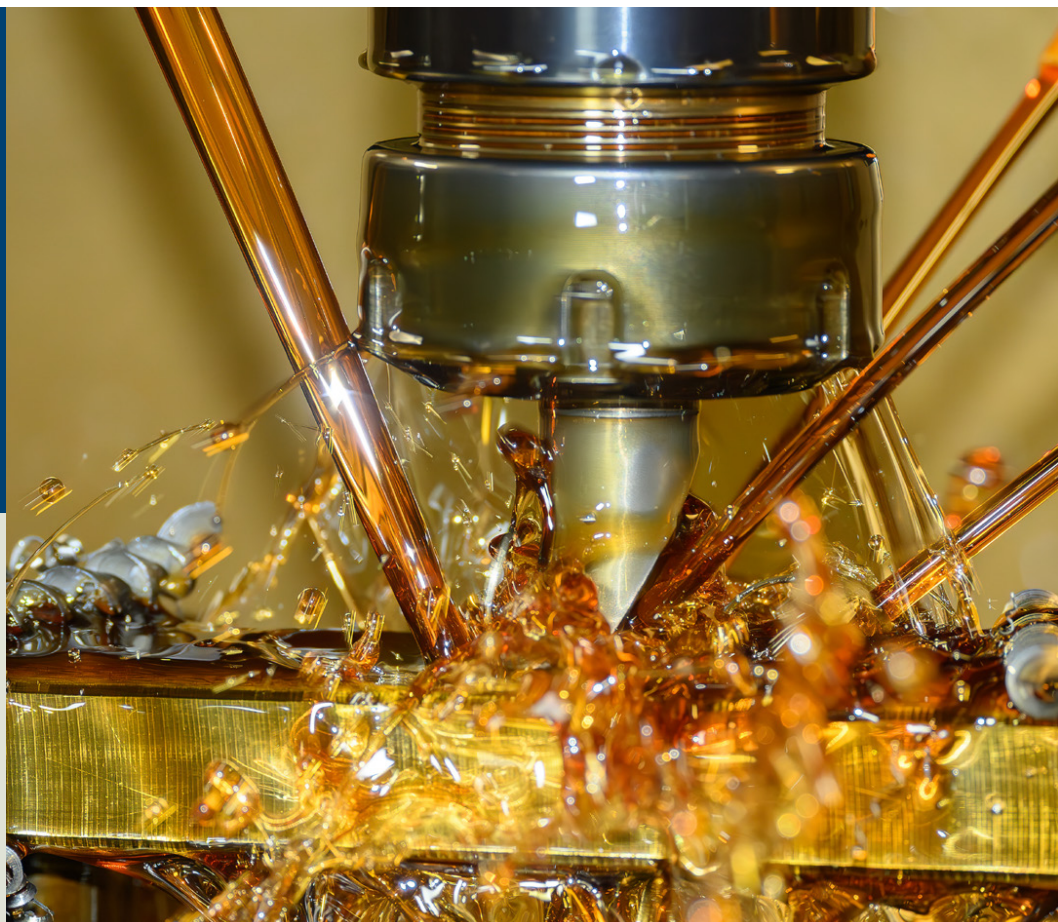


"La nostra officina è cresciuta molto nelle lavorazioni aerospaziali e il nostro maggiore collo di bottiglia per aumentare la produttività è la sgrossatura. Abbiamo incontrato alcune difficoltà man mano che spingiamo le macchine al limite"

Come spingere sull'impostazione del **ciclo di lavoro e sui parametri di taglio** per aumentare la competitività in termini di tempo mantenendo intatta la qualità richiesta

■ Massimiliano Annoni



Sgrossatura aggressiva

È una delle migliori leve a disposizione di un'officina quando la geometria del pezzo lo consente

Qual è il miglior processo per una sgrossatura efficace?

7

passaggi per ottimizzare le operazioni

Questo articolo è tratto da "7 Steps to Optimize Aggressive Roughing Operations", scritto da John Miller e pubblicato su MMS Online a febbraio 2026 (1), che fornisce l'occasione per parlare di un tema molto sentito da chi opera nel settore della fresatura, cioè come spingere sull'impostazione del ciclo di lavoro e sui parametri di taglio per aumentare la competitività in termini di tempo mantenendo intatta la qualità richiesta. Oggetto di studio sono le operazioni di sgrossatura aggressiva.

L'articolo di John Miller parte dalla domanda di un lettore: "La nostra officina è cresciuta molto nelle lavorazioni aerospaziali e il nostro maggiore collo di bottiglia per aumentare la produttività è la sgrossatura. Abbiamo incontrato alcune difficoltà man mano che spingiamo le macchine al limite. Qual è il miglior processo per una sgrossatura efficace?"

Consideriamo le risposte fornite nell'articolo, mantenendone lo stile, e rimandiamo ad altre considerazioni esposte precedentemente in altri articoli pubblicati su Macchine Utensili o disponibili sulla rete.

La sgrossatura aggressiva è una delle migliori leve a disposizione di un'officina quando la geometria del pezzo lo consente. Fa risparmiare tempo, mantiene gli utensili impegnati in ciò che sanno fare meglio e, naturalmente, è divertente. Ma la sgrossatura vicino al limite merita rispetto. Nel mondo reale siete responsabili della sicurezza della macchina, dell'integrità dell'utensile e dell'attrezzatura di serraggio, e delle prestazioni nel lungo periodo, non solo di un taglio dimostrativo eroico fatto una volta. Ecco una guida procedurale per spingere forte senza essere imprudenti.

1

Definizione del processo

2

Pianificare la parte aggressiva

3

Perfezionare il piano

4

Identificate i rischi che possono incrementare il carico sulla fresa

5

Fidatevi, ma verificate

6

Valutate la situazione

7

Documentate il setup e fissate ciò che conta

Passaggio 1: Definizione del processo

Scegliete un sistema di serraggio del pezzo e una configurazione utensile che consentano di ottenere un buon pezzo, non solo un buon video di sgrossatura. Sembra ovvio, ma molti si lasciano inebriare dal tasso di asportazione e dimenticano che l'obiettivo resta produrre un pezzo che si posizioni correttamente, resti fermo e venga finito correttamente. Scegliete lo schema dei riferimenti, prevedete dove le forze di taglio si scaricheranno nell'attrezzatura, scegliete l'utensileria di cui vi fidate e impostate con intenzione lo sbalzo dell'utensile. Se il piano di sgrossatura richiede un utensile con uno sbalzo enorme, è un vincolo da riconoscere subito, non dopo averlo rotto.

Questo punto offre molti spunti di riflessione e nasconde molte insidie. Per questo richiede anche una buona conoscenza delle lavorazioni meccaniche.

La prima considerazione riguarda la scelta del sistema di riferimento e di bloccaggio del pezzo. Per questo è imprescindibile conoscere il principio di posizionamento noto come "metodo 3-2-1" (Figura 1). È un concetto fondamentale in metrologia e nelle lavorazioni meccaniche per bloccare un pezzo nello spazio. Si basa sulla eliminazione dei 6 gradi di libertà: 3 punti di appoggio su un piano, 2 punti su un piano perpendicolare, e 1 punto su un terzo piano per fissare la posizione esatta. Il metodo 3-2-1 sarà oggetto di un prossimo articolo su Macchine Utensili. È proprio contro i riferimenti fisici definiti con questo metodo (la tavola e, per esempio, le due L con cui si realizzano i riferimenti verticali) che si dovrebbero scaricare le forze per ottenere un

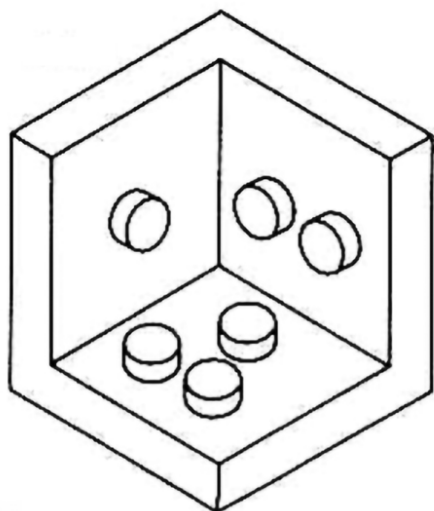
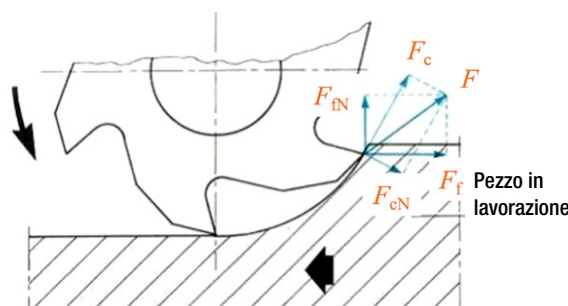
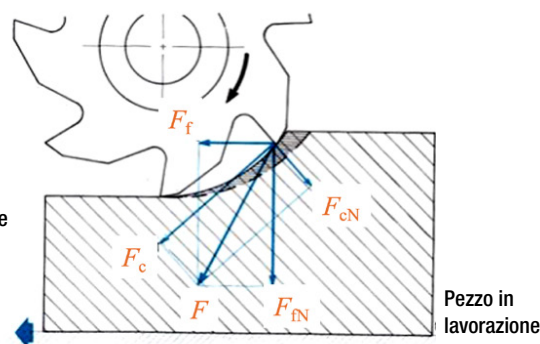


Figura 1:
Rappresentazione
schematica
del sistema di
riferimento nel
metodo 3-2-1

Fresatura in discordanza



Fresatura in concordanza



Nomenclatura ISO 3002/4-1984

riferimento e un bloccaggio stabile. Ciò però dipende dal tipo di fresatura (concordanza o discordanza, Figura 2) e dal verso di avanzamento della fresa durante le operazioni di sgrossatura. Se non lavoriamo contro i riferimenti, applichiamo forze che tendono a separare il pezzo dall'attrezzatura, generando vibrazioni e scarsa qualità finale. Si può lavorare in questo modo, ma allora è necessario staffare più generosamente il pezzo.

Questo primo punto è ovviamente fondamentale per un ciclo di fresatura ed è proprio il punto su cui si trovano meno indicazioni in letteratura; per questo è maggiormente basato sull'esperienza. Una eccezione è il libro di Karr del 1979 (2).

Proprio perché si tratta di un punto difficile da generalizzare, anche a causa della variabilità infinita delle geometrie realizzate per fresatura, nemmeno i recenti software di intelligenza artificiale applicati al CAM sono in grado di fornire

un valido aiuto, per cui la scelta dei piazzamenti è demandata in azienda a operatori esperti. E' interessante anche la considerazione sullo sbalzo dell'utensile, cioè sulla lunghezza fuori pinza.

Le frese ad alto avanzamento, chiamate in questo modo in quanto permettono di aumentare la velocità di avanzamento grazie al ridotto angolo di registrazione (o angolo di ingresso), sono utili per scaricare le forze lungo l'asse della fresa, quindi sul mandrino, limitando l'inflessione quando la fresa deve avere un gambo lungo per lavorare in fondo a una cava (Figura 3).

Passaggio 2: Pianificare la parte aggressiva

Qui serve fare qualche calcolo. Stimate il tasso di asportazione del materiale, convertitelo nella potenza e nella coppia richieste al mandrino e confrontatelo con ciò che il vostro mandrino

può erogare nell'intervallo di giri/min in cui intendete lavorare. L'obiettivo è evitare un taglio che richieda un livello di coppia che la macchina non può fornire, o un livello di potenza che vi costringa in una porzione ristretta della curva del mandrino. Qui scegliete anche la strategia generale più adatta alla geometria, perché "aggressivo" non significa automaticamente "massimo impegno". Potrebbero servire iterazioni su velocità, carico per dente, profondità e larghezza di passata per arrivare a un valore corretto. Anche questo secondo punto richiede conoscenza e preparazione. Andando con ordine, chi sviluppa il ciclo di lavorazione dovrebbe conoscere bene la curva di coppia e potenza del mandrino della propria macchina, in modo da sfruttarne al meglio le caratteristiche di coppia e potenza. Per farlo, è necessario scegliere correttamente il diametro dell'utensile in modo da lavorare alla velocità di taglio consigliata dall'utensiliere per una certa coppia materiale dell'u-

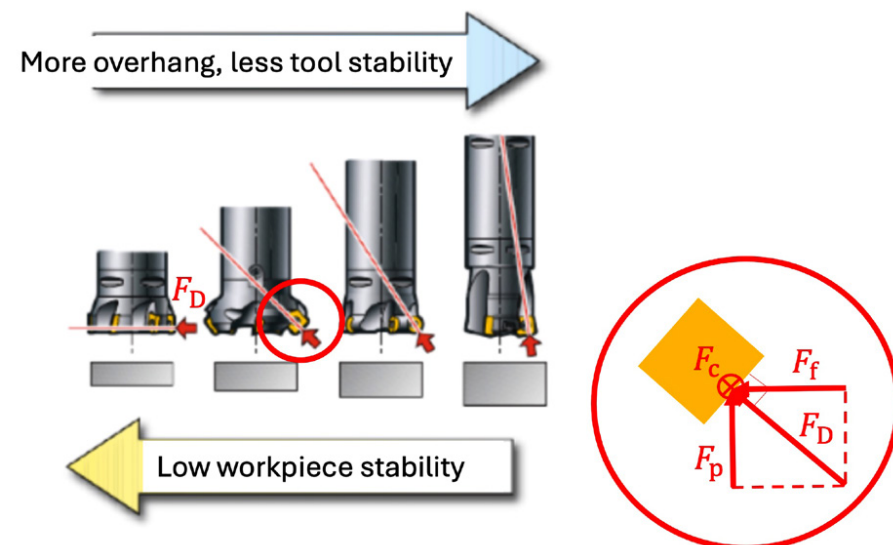


Figura 3: Direzione delle forze in funzione dell'angolo di registrazione (o angolo di ingresso) (cortesia Sandvik Coromant) (F_f : forza trasversale; F_D : forza di deflessione)

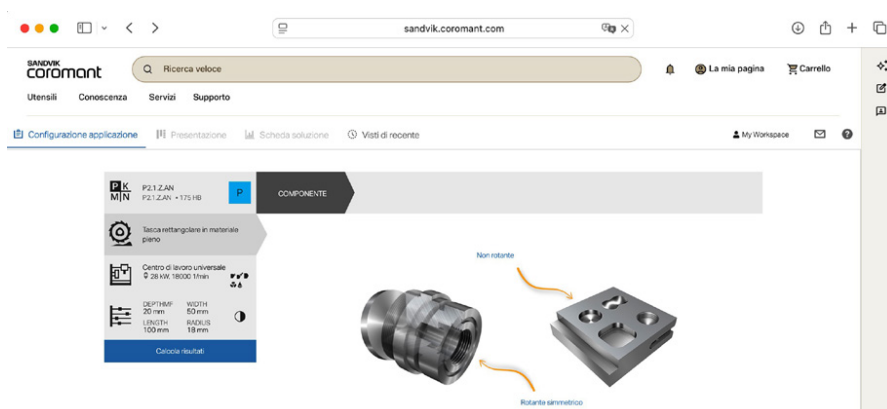


Figura 4: Schermata del sito Sandvik Coromant Tool Guide (3)

tensile – materiale da lavorare, determinando un numero di giri a cui il mandrino riesca a fornire la coppia e la potenza richieste. Ci sono diversi strumenti che ci aiutano in questa scelta, come i cataloghi online degli utensilieri (ad esempio, Sandvik Coromant Tool Guide (3) (Figura 4)). Sul sito del laboratorio PoliMill del Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano, si trova un'introduzione all'argomento (4). Anche il corso Digital Machining di PoliMill rivolto alle aziende tratta questo tema (5). Strumenti come Tool Guide permettono di provare diverse soluzioni di geometria e diametro della fresa, ottenendo i parametri di taglio e la coppia e potenza ad essi correlate. Inoltre, è possibile inserire la curva di coppia e potenza del proprio mandrino in modo che il software

restituisca valori ottimizzati per la propria macchina. Proseguendo l'analisi di questo punto, dobbiamo considerare che la sgrossatura può essere eseguita in modalità "tradizionale" oppure in modalità "trocoidale". La prima è adatta a cave poco profonde (una o due volte il diametro) su materiali non particolarmente duri o ostici, mentre la seconda è adatta a cave profonde e/o strette e a materiali difficili da lavorare come il temprato o le superleghe. L'articolo "Potenza, energia e durata utensile in fresatura trocoidale" (Macchine Utensili, gennaio 2025) tratta approfonditamente il confronto tra queste strategie, considerandone anche gli aspetti energetici. Il video Sandvik Coromant (6) fornisce un'utile guida a proposito di questo confronto. Quando si variano i parametri di taglio una volta

definita la fresa, è utile considerare il ruolo dello spessore medio di truciolo, che fornisce il carico a cui quella fresa dovrebbe lavorare in maniera costante. Per esempio, si può partire da parametri che sappiamo essere adatti a quella fresa, calcolare lo spessore medio di truciolo e, grazie alla sua formula, operare variazioni sui parametri in modo da mantenere lo stesso carico, quindi lo stesso h_m .

$$h_m = \frac{2f_z a_e}{\varphi D_c}$$

Nella formula dell' h_m compare il diametro della fresa D_c , l'avanzamento al dente f_z e la profondità di passata radiale a_e , tutti parametri noti all'utilizzatore. L'arco in presa φ non è noto a priori, ma è calcolabile (v. "Utensili, strategie e energia", Macchine Utensili, febbraio 2026). Nella scelta della strategia di sgrossatura, dovremmo anche tenere presente la possibilità di usare le frese ad alto avanzamento già citate al punto precedente, che consentono di ottenere un ottimo tasso di asportazione di materiale, posto che il mandrino riesca a fornire la potenza e la coppia necessarie (v. "Ottimizzare l'energia in fresatura", Macchine Utensili, dicembre 2024).

Passaggio 3: Perfezionare il piano

Perfezionare il piano usando dati che riflettano la vostra macchina, il mandrino e la configurazione utensile scelta. Qui entrano in gioco i test con martello dinamometrico (tap test). Il tap test nella fresatura è una tecnica sperimentale utilizzata per analizzare la dinamica utensile-macchina e ottimizzare i processi di lavorazione, riducendo le vibrazioni indesiderate (chatter).

Questo test può darvi informazioni sulla dinamica del gruppo utensile specifico che avete scelto (utensile, portautensile, prolunga, mandrino) e sul modo in cui il setup si comporta dinamicamente. Questo è importante perché i vincoli del mandrino non riguardano solo la potenza, ma anche le zone in cui il sistema è stabile e quelle in cui non lo è. Usate le informazioni dinamiche per regolare velocità del mandrino e impegno verso zone in cui potete spingere senza vibrazioni. Questo è il passaggio in cui prendete il setup utensile reale scelto ai passaggi uno e due e lo ottimizzate per il vostro sistema. Il punto sta proprio in questa specificità.

Esistono diversi software e soluzioni che possono aiutare nella scelta della velocità di rotazione del mandrino in modo da evitare le zone di chatter, a patto di eseguire il tap test. Tra questi, i più noti sono: CUTPRO (7), Productive Machines (8), MillMax (9) e Production Module (10). Solitamente questi software si occupano anche di ottimizzare l'avanzamento. Altri software come Vericut (11) e Eureka (12) ottimizzano la velocità di avanzamento per aumentare la produttività e la vita utensile facendo lavorare la fresa con un carico costante.

Passaggio 4: Identificate i rischi che possono incrementare il carico sulla fresa

Questa è la parte che separa "aggressivo" da "sconsiderato". Quando si lavora vicino ai limiti, è possibile che qualcosa si rompa sebbene la progettazione delle operazioni di taglio non sia errata: basta che una variazione non preventivata abbia luogo. I picchi di carico derivano da condizioni di ingresso, impegno interrotto, impaccamento dei trucioli e grezzo che non è quello ipotizzato. I tagli dei grezzi effettuati me-



dante segatura presentano variabilità e i grezzi potrebbero presentare più sovrametallo. Se un pezzo arriva con materiale extra, l'impegno aumenta bruscamente e il margine di sicurezza pianificato svanisce. Usate ingressi e uscite sicuri (13). Evitate di affondare la fresa in full slot, a meno che non sappiate che può permetterselo. Considerate una passata preparatoria leggera per uniformare il grezzo prima di spingere al massimo. L'obiettivo è impedire che il taglio reale superi di molto quello modellato, perché quello modellato è già vicino al limite.

Passaggio 5: Fidatevi, ma verificate

Con un piano pronto e le contingenze previste, avvicinatevi gradualmente. Qui entra in gioco la manopola di override dell'avanzamento, e qui una mano vicino al feed hold o all'arresto di emergenza non è teatralità: è responsabilità. State passando dal mondo teorico a quello reale. Tap test e calcoli possono portarvi nella zona giusta, ma dovete comunque ascoltare il taglio, osservare la formazione e l'evacuazione dei trucioli e controllare la risposta del sistema. L'obiettivo è lasciare che il taglio "parli" prima di impegnarvi nel piano completo.

Il materiale gioca un ruolo importante e spesso rappresenta una grande fonte di variabilità a causa delle proprietà meccaniche, prima fra tutte la durezza, che si allontanano dai valori preventivati. Per questo è sempre buona norma eseguire una prova di durezza sul materiale in ingresso.

Se si manifesta il chatter durante la prima prova, ricordiamo che per uscirne non si deve variare l'avanzamento, ma solo la velocità di rotazione del mandrino. Tra l'altro non è detto che la zona di stabilità più vicina ai parametri selezionati si trovi a velocità di rotazione del mandrino inferiori. Per questo, potendo scegliere, è consigliabile aumentare la velocità del mandrino e osservare se le vibrazioni tendono a diminuire.

Passaggio 6: Valutate la situazione

È ciò che fate quando le cose vanno male, perché prima o poi succederà. Se il taglio vibra, non dichiarate subito sbagliato l'intero approccio. Capite che cosa ha ceduto. Il sistema utensile non aveva abbastanza rigidità per l'impegno scelto? L'attrezzatura ha reagito alla forza in una direzione che non avevate previsto? L'erogazione del refrigerante era insufficiente o

La sgrossatura vicino al limite merita rispetto. Nel mondo reale siete responsabili della sicurezza della macchina, dell'integrità dell'utensile e dell'attrezzatura di serraggio, e delle prestazioni nel lungo periodo, non solo di un taglio dimostrativo eroico fatto una volta



non ben direzionata per l'evacuazione dei trucioli, causando la loro rimacinazione e picchi di carico? Affrontatelo come un modo per rinforzare i punti deboli, non come un abbandono dell'idea. A volte la risposta è uno sbalzo più corto, un portautensile diverso, una piccola modifica alla strategia o un piano migliore di gestione dei trucioli. A volte è un vincolo rigido, e la risposta onesta è che il pezzo o il setup non possono supportare in sicurezza quel livello di aggressività. Saperlo non è una sconfitta, è competenza.

Passaggio 7: Documentate il setup e fissate ciò che conta

Questa è la parte che molti saltano, ed è il motivo per cui la sgrossatura aggressiva diventa inaffidabile nel tempo. Se volete farlo giorno dopo giorno, dovete documentare il setup e fissare ciò che conta. Il tap test è rilevante solo per quell'esatto gruppo utensile, con quello sbalzo esatto, su quella macchina esatta. Non è una licenza universale a spingere forte ovunque. Se cambia una qualsiasi parte del sistema, cambia la stabilità. Definite lo sbalzo. Definite il tipo di portautensile. Definite come l'utensile viene assemblato e controllato. Definite che cosa può cambiare e che cosa no, e documentate tutto. Così si trasforma un taglio eroico in un processo.

La conclusione pratica è semplice. Vale la pena ottimizzare la sgrossatura aggressiva, e può essere uno dei modi più soddisfacenti per migliorare i tempi ciclo mantenendo intatta la qualità. Ma non potete inseguire la prestazione senza accettare la responsabilità della sicurezza e della salute della macchina nel lungo periodo. Se seguite un approccio procedurale, potete vivere sul filo del rasoio senza cadere.

Fate prima il lavoro di processo di base, costruite un piano solido e usate i risultati in macchina per perfezionarlo.

Documentate le condizioni che lo fanno funzionare, così diventa ripetibile. Poi, una volta svolte le debite verifiche, fate trucioli. ■

Riferimenti bibliografici

John Miller, 7 Steps to Optimize Aggressive Roughing Operations, MMS Online, 13/02/2026, <https://www.mmsonline.com/articles/7-steps-to-optimize-aggressive-roughing-operations>
 Jack Karr, Methodes et analyses de fabrication mecanique, Dunod, Paris, 1979
<https://www.sandvik.coromant.com/it-it/tools/digital-machining/coroplus-tool-guide>, consultato il 10/05/2026
<https://www.polimill.polimi.it/digital-machining/11-004/>, consultato il 10/05/2026
<https://www.polimill.polimi.it/eventi-download/>, consultato il 10/05/2026
 Sandvik Coromant, #42: Optimising roughing operations with solid carbide end mills, <https://youtu.be/Zt4NKgodCzY?si=Xtaox764T0JiURrP>, consultato il 10/05/2026
<https://www.malinc.com>, consultato il 10/05/2026
<https://productivemachines.co.uk>, consultato il 10/05/2026
<https://www.msccdirect.com/solutions/metalworking-innovations/millmax>, consultato il 10/05/2026
<https://thirdwavesys.com/release-notes-production-module-v9-0/>, consultato il 10/05/2026
<https://vericut.com/it-it/>, consultato il 10/05/2026
<https://www.eureka-sim.com/homepage-ita/>, consultato il 10/05/2026
<https://www.sandvik.coromant.com/it-it/knowledge/milling/cutter-path-and-chip-formation>, consultato il 10/05/2026