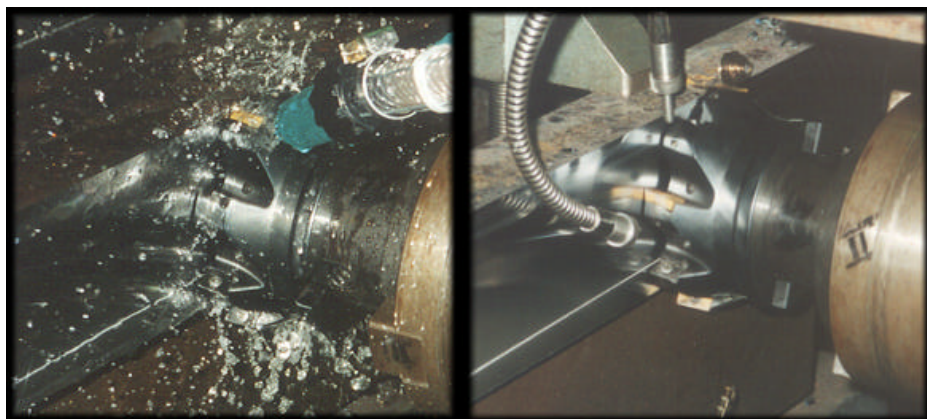


## LA LUBRIFICAZIONE MINIMALE IN FRESATURA.

*Il presente lavoro espone i risultati di una ricerca sperimentale avente lo scopo di valutare l'efficienza del processo di lubrificazione minimale rispetto al taglio a secco e ad umido di acciaio al carbonio in una specifica lavorazione per asportazione di truciolo, assumendo come parametri valutativi la dimensione del labbro d'usura, la finitura superficiale ed il livello di tensioni residue generate sul pezzo lavorato.*

**N**el mondo delle lavorazioni per asportazione di truciolo il taglio mediante inondazione con fluido lubrificante costituisce un paradigma per tutte le lavorazioni tradizionali. Nei moderni centri di lavoro l'adduzione abbondante di emulsioni oleose permette di ridurre l'attrito tra utensile e pezzo e di rimuovere il calore dall'area in lavorazione con i benefici effetti di prolungare la vita utile dell'utensile e di ottenere una migliore qualità della superficie lavorata.

Tuttavia gli additivi utilizzati per conferire ed esaltare le proprietà lubrificanti e per limitare l'azione batterica durante lo stoccaggio rendono i fluidi da taglio sostanze nocive che gravano sull'ambiente circostante in almeno due fasi del loro ciclo di vita: durante l'impiego, dove sottoforma di nebbie oleose provocano un certo grado di rischio per i lavoratori e alla fine della loro vita utile quando costituiscono un composto inquinante da smaltire. Perciò il notevole impatto ambientale, sostenuto dalla forte coscienza ambientale che sta via via prendendo piede nei paesi industrializzati ha motivato l'istituzione di vincoli legislativi sempre più stringenti con il chiaro intento di disincentivare l'utilizzo dei fluidi da taglio in tutte le lavorazioni meccaniche.



**A sinistra, la lavorazione con lubrificante refrigerante convenzionale. Il consumo è di circa 300 l/h di emulsione oleosa al 3%. A destra la tecnica di lubrificazione minimale che consuma dai 10 ml/h ai 500 ml/h utilizzando olio di base non miscibile in acqua con un basso impatto ambientale.**

In questo contesto la crescente attenzione all'efficienza ha motivato la ricerca di soluzioni alternative che permettano di tagliare la quota parte dei costi di lavorazione dovuta al liquido lubrificante e nel contempo di ridurre il forte impatto ambientale proprio delle emulsioni oleose.

Benché la moderna tecnologia delle polveri permetta di ottenere inserti con un'eccezionale durezza a caldo, la possibilità di lavorare a secco è limitata a specifiche operazioni tecnologiche su determinati materiali a causa degli attriti tra utensile e pezzo in lavorazione che, non più controllati dal fluido da taglio, influiscono sulla qualità delle superfici ottenute e sulla durata degli inserti.

La possibilità di ridurre l'attrito nel punto di contatto attraverso un meato d'olio portato nella zona di lavorazione da un getto spray sembra permettere uguali prestazioni al taglio ad umido, eliminando i problemi di impatto ambientale. Infatti le bassissime portate d'olio (in proporzione di 1:60.000) garantiscono che tutto l'olio venga consumato durante la lavorazione evitando perciò la sua dismissione in una fase successiva.

Tale tecnologia prende il nome di *lubrificazione minimale* (LM) per il ridottissimo consumo di lubrificante.

Dato il forte interesse del mondo dell'industria delle lavorazioni meccaniche verso questa tecnologia esistono già in commercio diversi sistemi di LM

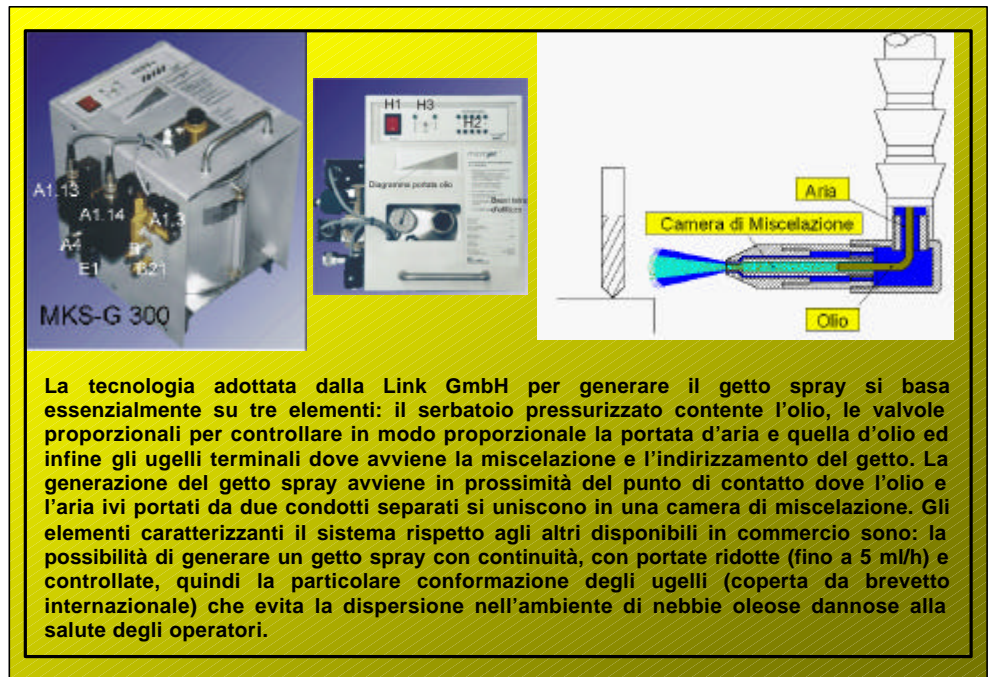
che possono essere classificati in base alla modalità di generazione del getto spray. Il sistema adottato durante la sperimentazione è prodotto dalla Link GmbH.

### Progettazione degli esperimenti

Per valutare i reali benefici che la lubrificazione minimale può apportare abbiamo approntato una sperimentazione tesa a chiarire la posizione di questa nuova tecnologia rispetto al taglio ad umido e a secco.

In particolare le dimensioni attraverso cui è stata qualificata la LM riguardano la meccanica del taglio ed il carico ambientale.

Per quanto riguarda la meccanica del taglio, obiettivo primario del nostro lavoro è stato valutare la formazione dell'usura dell'inserto, aspetto direttamente collegato all'economia di lavorazione, attraverso delle prove di durata condotte riferendosi alla normativa UNI-ISO 8688. Ritenendo inoltre che l'elevato potere lubrificante del meato d'olio influenzi la dinamica di

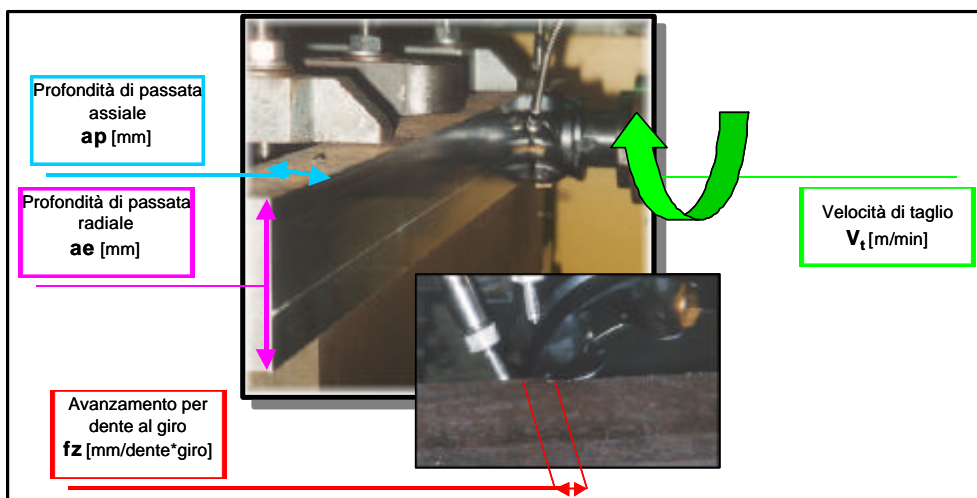


La tecnologia adottata dalla Link GmbH per generare il getto spray si basa essenzialmente su tre elementi: il serbatoio pressurizzato contenente l'olio, le valvole proporzionali per controllare in modo proporzionale la portata d'aria e quella d'olio ed infine gli ugelli terminali dove avviene la miscelazione e l'indirizzamento del getto. La generazione del getto spray avviene in prossimità del punto di contatto dove l'olio e l'aria ivi portati da due condotti separati si uniscono in una camera di miscelazione. Gli elementi caratterizzanti il sistema rispetto agli altri disponibili in commercio sono: la possibilità di generare un getto spray con continuità, con portate ridotte (fino a 5 ml/h) e controllate, quindi la particolare conformazione degli ugelli (coperta da brevetto internazionale) che evita la dispersione nell'ambiente di nebbie oleose dannose alla salute degli operatori.

formazione del truciolo e quindi, in modo diretto, la qualità delle superfici lavorate, è stata valutata la finitura superficiale attraverso la misura del parametro Ra secondo UNI 3963 e delle tensioni residue sul pezzo a lavorazione ultimata, mediante metodo diffrattometrico. Inoltre per valutare il potere refrigerante del getto spray rispetto al taglio a secco e ad umido è stato rilevato, con un'opportuna termocoppia, il

carico termico gravante sul pezzo in lavorazione.

L'operazione tecnologica prescelta è stata la fresatura frontale per la vasta diffusione mentre i materiali lavorati sono quelli indicati dalla norma di riferimento per le prove di durata: acciaio al carbonio C40 secondo ISO/R 683-3 e ghisa grigia GG25 secondo ISO/R 185. Lo studio sperimentale è stato affiancato da un'analisi del carico ambientale gravante l'ambiente di lavoro e l'ambiente esterno l'azienda, generato dalle emulsioni oleose e dall'olio della LM. In questa prima parte ci limiteremo ad esporre i risultati inerenti la sperimentazione su acciaio, lasciando ad un successivo articolo il compito di presentare i risultati relativi al taglio della ghisa grigia e all'analisi di impatto ambientale.



Nella fase progettuale della sperimentazione si sono operate soluzioni differenti per l'acciaio e per la ghisa grigia. Nel taglio di acciaio i parametri di taglio fatti variare sono stati la profondità di passata radiale e la velocità di taglio. Viceversa nel taglio della ghisa il solo parametro fatto variare è stato la velocità di taglio. Durante tutta la sperimentazione sono stati tenuti fissi l'avanzamento per dente e la profondità di passata assiale.

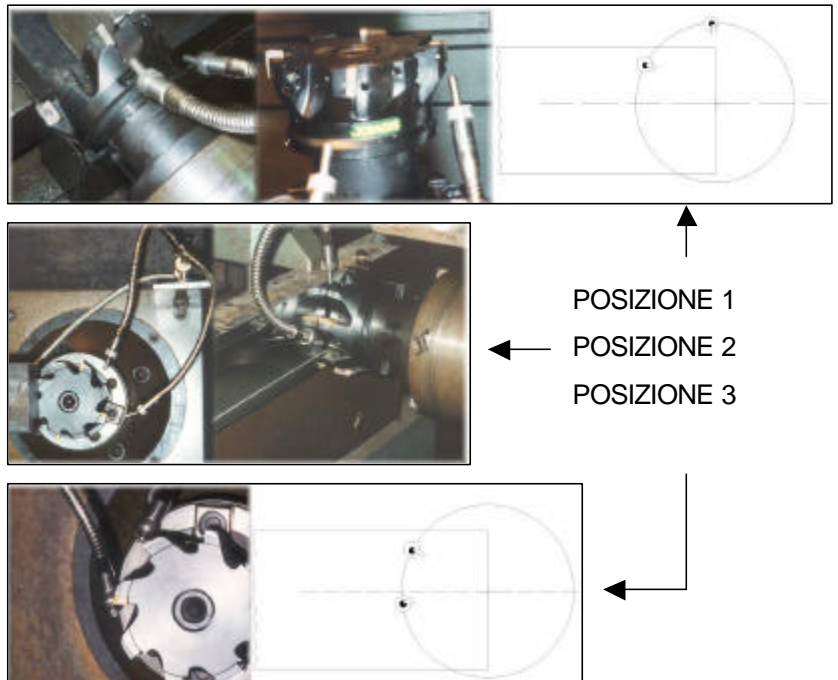
Nella fresatura frontale con inserti in metallo duro ricoperto, il parametro di taglio che più direttamente influenza l'economia di lavorazione è la

velocità di taglio: perciò tutte le prove sono state condotte rispetto a due valori di velocità di taglio sostanzialmente differenti. L'indagine condotta nel taglio di acciaio si articola in tre fasi. In primo luogo si è voluta indagare la significatività della direzione di adduzione del getto spray rispetto ad una specifica portata, quindi sempre rispetto ai medesimi valori di velocità di taglio si è voluta qualificare la portata rispetto ad una specifica direzione di adduzione ed infine in una terza fase, si è voluto confrontare la LM rispetto al taglio a secco e ad umido.

Per tutti gli esperimenti abbiamo effettuato due repliche casualizzate.

### Metodologia Sperimentale

Le prove sperimentali sono state effettuate su di una fresatrice a controllo numerico. Il materiale in lavoro era acciaio al carbonio contenente lo 0,4% di carbonio (HRb 95) in barre rettangolari. Per lavorare tali materiali abbiamo adottato inserti ed utensili specifici forniti dalla Walter Usap. Le passate di spianatura sono state effettuate



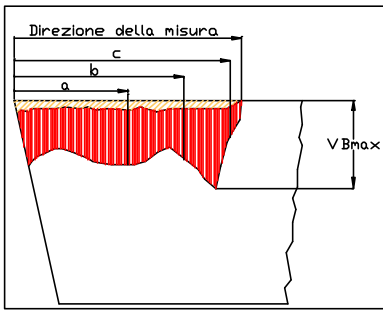
Per considerare i differenti effetti che una diversa direzione di adduzione del getto spray può avere nei termini di meccanica del taglio sono state individuate tre posizioni significative.

Nella POSIZIONE 1 un ugello bagna l'utensile mentre è in presa e l'altro bagna l'inserto prima che vada in presa; nella POSIZIONE 2 entrambi gli ugelli bagnano l'inserto fuori dall'arco in presa nella direzione del petto dell'inserto; infine nella posizione 3 entrambi gli ugelli bagnano l'inserto mentre asporta truciolo.

montando un solo inserto in metallo duro ricoperto APKT 15T3 PDR su di una fresa a spianare F 3042.B.100.Z08.15 in modo da garantire il raggiungimento di un tempo effettivo di contatto pari a 15 min. Tutti i parametri di taglio sono

stati scelti a partire dai valori consigliati dal catalogo del fornitore di utensili, nel caso della velocità di taglio a partire dal valore consigliato il valore superiore è stato ottenuto attraverso un incremento del 60% circa.

Quadro Riassuntivo delle Prove Condotte su Acciaio attraverso Passate di Spianatura con $ae/D \cong 1; fz = 0,125$ mm/giro								
	Taglio ad umido	Taglio mediante Lubrificazione Minimale					Taglio a Secco	
		Posizione 1 127 ml/h*ugello	Posizione 2 127 ml/h*ugello	5 ml/h*ugello	Posizione 3 127 ml/h*ugello	250 ml/h*ugello		
Velocità di Taglio Consigliata 190 m/min	Ra medio 1,18 (im)	Ra medio 0,246 (im)	Ra medio 0,454 (im)	Ra medio 0,686 (im)	Ra medio 0,38 (im)	Ra medio 0,31 (im)	Ra medio 0,545 (im)	
	VBmedio dopo 16 min di contatto 0,09 (mm)	VBmedio dopo 16 min di contatto 0,2 (mm)	VBmedio dopo 16 min di contatto 0,2 (mm)	VBmedio dopo 16 min di contatto 0,11 (mm)	VBmedio dopo 16 min di contatto 0,1 (mm)	VBmedio dopo 16 min di contatto 0,12 (mm)	VBmedio dopo 16 min di contatto 0,15 (mm)	
Velocità di Taglio +60% 300 m/min	Ra medio 1,04 (im)	Ra medio 0,44 (im)	Ra medio 0,29 (im)	Ra medio 0,52 (im)	Ra medio 0,29 (im)	Ra medio 0,32 (im)	Ra medio 0,41 (im)	
	VBmedio dopo 8 min di contatto 0,36 (mm)	VBmedio dopo 16 min di contatto 0,18 (mm)	VBmedio dopo 16 min di contatto 0,23 (mm)	VBmedio dopo 16 min di contatto 0,15 (mm)	VBmedio dopo 16 min di contatto 0,14 (mm)	VBmedio dopo 16 min di contatto 0,24 (mm)	VBmedio dopo 16 min di contatto 0,19 (mm)	



Sul tagliente principale sono stati individuati 3 punti significativi rispetto ai quali prendere la misura. Nei casi in cui si è sviluppata un'eccessiva usura localizzata in una qualsiasi parte del tagliente è stata trascurata la misura del VB medio per prendere in considerazione solo il valore VBmax.

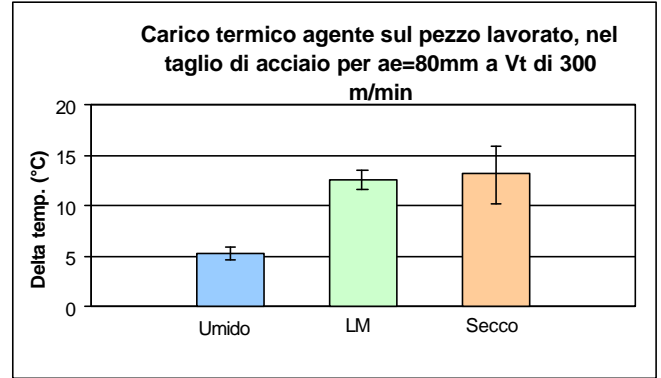
Volendo riassumere i dati riguardanti il set-up del sistema di LM diremo che: nel taglio di acciaio sono state utilizzate 3 posizioni degli ugelli per rappresentare la possibilità di bagnare l'inserto prima che vada in presa (Posizione 2), durante l'asportazione (Posizione 3) ed una via di mezzo tra le due (Posizione 1). Le portate adottate sono state fatte variare tra i tre diversi livelli di 5 ml/h\*ugello, 127,5 ml/h\*ugello e 250 ml/h\*ugello.

La condizione di taglio ad umido è stata ottenuta utilizzando un'emulsione oleosa comunemente disponibile in commercio diluita al 3% in acqua con portate di 5 l/min.

La rilevazione della dimensione dell'usura

dell'inserto è stata effettuata, dopo ogni passata, attraverso la misura della dimensione del labbro d'usura su tre punti e attraverso 4 fotografie (prese in momenti significativi) che rappresentassero l'usura delle diverse parti dell'inserto.

La valutazione della finitura, per ogni prova, è stata effettuata dopo ogni passata applicando il tastatore di un rugosimetro portatile su tre punti equidistanti della barra lavorata per verificare in che modo il progredire dell'usura dell'inserto influisse



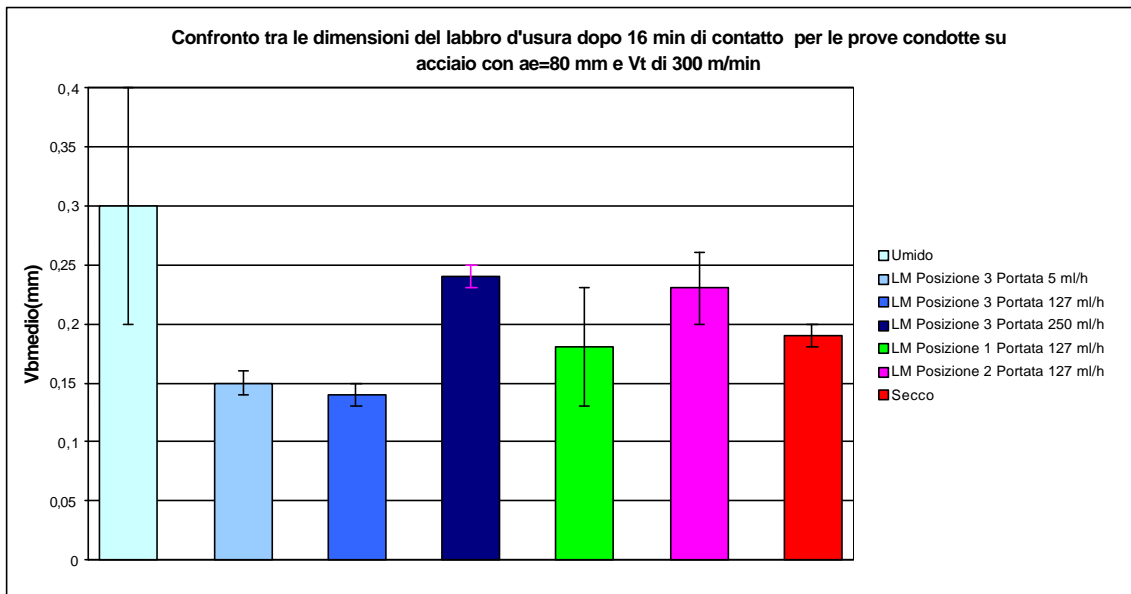
Misurando il carico termico come differenza di temperatura tra i valori massimo e minimo raggiunti sul pezzo durante la lavorazione otteniamo che la LM genera stati di sollecitazione prossimi al taglio a secco.

sulla finitura superficiale.

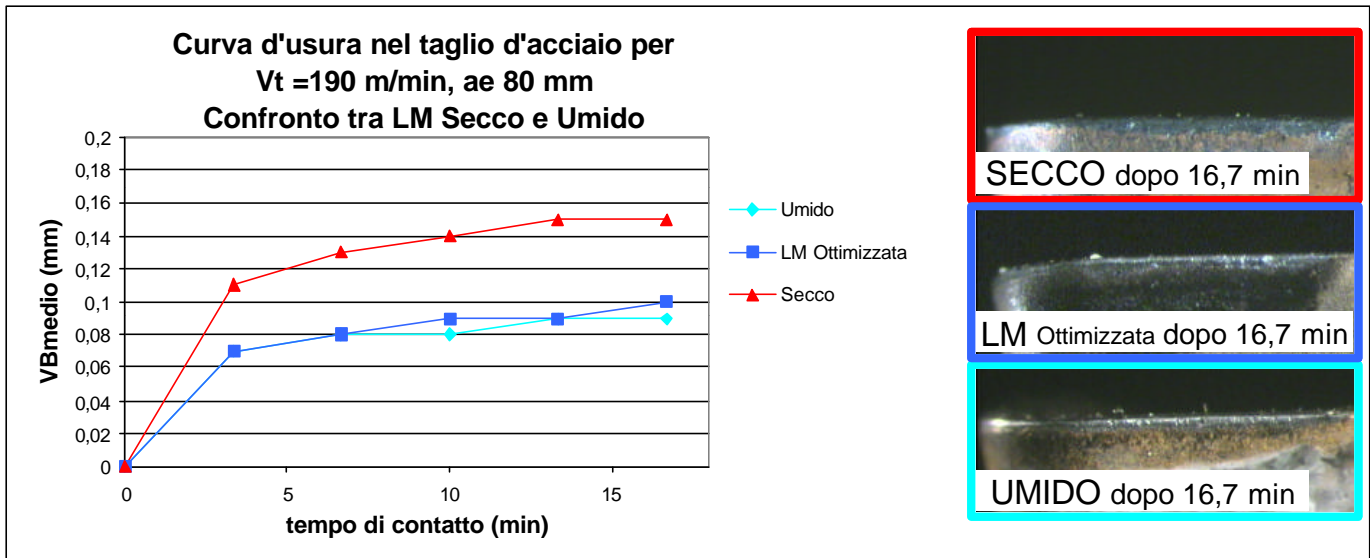
La misurazione delle tensioni residue è stata condotta attraverso un'indagine diffrattometrica su dei provini ottenuti a partire dalle barre lavorate. Infine la valutazione del carico termico è stata ottenuta misurando la temperatura massima e minima indicata durante ogni passata da un termorilevatore a cui è stata collegata una termocoppia a contatto della barra in prossimità della zona di lavorazione.

**I risultati raccolti** nelle prove condotte su acciaio hanno dimostrato che la LM benché generi sul pezzo un carico termico paragonabile al taglio a secco, se ottimizzata nelle portate e nella direzione di adduzione permette di ottenere rispetto al taglio a secco e ad umido dei risultati di ottimo livello. Così a velocità di taglio consigliate il

principale meccanismo di usura



L'adduzione di un getto spray di aria-olio non costituisce garanzia di ridotta usura dell'inserto: è infatti necessaria una fase di ottimizzazione dell'efficienza del sistema di LM sia nelle portate adottate che nella direzione di adduzione.

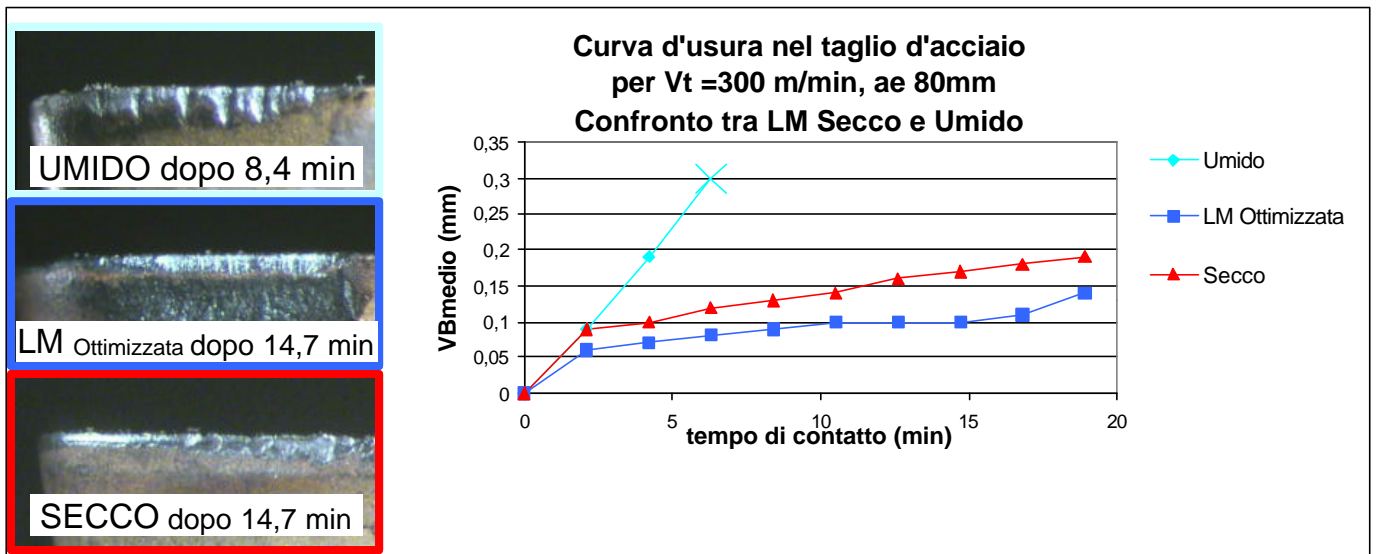


Nel taglio di acciaio a Velocità di Taglio consigliate dal catalogo la LM permette di generare un'usura prossima alle condizioni di taglio ad umido distanziandosi dalle condizioni di taglio a secco

che coinvolge gli inserti è l'abrasione: in queste condizioni la LM permette di ottenere una dinamica d'usura paragonabile al taglio ad umido e significativamente inferiore al taglio a secco.

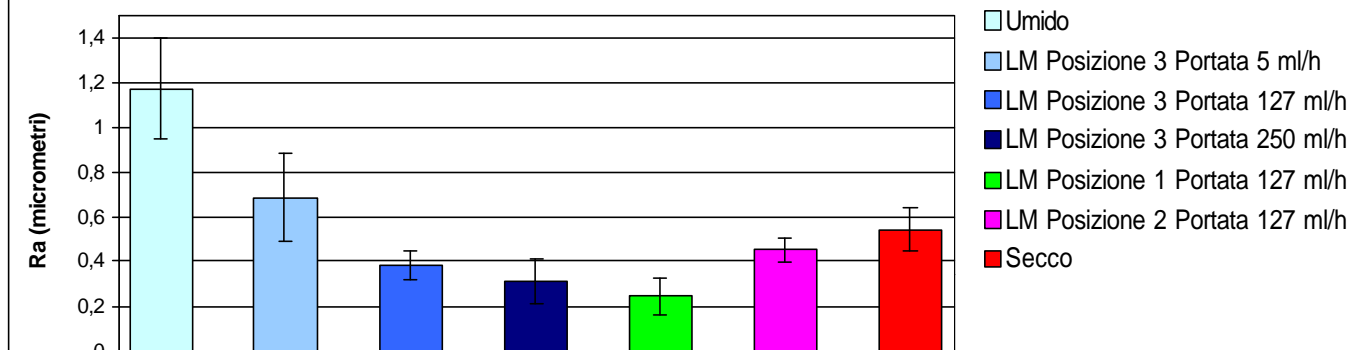
Se con tali parametri la LM eguaglia lo stato dell'arte, portando la Vt a 300 m/min, il meato d'olio adottato con la LM permette di preservare l'inserto dagli shock termici propri del taglio ad inondazione e dagli

scagliamenti propri del taglio a secco, generando così dopo 15 min. di contatto effettivo pezzo-inserto una dimensione del labbro d'usura media di 0,15 mm e preservando altresì dall'usura la punta dell'inserto ed il petto.



Nel taglio di acciaio a Velocità di Taglio maggiorata del 60% la LM, se ottimizzata, permette di preservare l'inserto dagli shock termici propri del taglio ad umido e dagli scagliamenti che si notano nel taglio a secco, generando dopo quasi 20 min. di contatto una dimensione media del labbro d'usura inferiore a 0,15 mm

**Confronto tra i valori medi della Rugosità Ra per le prove condotte su acciaio per  $V_t = 190$  m/min ed  $a_e = 80$  mm**



L'adduzione di un getto spray di aria e olio nella zona di lavorazione permette di migliorare in modo significativo la qualità delle superfici lavorate.

Per quanto riguarda la qualità delle superfici lavorate i risultati riportati nel grafico in figura testimoniano l'efficacia del mezzo lubrificante nell'ottenere superfici di qualità superiore: attraverso il binomio LM e inserti in metallo duro ricoperto si è riusciti ad ottenere valori di Ra medio di poco superiori ai 2 decimi di micron.

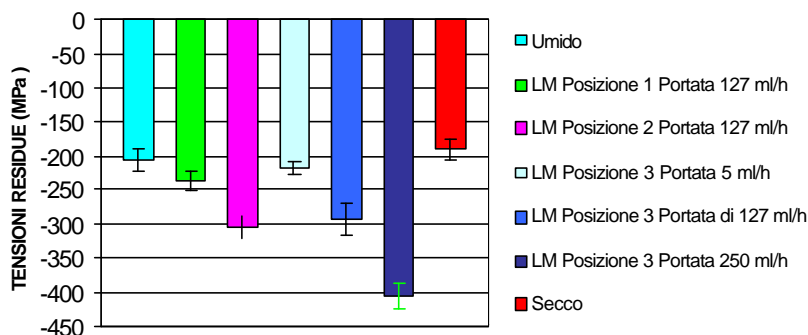
Inoltre l'adduzione di un meato

d'olio veicolato ad un getto d'aria nella zona di lavorazione permette di generare sulla superficie lavorata degli stati di compressione paragonabili o superiori al taglio a secco. Come noto uno stato di sollecitazione a compressione garantisce una minore tendenza alla corrosione e alla rottura per fatica.

Attraverso le dimensioni indagate gli esperimenti condotti su acciaio ci autorizzano ad evidenziare la superiorità della LM rispetto al taglio a secco e ad umido; infatti l'adduzione di un getto spray aria olio, se opportunamente ottimizzato nelle portate e nella direzione di adduzione, permette di preservare l'inserto da usura generando superfici di qualità superiore (testimoniati da valori di Ra medi prossimi ai  $0,2 \mu\text{m}$ ).

Nel successivo articolo concluderemo l'indagine esponendo i risultati relativi al taglio di ghisa grigia e all'analisi comparativa di impatto ambientale.

**Tensioni residue nel taglio di acciaio per  $V_t = 190$  m/min e  $a_e = 80$  mm**



Gli stati tensionali sulla superficie lavorata, ottenuti con l'ausilio della LM, sono di compressione e sono in ogni caso superiori al taglio a secco e ad umido

# LA LUBRIFICAZIONE MINIMALE IN FRESATURA.

*Il presente lavoro costituisce la parte conclusiva di una ricerca sperimentale avente lo scopo di valutare l'efficienza del processo di lubrificazione minimale in fresatura. In questo articolo verranno esposti i risultati del taglio di ghisa grigia con questo processo rispetto al taglio a secco inerenti la dimensione del labbro d'usura, la finitura superficiale ed il livello di tensioni residue; verrà inoltre esposta un'analisi del carico ambientale di questa nuova tecnologia rispetto al taglio ad umido ed un'analisi dei costi condotta a partire da un caso applicativo.*

**N**el mondo delle lavorazioni per asportazione di truciolo, il peso sempre crescente dei costi ambientali e dei vincoli normativi collegati all'uso dei fluidi da taglio ha motivato la ricerca di metodi alternativi di lubrificazione. In questo contesto, già da un decennio ormai si sta studiando la possibilità di sostituire l'adduzione del fluido da taglio con un getto spray di aria ed olio opportunamente calibrato. Tale tecnologia prende il nome di *lubrificazione minimale* per sottolineare le portate di olio inferiori di diversi ordini di grandezza alle portate dei fluidi da taglio. L'adozione di questa nuova tecnologia

permetterebbe perciò di risolvere da una parte il problema ambientale giacché il meato d'olio viene completamente consumato nella lavorazione, e dall'altra parte l'ottenimento di condizioni di taglio economiche.

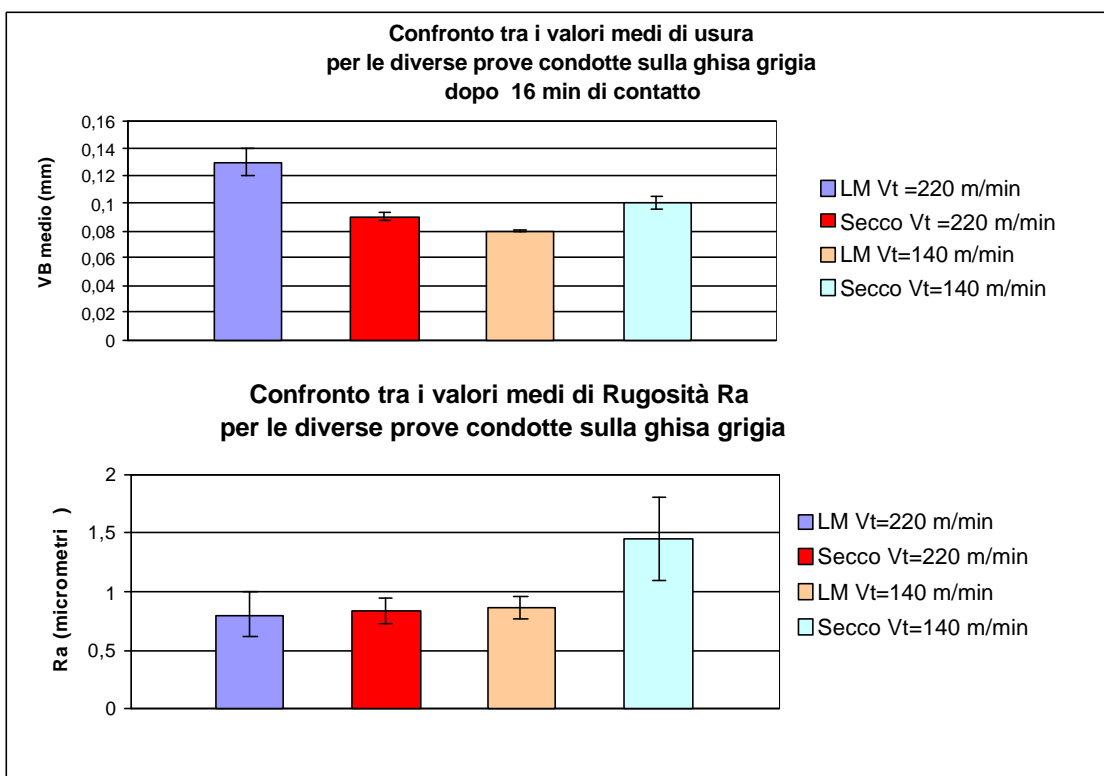
Il presente lavoro vuole indagare la fattibilità del processo di lubrificazione minimale nella fresatura frontale di ghisa grigia nei termini di qualità delle superfici ottenute, di economia di lavorazione e di impatto ambientale.

## Fase progettuale

Il progetto della campagna sperimentale per la lavorazione della ghisa grigia è stato fatto a partire dalla consapevolezza che la lavorazione di ghisa grigia è comunemente effettuata a secco. Infatti l'azione lubrificante, necessaria a ridurre gli attriti, è compiuta direttamente dai noduli di grafite presenti nel materiale lavorato. Ritenendo che i benefici adottati dalla LM siano limitati è stata effettuata una fase di screening con un piano fattoriale a due livelli i cui fattori sono le condizioni di lubrificazione, cioè

la LM rispetto al secco, e la velocità di taglio, essendo il parametro di taglio che più direttamente influenza l'economia di lavorazione nella fresatura frontale. Per tutti gli esperimenti sono state effettuate due repliche casualizzate.

Il materiale in lavorazione è stato ghisa grigia GG25 con classe di durezza H195 secondo UNI ISO 185. Le passate di spianatura sono state effettuate con inserti ed utensili fornitici dalla Walter Usap, specifici per la lavorazione di ghisa, montando un solo inserto in metallo duro ricoperto APKT 15T3 PDR su di una fresa a spianare F 3042.B.100.Z08.15 in modo da



I risultati riguardanti le prove condotte sulla ghisa grigia evidenziano come la condizione aggiuntiva di LM non permetta sostanziali benefici rispetto al taglio a secco.

### Impatto Ambientale Interno

	Emulsione Oleosa (LBF)	Alcool Grasso (LM)
Livello di Tossicità per Ingestione: <b>LD<sub>50</sub></b>	<25 mg/kg <sub>ratto</sub> Estremamente tossico	>2000 mg/kg <sub>ratto</sub> Innocuo
Concentrazione massima ammessa nella zona di lavorazione: TLV/TWA	5 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>

### Impatto Ambientale Esterno

	Emulsione Oleosa (LBF)	Alcool Grasso (LM)
Grado di Rischio per le acque: <b>WGK</b>	WGK3 Alto Rischio di Contaminazione	WGK0 Nessun Rischio di Contaminazione

La valutazione dell'impatto ambientale è stato effettuato valutando per i due diversi prodotti, l'alcool grasso per la LM e l'emulsione oleosa per il taglio ad umido, diversi indici quantitativi indicati dalla normativa tedesca TRGS 220

garantire il raggiungimento di un tempo effettivo di contatto pari a 15 min.

#### Risultati riguardanti la GG

I risultati riguardanti il taglio di ghisa grigia evidenziano come la condizione aggiuntiva di LM non permetta sostanziali benefici: le ridotte dimensioni del labbro d'usura a fine vita utile garantiscono la stessa economia di lavorazione. Solo a Vt consigliata dal catalogo del produttore la LM permette di migliorare la finitura superficiale senza peraltro

influenzare le tensioni residue, che in entrambi i casi sono paragonabili.

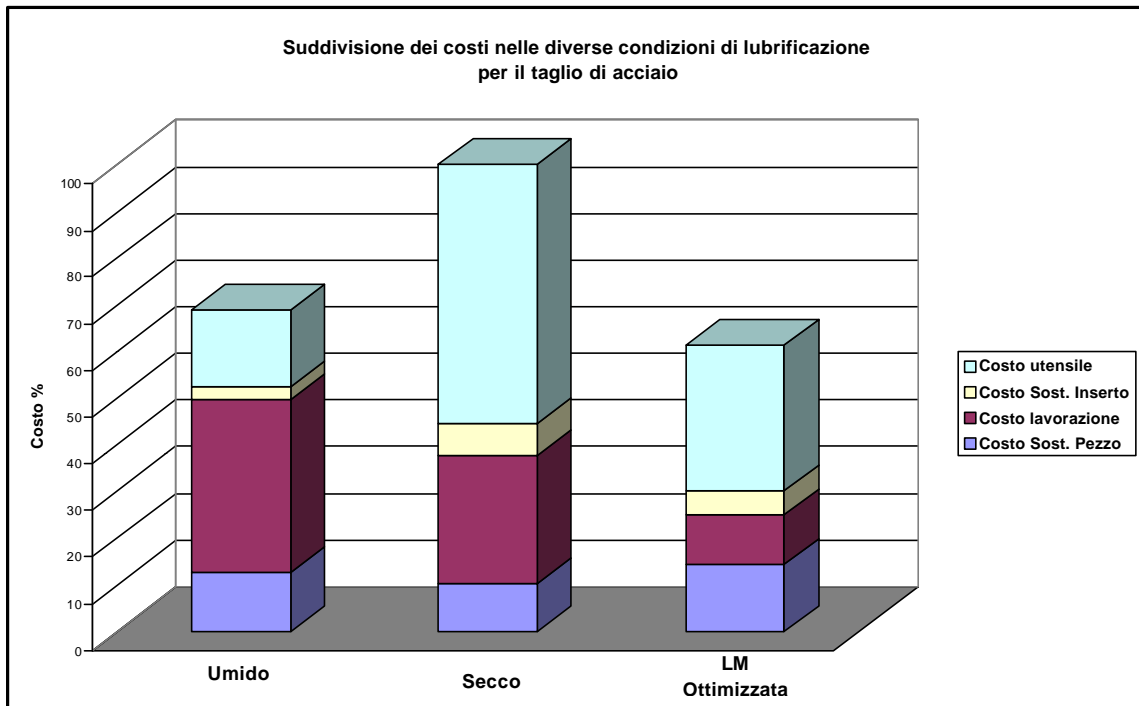
#### ANALISI DI IMPATTO AMBIENTALE

Per evidenziare meglio i vantaggi della tecnologia di LM è stata effettuata un'analisi comparativa di impatto ambientale rispetto al taglio mediante inondazione con fluidi lubrorefrigeranti.

I fluidi lubrorefrigeranti, per lo più emulsioni oleose, gravano sull'ambiente in almeno due fasi del loro ciclo di vita: durante la

lavorazione come nebbie oleose generantesi durante l'uso e lo stoccaggio e come composti chimici acquosi che necessitano di particolari procedure di dismissione una volta esaurita la loro funzione.

Per valutare la tossicità di questi composti nei confronti dei lavoratori sono stati utilizzati due indici di riferimento atti a qualificare la pericolosità delle nebbie oleose e la tossicità intrinseca del composto: il TLV/TWA (Threshold Limit Value-Time Weight Average) dell'Occupational Safety and



A partire dai dati riguardanti la sperimentazione su acciaio è stato possibile apprezzare i diversi contributi di costo. La LM, laddove ottimizzata, permette di ridurre il costo complessivo dimezzando il costo della lavorazione.

risulta essere pressoché innocuo a garanzia di una bio-compatibilità.

Le prove condotte hanno permesso di apprezzare la convenienza economica della lubrificazione minima rispetto al taglio a secco e ad umido: a partire dai dati di costo disponibili in letteratura è stato infatti possibile valutare i diversi contributi alla funzione di costo complessiva.

Se consideriamo la lavorazione attraverso passate di spianatura di un pezzo di lunghezza  $L$  in acciaio con un avanzamento  $f_z$  dato, nota la durata dell'inserito per diversi valori della velocità di taglio è possibile stabilire i parametri di processo economici, che rendono minima la funzione di costo complessiva. Tale funzione risulta essere somma di quattro contributi proporzionali al tempo di lavorazione: i costi di mancata produzione relativi alla movimentazione del pezzo finito e alla sostituzione degli utensili, i costi di lavorazione e i costi dell'utensile stesso.

A partire dai dati sperimentali possiamo dire che le eccezionali durate garantite dalla condizione di LM, laddove ottimizzata, permettono di ottenere dei costi

Health Administration (OSHA) che rappresenta la concentrazione media per una giornata lavorativa di otto ore o di quaranta ore settimanali alla quale i lavoratori possono essere esposti senza conseguenze ed il  $LD_{50}$  dell'American Industrial Hygiene Association che rappresenta la dose assunta dalla cavia per via orale, necessaria ad uccidere il 50% degli animali in uno specifico intervallo di tempo.

Per valutare il carico ambientale dei composti chimici nei confronti dell'ambiente esterno l'azienda è stato utilizzato un indice quantitativo: il Water Hazard Number (WGZ), definito a sua volta come media aritmetica degli indici di tossicità verso mammiferi, batteri e pesci.

L'elevato carico ambientale dei fluidi lubrificanti (testimoniato dalla tabella qui riportata) è motivato dalla necessità di gestire elevati quantitativi di sostanza chimica che nella maggior parte dei casi come emulsione si combina perfettamente con l'acqua.

Viceversa la LM avendo un limitatissimo consumo d'olio, permette l'utilizzo di oli a base completamente vegetale che costituiscono un composto non emulsionabile, che vengono stoccati in piccoli serbatoi.

Quindi se la LM non necessita né di procedure di dismissione né di costi di smaltimento poiché il meato d'olio si consuma nella lavorazione, il prodotto usato, per le condizioni di utilizzo e di stoccaggio estremamente diverse,

complessivi di prodotto pari a circa il 50% quelli ottenuti nel taglio a secco, riducendo inoltre il costo di lavorazione.

Il presente lavoro ha voluto valutare la fattibilità tecnica ed economica del processo di lubrificazione minimale (LM). Gli esperimenti sono stati condotti su ghisa grigia e su acciaio perché da un lato diffusi, dall'altro indicati dalla norma UNI ISO 8688.

Al fine di valutare la qualità delle superfici ottenute con la LM, a secco e con la LBF sono stati misurati i valori di rugosità superficiale (Ra), mentre per apprezzare l'economia di lavorazione abbiamo evidenziato la dinamica dell'usura dell'insero. Con riferimento agli obiettivi della ricerca possiamo ora esporre le principali conclusioni.

La LM risulta essere una tecnologia con grosse potenzialità che si manifestano in tutti gli ambiti oggetto di analisi.

In particolare risultano essere degni di nota i risultati raggiunti nella fresatura di acciaio, infatti raggiunte le condizioni di ottimalità del processo (in termini di portata addotta e di direzione di adduzione) si sono potuti ottenere risultati migliori rispetto al taglio a secco e ad umido sia per quanto riguarda la dinamica d'usura che per quanto riguarda la finitura superficiale. La successiva analisi di impatto ambientale evidenzia il ridotto carico che la LM produce sia nei confronti dell'ambiente di lavoro che nei confronti dell'ambiente esterno.

Infine, pur considerando un investimento aggiuntivo in

attrezzature, laddove ottimizzata la LM permette di garantire costi di prodotto inferiori al taglio a secco e ad umido.