

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA**  
FACOLTA' DI INGEGNERIA  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA MECCANICA

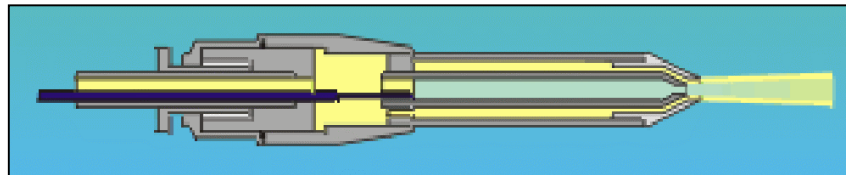
**RELAZIONE ATTIVITA' DI RICERCA a.a. 2005-2006:**

***Dottorato di ricerca in Meccanica Applicata XIX° ciclo***

***Dottorando:*** Davide Fausti

## La Tecnica Minimale (Minimal Quantity Lubrication)

- Utilizzo portate minimali di lubrificante [ml/h].
- Un ugello spruzza direttamente sulla zona di taglio il fluido lubrorefrigerante nebulizzato con aria in pressione (2 - 2,5 bar).
- Fluido e aria vengono condotti all'ugello attraverso tubi coassiali e qui miscelati.



## **Tecnica Minimale (MQL)**

### **VANTAGGI:**

- Il pezzo lavorato non deve essere lavato.
- I trucioli possono essere smaltiti direttamente come rottami.
- L'olio esausto non deve essere smaltito.



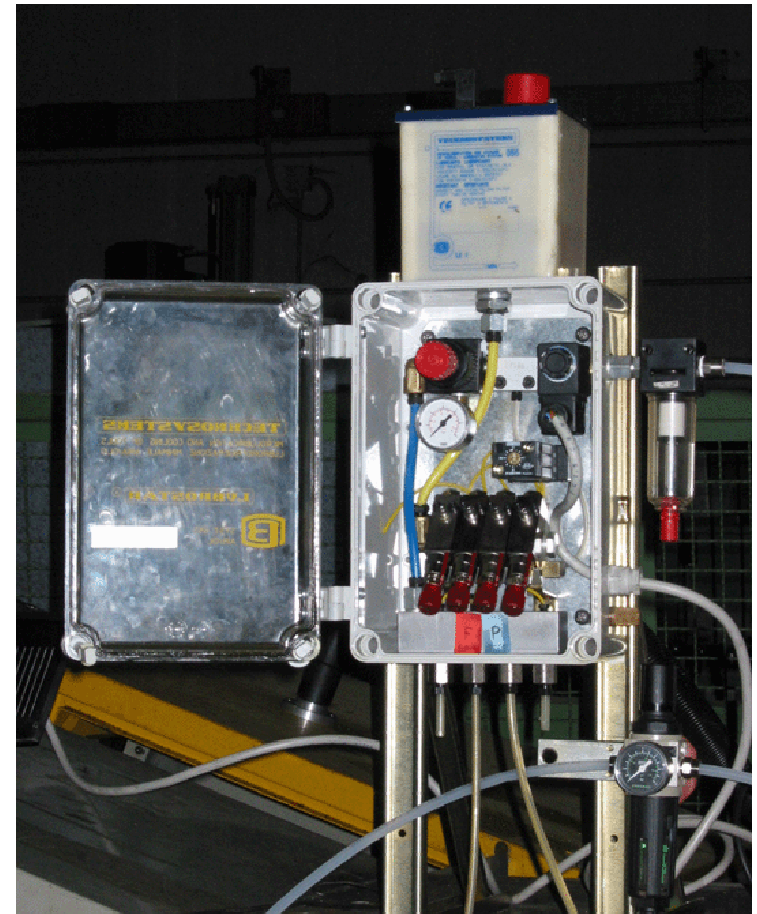
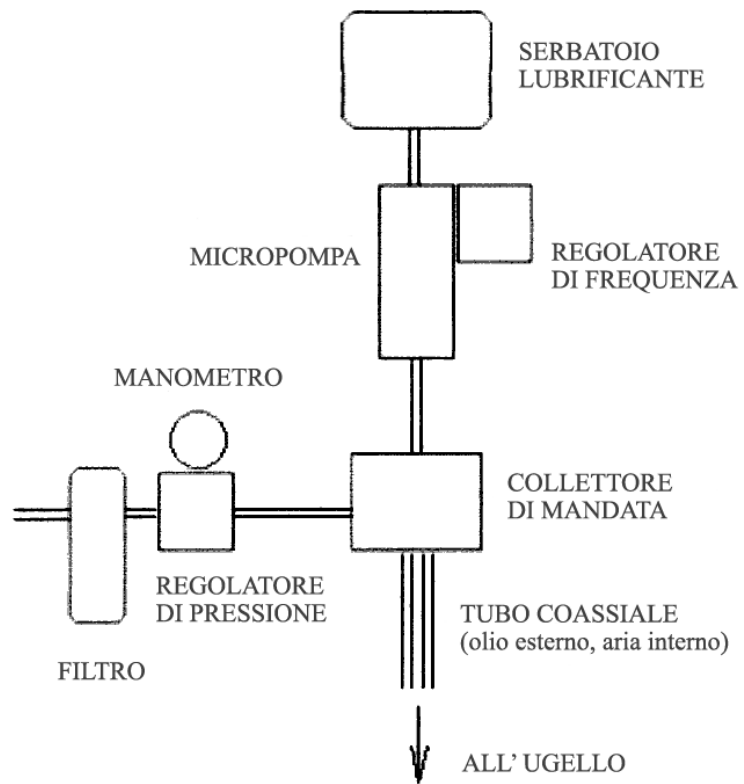
- Risparmio economico
- Minore inquinamento ambientale

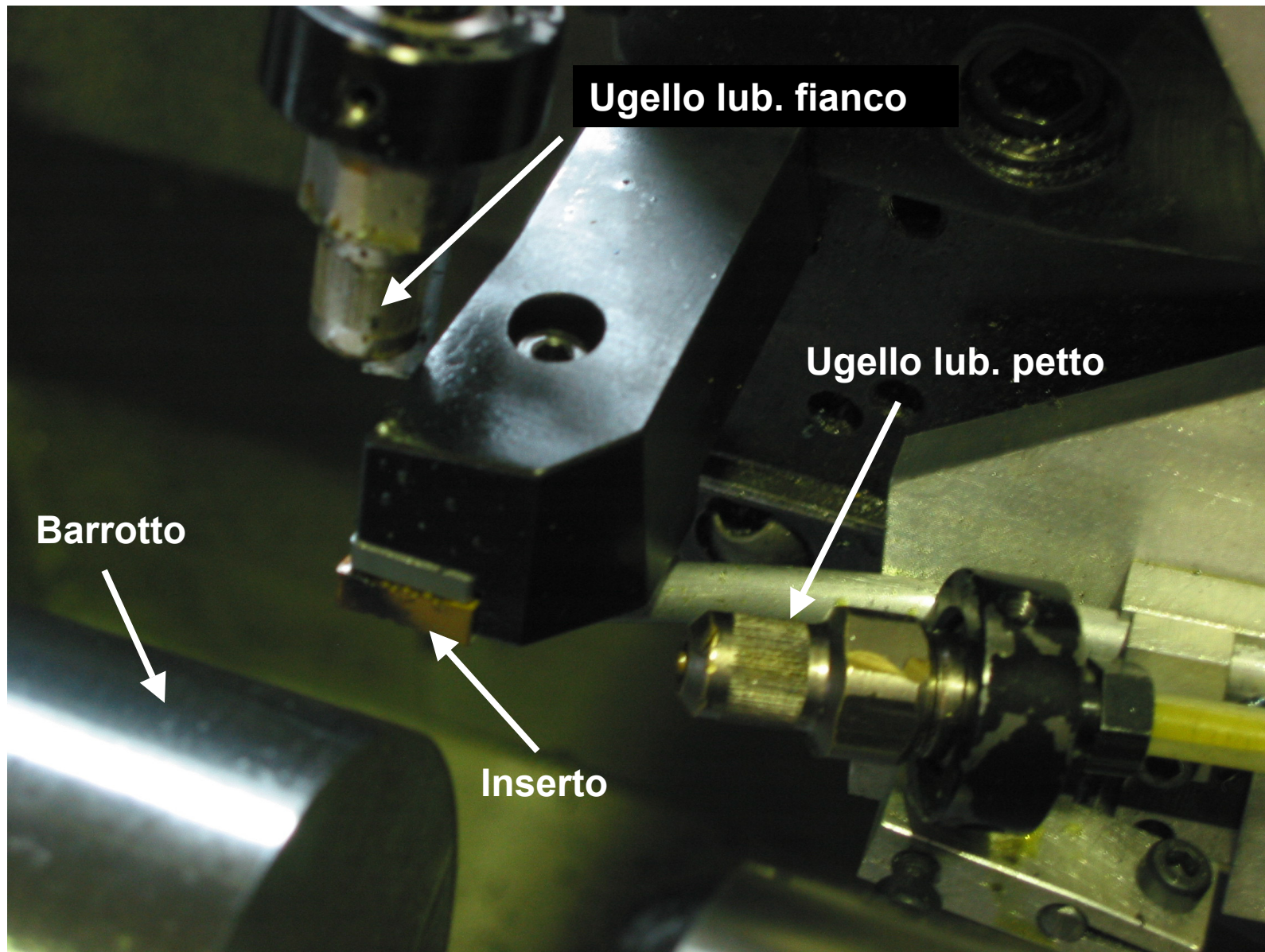
### **SVANTAGGI:**

- Funzione refrigerante ridotta.
- Mancato allontanamento del truciolo dalla zona di taglio.
- Possibile generazione di nebbie e fumi.



Esistono applicazioni in cui la tecnica convenzionale non può essere sostituita.





Disposizione ugelli di erogazione

## Attività di ricerca :

### 1) STUDIO TEORICO

Meccanica formazione del truciolo

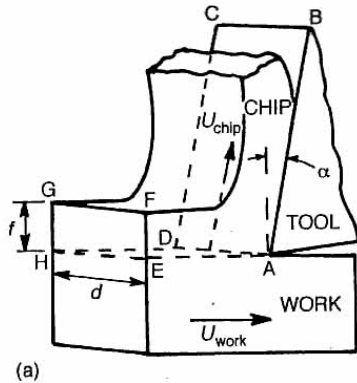
- Attrito.
- Usura.
- Lubrificazione.
- Problema termico.

### 2) ATTIVITA' SPERIMENTALE

Prove usura utensile per valutare l'effetto sulla vita utensile di:

- Tipo di passata ed avanzamento (MQL-Dry).
  - Direzione applicazione lubrificante e portata (MQL-Dry).
  - Temperatura getto di lubrificante (MQL-Dry-Flooding).
- Valutazione usura utensile per mezzo della *tecnica di attivazione neutronica*.

# Meccanica della formazione del truciolo

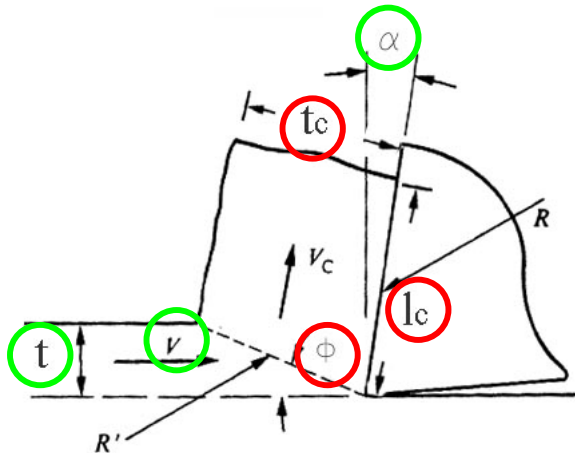


## Modello di taglio ortogonale:

- $v$  e  $v_c$  complanari.
- Tagliante principale è una linea retta perpendicolare alla direzione di avanzamento.

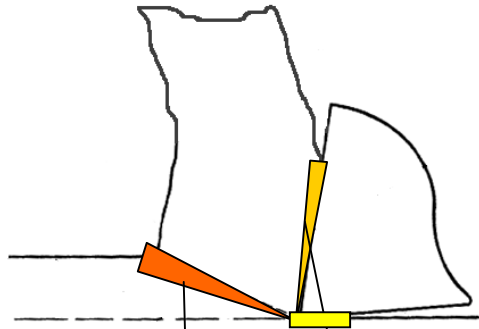
## Parametri del modello:

- $\alpha$  : angolo inclinazione petto.
- $\phi$  : angolo del piano di scorrimento primario.
- $l_c$  : lunghezza di contatto truciolo.



- ➔ Per limitare le forze di taglio bisogna contenere:  **$t_c$**  (aumentando l'angolo  $\phi$ ) ed  **$l_c$** .
- ➔ Agire su:  **$v$ ,  $t$ ,  $\alpha$ , materiale, lubrificazione.**

## Zone di scorrimento plastico e generazione del calore:

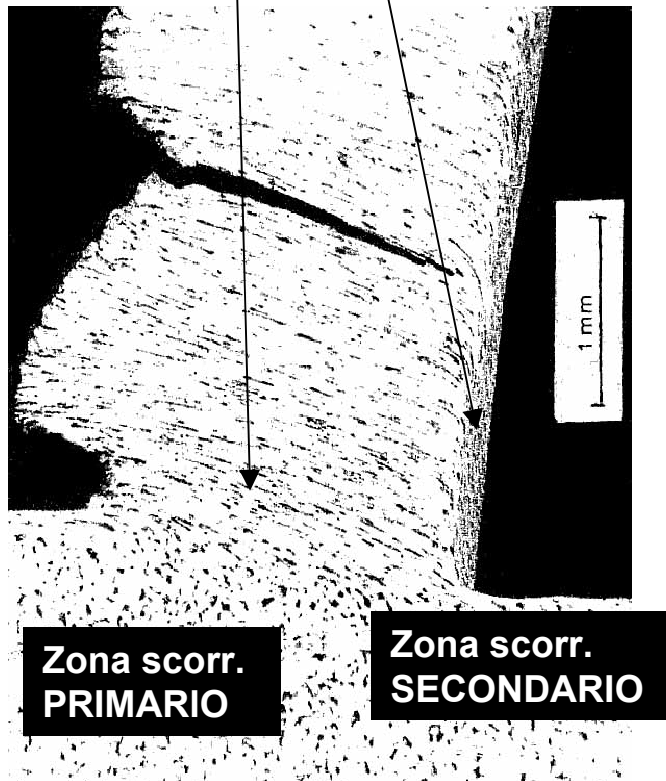


### Zona scorrimento primario:

- Scorrimento plastico del materiale.
- Generazione calore.

### Zona scorrimento secondario:

- Strato molto sottile.
- Elevatissimi scorrimenti plastici.
- Forte generazione di calore.
- Elevate pressioni sull'utensile.



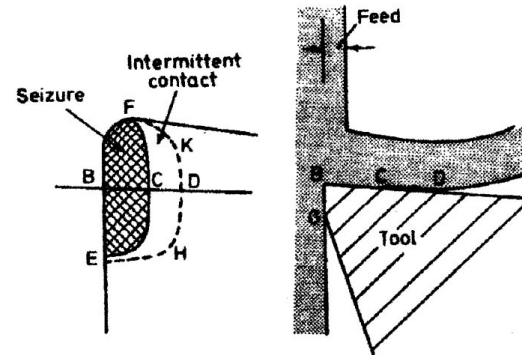
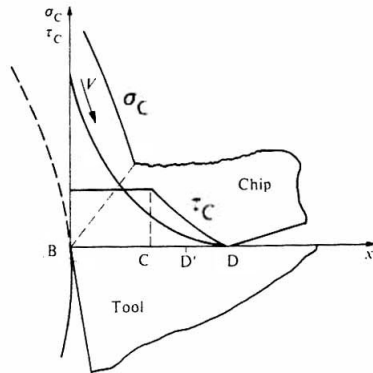
### Zona scorrimento sul fianco dell'utensile:

- Cresce con il crescere dell'usura sul fianco.
- Ulteriore fonte di generazione di calore.

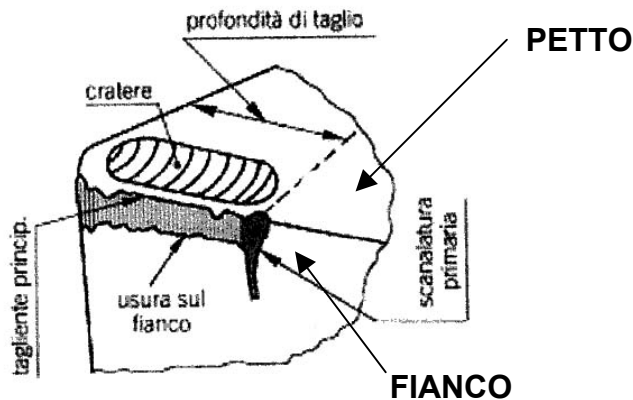


## Considerazioni:

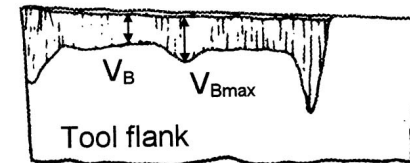
**1** Le pressioni elevate sono tali da generare saldatura tra utensile e pezzo.



**2** Meccanismi di usura.

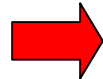
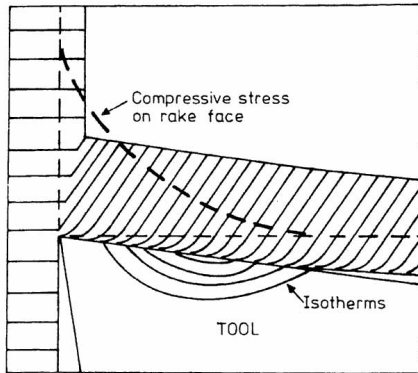


- **Adesione e diffusione**  
(per cratere, favorito dalle alte T)
- **Abrasione**  
(per fianco)



3

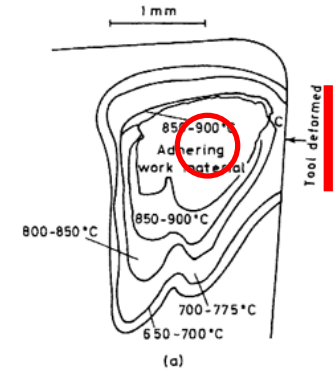
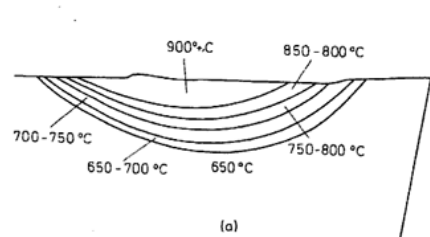
### Distribuzione della temperatura.



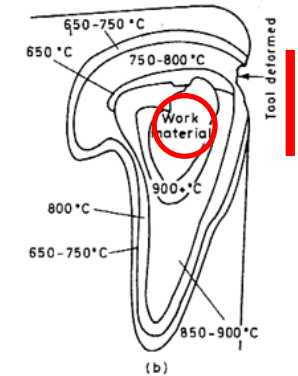
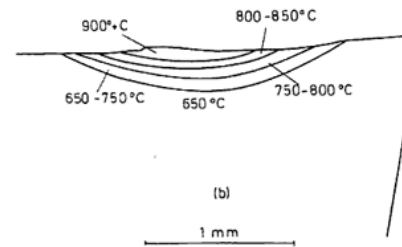
### Azione del lubrificante:

- Creare film tra utensile e pezzo (zona a contatto intermittente).
- Il lubrificante può agire sulla riduzione dell'area di saldatura.
- Azione meccanica sul truciolo.
- Distribuzione T sull'utensile.

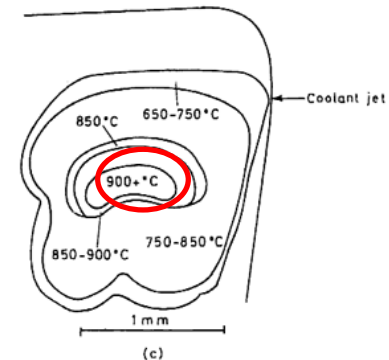
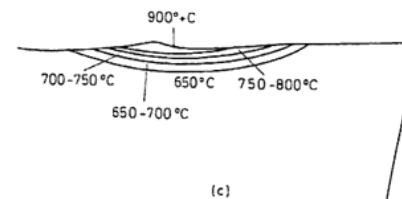
DRY



Tradizionale PETTO



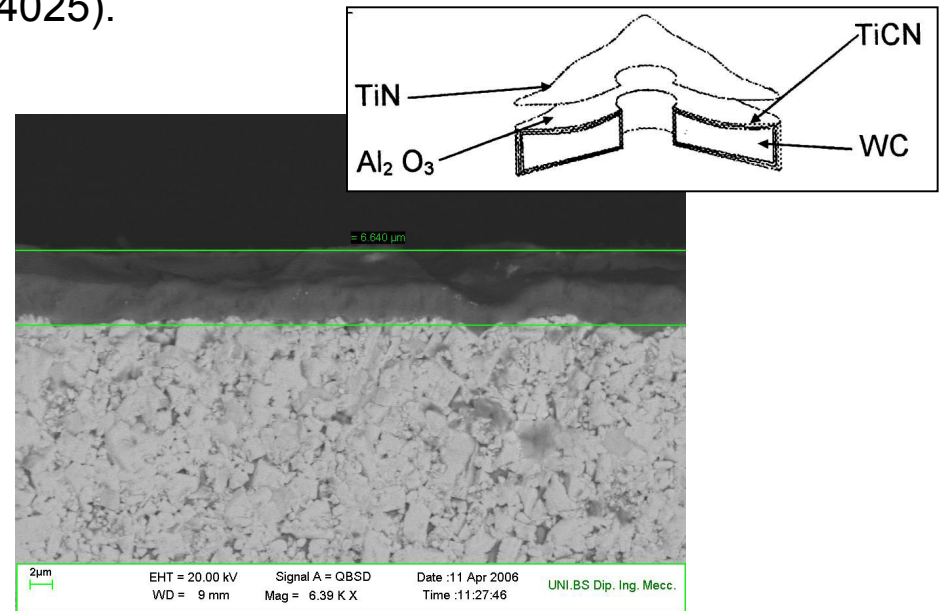
Tradizionale FIANCO



# ATTIVITA' SPERIMENTALE - Prove durata utensile:

## Il protocollo sperimentale

- ➔ Le prove sono state pianificate ed analizzate per mezzo di procedure statistiche (DOE ed ANOVA):
- Tornio a controllo numerico.
  - Un dispositivo per erogazione minimale Tecnosystems Lubrostar.
  - Olio agli esteri commerciale (Quaker EP 46).
  - Inserti commerciali in metallo duro rivestiti della Sandvik (Coromant CNMG 12 04 04 PM qualità 4025).



# 1 Studio sull' influenza della DIREZIONE di lubrificazione e TIPO di PASSATA

Tipo di esperimento: fattoriale  $2^3$

Fattori	Livelli	
Avanzamento	0.2 mm/rev	0.26 mm/rev
Lubrificazione	DRY	MQL
Tipo di passata	Continuous	Interrupted

Modalità esecuzione prove:

Doppio esperimento condotto separatamente per la lubrificazione del PETTO e del FIANCO. Effettuate 4 ripetizioni per ogni combinazione possibile per un totale di 32 misure per ciascun esperimento.

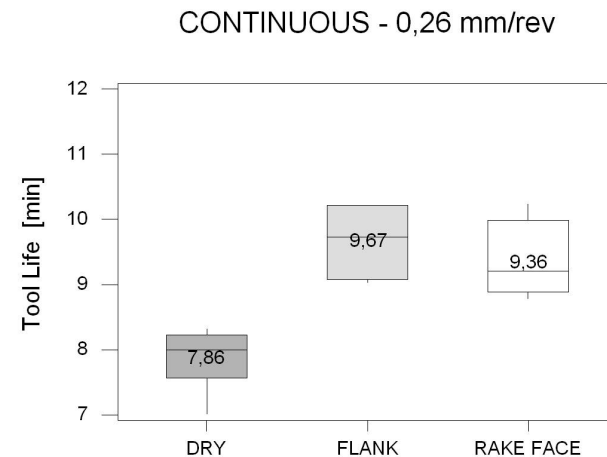
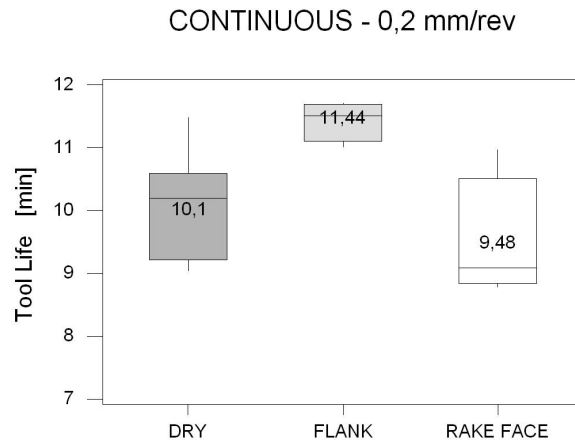
Parametri fissi della prova:

- Materiale: Acciaio per cuscinetti 100Cr6
- Lubrificante: olio agli esteri Coupex EP46
- Velocità di taglio 300 m/min
- Avanzamento: 0,26 mm/giro
- Profondità di passata: 1 mm
- Portata lubrificante: 30 ml/h

## Studio sull' influenza della DIREZIONE di lubrificazione e TIPO di PASSATA

**Risultati** : Le analisi della varianza effettuate sulle misure rilevate evidenziano che:

- 1) Per il tipo di lubrificazione PETTO la lubrificazione minimale porta a risultati migliori rispetto al taglio a secco solo per le lavorazioni più gravose (avanzamento 0.26 mm/giro; passata continua).
- 2) Per il tipo di lubrificazione FIANCO la lubrificazione minimale porta a risultati migliori rispetto al taglio a secco in tutti i casi. Più marcata è la differenza per le lavorazioni più gravose.



## **2** Studio sull' influenza della PORTATA di lubrificante e DIREZIONE applicazione del getto

Tipo di esperimento: fattoriale

Fattori	Livelli			
Direzione getto	DRY	RAKE	FLANK	RAKE + FLANK
Portata fluido	BASSA (27.6 ml/h)		ALTA (47 ml/h)	

Modalità esecuzione prove:

Effettuate 4 ripetizioni per ogni combinazione possibile per un totale di 28 misure.

Parametri fissi della prova:

- Materiale: Acciaio per cuscinetti 100Cr6
- Lubrificante: olio agli esteri Coupex EP46
- Velocità di taglio 300 m/min
- Avanzamento: 0,26 mm/giro
- Profondità di passata: 1 mm
- Portata lubrificante: 30 ml/h petto – 30 ml/h fianco

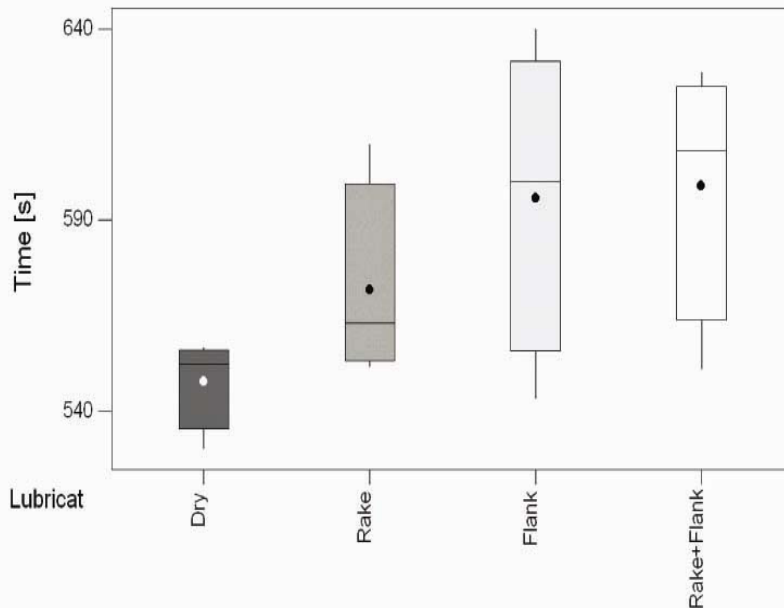
## Risultati:

Le analisi della varianza effettuate sulle misure rilevate evidenziano che:

- 1) Per il tipo di lubrificazione rake + flank la portata di lubrificante ha influenza sulla vita utensile.
- 2) La portata di lubrificante non ha influenza sulla vita utensile per la direzione rake e flank.
- 3) La vita utensile ha subito un incremento superiore al 20% rispetto al taglio a secco.

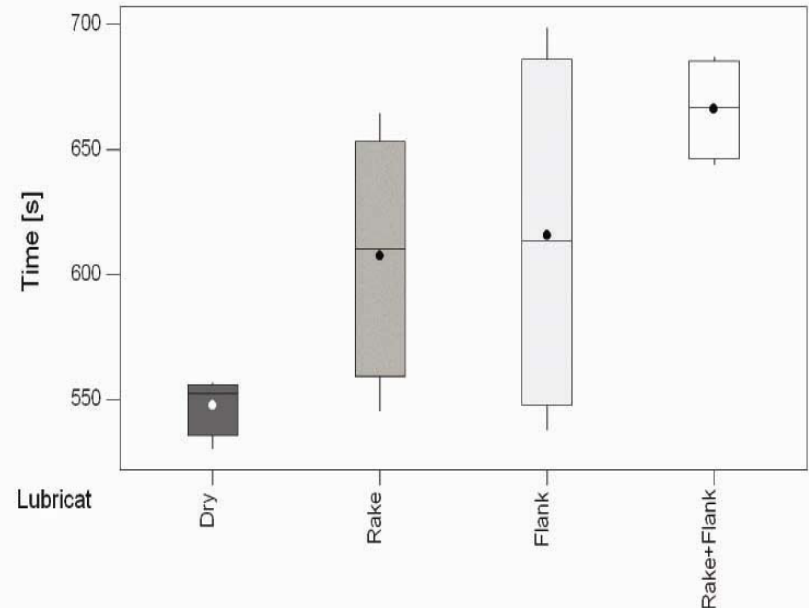
Flow = LOW

(means are indicated by solid circles)



Flow = HIGH

(means are indicated by solid circles)



**3**

## Studio sull' influenza della TEMPERATURA del flusso d'aria nella lavorazione di tornitura con tecnica minimale

Tipo di esperimento: fattoriale

Variabili	Livelli					
Tipo di lubrificazione	MQL				Secco	Convenzionale
Temp. flusso d'aria [°C]	-20°C	0°C	+20°C	-	-	-

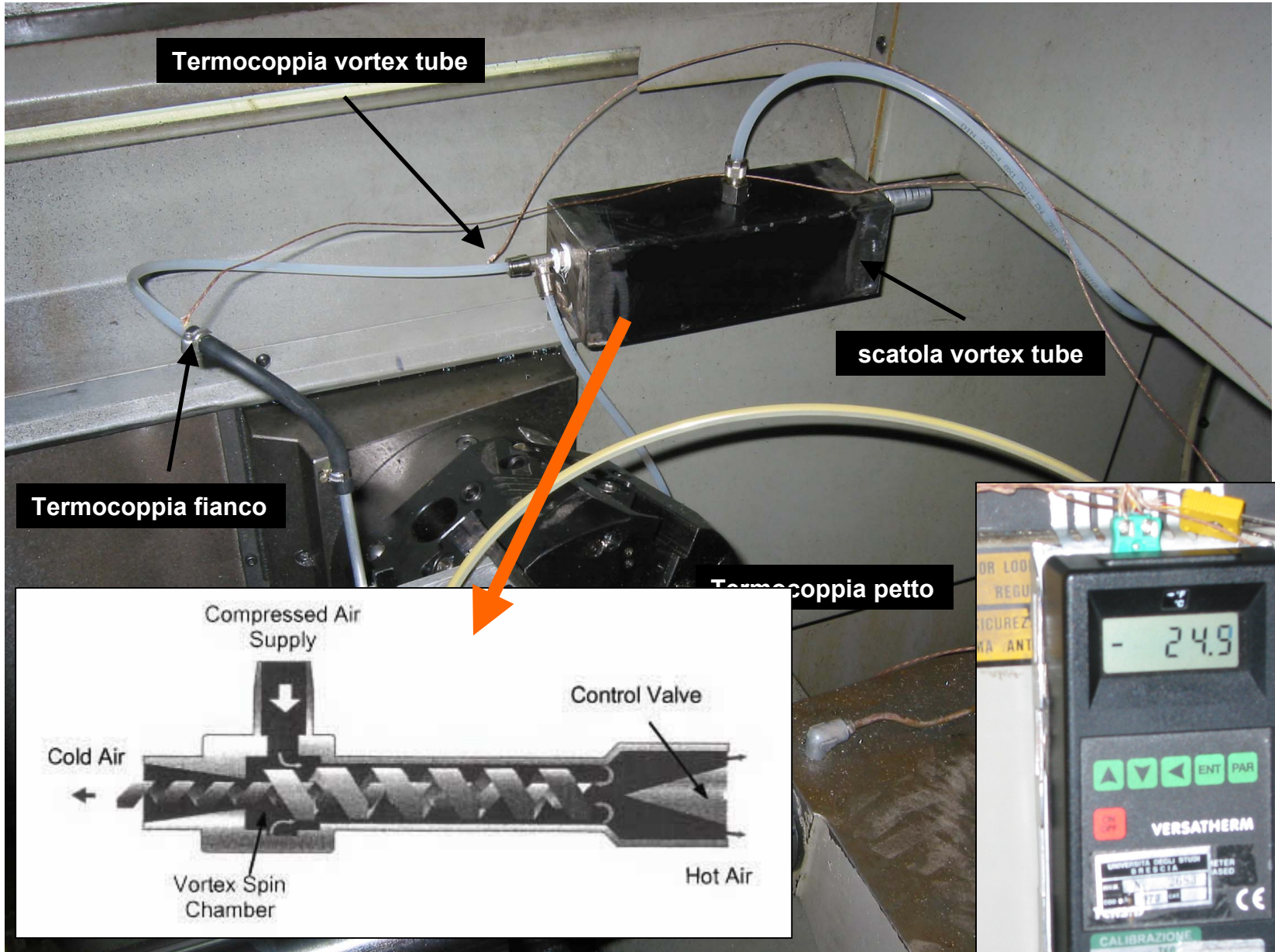
Modalità esecuzione prove:

Effettuate 5 ripetizioni per ogni combinazione possibile per un totale di 30 misure.

Parametri fissi della prova:

- Materiale: Acciaio per cuscinetti 100Cr6
- Lubrificante: olio agli esteri Coupex EP46
- Velocità di taglio 300 m/min
- Avanzamento: 0,26 mm/giro
- Profondità di passata: 1 mm
- Portata lubrificante: 30 ml/h petto – 30 ml/h fianco



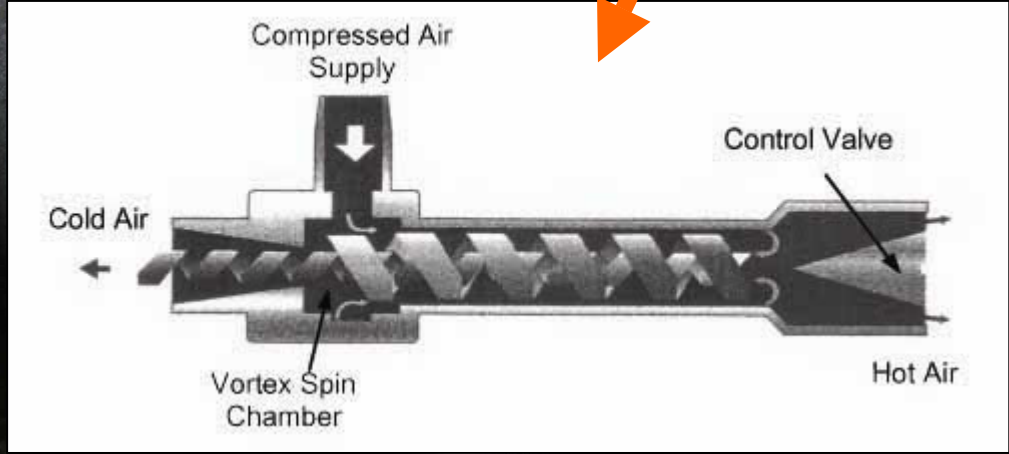


Termocoppia fianco

Termocoppia vortex tube

scatola vortex tube

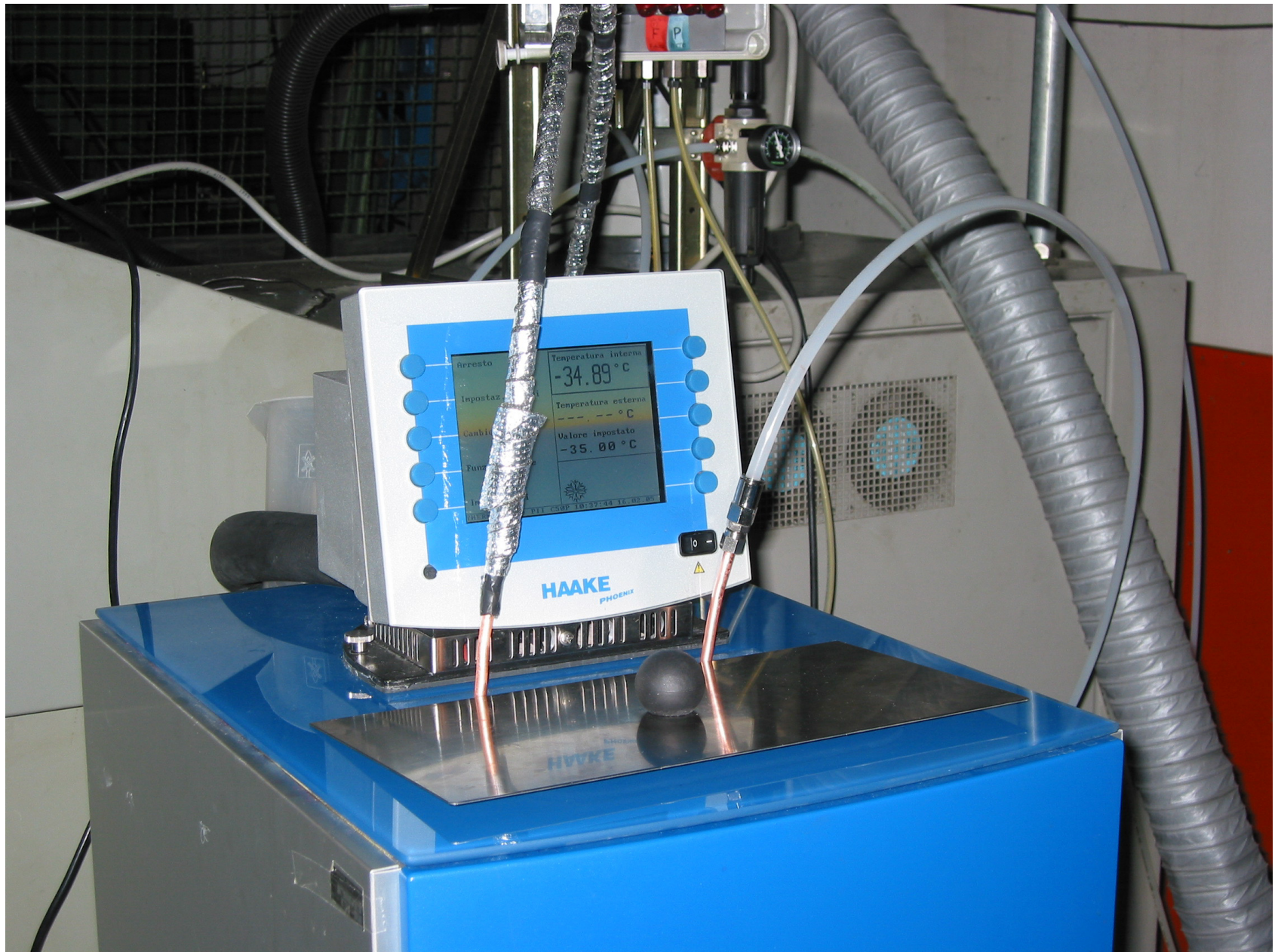
Termocoppia petto



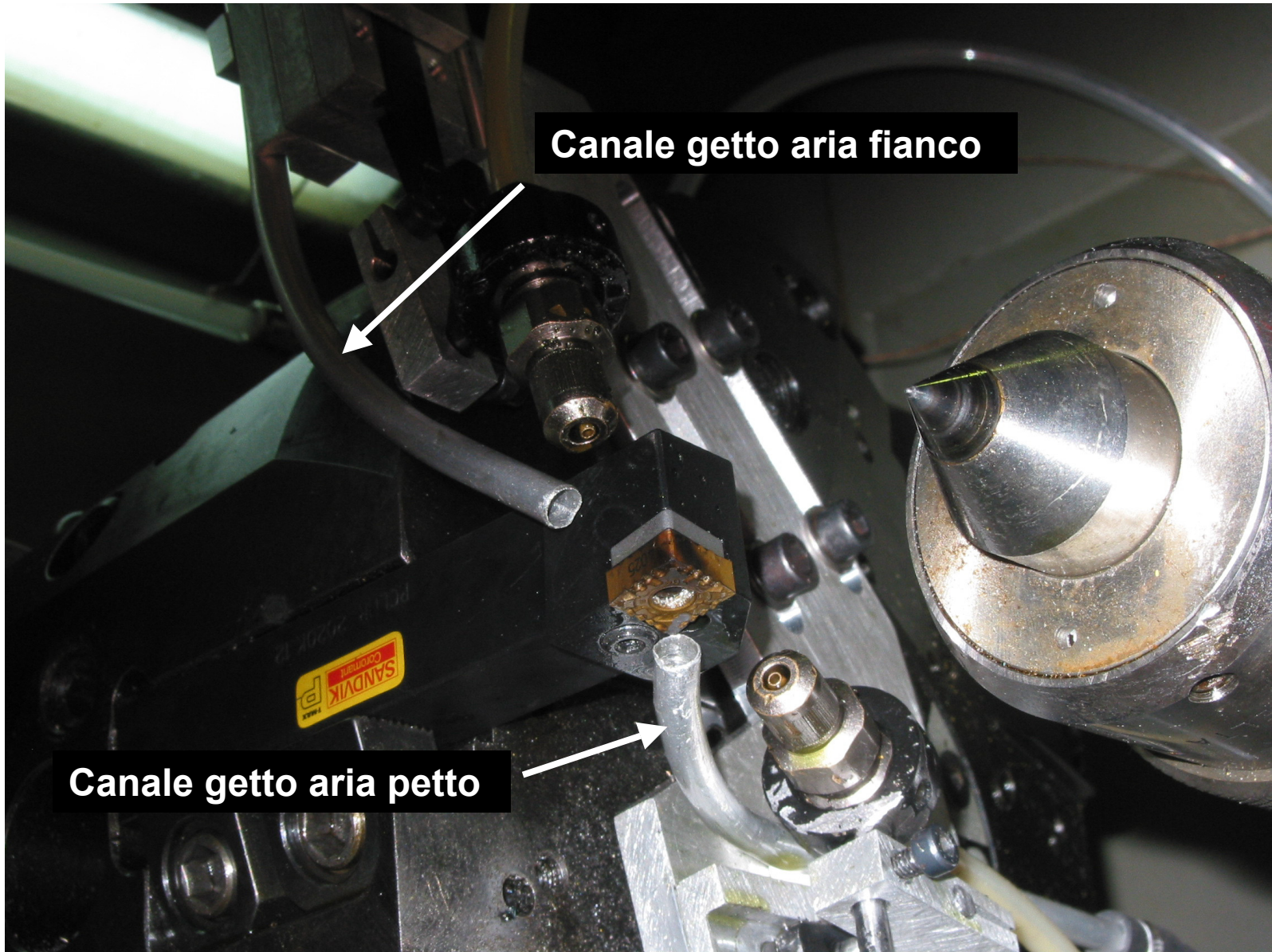
Sistema di prova



Sistema di prova



Dispositivo di refrigerazione

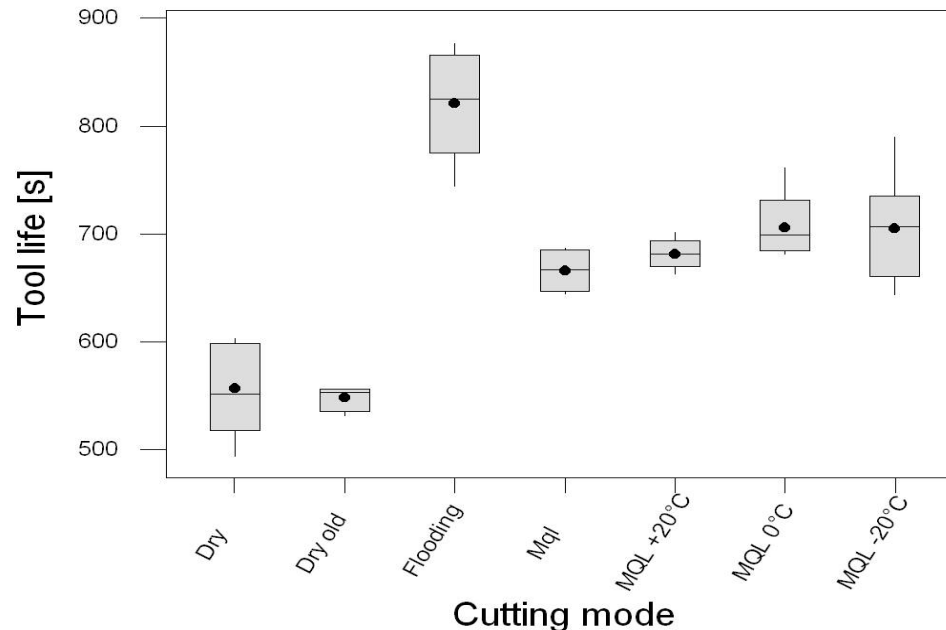


Disposizione condotti di erogazione dell' aria

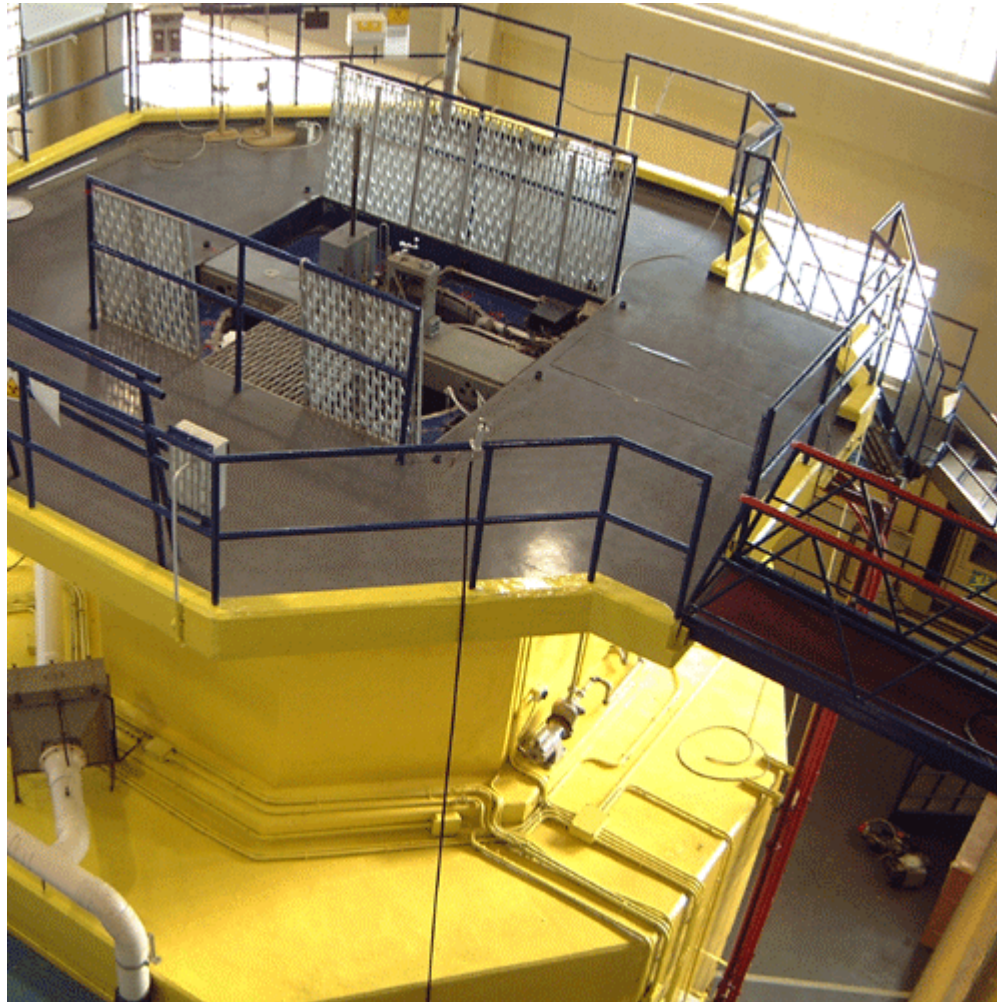
## Risultati:

Le analisi della varianza effettuate sulle misure rilevate evidenziano che:

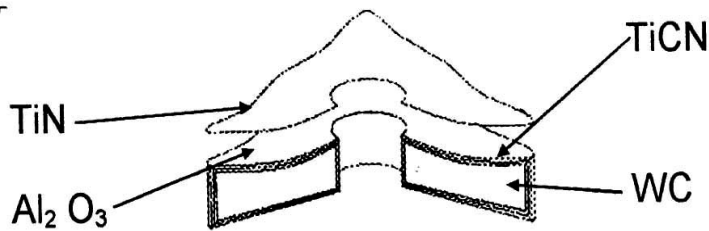
- 1) L'utilizzo della tecnica minimale ha un effetto migliorativo rispetto al taglio a secco sulla vita degli inserti.
- 2) L'utilizzo della tecnica di lubrorefrigerazione convenzionale porta a vita inserti superiore rispetto alla tecnica minimale.
- 3) La temperatura del getto con tecnica MQL ha scarso effetto sulla durata degli inserti.



# Quantificazione di elementi traccia sul truciolo per mezzo della tecnica di attivazione neutronica



Reattore  
nucleare  
L.E.N.A.  
Pavia



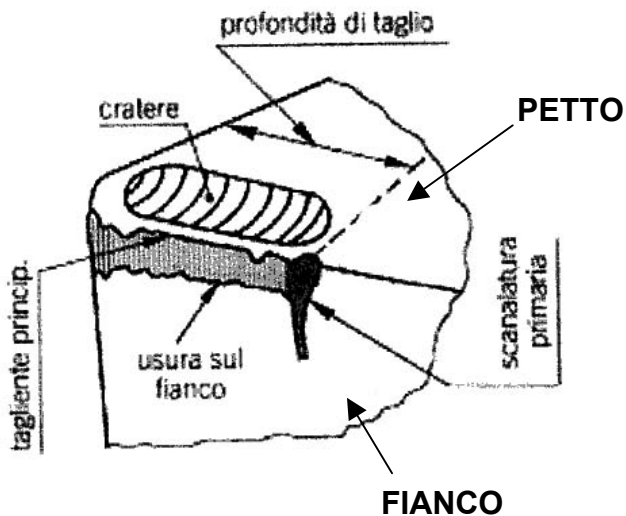
**Metodo per cercare di investigare cosa avviene effettivamente all'interfaccia utensile pezzo**



L'inserto usurandosi cede materiale



Parte del materiale dell'inserto si fissa al truciolo.



Un confronto quantitativo degli elementi dell'inserto presenti sui trucioli ricavati con diverse condizioni di taglio dà informazione circa l'usura nell'una e nell'altra condizione.

## **La metodologia di analisi:**

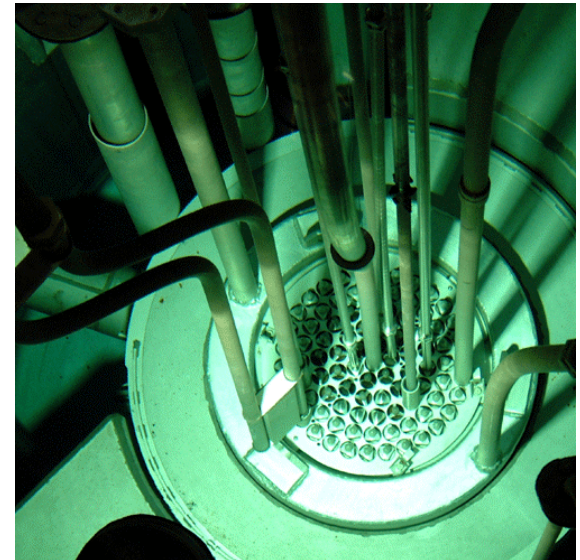
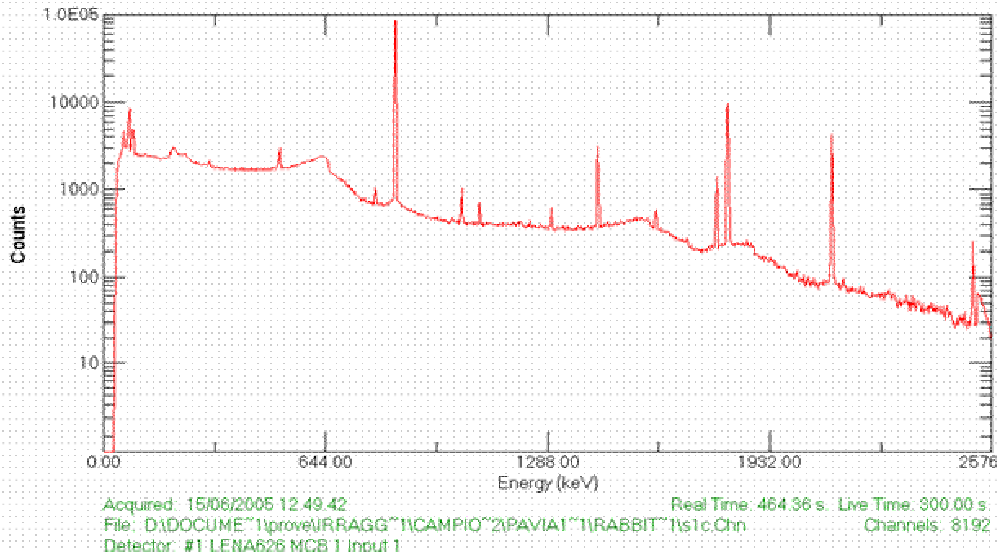
Un flusso di neutroni investe i corpi sotto analisi rendendo instabili gli atomi colpiti dal flusso.



Gli atomi eccitati tendono a riportarsi nella condizione di stabilità emettendo energia sotto forma di radiazione ciascuno ad una specifica lunghezza d'onda.



Dalla lettura degli spettri di emissione, opportunamente comparati con quelli derivanti da campioni di riferimento, si risale con precisione alla quantità degli elementi presenti.

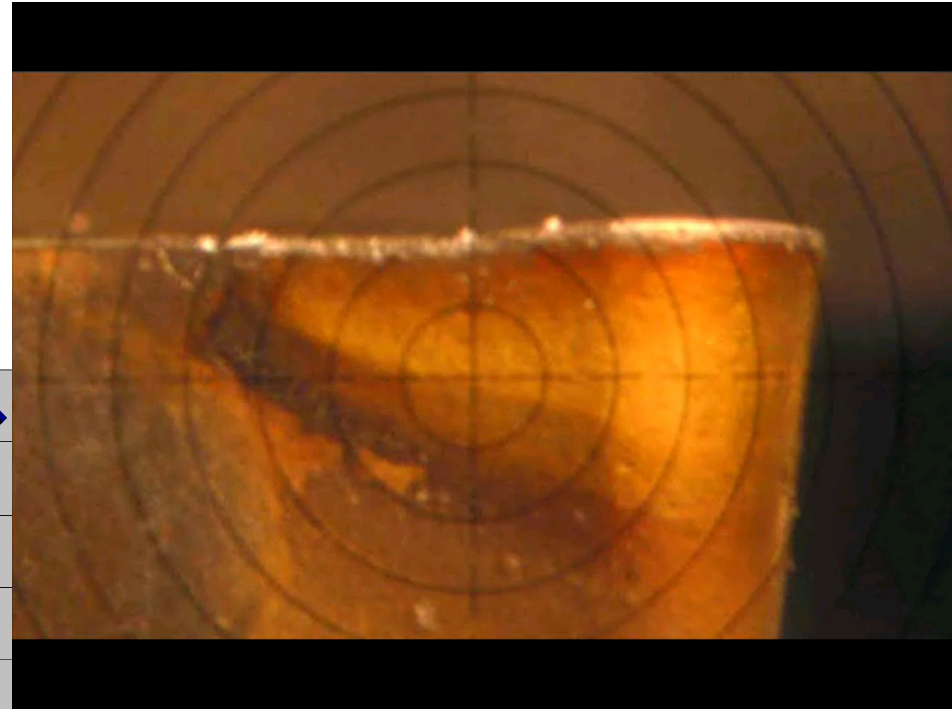
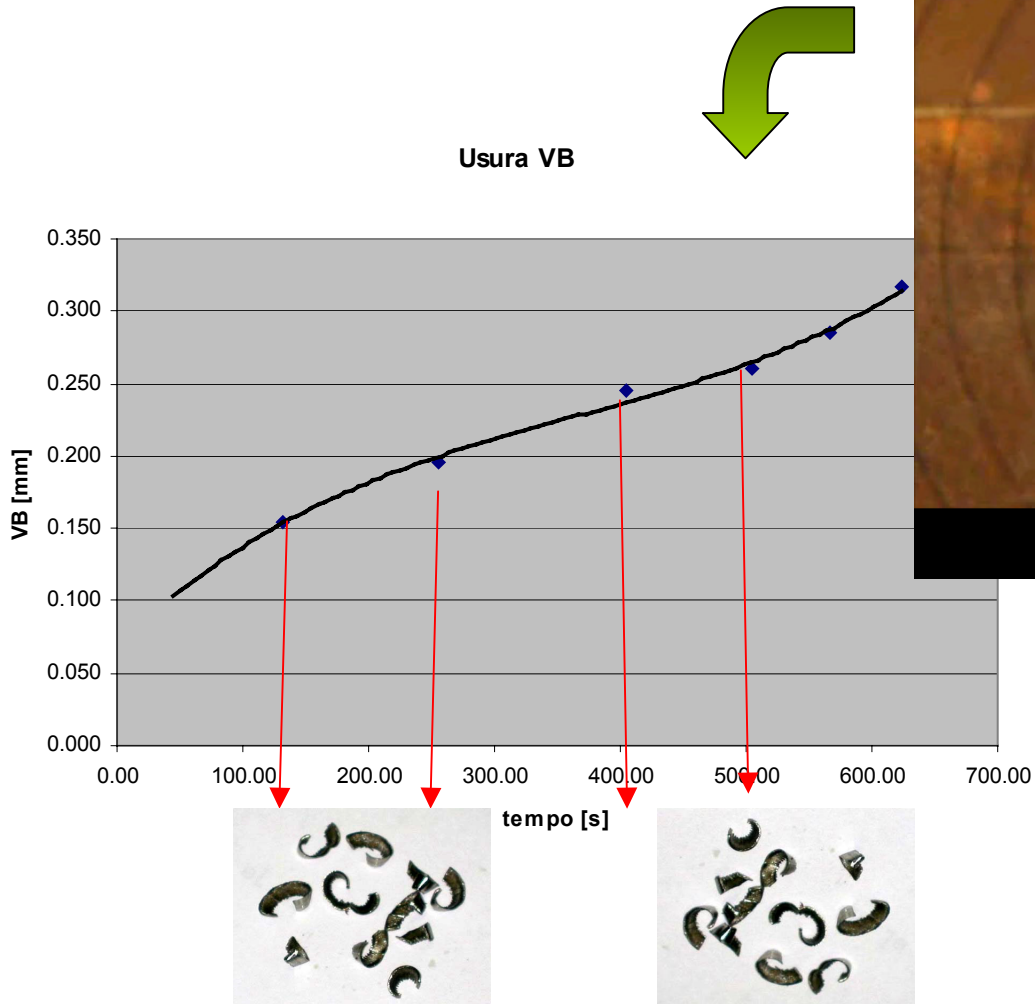


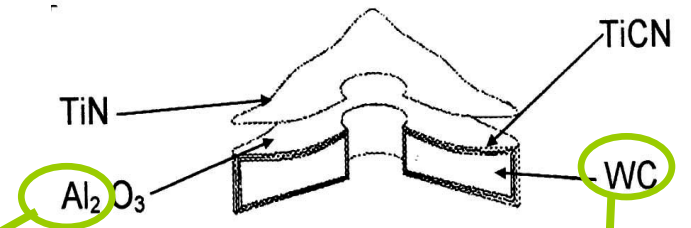
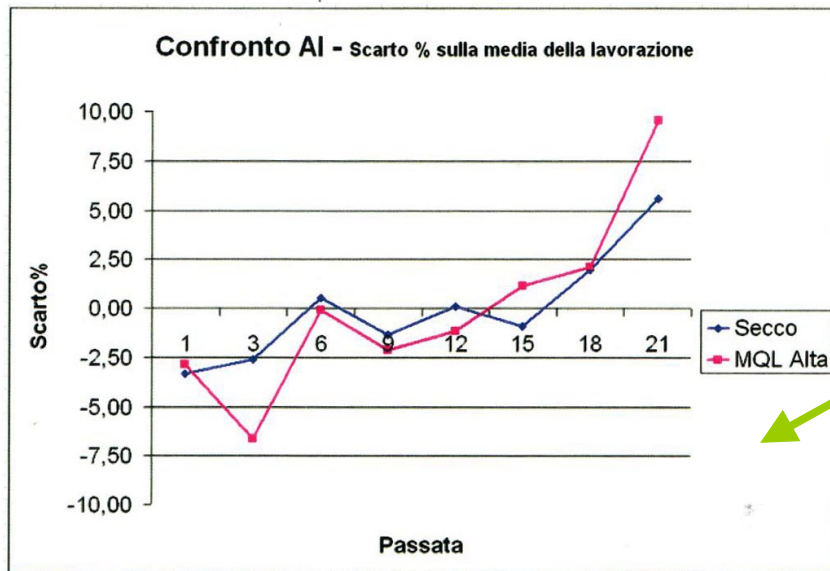


## L' esperimento:

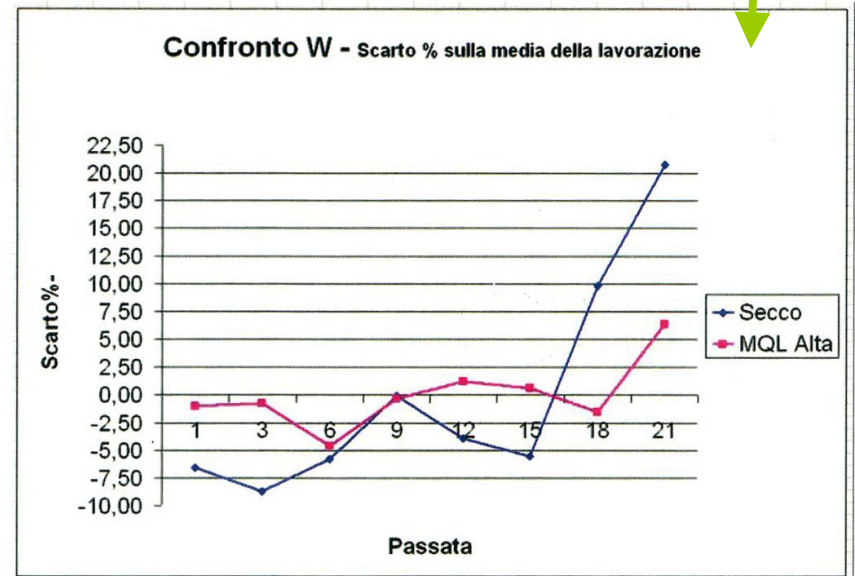
Campionamento truciolo a diversi stadi della vita inserto.

- Taglio a secco
- Tecnica minimale





Dati riguardanti la tracce di Al e W nel truciolo nel confronto Secco-MQL portata elevata.



## **Obiettivi esperimento:**

- Verifica dell'applicabilità della tecnica di attivazione neutronica allo studio dei fenomeni di usura.
- Indagine sul comportamento dell'usura nella condizione di taglio a secco e di lubrificazione minimale.

## **Risultati:**

- Efficacia della tecnica, riuscendo essa a rilevare elementi presenti solo in tracce.
- Non si sono ottenuti dati facilmente interpretabili per spiegare particolari differenze sul comportamento di usura nel caso in esame.
- Emerse considerazioni utili per un miglioramento dell'applicazione della tecnica circa il campione da analizzare, modalità di campionamento, materiali dei componenti.