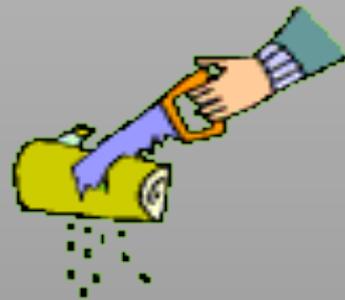


# LAVORAZIONI PER SEPARAZIONE



## ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO - 5 OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE



# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## *INTRODUZIONE*

### L'ottimizzazione secondo ISO

E' definita come un *procedimento il cui scopo consiste nel far assumere, ad una o più variabili, nella maniera migliore possibile, il valore più adatto all'operazione in corso, in funzione di altre variabili, che possono essere predeterminate o rilevate durante l'operazione.*

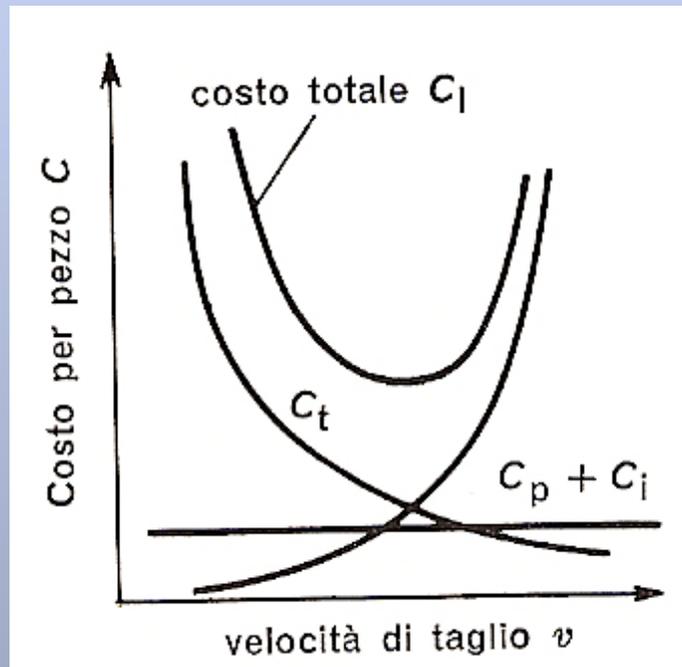
Per quanto riguarda le operazioni ad asportazione di truciolo, il problema è limitato a definire un valore di velocità di taglio ed uno della velocità di avanzamento secondo il criterio di ottimizzazione che realizzi una delle seguenti condizioni :

- minimo costo*
- massima produzione (minimo tempo di produzione)*
- massimo profitto*

Le variabili dipendenti dell'operazione (costo, tempo, profitto) devono essere inserite in un algoritmo che le esprima in funzione dei parametri significativi delle condizioni di asportazione (velocità di taglio, avanzamento, ....)

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## OTTIMIZZAZIONE DEL COSTO



Indicati con

$C_l$	Costo di lavorazione [€/pezzo]
$C_p$	Costo preparazione macchina [€/pezzo]
$C_i$	Costo improduttivo (carico/scarico pezzi, registrazione, ... ) [€/pezzo]
$C_t$	Costo di taglio [€/pezzo]
$C_u$	Costo utensile comprensivo del cambio utensile [€/pezzo]

il costo di lavorazione si può esprimere come

$$C_l = C_p + C_i + C_t + C_u$$

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## ***OTTIMIZZAZIONE DEL COSTO***

Siano inoltre

Cog	Costo operatore (comprese spese generali macchina) [€/min]
Cta	Costo di un tagliente [€]
Tp	Tempo preparazione macchina [min/pezzo]
Ti	Tempo improduttivo [min/pezzo]
Tt	Tempo di taglio [min/pezzo]
T	Durata del tagliente (min)
Tcu	Tempo cambio utensile [min/pezzo]
l	Lunghezza assiale lavorata [mm]
d	Diametro iniziale della barra o della fresa [mm]
a	Avanzamento [mm/giro]
n	Numero di giri [giri/min]
Vt	Velocità di taglio [m/min]

Valgono le seguenti relazioni :

$$C_p = C_{og} T_p$$

$$C_i = C_{og} T_i$$

$$C_t = C_{og} T_t$$

$$C_u = \left( C_{og} T_{cu} \frac{T_t}{T} \right) + \left( C_{ta} \frac{T_t}{T} \right)$$

$$T_t = \frac{l}{na} = \frac{\pi dl}{1000aV_t}$$

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## ***OTTIMIZZAZIONE DEL COSTO***

Il volume di materiale asportato per ogni pezzo vale :

$$V = \frac{\pi}{4} \left[ d^2 - (d - 2p)^2 \right] l \approx \pi l p d$$

Il costo di lavorazione riferito al volume diviene :

$$C_{lv} = \frac{C_l}{V} = \frac{C_{og} T_p}{\pi l p d} + \frac{C_{og} T_i}{\pi l p d} + \frac{C_{og}}{1000 a p V_t} + \frac{C_{og} T_{cu} + C_{ta}}{1000 a p V_t T}$$

Le variabili indipendenti che compaiono nella relazione sono  $a$ ,  $V_t$ ,  $p$ ,  $T$ .

Generalmente  $a$  e  $p$  sono dati di lavorazione e possono essere ritenuti costanti; si può quindi considerare la relazione dipendente solo da  $V_t$  e  $T$ . Posti allora

$$A_1 = \frac{C_{og} T_p}{\pi l p d}$$

$$A_2 = \frac{C_{og} T_i}{\pi l p d}$$

$$A_3 = \frac{C_{og}}{1000 a p}$$

$$A_4 = \frac{C_{og} T_{cu} + C_{ta}}{1000 a p}$$

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## ***OTTIMIZZAZIONE DEL COSTO***

La relazione può scriversi nella forma :

$$C_{lv} = A_1 + A_2 + \frac{A_3}{V_t} + \frac{A_4}{V_t T}$$

Considerata la durata dell'utensile legata solo alla velocità di taglio, si può utilizzare l'equazione di Taylor :

$$T = \left( \frac{K}{V_t} \right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

Sostituito il valore di T nella precedente espressione, si ottiene :

$$C_{lv} = A_1 + A_2 + \frac{A_3}{V_t} + \frac{A_4}{K^{1/\alpha}} V_t^{\left(\frac{1}{\alpha}-1\right)}$$

Dalla relazione risulta che :

- il tempo preparazione macchina (A1) è indipendente da  $V_t$
- il tempo improduttivo (A2) è indipendente da  $V_t$
- il costo di taglio (A3 ) dipende da  $V_t$  e diminuisce all'aumentare di  $V_t$
- il costo dell'utensile (A4) dipende da  $V_t$  ed aumenta all'aumentare di  $V_t$

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## ***OTTIMIZZAZIONE DEL COSTO***

Il valore della velocità di taglio che rende minimo il costo di lavorazione si ottiene annullando la derivata prima di  $C_{lv}$  rispetto a  $V_t$  :

$$\frac{dC_{lv}}{dV_t} = 0$$

Si ottiene quindi :

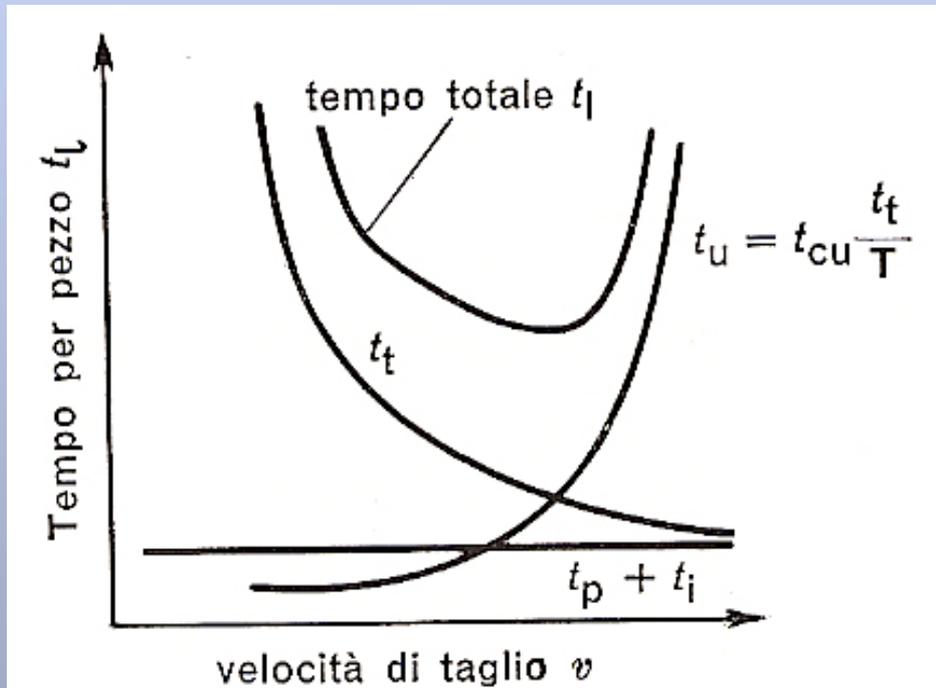
$$V_{tC \min} = K \left[ \left( \frac{\alpha}{\alpha - 1} \right) \left( \frac{A_3}{A_4} \right) \right]^\alpha$$

$$T_{C \min} = \left( \frac{1}{\alpha} - 1 \right) \left( \frac{A_4}{A_3} \right) = \left( \frac{1}{\alpha} - 1 \right) \left( T_{cu} + \frac{C_{ta}}{C_{og}} \right)$$

che rappresentano rispettivamente la velocità di taglio economica (velocità di taglio di minimo costo) e la durata economica del tagliente (durata del tagliente di minimo costo)

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## OTTIMIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE



L'ottimizzazione della produzione corrisponde al minimo tempo di produzione. Il tempo di lavorazione del pezzo si può esprimere come

$$T_l = T_p + T_i + T_t + T_u$$

con

$$T_t = \frac{l}{na} = \frac{\pi dl}{1000aV_t}$$

$$T_u = T_{cu} \frac{T_t}{T} = \frac{\pi dl}{1000aV_t T}$$

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## *OTTIMIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE*

Il tempo di lavorazione riferito al volume di materiale asportato vale

$$T_{lv} = \frac{T_l}{V} = \frac{T_p}{\pi l p d} + \frac{T_i}{\pi l p d} + \frac{1}{1000 a p V_t} + \frac{T_{cu}}{1000 a p V_t T}$$

Come nel caso del costo,  $a$  e  $p$  sono costanti e la relazione può esprimersi in funzione di  $Vt$  e  $T$ . Posto

$$B_1 = \frac{T_p}{\pi l p d}$$

$$B_2 = \frac{T_i}{\pi l p d}$$

$$B_3 = \frac{1}{1000 a p}$$

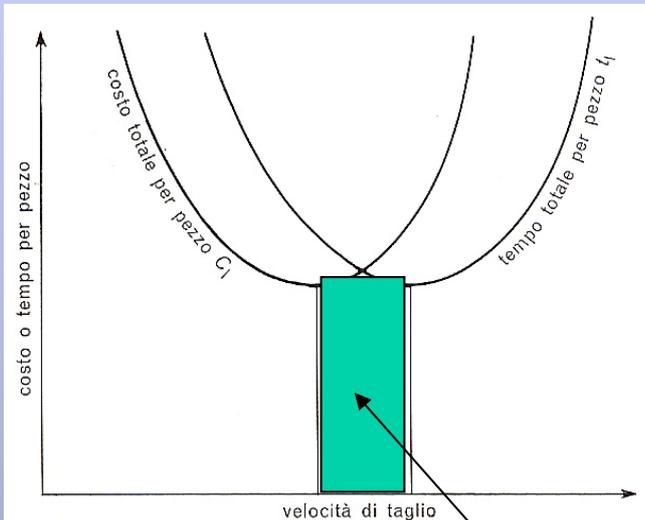
$$B_4 = \frac{T_{cu}}{1000 a p}$$

si ottiene

$$T_{lv} = B_1 + B_2 + \frac{B_3}{V_t} + \frac{B_4}{V_t T}$$

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## OTTIMIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE



Procedendo come nel caso del minimo costo, si ottiene

$$V_{tP \max} = K \left[ \left( \frac{\alpha}{\alpha - 1} \right) \left( \frac{B_3}{B_4} \right) \right]^\alpha$$

$$T_{P \max} = \left( \frac{1 - \alpha}{\alpha} \right) \left( \frac{B_4}{B_3} \right)$$

ricordando che

$$\frac{B_4}{B_3} = T_{cu}$$

$$\frac{A_4}{A_3} = T_{cu} + \frac{C_{ta}}{C_{og}}$$

Si ricava che

$$T_{C \min} > T_{P \max}$$

La condizione di minimo costo impone una durata maggiore del tagliente rispetto alla condizione di massima produzione e, quindi, una velocità di taglio minore.

I valori di velocità di taglio di massima produzione e minimo costo, individuano una zona di lavoro denominata della **massima efficienza**.

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## ***OTTIMIZZAZIONE DEL PROFITTO***

Il profitto in €/min può essere espresso dalla seguente relazione :

$$P_r = \frac{R_v - C_{lv}}{T_{lv}}$$

Dove i termini hanno il seguente significato :

$R_v$	ricavo [€/mm <sup>3</sup> ]
$C_{lv} = A_1 + A_2 + \frac{A_3}{V_t} + \frac{A_4}{V_t T}$	Costo di lavorazione [€/pezzo]
$T_{lv} = B_1 + B_2 + \frac{B_3}{V_t} + \frac{B_4}{V_t T}$	Tempo di lavorazione [min/mm <sup>3</sup> ]

La velocità di massimo profitto è determinata annullando la derivata prima di  $P_r$  rispetto a  $V_t$  :

$$\frac{dP_r}{dV_t} = 0$$

Si dimostra che la velocità di massimo profitto (a ricavo costante) è compresa fra la velocità di minimo costo e quella di massima produzione

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## *VALUTAZIONE DEI COSTI E DEI TEMPI*

*Costi  $C_p$  legati al tempo di preparazione macchina  $T_p$  :*

$C_{AMM}$	costo di ammortamento macchina e attrezzature [€/min]
$C_o$	costo operatore [€/min]
$C_{SM}$	costo superficie occupata dalla macchina [€/min]
$C_{MAN}$	costo di manutenzione [€/min]
$C_{FE}$	costi fissi di energia [€/min]

*Costi  $C_i$  legati al tempo improduttivo  $T_i$  :*

$C_{AMM}$	costo di ammortamento macchina e attrezzature [€/min]
$C_o$	costo operatore [€/min]
$C_{SM}$	costo superficie occupata dalla macchina [€/min]
$C_{MAN}$	costo di manutenzione [€/min]
$C_{FE}$	costi fissi di energia [€/min]

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## VALUTAZIONE DEI COSTI E DEI TEMPI

**Costi Ct legati al tempo di taglio Tt :**

C <sub>VE</sub>	costi dell'energia assorbita [€/min]
C <sub>FT</sub>	costo fluidi da taglio [€/min]
C <sub>TA</sub>	costo utensili comprensivi di cambio utensile [€/min]
C <sub>AMM</sub>	costo di ammortamento macchina e attrezzature [€/min]
C <sub>O</sub>	costo operatore [€/min]
C <sub>SM</sub>	costo superficie occupata dalla macchina [€/min]
C <sub>MAN</sub>	costo di manutenzione [€/min]
C <sub>FE</sub>	costi fissi di energia [€/min]

**Percentuale media di tempo improduttivo rispetto al tempo di taglio medio:**

$$T_{Tm} = (T_{C \min} + T_{P \max}) / 2$$

tornitura	20 %
fresatura	30 %
foratura	25 %
maschiatura	25 %
alesatura	25 %

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## *VALUTAZIONE DEI COSTI E DEI TEMPI*

*Informazioni necessarie alla determinazione dei costi :*

$C_{AM}$	costo di acquisto della macchina [€]
$P_{MU} = 0,6P_{MAX}$	potenza media utilizzata dalla macchina [KW]
$P_A$	periodo di ammortamento [anni]
$I_P$	interessi passivi [%]
$T_G$	tempo di utilizzazione giornaliero [h/giorno]
$S_A = 50$	settimane lavorative [settimane/anno]
$T_A = S_A \times (5 \times T_G)$	tempo di utilizzazione annuale [h/anno]
$I_{AM}$	incidenza annuale di ammortamento [€/anno]
$S_{FE}$	costi fissi di energia mensile [€/KW]
$S_{VE}$	costi variabili di energia [€/h]
$A_{AC}$	affitto annuale capannone [€/anno]
$S_C$	superficie capannone [mq]
$S_M$	superficie occupata dalla macchina [mq]
$S_{MAN}$	spese annuali di manutenzione [€/anno]
$C_{UT}$	costo utensile per tagliente [€]
$C_{AFF}$	costo di affilatura [€]
$C_{IT}$	costo inserto per tagliente [€]
$C_{SU}$	costo sostituzione utensile [€]
$C_{MG}$	costo del materiale grezzo [€]
$N$	numero di pezzi del lotto
$C_{GE}$	costi generali [€]

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## VALUTAZIONE DEI COSTI E DEI TEMPI

### Calcolo dei costi

spese di ammortamento [€/min]	$C_{AMM} = \frac{I_{AM}}{60T_A} = \frac{[C_{AM} I_P (1 + I_P)^{P_A}]}{60T_A [(1 + I_P)^{P_A} - 1]}$
costi fissi di energia [€/min]	$C_{FE} = \frac{12 \times S_{FE} \times P_{MU}}{60T_A}$
costi variabili di energia [€/min]	$C_{VE} = \frac{\%IVA \times S_{VE} \times P_{MU}}{60}$
spazio occupato dalla macchina [€/min]	$C_{SM} = \left[ A_{AC} \times \left( \frac{S_M}{S_C} \right) \right] / (60T_A)$
spese di manutenzione [€/min]	$C_{MAN} = S_{MAN} / (60T_A)$

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## VALUTAZIONE DEI COSTI E DEI TEMPI

### Calcolo dei costi

costo utensile per tagliente [€] (barrette HSS)	$C_{UTHSS} = \frac{\text{costo\_utensile}}{\text{numero\_affilature} = 400}$
costo utensile per tagliente [€] (inserti)	$C_{UTINS} = \frac{\text{costo\_porta\_inserti}}{\text{numero\_sostituzioni\_inserti} = 500}$
Costo di affilatura [€]	$C_{AFF} = C_{STAFF} \times T_{AFFTA} \times N_{TA}$ $C_{STAFF} = \text{costo\_stazione\_affilatura}$ $T_{AFFTA} = \text{tempo\_affilatura\_tagliente}$ $N_{TA} = \text{numero\_taglienti\_utensile}$
Costo inserto per tagliente [€]	$C_{IT} = [C_{INS} / (0,75N_{TI})] N_{TA}$ $C_{INS} = \text{costo\_inserto}$ $N_{TI} = \text{numero\_taglienti\_inserto}$
Costo sostituzione utensile [€]	$C_{SU} = T_{CU} \times C_{OG}$

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## VALUTAZIONE DEI COSTI E DEI TEMPI

*Costo operatore comprensivo di spese generali macchina [€/min]*

$$C_{OG} = C_{AMM} + C_O + C_{SM} + C_{MAN} + C_{FE}$$

*Costo tagliente HSS [€]*

$$C_{TA} = C_{UTHSS} + C_{AFF}$$

*Costo tagliente inserto [€]*

$$C_{TA} = C_{UTINS} + C_{IT}$$

*Tempo totale [min] :  $T = T_p + T_i + T_t + T_{cu}$*

*Costo preparazione macchina [€] :  $C_p = C_{OG}T_p$*

*Costo tempi improduttivi [€] :  $C_i = C_{OG}T_i$*

*Costo di taglio [€]:  $C_t = (C_{OG} + C_{VE} + C_{FT})T_t$*

*Costo utensile [€]:  $C_u = (C_{OG}T_{CU} + C_{TA})(T_t/T)$*

*Costo lavorazione [€]:  $C_{lv} = C_p + C_i + C_t + C_u$*

*Costo pezzo [€]:  $C_{PEZZO} = C_{MG} + C_{lv} + C_{GE}$*

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## ***VINCOLI ALLE CONDIZIONI OTTIMALI DI TAGLIO***

### ***✓ Vincoli relativi alla macchina***

- potenza massima e minima
- Avanzamento massimo e minimo
- Velocità di taglio massima e minima

### ***✓ Vincoli relativi al pezzo***

- rigidità del pezzo ( forze di taglio e vibrazioni )
- precisione del pezzo ( tolleranze, finitura superficiale, .... )

### ***✓ Vincoli relativi all'utensile***

- rigidità dell'utensile ( massima forza di taglio )
- spessore massimo e minimo del truciolo
- massima e minima larghezza di taglio
- massima usura dell'utensile ( resistenza dell'utensile, precisione del pezzo )

### ***✓ Vincoli relativi alle condizioni di lavorazione***

- rapporto di forma larghezza/spessore del truciolo
- minima profondità di taglio
- durata dell'utensile
- tagliente di riporto ( minima velocità di taglio )
- validità del criterio di usura
- vincoli di velocità ( rompitrucciolo e sicurezza )

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## *ESEMPIO*

Sia da produrre un lotto di  $N = 200$  pezzi in alluminio con carico di rottura di  $320 \text{ N/mm}^2$  con una operazione di tornitura .

Il tornio costa  $61000 \text{ €}$  ed ha una potenza di  $9 \text{ KW}$  . Il periodo di ammortamento è di  $5$  anni con interessi passivi del  $4 \%$  .

Il costo di manutenzione è di  $1000 \text{ €/anno}$ .

Il costo fisso di energia è di  $2 \text{ €/KW}$  ed il costo variabile è di  $0,2 \text{ €/KWh}$  .

Il periodo di utilizzazione giornaliero è di  $8$  ore . Il costo dell'operatore è di  $0,27 \text{ €/min}$  .

Il pezzo ha un diametro iniziale di  $100 \text{ mm}$  e deve essere portato ad un diametro finale di  $90 \text{ mm}$  per una lunghezza tornita di  $300 \text{ mm}$  ; il costo del materiale per pezzo è di  $45 \text{ €}$  .

Il portainseriti costa  $50 \text{ €}$  e l'inserto triangolare in carburo costa  $6 \text{ €}$  ; l'avanzamento sia  $0,2 \text{ mm/giro}$  e la profondità di passata  $2 \text{ mm}$  . La costante della equazione di Taylor è  $K_{vb} = 250 \text{ m/min}$  .

Il tempo di preparazione della macchina è di  $50 \text{ min}$ , il tempo improduttivo per pezzo è di  $3 \text{ min}$  ed il tempo di cambio utensile è  $1,5 \text{ min}$  .

Determinare il costo di lavorazione ed il costo pezzo in condizioni di minimo costo e di massima produzione assumendo per i costi generali il  $40 \%$  del costo lavorazione  $Cl_v$  .

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## *ESEMPIO*

Ore annuali di lavoro

$$T_A = S_A \times 5 \times T_G = 50 \times 5 \times 8 = 2000$$

Costo di ammortamento [€/min]

$$C_{AMM} = \frac{I_{AM}}{60T_A} = \frac{[C_{AM} I_P (1 + I_P)^{P_A}]}{60T_A [(1 + I_P)^{P_A} - 1]} = \frac{[61000 \times 0,04 \times 1,04^5]}{60 \times 2000 \times [1,04^5 - 1]} = 0,114$$

Costo fisso di energia [€/min]

$$C_{FE} = \frac{12 \times S_{FE} \times P_{MU}}{60T_A} = \frac{12 \times 2 \times 0,6 \times 9}{60 \times 2000} = 0,0011$$

Costo variabile di energia [€/min]

$$C_{VE} = \frac{\%IVA \times S_{VE} \times P_{MU}}{60} = \frac{1,2 \times 0,2 \times 0,6 \times 9}{60} = 0,022$$

Spesa di manutenzione [€/min]

$$C_{MAN} = S_{MAN} / (60T_A) = \frac{1000}{60 \times 2000} = 0,0083$$

Costo utensile per tagliente [€]

$$C_{UTINS} = \frac{\text{costo\_porta\_inserti}}{\text{numero\_sostituzioni\_inserti} = 500} = \frac{50}{500} = 0,1$$

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## *ESEMPIO*

Costo inserto per tagliente [€]

$$C_{IT} = [C_{INS}/(0,75N_{TI})]N_{TA} = \left[ \frac{6}{0,75 \times 3} \right] \times 1 = 2,67$$

Costo operatore comprensivo di spese generali macchina [€/min]

$$C_{OG} = C_{AMM} + C_O + C_{SM} + C_{MAN} + C_{FE}$$

$$C_{OG} = 0,114 + 0,27 + 0 + 0,0083 + 0,0011 \cong 0,40$$

Costo sostituzione utensile [€]

$$C_{SU} = T_{CU} \times C_{OG} = 1,5 \times 0,40 = 0,6$$

Costo del tagliente [€]

$$C_{TA} = C_{UTINS} + C_{IT} = 0,1 + 2,67 = 2,77$$

### *Ottimizzazione per il minimo costo*

Durata economica dell'utensile [min]

$$T_{C\min} = \left( \frac{1}{\alpha} - 1 \right) \left( T_{cu} + \frac{C_{ta}}{C_{og}} \right) = \left( \frac{1}{0,3} - 1 \right) \left( 1,5 + \frac{2,77}{0,40} \right) = 19,64$$

Velocità di taglio corrispondente  $T_{VB} = T_{C\min}$  (equazione di Taylor generalizzata) [m/min]

$$V = \frac{K_{VB} VB^m}{a^x p^y (\text{sen}\chi)^{x-y} T_{VB}^\alpha} = \frac{250 \times 0,4^{0,44}}{0,2^{0,4} \times 2^{0,22} \times (\text{sen}60)^{0,18} \times 19,64^{0,3}} \approx 154$$

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## *ESEMPIO*

Numero di giri [giri/min]

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times d} = \frac{1000 \times 154}{\pi \times 100} \approx 492$$

Avanzamento [mm/min]

$$A = a \times n = 0,2 \times 492 \approx 98$$

Numero di passate/pezzo

$$N_{PASS} = \frac{D_{iniziale} - D_{finale}}{p} = \frac{100 - 90}{2} = 5$$

Tempo di taglio/pezzo [min]

$$T_t = \frac{N_{PASS} \times L_{PEZZO}}{A} = \frac{5 \times 300}{98} = 15,25$$

Numero cambi utensile/pezzo

$$N_{CUP} = \frac{T_t}{T_{C_{min}}} = \frac{15,25}{19,64} = 0,78$$

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## *ESEMPIO*

Tempo improduttivo/pezzo [min]

$$T_i = 3$$

Tempo totale/pezzo [min]

$$T_{TOT} = \frac{T_p}{N} + T_i + T_t + (N_{CUP} \times T_{cu}) = \frac{50}{200} + 3 + 15,25 + (0,78 \times 1,5) = 19,67$$

Costo preparazione macchina/pezzo [€] :

$$C_p = C_{OG} \frac{T_p}{N} = 0,40 \times \frac{50}{200} = 0,10$$

Costo tempi improduttivi/pezzo [€] :

$$C_i = C_{OG} T_i = 0,40 \times 3 = 1,20$$

Costo di taglio/pezzo [€]:

$$C_t = (C_{OG} + C_{VE} + C_{FT}) T_t = (0,40 + 0,02 + 0) \times 15,25 = 6,44$$

Costo utensile/pezzo [€]:

$$C_u = [C_{OG}(T_{cu}) + C_{TA}] (T_t / T_{C \min})$$

$$C_u = [0,40 \times (1,5) + (2,77)] \times \left( \frac{15,25}{19,64} \right) = 2,62$$

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## *ESEMPIO*

Costo lavorazione/pezzo [€]

$$C_{lv} = C_p + C_i + C_t + C_u = 0,10 + 1,20 + 6,44 + 2,62 = 10,36$$

Costo pezzo [€]

$$C_{PEZZO} = C_{MG} + C_{lv} + C_{GE} = C_{MG} + C_{lv} + (0,4 \times C_{lv})$$

$$C_{PEZZO} = 45 + 10,36 + (0,4 \times 10,36) = 59,5$$

### *Ottimizzazione per la massima produzione*

Durata dell'utensile per la massima produzione [min]

$$T_{P_{\max}} = \left( \frac{1-\alpha}{\alpha} \right) T_{cu} = \left( \frac{1-0,3}{0,3} \right) \times 1,5 = 3,5$$

Velocità di taglio corrispondente  $T_{VB} = T_{P_{\max}}$  (equazione di Taylor generalizzata) [m/min]

$$V = \frac{K_{VB} VB^m}{a^x p^y (\text{sen}\chi)^{x-y} T_{VB}^\alpha} = \frac{250 \times 0,4^{0,44}}{0,2^{0,4} \times 2^{0,22} \times (\text{sen}60)^{0,18} \times 3,5^{0,3}} \approx 259$$

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## *ESEMPIO*

Numero di giri [giri/min]

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times d} = \frac{1000 \times 259}{\pi \times 100} \approx 825$$

Avanzamento [mm/min]

$$A = a \times n = 0,2 \times 825 \approx 165$$

Numero di passate/pezzo

$$N_{PASS} = \frac{D_{iniziale} - D_{finale}}{p} = \frac{100 - 90}{2} = 5$$

Tempo di taglio/pezzo [min]

$$T_t = \frac{N_{PASS} \times L_{PEZZO}}{A} = \frac{5 \times 300}{165} = 9,1$$

Numero cambi utensile/pezzo

$$N_{CUP} = \frac{T_t}{T_{P_{max}}} = \frac{9,1}{3,5} = 2,6$$

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## *ESEMPIO*

Tempo improduttivo/pezzo [min]

$$T_i = 3$$

Tempo totale/pezzo [min]

$$T = \frac{T_p}{N} + T_i + T_t + (N_{CUP} \times T_{cu}) = \frac{50}{200} + 3 + 9,1 + (2,6 \times 1,5) = 16,25$$

Costo preparazione macchina/pezzo [€] :

$$C_p = C_{OG} \frac{T_p}{N} = 0,40 \times \frac{50}{200} = 0,10$$

Costo tempi improduttivi/pezzo [€] :

$$C_i = C_{OG} T_i = 0,40 \times 3 = 1,20$$

Costo di taglio/pezzo [€]:

$$C_t = (C_{OG} + C_{VE} + C_{FT}) T_t = (0,40 + 0,02 + 0) \times 9,1 = 3,85$$

Costo utensile/pezzo [€]:

$$C_u = [C_{OG}(T_{cu}) + C_{TA}](T_t/T)$$

$$C_u = [0,40 \times (1,5) + (2,77)] \times \left(\frac{9,1}{3,5}\right) = 8,76$$

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## *ESEMPIO*

Costo lavorazione/pezzo [€]

$$C_{lv} = C_p + C_i + C_t + C_u = 0,10 + 1,20 + 3,85 + 8,76 = 13,91$$

Costo pezzo [€]

$$C_{PEZZO} = C_{MG} + C_{lv} + C_{GE} = C_{MG} + C_{lv} + (0,4 \times C_{lv})$$

$$C_{PEZZO} = 45 + 13,91 + (0,4 \times 13,91) = 64,47$$

### *Confronto fra il minimo costo e la massima produzione*

Forza di taglio

$$F_t = 5\sigma_r \times a \times p = 5 \times 320 \times 0,2 \times 2 = 640N$$

Potenza assorbita per il minimo costo

$$P_{tC \min} = \frac{F_t \times V_{tC \min}}{60000} = \frac{640 \times 154}{60000} = 1,6KW$$

Potenza assorbita per la massima produzione

$$P_{tP \max} = \frac{F_t \times V_{tP \max}}{60000} = \frac{640 \times 259}{60000} = 2,8KW$$

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

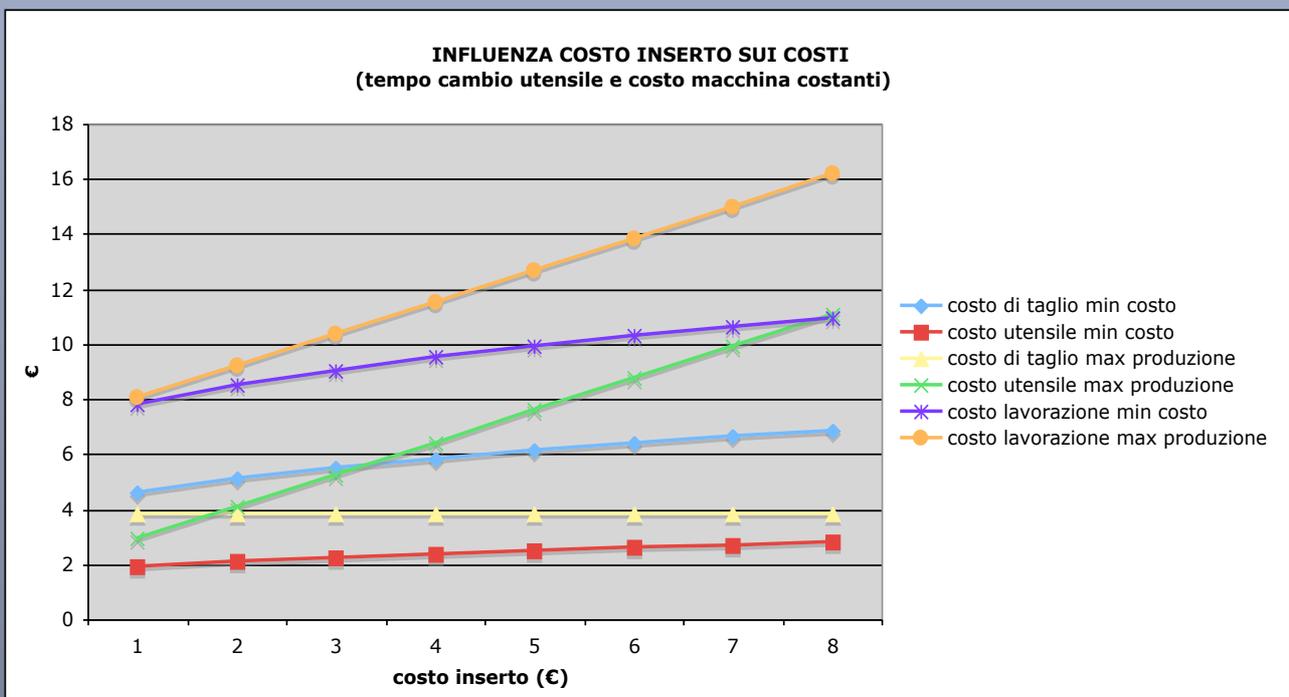
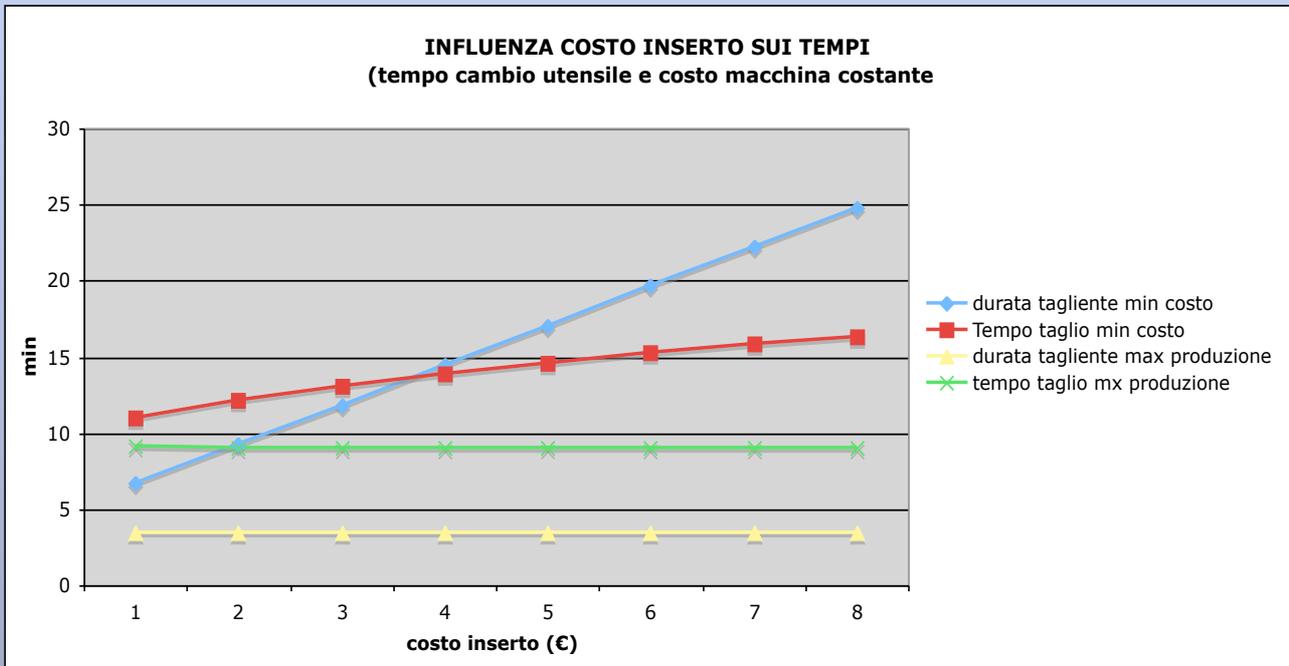
## *ESEMPIO*

### *Confronto fra il minimo costo e la massima produzione*

	Min costo	Max produzione
T <sub>cmin</sub> ; T <sub>pmax</sub> [min]	19,64	3,5
V <sub>cmin</sub> ; V <sub>cmax</sub> [m/min]	154	259
n [giri/min]	492	825
A [mm/min]	98	165
T <sub>t</sub> [min]	15,25	9,1
N <sub>cup</sub>	0,78	2,6
Forza di taglio [N]	640	640
Potenza di taglio [KW]	1,6	2,8
T [min]	19,67	16,25
C <sub>p</sub> [€]	0,10	0,10
C <sub>i</sub> [€]	1,20	1,20
C <sub>t</sub> [€]	6,44	3,85
C <sub>u</sub> [€]	2,62	8,76
C <sub>lv</sub> [€]	10,36	13,91
C <sub>pezzo</sub> [€]	59,5	64,47
Costo produzione [€]	11900	12894
Tempo produzione [g]	8,2	6,7

# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## ESEMPIO



# OTTIMIZZARE LA LAVORAZIONE

## ESEMPIO

