

Matricola	Cognome	Nome

**Note:**

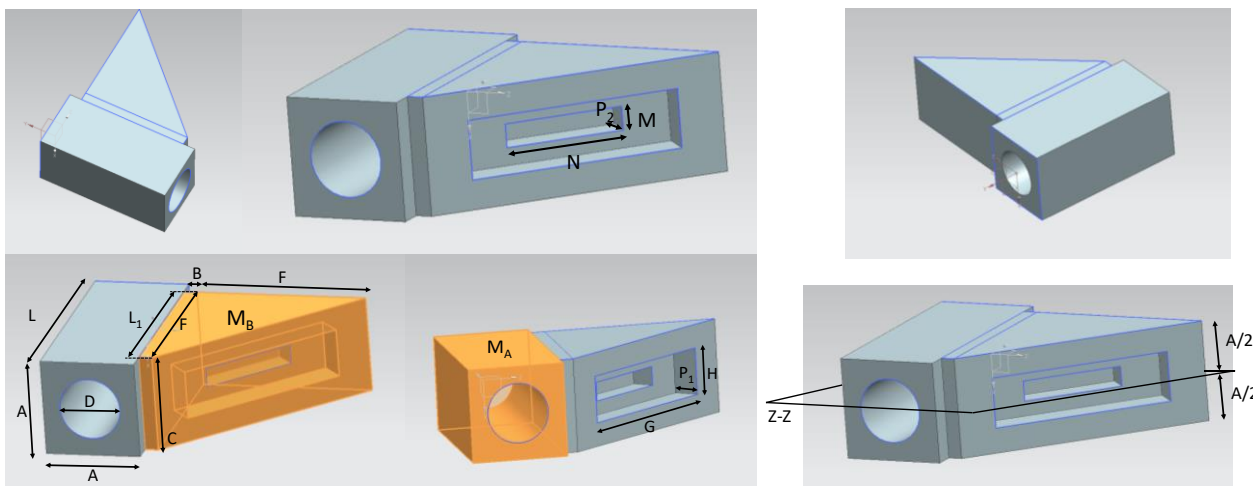
- Indicare sulla prima facciata di ogni foglio protocollo e sulla “scheda dei risultati”: Nome, Cognome, Matricola.
- Non è consentito utilizzare libri o dispense, ad eccezione del formulario consegnato in aula.
- Riportare i risultati richiesti nella “scheda dei risultati”.
- Nel caso di dubbi, fare le ipotesi necessarie per la soluzione e riportarle dietro la scheda dei risultati.

**QUESITO 1 (11 punti)**

Il componente rappresentato in *Figura 1* è in acciaio ( $\rho = 7.86 \text{ kg/dm}^3$ ) e deve essere realizzato per fonderia in terra.

- A)** Calcolare i moduli termici  $M_A$  e  $M_B$  come da porzioni del getto evidenziate in figura e, in base ai risultati ottenuti, indicare la direzione di solidificazione.
- B)** Per l'alimentazione del getto si utilizza una materozza cilindrica posizionata sulla zona B. Ipotizzando che il volume del getto sia pari a  $V_{\text{getto}} = 5 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$ , che il modulo termico della zona B sia  $M_B = 45 \text{ mm}$  e che  $X = 1.28$ , scegliere e dimensionare la materozza più efficiente tra quelle con  $\delta = 0.5, 1, 1.5$ . [ $a = 0.1, b = 0.03, c = 1$ ]
- C)** Nell'ipotesi di utilizzare come piano di separazione il piano la cui traccia è indicata con Z-Z in Fig. 1 ed un sistema di colata in piano, si dica se è possibile ottenere una velocità di colata accettabile considerando una materozza di altezza  $H_m = 485 \text{ mm}$  da porre sulla parte superiore della porzione B e una staffa superiore di altezza pari a  $H_{\text{semistaffa}} = 630 \text{ mm}$ . Si considerino un volume del getto pari a  $V_{\text{getto}} = 5 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$  ed un volume della materozza pari a  $V_m = 3 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$ . Si trascuri l'altezza del colletto. Si consideri inoltre il coefficiente delle perdite di carico  $c = 0.6$ . Nel computo della velocità, considerate anche il volume della materozza.

$A = 250 \text{ mm}, L = 550 \text{ mm}, D = 160 \text{ mm}$   
 $B = 35 \text{ mm}; C = 250 \text{ mm}; L_1 = 450 \text{ mm} = F = 450 \text{ mm}$   
 $G = 450 \text{ mm}, H = 125 \text{ mm}, P_1 = 70 \text{ mm}$   
 $N = 250 \text{ mm}, M = 50, P_2 = 60 \text{ mm}$



*Figura 1: Componente da realizzare tramite fonderia in terra [dimensioni in mm]*

**QUESITO 2 (8 punti)**

Si vuole realizzare la copertura di una base di una lampada da tavolo caratterizzato da uno spessore di  $t = 0.5 \text{ mm}$ , un diametro  $D = 200 \text{ mm}$  ed un'altezza di  $h = 35 \text{ mm}$ , Figura 2.

Si parte da una lamiera di acciaio inossidabile di spessore  $h_e = 4 \text{ mm}$ , larghezza  $b_e = 400 \text{ mm}$  e lunghezza  $l_e = 2500 \text{ mm}$ . Una sequenza di processi (laminazione a caldo, laminazione a freddo, tranciatura ed imbutitura) permette di ottenere il pezzo finito riportato sotto.

- A)** Un primo stadio di laminazione a caldo ( $900^\circ\text{C}$  con tensione di flusso plastico  $Y_f = 200 \text{ MPa}$ ) permette di ridurre lo spessore a  $h_u = 2 \text{ mm}$ . Si utilizzano per tale lavorazione dei rulli di diametro  $D = 200 \text{ mm}$ . Determinare la coppia necessaria  $M$  per effettuare la lavorazione ipotizzando un coefficiente di attrito  $\mu$  che permetta l'imbuco della lamiera (considerate un margine del 20%). Si ipotizzi di trascurare la variazione di larghezza della lamiera,  $b = 400 \text{ mm}$ .
- B)** Visto che il disco che verrà utilizzato per l'operazione di imbutitura è ottenuto per tranciatura, vi si richiede di determinare il diametro primitivo  $D$  del disco da tranciare. Il pezzo finale è caratterizzato da uno spessore di  $0.5 \text{ mm}$ , diametro  $D_{av} = 200 \text{ mm}$  ed un'altezza di  $h = 35 \text{ mm}$ , Figura 2.
- C)** Per un altro modello di lampada invece dovete tranciare un disco primitivo di diametro  $D = 400 \text{ mm}$ . Anche in questo caso lo spessore da tranciare è pari a  $t = 0.5 \text{ mm}$ . Vi è richiesto di stimare la forza massima di tranciatura sapendo che il carico di rottura del materiale  $R_m = 700 \text{ MPa}$ . Considerate inoltre che il limite a taglio è circa 0.8 volte rispetto a quello di trazione.

In aggiunta, avendo a disposizione una pressa da 370ton, vi si chiede di progettare lo stampo definendo il numero di dischi che possono essere tranciati contemporaneamente.



Figura 2: componente da realizzare

### QUESITO 3 (11 punti)

In un centro di lavoro a 4 assi si ha a disposizione un mandrino con coppia massima erogabile pari a 160Nm, massima velocità di rotazione pari a 7000rpm ed una potenza disponibile pari a 60kW. Il rendimento del mandrino è pari a  $\eta = 0.9$ .

**A)** Si ha a disposizione un utensile descritto dai parametri riportati nella tabella seguente. È richiesto di effettuare una lavorazione in immersione completa ( $a_e=80\text{mm}$ ) su un acciaio debolmente legato per cui il costruttore di utensili fornisce il  $K_{c0,4}$ .

Verificare se, con la macchina che avete a disposizione, è possibile sfruttare tutte le potenzialità dell'utensile non avendo nessuna limitazione sulla finitura superficiale ottenibile (trattandosi di sgrossatura) e non preoccupandosi dell'usura utensile. Più in dettaglio vi è richiesto di calcolare velocità di rotazione mandrino, potenza elettrica richiesta e coppia richiesta.

Nel caso in cui i limiti della macchina non permettano di sfruttare appieno l'utensile determinate, ipotizzando di utilizzare la massima velocità ed il massimo avanzamento consentiti, la percentuale di impegno assiale che può essere sfruttato rispetto a quello ammesso dalle caratteristiche dell'utensile.

$D$ [mm]	$Z$	$\kappa_{re}$ [deg]	$r_e$ [mm]	$k_{c0,4}$ [MPa]	$x$	Altezza utile inserto[mm]	$V_{cmax}$ [m/min]	$f_{zmax}$ [mm/dente]
80	5	90°	0.8	1600	0.21	15mm	250	0.25

**B)** Vi è richiesto di effettuare una lavorazione di spianatura (rugosità desiderata  $Ra=1.2\mu\text{m}$ ) in immersione completa ( $a_e=80\text{mm}$ ) con l'utensile descritto al punto precedente su un basamento della lunghezza di  $L=1800\text{mm}$ . Vi è richiesto tassativamente di lavorare con una velocità di taglio  $V_c=200\text{m/min}$ . Vi è inoltre richiesto di scegliere i parametri di taglio (velocità avanzamento) in modo tale da riuscire ad effettuare la lavorazione su tutta la lunghezza del basamento senza la necessità di sostituire l'utensile a causa di un'usura eccessiva. A tal fine vi è stato chiesto di cautelarvi prendendo un margine del 20%.

Alla luce dei risultati ottenuti determinate la percentuale di utilizzo del valore massimo  $f_{zmax}=0.25\text{mm/dente}$ . Determinate inoltre il valore di rugosità teorico ottenibile.

Dite quindi se la lavorazione può essere fatta rispettando contemporaneamente tutti i vincoli imposti (usura, utensile, finitura superficiale)

Di seguito si riportano i coefficienti di Taylor ottenuti effettuando delle prove di durata in condizioni analoghe. Si suggerisce di trascurare la dipendenza della vita utensile dall'avanzamento al dente.

$n$ [Taylor]	$C$ [Taylor]
0.2	250

**C)** Supponendo che, per esigenze legate alla produzione, vi sia la necessità di ridurre la velocità di taglio  $v_c = 190\text{m/min}$  del 30% su una lavorazione di fresatura caratterizzata dai seguenti parametri ( $a_e=80\text{mm}$ ;  $a_p=3\text{mm}$ ;  $f_z=0.25\text{mm/dente}$ ) ed effettuata con l'utensile già descritto al punto A.

Nell'ipotesi di dover rimuovere una determinata quantità di volume  $V$ , vi si chiede di stimare il rapporto tra il numero di cambi utensili effettuati nelle condizioni nominali e quelli utilizzati nel caso di utilizzo della velocità ridotta. Avete a disposizione i coefficienti di Taylor del punto precedente.

# SOLUZIONE

## QUESITO 1

A)

$$A = 250\text{mm}; L = 550\text{mm}; D = 160\text{mm};$$

$$L1 = 450\text{mm}; B = 35\text{mm}; C = A;$$

$$F = 450\text{mm}; C = A;$$

$$G = 450\text{mm}; H = 125\text{mm}; P1 = 70; N = 250\text{mm}; M = 50\text{mm}; P2 = 60\text{mm};$$

Determinazione Volumi

$$V_A = A^2 * L - \frac{\pi}{4} * D^2 * L = 250^2 * 550 - \frac{\pi}{4} * 160^2 * 550 = 2.3317E + 07\text{mm}^3$$

$$V_B = B * C * L1 + \frac{1}{2} * F * F * C - G * H * P1 - M * N * P2$$
$$= 35 * 250 * 450 + \frac{1}{2} * 450 * 450 * 250 - 450 * 125 * 70 - 50 * 250 * 60 = 24562500\text{mm}^3$$

Determinazione superfici scambio termico

$$S_A = (4 * A * L + 2 * A * A) + (\pi * D * L) - \left(2 * \frac{\pi}{4} * D^2\right) - (F * C)$$
$$= (4 * 250 * 550 + 2 * 250 * 250) + (\pi * 160 * 550) - \left(2 * \frac{\pi}{4} * 160^2\right) - (450 * 250) = 7.9875E + 05\text{mm}^2$$

$$S_B = (2 * (L1 + C) * B) + \left(\left(F + \frac{F}{\cos\left(\frac{\pi}{4}\right)}\right) * C\right) + (2 * 0.5 * F * F) + (2 * (G + H) * P1) + (2 * (M + N) * P2)$$
$$= (2 * (450 + 250) * 35) + \left(\left(450 + \frac{450}{\cos\left(\frac{\pi}{4}\right)}\right) * 250\right) + (2 * 0.5 * 450 * 450) + (2 * (450 + 125) * 70)$$
$$+ (2 * (50 + 250) * 60) = 6.396E + 05\text{mm}^2;$$

$$M_A = \frac{V_A}{S_A} = 29.2\text{mm}$$

$$M_B = \frac{V_B}{S_B} = 38.4\text{mm}$$

$$\frac{M_B}{M_A} = 1.32$$

Direzione solidificazione A→B.

Il rapporto tra i moduli termici è ragionevole.

B)

a=0.1, b=0.03, c=1; parametri curva di Caine

$$Y_{caine} = \frac{a}{x - c} + b$$

$$x=1.28$$

$$Y_{caine} = \frac{0.1}{1.28 - 1} + 0.03 = 0.39$$

## Curve isodelta

$$V_p = V_{getto}$$

$$M_p = M_B$$

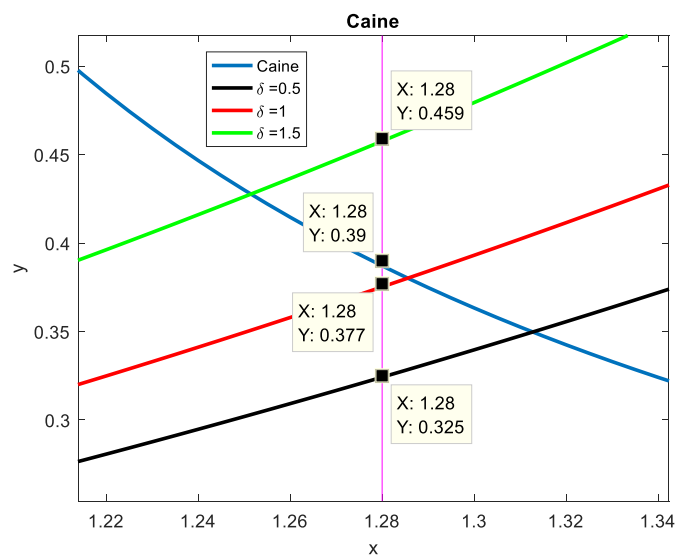
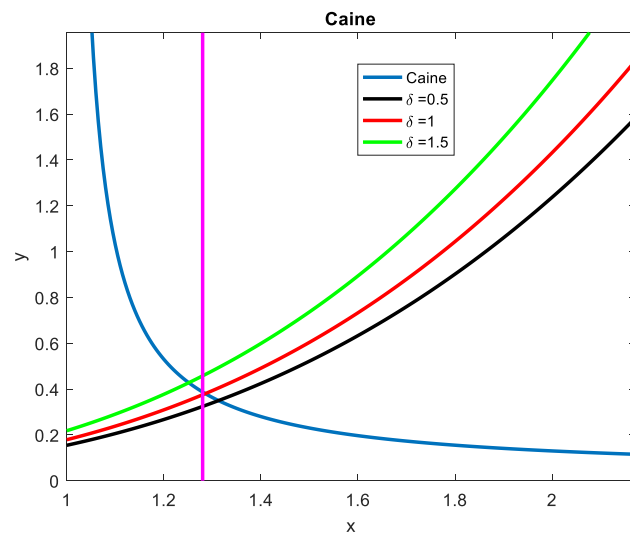
$$Y = \frac{\pi}{4} \cdot \left( \frac{M_p^3}{V_p} \right) \frac{(4\delta + 1)^3}{\delta^2} x^3$$

$$Y(x = 1.28, \delta = 0.5) = 0.33$$

$$Y(x = 1.28, \delta = 1) = 0.38$$

$$Y(x = 1.28, \delta = 1.5) = 0.46$$

L'unica materozza ammissibile è quella con  $\delta = 1.5$ . Quella con  $\delta = 1$  è al limite e non può essere utilizzata, troppo rischio di avere getto scarto.



C)

$$V_{tot} = V_{getto} + V_m = 8E7mm^3$$

$$v = c \sqrt{2gH_{piano}}$$

$$H_{piano} = \frac{1}{\left(\frac{r'}{\sqrt{H_{gravità}}} + \frac{r''}{\sqrt{H_{sorgente}}}\right)^2}$$

$$r' = \frac{0.5V_{getto}}{V_{tot}} = 0.313$$

$$r'' = \frac{0.5V_{getto} + V_m}{V_{tot}} = 0.6875$$

$$H_{gravità} = H_{semistaffa} = 630mm$$

$$h_1 = H_{semistaffa} = 630mm$$

$$b = 0.5 * A + H_m = 0.5 * 250 + 485 = 610mm$$

$$H_{sorgente} = \left(\frac{\sqrt{h_1} + \sqrt{h_1 - b}}{2}\right)^2 = \left(\frac{\sqrt{630} + \sqrt{630 - 610}}{2}\right)^2 = 218.6mm$$

$$H_{piano} = \frac{1}{\left(\frac{r'}{\sqrt{H_{gravità}}} + \frac{r''}{\sqrt{H_{sorgente}}}\right)^2} = 287.8mm$$

$$v = c \sqrt{2gH_{piano}} = 0.6 \sqrt{2 * 9.8 * \frac{287.8}{1000}} = 1.43m/s$$

Velocità non accettabile perché superiore ad 1m/s

## QUESITO 2

A)

$$\Delta h = h_e - h_u = 2mm$$

$$R = 0.5 * D = 100mm$$

$$\mu = 1.2 * \sqrt{\frac{\Delta h}{R}} = 1.2 * \sqrt{\frac{2}{100}} = 0.17 \text{ considerando maggiorazione } 20\%$$

$$L = \sqrt{\Delta h * R} = \sqrt{2 * 100} = 14.14mm$$

$$h_m = \frac{h_e + h_u}{2} = 3mm \text{ altezza media lamiera}$$

Calcolo pressione media

$$p_{av} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \bar{Y}_f \cdot \left(1 + \frac{\mu \cdot L}{2 \cdot h_m}\right) = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot 200 \cdot \left(1 + \frac{0.17 \cdot 14.14}{2 \cdot 3}\right) = 323.3MPa$$

Calcolo forza verticale

Trascuro variazione larghezza lamiera

$$b_m = b_u = 400mm$$

$$F_v = p_{av} \cdot b \cdot L = 323.3 \cdot 400 \cdot 14.14 = \mathbf{1829kN}$$

coppia

$$M = F_v \cdot \frac{L}{2} = 1.829e + 06 \cdot \frac{14.14}{2 * 1000} = \mathbf{12.93kNm}$$

B)

$$D = \sqrt{4 \cdot D_{av} \cdot h + D_{av}^2} = \sqrt{4 \cdot 200 \cdot 35 + 200^2} = \mathbf{260.77mm}$$

È il diametro da tranciare per poi procedere all'imbutitura

C)

$$R_t = 0.8 * R_m = 0.8 * 700 = 560MPa$$

Lunghezza sviluppo

$$l = \pi * D = 1.257E3mm$$

$$F_{max} = R_t * l * t = 351.9 kN$$

$$F_{max \text{ pressa}} = ton * 9.81 * 1000 = 3.63 MN$$

$$n_{dischi} = \frac{F_{max \text{ pressa}}}{F_{max}} = 10.3 \rightarrow \mathbf{10 \text{ dischi}}$$

### QUESITO 3

A)  
Bisogna innanzitutto determinare l'angolo d'impegno della fresa e il numero medio di denti in presa:

$$\phi = 180^\circ$$

$$\phi_0 = \frac{2\pi}{Z} = \frac{2\pi}{5} = 72^\circ$$

$$z = \frac{\phi}{\phi_0} = 2.5 \text{ posso usare approccio alle forze medie}$$

Visto che non vi sono limitazioni per quanto riguarda la finitura superficiale e l'usura utensile per sfruttare al massimo l'utensile è necessario impostare i valori massimi consentiti.

In particolare si fissa il valore di avanzamento massimo  $f_z = f_{z\max} = 0.25\text{mm/dente}$ , quello di velocità  $V_c = 250\text{m/min}$  e la massima profondità di passata  $a_{p\max} = 15\text{mm}$

Si effettua prima verifica **velocità mandrino**

$$n = \frac{V_c}{\left(\pi \cdot \frac{D}{1000}\right)} = \frac{250}{\left(\pi \cdot \frac{80}{1000}\right)} = 995\text{rpm} < 7000\text{rpm}$$

Verificato. Si sfrutta il massimo valore di velocità ammesso dal costruttore dell'utensile.

Si passa alla verifica della potenza e della coppia.

Assumendo  $f_z = f_{z\max} = 0.25\text{mm/dente}$  e massima profondità di passata ammessa da utensile  $a_{p\max} = 15\text{mm}$

Si determina lo spessore di truciolo medio

$$h_m = \frac{2f_z a_e \text{sen} \kappa_{re}}{\phi D} = \frac{2 \cdot 0.25 \cdot 80}{\pi \cdot 80} = 0.16\text{mm/dente}$$

Determinazione pressione di taglio  $K_{cs}$

$$k_{c,0.4} = k_{cs} 0.4^{-0.21} = 1600\text{MPa} \rightarrow K_{cs} = k_{c,0.4} \cdot 0.4^{0.21} = 1600 \cdot 0.4^{0.21} = 1320\text{MPa}$$

$$k_{c,hm} = k_{cs} h_m^{-0.21} = 1320 \cdot 0.16^{-0.21} = 1.9416e + 03\text{MPa}$$

Calcolo della potenza elettrica.

Serve prima calcolo velocità avanzamento

$$V_f = n \cdot f_z \cdot z = 995 \cdot 0.25 \cdot 5 = 1243.4\text{mm/min}$$

$$P_{el} = \frac{K_{chm} \cdot V_f \cdot a_e \cdot a_p}{(60 \cdot 1000 \cdot \eta)} = \frac{1941.6 \cdot 1243.4 \cdot 80 \cdot 15}{(60 \cdot 1000 \cdot \eta)} = 53.7\text{kW}$$

La potenza è minore rispetto a quella richiesta. Quindi la potenza disponibile al mandrino permette di sfruttare massime caratteristiche utensile ( $a_{p\max}$  e  $f_{z\max}$ )

Verifico coppia C

$$C = \frac{P_{el}}{\left(\frac{2\pi n}{60}\right)} = \frac{P_{el}}{\left(\frac{2\pi n}{60}\right)} = \frac{5.3650e + 04}{\left(\frac{2\pi \cdot 995}{60}\right)} = 515\text{Nm}$$

È molto superiore rispetto a quella disponibile al mandrino. Mandrino non permette di sfruttare al massimo le potenzialità dell'utensile. Quindi, visto quanto richiesto nel testo, ammetto comunque  $V_c = 250\text{m/min}$  e  $f_z = f_{z\max} = 0.25\text{mm/dente}$

Visto la linearità, determino profondità massima ammessa dal vincolo di coppia disponibile al mandrino

$$a_{p\max C} = a_{p\max} \frac{C_{\max}}{C} = 15 \frac{160}{515} = 4.66\text{mm}$$

Si determina percentuale massima utilizzabile del tagliente

$$\text{percentuale}_{ap15} = 100 \frac{4.66}{15} = \mathbf{31.1\%}$$

**B)**

Determinazione durata

$$T = \left(\frac{C}{V_c}\right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{250}{200}\right)^{\frac{1}{0.2}} = 3.05 \text{min}$$

Calcolo velocità avanzamento richiesta

$$V_f = \frac{\left(L + \frac{D}{2}\right)}{\left(\frac{100 - 20}{100} T\right)} = \mathbf{753.7 \text{m/min}}$$

Determinazione avanzamento dente

$$f_z = \frac{V_f}{Z \cdot V_c \cdot \frac{1000}{\pi D}} = \frac{753.7}{5 \cdot 200 \cdot \frac{1000}{\pi \cdot 80}} = \frac{0.19 \text{mm}}{\text{dente}}$$

$$\%f_{zmax} = 100 \frac{f_z}{f_{zmax}} = 100 \frac{0.19}{0.25} = \mathbf{75.77\%}$$

È accettabile per i limiti utensili

Verifica rugosità

$$Ra = \frac{1}{32} \cdot \frac{f_z^2}{r_\epsilon} = 1000 \frac{1}{32} \cdot \frac{0.19^2}{0.8} = \mathbf{1.4 \mu m}$$

È superiore rispetto a finitura richiesta.

Lavorazione **non** può essere fatta rispettando tutti i vincoli.

**C)**

$$\text{rapporto utensili usurati} = \frac{V}{Q_1 \cdot T_1} \cdot \frac{Q_2 \cdot T_2}{V} = \frac{Q_2}{Q_1} \cdot \left(\frac{C}{\frac{0.7 V_c}{C}}\right)^{\frac{1}{n}} = 0.7 \cdot \left(\frac{1}{0.7}\right)^{\frac{1}{n}} = \mathbf{4.16}$$