

Matricola	Cognome	Nome

Note:

- Indicare sul foglio protocollo: Nome, Cognome, Matricola;
- Non è consentito utilizzare libri o dispense ad eccezione del formulario prestabilito;
- Riportare i risultati richiesti nella "scheda dei risultati"
- Non vi è interdipendenza tra le varie richieste degli esercizi pertanto la risoluzione deve essere adeguata a questa dichiarazione.

QUESITO 1 (10 punti)

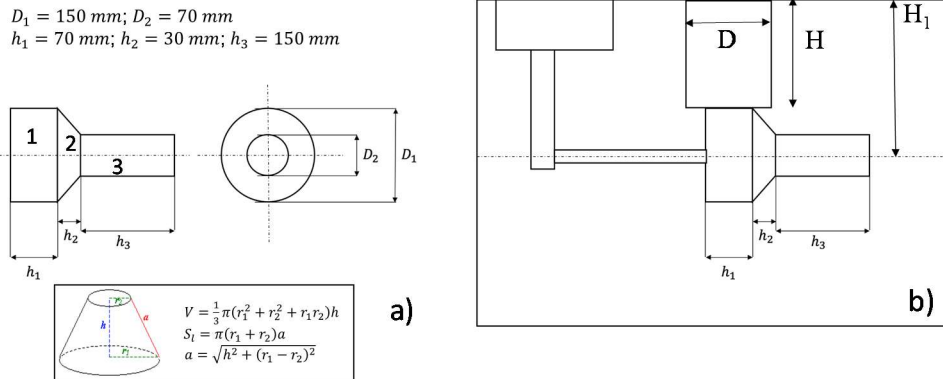


Fig. 1: a) grezzo da realizzare, b) sistema di colata ed alimentazione

La geometria riportata in Fig. 1 deve essere realizzata attraverso un processo di fusione in terra. Trascurando l'effetto del ritiro e la presenza di sovrametallo, si richiede di:

- Calcolare i moduli termici e verificare il pericolo di tensioni termiche residue.**
- Qualunque sia l'esito della verifica al punto precedente, ed ipotizzando di posizionare la materozza in corrispondenza della parte 1, **si dimensiona (teoricamente) la relativa materozza cilindrica**, considerando i valori per la formula di Caine ($a=0.2, b=0.05, c=1$) riportati di seguito utilizzando $\delta_1 = 0.5$ o $\delta_2 = 1$ (si ricorda che $h_{mat} = \delta D_{mat}$). Si ipotizzi inoltre un valore x per il dimensionamento della materozza pari a $x^*=1.2$;
- Ipotizzando di posizionare una materozza cilindrica $D=160\text{mm}, H=136\text{mm}$ sopra la parte 1 e di considerare il sistema di colata raffigurato in Fig. 1b che prevede il pelo libero ad un'altezza di $H_1=211\text{mm}$, vi è richiesto di **calcolare la velocità di efflusso ed il tempo necessario affinché vi sia il completo riempimento di pezzo e materozza**. Ipotizzate perdite di carico pari a $c=0.6$ e sezione minima attacchi pari $A_A=400\text{mm}^2$. Ipotizzate un volume del getto pari a $V=2.112.000\text{mm}^3$.

QUESITO 2 (9 punti)

In qualità di responsabile della produzione di un'azienda che produce per tranciatura componentistica per il settore automotive dovete valutare la possibilità di evadere delle nuove commesse. Visto che in questo periodo la pressa da 3500kN non è satura decidete di considerarla per le vostre valutazioni. La pressa è in grado di effettuare al massimo 1 ciclo ogni 3s.

- Il primo componente che decidete di analizzare è quello riportato in Fig. 2a. Si tratta di un componente ottenuto a partire da una lamiera di spessore $t_1=2 \text{ mm}$ e con uno sviluppo perimetrale $l_1=400\text{mm}$. **In particolare dovete valutare la capacità dell'impianto a vostra disposizione in termini di numero di pezzi potenzialmente producibili in un mese.** Ipotizzate di lavorare su due turni giornalieri di 8h e di avere a disposizione 21gg/mese. Ipotizzate inoltre che sia necessario spendere 50 minuti/giorno per avviare l'impianto e che tipicamente solo il 90% dei pezzi prodotti risulta non difettoso. Non avendo informazioni specifiche sul materiale e volendo valutare le capacità dell'impianto come da richiesta, decidete di fare delle prove preliminari. Effettuate quindi delle operazioni di tranciatura su una lamiera dello stesso materiale ma di spessore pari a $t_2=1.5\text{mm}$. A valle delle prove sapete che la pressa che avete a disposizione riesce a tranciare contemporaneamente al massimo 82 dischetti da $D=13\text{mm}$ di diametro, come da Fig. 2b.
- Per ciò che riguarda un secondo componente sempre di spessore $t=2\text{mm}$, non avendo grossi problemi ad evadere l'ordine richiesto, decidete di produrlo sfruttando solo il 75% del tonnellaggio della pressa che avete a disposizione. **Per la produzione di questo secondo componente siete interessati a valutare il consumo energetico giornaliero legato al processo.** Assumete di lavorare comunque su due turni giornalieri da 8h e che l'impianto necessiti di una fase di avvio giornaliero della durata di 50min. Considerate un $\lambda=0.45$ ed un rendimento elettrico della presa pari a 0.8.

- (3) Sul secondo componente prodotto (lastra di lunghezza pari ad 1m) viene anche realizzata una piega a "V". **Determinate la forza necessaria per effettuare tale lavorazione.** L'attrezzatura presenta una dimensione trasversale pari a $D_a=66\text{mm}$. Considerate un $K_{br}=1.33$ e che il materiale è caratterizzato da una tensione pari a $R_m=650\text{MPa}$.

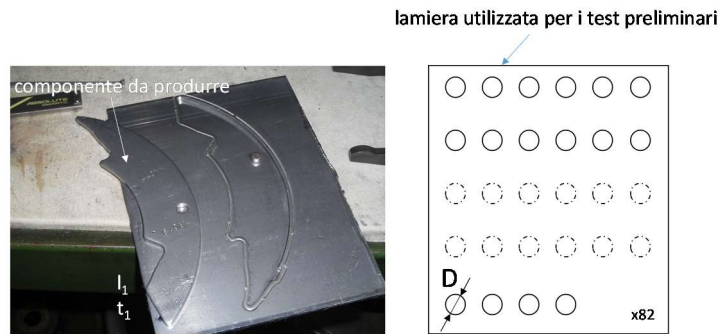


Fig. 2: a) pezzo da realizzare (sviluppo perimetrale l_1 e spessore t_1); b)

QUESITO 3 (11 punti)

In qualità di responsabili tecnologico di un'azienda specializzata in lavorazioni meccaniche di leghe di alluminio (Al 7075, $K_{c0.4} = 550\text{MPa}$, $\chi = 0.28$) vi è chiesto di fare delle analisi relativamente al seguente caso.

Si tratta delle lavorazioni di fresatura che permettono di ottenere il componente riportato in Fig. 3. In particolare, lo svuotamento della tasca (volume totale rimosso (evidenziato in Fig. 3c) dal semilavorato è pari a $V=487000\text{mm}^3$) avviene tramite la sequenza delle tre tipologie operazioni sotto riportate:

- Sgrossatura da effettuare con un utensile ad inserti $D_1=25\text{mm}$, $Z_1=2$. Le lavorazioni di sgrossatura sono effettuate con un tasso medio di rimozione volumetrico $Q_1=900\text{cm}^3/\text{min}$ ed una velocità di taglio pari a $1000\text{m}/\text{min}$.
- Semi-finitura da effettuare con l'utensile integrale raffigurato in Fig. 3. $D_2=20\text{mm}$, $Z_2=4$. Le condizioni di taglio sono: $a_{p2} = 30\text{mm}$, $a_{e2} = 2\text{mm}$, $V_c = 1000\text{ m}/\text{min}$, $f_{z1} = 0.1\text{ mm}/\text{dente}$. In questa fase viene rimosso il volume V_2 pari al 7.4% del volume totale V .
- Finitura con utensile integrale raffigurato in Fig. 3. La lavorazione è effettuata con un impegno radiale inferiore rispetto a quello della semi-finitura ($a_{e3}=0.3\text{mm}$) e con un minor avanzamento ($V_{f3}=3000\text{mm}/\text{min}$) proprio per garantire l'ottenimento della qualità superficiale desiderata. Anche in questo caso l'immersione assiale a_{p3} della fresa è pari all'altezza della tasca $H=30\text{mm}$. Il volume rimosso in finitura V_3 è pari a 1.1% del volume totale.

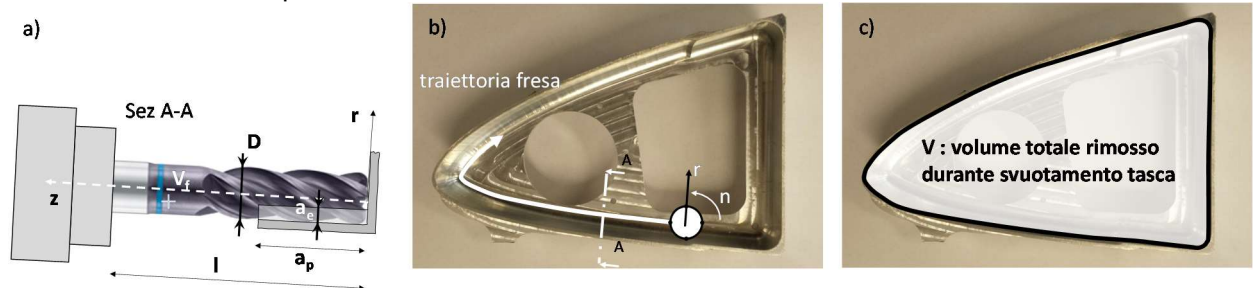


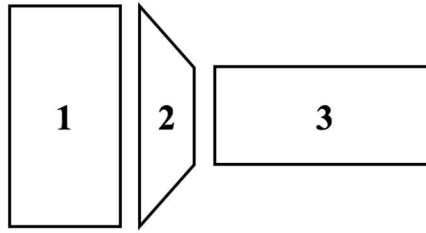
Fig. 3: condizione impegno utensile strategia di lavorazione per le operazioni di semi-finitura e finitura (a, b) — Volume totale rimosso nelle varie fasi di svuotamento della tasca c).

Visto lo scenario, vi è richiesto di valutare:

- (1) Per l'operazione di semi-finitura la **potenza P_{mandrino} e coppia C_{mandrino} richieste al mandrino nei tratti rettilinei** (condizioni d'impegno dell'utensile raffigurate in sez A-A). Rendimento mandrino $\eta=0.85$
- (2) **Il tempo necessario per realizzare la tasca riportata in Fig. 3 considerando la sequenza delle operazioni.** Ipotizzate che il tempo di cambio utensile sia pari a $T_{cu}=30\text{s}$. Considerate inoltre che la strategia di realizzazione della tasca (da casi analoghi) richiede movimenti in cui l'utensile non è a contatto con il pezzo per un tempo pari al 30% del tempo totale di svuotamento.
- (3) **Valutare quanti pezzi potete produrre con l'utensile da sgrossatura prima di dover cambiare gli inserti.** Durante la produzione di altri particolari dello stesso materiale (condizioni di impegno fresa analoghe ma usando l'utensile a diverse velocità di taglio) avete rilevato sperimentalmente le "durate utensile" da cui avete ricavato i seguenti coefficienti di Taylor: $C=2100\text{m}/\text{min}$ ed $n=0.35$.

Soluzione quesito 1

- a) Per identificare la direzione di solidificazione è doveroso dividere il getto in tre parti, come indicato in figura, e calcolarne il modulo termico.



$$\begin{aligned} V_1 &= 1\,237\,000 \text{ mm}^3 \\ A_1 &= 50\,658 \text{ mm}^2 \\ M_1 &= 24.42 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_2 &= 297\,666 \text{ mm}^3 \\ A_2 &= 17\,279 \text{ mm}^2 \\ M_2 &= 17.23 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_3 &= 577\,268 \text{ mm}^3 \\ A_3 &= 36\,835 \text{ mm}^2 \\ M_3 &= 15.67 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dati i risultati, la direzione di solidificazione è la seguente: $3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$.

Per quanto riguarda i problemi di tensioni residue, una prima indicazione è data dal rapporto tra moduli termici di parti contigue (deve essere compreso in $1.1 \div 1.3$)

$$\frac{M_1}{M_2} = 1.42 \quad \text{NON ADEGUATO}$$

$$\frac{M_2}{M_3} = 1.10 \quad \text{ADEGUATO}$$

b)

La materozza verrà posizionata in corrispondenza della parte di getto con modulo termico superiore, ovvero la 1.

Per prima cosa, applico la formula di Caine per ottenere il valore soglia del rapporto tra volume materozza e volume getto, y^* .

$$y \geq \frac{a}{x^* - c} + b = y^* = 1.05$$

Quindi, utilizzo la seguente formula delle isodelta per individuare il rapporto tra altezza e diametro della materozza (si ricordi che $h_{mat} = \delta D_{mat}$). Si ricordi inoltre, che viene utilizzato M_1 in quanto modulo termico della parte di getto collegato alla materozza e V_{tot} come volume del getto (in questo caso totale) di competenza della materozza.

$$y = \frac{\pi M_1^3 (4\delta + 1)^3}{4 V_{tot} \delta^2} x^3$$

Sostituendo $\delta_1 = 0.5$ e $\delta_2 = 1$, si ottiene:

$$y_{0.5} = 1.008 < y^* \quad \text{NON ADEGUATO}$$

$$y_1 = 1.1668 > y^* \quad \text{ADEGUATO}$$

E' possibile procedere al calcolo delle dimensioni (teoriche) della materozza utilizzando $\delta_2 = 1$.

$$y_1 = V_{mat}/V_{tot}$$

$$V_{mat} = V_{tot} * y_1 = \pi \frac{D^2}{4} h_{mat} = \pi \frac{D^3}{4} \delta = 2\,464\,207 \text{ mm}^3$$

$$h_{mat} = D_{mat} = 144,4 \text{ mm}$$

In alternativa è possibile applicare la seguente

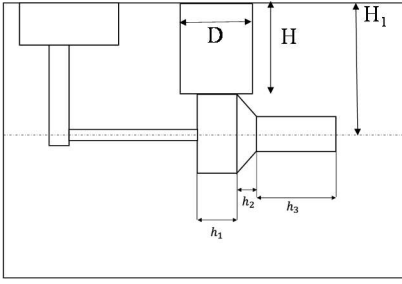
$$M_m = x^* * M_1 = 1.2 * M_1 = \frac{\delta D_m}{4\delta + 1}$$

ottenendo i medesimi risultati. Infatti sostituendo δ è possibile ricavare D_m e h_m , e di conseguenza il rapporto y .

c)

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

$$V_{tot} = V + V_{mat} = V + \frac{1}{4} \pi D^2 H = 2112000 + \frac{1}{4} \pi 160^2 136 = 2112000 + 2734442 = 4846442 \text{ mm}^3$$



$$r' = \frac{v/2}{v_{tot}} = 0.22$$

$$r'' = \frac{\frac{V}{2} + V_{mat}}{V_{tot}} = 0.78$$

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

$$H_{gravità} = h_1 = 211mm$$

$$H_{sorgente} = \left(\frac{\sqrt{h_1} + \sqrt{(h_1 - (\frac{D_1}{2} + 136))}}{2} \right)^2 = \left(\frac{\sqrt{211} + \sqrt{(211 - (75 + 136))}}{2} \right)^2 = 52.75mm$$

$$H_{piano} = \left(\frac{1}{\frac{0.22}{\sqrt{211}} + \frac{0.78}{\sqrt{52.75}}} \right)^2 = 66.6mm$$

$$v_c = c \sqrt{2gH_{piano}} = 0.6\sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 0.0666} = 0.69m/s$$

$$\Delta T = \frac{V_{tot}}{A_A \cdot v_c} = \frac{4846442E - 9}{0.0004 \cdot 0.69} = 17.6s$$

Soluzione quesito 2

(1)

$$F_{\max} = n_{\text{dischi}} \cdot R_t \cdot t_d \cdot \pi \cdot D$$

$$R_t = \frac{F_{\max}}{n_{\text{dischi}} \cdot t_d \cdot \pi \cdot D} = \frac{3500E3}{82 \cdot 1.5 \cdot \pi \cdot 13} = 697MPa$$

$$n_{\text{pezzi/colpo}} = \frac{F_{\max}}{R_t \cdot t \cdot l} = \frac{3500E3}{697 \cdot 2 \cdot 400} = 6\text{pezzi/colpo}$$

Calcolo capacità produttiva

$$f = \frac{1}{3} = 0.33\text{colpi/sec}$$

Calcolo del numero di pezzi buoni che potrebbero essere prodotti in un mese:

$$\begin{aligned} n_{pb} &= 21 \cdot \left(2 \left[\frac{\text{turni}}{\text{giorno}} \right] \cdot 8 \left[\frac{\text{ore}}{\text{turno}} \right] \cdot 3600 \left[\frac{s}{\text{ore}} \right] - 50 \left[\frac{\text{min}}{\text{giorno}} \right] \cdot 60 \left[\frac{s}{\text{min}} \right] \right) \cdot 0.33 \left[\frac{\text{colpi}}{s} \right] \cdot 6 \left[\frac{\text{pezzi}}{\text{colpo}} \right] \cdot 0.9 \left[\frac{\text{pezzi buoni}}{\text{pezzi}} \right] \\ &= 2.043.241\text{pezzi buoni/mese} \end{aligned}$$

(2)

Calcolo energia spesa per ogni colpo considerando forza pari al 75% della forza massima

$$E_{\text{colpo}} = 0.75 \cdot F_{\max} \cdot t \cdot \lambda / \eta = 0.75 \cdot 3500E3 \cdot 2/1000 \cdot 0.45/0.8 = 2953.1J/\text{colpo}$$

$$\begin{aligned} E_{\text{giorno def}} &= \left(2 \left[\frac{\text{turni}}{\text{giorno}} \right] \cdot 8 \left[\frac{\text{ore}}{\text{turno}} \right] \cdot 3600 \left[\frac{s}{\text{ore}} \right] - 50 \left[\frac{\text{min}}{\text{giorno}} \right] \cdot 60 \left[\frac{s}{\text{min}} \right] \right) \cdot 0.33 \left[\frac{\text{colpi}}{s} \right] \cdot E_{\text{colpo}} \left[\frac{J}{\text{colpo}} \right] \\ &= 42.567525MJ = 14.8kWh \end{aligned}$$

(3)

$$F = 1.33 \frac{R_m \cdot b \cdot t^2}{D_a} = 1.33 \frac{650 \cdot 1000 \cdot 2^2}{66} = 52.4kN$$

Soluzione quesito 3

(1)

Calcolo angolo in presa

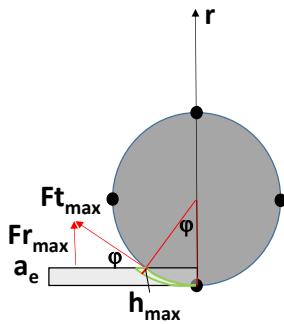
$$\varphi_2 = \arccos\left(\frac{\frac{D}{2} - a_{e2}}{\frac{D}{2}}\right) = \arccos\left(\frac{10 - 2}{10}\right) = 36.9^\circ$$

Calcolo numero medio di taglienti in presa

$$Z = \frac{\varphi_2}{(360/Z_2)} = \frac{36.9}{(360/4)} = 0.41$$

Si deve utilizzare approccio forza massima

Visto la tipologia di lavorazione (concordanza) si ha il massimo spessore di truciolo in ingresso



$$Ft_{max} = K_c(h_{max2}) \cdot h_{max2} \cdot a_p$$

Calcoliamo lo spessore massimo

$$h_{max} = f_{z2} \cdot \sin\varphi = 0.1 \cdot \sin 36.9 = 0.06 \text{ mm}$$

Calcolo della pressione di taglio specifica per le condizioni d'interesse

$$K_c(h_{max}) = K_{cs} \cdot h_{max2}^{-x} = K_{c0.4} \cdot 0.4^x \cdot h_{max2}^{-x} = 550 \cdot 0.4^{0.28} \cdot 0.06^{-0.28} = 425.5 \cdot 0.06^{-0.28} = 935.5 \text{ MPa}$$

Quindi

$$Ft_{max2} = K_c(h_{max2}) \cdot h_{max2} \cdot a_p = 935.5 \cdot 0.06 \cdot 30 = 1683.9 \text{ N}$$

Calcolo della coppia di taglio massima

$$C_{max2} = Ft_{max2} \cdot \frac{D}{2} = 1683.9 \cdot \frac{10}{1000} = 16.8 \text{ Nm}$$

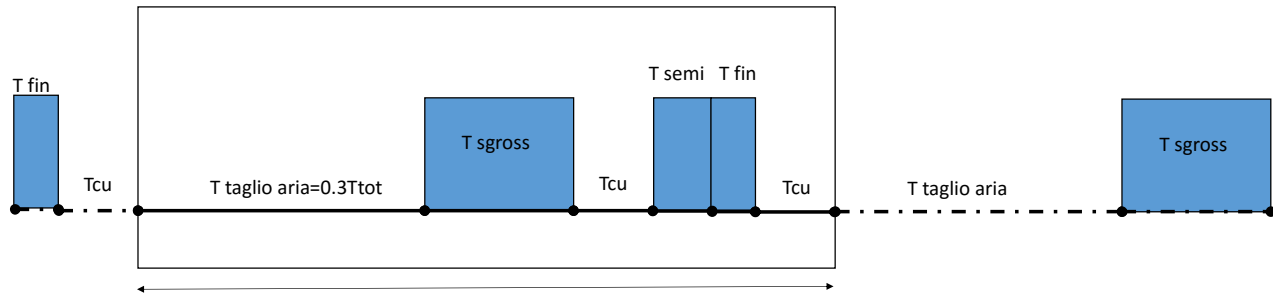
$$C_{mandrino} = \frac{C_{max2}}{\eta} = \frac{16.8}{0.85} = 19.8 \text{ Nm}$$

Calcolo della potenza massima

$$P_{mandrino} = C_{mandrino} \cdot \omega = C_{mandrino} \cdot \left(\frac{V_c}{\pi D_2}\right) \cdot \frac{2\pi}{60} = 19.8 \cdot \left(\frac{1000}{\pi \cdot 0.02}\right) \cdot \frac{2\pi}{60} = 19.8 \cdot 15915.5 \cdot \frac{2\pi}{60} = 19.8 \cdot 1666.7 = 33 \text{ kW}$$

(2)

$$T_{tot} = 0.3T_{tot} + \frac{V_{sgros}}{Q_1} + \frac{V_{semi-finitura}}{Q_2} + \frac{V_{finitura}}{Q_3} + 2T_{cu}$$



Calcolo dei volumi di pertinenza delle varie fasi

$$V = 487000 \text{ mm}^3$$

$$V_{semi-finit} = 0.074 \cdot 487000 = 36038 \text{ mm}^3$$

$$V_{finitura} = 0.011 \cdot 487000 = 5357 \text{ mm}^3$$

$$V_{sgros} = V - V_{semi-finitur} - V_{finitura} = 487139.3 - 36038 - 5357 = 445605 \text{ mm}^3$$

Calcolo dei tassi di rimozione volumetrici. Per l'operazione di semi-finitura e finitura considero le relative condizioni di taglio:

$$Q_2 = a_{e2} \cdot a_p \cdot n \cdot f_{z2} \cdot Z_2 = 2 \cdot 30 \cdot 15915.5 \cdot 0.1 \cdot 4 = 381972 \text{ mm}^3/\text{min}$$

$$Q_3 = a_{e3} \cdot a_p \cdot V_{f3} = 0.3 \cdot 30 \cdot 3000 = 27000 \text{ mm}^3/\text{min}$$

E quindi si può procedere con il calcolo dei tempi:

$$T_{tot} = (1/0.7) \left(\frac{445605}{900000} + \frac{36038}{381972} + \frac{5357}{27000} + 2 \cdot 30/60 \right) = 2.26 \text{ min} = 153.4 \text{ s}$$

(3)

$$T = \frac{n \sqrt{C}}{\sqrt{v_c}} = \frac{0.35 \sqrt{2100}}{\sqrt{1000}} = 8.3 \text{ min}$$

$$\Delta T_{sgros} = \frac{V_{sgros}}{Q_1} = \frac{445605 \text{ mm}^3}{900000 \text{ mm}^3/\text{min}} = 0.5 \text{ min}$$

$$N_{pezzi} = \frac{T}{\Delta T_{sgros}} = \frac{8.3 \text{ min}}{0.5 \text{ min/pezzo}} = 16 \text{ pezzi}$$