

Attenzione alle tolleranze!

Con questo articolo si vuole iniziare una raccolta di alcune regole di base per assegnare correttamente **le tolleranze in un disegno tecnico** in vista delle lavorazioni meccaniche

■ **Massimiliano Annoni**

42 **MAGGIO 2025**

Prendiamo come riferimento un ottimo testo universitario, "Tecnologia Meccanica e Studi di Fabbricazione", di F. Giusti e M. Santochi dell'Università di Pisa, da cui prendiamo le indicazioni contenute in questo articolo. Nel disegno di un elemento, le quote nominali che non sono legate da alcuna relazione algebrica si dicono indipendenti. Una quota nominale che possa essere dedotta da una relazione algebrica che lega due o più quote indipendenti si dice risultante.

Facendo riferimento alla Figura 1, risulta:

- $\varnothing A$, $\varnothing B$, $\varnothing C$: quote indipendenti
- A, B: quote indipendenti
- C: quota risultante dalle quote A e B: $C = A - B$

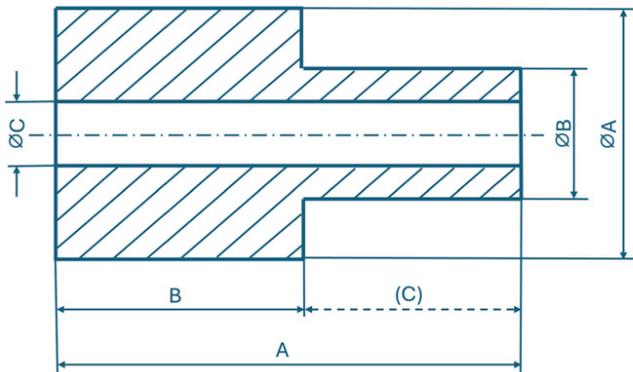


Figura 1: Quote indipendenti (A e B) e quota risultante

Prima regola per l'attribuzione delle tolleranze

La prima regola delle lavorazioni meccaniche per l'attribuzione delle tolleranze discende dalle definizioni precedentemente fornite.

Nel disegno di un elemento, le quote con tolleranza devono essere sempre indipendenti. Non possono cioè essere legate da relazioni algebriche dirette. Facendo riferimento all'esempio della Figura 2, è evidente che la quota A è la risultante di una serie di quote tollerate e precisamente delle due quote B_{-0}^{+e} e C_{-0}^{+e} , e sarà compresa tra un valore A_{max} dato da:

$$A_{max} = B_{max} + C_{max} = B + e + C + e = (B + C) + 2e = A + 2e$$

e un valore A_{min} dato da:

$$A_{min} = B_{min} + C_{min} = B + C = A$$

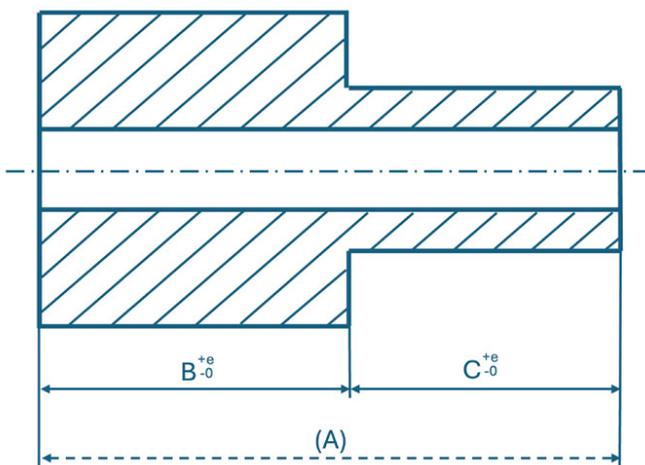


Figura 2: Quote indipendenti (B e C) e quota risultante A

In base alle tolleranze assegnate alle due quote B e C, si ha che la quota risultante A può assumere qualsiasi valore compreso tra $A - 0$ e $A + 2e$, con una dispersione di $2e$. Sarebbe un errore grossolano affermare, in base alle equazioni precedenti che $2e$ è la tolleranza della quota A e scrivere di conseguenza. Per dimostrare quanto sopra affermato, si supponga per un istante che la relazione precedente esprima effettivamente la tolleranza della quota A e si supponga di realizzare, con la lavorazione, la dimensione effettiva $A + 2e$. Si supponga anche di realizzare la quota B al limite inferiore della sua tolleranza $B - 0$.

La quota C (che ora diviene una risultante) assume allora il valore effettivo:

$$C_{eff} = A + 2e - B = A - B + 2e = C + 2e$$

Che risulta fuori dal campo di tolleranza ad esso assegnato nella Figura 2. Ciò conferma quanto affermato nella prima regola delle lavorazioni meccaniche per l'attribuzione delle tolleranze, cioè che la quota tollerata A in Figura 2, essendo una risultante, deve essere eliminata.

Seconda regola delle lavorazioni meccaniche per l'attribuzione delle tolleranze

La quota di fabbricazione di una superficie lavorata è definita dalla posizione del tagliente (o dei taglienti) dell'utensile rispetto alla relativa superficie di riferimento.

Si supponga, ad esempio, di volere realizzare le due scanalature f g h e c d e, indicate in Figura 3, su di una fresatrice orizzontale utilizzando una fresa a disco. Questo caso è tratto da un'applicazione del passato basata su una fresatrice orizzontale, ma mantiene significato generale.

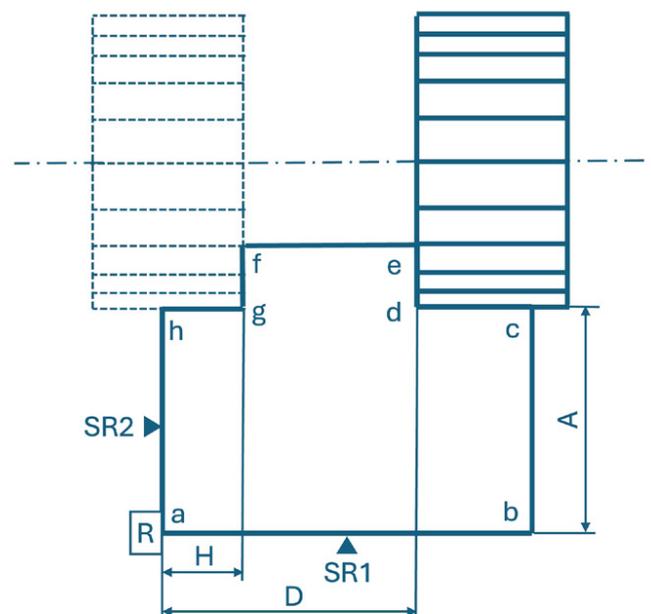


Figura 3: Quotatura di fabbricazione

Dalla figura risulta evidente che la quota lavorata A è definita dal posizionamento dei taglienti periferici della fresa rispetto alla superficie di riferimento SR1 (superficie a b del pezzo che poggia sulla tavola della fresatrice). La quota lavorata H è invece definita dal posizionamento dei taglienti laterali destri della fresa rispetto alla superficie di riferimento SR2 (superficie a h del pezzo che poggia contro la piastra rettificata R riferita alle scanalature a T della tavola della fresatrice).

La quota lavorata D è infine definita dal posizionamento dei taglienti laterali sinistri della fresa rispetto alla stessa superficie di riferimento SR2. Una terza superficie di riferimento SR3 nella terza direzione è inutile, essendo “passanti” le due scanalature.

Volendo invece realizzare le due scanalature contemporaneamente con una coppia di frese a disco (Figura 4) montate sullo stesso albero, è necessario modificare la quotatura di fabbricazione del pezzo, come risulta dalla stessa Figura 4.

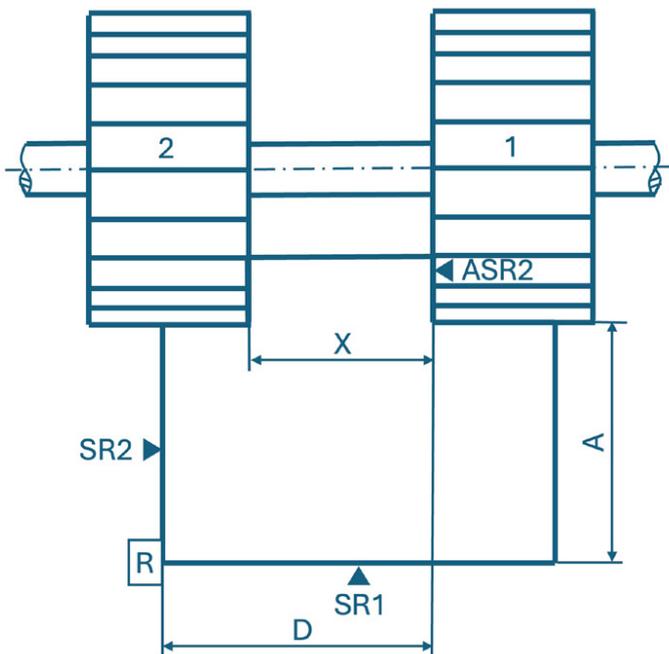
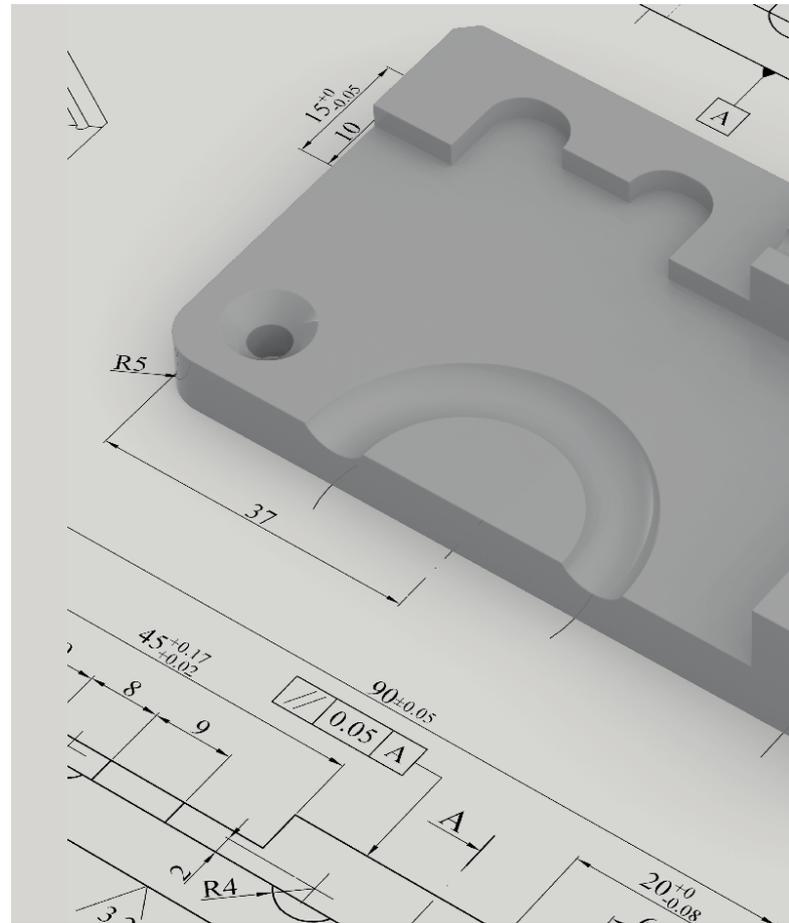


Figura 4: Quotatura di fabbricazione per la realizzazione contemporanea delle due scanalature

La quota lavorata A non è modificata; per essa valgono quindi le considerazioni fatte precedentemente. Anche la quota lavorata D è la stessa come in Figura 3, ed è quindi definita dal posizionamento dei taglienti laterali interni della fresa 1 rispetto alla superficie di riferimento SR2.

La lavorazione contemporanea delle due scanalature richiede però anche una preventiva regolazione, sull'albero porta-frese, della distanza delle frese 1 e 2 al valore X (vedi ancora Figura 4); è infatti la “quota lavorata” X che consente di realizzare, con la fresa 2, la scanalatura di sinistra. La quota X è definita dal posizionamento dei taglienti interni della fresa 2 rispetto ai taglienti interni della fresa 1 che assumono, in questo caso, la



funzione di superficie di riferimento ausiliaria ASR2.

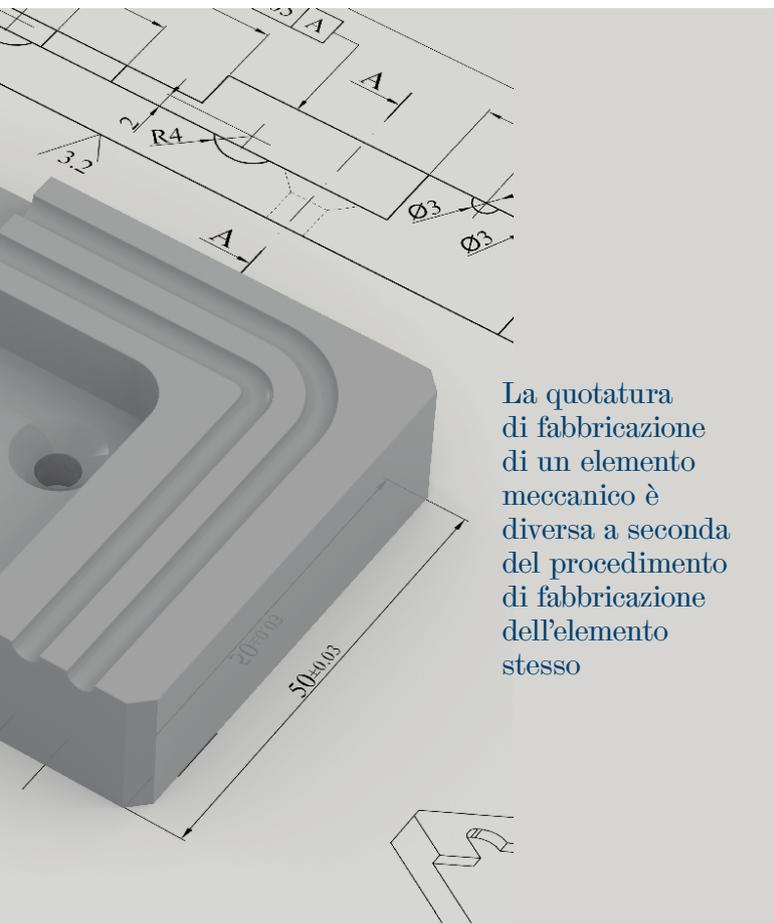
Si è dimostrata la validità della seconda regola delle lavorazioni meccaniche per l'attribuzione delle tolleranze; si è anche dimostrato che la quotatura di fabbricazione di un elemento meccanico è diversa a seconda del procedimento di fabbricazione dell'elemento stesso.

L'esempio descritto è adatto a un azzeramento manuale “a sfioro”, ma vale, con opportune modifiche, anche nel caso dell'utilizzo di un tool presetter a bordo della fresatrice.

Il caso delle due frese montate sullo stesso albero invece trova applicazione nel caso di utensili speciali.

Terza regola delle lavorazioni meccaniche per l'attribuzione delle tolleranze

La seconda regola delle lavorazioni meccaniche si riferisce alla sola quotatura di fabbricazione e non dà alcuna indicazione relativa alla quotatura di definizione (anche detta funzionale) e al controllo, del quale ci occupiamo con la terza regola. Una quota di fabbricazione deve essere verificata utilizzando gli stessi riferimenti di lavorazione: riferimento sul pezzo e riferimento in corrispondenza della lavorazione effettuata dai taglienti (o dal tagliente) dell'utensile (Figura 5).



La terza regola delle lavorazioni meccaniche sembra in contrasto con il fatto che le quote funzionali (o di definizione) fanno fede in sede di collaudo.

È questo un argomento di fondamentale importanza per gli studi di fabbricazione del quale si occupa la quarta regola delle lavorazioni meccaniche per l'attribuzione delle tolleranze e sul quale sarà necessario ritornare quando tratteremo l'argomento del "trasferimento di quote".

Quarta regola delle lavorazioni meccaniche per l'attribuzione delle tolleranze

Si deve cercare di assicurare, nei limiti del possibile, la coincidenza della quotatura di definizione con quella di fabbricazione e con quella di controllo.

Quando ciò non accade, si deve effettuare un "trasferimento di quota", con lo svantaggio che, come vedremo, in questo modo si genera una tolleranza più stretta quindi più difficile da rispettare.

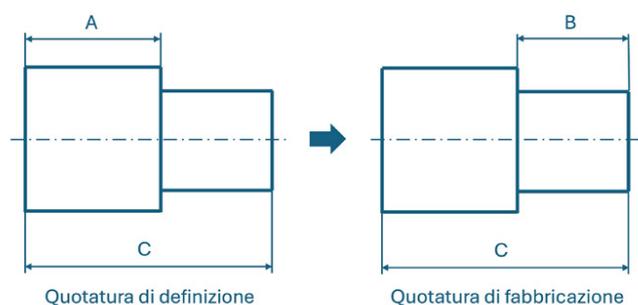


Figura 6: Modifica della quotatura del disegno per scopi di fabbricazione (trasferimento di quota)

Consideriamo il caso rappresentato in Figura 6 in cui, per esigenze di fabbricazione, si è deciso di modificare la quotatura del disegno. Se consideriamo i valori estremi che la quota A può assumere, possiamo scrivere:

$$A_{\max} = C_{\max} - B_{\min} \quad (\text{Equazioni 1})$$

$$A_{\min} = C_{\min} - B_{\max}$$

Sottraendo membro a membro otteniamo:

$$t_A = t_C + t_B$$

dove t rappresenta la tolleranza. Possiamo anche scrivere:

$$t_B = t_A - t_C$$

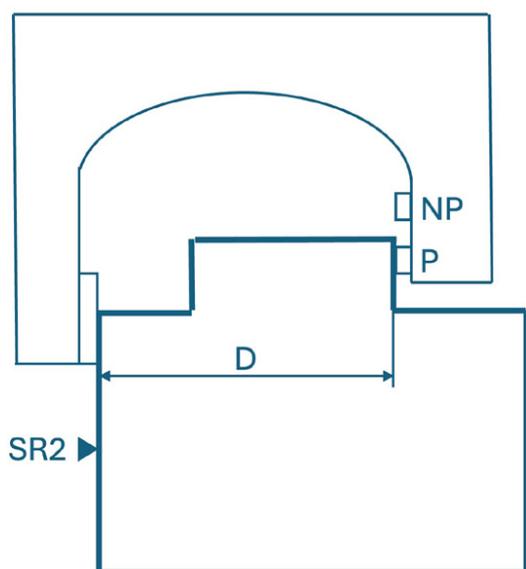


Figura 5: Verifica della quota lavorata D con calibro fisso passa-non passa

Questo significa che:

- Se $t_A > t_C$, il trasferimento di quota è possibile con un incremento dei costi di produzione
- Se $t_A = t_C$, il trasferimento di quota è al limite delle possibilità (tolleranza di B nulla)
- Se $t_A < t_C$, il trasferimento di quota è impossibile (tolleranza di B negativa)

In altre parole, non è possibile ottenere indirettamente una quota sul pezzo (la quota A nel nostro caso) avente tolleranza più stretta, nel disegno di definizione, rispetto alla tolleranza della feature che consideriamo per la fabbricazione del componente (la C nel nostro caso). Il fatto che la tolleranza di C sia più lasca della tolleranza di A ci impedisce di ottenere l'accuratezza richiesta per A mediante l'uso della quota C e della quota B in fabbricazione.

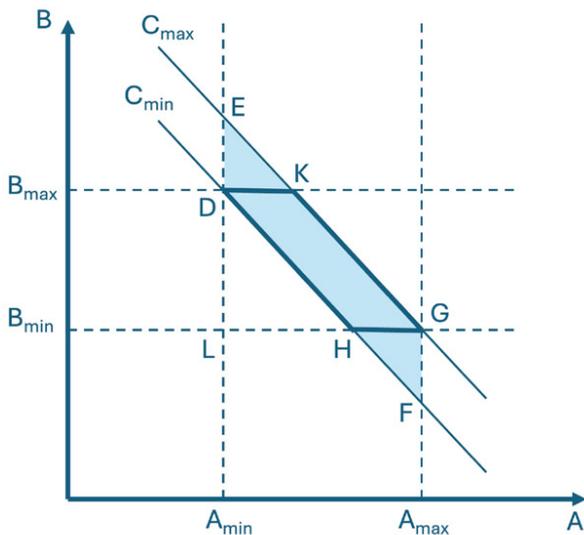


Figura 7: Modifica della quotatura del disegno per scopi di fabbricazione. L'area azzurra rappresenta i pezzi accettabili secondo la quotatura di definizione mentre l'area DKGH rappresenta i pezzi accettabili a valle del trasferimento di quota

Il grafico di Figura 7 ci aiuta a comprendere il fatto che trasferendo le quote siamo costretti a scartare pezzi che usando le quote di definizione avremo accettato.

Le linee diagonali nel grafico si ottengono dalle seguenti equazioni:

$$B = C_{\min} - A \quad (\text{Equazioni 2})$$

$$B = C_{\max} - A$$

Considerando le equazioni 1, abbiamo che:

$$B_{\max} = C_{\min} - A_{\min}$$

In realtà, la seconda delle equazioni 2 permetterebbe valori superiori di B rispetto a B_{\max} , ma il trasferimento di quota ci impedisce di considerare validi i pezzi con quota B compresa tra i punti D e E del grafico di Figura 7 in quanto ci vincola a quanto ottenuto nelle equazioni 1.

La stessa situazione si genera per i valori di B compresi tra il punto F e il punto G del grafico di Figura 7.

Il trasferimento di quota provoca un aumento dei pezzi scartati perché non conformi (quota B fuori tolleranza) anche se conformi alle specifiche funzionali (quote A e C in tolleranza). Anche quando possibile, il trasferimento di quota provoca un innalzamento dei costi. Per questo si dovrebbe curare il fatto che la quotatura di definizione (o funzionale) coincida con la quotatura di fabbricazione e con la quotatura di controllo.

Effetto del numero di parti di un assieme sulle tolleranze

L'ultimo caso considerato in questo articolo mostra l'effetto dell'attribuzione di tolleranze alle feature di un assieme per garantire il rispetto della tolleranza richiesta per una feature che le comprende.

Consideriamo il caso di Figura 8 in cui, a sinistra, abbiamo un componente di cui è quotata e tollerata l'altezza. Spostandoci al centro e considerando poi il disegno a destra, si divide il componente prima in due parti e poi in quattro parti. Per fare in modo che, sommando le dimensioni dei due componenti del caso centrale, vengano rispettate le tolleranze dell'assieme, la tolleranza di ognuno deve essere dimezzata. Allo stesso modo, nel caso a destra, la tolleranza di ogni singola sottoparte diventa un quarto di quella dell'assieme.

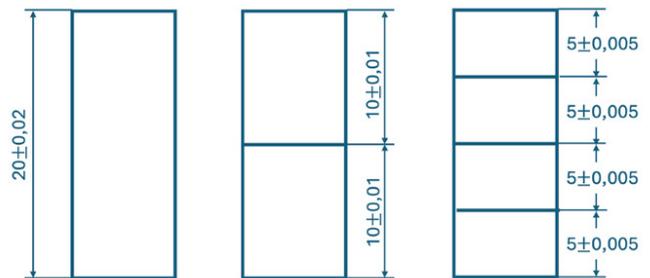


Figura 8: Effetto della suddivisione di un assieme in più componenti (caso tratto dal profilo LinkedIn di R. Dean Odell)

Questo esempio ci mostra come ridurre il numero di parti di cui si compone un assieme aumenta la tolleranza disponibile per le parti dell'assieme quindi ne permette una più agevole fabbricazione. Questa regola è molto semplice e va tenuta in considerazione quando si progettano degli assieme. Alcuni processi di lavorazione come l'additive manufacturing possono aiutarci in tal senso. ■

Riferimenti bibliografici

- F. Giusti e M. Santochi, "Tecnologia Meccanica e Studi di Fabbricazione", Casa Editrice Ambrosiana
- R. Dean Odell, <https://www.linkedin.com/in/r-dean-odell-4164b2234/>