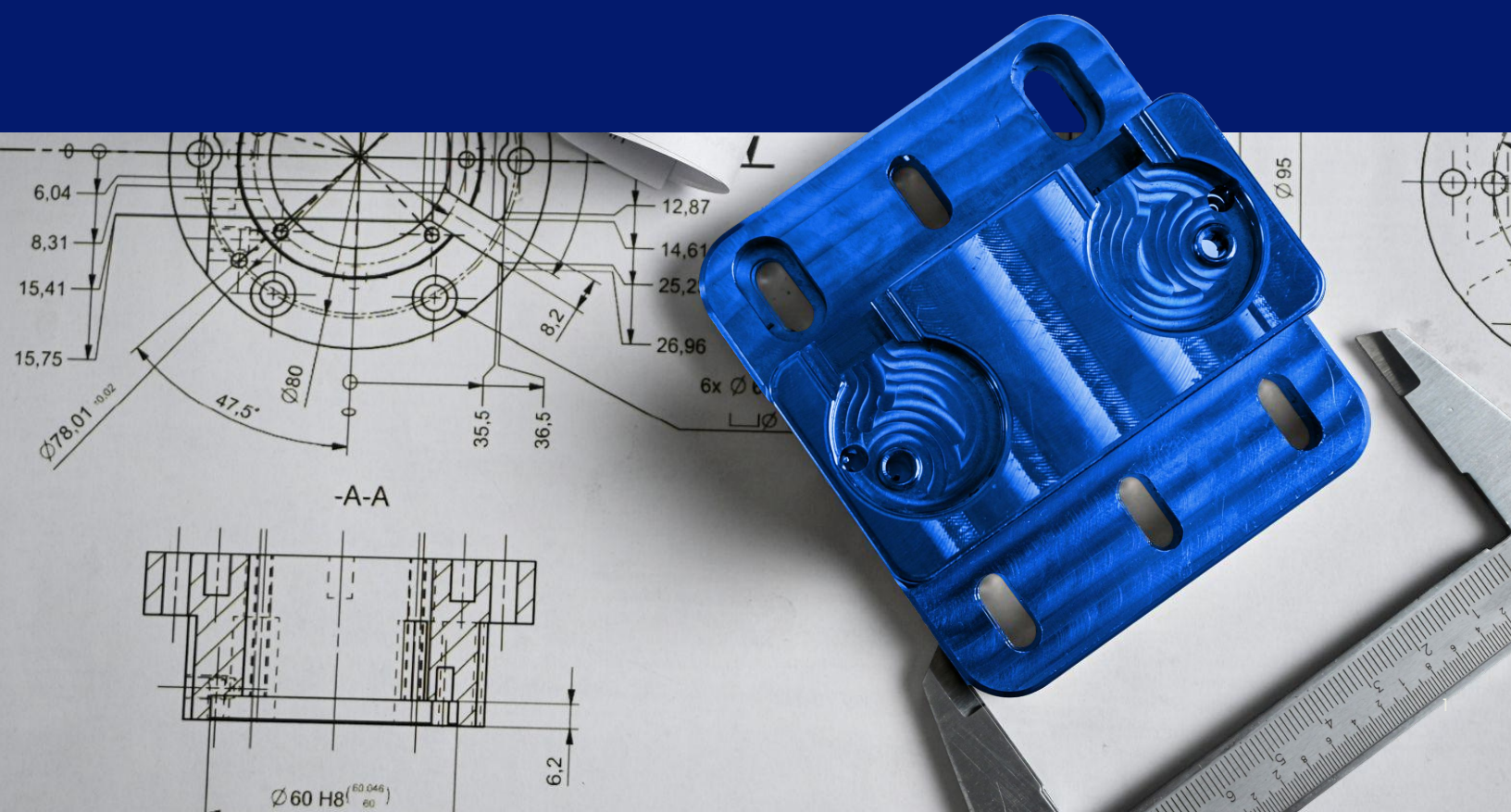
Xometry

La guida dell'ingegnere al Design per la Produzione (DFM)

Basta riprogettare.
Inizia a produrre.

Realizzato dal team di Xometry



Sommario

L'alto costo di ignorare il DFM 03

Perché il DFM è importante: la regola del 10
L'ecosistema DFX: quali sono le differenze?
I colli di bottiglia di una cattiva progettazione

I 4 principi fondamentali del DFM 06

Principio 1: Falla semplice
Guida alla selezione per l'assemblaggio e il fissaggio
Principio 2: Standardizzazione
Principio 3: Tolleranza intelligente
Il moltiplicatore del costo di tolleranza standard
Principio 4: Processabilità del materiale
Tabella di ripartizione dei fattori di costo

Tabelle di controllo DFM specifiche per il processo e finiture 13

Matrice di confronto dei processi produttivi
Design per la produzione (DFM) per la lavorazione CNC
Progettazione per la lavorazione di lamiere
Progettazione per i processi ad iniezione (DFM)
Progettazione per i processi additivi (DFM)
Tavolo di prova per la finitura superficiale e la verniciatura

Tempistiche, team e strumenti 20

DFM in azione: da 120 € a 45 € per componente
Quando avviene effettivamente il DFM (Design for Manufacturing)?
Abbattiamo i compartimenti stagni: chi fa cosa?
Bilanciare la funzione con la realtà
Progettazione per la fabbricazione assistita da software
La lista di controllo "Prima di esportare"
Risorse aggiuntive e servizi di Xometry

SEZIONE 1

Il costo elevato di ignorare il DFM

Perché il DFM è importante: la regola del 10

Nello sviluppo di un prodotto, correggere un difetto di progettazione diventa esponenzialmente più costoso quanto più tardi viene scoperto. Questo è noto nel settore come la **"Regola del 10"**.

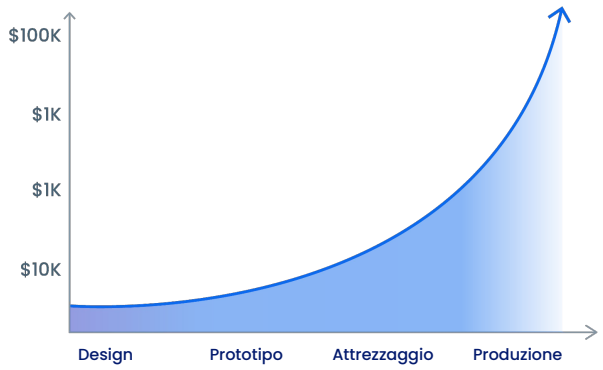
Quando la producibilità del prodotto viene analizzata dopo che il progetto è stato definito, non si perde solo tempo, ma si brucia il budget. Ad esempio:

- **Fase di progettazione:** un errore geometrico identificato durante la revisione finale del CAD costa **100 €** per essere corretto (richiede pochi clic del mouse e un aggiornamento del file).
- **Fase di prototipazione:** scoprire lo stesso errore in seguito, durante la costruzione del prototipo, costa **1.000 €** (richiede un CAD rivisto, una nuova configurazione della macchina, scarti di materiale, nuovi prototipi e comporta ritardi nella pianificazione).
- **Fase di produzione:** scoprire l'errore dopo che gli stampi sono stati realizzati o dopo l'inizio della produzione su vasta scala costa oltre **10.000 €** (stampi scartati, interruzioni della catena di fornitura e richiamo tecnico).

L'obiettivo del DFM (Design for Manufacturability, Design per la Produzione) è semplice: mantenere il team di ingegneri nella **"Zona dei 100 €"** identificando i problemi e ottimizzando la progettazione fin dalle prime fasi. Sfruttando strumenti come il **Motore di quotazione istantanea Xometry®**, per ottenere un feedback DFM automatizzato in pochi secondi, è possibile identificare i problemi prima dell'inizio della produzione.

L'ecosistema DFX: Quali sono le differenze?

Il DfM fa parte della più ampia metodologia di sviluppo **Design for X (DFX)**.

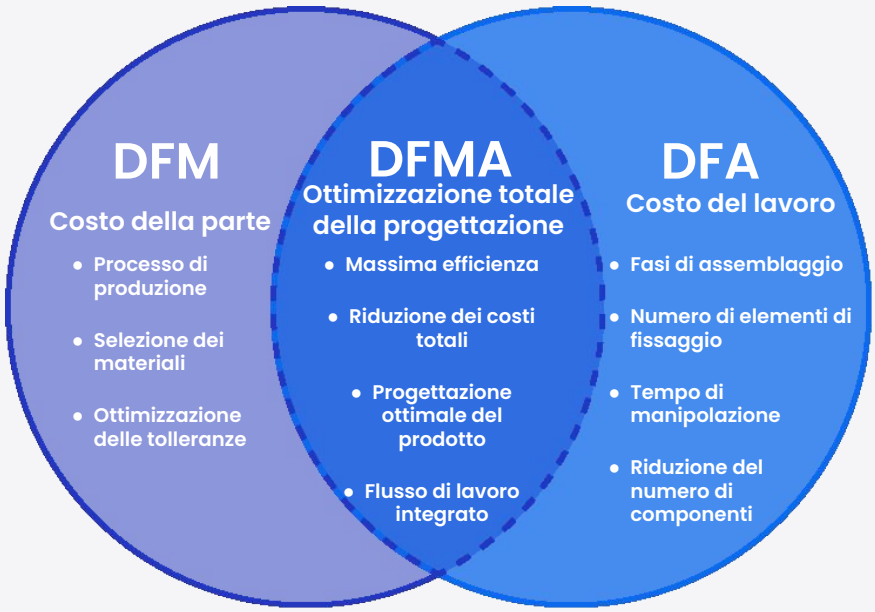


La distinzione fondamentale da comprendere è la seguente: il **DFM** ottimizza il singolo componente: la sua geometria, il materiale e le caratteristiche, per renderlo più veloce ed economico da produrre

- **Il DFA (Design for Assembly)** si concentra sul livello di sistema, riducendo il numero di componenti ed eliminando le fasi di fissaggio, in modo che gli assemblaggi avvengano rapidamente in fabbrica.
- L'approccio combinato moderno, **DfMA** (Design for Assembly), considera entrambi come un'unica variabile. Questa guida si concentra principalmente sul DFM, ma ogni principio qui presentato ha un impatto a valle sui tempi di assemblaggio e sul costo totale del prodotto.

Design per la produzione e assemblaggio

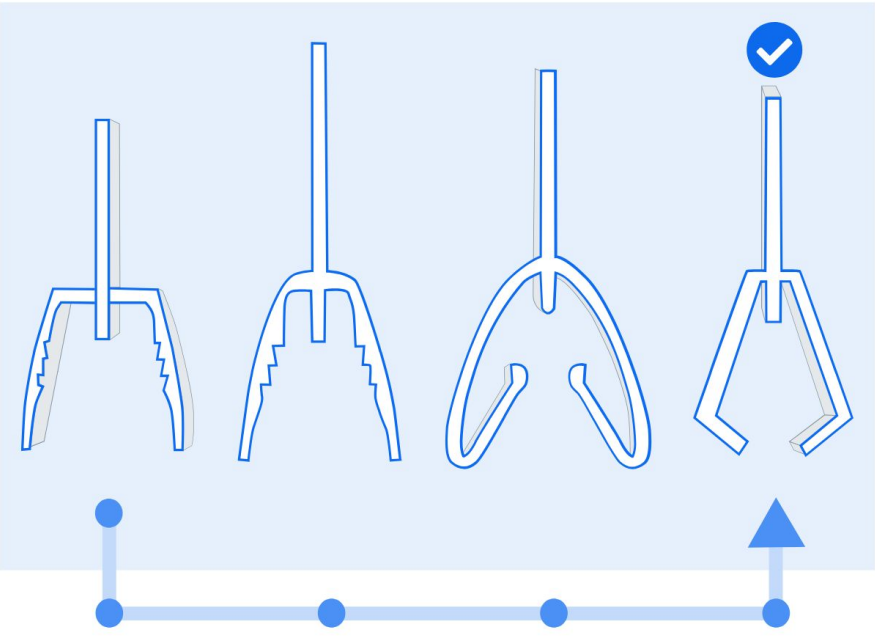
Ottimizzazione totale del design



Il collo di bottiglia in una cattiva progettazione

Progettare in un ambiente isolato, senza consultare il reparto produttivo, crea un effetto domino di problemi alla produzione. Ignorare i principi della progettazione finalizzata alla producibilità (DFM) porta in genere a tre principali colli di bottiglia:

1. **Problemi di qualità catastrofici:** progettare un componente in plastica con variazioni estreme dello spessore delle pareti comporta un raffreddamento non uniforme. Il risultato? Alti tassi di ritiri, gravi difetti di deformazione e lotti scartati durante lo stampaggio a iniezione.
2. **Ritardi di lancio (cicli ECO):** se un componente non può essere lavorato come da progettazione, il produttore emetterà un ordine di modifica ingegneristica (ECO). Il progetto viene rimandato indietro, costringendo a molteplici cicli di validazione che compromettono il time-to-market.
3. **Costi di produzione nascosti:** specificare un passo di filettatura personalizzato o una tolleranza non funzionale arbitrariamente stretta obbliga l'operatore macchina ad acquistare utensili personalizzati e a far funzionare il sistema a velocità inferiore. Questi requisiti comportano un sovrapprezzo che il prodotto potrebbe non necessitare realmente.gar nicht benötigt.



SEZIONE 2

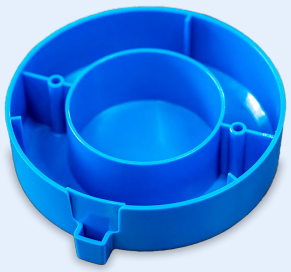
I 4 principi fondamentali del DFM

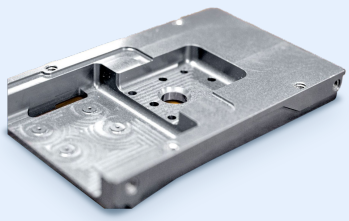
Principio 1: Falla semplice

L'obiettivo fondamentale della progettazione per la produzione (**Design for Manufacturing**) è semplificare la geometria. Ogni singolo componente aggiunto ad un assieme aumenta il rischio sulla catena di fornitura, il carico di lavoro relativo alla documentazione ed i tempi di assemblaggio.

Come progettare per la semplicità:

- **Combinare le funzioni:** una staffa strutturale può fungere anche da dissipatore di calore o da canale per il passaggio dei cavi? In caso affermativo, unificare queste funzioni in un unico componente lavorato o fuso.
- **Eliminare i fissaggi:** i serraggi richiedono manodopera. Utilizzare incastri a scatto, cerniere flessibili o linguette ad incastro per gli involucri in plastica al posto di inserti filettati e viti.
- **Ridurre al minimo i tempi di attrezzaggio:** per la **lavorazione CNC**, progettare elementi che possano essere tagliati con un'unica impostazione (un solo orientamento). Costringere l'operatore a capovolgere manualmente il pezzo più volte per realizzare elementi angolati non necessari potrebbe aumentare drasticamente il costo unitario.

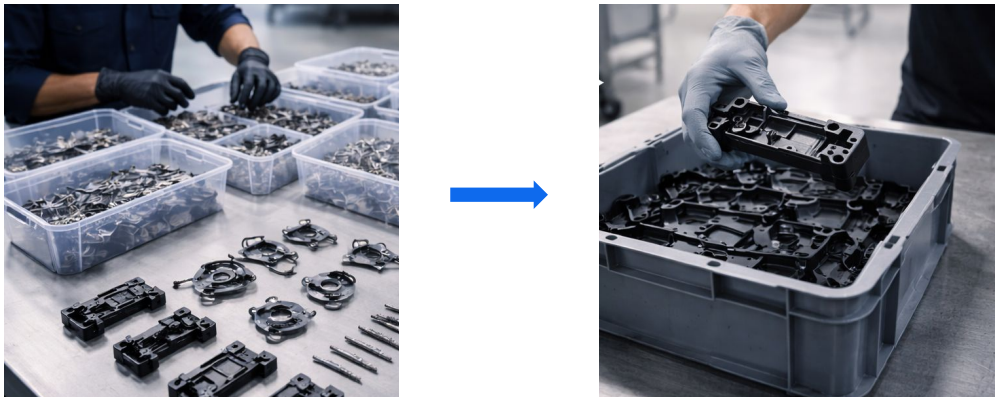




Guida alla selezione per l'assemblaggio ed il fissaggio

Per ridurre il numero di componenti e la manodopera necessaria all'assemblaggio, i progettisti dovrebbero evitare, ove possibile, di progettare assiemi che richiedono elementi di fissaggio filettati, soprattutto se questi sono rari o non standardizzati. La tabella seguente confronta diversi metodi di assemblaggio ed il loro impatto sull'impegno progettuale e sui costi di produzione.

Metodo di assemblaggio	Impegno progettuale iniziale	Costo della manodopera di assemblaggi	Migliore applicazione e realtà DFM
Fori filettati personalizzati	Basso	Alto (Maschiatura + attrezzaggio)	**Da evitare a meno che non sia assolutamente necessario.** Le forme personalizzate aumentano i tempi di lavorazione e il rischio di rottura degli utensili**.**
Fissaggi PEM (a pressione)	Medio(Fori di dimensionamento)	Basso (pressa automatica)	**Ideale per la lamiera.** Molto più economico e resistente rispetto alla filettatura di lamiere sottili.
Incastri (mensola)	Alto (Calcolo della flessibilità)	Zero	**Ideale per contenitori in plastica.** Elimina la necessità di componenti hardware, ma richiede stampi ad iniezione di alta precisione..
Saldatura a ultrasuoni	Alto (Progettazione dei sonotrodi)	Basso (Tempo ciclo rapido)	**deale per incollaggi permanenti di materie plastiche.** Genera sigillature a tenuta stagna senza adesivi né viti.

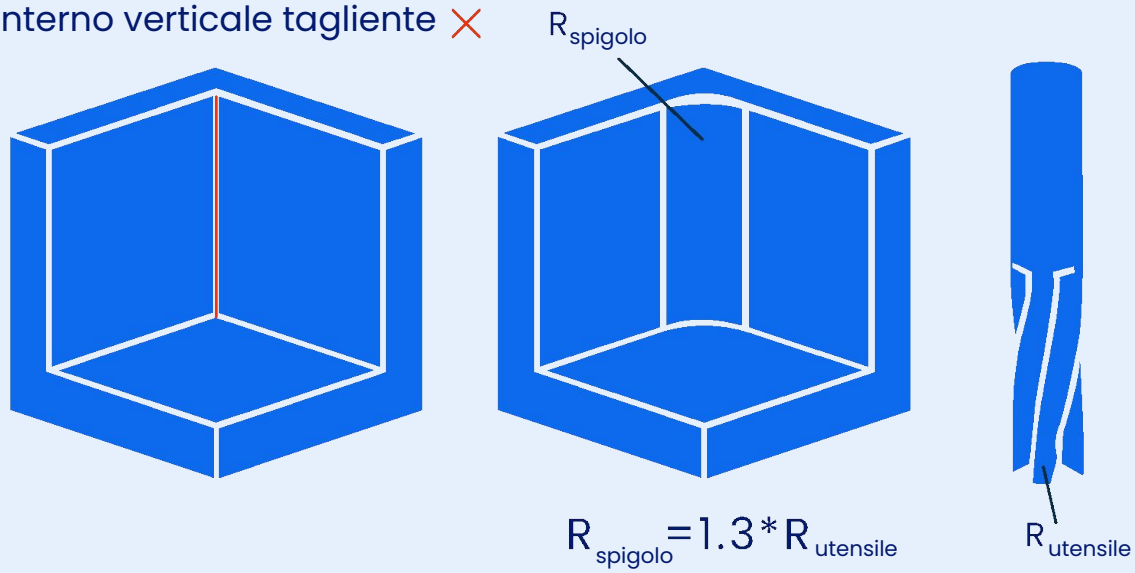


Principio 2: Standardizzazione

La produzione di componenti personalizzati è intrinsecamente costosa e richiede molto tempo. L'utilizzo di componenti, profili di utensili e dimensioni dei materiali standardizzati riduce significativamente sia i costi di produzione che i tempi di consegna.

- **Raggi standard:** Non progettare un raggio d'angolo interno arbitrario come 3,14 mm. Dimensionare i raggi interni in modo che siano leggermente più grandi delle dimensioni standard delle frese (ad esempio, usare un raggio di 3,5 mm in modo che un utensile standard da 6 mm possa tagliare l'angolo senza vibrazioni).
- **Spessori della lamiera:** Non specificare mai uno spessore di lamiera personalizzato. Progettare sempre in base agli spessori standard della lamiera (ad esempio, calibro 16).
- **Filettature:** Non specificare mai un passo di filettatura personalizzato se una filettatura standard, come M4x0.7 o 1/4-20, è sufficiente. Attenersi agli standard di meccanica utilizzati a livello globale.

Angolo interno verticale tagliente ✕

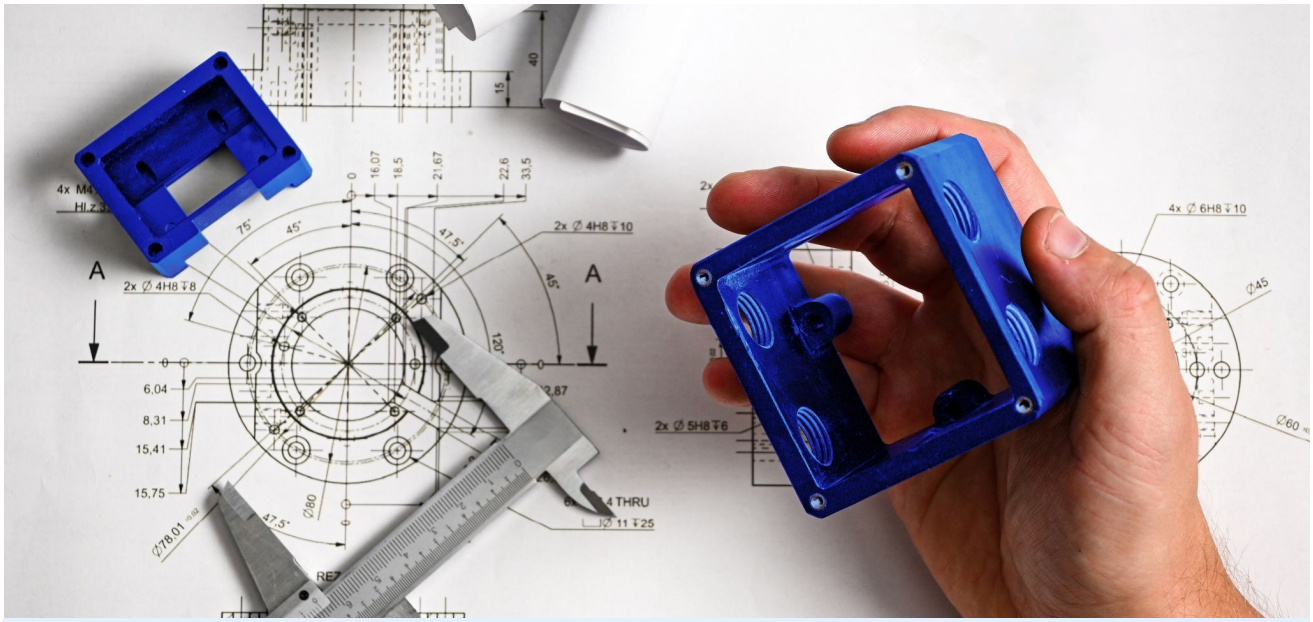


Principio 3: Tolleranza intelligente

Le tolleranze hanno il solo scopo di garantire un corretto accoppiamento tra i componenti. Tuttavia, gli ingegneri spesso cadono nella trappola di applicare "tolleranze generiche" (ad esempio, ±0,025 mm sull'intera parte) per abitudine o per timore di errori.

La regola d'oro delle tolleranze: specificare sempre la tolleranza più ampia possibile che garantisca comunque la piena funzionalità meccanica.

- Applicare **tolleranze geometriche e dimensionali** (GD&T) precise solo alle superfici di accoppiamento critiche, agli accoppiamenti dei cuscinetti o alle scanalature di tenuta.
- Lasciare le lavorazioni non critiche alle tolleranze standard.

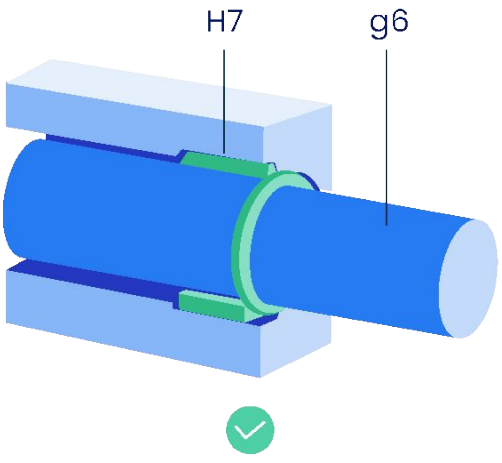


Risorsa in evidenza: **Calcolatore di limiti e accoppiamenti di Xometry Pro**: utilizzate questo strumento per garantire il corretto accoppiamento dei componenti con tolleranze precise e per verificare rapidamente gli accoppiamenti meccanici ISO 286.

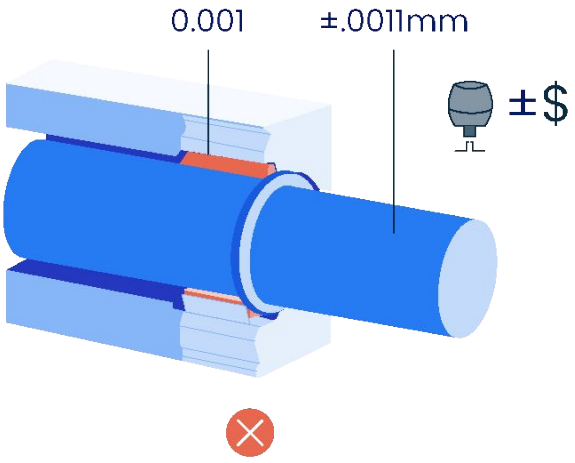
Il moltiplicatore di costo della tolleranza standard

Le tolleranze ristrette possiedono un impatto enorme e non lineare sui costi. Richiedono velocità di avanzamento della macchina più basse, frequenti cambi utensile e un'intensa ispezione manuale di controllo qualità.

Range di tolleranza	Metodo di produzione richiesto	Moltiplicatore del costo stimato	La realtà del DFM
Standard (± 0,125 mm)	Fresatura/tornitura CNC standard	**1.0x (linea base)**	Velocità di avanzamento elevate, usura minima degli utensili, controlli di qualità standard.
Preciso (± 0.050 mm)	Fresatura CNC di precisione (passate di finitura)	**1.5x - 2.0x**	Richiede utensili nuovi, velocità di taglio più lente e controllo della temperatura ambientale.
Estremo (± 0.010 mm)	Rettifica, levigatura o elettroerosione a filo	**3.0x -5.0x+**	Non è possibile ottenere questo risultato in modo affidabile con una fresa standard. Richiede costosi processi secondari.



Realistico



Tolleranza eccessiva

Principio 4: Processabilità del materiale

La scelta dei materiali è un fattore chiave per i costi di produzione e i tempi di ciclo. L'errore più comune è valutare i materiali solo in base alle loro prestazioni nell'uso finale — "Ho bisogno di resistenza, quindi userò il titanio" — senza considerare come quel materiale si comporta effettivamente sotto un utensile da taglio, in una pressa piegatrice o all'interno di uno stampo.



La regola d'oro per la scelta dei materiali: valutare sempre il costo totale di un componente, non solo il prezzo della materia prima.

La tabella seguente mette in relazione le leghe più comuni con il loro comportamento reale durante la lavorazione:

Materiale	Lavorabilità (vs. Al 6061)	Rischi chiave	Azione DFM
Alluminio 6061-T6	100% — linea di base	Minimo	Massimizzare i tassi di asportazione; progettare per la lavorazione in un singolo piazzamento.
Acciaio dolce(S235/ S355)	65–70%	Usura moderata degli utensili; deriva termica su pareti sottili	Utilizzare raggi e passi di filettatura standard (M4×0,7, ¼-20).
Acciaio inox (304/316L)	35–45%	Indurimento da lavoro;; accumulo di calore sul tagliente	Mantenere un carico di chip elevato; obbligatorio l'uso di olio emulsivo a flusso continuo
Titanio Ti-6Al-4V	15–20%	Usura dell'utensile adesivo; flessione della parete sotto carico	Utilizzare portautensili rigidi; limitare la profondità della filettatura a 1,5 volte il diametro; eseguire più passaggi di finitura.

Tabella di ripartizione dei fattori di costo

Comprendere perché un materiale o un processo sono costosi permette di eliminare i costi dalla fase di progettazione del componente semplicemente sostituendo il materiale con un'alternativa o modificando una caratteristica. Ecco alcuni dei fattori di costo più comuni nei processi produttivi offerti da Xometry:

Processo di produzione	Fattore di costo principale	Fattore di costo secondario	La soluzione DFM
Lavorazione CNC	Tempo di configurazione della macchina	Usura degli utensili / Materiali duri	Progettare i componenti in modo che possano essere lavorati con uno o due soli attrezzaggi. Quando possibile, scegliere materiali facilmente lavorabili.
Stampaggio a iniezione	Complessità degli utensili	Tempo di ciclo (raffreddamento)	Eliminare le caratteristiche complesse, come i sottosquadri, per evitare costose azioni di scorrimento laterale. Utilizzare materiali a raffreddamento rapido.
Lamiera	Configurazione degli utensili, numero di operazioni	Scarti di materiale	Ridurre al minimo la complessità progettando le curve sullo stesso piano e utilizzando raggi di curvatura uniformi e standardizzati.
Stampa 3D	Volume della materia prima	Rimozione supporti	Per ridurre il consumo di materiale, svuotare le sezioni più spesse e sostituirle con strutture reticolari.

SEZIONE 3

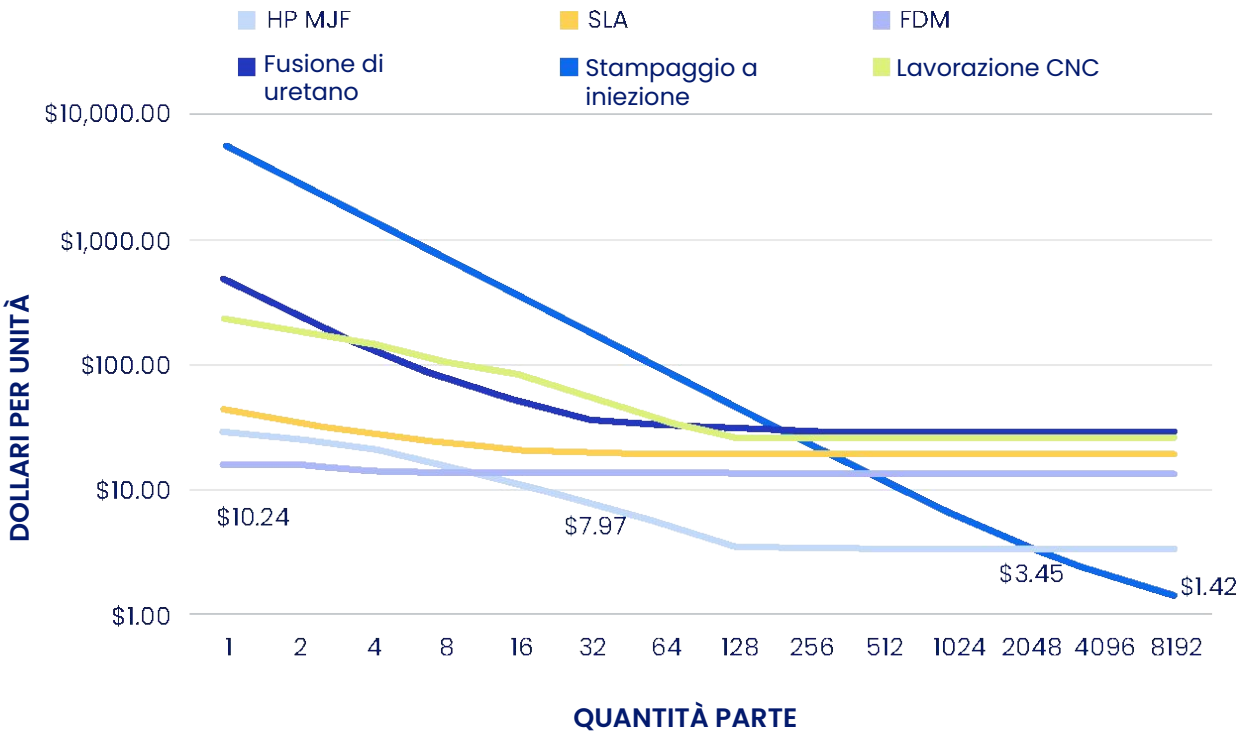
Tabelle di controllo DFM specifiche per processo e finiture



Matrice di confronto dei processi produttivi

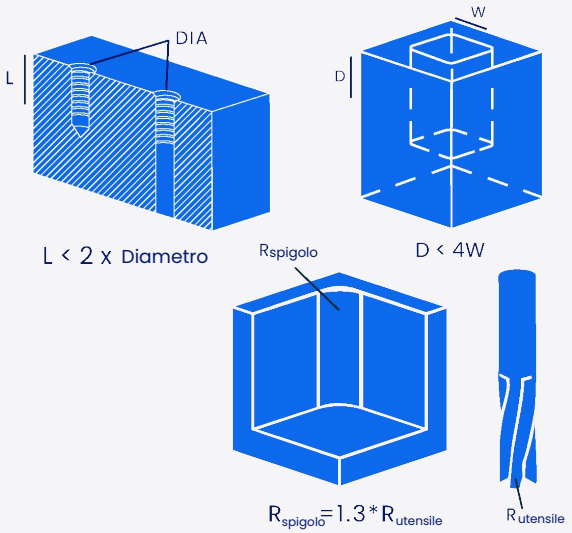
Prima di addentrarci nelle regole geometriche, verificate di aver selezionato il metodo di produzione corretto in base al volume e alla geometria.

Processo	Volume economico	Costo iniziale degli utensili	Migliore applicazione
Stampa 3D	1–100 parti	Zero	Forme organiche altamente complesse, prototipazione rapida e produzione di componenti finali in piccoli volumi.
Lavorazione CNC	1–500 parti	Da zero a basso (attrezzaggi)	Componenti in metallo/plastica robusti e di alta precisione, prototipi funzionali.
Lamiera	50–5.000+ parti	Basso	Contenitori, staffe, telai e componenti strutturali a profilo piatto.
Stampaggio a iniezione	1.000–1M+ parti	Molto alto (stampi in acciaio)	Componenti in plastica prodotti in grandi volumi, dove il prezzo unitario deve essere il più basso possibile.



Design per la produzione (DFM) per la lavorazione CNC

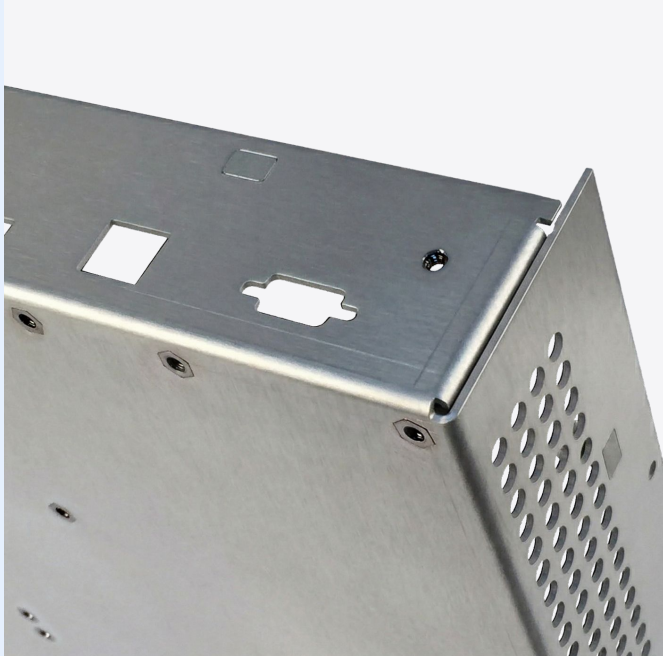
La fresatura e tornitura CNC sono limitate da accessibilità dell'utensile, vibrazioni e geometria della fresa. Obiettivo: massimizzare l'asportazione di materiale e ridurre al minimo le impostazioni manuali.



Caratteristica di design	La regola d'oro	Perché è importante
Angoli interni	Aggiungere un raggio di raccordo superiore a 1/3 della profondità della cavità.	Consente agli utensili di pulire gli angoli senza fermarsi, riducendo le vibrazioni.
Profondità della cavità	Limitare la profondità della tasca a 4 volte il diametro dell'utensile.	Previene la flessione e la rottura degli utensili; evitare l'utilizzo di costosi utensili a lungo raggio.
Spessore della parete	Minimo 0,8 mm per i metalli, 1,5 mm per le materie plastiche.	Previene vibrazioni, incurvamenti o rotture delle pareti sottili durante il taglio.
Dimensioni dei fori	Utilizzare punte da trapano di dimensioni standard, sia in unità frazionarie che metriche.	Consente una foratura rapida con punte standard e riduce la necessità di alesatori personalizzati.
Fori ciechi	Progettare fori ciechi con fondo piatto e aggiungere una nota nel disegno che indichi i punti di foratura.	Evitare passaggi superflui con una fresa a fondo piatto e prevenire problemi di interpolazione CAM.
Profondità della filettatura	Mantenere la profondità della filettatura a un massimo di 3 volte il diametro del foro.	I maschi si rompono facilmente nei fori profondi. Oltre 1-1,5 volte il diametro, non si guadagna molta resistenza aggiuntiva.
Testi e loghi	Utilizzare marcature incise (incassate) piuttosto che in rilievo (in rilievo).	Il rilievo richiede la lavorazione meccanica dell'intera superficie circostante.

Progettazione per la lavorazione di lamiere

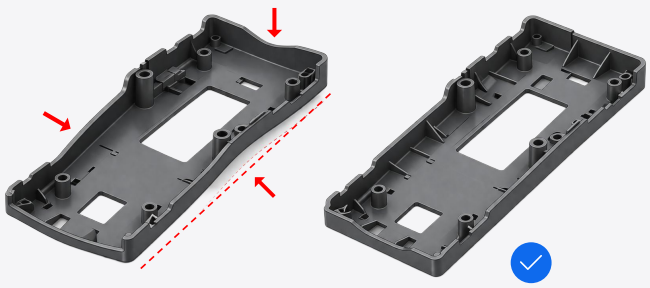
La lavorazione della lamiera si basa su stiramento e deformazione di materiale piano. Il DFM mira a prevenire fratture e rendere prevedibile la sequenza della piegatrice.



Caratteristica di design	La regola d'oro	Perché è importante
Spessore del materiale	Utilizzare un unico spessore standard.	La lamiera non può essere assottigliata o ispessita in modo selettivo.
Raggio di curvatura	Mantenere i raggi di curvatura interni ≥ 1x rispetto allo spessore del materiale (1T).	Gli spigoli vivi (senza raggio di curvatura) provocano la frattura del metallo.
Foro-piega	Posizionare fori e fessure ad almeno 2T di distanza da qualsiasi linea di piega.	I fori praticati troppo vicino a una curva si deformano assumendo una forma ovale durante il processo di formatura.
Orientamento della curvatura	Progettare tutte le curve sullo stesso piano.	Consente la formatura in un'unica sequenza di pressatura piegatrice senza dover capovolgere il pezzo.
Tagli di scarico	Aggiungere scarichi in prossimità delle flange (larghezza ≥ 1T).	Previene gli strappi quando si effettua una piega in prossimità di un bordo non piegato.
Svasature	Mantenere le svasature ad almeno 3T di distanza da spigoli/curve.	Impedisce alla svasatura di deformare il bordo della lamiera.

Progettazione per i processi ad iniezione (DFM)

La plastica liquida si contrae raffreddandosi e i pezzi devono essere estratti da uno stampo rigido. Il DFM si concentra su raffreddamento uniforme ed estrazione pulita.



Caratteristica di design	La regola d'oro	Perché è importante
Spessore della parete	Mantenere uno spessore della parete rigorosamente uniforme; asportare le sezioni più spesse mediante carotaggio.	Le sezioni più spesse si raffreddano più lentamente, causando avvallamenti (crateri superficiali) e deformazioni.
Angoli di spoglio	Aggiungere una pendenza (rastrematura) di 1° o 2° alle pareti verticali.	Impedisce che il pezzo si sigilli sottovuoto contro lo stampo durante l'estrazione.
Nervature di supporto	Lo spessore delle nervature deve essere esattamente il 60% dello spessore nominale della parete.	Previene l'accumulo di calore sulle nervature e la formazione di avvallamenti sull'area visibile della parte.
Sottosquadri	Evitare fori laterali o incastri a scatto che intrappolano il pezzo nello stampo.	Le lavorazioni di sottosquadro richiedono movimenti laterali di scorrimento nell'utensile, il che comporta un aumento significativo dei costi.
Progettazione di protuberanze	Fissare le protuberanze per le viti alle pareti con nervature.	Le protuberanze autoportanti mancano di integrità strutturale e interferiscono con il flusso della plastica.
Raccordi d'angolo	Raggio interno = 0,5 volte lo spessore della parete. Raggio esterno = 1,5 volte	Mantiene un flusso di plastica uniforme attraverso gli angoli e riduce le tensioni interne dovute allo stampaggio.

Risorsa in evidenza: Guida alla progettazione per lo stampaggio a iniezione

Scaricate la guida gratuita alla progettazione per lo stampaggio a iniezione di Xometry per ulteriori suggerimenti e informazioni su questo diffuso processo produttivo.

Progettazione per i processi additivi (DFM)

Sia che si utilizzino polveri, resine o filamenti, la stampa 3D è coinvolta dalla gravità, dallo stress termico e dall'evacuazione del materiale.



Caratteristica di design	La regola d'oro	Perché è importante
Sporgenze	Mantenere le sporgenze al di sotto dei 45° rispetto alla verticale (FDM/SLA).	Le sporgenze superiori a 45° richiedono strutture di supporto fisiche che lasciano superfici ruvide.
Fori di scarico	Aggiungere almeno due fori di scarico (minimo 3-5 mm) alle parti cave.	La polvere intrappolata (SLS/MJF) o la resina liquida (SLA) rendono i pezzi pesanti e soggetti a perdite.
Riduzione di massa	Svuotare le parti ingombranti e sostituire il volume solido con strutture reticolari.	I blocchi solidi causano gravi deformazioni termiche, spreco di materiale e aumento dei tempi di stampa.
Spaziatura	Lasciare uno spazio minimo di circa 0,5 mm tra le parti mobili/ad incastro.	Le parti stampate troppo vicine tra loro si fonderanno in un unico pezzo solido.
Orientamento della parte	Evitare di realizzare fori perfettamente circolari sull'asse Z.	Il processo di deposizione strato su strato crea un effetto a gradini, rendendo i fori lungo l'asse Z leggermente ovali.

Tabella per l'impatto della finitura superficiale e verniciatura

L'ultima fase del DFM (Design for Manufacturing) consiste nel considerare la post-elaborazione. Un file CAD con tolleranze perfette non supererà l'assemblaggio se non si calcola l'impatto dimensionale della finitura superficiale.



Tipo di finitura	Impatto dimensionale per superficie	Regola e avvertenza DFM
Anodizzazione di tipo II	Aggiunge circa 0,005 mm – 0,01 mm	Impatto trascurabile per la maggior parte delle tolleranze del blocco, ma può causare il grippaggio di cuscinetti con accoppiamenti stretti (H7/g6).
Anodizzazione dura di tipo III	Aggiunge circa 0,025 mm – 0,05 mm (50% di penetrazione verso l'esterno, 50% di penetrazione verso l'interno)	**Critico (vedi sotto):** È necessario calcolare e progettare le tolleranze dopo l'applicazione dello spessore del rivestimento.
Verniciatura a polvere	Aggiunge circa 0,06 mm – 0,15 mm+	La vernice è spessa e irregolare. Delimitare zone di mascheratura chiare e semplici per i punti di messa a terra o le superfici di accoppiamento.
Lucidatura meccanica	Rimuove materiale (variabile)	Procedura manuale. Se lo strumento dell'operatore non riesce a raggiungere fisicamente una cavità profonda, questa non può essere lucidata.
Fori filettati	Riempimento e con placcatura/vernice	Specificare sempre sul disegno che le filettature devono essere tappate/mascherate prima della verniciatura o della placcatura per evitare di doverle rifilettare.

Suggerimento fondamentale: anodizzazione dura di tipo III
Se non tenuto in considerazione in fase di progettazione, l'aumento di volume di circa 25 µm per superficie causerà il grippaggio degli accoppiamenti standard H7/g6 per cuscinetti durante l'assemblaggio finale. Compensare le dimensioni critiche del foro sul disegno, oppure indicare esplicitamente le superfici da mascherare prima dell'anodizzazione.

SEZIONE 4

Tempistiche, team e strumenti

DFM in azione: da 120 € a 45 € per componente

La teoria del DFM (Design for Manufacturing) è ottima, ma l'impatto finanziario è innegabile. Ecco un esempio di come una rigorosa validazione del progetto possa cambiare radicalmente i costi.

- **Esempio di scenario:** Un cliente del settore aerospaziale ha progettato un alloggiamento in alluminio in 5 parti per componenti elettronici. La quotazione iniziale era di 120 euro per unità, per un lotto di 500 pezzi, a causa della componentistica personalizzata, delle pareti spesse e delle molteplici e complesse configurazioni CNC.

- **Applicazione del DFM:** Seguendo i principi descritti in questa guida, il team di ingegneri ha assistito il cliente:
  - Consolidare le 5 parti in un unico componente monoblocco lavorato a CNC.
  - Aggiungere un raggio di 4 mm agli angoli interni delle tasche, che in precedenza erano appuntiti.
  - Standardizzare i fori filettati a M4x0.7.

- **Il risultato:** Il numero di impostazioni delle macchine è sceso da 6 a 2, i tempi ciclo si sono dimezzati e il costo finale del pezzo è calato a 45 euro, consentendo al **cliente un risparmio di 37.500 euro per una singola produzione.**



Scopri come il supporto DFM di Xometry abbia aiutato un'azienda a produrre in serie un alloggiamento certificato per batterie.

Leggi il caso di studio

Quando avviene effettivamente la DFM?

Considerare il DFM come un "controllo" finale appena prima della produzione può portare a costose riprogettazioni. Per essere efficace, il DFM deve essere trattato come un ciclo iterativo suddiviso in due fasi distinte che iniziano nelle prime fasi del processo di progettazione.



Fase 1: DFM preliminare (Fase concettuale)

La priorità in questa fase è stabilire una base solida prima di iniziare il lavoro CAD dettagliato. Gli ingegneri devono selezionare il processo di produzione principale e definire i requisiti fondamentali dei materiali fin dalle prime fasi. Un errore comune è quello di progettare un concetto molto complesso, per poi rendersi conto in seguito che il volume di produzione previsto non giustifica i costi di attrezzaggio o che il progetto è semplicemente irrealizzabile con il processo di produzione scelto. Progettare sempre tenendo conto del metodo di produzione finale previsto, anche se si prevede di realizzare un prototipo con un processo diverso nelle fasi iniziali.

Fase 2: DFM dettagliato (Fase di validazione)

Una volta definiti il metodo di produzione ed i materiali, l'attenzione si sposta interamente sull'ottimizzazione della geometria. Applicare le regole specifiche del processo descritte nella Sezione 3, regolando gli spessori delle pareti, convalidando gli angoli di sformo e finalizzando le tolleranze. Sfruttare la prototipazione rapida per testare fisicamente forma, adattamento e funzionalità prima di realizzare costosi stampi in acciaio per la produzione.



Abbattiamo i compartimenti stagni: chi fa cosa?

Un Design per la produzione (DFM) efficace non è compito esclusivo del progettista. Richiede l'abbattimento delle barriere tra l'ufficio di progettazione, la catena di fornitura e l'officina. La tabella seguente illustra i diversi ruoli che contribuiscono al processo DFM e le relative responsabilità.

Ruolo	Principali responsabilità del DFM	Interazioni critiche
Ingegneri progettisti	Creare la geometria iniziale e ottimizzarla per il consolidamento delle parti.	È necessario ricevere dai tecnici di produzione le informazioni relative ai limiti di processo e alle tolleranze.
Ingegneri di produzione	Definire gli strumenti, le configurazioni e i vincoli relativi alle attrezzature.	Fornire direttamente ai team di progettazione i tempi ciclo, i costi degli utensili e i feedback sui percorsi utensile.
Approvvigionamento/Catena di fornitura	Garantire la disponibilità delle materie prime e individuare fornitori affidabili.	Collaborazione con i progettisti per evitare di specificare materiali esotici difficili o quasi impossibili da reperire in modo affidabile.
Controllo qualità (QA/QC)	Definire gli standard di ispezione e identificare tempestivamente i rischi di difetti.	Definire le dimensioni critiche per la qualità (CTQ) che effettivamente richiedono tolleranze ristrette.

Bilanciare la funzione con la realtà

La producibilità richiede semplificazioni progettuali, che a volte comportano compromessi in termini di prestazioni pure. La decisione ingegneristica definitiva consiste nel valutare se il costo aggiuntivo derivante da prestazioni elevate sia giustificato dall'applicazione.

Il dilemma tra acciaio dolce e acciaio inox

Consideriamo la progettazione di un involucro industriale. L'acciaio dolce offre costi molto bassi, un'eccellente saldabilità e una lavorazione rapida, ma richiede un processo di rivestimento secondario per prevenire la ruggine. Al contrario, l'acciaio inossidabile (304/316) offre una durata incredibile e non necessita di rivestimento, ma la sua durezza causa una rapida usura degli utensili CNC, velocità di avanzamento inferiori ed un costo del materiale di base significativamente più elevato.

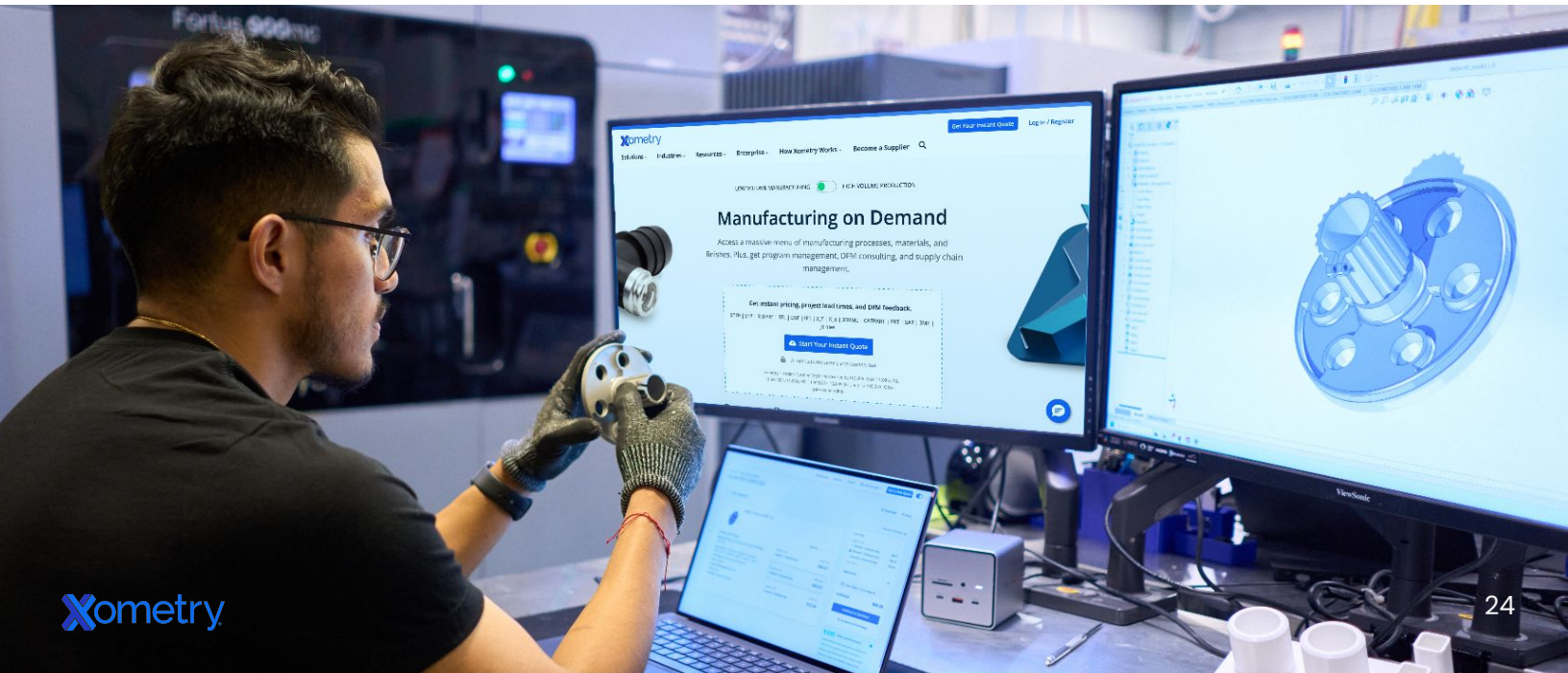
L'ingegnere deve stabilire se i tempi di lavorazione aggiuntivi ed i costi degli utensili per l'acciaio inox siano compensati dall'eliminazione totale del processo di verniciatura. Una progettazione per la producibilità (DFM) efficace valuta il costo totale di acquisto, non solo un singolo aspetto.



Design per la produzione assistita da software

I moderni team di ingegneri si affidano a framework analitici e software per individuare i problemi di producibilità prima dell'inizio dei test fisici. Di seguito sono riportati alcuni esempi di software o funzioni software che possono supportare il processo DFM (Design for Manufacturing).

- **Analisi agli elementi finiti (FEA):** Utilizza modelli matematici per prevedere il comportamento di un componente sotto sollecitazioni fisiche. Permette di individuare le pareti sottili che si romperanno sotto carico prima ancora di produrle.
- **FMEA (Analisi delle modalità e degli effetti dei guasti):** Un approccio sistematico per prevedere dove un processo potrebbe fallire, assegnando un numero di priorità di rischio (RPN) a ogni potenziale difetto.
- **Simulazione CAM:** Gli ingegneri di produzione utilizzano software CAM per simulare i percorsi utensile CNC, rilevando collisioni tra utensili e caratteristiche non lavorabili prima di procedere al taglio dell'acciaio.
- **Piattaforme di quotazioni basate sull'intelligenza artificiale:** La piattaforma di quotazione istantanea Xometry® funge da strumento DFM (Design for a Manufacturing) rapido e automatizzato. Caricando un file STEP, gli ingegneri ricevono un feedback immediato basato sull'intelligenza artificiale su problematiche di producibilità come pareti sottili, angoli vivi o elementi inaccessibili.



La lista di controllo “Prima di esportare”

Prima di finalizzare il progetto, esportare i file STEP e inviare il pacchetto di disegni a Xometry, voi o il vostro team dovreste verificare questi cinque elementi:

- [ ] **Consolidamento delle parti:** Sono stati valutati tutti i sottoassiemi composti da più parti per un eventuale consolidamento in un unico componente lavorato o stampato?

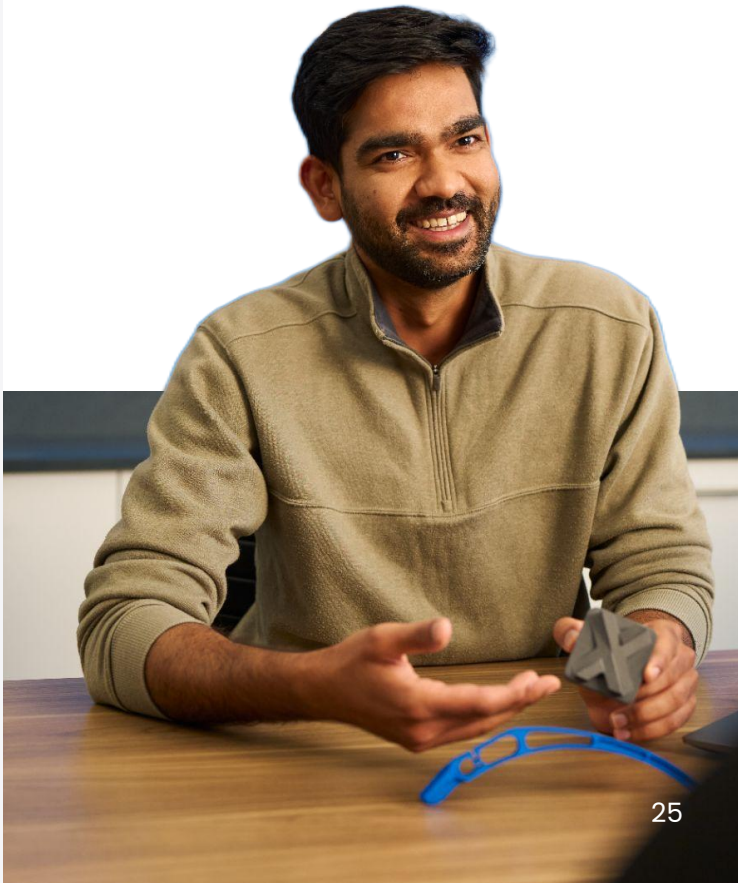
- [ ] **Raggi d'angolo interni (CNC):** I raggi degli angoli interni sono ≥1/3 della profondità della cavità per adattarsi alla geometria standard delle frese?

- [ ] **Distanza tra foro e piega (lamiera):** Tutti i fori e le fessure sono posizionati ad una distanza ≥2T dalle linee di piegatura?

- [ ] **Spessore e sformo della parete (stampaggio a iniezione):** Le pareti sono uniformi con un angolo di inclinazione minimo di 1°–2° per un'espulsione pulita?

- [ ] **Fori di scarico (produzione additiva):** Tutte le geometrie cave includono almeno due fori di uscita (diametro di 3-5 mm)?

Se la risposta a una qualsiasi di queste domande è **"No"**, potreste non essere ancora pronti per la produzione. Se desiderate un'ulteriore verifica per assicurarvi che il vostro progetto sia realizzabile con il processo scelto, non esitate a contattarci o a rivolgervi al vostro referente commerciale: saremo lieti di aiutarvi!



Risorse aggiuntive e servizi di Xometry

Carica oggi stesso i tuoi file CAD sulla **piattaforma di quotazione istantanea Xometry®** per verificarne la fattibilità e ricevere immediatamente prezzi e tempi di consegna per i tuoi componenti personalizzati.

Risorse di progettazione:

- Guide alla progettazione dei processi produttivi
- Formati standard dei fogli
- Articoli tecnici relativi alla progettazione

Strumenti e calcolatrici:

- Calcolatore di limiti e compatibilità ISO 286
- Calcolatore di giunzioni bullonate
- Scoprite di più su Xometry Pro

Lavorazione CNC

- Capacità a 5 assi
- Elettroerosione a filo e RAM
- Materiali esotici

Produzione additiva

- 7+ processi di stampa
- Polimeri di grado aerospaziale
- Componenti metallici senza attrezzaggi

Lavorazione di lamiere

- Capacità di formatura avanzate
- Piegatura, punzonatura, stampaggio, saldatura
- Opzioni di finitura conformi alle specifiche militari (MIL-spec)

Stampaggio a iniezione e fusione

- Prezzi e tempi di consegna immediati
- Soluzioni da basso ad alto volume
- Tutti i materiali e le finiture commerciali

Utensili metallici:

- Produzione ad alto volume
- Estrusione, pressofusione e altro ancora
- Supporto da parte di esperti del settore

Assemblaggio

- Sottogruppi
- Elettromeccanico
- Rettifica e saldatura di precisione

Contatti e assistenza in tempo reale:

Dal lunedì al venerdì, dalle 9:00 alle 18:00 CET

+49 89-3803-4818 info@xometry.eu