Ultimo aggiornamento: November 1, 2026

🗺️ Percorso di quattro anni · Anno 1, Autunno

Informazioni sul corso

Questo corso gratuito ha 9 unità e 4 laboratori. Sono i totali reali, non un programma più lungo accorciato.

Un controllo è un numero o un risultato di codice in una pagina del corso che uno script ricalcola prima della pubblicazione. Il numero stampato e quello ricalcolato devono coincidere.

> Questo è lo schema di un corso gratuito di autoapprendimento scritto da Saving Planets. Non è un corso universitario, non dà crediti accademici e nessuna scuola è coinvolta.
>
> I contenuti seguono i corsi di disegno e progettazione del primo anno come MIT 2.007 e 2.00b, i corsi di ingegneria e grafica computerizzata di Purdue, l'ME 1770 di Georgia Tech e la sequenza di disegno tecnico di Embry-Riddle, con strumenti gratuiti: il piano Onshape Free e FreeCAD. Rimandiamo ovunque a materiali gratuiti. Nessuna di queste organizzazioni approva questa pagina.
>
> Cosa aggiungiamo: ogni unità collega le scelte progettuali a materiale, energia e rifiuti, ogni numero della pagina viene ricalcolato da uno script di verifica prima della pubblicazione, e quattro laboratori pratici ti portano da uno schizzo a un pezzo stampato più leggero.
>
> Seguilo in ordine. Ogni unità ha obiettivi, idee chiave, equazioni, esempi passo per passo, esercizi con soluzioni complete, errori comuni, flashcard e un quiz. I tuoi progressi sono salvati solo in questo browser.

Come questo corso aiuta a salvare il pianeta

Gran parte del materiale, dell'energia e dei rifiuti di un prodotto viene decisa al tavolo da disegno. Gli ingegneri che modellano e disegnano bene possono togliere il materiale che non lavora, scegliere componenti durevoli e riparabili e specificare tolleranze non più strette del necessario.

Ogni unità termina con una breve sezione con fonti che mostra come le sue idee aiutano le persone e il pianeta.

Per gli insegnanti

Puoi insegnare questo corso, oppure lasciare che uno studente lo faccia da solo. È gratis. Saving Planets non dà un voto né crediti scolastici.

- Questa pagina è l'intero corso: 9 unità e 4 laboratori (ENGR 120).
- Prevedi 15 settimane, circa 6–9 ore a settimana, comprese le settimane di laboratorio.
- Segui il calendario di 15 settimane. Leggi l'unità, fai la pratica su carta, poi apri la risposta. Nella settimana di laboratorio, fai il laboratorio o la versione a casa.
- Un controllo è un numero o un risultato di codice nella pagina che uno script ricalcola prima della pubblicazione. Il numero che vedi e quello ricalcolato devono coincidere.
- Usa Stampa questa pagina, oppure scarica la guida di studio PDF. Il formulario è verso la fine.
- Chiedi: in che modo questa unità aiuta le persone e il pianeta? Ogni unità ha un riquadro verde con un fatto e la sua fonte.
- Copia il modello di guida per insegnanti e scrivi il nome della classe, il tempo che hai e le domande che farai. Apri il modello di guida per insegnanti

Prima di iniziare

Prerequisiti

- Geometria e trigonometria delle superiori.
- Dimestichezza con computer e mouse; un mouse a tre tasti aiuta nel 3D.
- Non serve talento per il disegno: lo schizzo è un'abilità che eserciterai.

Come studiare

- Fai uno schizzo a mano prima di modellare. Cinque minuti su carta fanno risparmiare un'ora in CAD.
- Ricostruisci da solo in CAD ogni esempio svolto.
- Dai un nome a schizzi e feature; il te stesso del futuro ti ringrazierà.
- Controlla ogni tavola come se dovessi realizzare il pezzo basandoti solo su di essa.
- Svolgi ogni esercizio prima di aprire la risposta.
- Rifai i quiz qualche giorno dopo. La pratica distribuita batte una lunga sessione unica.

Che cosa ti serve

- Un computer con browser web (Onshape funziona nel browser; serve un account gratuito) oppure FreeCAD installato.
- Carta quadrettata o isometrica, una matita, una gomma e un righello.
- Un calibro (va bene uno digitale economico).
- Facoltativo: accesso a una stampante 3D in una biblioteca, scuola o makerspace.

Programma suggerito di 15 settimane

Circa 6-9 ore a settimana: lettura, esercizi e, nelle settimane di laboratorio, il laboratorio.

Settimana	Unità	Argomenti	Lettura
1	Schizzo e visualizzazione	Schizzo, tipi di linea, scala	MIT 2.00b
2	Proiezione ortogonale e isometrica	Proiezione ortogonale; primo e terzo diedro	Convenzioni ASME Y14
3	Proiezione ortogonale e isometrica	Disegno isometrico; vera grandezza	Onshape Learning Center
4	Sezioni e viste ausiliarie	Sezioni e viste ausiliarie	FreeCAD TechDraw
5	Quotatura e basi di GD&T	Regole di quotatura; riferimenti	ASME Y14.5
6	Quotatura e basi di GD&T	GD&T: forma, orientamento, posizione; MMC	ASME Y14.5
7	Tolleranze e accoppiamenti	Limiti, accoppiamenti ISO, catene di tolleranze; esercizi per l'esame intermedio	ISO 286
8	Modellazione 3D parametrica	Schizzi, vincoli, estrusione e rivoluzione	Onshape / FreeCAD
9	Modellazione 3D parametrica	Feature, variabili, proprietà di massa; laboratorio A	Onshape Learning Center
10	Assiemi e tavole	Assiemi, vincoli di accoppiamento, meccanismi	Wiki di FreeCAD
11	Assiemi e tavole	Disegni di particolare e d'assieme, distinta base; laboratorio B	FreeCAD TechDraw
12	Stampa 3D e progettazione per la produzione	Processi produttivi; DFM/DFA	MIT 2.007
13	Stampa 3D e progettazione per la produzione	Progettazione e stime per la stampa 3D; laboratorio C	NIST AM
14	Progettazione sostenibile e alleggerimento	Alleggerimento e progettazione sostenibile; laboratorio D	DOE; EPA
15	Ripasso	Ripasso ed esercitazione finale	Tutte le unità

I tuoi progressi

Spunta unità e laboratori man mano che li finisci, e fai i quiz. Progressi e punteggi sono salvati solo in questo browser e non ci vengono mai inviati.

Unità

Schizzo e visualizzazione

Lo schizzo a mano libera come strumento di ingegneria: linee, cerchi, proporzioni e vedere oggetti 3D nella mente.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Tracciare a mano libera rette, cerchi e archi ben proporzionati.
- Usare scatole di costruzione per schizzare oggetti in proporzione.
- Leggere e schizzare oggetti semplici in viste assonometriche oblique e isometriche.
- Spiegare il ruolo dello schizzo nel processo di progettazione.

Concetti chiave

- Gli ingegneri schizzano per pensare, per esplorare in fretta molte idee e per comunicare. Uno schizzo rapido costa minuti; un modello CAD sbagliato può costare ore.
- Imposta prima l'ingombro generale con una scatola di costruzione leggera, poi aggiungi i dettagli, poi ripassa le linee finali.
- In uno schizzo le proporzioni contano più delle misure esatte: stima rapporti come larghezza : altezza.
- La visualizzazione spaziale, la capacità di ruotare e sezionare mentalmente gli oggetti, è un'abilità che migliora con la pratica.
- Gli spessori di linea hanno un significato: linee in vista grosse, linee nascoste sottili (tratteggiate), assi sottili (tratto lungo e corto).

Equazioni chiave

$$\text{scale} = \frac{\text{drawing size}}{\text{real size}}$$

`scale= sizereal size`

Scala del disegno

$$\frac{w}{h} = \frac{w'}{h'}$$

`w/h=(w')/(h')`

Mantenere le proporzioni in scala

Esempi svolti passo passo

Esempio 1.1 Un blocco è largo 120 mm e alto 80 mm. Schizzi la sua larghezza come 60 mm. Quanto deve essere alto lo schizzo?

1. Scala = 60/120 = 0.5.
2. Altezza = 80 × 0.5.

Risposta: 40 mm (uno schizzo in scala 1:2).

Esempio 1.2 Un pezzo è lungo 450 mm. Quale scala normalizzata lo fa stare in un'area di disegno di 250 mm: 1:1, 1:2 o 1:5?

1. 1:1 → 450 mm (troppo grande).
2. 1:2 → 225 mm (ci sta).

Risposta: 1:2, la scala più grande che ci sta, così i dettagli restano leggibili.

Esempio 1.3 In scala 2:1, quanto è grande sul disegno un foro di 3 mm?

1. 3 × 2.

Risposta: 6 mm sulla carta (la quota indica comunque i 3 mm reali).

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. In scala 1:5, quanto è lunga sulla carta una trave di 1200 mm?

   240 mm.

2. Uno schizzo è in scala 1:2. Una linea misura 35 mm. Qual è la lunghezza reale?

   70 mm.

3. Quale tipo di linea mostra uno spigolo nascosto?

   Una linea sottile tratteggiata.

Errori concettuali comuni

Mito: Lo schizzo è solo per artisti.

In realtà: È un’abilità ingegneristica che si impara e migliora rapidamente con la pratica.

Mito: Le quote su un disegno in scala indicano la dimensione disegnata.

In realtà: Indicano sempre la dimensione reale.

Mito: Iniziare dai dettagli.

In realtà: Impostare prima l’ingombro generale, poi aggiungere i dettagli.

Flashcard

Linee di costruzione

Linee guida leggere, cancellate o lasciate tenui.

Linea in vista

Grossa, continua.

Linea nascosta

Sottile, tratteggiata.

Linea d’asse

Sottile, tratto lungo e corto.

Scala

Dimensione disegnata ÷ dimensione reale.

Visualizzazione spaziale

Ruotare e sezionare mentalmente oggetti 3D.

Quiz di autoverifica

1. Una linea d’asse si disegna...

grossa continua

sottile tratteggiata

sottile a tratto lungo e corto

a zigzag

sottile a tratto lungo e corto. Convenzione normalizzata delle linee.

2. In scala 1:2, un pezzo di 100 mm si disegna...

200 mm

50 mm

100 mm

25 mm

50 mm. A metà grandezza.

3. Il primo passo per schizzare un oggetto è...

ripassare gli spigoli

impostare una scatola di costruzione leggera

aggiungere le quote

ombreggiarlo

impostare una scatola di costruzione leggera. Prima l'ingombro.

4. Gli spigoli nascosti usano...

linee tratteggiate

linee grosse

nessuna linea

linee rosse

linee tratteggiate. Linee sottili tratteggiate.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

Il punto più economico per risparmiare materiale è lo schizzo. Idee come meno componenti, elementi di fissaggio standard e giunzioni riparabili sono facili da esplorare su carta e costose da cambiare dopo aver realizzato gli stampi.

L'approccio di gestione sostenibile dei materiali dell'EPA considera i materiali lungo tutto il ciclo di vita, a partire dalla progettazione.

Su Saving Planets: Introduzione all'ingegneria aerospaziale

Fonti: EPA: Sustainable materials management basics (https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-basics) · MIT OpenCourseWare 2.00b: Toy Product Design (https://ocw.mit.edu/courses/2-00b-toy-product-design-spring-2008/)

Risorse di apprendimento gratuite

- MIT OpenCourseWare 2.00b: Toy Product Design (https://ocw.mit.edu/courses/2-00b-toy-product-design-spring-2008/): Il corso di progettazione di prodotti del MIT, ricco di schizzi.
- MIT OpenCourseWare 2.007: Design and Manufacturing I (https://ocw.mit.edu/courses/2-007-design-and-manufacturing-i-spring-2009/): Progettazione e produzione al MIT.

- [ ] **Ho finito questa unità**

Proiezione ortogonale e isometrica

Il linguaggio del disegno tecnico: proiezione a viste multiple (ortogonale) e viste isometriche.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Creare viste frontale, dall'alto e laterale destra correttamente allineate.
- Conoscere i simboli di proiezione del primo e del terzo diedro.
- Disegnare viste isometriche di pezzi semplici.
- Trovare la vera grandezza e lo scorcio.

Concetti chiave

- La proiezione ortogonale rappresenta un oggetto con proiettanti parallele perpendicolari a ciascun piano di vista. Tre viste (frontale, dall'alto, destra) di solito descrivono completamente un pezzo.
- La proiezione del terzo diedro (USA, ASME) mette la vista dall'alto sopra la frontale; quella del primo diedro (gran parte di Europa e Asia, ISO) la mette sotto. Un simbolo nel cartiglio indica quale.
- Le viste restano allineate: la larghezza è comune a frontale e vista dall'alto, l'altezza a frontale e laterale, la profondità a vista dall'alto e laterale.
- Una vista isometrica inclina l'oggetto in modo che i tre assi siano a 120° l'uno dall'altro. Gli spigoli lungo gli assi sono accorciati di √(2/3) ≈ 0.816; un disegno isometrico lo ignora e li disegna a lunghezza piena.
- Una linea appare in vera grandezza solo in una vista parallela a essa.

Equazioni chiave

$$k = \sqrt{2/3} \approx 0.816$$

`k=2/3≈0.816`

Fattore di scorcio isometrico

$$L_{true} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

`L_true=Δ x^2+Δ y^2+Δ z^2`

Lunghezza reale di uno spigolo dalle coordinate

Esempi svolti passo passo

Esempio 2.1 Lo spigolo di un cubo è di 100 mm. Quanto è lungo in una vera proiezione isometrica e in un disegno isometrico?

1. Proiezione: 100 × 0.816.
2. Disegno: grandezza piena per convenzione.

Risposta: 81.6 mm in proiezione; 100 mm in un disegno isometrico.

Esempio 2.2 Uno spigolo va da (0, 0, 0) a (30, 40, 0) mm. Qual è la sua lunghezza reale e in quale vista appare in vera grandezza?

1. $\sqrt{(30^2 + 40^2)} = 50$.

Risposta: 50 mm; in vera grandezza nella vista lungo z (giace nel piano x–y).

Esempio 2.3 Uno spigolo va da (0, 0, 0) a (20, 20, 10). Trova la sua lunghezza reale.

1. $\sqrt{(400 + 400 + 100)} = \sqrt{900}$.

Risposta: 30 mm. Nessuna vista principale lo mostra in vera grandezza; serve una vista ausiliaria (unità 3).

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Nella proiezione del terzo diedro, dove si colloca la vista laterale destra?

   A destra della vista frontale.

2. Quali due viste condividono la profondità?

   La vista dall'alto e quella laterale.

3. Trova la lunghezza reale di uno spigolo da (0, 0, 0) a (12, 16, 0).

   20.

4. In una vera proiezione isometrica, quanto appare lungo uno spigolo di 50 mm lungo un asse?

   ≈ 40.8 mm.

Errori concettuali comuni

Mito: I disegni isometrici si tracciano all'81.6%.

In realtà: I disegni isometrici usano la lunghezza piena; solo la proiezione isometrica è accorciata.

Mito: Primo e terzo diedro sono solo stili diversi.

In realtà: Scambiano la posizione delle viste; leggere male il simbolo dà un pezzo speculare.

Mito: Più viste è sempre meglio.

In realtà: Usa il minor numero di viste che descrivono completamente il pezzo.

Flashcard

Proiezione ortogonale

Proiettanti parallele e perpendicolari; più viste.

Terzo diedro

Vista dall'alto sopra la frontale (USA).

Primo diedro

Vista dall'alto sotto la frontale (ISO in gran parte del mondo).

Isometrica

Assi a 120° l'uno dall'altro.

Scorcio

Lo spigolo appare più corto della lunghezza reale.

Vera grandezza

Visibile solo in una vista parallela.

Quiz di autoverifica

1. Nella proiezione del terzo diedro la vista dall'alto è...

sotto la vista frontale

sopra la vista frontale

a sinistra della vista frontale

non usata

sopra la vista frontale. Convenzione ASME.

2. Gli assi isometrici sono separati da...

90°

120°

45°

60°

120°. Angoli uguali.

3. Fattore di scorcio isometrico ≈

0.5

0.707

0.816

1

0.816. √(2/3).

4. Le viste frontale e dall'alto condividono...

l'altezza

la larghezza

la profondità

niente

la larghezza. Sono allineate verticalmente.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

Tavole chiare evitano gli scarti. Un simbolo di proiezione letto male può produrre un pezzo speculare, e ogni pezzo scartato spreca il materiale e l'energia impiegati per farlo.

Le norme internazionali di proiezione e tolleranza permettono di realizzare correttamente un disegno ovunque, così i pezzi si possono procurare localmente e i ricambi si possono fare su misura.

Su Saving Planets: Analisi I

Fonti: ASME Y14.5: Dimensioning and Tolerancing (https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/y14-5-dimensioning-tolerancing) · EPA: Sustainable materials management basics (https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-basics)

Risorse di apprendimento gratuite

- Onshape Learning Center (https://learn.onshape.com/): Corsi di disegno e modellazione.
- ASME Y14.5: Dimensioning and Tolerancing (https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/y14-5-dimensioning-tolerancing): La norma di disegno statunitense.

- [ ] **Ho finito questa unità**

Sezioni e viste ausiliarie

Aprire i pezzi per mostrarne l’interno e ruotare la vista per vedere le facce inclinate in vera grandezza.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Disegnare sezioni complete, semisezioni, sezioni spezzate e parziali con tratteggio.
- Applicare le convenzioni di sezione (nervature, alberi ed elementi di fissaggio non tratteggiati in senso longitudinale).
- Costruire una vista ausiliaria primaria di una superficie inclinata.
- Trovare la vera grandezza e la lunghezza reale.

Concetti chiave

- Una vista in sezione immagina un piano di taglio che seziona il pezzo; la metà rimossa lascia vedere le forme interne come linee in vista invece di confuse linee nascoste.
- Il materiale sezionato è tratteggiato con linee sottili, tipicamente a 45°. Nervature sottili, alberi, bulloni e spine sezionati in senso longitudinale per convenzione non si tratteggiano.
- Una linea del piano di taglio con frecce e lettere (A–A) indica dove si trova il taglio e da che parte si guarda.
- Una superficie inclinata appare accorciata nelle viste principali. Una vista ausiliaria proietta su un piano parallelo a essa, mostrandone la vera grandezza.
- Lunghezza inclinata = √(orizzontale² + verticale²) nella vista in cui appare come spigolo.

Equazioni chiave

$$L = \sqrt{a^2 + b^2}$$

`L=^2+b^2`

Lunghezza reale di uno spigolo inclinato

$$A_{true} = \frac{A_{proj}}{\cos\theta}$$

`A_true=_projθ`

Area reale di una faccia inclinata di θ rispetto al piano di vista

Esempi svolti passo passo

Esempio 3.1 Una faccia inclinata appare come spigolo nella vista frontale, salendo di 30 mm su 40 mm. Il pezzo è profondo 25 mm. Trova la vera grandezza della faccia.

1. Lunghezza dello spigolo = $\sqrt{(30^2 + 40^2)} = 50$ mm.
2. Vera grandezza = 50 × 25.

Risposta: 50 mm × 25 mm = 1,250 mm².

Esempio 3.2 Quella faccia è proiettata nella vista dall'alto. Che area sembra avere lì?

1. La vista dall'alto vede il tratto orizzontale di 40 mm × 25 mm.

Risposta: 1000 mm², cioè 1250 × cos θ con cos θ = 40/50 = 0.8.

Esempio 3.3 Un tubo ha diametro esterno di 40 mm e pareti di 3 mm. In una sezione completa, quanto è larga ciascuna fascia tratteggiata?

1. Spessore di parete = 3 mm per lato.
2. Diametro interno = 40 − 6 = 34 mm.

Risposta: Due fasce tratteggiate di 3 mm, con un foro libero di 34 mm tra di esse.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Perché le nervature sezionate longitudinalmente non si tratteggiano?

   Il tratteggio farebbe sembrare una nervatura sottile una massa piena e rappresenterebbe male il pezzo.

2. Una faccia sale di 5 mm su 12 mm. Lunghezza reale del suo spigolo?

   13 mm.

3. Una faccia lunga 60 mm è inclinata in modo che cos θ = 0.6 nella vista dall'alto. Che lunghezza mostra la vista dall'alto?

   36 mm.

Errori concettuali comuni

Mito: Anche le sezioni mostrano le linee nascoste.

In realtà: Di norma le linee nascoste si omettono nelle sezioni.

Mito: Le viste ausiliarie devono mostrare tutto il pezzo.

In realtà: Le viste ausiliarie parziali che mostrano solo la parte inclinata sono la norma.

Mito: Ogni superficie sezionata si tratteggia.

In realtà: Nervature, alberi ed elementi di fissaggio sezionati longitudinalmente per convenzione restano senza tratteggio.

Flashcard

Vista in sezione

Taglio immaginario per mostrare l'interno.

Linea del piano di taglio

Linea grossa con frecce e lettere.

Tratteggio

Linee sottili sul materiale sezionato.

Semisezione

Un quarto rimosso; metà mostra l'interno.

Vista ausiliaria

Vista parallela a una faccia inclinata.

Vera grandezza

Forma e area non deformate.

Quiz di autoverifica

1. Il tratteggio mostra...

spigoli nascosti

materiale sezionato

filettature

finitura superficiale

materiale sezionato. Il materiale attraversato dal piano di taglio.

2. Una vista ausiliaria è parallela...

alla vista frontale

alla superficie inclinata

al pavimento

al cartiglio

alla superficie inclinata. Così mostra la vera grandezza.

3. Una semisezione mostra…

metà del pezzo rimossa

un quarto rimosso

solo l’esterno

una vista ruotata

un quarto rimosso. Interno ed esterno insieme per pezzi simmetrici.

4. La lunghezza reale di uno spigolo che sale di 9 su 12 è…

21

15

10.5

3

15. √(81 + 144).

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

Le sezioni sono il modo in cui i progettisti controllano gli spessori delle pareti, e pareti più sottili dove i carichi lo permettono significano meno materiale. Questo è alleggerire al tavolo da disegno (unità 9).

Il DOE riporta che sostituire pesanti parti in acciaio con materiali più leggeri può ridurre il peso dei componenti del 10–60% nel breve termine.

Su Saving Planets: Fisica I

Fonti: U.S. DOE: Lightweight materials for cars and trucks (https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks) · ASME Y14.5: Dimensioning and Tolerancing (https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/y14-5-dimensioning-tolerancing)

Risorse di apprendimento gratuite

- FreeCAD wiki: Getting started (https://wiki.freecad.org/Getting_started): Sezioni in FreeCAD TechDraw.
- Onshape Learning Center (https://learn.onshape.com/): Corsi di messa in tavola di Onshape.

☐ **Ho finito questa unità**

Quotatura e basi di GD&T

Dire esattamente che dimensioni e forma deve avere un pezzo: regole di quotatura, riferimenti e tolleranze geometriche.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Quotare i pezzi con chiarezza secondo le convenzioni ASME Y14.5.
- Scegliere i riferimenti in base alla funzione.
- Leggere i riquadri di tolleranza per planarità, perpendicolarità, posizione e profilo.
- Calcolare l'errore di posizione e la tolleranza bonus a MMC.

Concetti chiave

- Ogni elemento è quotato una sola volta, nella vista che lo mostra meglio, senza quote ridondanti o in serie che accumulano errori.
- La quotatura e tolleranza geometrica (GD&T), normata in ASME Y14.5 (edizione attuale 2018), controlla forma, orientamento, posizione e profilo rispetto ai riferimenti, le superfici di riferimento che si accoppiano nell'assieme.
- Un riquadro di tolleranza si legge: simbolo | tolleranza (con Ø per una zona cilindrica) | modificatore | riferimenti, ad es. ⌖ Ø0.1 Ⓜ A B C.
- Errore di posizione di un foro = 2√(Δx² + Δy²); deve stare nella zona di tolleranza cilindrica.
- Alla condizione di massimo materiale (MMC) un foro riceve un bonus: man mano che si allontana dal MMC (si allarga), la tolleranza di posizione ammessa cresce della stessa quantità.

Equazioni chiave

$$\varnothing_{pos} = 2\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

```
_pos=2Δ x^2+Δ y^2
```

Errore di posizione misurato (diametro)

$$t_{allowed} = t_{MMC} + (d_{actual} - d_{MMC})$$

```
t_allowed=t_MMC+(d_actual-d_MMC)
```

Tolleranza bonus per un foro a MMC

Esempi svolti passo passo

Esempio 4.1 Un foro dovrebbe trovarsi in (50, 30). Si misura in (50.03, 29.98). La tolleranza di posizione è Ø0.1. È conforme?

1. $\Delta x = 0.03$, $\Delta y = 0.02$.
2. $\text{Ø} = 2\sqrt{(0.0009 + 0.0004)} = 0.072$.

Risposta: Ø0.072 ≤ Ø0.1: conforme.

Esempio 4.2 Il foro è Ø10.0–10.2 con posizione Ø0.1 a MMC. Misura Ø10.15. Che tolleranza di posizione è ammessa?

1. MMC di un foro = dimensione minima = 10.0.
2. Bonus = 10.15 − 10.0 = 0.15.
3. Ammessa = 0.1 + 0.15.

Risposta: Ø0.25.

Esempio 4.3 Tre quote in serie di 20 ± 0.1 ciascuna posizionano un elemento. Qual è la variazione del totale nel caso peggiore?

1. Le tolleranze si sommano: 3 × 0.1.

Risposta: ± 0.3 mm. Quotare ciascuna da un unico riferimento la limiterebbe a ± 0.1.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Un foro è spostato di 0.04 in x e di 0.03 in y. Errore di posizione?

   Ø0.10.

2. Con Ø0.1 a MMC, che tolleranza di posizione è ammessa per un foro Ø10.0–10.2 misurato a Ø10.05?

   Ø0.15.

3. Cosa rappresenta un riferimento?

   Un riferimento teoricamente esatto, di solito dove il pezzo si accoppia o viene bloccato.

Errori concettuali comuni

Mito: L’errore di posizione è uguale allo scostamento.

In realtà: La zona di tolleranza è un diametro, quindi errore = 2 × lo scostamento radiale.

Mito: Tolleranze più strette fanno sempre pezzi migliori.

In realtà: Aumentano costi e scarti; tollera solo ciò che serve alla funzione.

Mito: Il MMC di un foro è la sua dimensione massima.

In realtà: Il massimo materiale per un foro è il foro più piccolo.

Flashcard

GD&T

Quotatura e tolleranza geometrica.

Riferimento

Elemento di riferimento esatto.

Riquadro di tolleranza

Simbolo | tolleranza | modificatori | riferimenti.

Posizione

Tolleranza di localizzazione, di solito una zona a diametro.

MMC

Condizione di massimo materiale.

Tolleranza bonus

Tolleranza aggiuntiva quando un elemento si allontana dal MMC.

Quiz di autoverifica

1. ASME Y14.5 riguarda...

la saldatura

quotatura e tolleranze

i simboli elettrici

i materiali

quotatura e tolleranze. La norma GD&T.

2. Un foro spostato di 0.03 e 0.04 ha un errore di posizione di...

Ø0.05

Ø0.07

Ø0.10

Ø0.14

Ø0.10. 2 × 0.05.

3. Il MMC di un albero è...

la dimensione minima

la dimensione massima

il nominale

zero

la dimensione massima. Il massimo di materiale.

4. Le quote in serie...

riducono l'errore

accumulano le tolleranze

sono obbligatorie

eliminano i riferimenti

accumulano le tolleranze. Gli errori si sommano lungo la catena.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

Tollerare bene è uno strumento per ridurre gli sprechi. Il GD&T funzionale e la tolleranza bonus a MMC accettano pezzi che si monteranno e funzioneranno, invece di scartarli per valori

arbitrariamente stretti.

Il NIST lavora alla definizione basata sul modello, che inserisce le tolleranze direttamente nel modello 3D perché macchine e collaudatori le leggano correttamente, riducendo errori e rilavorazioni.

Su Saving Planets: Introduzione all'ingegneria aerospaziale

Fonti: ASME Y14.5: Dimensioning and Tolerancing (https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/y14-5-dimensioning-tolerancing) · NIST: Model-based enterprise and PMI testing (https://www.nist.gov/el/systems-integration-division-73400/mbe-pmi-validation-and-conformance-testing)

Risorse di apprendimento gratuite

- ASME Y14.5: Dimensioning and Tolerancing (https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/y14-5-dimensioning-tolerancing): La norma.
- NIST: Model-based enterprise and PMI testing (https://www.nist.gov/el/systems-integration-division-73400/mbe-pmi-validation-and-conformance-testing): Tolleranze nei modelli 3D.

☐ **Ho finito questa unità**

Tolleranze e accoppiamenti

Di quanto può variare la dimensione dei pezzi perché si accoppino comunque: limiti, accoppiamenti ISO e catene di tolleranze.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Calcolare limiti, gioco e interferenza.
- Leggere accoppiamenti ISO a foro base come H7/g6 e H7/p6.
- Fare catene di tolleranze nel caso peggiore e con radice della somma dei quadrati (RSS).
- Scegliere un accoppiamento in base alla funzione.

Concetti chiave

- I limiti sono le dimensioni massima e minima ammesse. Tolleranza = limite superiore − limite inferiore.
- Gli accoppiamenti con gioco lasciano sempre uno spazio; quelli con interferenza si sovrappongono sempre (montati a pressione); quelli incerti possono fare l'una o l'altra cosa.
- La ISO 286 codifica gli accoppiamenti come lettera/numero del foro su lettera/numero dell'albero. I fori H partono dalla dimensione nominale; il numero è il grado IT. Per dimensioni di 18–30 mm, IT7 = 21 µm e IT6 = 13 µm.
- La catena nel caso peggiore somma tutte le tolleranze; la RSS assume variazioni casuali indipendenti: √(Σtᵢ²), più piccola e più realistica con molti pezzi.

Equazioni chiave

$$c_{\max} = H_{\max} - s_{\min}, \quad c_{\min} = H_{\min} - s_{\max}$$

`c_=H_-s_, c_=H_-s_`

Limiti di gioco

$$T_{wc} = \sum t_i$$

`T_wc= t_i`

Catena nel caso peggiore

$$T_{RSS} = \sqrt{\sum t_i^2}$$

`T_RSS= t_i^2`

Catena con radice della somma dei quadrati

Esempi svolti passo passo

Esempio 5.1 Un accoppiamento Ø25 H7/g6: foro 25.000–25.021, albero 24.980–24.993. Trova l'intervallo di gioco.

1. c_min = 25.000 − 24.993 = 0.007.
2. c_max = 25.021 − 24.980 = 0.041.

Risposta: Gioco di 0.007–0.041 mm: un accoppiamento scorrevole preciso.

Esempio 5.2 Un accoppiamento Ø25 H7/p6: foro 25.000–25.021, albero 25.022–25.035. Trova l'accoppiamento.

1. Sovrapposizione minima = 25.022 − 25.021 = 0.001.
2. Massima = 25.035 − 25.000 = 0.035.

Risposta: Interferenza di 0.001–0.035 mm: un accoppiamento forzato.

Esempio 5.3 Pezzi da 20 ± 0.10, 30 ± 0.05 e 10 ± 0.05 mm si sommano. Trova la tolleranza nel caso peggiore e RSS.

1. Caso peggiore: 0.10 + 0.05 + 0.05 = 0.20.
2. RSS: √(0.01 + 0.0025 + 0.0025) = 0.122.

Risposta: 60 ± 0.20 mm nel caso peggiore; 60 ± 0.12 mm RSS.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Un foro è 12.000–12.018 e un albero 11.984–11.995. Intervallo di gioco?

   0.005–0.034 mm.

2. Qual è la tolleranza del foro H7 sopra?

   0.021 mm = 21 µm.

3. Quattro pezzi da ± 0.05 ciascuno: caso peggiore e RSS?

   ± 0.20 e ± 0.10.

Errori concettuali comuni

Mito: La RSS è sempre sicura.

In realtà: Assume variazioni indipendenti e centrate; per accoppiamenti critici per la sicurezza usa il caso peggiore.

Mito: Gli accoppiamenti con interferenza non richiedono calcoli.

In realtà: Troppa interferenza può incrinare i pezzi; calcola l'intervallo.

Mito: Il numero di tolleranza è in millimetri.

In realtà: I gradi IT corrispondono a valori in micrometri che dipendono dalla dimensione.

Flashcard

Limiti

Dimensioni massima e minima ammesse.

Accoppiamento con gioco

Sempre uno spazio.

Accoppiamento con interferenza

Sempre sovrapposizione.

Accoppiamento incerto

Spazio o sovrapposizione.

Catena nel caso peggiore

Σt_i.

Catena RSS

$\sqrt{\Sigma t_i^2}$.

Quiz di autoverifica

1. H7/g6 è un...

accoppiamento forzato

accoppiamento con gioco

accoppiamento incerto

filettatura

accoppiamento con gioco. Gli alberi g stanno sotto il foro H.

2. La RSS per ±0.3 e ±0.4 è...

±0.7

±0.5

±0.35

±0.1

±0.5. √(0.09 + 0.16).

3. IT7 per dimensioni di 18–30 mm è...

7 µm

13 µm

21 µm

0.7 mm

21 µm. Tabella ISO 286.

4. Il limite inferiore di un foro H è...

sopra il nominale

esattamente il nominale

sotto il nominale

a caso

esattamente il nominale. Sistema foro base.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

Buoni accoppiamenti rendono i prodotti riparabili: gli accoppiamenti ISO normalizzati permettono di sostituire cuscinetti, spine e boccole con pezzi commerciali anni dopo, mantenendo una

macchina in servizio invece che in discarica.

Scegliere la RSS quando è appropriato consente tolleranze individuali più larghe, cioè processi più economici e meno scarti a parità di qualità dell'assieme.

Su Saving Planets: Analisi II

Fonti: ISO 286-1: ISO code system for tolerances and fits (https://www.iso.org/standard/45975.html) · EPA: Sustainable materials management basics (https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-basics)

Risorse di apprendimento gratuite

- ISO 286-1: ISO code system for tolerances and fits (https://www.iso.org/standard/45975.html): Il sistema di accoppiamenti ISO.
- MIT OpenCourseWare 2.007: Design and Manufacturing I (https://ocw.mit.edu/courses/2-007-design-and-manufacturing-i-spring-2009/): Accoppiamenti nella progettazione di macchine.

☐ **Ho finito questa unità**

Modellazione 3D parametrica

Costruire modelli solidi da schizzi vincolati e feature in Onshape o FreeCAD, e renderli facili da modificare.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Creare schizzi 2D completamente vincolati.
- Usare le feature estrusione, rivoluzione, raccordo, smusso, foro, svuotamento e serie.
- Pilotare i modelli con variabili ed equazioni (intento progettuale).
- Calcolare le proprietà di massa e usarle nella progettazione.

Concetti chiave

- Un modello parametrico è una ricetta: schizzi più feature in un albero della cronologia. Cambia una quota e il modello si ricostruisce.
- Uno schizzo è completamente vincolato quando vincoli geometrici (parallelo, tangente, coincidente) e quote fissano ogni grado di libertà. Ogni punto 2D libero ha 2 gradi di libertà.
- Intento progettuale: quota nel modo in cui il pezzo funziona. Se i fori devono restare centrati, vincolali al punto medio, non a uno spigolo.
- Le variabili (Onshape) e i fogli di calcolo o le espressioni (FreeCAD) permettono a un solo numero di pilotare molte feature.
- Il CAD calcola volume, massa, baricentro e momenti d’inerzia dalla densità del materiale.

Equazioni chiave

$$m = \rho V$$

`m=ρ V`

Massa dal volume

$$\mathrm{DOF}_{sketch} = 2n_{pts} - \sum \text{constraints}$$

`DOF_sketch=2n_pts-`

Gradi di libertà di uno schizzo (solo punti)

$$V_{rev} = 2\pi \bar{r} A$$

`V_rev=2π r A`

Pappo: volume di rivoluzione

Esempi svolti passo passo

Esempio 6.1 Una piastra di alluminio misura 100 × 60 × 5 mm con quattro fori passanti Ø6. Trova la sua massa (ρ = 2.70 g/cm³).

1. V = 100 × 60 × 5 − 4 × π × 3² × 5 = 30,000 − 565.5 = 29,434.5 mm³.
2. m = 29.43 cm³ × 2.70.

Risposta: ≈ 79.5 g.

Esempio 6.2 Un rettangolo disegnato con lo strumento rettangolo ha 4 vertici (8 GDL) e include 2 vincoli orizzontali e 2 verticali. Quante quote o vincoli in più lo vincolano completamente?

1. Restano 8 − 4 = 4 GDL: larghezza, altezza e posizione in x e y.
2. Aggiungi larghezza e altezza, poi rendi un vertice coincidente con l'origine (ne toglie 2).

Risposta: Altri 4: due quote più due per la posizione (ad es. un vertice coincidente con l'origine).

Esempio 6.3 Un anello si ottiene facendo ruotare un rettangolo di 10 × 4 mm il cui baricentro è a 25 mm dall'asse. Trova il suo volume.

1. A = 40 mm².
2. V = 2π × 25 × 40.

Risposta: ≈ 6,283 mm³ (6.28 cm³).

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Un blocco d'acciaio di 50 × 50 × 20 mm (ρ = 7.85 g/cm³). Massa?

   50 cm³ × 7.85 ≈ 392.5 g.

2. Perché vincolare completamente gli schizzi?

   Perché le modifiche si ricostruiscano in modo prevedibile; gli schizzi sottovincolati si spostano quando vengono modificati.

3. Un cubo di PLA di 20 mm di lato, pieno (ρ = 1.24 g/cm³). Massa?

   8 cm³ × 1.24 ≈ 9.9 g.

Errori concettuali comuni

Mito: Un modello che sembra giusto è giusto.

In realtà: Controlla gli schizzi sottovincolati e i riferimenti fragili; si rompono con le modifiche.

Mito: Quota da qualunque spigolo comodo.

In realtà: Quota dai riferimenti funzionali per catturare l'intento.

Mito: Le proprietà di massa sono esatte.

In realtà: Valgono quanto la densità e il modello che inserisci.

Flashcard

Modello parametrico

Feature pilotate da quote modificabili.

Vincolo

Relazione geometrica, ad es. tangenza.

Intento progettuale

Il modello si comporta come richiede la funzione.

Feature

Estrusione, rivoluzione, raccordo, foro, serie...

Albero della cronologia

Elenco ordinato delle feature.

Proprietà di massa

Volume, massa, baricentro, inerzia.

Quiz di autoverifica

1. Uno schizzo completamente vincolato ha...

nessuna quota

zero GDL residui

solo vincoli

solo quote

zero GDL residui. Ogni GDL è fissato.

2. L’albero della cronologia registra…

le e-mail

la sequenza delle feature

solo i materiali

le impostazioni di rendering

la sequenza delle feature. La ricetta parametrica.

3. Ruotando un’area A con raggio del baricentro r̄ si ottiene un volume…

πr̄A

2πr̄A

r̄A

2πA

2πr̄A. Teorema di Pappo.

4. Onshape funziona…

solo su Linux

in un browser web

solo offline

solo sui telefoni

in un browser web. CAD nativo cloud.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

I modelli parametrici rendono economico provare versioni più leggere: cambia la variabile dello spessore di parete e tutto il pezzo si aggiorna, con la nuova massa. Così l’alleggerimento passa dalle

supposizioni a uno studio rapido (laboratorio D).

Il piano gratuito di Onshape e FreeCAD mettono la modellazione professionale alla portata di tutti, così i progetti open source di ricambi e tecnologie appropriate possono essere condivisi e migliorati.

Su Saving Planets: Introduzione all'ingegneria aerospaziale

Fonti: Onshape Free plan (https://www.onshape.com/en/products/free) · FreeCAD (gratuito, open source) (https://www.freecad.org/)

Risorse di apprendimento gratuite

- Onshape Learning Center (https://learn.onshape.com/): Corsi di modellazione gratuiti al tuo ritmo.
- FreeCAD wiki: Getting started (https://wiki.freecad.org/Getting_started): Basi di FreeCAD Part Design.
- Onshape Free plan (https://www.onshape.com/en/products/free): Iscriviti al piano gratuito.

- [ ] **Ho finito questa unità**

Assiemi e tavole

Unire i pezzi con vincoli di accoppiamento, controllare movimenti e interferenze, e produrre tavole da cui si possa costruire.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Assemblare pezzi con vincoli (fisso, rotoidale, prismatico) e contare i gradi di libertà.
- Controllare interferenze e giochi.
- Produrre disegni di particolare e d'assieme con cartiglio, distinta base e palloncini.
- Usare l'equazione di Grübler per i meccanismi piani.

Concetti chiave

- Un corpo rigido libero ha 6 gradi di libertà (3 traslazioni, 3 rotazioni). Un vincolo rotoidale ne lascia 1; uno prismatico ne lascia 1; uno fisso ne lascia 0.
- L'assemblaggio dal basso inserisce pezzi finiti; la progettazione dall'alto disegna i pezzi nel contesto dell'assieme.
- La mobilità di un meccanismo piano è M = 3(n − 1) − 2j_1 − j_2 (Grübler), con n membri incluso il telaio, j_1 coppie complete e j_2 semicoppie.
- Le tavole derivano dal modello: viste, sezioni, quote e note, un cartiglio (pezzo, materiale, scala, simbolo di proiezione, unità, tolleranze) e, per gli assiemi, una distinta base (BOM) con palloncini.
- I controlli di interferenza individuano i pezzi che si sovrappongono prima di realizzare qualsiasi cosa.

Equazioni chiave

$$M = 3(n-1) - 2j_1 - j_2$$

`M=3(n-1)-2j_1-j_2`

Equazione di Grübler (piana)

$$\mathrm{DOF}_{3D} = 6 - \text{removed}$$

`DOF_3D=6-removed`

GDL residui di un pezzo vincolato

Esempi svolti passo passo

Esempio 7.1 Trova la mobilità di un quadrilatero articolato (4 membri incluso il telaio, 4 cerniere).

1. $M = 3(4 - 1) - 2(4) = 9 - 8$.

Risposta: M = 1: un solo ingresso lo aziona.

Esempio 7.2 Un manovellismo di spinta: telaio, manovella, biella, pistone; 3 cerniere e 1 coppia prismatica.

1. $n = 4$, $j_1 = 4$ (cerniere e coppia prismatica sono coppie complete).
2. $M = 9 - 8$.

Risposta: M = 1, come in un motore.

Esempio 7.3 Una distinta base elenca 4 × viti M5 da 1.2 g, 1 piastra da 79.5 g e 2 staffe da 15.0 g. Massa totale dell'assieme?

1. 4.8 + 79.5 + 30.0.

Risposta: 114.3 g.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Mobilità con 5 membri e 5 cerniere?

   $M = 12 - 10 = 2$.

2. Mobilità con 3 membri e 3 cerniere?

   $M = 6 - 6 = 0$: una struttura rigida (un triangolo).

3. Cosa deve riportare ogni cartiglio?

   Nome/numero del pezzo, materiale, scala, unità, metodo di proiezione, tolleranze generali, autore e revisione.

Errori concettuali comuni

Mito: Più vincoli sono più sicuri.

In realtà: I vincoli ridondanti iperstatizzano e possono impedire la soluzione o nascondere errori.

Mito: I disegni d'assieme richiedono tutte le quote.

In realtà: I disegni di particolare riportano le quote dei pezzi; quelli d'assieme mostrano come si uniscono i pezzi.

Mito: Se il modello si monta, si monteranno anche i pezzi reali.

In realtà: Solo se le tolleranze sono verificate (unità 5).

Flashcard

Vincolo di accoppiamento

Relazione che posiziona i pezzi.

Rotoidale

Cerniera; 1 GDL rotazionale.

Grübler

$M = 3(n - 1) - 2j_1 - j_2$.

BOM

Distinta base.

Palloncino

Richiamo numerato che collega un pezzo alla distinta base.

Cartiglio

Identità, scala, unità e tolleranze della tavola.

Quiz di autoverifica

1. Un corpo rigido libero in 3D ha...

3 DOF

6 DOF

1 DOF

12 DOF

6 DOF. 3 traslazioni, 3 rotazioni.

2. Un quadrilatero articolato ha mobilità...

0

1

2

3

1. Grübler.

3. Una distinta base elenca...

tolleranze

pezzi e quantità

solo colori

vincoli di accoppiamento

pezzi e quantità. Distinta base.

4. Un vincolo rotoidale lascia...

0 DOF

1 DOF

2 DOF

6 DOF

1 DOF. Una rotazione.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

Un disegno d'assieme chiaro e una distinta base sono un manuale di riparazione. I progetti che usano elementi di fissaggio standard e si possono smontare sono più facili da riparare, ricondizionare e riciclare, un'idea centrale della gestione sostenibile dei materiali.

Contare i pezzi nella distinta base è anche un controllo di progettazione per l'assemblaggio: meno pezzi di solito significano meno materiale, meno energia e meno guasti.

Su Saving Planets: Fisica I

Fonti: EPA: Sustainable materials management basics (https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-basics) · FreeCAD wiki: Getting started (https://wiki.freecad.org/Getting_started)

Risorse di apprendimento gratuite

- FreeCAD wiki: Getting started (https://wiki.freecad.org/Getting_started): Assiemi FreeCAD e TechDraw.
- Onshape Learning Center (https://learn.onshape.com/): Assiemi e tavole Onshape.
- MIT OpenCourseWare 2.007: Design and Manufacturing I (https://ocw.mit.edu/courses/2-007-design-and-manufacturing-i-spring-2009/): I meccanismi in MIT 2.007.

- [ ] **Ho finito questa unità**

Stampa 3D e progettazione per la produzione

Come si producono davvero i pezzi e come progettarli perché siano facili, economici e con pochi sprechi da realizzare, stampa 3D compresa.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Descrivere i processi additivi (stampa 3D), sottrattivi (lavorazione meccanica) e di formatura.
- Progettare per la stampa FDM: sbalzi, supporti, spessore delle pareti, orientamento.
- Stimare massa, lunghezza del filamento e tempo di stampa.
- Applicare le regole di progettazione per la produzione e l'assemblaggio (DFM/DFA).

Concetti chiave

- La produzione additiva costruisce i pezzi strato per strato; il NIST lavora su metrologia e norme per rendere affidabili i pezzi AM. La lavorazione meccanica asporta materiale; stampaggio e fusione gli danno forma.
- Stampa a filamento fuso (FDM): gli sbalzi oltre circa 45° dalla verticale di solito richiedono supporti; orienta i pezzi in modo che i carichi non separino gli strati, perché l'adesione tra strati è la direzione debole.
- Il riempimento (spesso 10–20%) e poche pareti perimetrali rendono leggere le stampe; le stampe piene sprecano materiale e tempo.
- Lunghezza di filamento per grammo = 1/(ρπr²). Per PLA da 1.75 mm (ρ = 1.24 g/cm³) sono circa 33.5 cm per grammo.
- DFM/DFA: meno pezzi, elementi e fissaggi standard, raggi generosi, elementi autocentranti ed evitare tolleranze inutilmente strette.

Equazioni chiave

$$\ell = \frac{m}{\rho \, \pi r^2}$$

```
=(m)/(ρ π r^2)
```

Lunghezza del filamento per una stampa di massa m

$$t \approx \frac{V}{w \, h \, v}$$

Tempo di stampa da volume, larghezza della linea w, altezza dello strato h e velocità v

Esempi svolti passo passo

Esempio 8.1 Quanto filamento PLA da 1.75 mm usa una stampa da 10 g?

1. Sezione $\pi(0.0875\ \text{cm})^2 = 0.02405\ \text{cm}^2$.
2. Lunghezza per grammo = $1/(1.24 \times 0.02405) = 33.5$ cm.
3. $\times$ 10.

Risposta: ≈ 3.35 m.

Esempio 8.2 Stima il tempo di stampa per 10 g di PLA con linea da 0.4 mm e strati da 0.2 mm a 50 mm/s.

1. $V = 10/1.24 = 8.065\ \text{cm}^3 = 8{,}065\ \text{mm}^3$.
2. Portata = $0.4 \times 0.2 \times 50 = 4\ \text{mm}^3/\text{s}$.
3. $t = 8{,}065/4 = 2{,}016$ s.

Risposta: ≈ 34 minuti di estrusione (le stampe reali durano di più per i movimenti a vuoto).

Esempio 8.3 Un cubo pieno di PLA da 20 mm pesa 9.9 g. Con circa il 15% di riempimento e pareti, pesa circa 3.5 g. Quale frazione di materiale si risparmia?

1. $(9.9 - 3.5)/9.9$.

Risposta: ≈ 65% di plastica in meno (stima di esempio; lo slicer riporta il valore reale).

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Quanti grammi pesa 1 m di PLA da 1.75 mm?

   $100/33.5 \approx 2.98$ g.

2. Perché stampare una staffa in modo che gli strati seguano il percorso del carico?

   L’adesione tra gli strati è più debole delle linee estruse.

3. Indica due regole DFA.

   Ridurre il numero di pezzi; usare elementi autocentranti e fissaggi standard.

Errori concettuali comuni

Mito: La stampa 3D è sempre più ecologica.

In realtà: Può risparmiare materiale, ma contano energia, stampe fallite e rifiuti non riciclati; confronta pezzo per pezzo.

Mito: Le stampe sono ugualmente resistenti in ogni direzione.

In realtà: I pezzi FDM sono più deboli tra gli strati.

Mito: Il riempimento al 100% è il più resistente, quindi sempre il migliore.

In realtà: Le pareti sopportano gran parte della flessione; più riempimento aggiunge massa e tempo con poco beneficio.

Flashcard

Produzione additiva

Costruzione strato per strato.

FDM

Stampa 3D a filamento fuso.

Riempimento

Percentuale di reticolo interno.

Supporto

Struttura temporanea sotto gli sbalzi.

DFM

Progettazione per la produzione.

DFA

Progettazione per l’assemblaggio.

Quiz di autoverifica

1. I pezzi FDM sono più deboli...

lungo il filamento

tra gli strati

in superficie

da nessuna parte

tra gli strati. Adesione tra gli strati.

2. Gli sbalzi oltre circa 45° di solito richiedono...

supporti

più riempimento

velocità maggiore

vernice

supporti. Non c'è nulla su cui stampare.

3. Filamento per grammo per PLA da 1.75 mm ≈

3.4 cm

33.5 cm

3.35 m

335 m

33.5 cm. $1/(\rho\pi r^2)$.

4. Una regola DFA chiave è...

aggiungere pezzi

ridurre il numero di pezzi

stringere tutte le tolleranze

usare viti su misura

ridurre il numero di pezzi. Meno pezzi, meno passaggi.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

Le plastiche sono un grande flusso di rifiuti: l'EPA riporta che la produzione di plastica negli USA è stata di 35.7 milioni di tonnellate nel 2018, il 12.2% dei rifiuti solidi urbani, e solo l'8.7% è stato

riciclato. Progettare stampe con poco riempimento, pochi supporti e meno tentativi falliti riduce direttamente quei rifiuti.

La produzione additiva può mettere materiale solo dove i carichi lo richiedono, consentendo pezzi più leggeri; il lavoro del NIST mira a rendere quei pezzi abbastanza affidabili per usi impegnativi.

Su Saving Planets: Introduzione all'ingegneria aerospaziale

Fonti: EPA: Plastics, material-specific data (https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/plastics-material-specific-data) · NIST: Additive manufacturing (https://www.nist.gov/additive-manufacturing)

Risorse di apprendimento gratuite

- NIST: Additive manufacturing (https://www.nist.gov/additive-manufacturing): Norme e metrologia per la stampa 3D.
- MIT OpenCourseWare 2.007: Design and Manufacturing I (https://ocw.mit.edu/courses/2-007-design-and-manufacturing-i-spring-2009/): Processi produttivi.
- EPA: Plastics, material-specific data (https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/plastics-material-specific-data): Dati sulle plastiche.

☐ **Ho finito questa unità**

Progettazione sostenibile e alleggerimento

Usare le competenze CAD per rendere i pezzi più leggeri, più durevoli e più facili da riparare e riciclare, e stimarne il vantaggio.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Confrontare sezioni per massa e rigidezza (momento d'inerzia della sezione).
- Stimare i risparmi di carburante e di CO_2 dall'alleggerimento dei veicoli.
- Applicare i principi di progettazione per riparazione, smontaggio e riciclo.
- Scegliere i materiali tenendo conto dell'intero ciclo di vita.

Concetti chiave

- La rigidezza a flessione dipende da EI. Allontanare il materiale dall'asse neutro (tubi, travi a I) aumenta I con meno massa.
- Il DOE riporta che una riduzione del 10% del peso del veicolo può migliorare il consumo di carburante del 6–8%, e che i materiali leggeri possono ridurre il peso dei componenti del 10–60% nel breve termine.
- L'EPA riporta che ogni gallone di benzina bruciato produce circa 8887 g di CO_2 (circa 2.35 kg per litro).
- Progettazione per lo smontaggio: viti invece di colla, materiali singoli dove possibile e plastiche etichettate.
- Il più leggero non è sempre il più ecologico: confronta i materiali sull'intero ciclo di vita, inclusi energia di produzione e riciclabilità.

Equazioni chiave

$$I_{rect} = \frac{bh^3}{12}, \quad I_{tube} = \frac{B^4 - b^4}{12}$$

```
I_rect=(bh^3)/(12), I_tube=(B^4-b^4)/(12)
```

Momento d'inerzia della sezione: barra piena e tubo quadro

$$\Delta \mathrm{CO_2} = \Delta \mathrm{fuel} \times 2.35\ \mathrm{kg/L}$$

```
ΔCO_2=Δfuel×2.35\ kg/L
```

CO_2 da benzina risparmiata

Esempi svolti passo passo

Esempio 9.1 Confronta una barra quadra piena da 20 × 20 mm con un tubo quadro da 25 × 25 mm con pareti da 2 mm: area (massa) e I.

1. Barra: $A = 400\ mm^2$, $I = 20^4/12 = 13333\ mm^4$.
2. Tubo: $A = 625 - 441 = 184\ mm^2$, $I = (25^4 - 21^4)/12 = 16345\ mm^4$.

Risposta: Il tubo usa il 54% di materiale in meno ed è il 23% più rigido a flessione.

Esempio 9.2 Un'auto da 1500 kg viene alleggerita del 10% (150 kg). Consuma 8 L/100 km e percorre 15000 km all'anno. Usando il 6–8% del DOE, stima il carburante risparmiato all'anno.

1. Carburante annuo = 15000/100 × 8 = 1200 L.
2. 6%: 72 L; 8%: 96 L.

Risposta: Circa 72–96 L all'anno.

Esempio 9.3 Converti in CO_2 con gli 8887 g per gallone dell'EPA.

1. 8.887 kg / 3.785 L = 2.35 kg/L.
2. 72 × 2.35 = 169; 96 × 2.35 = 225.

Risposta: ≈ 170–225 kg di CO_2 per auto all'anno (una stima semplificata).

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. I di una barra piena da 10 × 30 mm inflessa attorno al suo asse largo 10 mm (h = 30)?

   $10 \times 30^3/12 = 22{,}500\ mm^4$.

2. La stessa barra posta di piatto (h = 10, b = 30)?

   $30 \times 10^3/12 = 2500\ mm^4$: 9 volte meno rigida.

3. Quanti litri di benzina producono 1 tonnellata di CO_2?

   1,000/2.35 ≈ 426 L.

Errori concettuali comuni

Mito: Più leggero significa sempre più ecologico.

In realtà: Alcuni materiali leggeri richiedono molta più energia per essere prodotti; valuta sull'intero ciclo di vita.

Mito: La rigidezza dipende solo dalla quantità di materiale.

In realtà: Conta di più dove si trova il materiale (I).

Mito: La colla rende i prodotti migliori.

In realtà: Spesso impedisce riparazione e riciclo.

Flashcard

Momento d'inerzia della sezione

I; rigidezza geometrica a flessione.

Alleggerimento

Togliere massa senza perdere funzione.

Regola del DOE

10% più leggero → 6–8% di consumi migliori.

CO_2 della benzina

≈ 8887 g/gal ≈ 2.35 kg/L.

Progettazione per lo smontaggio

Facile da smontare per riparazione e riciclo.

Ciclo di vita

Materiali, produzione, uso e fine vita.

Quiz di autoverifica

1. La rigidezza a flessione dipende da...

solo E

EI

solo la massa

il colore

EI. Modulo × momento d'inerzia della sezione.

2. DOE: veicolo più leggero del 10% → il consumo migliora del...

1–2%

6–8%

20–30%

50%

6–8%. Dato DOE.

3. Un gallone di benzina bruciato produce circa…

889 g CO_2

8,887 g CO_2

88 kg CO_2

2 g CO_2

8,887 g CO_2. Dato EPA.

4. Una scelta di progettazione per lo smontaggio è…

adesivo ovunque

viti e materiali singoli

plastiche laminate miste

coperchi saldati

viti e materiali singoli. Riparazione e riciclo più facili.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

L'alleggerimento è uno degli strumenti climatici più diretti per chi usa il CAD. Il DOE riporta che un veicolo più leggero del 10% può migliorare i consumi del 6–8%, e l'EPA stima ogni gallone di benzina in circa 8887 g di CO_2.

Progettare per riparazione e riciclo mantiene i materiali in uso; l'EPA descrive la gestione sostenibile dei materiali come un approccio sistematico per usare e riusare i materiali in modo più produttivo

lungo tutto il loro ciclo di vita.

Su Saving Planets: Fisica I

Fonti: U.S. DOE: Lightweight materials for cars and trucks (https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks) · EPA: Greenhouse gas emissions from a typical passenger vehicle (https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle)

Risorse di apprendimento gratuite

- U.S. DOE: Lightweight materials for cars and trucks (https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks): Dati sui materiali leggeri.
- EPA: Greenhouse gas emissions from a typical passenger vehicle (https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle): Dati sulla CO_2 dei veicoli.
- EPA: Sustainable materials management basics (https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-basics): Pensiero sul ciclo di vita.

☐ **Ho finito questa unità**

Esercizi

Questi esercizi stanno dentro ogni unità. Falli su carta, poi apri la risposta.

1. Schizzo e visualizzazione
   3 esercizi
2. Proiezione ortogonale e isometrica
   4 esercizi
3. Sezioni e viste ausiliarie
   3 esercizi
4. Quotatura e basi di GD&T
   3 esercizi
5. Tolleranze e accoppiamenti
   3 esercizi
6. Modellazione 3D parametrica
   3 esercizi
7. Assiemi e tavole
   3 esercizi
8. Stampa 3D e progettazione per la produzione
   3 esercizi
9. Progettazione sostenibile e alleggerimento
   3 esercizi

Laboratori

Quattro laboratori portano un pezzo dalla carta alla plastica: una staffa parametrica in Onshape, un assieme e una tavola in FreeCAD, una stima e una stampa 3D, e uno studio di alleggerimento.

I dati di esempio sono indicati come tali. Le tue misure saranno diverse, e spiegare perché fa parte del laboratorio.

Riferimento per la sicurezza: NIST: Additive manufacturing (https://www.nist.gov/additive-manufacturing)

Laboratorio A: una staffa parametrica in Onshape

SETTIMANA 9

Obiettivo: Modellare una staffa a L pilotata da variabili, poi cambiare una variabile e vedere aggiornarsi il modello e la sua massa.

$$m = \rho V$$

```
m=ρ V
```

Massa dal volume

Procedimento

1. Crea un account Onshape gratuito (piano Free) o usa FreeCAD.
2. Definisci le variabili: piastra 100 × 60 mm, spessore t = 5 mm, foro Ø6, distanza dei fori dal bordo 10 mm.
3. Schizza, estrudi, aggiungi quattro fori con una serie e imposta l'alluminio come materiale (2.70 g/cm³).
4. Registra la massa. Cambia t in 4 mm e registrala di nuovo.

Tabella dei dati

Spessore t (mm)	Volume (mm³)	Massa (g)
5	29,434	79.5
4	23,548	63.6
3	17,661	47.7

Valori calcolati per la piastra piana con quattro fori Ø6; la tua staffa completa sarà diversa.

Calcolo di esempio

1. V = (100 × 60 − 4π × 3²) × t = 5,886.9 × t mm³.
2. Massa = V × 2.70 g/cm³: 79.5 g a 5 mm. Ogni millimetro di spessore costa 15.9 g.

> **Sicurezza**
>
> - Nessuna, oltre al normale uso del computer.

Alternativa a casa o virtuale

- Funziona in un browser web.

Onshape Free plan (https://www.onshape.com/en/products/free) · Onshape Learning Center (https://learn.onshape.com/)

Legame con il pianeta: Gli studi parametrici sullo spessore sono il modo più rapido per trovare il pezzo più leggero che funziona ancora. U.S. DOE: Lightweight materials for cars and trucks (https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks)

- [ ] **Ho completato questo laboratorio (reale o virtuale)**

Laboratorio B: assieme e tavola in FreeCAD

SETTIMANA 11

Obiettivo: Assemblare un quadrilatero articolato, verificarne movimento e mobilità, e produrre una tavola con cartiglio e distinta base.

$$M = 3(n-1) - 2j_1$$

`M=3(n-1)-2j_1`

Equazione di Grübler

Procedimento

1. Modella un telaio (100 mm), una manovella (40 mm), una biella (120 mm) e un bilanciere (80 mm), ciascuno largo 10 mm con fori Ø6 alle estremità.
2. Assembla con cerniere (rotoidali) e aziona la manovella.
3. Verifica se la manovella compie un giro completo (Grashof: più corto + più lungo ≤ somma degli altri due).
4. Fai una tavola: viste, quote, cartiglio, distinta base e palloncini.

Tabella dei dati

Verifica	Valore
Mobilità M	1
Più corto + più lungo (mm)	160
Gli altri due (mm)	180
La manovella può compiere un giro completo?	Yes

Valori calcolati per le lunghezze date.

Calcolo di esempio

1. M = 3(4 − 1) − 2 × 4 = 1.
2. Grashof: 40 + 120 = 160 ≤ 100 + 80 = 180, e il membro più corto è la manovella, quindi può compiere un giro completo.

> **Sicurezza**
>
> - Nessuna, oltre al normale uso del computer.

Alternativa a casa o virtuale

- FreeCAD è gratuito per Windows, Mac e Linux.

FreeCAD (gratuito, open source) (https://www.freecad.org/) · FreeCAD wiki: Getting started (https://wiki.freecad.org/Getting_started)

Legame con il pianeta: Tavole con distinte base chiare rendono i prodotti più facili da riparare e mantenere. EPA: Sustainable materials management basics (https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-basics)

- [ ] **Ho completato questo laboratorio (reale o virtuale)**

Laboratorio C: stampalo (o stimalo)

SETTIMANA 13

Obiettivo: Elaborare con lo slicer un cubo di calibrazione da 20 mm con diversi riempimenti, confrontare massa e tempo, stamparne uno se possibile e misurarlo.

$$\ell = \frac{m}{\rho \pi r^2}$$

```
=(m)/(ρπ r^2)
```

Lunghezza del filamento

Procedimento

1. Esporta il cubo in STL e aprilo in uno slicer gratuito.
2. Registra massa e tempo indicati dallo slicer con riempimento al 100%, 20% e 10%.
3. Stampa un cubo se ne hai la possibilità; misuralo con un calibro in x, y e z.
4. Calcola l'errore dimensionale e la lunghezza del filamento.

Tabella dei dati

Asse misurato	Nominale (mm)	Misurato (mm)
x	20.00	20.12
y	20.00	20.08
z	20.00	19.90

Misure di esempio per esercitarsi, non una stampa reale.

Calcolo di esempio

1. Errori: +0.12, +0.08 e −0.10 mm, cioè +0.6%, +0.4% e −0.5%.
2. Un cubo pieno pesa 9.9 g ≈ 3.32 m di filamento da 1.75 mm; i valori dello slicer con riempimento basso saranno molto inferiori.

> **Sicurezza**
>
> - Ugelli e piani delle stampanti sono caldi (spesso 200 °C+ e 60 °C): non toccarli durante la stampa né subito dopo.
> - Stampa in una stanza ventilata e segui le regole della stampante e del makerspace.

Alternativa a casa o virtuale

- Va bene una stampante di biblioteca o makerspace; oppure svolgi solo la parte con lo slicer.

NIST: Additive manufacturing (https://www.nist.gov/additive-manufacturing)

Legame con il pianeta: Riempimento basso e buon orientamento riducono l'uso di plastica e le stampe fallite. EPA: Plastics, material-specific data (https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/plastics-material-specific-data)

- [ ] **Ho completato questo laboratorio (reale o virtuale)**

Laboratorio D: studio di alleggerimento

SETTIMANA 14

Obiettivo: Confrontare sezioni di trave per massa e rigidezza in CAD e a mano, poi stimare quanto vale l’alleggerimento per un’auto.

$$I_{tube} = \frac{B^4 - b^4}{12}$$

```
I_tube=(B^4-b^4)/(12)
```

Momento d’inerzia della sezione di un tubo quadro

Procedimento

1. Modella travi da 500 mm: una barra piena da 20 × 20 mm e tubi da 25 × 25 mm con pareti da 2 mm e 1.5 mm.
2. Leggi dal CAD la massa di ogni trave (acciaio, 7.85 g/cm³) e le proprietà della sezione.
3. Calcola I a mano e confronta.
4. Usa la regola del 6–8% del DOE e il dato CO_2 dell’EPA per stimare il risparmio annuo per l’auto dell’unità 9.

Tabella dei dati

Sezione	Area (mm²)	I (mm⁴)	Massa, acciaio 500 mm (g)
Piena 20 × 20	400	13,333	1,570
Tubo 25 × 25 × 2	184	16,345	722
Tubo 25 × 25 × 1.5	141	13,031	553

Valori calcolati.

Calcolo di esempio

1. Il tubo da 1.5 mm è entro circa il 2% della rigidezza della barra piena (13031 contro 13333 mm⁴) con il 35% della massa.
2. Massa = area × 500 mm × 7.85 g/cm³: 400 mm² → 1570 g.

> **Sicurezza**
>
> - Nessuna, oltre al normale uso del computer.

Alternativa a casa o virtuale

- Bastano un foglio di calcolo e un CAD.

U.S. DOE: Lightweight materials for cars and trucks (https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks)

Legame con il pianeta: DOE: un veicolo più leggero del 10% può migliorare i consumi del 6–8%. U.S. DOE: Lightweight materials for cars and trucks (https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks) · EPA: Greenhouse gas emissions from a typical passenger vehicle (https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle)

- [ ] **Ho completato questo laboratorio (reale o virtuale)**

Serie di esercizi per gli esami

Cronometrati: circa 10 minuti per problema. Poi confronta con le soluzioni complete.

Esercizi di preparazione all'esame intermedio (unità 1–5)

1. In scala 1:5, quanto è lunga sulla carta una trave di 1200 mm?

    1. 1,200/5.

    Risposta: 240 mm.

2. Trova la lunghezza reale di uno spigolo da (0, 0, 0) a (20, 20, 10).

    1. √(400 + 400 + 100).

    Risposta: 30 mm.

3. Un foro è spostato di 0.04 in x e di 0.03 in y. Errore di posizione?

    1. 2√(0.0016 + 0.0009).

    Risposta: Ø0.10.

4. Foro 25.000–25.021, albero 24.980–24.993. Intervallo di gioco?

    1. 25.000 − 24.993; 25.021 − 24.980.

    Risposta: 0.007–0.041 mm.

5. Catena 20 ± 0.10, 30 ± 0.05, 10 ± 0.05: caso peggiore e RSS?

    1. 0.20; √0.015.

    Risposta: ± 0.20 e ± 0.12 mm.

Serie di esercizi finale (tutte le unità)

1. Massa di una piastra di alluminio da 100 × 60 × 5 mm con quattro fori Ø6?

    1. V = 29,434.5 mm³; × 2.70 g/cm³.

    Risposta: ≈ 79.5 g.

2. Mobilità di un meccanismo piano con 5 membri e 5 cerniere?

    1. 3(4) − 10.

    Risposta: 2.

3. Lunghezza del filamento per una stampa in PLA da 10 g (1.75 mm)?

    1. 10 × 33.5 cm.

    Risposta: ≈ 3.35 m.

4. Confronta I di una barra piena da 20 × 20 e di un tubo da 25 × 25 × 2.

    1. 13,333 vs 16,345 mm⁴.

    Risposta: Il tubo è il 23% più rigido con il 54% di materiale in meno.

5. Un’auto risparmia 72 L di benzina all’anno. CO_2 risparmiata?

    1. 72 × 2.35.

    Risposta: ≈ 169 kg.

Formulario

$$\text{scale} = \text{drawing}/\text{real}$$

$$k_{iso} = \sqrt{2/3} \approx 0.816$$

$$L = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

$$A_{true} = A_{proj} / \cos\theta$$

$$\varnothing_{pos} = 2\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

$$t_{allowed} = t_{MMC} + |d - d_{MMC}|$$

$$c_{\min} = H_{\min} - s_{\max},\ c_{\max} = H_{\max} - s_{\min}$$

$$T_{wc} = \sum t_i,\ T_{RSS} = \sqrt{\sum t_i^2}$$

$$m = \rho V$$

$$V = 2\pi \bar{r} A$$

$$M = 3(n-1) - 2j_1 - j_2$$

$$\ell = m/(\rho \pi r^2)$$

$$t \approx V/(whv)$$

$$I = bh^3/12$$

$$I_{tube} = (B^4 - b^4)/12$$

$$\mathrm{CO_2} \approx 2.35\ \mathrm{kg\ per\ L\ gasoline}$$

Costanti

Costante	Valore
Scorcio isometrico	√(2/3) ≈ 0.816
Angoli degli assi isometrici	A 120° l'uno dall'altro (30° dall'orizzontale)
Rapporto dei formati ISO serie A	√2 ≈ 1.414
Foglio A4	210 × 297 mm
Densità del PLA (tipica)	1.24 g/cm³
Diametro di filamento comune	1.75 mm
Tolleranza IT7, dimensioni di 18–30 mm	21 µm
Tolleranza IT6, dimensioni di 18–30 mm	13 µm

Fonte: ISO 286-1: ISO code system for tolerances and fits (https://www.iso.org/standard/45975.html)

Strumenti e riferimenti gratuiti

Usa questi strumenti gratuiti insieme al corso.

- Onshape Free plan (https://www.onshape.com/en/products/free): CAD professionale nel browser, gratuito per progetti pubblici non commerciali.
- Onshape Learning Center (https://learn.onshape.com/): Corsi Onshape gratuiti al tuo ritmo.
- FreeCAD (gratuito, open source) (https://www.freecad.org/): CAD parametrico gratuito e open source per Windows, Mac e Linux.
- FreeCAD wiki: Getting started (https://wiki.freecad.org/Getting_started): La guida ufficiale di FreeCAD per principianti.
- MIT OpenCourseWare 2.007: Design and Manufacturing I (https://ocw.mit.edu/courses/2-007-design-and-manufacturing-i-spring-2009/): Il corso di progettazione e produzione del MIT.

Glossario

Vista ausiliaria
Vista proiettata parallelamente a una superficie inclinata.

Distinta base
Elenco di pezzi e quantità in un assieme.

Accoppiamento con gioco
Accoppiamento che lascia sempre gioco.

Riferimento
Elemento di riferimento esatto per la misura.

Progettazione per l’assemblaggio
Progettare pezzi facili da montare.

Intento progettuale
Come deve comportarsi un modello quando viene modificato.

Riquadro di tolleranza
Riquadro di tolleranza GD&T.

GD&T
Quotatura e tolleranza geometrica.

Riempimento
Percentuale di riempimento interno di una stampa 3D.

Accoppiamento con interferenza
Accoppiamento con sovrapposizione garantita.

Isometrica
Vista assonometrica con assi a 120° l’uno dall’altro.

Alleggerimento
Ridurre la massa mantenendo la funzione.

MMC
Condizione di massimo materiale.

Proiezione ortogonale
Disegno a viste multiple con proiettanti perpendicolari.

Modello parametrico
Modello CAD pilotato da quote e feature modificabili.

Catena di tolleranze RSS
Somma statistica delle tolleranze $\sqrt{\Sigma t^2}$.

Momento d’inerzia della sezione
Proprietà geometrica I che determina la rigidezza a flessione.

Vista in sezione
Vista di un taglio immaginario.

Proiezione del terzo diedro
Convenzione USA: vista dall’alto sopra la frontale.

Cartiglio
Area delle informazioni della tavola.

Griglia di autovalutazione

Non si assegnano voti né crediti. Usala per valutare onestamente a che punto sei in ogni unità.

Livello	Come si presenta
4 · Padronanza	Tavole e modelli sono completi, non ambigui e catturano l’intento progettuale; le scelte sono giustificate con numeri.
3 · Competente	Lavoro corretto con qualche omissione.
2 · In sviluppo	Segue i tutorial ma le tavole sono incomplete o i modelli si rompono quando vengono modificati.
1 · Principiante	Viste non allineate o quote mancanti; rivedi l’unità.

Pesi suggeriti se vuoi un punteggio

Parte	Peso
Esercizi	20%
Laboratori	30%
Serie di esercizi di metà corso	20%
Serie di esercizi finale	30%

Punta al livello 3 o superiore in ogni unità prima di passare al corso successivo.

Corsi correlati

- Introduzione all’ingegneria aerospaziale AERO 101
- Introduzione alla programmazione ENGR 130
- Chimica generale I + Laboratorio CHEM 110 + CHEM 110L
- Tutti i corsi