CAPITOLO

6

Il disegno al computer: introduzione al CAD

Il computer traccia in un istante una linea perfetta; decidere quale linea tracciare resta compito di chi disegna.

OBIETTIVI

1. Spiegare che cosa cambia e che cosa resta uguale passando dal disegno a mano al CAD, e distinguere immagini raster e vettoriali, disegno 2D, modello 3D e BIM.
2. Inserire punti con coordinate assolute, relative e polari, disegnando in vera grandezza.
3. Usare le funzioni di disegno, di modifica e lo snap ad oggetto per rifare al computer le costruzioni geometriche fondamentali.
4. Organizzare un disegno d'architettura con layer, blocchi, quote e retini e prepararne la stampa in scala nel layout.
5. Disegnare al computer la pianta di una piccola casa e controllarne misure e superfici.
6. Descrivere estrusione, rivoluzione e operazioni booleane, e riconoscere nella camera e nel sole di un programma 3D il punto di vista e la luce della prospettiva costruita a mano.

INDICE DEL CAPITOLO

6.1 Dal tavolo da disegno al computer 2
6.2 Le coordinate: dire al computer dove 5
6.3 Disegnare e modificare con precisione 7
6.4 Organizzare il disegno: layer, blocchi, quote, retini 11
6.5 Una pianta al computer 14
6.6 Primi passi nel 3D 17

Disegno e Storia dell'arte 4 · Parte II · Leggere, comporre e disegnare l'architettura · versione 1.0
Capitolo 6: Il disegno al computer: introduzione al CAD · pagine 153–178 del volume completo · estratto per lo studio

Per secoli il disegno tecnico si è fatto con gli stessi strumenti: il tavolo inclinato, la riga a T o il tecnigrafo, le squadre, il compasso, la matita e, alla fine, la china. Erano gli strumenti di questo corso fin dal primo anno. Da circa quarant'anni, negli studi di architettura e di ingegneria, nelle officine e nei cantieri, la maggior parte dei disegni nasce invece su uno schermo, con un programma di **CAD**: la sigla inglese di *computer-aided design* o *computer-aided drafting*, cioè progettazione o disegno assistiti dal calcolatore (il termine è comparso già nel vol. 1, cap. 1).

Questo capitolo è un'introduzione al disegno al computer. Non insegna un programma particolare: insegna le idee che tutti i programmi di CAD condividono, perché chi le ha capite passa da un programma all'altro in poche ore. Vedremo come si dice al computer **dove** mettere un punto (le coordinate), con quali funzioni si disegna e si modifica, come si organizza un disegno d'architettura in layer e blocchi, come lo si stampa in scala, e come si passa dal disegno 2D al modello 3D. Lungo la strada rifaremo al computer molte costruzioni dei volumi precedenti e la pianta di una piccola casa: lo scopo è anche capire che la geometria imparata a mano resta il fondamento di tutto.

> **DA RICORDARE**
>
> **Se non hai un computer.** Gli esercizi «Al computer» si possono fare con qualunque programma di CAD 2D, anche libero e gratuito. Ma ognuno ha una parte che si fa **su carta**: scrivere le coordinate da digitare, la sequenza delle funzioni da usare e i valori di controllo attesi (una lunghezza, un'area). È la parte che conta di più: il programma esegue, ma il ragionamento lo fai tu. Chi non ha un computer a disposizione svolge questa parte e controlla i valori con la calcolatrice; il disegno si può poi eseguire a mano, in scala, con gli strumenti tradizionali.

6.1 Dal tavolo da disegno al computer

6.1.1 Che cosa cambia e che cosa resta

Il computer cambia soprattutto cinque cose. La prima è la **precisione**: un segmento non è lungo «circa» 64 mm, come lo traccia la mano più attenta, ma esattamente quanto il numero che si è digitato, e due linee che devono incontrarsi si incontrano in un punto, non in una piccola macchia di grafite. La seconda è la **modifica**: spostare una finestra, allungare un muro, correggere un errore non richiede di cancellare e ridisegnare. La terza è l'**organizzazione**: muri, porte, quote e testi stanno su livelli separati, che si possono nascondere o stampare con spessori diversi. La quarta è il **riuso**: una porta disegnata una volta si inserisce cento volte, e se

la si cambia si aggiornano tutte. La quinta è lo **scambio**: un file si invia, si copia, si apre con altri programmi, si stampa in scale diverse.

Che cosa **non** cambia? La geometria. Un programma di CAD disegna proiezioni ortogonali, assonometrie e prospettive, ma non sceglie per te quale vista serve, dove mettere il piano di sezione, a che altezza porre il punto di vista o da dove far venire la luce. Sa tracciare la parallela a una retta a una distanza data, ma devi sapere tu che lo spessore di un muro è una parallela. Le costruzioni del vol. 1 (assi, perpendicolari, poligoni regolari, tangenti, raccordi), le proiezioni dei voll. 1 e 2, la prospettiva e le ombre dei capp. 1–3 di questo volume restano il linguaggio con cui si ragiona; il computer è uno strumento più veloce e più preciso per scriverlo. E un errore di concetto disegnato con precisione assoluta resta un errore.

6.1.2 Immagini raster e disegni vettoriali

Sullo schermo e nei file le immagini sono di due tipi molto diversi (Figura 6.1). Un'**immagine raster** (o *bitmap*) è una griglia di quadratini, i **pixel**, ciascuno con il suo colore: sono raster le fotografie, le scansioni, le schermate, nei formati PNG o JPEG. La sua qualità dipende dalla **risoluzione**, il numero di pixel per unità di lunghezza: ingrandendola, prima o poi i pixel si vedono, e una circonferenza diventa una scalinata. Un **disegno vettoriale** è invece un elenco di oggetti geometrici descritti dai loro dati: un segmento dai due estremi, una circonferenza dal centro e dal raggio, un arco dal centro, dal raggio e dagli angoli di inizio e fine. Il programma ricalcola il disegno a ogni ingrandimento, e la circonferenza resta perfetta a qualunque scala.

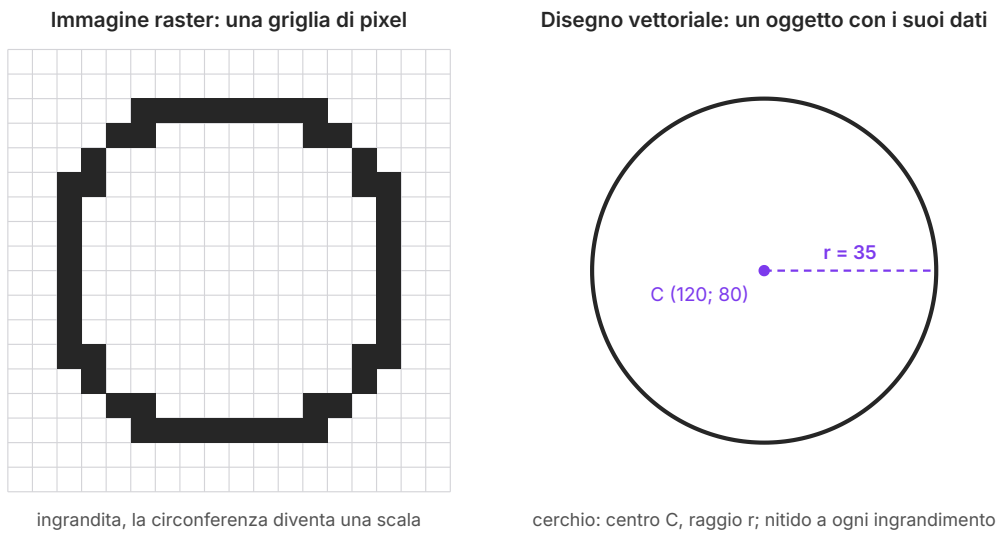


Figura 6.1 Raster e vettoriale. A sinistra una circonferenza di raggio 7 pixel su una griglia di 18 × 18 pixel: si accendono i 48 pixel il cui centro dista dal centro della griglia tra 6,5 e 7,5 pixel. A destra la stessa forma come oggetto vettoriale: un centro C (120; 80) e un raggio r = 35, nelle unità del disegno.

Il CAD è vettoriale: ogni elemento è un oggetto che si può selezionare, misurare, modificare. Per questo un disegno fatto a mano e poi scansionato non diventa un disegno CAD: resta una fotografia del foglio. Lo si può mettere sullo sfondo e ricalcare, ma i suoi pixel non sanno di essere una linea.

6.1.3 Disegno 2D, modello 3D, BIM

Il primo uso del CAD, e quello di cui ci occupiamo di più, è il **disegno 2D** (in inglese *drafting*): si disegnano su un piano la pianta, le sezioni, i prospetti, uno per volta, proprio come sul tavolo da disegno. Le viste sono indipendenti: se si sposta una finestra in pianta, bisogna spostarla anche nel prospetto.

Nella **modellazione 3D** si costruisce invece un modello dell'oggetto nello spazio, con le sue tre dimensioni, e da quel modello il programma ricava le viste: piante, sezioni, prospetti, assonometrie, prospettive (lo si accennava già nel vol. 1, cap. 5). Una modifica al modello si ritrova in tutte le viste. Un passo più in là c'è il **BIM** (*building information modeling*): il modello non è fatto di semplici solidi, ma di oggetti che «sanno» che cosa sono, un muro, un solaio, una finestra, e portano con sé informazioni sui materiali, sugli strati, sulle prestazioni, sui costi e sulle fasi di costruzione. Il BIM serve a coordinare il lavoro dei progettisti e delle imprese su uno stesso modello; per scambiarlo tra programmi diversi esiste un formato aperto, l'IFC.

6.1.4 I programmi

Esistono programmi di CAD **commerciali**, che si acquistano o si usano in abbonamento, e programmi **liberi** (*open source*), che si possono usare, studiare e modificare liberamente. Tra i più noti: AutoCAD, commerciale e molto diffuso negli studi tecnici; LibreCAD e QCAD (nella versione comunitaria), liberi, per il disegno 2D; FreeCAD, libero, per la modellazione 3D; SketchUp, commerciale, per la modellazione rapida di edifici; Blender, libero, nato per l'animazione e il rendering più che per il disegno tecnico. Nessuno di questi è richiesto da questo libro: ogni esercizio si può fare con qualunque programma 2D.

Ogni programma ha i suoi menu e i suoi nomi dei comandi, e spesso li traduce in modo diverso in italiano. Per questo nel capitolo indichiamo sempre la **funzione** in italiano e, una volta, il nome inglese più comune in corsivo (*line*, *offset*, *trim*…). Non sono nomi universali: nel programma che userai il comando potrebbe chiamarsi in un altro modo, ma la funzione ci sarà.

APPROFONDIMENTO

Da Sketchpad al CAD di oggi. Nel 1963 Ivan Sutherland presentò al Massachusetts Institute of Technology la sua tesi di dottorato su **Sketchpad**, un programma che permetteva di disegnare direttamente sullo schermo di un grande calcolatore con una penna ottica. Si tracciavano linee e archi; si imponevano **vincoli** (due segmenti paralleli, due lati uguali) e il programma li faceva rispettare; si definiva un disegno-modello e lo si ripeteva in più copie, che cambiavano tutte insieme: l'antenato dei blocchi di oggi. Negli anni Sessanta e Settanta grandi industrie automobilistiche e aeronautiche svilupparono propri sistemi su calcolatori costosissimi. Con il personal computer il CAD entrò negli studi professionali: AutoCAD uscì nel 1982. Il disegno a mano non è scomparso: resta lo strumento dello schizzo, del pensiero rapido, del primo progetto.

6.2 Le coordinate: dire al computer dove

6.2.1 Il sistema di coordinate e il disegno in scala 1:1

Sul foglio un punto si mette dove cade la matita; al computer un punto si mette con due numeri. Ogni programma ha un **sistema di coordinate globale**: un piano cartesiano illimitato, con l'origine O (0; 0), l'asse x orizzontale verso destra e l'asse y verticale verso l'alto, proprio come in matematica. Un punto si individua con la sua ascissa e la sua ordinata: in questo libro scriviamo (x; y), con il punto e virgola e la virgola decimale. Attenzione: molti programmi, impostati all'inglese, vogliono il **punto** decimale e la **virgola** come separatore, e il punto (12,5; 30) si digita allora 12.5,30.

La differenza più importante rispetto al disegno a mano riguarda la scala. Sul tavolo si sceglie la scala prima di cominciare: una casa larga 10 m, in scala 1:100, si disegna larga 100 mm. Al computer no: si disegna **in vera grandezza**, in scala 1:1, e si sceglie solo che cosa vale un'unità di disegno. Per un oggetto meccanico l'unità è di solito il millimetro; per un edificio si usa il metro o il centimetro. Se l'unità è il metro, il muro lungo 10 m si disegna lungo 10 unità, e basta. La scala entra in gioco solo quando si **stampa**, come vedremo più avanti parlando del layout: lo stesso disegno può essere stampato a 1:100 su un foglio A4 e a 1:50 su un A3, senza ridisegnare nulla.

6.2.2 Coordinate assolute, relative e polari

Ci sono tre modi di indicare un punto, e un buon disegnatore li alterna di continuo (Figura 6.2).

- Le **coordinate assolute** danno la posizione rispetto all'origine: (80; 10) è il punto di ascissa 80 e ordinata 10, ovunque si trovi il punto precedente.
- Le **coordinate relative** danno lo spostamento rispetto all'**ultimo punto** inserito: Δx in orizzontale e Δy in verticale. In molti programmi si scrivono precedute dal simbolo @: dopo il

punto (20; 10), @60;0 porta al punto (80; 10). Δx e Δy possono essere negativi: @−4;0 va verso sinistra.

- Le **coordinate polari** relative danno la **lunghezza** del segmento e il suo **angolo**. In molti programmi si scrivono @lunghezza<angolo: @45<90 traccia un segmento lungo 45 diretto verso l'alto. Di norma l'angolo si misura in senso **antiorario** a partire dal semiasse x positivo: 0° verso destra, 90° verso l'alto, 180° verso sinistra, 270° (o −90°) verso il basso.

Il simbolo @ e il simbolo < sono solo un esempio di una sintassi molto diffusa; altri programmi hanno campi separati in cui scrivere Δx, Δy, lunghezza e angolo. Le idee però sono le stesse. Le coordinate assolute sono comode quando si conoscono le posizioni (i vertici di un rilievo, i punti di una griglia); quelle relative quando si conoscono le misure dei lati (quasi sempre, in architettura); quelle polari quando un lato ha una direzione inclinata e una lunghezza nota.

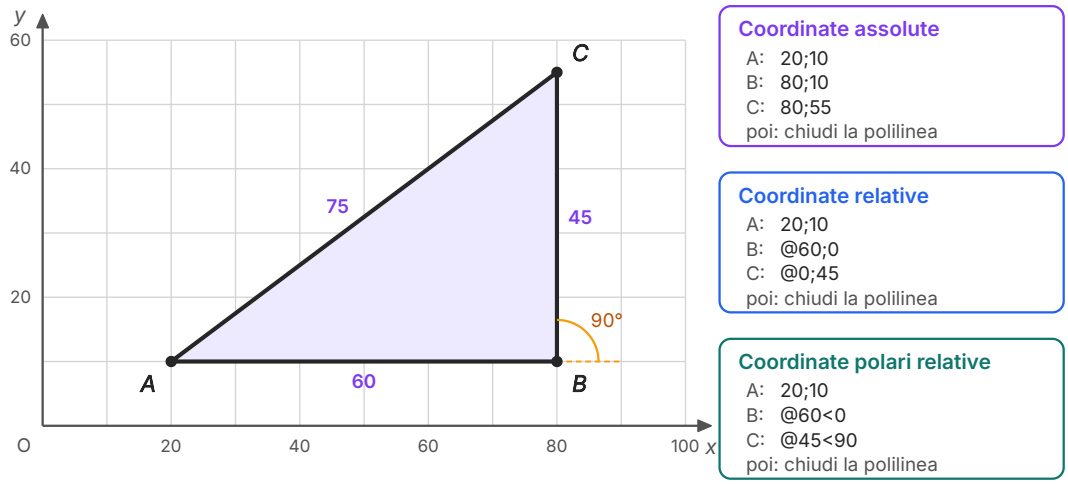


Figura 6.2 Lo stesso triangolo ABC (cateti 60 e 45, ipotenusa 75; unità del disegno) inserito in tre modi: con le coordinate assolute dei tre vertici, con gli spostamenti relativi dall'ultimo punto e con lunghezza e angolo dei lati. In tutti e tre i casi l'ultimo lato si ottiene chiudendo la polilinea.

ESEMPIO SVOLTO

Una pianta a L in tre modi. Si vuole disegnare con una polilinea chiusa il contorno esterno di un edificio a L: un braccio lungo 12 m e profondo 5 m, e sopra la sua parte sinistra un secondo braccio largo 5 m che sale di altri 6 m. Unità: il metro; primo vertice nell'origine.

1. **Assolute:** (0; 0), (12; 0), (12; 5), (5; 5), (5; 11), (0; 11), poi «chiudi».
2. **Relative:** (0; 0), @12;0, @0;5, @−7;0, @0;6, @−5;0, poi «chiudi».
3. **Polari:** (0; 0), @12<0, @5<90, @7<180, @6<90, @5<180, poi «chiudi» (l'ultimo lato, lungo 11, va verso il basso, a 270°).

Controllo. I lati sono 12, 5, 7, 6, 5 e 11: il perimetro è 46,00 m. L'area si calcola dividendo la L in due rettangoli: $12 \times 5 + 5 \times 6 = 60 + 30 = 90{,}00\ \text{m}^2$. Quasi tutti i programmi danno area e perimetro di una polilinea chiusa: se il valore letto non è 90,00, c'è un vertice sbagliato.

ERRORE FREQUENTE

Tre errori con le coordinate. Il primo: dimenticare il simbolo delle coordinate relative. Chi vuole spostarsi di (0; 45) dall'ultimo punto e digita 0;45 senza @ manda il punto vicino all'origine, e il disegno si riempie di linee che convergono verso (0; 0). (Alcuni programmi, con certe impostazioni, trattano come relative anche le coordinate scritte senza simbolo dopo il primo punto: controlla come si comporta il tuo prima di cominciare.) Il secondo: misurare l'angolo polare dal lato precedente invece che dal semiasse x; dopo un lato verso l'alto, il lato verso sinistra è a 180°, non a 90°. Il terzo: confondere virgola decimale e separatore, così che 12,5 diventa il punto (12; 5).

Due aiuti rendono più veloce l'inserimento. Il modo **ortogonale** (*ortho*) costringe le linee a essere orizzontali o verticali: basta indicare la direzione con il mouse e digitare la lunghezza. Il **puntamento polare**, in molti programmi, fa lo stesso con angoli prefissati, per esempio multipli di 15° o di 30°: le direzioni di un'assonometria isometrica o della prospettiva accidentale a 30°/60° del cap. 1.

6.3 Disegnare e modificare con precisione

6.3.1 Le funzioni di disegno

Le funzioni di disegno creano gli oggetti elementari. La **linea** (*line*) traccia uno o più segmenti, ciascuno un oggetto separato. La **polilinea** (*polyline*) traccia una spezzata di segmenti e di archi che il programma considera **un solo oggetto**: se è chiusa, ha un'area e un perimetro, si può riempire con un retino, si può spostare con un clic. Per i contorni dei locali e dei muri conviene quasi sempre la polilinea.

Il **cerchio** (*circle*) si disegna in vari modi: con centro e raggio, con centro e diametro, per due punti estremi di un diametro, per tre punti, tangente a due oggetti con raggio dato. L'**arco** (*arc*) per tre punti, oppure con centro, punto iniziale e punto finale (di norma percorso in senso antiorario). Il **rettangolo** (*rectangle*) si dà con due vertici opposti; il **poligono** regolare (*polygon*) con il numero dei lati e il centro, inscritto o circoscritto a una circonferenza, oppure dato un lato: le costruzioni del vol. 1, cap. 3, fatte in un passo solo. L'**ellisse** (*ellipse*) si dà con i due assi: ma ricorda che l'ovale del vol. 1, cap. 4, fatto di archi di circonferenza raccordati, non è un'ellisse, e al computer si costruisce con quattro archi, come a mano.

6.3.2 Le funzioni di modifica

Le funzioni di modifica lavorano su oggetti già disegnati. Alcune sono le trasformazioni geometriche studiate in matematica: **sposta** (*move*) è una traslazione, **ruota** (*rotate*) una rotazione attorno a un punto, **specchio** (*mirror*) una simmetria rispetto a un asse, **copia** (*copy*) una traslazione che lascia l'originale al suo posto; **scala** (*scale*) è un'omotetia, che ingrandisce o riduce rispetto a un punto. Le prime quattro sono isometrie e conservano le misure; la scala no, e va usata con prudenza, perché in un disegno in vera grandezza cambiare la scala di un oggetto significa cambiarne le misure reali.

Altre funzioni sono tipiche del disegno tecnico. L'**offset** (*offset*) disegna la parallela a una linea, o la circonferenza concentrica a un arco, a una distanza data: è il modo più naturale per dare lo spessore a un muro. **Taglia** (*trim*) accorcia un oggetto fino al bordo di un altro, eliminando il pezzo che sporge; **estendi** (*extend*) fa il contrario, allunga un oggetto fino a incontrarne un altro. Il **raccordo** (*fillet*) unisce due linee con un arco di raggio dato, tangente a entrambe, e taglia le parti in eccesso: è il raccordo del vol. 1, cap. 4, trovato dal programma; con raggio zero unisce due linee in uno spigolo vivo. Lo **smusso** (*chamfer*; in alcuni programmi in italiano «cima») unisce due linee con un segmento obliquo. La **serie** (*array*) ripete un oggetto: in righe e colonne (serie **rettangolare**), lungo un percorso, o attorno a un centro (serie **polare**), come le colonne di un tempietto circolare.

DA RICORDARE

L'offset di un arco è un arco concentrico. La parallela a una curva a distanza s è la curva i cui punti distano s dalla prima. Per un arco di raggio r è l'arco con lo stesso centro e raggio $r - s$ (verso il centro) o $r + s$ (verso l'esterno). Per questo un muro curvo, una cornice ovale, una facciata concava barocca (cap. 5) si disegnano con un offset: i due bordi hanno sempre lo stesso centro.



Figura 6.3 Lo spigolo di un muro spesso 0,30 m in quattro passi (schema). 1) Si disegnano le due facce esterne; 2) l'offset le copia a 0,30 m verso l'interno, e le copie si incrociano lasciando due pezzi in eccesso; 3) la funzione taglia li elimina; 4) in alternativa, un raccordo di raggio 1,00 m sullo spigolo esterno e uno di 0,70 m su quello interno, con lo stesso centro, danno un angolo arrotondato.

ESEMPIO SVOLTO

L'angolo di muro della Figura 6.3. Unità: il metro. Le facce esterne sono due linee che partono dall'origine: una verso destra lunga 3,20, una verso l'alto lunga 2,90.

1. Offset di 0,30 di ciascuna linea, dal lato interno: la nuova orizzontale sta in $y = 0{,}30$, la nuova verticale in $x = 0{,}30$.
2. Le due copie si incrociano nel punto (0,30; 0,30) e sporgono di 0,30 oltre l'incrocio: con *taglia*, scegliendo ciascuna linea come bordo dell'altra, si eliminano i due pezzi. In molti programmi lo stesso risultato si ottiene in un solo passo con un raccordo di raggio zero.
3. Per un angolo arrotondato: raccordo di raggio 1,00 tra le facce esterne. L'arco ha il centro in (1,00; 1,00). Poi raccordo tra le facce interne con raggio 1,00 − 0,30 = 0,70: lo stesso centro, così lo spessore del muro resta 0,30 anche nella curva.

Controllo. Il segmento rettilineo della faccia esterna orizzontale va da (1,00; 0) a (3,20; 0): è lungo 2,20. L'arco esterno è un quarto di circonferenza di raggio 1,00, lungo $\pi \times 1{,}00 / 2 \approx 1{,}57$; quello interno $\pi \times 0{,}70 / 2 \approx 1{,}10$.

6.3.3 Gli aiuti alla precisione: lo snap ad oggetto

Digitare le coordinate di ogni punto sarebbe lento. Quasi sempre il punto che serve è un punto notevole di un oggetto già disegnato: l'estremità di un muro, il centro di un arco, il punto in cui due linee si incontrano. Lo **snap ad oggetto** (*object snap*) aggancia il cursore esattamente a quei punti: quando il puntatore si avvicina, il programma mostra un piccolo simbolo e, al clic, prende il punto esatto, non quello approssimato su cui si trova il mouse (Figura 6.4).

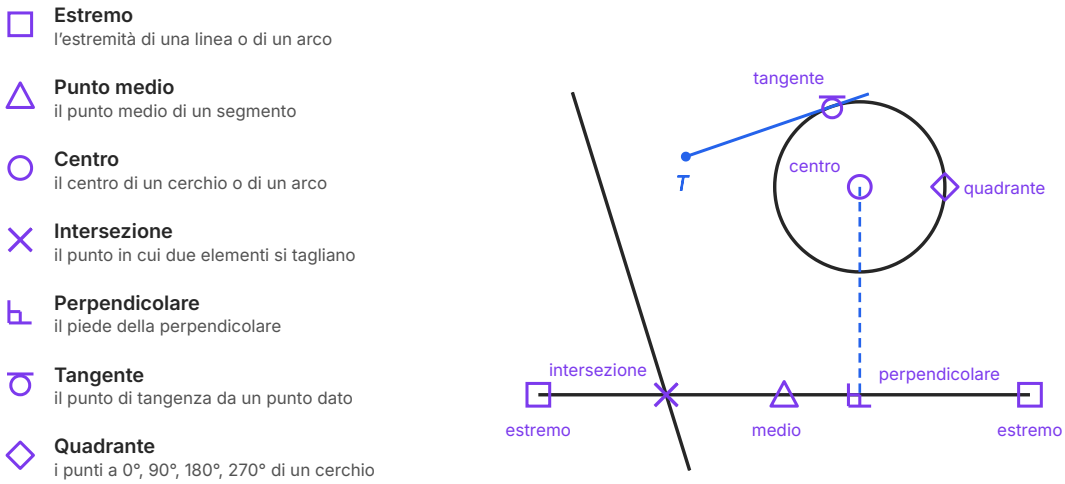


Figura 6.4 Gli snap ad oggetto più usati (simboli schematici: ogni programma ha i suoi, spesso simili a questi). A destra, dove agiscono: gli estremi e il punto medio di un segmento, l'intersezione di due rette, il centro e un punto di quadrante di un cerchio, il piede della perpendicolare condotta dal centro al segmento, il punto di tangenza della retta condotta dal punto T al cerchio.

Gli snap più comuni sono: **estremo** (*endpoint*), **punto medio** (*midpoint*), **centro** (*center*), **intersezione** (*intersection*), **perpendicolare** (*perpendicular*), **tangente** (*tangent*) e **quadrante** (*quadrant*), cioè i punti di un cerchio a 0°, 90°, 180° e 270°. Con lo snap «tangente» la retta condotta da un punto a una circonferenza nasce già tangente, senza la costruzione del vol. 1 con la semicirconferenza sul segmento che unisce il punto al centro: il programma la esegue al posto tuo. Ci sono poi la **griglia**, una trama di punti di riferimento, e lo **snap alla griglia**, che costringe il cursore a muoversi a passi fissi (per esempio 0,10 m): utili per uno schizzo, meno per un disegno esatto.

Infine le funzioni di **visualizzazione**: lo **zoom** avvicina o allontana la vista e il **pan** la sposta, come muovere il foglio sotto una lente. Non cambiano nulla del disegno: un muro lungo 10 m resta lungo 10 m a qualunque ingrandimento.

ERRORE FREQUENTE

I punti presi «a occhio». Un estremo cliccato senza snap sembra perfetto sullo schermo, ma può distare un millesimo di unità dal punto giusto. Allo zoom massimo le linee non si toccano; la polilinea del locale non si chiude, e il programma non ne calcola l'area né la riempie con un retino; la funzione taglia non trova il bordo. Regola: **ogni punto che deve coincidere con un altro si prende con uno snap**, o si digita con le coordinate. E non giudicare la precisione dallo schermo: misura con la funzione di misura della distanza.

6.3.4 Le costruzioni del primo anno, al computer

Rifare al computer le costruzioni del vol. 1 è il modo migliore per imparare le funzioni, perché si conosce già il risultato. L'**asse di un segmento** si costruisce come a mano: due cerchi di raggio uguale con i centri negli estremi (snap estremo), poi la retta per le loro intersezioni (snap intersezione). Il **poligono regolare** si ottiene con la funzione poligono, ma vale la pena ricostruirlo: l'esagono inscritto in una circonferenza di raggio r ha il lato uguale a r, e sei archi di raggio r centrati sulla circonferenza ne danno i vertici, esattamente come con il compasso. Le **tangenti** comuni a due circonferenze si tracciano con due snap «tangente»; il **raccordo** tra una retta e un arco, o tra due archi, con la funzione raccordo o con un cerchio «tangente, tangente, raggio». Anche l'**ovale** dato l'asse maggiore del vol. 1, cap. 4, si rifà come con il compasso. Per un asse AB lungo 90, con il centro nell'origine: due cerchi di raggio 30 con i centri in (−15; 0) e (15; 0), che passano ciascuno per il centro dell'altro; le loro intersezioni, prese con lo snap, sono in (0; 25,98) e (0; −25,98), perché $\sqrt{(30^2 - 15^2)} = \sqrt{675} \approx 25{,}98$ (Pitagora). Con centro nell'intersezione superiore si traccia l'arco grande inferiore, di raggio 60, e viceversa; i punti di raccordo stanno sulle rette che uniscono i centri, e con taglia si eliminano gli archi in eccesso. Controllo: l'asse minore misura $2 \times (60 - 25{,}98) = 68{,}04$.

ESEMPIO SVOLTO

L'asse del segmento AB, con A(20; 30) e B(100; 90). Unità: il millimetro.

1. Linea da (20; 30) a (100; 90). La lunghezza, letta con la funzione di misura, è 100,00: infatti $\Delta x = 80$, $\Delta y = 60$ e $\sqrt{(80^2 + 60^2)} = \sqrt{10\,000} = 100$ (Pitagora).
2. Cerchio con centro in A (snap estremo) e raggio 70; cerchio con centro in B e raggio 70. Il raggio deve superare la metà di AB, cioè 50, altrimenti i cerchi non si tagliano.
3. Linea dalla prima alla seconda intersezione dei cerchi (snap intersezione). È l'asse cercato.

Controllo. Lo snap punto medio su AB dà M(60; 60), e l'asse deve passare per M. Le intersezioni distano da M $\sqrt{(70^2 - 50^2)} = \sqrt{2400} \approx 48{,}99$, e risultano ≈ (30,61; 99,19) e ≈ (89,39; 20,81). La funzione che misura l'angolo tra due linee dà 90,00°.

6.4 Organizzare il disegno: layer, blocchi, quote, retini

6.4.1 I layer

Un disegno d'architettura contiene migliaia di oggetti di natura diversa: muri, porte, finestre, arredi, quote, testi, campiture. Per governarli, ogni programma di CAD li distribuisce su **layer** (in italiano anche *livelli* o *piani*): sono come fogli trasparenti sovrapposti, ciascuno con un nome e con le sue proprietà, cioè un **colore**, un **tipo di linea** (continua, tratteggiata, a tratto e punto) e uno **spessore di linea** per la stampa. Gli oggetti prendono di norma le proprietà del

loro layer: per cambiare lo spessore di tutti i muri basta cambiare quello del layer dei muri. Un layer si può **spegnere** (nasconderlo), **bloccare** (per non modificarlo per errore) o escludere dalla stampa.

> **ERRORE FREQUENTE**
>
> **Tutto sul layer 0.** Chi comincia disegna tutto sul layer che il programma propone all'apertura e cambia a mano colore e spessore di ogni oggetto. Il disegno sembra giusto a schermo, ma non si può più governare: per togliere le quote dalla stampa bisogna selezionarle una per una, e per ingrossare i muri bisogna ritrovarli tutti. Si creano i layer **prima** di disegnare e si attiva quello giusto prima di ogni gruppo di oggetti.

I layer traducono al computer le convenzioni di linea del cap. 4: le linee dei muri sezionati sono le più spesse, quelle degli elementi visti sotto il piano di sezione sottili, quelle degli elementi che stanno sopra il piano di sezione (una gronda, una trave) tratteggiate. Gli spessori si scelgono di solito nella serie normalizzata 0,13 – 0,18 – 0,25 – 0,35 – 0,50 – 0,70 – 1,00 mm, in cui ogni valore è circa √2 volte il precedente. La Tabella 6.1 propone un'organizzazione semplice per una pianta in scala 1:100; i nomi sono una scelta, non una norma, ma una volta scelti vanno usati con coerenza in tutti i disegni dello stesso progetto.

Tabella 6.1 Una possibile organizzazione in layer per una pianta d'architettura in scala 1:100 (spessori in stampa).

Layer	Contenuto	Colore a schermo	Tipo di linea	Spessore
MURI	contorno dei muri sezionati	nero	continua	0,50 mm
RETINI	campitura dei muri sezionati	grigio	continua	0,13 mm
INFISSI	porte e linee della loro apertura	blu	continua	0,25 mm
FINESTRE	finestre e davanzali	verde acqua	continua	0,25 mm
VISTE	elementi visti sotto il piano di sezione (gradini, soglie)	grigio scuro	continua	0,18 mm
SOPRA	elementi sopra il piano di sezione (gronda, travi)	rosso	tratteggiata	0,18 mm
QUOTE	quote e livelli	viola	continua	0,18 mm
TESTI	nomi e superfici dei locali	arancio	continua	0,25 mm

6.4.2 I blocchi

Un **blocco** (*block*) è un gruppo di oggetti salvato con un nome e un **punto base**, che si inserisce nel disegno come un oggetto solo, con una posizione, una rotazione e, se serve, una scala. Sono

blocchi tipici una porta con la linea della sua apertura, una finestra, una colonna, un sanitario, il simbolo del nord, il cartiglio della tavola. Il vantaggio è doppio. Il disegno è più leggero, perché il programma memorizza la geometria una volta sola. E se si modifica la **definizione** del blocco, per esempio si cambia il disegno della porta, si aggiornano tutte le porte inserite. Il punto base va scelto con cura: per una porta conviene il cardine, per una colonna il centro, così che l'inserimento si faccia con uno snap.

6.4.3 Quote, testi e retini

Le **quote** si inseriscono con le funzioni di quotatura: si indicano i due punti (con lo snap) e la posizione della linea di quota, e il programma scrive la misura. In molti programmi la quota è **associativa**: resta legata agli oggetti, e se il muro si allunga la misura si aggiorna da sola. Lo **stile di quota** fissa una volta per tutte l'aspetto: in architettura le linee di quota terminano di solito con un trattino obliquo invece che con una freccia, le misure in metri hanno due decimali, l'altezza del testo sul foglio è di 2,5 o 3,5 mm (le convenzioni del cap. 4). I **testi** danno i nomi dei locali, le superfici, i titoli.

Il **retino** (*hatch*) riempie un contorno chiuso con un motivo: un colore pieno, un tratteggio a 45°, un motivo che imita un materiale. Con i retini si campiscono i muri sezionati in pianta e in sezione (cap. 4) e si rendono i segni dei materiali del cap. 5 (mattoni, pietra, intonaco, legno): sono le stesse convenzioni, applicate dal programma. Due avvertenze. Il contorno deve essere davvero chiuso, altrimenti il retino «scappa» o non si crea (si veda l'errore frequente qui sopra). E il motivo ha una sua scala, che va regolata secondo la scala di stampa: un tratteggio fitto e leggibile a 1:50 può diventare una macchia nera a 1:200.

6.4.4 Dallo spazio modello al foglio: il layout

Si è detto che si disegna in scala 1:1. Lo spazio illimitato in cui si disegna è lo **spazio modello** (*model space*). Per stampare si passa a un secondo ambiente, il **layout** (in alcuni programmi *spazio carta*): qui c'è il foglio, con le sue misure reali, i margini e il cartiglio. Sul foglio si aprono una o più **finestre** (*viewport*) che mostrano il modello, ciascuna con la sua scala (Figura 6.5). In una finestra in scala 1:100, 1 m del modello occupa 10 mm del foglio: la casa larga 10 m e profonda 7 m appare come un rettangolo di 100 × 70 mm. Sullo stesso foglio si può aprire una seconda finestra in scala 1:20 su un particolare: il modello è uno solo, le scale sono due.

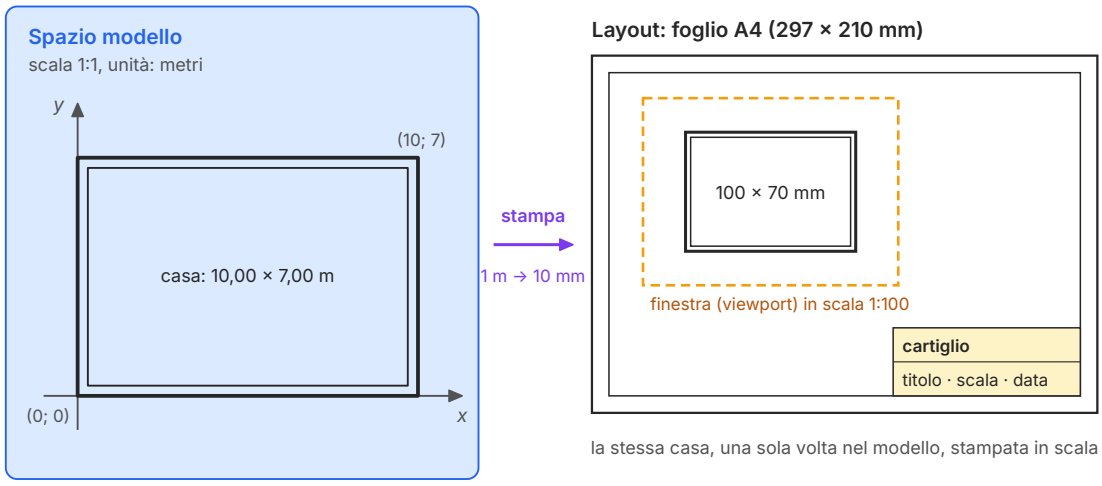


Figura 6.5 Spazio modello e layout (schema). A sinistra la casa disegnata in vera grandezza, con l'unità uguale al metro: il vertice opposto all'origine è (10; 7). A destra il foglio A4 orizzontale, con il riquadro dei margini e il cartiglio; la finestra tratteggiata mostra la casa in scala 1:100, cioè 100 × 70 mm.

Nel layout si decide come apparirà la tavola: gli spessori delle linee (presi dai layer), le dimensioni dei testi sul foglio, la posizione delle viste, il cartiglio. La stampa si fa su carta o, sempre più spesso, in un file **PDF**, che conserva la scala: un PDF stampato «in dimensioni reali» dà esattamente la tavola prevista.

6.4.5 I formati dei file

Ogni programma salva i disegni in un suo formato nativo. Il formato **DWG**, nato con AutoCAD, è molto diffuso ma proprietario: le sue specifiche non sono pubbliche. Per scambiare disegni tra programmi diversi si usa di solito il **DXF** (*drawing exchange format*), un formato di scambio le cui specifiche sono pubblicate e che quasi tutti i programmi leggono e scrivono. Sono formati aperti, con norme pubbliche: il **PDF**, per stampare e condividere tavole che non si devono modificare; l'**SVG**, un formato vettoriale per il web (le figure di questo libro sono disegni SVG, scritti come elenchi di coordinate); l'**IFC**, per i modelli BIM. Un'immagine raster esportata (PNG, JPEG) serve per una presentazione, ma non è più un disegno: le sue linee non si possono misurare.

6.5 Una pianta al computer

Mettiamo insieme tutto quello che abbiamo visto disegnando la pianta di una piccola casa a un piano, inventata per l'esercizio (Figura 6.6). L'unità è il metro; l'origine è nello spigolo esterno in

basso a sinistra; l'asse x va verso est, l'asse y verso nord. I dati:

- ingombro esterno 10,00 × 7,00 m; muri esterni spessi 0,30 m; tramezzi spessi 0,10 m;
- un tramezzo nord-sud con la faccia ovest in $x = 6{,}00$, da muro a muro; a est di questo, un tramezzo est-ovest con la faccia sud in $y = 3{,}00$: a ovest il soggiorno-cucina, a est il bagno (a sud) e la camera (a nord);
- porta d'ingresso nel muro sud, da $x = 2{,}10$ a $x = 3{,}00$ (0,90 m); porta della camera nel tramezzo, da $y = 4{,}50$ a 5,30 (0,80 m); porta del bagno da $y = 1{,}20$ a 1,90 (0,70 m);
- finestre del soggiorno: a sud da $x = 4{,}20$ a 5,40; a ovest da $y = 2{,}50$ a 4,10; a nord da $x = 2{,}00$ a 3,60; della camera: a nord da $x = 7{,}10$ a 8,70 e a est da $y = 4{,}10$ a 5,70; del bagno: a est da $y =$ 1,10 a 1,90.

L'ordine di lavoro è sempre lo stesso, e vale per ogni pianta:

1. **Impostazioni e layer.** Unità metro, due decimali; i layer della Tabella 6.1.
2. **Muri esterni.** Sul layer MURI, un rettangolo da (0; 0) a (10; 7); poi offset di 0,30 verso l'interno. Si ottengono due polilinee chiuse: la faccia esterna e quella interna.
3. **Tramezzi.** Una linea da (6,00; 0,30) a (6,00; 6,70), con lo snap sulla faccia interna dei muri; offset di 0,10 verso est. Una linea da (6,10; 3,00) a (9,70; 3,00) e offset di 0,10 verso nord. Con *taglia* si puliscono gli incroci, come nella Figura 6.3.
4. **Aperture.** Per ogni porta e finestra si tracciano le due spallette, perpendicolari al muro, nelle posizioni date (con un offset dalla faccia del muro o con le coordinate), e con *taglia* si apre il muro tra le spallette.
5. **Infissi.** Le porte sono blocchi: un'anta e l'arco della sua apertura, con il punto base nel cardine; si inseriscono sul layer INFISSI, ruotate e specchiate secondo il verso di apertura. Le finestre, sul layer FINESTRE, sono due linee sottili a metà dello spessore del muro.
6. **Retini, testi, quote.** Retino grigio nei muri; nome e superficie di ogni locale; le quote complessive e quelle dei locali, con lo stile di quota scelto.
7. **Controllo e stampa.** Le superfici si verificano con le polilinee dei locali (vedi l'esempio svolto); poi il layout, la finestra in scala 1:100, il cartiglio, il nord e la scala grafica, e la stampa in PDF.

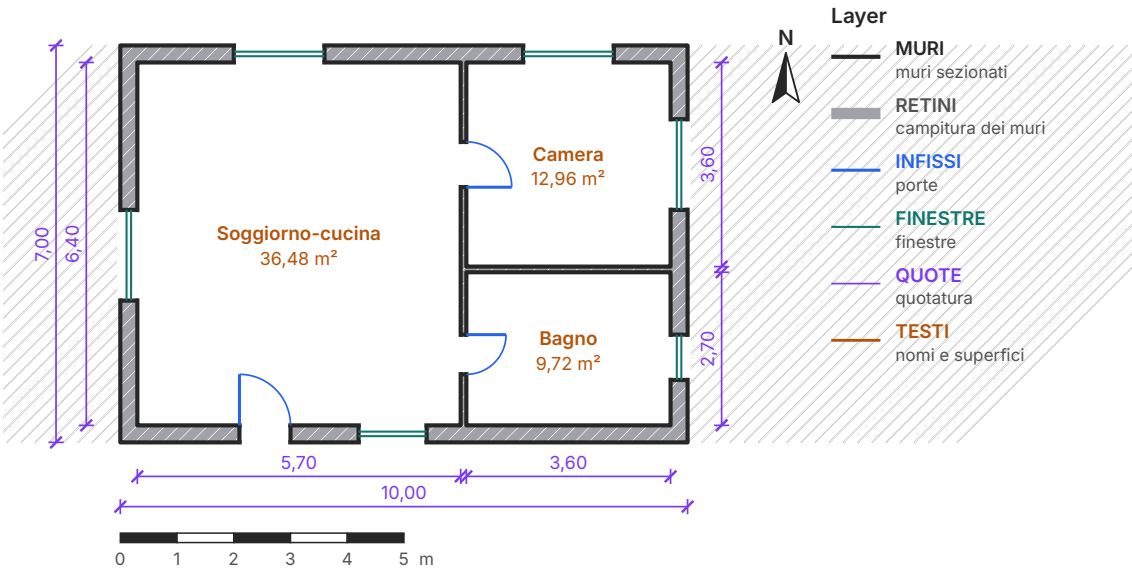


Figura 6.6 Pianta schematica della casa dell'esercizio, disegnata in CAD con i layer colorati (scala grafica in metri). I muri sono sezionati e campiti, le porte hanno la linea di apertura, le finestre sono segnate a metà spessore del muro; quote in metri. Non compaiono elementi sui layer VISTE e SOPRA della Tabella 6.1.

ESEMPIO SVOLTO

Controllo delle superfici della Figura 6.6. Il programma dà l'area di ogni polilinea chiusa: confrontiamola con il calcolo.

1. Faccia esterna: $10{,}00 \times 7{,}00 = 70{,}00\ \text{m}^2$, perimetro $2 \times (10{,}00 + 7{,}00) = 34{,}00$ m.
2. Faccia interna, dopo l'offset di 0,30 su ogni lato: $(10{,}00 - 0{,}60) \times (7{,}00 - 0{,}60) = 9{,}40 \times 6{,}40 = 60{,}16\ \text{m}^2$, perimetro 31,60 m.
3. Soggiorno-cucina: da $x = 0{,}30$ a 6,00 e da $y = 0{,}30$ a 6,70, cioè $5{,}70 \times 6{,}40 = 36{,}48\ \text{m}^2$.
4. Bagno: da $x = 6{,}10$ a 9,70 e da $y = 0{,}30$ a 3,00, cioè $3{,}60 \times 2{,}70 = 9{,}72\ \text{m}^2$. Camera: da $y = 3{,}10$ a 6,70, cioè $3{,}60 \times 3{,}60 = 12{,}96\ \text{m}^2$.

Verifica incrociata. La somma dei locali è $36{,}48 + 9{,}72 + 12{,}96 = 59{,}16\ \text{m}^2$. La differenza con la superficie interna, $60{,}16 - 59{,}16 = 1{,}00\ \text{m}^2$, deve essere l'area dei tramezzi: $0{,}10 \times 6{,}40 + 0{,}10 \times 3{,}60 = 0{,}64 + 0{,}36 = 1{,}00\ \text{m}^2$. I conti tornano: se non tornassero, qualche polilinea sarebbe aperta o qualche vertice fuori posto.

COLLEGAMENTI

Matematica e informatica. Il CAD è geometria analitica applicata. Le coordinate assolute e relative sono quelle del piano cartesiano; sposta, ruota e specchio sono le isometrie, scala è l'omotetia, e un programma le esegue con le loro equazioni. L'area di una polilinea chiusa si calcola dalle sole coordinate dei vertici, con una formula nota come formula di Gauss (o «dei lacci»): per un poligono qualsiasi, anche irregolare, il programma non ha bisogno di dividerlo in triangoli. E ogni oggetto è un insieme di dati in un file: un SVG o un DXF si possono aprire con un editor di testo e leggere, coordinata per coordinata. In informatica questa idea, descrivere una forma con numeri e istruzioni anziché con pixel, è alla base della grafica vettoriale e dei caratteri che leggi su questo schermo o su questa pagina.

6.6 Primi passi nel 3D

6.6.1 Dal profilo al solido: estrusione e rivoluzione

I due modi più semplici di creare un solido partono da una figura piana chiusa, il **profilo**. L'**estrusione** (*extrude*) fa scorrere il profilo lungo una direzione, di solito perpendicolare al suo piano, per un'altezza data: un rettangolo diventa un parallelepipedo, un esagono un prisma esagonale, la pianta dei muri della casa, estrusa di 3,00 m, diventa il volume delle sue pareti. La **rivoluzione** (*revolve*) fa ruotare il profilo attorno a un asse che giace nel suo piano: un rettangolo con un lato sull'asse genera un cilindro, un triangolo rettangolo un cono, un semicerchio una sfera. È il modo naturale di modellare tutti i solidi di rotazione del vol. 1, cap. 6: una colonna, un balaustro, un vaso, una cupola (Figura 6.7).

6.6.2 Solidi primitivi e operazioni booleane

Molti programmi offrono anche i **solidi primitivi**, già pronti: parallelepipedo, cilindro, cono, sfera, piramide, toro. Da questi si ottengono forme complesse con le **operazioni booleane**, che prendono il nome dal matematico inglese George Boole (1815–1864) e corrispondono alle operazioni tra insiemi. L'**unione** $A \cup B$ fonde due solidi in uno; la **sottrazione** $A - B$ toglie da A la parte occupata da B, come scavare un foro o aprire una porta in un muro; l'**intersezione** $A \cap B$ conserva solo la parte comune. Sono, in forma automatica, le sezioni e le compenetrazioni dei solidi del vol. 2, capp. 1–2: il programma calcola da solo le linee in cui le superfici si incontrano, che a mano richiedevano una costruzione per punti.

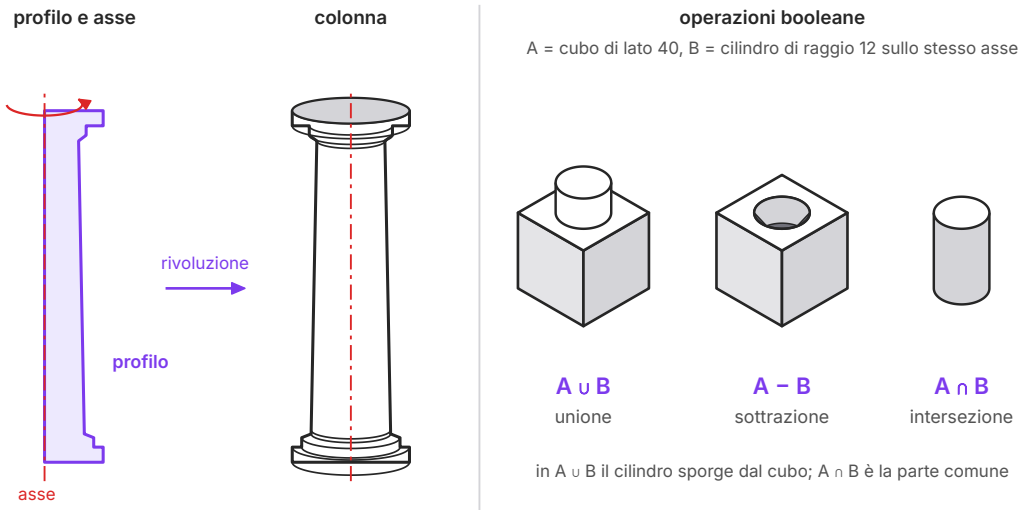


Figura 6.7 Due modi di costruire un solido (schemi). A sinistra il semiprofilo di una colonna con base e capitello semplificati, e l'asse attorno a cui ruota: la rivoluzione genera il solido. A destra le tre operazioni booleane tra un cubo A di lato 40 e un cilindro B di raggio 12 con l'asse verticale passante per il centro del cubo, in assonometria isometrica.

Un controllo semplice: il cubo forato della Figura 6.7 ha volume uguale a quello del cubo meno quello del cilindro che lo attraversa, $40^3 - \pi \times 12^2 \times 40 = 64\,000 - 18\,095{,}57 \approx 45\,904{,}43$ unità cubiche. Molti programmi danno il volume di un solido: se il valore letto non corrisponde, il foro non attraversa tutto il cubo.

6.6.3 Viste, camera e luci: la prova del disegno a mano

Dal modello il programma genera le viste: le proiezioni ortogonali (pianta, prospetti, sezioni con un piano di taglio), le assonometrie (l'isometrica del vol. 2, cap. 4, è di solito a un clic) e la prospettiva. Per la prospettiva si colloca una **camera**: la sua posizione è il punto di vista V, la sua altezza da terra è l'altezza h, e il **punto di mira** (*target*) indica la direzione del raggio principale, che incontra il quadro nel punto principale P. L'**angolo di campo** della camera fa la parte del cono visivo: con un angolo di circa 60° si ottengono immagini simili a quelle della regola pratica del vol. 3; con angoli molto ampi gli oggetti ai bordi si deformano, esattamente come nelle prospettive costruite con una distanza troppo piccola.

Se la camera guarda orizzontalmente, il quadro è verticale: le verticali restano verticali e un edificio ruotato rispetto alla camera appare in prospettiva accidentale, con due punti di fuga sulla linea d'orizzonte (cap. 1). Se la camera si inclina verso l'alto, le verticali convergono verso un terzo punto di fuga: è il quadro inclinato del cap. 2. Molti programmi offrono un'opzione che corregge le verticali, cioè riporta il quadro in verticale, come fanno i fotografi di architettura.

Allo stesso modo il **sole** di un programma 3D si colloca con la data, l'ora e il luogo, oppure con l'azimut e l'altezza sull'orizzonte: le ombre che il programma calcola seguono le regole del cap. 3, e con il sole alle spalle della camera il punto di fuga dei raggi cade sotto la linea d'orizzonte.

IN SINTESI

Dal disegno a mano al CAD, in sintesi.

- Punto di vista V, altezza h, direzione del raggio principale → posizione, altezza e punto di mira della camera.
- Cono visivo di circa 60° → angolo di campo della camera.
- Quadro verticale (prospettiva centrale o accidentale) → camera orizzontale; quadro inclinato → camera inclinata.
- Direzione dei raggi del sole, punti di fuga S e S' → posizione del sole (data, ora, luogo, oppure azimut e altezza).
- Spessore dei muri e retini del cap. 4, segni dei materiali del cap. 5 → layer, retini e materiali del programma.

Il rendering, cioè l'immagine «fotografica» calcolata con luci, materiali e riflessi, è spettacolare, e proprio per questo va guardato con occhio critico. Chi sa costruire una prospettiva e le sue ombre sa anche controllare un'immagine generata dal computer: capisce se la camera è troppo vicina, se l'orizzonte è troppo alto, se le ombre vanno nella direzione giusta. Il disegno a mano dei capitoli precedenti non è sostituito dal CAD: è ciò che permette di usarlo bene.

SINTESI

- Il CAD (*computer-aided design*) è il disegno assistito dal calcolatore: cambia la precisione, la modifica, l'organizzazione, il riuso e lo scambio dei disegni, ma non la geometria con cui si ragiona.
- Un'immagine raster è una griglia di pixel; un disegno vettoriale è un elenco di oggetti descritti dai loro dati. Il CAD è vettoriale.
- Il disegno 2D produce le viste una per volta; la modellazione 3D ricava le viste da un modello; il BIM aggiunge al modello le informazioni sui componenti dell'edificio.
- Al computer si disegna in vera grandezza (scala 1:1), scegliendo l'unità; la scala si sceglie solo in stampa, nel layout.
- Un punto si dà con coordinate assolute (rispetto all'origine), relative (Δx, Δy dall'ultimo punto) o polari relative (lunghezza e angolo, di norma antiorario dal semiasse x positivo).
- Le funzioni di disegno creano linee, polilinee, cerchi, archi, rettangoli, poligoni ed ellissi; una polilinea chiusa ha area e perimetro.
- Le funzioni di modifica sono trasformazioni geometriche (sposta, copia, ruota, specchio, scala) e strumenti del disegno tecnico (offset, taglia, estendi, raccordo, smusso, serie).
- Lo snap ad oggetto aggancia esattamente estremi, punti medi, centri, intersezioni, perpendicolari e tangenti: ogni punto che deve coincidere con un altro si prende con uno snap.
- I layer separano gli oggetti per tipo, con colore, tipo e spessore di linea propri; i blocchi raccolgono elementi ripetuti; quote associative, testi e retini annotano il disegno.
- Lo spazio modello contiene il disegno in vera grandezza; il layout contiene il foglio, con finestre in scala, cartiglio e spessori di stampa.
- DWG è un formato proprietario molto diffuso; DXF è il formato di scambio più usato; PDF, SVG e IFC sono formati aperti.
- Estrusione e rivoluzione creano solidi da un profilo; unione, sottrazione e intersezione combinano i solidi; camera e sole di un programma 3D corrispondono al punto di vista e alla sorgente di luce costruiti a mano.

ESERCIZI

Comprendere e ricordare

1. ● Un disegno vettoriale memorizza:
   - **A.** il colore di ogni pixel dell'immagine
   - **B.** gli oggetti geometrici con i loro dati (estremi, centro, raggio…)
   - **C.** soltanto le quote e i testi
   - **D.** una fotografia ad alta risoluzione del foglio

2. ● In un programma di CAD, con l'unità uguale al metro, un muro lungo 6,40 m si disegna:
   - **A.** lungo 64 unità, perché la scala sarà 1:100
   - **B.** lungo 0,064 unità
   - **C.** nella scala scelta all'inizio del disegno
   - **D.** lungo 6,40 unità: la scala si sceglie in stampa

3. ● L'ultimo punto inserito è (30; 20). Si digita @15;−5. Il nuovo punto è:
   - **A.** (45; 15)
   - **B.** (15; −5)
   - **C.** (15; 25)
   - **D.** (45; 25)

4. ● Con la convenzione più comune, l'inserimento @40<90 traccia un segmento lungo 40 diretto:
   - **A.** verso destra
   - **B.** verso sinistra
   - **C.** verso l'alto
   - **D.** verso il basso

5. ● La funzione che disegna la parallela a una linea a una distanza data, per esempio la seconda faccia di un muro, è:
   - **A.** specchio
   - **B.** offset
   - **C.** serie
   - **D.** raccordo

6. ● Lo snap ad oggetto serve a:
   - **A.** agganciare esattamente punti notevoli di oggetti già disegnati
   - **B.** spostare la vista sul disegno
   - **C.** arrotondare le misure all'intero più vicino
   - **D.** collegare due disegni in file diversi

7. ● Per scambiare un disegno 2D tra due programmi di CAD diversi si usa di solito il formato:
   - **A.** JPEG
   - **B.** PNG
   - **C.** TXT
   - **D.** DXF

8. ● Quale operazione booleana ricava, da un cubo e da un cilindro che lo attraversa, un cubo forato?

   A. L'unione
   B. L'intersezione
   C. La sottrazione
   D. L'estrusione

9. ●● In una finestra del layout in scala 1:50, un muro lungo 4,00 m appare lungo:

   A. 80 mm
   B. 40 mm
   C. 8 mm
   D. 200 mm

10. ●● In un programma 3D la posizione della camera corrisponde, nella prospettiva costruita a mano, a:

    A. il quadro
    B. la linea di terra
    C. il punto principale
    D. il punto di vista *V*

Lessico e comandi

11. ● Completa: in un disegno vettoriale una circonferenza è descritta dal suo _____ e dal suo _____ ; in un'immagine raster è un insieme di _____ , e ingrandendola il suo contorno diventa _____ .

12. ● Abbina ogni funzione al nome inglese più comune. Funzioni: 1) taglia, 2) estendi, 3) raccordo, 4) serie, 5) specchio, 6) sposta. Nomi: a) *array*, b) *mirror*, c) *trim*, d) *fillet*, e) *move*, f) *extend*.

13. ● Vero o falso? Correggi le affermazioni false. a) Lo zoom cambia le dimensioni degli oggetti. b) Una polilinea chiusa ha un'area che il programma può calcolare. c) Il DWG è un formato aperto, con specifiche pubbliche. d) I nomi dei comandi sono gli stessi in tutti i programmi di CAD. e) Lo snap ad oggetto lavora su oggetti già disegnati.

14. ●● Definisci con parole tue, in una o due righe ciascuno: layer, blocco, retino, finestra (viewport) del layout.

15. ● Completa: in molti programmi l'angolo delle coordinate polari si misura in senso _____ a partire dal semiasse _____ ; un punto dato rispetto all'origine si dice in coordinate _____ , uno dato rispetto all'ultimo punto in coordinate _____ .

16. ● Abbina ogni simbolo di snap della Figura 6.4 al punto che aggancia. Simboli: 1) quadrato, 2) triangolo, 3) cerchio, 4) croce, 5) angolo retto, 6) rombo. Punti: a) intersezione, b) quadrante, c) estremo, d) perpendicolare, e) punto medio, f) centro.

Al computer

Unità e dati sono dati in ogni esercizio. Chi non ha un computer svolge su carta la parte di ragionamento (coordinate, sequenza delle funzioni, valori di controllo) e, se vuole, esegue il disegno a mano in scala.

17. ● **Un triangolo in tre modi.** Unità: millimetro. Disegna con una polilinea chiusa il triangolo A(20; 10), B(80; 10), C(80; 55) della Figura 6.2, tre volte, spostando ogni volta il primo vertice di 100 in orizzontale: con le coordinate assolute, con le relative, con le polari. Su carta scrivi le tre sequenze. Controllo: ogni triangolo deve avere area 1350,00 e perimetro 180,00.

18. ● **Un quadrato inclinato.** Partendo da (100; 100) disegna una polilinea con @50<30, @50<120, @50<210, poi chiudi. Che figura ottieni? Controlla area e perimetro; poi misura la distanza tra il primo vertice e il vertice opposto e confrontala con il valore che dà il teorema di Pitagora.

19. ●● **L'esagono in due modi.** a) Con la funzione poligono: 6 lati, centro (0; 0), inscritto in una circonferenza di raggio 40. b) Accanto, con centro (120; 0), senza la funzione poligono: una circonferenza di raggio 40 e sei archi (o cerchi) di raggio 40 centrati sulla circonferenza, come nel vol. 1, cap. 3; unisci i punti con una polilinea chiusa (snap intersezione). Controllo: lato 40,00, distanza tra due lati paralleli ≈ 69,28, area ≈ 4156,92 per entrambi. Perché le due costruzioni danno lo stesso esagono?

20. ●● **L'asse di un segmento.** Riproduci l'esempio svolto della sezione «Le costruzioni del primo anno, al computer» con A(10; 20) e B(70; 100) e due cerchi di raggio 60. Su carta calcola la lunghezza di AB, le coordinate del punto medio M e la distanza da M delle intersezioni dei cerchi; poi leggi i valori nel programma.

21. ●● **Tangenti a due circonferenze.** Disegna le circonferenze di centro C_1(0; 0) e raggio 30 e di centro C_2(100; 0) e raggio 20. Con lo snap tangente traccia le due tangenti esterne e le due tangenti interne. Controllo: misura i segmenti di tangente tra i due punti di contatto. Su carta: calcola con Pitagora le lunghezze attese (suggerimento: trasla la tangente fino a farla passare per C_2).

22. ●● **Un angolo di muro arrotondato.** Unità: metro. Le facce esterne di un muro sono due linee da (0; 0) a (4,50; 0) e da (0; 0) a (0; 3,50). Il muro è spesso 0,40. Con offset e taglia disegna lo spigolo vivo; poi, su una copia, arrotonda lo spigolo esterno con un raccordo di raggio 1,20 e quello interno con il raggio che mantiene lo spessore. Indica quel raggio, il centro comune degli archi, le lunghezze dei tratti rettilinei e degli archi.

23. ●● **Un tempietto con la serie polare.** Unità: metro. Disegna una colonna di diametro 0,60 come blocco con il punto base nel centro; inseriscila con il centro in (6,00; 0) e ripetila con una serie polare di 12 elementi su 360°, centro (0; 0). Controlla con lo snap centro dove cadono le colonne a 90° e a 180°; misura la distanza tra i centri di due colonne vicine e lo spazio libero tra di esse.

24. ●●● **La pianta della casa.** Disegna la pianta della Figura 6.6 con i dati del testo e i layer della Tabella 6.1, compresi porte (come blocchi), finestre, retini, testi e quote. Controllo: area e perimetro delle polilinee esterna e interna dei muri, e area di ciascun locale. Su carta, scrivi la sequenza delle funzioni per i soli muri e calcola i valori di controllo.

25. ●● **Dal modello al foglio.** La casa della Figura 6.6 va stampata su un foglio A3 orizzontale (area utile 400 × 277 mm). Quanto misura sul foglio il suo ingombro in scala 1:50? E in scala 1:100? Se i testi si scrivono nello spazio modello e devono risultare alti 2,5 mm sul foglio, quanto devono essere alti nel modello (in metri) per la stampa a 1:100 e per quella a 1:50?

26. ●●● **Due controlli in 3D.** a) Estrudi di 3,00 m la superficie occupata dai muri della casa (esterni e tramezzi, senza aperture). Quale volume deve dare il programma? b) In unità millimetro, crea un cubo di lato 40 e un cilindro di raggio 12 e altezza 40 con l'asse verticale nel centro del cubo, e sottrai il cilindro dal cubo (Figura 6.7). Quale volume deve risultare?

Leggere il disegno

27. ● Un compagno ha disegnato una polilinea con questa sequenza: (10; 10), @40;0, @0;30, @−40;0, chiudi. Che figura ha ottenuto? Scrivi le coordinate assolute dei vertici e calcola l'area.

28. ●● **Trova l'errore.** Una studentessa vuole un quadrato di lato 30 con il primo vertice in (50; 50) e digita: 50;50 – 30;0 – 0;30 – −30;0 – chiudi. Che cosa ottiene? Correggi la sequenza.

29. ●● Osserva la Figura 6.6. Su quale layer stanno gli archi delle porte e i nomi dei locali? Perché i muri sono campiti e disegnati con la linea più spessa? Verso quale locale si apre la porta del bagno? Quanto è larga la finestra della camera sul lato est?

30. ●● Leggi la Tabella 6.1. Su quale layer disegneresti la linea della gronda, che sporge di 0,50 m oltre i muri esterni, e con quale tipo di linea? Perché il layer RETINI ha lo spessore più sottile? Per stampare la stessa pianta senza le quote, che cosa fai, senza cancellare nulla?

Verso la verifica

31. ●●● **Il prospetto di una casa a capanna.** Unità: metro. Il fronte è largo 8,00, i muri sono alti 3,00, il colmo del tetto è a 4,50 sull'asse. Una porta di 1,00 × 2,20 è al centro; due finestre di 1,00 × 1,20, con il davanzale a 1,00 da terra, hanno gli assi a 1,75 m dai bordi. a) Scrivi la sequenza in coordinate relative per il contorno (primo vertice nell'origine). b) Disegna la finestra di sinistra con un rettangolo e ricava l'altra con la funzione specchio: quale asse usi? c) Calcola la lunghezza di una falda, l'area del contorno, il suo perimetro e l'area al netto delle aperture.

32. ●●● Un compagno sostiene: «Con il CAD non serve più studiare la prospettiva e le ombre: le fa il computer». Rispondi in 10–15 righe, usando la camera, l'angolo di campo, il quadro verticale o inclinato e il sole di un programma 3D, e spiegando che cosa resta compito di chi disegna.

33. ●●● **Un portico in pianta.** Unità: metro. Disegna un pilastro quadrato di 0,50 × 0,50 come blocco, con il punto base nel suo centro, e ripetilo con una serie rettangolare di 1 riga e 5 colonne a interasse 3,00. A 4,00 m dagli assi dei pilastri disegna la faccia interna del muro di fondo, parallela alla fila, lunga quanto il portico. Quanto distano gli assi del primo e dell'ultimo pilastro? Quanto è largo lo spazio libero tra due pilastri? Quanto è lungo il portico misurato sulle facce esterne del primo e dell'ultimo pilastro? Se poi si porta l'interasse a 3,50 m, che cosa basta modificare?

PER APPROFONDIRE

- [DOC] M. Docci, R. Migliari, *Scienza della rappresentazione*: i fondamenti geometrici delle proiezioni che ogni programma di disegno applica, per chi vuole capire che cosa c'è sotto la camera e le viste di un modello 3D.
- Il manuale e le guide introduttive del programma che usi (molti programmi liberi hanno guide in italiano scritte dalle loro comunità): sono il posto giusto per scoprire come si chiamano, lì, le funzioni di questo capitolo.

Glossario del capitolo

BIM
Building information modeling: modello 3D di un edificio fatto di componenti che portano informazioni (materiali, strati, costi, fasi).

Blocco
Gruppo di oggetti salvato con un nome e un punto base, inserito come un oggetto solo; modificandone la definizione si aggiornano tutte le copie.

CAD
Disegno o progettazione assistiti dal calcolatore (*computer-aided design / drafting*).

Coordinate assolute
Posizione di un punto rispetto all'origine del sistema di coordinate: (x; y).

Coordinate polari
Posizione di un punto data dalla lunghezza e dall'angolo del segmento che lo unisce all'ultimo punto; di norma l'angolo è antiorario dal semiasse x positivo.

Coordinate relative
Posizione di un punto data dallo spostamento Δx, Δy rispetto all'ultimo punto inserito.

Disegno vettoriale
Disegno fatto di oggetti geometrici descritti dai loro dati (estremi, centri, raggi), nitido a ogni scala.

Estrusione
Creazione di un solido facendo scorrere un profilo chiuso lungo una direzione per un'altezza data.

Immagine raster
Immagine fatta di una griglia di pixel, ciascuno con il suo colore; perde qualità se ingrandita.

Layer
Livello del disegno con nome, colore, tipo e spessore di linea propri; si può spegnere, bloccare, escludere dalla stampa.

Layout
Ambiente in cui si compone il foglio di stampa, con finestre in scala sul modello e il cartiglio.

Offset
Funzione che disegna la parallela a una linea, o l'arco concentrico a un arco, a una distanza data.

Operazioni booleane
Unione, sottrazione e intersezione tra solidi, come tra insiemi.

Polilinea
Spezzata di segmenti e archi trattata come un solo oggetto; se chiusa ha area e perimetro.

Raccordo
Funzione che unisce due elementi con un arco di raggio dato tangente a entrambi (*fillet*).

Retino
Motivo o colore che riempie un contorno chiuso: campitura dei muri sezionati, segni dei materiali.

Serie
Funzione che ripete un oggetto in righe e colonne, lungo un percorso o attorno a un centro (*array*).

Snap ad oggetto
Aiuto che aggancia il cursore esattamente a punti notevoli degli oggetti: estremi, punti medi, centri, intersezioni, tangenti.

Spazio modello
Ambiente in cui si disegna in vera grandezza (scala 1:1).

Taglia
Funzione che accorcia un oggetto fino al bordo di un altro (*trim*).

Soluzioni

1. B. Un disegno vettoriale è un elenco di oggetti descritti da dati geometrici, che il programma ridisegna a ogni ingrandimento.

2. D. Si disegna in vera grandezza: con l'unità uguale al metro, 6,40 m sono 6,40 unità; la scala si decide nel layout.

3. A. Coordinate relative: 30 + 15 = 45, 20 − 5 = 15.

4. C. Di norma l'angolo si misura in senso antiorario dal semiasse x positivo: 90° è verso l'alto.

5. B. L'offset copia una linea parallelamente a distanza data (o un arco concentricamente).

6. A. Lo snap aggancia il cursore a estremi, punti medi, centri, intersezioni, perpendicolari, tangenti.

7. D. Il DXF è il formato di scambio con specifiche pubblicate; JPEG e PNG sono raster; il TXT non contiene un disegno.

8. C. A − B toglie dal cubo la parte occupata dal cilindro.

9. A. 4,00 m = 4000 mm; 4000 : 50 = 80 mm.

10. D. La camera è il punto da cui si guarda: il punto di vista; il punto di mira dà la direzione del raggio principale.

11. centro; raggio; pixel; una scalinata (a gradini).

12. 1c, 2f, 3d, 4a, 5b, 6e.

13. a) Falso: lo zoom cambia solo la vista; le misure restano le stesse. b) Vero. c) Falso: il DWG è proprietario; per lo scambio si usa il DXF, con specifiche pubblicate; aperti sono PDF, SVG e IFC. d) Falso: i nomi variano da programma a programma e da lingua a lingua; le funzioni restano. e) Vero.

14. *Traccia di risposta.* Layer: livello del disegno con nome, colore, tipo e spessore di linea propri, che si può spegnere o bloccare. Blocco: gruppo di oggetti salvato con un nome e un punto base, inserito come un oggetto solo; cambiando la definizione si aggiornano tutte le copie. Retino: motivo o colore che riempie un contorno chiuso (muri sezionati, materiali). Finestra del layout: riquadro del foglio che mostra il modello in una scala data.

15. antiorario; x positivo; assolute; relative.

16. 1c, 2e, 3f, 4a, 5d, 6b.

17. Assolute: 20;10 – 80;10 – 80;55 – chiudi. Relative (secondo triangolo, spostato di 100): 120;10 – @60;0 – @0;45 – chiudi. Polari (terzo triangolo): 220;10 – @60<0 – @45<90 – chiudi. Area 60 × 45 : 2 = 1350,00; ipotenusa $\sqrt{(60^2 + 45^2)} = \sqrt{5625} = 75$, perimetro 60 + 45 + 75 = 180,00.

18. Ogni lato è lungo 50 e ruota di 90° rispetto al precedente (30°, 120°, 210°, poi la chiusura a 300°): è un quadrato di lato 50 ruotato di 30°. Area 2500,00, perimetro 200,00. Diagonale $\sqrt{(50^2 + 50^2)} = 50\sqrt{2} \approx 70{,}71$.

19. Lato 40,00 in entrambi; distanza tra due lati paralleli $40\sqrt{3} \approx 69{,}28$ (doppio dell'apotema, che si ricava con Pitagora: $\sqrt{(40^2 - 20^2)} = \sqrt{1200} \approx 34{,}64$); area 6 × (40 × 34,64 : 2) ≈ 4156,92. Coincidono perché nell'esagono regolare inscritto il lato è uguale al raggio: i sei archi di raggio 40 dividono la circonferenza esattamente nei sei vertici.

20. $\Delta x = 60$, $\Delta y = 80$: AB = $\sqrt{(3600 + 6400)} = \sqrt{10\,000} = 100{,}00$. M(40; 60). Le intersezioni stanno sull'asse a distanza $\sqrt{(60^2 - 50^2)} = \sqrt{1100} \approx 33{,}17$ da M: ≈ (13,47; 79,90) e ≈ (66,53; 40,10). L'asse forma 90,00° con AB.

21. Tangenti esterne: $\sqrt{(100^2 - (30 - 20)^2)} = \sqrt{9900} \approx 99{,}50$ ciascuna. Tangenti interne: $\sqrt{(100^2 - (30 + 20)^2)} = \sqrt{7500} \approx 86{,}60$ ciascuna. (Traslando la tangente esterna parallelamente a sé stessa di 20 verso C_1 si ottiene la tangente da C_2 alla circonferenza di raggio 10 attorno a C_1: triangolo rettangolo di ipotenusa 100 e cateto 10. Per le interne il cateto è 30 + 20 = 50.)

22. Facce interne: offset 0,40, cioè $y = 0{,}40$ e $x = 0{,}40$; taglia nell'incrocio (0,40; 0,40). Raccordo esterno r = 1,20, centro (1,20; 1,20); raccordo interno r = 1,20 −

0,40 = 0,80, stesso centro. Tratti rettilinei: esterno orizzontale da (1,20; 0) a (4,50; 0) = 3,30; esterno verticale da (0; 1,20) a (0; 3,50) = 2,30; interni: da (1,20; 0,40) a (4,50; 0,40) = 3,30 e da (0,40; 1,20) a (0,40; 3,50) = 2,30. Archi: π × 1,20 : 2 ≈ 1,88 e π × 0,80 : 2 ≈ 1,26.

23. Colonna a 90°: centro (0; 6,00); a 180°: (−6,00; 0). I 12 centri dividono la circonferenza di raggio 6 in archi di 30°: distanza tra centri vicini, misura attesa ≈ 3,11 m; spazio libero tra le colonne ≈ 3,11 − 0,60 ≈ 2,51 m.

24. Muri: rettangolo (0; 0)–(10; 7); offset 0,30 verso l'interno; linea (6,00; 0,30)–(6,00; 6,70) e offset 0,10 verso est; linea (6,10; 3,00)–(9,70; 3,00) e offset 0,10 verso nord; taglia agli incroci; spallette e taglia per le aperture. Controlli: esterna 70,00 m², perimetro 34,00 m; interna 60,16 m², perimetro 31,60 m; soggiorno-cucina 36,48 m², bagno 9,72 m², camera 12,96 m² (totale 59,16 m²).

25. A 1:50: 10,00 m → 200 mm, 7,00 m → 140 mm: 200 × 140 mm, entra nell'A3. A 1:100: 100 × 70 mm. Testi: 2,5 mm × 100 = 250 mm = 0,25 m nel modello per 1:100; 2,5 mm × 50 = 125 mm = 0,125 m per 1:50.

26. a) Superficie dei muri: 70,00 − 59,16 = 10,84 m² (cioè 70,00 − 60,16 = 9,84 m² di muri esterni più 1,00 m² di tramezzi); volume 10,84 × 3,00 = 32,52 m³. b) $40^3 - \pi \times 12^2 \times 40 = 64\,000 - 18\,095{,}57 \approx 45\,904{,}43$ mm³.

27. Un rettangolo 40 × 30. Vertici (10; 10), (50; 10), (50; 40), (10; 40). Area 1200.

28. Senza il simbolo delle relative i punti sono assoluti: (50; 50), (30; 0), (0; 30), (−30; 0), un quadrilatero intrecciato (il lato da (30; 0) a (0; 30) e quello di chiusura si incrociano) che non ha nulla del quadrato. Sequenza corretta: 50;50 – @30;0 – @0;30 – @−30;0 – chiudi (oppure 50;50 – 80;50 – 80;80 – 50;80 – chiudi).

29. Archi delle porte: layer INFISSI; nomi dei locali: TESTI. I muri sono tagliati dal piano di sezione: si disegnano con la linea più spessa e si campiscono (convenzioni del cap. 4). La porta del bagno si apre verso il bagno. Finestra est della camera: da $y = 4{,}10$ a 5,70, larga 1,60 m.

30. Sul layer SOPRA, a linea tratteggiata, perché la gronda sta sopra il piano di sezione. Il retino deve riempire senza coprire il contorno dei muri: una linea sottile non diventa una macchia. Si spegne il layer QUOTE (o lo si esclude dalla stampa).

31. a) (0; 0), @8;0, @0;3, @−4;1,5, @−4;−1,5, chiudi. b) Finestra di sinistra: rettangolo da (1,25; 1,00) a (2,25; 2,20); specchio rispetto all'asse verticale $x = 4$, per esempio per (4; 0) e (4; 4,5): la copia va da (5,75; 1,00) a (6,75; 2,20). La porta va da (3,50; 0) a (4,50; 2,20). c) Falda $\sqrt{(4^2 + 1{,}5^2)} = \sqrt{18{,}25} \approx 4{,}27$ m; area 8 × 3 + 8 × 1,5 : 2 = 24 + 6 = 30,00 m²; perimetro 8 + 3 + 3 + 2 × 4,27 ≈ 22,54 m; area netta 30,00 − 2,20 − 2 × 1,20 = 25,40 m².

32. *Traccia di risposta.* Il programma esegue la proiezione, ma le scelte restano di chi disegna: dove mettere la camera (il punto di vista *V*) e a che altezza (*h*), quale angolo di campo usare (il cono visivo di circa 60°), se tenere la camera orizzontale (quadro verticale, verticali parallele) o inclinarla (terzo punto di fuga), da dove far venire il sole (sole alle spalle o controluce, cioè *S* sotto o sopra la linea d'orizzonte). Solo chi conosce le regole capisce perché un'immagine appare deformata o perché le ombre sono sbagliate, e sa correggerla; inoltre la prospettiva serve a leggere le opere d'arte (vedute, quadrature) e a fare schizzi a mano, dove il computer non c'è.

33. Assi del primo e dell'ultimo pilastro: 4 × 3,00 = 12,00 m. Spazio libero tra due pilastri: 3,00 − 0,50 = 2,50 m. Lunghezza sulle facce esterne: 12,00 + 0,50 = 12,50 m; il muro di fondo è lungo 12,50 m. Basta cambiare l'interasse della serie (in molti programmi la serie è modificabile) oppure ripeterla con 3,50: gli assi estremi distano allora 14,00 m e il portico è lungo 14,50 m; il muro di fondo va allungato di conseguenza.