CAPITOLO

2

Il rilievo dell'architettura

Misurare un edificio è il modo più lento, e più sicuro, di guardarlo.

OBIETTIVI

1. Distinguere il rilievo dal progetto, il rilievo diretto da quello strumentale, e riconoscere le fasi di un rilievo grafico-fotografico.
2. Disegnare sul posto un eidotipo proporzionato e completo, con il suo libretto delle misure.
3. Misurare un ambiente con misure progressive, trilaterazione, coordinate da una base e linea di livello, verificando la chiusura.
4. Scegliere la precisione delle misure in base alla tolleranza della scala e riconoscere gli errori grossolani.
5. Usare la fotografia come documento e capire principio e limiti del fotoraddrizzamento, della fotogrammetria e del laser scanner.
6. Restituire pianta e sezione a 1:50 e impaginarle in una tavola con scala grafica, nord e cartiglio.

INDICE DEL CAPITOLO

2.1 Che cos'è un rilievo 2
2.2 L'eidotipo 4
2.3 Misurare direttamente 6
2.4 Errori e tolleranze 12
2.5 Le fotografie: documento e misura 13
2.6 La restituzione 16

Disegno e Storia dell'arte 5 · Parte I · Rilevare e progettare · versione 1.0
Capitolo 2: Il rilievo dell'architettura · pagine 47–70 del volume completo · estratto per lo studio

Pensi di conoscere bene la tua aula: ci passi cinque ore al giorno. Prova però a disegnarne la pianta in scala senza misurare niente, e poi confrontala con le misure vere. Scoprirai che la finestra non è al centro della parete, che la porta è più vicina all'angolo di quanto credevi e, quasi sempre, che la stanza non è un rettangolo perfetto. Misurare costringe a guardare: è il modo più lento, e più sicuro, di conoscere un edificio.

Le Indicazioni nazionali chiedono che nel quinto anno il disegno sia finalizzato «sia all'analisi e alla conoscenza dell'ambiente costruito (di uno spazio urbano, di un edificio, di un monumento), mediante il rilievo grafico-fotografico e gli schizzi dal vero», sia a semplici proposte di progetto. Dopo lo schizzo dal vero (cap. 1), qui impari a **rilevare** un edificio o un suo ambiente: progettare il lavoro, fissare le misure su uno schizzo, misurare con metodi che si controllano da soli, usare la fotografia, restituire tutto in una tavola in scala. Gli stessi metodi serviranno nel cap. 3 per una piazza, e i disegni che ne escono saranno la base del progetto del cap. 4.

2.1 Che cos'è un rilievo

2.1.1 Disegnare ciò che esiste

Il **rilievo** è l'insieme delle operazioni (misurare, disegnare, fotografare) con cui si rappresenta un edificio, un monumento o un suo ambiente **così com'è**. È il cammino inverso del progetto. Il disegno di progetto dice come un edificio dovrà essere, con muri perfettamente diritti e angoli retti; il rilievo dice come l'edificio è oggi, dopo il cantiere, i secoli, i terremoti, le modifiche: muri fuori squadra, pavimenti che scendono di qualche centimetro, una porta spostata, una finestra murata di cui resta solo la traccia nell'intonaco. Per questo un rilievo non si ricava mai dai disegni d'archivio: quelli raccontano un'intenzione, il rilievo registra un fatto.

Si rileva per molte ragioni. Per **conoscere** un edificio: le irregolarità di una pianta rivelano spesso fasi costruttive diverse, come un muro più spesso, resto di una costruzione più antica. Per **documentarlo**: un rilievo accurato conserva la memoria di un monumento anche se un incendio o un sisma lo danneggia. Per **restaurarlo**: nel vol. 4, cap. 13 hai visto il dibattito tra Ruskin e Viollet-le-Duc su che cosa significhi restaurare; quale che sia la scelta, ogni intervento serio comincia da un rilievo esatto dello stato di fatto e dei suoi danni. Infine per **modificarlo**: chi progetta una rampa, un nuovo bagno o un ampliamento deve partire da misure vere (cap. 4).

Il rilievo è anche uno strumento di tutela. L'articolo 9 della Costituzione stabilisce che la Repubblica «tutela il paesaggio e il patrimonio storico e artistico della Nazione»; il Codice dei beni culturali e del paesaggio (D.Lgs. 42/2004) prevede che gli interventi sui beni culturali siano autorizzati dalle soprintendenze del Ministero della cultura, e un progetto di restauro si presenta con il rilievo dell'esistente. Non c'è tutela senza conoscenza.

Il rilievo, infine, non è una fotocopia: chi rileva sceglie che cosa misurare, dove tagliare la pianta, quali linee sono spigoli e quali macchie. Per questo è già un'**analisi**, nel senso del vol. 4, cap. 4: mentre misuri capisci il tipo, la struttura, i percorsi dell'edificio.

2.1.2 Rilievo diretto e rilievo strumentale

Il **rilievo diretto** si esegue a mano, a contatto con l'oggetto o quasi: con la rotella metrica e il metro rigido, con il distanziometro laser, con il filo a piombo e la livella (Tavola C.2 in appendice). È adatto ad ambienti, piccoli edifici, facciate basse e dettagli, cioè a tutto ciò che si raggiunge con le mani o con un raggio laser dal pavimento. È il rilievo che farai in questo capitolo, ed è la scuola dell'occhio anche per chi poi userà strumenti più potenti.

Il **rilievo strumentale** usa strumenti che misurano a distanza molti punti: la *stazione totale*, che misura angoli e distanze e restituisce le coordinate di singoli punti, la fotogrammetria, il laser scanner, i droni (par. 5). Serve per grandi edifici, parti irraggiungibili, superfici complesse come una volta affrescata. Nella pratica i due rilievi si integrano: le misure dirette controllano quelle strumentali e completano ciò che lo strumento non vede.

Le Indicazioni parlano di **rilievo grafico-fotografico**: disegni, misure e fotografie raccolti insieme e collegati fra loro, in modo che ogni foto si possa ritrovare sul disegno e ogni misura nella foto. È esattamente il metodo che segue.

DA RICORDARE

Rilievo e progetto. Il progetto rappresenta ciò che sarà, il rilievo ciò che è. Un rilievo:

- descrive lo **stato di fatto**, con le sue irregolarità, e non lo corregge;
- è **diretto** se si misura a mano, **strumentale** se si usano stazione totale, fotogrammetria, laser scanner;
- unisce **disegni, misure e fotografie** (rilievo grafico-fotografico);
- è sempre un'**interpretazione**: chi rileva sceglie e capisce mentre misura.

2.1.3 Le fasi del lavoro

Un rilievo diretto si svolge in cinque fasi (Figura 2.1). La prima si fa in classe, prima di uscire: è il **progetto del rilievo**. Si decide che cosa rilevare (un ambiente, un piano intero, una facciata), perché (documentare, analizzare, preparare un progetto) e quindi a quale scala restituirlo: 1:100 per le piante di un edificio, 1:50 per un ambiente o una facciata con i suoi elementi, 1:20 o più grande per i dettagli (Tavola C.1). Dalla scala dipende quanto precise devono essere le misure, come vedrai nel par. 4. Si preparano gli strumenti, si dividono i compiti (chi tiene lo zero, chi legge, chi scrive, chi fotografa) e si chiedono i permessi. Una regola di sicurezza vale sempre: non si sale su sedie, banchi o davanzali; ciò che non si raggiunge da terra si misura con il laser, o non si misura.

Sul posto si disegna l'**eidotipo** e si eseguono le **misure**, scrivendole subito. Poi, in classe, la **restituzione** in scala con le verifiche (se una non torna, si torna a misurare: conviene quindi restituire presto) e la **documentazione**: tavole, fotografie numerate, misure, data e autori.

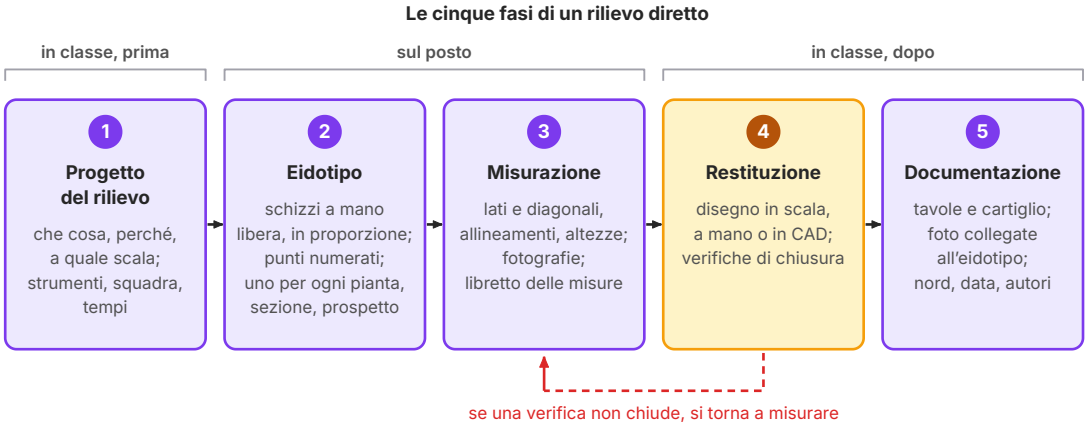


Figura 2.1 Le cinque fasi di un rilievo diretto. Il progetto del rilievo precede il lavoro sul posto; l'eidotipo e la misurazione si fanno davanti all'edificio; la restituzione e la documentazione dopo. La freccia rossa ricorda che le verifiche della restituzione possono rimandare sul posto a ripetere una misura.

2.2 L'eidotipo

2.2.1 Uno schizzo che porta le misure

L'**eidotipo** è lo schizzo, eseguito sul posto a mano libera, su cui si scrivono le misure del rilievo. Nel cap. 1 lo hai incontrato come uno dei tre tipi di schizzo, accanto allo schizzo di studio e a quello di progetto. Non è in scala, ma deve essere **proporzionato**: una parete lunga il doppio di un'altra deve apparire circa il doppio, altrimenti le misure non trovano posto e il disegno inganna chi lo legge. Si fa grande, su un foglio A4 o A3, con linee nette e senza ombre: deve ospitare molti numeri, non essere bello.

Se ne disegna uno per ogni vista: un eidotipo della pianta, uno per ogni sezione, uno per ogni prospetto, uno per i dettagli più complessi. Sulla pianta si segnano gli angoli con lettere (A, B, C…) o i punti con numeri (P1, P2…), i muri con il loro spessore, le aperture, i pilastri, gli arredi fissi. Le misure si scrivono con un colore diverso da quello del disegno, lungo catene che dicono da quale punto partono; le diagonali si tracciano tratteggiate. Ogni eidotipo porta un'intestazione (luogo, oggetto, data, rilevatori), il nord, le posizioni numerate delle fotografie e le note su ciò che il disegno non dice: altezze, materiali, difetti.

La Figura 2.2 mostra l'eidotipo di un'aula inventata, la 2B, che seguiremo per tutto il capitolo: un ambiente di un vecchio edificio scolastico, con una finestra ad arco a sud, una porta sul corridoio a est e una nicchia ricavata nel muro spesso a ovest. Le misure lungo i muri sono pro-

gressive, cioè lette da un'unica origine per ogni parete (par. 3); le due diagonali servono a fissare la forma della stanza e a controllarla.

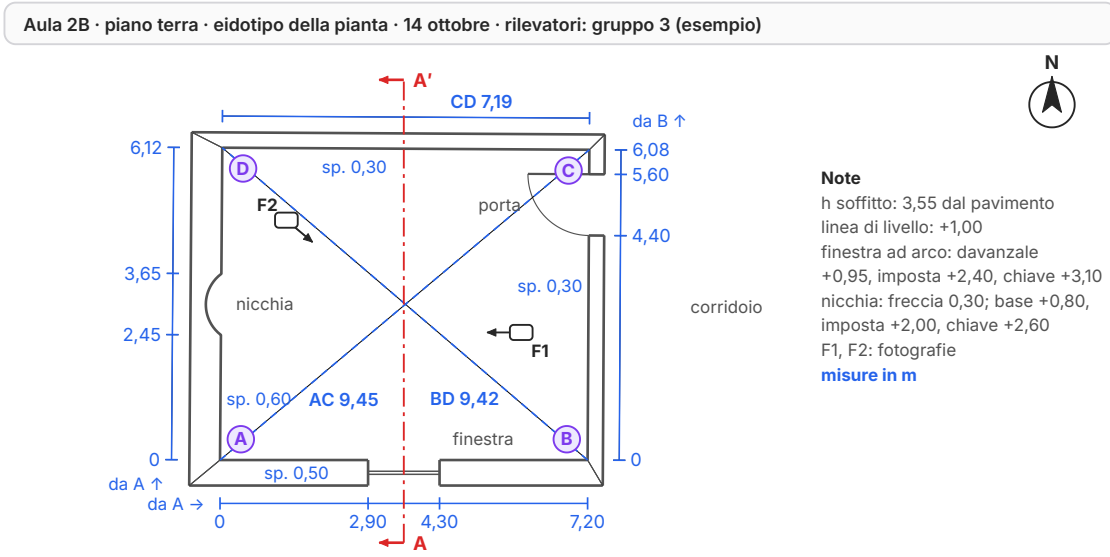


Figura 2.2 Eidotipo della pianta dell'aula 2B (esempio). Il disegno, a mano libera ma proporzionato, porta le lettere degli angoli, gli spessori dei muri, le catene di misure progressive di tre pareti (con l'origine indicata), la lunghezza della quarta e le due diagonali; le note raccolgono le altezze. F1 e F2 sono le posizioni e le direzioni di due fotografie; la traccia A–A′ indica la sezione da rilevare.

2.2.2 Il libretto delle misure

Quando le misure sono molte, l'eidotipo si affolla. Allora le misure si scrivono in un **libretto delle misure**: una tabella in cui ogni riga riporta il nome del tratto misurato (AB, la diagonale AC, l'altezza della chiave della finestra…), il valore e, se serve, lo strumento e una nota. Il libretto non sostituisce l'eidotipo, lo accompagna: i nomi della tabella devono comparire sul disegno, altrimenti un numero non si sa più dove metterlo. Un esempio completo è nella Tabella 2.2, alla fine del capitolo.

ERRORE FREQUENTE

Misure senza disegno, disegno senza origine. Tre errori tipici del primo rilievo:

- scrivere le misure in un elenco senza un eidotipo che dica a che cosa si riferiscono: in classe «3,65» non vuol dire più nulla;
- disegnare un eidotipo piccolo e curato, in cui i numeri non stanno e finiscono sovrapposti;
- scrivere misure progressive senza indicare da quale punto partono e in quale verso: la stessa catena letta dal lato sbagliato sposta tutte le aperture.

Un buon eidotipo si capisce anche da chi non è stato sul posto.

2.3 Misurare direttamente

2.3.1 Misure progressive e misure parziali

Lungo una parete si misurano le posizioni degli spigoli, delle aperture, dei pilastri. Si può procedere in due modi (Figura 2.3). Con le **misure progressive** lo zero della rotella resta fermo su un'origine, per esempio l'angolo della stanza, e si leggono in successione le distanze di tutti i punti da quell'origine; si scrivono come una catena: 0 – 1,15 – 2,35 – 3,60… Con le **misure parziali** si misura ogni tratto per conto suo, spostando la rotella da un punto al successivo.

Le misure progressive sono da preferire. Ogni lettura ha un suo piccolo errore, ma quell'errore resta dov'è: se sbaglio di mezzo centimetro la posizione della seconda finestra, la terza non ne risente. Con le misure parziali, invece, gli errori si **sommano**, perché ogni tratto parte dalla fine del precedente: sette tratti con un centimetro in più ciascuno spostano l'ultimo punto di sette centimetri. Le parziali restano utili dove la rotella non corre libera (un pilastro, un armadio a muro): allora si misura anche il totale e lo si confronta con la somma. Nell'esempio della figura la differenza è di 3 cm: troppi per un rilievo a 1:50, come vedrai nel par. 4.

Qualche regola di mano: la rotella si tiene **tesa** e **orizzontale** (un nastro che pende misura più del vero) e si legge dall'alto, perpendicolarmente; il distanziometro si appoggia bene all'origine e si punta su una superficie perpendicolare al raggio; ogni misura importante si legge due volte e si scrive subito.

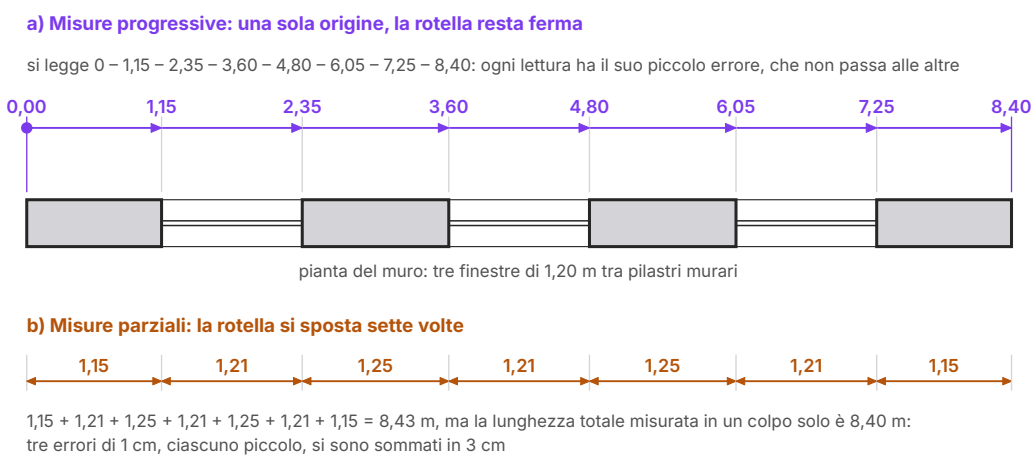


Figura 2.3 Misure progressive e misure parziali sulla stessa parete. a) Le posizioni dei sette punti si leggono da un'unica origine: ogni errore resta isolato. b) Le stesse posizioni misurate tratto per tratto: tre letture con 1 cm in più si sommano, e la somma (8,43 m) non coincide con la lunghezza totale misurata in un colpo solo (8,40 m).

2.3.2 La trilaterazione

Una stanza non è un rettangolo finché non lo si dimostra. Negli edifici storici gli angoli retti sono rari, e anche in quelli moderni un muro fuori squadra di qualche centimetro è normale. Misurare i quattro lati non basta a fissare la forma: un quadrilatero con i lati assegnati si può deformare, come un telaio di quattro aste incernierate agli angoli, che diventa un rombo schiacciato senza cambiare la lunghezza di nessun lato. Il triangolo, invece, non si deforma: dati i tre lati, è uno solo (terzo criterio di congruenza). È su questo che si fonda la **trilaterazione**: si scompone la pianta in triangoli e se ne misurano tutti i lati.

Per una stanza di quattro lati basta **una diagonale**: AC divide il quadrilatero nei triangoli ABC e ACD, entrambi determinati dai loro tre lati. Cinque misure fissano la forma; la sesta, l'**altra diagonale** BD, non serve a disegnare ma a controllare: se la BD letta sul disegno coincide con quella misurata, entro una tolleranza stabilita, si dice che il rilievo **chiude**. Una misura sbagliata non si scopre misurando la stessa cosa due volte, ma confrontando misure indipendenti che devono essere compatibili.

Sulla carta la trilaterazione è una costruzione con il compasso, la stessa con cui nel primo biennio hai costruito un triangolo dati i tre lati (Figura 2.4). Si disegna in scala il lato AB; con centro in A e raggio AC (in scala) si traccia un arco, con centro in B e raggio BC un altro: la loro intersezione dalla parte giusta è C. Allo stesso modo si trova D con gli archi di centro A e raggio DA, di centro C e raggio CD. Infine si misura sul disegno la distanza BD e la si confronta con quella misurata. In CAD (vol. 4, cap. 6) il procedimento è identico: due cerchi con il raggio voluto e il punto di intersezione; il programma, per di più, dà la distanza BD con tutte le cifre che si vogliono.

ESEMPIO SVOLTO

La trilaterazione di una stanza irregolare. In una vecchia casa si misurano AB = 5,40 m, BC = 4,21 m, CD = 5,26 m, DA = 3,85 m e le diagonali AC = 6,61 m, BD = 6,75 m. La stanza è un rettangolo? E il rilievo chiude?

- **Ipotesi del rettangolo.** Se lo fosse, i lati opposti sarebbero uguali (ma BC = 4,21 e DA = 3,85) e le diagonali pure (ma AC = 6,61 e BD = 6,75). Inoltre, per Pitagora, la diagonale di un rettangolo di 5,40 × 4,21 m misurerebbe $\sqrt{(5{,}40^2 + 4{,}21^2)} \approx 6{,}85$ m, 24 cm più di AC. La stanza è decisamente irregolare.
- **Costruzione.** A 1:50 il lato AB misura 108 mm; gli archi di raggio 132,2 mm (AC) e 84,2 mm (BC) danno C; quelli di raggio 77 mm (DA) e 105,2 mm (CD) danno D.
- **Verifica.** Sul disegno BD misura 6,75 m (il calcolo dà 6,748 m): differisce da quella misurata di circa 2 mm, molto meno di 1 cm. Il rilievo chiude.

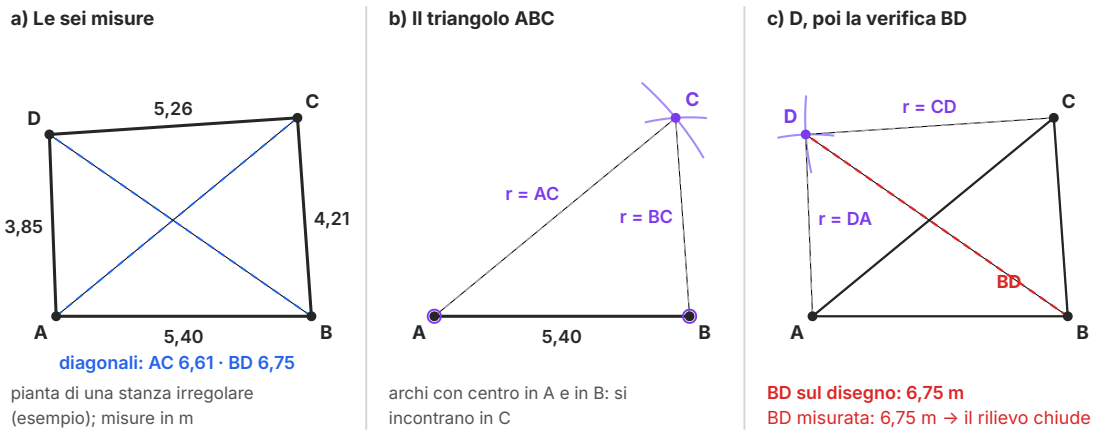


Figura 2.4 La trilaterazione di una stanza irregolare (esempio). a) Le sei misure: quattro lati e due diagonali. b) Il triangolo ABC è determinato dai suoi lati: C è l'intersezione degli archi di centro A e raggio AC e di centro B e raggio BC. c) D si trova con gli archi di centro A e C; la diagonale BD, letta sul disegno, si confronta con quella misurata.

COLLEGAMENTI

Matematica: le coordinate di un vertice con Pitagora. Se A è nell'origine e B sull'asse x a distanza AB, il punto C = $(x; y)$ soddisfa $AC^2 = x^2 + y^2$ e $BC^2 = (AB - x)^2 + y^2$. Sottraendo la seconda uguaglianza dalla prima, y sparisce e resta

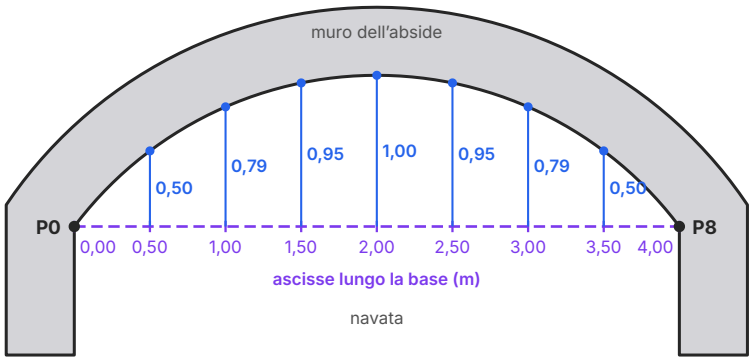
$$x = \frac{AC^2 - BC^2 + AB^2}{2 \cdot AB}, \quad y = \sqrt{(AC^2 - x^2)}.$$

Per la stanza dell'esempio: $x = (43{,}692 - 17{,}724 + 29{,}160) / 10{,}80 \approx 5{,}104$ m e $y = \sqrt{(43{,}692 - 26{,}055)} \approx 4{,}200$ m. È il calcolo che il CAD esegue quando interseca due cerchi. Con la formula di Erone, poi, si ricava l'area di ciascun triangolo dai suoi tre lati, e quindi l'area della stanza, senza misurare nessun angolo.

2.3.3 Allineamenti e coordinate da una base

Non tutto si rileva a triangoli. Un muro curvo, il perimetro irregolare di un cortile, un'abside si rilevano per **coordinate** rispetto a una **linea di base**: un filo teso tra due punti fissi (due chiodi, due picchetti, due spigoli), lungo il quale si leggono le *ascisse* con misure progressive, mentre da ciascun punto della base si misura, perpendicolarmente, la distanza dal muro, cioè l'*ordinata*. È il piano cartesiano portato in cantiere. La perpendicolarità si controlla con una squadra da muratore, oppure con la rotella e la regola del 3-4-5: un triangolo di lati 0,60, 0,80 e 1,00 m ha un angolo retto, per l'inverso del teorema di Pitagora. Con lo stesso principio si rileva un allineamento: per sapere se tre pilastri sono in fila, si tende un filo tra il primo e l'ultimo e si misura di quanto se ne scosta quello di mezzo.

Le ordinate vanno prese a intervalli regolari, e più fitte dove la curva cambia rapidamente. Nella Figura 2.5 la base è il filo teso tra i due punti d'imposta P0 e P8 di una piccola abside, e le ordinate sono prese ogni 50 cm.



Libretto delle misure

ascissa x	ordinata y
0,00	0,00
0,50	0,50
1,00	0,79
1,50	0,95
2,00	1,00
2,50	0,95
3,00	0,79
3,50	0,50
4,00	0,00

corda P0P8 = 4,00 m
freccia = 1,00 m

N

0 1 m

Figura 2.5 Il rilievo di un'abside per coordinate da una linea di base (esempio). Lungo il filo teso tra i punti d'imposta P0 e P8 si leggono le ascisse ogni 0,50 m; da ciascuna si misura, perpendicolarmente, l'ordinata fino al muro. I valori del libretto sono quelli di un arco di cerchio di raggio 2,50 m, con corda 4,00 m e freccia 1,00 m.

ESEMPIO SVOLTO

Dalle ordinate al tracciato. Le ordinate dell'abside della Figura 2.5 sono simmetriche e crescono fino a 1,00 m al centro: il muro potrebbe essere un arco di cerchio. Verifichiamolo.

- Corda $c = 4{,}00$ m, freccia $f = 1{,}00$ m. Il centro del cerchio sta sull'asse della corda, alla distanza $R - f$ sotto la base; per Pitagora $R^2 = (c/2)^2 + (R - f)^2$, da cui $R = [(c/2)^2 + f^2] / (2f) = (4 + 1) / 2 = 2{,}50$ m.
- Con questo raggio l'ordinata all'ascissa 1,00 m dovrebbe valere $\sqrt{(2{,}50^2 - 1{,}00^2)} - 1{,}50 = \sqrt{5{,}25} - 1{,}50 \approx 2{,}291 - 1{,}500 = 0{,}79$ m; all'ascissa 1,50 m, $\sqrt{(6{,}25 - 0{,}25)} - 1{,}50 \approx 0{,}95$ m; all'ascissa 0,50 m, $\sqrt{(6{,}25 - 2{,}25)} - 1{,}50 = 0{,}50$ m.
- I valori misurati coincidono al centimetro: l'abside è un arco di cerchio di 2,50 m di raggio. Probabilmente il costruttore lo tracciò con una corda fissata a un centro: il rilievo ha restituito anche il modo in cui fu costruita.

2.3.4 Le altezze e la sezione

Le altezze si potrebbero misurare dal pavimento, ma il pavimento di un edificio vecchio raramente è in piano. Si usa allora una **linea di livello**: una linea orizzontale tracciata con una matita o un nastro su tutti i muri dell'ambiente, di solito a 1,00 m sopra un punto di riferimento scelto come quota ±0,00 (per esempio la soglia della porta). Per tracciarla si usa una *livella laser*, che proietta sui muri una linea orizzontale, oppure il vecchio *tubo di livello*, un tubo trasparente pieno d'acqua. Da quella linea si misurano verso l'alto le altezze del soffitto, delle imposte e

delle chiavi di archi e volte, verso il basso il pavimento (Figura 2.6). Ogni **quota** si scrive con il segno rispetto al riferimento: +2,70, −0,06.

La sezione richiede anche lo spessore dei muri, che nel mezzo di una parete non si può misurare. Lo si legge nelle aperture: nell'**imbotte** di una porta o di una finestra, cioè la superficie interna dell'apertura che attraversa il muro, oppure confrontando misure interne ed esterne riferite agli stessi allineamenti. Delle aperture si rilevano la **luce** (la larghezza netta del vano), l'altezza del **davanzale** (il piano su cui poggia la finestra), e per un arco l'imposta e la chiave. In un ambiente voltato si misurano l'imposta della volta e la sua chiave; la differenza è la *freccia*, nella figura 3,62 − 2,70 = 0,92 m.

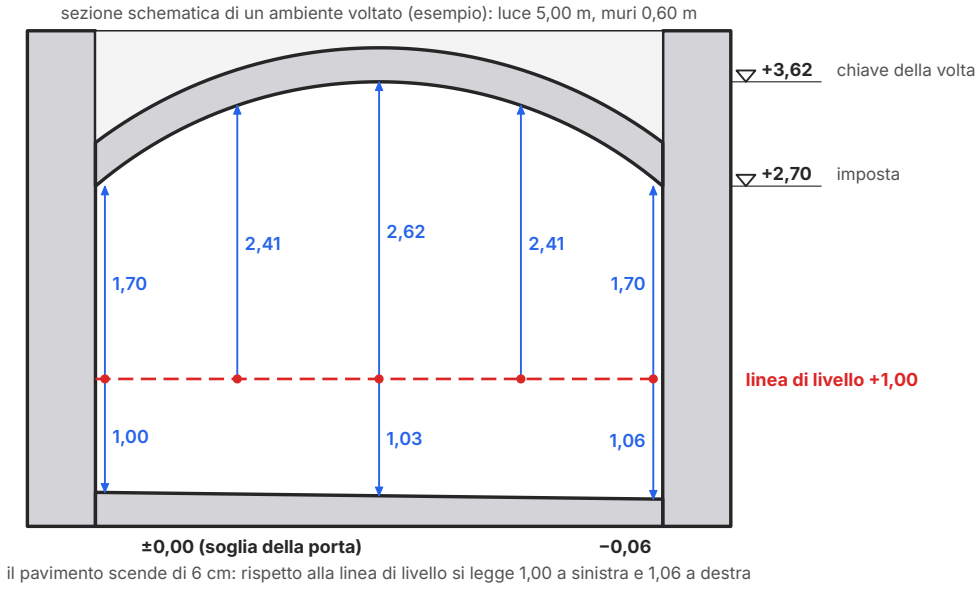


Figura 2.6 Le altezze dalla linea di livello (sezione schematica di un ambiente voltato, esempio). La linea a +1,00 è orizzontale anche se il pavimento non lo è: verso l'alto si leggono 1,70 m all'imposta, 2,41 m a un quarto della luce e 2,62 m in chiave; verso il basso 1,00, 1,03 e 1,06 m. Le quote ricavate sono +2,70 all'imposta, +3,62 in chiave e −0,06 per il pavimento all'estremità destra.

Per i profili delle cornici e delle modanature, troppo complessi per una sola misura, si usa il **profilometro**, detto anche «pettine»: una fila di aghi scorrevoli che, premuti contro la modanatura, ne copiano il profilo, da ricalcare poi sul foglio. Per profili più grandi si applica il metodo della linea di base girato in verticale: si appende un filo a piombo davanti alla cornice e, a quote prefissate, si misurano le distanze orizzontali dal filo alla superficie. I dettagli si restituiscono a 1:10 o a 1:5.

COLLEGAMENTI

Fisica: perché il tubo d'acqua e il laser funzionano. In un tubo trasparente pieno d'acqua, aperto alle due estremità, il liquido in quiete si dispone alla stessa altezza nei due rami, come in due vasi comunicanti: la pressione al fondo deve essere uguale e quindi uguali sono le colonne d'acqua. Così due segni lontani, anche in stanze diverse, sono alla stessa quota. Il distanziometro laser, invece, misura il tempo che la luce impiega ad andare fino alla parete e a tornare (molti modelli confrontano la fase di un raggio modulato, che è un modo indiretto di misurare lo stesso tempo). La luce percorre circa $3 \cdot 10^8$ m al secondo: per una parete a 10 m andata e ritorno durano circa 67 miliardesimi di secondo, e un centimetro corrisponde a meno di un decimo di miliardesimo.

2.4 Errori e tolleranze

Ogni misura ha un errore. Lo introducono lo **strumento** (un nastro che si allunga con il caldo, un distanziometro che ha una precisione di qualche millimetro, secondo il modello), l'**operatore** (la rotella non tesa o non orizzontale, una lettura di traverso) e l'**oggetto** stesso: dov'è esattamente lo spigolo di un muro intonacato a mano, smussato dal tempo? Questi errori accidentali sono piccoli, inevitabili e casuali, a volte in più, a volte in meno. Diverso è l'**errore grossolano**: un numero letto male, due cifre scambiate (4,84 scritto al posto di 4,48), una misura attribuita al tratto sbagliato. È grande, e non si riduce misurando con più attenzione; si scopre solo con le **verifiche**: la seconda diagonale, il confronto tra la somma delle parziali e il totale, il confronto tra misure interne ed esterne.

Quanto deve essere precisa una misura? Dipende dalla scala. Un tratto di matita è largo qualche decimo di millimetro, e due tratti vicini si distinguono con sicurezza solo se distano un po' di più: prendiamo prudentemente 0,5 mm come la più piccola differenza che si vede sul foglio. A 1:50 mezzo millimetro sul foglio corrisponde a $0{,}5 \cdot 50 = 25$ mm, cioè 2,5 cm nella realtà: un errore minore di così sul disegno non si vede. Questa è la **tolleranza** grafica della scala, e cambia con essa (Tabella 2.1). Ne seguono due regole pratiche. Per una restituzione a 1:50 o a 1:100 basta misurare al centimetro, e scrivere 7,2034 m perché il laser lo mostra è una falsa precisione: quelle cifre non arriveranno mai sulla carta. Per un dettaglio a 1:5, invece, servono i millimetri.

Tabella 2.1 Tolleranza grafica: che cosa rappresentano 0,5 mm sul foglio alle diverse scale, e quale precisione chiedere alle misure.

Scala	0,5 mm sul foglio corrispondono a	Misure da prendere
1:200	10 cm	al decimetro; ingombri di edifici e spazi urbani (cap. 3)
1:100	5 cm	al centimetro; piante di un edificio
1:50	2,5 cm	al centimetro; ambienti e facciate
1:20	1 cm	al centimetro, con cura; aperture, scale
1:10	5 mm	al mezzo centimetro; dettagli costruttivi
1:5	2,5 mm	al millimetro; profili di cornici e modanature

Negli esercizi di questo libro adottiamo per un ambiente rilevato a 1:50 una regola semplice: **il rilievo chiude se la diagonale di verifica differisce di meno di 1 cm** da quella misurata. È più severa della tolleranza grafica, ed è giusto così: una chiusura che sfiora la tolleranza lascia sospettare un errore nascosto. Se la verifica non torna, non si «aggiusta» il disegno distribuendo la differenza: si cerca la misura sbagliata, di solito un errore grossolano, e si torna a misurare (Figura 2.1).

ESEMPIO SVOLTO

Leggere una differenza. Nell'aula 2B (Figura 2.2) le diagonali misurano AC = 9,45 m e BD = 9,42 m. La stanza si può disegnare come un rettangolo?

- In un rettangolo le diagonali sono uguali. Qui differiscono di 3 cm.
- Con errori di circa mezzo centimetro per misura, 3 cm sono una vera irregolarità della stanza.
- A 1:50, 3 cm corrispondono a $3 \cdot 10 / 50 = 0{,}6$ mm sul foglio: più della tolleranza grafica di 0,5 mm (Tabella 2.1). Disegnare un rettangolo sarebbe un errore visibile; a 1:100 (0,3 mm) la differenza resterebbe invece sotto la soglia di 0,5 mm e non si vedrebbe.

Conclusione: a 1:50 l'aula va restituita per trilaterazione, come un quadrilatero irregolare.

2.5 Le fotografie: documento e misura

2.5.1 La fotografia come documento

Nel rilievo grafico-fotografico ogni fotografia è un documento e ha bisogno di una collocazione: si numera e si segna sull'eidotipo con posizione e direzione (F1, F2 nella Figura 2.2). Le pareti si fotografano il più possibile di fronte, con l'apparecchio orizzontale e un riferimento metrico

nell'inquadratura (un'asta graduata, un metro rigido aperto); una parete lunga si riprende in sequenza, con una parte sovrapposta tra uno scatto e il successivo. Poi i particolari che il disegno dimentica: materiali, giunti, crepe, tracce di aperture chiuse, meglio leggibili con una luce radente.

2.5.2 Il fotoraddrizzamento

Una fotografia non è un disegno in scala: è una **proiezione centrale**, come la prospettiva che hai studiato nel vol. 3, capp. 3–4. L'obiettivo fa da centro di proiezione, il sensore da quadro. Se la facciata non è parallela al sensore, le orizzontali convergono verso un punto di fuga e, se l'apparecchio è inclinato verso l'alto, anche le verticali convergono: le misure sulla foto non sono proporzionali a quelle reali. Il **fotoraddrizzamento** trasforma la fotografia di una facciata **piana** in un'immagine in scala, cioè in un prospetto in proiezione ortogonale (Figura 2.7).

Per farlo bisogna conoscere la posizione reale di almeno **quattro punti** della facciata, a tre a tre non allineati, misurati sul posto (per esempio quattro spigoli); in alternativa bastano due famiglie di rette che nella realtà sono parallele e perpendicolari tra loro, come le orizzontali e le verticali della facciata, più una misura orizzontale e una verticale note. È il problema che hai già risolto a mano con la restituzione prospettica (vol. 3, cap. 4; vol. 4, cap. 2): dai punti di fuga delle rette parallele si ricostruisce la forma vera della figura piana. Un programma di fotoraddrizzamento esegue la stessa geometria su ogni pixel dell'immagine, dopo aver corretto la deformazione dell'obiettivo.

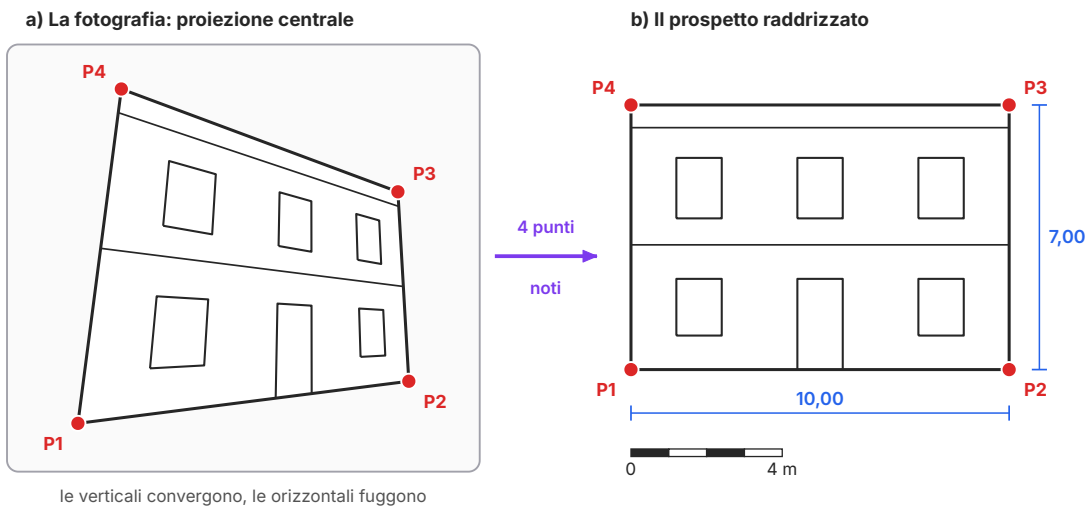


Figura 2.7 Il fotoraddrizzamento di una facciata piana (esempio: 10,00 × 7,00 m). a) Nella fotografia, presa di sbieco e dal basso, le orizzontali fuggono e le verticali convergono. b) Noti i quattro punti P1–P4, la stessa immagine diventa un prospetto in scala: le finestre ritrovano la loro forma rettangolare e le misure si possono leggere con la scala grafica. La trasformazione vale solo per i punti che stanno sul piano della facciata.

ERRORE FREQUENTE

Il fotoraddrizzamento vale solo per un piano. La trasformazione è esatta per i punti che stanno sul piano dei quattro punti di controllo. Tutto ciò che sporge o rientra (un balcone, un cornicione, una finestra arretrata, un portale profondo) finisce spostato, tanto più quanto più è lontano dal piano e quanto più la foto è di sbieco. Una facciata con forti aggetti si raddrizza per parti, piano per piano, o si rileva con la fotogrammetria. E l'immagine raddrizzata va comunque controllata con qualche misura diretta.

2.5.3 Fotogrammetria, laser scanner, droni

La **fotogrammetria** ricava la forma tridimensionale di un oggetto da molte fotografie prese da posizioni diverse e molto sovrapposte. Il principio è quello della nostra visione: i due occhi vedono la stessa cosa da due punti un po' distanti, e da questa differenza il cervello ricava la profondità. Il programma riconosce lo stesso dettaglio in più fotografie, ne calcola la posizione nello spazio e, ripetendo l'operazione per centinaia di migliaia di dettagli, produce una **nuvola di punti**: un insieme di punti di cui si conoscono le coordinate, spesso con il loro colore. Dalla nuvola si ricava una superficie (una *mesh*) rivestita con le immagini.

Il **laser scanner** arriva allo stesso risultato per un'altra via: ruotando su se stesso lancia raggi laser in tutte le direzioni e misura distanza e direzione di ogni punto colpito, milioni di punti in pochi minuti. I droni portano la fotocamera sopra le coperture e lungo i campanili, nel rispetto delle regole sul volo.

Nessuno di questi strumenti, però, produce un disegno. Una nuvola di punti registra tutto, senza distinguere: lo spigolo di un muro e una macchia di umidità, un giunto e una crepa, il muro e la sedia appoggiata contro di esso. Per avere una pianta bisogna decidere a quale quota tagliarla, quali linee sono spigoli, che cosa conta. **La nuvola registra, il disegno interpreta**: l'eidotipo, le misure di controllo e l'occhio critico di chi conosce l'architettura restano indispensabili.

APPROFONDIMENTO

La lettera a Leone X e il rilievo di Roma antica. Intorno al 1519 Raffaello, incaricato dal papa di occuparsi delle antichità di Roma, preparò con Baldassarre Castiglione una lettera indirizzata a Leone X che è uno dei primi testi sul rilievo dei monumenti. Vi si lamenta la distruzione delle rovine, usate come cave di pietra e di calce, e si propone di disegnare la città antica edificio per edificio. Per misurare le direzioni dei muri la lettera descrive uno strumento con un ago magnetico, una specie di bussola divisa in gradi; per rappresentare gli edifici propone tre disegni: la *pianta*, la *parete di fuori* e la *parete di dentro*, cioè il prospetto esterno e la vista interna, che corrisponde alla nostra sezione. La lettera distingue anche il disegno dell'architetto da quello del pittore: al primo servono le misure vere, non gli scorci della prospettiva. Pianta, prospetto e sezione, misure prima delle immagini: sono ancora le regole di questo capitolo.

2.6 La restituzione

2.6.1 Dalle misure al disegno in scala

La **restituzione** è il disegno in scala ricavato dalle misure. Conviene seguire un ordine fisso: prima il perimetro dell'ambiente con la trilaterazione, poi le aperture e gli elementi lungo le pareti con le misure progressive, poi gli spessori dei muri, quindi le parti curve per coordinate, infine la sezione con le quote. A mano si lavora a matita dura, con linee leggere e il compasso, e si ripassa solo dopo le verifiche. In CAD (vol. 4, cap. 6) si disegna a 1:1 in metri, si trovano i vertici intersecando cerchi, si usano layer distinti (muri tagliati, aperture, elementi in vista, quote, testi) e si sceglie la scala solo impaginando il foglio.

Le convenzioni sono quelle del vol. 4, cap. 4: ciò che il piano di sezione taglia si disegna con la linea più grossa e si campisce; ciò che si vede oltre il piano con linee sottili; ciò che sta sopra il piano della pianta a tratteggio. Si aggiungono le quote, le quote di livello con il loro simbolo, la traccia delle sezioni con le frecce che indicano la direzione dello sguardo, la freccia del nord e una **scala grafica**, che resta valida anche se la tavola viene ridotta o stampata in un altro formato.

2.6.2 Materiali e degrado

Un rilievo completo dice anche di che cosa è fatto l'edificio e in che stato è. I materiali visibili (intonaco, mattone, pietra, legno, ferro) si indicano con i segni del disegno materico che conosci dal vol. 4, cap. 5. Nel restauro si esegue poi la **mappatura del degrado**: sul prospetto o sulla sezione si delimitano, con campiture e simboli spiegati in una legenda, le aree in cui compaiono crepe, distacchi d'intonaco, umidità di risalita, efflorescenze saline, patine e vegetazione. Per le crepe si annotano la posizione, la lunghezza e la direzione, e nella documentazione fotografica si accostano a un riferimento metrico. A scuola non si diagnostica nulla, ma si registra

con esattezza: una crepa ben disegnata permette a chi se ne intende di leggere il comportamento della struttura (vol. 4, cap. 4).

2.6.3 La tavola e il cartiglio

Il lavoro si consegna in una **tavola**, di solito un foglio A3 orizzontale. I disegni si dispongono in modo ordinato e collegato: la pianta con la traccia della sezione, la sezione accanto o sopra, con le stesse quote allineate, i dettagli a parte con la loro scala. In basso a destra si mette il **cartiglio**, il riquadro che identifica la tavola: scuola e classe, oggetto e luogo del rilievo, numero della tavola, scala o scale, data, autori. Una buona tavola si legge senza spiegazioni, come una pagina ben impaginata; nel cap. 4 la stessa cura servirà per la tavola di presentazione del progetto.

ESEMPIO SVOLTO

Il rilievo dell'aula 2B, dalle misure alla tavola. Le misure dell'eidotipo (Figura 2.2) sono raccolte nel libretto della Tabella 2.2.

- **Forma.** Si fissano A nell'origine e B a 7,20 m sull'asse delle ascisse. Gli archi di raggio AC = 9,45 m e BC = 6,08 m danno C ≈ (7,234; 6,080); quelli di raggio DA = 6,12 m e CD = 7,19 m danno D ≈ (0,045; 6,120). C sta circa 3,4 cm a est della perpendicolare ad AB per B, D circa 4,5 cm a est di quella per A: la stanza è leggermente fuori squadra.
- **Verifica.** Sul disegno BD misura 9,416 m, quella misurata è 9,42 m: la differenza è di circa 4 mm, meno di 1 cm. Il rilievo chiude.
- **Area.** Con la formula di Erone il triangolo ABC misura circa 21,89 m^2 e il triangolo ACD circa 22,00 m^2: l'aula (nicchia esclusa) misura circa 43,9 m^2.
- **Aperture e nicchia.** La finestra occupa il tratto 2,90 – 4,30 di AB (luce 1,40 m); la porta il tratto 4,40 – 5,60 di BC (luce 1,20 m). La nicchia, larga 1,20 m e profonda 0,30 m, è un arco di cerchio di raggio $(0{,}60^2 + 0{,}30^2) / (2 \cdot 0{,}30) = 0{,}75$ m.
- **Sezione A–A′.** Passa per l'asse della finestra e guarda verso ovest: si vedono tagliati il muro sud con la finestra (davanzale +0,95, imposta +2,40, chiave +3,10: un arco a tutto sesto di raggio 0,70 m), il soffitto a +3,55 e il muro nord; in vista, sulla parete ovest, la nicchia da +0,80 a +2,60.
- **Impaginazione.** A 1:50 la pianta, compresi i muri, occupa circa 163 × 138 mm e la sezione circa 138 × 83 mm: affiancate stanno in un foglio A3 orizzontale.

Tabella 2.2 Libretto delle misure dell'aula 2B (esempio; misure in m, progressive dall'origine indicata).

Tratto	Misura	Note
AB (muro sud)	0 – 2,90 – 4,30 – 7,20	da A; finestra ad arco tra 2,90 e 4,30
BC (muro est)	0 – 4,40 – 5,60 – 6,08	da B; porta tra 4,40 e 5,60
CD (muro nord)	7,19	lavagna, nessuna apertura
DA (muro ovest)	0 – 2,45 – 3,65 – 6,12	da A; nicchia tra 2,45 e 3,65, freccia 0,30
AC, BD (diagonali)	9,45 · 9,42	BD è la misura di verifica
Spessori	0,50 · 0,30 · 0,30 · 0,60	sud (nell'imbotte), est, nord, ovest
Altezze	+3,55 · +0,95 · +2,40 · +3,10	soffitto; finestra: davanzale, imposta, chiave
Nicchia	+0,80 · +2,00 · +2,60	base, imposta, chiave

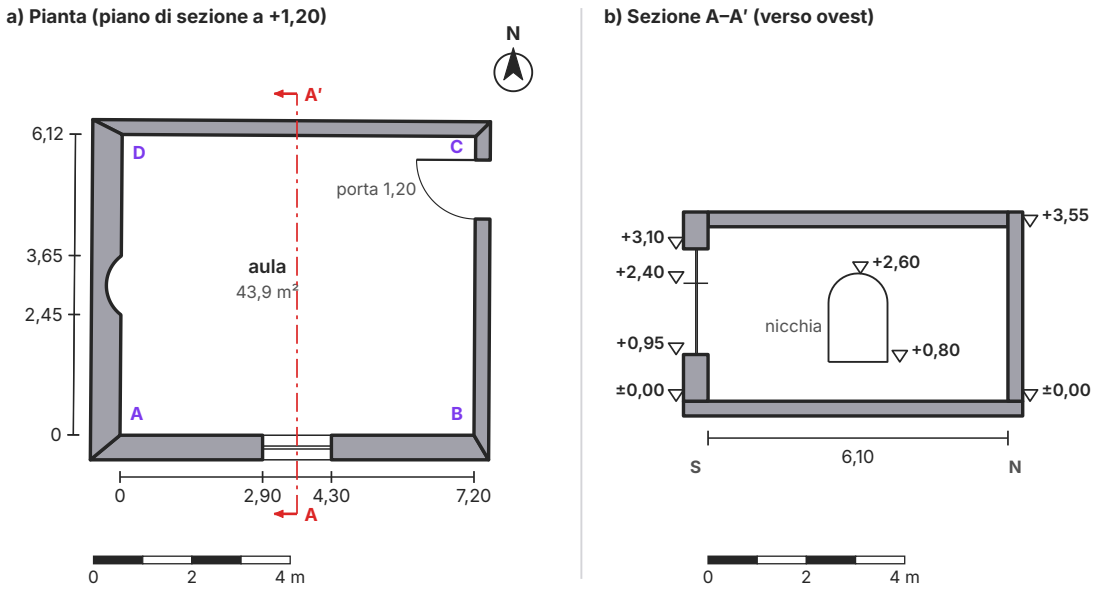


Figura 2.8 La restituzione del rilievo dell'aula 2B, disegnata a 1:50 e qui ridotta: le misure si leggono con la scala grafica. a) Pianta, tagliata a +1,20, con i muri campiti, la finestra, la porta, la nicchia, le catene di quote e la traccia A–A′. b) Sezione A–A′ verso ovest: tagliati il pavimento, il muro sud con la finestra, il soffitto e il muro nord; in vista la nicchia della parete ovest.

IN SINTESI

Rilevare significa **progettare il lavoro** (che cosa, perché, a quale scala), fissare le misure su un **eidotipo** proporzionato, misurare con metodi che si **controllano** (misure progressive, trilaterazione con la seconda diagonale, coordinate da una base, linea di livello), scegliere la precisione in base alla **tolleranza** della scala, collegare le **fotografie** ai disegni e infine **restituire** e documentare in una tavola. Gli strumenti più potenti cambiano la quantità dei dati, non la necessità di interpretarli.

SINTESI

- Il rilievo rappresenta un edificio, un monumento o un ambiente così com'è, con le sue irregolarità: serve a conoscerlo, documentarlo, restaurarlo e modificarlo, ed è la base della tutela prevista dall'art. 9 della Costituzione e dal D.Lgs. 42/2004.
- Il rilievo diretto si esegue a mano (rotella, metro, distanziometro, filo a piombo, livella); quello strumentale con stazione totale, fotogrammetria, laser scanner e droni. Il rilievo grafico-fotografico collega disegni, misure e fotografie.
- Le fasi sono cinque: progetto del rilievo, eidotipo, misurazione, restituzione con le verifiche, documentazione. La scala si sceglie all'inizio: 1:100 per un edificio, 1:50 per un ambiente o una facciata, 1:20–1:5 per i dettagli.
- L'eidotipo è uno schizzo a mano libera, proporzionato, eseguito sul posto, con punti denominati, misure, diagonali, nord, posizioni delle foto e note; il libretto delle misure lo accompagna.
- Le misure progressive si leggono da un'unica origine e non accumulano gli errori; le misure parziali li sommano e vanno controllate con la lunghezza totale.
- La trilaterazione scompone la pianta in triangoli: quattro lati e una diagonale fissano un quadrilatero, la seconda diagonale verifica la chiusura del rilievo.
- Muri curvi e perimetri irregolari si rilevano per coordinate (ascisse e ordinate) da una linea di base; le altezze dalla linea di livello, con le quote riferite a ±0,00; gli spessori nelle imbotti; i profili con il profilometro o con il filo a piombo.
- Gli errori accidentali sono piccoli e inevitabili, quelli grossolani si scoprono solo con le verifiche. La tolleranza dipende dalla scala: 0,5 mm sul foglio sono 2,5 cm a 1:50 e 5 cm a 1:100; a queste scale si misura al centimetro.
- La fotografia è una proiezione centrale. Il fotoraddrizzamento ne ricava il prospetto in scala di una superficie piana, noti quattro punti: ciò che sporge dal piano risulta spostato.
- Fotogrammetria e laser scanner producono nuvole di punti, non disegni: la scelta delle sezioni e delle linee resta un'interpretazione di chi rileva.
- La restituzione segue un ordine (perimetro, aperture, spessori, curve, sezione) e le convenzioni grafiche delle parti tagliate e in vista; si completa con materiali, mappatura del degrado, scala grafica, nord e cartiglio.

ESERCIZI

Comprendere e ricordare

1. ● Un rilievo rappresenta un edificio:
   - **A.** come è stato progettato in origine
   - **B.** come dovrebbe diventare dopo un restauro
   - **C.** così com'è oggi, con le sue irregolarità
   - **D.** come appare in una fotografia frontale

2. ● L'eidotipo è:
   - **A.** il disegno in scala eseguito in classe dopo il rilievo
   - **B.** uno schizzo a mano libera, proporzionato, eseguito sul posto, su cui si scrivono le misure
   - **C.** la fotografia raddrizzata di una facciata
   - **D.** la tabella che raccoglie le misure in ordine

3. ● Con le misure progressive:
   - **A.** tutte le distanze si leggono da una stessa origine, tenendo fermo lo zero della rotella
   - **B.** si sposta la rotella da un punto al successivo
   - **C.** si misurano solo le diagonali della stanza
   - **D.** si misurano le altezze dalla linea di livello

4. ●● Per fissare la forma di una stanza a quattro lati, e controllarla, servono:
   - **A.** i quattro lati
   - **B.** i quattro lati e la misura di un angolo con la squadra
   - **C.** le due diagonali
   - **D.** i quattro lati, una diagonale per disegnare e l'altra per la verifica

5. ● In scala 1:50 un muro lungo 6,40 m misura sul foglio:
   - **A.** 64 mm
   - **B.** 128 mm
   - **C.** 320 mm
   - **D.** 12,8 mm

6. ●● Se sul foglio non si distinguono con sicurezza differenze minori di 0,5 mm, la tolleranza grafica della scala 1:100 è:
   - **A.** 5 mm
   - **B.** 2,5 cm
   - **C.** 5 cm
   - **D.** 50 cm

7. ●● Il fotoraddrizzamento fornisce un prospetto in scala esatto:
   A. solo per i punti che stanno su una superficie piana, noti almeno quattro punti
   B. di qualunque facciata, anche con balconi e cornicioni sporgenti
   C. solo se la foto è presa con l'apparecchio inclinato verso l'alto
   D. senza bisogno di alcuna misura presa sul posto

8. ● La linea di livello serve a:
   A. tracciare la pianta a 1,20 m dal pavimento
   B. misurare lo spessore dei muri nelle imbotti
   C. segnare la traccia della sezione A–A'
   D. riferire tutte le altezze a un piano orizzontale, anche se il pavimento non è in piano

9. ●● Una nuvola di punti prodotta da un laser scanner:
   A. è già una pianta in scala, pronta da stampare
   B. è un insieme di punti misurati, da interpretare per ricavarne piante e sezioni
   C. contiene solo i punti scelti dall'operatore
   D. sostituisce le misure di controllo e l'eidotipo

Lessico e norme

10. ● Definisci in una riga ciascuno: *imbotte*, *luce* di un'apertura, *davanzale*, *freccia* di un arco o di una volta.

11. ● Vero o falso? Correggi le affermazioni false. a) Un quadrilatero di cui si conoscono i quattro lati è determinato. b) Le misure parziali sommano gli errori delle singole letture. c) Un errore grossolano si scopre con le verifiche di chiusura. d) Il fotoraddrizzamento corregge anche gli elementi sporgenti dalla facciata. e) A 1:100 conviene scrivere le misure al millimetro.

12. ● Abbina ogni strumento a ciò che misura: 1) rotella metrica; 2) distanziometro laser; 3) filo a piombo; 4) profilometro; 5) stazione totale. a) il profilo di una modanatura; b) distanze a contatto, con misure progressive o parziali; c) le coordinate di singoli punti a distanza, da angoli e distanze; d) distanze senza contatto, fino a soffitti e pareti lontane; e) la verticale di riferimento.

13. ●● Abbina ogni scala al contenuto più adatto: 1:200, 1:100, 1:50, 1:20, 1:5. a) la pianta di un piano di un edificio; b) un ambiente con le sue aperture e i suoi elementi; c) il profilo di una cornice; d) l'ingombro degli edifici attorno a una piazza; e) una finestra con il suo telaio.

14. ● Completa: il rilievo _____ si esegue a mano con rotella, metro e distanziometro; quello _____ usa stazione totale, fotogrammetria e laser scanner. La misura che non serve a disegnare ma a controllare si chiama misura di _____; se il controllo torna, il rilievo _____. La fotografia è una proiezione _____.

15. ●● Spiega con un esempio ciascuno la differenza tra un errore accidentale e un errore grossolano. Quale dei due si riduce misurando con più cura? Quale si scopre solo con una verifica?

Rilevare

16. ●● Su un foglio A4 verticale (utile 190 × 277 mm) devi restituire l'aula 2B. Converti in millimetri sul foglio, a 1:50 e a 1:100, le misure 7,20 m, 6,12 m, 0,30 m e 1,40 m. Quanto misura sul foglio il muro di 0,30 m alle due scale, e a quale si leggono meglio le sue due linee con la campitura? A quale scala conviene restituire l'aula?

17. ●● Lungo una parete sono state prese queste misure parziali: 2,15 – 0,90 – 1,85 – 0,90 – 2,20 m. a) Riscrivile come misure progressive. b) La lunghezza totale, misurata in un colpo solo, è 8,02 m: di quanto differisce dalla somma? c) A 1:50 la differenza si vedrebbe?

18. ●● Una stanza ha AB = 4,80 m, BC = 3,60 m e la diagonale AC = 6,00 m. a) Senza disegnare, dimostra che l'angolo in B è retto. b) Si misurano anche DA = 3,62 m, CD = 4,78 m e, per verifica, BD = 6,00 m. Restituisci la stanza a 1:50 su un foglio A4 con il compasso e verifica la chiusura.

19. ●●● In un rilievo AB = 6,50 m, AC = 7,80 m, BC = 4,30 m. Con A nell'origine e B sull'asse x, calcola le coordinate di C con il metodo del box «Collegamenti» del par. 3.2. Che cosa ti dice il valore di x sull'angolo in B?

20. ●● Un'abside semicircolare ha la corda (il diametro) di 3,00 m. Prendendo come base la corda e le ascisse ogni 0,25 m, calcola le ordinate attese, compila il libretto e disegna l'abside a 1:20 su un foglio A4 orizzontale.

21. ●● In un ambiente la linea di livello è a +1,00. All'estremità sinistra si leggono 2,85 m verso il soffitto e 1,00 m verso il pavimento; a quella destra 2,82 m e 1,03 m. Calcola le quote del pavimento e del soffitto ai due estremi e l'altezza netta dell'ambiente. Soffitto e pavimento sono paralleli?

22. ●● Il profilo di una cornice viene rilevato con il filo a piombo: a partire dall'alto, alle quote 0, 4, 8, 12, 16 e 20 cm, le distanze orizzontali dal filo alla superficie sono 4, 4, 10, 12, 18 e 18 cm. Disegna il profilo a 1:5 su un foglio A4 (unisci i punti con segmenti e indica il filo) e dì quanto sporge la cornice rispetto al muro sottostante.

23. ●●● **Sul campo.** Rileva un ambiente della tua scuola (l'aula, un laboratorio, l'atrio). Prodotti da consegnare: eidotipo della pianta e di una sezione, libretto delle misure, almeno sei fotografie numerate e segnate sull'eidotipo, pianta e sezione a 1:50 su un foglio A3 orizzontale con scala grafica, nord e cartiglio. Il rilievo è accettato se la diagonale di verifica chiude entro 1 cm. *In alternativa, in classe:* restituisci a 1:50 pianta e sezione A–A′ dell'aula 2B dai dati della Tabella 2.2.

24. ●● Prepara il **progetto del rilievo** di un piccolo edificio della tua città (una cappella, un chiosco, un'edicola votiva, un casello): che cosa rilevi e perché, quali disegni e a quali scale, quali strumenti, come dividi i compiti in una squadra di quattro, quanto tempo prevedi, quali permessi chiedi e quali parti non misurerai per ragioni di sicurezza. *In alternativa, in classe:* fai lo stesso per la cappella con l'abside della Figura 2.5, immaginandola lunga 8 m.

Leggere il disegno

25. ●● In un rilievo si leggono AB = 6,00 m, BC = 4,50 m, CD = 6,02 m, DA = 4,84 m, AC = 7,50 m e BD = 7,50 m. Restituendo la stanza con AB, BC, AC e poi DA, CD, sul disegno BD risulta circa 7,72 m. a) Il rilievo chiude? b) Quale misura è probabilmente sbagliata, e perché? c) Che cosa fai?

26. ●● Osserva l'eidotipo della Figura 2.2. a) Qual è la luce della finestra? b) A che distanza è la finestra dall'angolo B? c) A che distanza dall'angolo C finisce la porta? d) A che distanza dall'angolo D comincia la nicchia? e) Quale delle due fotografie riprende la parete con la nicchia?

27. ●● Osserva la Figura 2.6. a) Quanto vale la freccia della volta? b) Qual è la quota dell'intradosso a un quarto della luce? c) Di quanto scende il pavimento, in percentuale, sulla larghezza di 5,00 m? d) Perché non si misurano le altezze direttamente dal pavimento?

28. ●● Osserva la Figura 2.8 e usa la scala grafica. a) Qual è l'altezza della finestra, dal davanzale alla chiave? b) Quanto muro resta tra la chiave della finestra e il soffitto? c) Quanto è alta la nicchia? d) Da che parte guarda la sezione, e come lo indicano le frecce in pianta?

29. ●●● Osserva la Figura 2.7. Supponi che la facciata abbia, al primo piano, un balcone che sporge di 1,20 m. a) Nella foto raddrizzata con P1–P4, il balcone risulterebbe nella posizione e nella forma giuste? b) Perché tre dei quattro punti di controllo non devono stare su una stessa retta? c) Proponi un modo per rilevare correttamente il balcone.

Verso l'esame

30. ●● **Presentare la propria tavola.** Prepara la scaletta di una presentazione di 5 minuti del rilievo che hai svolto (o di quello dell'aula 2B): che cosa hai rilevato e perché, il metodo, le verifiche, che cosa hai scoperto dell'edificio misurandolo, i limiti del lavoro.

31. ●●● **Dal metodo alla storia.** Costruisci un breve percorso che parta dal rilievo e arrivi ad almeno tre temi di altre discipline o di altri capitoli: per esempio la lettera di Raffaello a Leone X (storia dell'arte del Cinquecento, vol. 3), il restauro e il dibattito Ruskin–Viollet-le-Duc (vol. 4, cap. 13), la tutela nella Costituzione (educazione civica), la geometria dei triangoli e la luce del distanziometro (matematica e fisica).

PER APPROFONDIRE

- [DOC] M. Docci, D. Maestri, *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*: il manuale di riferimento per gli strumenti e i metodi del rilievo diretto e strumentale, dalla stanza alla città.

Glossario del capitolo

Cartiglio
Riquadro della tavola con scuola, oggetto, luogo, numero della tavola, scala, data e autori.

Chiusura
Accordo, entro la tolleranza, tra una misura di verifica (per esempio la seconda diagonale) e il valore letto sul disegno.

Eidotipo
Schizzo a mano libera, proporzionato, eseguito sul posto, su cui si annotano le misure del rilievo.

Errore grossolano
Errore grande dovuto a una svista (cifre scambiate, misura attribuita al tratto sbagliato); si scopre con le verifiche.

Fotogrammetria
Tecnica che ricava la forma tridimensionale di un oggetto da molte fotografie sovrapposte, prese da punti diversi.

Fotoraddrizzamento
Trasformazione della fotografia di una superficie piana in un'immagine in scala, noti almeno quattro punti.

Imbotte
Superficie interna di un'apertura che attraversa lo spessore del muro; vi si legge lo spessore stesso.

Libretto delle misure
Tabella che raccoglie in ordine le misure di un rilievo, con i nomi dei tratti segnati sull'eidotipo.

Linea di base
Filo teso tra due punti fissi, rispetto al quale si misurano ascisse e ordinate di un muro curvo o di un perimetro irregolare.

Linea di livello
Linea orizzontale tracciata sui muri di un ambiente, di solito a +1,00, da cui si misurano le altezze.

Misure parziali
Distanze misurate tratto per tratto, spostando ogni volta la rotella; i loro errori si sommano.

Misure progressive
Distanze lette tutte da una stessa origine, tenendo fermo lo zero della rotella; non sommano gli errori.

Nuvola di punti
Insieme di punti di coordinate note, prodotto da laser scanner o fotogrammetria; va interpretato per ottenere i disegni.

Restituzione
Disegno in scala ricavato dalle misure di un rilievo, a mano o in CAD.

Rilievo
Insieme di misure, disegni e fotografie che rappresentano un edificio, un monumento o un ambiente così com'è.

Rilievo diretto
Rilievo eseguito a mano, con rotella, metro, distanziometro laser, filo a piombo e livella.

Rilievo grafico-fotografico
Rilievo che collega disegni, misure e fotografie, in modo che ciascuno si ritrovi negli altri.

Rilievo strumentale
Rilievo eseguito con strumenti che misurano molti punti a distanza: stazione totale, fotogrammetria, laser scanner.

Tolleranza
Differenza massima accettata tra misura e disegno; per la scala, ciò che 0,5 mm sul foglio rappresentano nella realtà.

Trilaterazione
Metodo che scompone la pianta in triangoli di cui si misurano tutti i lati; i vertici si costruiscono con il compasso.

Soluzioni

1. C. Il rilievo descrive lo stato di fatto, con muri fuori squadra, pavimenti non in piano e modifiche successive; il progetto descrive un'intenzione.

2. B. È disegnato sul posto, non in scala ma proporzionato; la tabella è il libretto delle misure.

3. A. L'origine resta fissa e si leggono in successione le distanze; così gli errori delle singole letture non si sommano.

4. D. Quattro lati e una diagonale scompongono il quadrilatero in due triangoli determinati; la seconda diagonale è la misura di verifica.

5. B. 6,40 m = 6400 mm; 6400 : 50 = 128 mm.

6. C. 0,5 mm · 100 = 50 mm = 5 cm.

7. A. La trasformazione vale per il piano dei punti di controllo; gli elementi in aggetto o arretrati risultano spostati.

8. D. Le altezze si misurano verso l'alto e verso il basso da una linea orizzontale, di solito a +1,00 rispetto al riferimento ±0,00.

9. B. La nuvola registra tutto senza distinguere spigoli, macchie e oggetti: decidere sezioni e linee è un lavoro di interpretazione.

10. Imbotte: la superficie interna di un'apertura, che attraversa lo spessore del muro. Luce: la larghezza netta del vano. Davanzale: il piano su cui poggia la finestra, alla sua base. Freccia: la differenza di altezza tra la chiave e l'imposta di un arco o di una volta (per un arco di cerchio, la distanza della chiave dalla corda).

11. a) F: il quadrilatero si può deformare; serve anche una diagonale. b) V. c) V: la seconda diagonale, il confronto tra parziali e totale, tra misure interne ed esterne. d) F: vale solo per i punti sul piano dei punti di controllo. e) F: la tolleranza è di 5 cm; il millimetro è una falsa precisione, basta il centimetro.

12. 1-b, 2-d, 3-e, 4-a, 5-c (Tavola C.2 in appendice).

13. 1:200-d, 1:100-a, 1:50-b, 1:20-e, 1:5-c.

14. diretto; strumentale; verifica; chiude; centrale.

15. Accidentale: la rotella non perfettamente tesa sposta una lettura di 3 mm; è piccolo, casuale, si riduce con la cura e non si elimina mai del tutto. Grossolano: 4,48 scritto 4,84, o una misura attribuita al muro sbagliato; è grande e la cura non basta a escluderlo: lo rivela solo una verifica indipendente, come la seconda diagonale.

16. A 1:50: 144 mm, 122,4 mm, 6 mm, 28 mm. A 1:100: 72 mm, 61,2 mm, 3 mm, 14 mm. Il muro di 0,30 m dà due linee distinte a entrambe le scale (6 mm e 3 mm), ma a 1:50 le due linee e la campitura si leggono molto meglio; e la pianta a 1:50 (circa 163 × 138 mm con i muri) sta nel foglio A4 verticale: conviene 1:50, la scala di un ambiente (Tabella 2.1).

17. a) 0 – 2,15 – 3,05 – 4,90 – 5,80 – 8,00. b) La somma è 8,00 m: differisce di 2 cm. c) No: 2 cm a 1:50 sono 20 / 50 = 0,4 mm sul foglio, meno degli 0,5 mm della tolleranza grafica (2,5 cm). Ma 2 cm su cinque letture sono molti per un errore accidentale: conviene ripetere le misure in modo progressivo e cercare il tratto sbagliato.

18. a) $4{,}80^2 + 3{,}60^2 = 23{,}04 + 12{,}96 = 36{,}00 = 6{,}00^2$: per l'inverso del teorema di Pitagora il triangolo ABC è rettangolo in B. b) A 1:50: AB = 96 mm, archi di raggio 120 mm (AC) e 72 mm (BC) per C; archi di raggio 72,4 mm (DA) e 95,6 mm (CD) per D. Sul disegno BD risulta 6,00 m (il calcolo dà 5,996 m): la differenza è di circa 4 mm, il rilievo chiude. D sta circa 2 cm fuori dalla perpendicolare ad AB per A.

19. $x = (7{,}80^2 - 4{,}30^2 + 6{,}50^2) / (2 \cdot 6{,}50) = (60{,}84 - 18{,}49 + 42{,}25) / 13{,}00 = 84{,}60 / 13{,}00 \approx 6{,}508$ m; $y = \sqrt{(60{,}84 - 6{,}508^2)} \approx \sqrt{(60{,}84 - 42{,}35)} \approx 4{,}300$ m. C ≈ (6,51; 4,30). Poiché x supera di circa 8 mm la lunghezza di AB, C sta appena oltre la perpendicolare

per B: l'angolo in B è di pochissimo maggiore di un angolo retto.

20. R = 1,50 m; $y = \sqrt{(1{,}50^2 - (x - 1{,}50)^2)}$. Ascisse 0 – 0,25 – 0,50 – 0,75 – 1,00 – 1,25 – 1,50 – … – 3,00; ordinate 0 – 0,83 – 1,12 – 1,30 – 1,41 – 1,48 – 1,50 e poi simmetriche (1,48 – 1,41 – 1,30 – 1,12 – 0,83 – 0). A 1:20 la corda misura 150 mm e la freccia 75 mm.

21. Sinistra: pavimento 1,00 − 1,00 = ±0,00, soffitto 1,00 + 2,85 = +3,85, altezza 3,85 m. Destra: pavimento 1,00 − 1,03 = −0,03, soffitto 1,00 + 2,82 = +3,82, altezza 3,82 + 0,03 = 3,85 m. L'altezza è la stessa: pavimento e soffitto scendono entrambi di 3 cm e sono paralleli, come se l'intero ambiente fosse leggermente inclinato.

22. A 1:5 le quote diventano 0, 8, 16, 24, 32, 40 mm e le distanze 8, 8, 20, 24, 36, 36 mm. Il muro sotto la cornice è a 18 cm dal filo, la parte più sporgente a 4 cm: la cornice sporge 18 − 4 = 14 cm (28 mm sul foglio).

23. Traccia. Procedura: progetto del rilievo (scala, compiti, strumenti), eidotipo, misure progressive per ogni parete, quattro lati e due diagonali, spessori nelle imbotti, linea di livello e altezze, foto. Alternativa: sul foglio A3 la pianta occupa circa 163 × 138 mm, la sezione circa 138 × 83 mm; i vertici della trilaterazione sono C ≈ (7,234; 6,080) e D ≈ (0,045; 6,120) (in mm sul foglio: (144,7; 121,6) e (0,9; 122,4) rispetto ad A); la BD sul disegno deve risultare 188,3 mm ± 1 mm (9,42 m).

24. Traccia: scopo (documentazione, analisi); disegni: pianta e una sezione a 1:50 (o 1:100 se l'edificio supera i 15–20 m), un prospetto a 1:50, dettagli a 1:20; strumenti: rotella, metro, distanziometro, filo a piombo, livella, fotocamera con asta metrica; ruoli: zero della rotella, lettura, scrittura, fotografie (a rotazione); tempi per eidotipi, misure e foto; permessi del proprietario o dell'ente (e, per un bene tutelato, attenzione a non danneggiare nulla); coperture e parti alte solo con il laser da terra o escluse.

25. a) No: 7,72 − 7,50 = 22 cm, ben oltre 1 cm. b) Le diagonali misurate sono uguali e AB ≈ CD: la stanza è quasi rettangolare, quindi DA dovrebbe valere circa quanto BC (4,50); 4,84 è probabilmente 4,48 con le cifre scambiate, un errore grossolano. Con DA = 4,48 la BD sul disegno risulta 7,50 m (il calcolo dà 7,504 m) e il rilievo chiude. c) Non si corregge a tavolino: si torna sul posto e si rimisura DA.

26. a) 4,30 − 2,90 = 1,40 m. b) 7,20 − 4,30 = 2,90 m. c) 6,08 − 5,60 = 0,48 m. d) 6,12 − 3,65 = 2,47 m. e) F1, rivolta verso ovest, cioè verso la parete con la nicchia (F2 guarda verso sud-est, verso la finestra e l'angolo B).

27. a) 3,62 − 2,70 = 0,92 m. b) 1,00 + 2,41 = +3,41. c) 0,06 / 5,00 = 0,012, cioè l'1,2%. d) Perché il pavimento non è orizzontale: le altezze dal pavimento cambierebbero da punto a punto e non si potrebbero confrontare; la linea di livello è un riferimento orizzontale unico.

28. a) 3,10 − 0,95 = 2,15 m. b) 3,55 − 3,10 = 0,45 m. c) 2,60 − 0,80 = 1,80 m. d) Verso ovest: le frecce della traccia A–A′ in pianta puntano verso ovest, cioè verso la parete con la nicchia, che infatti compare in vista.

29. Traccia. a) No: il balcone non sta sul piano della facciata, quindi risulta spostato e deformato, tanto più quanto più la foto è di sbieco. b) Se tre dei quattro punti stanno su una retta, dicono come si trasforma quella retta ma non il resto del piano: restano infinite trasformazioni possibili e il raddrizzamento non è determinato. c) Misure dirette (sporgenza, larghezza, quota del piano), un raddrizzamento separato del fronte del balcone con i suoi punti di controllo, oppure la fotogrammetria.

30. Traccia: 1) oggetto e scopo, con la scala scelta; 2) le fasi, mostrando l'eidotipo; 3) i metodi (misure progressive, trilaterazione, linea di livello) e le verifiche, con il valore della chiusura; 4) che cosa il rilievo ha rivelato (la stanza fuori squadra, la nicchia ad arco di cerchio, gli spessori diversi dei muri come indizio di fasi costruttive); 5) i limiti (parti non raggiungibili, tolleranza) e come si potrebbero superare con il rilievo strumentale.

31. Traccia: 1) che cos'è un rilievo e perché è un'interpretazione; 2) Raffaello e il rilievo di Roma antica: pianta, prospetto e sezione, misure prima delle immagini; 3) il restauro, che comincia sempre dal rilievo dello stato di fatto; 4) l'art. 9 della Costituzione e il Codice dei beni culturali; 5) i fondamenti ma-

tematici (rigidità del triangolo, Pitagora) e fisici (velocità della luce, vasi comunicanti); 6) oggi: laser scanner e nuvole di punti, e i loro limiti.