

IL RILIEVO

Già nelle antiche società idrauliche in Mesopotamia e in Egitto, il disegno di rilievo agrimensorio si impose per la particolare economia agricola, fondata sullo sfruttamento intensivo di terreni soggetti a inondazioni e quindi da ridefinire a ogni piena; il suo sviluppo diede impulso alla nascita della geometria.

Proprio la geometria antica fornì al rilievo solide basi scientifiche; i grandi padri della geometria, da Talete in poi, si impegnarono sempre in problemi di rilievo. Proprio di Talete (VI sec. a.C.) si dice che cominciò a godere di grande fama da quando, di fronte a sacerdoti egizi, seppe misurare l'altezza delle piramidi aiutandosi con un bastone e la sua ombra.

Così anche Eratostene (III sec. a.C.) riuscì, con la misurazione della distanza tra due città e dell'angolo di incidenza dei raggi solari, a calcolare con notevole precisione il diametro della Terra.

Altro grande ingegno matematico fu Erone di Alessandria (II sec. a.C.), fondatore della geodesia, che nella sua opera *Catoptrica* fornì

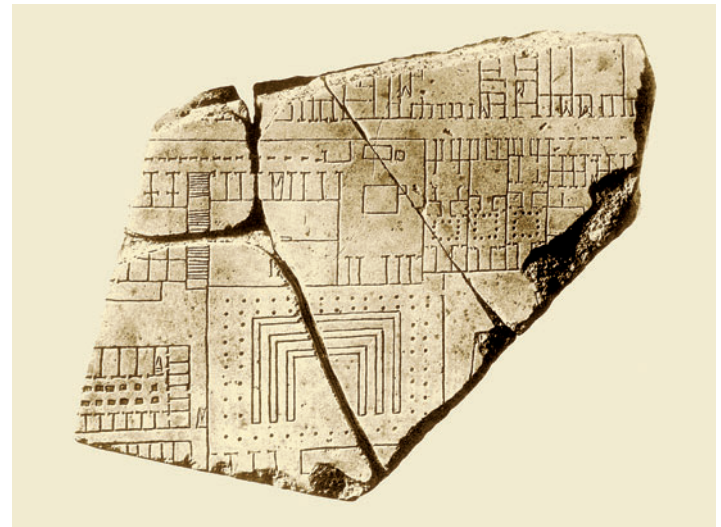
descrizioni di dispositivi ottici destinati al rilievo topografico; tra essi è da ricordare la *diottra*, progenitrice del teodolite, per misurazioni a distanza su basi trigonometriche.

Nell'antica Roma le tecniche di rilievo ebbero particolare importanza per la crescita della sua potenza mediante le applicazioni nei campi dell'urbanistica e dell'ingegneria civile. La grande abilità nel configurare il tracciato delle centuriazioni o delle vie urbane, ma soprattutto nella costruzione di acquedotti, fu anche resa possibile da nuovi e precisi strumenti di rilievo, quali il *corobate*, la *groma* e la *lychnia*.

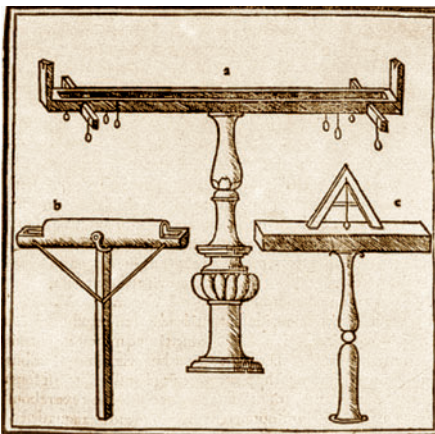
Testimonianza della precisione degli antichi romani nel rilievo urbano è la *Forma Urbis*, monumentale pianta marmorea della Roma imperiale, tramandata in grandi frammenti.

Nel Rinascimento tutti i grandi architetti si cimentarono nel rilievo dei monumenti antichi, traendone ispirazione progettuale. La passione per le armonie rilevabili nelle opere antiche condusse a una riscoperta di stru-

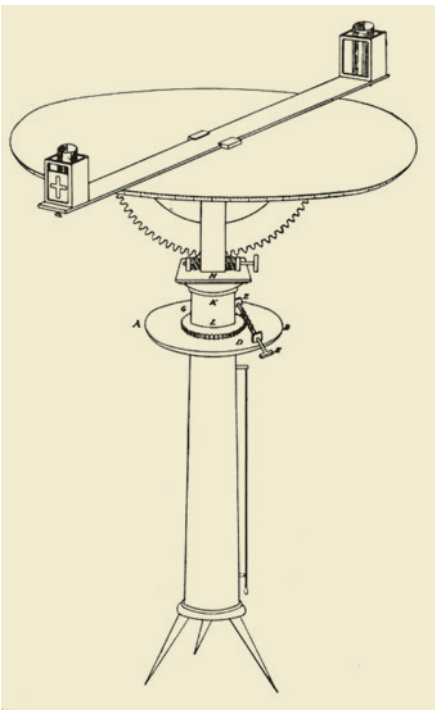
menti di rilievo già noti, ma caduti in disuso nel Medioevo; dalle opere riscoperte di Vitruvio, Erone e Archimede gli intelletti rinascimentali trassero spunto per inventare nuovi dispositivi (quadrante, baculo, teodolite, ecc.) o per sperimentare nuove tecniche di rilevamento (triangolazione).



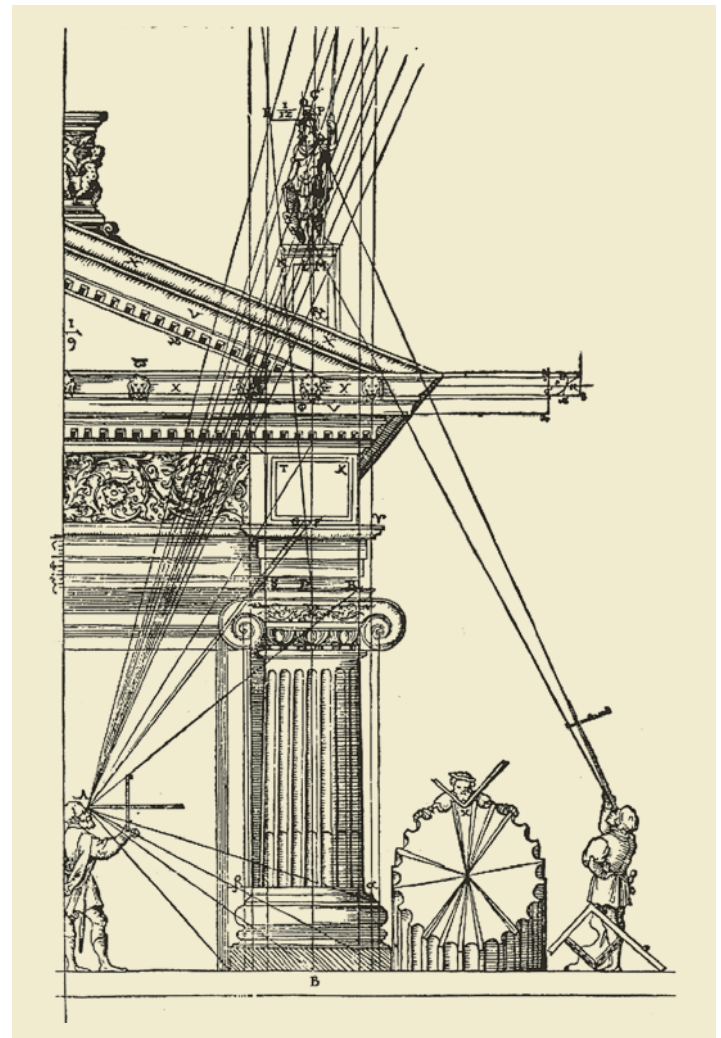
Frammenti della *Forma Urbis Romae* (III sec. d.C.), pianta marmorea di dimensioni monumentali e di grande precisione descrittiva.



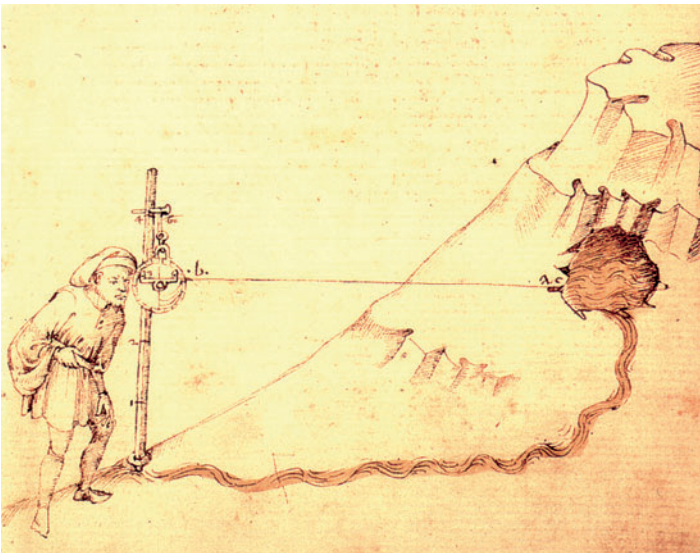
Corobate (a) e altri strumenti di rilievo dal *De architectura* di Vitruvio (I sec. a.C.), tradotto e illustrato da Fra' Giocondo (1511).



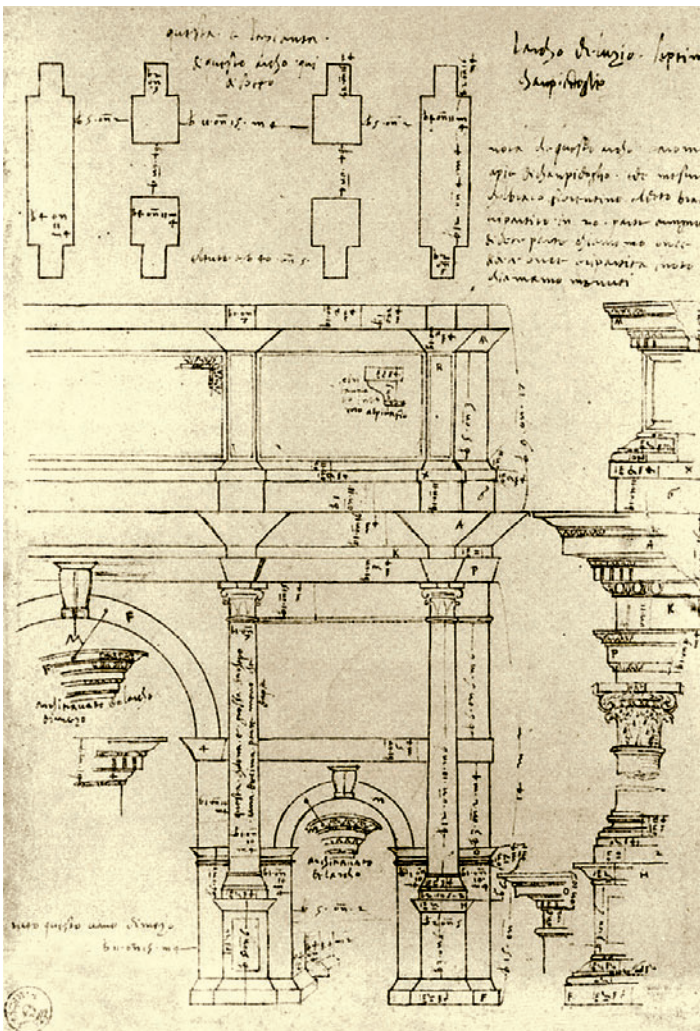
Diottra di Erone secondo la ricostruzione proposta dal Venturi (1814).



Uso del baculo o «bastone di Giacobbe», per il rilievo di edifici, da Walter Ryff, detto Rivius (1547).



Quadrante, strumento di rilievo topografico, da Mariano di Jacopo, detto il Taccola (metà del XV sec.).



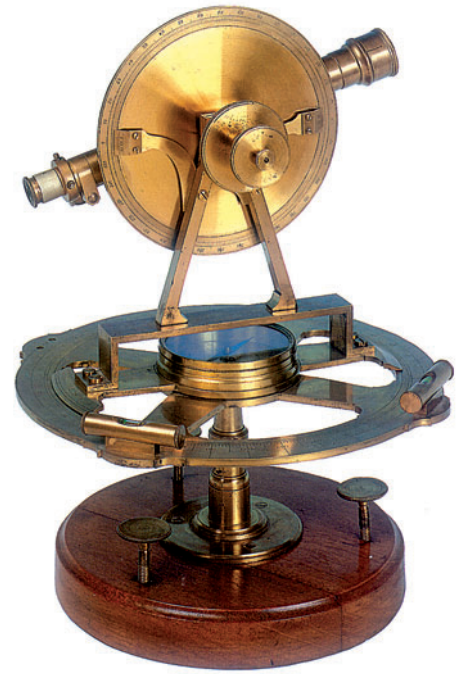
Rilievo dell'arco di Settimio Severo, a Roma, di Antonio da Sangallo il Giovane (inizio del XVI sec.). Il disegno in pianta e in alzato è corredato di particolari, quote e annotazioni.

nota bene

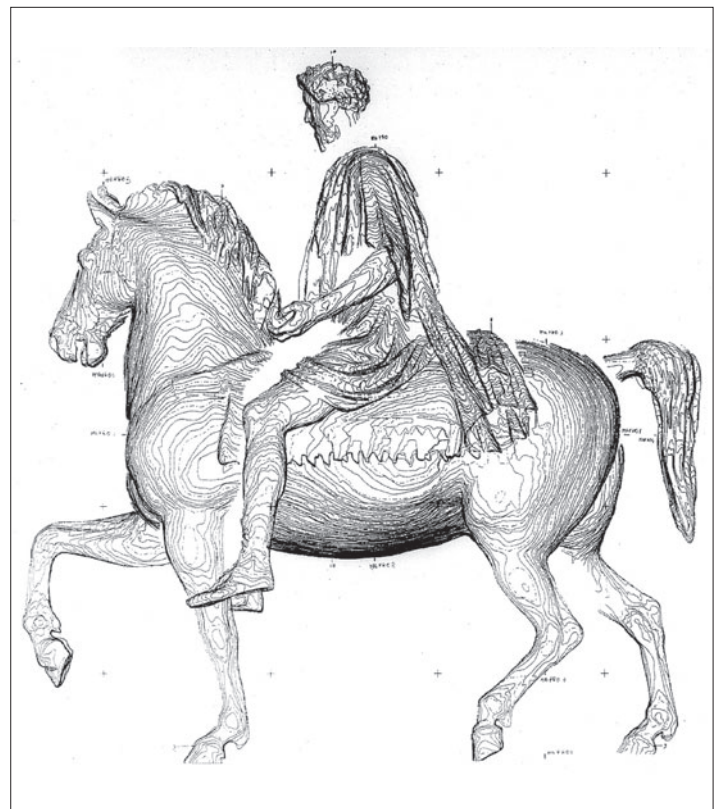
Su **rilievo e restauro**, si veda la *scheda di approfondimento* a pag. C81.

Le necessità militari di rendere preciso il fuoco d'artiglieria, e la rivoluzione scientifica aperta da Galileo e Newton, fornirono al rilievo nuovi metodi e strumenti. Dopo la fioritura rinascimentale del rilievo architettonico e urbano, il rilievo topografico divenne una disciplina specialistica in cui operavano professionisti di grande cultura scientifica; la loro attività venne supportata da numerosissime invenzioni di notevole precisione, che tra l'altro impiegavano anche dispositivi ottici (telemetro, sestante, telescopio geodetico) e meccanici (odometro, trigonometro).

Così fino a oggi si è registrato un ampliarsi delle applicazioni del rilievo, per esempio nel **restauro**, parallelamente alle nuove tecniche fotografiche e digitali, come la **fotogrammetria** e il **laser scanning**.



Teodolite del 1820 provvista di telescopio e bussola; esso consente rilievi topografici di grande precisione.



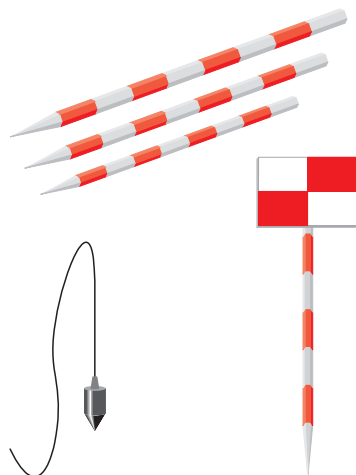
Rilievo del monumento equestre di Marco Aurelio a Roma (176 d.C.). Il rilievo fotogrammetrico per curve di livello ha consentito di realizzare al computer un modello 3D su cui si è basata la costruzione della sua copia; questa ha sostituito in Piazza del Campidoglio l'originale, conservato in ambiente protetto.

Il disegno di rilievo

STRUMENTI

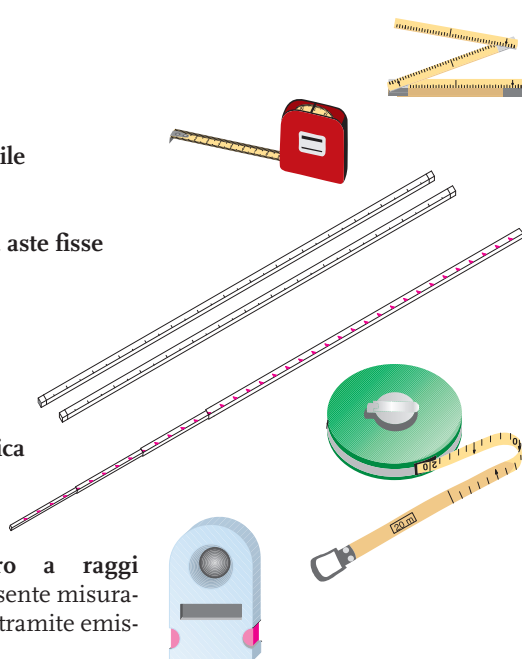
■ Allineamento

- **Paline:** sono aste in legno o metallo, con puntale inferiore, colorate a strisce bianche e rosse; le loro dimensioni variano da 1,2 a 2,4 metri.
- **Scopo:** palina fornita in sommità di una tavoletta scorrevole, divisa in quadranti bianchi e rossi.
- **Filo a piombo:** filo munito di un peso all'estremità.



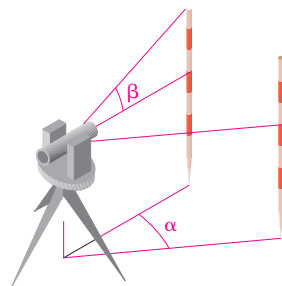
■ Distanze

- **Metro snodato**
- **Metro avvolgibile**
- **Triplometro ad aste fisse**
- **Aste graduate e telescopiche**
- **Fettuccia metrica avvolgibile**
- **Distanziometro a raggi infrarossi:** consente misurazioni indirette tramite emissione di raggi.



■ Angoli

- **Teodolite:** strumento composto da cannocchiale di collimazione, alidada rotante con graduazioni sia orizzontali sia verticali, per rilevare rispettivamente angoli azimutali e zenitali.



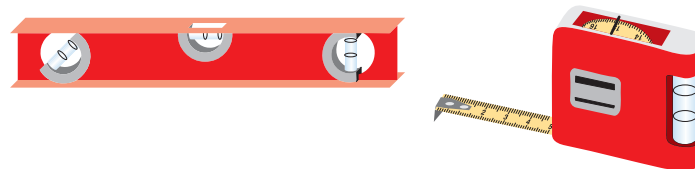
glossario

Angolo azimutale: in astronomia è l'angolo tra il circolo verticale di un astro e il meridiano del luogo di osservazione. In ambito topografico è l'angolo tra un piano verticale di riferimento e il piano verticale passante per il punto osservato.

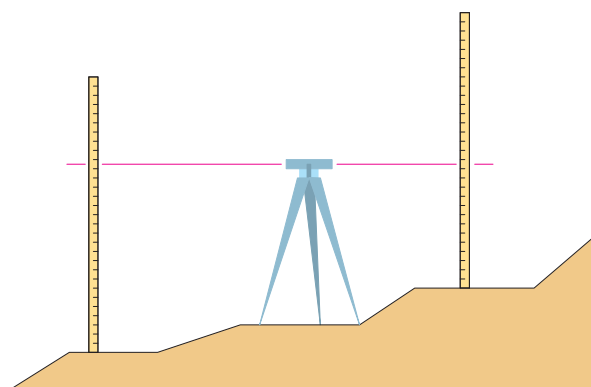
Angolo zenitale: è l'angolo formato dalla verticale per il punto di osservazione e la semiretta passante per il punto osservato.

■ Livelli

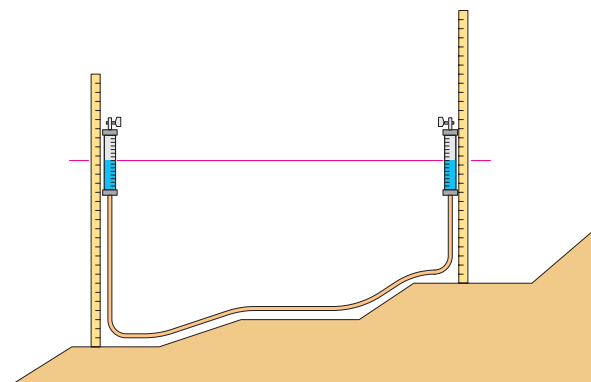
- **Livella a bolla d'aria:** stabilisce l'orizzontalità, la verticalità e pendenze di 45°. Spesso è integrata in altri strumenti, quali metro avvolgibile, teodolite e cannocchiale.



- **Livello a cannocchiale:** dispositivo ottico regolabile in posizione perfettamente orizzontale; può essere ruotato mantenendo l'orizzontalità e mirando punti diversi. Per esempio, con l'ausilio di due aste graduate, è possibile leggere il dislivello tramite differenza tra le misure rilevabili sulla stessa retta orizzontale.

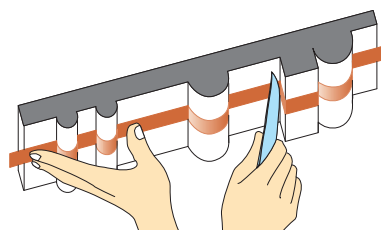


- **Bicchieri graduati o livello ad acqua:** sono dei cilindri di vetro, graduati e collegati da un tubicino; riempito d'acqua il circuito, per il principio dei vasi comunicanti è possibile ottenere un livello orizzontale e quindi calcolare, mediante aste graduate, il dislivello del terreno.



■ Profili

- **Strisce di metallo:** in rame o in piombo, possono essere modellate direttamente sul particolare, in modo da riportarne poi il profilo su carta.



FOTOGRAMMETRIA

Il termine **fotogrammetria** individua l'insieme dei processi di utilizzazione delle prospettive fotografiche centrali nella formazione di cartografie topografiche e nella documentazione architettonica.

■ Camera fotogrammetrica

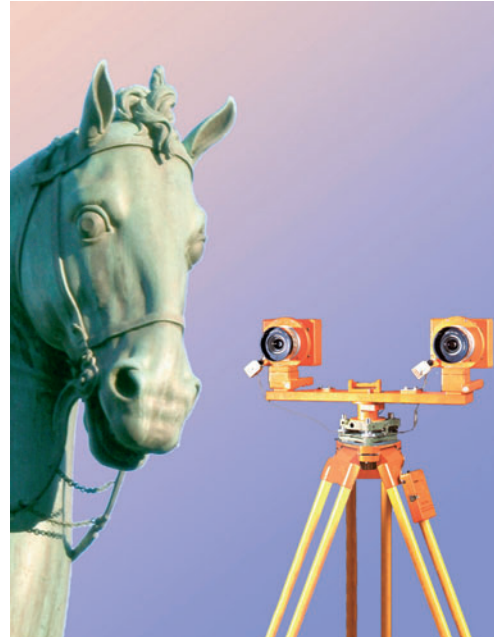
È una camera fotografica accoppiata a un teodolite che consente di determinare con precisione la posizione del punto di ripresa. La camera fotografica è particolarmente curata nell'ottica che deve garantire buona risoluzione e distanze focali prefissate; queste ultime definiscono un angolo visivo compreso tra 68° e 120°. Le lastre hanno in genere un formato di 9 × 12 cm e riportano, insieme all'immagine, la posizione degli assi del fotogramma.



Camera fotogrammetrica sovrapposta al teodolite (Wild).

■ Camera stereofotogrammetrica

È detta anche **bicamera fotogrammetrica**, poiché è costituita da un cavalletto con asta orizzontale, alle cui estremità sono montate due camere fotogrammetriche; esse dunque hanno tra loro una distanza fissa e assi paralleli. Dopo aver messo in stazione il complesso, si ricavano coppie di fotogrammi stereoscopici, utilizzabili per operazioni di rilievo.



Bicamera fotogrammetrica terrestre (Wild).

SCANSIONE LASER

La tecnica della scansione laser 3D (in inglese *3D laser scanning*) consente acquisizioni digitali di oggetti tridimensionali sotto forma di nuvole di punti definiti dalle loro coordinate.

I dispositivi, detti **laser scanner 3D**, emettono con moto rotatorio raggi laser che vengono riflessi dalla superficie dell'oggetto; in base al tempo di percorrenza (detto *tempo di volo*) viene calcolata la distanza dalla sorgente e quindi si registrano in un database (archivio di dati) le coordinate 3D dei singoli punti. Gli scanner laser 3D consentono anche di acquisire immagini fotografiche sovrapponibili alla nuvola di punti entro un certo angolo; in questo modo si possono avere anche dati sulle caratteristiche cromatiche o materiche delle superfici, per rilievi finalizzati all'analisi e alle diagnosi di restauro.

glossario

Stereoscopia: percezione dello spazio attraverso immagini.

nota bene

Sull'impiego del **laser scanner** nel rilievo per il restauro, si veda la *scheda di approfondimento* a pag. C81.



Laser scanner (Leica).

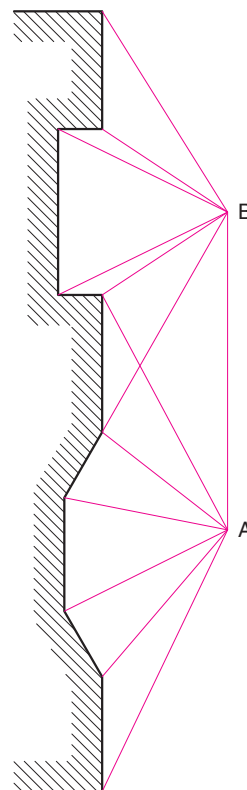
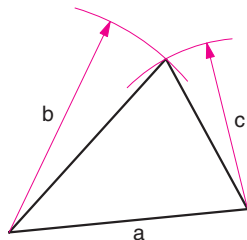
Tecniche di rilievo

RILIEVO PLANIMETRICO

Per rilevare in pianta un edificio ci si avvale fondamentalmente di due metodi: il **metodo della trilaterazione** e il **metodo delle coordinate**.

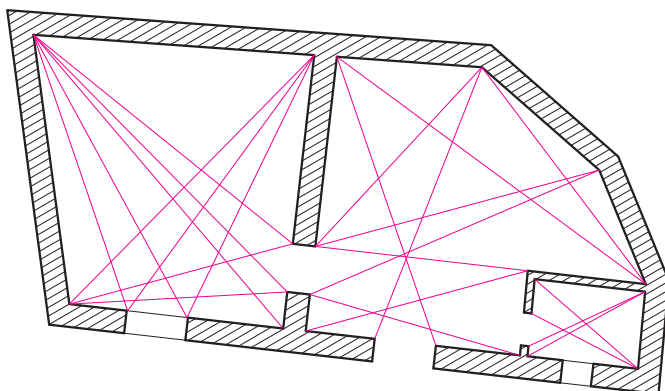
Metodo della trilaterazione

Dalla geometria è noto che non è possibile disegnare un poligono qualunque conoscendone i soli lati; se esso però viene scomposto in triangoli, il problema diviene risolvibile. Infatti, se conosciamo i lati a , b e c di un triangolo dopo aver disegnato il lato a , puntando il compasso sui suoi estremi con aperture b e c , all'intersezione dei due archi troviamo il terzo vertice che definisce il triangolo.



Per il rilievo di un esterno è necessario prendere come riferimento due punti A e B, da cui si rilevano le distanze dei vari vertici della pianta; rilevando poi le lunghezze dei lati del profilo, è possibile definire i singoli triangoli e quindi ottenere il profilo della pianta.

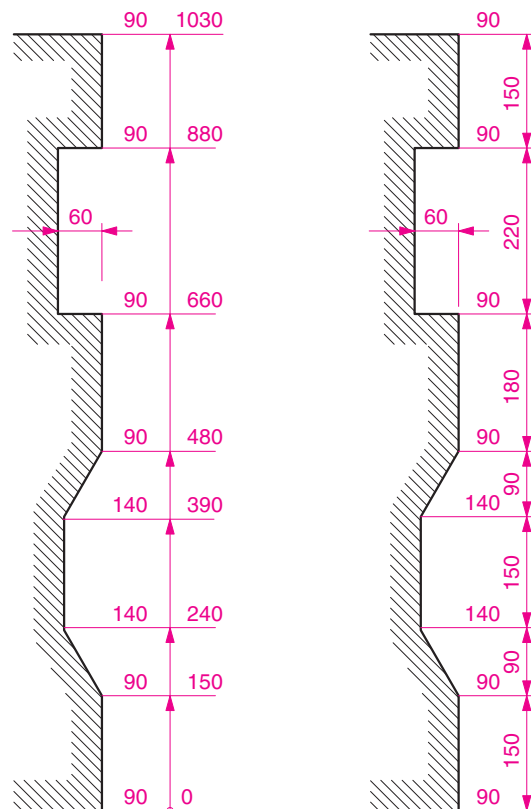
Analogamente si procede per rilievi di interni, avendo cura di non lasciare indefinito qualche punto. Al contrario è opportuno aggiungere qualche misura in più di uno stesso punto, per verificare la precisione del rilievo.



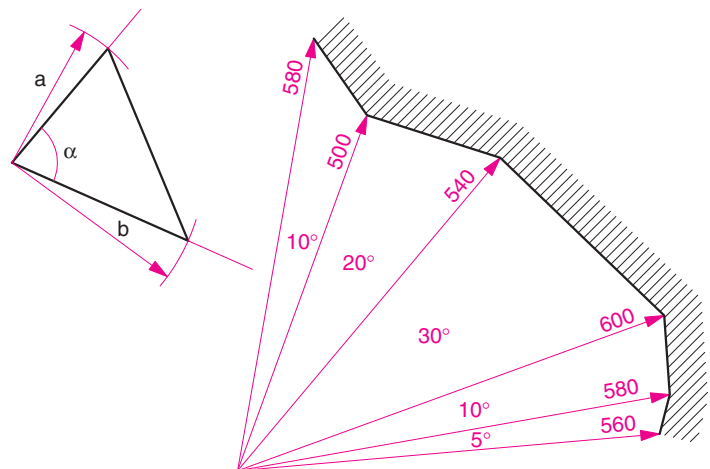
Metodo delle coordinate

Potendo disporre di una semiretta (possibilmente parallela al profilo da rilevare) assunta come riferimento, si possono condurre delle perpendicolari dai singoli punti, misurandone la distanza dalla retta e la distanza del piede dall'origine. In pratica si sono rilevate le coordinate cartesiane dei singoli punti.

La quotatura dall'origine può essere effettuata con misure progressive (come nel disegno sottostante a sinistra) o parziali (come nel disegno sottostante a destra). C'è da notare che il rilievo con misure progressive consente una maggiore precisione, eliminando il sommarsi di piccoli errori di misurazione.



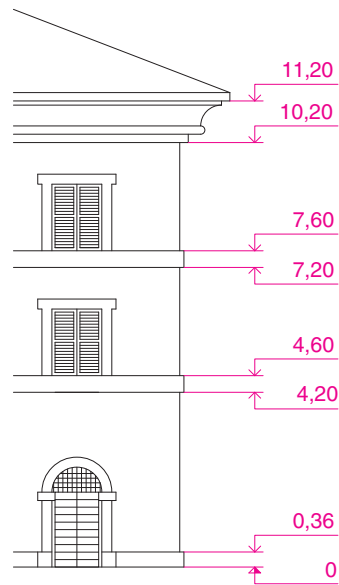
Potendo disporre di uno strumento di rilevazione degli angoli (come un teodolite), si possono effettuare rilievi con coordinate polari. Infatti, se di un triangolo si conoscono due lati (in figura a e b) e l'angolo α tra essi compreso, è possibile definire la posizione del terzo lato.



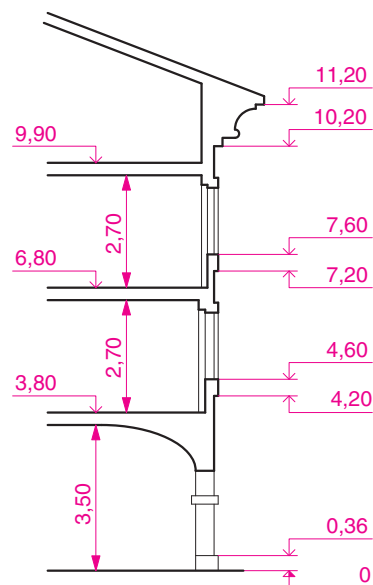
RILIEVO IN ALZATO

Per rilevare le misure relative a prospetti e sezioni, bisogna essenzialmente determinare livelli e aggetti. Essi sono rilevabili con l'aiuto di rilevatori di livelli (quali cannocchiale, livella, ecc.) e di filo a piombo, oltre che di aste graduate.

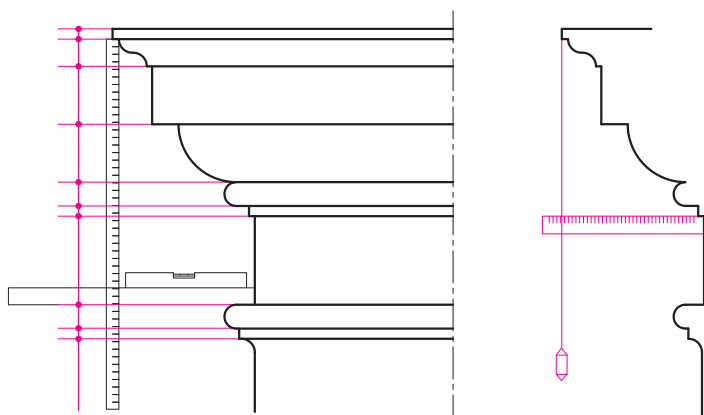
■ Livelli in prospetto



■ Livelli in sezione



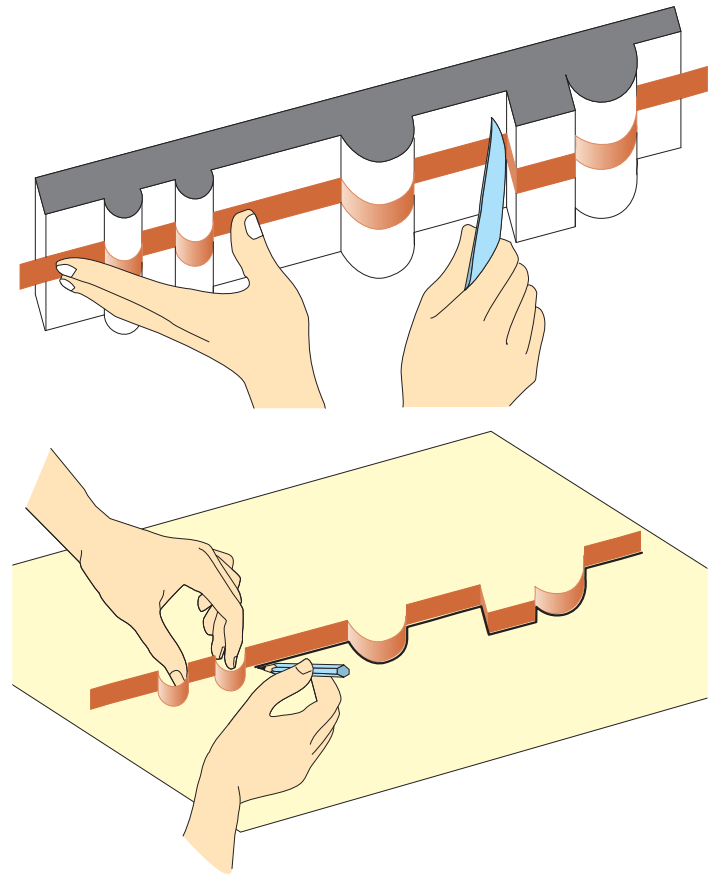
■ Livelli e aggetti



RILIEVO DI PROFILI

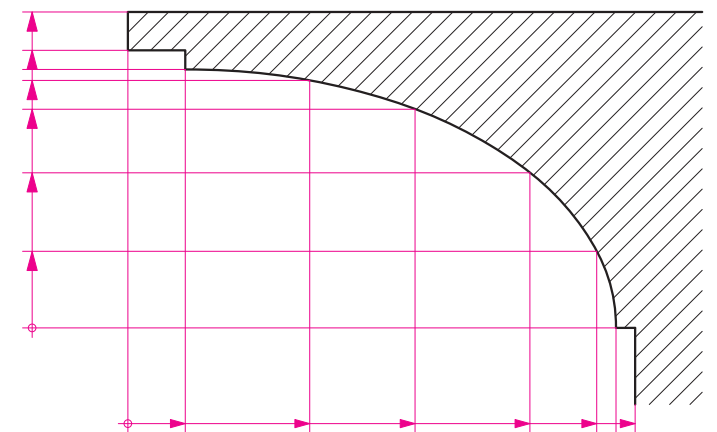
■ Rilievo diretto

Modellando una striscia di metallo sul profilo da rilevare è possibile ricavarne direttamente il disegno su carta.



■ Rilievo metrico

L'andamento di un profilo, specialmente quando le sue dimensioni non consentono l'uso della striscia metallica, può essere ricavato mediante la determinazione delle coordinate di un certo numero di punti.



glossario

Aggetto: sporgenza di un elemento architettonico dal corpo della costruzione.

RILIEVO FOTOGRAFICO

La fotografia fornisce al rilievo grafico un valido aiuto documentario. Una abbondante documentazione fotografica consente di eliminare dubbi o confermare risultanze del disegno di rilievo. Per ogni foto scattata è opportuno annotare la posizione precisa rispetto al soggetto. Inoltre è utile che l'asse della fotocamera sia orizzontale per eliminare le linee cadenti, affinché quindi le verticali risultino parallele. Particolari o complessivi possono utilmente essere ripresi in modo che il piano della pellicola sia parallelo alla parete, ottenendo delle immagini praticamente coincidenti con i prospetti. Riferimenti metrici (asta graduata, metro pieghevole o altro) affiancati al soggetto, ne facilitano il dimensionamento.



FOTOGRAMMETRIA TECNICA

Fondata sulla teoria proiettiva, essa permette di rilevare la posizione nello spazio degli elementi rappresentati su fotogramma. Da foto scattate con strumento a monocamera si esegue una *restituzione prospettica*. La monocamera non è altro che una fotocamera con ottica di particolare precisione e montata su supporto per la regolazione fine dell'inclinazione.

glossario

Restituzione prospettica: è l'operazione inversa a quella di costruzione di una prospettiva; essa quindi consiste nel recupero dei dati dimensionali reali da una rappresentazione prospettica.

Stereo: prefisso che significa «spaziale» o «tridimensionale».

Stereoscopia: percezione dello spazio attraverso immagini.

Del tutto diversi sono metodo e apparecchiatura per la **stereofotogrammetria**. Essa è fondata su procedimenti proiettivi che consentono di realizzare una restituzione partendo da due diversi fotogrammi, conoscendo la distanza tra i due punti di ripresa. Molto intuitivamente è ciò che si realizza nel cervello per la fusione delle due immagini fornite dagli occhi; l'immagine stereoscopica ci consente di apprezzare la terza dimensione degli oggetti. Sofisticata apparecchiatura di ripresa e di laboratorio consentono di realizzare rilievi architettonici di grande complessità e precisione.

L'applicazione della fotogrammetria al rilievo urbano o territoriale ha condotto a una evoluzione rapida della **fotogrammetria aerea**.

Qui di seguito è riprodotta una foto aerea, appartenente a una sequenza di strisciate, mediante le quali si è realizzato il corrispondente rilievo urbano della città di Roma.



SCHIZZO DI RILIEVO

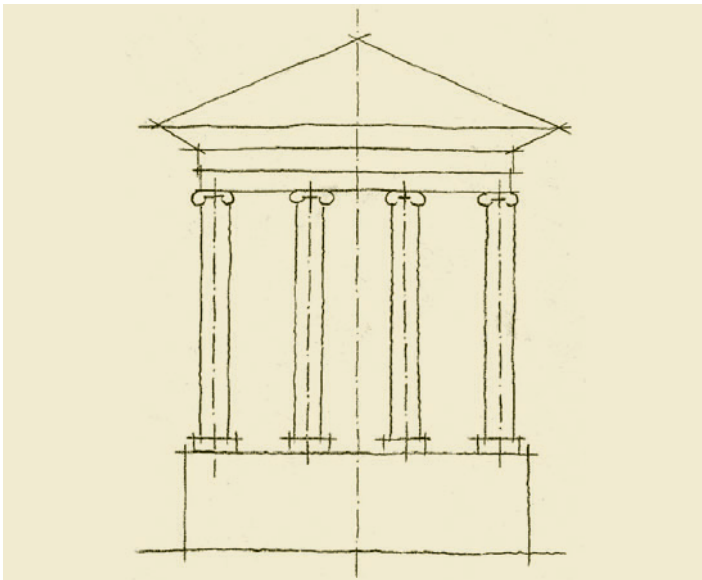
■ Impostazione dello schizzo

Lo schizzo è il documento fondamentale per ottenere un rilievo. Uno schizzo ben redatto consente di realizzare il disegno con precisione e completezza.

Innanzitutto bisogna premunirsi del materiale grafico necessario (blocco di carta quadrettata o millimetrata con supporto rigido, matita con mina di media durezza, gomma, ecc.).

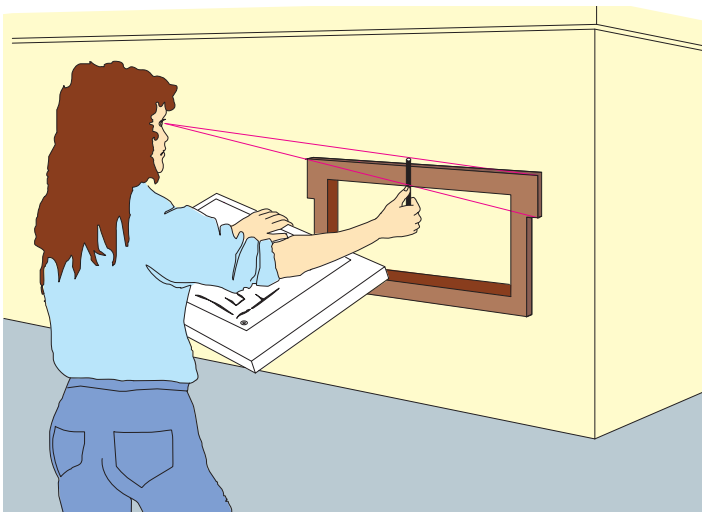
Poi bisogna decidere da quale rappresentazione iniziare: in generale è utile partire dalla pianta del piano terra per poi proseguire con quelle degli altri piani, le sezioni, i prospetti e i particolari.

Quindi bisogna osservare attentamente il soggetto per individuare la **struttura geometrica**: assi di simmetria, profili principali, ecc. Prima di iniziare lo schizzo è importante valutarne l'**ingombro**, per decidere la **scala di rappresentazione**. Si passa poi a tracciare le strutture principali, cercando di proporziarle a occhio.



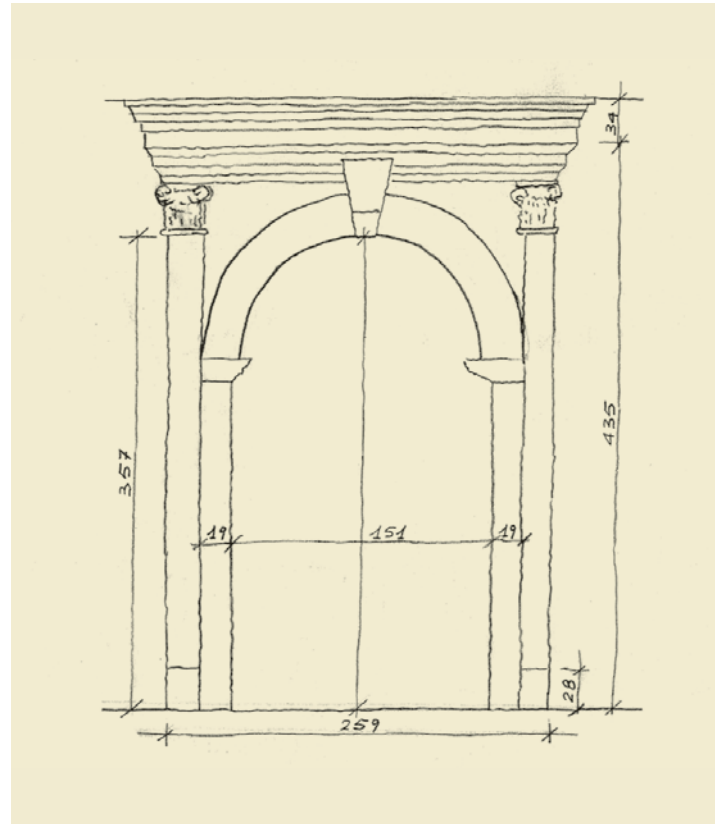
Impostazione dello schizzo.

Allo scopo di proporziare gli elementi dello schizzo è utile servirsi della matita come parametro: impugnandola a braccio teso si mira un elemento lineare, se ne segna con il pollice la lunghezza e la si confronta con quella di altri elementi.



Proporzionamento degli elementi tracciati sullo schizzo.

Dopo aver tracciato l'ossatura dello schizzo si passa alla **rilevazione delle dimensioni** dei suoi elementi, disegnandone con cura e chiarezza le **quote**. Si passa quindi allo schizzo degli elementi secondari e alla loro rilevazione dimensionale. Nel rilevare le quote è sempre preferibile averne in eccesso. Spesso è utile servirsi di **annotazioni** varie, come nome delle vie, orientamento geografico, materiali da costruzione, ecc.



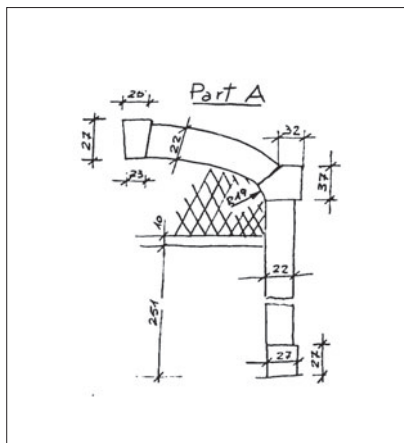
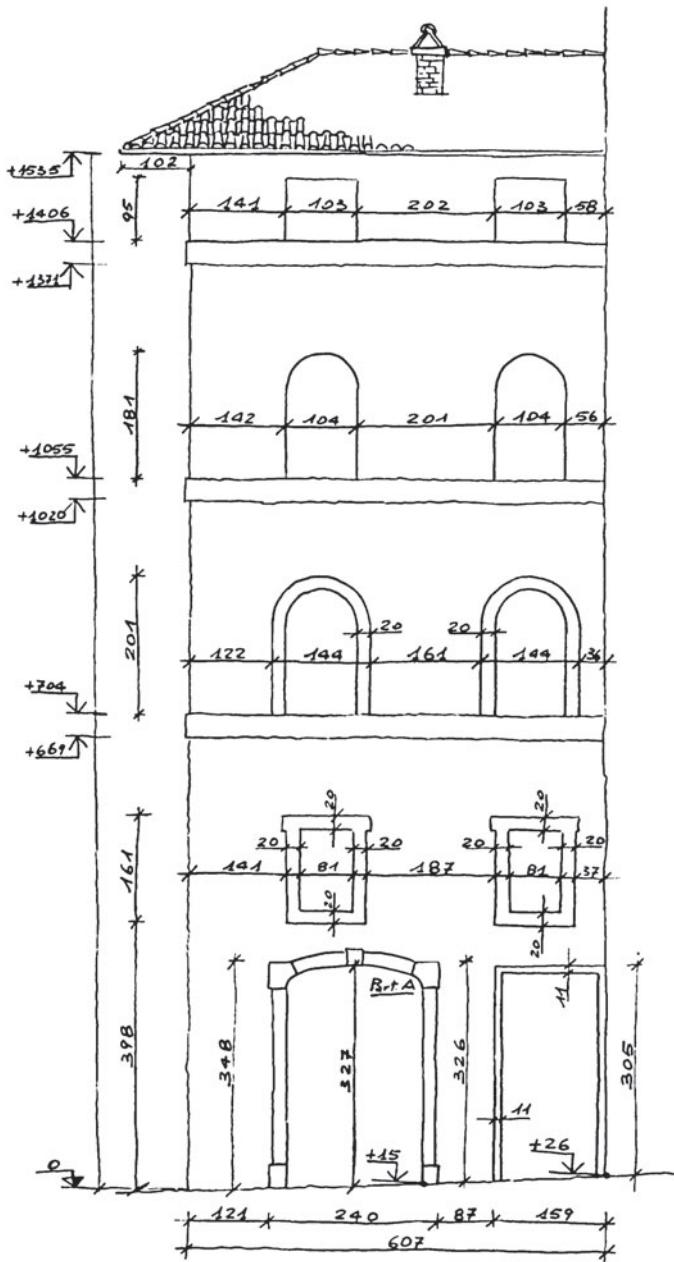
Schizzo con quotatura.

Quando gli elementi secondari dello schizzo sono troppo complessi per essere accuratamente disegnati nello schizzo complessivo, si cerca di posizionarne con precisione solo qualche parte; si esegue quindi uno schizzo a parte del solo dettaglio in scala più ingrandita.



Dettaglio di uno schizzo complesso.

DALLO SCHIZZO AL DISEGNO DI RILIEVO

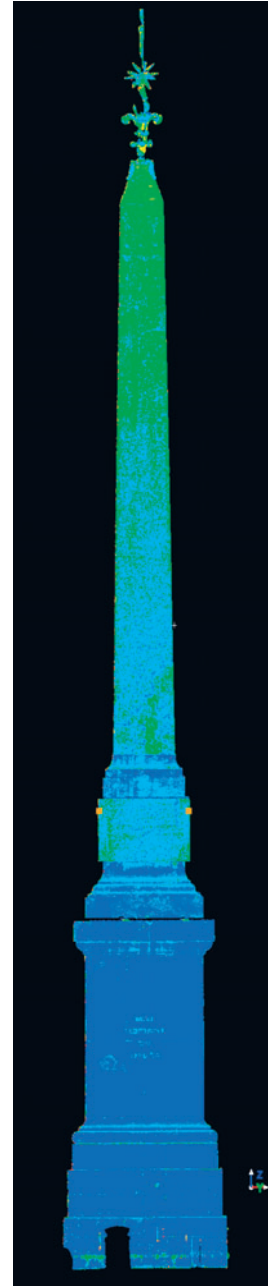


RILIEVO E RESTAURO

Il rilievo, oltre a essere un'operazione di registrazione grafica della forma e delle dimensioni di un ambiente naturale o costruito, è anche un potente strumento di indagine delle sue caratteristiche meno apparenti e talvolta più significative. È questo il caso del rilievo finalizzato al restauro.

Prima di avviare un processo di restauro di consolidamento o di conservazione di un edificio architettonico, è fondamentale procedere a un rilievo che vada oltre le apparenze esteriori, per esempio indagando sui materiali, sulle strutture interne, sulle fondazioni; si devono individuare le cause di dissesto o di degrado dell'organismo architettonico al fine di rimuoverle con gli interventi di restauro. I fattori di disgregamento possono essere climatici (vento, piogge, temperature), atmosferici (polveri e gas inquinanti), biologici (organismi che attaccano le superfici), fisico-chimici (ossidazione, ecc.), meccanici (vibrazioni da traffico, ecc.) o geologici.

Il rilevamento del manufatto viene in questo caso eseguito con un *Laser scanner 3D* che acquisisce la posizione dei punti superficiali mediante coordinate che verranno registrate in un database. Il database fornisce le informazioni ai programmi CAD 3D, per trasformare i dati numerici in modello solido. La rilevazione delle coordinate è accompagnata da una serie di foto che consentono di acquisire anche i caratteri delle superfici, quali proprietà cromatiche e materiche, collimanti con il rilevamento morfologico.



Una campagna fotografica e una serie di ricognizioni sul luogo consentono di individuare i principali problemi e preludono alla stesura del programma di rilevazione, in cui si definiscono la metodologia e le tecniche del rilievo. Le foto e gli elaborati grafici di questa scheda sono relativi al rilievo dell'Obelisco Sallustiano a Trinità dei Monti, Roma, realizzato dagli architetti Antonella Docci e Domenico Zangaro.

Altro settore di indagine per il rilievo è l'analisi storica per individuare le trasformazioni dell'organismo dalle origini: disegni, foto o documenti possono attestare le modifiche subite per cause naturali oppure per ristrutturazioni e restauri precedenti.

Il nucleo centrale del processo di indagine è costituito dalle scelte metodologiche per il rilievo morfologico (forma e dimensioni dell'organismo) a cui segue la vera e propria campagna di rilevamento, che poi si tradurrà in elaborati grafici (disegni, tabelle, relazioni).

Il complesso delle indagini di rilievo si concretizza in un progetto esecutivo comprendente:

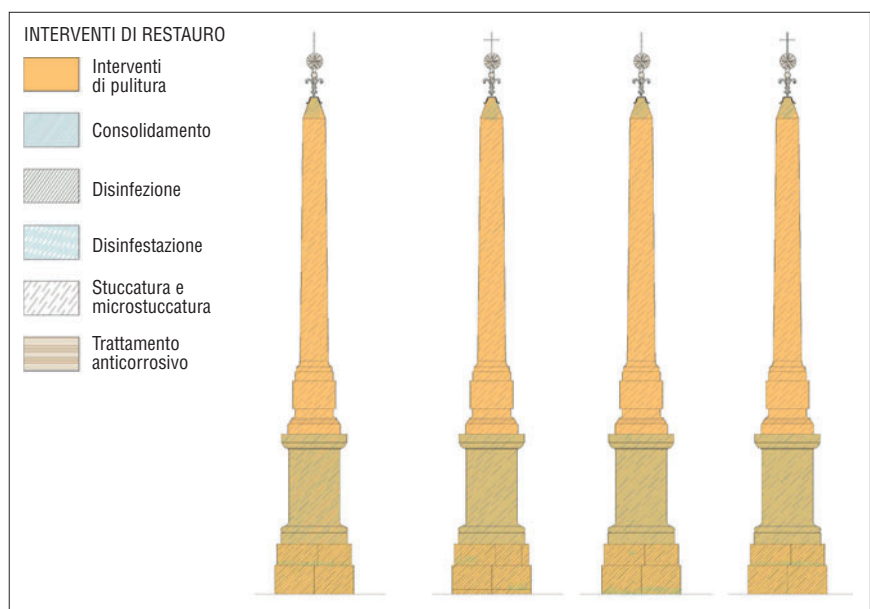
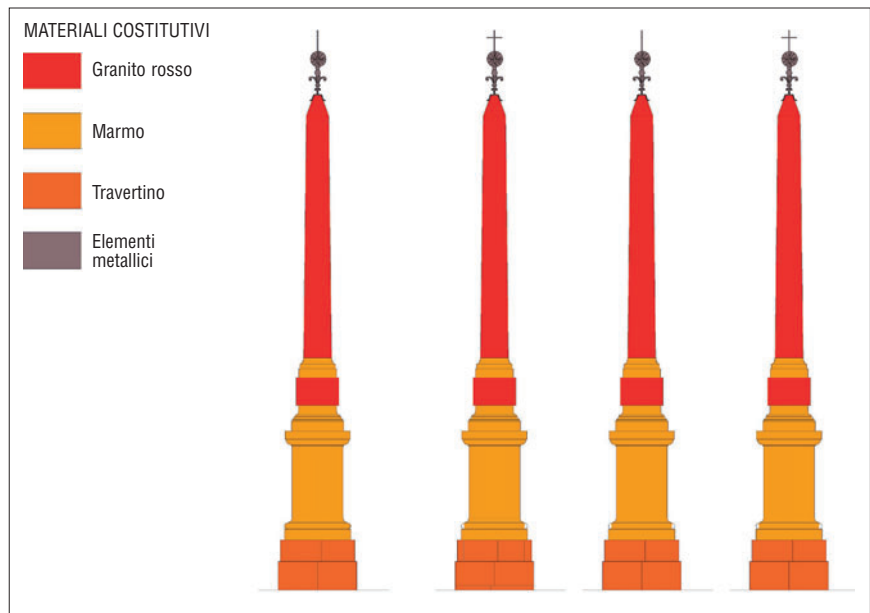
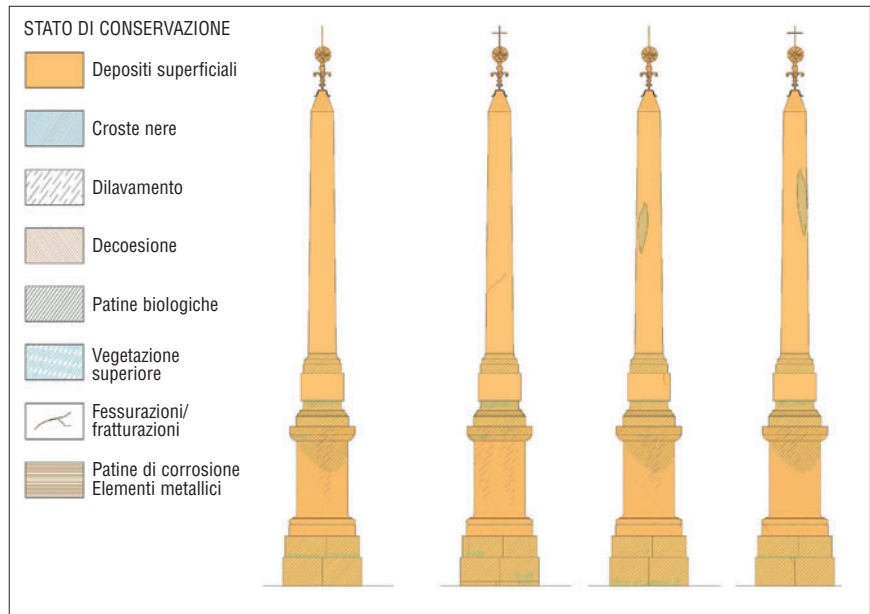
- relazione generale;
- relazione storica;
- scheda tecnica dell'intervento (tipologia dei materiali presenti, analisi delle forme di degrado, metodologia d'intervento);
- relazione sullo studio effettuato (analisi e diagnosi);
- elaborati grafici di base (disegni di rilievo);
- elaborati specifici (analisi di laboratorio, foto, ecc.);
- computo metrico-estimativo (prezzi, quantità, costi);
- programmazione dei tempi d'intervento (*cronoprogramma*).

Gli elaborati grafici descrivono i materiali costitutivi, lo stato di conservazione rilevato e gli interventi di restauro che scaturiscono dalla diagnosi. Ulteriori specificazioni sui dati rilevati e sugli interventi di progetto sono riportate nelle relazioni che accompagnano gli elaborati grafici.

glossario

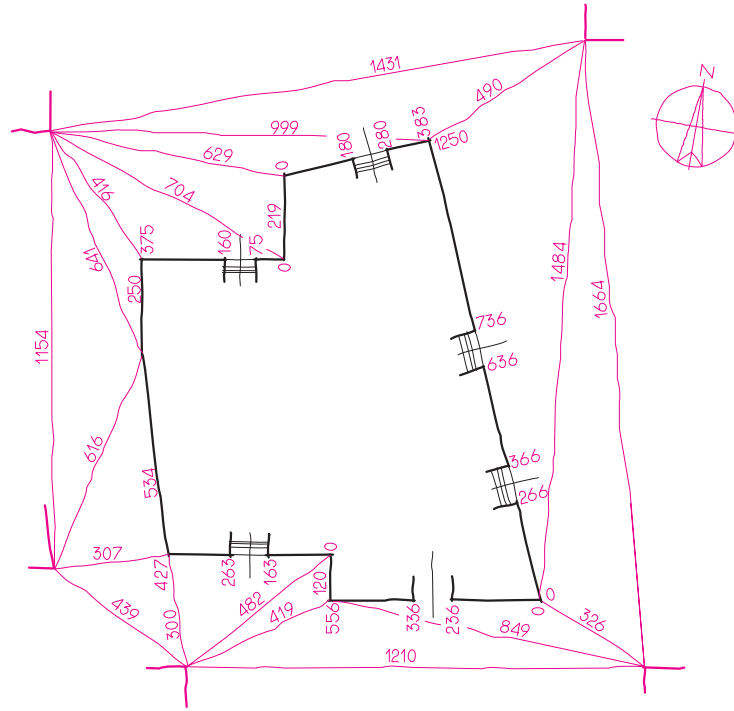
Morfologico: concernente lo studio della forma di organismi e oggetti.

Metodologia: ricerca di regole e metodi per organizzare dati o conoscenze.



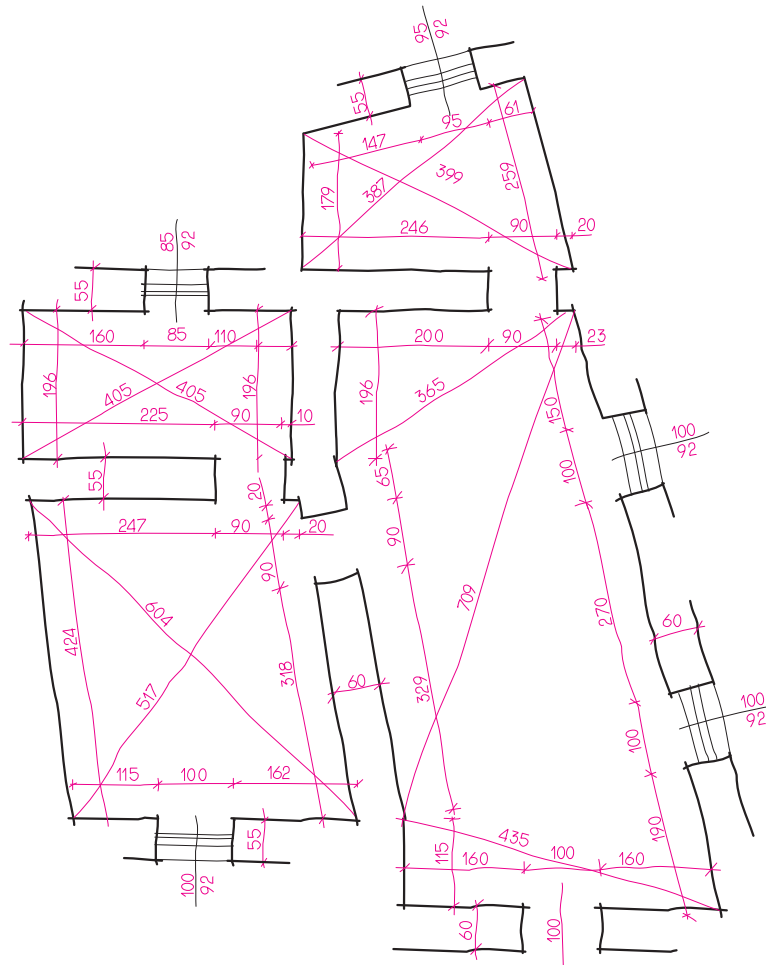
ESERCITAZIONE 1

Dallo schizzo di rilievo planimetrico ricavare il disegno in scala 1:100



ESERCITAZIONE 2

Al precedente disegno aggiungere il rilievo degli interni, ricavando la pianta in scala 1:100 completa di quotatura

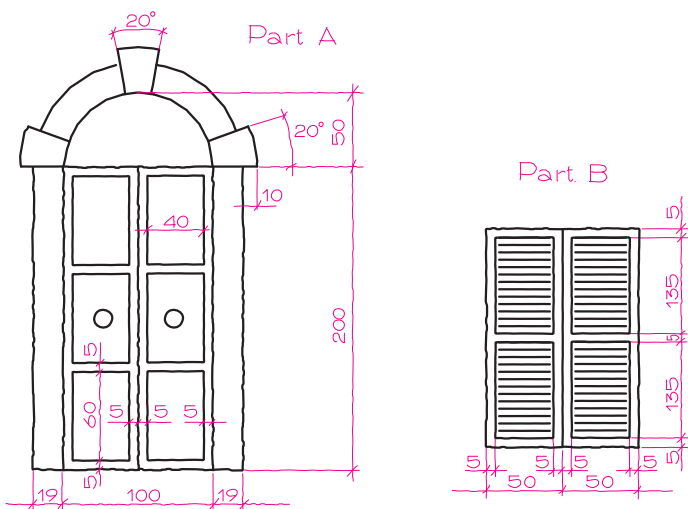
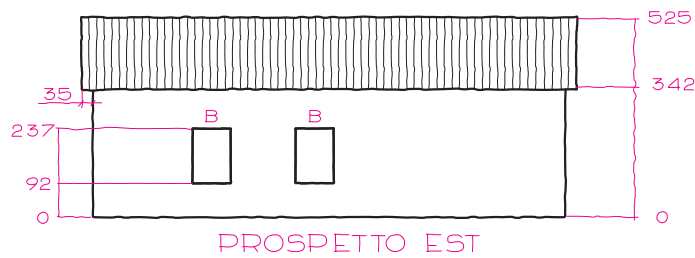
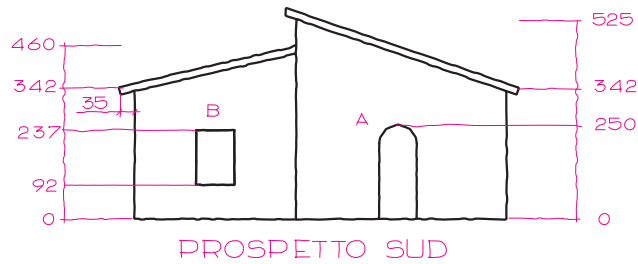


memo

La quotatura degli infissi (porte e finestre) riporta sopra l'asse la larghezza del vano e sotto l'asse la sua altezza dal piano di calpestio (v. pag. C41).

ESERCITAZIONE 3

Dagli schizzi di rilievo in alzato, relativi allo stesso edificio dell'Esercitazione 1 (da cui pertanto si possono ricavare le quote orizzontali), ricavare i disegni dei prospetti in scala 1:100 e dei particolari in scala 1:50, completi di quotatura



ESERCITAZIONE 4

Rilevare la pianta di una stanza (della propria abitazione oppure della scuola) con il metodo della triangolazione. Disegnare la stessa in scala 1:100, completa di quotatura

ESERCITAZIONE 5

Eseguire il rilievo in pianta di tre ambienti contigui (per esempio un corridoio e due stanze) con il metodo della triangolazione. Disegnare la pianta stessa in scala 1:100, completa di quotatura

ESERCITAZIONE 6

Eseguire il rilievo in alzato di una costruzione di modeste dimensioni oppure di una parte di edificio (per esempio la facciata del solo piano terra). Disegnare i prospetti in scala 1:100, completi di quotatura

ESERCITAZIONE 7

Eseguire il rilievo in alzato di due infissi interni o esterni (per esempio porte, portoncini o finestre). Disegnare i prospetti in scala 1:50, completi di quotatura