



# Manualetto di Tecniche e Strumenti per il Rilievo Urbano e Ambientale

*a cura di Gaetano Ginex*



---

# Manualetto di Tecniche e Strumenti per il Rilievo Urbano e Ambientale

*a cura di Gaetano Ginex*

---

Si ringrazia l'Architetto Beniamino Polimeni per aver contribuito alla realizzazione di questo manualetto come materiale didattico per gli studenti.

---

# Indice degli argomenti

Introduzione	1
Misura e grandezze	5
Strumenti e loro caratteristiche	7
Gli strumenti per il rilievo architettonico	12
Metodi di rilievo a confronto	19
I fondamenti teorici del rilievo	24
Cenni di fotogrammetria	41
La fotogrammetria semplificata	54
Bibliografia di riferimento	65

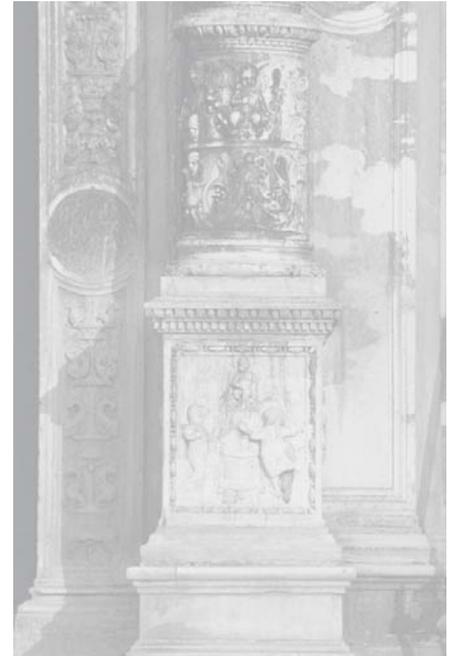
---

## Il ruolo del rilievo architettonico e urbano

*Il rilievo architettonico* costituisce un *momento di conoscenza* del costruito imprescindibile. Esso fornisce il necessario *telaio di riferimento* per ogni altra analisi e diagnosi e, per la consuetudine di cui è oggetto, è solitamente considerato l'indispensabile base di ogni pratica del progetto e di ogni approfondimento della conoscenza del costruito.

*“Le indagini sulla materialità dell'architettura mostrano aspetti contraddittori, perché sono al tempo stesso esercizio del misurare, ossia della ricerca quantitativa, ma anche lavoro critico, cioè valutazione qualitativa. Entrambi i punti di vista sono legittimi, ma sono al tempo stesso conflittuali, perché presuppongono metodi e concezioni operative radicalmente diverse. Il lavoro critico, infatti, punta sul giudizio dell'opera e implica il totale coinvolgimento dello studioso, come soggetto che opera nel campo della qualità; la determinazione della misura, invece, comporta sospensione del giudizio e distacco razionale dell'operatore”.*

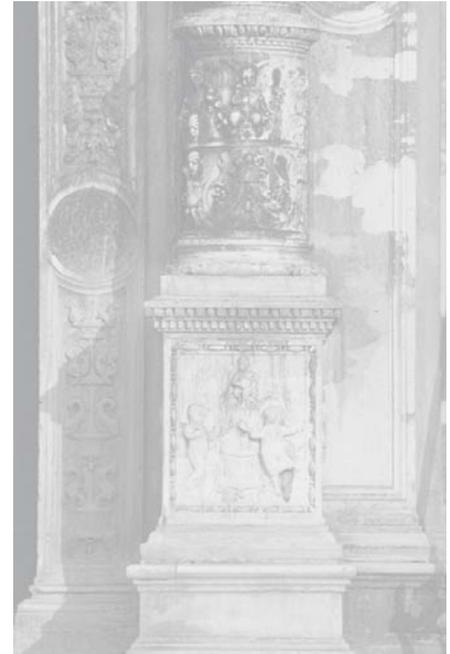
(Paolo Torsello, *La materia del restauro*, Marsilio, Venezia, 1988).



## Il rilievo architettonico e la normativa

E' utile ricordare che il rilievo è *normalmente richiesto dai regolamenti edilizi e dalle norme di piano, come corredo ad ogni richiesta di intervento*. In numerosi testi normativi tale richiesta è addirittura spinta sino alla *specificazione della norma* della veste grafica degli elaborati e dei requisiti tecnici cui deve rispondere.

Tali minuziose precisazione non hanno tuttavia riscontro nella prassi consueta e i rilievi allegati alle richieste di intervento sono spesso niente più che rappresentazioni dell'edificio prive di reali contenuti metrico informativi.



## Errori di rilievo e conseguenze in fase di progettazione

***Errori nel progetto*** di nuovi elementi da inserire negli spazi dell'edificio esistente, soprattutto se ciò deve avvenire in spazi limitati e in presenza di vincoli morfologici non aggirabili;

***Errori nel dimensionamento*** delle nuove opere, soprattutto dal punto di vista strutturale;

***Errori nei computi metrico-estimativi***, quindi nelle previsioni economiche complessive di un intervento, dal momento che la loro quantificazione è spesso eseguita proprio a partire dagli elaborati di rilievo.



## Errori di rilievo e conseguenze in fase di realizzazione dell'intervento

***Diseconomie di tempi*** e di risorse economiche;

***Difficoltà di esecuzione tecnica*** o di selezioni alternative alle scelte operative previste;

***Difficoltà nel porre rimedio***, in tempi brevi, a tali errori, senza dover procedere ad un nuovo rilievo.



## Il problema della misura

Le scienze sperimentali, si basano sull'osservazione dei fenomeni naturali. Studiare un fenomeno significa osservare con attenzione quali siano le **grandezze** che determinano il modo in cui esso si svolge e stabilire, se possibile, una relazione tra di esse. Per giungere a ciò occorre procedere alla loro **misura**.

*La misura di una grandezza fisica consiste nell' associare alla grandezza un numero che esprime il rapporto tra la grandezza in questione ed un'altra grandezza della stessa specie usata come unità.*



## Tipi di misure

**Misure dirette:** ottenute confrontando direttamente la grandezza con l'unità di misura. Esempio: la misura della lunghezza di un segmento effettuata accostando un metro a fettuccia, su cui sono segnati in successione tanti segmenti tutti uguali ad una unità di misura, al segmento fino a sovrapporlo; questo equivale a riportare tante volte l'unità di misura sul segmento fino a ricoprirlo tutto.

**Misure indirette:** ottenute misurando alcune grandezze ed applicando le relazioni esistenti tra tali grandezze e quella di interesse per ricavare il valore di quest'ultima. Esempio: la misura della superficie di una stanza rettangolare, effettuata misurando le lunghezze dei lati della stanza e calcolando l'area come prodotto di tali lunghezze.



## Gli strumenti

L'esecuzione delle misure avviene utilizzando opportuni **strumenti** che essendo degli oggetti reali permettono di "conoscere" **il valore della grandezza** misurata con una certa **indeterminazione**. E' necessario però avere ben presenti le caratteristiche di questi dispositivi. In particolare è utile tenere conto di tre parametri tra loro connessi : **la sensibilità, la soglia e la portata**.



## Soglia, portata e sensibilità

Ogni strumento è in grado di fornire delle misure di una grandezza partendo da un valore minimo detto **soglia** e fino ad un valore massimo detto **portata**. L'ampiezza di questo intervallo dipende dalle sue caratteristiche costruttive e queste sono pure responsabili del fatto che al di fuori di questi limiti la risposta dello strumento sia in genere alterata.

Si definisce **sensibilità** di uno strumento il minimo valore della grandezza che si vuole misurare ancora apprezzabile dallo strumento e l'indeterminazione che ne segue nella misura della grandezza è detto errore di sensibilità.

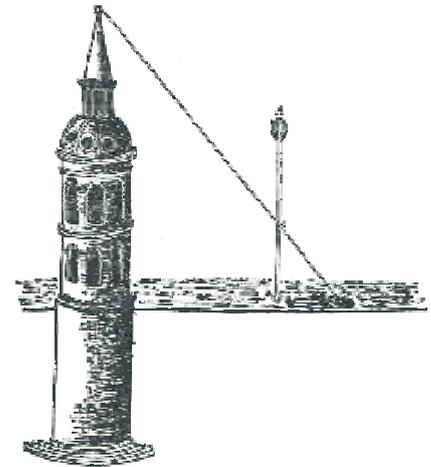
*Il valore di una grandezza non può essere conosciuto con una incertezza minore della sensibilità dello strumento usato.*



## Errori degli strumenti

**Errori sistematici:** si tratta di errori relativi ai sistemi di misura dovuti: a difetti costruttivi, a difetti di taratura, da un uso condotto in condizioni non prevista. Sono caratterizzati da un errore sempre dello stesso segno.

**Errori casuali:** sono dovuti ad un numero elevato di fattori non controllabili e per i quali non è possibile un'analisi puntuale: l'inevitabile imperfezione dei sensi dello sperimentatore, la variazione delle condizioni esterne, quali pressione, temperatura, campo magnetico terrestre. Agiscono in entrambe le direzioni fornendo valori in eccesso o in difetto rispetto al valore reale. Si manifestano quando si ripete più volte la misura e le variazioni di questa sono **maggiori dell'errore di sensibilità** dell'apparato.



Leon Battista Alberti, “*Ludi Matematici*”

## Strumenti di misura diretta per il rilievo



Calibro di precisione



Nastro metrico o fettuccia d'acciaio

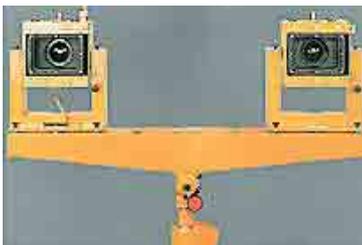


Aste metriche telescopiche

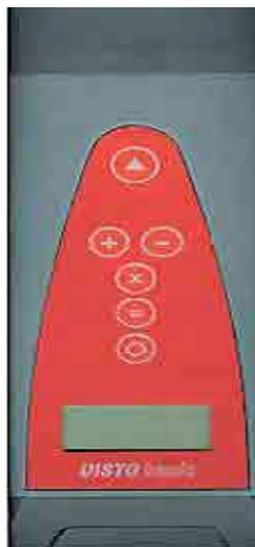
## Strumenti di misura indiretta per il rilievo



Livello ottico



Bicamera Zeiss 1318



Distanziometro elettronico

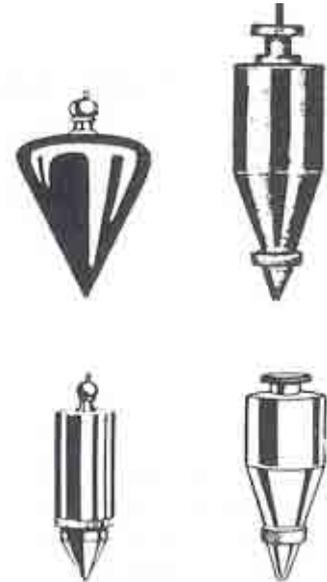


Stazione totale Nikon

## Gli strumenti per il rilevamento diretto

### *Filo a piombo*

Il filo a piombo, è uno strumento costituito da un filo flessibile che porta appesa all'estremità una massa pesante, realizzata generalmente con un metallo omogeneo. Sotto il peso della massa metallica, il filo si dispone tangenzialmente alla linea di forza del campo gravitazionale terrestre, passante per il suo punto di sospensione, e individua la direzione verticale.



Varie forme della massa per filo a piombo

## Gli strumenti per il rilevamento diretto

### *Longimetri*

Gli strumenti per misurare le distanze prendono il nome di longimetri. Appartengono ai longimetri per misure dirette tutti quegli strumenti che consentono di misurare direttamente le distanze come ad esempio il metro, le catene metriche, i triplometri e le fettucce metriche.



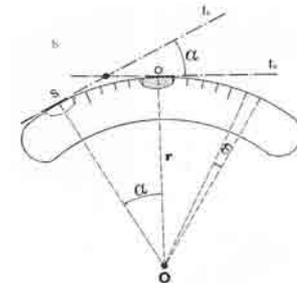
Esempi di longimetri per il rilievo dell'architettura

## Gli strumenti per il rilevamento diretto

### *Livelle*

**Livella torica:** è costituita da un tubo di vetro, foggiato a toro cilindrico, ermeticamente chiuso, riempito di un liquido molto mobile; un piccolo spazio lasciato libero dal liquido è occupato da una bolla d'aria che essendo più leggera del liquido tende ad andare verso l'alto. Quando la bolla è in posizione centrale, la livella definisce un piano orizzontale.

**Livella ad acqua:** nel rilevamento architettonico, quando si deve definire un piano orizzontale di distanza notevole, può essere impiegato uno strumento di semplice costruzione detto livella ad acqua, basato sul principio dei vasi comunicanti e costituito da due bicchieri di vetro ed un tubo che li raccorda.



Schema del piano tangente



Livella munita di tre bolle



Livella ad acqua a bicchieri

## Gli strumenti per il rilevamento diretto

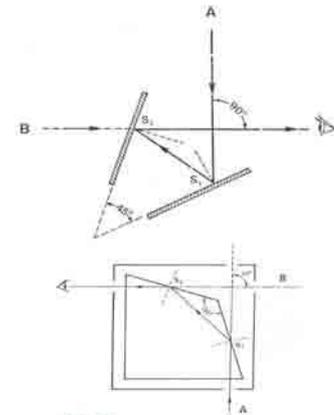
### *Squadri*

***Squadri a traguardo:*** servono a tracciare allineamenti perpendicolari. Sono costituiti da scatole metalliche a forma cilindrica o di prisma ottagonale, del diametro di circa 6-12 cm. Sulla superficie sono ricavate quattro coppie di fenditure in modo da costituire due piani di traguardo perpendicolari tra loro.

***Squadri a specchi:*** si basano sulla riflessione del raggio luminoso su una coppia di prismi disposti a croce.



Tipi di squadra semplici e graduati



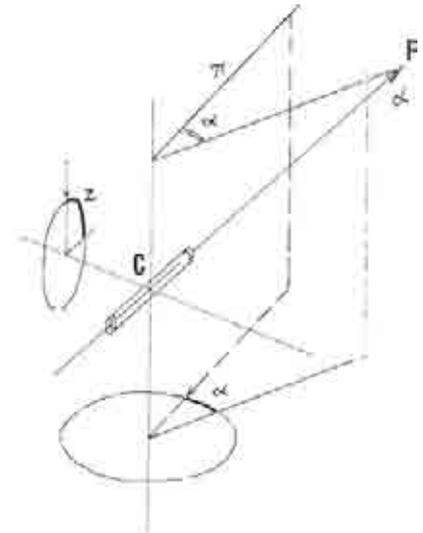
Squadri ottici e schemi di funzionamento

## Gli strumenti per il rilevamento indiretto

### *Goniometri*

Si tratta degli strumenti topografici atti a misurare gli angoli. Appartengono a questa categoria i teodoliti, i tacheometri, gli eclimetri, le stazioni totali. Questi strumenti consentono la determinazione, nello spazio, di una direzione uscente da un punto detto centro dello strumento.

La posizione  $P$  nello spazio, è determinata dalla direzione dell'asse ottico dello strumento quando collima il punto in questione; tale posizione è definita da due angoli uno orizzontale e uno verticale.



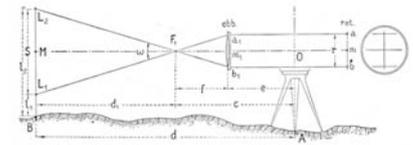
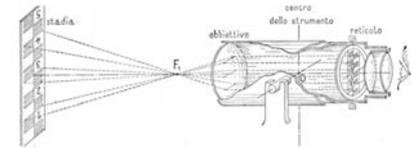
Schema spaziale del teodolite

## Gli strumenti per il rilevamento indiretto

### *Longimetri a misura indiretta*

Appartengono a questa categoria gli strumenti topografici, atti a misurare la distanza fra due punti attraverso il procedimento basato sulla similitudine tra triangoli.

La misura della distanza  $D$  risulterà direttamente proporzionale al valore risultante dalla differenza delle letture effettuate sulla stadia.



Schema del funzionamento del longimetro, con metodo parallattico costante e stadia verticale

## Gli strumenti per il rilevamento indiretto

### *Distanziometri elettronici*

Sono generalmente composti da un apparato trasmittente e ricevente che, dopo aver generato un segnale a onda modulata, lo invia verso il punto da rilevare; qui è situato un apposito prisma riflettente che invia il segnale alla stazione, dove viene ricevuto da un rilevatore di fase. L'apparato ricevente, captando il segnale riflesso è in grado di valutarne lo sfasamento, attraverso il quale può valutarne la distanza.



Schemi di rilevamento per mezzo di un distanziometro elettronico



Distanziometro elettronico Leica

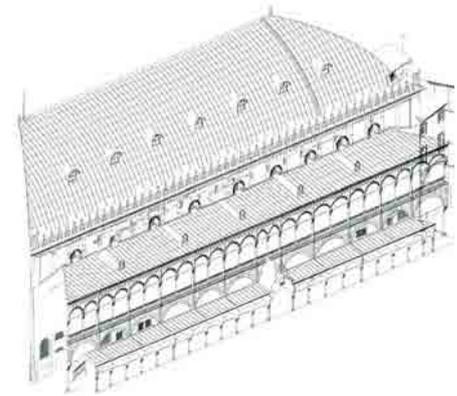
## Le principali metodologie del rilievo

*Le principali metodologie di rilevamento sono:*

**Rilievo longimetrico:** tiene conto di grandezze esclusivamente relative alle distanze tra punti misurate direttamente. Ciò presuppone l'accessibilità dei punti.

**Rilievo topografico:** prevede la determinazione di angoli e distanze, poiché da tale combinazione dipende la determinazione dei punti nello spazio.

**Rilievo fotogrammetrico:** le grandezze in gioco sono "contenute" all'interno del modello ottico derivante dalla gestione delle riprese, tale modello riproduce l'oggetto con le sue caratteristiche metriche e formali.



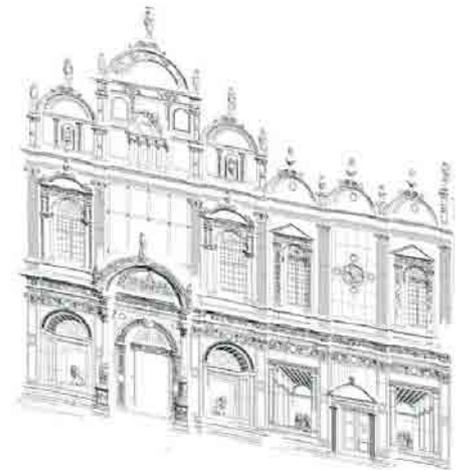
Esempio di restituzione al CAD

## Classificazione in relazione agli strumenti

**Rilievo longimetrico:** l'attrezzatura necessaria durante la campagna di rilievo longimetrico è costituita da comuni longimetri, strumenti che misurano le distanze tra punti, insieme a livelle ad acqua e fili a piombo.

**Rilievo topografico:** la strumentazione per la campagna di rilievo topografico si compone, invece, di teodoliti, distanziometri, stazioni totali, mire, prismi, treppiedi, supporti manuali per la registrazione dei dati.

**Rilievo fotogrammetrico:** la strumentazione si compone di camere metriche e semimetriche, di un restitutore analogico o analitico che vanno integrati ai sistemi topografici tradizionali. L'utilizzo di tali strumenti richiede operatori esperti.



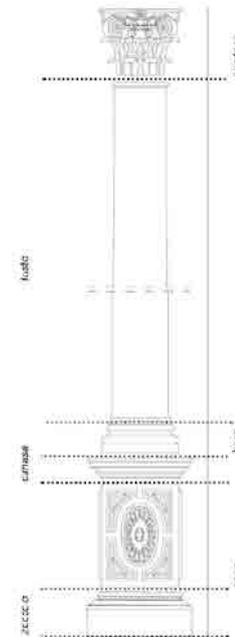
Rilievo fotogrammetrico della Scala Grande di S. Marco

## Classificazione in relazione al trattamento dei dati ed ai metodi di elaborazione

**Rilievo longimetrico:** le misure acquisite longimetricamente non richiedono di solito alcuna elaborazione, e sono immediatamente traducibili in forma di restituzione.

**Rilievo topografico:** le misure topografiche necessitano di elaborazioni proprie del calcolo topografico e, ove possibile la compensazione rigorosa delle misure eseguite. Entrambe le operazioni presuppongono la disponibilità di software e di supporti informatici adeguati.

**Rilievo fotogrammetrico:** le grandezze contenute nei fotogrammi necessitano di una complessa elaborazione analitica e di alti livelli di preparazione. Nei procedimenti semplificati le elaborazioni informatiche sono semplici e facilmente apprendibili.

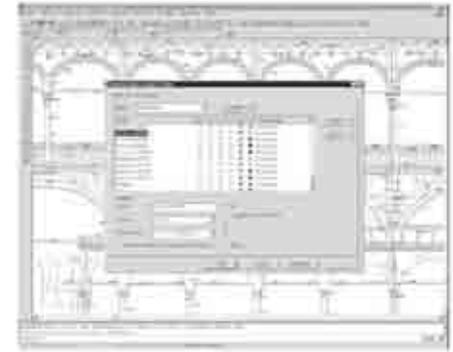


## Rapporto tra dati acquisiti e dati restituiti nei tre metodi

Nel *rilievo longimetrico* ed in quello *topografico* non esiste alcuna differenza tra dati acquisiti e dati restituiti. In entrambi i casi, infatti, i punti misurati durante la fase di campagna sono *esattamente gli stessi* che, successivamente, possono essere restituiti.

In entrambe occorre scegliere a priori il numero e la distribuzione dei punti che costituiranno il rilievo e, ed in base ad essi, progettare le relazioni geometriche che ne consentono la determinazione.

Nel caso della *fotogrammetria* la “materia” elaborata non è costituita esclusivamente da un insieme di punti discreti cioè limitato, come nei due casi precedenti, ma da un *modello virtuale* bidimensionale o tridimensionale che mantiene tutti i caratteri di continuità del reale, in quanto descritto dall’immagine fotografica.



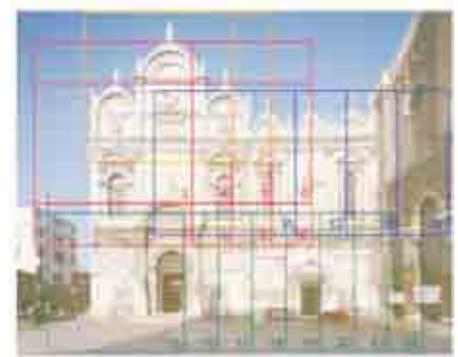
Organizzazione dei dati acquisiti su diversi layer

## L'applicazione congiunta dei tre metodi

Da quanto detto nella comparazione finora proposta, risulta chiaro che nessuna tecnica si presta a risolvere autonomamente tutti i problemi del rilievo.

La progettazione di un rilievo che si ponga come obiettivo la descrizione completa e dettagliata di un edificio deriva necessariamente da una integrazione critica delle diverse tecniche, coordinata dal progettista in modo da rispondere al meglio alle varie esigenze sensorie.

Il rilievo dell'architettura come momento di conoscenza si configura quindi come *parte integrante del processo progettuale*.



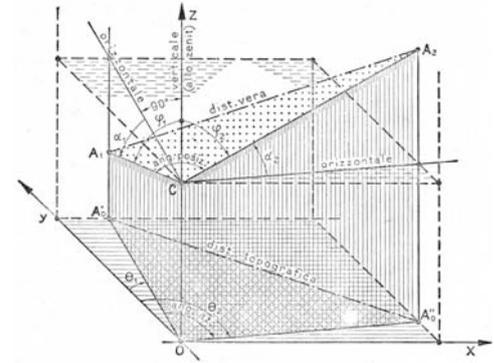
Quadro di unione delle prese fotogrammetriche. Facciata della scala grande di S. Marco

## Direzioni orizzontali e verticali: il sistema di riferimento

### *Sistemi di riferimento topografici*

Per rilevare un manufatto occorre avere un sistema di riferimento o più sistemi di direzioni verticali e di piani orizzontali tra loro coordinati o indipendenti.

Tale sistema costituisce la base per l'esecuzione del rilievo, perché costituita da elementi assoluti incondizionati dalle singolarità del manufatto. La direzione verticale è "assoluta", almeno in sede locale ed è determinata dalla forza di gravità, mentre quella orizzontale è geometricamente definibile come la direzione ortogonale o normale ad essa.

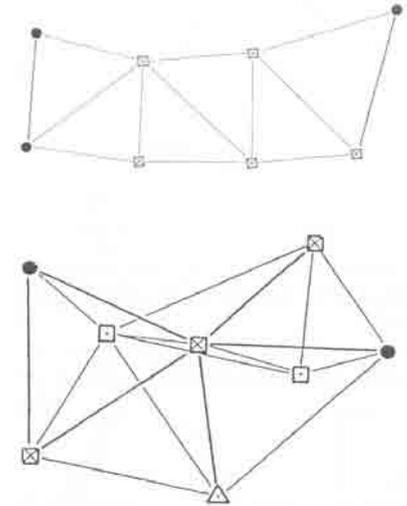


Schema dei sistemi del sistema di riferimento topografico

## Rigidezza di un triangolo

Il triangolo è l'unica delle figure geometriche ad essere indeformabile. Questa caratteristica permette di costruire modelli discreti affidabili per qualsiasi forma reale, scomponendo ogni poligono in un insieme di triangoli, ciascuno dei quali sia connesso all'altro almeno da un lato comune.

Ogni triangolo può essere individuato univocamente attraverso: *le dimensioni dei tre lati, le dimensioni di due lati e l'angolo tra essi compreso, la dimensione di un lato e di due angoli adiacenti.*



Esempi di reti di triangolazioni topografiche e catastali

## Teoremi sui triangoli rettangoli

**Teorema:** In un triangolo rettangolo un cateto è uguale all'ipotenusa per il seno dell'angolo opposto (al cateto che si vuole calcolare).

**Teorema:** In un triangolo rettangolo un cateto è uguale all'ipotenusa per il coseno dell'angolo adiacente (al cateto che si vuole calcolare).

**Teorema:** In un triangolo rettangolo un cateto è uguale all'altro cateto per la tangente dell'angolo opposto (al cateto che si vuole calcolare).

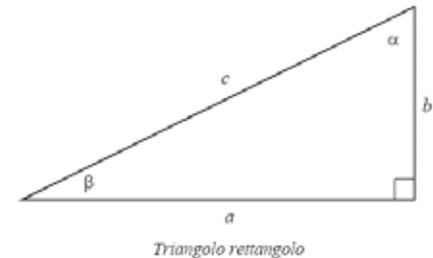
**Teorema:** In un triangolo rettangolo un cateto è uguale all'altro cateto per la cotangente dell'angolo adiacente (al cateto che si vuole calcolare).

$$a = c \sin \alpha \quad b = c \cos \alpha$$

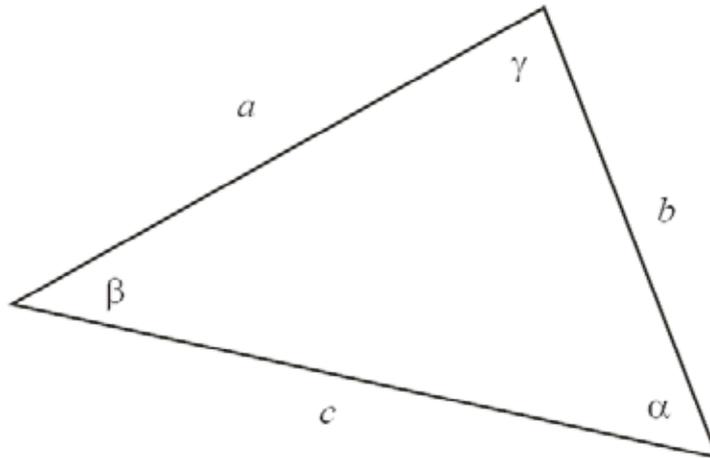
$$a = c \cos \beta \quad b = c \sin \beta$$

$$a = b \tan \alpha \quad b = a \tan \beta$$

$$a = b \cot \beta \quad b = a \cot \alpha$$



## Teoremi sui triangoli qualunque

*Triangolo qualunque**Teorema dei seni*

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

*Teorema del coseno*

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma$$

## Trilaterazioni

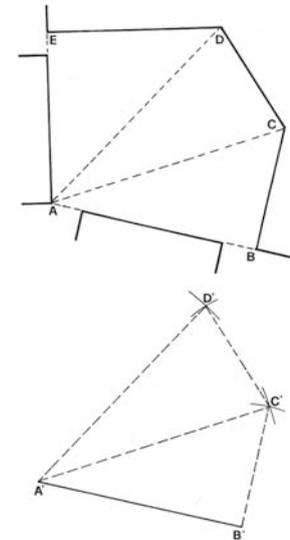
Come si è detto precedentemente, è possibile determinare i poligoni sul piano scomponendoli in triangoli dei quali si conoscono le lunghezze.

**Trilaterazioni isodeterminate:** quando le lunghezze dei lati dei triangoli acquisite risultano strettamente necessarie a determinare le coordinate dei vertici del poligono.

**Trilaterazioni iperdeterminate:** quando il numero delle lunghezze dei lati dei triangoli supera quello strettamente necessario alla determinazione dei punti.

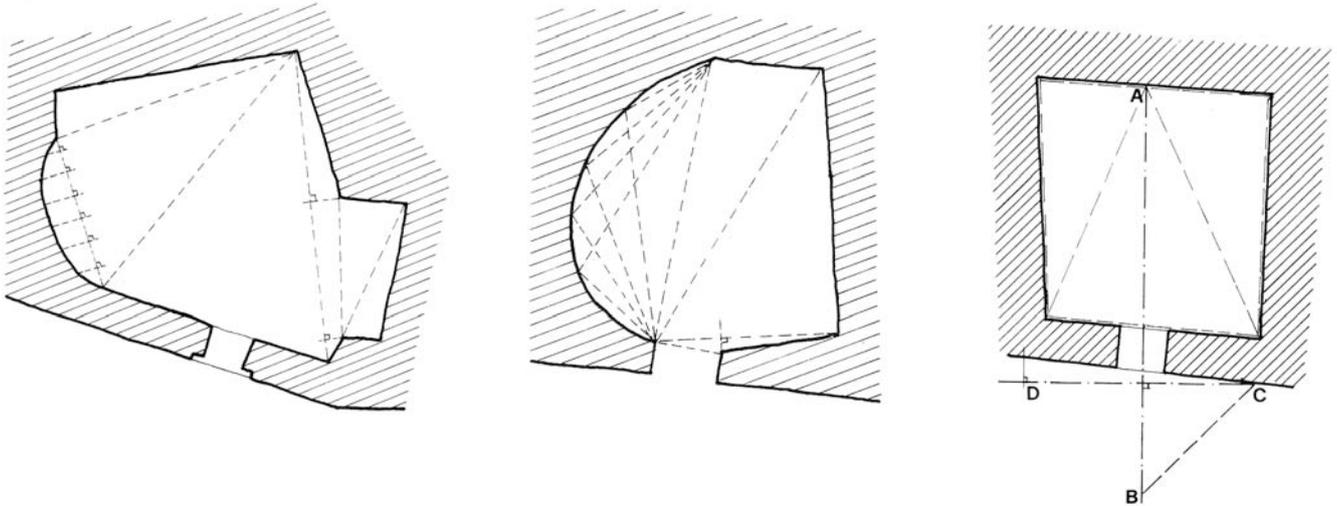
$$L = (2n-3)$$

Tale relazione permette di calcolare il numero di misure  $L$  strettamente necessarie alla trilaterazione del poligono di lati  $n$ .



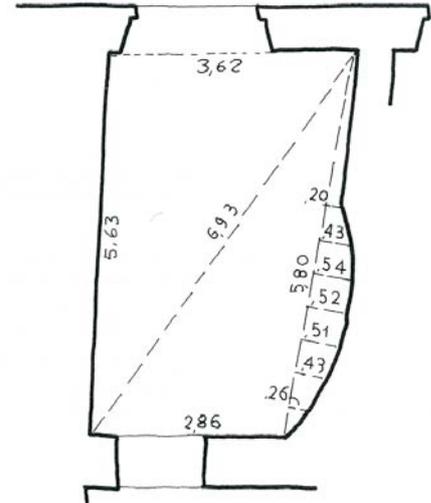
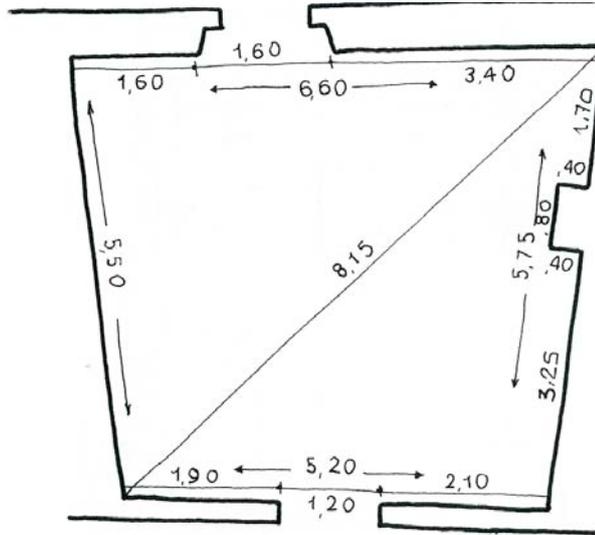
Trilaterazione di una piazza con relativo schema grafico

## Esempi di trilaterazioni di singoli vani



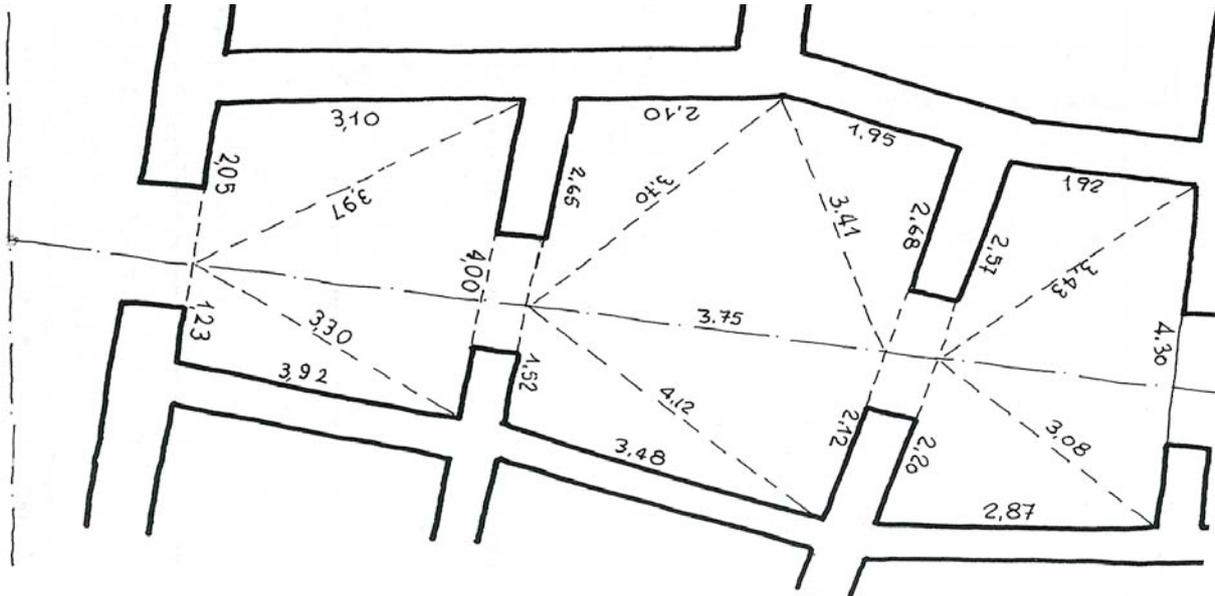
Schemi vari di rilevamento di ambienti

## Esempi di trilaterazioni di singoli vani



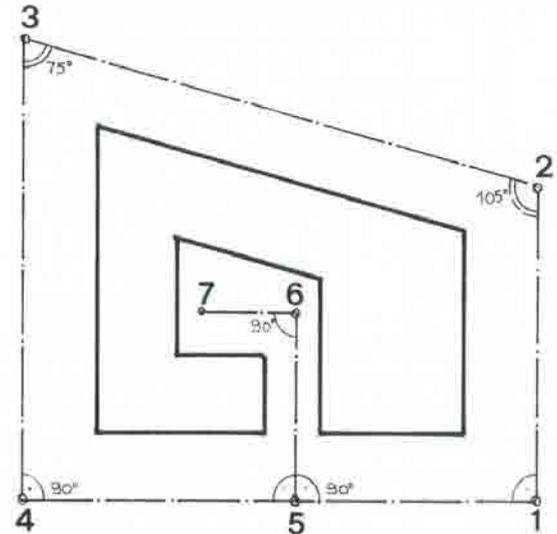
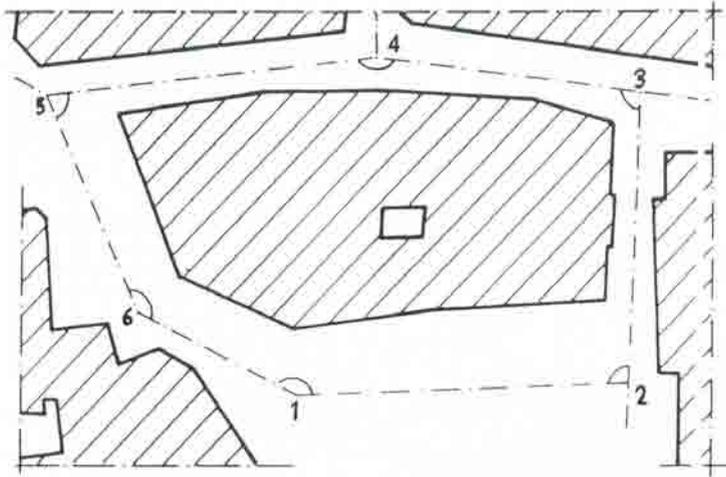
Schemi vari di rilevamento di ambienti

## Esempi di collegamento tra gli ambienti



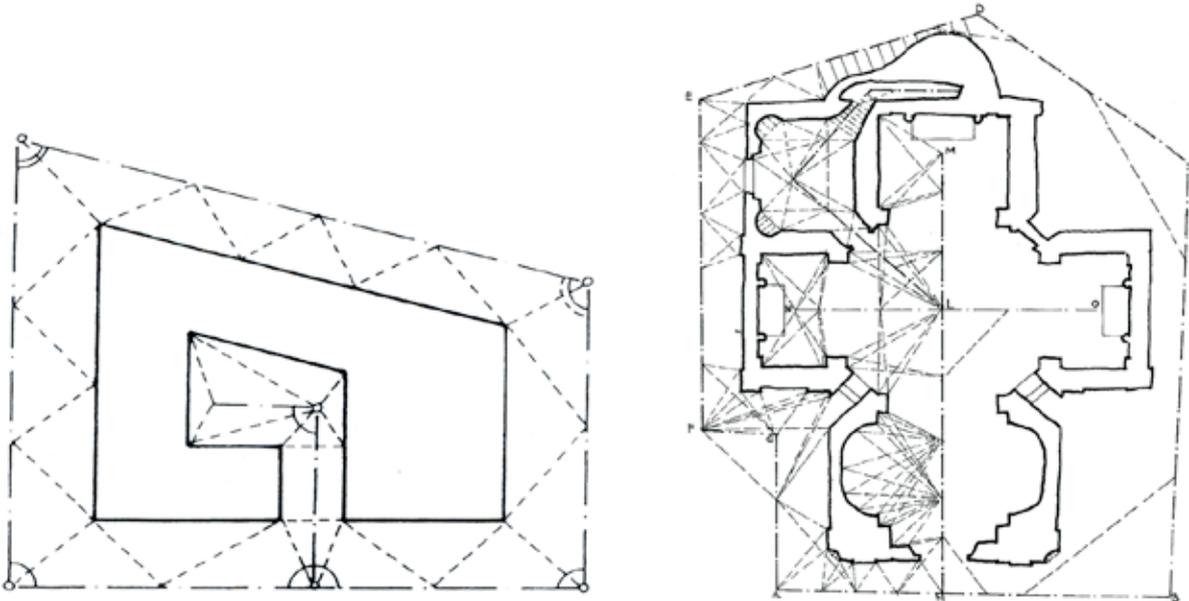
Schemi di collegamento tra vari ambienti

## Reti di inquadramento ed appoggio



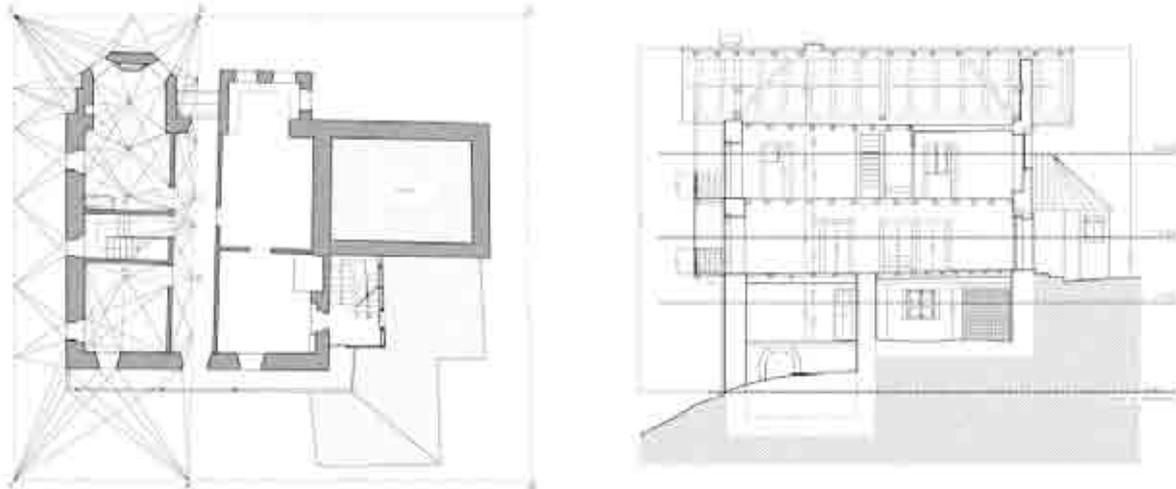
Esempi di reti topografiche esterne per il rilievo

## Collegamento della rete al rilievo interno



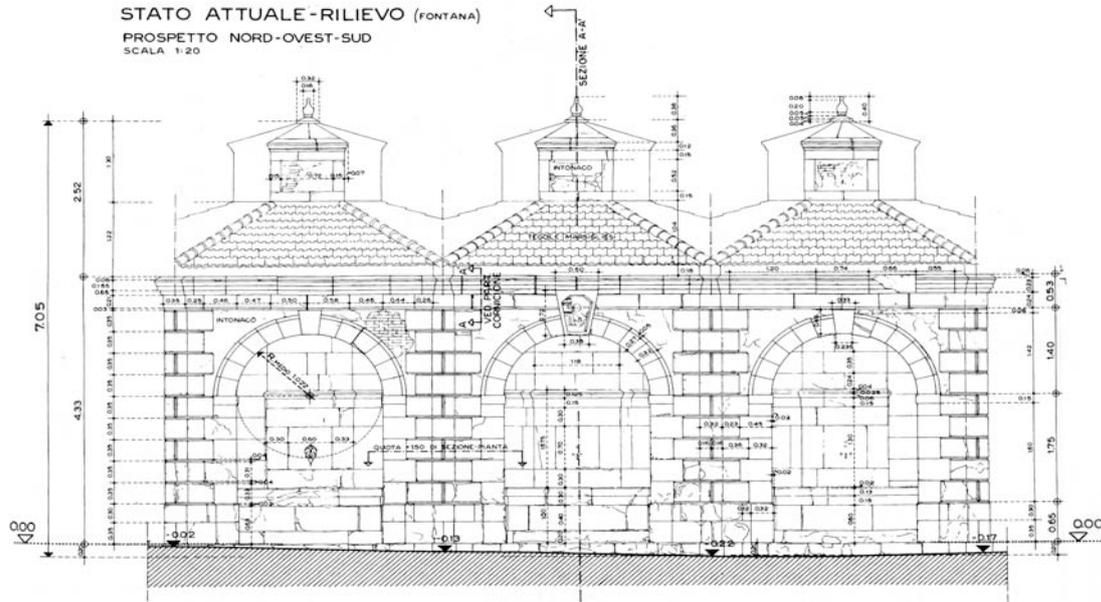
Schemi di collegamento della rete esterna al sistema di trilaterazioni interno

## Reti di inquadramento e livellamento



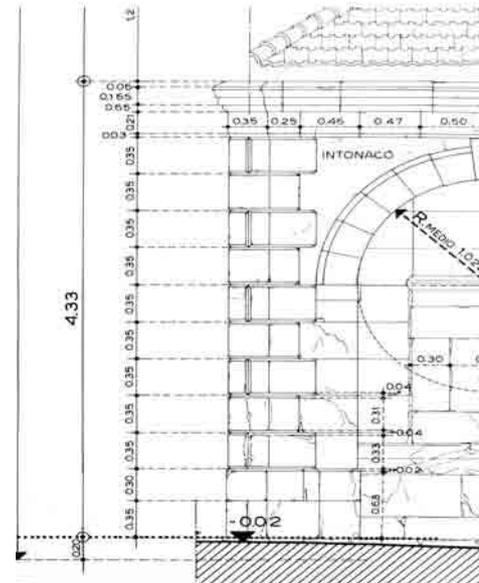
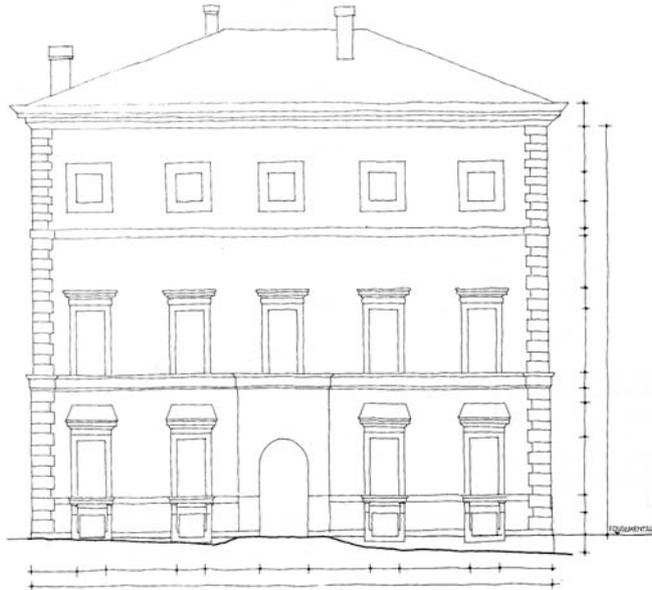
Alla rete di inquadramento saranno collegate tutte le misure di ogni singolo livello

## Il rilievo delle altezze



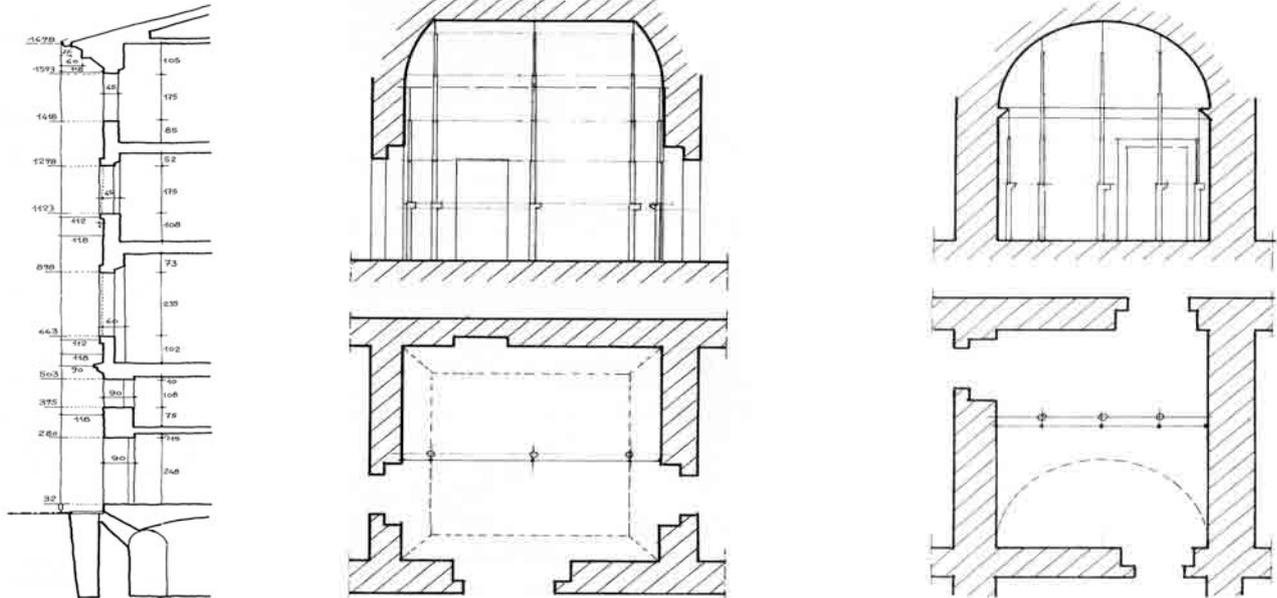
Esempi di rilievo delle quote in facciata

## Il rilievo delle altezze



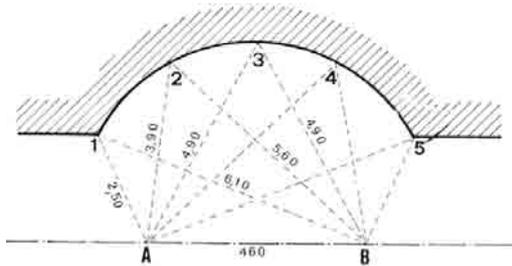
Esempi di rilievo delle geometrie della facciata attraverso quote progressive

## Il rilievo delle sezioni

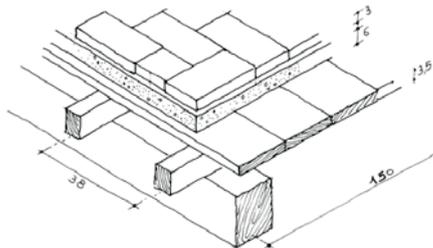


Schemi di rilievo delle sezioni

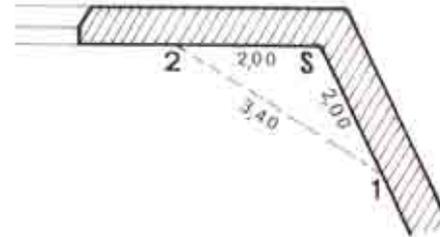
## Misure di dettaglio



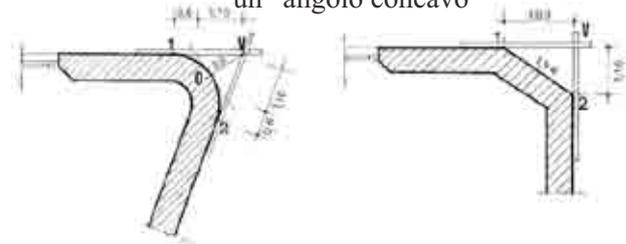
Rilevamento planimetrico di un rientranza di grandi dimensioni



Rilevamento di un solaio ligneo

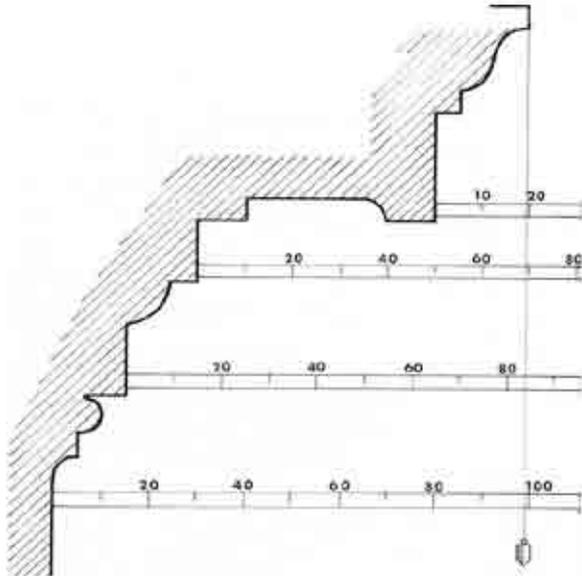


Misurazione dell'ampiezza di un "angolo concavo"

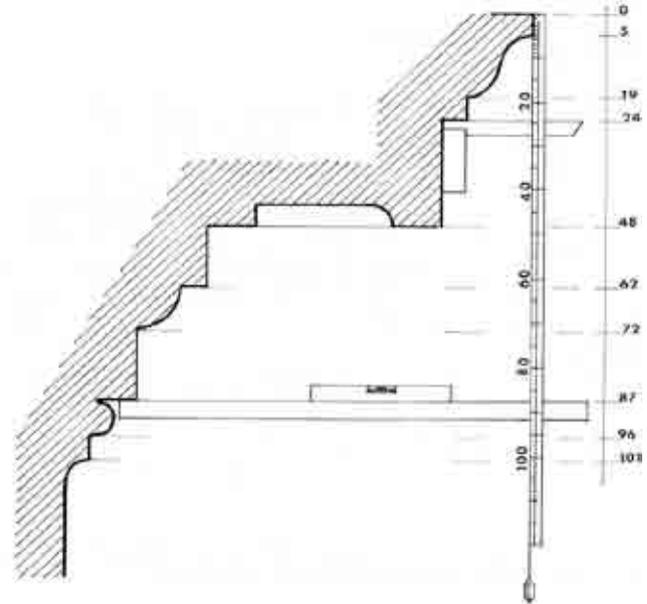


Rilevamento di angoli arrotondati o tagliati per mezzo di regoli

## Rilievo dei particolari architettonici

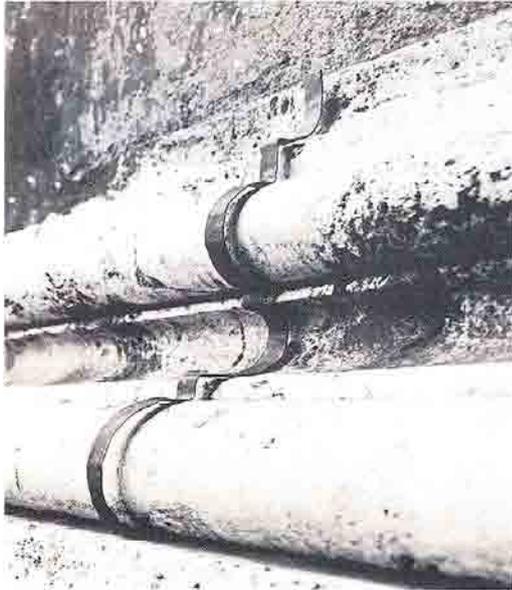


Rilevamento degli “aggetti” di un cornicione per mezzo di asta metrica e filo a piombo

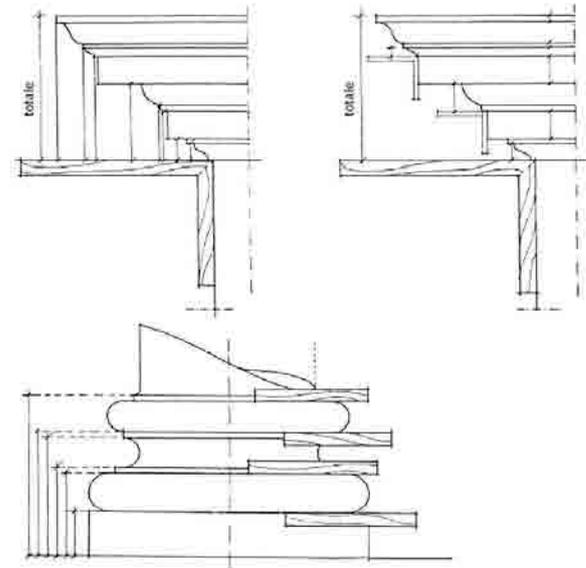


Rilevamento delle misure verticali per mezzo di asta metrica e livella

## Rilievo dei particolari architettonici



Rilevamento per mezzo di una striscia di piombo per ottenere il profilo “al vero”

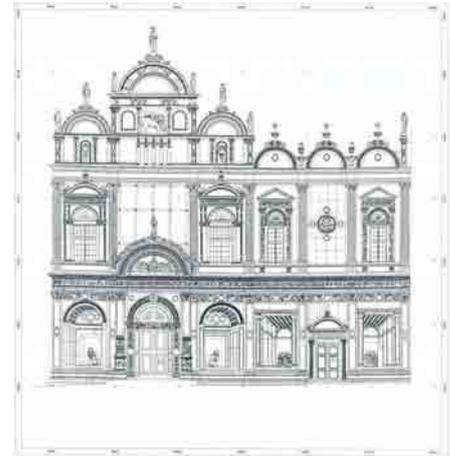


Rilevamento di cornici e basi per mezzo di una dimensione riferita ad una unica orizzontale

## La fotogrammetria tradizionale

*La fotogrammetria tridimensionale* è una tecnica di rilevamento che consente di determinare attraverso immagini fotografiche, realizzate osservando opportuni accorgimenti in fase di ripresa, le caratteristiche dimensionali del soggetto dell'indagine. Tale tecnica applicata nel campo del rilevamento architettonico, ha consentito di risolvere in modo efficace il rilievo delle **superfici complesse** per le quali i metodi longimetrici si rivelano insufficienti.

Rientrano all'interno di questa casistica moltissimi oggetti architettonici quali facciate o superfici interne caratterizzate da apparati decorativi plastici, absidi, volte, cupole e in genere manufatti e superfici curve o spezzate.



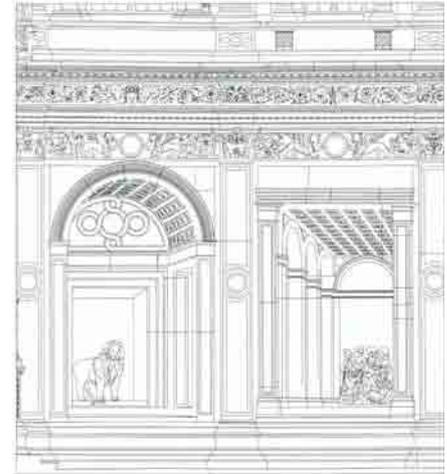
Scuola Grande di San Marco:  
restituzione fotogrammetrica  
della facciata principale

## I fondamenti teorici

I metodi codificati della geometria descrittiva consentono di ottenere una rappresentazione univocamente determinata di un oggetto nello spazio, una volta fissati il centro ed il quadro di proiezione. Viceversa è possibile, data una rappresentazione, risalire alle dimensioni reali dell'oggetto e alla sua rappresentazione nello spazio.

La possibilità di passare dall'oggetto alla sua rappresentazione e viceversa è facilmente osservabile in alcuni metodi di rappresentazione, ad esempio nelle proiezioni ortogonali e nell'assonometria.

In altri come ad esempio nella prospettiva il problema appare meno evidente, ma ugualmente risolvibile dato che si tratta di una rappresentazione biunivoca di punti.



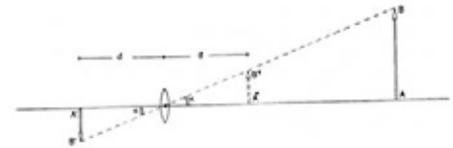
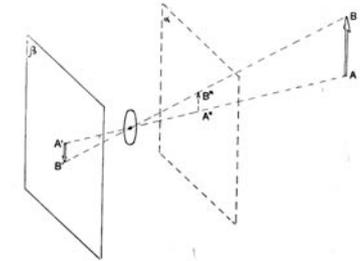
Scuola Grande di San Marco:  
dettaglio della restituzione  
fotogrammetrica

## I fondamenti teorici

**La fotografia** si ottiene attraverso una camera sulle cui facce contrapposte sono applicati da una parte l'obiettivo, dall'altra la pellicola impressionabile. Gli oggetti all'esterno vengono proiettati attraverso l'obiettivo rimpiccioliti e rovesciati.

### *Fotografia e prospettiva*

Si intuisce allora una perfetta identità tra fotografia e prospettiva. Il punto di vista coincide con il secondo punto nodale dell'obiettivo, il quadro prospettico coincide con il piano della pellicola fotografica.



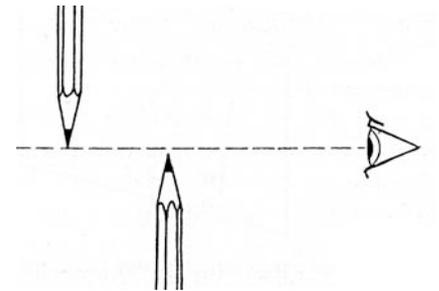
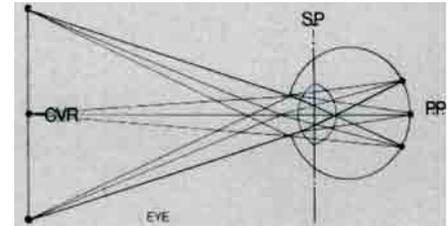
## Visione umana e stereofotogrammetria

Dimostrata la perfetta identità tra fotografia e prospettiva, si intuisce come sia possibile applicare alla prima i fondamenti teorici della seconda, e risalire alle misure reali degli oggetti fotografati.

Si accennerà per questo alla *stereofotogrammetria*.

### *Visione umana*

Per affrontare il problema teorico della fotogrammetria è indispensabile richiamare alcuni principi della visione umana; è noto che la capacità visiva gode della facoltà del rilievo, inteso come possibilità di percepire della profondità e delle dimensioni spaziali.

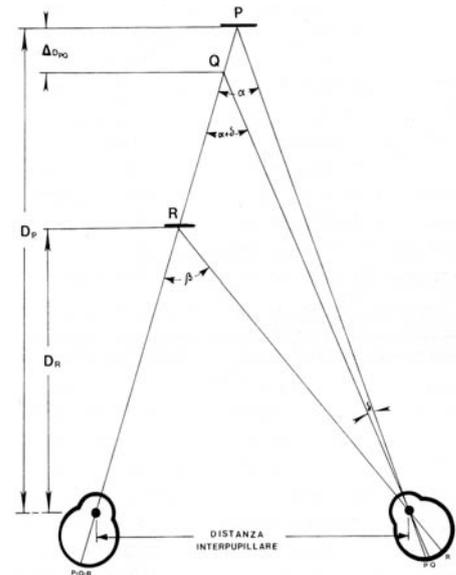


## Visione umana

La caratteristica della visione umana di valutare la profondità, dipende dalla possibilità di percezione della variazione dell'*angolo parallattico*.

L'ampiezza di tale angolo è *inversamente proporzionale alla distanza dell'oggetto*.

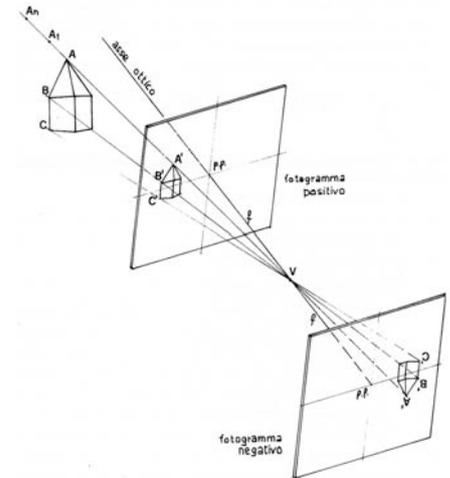
*La Stereofotogrammetria* sfrutta il principio del parallasse per giungere alla restituzione grafica e ricavare le misure dell'oggetto utilizzando fotogrammi ripresi da posizioni differenti, in modo simile a quanto avviene nella visione umana.



## La necessità del doppio fotogramma

La restituzione da singolo fotogramma, ovvero la cosiddetta fotogrammetria semplificata, seppur possibile presenta alcune difficoltà.

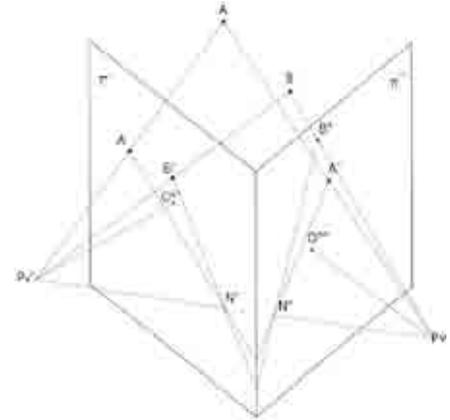
Infatti conoscendo la distanza focale e le coordinate dell'oggetto sul fotogramma è impossibile risalire alle posizioni dei punti nello spazio senza conoscere alcune dimensioni dell'oggetto stesso, così come schematizzato nella figura.



## Il teorema di Hauck

*“Dati due punti  $A'$  e  $A''$  su due piani distinti  $\pi'$  e  $\pi''$  e due punti di proiezione  $PV'$  e  $PV''$ , esisterà un solo punto nello spazio che sia intersezione delle rette  $A'PV'$  e  $A''PV''$  e tale punto giacerà sul piano costituito dalle due rette  $A'PV'$  e  $A''PV''$  che conterrà anche la retta  $b$  congiungente i punti  $PV'$  e  $PV''$ ”.*

Il teorema così espresso dà la possibilità di individuare le coordinate del punto  $A$  in funzione di distanze deducibili sul piano  $\pi$ , della distanza dei due  $PV$  e della  $df$ , non ricorrendo quindi a misure dirette sul soggetto di cui il punto  $A$  fa parte.



Teorema di Hauck

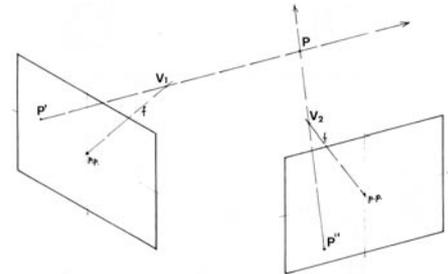
## Stereofotogrammetria

Il problema dell'individuazione della posizione nello spazio di un punto si risolve in modo agevole se questo appartiene a due fotogrammi diversi dei quali si conoscono la focale e la posizione delle camere al momento dello scatto.

Per definire le coordinate di un punto dello spazio rappresentato con due proiezioni su due immagini diverse è necessario:

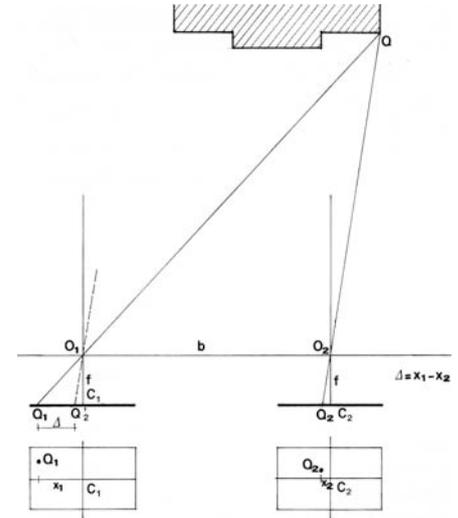
conoscere l'orientamento interno delle due fotocamere (df,  $O^\circ$ , e il formato della pellicola);

conoscere la distanza  $b$  tra le due fotocamere (base di ripresa).



## Posizione delle camere

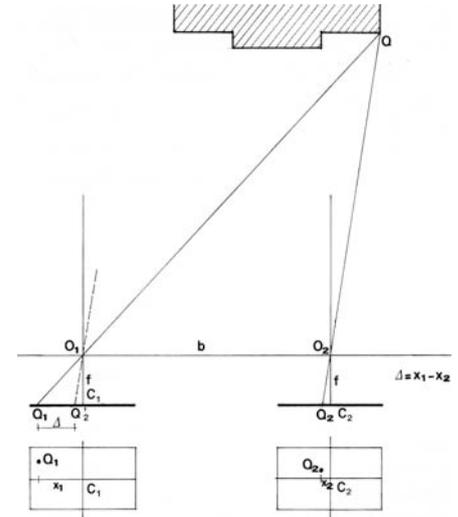
Generalmente l'asse ottico di ripresa di ciascuna coppia di fotogrammi è disposto perpendicolarmente alla base di ripresa e quest'ultima è parallela alla superficie da rilevare, come è rappresentato nello schema.



## Coordinate dei punti

Considerando la figura ed i triangoli simili  $QO_1O_2$  e  $O_1Q_1Q_2$  e facendo coincidere il centro degli assi cartesiani con  $O_1$ , con asse X parallelo ai fotogrammi di presa ed Y perpendicolare a b si avrà:

$$X = \frac{bx}{\Delta} \quad Y = \frac{bf}{\Delta} \quad Z = \frac{bz}{\Delta}$$



Che rappresentano le coordinate del punto Q nello spazio.

## Gli strumenti della fotogrammetria:

### *Camere metriche*

Le camere metriche differiscono dalle tradizionali fotocamere per l'obiettivo, che deve essere esente da distorsioni geometriche, e l'asse ottico, che deve essere perfettamente perpendicolare al piano della pellicola ed in posizione nota rispetto al centro del fotogramma.



### *Bicamere*

Le bicamere sono strumenti muniti di due camere da ripresa disposte agli estremi di una base fissa. Con esse è possibile la ripresa simultanea di due fotogrammi stereoscopici che costituiscono il modello.



## Restituzione fotogrammetrica

L'assetto geometrico dei fotogrammi costituisce il ***modello stereoscopico di presa***. La ricostruzione inversa mediante la quale è possibile ricavare i dati metrici dai fotogrammi prende il nome di restituzione. Tale procedura è eseguita attraverso i ***restitutori*** che permettono di risalire alle caratteristiche tridimensionali dell'oggetto individuando le coordinate di questo nello spazio.

### ***Metodi di restituzione***

***Grafica speditiva:*** ottenuta mediante semplici procedimenti grafici.

***Analogica:*** prodotta con restitutori ottico meccanici.

***Analitica:*** alla quale si perviene per mezzo di calcolo numerico, realizzato attraverso software specifici.



Stazione di restituzione digitale

## Dati necessari alla restituzione

***Orientamento interno:*** della camera metrica: focale e formato della pellicola con riferimento cartesiano.

***Orientamento relativo:*** conoscenza della posizione dei due fotogrammi uno rispetto all'altro.

***Orientamento assoluto:*** conoscenza della posizione delle camere rispetto al sistema topografico terrestre di riferimento.

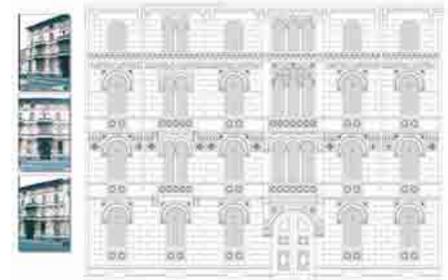


Restitutore analitico “Digicart 40”  
della Galileo Siscam

## La fotogrammetria semplificata e il raddrizzamento di immagini

Accanto alla fotogrammetria tridimensionale stereoscopica tradizionale o monoscopica esiste la possibilità di una *fotogrammetria "semplificata"* nella procedura, denominata raddrizzamento. Questa, come accennato sfrutta le proprietà della geometria proiettiva per ricavare da riprese fotografiche affette da deformazioni prospettiche, immagini di rigorosa proiezione ortogonale.

Il passaggio dalla rappresentazione prospettica alle dimensioni reali dell'oggetto consiste nel *ricercare l'orizzonte, il punto e la distanza principali*, determinati i quali è possibile risalire alle misure reali dell'oggetto.



## Condizioni necessarie

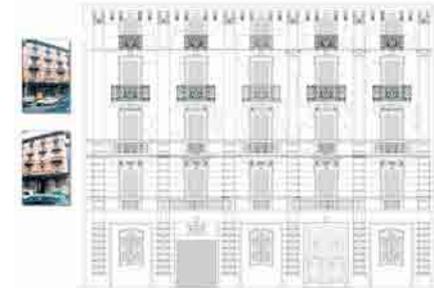
Il sistema è applicabile a **oggetti piani** o a porzioni di oggetti assimilabili a un piano.

Per realizzare il rilievo è sufficiente conoscere la posizione reciproca di **quattro punti** appartenenti all'oggetto, ossia le coordinate di tali punti giacenti su un piano rispetto ad un sistema di riferimento fissato con i metodi più diversi:

*Individuando opportuni assi cartesiani;*

*Tramite trilaterazioni reciproche;*

*Ricorrendo ad un rilievo topografico che misuri angoli e distanze.*



## Fasi del rilievo

**Segnalizzazione** dei punti e rilievo delle coordinate di questi sul piano di riferimento: per mezzo di misure longimetriche o topografiche;

**Ripresa fotografica** attraverso camere metriche o tradizionali;

**Elaborazione delle immagini** tramite il software di raddrizzamento: con l'ausilio di software specifici che possano tenere conto di eventuali distorsioni degli obiettivi;

**Mosaicatura delle immagini** mediante gli stessi software di raddrizzamento o pacchetti dedicati al fotoritocco.



## Metodi di rilevamento delle coordinate dei punti del piano

Le coordinate dei punti giacenti su un piano rispetto ad un sistema di riferimento fissato possono essere individuate con i metodi più diversi:

*Rilevando punti che individuano opportuni assi cartesiani sul piano da raddrizzare;*

*Tramite trilaterazioni reciproche;*

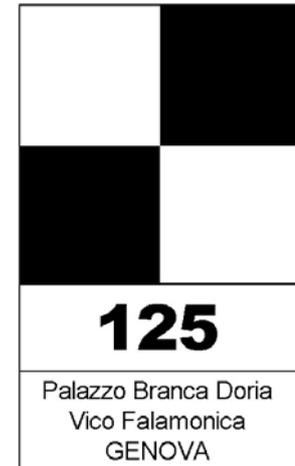
*Ricorrendo ad un rilievo topografico che misuri angoli e distanze (coordinate polari).*



## Segnalizzazione

La segnalizzazione dei punti sulla superficie può essere eseguita applicando almeno *quattro segnalini* numerati, chiaramente visibili in ogni fotogramma.

L'utilizzo di più segnalini permette di valutare in fase di raddrizzamento di valutare l'incertezza dei dati ottenuti con il *metodo dei minimi quadrati*, qualora il software lo consenta.



## Rilievo dei punti

Il rilievo permetterà di acquisire le informazioni relative alle *coordinate dei punti* della facciata su un sistema spaziale. Tali coordinate andranno elaborate in modo da essere riferite ad un sistema di assi cartesiani giacente sulla superficie da rilevare.

N°	Y	X	Z
139	0.0000	0.4370	0,0000
137	2.2951	0.4680	0,0000
138	0.0629	2.6350	0,0000
140	2.2989	2.6360	0,0000
141	0.1050	4.4700	0,0000
142	2.2993	4.5700	0,0000
143	1.1181	4.8020	0,0000

## Elaborazione delle immagini

Una volta note le coordinate dei punti prescelti, è sufficiente imporre tramite il software che i corrispondenti punti individuati sulle immagini digitali acquisite in fase di rilievo, assumano le medesime posizioni che hanno sull'oggetto reale.

Il software adottato procede quindi mediante trasformazioni geometriche alla conversione delle immagini prospettiche in proiezioni ortogonali, morfologicamente e metricamente affidabili.

Se con una sola immagine non si riesce a riprendere l'intera superficie da rilevare il software si occupa di "mosaicare" le immagini a patto che queste abbiano almeno in comune due punti con l'immagine limitrofa.



Esempio di raddrizzamento.  
Palazzo Brancadoria ,Genova

## Mosaicatura



Esempio di “mosaicatura” di immagini raddrizzate. Palazzo Brancadoria Genova

## Valutazione degli errori dello scostamento del piano

Si è precedentemente detto che il raddrizzamento è utilizzato principalmente per oggetti che si possono assimilare con buona approssimazione a un piano.

Nella realtà operativa questa condizione geometrica non è mai riscontrata in modo completo: basti pensare alle ondulazioni del terreno o alle sporgenze su una facciata di un edificio.

Quando si raddrizza una fotografia è necessario valutare gli *errori causati dallo scostamento dal piano di riferimento* sul quale giacciono i punti o le linee di controllo.

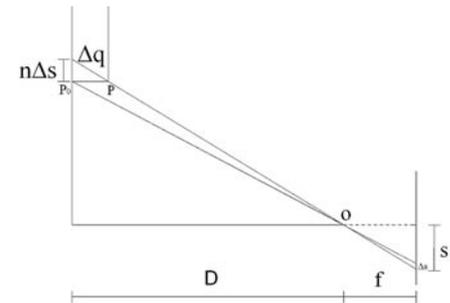


Figura che schematizza un possibile dislivello in “aggetto” su una superficie da rilevare

## Condizioni ideali per le prese

Riferendosi alla figura che schematizza il rilievo di una facciata con un dislivello si avrà:

$$\Delta s = s \frac{\Delta q}{D}$$

Si vede perciò che lo spostamento dovuto al dislivello dal piano di riferimento è proporzionale all'entità del dislivello stesso e alla distanza del punto considerato dal centro del fotogramma. Risulta invece inversamente proporzionale alla focale e alla distanza della camera.

Risulta evidente che al fine di ottimizzare le operazioni di presa è utile: **massimizzare la distanza di presa** compatibilmente con le condizioni di rilievo ed evitare grandangolari troppo spinti anche se ciò può comportare un maggior numero di scatti.

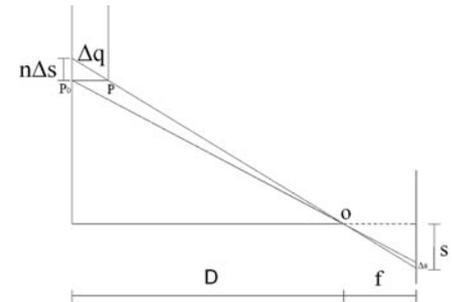
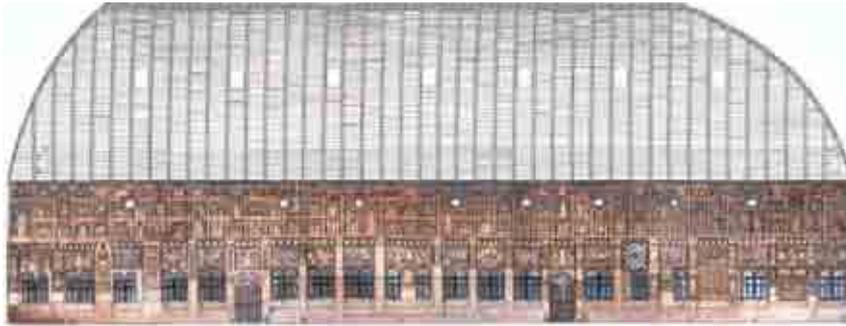
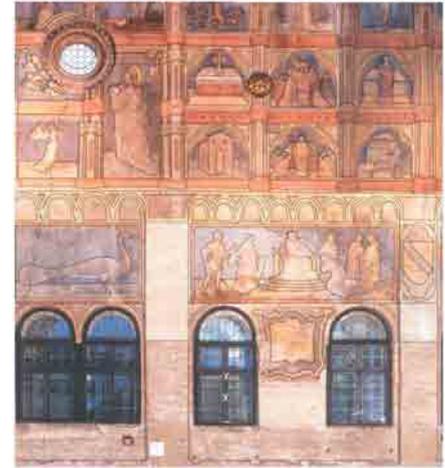


Figura che schematizza un possibile dislivello in “aggetto” su una superficie da rilevare

## Esempi di Restituzione



Restituzione vettoriale con inserimento del formato raster di una parete affrescata. Palazzo della Regione a Venezia



Palazzo della Regione a Venezia, particolare del prospetto interno

Bezoari G., *La fotogrammetria per l'architettura*. Liguori Editori, 1992.

Docci M., Maestri D., *Manuale di rilevamento rilevamento architettonico e urbano*. Laterza, 1994.

Docci M., Maestri D., *Storia del rilevamento rilevamento architettonico e urbano*. Laterza, 1994.

Fondelli M., *Trattato di fotogrammetria urbana e architettonica*. Laterza, 1992.

Musso S., *Recupero e restauro degli edifici storici*. EPC libri, 2004.

Stockel G., *Percezione, rappresentazione, comunicazione*. Kappa, 1998.