

# Corso di Rilievo dell'Architettura

Condotta da daniele colistra – a.a.2015-2016

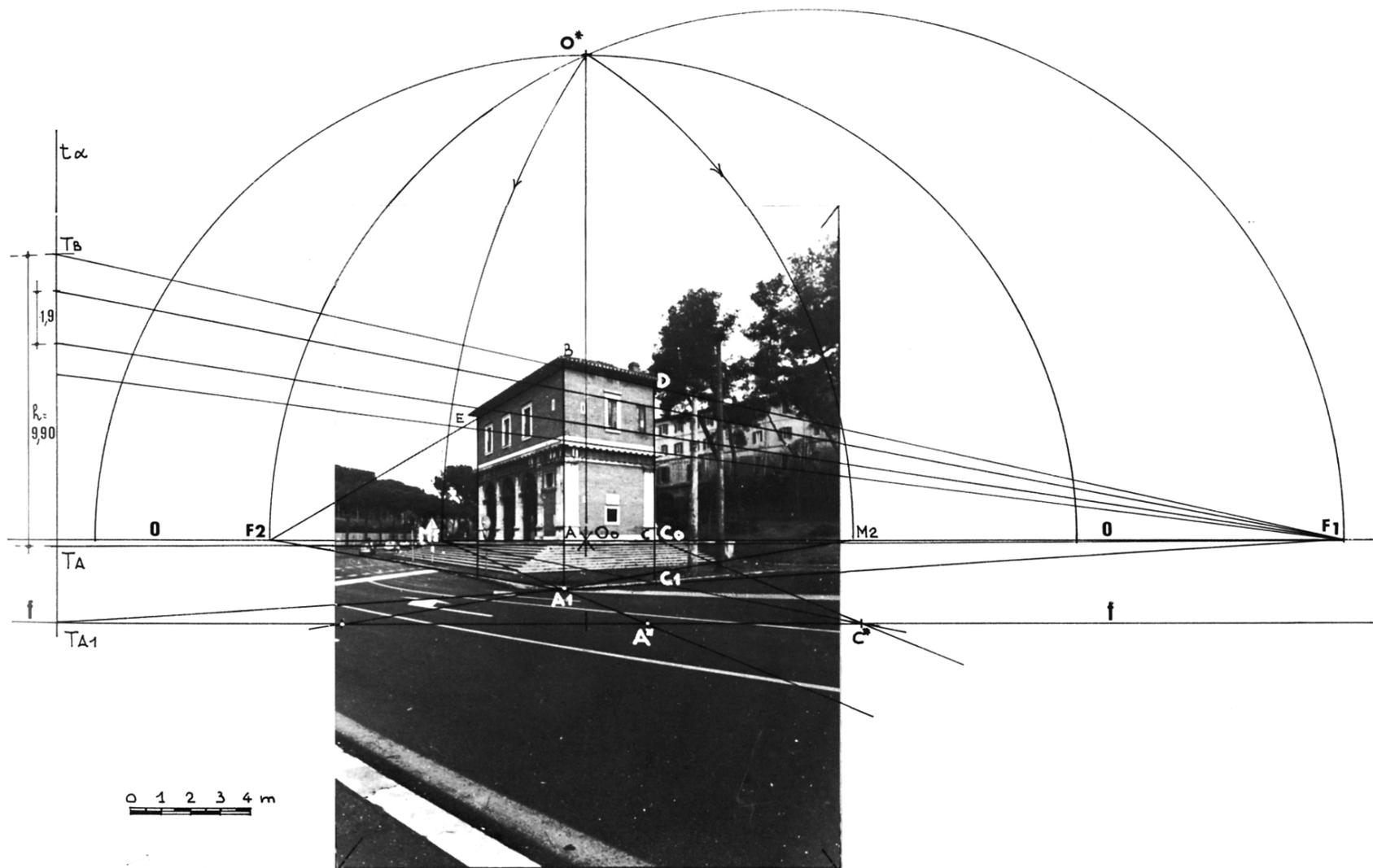
**17. Il metodo fotogrammetrico: fondamenti teorici**

## IL RILEVAMENTO ARCHITETTONICO

### Il metodo fotogrammetrico: fondamenti teorici

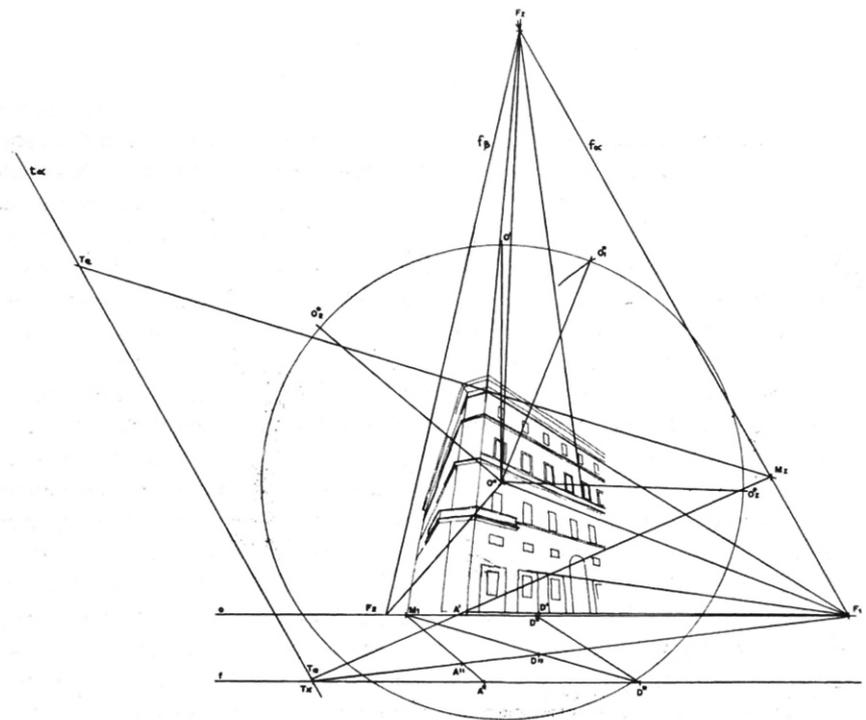
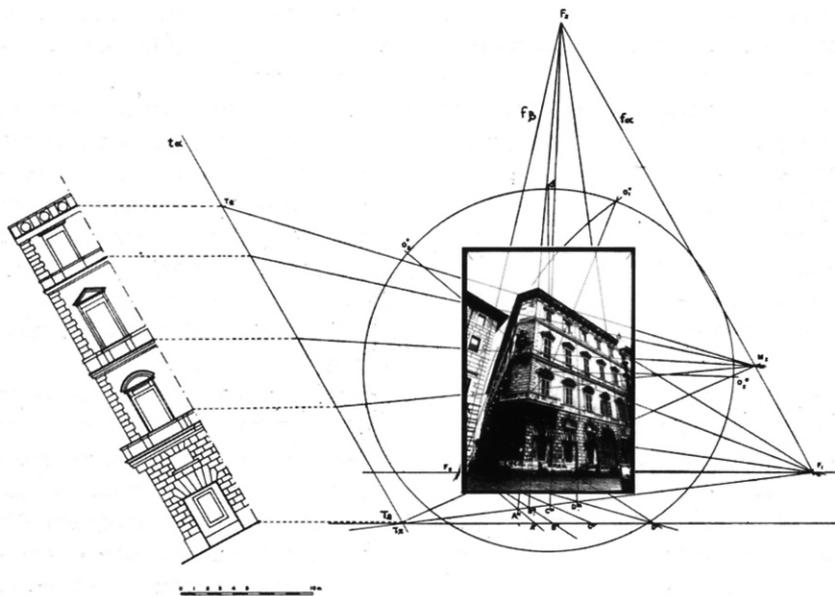
Si definisce *fotogrammetrico* un rilievo effettuato con strumenti di ripresa e di restituzione fotografica.

Esso sfrutta la sostanziale analogia esistente fra una fotografia e una prospettiva; così come da una prospettiva è possibile ricostruire le proiezioni ortogonali dell'oggetto rappresentato, nella restituzione fotogrammetrica è possibile ricavare, fatte salve alcune condizioni, il disegno in scala dei prospetti dell'edificio fotografato.



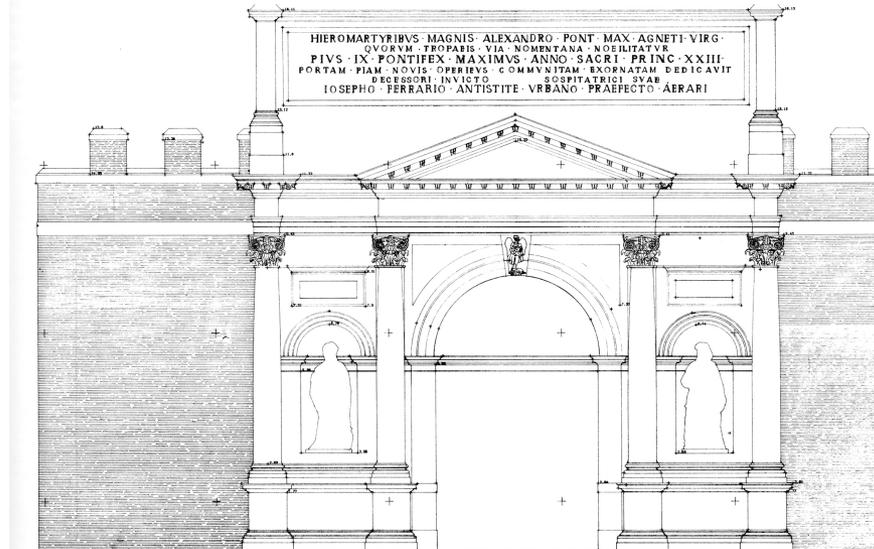
Esempio di restituzione prospettica da un fotogramma.

La restituzione prospettica e la restituzione fotogrammetrica si basano sui medesimi principi.



Restituzione prospettica da fotogramma: Palazzo Braschi a Roma.

Essendo basato su una riproduzione fotografica, il rilevamento fotogrammetrico permette di ottenere una quantità di informazioni molto superiore rispetto a tutti gli altri tipi di rilevamento. Permette, inoltre, di rilevare le coperture di un edificio, di un centro urbano o di una porzione di territorio anche estesa. In questi casi, gli apparecchi fotografici vengono montati su velivoli appositamente predisposti e il procedimento prende il nome di rilevamento *aerofotogrammetrico*.

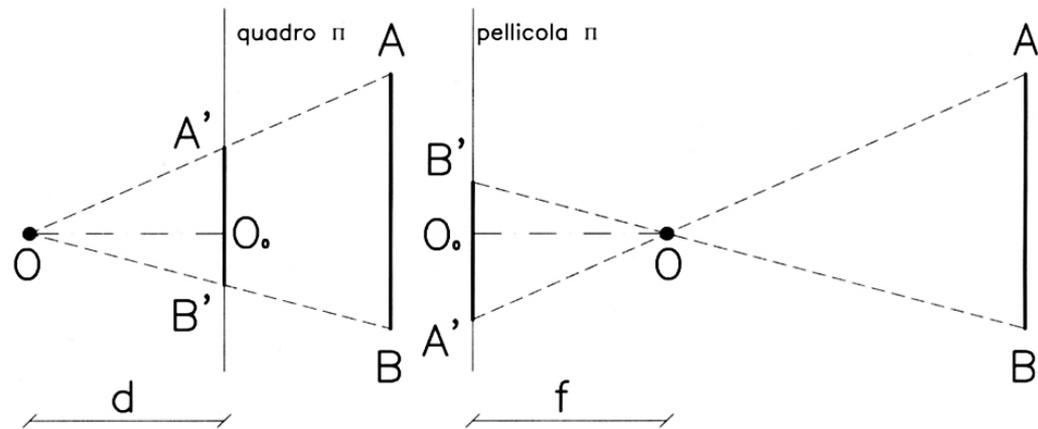
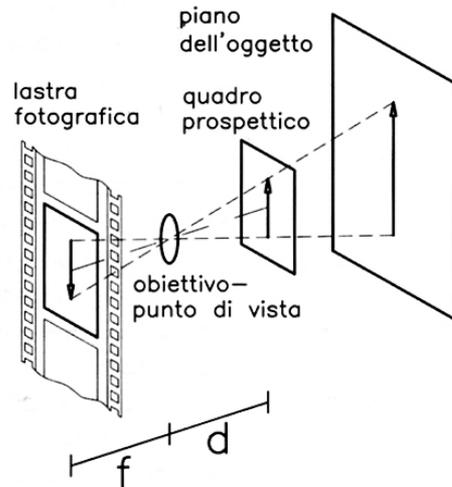
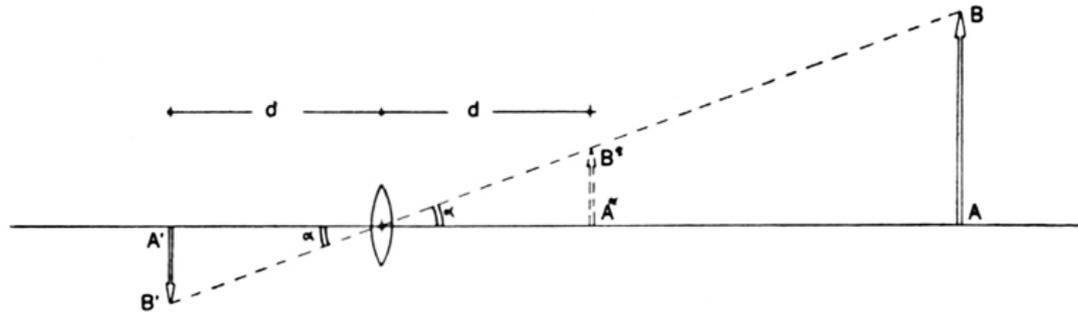


Un esempio di ortofotogramma e conseguente restituzione grafica.



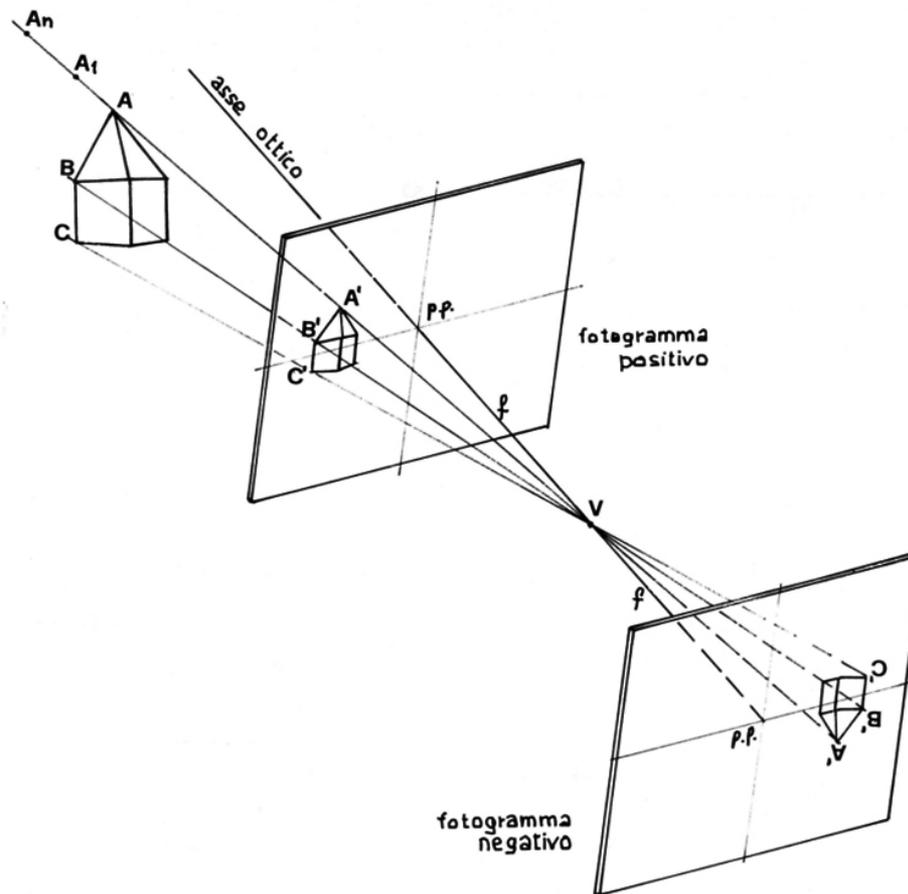
Un fotogramma metrico aereo realizzato per la Regione Umbria.

Una restituzione prospettica si basa sulla ricerca, in una prospettiva, della linea di orizzonte, del punto principale e della distanza principale, determinati i quali è possibile risalire alle misure reali dell'oggetto. Se applichiamo i principi teorici della restituzione prospettica a una fotografia, effettueremo una restituzione fotogrammetrica elementare. Infatti anche una fotografia è, come la fotografia, una proiezione centrale: il centro dell'obiettivo corrisponde al punto di vista di una proiezione centrale, la pellicola corrisponde al piano prospettico, la distanza focale dell'obiettivo corrisponde alla distanza principale. La fotografia si ottiene con una fotocamera dotata di obiettivo (ossia un sistema di lenti convergenti) e di pellicola sensibile. Gli oggetti posti davanti all'obiettivo vengono proiettati sulla pellicola, rimpiccioliti e rovesciati. Se immaginiamo di disporre un piano alla stessa distanza intercorrente fra l'obiettivo e la pellicola, potremo proiettare su di esso un'immagine identica (anche se rovesciata) rispetto a quella impressionata sulla pellicola stessa.



Schemi illustranti le relazioni geometrico - proiettive fra fotografia e prospettiva. Nella figura in alto, AB è l'oggetto, A'B' è l'immagine impressionata sulla pellicola e A\*B\* è l'immagine prospettica identica e rovesciata rispetto a A'B'.

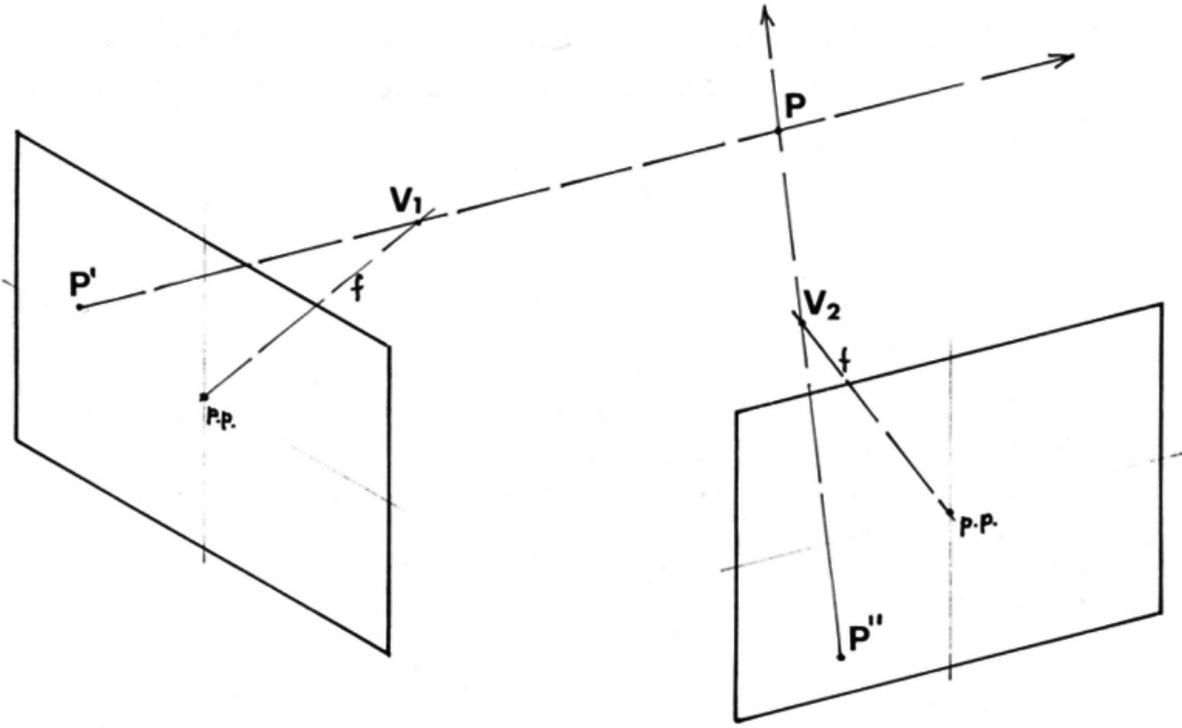
Effettuando una restituzione da un solo fotogramma si incontrano alcune difficoltà; infatti, pur conoscendo la posizione del punto principale (intersezione dell'asse ottico con la pellicola) e la distanza focale dell'obiettivo (questi dati si chiamano "orientamento interno" di un fotogramma), rimane comunque indeterminata la posizione nello spazio del punto che ha determinato l'immagine e, quindi, non si è in grado di stabilire se si tratti di un oggetto piccolo, a poca distanza dalla fotocamera, o più grande, e quindi a distanza maggiore. Il problema è risolvibile, come vedremo, prelevando alcune misure direttamente sull'oggetto, oppure misurando la distanza dell'oggetto fotografato dal centro ottico della fotocamera.



Schema delle relazioni fra oggetto, fotogramma positivo e fotogramma negativo.  
 In assenza di misure prelevate sull'oggetto, o della distanza fra oggetto e centro ottico della fotocamera, è impossibile stabilire le dimensioni dell'oggetto stesso.

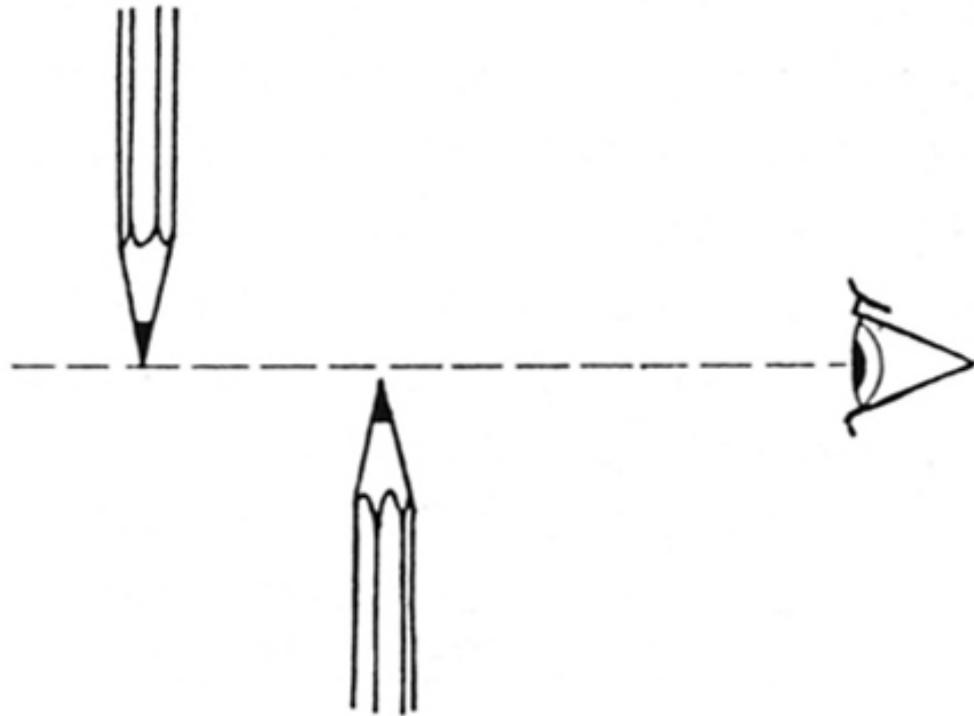
Il problema della individuazione dell'esatta posizione di un punto nello spazio si risolve, invece, se lo stesso punto appare in due fotogrammi differenti. In questo caso, i due raggi passanti per  $V_1$  e  $V_2$  (centri ottici delle due fotocamere) e per  $P'$  e  $P''$  (immagine del punto  $P$  riprodotto sulla pellicola) si incontrano nello spazio univocamente nel punto  $P$ , di cui si possono misurare le coordinate spaziali.

Tale principio è alla base della cosiddetta *stereofotogrammetria*.



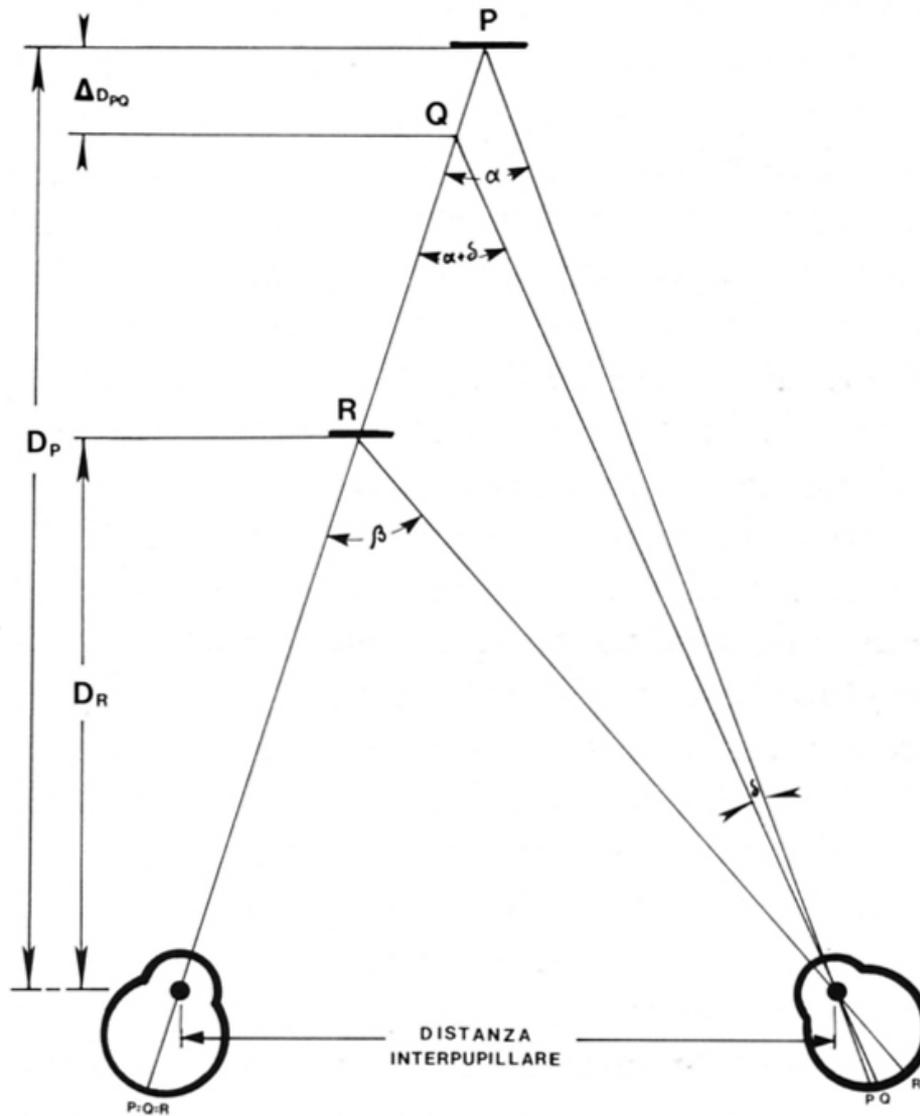
Determinazione univoca, nello spazio, di un punto  $P$  tramite due distinti fotogrammi.

La stereofotogrammetria funziona in modo analogo alla visione umana, anch'essa stereoscopica. Il fatto di possedere due occhi posti a una certa distanza l'uno dall'altro ci permette, per oggetti posti entro una distanza di circa 500 metri, di avere una percezione della loro profondità. Lo stesso non avverrebbe se avessimo un solo occhio. Provando a osservare con un occhio solo due matite, disposte come nella figura, non riusciremmo ad apprezzarne la posizione nello spazio. Cosa che, invece, avviene immediatamente aprendo entrambi gli occhi.



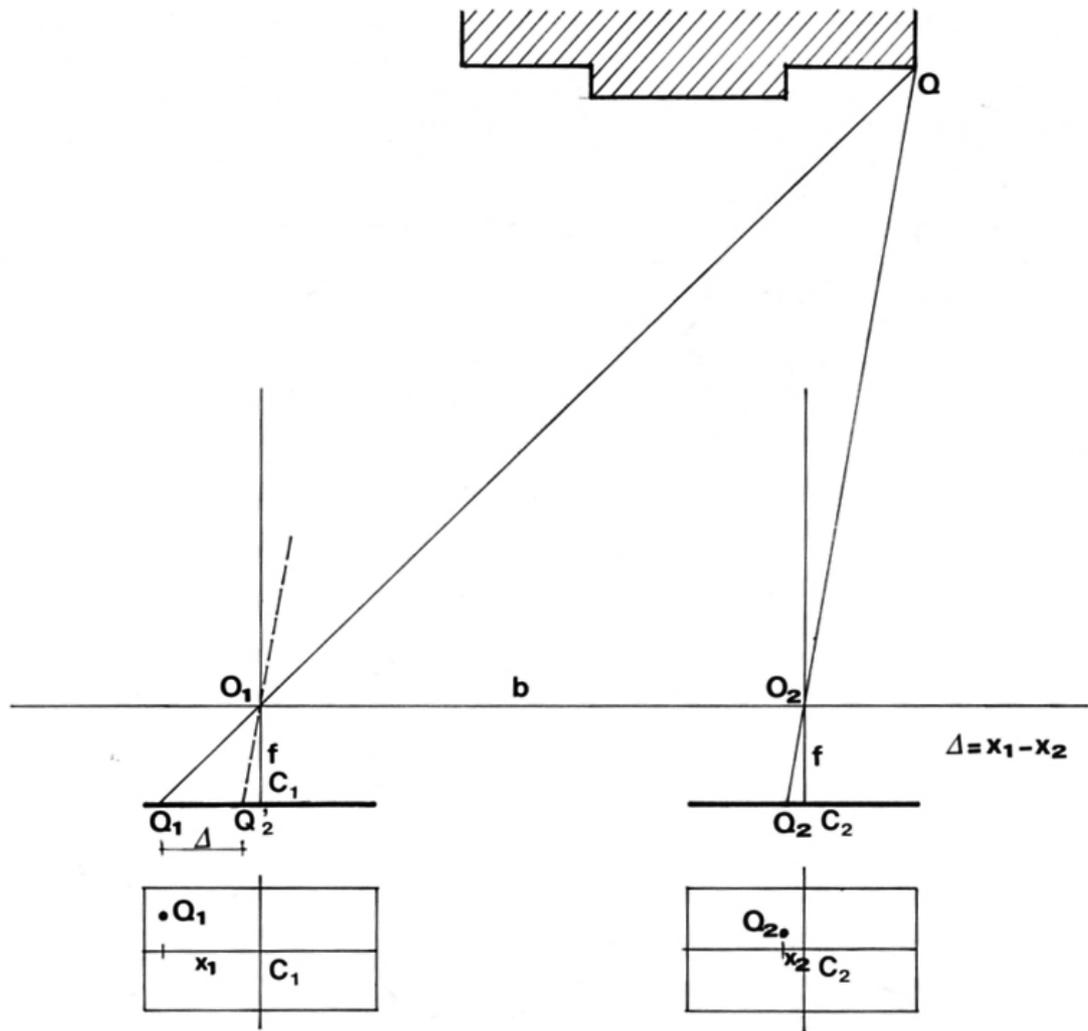
La visione monocolare non permette di osservare la posizione nello spazio di due matite.

L'angolo di convergenza delle pupille, ovviamente, varia in funzione della distanza di un oggetto da esse e modifica la cosiddetta *parallasse angolare* ( $\delta$ ). Quando un oggetto è vicino, il valore di  $\delta$  aumenta; quando si allontana, diminuisce, per tendere a zero quando l'oggetto si avvicina all'infinito.



Schema del sistema telemetrico della visione umana.

La stereofotogrammetria sfrutta il principio della *parallasse*, ossia la differenza di coordinate, rispetto al centro della lastra, tra l'immagine di un punto sulla lastra di destra rispetto all'immagine del medesimo punto sulla lastra di sinistra. Immaginando di dover rilevare un punto  $Q$ , posto sul prospetto di un edificio (fig. alla diapositiva successiva), consideriamo il centro dei due obiettivi  $O_1$  e  $O_2$  e la distanza focale  $f$  (distanza principale). Effettuata la ripresa, il punto  $Q$  determinerà sulle due lastre i punti  $Q_1$  e  $Q_2$ . Immaginiamo quindi di disporre una coppia di assi cartesiani con l'origine coincidente con il punto  $O_1$ , centro dell'obiettivo di sinistra; l'asse delle  $x$  risulterà parallelo ai fotogrammi e passerà sia per  $O_1$  che per  $O_2$ , mentre l'asse  $y$  risulterà perpendicolare alla base  $b$  di ripresa. Costruendo, a partire da  $O_1$ , la parallela al raggio visuale  $O_2Q$  (linea tratteggiata), otterremo sulla lastra di sinistra il punto  $Q'_2$ ; calcolando quindi la differenza di ascissa fra i punti  $Q_1$  e  $Q_2$ , si individua la distanza  $D$  (parallasse del punto  $Q$ ).

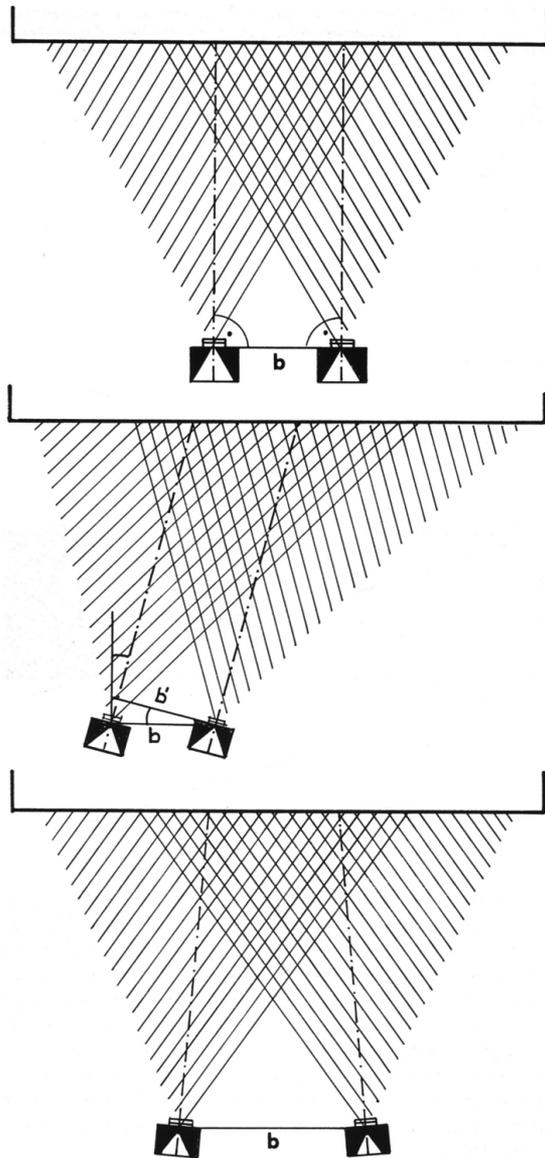


Schema della ripresa stereofotogrammetrica di un generico punto  $Q$ .  
 I due fotogrammi sono rappresentati in pianta e in prospettiva.

Dal punto di vista operativo, il rilevamento fotogrammetrico avviene secondo quattro fasi:

- il progetto di rilievo;
- la ripresa fotogrammetrica;
- l'appoggio topografico;
- la restituzione fotogrammetrica.

Del progetto di rilievo si è già detto nella lezione 7. Per quanto concerne la *ripresa*, occorre innanzitutto distinguere la *presa normale* (quando l'asse della fotocamera è perpendicolare rispetto al piano di facciata dell'edificio) dalla *presa inclinata* (asse inclinato rispetto alla superficie da riprendere) e dalla *presa convergente*. Anche se i restitutori analitici permettono di restituire tutti i tipi di prese, è conveniente disporsi perpendicolarmente rispetto alla facciata per evitare che gli oggetti si sovrappongano alle pareti retrostanti, coprendo una parte della superficie da rilevare.

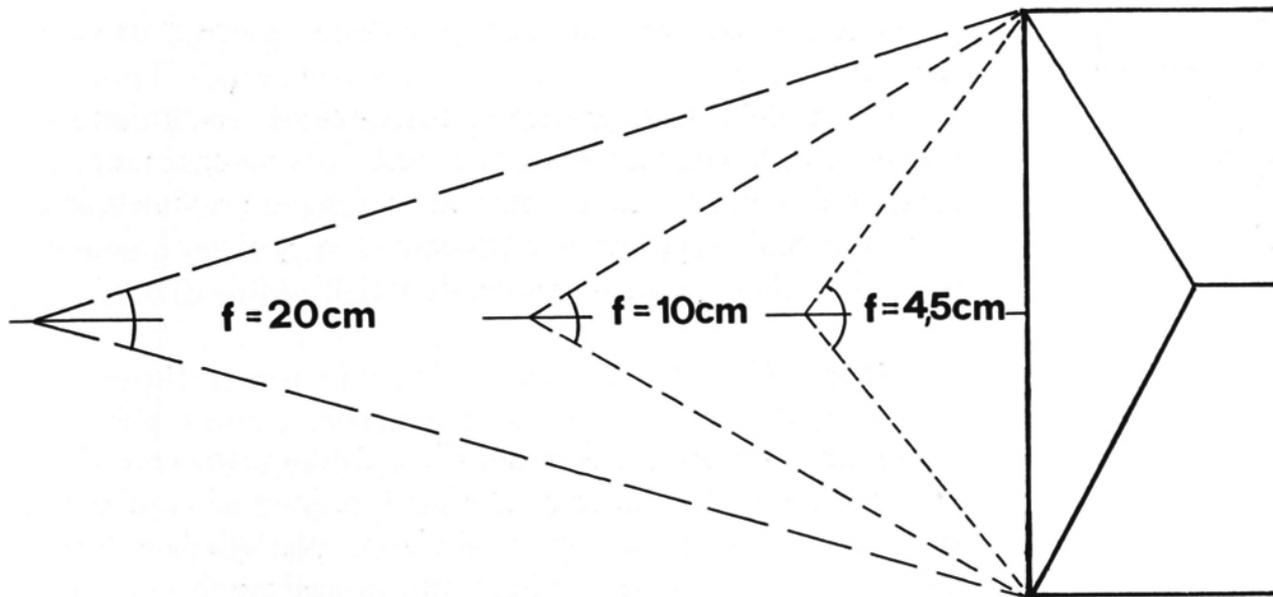


Schema esemplificativo di presa normale, inclinata e convergente.

Successivamente è opportuno conoscere la *scala media* del fotogramma, ossia il rapporto fra le dimensioni dell'oggetto riprodotto sul fotogramma stesso (p. es. la facciata dell'edificio da rilevare) e le dimensioni dell'oggetto reale. Il rapporto di scala medio si calcola secondo la seguente espressione:

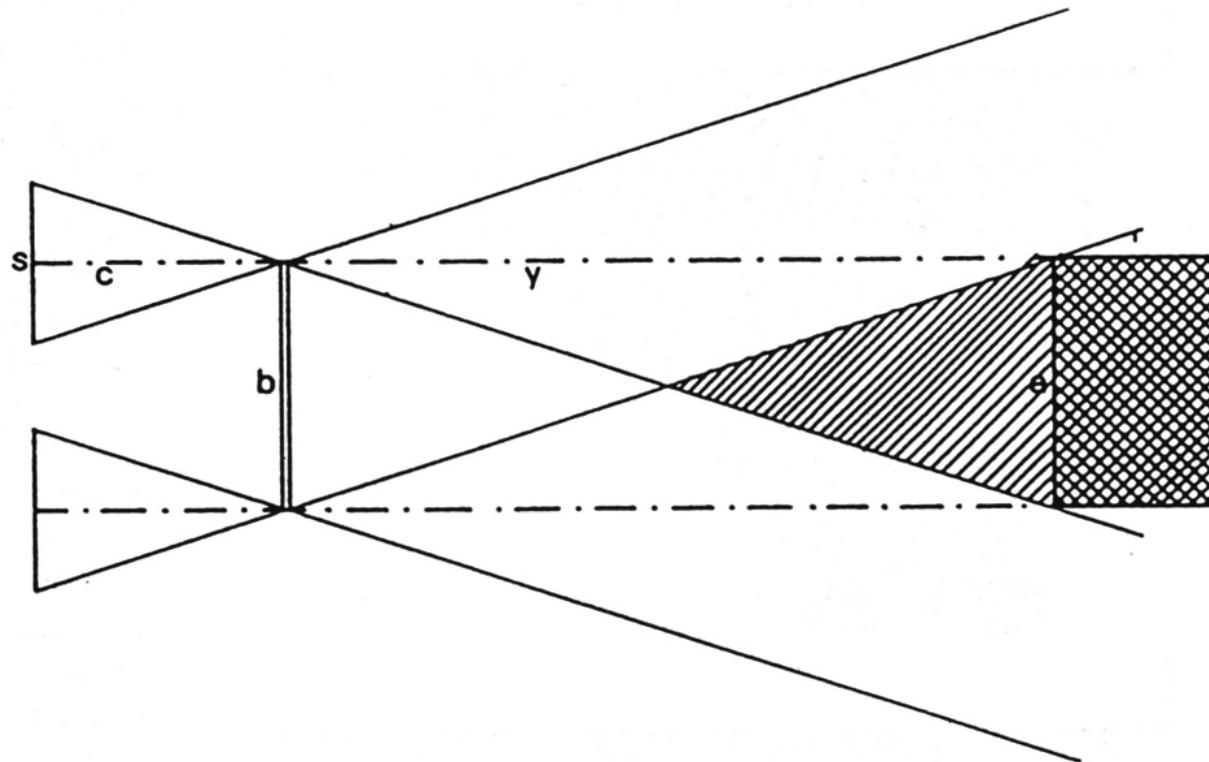
$$1 : s = f : D$$

In cui **1 : s** è il rapporto di scala, **f** è la distanza focale e **D** è la distanza del soggetto dall'edificio. Se stiamo riprendendo una facciata da 20 metri di distanza con un obiettivo di 100 mm di focale, il fotogramma sarà in scala 1:200. Quindi, man mano che ci sia allontana dal soggetto, se si vuole mantenere la stessa scala media occorre montare sul corpo macchina un obiettivo di lunghezza focale maggiore. Ovviamente la scala media deve essere determinata in precedenza, in funzione della restituzione e in funzione della complessità dell'oggetto stesso: se, ad esempio, dovessimo restituire il prospetto di un edificio in scala 1:20, la scala del fotogramma dovrà essere almeno pari a 1:100, per non perdere troppa definizione nell'immagine.



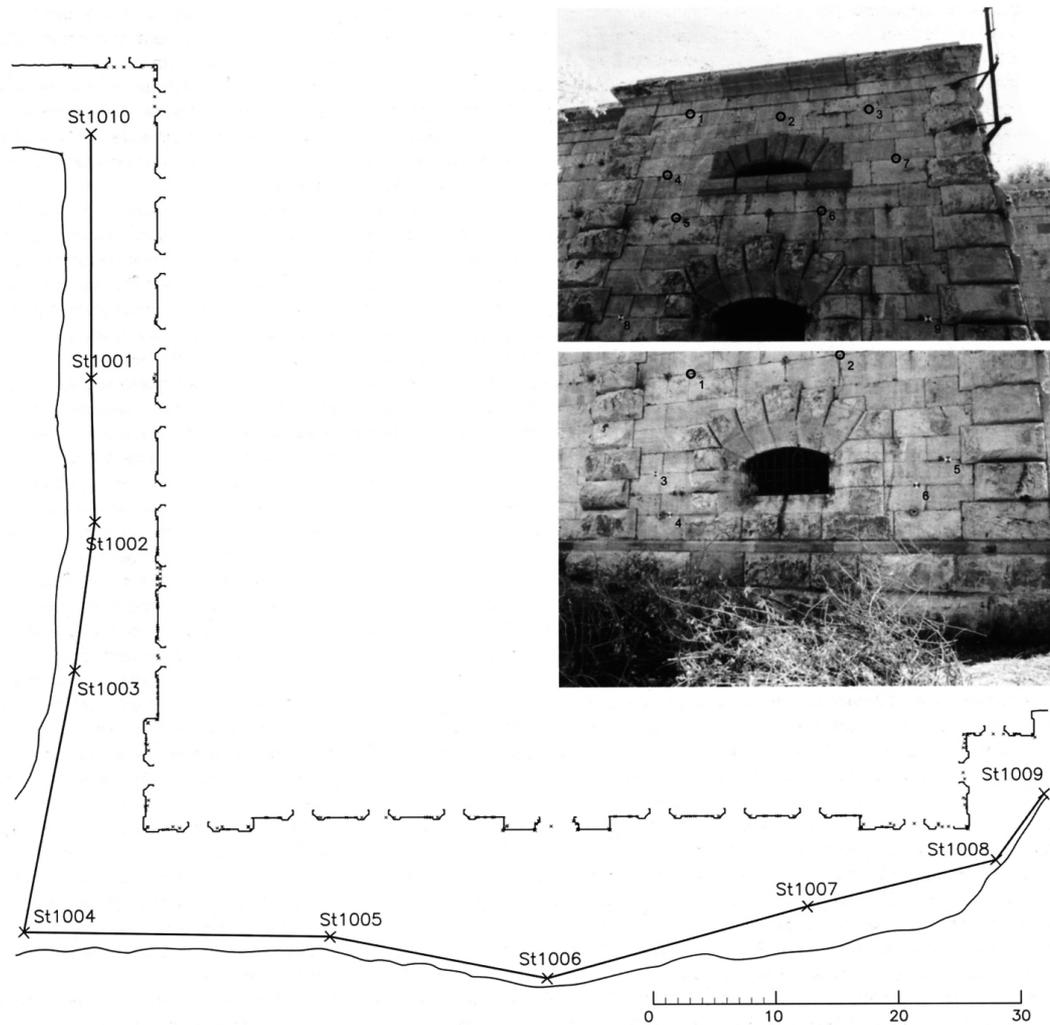
Schema della relazione fra lunghezza focale dell'obiettivo e distanza della fotocamera dal soggetto, a parità di scala media del fotogramma.

Infine occorre definire la base di presa ( $b$ ), ossia la distanza fra i due punti di presa adiacenti. Un'ampia base di presa riduce il numero degli scatti e favorisce la lettura stereoscopica, ma fa diminuire la sovrapposizione fra i fotogrammi. Di norma la base di presa deve essere fra il 15% e il 33% della distanza  $D$ , mentre ogni fotogramma deve sovrapporsi a quello adiacente per almeno 1,5 metri.

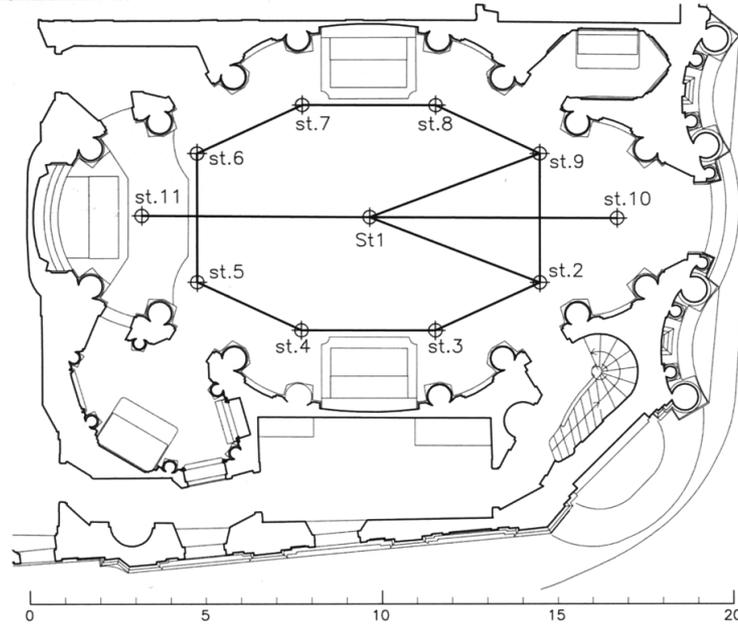
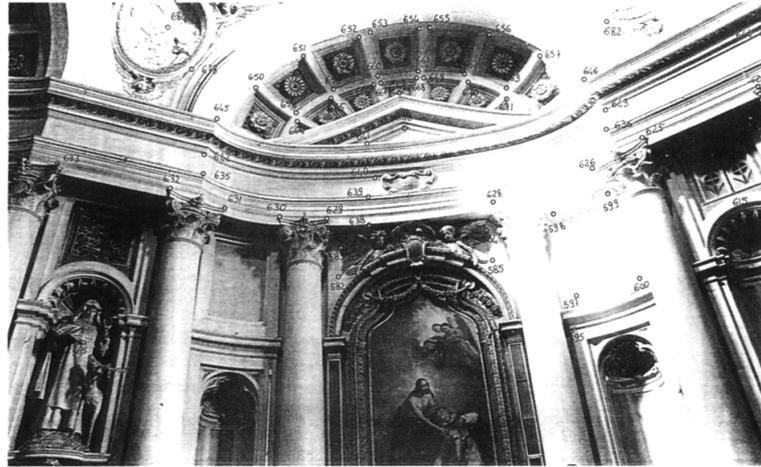


Schema di corretta sovrapposizione dei fotogrammi in relazione alla larghezza della base.

La fase di *appoggio topografico* consiste nel definire, mediante un rilevamento di tipo strumentale, la posizione planimetrica e altimetrica di tutti i punti di presa. Alla fase di appoggio topografico appartiene il rilevamento, se possibile con strumento topografico, di almeno 3 punti non allineati dell'oggetto fotografato.



Esempio di appoggio per restituzione fotogrammetrica e rilievo dei punti di controllo per raddrizzamento (questi ultimi sono i punti cerchiati sulla foto) per il rilievo fotogrammetrico della ex batteria Umberto I a La Spezia.



Realizzazione di una poligonale planialtimetrica e rilievo dei punti di controllo per il rilievo fotogrammetrico di San Carlo alle Quattro Fontane a Roma.

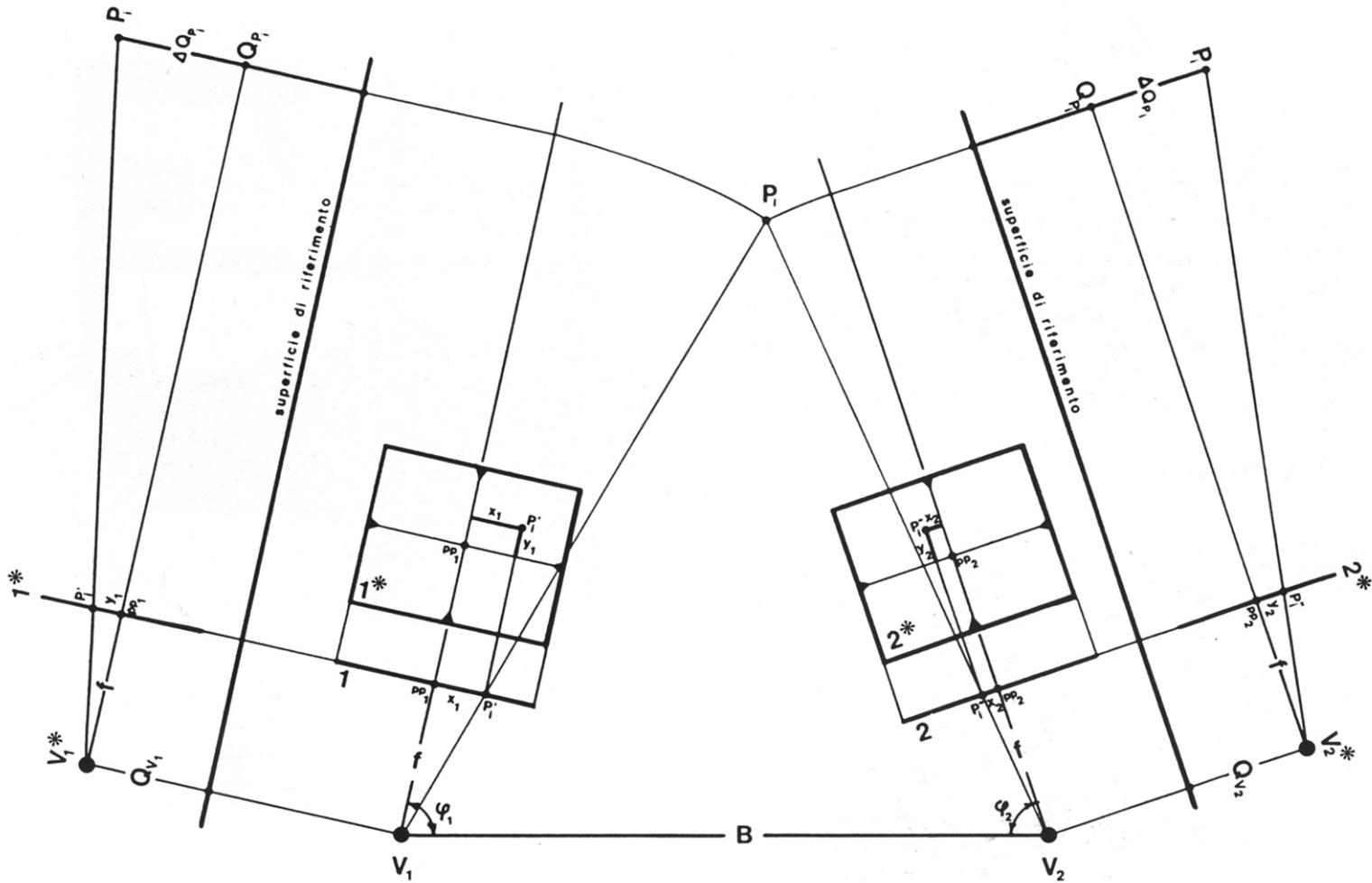
La fase della *restituzione fotogrammetrica* coincide con il procedimento mediante il quale si ottiene una rappresentazione grafica da una serie di fotogrammi relativi a un dato oggetto.

La restituzione fotogrammetrica può essere:

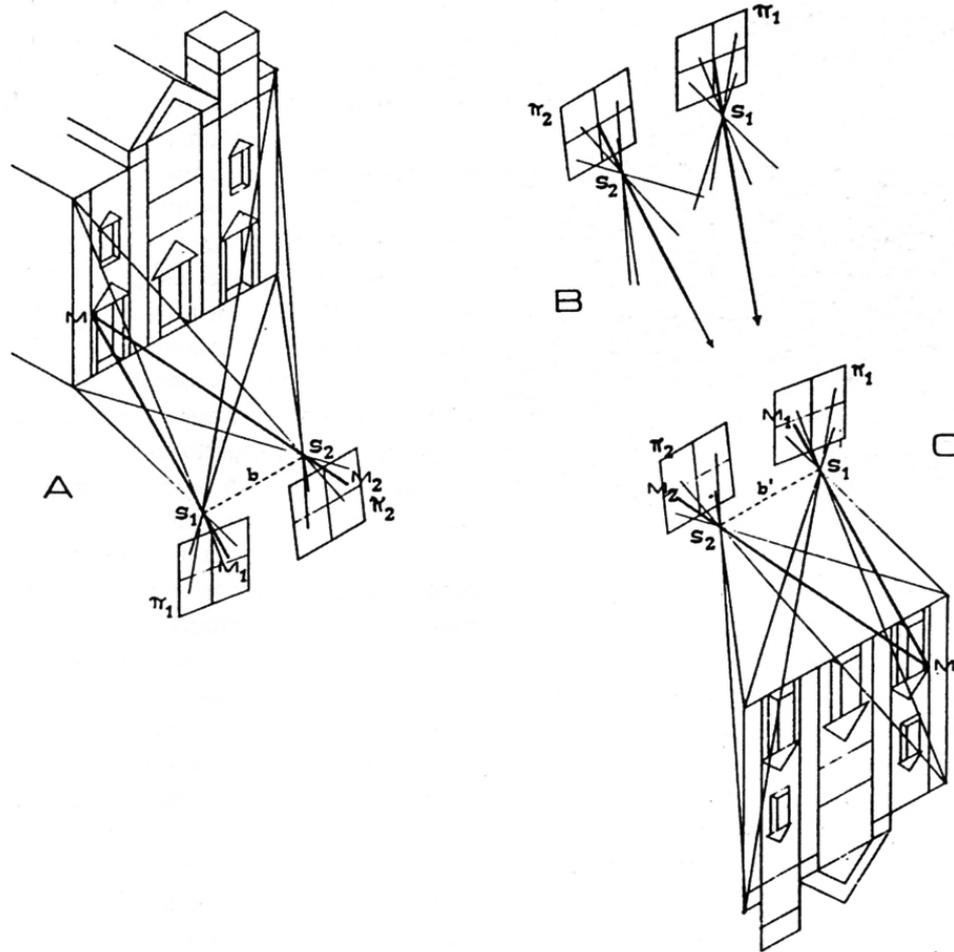
- grafica speditiva;
- analogica;
- analitica;

e si definisce *normale* quando l'apparecchio di restituzione consente di raggiungere una precisione grafica di 0,1 - 0,2 mm, *di precisione* quando si ottengono valori superiori.

La restituzione grafica *speditiva* viene effettuata quando non si dispone di un apparecchio di restituzione fotogrammetrica e quando non è necessaria una grande precisione. A partire da due fotogrammi, si determina graficamente l'intersezione dei raggi visuali congiungenti i centri ottici delle fotocamere con la proiezione della posizione del punto corrispondente su ciascun fotogramma.

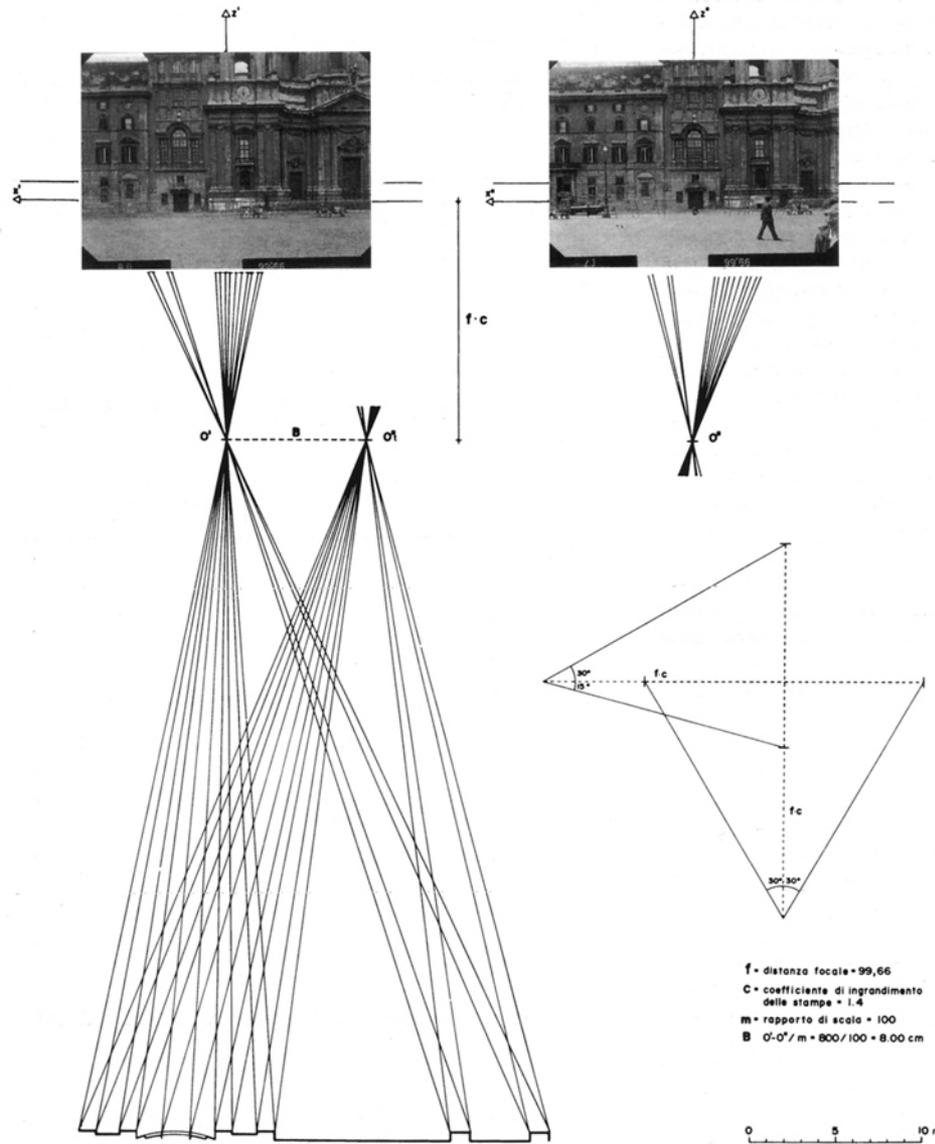


Restituzione grafica speditiva del punto  $P$  mediante ribaltamento della posizione planimetrica (intersezione dei raggi visuali) e calcolo della quota dello stesso punto  $P$ .



Schema del procedimento di restituzione fotogrammetrica.

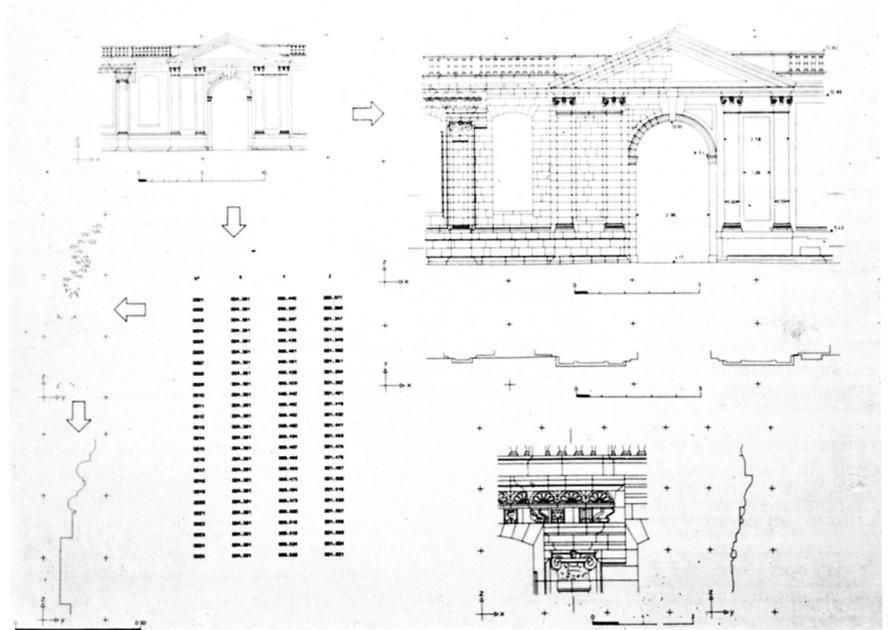
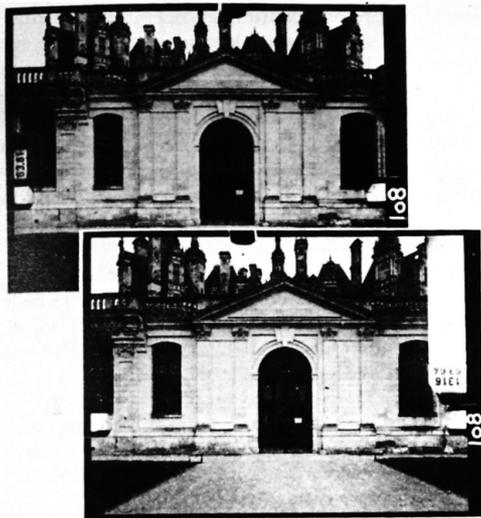
A sinistra (A), il processo di formazione delle immagini; in alto a destra (B), la ricomposizione dei fasci prospettici e il loro orientamento reciproco; in basso a destra (C), la restituzione con la costruzione del modello virtuale.



Esempio di stereorestituzione grafica speditiva di una porzione della cortina muraria di Piazza Navona.

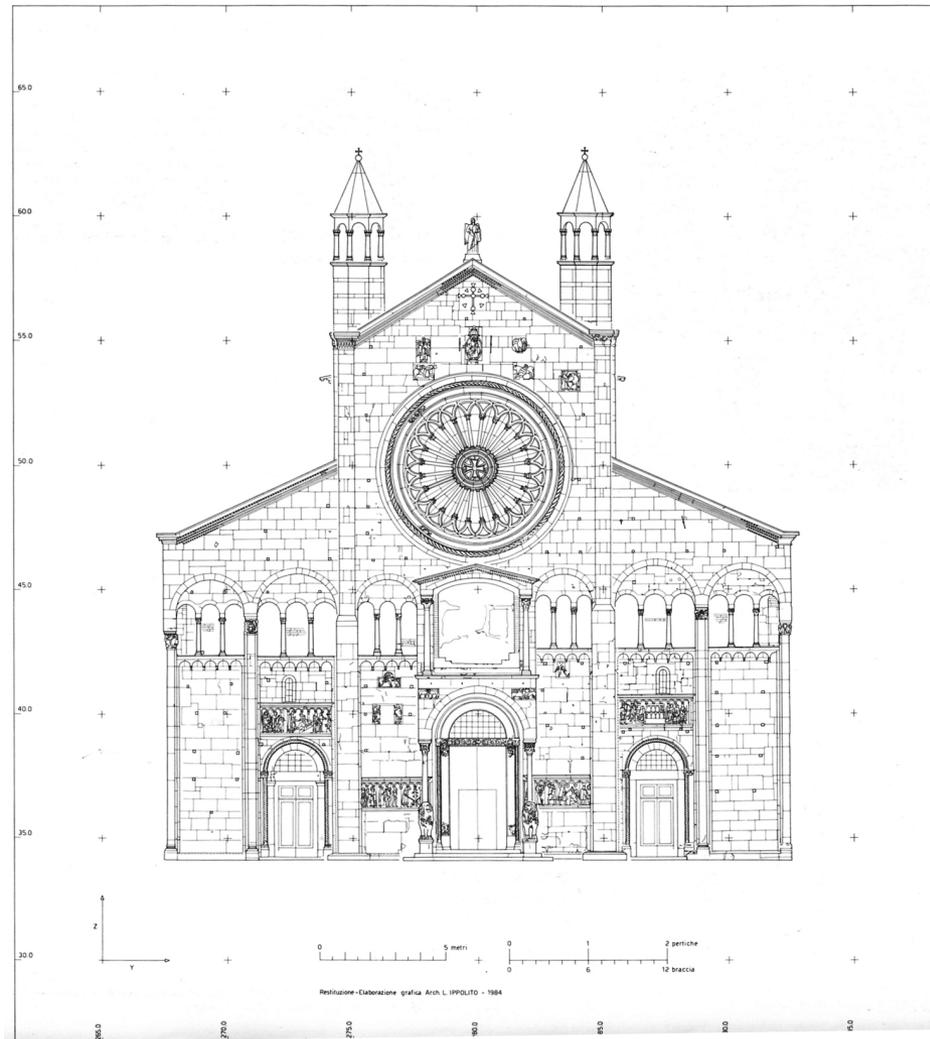
La restituzione grafica *analogica* veniva realizzata un tempo con apparecchi ottico - meccanici in grado di realizzare un modello analogico della presa. La restituzione grafica *analitica* ha successivamente preso il posto di quella analogica, grazie alla diffusione di calcolatori elettronici sempre più potenti. Si fonda sul principio, enunciato in precedenza, che permette di calcolare le coordinate di un generico punto P se si conoscono le coordinate corrispondenti  $x-y$  e  $x'-y'$  sui fotogrammi. La restituzione avviene collimando i singoli punti da restituire. La restituzione può essere:

- numerica, in cui ogni punto del soggetto viene espresso attraverso le sue coordinate cartesiane spaziali (successivamente si provvede alla stesura degli elaborati grafici);



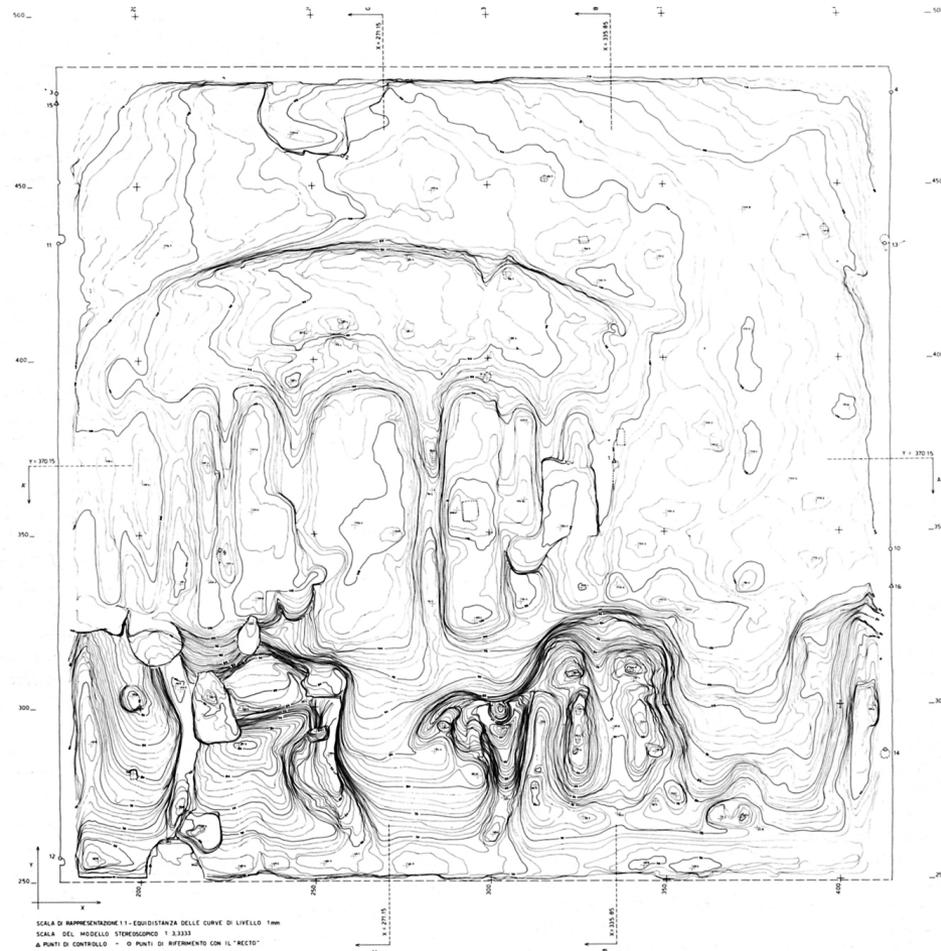
Esempio di restituzione fotogrammetrica con rappresentazione numerica della Porta Reale del Castello di Chambord. La rappresentazione grafica deriva da una elaborazione successiva alla costruzione del modello numerico.

- a tratto, in cui l'oggetto viene riprodotto secondo linee e tratteggi;



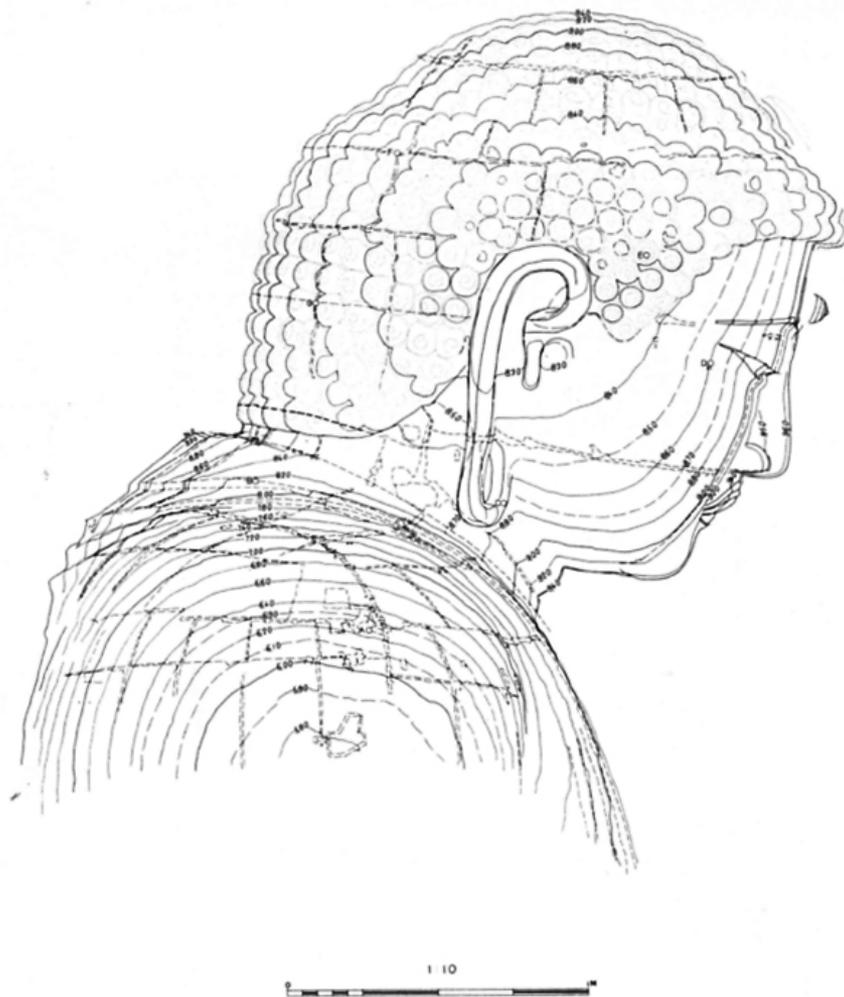
Esempio di restituzione fotogrammetrica a tratto del Duomo di Modena.

- a curve di livello, particolarmente utilizzata quando il soggetto presenta forme non geometrizzate o comunque plastiche;



Esempio di restituzione fotogrammetrica a curve di livello di una formella del Battistero di Firenze.

- mista, in cui si impiegano contemporaneamente più tipi di restituzione.



Esempio di restituzione fotogrammetrica mista del Grande Buddha di Kamakura.