

Fotogrammetria

Corso di topografia e cartografia a.a. 2019/2020

Introduzione

- Con il termine **fotogrammetria** si intendono tutte quelle procedure che utilizzano immagini fotografiche di un oggetto per ricavarne le dimensioni.
- Effettuare il rilievo di un oggetto significa ricavare la **posizione spaziale di tutti i punti di interesse**. Mediante la fotogrammetria questa operazione viene fatta, in gran parte, non direttamente sull'oggetto ma operando su immagini fotografiche.

Introduzione

- Indubbiamente uno degli aspetti che ha maggiormente ostacolato la diffusione della fotogrammetria in molti settori è rappresentato dall'elevato costo e complessità degli apparecchi usati per svolgere le operazioni fotogrammetriche.
- La recente disponibilità e diffusione di calcolatori in grado di manipolare grosse quantità di dati, unitamente ai progressi tecnologici nella computer grafica ha permesso di eseguire molte elaborazioni del processo di rilievo fotogrammetrico in ambiente digitale.

Introduzione

- Proprio grazie a questa evoluzione della tecnologia verso il **digitale**, si è avuto, nell'ambito della fotogrammetria, una rapida diffusione ed uno sviluppo che ha portato ad applicare più frequentemente e più estesamente questa metodologia di rilievo ad altri settori dove raramente veniva utilizzata.

- La storia della fotogrammetria è molto legata, nei suoi principi teorici, alla storia della **geometria descrittiva** ed in particolare alla formulazione della **teoria della prospettiva**;
- **Applicazioni** → legate alla storia dell'ottica, della fotografia ed alle relative scoperte tecnologiche.

- la **fotografia**, da un punto di vista ottico-proiettivo, è assimilabile ad una **proiezione centrale**: ovvero **tutti i raggi provenienti dal mondo esterno vengono convogliati attraverso le lenti dell'obiettivo in un punto** (o assimilabile a tale) **e proiettati su uno schermo** che li intercetta (pellicola)
- pertanto si può affermare che la fotografia è, con buona approssimazione, una **vista prospettica della realtà**.

Evoluzione

- nel 1750 fondamenti teorici
- metrografia: 1850-1900
- stereofotogrammetria terrestre 1900-1920
- fotogrammetria aerea inizio 1920-1940
- fotogrammetria aerea sviluppo 1940-1960
- fotogrammetria analitica 1960-1988
- fotogrammetria da satellite dal 1986
- fotogrammetria digitale dal 1988

Definizioni

- è stato introdotto, a partire dal 1903, da Albrecht Meydenhauer il termine **fotogrammetria** per individuare l'insieme dei processi di utilizzazione delle prospettive fotografiche centrali nella formazione di cartografie topografiche e nella documentazione architettonica.
- Per le specifiche applicazioni che ne vengono fatte, la metodologia prende il nome di
- **fotogrammetria terrestre**, se le prese vengono effettuate alla superficie del suolo
- **fotogrammetria aerea**, quando esse vengono effettuate da piattaforma spaziale aerea.

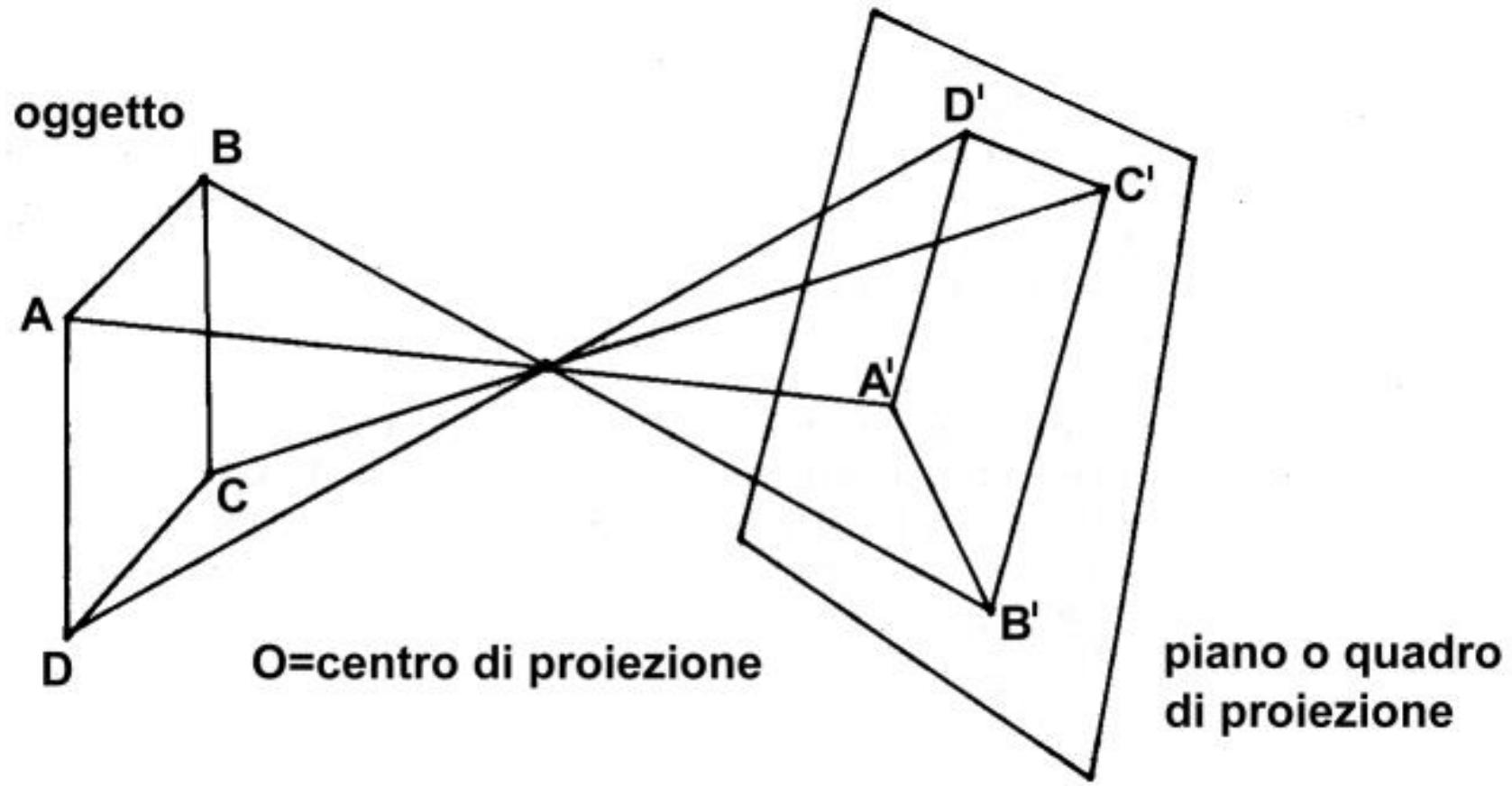
Fotogrammetria dei vicini

- Nella prassi consolidata
 - **fotogrammetria dei vicini**, o Close-Range Photogrammetry, quando gli oggetti interessati risultano situati ad una **distanza inferiore a 300 m** circa, dalla camera da presa fotogrammetrica;
 - **fotogrammetria dei lontani**, quando gli oggetti sono situati a distanze maggiori.
- Il limite dei 300 m costituisce anche la delimitazione della quota di sicurezza per le riprese da aeromobile.

Proiezione centrale

- Dal punto di vista geometrico una foto di un qualsiasi elemento può essere assimilata, con sufficiente approssimazione, ad una **proiezione centrale** dello stesso.
- Una proiezione centrale è ottenuta proiettando i punti dell'oggetto su un piano, (detto piano o quadro di proiezione), da un punto esterno ad esso, (detto **centro di proiezione o di vista**). Le rette congiungenti i punti dell'oggetto con il centro di proiezione sono dette **rette proiettanti**.
- I loro punti di intersezione con il piano di proiezione costituiscono le proiezioni o "**immagini**" dei punti dell'oggetto.

Proiezione centrale



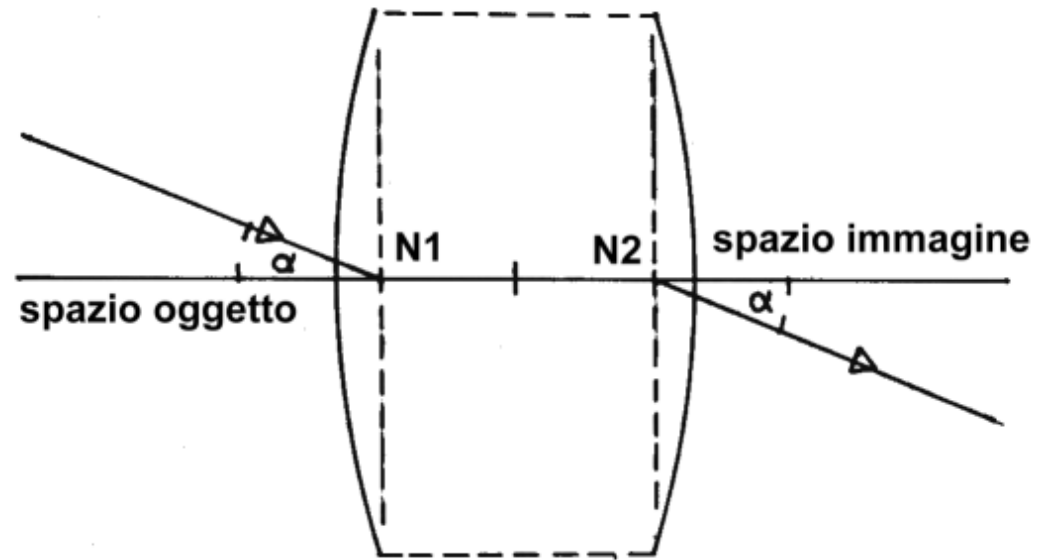
- Nel caso della fotografia, il **piano di proiezione** è assimilabile al **piano della emulsione fotografica**, il **centro di proiezione** ad un **punto dell'obiettivo della camera fotografica**, le **rette proiettanti** ai **raggi luminosi** che hanno formato l'immagine fotografica in questione.

Punti nodali di un obbiettivo

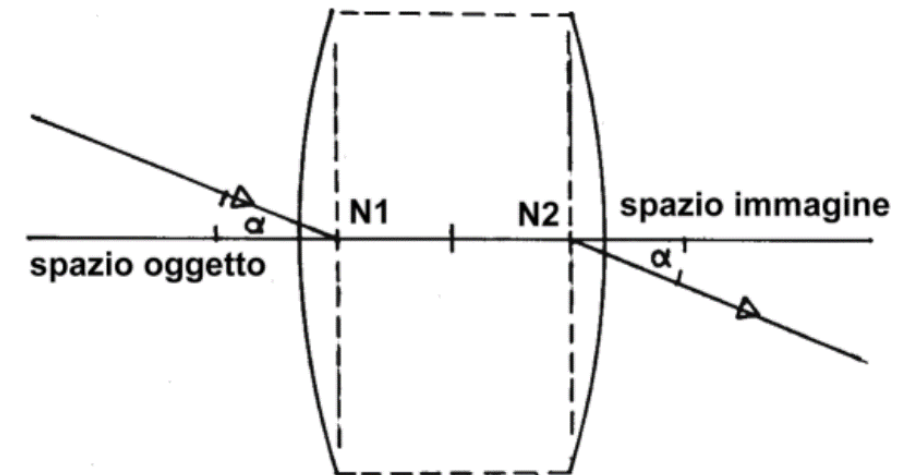
In un sistema ottico complesso, qual è nella realtà un obbiettivo fotografico, non esiste un unico centro.

In esso possono invece individuarsi **due punti**, posti ad una certa distanza l'uno dall'altro, lungo l'asse ottico del sistema.

Tali punti sono detti **punti nodali**.



- I **raggi luminosi** provenienti dallo spazio esterno (**spazio oggetto**) alla camera fotografica, passano dal primo di tali punti nodali (**punto nodale esterno**), ed emergono nello spazio interno alla camera fotografica (**spazio immagine**), passando dal secondo punto nodale (o **punto nodale interno**), in direzione parallela a quella che essi avevano nello spazio oggetto, raggiungendo quindi il piano della emulsione fotografica.
- Ovviamente anche questa è un'astrazione, riferita ad un sistema ottico ideale; nella realtà la situazione è assai più complessa.



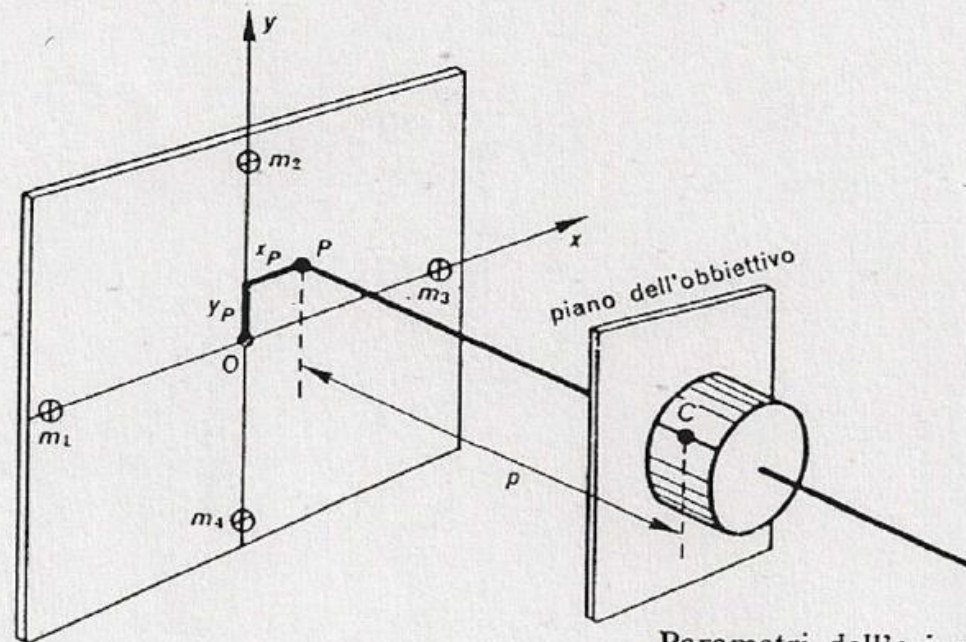
Punto di presa

- Dal punto di vista della utilizzazione pratica della fotografia in fotogrammetria tale schematizzazione è però sufficiente.
- Possiamo infatti assimilare il primo punto nodale al **centro di proiezione della immagine fotografica** e considerare nulla la distanza fra i due punti nodali.
- Il **primo punto nodale individua il punto dello spazio in cui la fotografia è stata scattata (punto di presa)**.

- L'insieme dei raggi luminosi che, passando attraverso l'obiettivo, forma l'immagine fotografica, costituisce un fascio o stella di raggi la cui forma dipende dalle caratteristiche geometriche della camera utilizzata.
- Per utilizzare una fotografia ai fini fotogrammetrici, cioè per ricavarne misure dell'oggetto fotografato, è indispensabile conoscere perfettamente gli elementi che individuano tali caratteristiche od avere la possibilità di determinarli in modo appropriato.
- Tali elementi sono detti elementi di orientamento interno della camera fotografica.

Parametri di orientamento interno

In questo modo si ricostruiscono i tre parametri dell' *orientamento interno* (due traslazioni e la distanza principale, distanza fra il punto di presa ed il piano su cui è disposta l'emulsione fotosensibile).

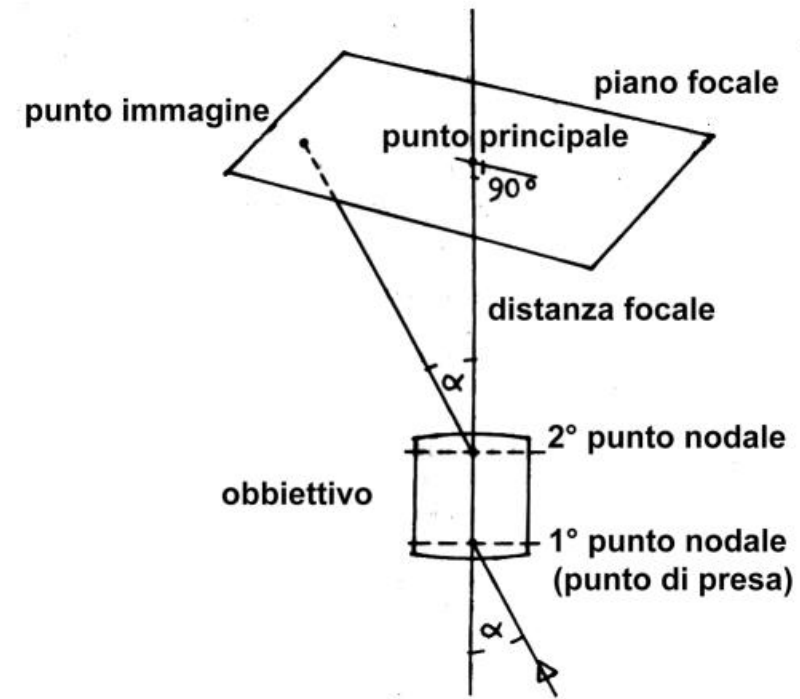


Parametri dell'orientamento interno di una camera fotografica.

Parametri di orientamento interno: coordinate del PUNTO PRINCIPALE (XP, YP) e DISTANZA PRINCIPALE p

Distanza focale dell'obiettivo

Dicesi **distanza focale** la distanza fra il secondo punto nodale dell'obiettivo ed il piano focale, misurata lungo l'asse ottico dell'obiettivo stesso.



Piano focale

- Per piano focale si intende il piano, perpendicolare all'asse dell'obbiettivo, sul quale le immagini dei punti dell'oggetto si formano nella migliore condizione di focatura.
- La distanza fra il secondo punto nodale dell'obbiettivo e tale piano varia in funzione della distanza dell'oggetto dalla camera fotografica.
- La distanza focale è quella per la quale si trovano a fuoco sul piano focale i punti immagine di un oggetto posto a distanza infinita dal punto di presa (o comunque ad una distanza sufficientemente grande in relazione alla distanza focale).

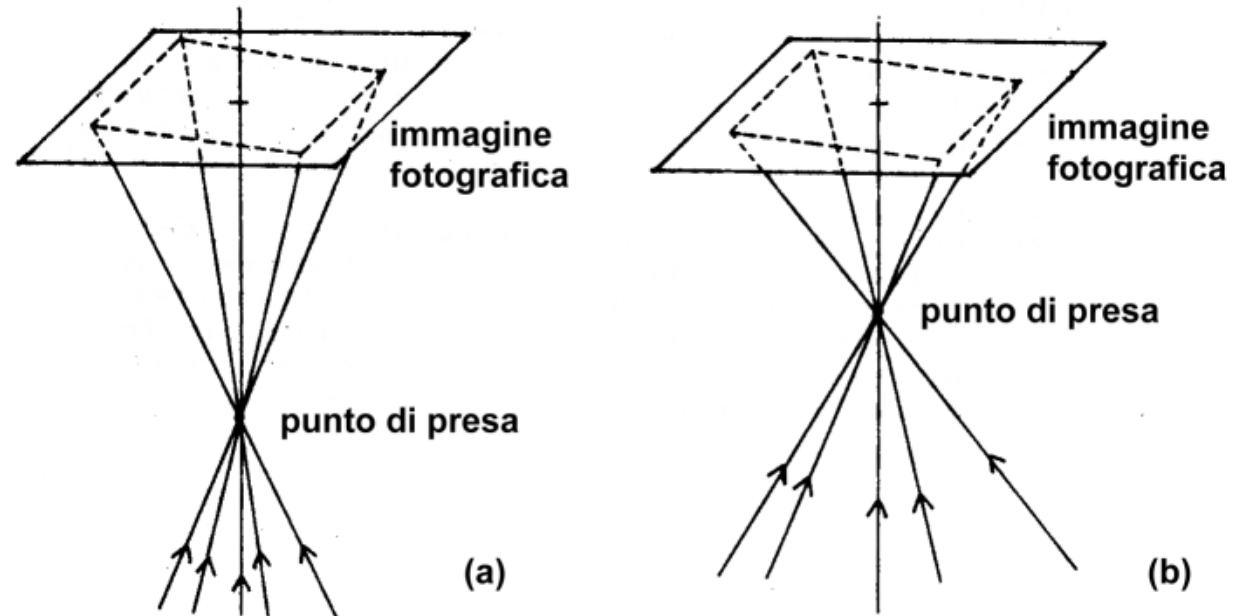
- In una normale camera fotografica, destinata a fotografare oggetti posti a distanze dal punto di presa molto diverse fra loro, l'obiettivo può avvicinarsi od allontanarsi dal piano focale per realizzare le migliori condizioni di focatura in funzione delle differenti distanze.
- Nella maggior parte delle prese fotografiche che si effettuano in fotogrammetria la **distanza dell'oggetto è quasi sempre molto grande rispetto alla distanza focale** (basti pensare, per esempio, ad una ripresa fotografica aerea).

- Per tale ragione, nella maggior parte delle camere fotografiche costruite appositamente per usi fotogrammetrici, la **distanza fra obbiettivo e piano focale è messa a punto dal costruttore per fotografare all'infinito** (cioè a distanze superiori alla distanza iperfocale), **e rimane rigidamente fissa.**

La distanza focale in relazione al fascio di raggi luminosi

La distanza focale determina **l'ampiezza del fascio di raggi** che forma l'immagine fotografica.

Per un determinato formato dell'immagine il fascio avrà ampiezza tanto maggiore quanto minore è la distanza focale e viceversa.



Distanza principale

- Nella pratica operativa **si usa spesso il termine "distanza principale" in luogo del termine "distanza focale"**.
- In una proiezione centrale la **distanza principale** è la **lunghezza della perpendicolare condotta dal centro di proiezione al piano di proiezione**. Poiché si è supposto considerare la fotografia, dal punto di vista geometrico, una proiezione centrale, l'uso di tale termine è giustificato.

Aberrazioni

- L'obiettivo di una qualsiasi camera fotografica, per quanta cura possa essere stata posta nella sua progettazione e costruzione, non è mai totalmente privo di difetti.
- Alcuni di questi difetti (**aberrazioni**), influiscono essenzialmente sulla qualità dell'immagine. Altri invece sulla geometria della stessa immagine e quindi sulle misure che su tale immagine devono essere eseguite.
- Queste ultime aberrazioni sono perciò quelle che più direttamente ci interessano.

Distorsione radiale

- Fra esse la più importante dal punto di vista fotogrammetrico è la **distorsione**. La distorsione produce uno spostamento dell'immagine di un punto rispetto alla posizione che tale immagine avrebbe assunto se l'obiettivo fosse stato perfettamente corretto.
- Di tale spostamento, nelle normali applicazioni fotogrammetriche, viene generalmente presa in considerazione la sola componente nella direzione radiale. Questa ultima viene detta **distorsione radiale**.

- Va notato però che esiste un'esatta corrispondenza fra i due termini solo nel caso di un obbiettivo ideale, privo di distorsione.
- **Calibratura di una camera fotogrammetrica**
- Non è possibile utilizzare una fotografia ai fini fotogrammetrici se non sono perfettamente noti (od esiste la possibilità di determinare con precisione), **gli elementi di orientamento interno** (inclusa l'eventuale distorsione dell'obbiettivo).

Calibrazione

- In una camera fotogrammetrica, cioè in una camera costruita appositamente per essere destinata ad usi fotogrammetrici, tali elementi vengono normalmente determinati dal costruttore nella messa a punto della camera.
- Lo stesso costruttore fornisce quindi con la camera i valori della distanza focale, della distorsione radiale e della distanza focale calibrata.
- Gli elementi risultanti dalla calibrazione vengono normalmente riportati in un documento detto **certificato di calibrazione**.

Stereoscopia

- Per stereoscopia si intende una visione tramite due punti di osservazione differenti.
- La stereoscopia può essere originata da sistemi di visualizzazione artificiale che consentono di apprezzare la tridimensionalità del mondo esterno (aspetto quest'ultimo di notevole importanza per la pratica della fotogrammetria).

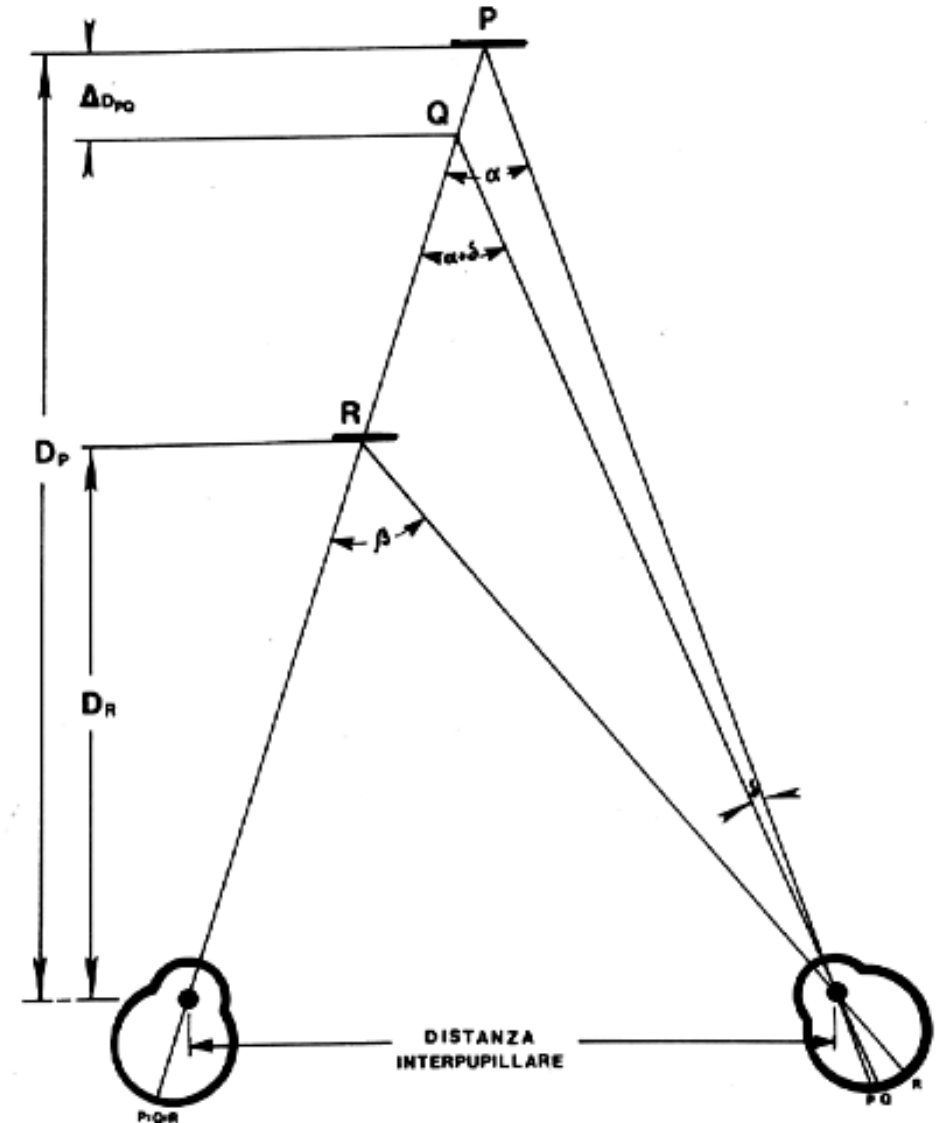
Visione stereoscopica

- L'uomo gode di una visione stereoscopica naturale del mondo che lo circonda, e questa avviene proprio grazie agli occhi, che essendo in coppia, consentono un apprezzamento della tridimensionalità dello spazio reale.
- Nella figura seguente è illustrato, tramite uno schema grafico, il funzionamento del nostro sistema visivo naturale: i bulbi oculari sono visti in pianta. Un punto che si avvicinasse o allontanasse rispetto alla posizione originaria Q , provocherebbe, al fine di mantenere la collimazione, una variazione angolare della posizione di una delle due pupille

La visione monoculare o monoscopica non è sufficiente a farci apprezzare la profondità o terza dimensione.

Il potere visuale stereoscopico dell'uomo risulta comunque moderatamente accentuato a causa della vicinanza degli occhi rispetto alla distanza degli oggetti osservati.

In fotogrammetria si tende a controllare e programmare il rapporto fra queste due grandezze che vanno rispettivamente sotto il nome di "base" e "distanza" di presa proprio per esaltare la tridimensionalità degli oggetti che si vogliono rilevare.



Visione stereoscopica

- Osservando un qualunque oggetto con ambedue gli occhi si percepisce una sola immagine di tale oggetto.
- Le due immagini, raccolte separatamente dall'occhio sinistro e dall'occhio destro, si "fondono" infatti nel cervello in una immagine unica.
- Gli assi visuali risulteranno paralleli fra loro o convergeranno a seconda che si stia osservando un punto molto distante, cioè posto praticamente all'infinito, od un punto vicino.
- Più vicino è tale punto più grande è la convergenza degli assi visuali.

Parallasse angolare

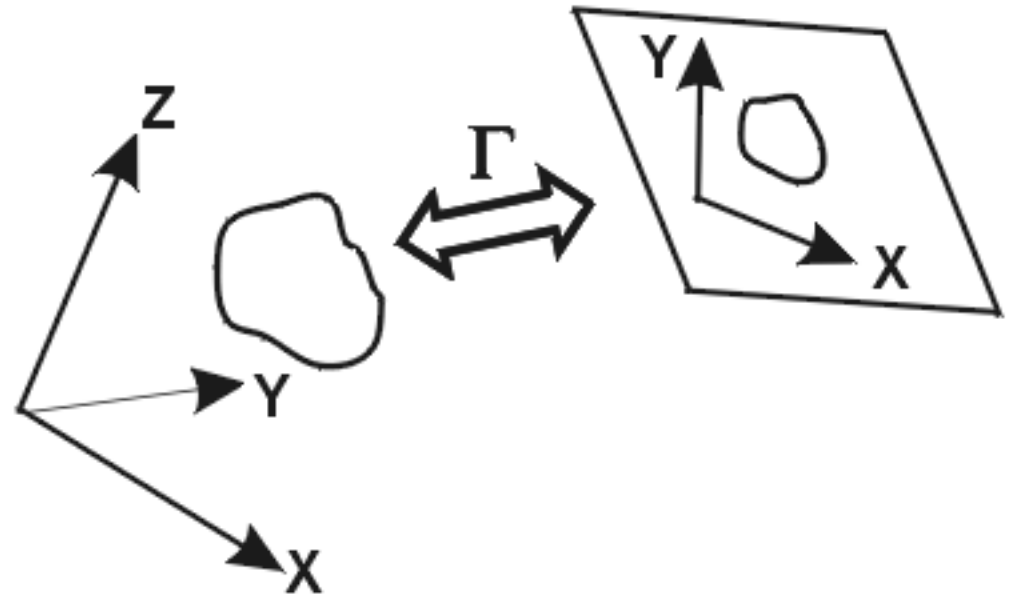
- L'angolo formato dai due assi visuali, avente per vertice il punto osservato è detto angolo parallattico o **parallasse angolare**.
- Se nel campo visivo sono presenti più punti, posti a distanze diverse fra loro, ad essi corrisponderanno parallassi angolari anch'esse diverse fra loro, grazie alle quali avremo la percezione delle distanze relative tra i punti osservati.
- La percezione umana consente di apprezzare variazioni di parallasse, e quindi di profondità, fino ad una distanza massima di 500 metri. Alcune persone sono tuttavia incapaci di percepire la stereoscopia.

- A livello teorico l'applicazione fotogrammetrica comporta la risoluzione di un problema di fondo che è quello di relazionare lo spazio oggetto tridimensionale con lo spazio immagine bidimensionale in maniera univoca e così da poter far corrispondere punti discreti, opportunamente scelti, nei due sistemi di grandezze.
- Superato questo obbiettivo sarà poi possibile relazionare qualsiasi punto dello **spazio immagine** al corrispondente punto nello **spazio oggetto**.

lo spazio oggetto tridimensionale e la relazione con lo spazio immagine bidimensionale

In fotogrammetria si individuano tre tipi di grandezze:

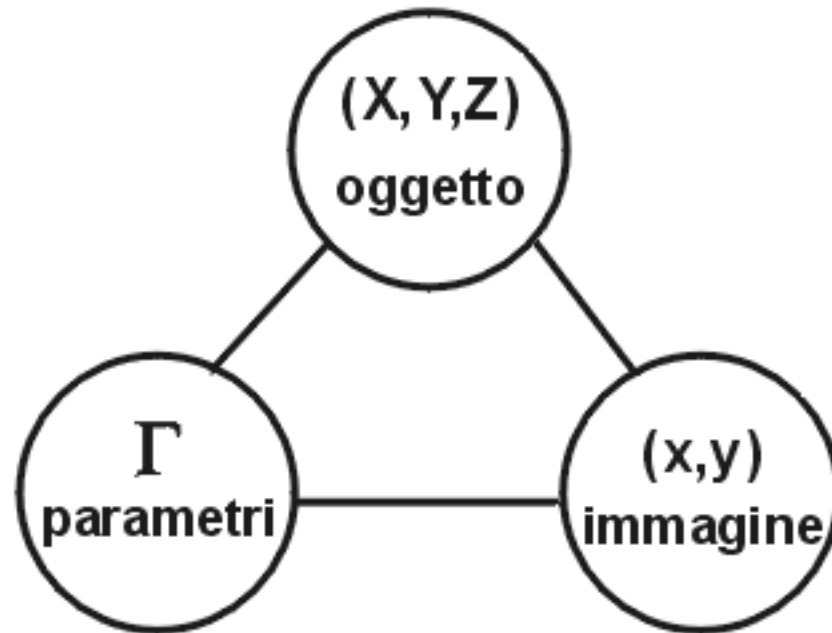
- le coordinate 3D (X,Y,Z) dell'oggetto;
- le coordinate 2D (x,y) dell'immagine;
- i valori dei parametri di orientamento G ;



- per spazio oggetto si intende l'oggetto da rilevare nella sua volumetria;
- per spazio immagine si intende la ripresa fotografica dell'oggetto da rilevare;
- per punti discreti si intendono dei punti, che siano ben individuabili sia sull'oggetto che sull'immagine fotografica dello stesso.
- i **parametri di orientamento** sono quelli che governano i rapporti fra lo spazio oggetto 3D e quello immagine 2D: essi esprimono le caratteristiche del mezzo fotografico e il suo posizionamento fra i due tipi di spazi;

gruppi di grandezze coinvolte

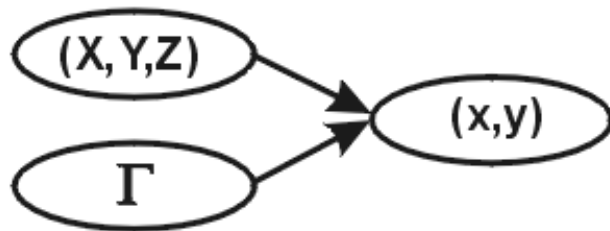
I tre gruppi di grandezze



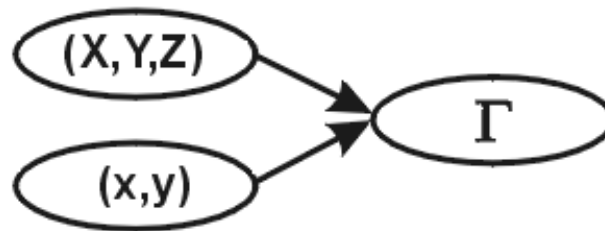
Fasi del processo di rilevamento fotogrammetrico

nel processo di rilevamento fotogrammetrico, si individuano tre fasi principali nelle quali le menzionate grandezze vengono relazionate in maniera differente:

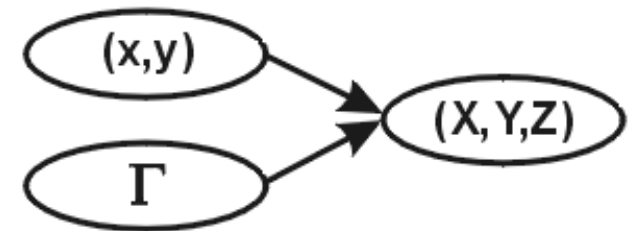
1) presa



2) orientamento



3) restituzione

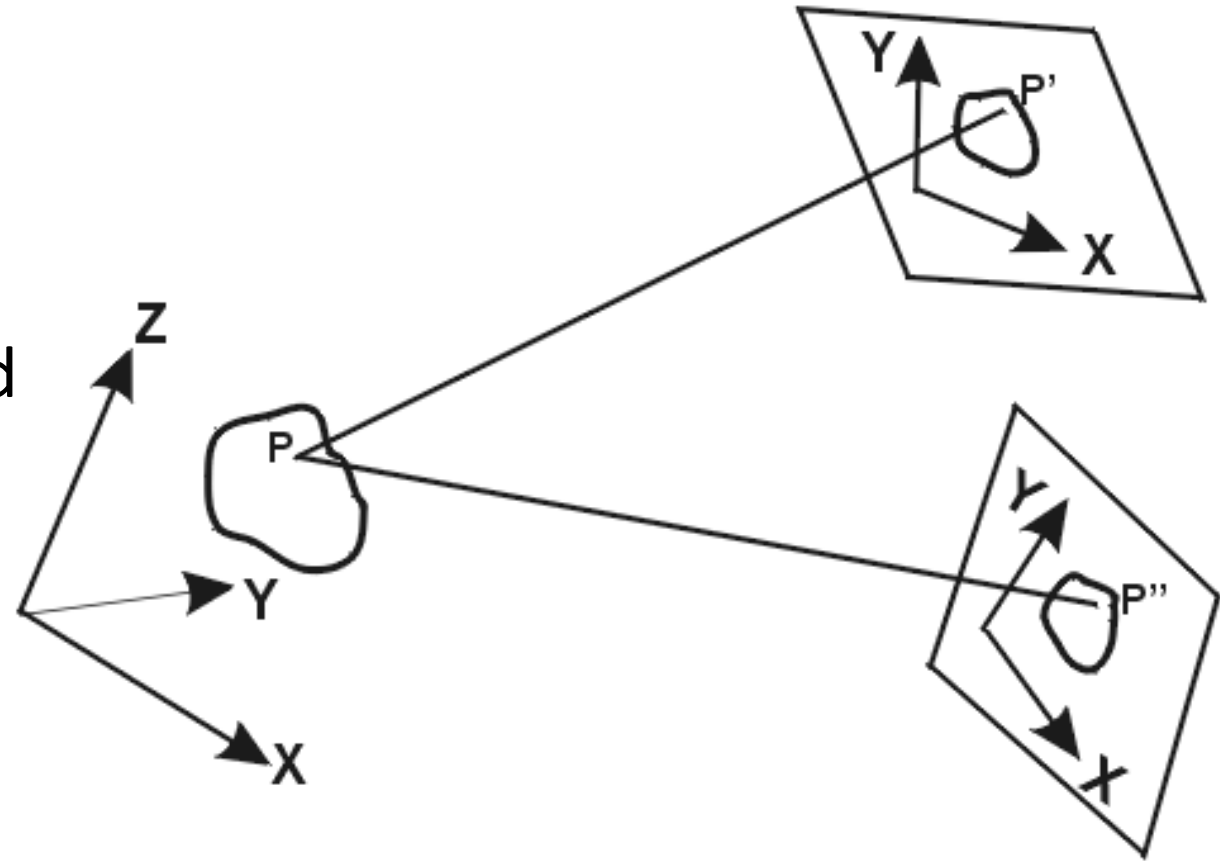


Fasi del rilievo fotogrammetrico

- **Fase di presa:** nella presa sono assegnati due gruppi di parametri: l'oggetto del rilievo (X,Y,Z) e la fotocamera, (posizione e tipo di fotocamera: ovvero i parametri G della trasformazione).
- **Fase di orientamento:** ancorché fissati nella fase precedente, e dunque per questo conoscibili fin da allora, si preferisce determinare a posteriori il gruppo G dei parametri della trasformazione; questa determinazione si chiama orientamento e si effettua disponendo di un certo numero di punti di cui si conoscano le posizioni nei due spazi in modo da poter risalire ai parametri della trasformazione.
- **Fase di restituzione:** con i parametri ormai noti, si possono ora trasformare gli spazi immagine 2D nello spazio oggetto 3D quindi dar luogo alla restituzione dell'oggetto rilevato

Rilievo fotogrammetrico

Schema grafico relativo ad
un rilievo
fotogrammetrico



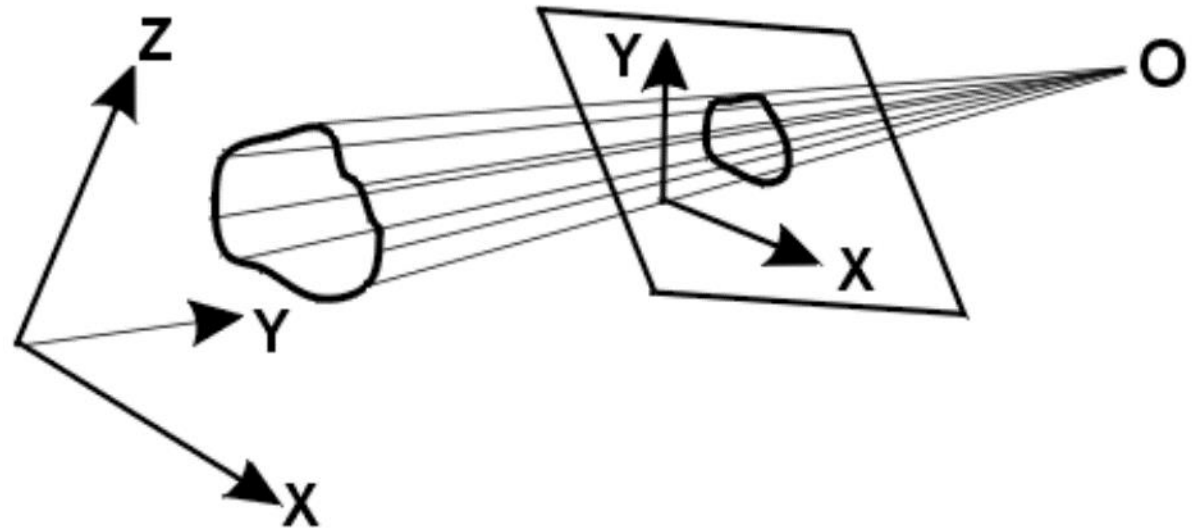
Punti omologhi

Date due o più fotografie si chiamano **punti omologhi** le diverse rappresentazioni sui due fotogrammi dello stesso particolare.

Al momento dello scatto ciascun punto fotografico, il suo corrispondente punto oggetto ed il centro di proiezione giacciono su di una retta.

Centro della proiettività

Il punto origine O di coordinate (X_o, Y_o, Z_o) viene detto centro della proiettività.
Per esso passano tutte le rette proiettive.
L'insieme delle rette proiettive si definisce stella o fascio proiettivo.



Punti noti

- è necessario conoscere dei punti, detti "punti noti", in ambedue gli spazi (spazio oggetto e spazio immagine):
- questi dovranno essere presenti ed individuabili in ambedue le prese fotografiche (nei due spazi immagine), come punti omologhi.
- Il numero di questi punti dovrà essere almeno di sei, anche se teoricamente si riducono a tre e praticamente possono essere anche cinque per coppia di immagini, (grazie a considerazioni matematiche, all'utilizzazione di misurazioni di calibrazione ed a proprietà geometriche).