

T2

La presa dei fotogrammi

TEORIA

- 1 Fotogrammetria aerea
- 2 Relazione tra scala dei fotogrammi e altezza di volo
- 3 Parametri del volo aereo fotogrammetrico
- 4 Gestione del volo fotogrammetrico
- 5 Fotogrammetria terrestre
- 6 Configurazione della presa terrestre
- 7 Progetto della presa terrestre
- 8 Operazioni di presa terrestre
- 9 La presa normale
- 10 Fotogrammetria terrestre non convenzionale

RIASSUMENDO

AUTOVALUTAZIONE



Nella presa aerea la camera viene alloggiata sul pavimento della fusoliera. L'immagine mostra una di queste camere, allestita per le operazioni di presa, già cablata ai dispositivi di controllo e ai portatili con cui viene monitorata costantemente l'evoluzione dell'operazione.

1. Fotogrammetria aerea

Da ormai un secolo la **fotogrammetria aerea** è l'unico strumento per la produzione **cartografica** di medio-grandi estensioni di territorio. In essa la presa avviene con **camere sofisticate** (illustrate nella precedente unità), dotate di numerosi **automatismi** e collocate sul pavimento dell'aereo in modo che il loro asse si mantenga il più possibile **verticale** e rivolto verso il basso per riprendere il terreno (**presa nadirale**).

Per soddisfare il principio basilare della fotogrammetria, quindi per poter ottenere la carta dai fotogrammi ripresi, è necessario che ogni generico punto A del terreno sia ripreso almeno da due fotogrammi consecutivi (► FIGURA 1).

Sui fotogrammi vengono registrate rispettivamente le due immagini A' e A'' , **omologhe** di A , le cui coordinate lastra, x'_A, y'_A sul primo fotogramma e x''_A, y''_A sul secondo fotogramma, verranno **misurate** in fase di restituzione e permetteranno il successivo posizionamento di A .

Lo schema della ripresa aerea è quello illustrato in ► FIGURA 1: in esso l'aereo segue una traiettoria **rettilinea** a **velocità costante**, a una certa **altezza media H** dal terreno; all'istante t_1 il **centro di presa** della camera si trova in O_1 e riprende il primo fotogramma, e all'istante t_2 (dopo aver percorso un certo spazio che costituisce la **base di presa B**) esso si troverà nella posizione O_2 dove riprenderà il secondo fotogramma.

L'aereo sorvola il terreno ripetendo lo schema precedente ed eseguendo le prese nell'ambito di una sequenza di **percorsi rettilinei affiancati** lungo **direzioni** parallele secondo lo schema illustrato in ► FIGURA 2.

I fotogrammi ripresi lungo uno **stesso percorso rettilineo** costituiscono una **strisciata**. L'insieme di più strisciate viene chiamato **blocco** di strisciate.

Oltre al **ricoprimento longitudinale μ** (in generale il 60%), è necessario che l'**interasse i** , tra due strisciate adiacenti, venga stabilito in modo che ci sia anche un **ricoprimento laterale ε** (*overside*) con valore compreso nell'intervallo 0,10-0,20 (10%-20%) dell'**abbracciamento L** del fotogramma, per evitare di avere «buchi» nella copertura del territorio (► FIGURA 3).

Le prese fotografiche del terreno devono avvenire in modo tale che tutta l'area da rilevare rimanga scomposta in **modelli stereoscopici** tali che ogni punto del terreno compaia, come detto, almeno su due fotogrammi. Sap-

FAQ

► Quale impiego ha la fotogrammetria aerea?

Prevalentemente quello di consentire la realizzazione della cartografia relativa a estensioni medio-grandi.

FAQ

► La strisciata è un percorso rettilineo?

No, è l'insieme di fotogrammi ripresi in corrispondenza di un percorso rettilineo dell'aereo.

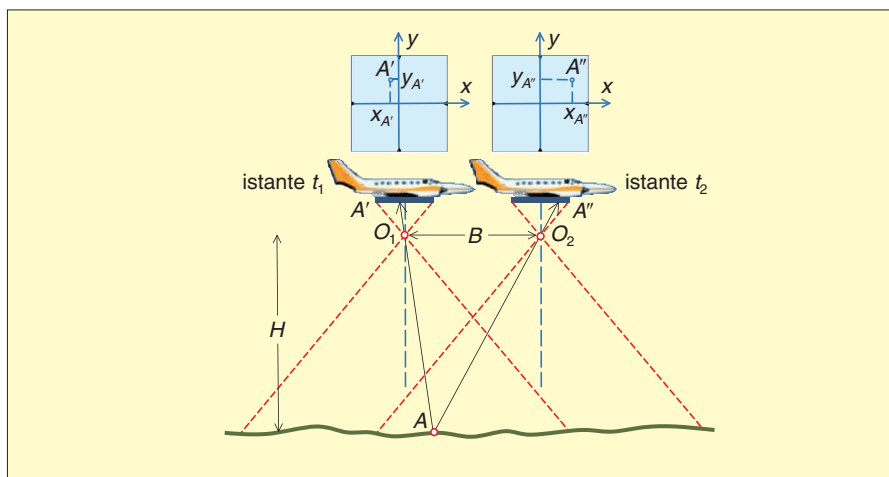


FIGURA 1 Schema della presa aerea nadirale. L'aereo segue una traiettoria rettilinea e a intervalli di tempo regolari apre l'otturatore della camera per registrare i fotogrammi. Ciascun punto A sul terreno deve venire registrato su almeno due fotogrammi consecutivi nelle due immagini omologhe A' e A'' , le cui posizioni sul piano della lastra consentiranno di stabilire la posizione di A .

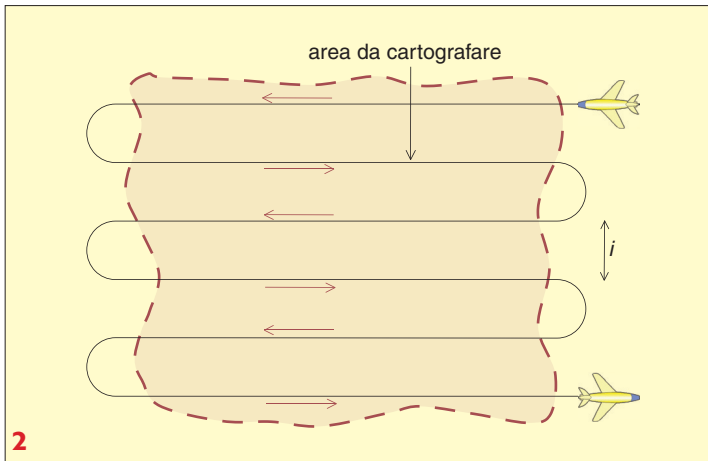


FIGURA 2 Schema di copertura del territorio con un volo fotogrammetrico organizzato in traiettorie rettilinee e parallele durante le quali viene preso un certo numero di fotogrammi detto strisciata.

FIGURA 3 Due strisciate adiacenti devono presentare un interasse i tale da generare un ricoprimento laterale in ragione del 10-20% dell'abbracciamento L dei fotogrammi.

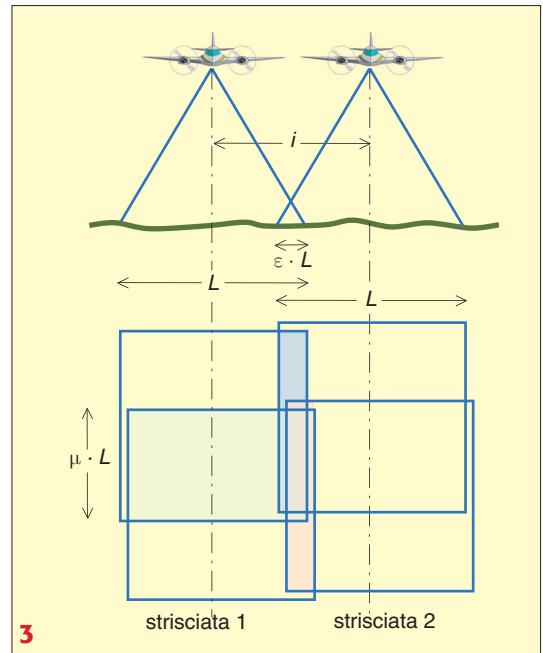
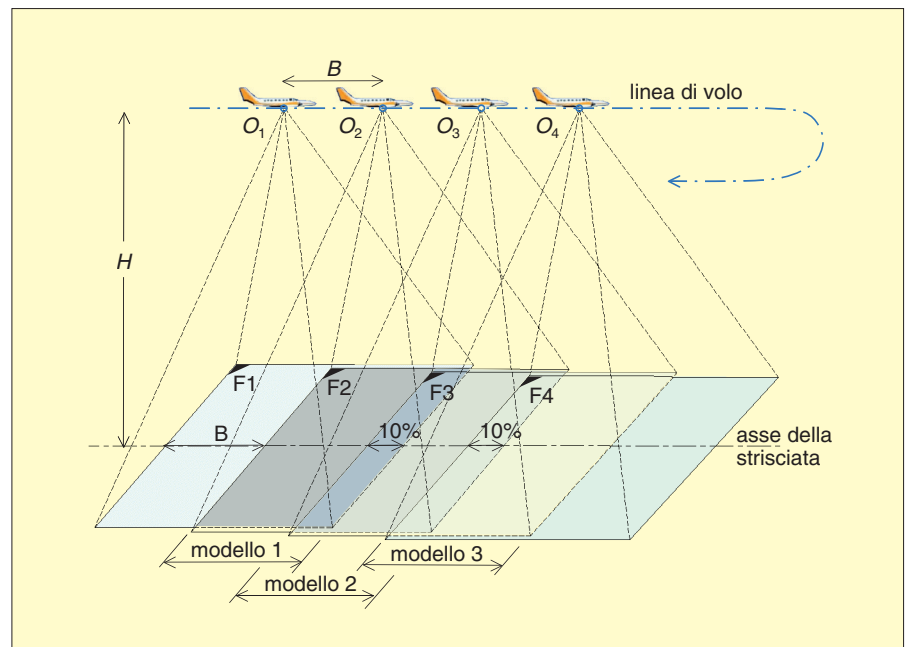
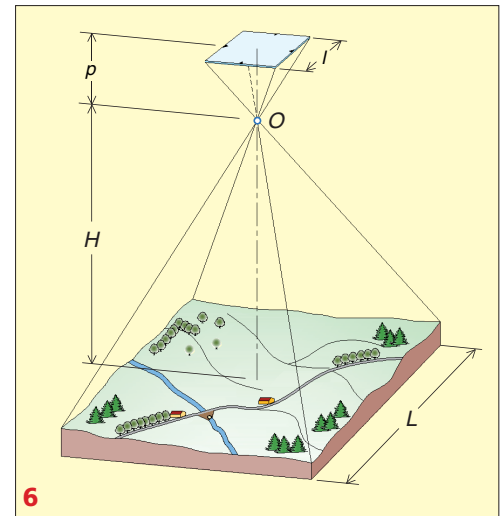
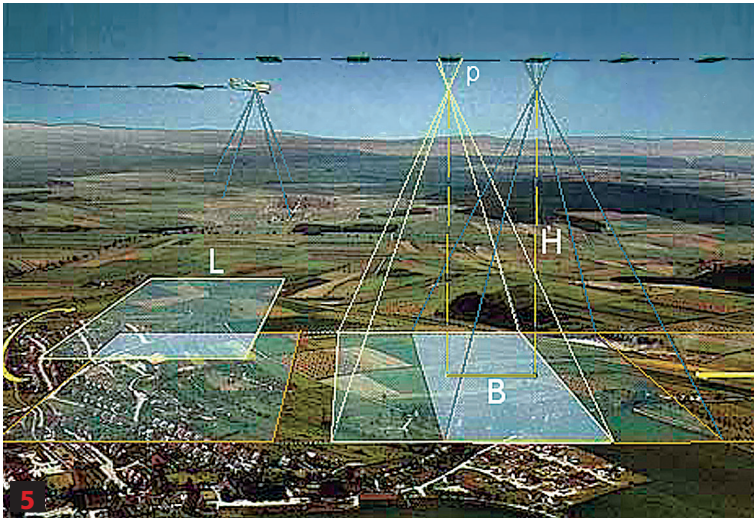


FIGURA 4 La necessità di rappresentare tutto il terreno in almeno due fotogrammi consecutivi è consentita dal ricoprimento longitudinale, che rappresenta la zona di sovrapposizione tra gli stessi fotogrammi e che, in generale, ha un valore del 60%. Esso permette la scomposizione ideale del terreno in tanti modelli stereoscopici che, a loro volta, presentano una sovrapposizione del 10% necessaria al loro concatenamento.



piano che questa esigenza viene garantita dal **ricoprimento longitudinale** (*overlap*) dell'abbracciamento L del fotogramma; ciò produce due strisce di **sovrapposizione** del 10% anche nei *modelli stereoscopici* rispetto ai modelli adiacenti (► FIGURA 4) che permette il loro **concatenamento**.

Se il terreno da riprendere è **irregolare** e montagnoso, è necessario adottare per il *ricoprimento longitudinale* un valore più alto, fino al 75%. Naturalmente il **numero di fotogrammi** necessari alla copertura fotogrammetrica di una certa porzione di territorio, a causa del *ricoprimento longitudinale* e di quello *trasversale*, è decisamente più alto di quello che sarebbe necessario a una normale copertura fotografica.



I voli fotogrammetrici (► FIGURA 5) vengono effettuati in **condizioni meteorologiche** perfette (assenza di nubi, ma anche di foschia), e negli orari centrali della giornata, per sfruttare la massima **illuminazione** disponibile e per minimizzare l'influenza delle **ombre** al suolo. Ne consegue che sono pochissimi (mediamente 20-40) i giorni in un anno adeguati a svolgere questa attività.

Nelle figure precedenti, e in quelle che seguiranno, i simboli utilizzati hanno i seguenti significati:

- **H**: **altezza media** dal suolo mantenuta dall'aereo durante le strisciate;
- **L**: **abbracciamento**, cioè lato del quadro di terreno contenuto in un fotogramma;
- **B**: **base di presa**, distanza tra due centri di presa O_1 e O_2 consecutivi;
- **l**: **lato effettivo utile** del fotogramma (prossimo a 230 mm);
- **p**: **distanza principale** della camera, ritenuta uguale alla *distanza focale* dell'obiettivo;
- μ : **ricoprimento longitudinale**, sovrapposizione di due fotogrammi consecutivi; in generale il 60% di L ;
- ϵ : **ricoprimento laterale**, sovrapposizione di due strisciate adiacenti; in generale il 20% di L ;
- **i**: **interasse** delle strisciate, cioè distanza tra gli assi di due strisciate adiacenti.

2. Relazione tra scala dei fotogrammi e altezza di volo

Si è già visto (paragrafo 4 dell'unità T1) che i fotogrammi sono caratterizzati da una **scala media** (o semplicemente **scala**) definita nel seguente modo:

$$\text{scala media} = \frac{1}{N} = \frac{l}{L}$$

Considerando il terreno **pianeggiante** e regolare (tanto da poterlo approssimare con un piano), e la presa **nadirale**, il rapporto l/L può essere sostituito con il **rapporto equivalente** tra la **distanza principale** p della camera (uguale alla distanza focale dell'obiettivo) e l'**altezza media** H del centro di presa O dal terreno (► FIGURA 6); dunque si ha:

$$\frac{l}{L} = \frac{p}{H} \quad \text{quindi anche:} \quad \frac{1}{N} = \frac{p}{H} \quad (1)$$

FIGURA 5 Vista schematica della presa aerea.

FIGURA 6 Schema geometrico della presa nadirale. Il terreno viene poi semplificato considerandolo ad andamento pianeggiante, dunque parallelo al piano della lastra.

FAQ

► **In che modo si ottiene la scala desiderata per i fotogrammi nella presa aerea?**

Variando l'altezza di volo in relazione alla camera utilizzata per la presa.

FAQ

► **Da cosa derivano le tabelle o le formule che mettono in relazione la scala dei fotogrammi con quella della carta?**

Dall'esperienza pratica consolidata da decenni di valutazioni nel merito.

Da quest'ultima relazione è evidente che, per ottenere il valore desiderato per la **scala dei fotogrammi** (utilizzando una camera con una data p), occorre variare l'**altezza di volo H** dell'aereo dal terreno.

In effetti, per ottenere i fotogrammi alla scala desiderata $1/N$, l'**altezza di volo H** dovrà essere:

$$H = p \cdot N \tag{2}$$

■ Relazione tra scala del disegno e scala dei fotogrammi

La **scala dei fotogrammi** $1/N$, tuttavia, non può essere fissata in modo arbitrario; essa, infatti, **dipende strettamente** dalla scala in cui deve essere rappresentato il rilievo (**scala del disegno** o della **carta**). Tanto più grande è la *scala del disegno* $1/N_{dis}$, tanto meglio dovranno essere riconoscibili i particolari topografici sull'immagine, e ciò si ottiene aumentando la scala media dei fotogrammi.

Pertanto, assegnata la **scala del disegno** (risultato finale del rilievo), occorre stabilire in primo luogo l'adeguata **scala dei fotogrammi**.

L'**esperienza** ci ha ormai insegnato a mettere in relazione ottimale la *scala del disegno* $1/N_{dis}$, a cui dovrà essere costruita la carta topografica, e la corrispondente, necessaria, *scala dei fotogrammi* $1/N$. In effetti il denominatore N di quest'ultima viene ricavato dalla seguente espressione empirica:

$$N = k \cdot \sqrt{N_{dis}} \tag{3}$$

in cui il coefficiente k assume i seguenti valori:

- $200 \div 300$ per scale del disegno $1/N_{dis}$ inferiori a 1:5000 (scale medio-piccole);
- $150 \div 200$ per scale del disegno $1/N_{dis}$ superiori a 1:2000 (scale grandi).

Come alternativa, rispetto alla formula precedente, è possibile dedurre i valori della **scala media dei fotogrammi** dalla ►TABELLA 1, elaborata dalla Commissione Geodetica Italiana. In essa sono state anche riportate, indicativamente, le conseguenti **altezze di volo** per camere con valori comuni di p .

In definitiva, per determinare l'altezza di volo H , occorre partire dalla *scala del disegno* ($1:N_{dis}$), passando per la *scala dei fotogrammi* ($1:N$), secondo questo schema sintetico:

$$1:N_{dis} \Rightarrow 1:N \Rightarrow H$$

TABELLA 1 Rapporto scala della carta, scala dei fotogrammi

Scala della carta	Scala dei fotogr.		Altezza volo H (per alcuni valori di p) (m)					
	min.	max.	$p = 300$ mm	$p = 152$ mm	$p = 88$ mm			
1:500	1:3000	1:2000	900	600				
1:1000	1:5000	1:3500	1500	1050	760	530		
1:2000	1:8000	1:6500	2400	1950	1220	1000		
1:5000	1:18 000	1:12 000	5400	3600	1730	1830		
1:10 000	1:27 000	1:20 000	8100	600	4100	3100	2210	1770
1:25 000	1:50 000	1:40 000			7600	6080	4520	3530
1:50 000	1:70 000	1:60 000			10 620	9130	6180	5310
1:100 000	1:90 000	1:80 000					7960	7070

3. Parametri del volo aereo fotogrammetrico

Prima di effettuare il volo aereo fotogrammetrico è necessario definire alcuni **parametri**, affinché i fotogrammi ripresi durante il volo abbiano le caratteristiche attese e siano funzionali alle esigenze della successiva restituzione. La definizione di questi parametri (nell'ipotesi di **presa nadirale** e **terreno pianeggiante**) si basa sulla conoscenza preventiva dei seguenti elementi:

- **H**: altezza di volo rispetto al terreno;
- **μ** : ricoprimento longitudinale (in generale 0,6);
- **ϵ** : ricoprimento laterale (in generale 0,2);
- **l**: formato effettivo utile del fotogramma (approssimativamente 230 mm);
- **p**: distanza principale della camera;
- **v**: velocità di crociera ottimale dell'aereo in m/s.

■ Quota media del volo

L'altezza di volo, determinata con la (2) del paragrafo precedente, rappresenta la distanza tra aereo (centro di presa) e terreno; tuttavia gli strumenti a bordo dell'aereo non rilevano questo parametro, ma forniscono la **quota ortometrica assoluta** Q_V (con determinazione barometrica).

Questo parametro, comunque, è facilmente ottenibile sommando all'altezza di volo H la **quota assoluta media** Q_M del terreno ripreso, dunque dalla seguente relazione:

$$Q_V = Q_M + H \quad (4)$$

La quota media del terreno Q_M viene ottenuta come **media aritmetica** di alcuni punti di **quota nota** presenti sul terreno. Osserviamo, a questo proposito, che Q_M può essere determinato con una certa approssimazione, in quanto anche errori di alcuni metri non modificano in modo significativo la **scala dei fotogrammi**.

■ Abbracciamento del fotogramma

In ciascun fotogramma di formato l , ottenuto all'altezza di volo H , è rappresentata una porzione quadrata (in quanto il formato è quadrato) di terreno di lato L , detto **abbracciamento** del fotogramma (► FIGURA 6). Il suo valore può essere ottenuto facilmente dalle (1) del precedente paragrafo:

$$L = \frac{l \cdot H}{p} \quad \text{equivalente a:} \quad L = l \cdot N \quad (5)$$

La larghezza della **sovrapposizione** del fotogramma con quello successivo (dunque la larghezza del **modello stereoscopico**) sarà fornita dal prodotto: $\mu \cdot L$.

Se, per esempio, poniamo: $l = 230$ mm, $p = 152$ mm e $H = 1200$ m, applicando la (5) si ottiene $L = 0,23 \cdot 1200 / 0,152 = 1816$ m. Dunque il terreno contenuto nei fotogrammi è un quadrato di lato 1816×1816 m, corrispondente a un'area di 3297856 m² (330 ha circa), e il modello stereoscopico generato da due fotogrammi consecutivi (per un ricoprimento del 60%) avrà una larghezza di $0,6 \cdot 1816 = 1090$ m.

■ Base di presa

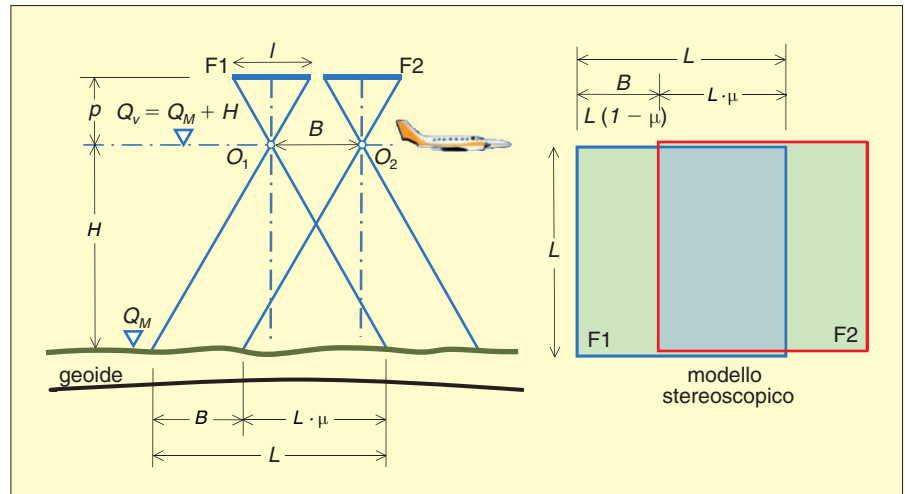
La lunghezza della **base di presa** rappresenta la distanza percorsa dall'aereo tra due scatti consecutivi dell'otturatore della camera. Essa corrisponde alla distanza tra i centri di presa O_1 e O_2 in corrispondenza della presa di due fotogrammi consecutivi della stessa strisciata.

FAQ

► **La quota del volo fotogrammetrico deve essere definita con grande precisione?**

No, differenze di quota di alcuni metri non condizionano in modo significativo la scala che è stata programmata per i fotogrammi.

FIGURA 7 La base di presa B consente di ottenere il valore desiderato del ricoprimento longitudinale, che, a sua volta, permette di generare appropriati modelli stereoscopici necessari alla restituzione del rilievo.



Il suo valore è molto importante, perché è con esso che si ottiene il valore del **ricoprimento longitudinale** μ , che in generale è 0,6 (60%), necessario alla generazione dei **modelli stereoscopici** che in sede di *restituzione* permetteranno la rappresentazione del terreno rilevato.

Osservando la ► FIGURA 7 si vede subito che

$$B = L - \mu \cdot L = L \cdot (1 - \mu)$$

Sostituendo a L il relativo valore fornito dalla precedente espressione (5), si ottiene:

$$B = \frac{l \cdot H}{p} \cdot (1 - \mu) \quad \text{equivalente a:} \quad B = l \cdot N \cdot (1 - \mu) \quad (6)$$

Dopo avere calcolato la base di presa è bene controllare che il **rapporto** B/H si mantenga **maggiore** di 1/4.

■ Intervallo di apertura dell'otturatore della camera

A differenza della *presa terrestre*, in cui le prese successive sono eseguite con lo spostamento della camera e la **sostituzione manuale** della lastra, nella *presa aerea* occorre **automatizzare** sia l'avanzamento della pellicola, sia la ripresa dei fotogrammi, programmando un opportuno **intervallo** Δt di apertura dell'otturatore.

Pertanto la distanza B , tra i centri di presa in cui vengono generati due fotogrammi consecutivi, dipende dalla **velocità di crociera** v dell'aereo (supposta idealmente costante) secondo la nota relazione del *moto uniforme*: $B = v \cdot \Delta t$, da cui segue: $\Delta t = B/v$. Quindi, sostituendo in quest'ultima l'espressione di B fornita dalla precedente relazione (6), è possibile determinare l'**intervallo** Δt (in secondi, essendo v espresso in m/s) a cui devono essere scattate le fotografie:

$$\Delta t = \frac{l \cdot H}{v \cdot p} \cdot (1 - \mu) \quad \text{equivalente a:} \quad \Delta t = \frac{l \cdot N}{v} \cdot (1 - \mu) \text{ (s)} \quad (7)$$

■ Interasse delle strisciate

L'interasse i tra gli assi di due strisciate adiacenti (► FIGURA 3) viene scelto in modo da ottenere per il **ricoprimento trasversale** ϵ il valore programmato, che in

FAQ

► **In quale modo, nella presa aerea, è possibile ottenere la corretta lunghezza della base di presa?**

Procedendo agli scatti di apertura dell'otturatore della camera a intervalli di tempo prestabiliti, in relazione alla velocità dell'aereo supposta costante.

generale è compreso nell'intervallo $0,10 \div 0,20$ (tra il 10% e il 20% di L), in funzione delle irregolarità presenti nel territorio da rilevare. Esso garantisce la **totale copertura** fotografica del terreno interessato al rilievo.

Osservando la ► FIGURA 3 appare evidente che l'interasse i è fornito dalla seguente relazione:

$$i = \frac{L}{2} + \frac{L}{2} - \varepsilon \cdot L$$

dunque:

$$i = L \cdot (1 - \varepsilon)$$

Sostituendo a L l'espressione fornita dalla (5), si ottiene:

$$i = \frac{l \cdot H}{p} \cdot (1 - \varepsilon) \quad \text{equivalente a:} \quad i = l \cdot N \cdot (1 - \varepsilon) \quad (8)$$

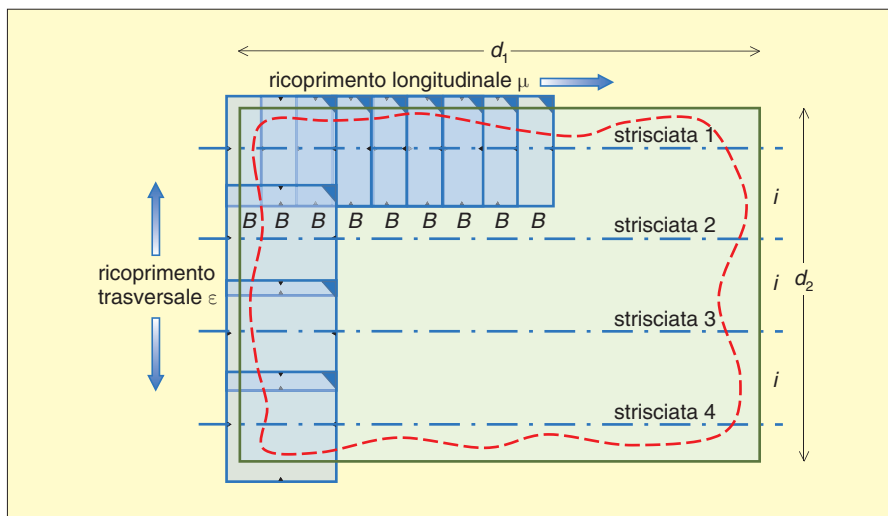
■ Numero dei fotogrammi del rilievo

Al fine di **stimare i costi** del rilievo, e di programmarne l'esecuzione, è necessario valutare con attendibilità, sia il **numero** n_f dei fotogrammi costituenti le **single strisciate**, sia il loro **numero** n_s delle strisciate stesse. Il prodotto dei valori precedenti costituisce il **numero complessivo** n_{tot} dei fotogrammi necessari a coprire stereoscopicamente tutto il territorio da rilevare.

È sempre possibile **racchiudere** il territorio da rilevare (che in generale presenta contorni irregolari), in un **rettangolo ideale** le cui dimensioni d_1 e d_2 corrispondano a quelle dell'**ingombro massimo** dello stesso territorio (► FIGURA 8). A esso si fa riferimento per determinare il numero n_s delle strisciate e il numero n_f dei fotogrammi presenti in ciascuna striscia, dunque anche il numero complessivo n_{tot} di fotogrammi.

La direzione secondo la quale si **sviluppano le strisciate** è quella (quando esiste) di maggior sviluppo del territorio, dunque, nel caso di ► FIGURA 8, quella secondo la dimensione d_1 .

Considerando la ► FIGURA 8 e le precedenti ► FIGURE 3 e 7, il numero n_s delle **strisciate** e il numero n_f dei **fotogrammi** presenti in ogni striscia sono forniti dalle seguenti espressioni:



FAQ

► **Per quale ragione occorre conoscere il numero dei fotogrammi necessari a coprire, con sicurezza e senza «buchi», l'area da cartografare?**

Perché i costi del rilievo sono direttamente proporzionali al numero di fotogrammi che verranno ripresi.

FIGURA 8 Il territorio da rilevare presenta un contorno (tratteggiato nello schema della figura) irregolare. Esso, tuttavia, può sempre essere circoscritto da un rettangolo ideale a cui fare riferimento per stabilire il numero delle strisciate e il numero dei fotogrammi necessari al rilievo.

FAQ

► **I parametri di pianificazione del volo fotogrammetrico hanno significato definitivo e invariabile?**

No, a essi occorre dare un significato indicativo; essi verranno poi verificati, ed eventualmente corretti, durante il volo, per tenere conto delle variabili che esso contempla.

$$n_s = \text{int} \left[\frac{d_2}{L \cdot (1 - \epsilon)} \right] + 1 \quad (9')$$

$$n_f = \text{int} \left[\frac{d_1}{L \cdot (1 - \mu)} + 1 \right] + 1 \quad \text{equivalente a} \quad n_f = \text{int} \left[\frac{d_1}{B} + 1 \right] + 1 \quad (9'')$$

In queste relazioni la funzione «int[]» fornisce il valore **intero** del suo argomento, mentre il «+1» arrotonda all'intero successivo. Il **numero complessivo** n_{tot} dei fotogrammi necessari al rilievo viene fornito dal prodotto dei precedenti valori:

$$n_{tot} = n_s \cdot n_f \quad (10)$$

L'esperienza consiglia poi di aumentare tale valore, indicativamente del 20%, per tenere conto delle **situazioni impreviste** che si possono verificare all'atto di esecuzione della presa.

■ Sintesi dei parametri del piano di volo

Allo scopo di facilitare lo studente nel suo lavoro di apprendimento, riteniamo utile sintetizzare nella ► **TABELLA 2**, e nella successiva applicazione numerica, i passaggi sequenziali che portano alla definizione dei **parametri** progettuali con i quali viene **pianificato il volo** aereo fotogrammetrico.

Nella costruzione della tabella si considerano noti: la *scala del disegno* (o della *carta*) $1/N_{dis}$, i parametri della *camera* l e p , i parametri di *ricoprimento* μ e ϵ , e la quota media Q_M del terreno.

TABELLA 2 Sintesi del calcolo dei parametri di volo

Fase	Parametro	Espressioni di calcolo		Rif. formule
		Estesa	Sintetica	
1	Denominatore della scala dei fotogrammi	$N = k \cdot \sqrt{N_{dis}}$		(3)
2	Altezza del volo	$H = p \cdot N$		(2)
3	Quota del volo	$Q_v = Q_M + H$		(4)
4	Abbracciamento	$L = \frac{l \cdot H}{p}$	$L = l \cdot N$	(5)
5	Base di presa	$B = \frac{l \cdot H}{p} \cdot (1 - \mu)$	$B = l \cdot N \cdot (1 - \mu)$	(6)
6	Intervallo di scatto	$\Delta t = \frac{l \cdot H}{v \cdot p} \cdot (1 - \mu)$	$\Delta t = \frac{l \cdot N}{v} \cdot (1 - \mu)$	(7)
7	Interasse delle strisciate	$i = \frac{l \cdot H}{p} \cdot (1 - \epsilon)$	$i = l \cdot N \cdot (1 - \epsilon)$	(8)
8	Numero di strisciate	$n_s = \text{int} \left[\frac{d_2}{L \cdot (1 - \epsilon)} \right] + 1$		(9')
9	Numero di fotogrammi per strisciata	$n_f = \text{int} \left[\frac{d_1}{L \cdot (1 - \mu)} + 1 \right] + 1$	$n_f = \text{int} \left[\frac{d_1}{B} + 1 \right] + 1$	(9'')
10	Numero di fotogrammi complessivi	$n_{tot} = n_s \cdot n_f$		(10)

APPLICAZIONE

Problema Per il rilievo in scala 1:2000 del territorio pianeggiante di un piccolo Comune, posto a una quota media di 23 m s.l.m., le cui dimensioni sono contenute in un rettangolo ideale di 35×20 km, deve essere programmato un volo fotogrammetrico con un aereo la cui velocità di crociera ottimale è di 250 km/h. Sull'aereo è montata una camera con obiettivo grandangolare di distanza focale 152,85 mm e pellicola con formato utile di 228×228 mm. Si vogliono determinare i parametri del volo facendo riferimento ai ricoprimenti longitudinale e laterale rispettivamente del 60% e del 20%.

Soluzione

Applicando in sequenza le formule sintetizzate nella precedente tabella, e adottando il valore 180 per il coefficiente k della formula empirica (3), otteniamo:

- denominatore della scala dei fotogrammi $N = 180 \cdot \sqrt{2000} = 8050$ (scala 1:8050)
- altezza del volo dal suolo $H = 0,15285 \cdot 8050 = 1230$ m
- quota assoluta del volo $Q_v = 23 + 1230 = 1253$ m
- abbracciamento $L = \frac{0,228 \cdot 1230}{0,15285} = 1835$ m
- base di presa $B = \frac{0,228 \cdot 1230}{0,15285} \cdot (1 - 0,60) = 734$ m
- intervallo di scatto $\Delta t = \frac{0,228 \cdot 1230}{0,15285 \cdot 69,44} \cdot (1 - 0,6) = 10,6$ s
- interasse delle strisciate $i = \frac{0,228 \cdot 1230}{0,15285} \cdot (1 - 0,20) = 1468$ m
- numero di strisciate $n_s = \text{int} \left[\frac{20\,000}{1835 \cdot (1 - 0,20)} \right] + 1 = 14$
- numero di fotogrammi per strisciata $n_f = \text{int} \left[\frac{35\,000}{1835 \cdot (1 - 0,6)} + 1 \right] + 1 = 49$
- numero di fotogrammi complessivi $n_{tot} = 14 \cdot 49 = 686$

FAQ

► **È realistico ipotizzare che le condizioni del volo si mantengano costanti per tutta la sua durata?**

No, in effetti le camere per la presa aerea sono dotate di dispositivi di controllo della presa e di apparati di manovra che consentono di modificare in volo i parametri che condizionano la presa stessa.

4. Gestione del volo fotogrammetrico

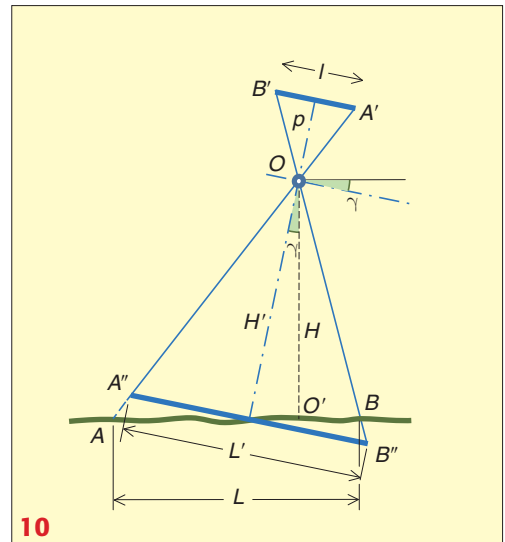
I parametri determinati nel paragrafo precedente sono essenziali per impostare correttamente il volo di presa, tuttavia essi devono essere considerati come una **programmazione di massima** dello stesso volo.

In effetti non è possibile prevedere l'**esatto svolgersi** degli eventi per tutto il tempo del volo, sia a causa delle *particolarità del terreno*, che potrebbero fare variare la scala del fotogramma, sia per le piccole ma inevitabili *variazioni della velocità* dell'aereo, sia, ancora, per i movimenti impressi all'aereo dai venti.

In conseguenza di ciò non è possibile affidare **completamente** l'operazione di presa agli **automatismi** di cui sono dotate le camere per la presa aerea, ma è necessaria la presenza, a bordo dell'aereo, di personale specializzato (► FIGURA 9) che gestisca la presa **controllando**, ed eventualmente **correggendo**, alcuni aspetti critici che di seguito verranno accennati. Possiamo affermare, pertanto, che la presa aerea è un'operazione **semiautomatica**.

FIGURA 9 Camera per la presa aerea montata sul pavimento dell'aereo. Il tecnico tiene sotto controllo l'operazione di presa attraverso il periscopio di navigazione e rimane sempre in contatto radio con il pilota per richiedere variazioni ai parametri del volo.

FIGURA 10 Schema geometrico della presa pseudo-nadirale: per i movimenti dell'aereo l'asse della camera non è perfettamente verticale. In generale questo inconveniente provoca variazioni di scala trascurabili sui fotogrammi.



■ Inclinazione dell'asse della camera

Si è detto che l'aereo durante la presa può essere sottoposto a perturbazioni che lo scostano dalla traiettoria ideale rettilinea e orizzontale. In particolare il **beccheggio** (rotazione attorno a un asse ortogonale al moto), provoca l'**inclinazione** dell'asse della camera, rispetto alla verticale richiesta (► FIGURA 10), che provoca variazioni della **scala media dei fotogrammi**.

Si tratta, di solito, di una piccola deviazione, tanto che tale situazione viene detta presa **pseudo-nadirale**.

Per verificare questa affermazione osserviamo che in presenza di un **angolo di deviazione** γ , formato dall'asse della camera e dalla verticale (nel caso di prese nadirali sarebbe $\gamma = 0^\circ$), cambia il valore dell'**abbracciamento** L del fotogramma. Pertanto, rimanendo immutato il formato l della lastra, cambia la **scala media** dei fotogrammi fornita dalla nota relazione $1/N = l/L$.

Per i modesti valori di γ , è ammesso **approssimare** l'**abbracciamento** $L = AB$ sul terreno con il segmento $L' = A''B''$ ortogonale all'asse della camera ($A''B'' \cong AB$). L'espressione della scala diventa:

$$\frac{1}{N} = \frac{l}{L} \cong \frac{l}{L'}$$

Considerando poi i due triangoli simili $A'B'O$ e $A''B''O$, si ha $l/L' = p/H'$. Ma, essendo $H' = H/\cos \gamma$, si può scrivere:

$$\frac{1}{N} \cong \frac{p}{H} \cos \gamma$$

Dunque la **scala del fotogramma** con asse della camera **inclinato** è, con buona approssimazione, uguale alla scala rigorosa moltiplicata per il coseno dello sbandamento γ rispetto alla verticale. Se si considera che la rotazione γ è sempre molto piccola, e non supera mai il valore di alcuni gradi, si può facilmente dedurre (per le proprietà della funzione coseno) che la variazione di scala del fotogramma nell'ambito della presa **pseudo-nadirale** è **trascurabile**. Infatti, se ipotizziamo uno sbandamento dell'asse di 4° , quindi con $\cos 4^\circ = 0,997$, la scala media del fotogramma diventa: $1/N \cong (p/H) \cdot 0,997$. Il coefficiente moltiplicativo 0,997, nel contesto, può essere del tutto trascurato.

■ Variazione dei tempi di scatto

Il calcolo dell'intervallo Δt di **apertura dell'otturatore** determinato con la (7) è un valore di riferimento funzionale alla **programmazione di massima** del volo. In effetti esso è stato calcolato immaginando che l'aereo mantenga idealmente una **velocità costante** v lungo le sue traiettorie; in realtà, le azioni del vento (pur limitate) causano **variazioni** della velocità dell'aereo.

Pertanto, se si mantenesse per tutto il volo l'*intervallo di scatto* Δt calcolato, si otterrebbero delle **basi di presa** B diverse da quelle programmate, e con esse la percentuale di **ricoprimento longitudinale** necessaria alla formazione dei *modelli stereoscopici*.

Dunque è necessario controllare, ed eventualmente variare, gli intervalli di scatto Δt durante il volo a mezzo di uno strumento *semiautomatico* detto **cinederivometro**, spesso incorporato al **periscopio di navigazione** (► FIGURA 11); con questo strumento vengono anche corretti gli effetti della **deriva** (da cui il nome *derivometro*).

Si tratta di un dispositivo, **separato** dalla camera ma cablato con essa, provvisto di un **visore** sul quale appare la stessa immagine del terreno ripresa dalla camera, a cui viene sovrapposta l'immagine di un **reticolo** che opera come *indice mobile* (► FIGURA 12). Per effetto del movimento dell'aereo è possibile osservare un apparente **movimento relativo** del terreno rispetto al *reticolo*.

All'operatore che controlla la presa viene richiesto di **variare progressivamente** la velocità del *reticolo* fino ad **annullare il movimento** relativo rispetto al terreno sottostante. A questo punto gli automatismi della camera impongono i corretti intervalli di scatto, per mantenere il **ricoprimento longitudinale** programmato.

■ Deriva

Per effetto del **vento laterale** che preme sull'*impennaggio verticale* della fusoliera, l'aereo non si muove secondo la direzione dell'asse della fusoliera, ma nella **direzione** della **risultante** R tra l'azione del vento V_v e la spinta di propulsione dell'aereo V_p .

Nel nostro contesto la **deriva** è l'angolo δ , compreso tra la direzione della risultante R (cioè la rotta dell'aereo) e l'asse della fusoliera dell'aereo.

Se la camera fosse tenuta in **posizione fissa** rispetto alla fusoliera, si otterrebbe una strisciata con fotogrammi male orientati, come quella rappresentata in ► FIGURA 13, in cui il ricoprimento longitudinale sarebbe errato. La parte superiore della camera (quella che contiene la lastra), però, può essere **ruotata** attorno al suo asse verticale per cui, misurato l'angolo di deriva con il **cinederivometro**, viene imposta automaticamente la rotazione δ alla camera in modo da ottenere la *strisciata corretta* (► FIGURA 14).

■ Trascinamento

L'effetto di *trascinamento* sui fotogrammi è un problema molto delicato, nell'ambito della fotogrammetria aerea, in quanto (a differenza della fotogrammetria terrestre), la presa avviene con la camera in **movimento**.

La circostanza ideale sarebbe quella in cui l'apertura dell'otturatore della camera fosse **istantanea**. In realtà esso deve **rimanere aperto** per un certo intervallo di tempo $\Delta \tau$ (espresso in frazioni di secondo) per consentire l'entrata di una **quantità di luce** sufficiente per permettere la reazione chimica dell'emulsione fotosensibile. Per quanto piccolo sia l'intervallo di tempo $\Delta \tau$ di apertura dell'ottu-

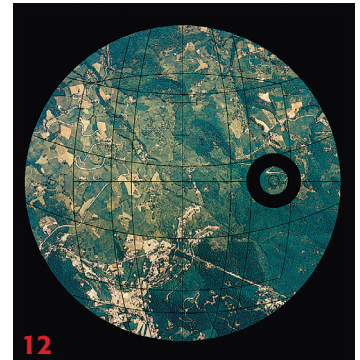


FIGURA 11 Camera aerea Wild RC30; in primo piano il periscopio di navigazione con incorporato il cinederivometro. La parte inferiore rettangolare della camera rimane fissa alla fusoliera; a quella superiore, che contiene la lastra, possono essere impresso rotazioni per eliminare gli effetti della deriva.

FIGURA 12 Aspetto del visore del periscopio di navigazione con il reticolo del cinederivometro e l'immagine della livella sferica della camera.

FAQ

► Su quali parametri del volo può intervenire il cinederivometro?

Sugli intervalli di scatto, adeguandoli alla reale velocità di crociera, e sulla deriva, imponendo piccole rotazioni assiali alla camera per mantenere i fotogrammi allineati correttamente.

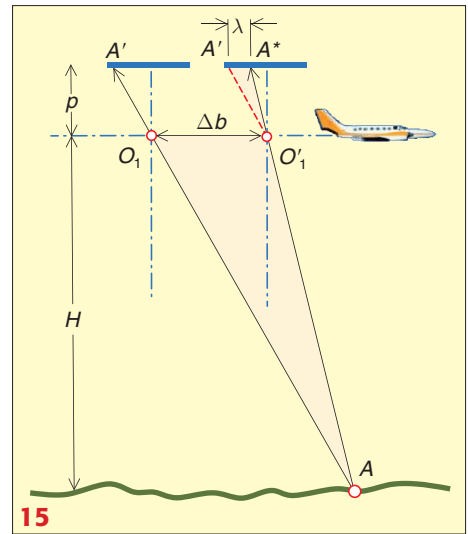
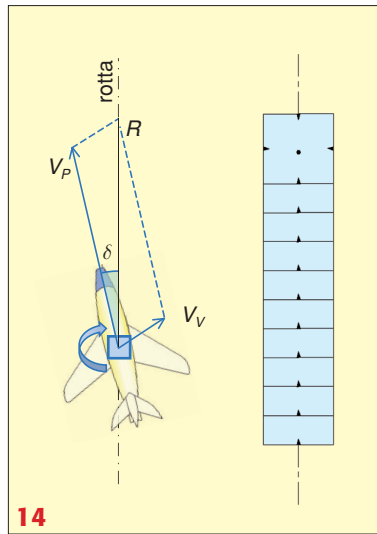
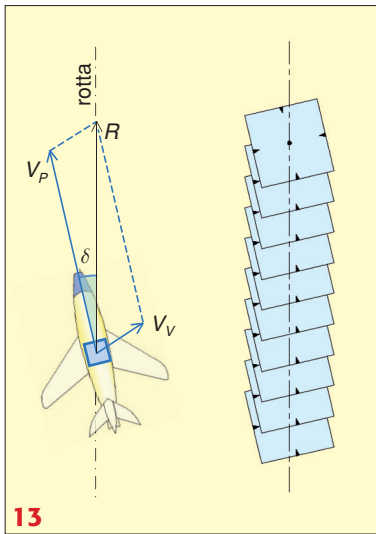


FIGURA 13 Effetto della deriva sui fotogrammi della strisciata senza la correzione della camera.

FIGURA 14 Gli effetti della deriva vengono corretti con rotazioni impresse alla parte superiore della camera (quella che porta la lastra), ottenendo il giusto posizionamento dei fotogrammi.

FIGURA 15 Per effetto del trascinamento l'immagine di un generico punto A sul terreno viene registrata sul fotogramma come un piccolo segmento di lunghezza $A'A^* = \lambda$.

ratore, il **moto dell'aereo** produrrà sempre, sul fotogramma, l'effetto di **trascinamento** dell'immagine.

In un dato istante la camera si trova, con il suo centro di presa O_1 , in una data posizione dello spazio (►FIGURA 15), mentre riceve un raggio luminoso uscito da un punto A sul terreno che va a colpire la lastra nel punto A' . Durante l'intervallo di **tempo** $\Delta\tau$ in cui l'otturatore **rimane aperto**, il centro di presa O_1 si sposta nella posizione O_1' percorrendo il **tratto** Δb , per cui il raggio di luce ha impresso, non il singolo punto A' , ma il **tratto** $\lambda = A'A^*$. Come conseguenza, sul fotogramma, al posto del punto A verrà registrato un trattino lungo λ . Per la similitudine dei triangoli $A'A^*O_1'$ e $O_1O_1'A$ si può scrivere la relazione:

$$\frac{\lambda}{p} = \frac{\Delta b}{H} \quad \text{quindi} \quad \lambda = p \cdot \frac{\Delta b}{H}$$

Tenendo poi conto della **velocità** v costante dell'aereo (in m/s) e del **tempo** $\Delta\tau$ di apertura dell'otturatore della camera, si ha che $\Delta b = v \cdot \Delta\tau$, per cui si può scrivere:

$$\lambda = \frac{p \cdot v \cdot \Delta\tau}{H} \tag{11}$$

APPLICAZIONE

Immaginiamo di dover progettare un volo al fine di produrre una carta in scala 1:2000, con una camera avente $p = 150$ mm. In base alla ►TABELLA 1 la scala media dei fotogrammi dovrà essere 1:8000, da cui deriva un'altezza di volo dal terreno di $H = 1200$ m. Fissato un tempo di apertura dell'otturatore $\Delta\tau = 1/200$ di secondo e una velocità di crociera dell'aereo di 250 km/h, pari a circa $v = 69$ m/s, l'effetto del trascinamento calcolato con la (10) sarà

$$\lambda = \frac{0,150 \cdot 69}{1200 \cdot 200} = 0,000043 \text{ m} = 0,043 \text{ mm}$$

Tenendo conto che le **dimensioni** della «grana» dell'emulsione fotosensibile è di circa 0,01 mm, l'effetto del trascinamento risulta intollerabile. In questo caso è necessario ridurre il tempo di apertura dell'otturatore a $\Delta\tau = 1/500$ di secondo (ed eseguire la presa in condizioni di **illuminazione** compatibili con questo valore), col quale si avrebbe un valore $\lambda = 0,017$ mm, dello stesso ordine di grandezza della grana dell'emulsione, e quindi tollerabile.

FAQ

► **Per quale ragione l'otturatore della camera deve rimanere aperto per un certo intervallo di tempo causando il trascinamento?**

Per consentire l'entrata nella camera di una quantità di luce sufficiente a consentire l'attivazione dei fenomeni chimici di impressionamento della pellicola.

5. Fotogrammetria terrestre

La **fotogrammetria terrestre convenzionale**, salve le proprie peculiarità, condivide con la fotogrammetria aerea tutta la **base teorica** e l'approccio *stereoscopico* nella restituzione.

Esiste anche una **fotogrammetria terrestre non convenzionale** (che utilizza camere **semimetriche**), nata e sviluppata per contenere i **costi** significativi che le attrezzature della *fotogrammetria convenzionale* prevede (sia per le camere **metriche** sia per i **restitutori analitici**). Essa **rinuncia alla stereoscopia** e si affida, nella restituzione, a opportuni *software* legati a particolari soluzioni teoriche adottate. La precisione di queste tecniche *non convenzionali* è sicuramente inferiore a quella consentita dalle tecniche *fotogrammetriche classiche*, tuttavia, in molti contesti, è sufficientemente attendibile.

L'impiego prevalente della *fotogrammetria terrestre* è dedicato al rilievo di **monumenti, di edifici, o comunque di elementi architettonici**.

La fotogrammetria **terrestre convenzionale** si differenzia da quella **aerea** essenzialmente per i seguenti aspetti (in parte già richiamati in precedenza):

- piccole **distanze** camera-oggetto (infatti si parla di fotogrammetria **dei vicini**);
- camera **ferma** durante la presa;
- **scatto**, e sostituzione della lastra, **manuali**;
- **maggior libertà** nel configurare la presa;
- fotogrammi **contenenti** anche porzioni (cielo e terreno) **non appartenenti all'oggetto ripreso** (edificio).

Nella *presa terrestre convenzionale* vengono impiegate le **camere metriche**, già illustrate nel paragrafo 3 della precedente unità; di cui sono noti con stabilità i parametri di **orientamento interno**. Esse vengono montate sugli stessi **treppiedi** e **basamenti** (► FIGURA 16) utilizzati per i **goniometri** e le **mire**, garantendo, pertanto, la relativa **intercambiabilità** (*centramento forzato*), che consente, dallo **stesso punto di stazione**, di eseguire sia operazioni di *presa fotografica*, sia tradizionali *misure topografiche* (per la misura della base di presa e dei punti di appoggio sull'edificio).

Da un punto di vista operativo le *camere metriche terrestri* devono possedere i seguenti requisiti:

- essere **orientabili** sia *orizzontalmente* che *verticalmente* mediante dispositivi meccanici che consentono rotazioni a **scatto prestabilite** (come nella camera Wild P31 di ► FIGURA 16). Le camere più piccole (per esempio, Wild P32 di ► FIGURA 17) sono prive di questi dispositivi; esse, pertanto, per essere orientate correttamente vengono montate sul collimatore dei tradizionali *goniometri*;
- essere **disposte** sui montanti (alidada) sia in modo **orizzontale** sia **verticale**, per consentire, al bisogno, prese di fotogrammi con formato sia *orizzontale* sia *verticale*. In effetti le camere **metriche** terrestri hanno la lastra (con supporto di vetro) sempre di **formato rettangolare** (► FIGURA 18) di dimensioni $l_1 \times l_2$, anche se queste non sono standardizzate come nella fotogrammetria aerea;
- essere provviste di collimatore di **squadro** per impostare le prese «*normali*» (v. paragrafo successivo);
- essere provviste di **schermo traslucido** (da collocare al posto della lastra), per osservare il campo della presa prima dello scatto;
- essere provviste di un dispositivo per la registrazione delle **marche fiduciali** sui fotogrammi.

Più raramente (per i costi molto elevati) vengono usate configurazioni a **bicamera**, costituite da una coppia di camere metriche sincronizzate e montate su una barra di lunghezza B calibrata.



FIGURA 16 Camera metrica Wild P31 montata su basamento della stessa ditta. Ciò permette l'intercambiabilità della camera con goniometro e mire.



FIGURA 17 Camera metrica Wild P32 collocata sul cannocchiale di un goniometro della stessa ditta.



FIGURA 18 Fotogramma ottenuto da una camera metrica terrestre. Si osserva il formato rettangolare di dimensioni l_1 in orizzontale e l_2 in verticale, e la registrazione delle 4 marche fiduciali laterali (cerchiate), oltre alla distanza focale dell'obiettivo montato sulla camera.

6. Configurazione della presa terrestre

Fatta salva la perfetta conoscenza, in qualche modo, della **posizione della camera** (centro di proiezione e lastra) al momento della presa, la **disposizione** della camera, nei punti della ripresa terrestre, non è limitata da vincoli, e teoricamente potrebbe dare luogo a **svariate soluzioni**, prestando solo attenzione a realizzare una buona geometria dei raggi proiettanti.

Tuttavia, nella pratica, da un lato è opportuno limitare la *dislivello* tra i punti di presa entro il 10-15% della *base di presa B*, per non compromettere l'eventuale **ricoprimento laterale** (che nella fotogrammetria terrestre è in direzione **verticale**), dall'altro la disposizione della camera durante le prese viene circoscritta alle quattro soluzioni seguenti.

■ Assi delle camere paralleli e ortogonali alla base (presa normale)

È il tipo di configurazione, nota come **presa normale** (o *stereoscopica*) (► FIGURA 19), in cui gli assi della camera sono disposti tra loro **paralleli** (per consentire il trattamento *stereoscopico* di una coppia di fotogrammi consecutivi durante la restituzione) e **perpendicolari** alla *base di presa*.

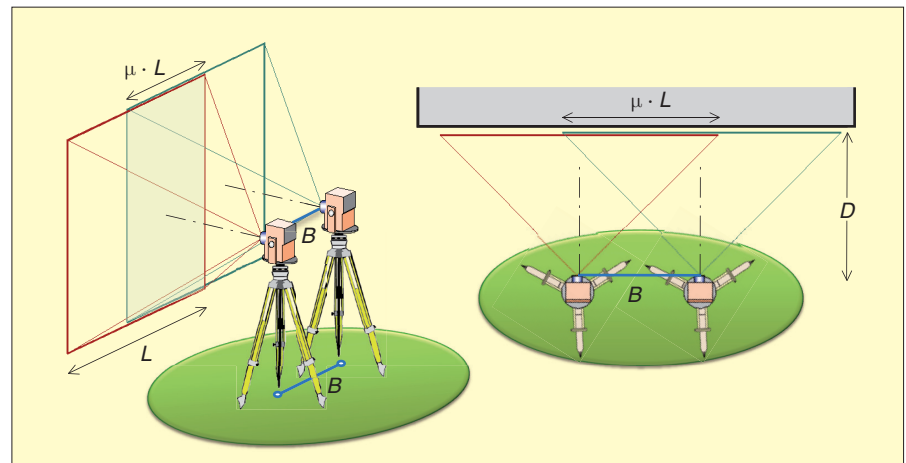


FIGURA 19 Schema prospettico e planimetrico della presa «normale»; gli assi delle camere sono paralleli e perpendicolari alla base di presa.

La particolare configurazione si traduce in una **soluzione analitica** molto **semplice** (che tra poco esamineremo), favorisce la **pianificazione** delle operazioni di presa e genera fotogrammi **uniformi** per qualità; pertanto è la configurazione di presa terrestre **di riferimento**.

Oggi, tuttavia, con l'uso dei **restitutori analitici**, la semplicità del calcolo non è più un vantaggio decisivo come in passato, quindi, spesso, si rinuncia alla **perfetta** configurazione della *presa normale*, adottando un tipo di presa simile a quella *normale*, che viene detta **pseudo-normale**.

■ Assi delle camere leggermente convergenti (presa pseudo-normale)

In questo caso la camera non viene collocata con precisione, e gli assi di presa seguono **solo con approssimazione** lo schema della **presa normale**.

Essi sono impostati **leggermente convergenti** (massimo $4^\circ - 5^\circ$); ciò consente prese più **rapide**, in quanto liberate dall'esatto collocamento delle camere, senza tuttavia compromettere le potenzialità **stereoscopiche** dei fotogrammi. Le operazioni di *orientamento* (unità T3) in questo caso sono consentite da un insieme di **punti di appoggio**, di posizione determinata, scelti sull'oggetto (ma anche esterni a esso). Ciò consente anche una limitazione degli **errori sistematici**, nelle operazioni di *orientamento* e *restituzione*, che possono essere in gran parte eliminati grazie agli stessi *punti di appoggio*.

■ Assi delle camere convergenti

Gli assi delle camere formano un angolo qualsiasi con la *base di presa*, dunque risultano **convergenti** (► FIGURA 20). Il vantaggio consiste nell'eseguire il rilievo con un numero minore di fotogrammi (che possono essere completamente ricoperti da quello successivo); tuttavia, nella *fotogrammetria convenzionale*, venendo a mancare l'aspetto *stereoscopico*, questo tipo di presa non viene utilizzata. Al contrario è una soluzione che viene adottata di frequente quando la *restituzione* non si avvale della *visione stereoscopica*, ma il trattamento avviene sui *singoli fotogrammi* (cioè in **monoscopia**). Pertanto è un tipo di presa adottato nelle tecniche di **fotogrammetria non convenzionale**.

■ Assi delle camere obliqui e paralleli

È una soluzione particolare adottata quando la distanza tra camera e oggetto fotografato è **molto piccola** (► FIGURA 21). In questo caso si possono **inclinare** gli assi delle camere rispetto alla base, conservando però il loro **parallelismo**. Il valore *B* della base di presa, con questa soluzione, è fornito dalla distanza fra gli stessi assi delle camere.

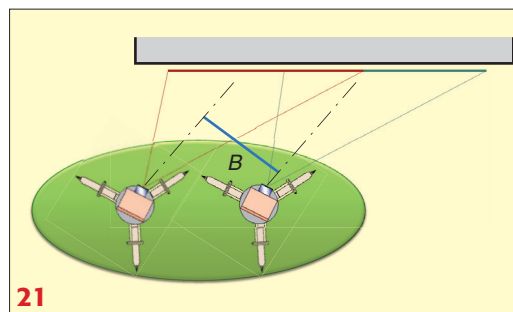
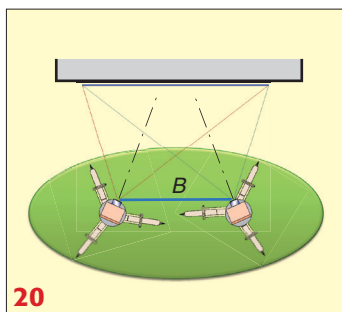


FIGURA 20 Schema della presa terrestre ad assi convergenti. Essa viene utilizzata in genere nella fotogrammetria non convenzionale.

FIGURA 21 Schema della presa terrestre ad assi inclinati e paralleli. Essa viene utilizzata quando lo spazio di fronte all'oggetto è molto limitato.

FAQ

► La presa pseudo-normale manca delle caratteristiche stereoscopiche dei fotogrammi?

No, limitando a pochi gradi la convergenza degli assi delle camere, l'effetto stereoscopico è comunque garantito; tuttavia, in questo caso, è necessario conoscere la posizione di alcuni punti di appoggio sull'oggetto per poter orientare i fotogrammi.

FAQ

► **Il formato delle lastre delle camere terrestri è rettangolare?**

Sì per le camere metriche, che presentano lastre con dimensioni l_1 e l_2 orientabili sia orizzontalmente sia verticalmente. Le camere semimetriche, invece, presentano formati della pellicola anche quadrati, come nel caso delle Rollei 8006 e 8008, il cui formato è 60×60 mm.

7. Progetto della presa terrestre

Gli elementi da considerare inizialmente per la **pianificazione** della presa fotogrammetrica sono:

- **le dimensione dell'oggetto;**
- **la scala di rappresentazione** ($1:N_{dis}$);
- **il tipo di camera** (distanza principale p , formato della lastra $l_1 \times l_2$ ecc.).

Considerando questi elementi di partenza, viene subito definita la *scala media dei fotogrammi* ($1:N$) in relazione alla *scala di rappresentazione* ($1:N_{dis}$), secondo la legge empirica:

$$N = (2 \div 4) \cdot N_{dis}$$

Richiamandoci a quanto già esposto in precedenza (paragrafo 5 dell'unità T1), e con riferimento alla ► FIGURA 22, i **parametri** da considerare nel **progetto** della **presa terrestre** (facendo riferimento alla configurazione di presa *normale*) sono sintetizzabili nel seguente elenco.

- **Distanza di presa:** necessaria per ottenere l'opportuna *scala dei fotogrammi* ed espressa dalla relazione:

$$D = p \cdot N \tag{12}$$

- **Abbracciamento** orizzontale: dimensione reale (in direzione orizzontale) dell'oggetto contenuto nel fotogramma, fornito dalle relazioni equivalenti:

$$L = \frac{l_1 \cdot D}{p} \qquad L = l_1 \cdot N \tag{13}$$

- **Ricoprimento longitudinale** μ (*orizzontale* o direzione prevalente): parte di *sovrapposizione* di due fotogrammi consecutivi (mediante del 60% del lato l_1 della lastra), per garantire, nel caso della fotogrammetria convenzionale, la copertura dell'intero oggetto con *modelli stereoscopici*.
- **Ricoprimento laterale** ϵ (*verticale*) quando necessario: parte di *sovrapposizione* (mediante del 20% del lato l_2 della lastra) di due **blocchi** di fotogrammi con disposizione orizzontale.

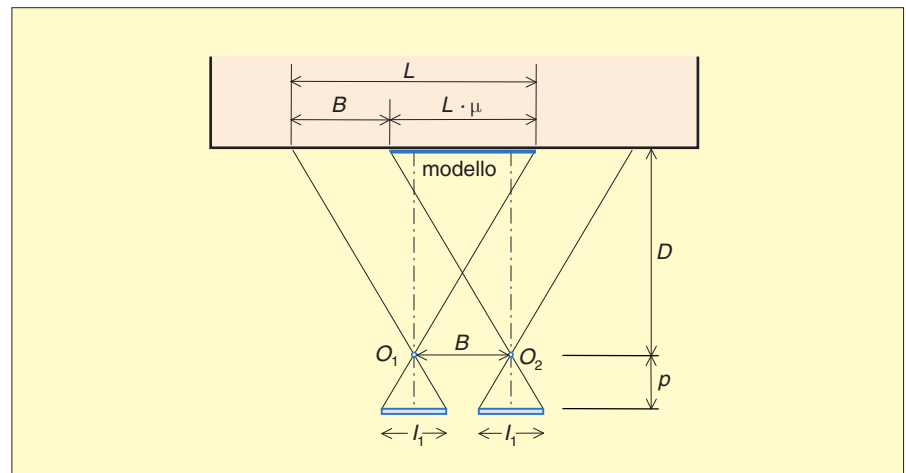


FIGURA 22 Schema della presa terrestre normale con l'indicazione dei relativi principali parametri.

- **Base di presa:** distanza tra i centri di presa O_1 e O_2 tra due posizioni consecutive della camera. Permette di ottenere il ricoprimento longitudinale μ previsto e viene fornita da una delle due relazioni equivalenti:

$$B = L \cdot (1 - \mu) \qquad B = \frac{l_1 \cdot D}{p} (1 - \mu) \qquad (14)$$

- **Controllo** del rapporto base/distanza (B/D): esso deve essere compatibile con le esigenze del rilievo. Per buoni risultati deve essere da 1/3 a 1/5; per rilievi di prospetti senza oggetti significativi può arrivare a 1/10.
- **Assetto della camera:** nella fotogrammetria convenzionale è quella *normale* o quella *pseudo-normale*; in quella non convenzionale è invece quella ad *assi convergenti*.
- **Tipo di lastra o pellicola:** in relazione alla *precisione* del rilievo e alle *condizioni ambientali* di illuminazione in cui avviene la presa.

8. Operazioni di presa terrestre

Dopo un'attenta analisi dell'oggetto da rilevare, le operazioni della presa terrestre consistono in una **sequenza di operazioni** che possono variare leggermente in relazione alla strumentazione utilizzata e alla tecnica adottata.

Quando la **camera metrica** utilizzata è priva (per limitarne costi e dimensioni) dei **dispositivi di orientamento** orizzontale e verticale (è il caso della camera Wild P32), essa deve essere **accoppiata** a un teodolite, che può fornire con precisione tutte le direzioni *azimutali*, *zenitali* e di *squadro*. Naturalmente tale accoppiamento è consentito da appositi alloggiamenti, predisposti dalle stesse ditte costruttrici, che impongono il **parallelismo** tra *asse di mira* del collimatore del teodolite e *asse ottico* della camera.

Le **camere metriche** più costose (e più ingombranti) dispongono invece di **apparecchi di orientamento** nelle direzioni orizzontale e verticale, in genere a **scatti**, in corrispondenza di posizioni prefissate, oltre che di piccoli **collimatori a squadra** necessari per l'impostazione della presa *normale*. Esse, dunque, sono «*autonome*» nella produzione dei fotogrammi, tuttavia, nel contesto del rilievo fotogrammetrico, l'uso della tradizionale strumentazione topografica è comunque necessaria per il rilievo delle posizioni dei **punti di appoggio** che consentiranno l'**orientamento esterno** dei fotogrammi prima della *restituzione* (unità T3).

Ciò premesso, e prescindendo dalle peculiarità connesse alla strumentazione utilizzata, la *presa terrestre* prevede essenzialmente la seguente sequenza di operazioni:

- individuazione sul terreno dei **punti di ripresa** collocati alla distanza di presa D definita in sede progettuale (paragrafo precedente);
- verifica dell'**ortogonalità** tra *asse ottico* e *base di presa* (nell'eventuale adozione della *presa normale*). Nella camera accoppiata al teodolite questa operazione è consentita dallo stesso teodolite;
- **misura** effettiva della **base di presa** B (che naturalmente avrà un valore prossimo a quello definito in sede di progetto);
- verifica delle **inquadrature** ottenibili dai punti di ripresa e definizione dei tempi di apertura dell'otturatore in relazione alle condizioni di illuminazione;
- **ripresa fotografica** dai punti di stazione;
- rilievo dei **punti di appoggio** sull'oggetto (ma anche esterni a esso).

La ► **FIGURA 23** illustra le fasi di una presa normale, con una camera metrica per le prese, e un teodolite per il rilievo dei punti di appoggio.

FAQ

► Le camere metriche sono orientabili con precisione?

Sì; o perché hanno in dotazione dispositivi di orientamento a scatto in posizioni prefissate (camere più costose), oppure perché vengono accoppiate a teodoliti i cui dispositivi di orientamento (alidada e cannocchiale) orientano anche la camera (camere meno costose).

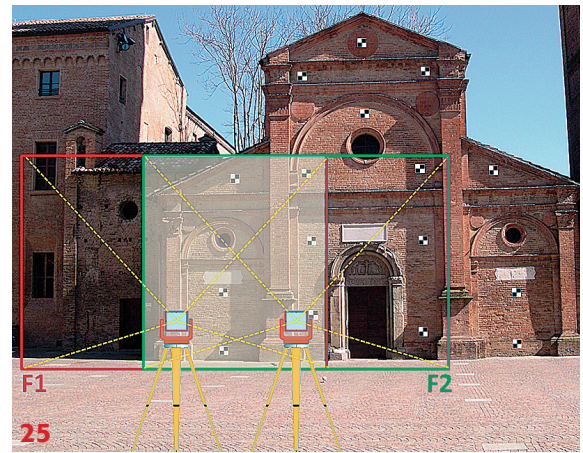
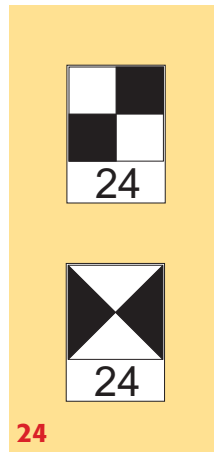


FIGURA 23 Operazioni di presa con camera metrica Zeiss UMK-10 (sul primo punto della base di presa) e teodolite elettronico per rilevare i punti di appoggio (collocato sul secondo punto della base).

FIGURA 24 Segnali in cartoncino da fotogrammetria terrestre. Essi devono essere numerati per il loro riconoscimento sui fotogrammi.

FIGURA 25 Schema di presa terrestre *pseudo-normale*. Sull'edificio sono stati collocati i segnali in cartoncino per materializzare i punti di appoggio necessari all'orientamento esterno dei fotogrammi.

■ I punti di appoggio per l'orientamento esterno dei fotogrammi

I **punti di appoggio**, che verranno poi utilizzati nelle operazioni di **orientamento esterno** dei fotogrammi, dovranno essere determinati con tradizionali strumentazioni e **tecniche topografiche**, ottenendo le loro coordinate in base a un opportuno *sistema di riferimento*. In generale, su ciascun punto, viene realizzata una **intersezione in avanti** adottando come **base nota** la stessa *base di presa* dei fotogrammi. Sono utilizzabili, tuttavia, anche altre tecniche di rilievo, che dovranno comunque fornire con precisione la posizione dei punti di appoggio.

I *punti di appoggio*, preferibilmente, vanno materializzati mediante opportuni **segnali** su cartoncino rigido, incollati provvisoriamente all'oggetto; essi devono essere opportunamente **numerati** per il loro riconoscimento certo (► FIGURE 24 e 25). Le loro **dimensioni**, affinché siano ben visibili sui fotogrammi, vanno stabilite in relazione alla scala degli stessi fotogrammi.

Quando non è possibile (o è molto scomodo) materializzare i *punti d'appoggio* con i precedenti **segnali**, è possibile individuare, al loro posto, dei **particolari architettonici** sull'edificio, ben visibili sui fotogrammi e facilmente **collimabili** (angoli di finestre e di architravi di porte ecc.).

Occorre, infine, considerare che nella fotogrammetria terrestre può succedere di frequente che parte della fotografia non è occupata dall'edificio, ma dal **terreno** e dal **cielo**. Pertanto, in tali zone, non è possibile collocare i necessari punti d'appoggio segnalati, come prima descritto. In questo caso, almeno nelle parti del terreno, vengono collocate **mire topografiche** montate su treppiedi che completeranno l'insieme dei punti di appoggio.

9. La presa normale

La ► FIGURA 26 rappresenta lo schema assonometrico della **presa normale**, definita in precedenza, con gli **assi ottici** della camera tra loro **paralleli** e **perpendicolari** alla congiungente i centri di presa O_1 e O_2 (**base di presa**).

Si assume come *sistema di riferimento assoluto*, a cui riferire i punti dell'oggetto ripreso (la fotogrammetria terrestre si occupa di rappresentare oggetti di dimensioni limitate, come gli edifici, pertanto non vengono usati *sistemi di riferimento cartografici*), una **terna di assi** ortogonali con le seguenti caratteristiche (► FIGURA 26):

- origine nel primo centro di presa O_1 ;
- asse X diretto positivamente al secondo centro di presa O_2 ;

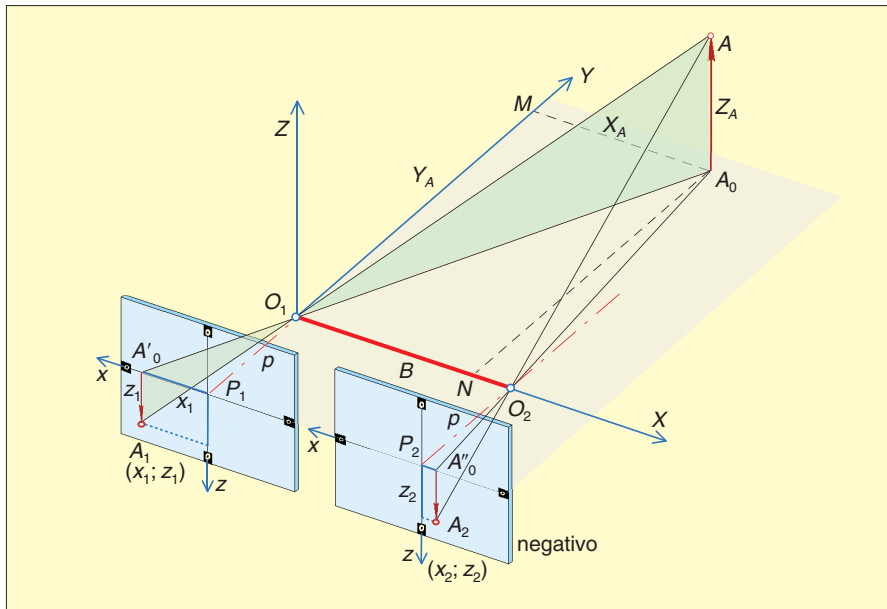


FIGURA 26 Schema assonometrico della presa terrestre *normale*.

- asse Y coincidente con l'asse ottico della camera in O_1 , quindi normale alla base di presa B ;
- asse Z (ovviamente) perpendicolare al piano XY .

In questa configurazione le **lastre** si disporranno **parallele al piano XZ** , pertanto il **sistema di riferimento interno** di ciascun fotogramma verrà indicato convenzionalmente con xz (anziché con xy del sistema interno dei fotogrammi nella *presa aerea*, dove la lastra era disposta *parallelamente al piano XY*).

Inoltre l'orientamento degli assi interni xz , nelle ►FIGURE 26 e 27, tiene conto della circostanza che in esse sono riportati i **negativi** (dunque con le immagini capovolte rispetto a quelle sviluppate sui **positivi** usati nella restituzione).

Consideriamo ora un generico punto A appartenente all'oggetto fotografato; A_1 e A_2 saranno le corrispondenti **immagini omologhe** di A su due fotogrammi consecutivi, e A_0 la sua proiezione sul piano XY del sistema di riferimento assoluto prima definito. Indichiamo poi con x_1 e z_1 le *coordinate lastra* di A_1 sul primo fotogramma, con x_2 e z_2 quelle di A_2 sul secondo fotogramma (►FIGURE 26 e 27). Le distanze O_1P_1 e O_2P_2 corrispondono alla *distanza principale* p della camera, considerata coincidente con la *distanza focale* f dell'obiettivo della camera.

Osservando i **triangoli simili**, appartenenti al piano XY del sistema assoluto, O_1A_0M e $O_1P_1A'_0$ si ha:

$$\frac{X_A}{x_1} = \frac{Y_A}{p} \quad \text{quindi} \quad X_A = \frac{Y_A \cdot x_1}{p} \quad (15)$$

Considerando poi gli ulteriori triangoli simili O_2NA_0 e $O_2A''_0P_2$ si ha:

$$\frac{O_2N}{x_2} = \frac{Y_A}{p} \quad \text{quindi} \quad O_2N = \frac{Y_A \cdot x_2}{p} \quad \text{cioè} \quad X_A - B = \frac{Y_A \cdot x_2}{p} \quad (16)$$

Sottraendo membro a membro dalla (15) la (16) ed esplicitando Y_A si ottiene facilmente:

$$Y_A = \frac{B \cdot p}{x_1 - x_2} \quad (17)$$

FAQ

► **A che cosa è dovuta la relativa semplicità della presa normale?**

Al fatto che l'orientamento dei fotogrammi è preimpostato al momento della presa con operazioni di sistemazione della camera i cui assi devono essere paralleli e perpendicolari alla base.

Sostituendo la precedente espressione di Y_A nella (15), si ha:

$$X_A = \frac{B \cdot x_1}{x_1 - x_2} \tag{18}$$

Dalla similitudine dei triangoli O_1A_0A e $O_1A_1A'_0$ appartenenti al piano verticale passante per il punto A e per il centro di presa O_1 (evidenziati con campitura in ► FIGURA 26) si ha:

$$\frac{Z_A}{z_1} = \frac{O_1A_0}{O_1A'_0} \tag{19}$$

Per i due triangoli simili O_1A_0M e $O_1A'_0P_1$ possiamo scrivere:

$$\frac{O_1A_0}{O_1A'_0} = \frac{Y_A}{p} \quad \text{quindi la (19) diventa:} \quad \frac{Z_A}{z_1} = \frac{Y_A}{p}$$

Sostituendo nella precedente al posto di Y_A la sua espressione data dalla (17), ed esplicitando Z_A , si ottiene:

$$Z_A = \frac{B \cdot z_1}{x_1 - x_2} \tag{20}$$

Se si fossero considerati i triangoli simili O_2A_0A e $O_2A_2A''_0$, si sarebbe ottenuto:

$$Z_A = \frac{B \cdot z_2}{x_1 - x_2} \tag{20'}$$

Essa, confrontata con la (20), dimostra che le due ordinate z_1 e z_2 sono **uguali** per qualsiasi punto dell'oggetto, pertanto esse sono intercambiabili nella formula (20).

Le (18), (17) e (20), che raggruppiamo insieme:

$$X_A = \frac{B \cdot x_1}{x_1 - x_2}$$

$$Y_A = \frac{B \cdot p}{x_1 - x_2}$$

$$Z_A = \frac{B \cdot z_1}{x_1 - x_2}$$

sono dette *equazioni di restituzione della presa normale* e consentono di ottenere le coordinate assolute X, Y, Z di qualsiasi punto dell'oggetto ripreso, in funzione della **distanza principale p** della camera (reperibile sul *certificato di calibrazione* della

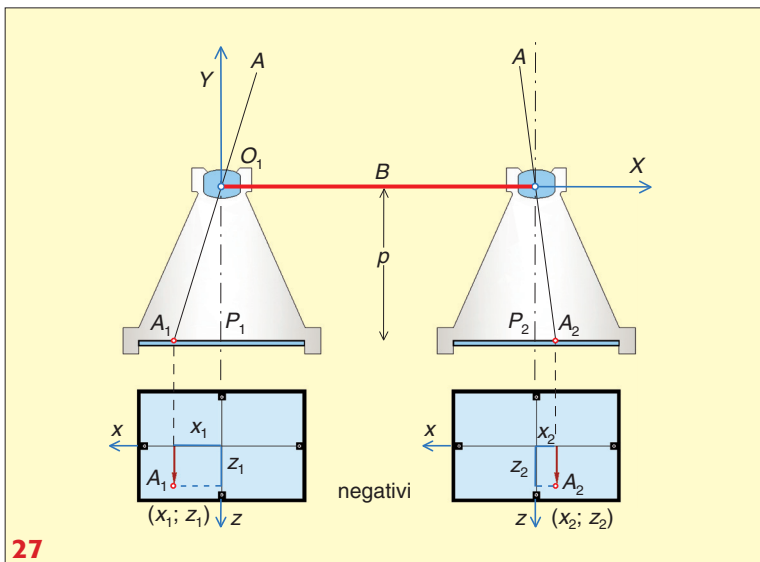


FIGURA 27 Coordinate lastra delle due immagini omologhe A_1 e A_2 del punto A dell'oggetto ripreso sui due fotogrammi negativi consecutivi.

FIGURA 28 Stereocomparatore per la misura di precisione in stereoscopia delle coordinate lastra dei punti omologhi.

camera, e comunque registrato su ogni fotogramma), della lunghezza della **base di presa** B (misurata durante le operazioni di presa) e delle due coppie di **coordinate lastra** $(x; z)$ delle due immagini *omologhe* dei punti oggetto sui due fotogrammi.

Queste relazioni rappresentano una versione semplificata delle più generali **equazioni di collinearità** (trattate nella successiva unità T3), in quanto le precedenti similitudini tra triangoli sono basate sull'appartenenza **alla stessa retta** (linea) dei seguenti tre punti: A sull'oggetto, O_1 (o O_2), centro di presa, e A_1 (o A_2), punto immagine sul fotogramma.

Le **coordinate lastra** $(x_1; z_1)$ e $(x_2; z_2)$, di A_1 e A_2 (punti omologhi di A sui due fotogrammi) devono essere **misurate in stereoscopia** con grande precisione (al **millesimo** di millimetro), utilizzando i fotogrammi **positivi** sviluppati su pellicola in poliestere **trasparente** con uno strumento (presente in tutti i restitutori) detto **stereocomparatore** (► FIGURA 28).

La quantità $(x_1 - x_2)$ che compare al denominatore di tutte le tre formule di **restituzione della presa normale** è detta **parallasse stereoscopica lineare**.

Notiamo che le stesse formule forniscono un valore reale solo se $(x_1 - x_2) \neq 0$, cioè se $x_1 \neq x_2$. Tale condizione, tuttavia, è sempre vera, in quanto le posizioni dell'oggetto sui due fotogrammi, ripresi da due diversi punti di presa, sono **sempre diverse** (sarebbe $x_1 = x_2$ solo se i due fotogrammi fossero ripresi **dallo stesso punto**, ma in questo caso non saremmo nell'ambito della fotogrammetria).

● Osservazione

Le semplici **equazioni di restituzione della presa normale**, ovviamente, sono valide solamente nel caso di **presa normale**; esse prevedono, durante le operazioni di ripresa dei fotogrammi, la sola **misura** della lunghezza B della **base di presa**; la loro semplicità deriva dal fatto che l'**orientamento** dei fotogrammi viene imposto all'atto della presa.

Tuttavia esse richiedono, preliminarmente alla presa dei fotogrammi, l'effettuazione di tutte le operazioni in grado di garantire con precisione le **ipotesi** alla base della **presa normale** (cioè assi ottici della camera paralleli e perpendicolari alla base di presa); qualsiasi imprecisione nell'imporre tali condizioni si traduce in errori nella determinazione delle posizioni dei punti sull'oggetto.

Con l'impiego dei moderni **restitutori analitici**, la semplicità del calcolo non è più un problema, e attualmente si preferisce adottare lo schema della **presa pseudo-normale**, facendo solo attenzione che la mancata ortogonalità degli **assi ottici**, rispetto alla **base di presa**, **non superi i 4°-5°** (per non compromettere il **trattamento stereoscopico** nel restitutore dei due fotogrammi consecutivi).

In questo caso le formule precedenti non sono più valide, e i fotogrammi devono essere **orientati** prima di effettuare la **restituzione** (unità T3). Allo scopo sono necessari i **punti di appoggio** scelti sull'oggetto, e dei quali si dovrà determinare la **posizione**, rispetto a un sistema di riferimento assoluto legato allo stesso oggetto, con tradizionali (peraltro molto semplici) operazioni topografiche.

10. Fotogrammetria terrestre non convenzionale

L'impiego della **fotogrammetria terrestre** tradizionale, in alcuni campi, quali il **rilievo architettonico** degli edifici e il **rilievo archeologico**, nel tempo è rimasto limitato, per il notevole costo che richiede e la strumentazione necessaria (camere

FAQ

► **Attualmente la semplicità analitica della presa normale è ancora apprezzabile?**

No, in effetti attualmente si preferisce la presa pseudo-normale, perché da una parte garantisce la stereoscopia dei fotogrammi, e dall'altra demanda la maggior complessità geometrica ai moderni restitutori analitici e al software che li gestisce.

FAQ

► **Da cosa deriva la relativa flessibilità delle procedure non convenzionali rispetto a quelle classiche?**

Dalla rinuncia alla stereoscopia, che impone precise condizioni. Tuttavia in questo caso la valutazione dei fotogrammi avviene in monoscopia, con aumento delle incertezze.

FAQ

► **È possibile, nei fotogrammi non convenzionali, contenere gli errori di deformazione della pellicola e della stampa?**

Sì, attraverso la digitazione del reticolo, guidata dal software del sistema.

metriche e restitutori), e per la specializzazione del personale impiegato. Inoltre le operazioni di presa e restituzione sono difficilmente standardizzabili, per la grande variabilità delle situazioni, in conseguenza dei vincoli presenti nello spazio entro il quale si effettuano le riprese. Infine, per ottenere **prese stereoscopiche**, sono imposte ristrette tolleranze ai valori degli assetti angolari degli assi delle camere (*presa normale* o al più *pseudo-normale*) durante la presa. In tali ambiti, peraltro, sono **richieste precisioni decisamente inferiori** a quelle richieste nell'ambito del rilievo aereo del territorio a fini cartografici; questo aspetto ha lasciato aperta la porta a soluzioni alternative, più «leggere», alla fotogrammetria tradizionale.

In effetti, per rimuovere gli ostacoli prima elencati, nell'ambito del rilievo fotogrammetrico terrestre, sono stati concepiti e messi a punto svariati sistemi di **fotogrammetria non convenzionale** che possono essere utilizzati anche da tecnici non specializzati, e con costi adeguati alle esigenze specifiche di tale rilievo.

Il problema del rilievo, in questo ambito, viene risolto, sia nella presa sia nella restituzione, in modo non convenzionale attraverso la **rinuncia alla stereoscopia** senza avere, per questo, una soluzione fotogrammetrica meno rigorosa di quella tradizionale (anche se meno precisa).

Rinunciare alla *stereoscopia* significa rendere più rapide e flessibili le operazioni di presa (gli assi delle camere possono essere **convergenti** e non rigidamente paralleli o pseudo-paralleli), tuttavia, in sede di *orientamento* e *restituzione*, le misure sui fotogrammi avvengono in **monoscopia** (un singolo fotogramma alla volta) dunque con collimazioni meno precise (che condizionano, come detto, la precisione globale del rilievo).

Inoltre, nella fotogrammetria *non convenzionale*, la distanza tra la camera e l'oggetto è **libera**, e può variare ad ogni presa; ne consegue che i fotogrammi ottenuti hanno valori **diversi** della **scala media**, senza che ciò condizioni la procedura.

Purtroppo si tratta di tecniche spesso legate all'uso di una particolare camera (è il caso del sistema **Rolleimetric**, che utilizza le camere semimetriche Rollei con diversi formati della pellicola), o comunque di particolari attrezzature e software, dunque non fanno parte di un **unico e organico quadro teorico**, ma sono trattabili solo singolarmente. Per questa ragione, di tali procedure indicheremo, nel paragrafo successivo, solo gli elementi caratterizzanti.

■ Caratteristiche di un sistema fotogrammetrico non convenzionale

In un sistema *fotogrammetrico non convenzionale* il *restitutore* è limitato a un normale computer non dedicato sul quale, naturalmente, è stato caricato un opportuno software, e di una **tavoletta digitalizzatrice** con la quale avviene la **collimazione** (assistita dal software) sia dei punti immagine sui fotogrammi, sia degli elementi del sistema (*reticolo di calibrazione*).

Le camere utilizzate in questo tipo di *fotogrammetria* possono essere *comuni* camere fotografiche, oppure, meglio, **camere semimetriche** dotate di un **reticolo calibratore** (*reseau*), come nella già citata Rolleiflex 6006 (formato della pellicola 60 × 60 mm) (► FIGURA 29), costituito da una **griglia** di piccole croci la cui **posizione** è nota al *centesimo* di mm (nella camera citata sono presenti 11 *righe* × 11 *colonne* per un totale di 121 crocette). Durante la presa questa *griglia di croci* viene registrata sulla pellicola contemporaneamente all'immagine dell'oggetto ripreso. Nell'ambito delle fasi di *orientamento interno* e *restituzione*, il fotogramma, di solito sviluppato su carta fotografica, viene collocato sulla *tavoletta digitalizzatrice*, dove il reticolo che vi appare (o parte di esso) viene collimato, sotto guida del software di sistema. La collimazione del *reticolo* è di fondamentale importanza in queste camere perché, oltre ad effettuare l'*orientamento*, consente anche di compensare gli effetti delle seguenti cause di errore:

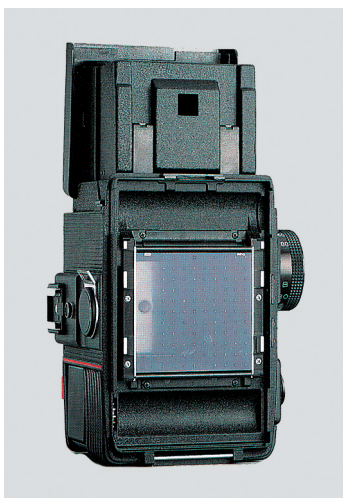


FIGURA 29 Vista posteriore della camera semimetrica Rolleiflex 6006.

- deformazione della pellicola (stiramenti);
- mancata planarità della pellicola;
- deformazione della carta di sviluppo;
- errori sistematici di lettura delle coordinate lastra sulla tavoletta digitalizzatrice.

Non possono invece essere corretti gli effetti delle seguenti cause:

- distorsioni ottiche dell'obiettivo;
- errori dovuti alla limitata stabilità dell'orientamento interno;
- rifrazione della lastra piano-parallela del *reseau*;
- giochi meccanici presenti tra l'obiettivo (intercambiabile) e il corpo macchina.

Gli obiettivi delle *camere semimetriche* dispongono di un obiettivo (di solito intercambiabile) in cui sono disponibili un certo numero di **scatti fissi** (stop ottici) a cui corrispondono determinate distanze focali per l'adattamento a diverse distanze. Per ognuna di esse viene fornita la documentazione di calibrazione necessaria nell'ambito dell'*orientamento interno* (anche se non con l'affidabilità delle macchine metriche).

Un problema significativo in questo tipo di camere è la **planarità** dei punti immagine, necessaria per la corretta ricostruzione delle *stelle proiettive*. Essa viene favorita dallo **schiacciamento**, all'atto della presa, della pellicola contro la *lamina di vetro* piana (su cui è inciso il *reseau*) collocata davanti alla pellicola stessa (► FIGURA 30). Naturalmente può essere presente un errore residuo di planarità, congiuntamente alla non uniformità degli stiramenti della pellicola. Questi errori (come detto in precedenza) sono compensati in fase di *orientamento e restituzione* mediante la *digitazione del reseau*.

Come si è sottolineato, la *fotogrammetria tradizionale* utilizza la *stereoscopia*, in cui la presa viene effettuata con gli assi delle camere, fra loro *paralleli e perpendicolari* alla base (*presa normale*) (► FIGURA 31). L'adozione della stereoscopia, però, impone rigidamente tale vincolo, per cui sono tollerate soltanto prese in cui le deviazioni da questa condizione siano di entità molto modesta (4° - 5°) e ciò può costituire un serio impedimento in caso di presenza di ostacoli o di spazi limitati davanti all'oggetto da riprendere.

Rinunciando alla *stereoscopia*, invece, le prese possono essere **comunque disposte nello spazio** (► FIGURA 32); in pratica esse sono **comuni fotografie** con uno schema libero (**schema convergente**), non limitate da eventuali ostacoli presenti nello spazio in cui si opera, con camere a **diverse distanze**, per cui possono essere eseguite assai più rapidamente e in modo più flessibile.

Come nella fotogrammetria *classica*, anche nella fotogrammetria *non convenzionale* è richiesta la scelta di un certo numero di **punti di appoggio** sull'oggetto, dei quali è necessario definire la *posizione* (con tradizionali operazioni topografiche) e che consentono poi l'**orientamento esterno** dei fotogrammi.

Nella ► FIGURA 33a sono riportati tre fotogrammi presi con la camera semimetrica Rolleiflex 6006 di un edificio monumentale, mentre nella ► FIGURA 33b è riportato il prospetto ottenuto dalla restituzione dei precedenti fotogrammi nell'ambito del sistema non convenzionale **Rolleimetric**.

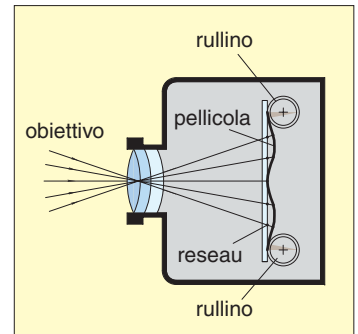
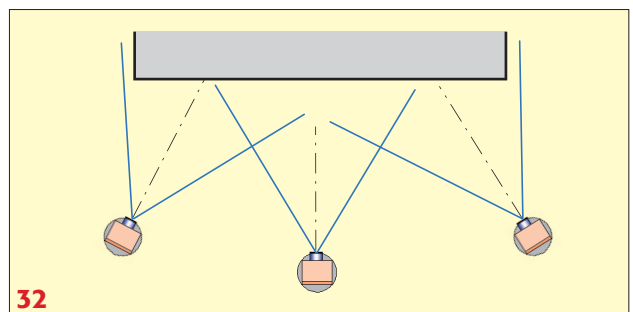
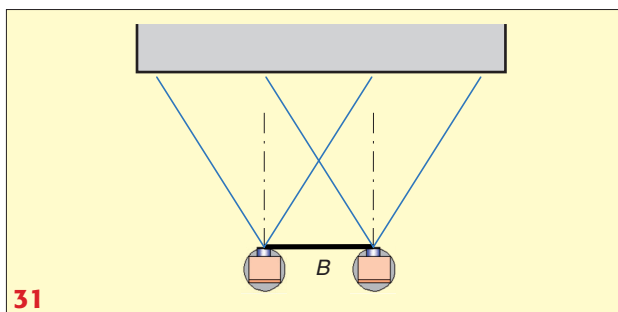


FIGURA 30 Schema degli effetti negativi causati dalla imperfetta planarità della pellicola durante la presa.

FIGURA 31 Schema della presa stereoscopica nella fotogrammetria tradizionale (presa normale).

FIGURA 32 Schema della presa non stereoscopica nella fotogrammetria non convenzionale (presa convergente). Essa è molto più flessibile e rapida: inoltre consente di eludere eventuali ostacoli presenti negli spazi antistanti l'oggetto.



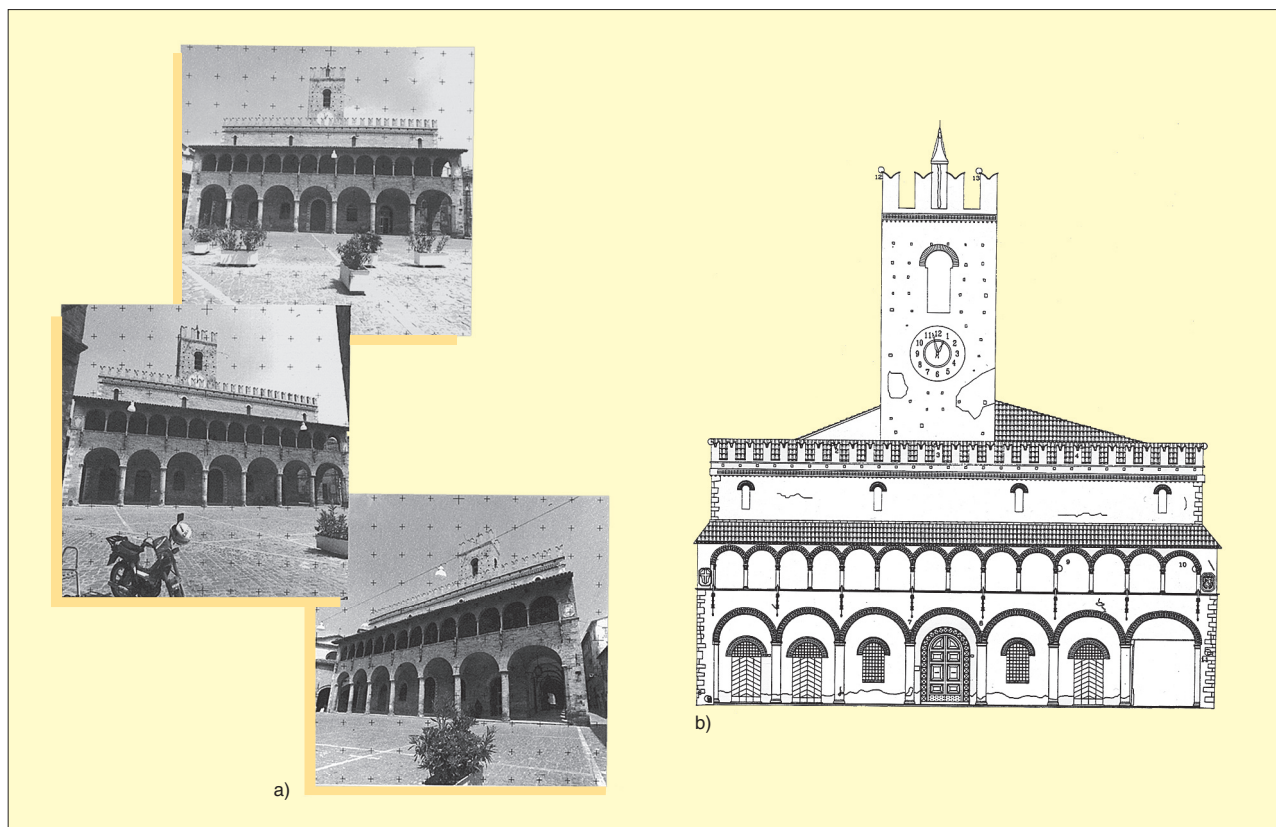
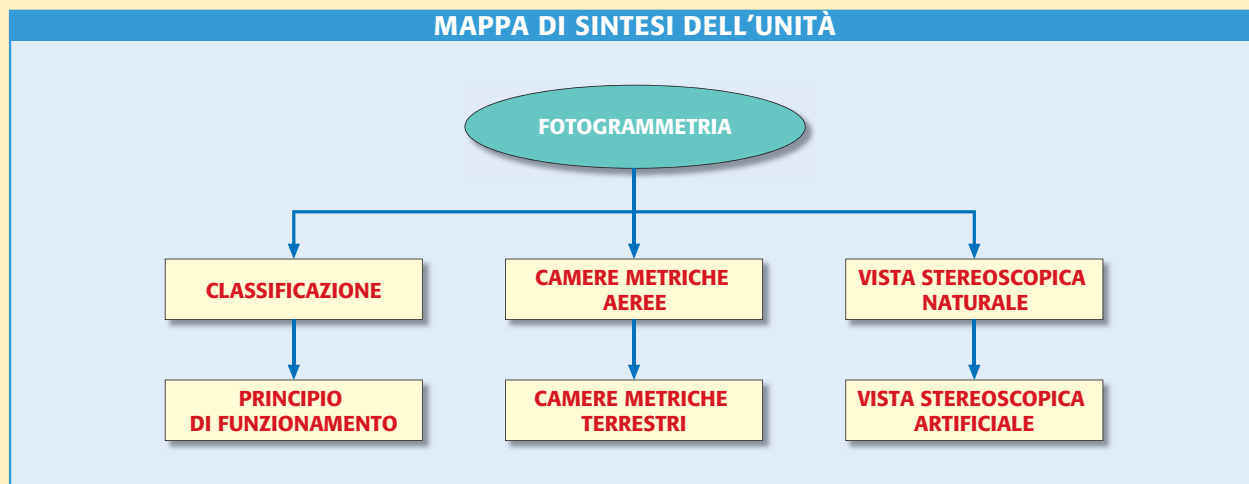


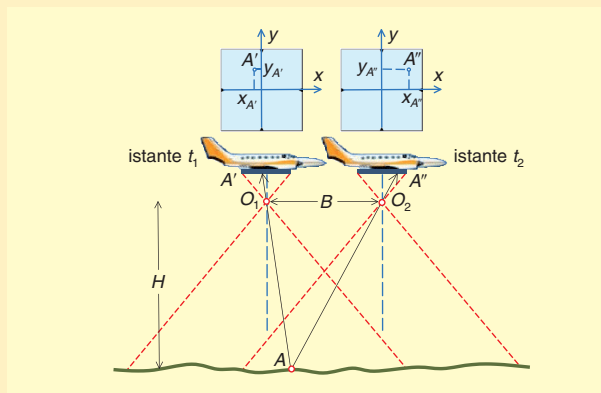
FIGURA 33 a) Fotogrammi ripresi con camera semimetrica Rolleiflex 6006 di un edificio monumentale (Teatro del Serpente Aureo a Offida, in provincia di Ascoli Piceno) sui quali è visibile la griglia di croci (*reseau*). b) Prospetto ottenuto dalla restituzione dei fotogrammi di figura a) nell'ambito del sistema non convenzionale *Rolleimetric*.

Riassumendo



Nella presa aerea un velivolo segue una traiettoria *rettilinea* a *velocità costante*, a una certa *altezza media* H dal terreno; all'istante t_1 , dal *centro di presa* O_1 , riprende un primo fotogramma, e all'istante t_2 (dopo aver percorso un certo spazio che costituisce la *base di presa* B) da O_2 riprenderà il secondo fotogramma.

- Sui fotogrammi vengono registrate le due immagini A' e A'' , *omologhe* di A , le cui coordinate lastra, $x_{A'}$, $y_{A'}$ e $x_{A''}$, $y_{A''}$ verranno *misurate* nello stereocomparatore in fase di restituzione e permetteranno il posizionamento di A .
- I fotogrammi ripresi lungo uno *stesso percorso rettilineo* costituiscono una *strisciata*. L'insieme di più strisciate viene chiamato *blocco* di strisciate.



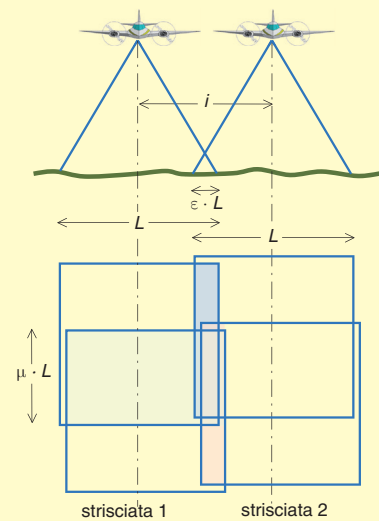
Modelli stereoscopici. Le prese devono avvenire in modo tale che il terreno venga scomposto in zone (*modelli*) tali che ogni loro punto appaia, come immagine, almeno su due fotogrammi, consentendone la ricostruzione stereoscopica.

Ricoprimento longitudinale (overlap). Per garantire la creazione dei *modelli stereoscopici*, la parte del terreno rappresentata in due fotogrammi consecutivi deve sovrapporsi per una percentuale dell'*abbracciamento* L del fotogramma, mediamente del 60% ($> 50\%$): $\mu = 0,6$.

Ricoprimento laterale (overside). Oltre al *ricoprimento longitudinale* μ è necessario che l'*interasse* i dia luogo anche a un *ricoprimento trasversale* ε con valore compreso nell'intervallo 0,10-0,20 (10%-20%) dell'*abbracciamento* L del fotogramma.

Altezza di volo. Nella teoria si fa riferimento a fotogrammi aerei presi con l'*asse della camera verticale* (presa *nadirale*). L'altezza relativa H , rispetto al terreno, considerato pianeggiante e orizzontale, è fornita dalla seguente relazione, in cui N è il denominatore della scala media dei fotogrammi e p è la distanza principale della camera utilizzata:

$$H = p \cdot N$$



La scala media dei fotogrammi $1/N$ dipende strettamente dalla *scala* $1/N_{dis}$ del disegno (o della carta). Il denominatore N della scala dei fotogrammi viene ricavato dalla seguente espressione empirica:

$$N = k \cdot \sqrt{N_{dis}}$$

$$k = 200 \div 300 \quad \text{per } 1/N_{dis} \leq 1:5000$$

$$k = 150 \div 200 \quad \text{per } 1/N_{dis} \geq 1:2000$$

oppure dalla seguente tabella:

Scala della carta	Scala dei fotogrammi	
	min.	max.
1:500	1:3000	1:2000
1:1000	1:5000	1:3500
1:2000	1:8000	1:6500
1:5000	1:18 000	1:12 000
1:10 000	1:27 000	1:20 000
1:25 000	1:50 000	1:40 000
1:50 000	1:70 000	1:60 000
1:100 000	1:90 000	1:80 000

Abbracciamento del fotogramma. In ciascun fotogramma di formato $l \times l$, ottenuto all'altezza relativa di volo H , viene rappresentata una porzione di terreno di lato L , detto *abbracciamento* del fotogramma e fornito dalle relazioni:

$$L = \frac{l \cdot H}{p} \quad L = l \cdot N$$

Base di presa. È la distanza percorsa dall'aereo tra due scatti consecutivi dell'otturatore della camera. Dunque è la distanza tra i centri di presa O_1 e O_2 in corrispondenza della presa di due fotogrammi consecutivi. Il suo valore condiziona direttamente il valore del *ricoprimento longitudinale* μ e può essere ottenuto da una delle seguenti tre relazioni:

$$B = L \cdot (1 - \mu) \quad B = \frac{l \cdot H}{p} \cdot (1 - \mu) \quad B = l \cdot N \cdot (1 - \mu)$$

Intervallo di apertura dell'otturatore. A differenza della *presa terrestre*, in cui le prese successive sono eseguite con lo spostamento della camera e la *sostituzione manuale* della lastra, nella *presa aerea* occorre *automatizzare* sia l'avanzamento della pellicola, sia la ripresa dei fotogrammi, programmando un opportuno *intervallo* Δt di apertura dell'otturatore. Ipotizzando che il velivolo mantenga una velocità di crociera v (supposta costante), l'intervallo di scatto è fornito dalle seguenti equivalenti espressioni:

$$\Delta t = \frac{l \cdot H}{v \cdot p} \cdot (1 - \mu) \quad \Delta t = \frac{l \cdot N}{v} \cdot (1 - \mu) \text{ (s)}$$

Interasse delle strisciate. L'interasse i tra gli assi di due strisciate adiacenti viene scelto in modo da ottenere per il *ricoprimento laterale* ε il valore programmato, di solito compreso tra il 10% e il 20% di L , in funzione delle irregolarità del territorio da rilevare. Il suo valore si ottiene dalle seguenti relazioni equivalenti:

$$i = \frac{l \cdot H}{p} \cdot (1 - \varepsilon) \quad i = l \cdot N \cdot (1 - \varepsilon)$$

Numero dei fotogrammi del rilievo. Per stimare i costi del rilievo è necessario valutare con attendibilità sia il numero n_f dei fotogrammi presenti nelle *singole strisciate*, sia il numero n_s delle strisciate stesse. Il prodotto dei valori precedenti costituisce il *numero complessivo* n_{tot} dei fotogrammi necessari a coprire stereoscopicamente tutto il territorio da rilevare. Considerando l'area da rilevare inscritta in un *rettangolo ideale* di dimensioni d_1 (senso delle strisciate) e d_2 , il numero di tali fotogrammi è fornito dalle seguenti relazioni:

$$n_s = \text{int} \left[\frac{d_2}{L \cdot (1 - \varepsilon)} \right] + 1 \quad n_f = \text{int} \left[\frac{d_1}{L \cdot (1 - \mu)} \right] + 1$$

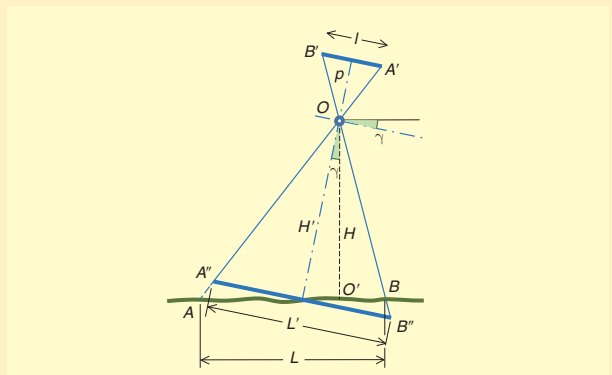
Quindi il numero complessivo di fotogrammi è dato da:

$$n_{tot} = n_s \cdot n_f$$

Gestione del volo fotogrammetrico. Non essendo possibile prevedere l'*esatto svolgersi* degli eventi per tutto il tempo del volo, sia a causa delle *particolarità del terreno*, che potrebbero far variare la scala del fotogramma, sia per le piccole ma inevitabili variazioni di *velocità* e di *assetto* dell'aereo, non è possibile affidare *completamente* l'operazione di presa agli *automatismi* di cui sono dotate

le camere per la presa aerea. Pertanto è necessaria la presenza, a bordo dell'aereo, di personale specializzato che gestisca la presa *controllando*, ed eventualmente *correggendo*, alcuni aspetti critici della presa stessa.

Inclinazione dell'asse della camera. Il *beccheggio* dell'aereo (rotazione attorno a un asse ortogonale al moto), provoca l'*inclinazione* dell'asse della camera, rispetto alla verticale richiesta, che provoca variazioni della *scala media dei fotogrammi*. Si tratta, comunque, di una piccola deviazione, tanto che tale situazione viene detta presa *pseudo-nadirale*. Se l'*angolo di deviazione* γ , formato dall'asse della camera e dalla verticale, è limitato a 4°-5° (come avviene in condizioni prevalenti), la *variazione di scala* sui fotogrammi è del tutto trascurabile.



Variazioni di velocità dell'aereo. Dato che l'aereo non può mantenere una crociera a velocità *perfettamente costante*, se si mantenesse per tutto il volo l'*intervallo di scatto* Δt fisso, si otterrebbero delle *basi di presa* B diverse da quelle programmate, e con esse la percentuale di *ricoprimento longitudinale* stabilita. Pertanto è necessario che un operatore controlli, ed eventualmente corregga, gli intervalli di scatto Δt durante il volo utilizzando uno strumento *semiautomatico* detto *cinederivometro*, spesso incorporato nel *periscopio di navigazione*; con esso vengono anche corretti gli effetti della *deriva* (da cui il nome *derivometro*).

Deriva. Per effetto del *vento laterale*, che preme sulla coda, l'aereo non si muove secondo la direzione dell'asse della fusoliera, ma nella *direzione della risultante* tra l'azione del vento e la spinta di propulsione dell'aereo. Ciò, se non corretto, provocherebbe un cattivo orientamento dei fotogrammi. Per questa ragione la parte superiore della camera (quella che contiene la lastra), può essere *ruotata* attorno al suo asse verticale. Pertanto, misurato l'angolo di deriva con il *cinederivometro*, lo stesso strumento imposta automaticamente la rotazione alla camera (dello stesso angolo δ), in modo da ottenere l'orientamento corretto dei fotogrammi.

Trascinamento: *deformazione dell'immagine* sulla lastra provocato dal fatto che la presa avviene in movimento e

che l'otturatore non ha una *chiusura istantanea*. In conseguenza nel tempo di apertura $\Delta\tau$ dell'otturatore, al posto di un punto viene registrato un *trattino* λ che è dato da:

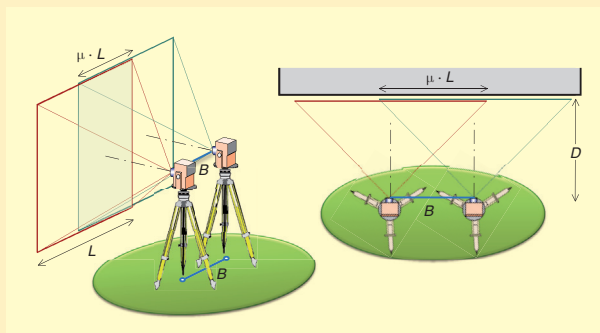
$$\lambda = \frac{p \cdot v \cdot \Delta\tau}{H}$$

Tale valore, per essere accettato, dovrà essere inferiore alla dimensione della «grana» dell'emulsione fotosensibile utilizzata.

Fotogrammetria terrestre. L'impiego prevalente della *fotogrammetria terrestre* è dedicato al rilievo di monumenti, di edifici, o comunque di elementi architettonici. Essa si differenzia da quella *aerea* essenzialmente per i seguenti aspetti:

- piccole *distanze* camera-oggetto;
- camera *ferma* durante la presa;
- *scatto*, e sostituzione della lastra, *manuali*;
- *maggior libertà* nel configurare la presa;
- fotogrammi *contenenti* anche porzioni (cielo e terreno) *non appartenenti* all'oggetto ripreso.

Camere metriche terrestri. Nella *presa terrestre convenzionale* vengono impiegate le *camere metriche* montate sugli stessi *treppiedi e basamenti* utilizzati per i *goniometri* e le *mire*. Così viene garantita la relativa *intercambiabilità*, che consente, dallo *stesso punto di stazione*, di eseguire sia operazioni di *presa fotografica*, sia tradizionali *operazioni topografiche* per la misura della base di presa e dei punti di appoggio sull'edificio. Le camere più piccole, per essere *orientate* nella presa, vengono montate sul cannocchiale dei tradizionali *goniometri*. Le lastre delle camere metriche terrestri hanno *formato rettangolare* con dimensioni $l_1 \times l_2$ varie.

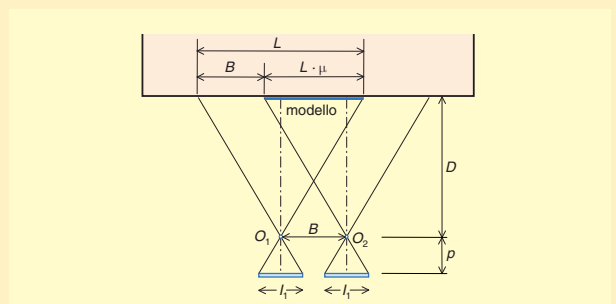


Configurazione della presa terrestre. Teoricamente, nella presa terrestre, la posizione della camera non ha restrizioni. Tuttavia, nella pratica, è opportuno limitare il *dislivello* tra i punti di presa entro il 10-15% della *base di presa B*, per non compromettere l'eventuale *ricoprimento laterale* (che nella fotogrammetria terrestre è in direzione verticale). Inoltre la disposizione della camera durante le prese viene circoscritta alle quattro soluzioni seguenti.

- *Assi delle camere paralleli e ortogonali alla base (presa normale)*. Questa particolare configurazione si traduce in una soluzione analitica molto semplice, favorisce la pianificazione delle operazioni di presa e genera fotogrammi uniformi per qualità; pertanto essa è la configurazione di presa di riferimento.
- *Assi delle camere leggermente convergenti (presa pseudo-normale)*. In questo caso la camera segue solo con approssimazione lo schema della *presa normale*. Gli assi sono impostati *leggermente convergenti* (massimo 4° - 5°); ciò consente prese più rapide, senza, tuttavia, compromettere le potenzialità *stereoscopiche* dei fotogrammi.
- *Assi delle camere convergenti*. Gli assi delle camere formano un angolo qualsiasi con la *base di presa*, dunque risultano *convergenti*. Il vantaggio consiste nell'eseguire il rilievo con un numero minore di fotogrammi (che possono essere completamente ricoperti da quello successivo); tuttavia, nella *fotogrammetria convenzionale*, venendo a mancare l'aspetto *stereoscopico*, non viene utilizzata, mentre trova impiego in quella non convenzionale.
- *Assi delle camere obliqui e paralleli*. È una soluzione particolare adottata quando la distanza tra camera e oggetto fotografato è *molto piccola*.

Progetto della presa terrestre. Gli elementi da determinare per la *pianificazione delle operazioni di presa* con una camera di *distanza principale p* e *formato rettangolare* della lastra $l_1 \times l_2$, sono:

- scala media dei fotogrammi: $N = (2 \div 4) \cdot N_{dis}$
- distanza di presa: $D = p \cdot N$
- abbracciamento: $L = l_1 \cdot N$
- ricoprimento longitudinale μ : 60% di l_1
- ricoprimento laterale ϵ : 20% di l_2
- base di presa: $B = L \cdot (1 - \mu)$
- controllo del rapporto B/D : da 1/3 a 1/5
- assetto della camera (per esempio, *pseudo-normale*)



Punti di appoggio. Sono punti sull'edificio (ma anche esterni a esso) dei quali occorre determinare la posizione, che verranno poi utilizzati nelle operazioni di *orientamento esterno* dei fotogrammi. Essi vengono determinati durante le operazioni di presa con tradizionali strumentazioni (teodoliti e geodimetri) e tecniche topografiche (per esempio, *intersezione in avanti*).

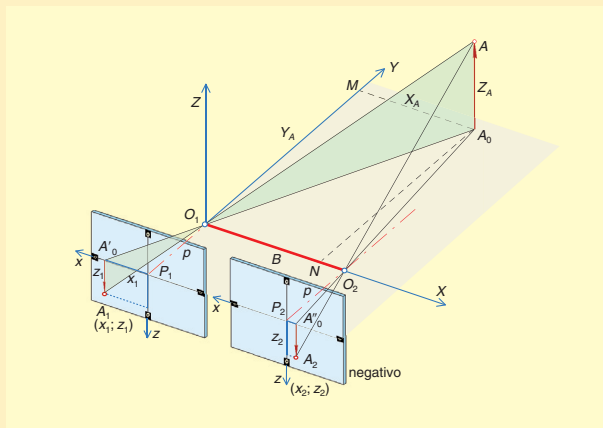
Segnalazione dei punti di appoggio. In generale i punti di appoggio sono materializzati mediante opportuni *segnali* su cartoncino rigido, fissati provvisoriamente all'oggetto; essi devono essere opportunamente *numerati* per il loro riconoscimento certo. Tuttavia, quando non è possibile (o è molto scomodo) materializzare i *punti d'appoggio* con i precedenti *segnali*, si può utilizzare, al loro posto, dei *particolari architettonici* sull'edificio, ben visibili e facilmente *collimabili* (angoli di finestre o di architravi di porte ecc.).

Restituzione della presa normale. Essa presenta gli *assi ottici* della camera tra loro *paralleli e perpendicolari* alla congiungente i centri di presa O_1 e O_2 (*base di presa*). Questa configurazione permette di definire la posizione dei punti sull'oggetto in modo particolarmente semplice, con riferimento al sistema cartesiano XYZ così definito:

- origine nel primo centro di presa O_1 ;
- asse X diretto positivamente al secondo centro di presa O_2 ;
- asse Y coincidente con l'asse ottico della camera in O_1 , pertanto normale alla base di presa B .

Indichiamo poi con x_1 e z_1 le *coordinate lastra* di A_1 sul primo fotogramma, e con x_2 e z_2 quelle di A_2 sul secondo fotogramma; le coordinate del generico punto A sull'oggetto sono:

$$X_A = \frac{B \cdot x_1}{x_1 - x_2} \quad Y_A = \frac{B \cdot p}{x_1 - x_2} \quad Z_A = \frac{B \cdot z_1}{x_1 - x_2}$$



Le coordinate lastra $(x_1; z_1)$ e $(x_2; z_2)$, di A_1 e A_2 (punti omologhi di A sui due fotogrammi) devono essere *misurate* in *stereoscopia* con grande precisione (almeno al *centesimo di millimetro*), utilizzando i fotogrammi *positivi* sviluppati su pellicola in poliestere trasparente con uno strumento (presente in tutti i restitutori) detto *stereocomparatore*.

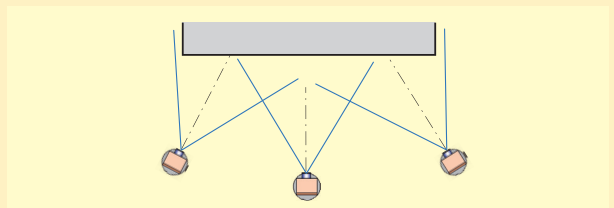
Fotogrammetria terrestre non convenzionale. Per limitare i costi connessi al rilievo fotogrammetrico terrestre tradizionale, sono stati concepiti e messi a punto svariati

sistemi di *fotogrammetria non convenzionale*, in cui vengono utilizzate camere *semimetriche* (o addirittura comuni).

Il problema del rilievo in questo ambito, viene risolto, sia nella presa sia nella restituzione, attraverso la *rinuncia alla stereoscopia*. Ciò significa rendere più rapide e flessibili le operazioni di presa (gli assi delle camere possono essere *convergenti* e non rigidamente paralleli o pseudo-paralleli), tuttavia, in sede di *orientamento e restituzione*, le misure sui fotogrammi avvengono in *monoscopia* (un singolo fotogramma alla volta), dunque con collimazioni meno precise.

La presa terrestre non convenzionale. I fotogrammi vengono presi con uno *schema non stereoscopico*, e cioè da *posizioni qualsiasi* e con gli *assi delle camere convergenti*; anche la *scala* può essere *diversa* da una fotografia all'altra. La fotogrammetria terrestre non convenzionale presenta le seguenti caratteristiche salienti:

- utilizzo di *camere comuni o camere semimetriche*, dotate di una *griglia calibrata* di croci (*reseau*) disposte per file e colonne. Essa verrà utilizzata nella fase di orientamento dei fotogrammi, e per eliminare gli errori di planarità e deformazione della pellicola;
- il *reseau* viene *impressionato* sulla *pellicola* unitamente all'immagine dell'oggetto ripreso;
- sull'oggetto devono essere *segnalati* (o comunque individuati) con apposite *mire* i *punti di appoggio* di cui si devono rilevare le *coordinate*.



La restituzione terrestre non convenzionale. In un sistema *fotogrammetrico non convenzionale* il restitutore è limitato a un normale computer (su cui, naturalmente, è stato caricato un opportuno software) e a una *tavoletta digitalizzatrice* con la quale avviene la *collimazione* dei punti immagine sui fotogrammi e degli elementi del sistema (*reticolo di calibrazione*).

Nella prima fase vengono ridotti gli effetti delle *deformazioni* e viene eseguito l'*orientamento* dei fotogrammi digitalizzando l'immagine del *reseau* e dei *punti di appoggio*; in questo modo i parametri dell'orientamento relativo e assoluto vengono determinati e compensati automaticamente. La *ricostruzione* dell'*oggetto fotografato* viene eseguita punto per punto attraverso la *digitazione* dei *punti omologhi di più immagini*.

- Se l'oggetto da restituire è contenuto nello *stesso piano* (per esempio, una facciata senza aggetti o rientranze) può essere ricostruito *digitalizzando* un'*unica fotografia* (v. unità T3).

Autovalutazione

A. Verifica delle conoscenze

QUESITI VERO/FALSO

- | | V | F | | |
|---|--------------------------|--------------------------|---|---|
| 1 Le prese aeree si dicono nadirali quando l'asse della camera è verticale | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 17 Nella fotogrammetria terrestre la configurazione della camera è meno vincolante di quella della fotogrammetria aerea | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 2 Il ricoprimento longitudinale è sempre il 60% di quanto ripreso in un fotogramma | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 18 Le camere metriche terrestri vengono sempre montate su goniometri per essere orientate correttamente | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 3 La scala di un fotogramma non dipende da quella della carta che si vuole ottenere | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 19 Con la stereoscopia le misure sono eseguite su coppie di fotogrammi consecutivi | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 4 L'apertura dell'otturatore della camera nella presa aerea è regolata dal cinederivometro | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 20 Le camere metriche terrestri sono provviste di un reticolo di croci detto <i>reseau</i> | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 5 L'altezza relativa di volo dell'aereo non dipende dalla scala dei fotogrammi | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 21 Alla presa terrestre <i>normale</i> corrisponde un modello matematico semplificato | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 6 L'abbracciamento è la dimensione dell'oggetto contenuta nei modelli stereoscopici | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 22 La configurazione della presa terrestre ad assi convergenti mantiene le proprietà stereoscopiche delle coppie di fotogrammi consecutivi | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 7 I modelli stereoscopici sono generati dal ricoprimento longitudinale | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 23 Nella fotogrammetria terrestre il rapporto base/distanza è irrilevante | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 8 L'interasse i tra due strisciate consecutive dipende dal ricoprimento longitudinale | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 24 I punti di appoggio servono a definire l'orientamento esterno dei fotogrammi | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 9 Una opportuna base di presa garantisce il corretto ricoprimento longitudinale | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 25 I punti di appoggio sono sempre individuati e segnalati con mire artificiali | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 10 Gli intervalli di tempo di apertura dell'otturatore della camera dipende dal ricoprimento longitudinale | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 26 Nella fotogrammetria terrestre non convenzionale le misure sono effettuate sui singoli fotogrammi | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 11 I parametri del volo sono fissi ed eseguiti automaticamente durante la presa | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 27 Nella fotogrammetria terrestre non convenzionale l'orientamento dei fotogrammi avviene digitando il reticolo di croci registrato su di essi | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 12 La lastra nella camera da presa è rigidamente collegata con la fusoliera dell'aereo | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 28 Nella fotogrammetria terrestre non convenzionale la digitazione del reticolo di croci permette di eliminare gli errori di distorsione dell'obiettivo della camera | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 13 La deviazione dell'asse della camera nella presa aerea modifica la scala dei fotogrammi | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | QUESITI A RISPOSTA SINGOLA | |
| 14 La deriva è provocata dall'azione dei venti sull'aereo | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 29 A cosa serve il ricoprimento longitudinale, e perché deve avere determinati valori? | |
| 15 Gli effetti della deriva non si possono correggere | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 30 Cos'è un modello stereoscopico, e come viene ottenuto? | |
| 16 L'effetto di trascinamento è presente sia nella fotogrammetria aerea sia in quella terrestre | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 31 Cos'è una strisciata, e da cosa dipende il suo interasse? | |

- 32** Per quale ragione la scala dei fotogrammi dipende dalla scala del disegno da realizzare?
- 33** Come si ottiene la corretta scala dei fotogrammi?
- 34** Quale elemento, nella fotogrammetria aerea e in quella terrestre, viene utilizzato per ottenere la scala dei fotogrammi stabilita?
- 35** Cos'è e come si ottiene l'abbracciamento di un fotogramma?
- 36** Cosa condiziona e come viene calcolata la base di presa nella fotogrammetria aerea e in quella terrestre?
- 37** Come viene calcolato il numero dei fotogrammi in un rilievo aereo?
- 38** Quali parametri controlla l'operatore addetto alla camera per presa aerea?
- 39** Quale problema causa il trascinamento, e su cosa si deve agire per renderlo accettabile?
- 40** Periscopio di navigazione e cinederivometro indicano lo stesso strumento?
- 41** Elencare gli elementi che differenziano la fotogrammetria terrestre da quella aerea.
- 42** Elencare gli elementi che caratterizzano le camere metriche terrestri.
- 43** Per quale ragione alcune camere metriche terrestri vengono accoppiate a goniometri tradizionali?
- 44** Elencare le possibili configurazioni della camera nella presa terrestre.
- 45** Cosa sono e a cosa servono i punti di appoggio e come vengono segnalati?
- 46** Quali sono i vantaggi e gli svantaggi dell'impiego della stereoscopia?
- 47** Descrivere la geometria della presa terrestre normale, enunciando le relative equazioni di restituzione.
- 48** Quali elementi caratterizzano una camera semimetrica?
- 49** Cosa significa affermare che nella fotogrammetria terrestre non convenzionale si opera in monoscopia?
- 50** Per quale ragione nella fotogrammetria terrestre non convenzionale viene collimato il reticolo di croci (*resseau*) registrato sui fotogrammi?

QUESITI A RISPOSTA MULTIPLA

- 51** Quale, tra questi valori è il più attendibile per il ricoprimento laterale nelle prese aeree?
- a 20% del fotogramma
 b 40% del fotogramma
 c 60% del fotogramma
 d 80% del fotogramma
- 52** Se $p = 152$ mm è la distanza principale, $l = 23$ cm il lato del fotogramma, $H = 1,5$ km l'altezza relativa di volo, l'abbracciamento è
- a 991 m b 2331 m
 c 2270 m d 5244 m
- 53** Se $p = 152$ mm, a che altezza rispetto al terreno deve volare l'aereo per ottenere fotogrammi in scala media 1:8000?
- a 122 m b 1216 m
 c 5263 m d 526 m
- 54** Se il ricoprimento longitudinale è il 60% e l'abbracciamento è di 1800 m, la larghezza del modello stereoscopico generato da due fotogrammi consecutivi è
- a 720 m b 1280 m
 c 1480 m d nessuno dei precedenti
- 55** Per ottenere una carta in scala 1:5000 è opportuno che la scala del fotogramma sia
- a 1:25 000 b 1:18 000
 c 1:8000 d 1:5000
- 56** Per ottenere un ricoprimento longitudinale del 60% in fotogrammi con lato di 23 cm e di scala 1:8000, se la velocità dell'aereo è di 300 km/h l'intervallo tra due scatti è
- a 9,5 s
 b 6,3 s
 c 8,8 s
 d nessuno dei precedenti
- 57** Per attenuare l'eventuale effetto del trascinamento sui fotogrammi, è necessario
- a ridurre il tempo di apertura dell'otturatore
 b aumentare la quota di volo
 c diminuire la velocità dell'aereo
 d nessuno dei precedenti
- 58** Quale deve essere l'interasse tra le strisciate per ottenere un ricoprimento laterale del 20%, su fotogrammi con formato 23 cm e scala 1:10 000?
- a 960 m
 b 1230 m
 c 1840 m
 d nessuno dei precedenti

59 Nella formula

$$\Delta t = \frac{l \cdot k}{v \cdot p} \cdot (1 - \mu)$$

quale parametro corrisponde al simbolo k ?

- a base di presa b altezza relativa di volo
 c quota di volo d nessuno dei precedenti

60 Nella formula

$$\lambda = \frac{p \cdot v \cdot k}{H}$$

quale parametro corrisponde al simbolo k ?

- a intervallo tra due scatti dell'otturatore
 b tempo di apertura dell'otturatore
 c lato del fotogramma
 d nessuno dei precedenti

61 Nella formula

$$k = \frac{l \cdot H}{p}$$

quale parametro corrisponde al simbolo k ?

- a base di presa
 b denominatore della scala dei fotogrammi
 c interasse delle strisciate
 d nessuno dei precedenti

62 Nella presa terrestre *normale* gli assi delle camere devono essere

- a perpendicolari fra loro
 b paralleli all'oggetto da fotografare
 c paralleli alla base di presa
 d paralleli e perpendicolari alla base di presa

63 Nelle camere metriche sono noti con stabilità i parametri che ne definiscono

- a l'orientamento esterno
 b l'orientamento interno
 c la posizione
 d nessuno dei precedenti

64 Nelle prese terrestri la base B e la distanza D base-oggetto devono essere definiti in modo che il rapporto B/D sia

- a minore di 0,1
 b maggiore di 0,25
 c compreso tra 0,1 e 0,25
 d compreso tra 0,01 e 0,025

65 Nella presa terrestre la lunghezza della base di presa B è inversamente proporzionale

- a alla distanza principale della camera
 b al formato del negativo
 c al rapporto di ricoprimento
 d alla distanza tra la base e l'oggetto

66 La scala media di un fotogramma terrestre, preso dalla distanza $D = 15$ m dall'oggetto con una camera di distanza principale $p = 50$ mm, ha il seguente valore

- a 1:750 b 1:300
 c 1:75 d nessuno dei precedenti

67 La collimazione del *reseau* su un fotogramma creato da una camera semimetrica ha lo scopo di compensare

- a la planarità della pellicola
 b le deformazioni della pellicola
 c le deformazioni della carta di stampa
 d tutti i precedenti

68 Nella formula

$$Y_A = \frac{B + k}{x_1 - x_2}$$

quale parametro corrisponde al simbolo k ?

- a distanza principale p
 b distanza dall'oggetto D
 c distanza focale f
 d nessuno dei precedenti

69 Se B è la base di presa, in configurazione *normale*, di due fotogrammi e $(x_1; z_1)$ e $(x_2; z_2)$ le coordinate lastra sui due fotogrammi, l'ascissa assoluta X_A di A è

- a $B \cdot (x_1 - x_2) / x_1$
 b $(B/x_1) \cdot (x_1 - x_2)$
 c $(B \cdot x_1) / (x_1 - x_2)$
 d $B \cdot x_1 \cdot (x_1 - x_2)$

70 Nella fotogrammetria non convenzionale le prese possono essere effettuate

- a con camere comuni
 b con camere metriche
 c con camere semimetriche
 d tutte le precedenti

71 I punti di appoggio individuati e rilevati sull'oggetto da riprendere vengono utilizzati per

- a l'orientamento esterno
 b l'orientamento interno
 c controllare la precisione del rilievo
 d eliminare l'effetto della distorsione

B. Verifica delle competenze

● Esercizi e problemi

72 Un fotogramma di dimensioni 230×230 mm è stato scattato da un aereo alla quota $H = 1500$ m. Sapendo che la macchina da presa ha la distanza principale $p = 150$ mm, determinare l'abbracciamento del fotogramma. $[L = 2300 \text{ m}]$

73 Un fotogramma di dimensioni 230×230 mm è stato preso da un aereo alla quota $H = 1000$ m. Sapendo che la distanza principale dell'obiettivo è $p = 130$ mm, determinare la superficie del quadrato di terreno rappresentato sul fotogramma. $[A = 3,13 \text{ km}^2]$

74 Di una certa zona di terreno si dispone di una carta in scala 1:25 000 e del corrispondente fotogramma. La distanza tra due punti misurata sulla carta risulta $d = 137$ mm, mentre quella tra i punti corrispondenti misurata sulla foto risulta $d_f = 86,5$ mm. Determinare la scala media del fotogramma. $[s = 1:39\,595]$

75 Una certa zona di terreno di quota media 50 m s.l.m. è rappresentata su un fotogramma preso da un aereo. I valori della distanza principale dell'obiettivo e della quota di volo sul livello del mare, letti sul *data strip*, risultano $p = 130$ mm e $Q_v = 3680$ m. Determinare la scala media del fotogramma. $[s = 1:27\,923]$

76 Un fotogramma di dimensioni 230×230 mm è stato scattato da un aereo con la camera inclinata (*tilt*) di 4° sulla verticale. La distanza principale dell'obiettivo è $p = 152$ mm e l'altezza relativa di volo è $H = 1200$ m. Determinare la scala media del fotogramma. $[s = 1:7914]$

77 Un fotogramma, di lato $l = 230$ mm, è stato scattato dalla quota $H = 1300$ m con una camera da presa inclinata (*tilt*) di $\gamma = 5^\circ$ sulla verticale e avente distanza principale $p = 150$ mm. Determinare la scala media del fotogramma. $[s = 1:8700]$

78 Deve essere progettato un volo per ottenere un rapporto di ricoprimento $\times = 0,6$. Le dimensioni dei fotogrammi sono 230×230 mm, mentre l'obiettivo ha la distanza principale $p = 152$ mm. Avendo stabilito che l'altezza relativa di volo deve essere $H = 1500$ m, determinare la distanza B tra i punti da cui devono essere scattate le foto. $[B = 908 \text{ m}]$

79 Due fotogrammi, di dimensioni 230×230 mm, hanno un ricoprimento longitudinale del 60% e i due scatti sono stati effettuati a una distanza tra di loro di $B = 600$ m. La distanza principale dell'obiettivo della camera da presa è $p = 150$ mm. Determinare la quota di volo dalla quale sono state scattate le foto e la superficie del quadrato di terreno rappresentato su ogni fotogramma. $[H = 978 \text{ m}; S = 2,25 \text{ km}^2]$

80 Deve essere progettato un volo per produrre una carta in scala 1:5000. La camera da presa ha la distanza principale $p = 115$ mm, i fotogrammi hanno il lato $l = 230$ mm e si è fissato un ricoprimento longitudinale del 60%. Scelto un opportuno valore per la scala del fotogramma, determinare l'altezza di volo, la distanza a cui devono essere effettuati gli scatti e la superficie del quadrato di terreno rappresentato su ogni fotogramma. $[H = 1725 \text{ m}; B = 1380 \text{ m}; S = 11,90 \text{ km}^2]$

81 Si deve progettare un volo per produrre una carta in scala 1:5000 utilizzando una camera con distanza principale $p = 210$ mm. La velocità dell'aereo è di 400 km/h (111,11 m/s). Determinare il tempo di apertura dell'otturatore affinché l'effetto del trascinamento sia $\lambda = 0,01$ mm. $[\Delta\tau = 1/740 \text{ s}]$

82 Di un punto A sono state misurate con uno stereo comparatore le coordinate lastra e la parallasse stereoscopica su due fotogrammi presi in configurazione *normale*, ottenendo i seguenti valori:

$$x_1 = 1,130 \text{ cm} \quad z_1 = 0,780 \text{ cm} \quad x_1 - x_2 = 0,450 \text{ cm}$$

Sapendo che i due fotogrammi sono stati presi con base $B = 1,64$ m e che la distanza principale della camera metrica è $p = 50$ mm, determinare le coordinate del punto A rispetto a un sistema di assi con l'origine coincidente con l'obiettivo della camera di sinistra e semiasse positivo delle ascisse orizzontale e coincidente con la base B .

$$[X_A = 4,12 \text{ m}; Y_A = 18,22 \text{ m}; Z_A = 2,84 \text{ m}]$$

83 Due fotogrammi sono stati presi in configurazione normale dalla base $B = 2,78$ m con camera metrica di distanza principale $p = 50$ mm. Con uno stereocomparatore sono state misurate le coordinate lastra e la parallasse stereoscopica di un punto A ottenendo i seguenti valori:

$$x_1 = 0,460 \text{ cm} \quad z_1 = 1,670 \text{ cm} \quad x_1 - x_2 = 0,180 \text{ cm}$$

Determinare le coordinate del punto P rispetto a un sistema di assi con l'origine coincidente con l'obiettivo della camera di sinistra e semiasse positivo delle ascisse orizzontale e coincidente con la base B .

$$[X_A = 7,10 \text{ m}; Y_A = 77,22 \text{ m}; Z_A = 25,79 \text{ m}]$$

84 Di un punto A si conoscono le coordinate rispetto a un sistema di assi con origine coincidente con l'obiettivo della camera di sinistra e semiasse positivo delle ascisse orizzontale e coincidente con la base di presa $B = 120$ cm:

$$X_A = 2,605 \text{ m} \quad Y_A = 6,654 \text{ m} \quad Z_A = 2,164 \text{ m}$$

Calcolare le coordinate lastra e la parallasse stereoscopica, sapendo che la distanza principale delle camere in configurazione normale è $p = 70$ mm.

$$[x_1 - x_2 = 1,264 \text{ cm}; x_1 = 7,009 \text{ cm}; z_1 = 2,279 \text{ cm}]$$

Risultati quesiti vero/falso

1V, 2F, 3F, 4V, 5F, 6F, 7V, 8F, 9V, 10V, 11F, 12F, 13V, 14V, 15F, 16F, 17V, 18F, 19V, 20F, 21V, 22F, 23F, 24V, 25F, 26V, 27V, 28F.

Risultati quesiti a risposta multipla

51a, 52c, 53b, 54d, 55b, 56c, 57a, 58c, 59b, 60b, 61d, 62d, 63b, 64c, 65a, 66b, 67d, 68d, 69c, 70d, 71a.