

# 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  $\mu$**  (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  $\varepsilon$**  (*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

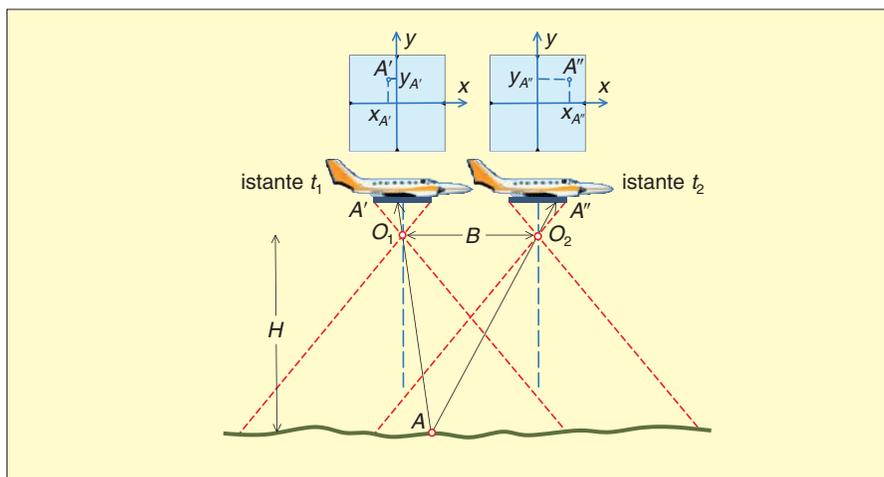
### ► Quale impiego ha la fotogrammetria aerea?

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

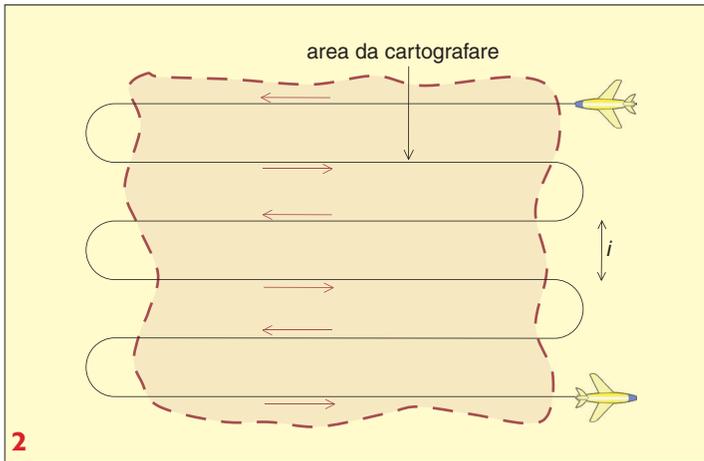
## FAQ

### ► La strisciata è un percorso rettilineo?

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

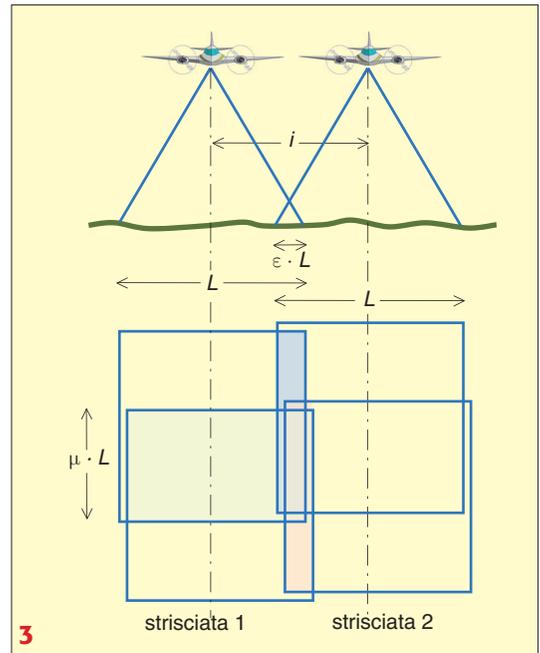


**FIGURA 1** Schema della presa aerea nadirale. L'aereo segue una traiettoria rettilinea e a intervalli di tempo regolari apre l'otturatore della camera per registrare i fotogrammi. Ciascun punto  $A$  sul terreno deve venire registrato su almeno due fotogrammi consecutivi nelle due immagini omologhe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

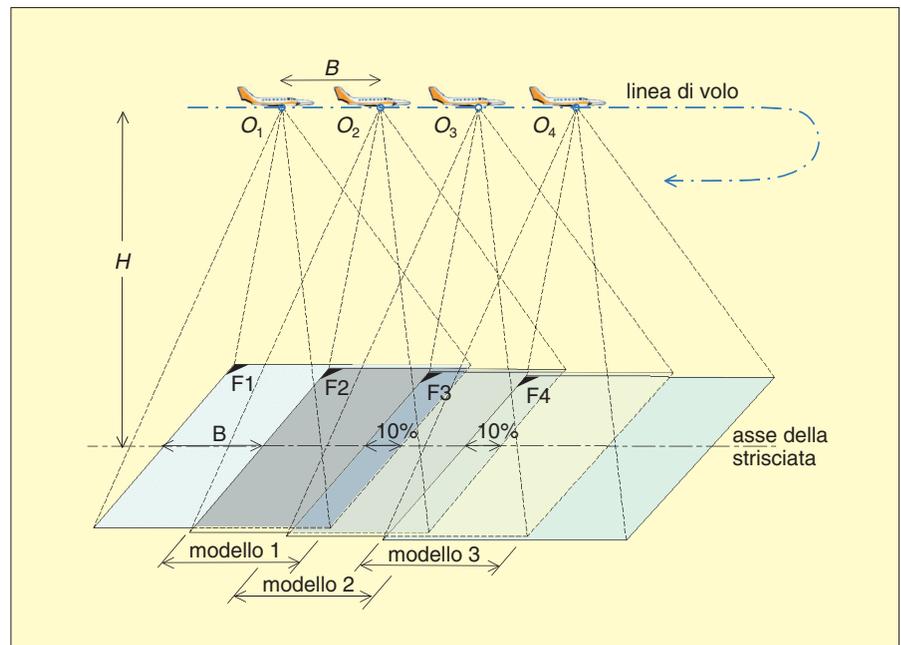


**FIGURA 2** Schema di copertura del territorio con un volo fotogrammetrico organizzato in traiettorie rettilinee e parallele durante le quali viene preso un certo numero di fotogrammi detto strisciata.

**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.

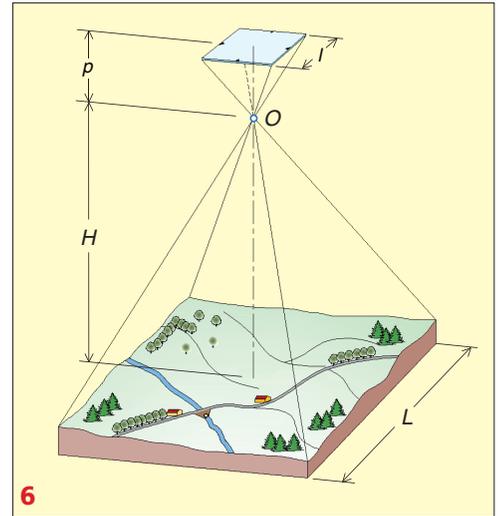
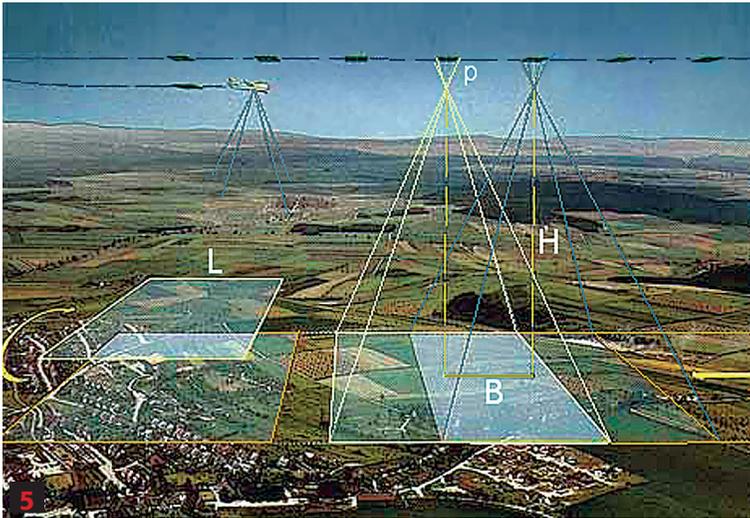


**FIGURA 4** La necessità di rappresentare tutto il terreno in almeno due fotogrammi consecutivi è consentita dal ricoprimento longitudinale, che rappresenta la zona di sovrapposizione tra gli stessi fotogrammi e che, in generale, ha un valore del 60%. Esso permette la scomposizione ideale del terreno 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;
- $\mu$ : **ricoprimento longitudinale**, sovrapposizione di due fotogrammi consecutivi; in generale il 60% di  $L$ ;
- $\epsilon$ : **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.	$p = 300 \text{ mm}$		$p = 152 \text{ mm}$		$p = 88 \text{ mm}$	
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;
- **$\mu$** : ricoprimento longitudinale (in generale 0,6);
- **$\epsilon$** : 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  $1816 \times 1816$  m, corrispondente a un'area di  $3297856$  m<sup>2</sup> (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.



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:

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

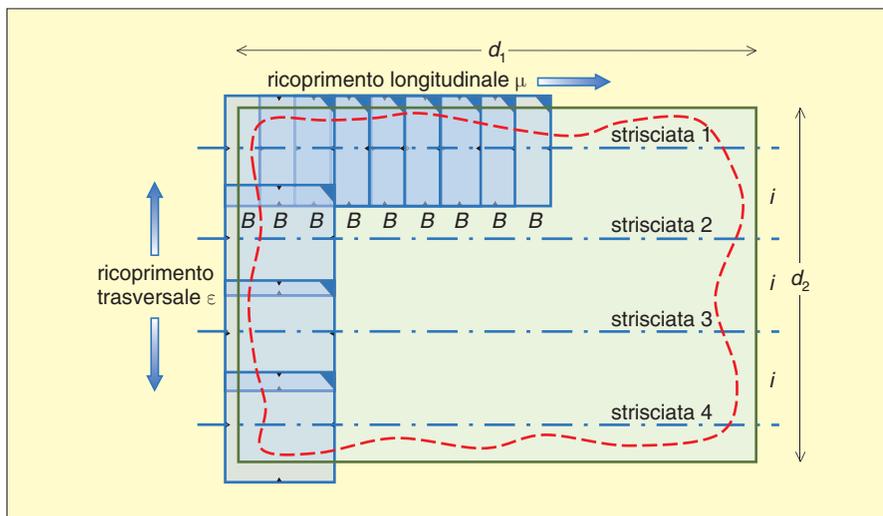
## ■ Numero dei fotogrammi del rilievo

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*  $\mu$  e  $\epsilon$ , 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  $35 \times 20$  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  $228 \times 228$  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

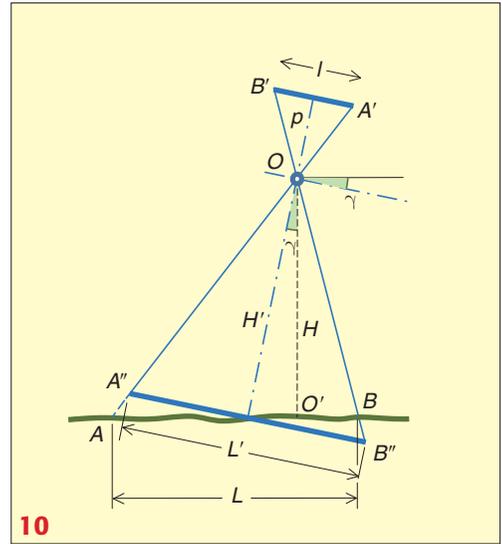
I parametri determinati nel paragrafo precedente sono essenziali per impostare correttamente il volo di presa, tuttavia essi devono essere considerati come una **programmazione di massima** dello stesso volo.

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**  $\gamma$ , 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  $\gamma$ , 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  $\gamma$  rispetto alla verticale. Se si considera che la rotazione  $\gamma$  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  $4^\circ$ , 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  $\Delta t$  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*  $\Delta t$  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  $\Delta t$  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 imporranno 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  $V_p$ .

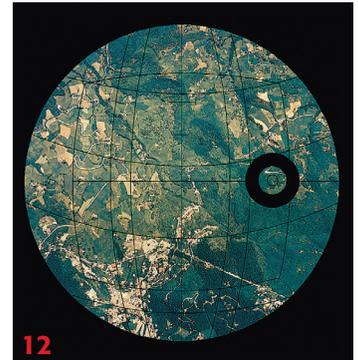
Nel nostro contesto la **deriva** è l'angolo  $\delta$ , compreso tra la direzione della risultante  $R$  (cioè la rotta dell'aereo) e l'asse della fusoliera dell'aereo.

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  $\delta$  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-



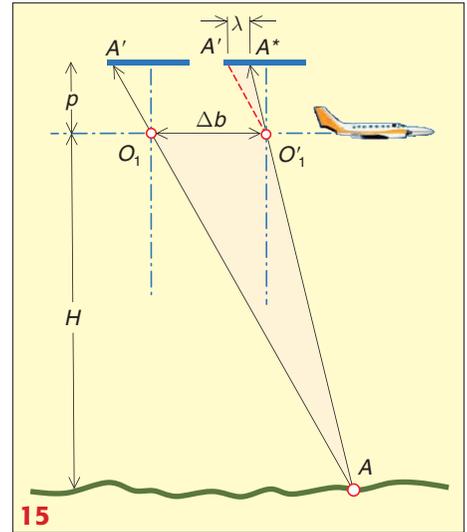
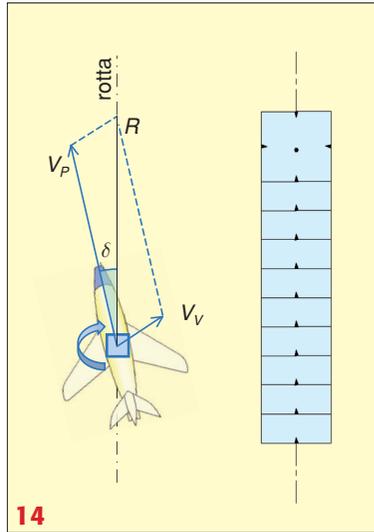
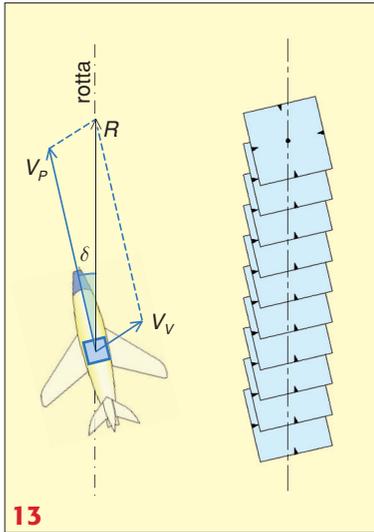
**FIGURA 11** Camera aerea Wild RC30; in primo piano il periscopio di navigazione con incorporato il cinederivometro. La parte inferiore rettangolare della camera rimane fissa alla fusoliera; a quella superiore, che contiene la lastra, possono essere impresso rotazioni per eliminare gli effetti della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

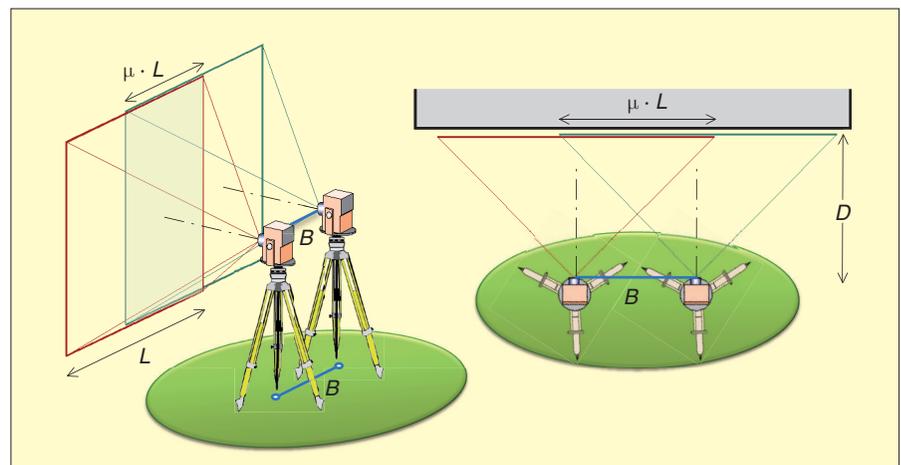
## 6. Configurazione della presa terrestre

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**.

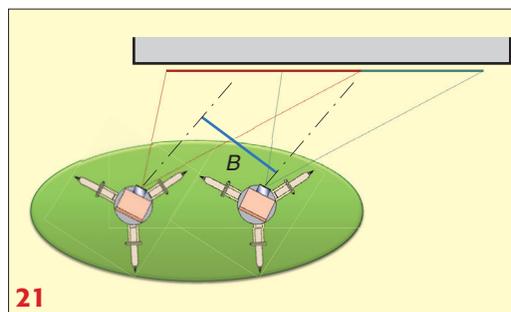
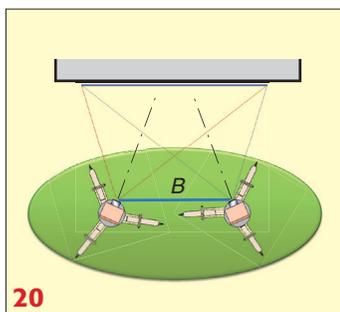
Essi sono impostati **leggermente convergenti** (massimo  $4^\circ$ - $5^\circ$ ); ciò consente prese più **rapide**, in quanto liberate dall'esatto collocamento delle camere, senza tuttavia compromettere le potenzialità **stereoscopiche** dei fotogrammi. Le operazioni di *orientamento* (unità T3) in 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  $60 \times 60$  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.

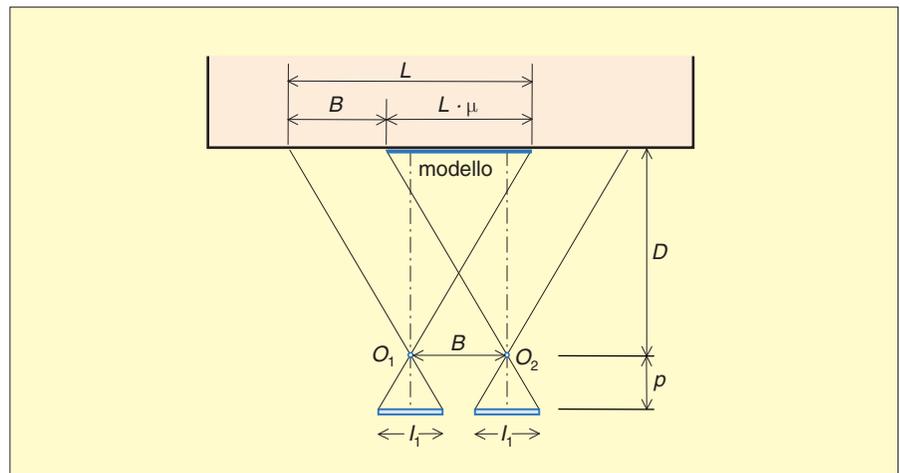
- **Distanza di presa:** necessaria per ottenere l'opportuna *scala dei fotogrammi* ed espressa dalla relazione:

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

- **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**  $\mu$  (*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**  $\epsilon$  (*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  $\mu$  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:

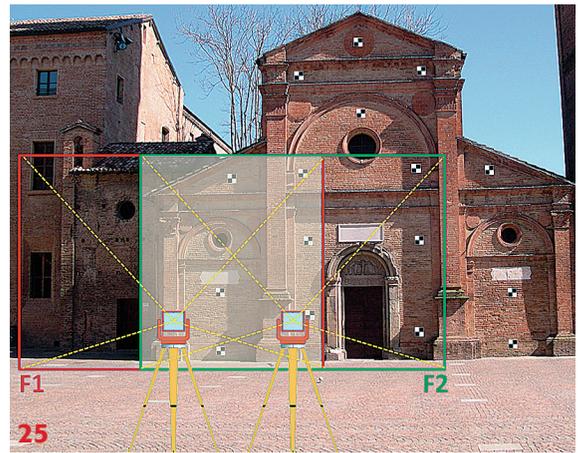
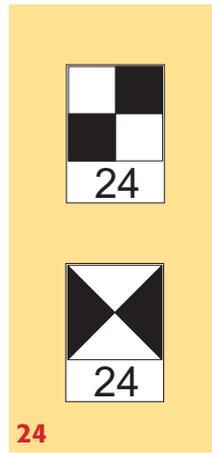
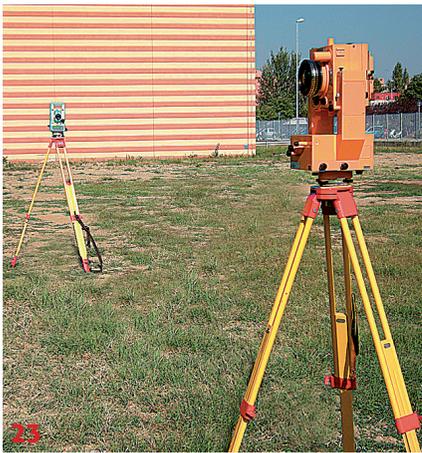
- individuazione sul terreno dei **punti di ripresa** collocati alla distanza di presa  $D$  definita in sede progettuale (paragrafo precedente);
- verifica dell'**ortogonalità** tra *asse ottico* e *base di presa* (nell'eventuale adozione della *presa normale*). Nella camera accoppiata al teodolite 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.).

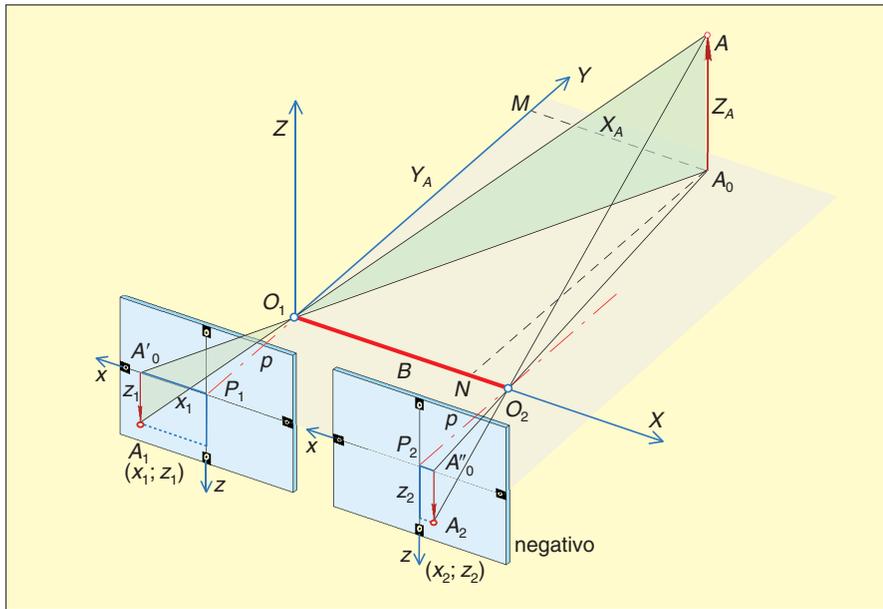
Occorre, infine, considerare che nella fotogrammetria terrestre può succedere di frequente che parte della fotografia non è occupata dall'edificio, ma dal **terreno** e dal **cielo**. Pertanto, in tali zone, non è possibile collocare i necessari punti d'appoggio segnalati, come prima descritto. In questo 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).

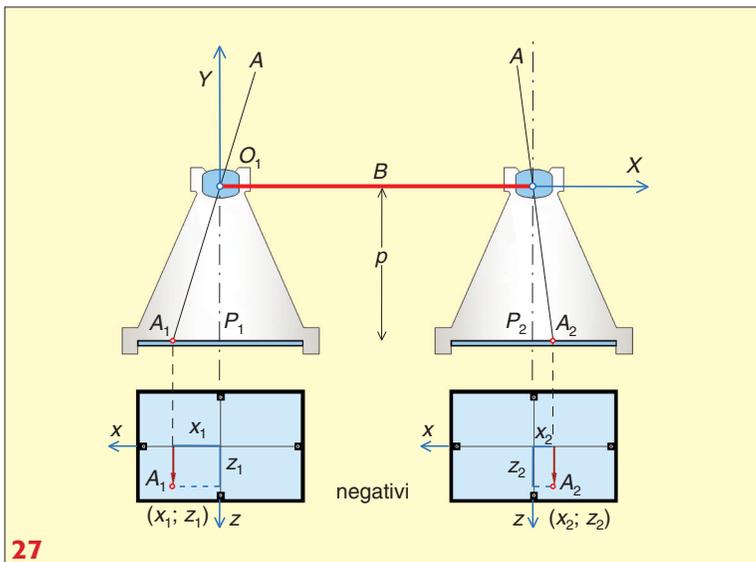
Le (18), (17) e (20), che raggruppiamo insieme:

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

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

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

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).

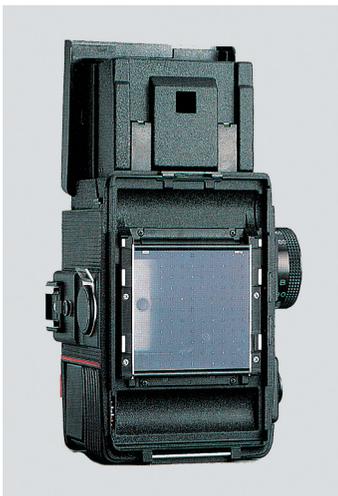
Inoltre, nella fotogrammetria *non convenzionale*, la distanza tra la camera e l'oggetto è **libera**, e può variare ad ogni presa; ne consegue che i fotogrammi ottenuti hanno valori **diversi** della **scala media**, senza che ciò condizioni la procedura.

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).

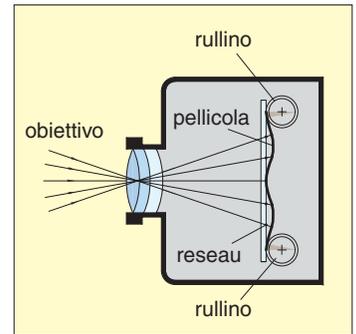
Un problema significativo in questo tipo di camere è la **planarità** dei punti immagine, necessaria per la corretta ricostruzione delle *stelle proiettive*. Essa viene favorita dallo **schacciamento**, all'atto della presa, della pellicola contro la *lamina di vetro* piana (su cui è inciso il *reseau*) 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 ( $4^{\circ}$ - $5^{\circ}$ ) 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.

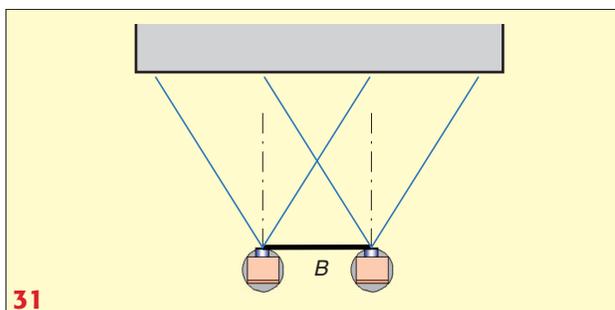
Nella ► FIGURA 33a sono riportati tre fotogrammi presi con la camera semimetrica Rolleiflex 6006 di un edificio monumentale, mentre nella ► FIGURA 33b è riportato il prospetto ottenuto dalla restituzione dei precedenti fotogrammi nell'ambito del sistema non convenzionale **Rolleimetric**.



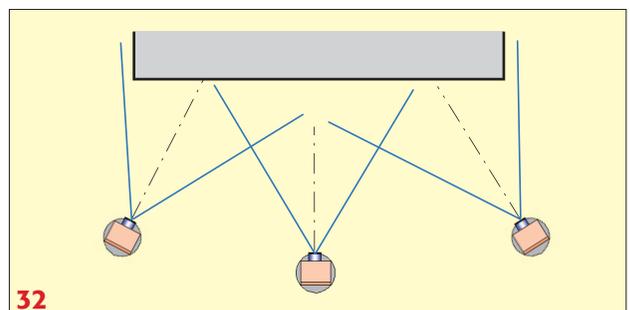
**FIGURA 30** Schema degli effetti negativi causati dalla imperfetta planarità della pellicola durante la presa.

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

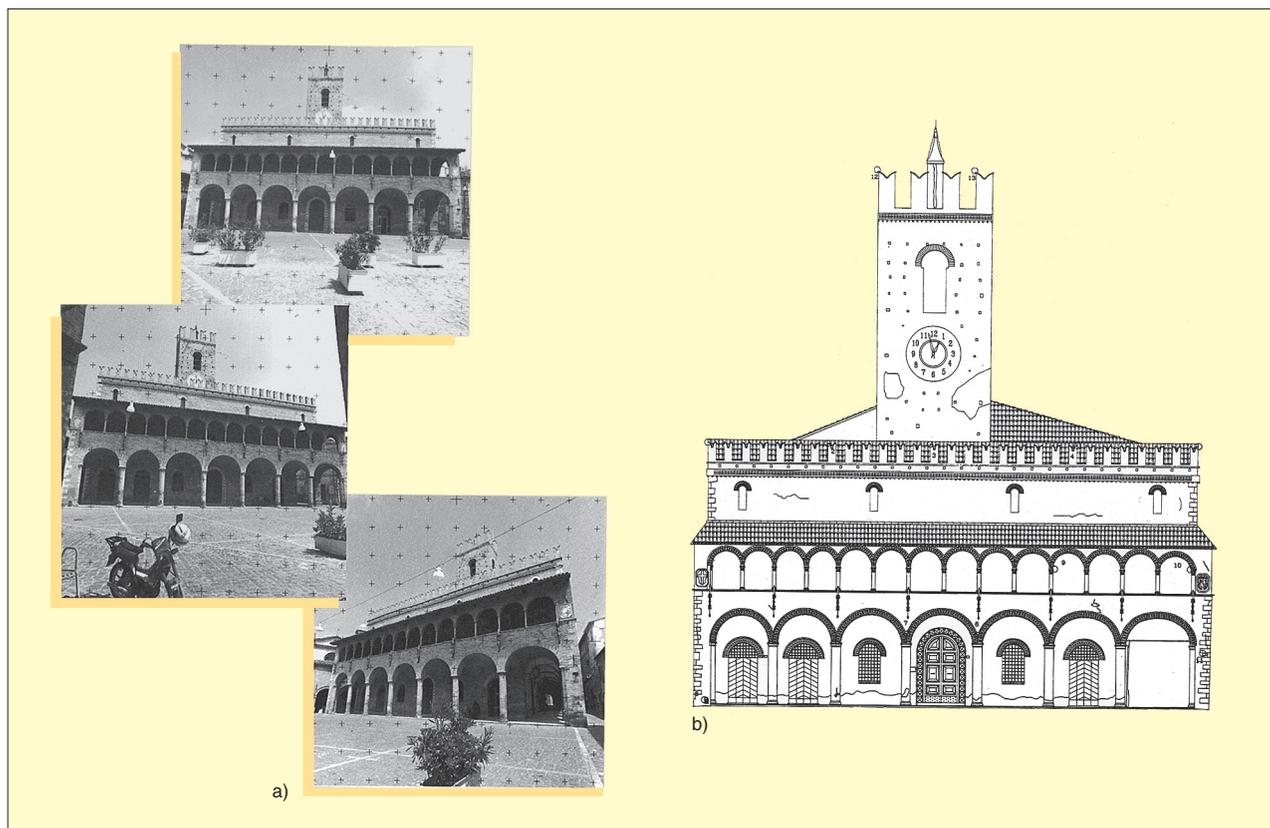
**FIGURA 32** Schema della presa non stereoscopica nella fotogrammetria non convenzionale (presa convergente). Essa è molto più flessibile e rapida: inoltre consente di eludere eventuali ostacoli presenti negli spazi antistanti l'oggetto.



31

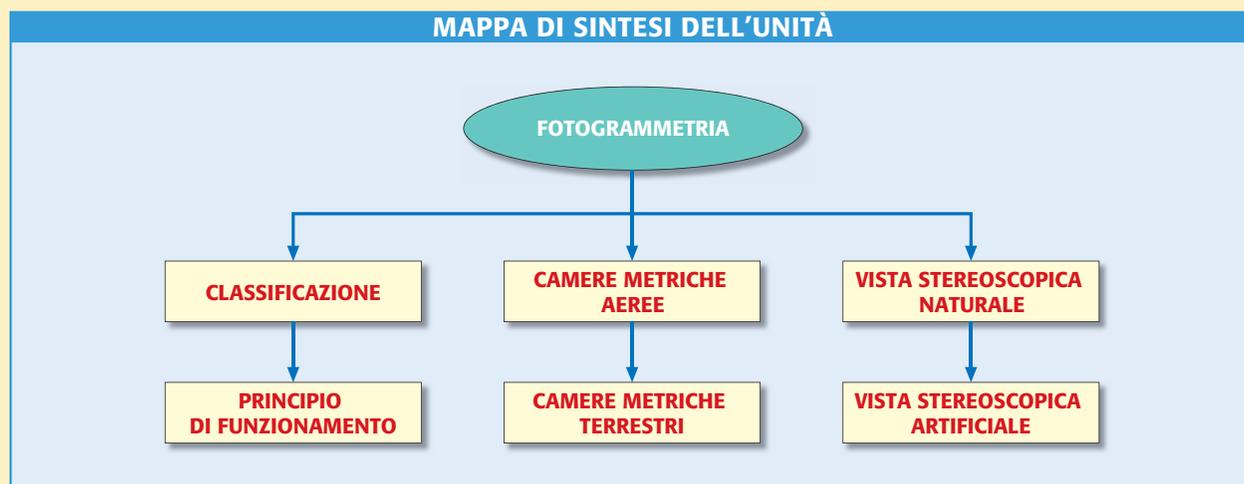


32



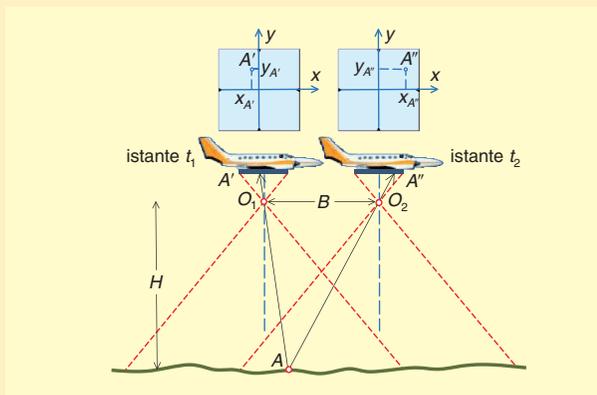
**FIGURA 33** a) Fotogrammi ripresi con camera semimetrica Rolleiflex 6006 di un edificio monumentale (Teatro del Serpente Aureo a Offida, in provincia di Ascoli Piceno) sui quali è visibile la griglia di croci (*reseau*). b) Prospetto ottenuto dalla restituzione dei fotogrammi di figura a) nell'ambito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



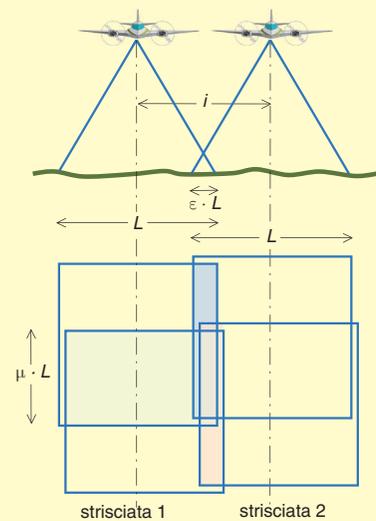
**Modelli stereoscopici.** Le prese devono avvenire in modo tale che il terreno venga scomposto in zone (*modelli*) tali che ogni loro punto appaia, come immagine, almeno su due fotogrammi, consentendone la ricostruzione stereoscopica.

**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*  $\mu$  è necessario che l'*interasse*  $i$  dia luogo anche a un *ricoprimento trasversale*  $\varepsilon$  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*  $\mu$  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*  $\Delta t$  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*  $\varepsilon$  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:

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

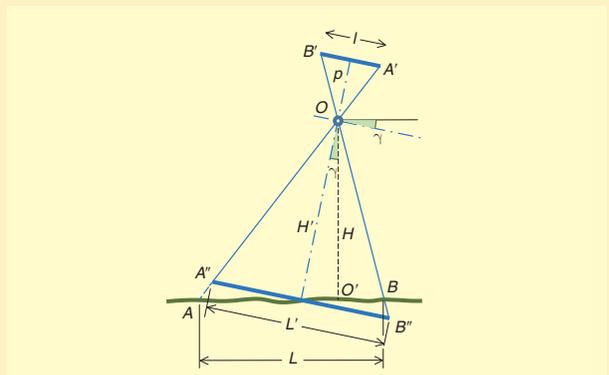
Quindi il numero complessivo di fotogrammi è dato da:

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

**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*  $\gamma$ , formato dall'asse della camera e dalla verticale, è limitato a  $4^\circ$ - $5^\circ$  (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*  $\Delta t$  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  $\Delta t$  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  $\delta$ ), 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*  $\lambda$  che è dato da:

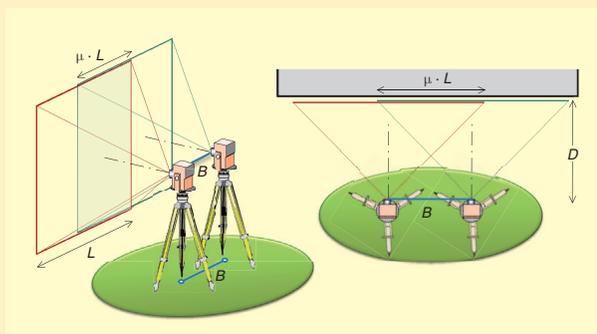
$$\lambda = \frac{p \cdot v \cdot \Delta\tau}{H}$$

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.

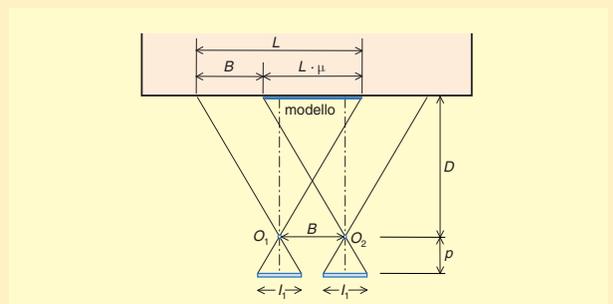


**Configurazione della presa terrestre.** Teoricamente, nella presa terrestre, la posizione della camera non ha restrizioni. Tuttavia, nella pratica, è opportuno limitare il *dislivello* tra i punti di presa entro il 10-15% della *base di presa B*, per non compromettere l'eventuale *ricoprimento laterale* (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  $4^\circ$ - $5^\circ$ ); 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  $\mu$ : 60% di  $l_1$
- ricoprimento laterale  $\epsilon$ : 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*).

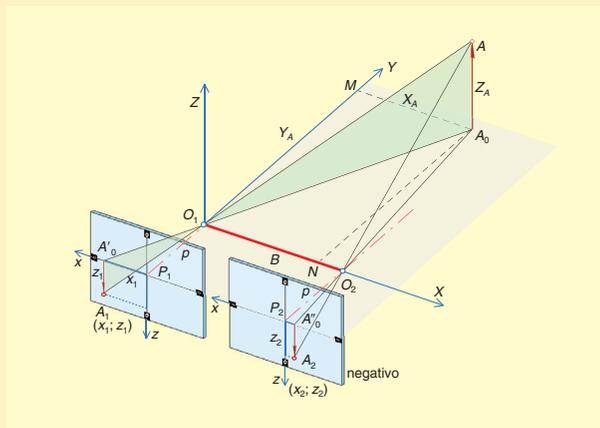
**Segnalazione dei punti di appoggio.** In generale i punti di appoggio sono materializzati mediante opportuni *segnali* su cartoncino rigido, fissati provvisoriamente all'oggetto; essi devono essere opportunamente *numerati* per il loro riconoscimento certo. Tuttavia, quando non è possibile (o è molto 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*.

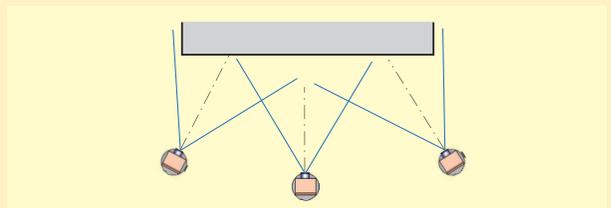
**Fotogrammetria terrestre non convenzionale.** Per limitare i costi connessi al rilievo fotogrammetrico terrestre tradizionale, sono stati concepiti e messi a punto svariati

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

### QUESITI A RISPOSTA SINGOLA

- 29** A cosa serve il ricoprimento longitudinale, e perché deve avere determinati valori?
- 30** Cos'è un modello stereoscopico, e come viene ottenuto?
- 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  $230 \times 230$  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  $230 \times 230$  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  $230 \times 230$  mm è stato scattato da un aereo con la camera inclinata (*tilt*) di  $4^\circ$  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  $230 \times 230$  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  $230 \times 230$  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.