

I FOTOGRAMMI AEREI SONO RIPRESI

- da aerei a velocità 150-800 km/h,
- da altezze 1000m-5000m,
- attraverso l'atmosfera (assorbimento e diffusione)



tempi di esposizione molto brevi (1/250 1/1000 s)



poca luce impressiona l'emulsione

caratteristiche del MATERIALE FOTOGRAFICO:

immagine formata da :

- supporto : pellicole 8-20 centesimi di mm
- emulsione (due (b/n) o tre (colori) strati)
- altri strati (per adesione emulsione/supporto; di protezione superficiale; per evitare riflessioni (antialo))

PROBLEMA PRINCIPALE : IMMAGINI NITIDE

I più importanti fattori che determinano la nitidezza sono:

- profondità di campo
- effetto di diffrazione
- risoluzione (determinata dalla grana)
- contrasto
- trascinamento (camere in movimento)

- in fotogrammetria aerea si usano camere a fuoco fisso (adattata per l'infinito = a distanza iperfocale, oppure a 1000 m → prof.di campo molto ampia)
- in fotogrammetria terrestre (dei vicini) si possono usare
 - ◆ camere a fuoco fisso (a distanza prefissata : si fotografano oggetti posti all'interno della profondità di campo)
 - ◆ anelli di focamento calibrati (variano in modo noto la distanza principale)
 - ◆ camere con c variabile (possibilità di selezionare alcune c calibrate)

DIFFRAZIONE

a causa della diffrazione dei raggi luminosi nel passaggio attraverso il diaframma, un punto oggetto viene comunque trasformato sull'immagine in un disco (circa $10 \mu\text{m}$)

RISOLUZIONE (potere risolvante)

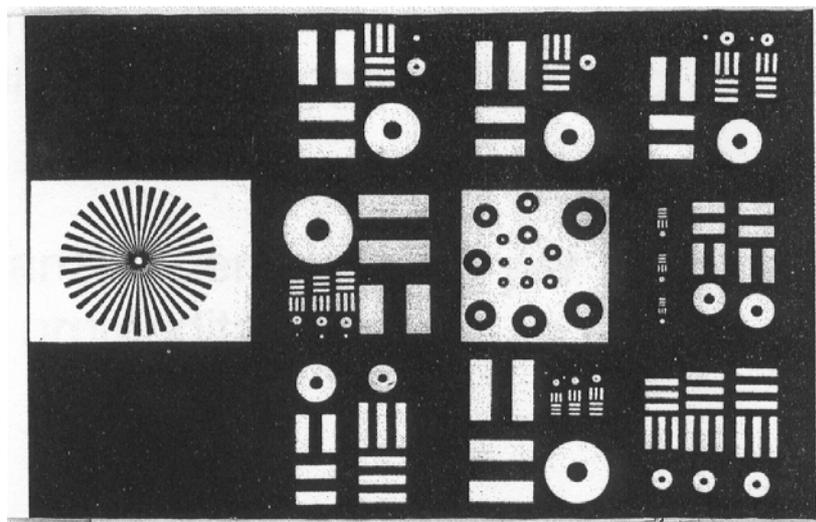
è espressa in termini di : **paia di linee per mm (lp/mm)**
indica quante linee per mm possono essere distinte dai loro spazi adiacenti di ugual spessore

il limite teorico è determinato dalla diffrazione ed è il valore massimo teorico di risoluzione ottico-fotografica

la risoluzione **dipende dall'ottica, e dalla grana della pellicola**, cioè dalla dimensione dei cristalli di composti d'argento che formano l'emulsione sensibile, (da pochi nm a pochi μm , dopo lo sviluppo arrivano a 0.5 - 2 μm)

pellicole a grana fine danno alta risoluzione
pellicole a grana grossa danno bassa risoluzione

il potere risolvante degli obiettivi si misura usando tabelloni test (si possono determinare separatamente le caratteristiche di risoluzione tangenziale e radiale)



la risoluzione **dipende anche dal contrasto**: risulta diversa se gli stessi tabelloni hanno rapporti di brillantezza diversi tra linee e spazi

TRASCINAMENTO (vedi piano di volo)

dovuto al movimento della camera durante il tempo di apertura dell'otturatore

Trascinamento teorico : durante il tempo di esposizione un punto oggetto produce sull'immagine un segmento di lunghezza :

$$u \cdot t = v \cdot t \cdot \frac{c}{Z} = \frac{v \cdot t}{m_b}$$

in realtà si ha solo un trascinamento che corrisponde circa alla metà di quello teorico (all'inizio e alla fine del tempo di posa t non arriva sufficiente luce dal punto da impressionare la pellicola)

l'effetto del trascinamento è maggiore se

- il tempo di posa è lungo,
- la velocità dell'aereo è elevata
- per grandi scale (dipende quindi anche dalla quota di volo)

ma dipende anche dalla sensibilità della pellicola, dalla brillantezza dell'oggetto e da altri fattori

Nelle moderne camere da presa aeree il trascinamento puo' essere compensato da uno spostamento controllato da un computer del dispositivo di spianamento e del film, a velocita' $v'=cv/Z$, durante la presa (si considera la velocita' uniforme)

FMC (forward motion compensation)

Elimina la maggior parte dell'effetto di trascinamento sull'immagine ma non:

- effetto rotazioni aereo (occorre supporto giroscopico stabilizzato)
- differenze di quota del terreno (dovrei variare v' in funzione di Z)
- variazioni di velocità dell'aereo

in terreni con morfologia complessa occorre compensare il moto tenendo conto di quali sono le zone piu' importanti da cartografare

CARATTERISTICHE DELLE PELLICOLE

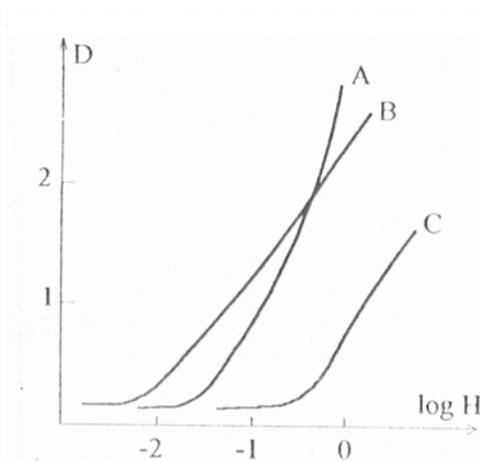
CONTRASTO γ

Rapporto tra incremento di densità di un negativo (o positivo) e esposizione (intensità della radiazione x tempo di esposizione)

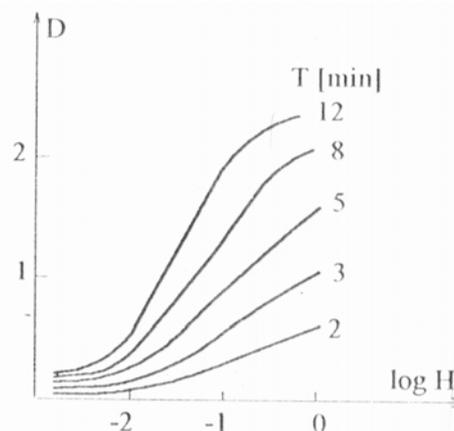
Dato un flusso luminoso costante ϕ_0 che attraversa una pellicola (impressionata), è possibile misurare con un densitometro il flusso ϕ uscente. Si definisce $\phi/\phi_0 = \tau$ trasparenza e il suo inverso 'opacità' O .

Inoltre si definisce la densità $D = \text{Log } O$ ($D=0 \rightarrow \tau=1$, $D=2 \rightarrow \tau=1/100$ etc.), e la 'esposizione' H (lux x sec) è l'intensità di radiazione (lux) per il tempo di esposizione.

La relazione tra esposizione H e densità D di un negativo o positivo può essere espressa dalla curva caratteristica



*Figura 3.2-9
Caratteristiche di tre film A,B,C
con lo stesso sviluppo*



*Figura 3.2-10
Caratteristiche di uno stesso film,
con diversi tempi T di sviluppo
(stesso sviluppo, stessa temperatura)*

la pendenza di tale curva nel tratto rettilineo è il contrasto γ , e da essa dipende la determinazione della corretta esposizione dell'emulsione.

Se $\gamma > 1$ si hanno pellicole 'dure' : piccole differenze di esposizione danno grandi differenze di densità (e viceversa...)

in pratica si usano, come e' noto, esposimetri che in modo automatico indicano se vi è sopra o sotto esposizione (cioè se ci si trova all'interno o al di fuori del tratto rettilineo)

SENSIBILITÀ (rapidità emulsione)

esposizione H (intensità per tempo) necessaria per produrre una determinata densità (in precise condizioni di sviluppo)

esiste più di una definizione: DIN (standard tedesco) ASA (standard americano, ora ANSI) ISO (standard internazionale) (e tabelle comparative)

una pellicola **meno sensibile** (lenta) a parità di esposizione produce densità minori (possono avere stesso γ , ma sensibilità diverse)

EMULSIONI FOTOGRAFICHE USATE IN FOTOGRAMMETRIA

hanno diverse sensibilita' spettrali

- ORTOCROMATRICA sensibile alla luce blu-verde, meno al rosso (fotogrammetria terrestre)
- PANCROMATRICA sensibile all'intera banda del visibile

- INFRAROSSO sensibile anche al blu e al rosso, uso di filtri infrarossi
- A COLORI E FALSO COLORE usata principalmente per fotointerpretazione

per fotogrammetria di precisione si usano pellicole a grana fine, media velocita' e B/N

Produttore	Nome del prodotto e supporto	Tipo	Sensibilità spettrale $\lambda = 400 \quad 600 \quad 800 \text{ nm}$	Spessore del supporto [mm]	Sensibilità		Sviluppo consigliato	Risoluzione fotogr. [L/mm] per contrasto K dell'oggetto		Graduazione	Grana (RMSG)
					DIN	AFS EAFS x		1000:1	1.6:1		
Agfa-Gevaert	Aviphot Pan 150 PE Polyester	Pan+		0.10	18-22	100-250 x	G 74 c	143	45	1.3-2.1	
Kodak	Aviphot Pan 200 PE Polyester	Pan+		0.10	20-25	160-500 x	G 74 c	100	50	0.9-1.9	
Kodak	Plus-X Aerographic 2402 Estar	Pan+		0.10		200 125-400 x	Versamat 855	160	50	1.3 0.8-2.0	20
Kodak	Panatomic-X Aerographic II 2412 Estar	Pan+		0.10		40 32 - 64 x	Versamat 855	400	125	1.2-2.1	9
Kodak	High Definition Aerial 3414 Estar Thin Base	Pan+		0.06		4 - 16 x	Versamat 855	800	250	2.3-2.5	8
Kodak	Infrared Aerigraphic 2424 Estar	IR		0.10		400 200-800 x	D-19 Versamat 855	80	40	2.3 1.0-2.1	27
Kodak	Aerocolor Negative 2445 Estar	Colore Neg.		0.10		100 x	Aero Neg. Color Process	80	40		13
Kodak	Aerochrome MS 2448 Estar	Colore Pos.		0.10		32 x	EA-5	80	40	2.0	13
Kodak	Aerochrome Infrared 2443 Estar	IR Colore Pos.		0.10		40 x	EA-5	63	32		17

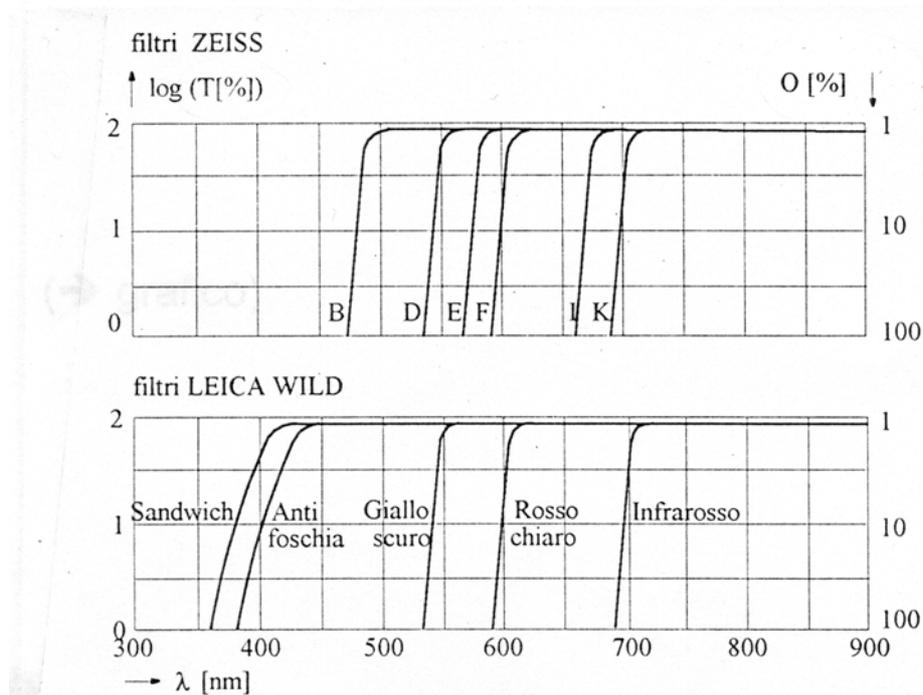
FILTRI

si usano per evitare che l'emulsione fotografica venga colpita da luce indesiderata

per esempio per eliminare le radiazioni corte (piu' diffuse in atmosfera) che riducono il contrasto nelle immagini, o per bloccare il visibile per fotografie all'I.R.

riducono il flusso luminoso, per cui con filtro i tempi di esposizione devono essere maggiori, secondo un 'fattore filtro' che puo' variare da 1 a 8 volte

i filtri usati in fotogrammetria aerea hanno curva di assorbimento molto ripide ('taglio') sono quindi ad alta precisione (più precisi di quelli normali)



regole pratiche :

filtro giallo → foschia, per aumentare il contrasto

filtro rosso → per riprese all'I.R.:

filtro UV o d'assorbimento → per togliere radiazioni minori

PELLICOLE PER FOTO AEREE

esempi :

Per fotogrammi a piccola scala, (quote di volo maggiori)
→ pellicole piu' sensibili, perche' arriva meno luce dall'oggetto.

Con cielo coperto la maggior diffusione di luce schiarisce le ombre e riduce il contrasto (per aumentare il contrasto si possono usare filtri gialli di diversa intensita' a secondo delle condizioni di foschia.

Si usano diverse sensibilita' delle pellicole per diverse stagioni, p.e.in autunno c'e' poca luce

Nota : le stampatrici automatiche elettroniche permettono di ridurre le differenze di densita' in grandi aree e aumentare nello stesso tempo il contrasto di dettagli

DEFORMAZIONI (e loro correzioni analitiche)

dopo l'esposizione la pellicola viene sviluppata, fissata, lavata, asciugata, immagazzinata in varie condizioni di temperatura e umidità (idem le diapositive e copie su carta)

Per effettuare misure è necessario poter correggere le deformazioni dei fotogrammi conseguenti a questi trattamenti

- deformazioni in funzione di temperatura pressione tensioni, invecchiamento
- cambiamenti di forma e scala
- reversibili / irreversibili

Le deformazioni dipendono principalmente dal supporto (poliestere di diversi spessori)

Una parte di deformazioni è omogenea e porta ad un cambiamento di dimensioni del fotogramma quindi può essere corretta variando il valore della distanza principale

- si può usare una distanza principale ridotta

CORREZIONE

('raffinamento coordinate immagine' : 4.3.5 4.3.6)

La correzione delle distorsioni fa parte del ripristino dell'orientamento interno del fotogramma.

Per ottenere la 'distorsione totale' del fotogramma, oltre alla distorsione radiale vanno tenute in conto (ossia corrette con opportuni modelli) tutte le deformazioni irregolari dell'immagine.

Nei fotogrammi utilizzati in fotogrammetria la distorsione totale è inferiore ai 20 μm

Le coordinate immagine che si determinano con lettura strumentale vengono corrette per diversi effetti utilizzando trasformazioni conformi ed affini nel piano.

i parametri di tali trasformazioni vengono determinati utilizzando come 'punti noti' le coordinate delle marche fiduciali (o degli incroci del reticolo) riportate dal certificato di calibrazione, per confronto con la posizione misurata sul fotogramma (deformato) delle stesse marche.

Trasformazione coordinate strumentali

→ **coordinate immagine**

Le coordinate misurate da monocomparatori e stereocomparatori sono riferite al sistema di riferimento dello strumento, e sono dette **coordinate strumentali**.

Per i calcoli successivi è necessario disporre delle **coordinate immagine** corrette, riferite al sistema intrinseco definito dalle marche fiduciali.

In fase di misura con i comparatori vanno misurate anche le coordinate strumentali delle marche fiduciali, che permettono di determinare i parametri della trasformazione coordinate strumentali \rightarrow coordinate immagine.

$$\begin{bmatrix} \xi' \\ \eta' \end{bmatrix} = \text{coordinate strumentali} \qquad \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix} = \text{coordinate immagine}$$

• **Trasformazione conforme**

Rototraslazione piana con variazione di scala (4 parametri)

$$\begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{20} \end{bmatrix} + m \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi' \\ \eta' \end{bmatrix}$$

• **Trasformazione affine**

le equazioni di questa trasformazione a **6 parametri** sono

$$\begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{20} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi' \\ \eta' \end{bmatrix}$$

significato fisico

$$\begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_\xi \\ T_\eta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \lambda_\xi & 0 \\ 0 & \lambda_\eta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \vartheta & \sin(\vartheta + \delta) \\ -\sin \vartheta & \cos(\vartheta - \delta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi' \\ \eta' \end{bmatrix}$$

$\left\{ \begin{array}{l} T_\xi = a_{10} \\ T_\eta = a_{20} \\ \lambda_\xi \cos \vartheta = a_{11} \\ \lambda_\xi \sin(\vartheta + \delta) = a_{12} \\ -\lambda_\eta \sin \vartheta = a_{21} \\ \lambda_\eta \cos(\vartheta - \delta) = a_{22} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} T_\xi = \text{traslazione in direzione } \xi \\ T_\eta = \text{traslazione in direzione } \eta \\ \lambda_\xi = \text{fattore di scala lungo l'asse } \xi \\ \lambda_\eta = \text{fattore di scala lungo l'asse } \eta \\ \vartheta = \text{rotazione} \\ \delta = \text{"sbandamento"} \end{array} \right.$
---	--

- **Trasformazione omografica (“bilineare”)**

E' preferibile nel caso che le marche fiduciali siano negli spigoli del fotogramma (camere WILD).

In questo caso **i parametri sono 8**, e le equazioni sono:

$$\begin{cases} \xi = a_{10} + a_{11}\xi' + a_{12}\eta' + a_{13}\xi'\eta' \\ \eta = a_{20} + a_{21}\xi' + a_{22}\eta' + a_{23}\xi'\eta' \end{cases}$$

E' usata anche per camere semimetriche: ogni maglia del reticolo viene trasformata singolarmente

I valori dei 6 (o 4, o 8) parametri vengono determinati con una compensazione ai minimi quadrati, scrivendo $2 \times 4 = 8$ (o $2 \times 8 = 16$) equazioni di trasformazione per le quattro (otto) marche fiduciali.

RAFFINAMENTO COORDINATE IMMAGINE

Correzione della distorsione radiale

Dall'equazione:

$$\Delta\rho = \rho - c \tan \tau$$

Si ricava

$$\rho_{\text{corr}} = \rho_{\text{mis}} - \Delta\rho$$

Dalla misura delle coordinate immagine ξ, η si calcola:

$$\rho = \sqrt{(\xi - \xi_0)^2 + (\eta - \eta_0)^2}$$

Si ricava $\Delta\rho$ dalla curva di distorsione, e si calcolano le componenti:

$$\begin{aligned} \Delta\xi &= \frac{\xi - \xi_0}{\rho} \Delta\rho & \xi &= \xi' - \Delta\xi \\ \Delta\eta &= \frac{\eta - \eta_0}{\rho} \Delta\rho & \Rightarrow \quad \eta &= \eta' - \Delta\eta \end{aligned}$$

EFFETTO DELLA RIFRAZIONE ATMOSFERICA

Il raggio luminoso non ha realmente andamento rettilineo, a causa della variazione dell'indice di rifrazione dell'aria.

Per fotogrammi pseudo-nadirali l'angolo $\Delta\tau$ tra raggio reale e tangente nel centro di proiezione può essere espresso da:

$$\Delta\tau = K \tan \tau = K \frac{\rho}{c}$$

K varia con le condizioni atmosferiche, e in funzione della lunghezza d'onda considerata (sensibilità spettrale della pellicola)

Per un'atmosfera standard (modello a strati paralleli uniformi) K può essere calcolato da opportuna equazione, funzione di Z e Z_0 (quote s.l.m), come valore approssimato per l'intera area di rilievo

Si calcola poi

$$\Delta\rho \cos \tau = \Delta\tau \sqrt{c^2 + \rho^2} \Rightarrow \Delta\rho \approx \frac{c^2 + \rho^2}{c} \Delta\tau$$

e quindi
$$\Delta\rho \approx \rho K \frac{c^2 + \rho^2}{c^2}$$

vedere figura e tabella correzioni delle coordinate immagine per effetto della rifrazione atmosferica (quota media terreno =500m)