



 **POLITECNICO DI MILANO**
DICA - Sez. Geodesia e Geomatica



Il telerilevamento da SAPR/UAV

Geometria di volo, Piani di volo

Dr.ssa Giovanna Sona (prof. Livio Pinto)



Lecco, 28.9.2015



PRINCIPI GENERALI

- L'immagine è una proiezione centrale dello spazio 3D su uno spazio 2D (un piano)
- Una singola immagine non basta per ricostruire l'oggetto (2D → 3D)
- Sono necessarie più immagini per ricostruire l'oggetto, mediante intersezione di raggi

Almeno 2 immagini, stime migliori con $n > 2$

→ ridondanza di osservazioni

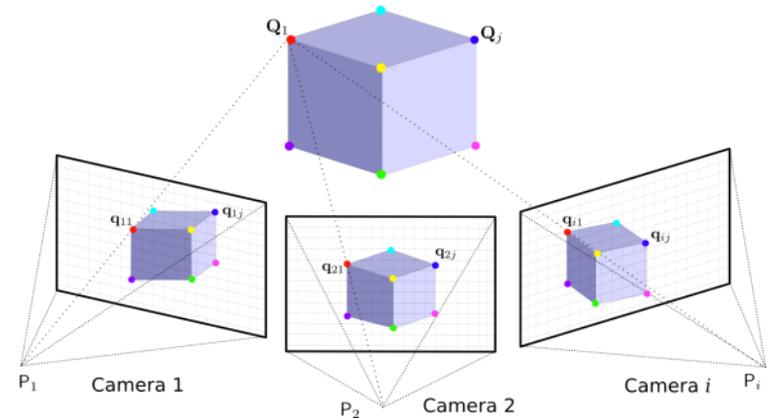
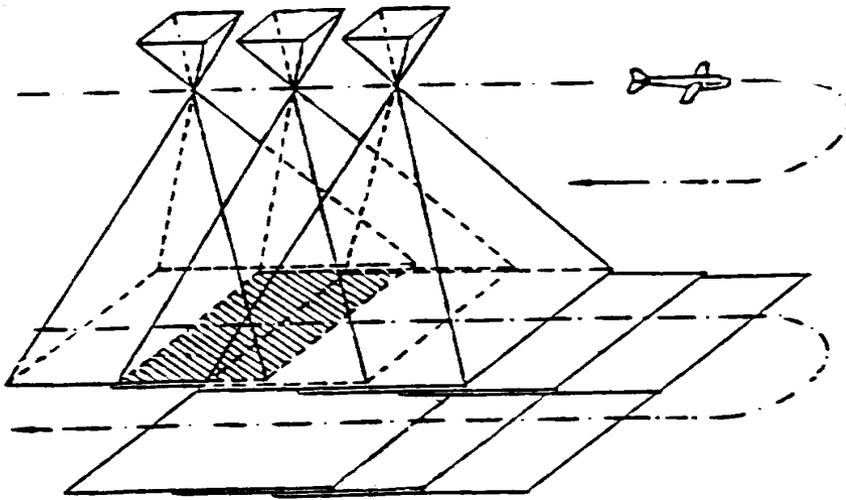


RICOPRIMENTO OGGETTO

Gli oggetti di rilievi possono essere molto diversi per posizione e forma

→ ricoprimenti ottenuti in modi diversi

Rilievo aereo / Rilievo terrestre



Rilievo da UAV ...?



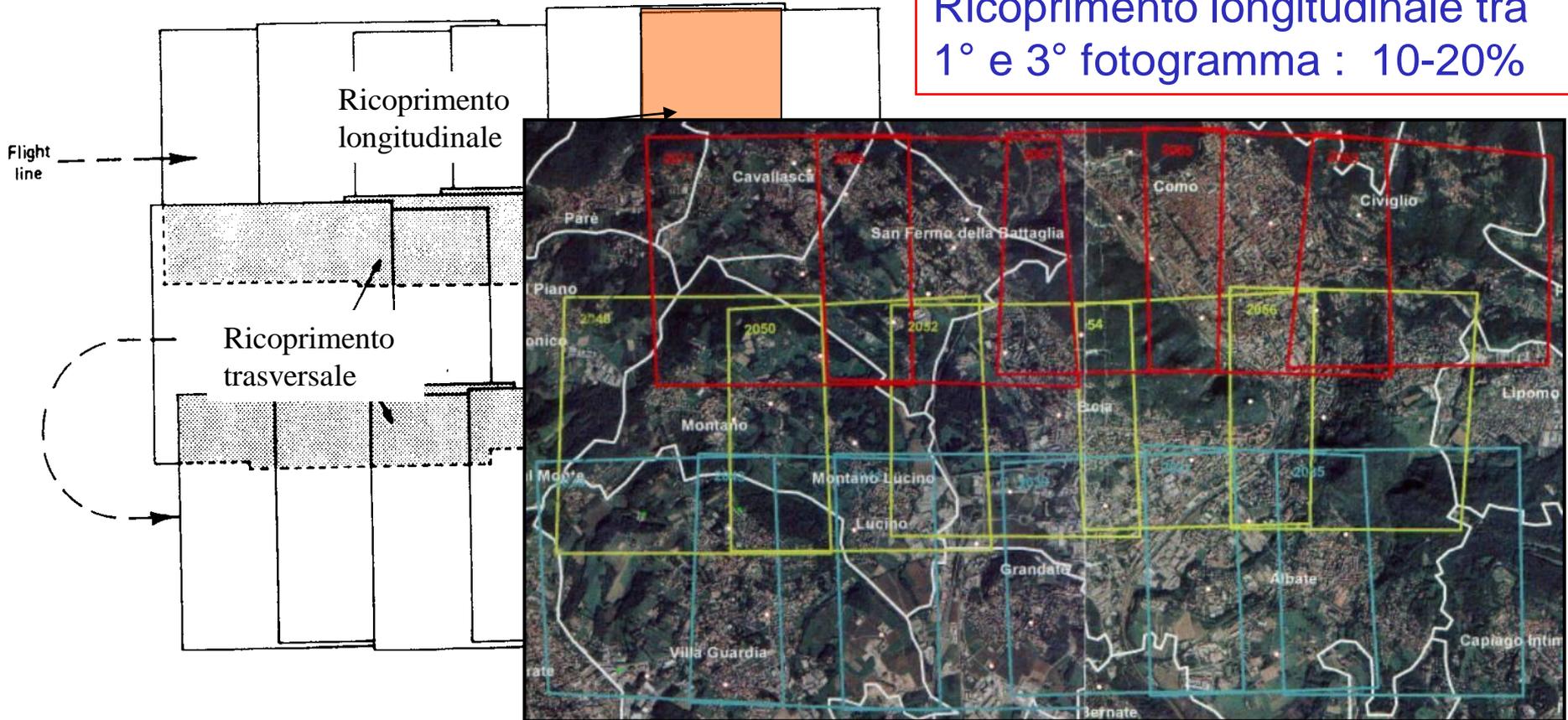
RILIEVO AEREO

Struttura dei blocchi

Ricoprimenti standard :

longitudinale: 55-60% trasversale: 10-20%

Ricoprimento longitudinale tra
1° e 3° fotogramma : 10-20%

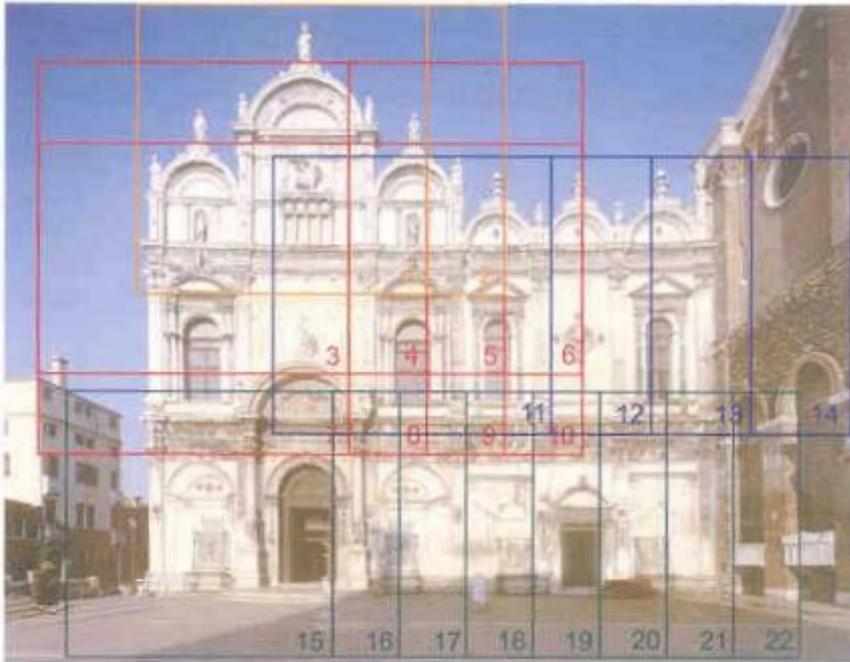




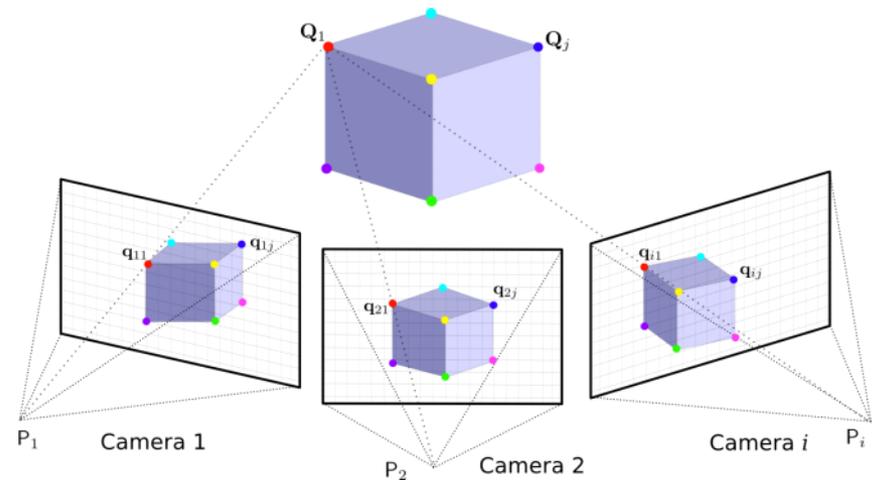
RILIEVI TERRESTRI

Non sempre in geometria nadirale

Prese nadirali



Prese convergenti



Occorre sempre una accurata progettazione perché l'oggetto può avere geometrie complicate.



PROGETTAZIONE DELLE PRESE: SCELTA DELLA SCALA

Il dato di partenza è la scala del modello da realizzare $1/m_c$: occorre mettere in evidenza il legame tra la scala del modello e quella delle immagini da acquisire $1/m_b$.

Criterio: si deve garantire che la precisione si trasferisca dalle misure sulle immagini al prodotto finale, lungo le fasi del processo produttivo.

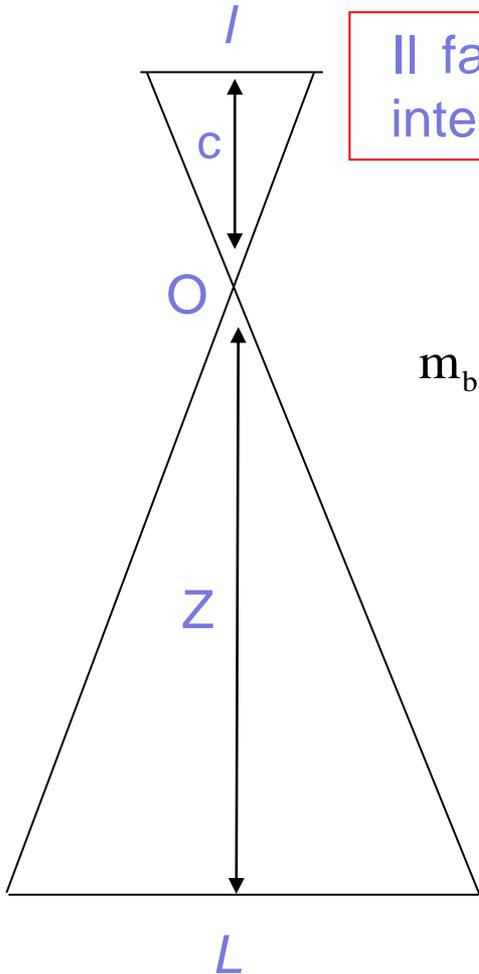
Esempio dalla fotogrammetria aerea

$$m_b = k\sqrt{m_c}$$

Scala carta	1:500	1:1000	1:2000	1:5000	1:10000	1:25000	1:50000
<hr/>							
Scala fotogrammi							
Min.	1:5000	1:8000	1:12000	1:18000	1:25000	1:45000	1:60000
Max.	1:3000	1:4000	1:6000	1:11000	1:18000	1:28000	1:40000

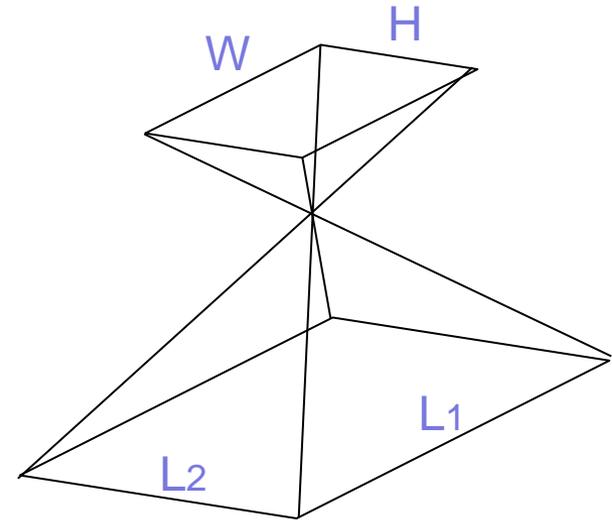


RELAZIONI GEOMETRICHE



Il fattore di scala dell'immagine m_b è legato alla geometria interna della camera e alla distanza di presa delle immagini

$$m_b = \frac{L}{l} = \frac{Z}{c} \Rightarrow Z = c \cdot m_b$$



$$m_b = \frac{Z}{c} = \frac{L_1}{W} \Rightarrow L_1 = W \cdot \frac{Z}{c}$$

$$\dots \Rightarrow L_2 = H \cdot \frac{Z}{c}$$

Date le dimensioni del sensore W , H , e l'altezza di volo, risulta determinato il rettangolo di ingombro a terra (footprint) dell'immagine



DEFINIZIONE PARAMETRI DI VOLO

Quindi, dato il fattore di scala m_b , e l'obbiettivo utilizzato, si calcola la **quota di volo relativa Z (o distanza dall'oggetto)**

Vengono poi definiti i ricoprimenti (overlapping) :

Tradizionali in fotogrammetria aerea:

Longitudinale (along-strip) $\mu = 60\%$

Trasversale (cross-strip) $\varepsilon = 20\%$

N.B : Sovrapposizioni più elevate evitano 'buchi' in caso di variazioni nella quota relativa di volo (h_r) e dell'assetto (ω, φ, κ)



DEFINIZIONE PARAMETRI DI VOLO

Da quota di volo e ricoprimenti si calcolano la base di presa B e la distanza tra gli assi delle strisciate A ('interasse tra strisciate')

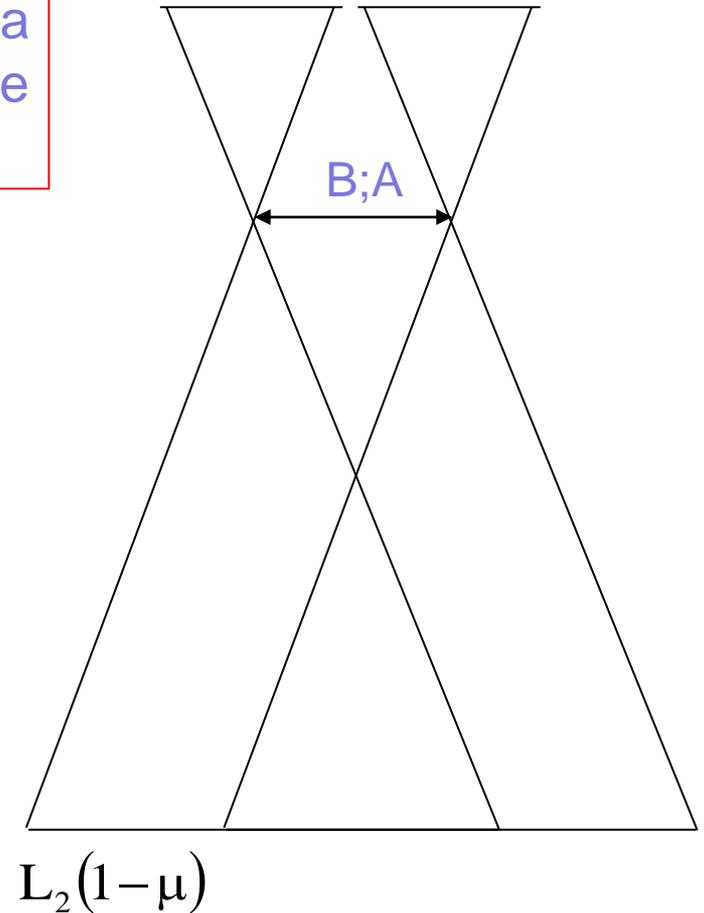
$$B = L_2(1 - \mu)$$

$$A = L_1(1 - \varepsilon)$$

Con i parametri B ed A , date le dimensioni dell'area, si possono calcolare il numero di strisciate e di fotogrammi per strisciata

$$N_{\text{fot}} = \text{int} \left[\frac{K_1}{B} + 1 \right] + 1 \quad N_{\text{str}} = \text{int} \left[\frac{K_2}{A} \right] + 1$$

(Kraus)

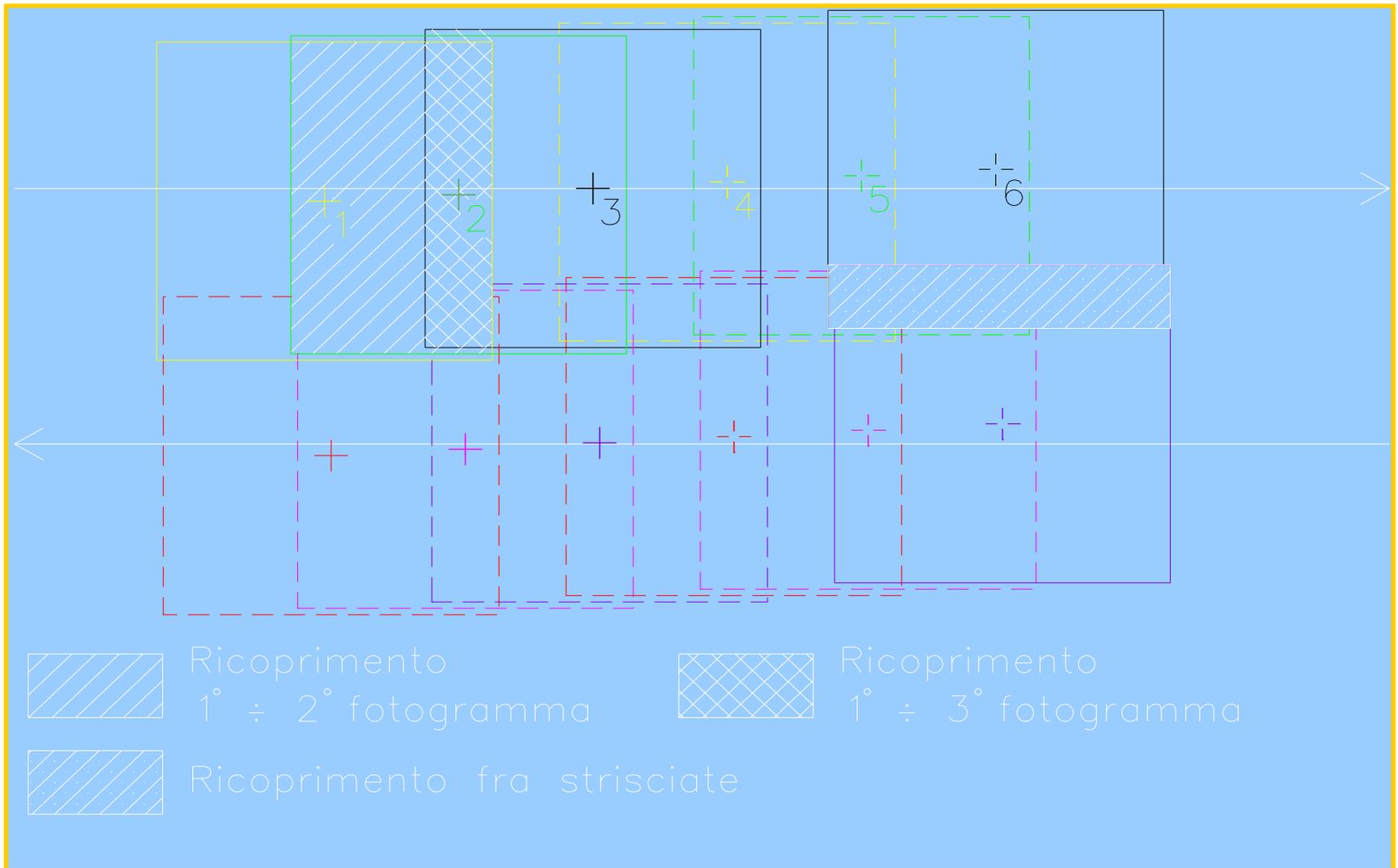


Inoltre vale l'ovvia relazione tra la velocità del veicolo v , la base B e l'intervallo tra due scatti Δt

$$\Delta t = \frac{B}{v}$$



DEFINIZIONE PARAMETRI DI VOLO



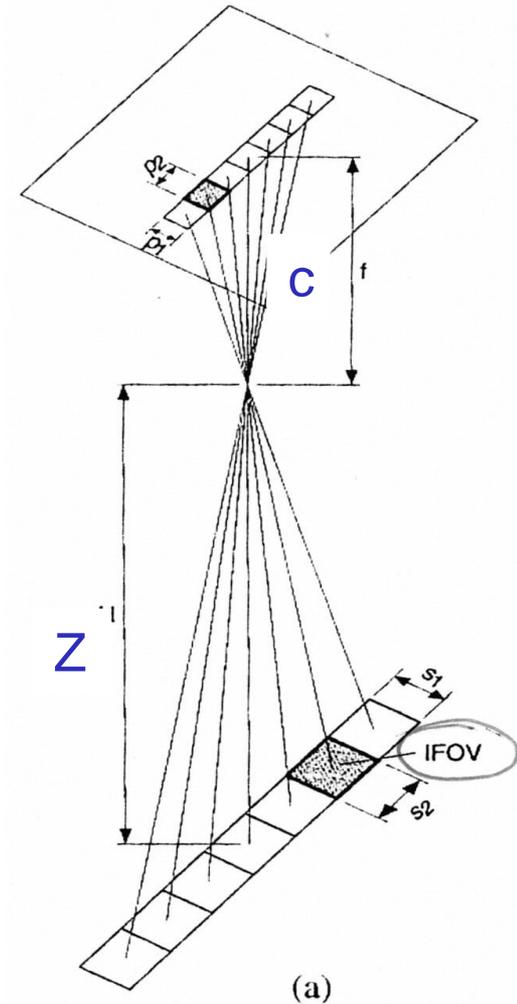


RISOLUZIONE AL SUOLO

La geometria esterna della presa insieme con la geometria interna del sensore definiscono le proporzioni per la formazione dell'immagine

La stessa proporzione vale per il singolo pixel : GSD (IFOV)

$$m_b = \frac{Z}{c} = \frac{L_1}{W} = \frac{GSD}{d_{pix}} \Rightarrow GSD = d_{pix} \frac{Z}{c}$$





PRECISIONI GEOMETRICHE - PROPAGAZIONE ERRORI

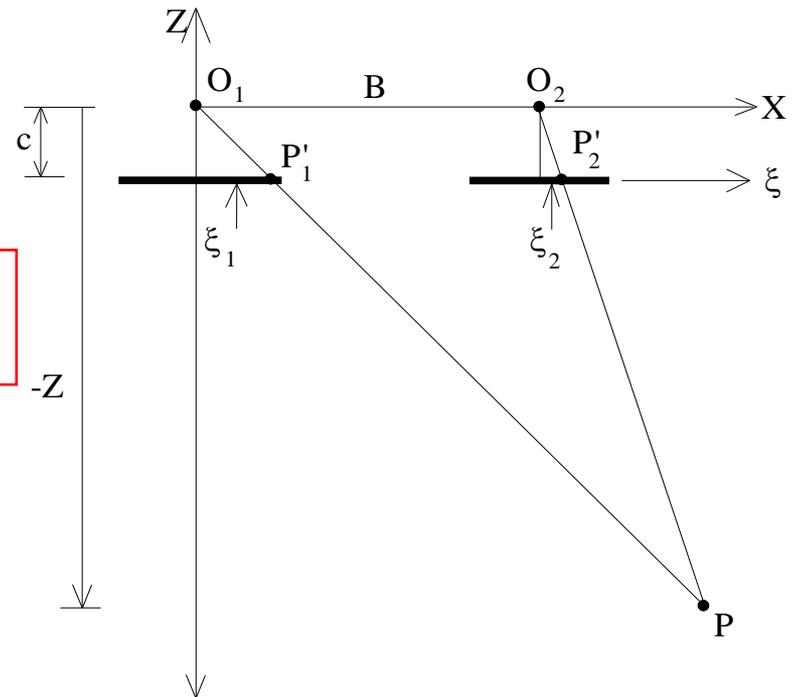
Occorre sapere come la precisione geometrica si trasferisce dalle misure sulle immagini al prodotto finale (carta, modello)

Caso 'normale' = nadirale, immagini complanari e parallele (valori nulli dei 3 angoli di assetto)

(caso vicino al rilievo aereo/dall'alto di un terreno prevalentemente piano)

Le equazioni di collinearità e di intersezione risultano semplificate

E' più semplice lo studio delle precisioni teoriche in funzione dei parametri geometrici del rilievo





ERRORI nel 'CASO NORMALE'

Propagazione degli errori

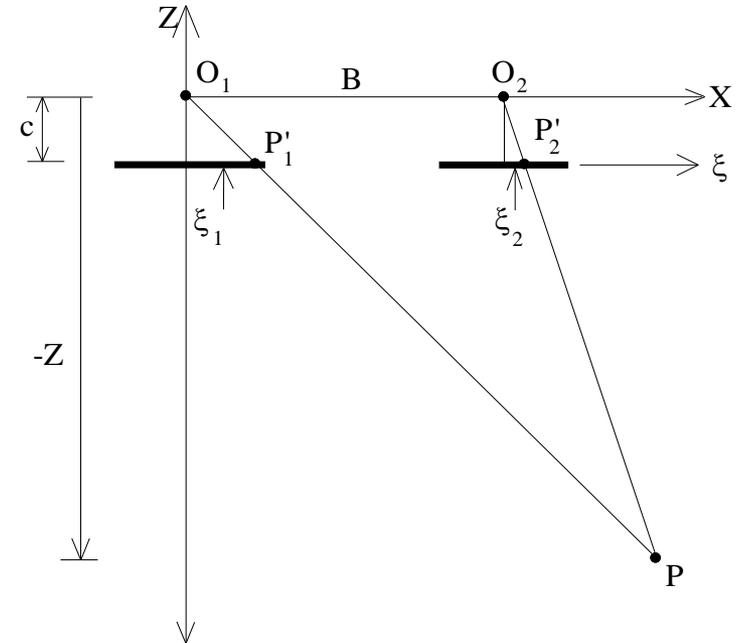
DEF:

fattore di scala (medio) $Z/c = m_b$

rapporto di base B/Z

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_X = m_b \sqrt{\left(\frac{\xi_1 Z}{c B}\right)^2 \sigma_{P_\xi}^2 + \sigma_\xi^2} \\ \sigma_Y = m_b \sqrt{\left(\frac{\eta_1 Z}{c B}\right)^2 \sigma_{P_\xi}^2 + \sigma_\eta^2} \\ \sigma_Z = m_b \frac{Z}{B} \sigma_{P_\xi} \end{array} \right. \quad \Rightarrow$$

la 'profondità' è la coordinata più svantaggiata. $\sigma_z = Z^2 * \sigma_p / (B * c)$





ERRORI nel 'CASO NORMALE'

A scala immagine fissata, σ_z è inversamente proporzionale al rapporto di base B/Z;

Ma σ_x e σ_y crescono lentamente con B/Z ; \rightarrow quindi se B/Z è appena sotto 1:1 X, Y, Z hanno la stessa accuratezza

Esempio :

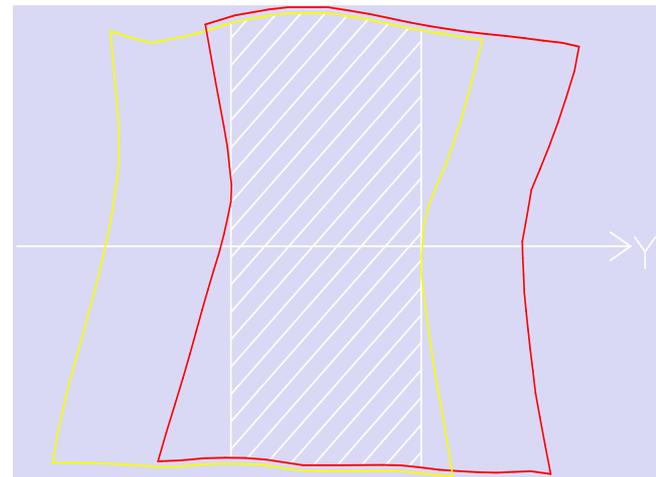
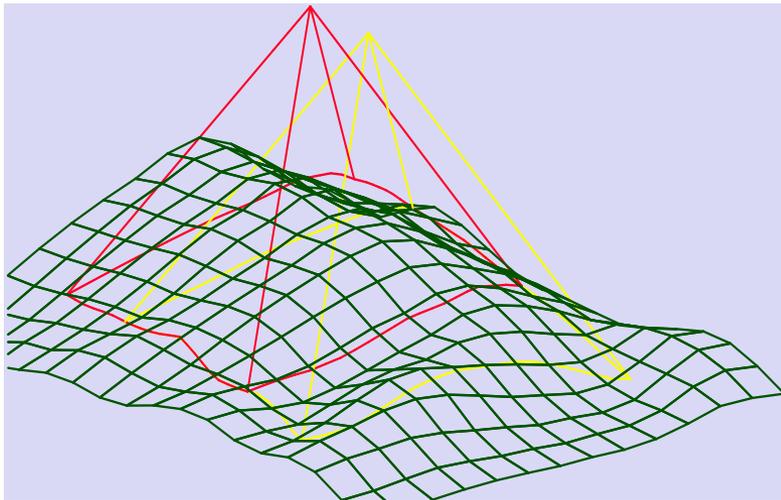
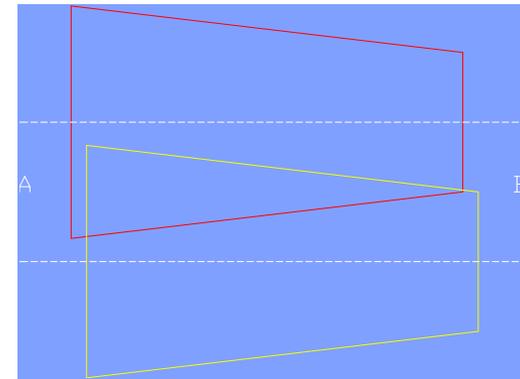
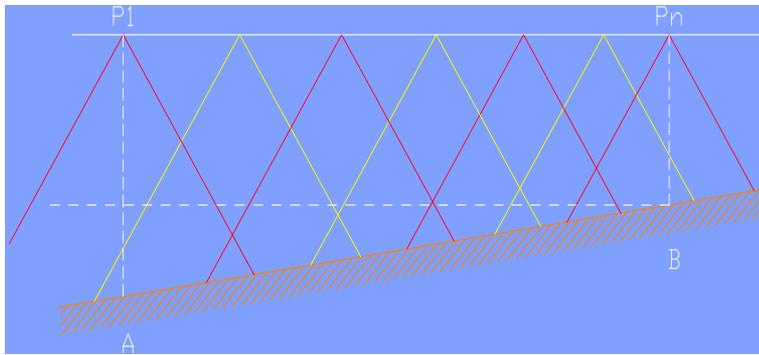
$c = 150\text{mm}$, $\sigma_{p\xi} = 5\mu\text{m}$,
 $\sigma_{\xi, \eta} = 7\mu\text{m}$, $\eta = \xi = 50\text{mm}$

	B/Z = 1:1		B/Z = 1:3		B/Z = 1:10		B/Z = 1:20	
m_b	σ_{XY}	σ_z	σ_{XY}	σ_z	σ_{XY}	σ_z	σ_{XY}	σ_z
50000	m 0.36	0.25	0.43	0.75	0.90	2.50	1.70	5.00 m
10000	dm 0.72	0.50	0.86	1.5	1.81	5.00	3.41	10.00 dm
1000	cm 0.72	0.50	0.86	1.5	1.81	5.00	3.41	10.00 cm
100	mm 0.72	0.50	0.86	1.5	1.81	5.00	3.41	10.00 mm
25	mm 0.18	0.13	0.22	0.38	0.45	1.25	0.85	2.50 mm

Per B/Z fissato, σ_x σ_y σ_z sono direttamente proporzionali al fattore di scala, in teoria è quindi possibile ottenere 'qualsiasi' accuratezza, scegliendo la scala adeguata



Ricoprimenti nel caso di terreno non piano o prese non nadirali





PROGETTO RILIEVO CON UAV

In un rilievo da UAV dall'alto, le relazioni geometriche non cambiano sostanzialmente.

Cambia la scala delle immagini, ma la maggior parte dei parametri da fissare e da calcolare sono analoghi.

La scala del modello da produrre, le accuratezze richieste e la distanza dall'oggetto sono i parametri determinanti.

I parametri dipendono dal tipo di oggetto, dallo scopo del rilievo e dagli strumenti utilizzati per il rilievo.

I rilievi sono effettuati a distanze più ravvicinate, con aeromobili meno stabili rispetto ad un aereo

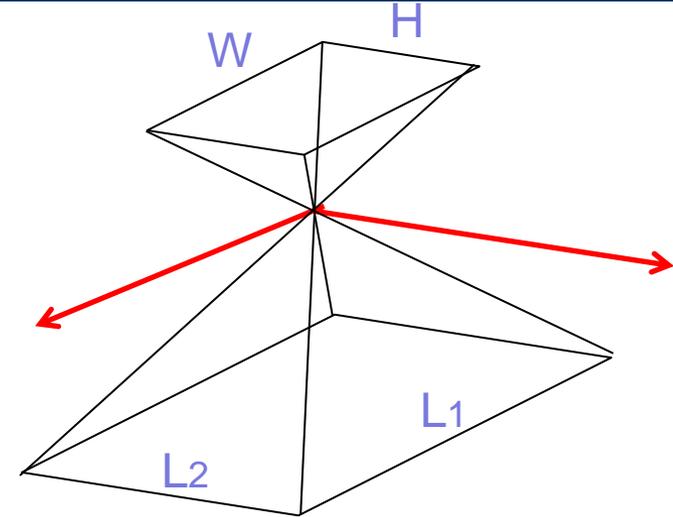
→ Ricoprimenti più elevati



PROGETTO RILIEVO CON UAV

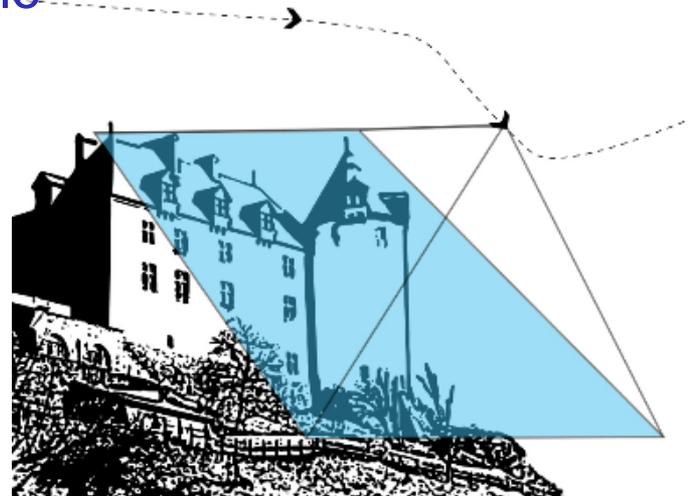
Sensori rettangolari:

- scelta direzione di utilizzo → cambiano ricoprimenti, ingombro a terra, strisciate...



Possibili prese inclinate:

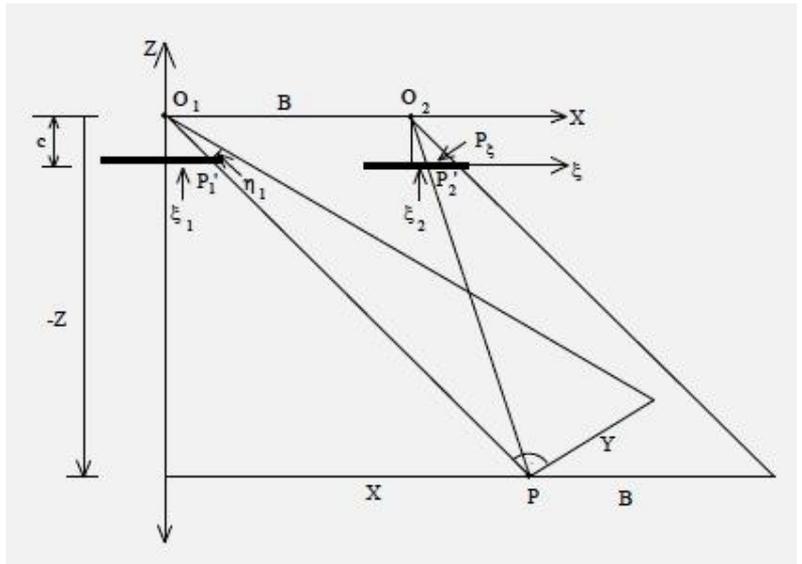
- Multirotore: sensori montati su cestelli (gimbal) orientabili
- Ala fissa: si inclina (un poco) il veicolo



VOLO CON UAV - PRECISIONI ATTESE

Regole classiche della fotogrammetria:

$$\sigma_Z = \frac{Z^2}{c \cdot B} \sigma_{P_\xi}$$



Es : volo a 30m
camera mirrorless
sensore 13mm x 17.3mm
(3000x4000 pixel)
Focale 20mm

d PIXEL	0.0043	mm/pixel	
σ_p	0.006	mm	
Z/c	1500		
GSD	6.5	mm	(0.007 m)
	ricoprimento 60%		ricoprimento 80%
Base B= (1-L)Z/c	7.80	m	3.90 m
σ_z	0.035	m	0.071 m

Ricoprimenti elevati riducono B e quindi σ_z



PROGETTO RILIEVO CON UAV

Entrano in gioco anche altri fattori :

Modalità acquisizione (volo continuo, rallentamento o stazionamento sui punti di presa)

Frequenza di acquisizione (frame, frequenze, scansioni, video...)

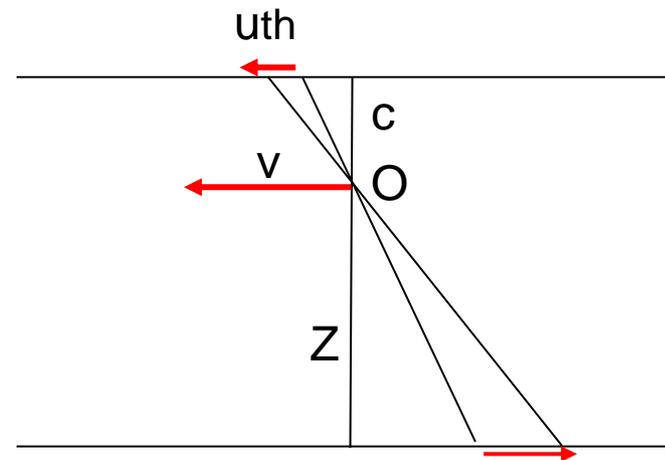
Autonomia di volo / batterie

Payload (→ più sensori insieme / più voli e coregistrazione dati)

Trascinamento (Image Motion)

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

t = tempo di esposizione





PROGETTO DI VOLO – FOGLIO DI CALCOLO

Progetto piano di volo con Nikon 1 j1

focal length	10,4862	(mm)					
	W	H					
format size	13,3286	8,9256	(mm)				
image size	3872	2592	(pixel)				
d PIXEL	0,003	0,003		b	3,7	base di presa	
dimensioni area	N 50	E 45		velocità max DRONE	10	[0.1metri/secondo]	
Quota relativa di volo	22	(metri)		max distanza percorribil	600	(metri)	su ipotesi di durata di volo di 10'
Rt	0,5	ric tr min		lunghezza progetto	262	(metri)	per tornare alla base
RI	0,8	ric long		step	0,44	1	missioni necessarie
intervallo scatto	3,5	(secondi)					
n	2098	scala imm		d PIXEL	0,003	mm/pixel	
GSD (dim pixel a terra)	0,007	(metri)		sigmapsi	0,005	mm	
abbracciamento suolo	28,0	18,7	(metri)	Z/c	2098		
i	14,0	interasse strisciata min					
n strisciate	4						
i reale	10,3	interasse strisciata calibrato sul E					
Rt prog	0,6	ricoprimento trasversale di progetto					
b	3,7	base di presa					

	ricoprimento 60%	ricoprimento 80%
base (1-L)z/c	11,185 m	5,593 m
sigmaZ	0,020 m	0,040 m
base (1-L)z/c	7,490 m	3,745 m
sigmaZ	0,030 m	0,060 m

IMPOSTAZIONI PER MKTool	
Distance in X	50
#WPs in X	2
Distance in Y	10,3
#WPs in Y	4



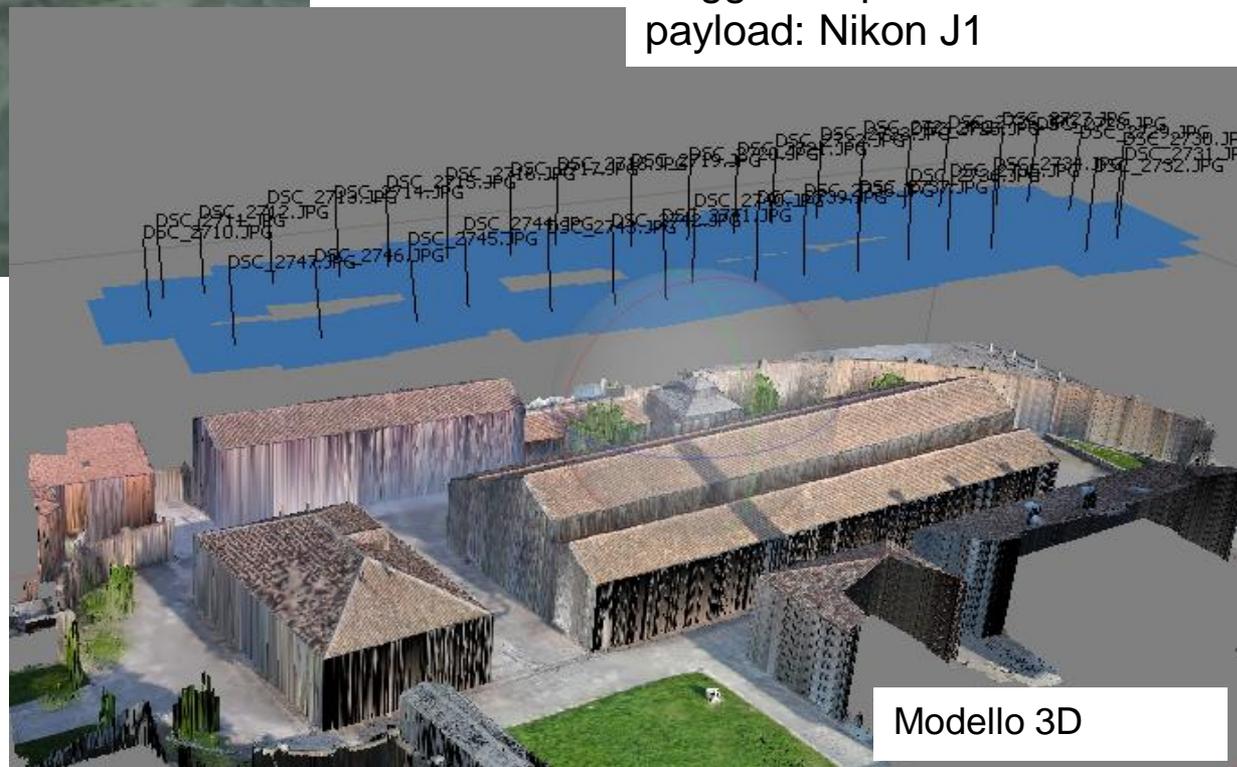
ESEMPI DI VOLI



Modelli 3d di edifici



Hexakopter Mikrokopter con sistema di navigazione NAV *Flight Control* , GPS (MKGPS) LEA 4H Ublox.
Raggio di operatività : 200m
payload: Nikon J1



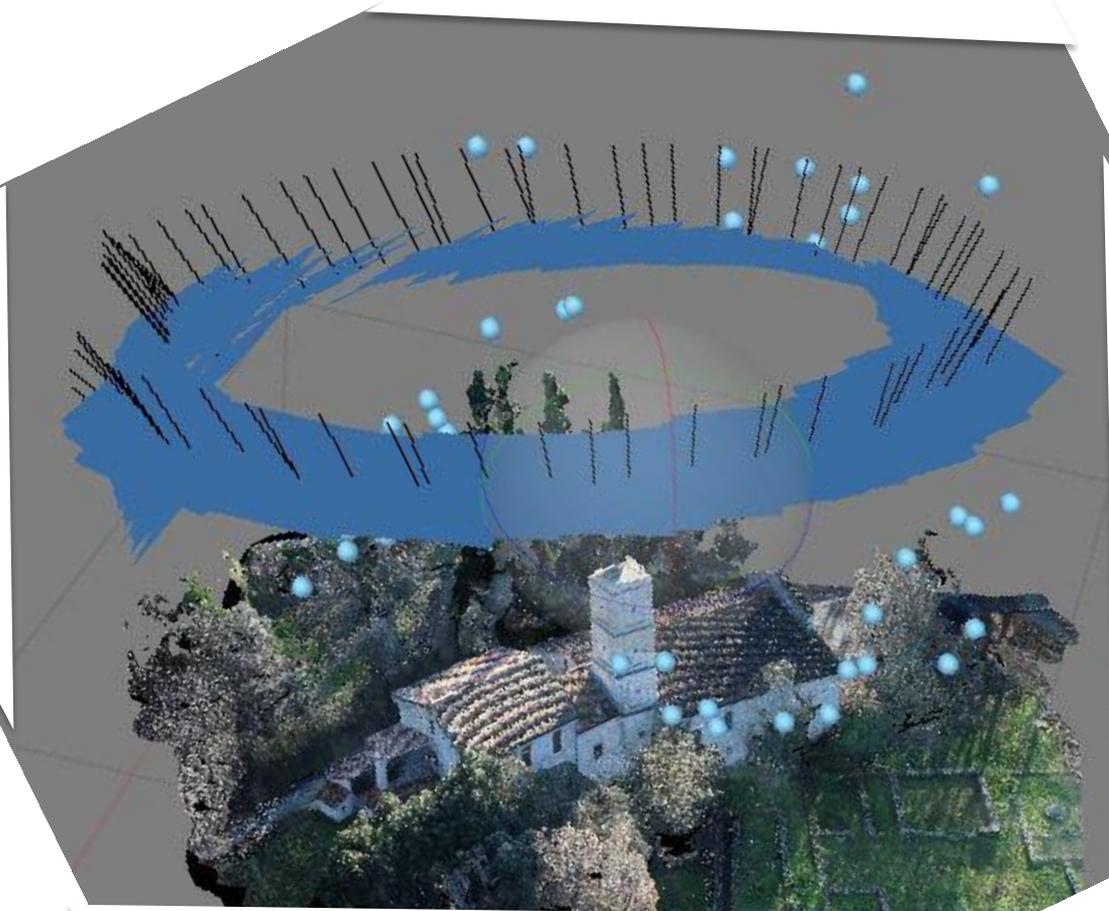
Modello 3D



ESEMPI DI VOLI



Ricostruzione campanile



Camera inclinata a 45°



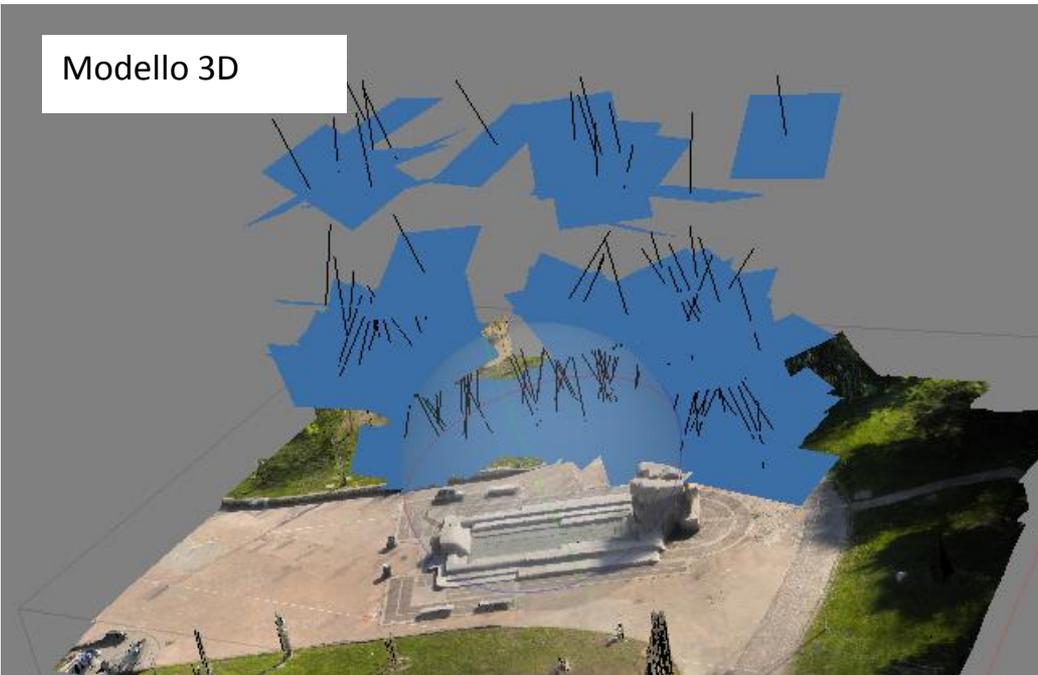
ESEMPI DI VOLI



Rilievo da pallone di fontana monumentale in piazza Leonardo da Vinci



Balloon starter kit gonfiato
ad elio.
Raggio di operatività
(lunghezza cavo ancoraggio) :
500m
payload: Nikon Coolpix



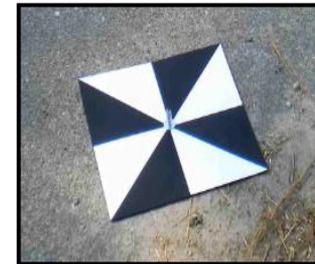
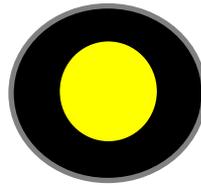
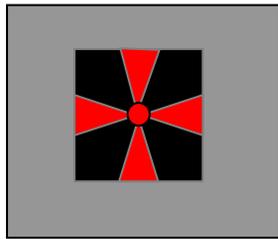
Rilievo con finalità didattiche
realizzato durante il corso di
fotogrammetria con
attrezzatura «low-cost».



PROGETTAZIONE DEI SEGNALI

Se scarseggiano punti naturali ben definiti, occorre distribuire prima del volo segnali di dimensione, colore, e materiale opportuno.

La dimensione dei segnali dipende dalla scala dell'immagine, quindi dal GSD



$$d[cm] = \frac{m_b}{300 \div 600}$$

ESEMPI (da fotogrammetria aerea)

Scala immagine 1:30.000 → dimensione 50÷100cm,

Scala immagine 1:4000 → dimensione 7÷14 cm.

Segnali per volo con UAV: dell'ordine di 5-20 GSD (pixel/cm)

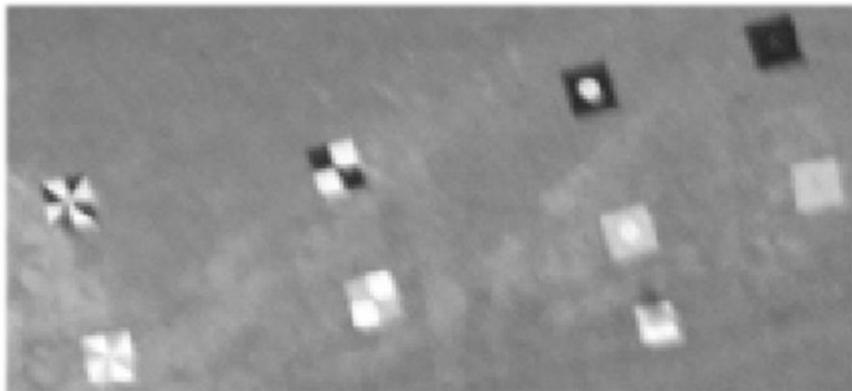
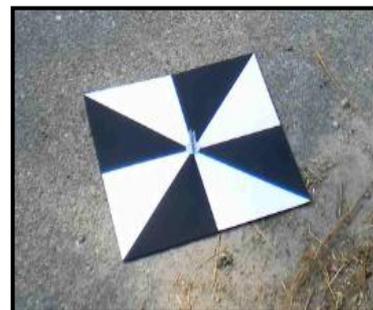




TEST su SEGNALI



RGB



CIR





I SENSORI

SPORTSCAM



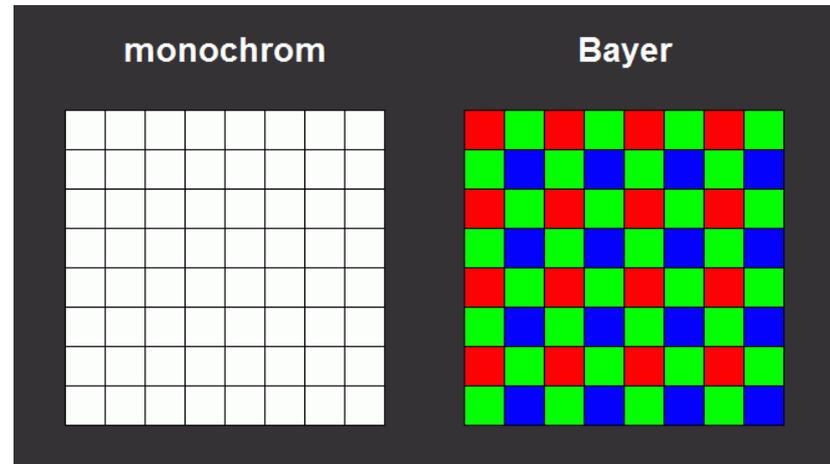
COMPATTE



MIRRORLESS



REFLEX



Operare con ottica bloccata → no zoom, no autofocus, focale fissa

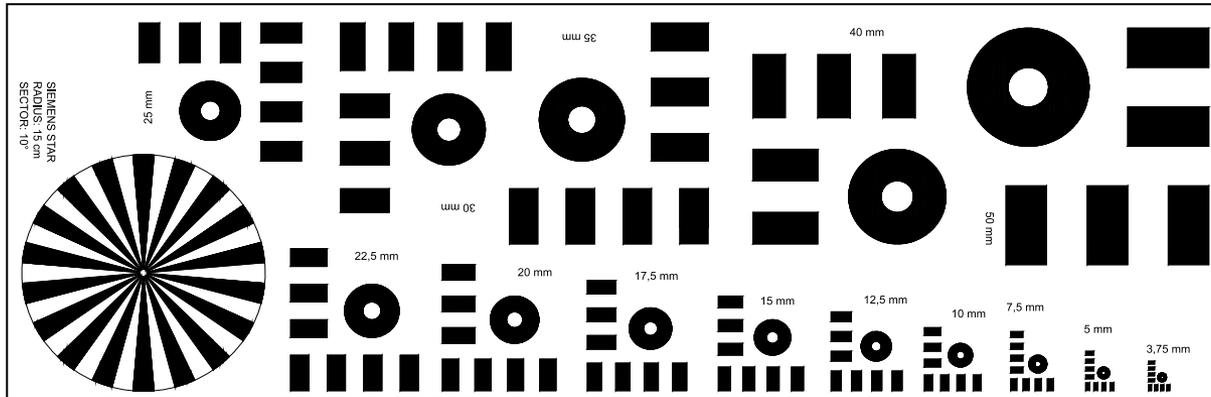


I SENSORI

Tipo di camera	Banda spettrale	Applicazioni	Immagini
RGB	Blu, Verde, Rosso 400 nm - 700 nm	In tutte le applicazioni in cui servono immagini a colori "reali" (p.e. creazione modelli 3D, ortofoto)	
NIR	Infrarosso vicino 700 nm - 1500 nm	Forestali e agricole Sorveglianza Ispezione	
Multi o Iperspettrale	Diverse bande	Telerilevamento Agricoltura di precisione	
Termica	Infrarosso 700 nm - 10 ⁶ nm	Sorveglianza Monitoraggio del traffico Ispezione edifici Agricoltura di precisione	



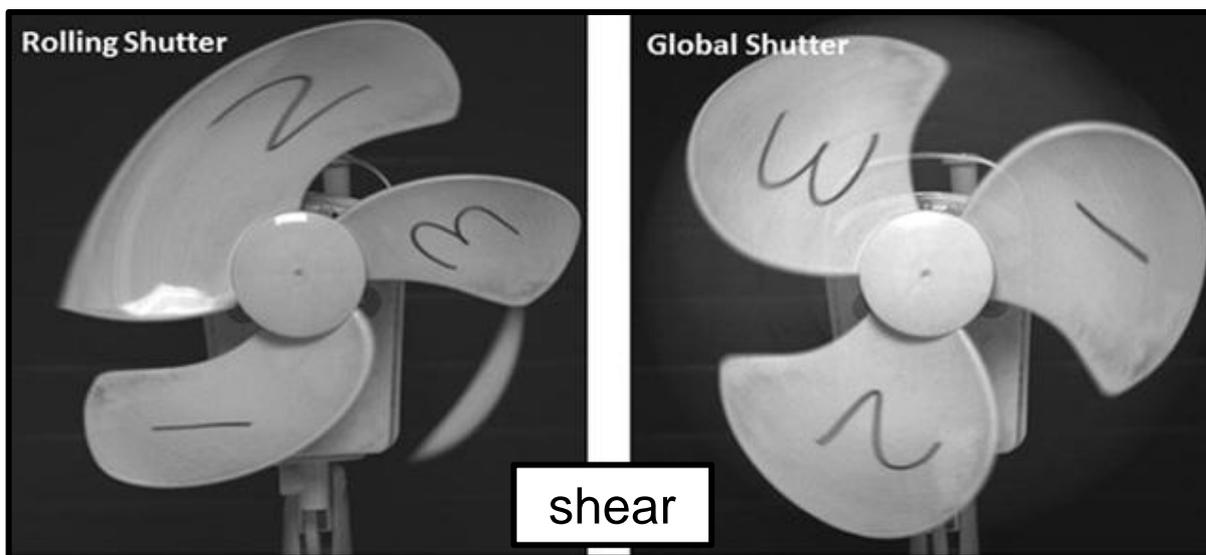
STUDIO RISOLUZIONI EFFETTIVE



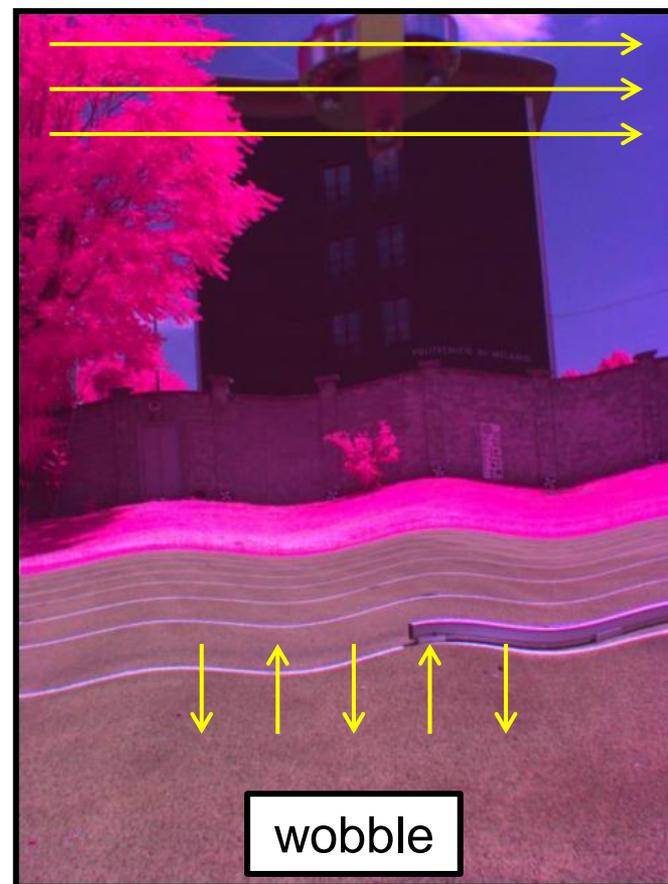


OTTURATORI : ROLLING SHUTTER

ROLLING SHUTTER: modo con cui alcuni sensori (CMOS) acquisiscono le immagini. La singola foto non è registrata esattamente nello stesso istante ma viene scansionata linea per linea, verticalmente o orizzontalmente



- immagini affette da disturbi se soggetto/camera si muovono velocemente
- camera montata su UAV, posto su carrello spinto a velocità costante: vibrazioni perpendicolari a direzione di acquisizione delle righe





GRAZIE PER L'ATTENZIONE