



Vittorio Casella

Laboratorio di Geomatica - DIET

Università di Pavia

email: vittorio.casella@unipv.it



Le camere per la fotogrammetria aerea

Dispense

License/Licenza



This document is © 2013 **Vittorio Casella, University of Pavia, vittorio.casella@unipt.it**, available under the **creative commons 3.0 license**.

You are free:

to Share — to copy, distribute and transmit the work

to Remix — to adapt the work

to make commercial use of the work.

Under the following conditions:

Attribution — You must attribute the work in the manner specified by the author (see the red text above) or licensor (but not in any way that suggests that they endorse you or your use of the work).

Share Alike — If you alter, transform, or build upon this work, you may distribute the resulting work only under the same or similar license to this one.

See <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/> for details.



Questo documento è ©2013 **Vittorio Casella, Università di Pavia, vittorio.casella@unipv.it**, disponibile sotto la **licenza creative commons 3.0**.

Tu sei libero:

di riprodurre, distribuire, comunicare al pubblico, esporre in pubblico, rappresentare, eseguire e recitare quest'opera

di modificare quest'opera

di usare quest'opera per fini commerciali

Alle seguenti condizioni:

Attribuzione — Devi attribuire la paternità dell'opera nei modi indicati dall'autore (vedo testo in rosso sopra) o da chi ti ha dato l'opera in licenza e in modo tale da non suggerire che essi avallino te o il modo in cui tu usi l'opera.

Condividi allo stesso modo — Se alteri o trasformi quest'opera, o se la usi per crearne un'altra, puoi distribuire l'opera risultante solo con una licenza identica o equivalente a questa.

Per dettagli: <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.it>

I produttori di camere aeree analogiche

Ne esistevano due principali

Zeiss – Oberkochen, Germany

Leica, Heerbrugg, Switzerland

Successivamente diventate Z/I (Zeiss/Intergraph), inizialmente di proprietà Zeiss e Intergraph e successivamente solo di Intergraph.

Leica acquisita dal gruppo svedese Hexagon.

Camere analogiche per la fotogrammetria aerea



[Camera aerea Zeiss.JPG; Leica_RCXX_Applanix.tif]

Camera Zeiss RMK Top 15

Camera Zeiss(*) RMK Top 15

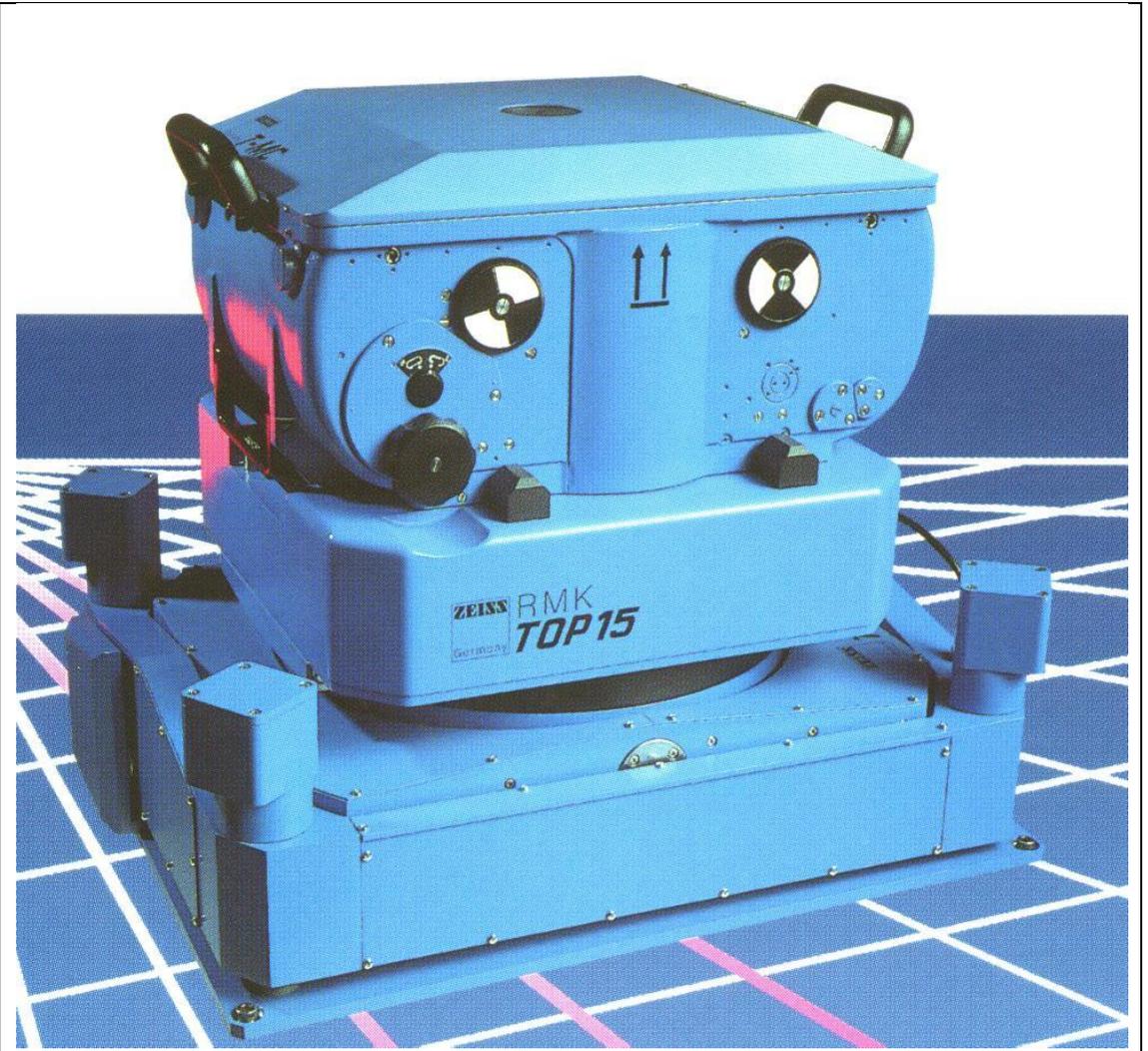
Lunghezza focale 150 mm
(300mm)

Formato pellicola: 23x23 cm

Peso: 150-200 Kg

Costo: dell'ordine di 0.8M€ (con
tutti gli accessori)

* Ora Intergraph Z/I



Camera Leica RC30

[immagine_leica_rc30.png]



Il futuro delle analogiche: dietro le spalle

- Z/I: hanno parti per due camere analogiche e poi sospendono la produzione (annunciato a Congresso ASPRS 2006)
- Leica annuncia sul sito la commercializzazione delle ultime RC30



Last buy of RC30 for deliveries in 2007

Leica Geosystems announces the 2007 sell-off of the last batch of the world famous RC30 Aerial Camera at a very attractive price.

Il futuro delle analogiche: dietro le spalle - 2

Non vengono più prodotte camera analogiche.

Le circa 800 esistenti al mondo opereranno a lungo? Vi sono dubbi sul mantenimento della produzione della pellicola.

Le camere aeree digitali

Si tratta di un mondo in ribollente evoluzione.

Starlabo Starimager (TLS)

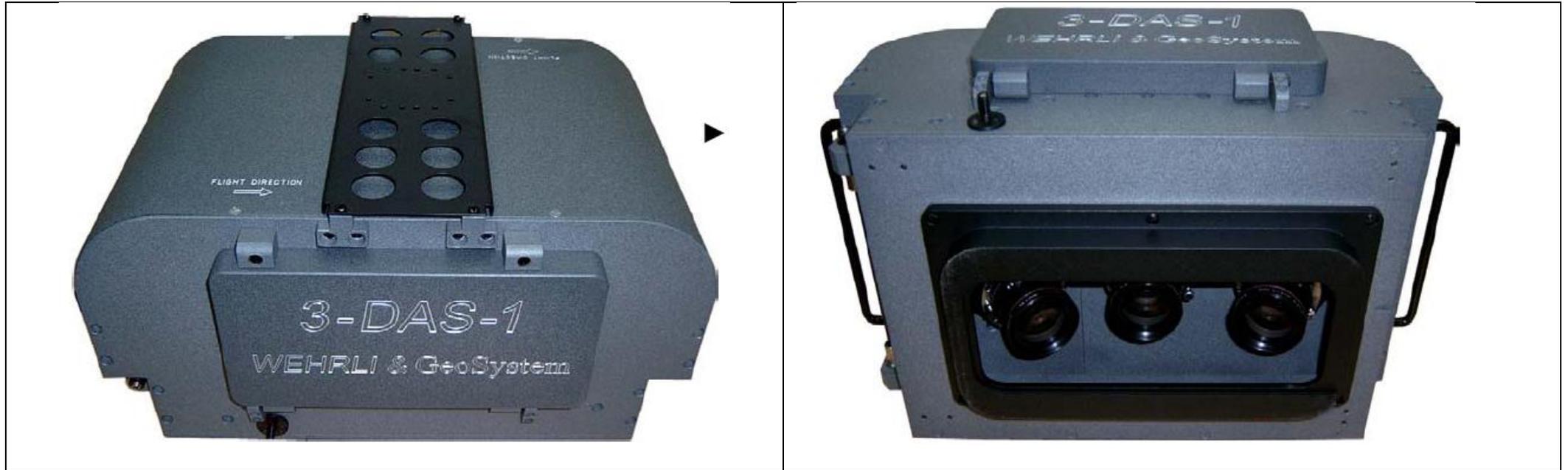


Acquisisce 10 linee: RGB backward, RGB nadir, RGB forward, NIR (no co-registrazione)

14400 pixel/linea; 5 micron; 9 bit

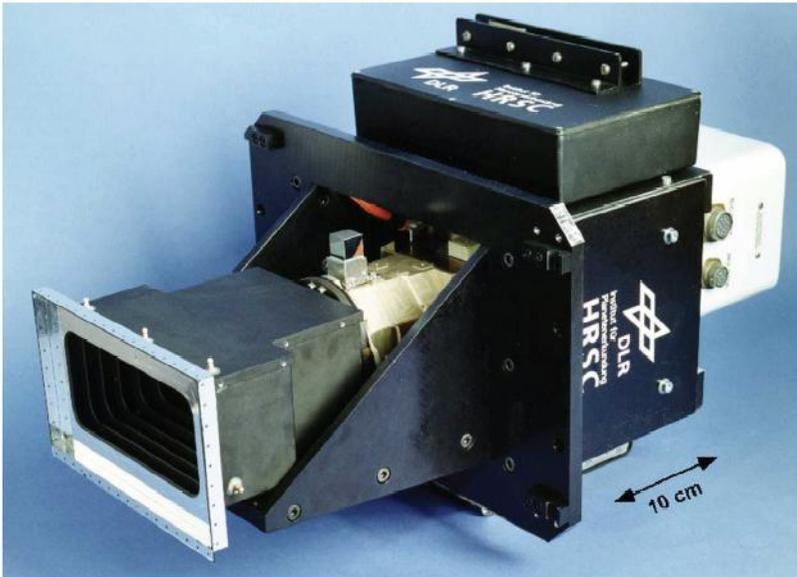
f=60 mm

Wehrli 3-DAS-1



Acquisisce 9 linee: RGB backward, RGB nadir, RGB forward (no co-registrazione)
8000 pixel/linea (altre configurazioni possibili); 9 micron; 14 bit
f=100 mm (60 mm opzionale)

DLR HRSC-X



HRSC-A



HRSC-AX

HRSC-AX/W

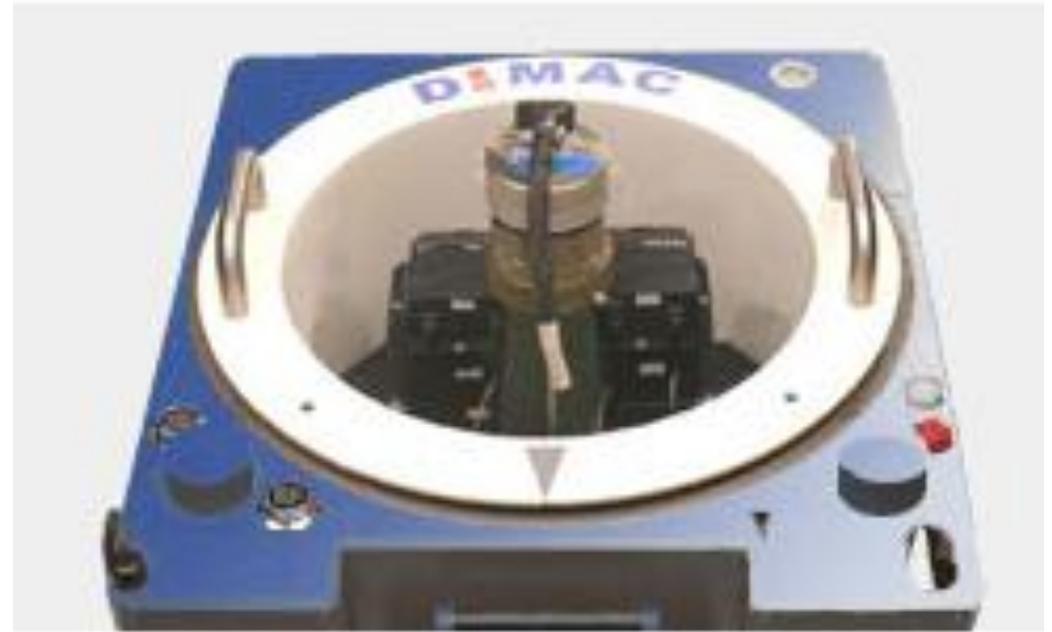


Zeiss T-AS Platform

HRSC-AX/W

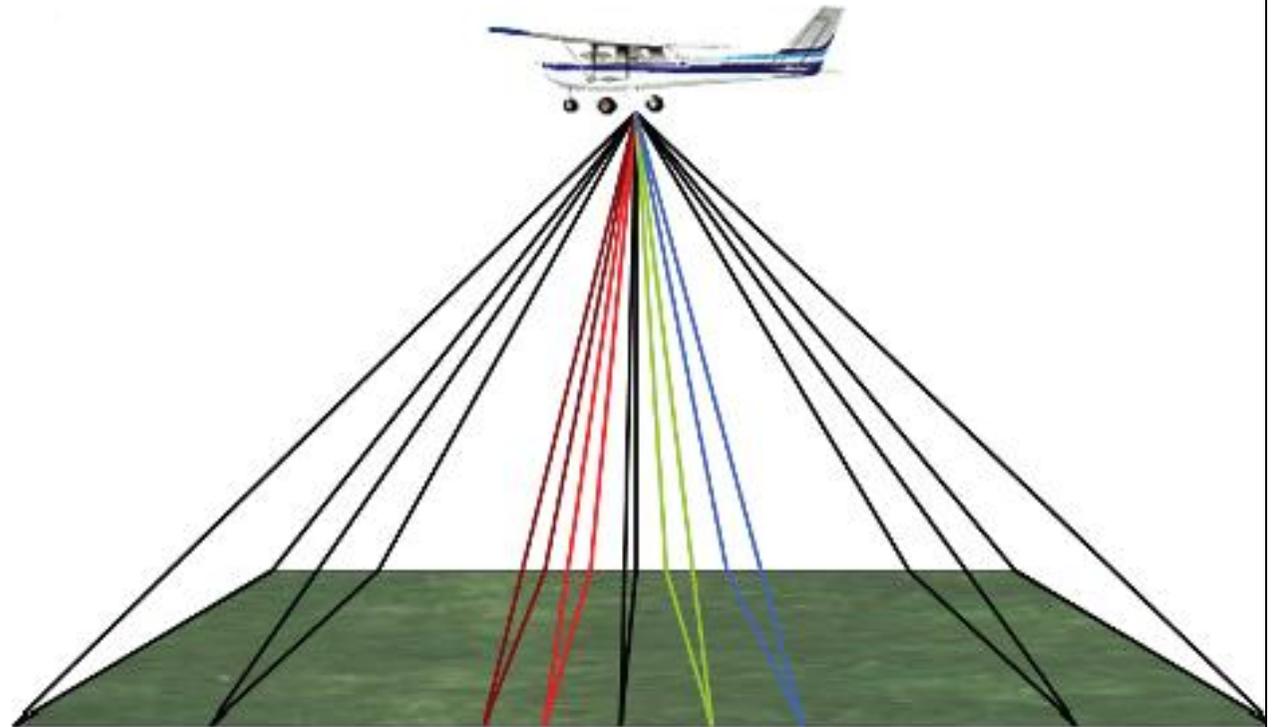
Le madri e le sorelle delle camere a linee

DIMAC



Da 1 a 4 camere frame. Acquisisce a colori con Bayer pattern
7216 x 5412 pixel per camera, 6.8 micron, 8/16 bit (?)
f: 55, 80, 100, 120 mm

JAS (Jena Airborne Scanner)



Acquisisce 9 linee: RGB backward, RGB nadir, RGB forward, NIR (no co-registrazione)

12000 pixel/linea; 6.5 micron; 12 bit; f: 150 mm

Applanix DSS 322



Seconda generazione! Medio formato.

Frame camera con un unico cono (obiettivo e sensore), acquisisce a colori con Bayer pattern

Applanix DSS 322 - 2



Ha unico CCD di 5436 (across track) x 4092 (along track)

Dimensione pixel: 9 micron

Lunghezza focale: 60 mm (40 mm opzionale)

In alternativa, acquisisce immagini CIR (si inserisce un filtro, operazione semplice)

L'immagine PAN è ottenuta per sintesi delle tre componenti RGB

No FMC

L'immagine PAN è ottenuta per sintesi delle tre componenti RGB

Le componenti RGB non hanno la piena risoluzione di 22 Mpixel

L'acquisizione CIR è alternativa alla RGB

Applanix DSS 439



Frame camera con un unico cono (obiettivo e sensore), acquisisce a colori con Bayer pattern

Applanix DSS 439 - 2



Ha unico CCD di 7216 (across track) x 5412 (along track), 39MP

Dimensione pixel: 6,8 micron

Lunghezza focale: 60 mm (40 mm opzionale)

In alternativa, acquisisce immagini CIR (si inserisce un filtro, operazione semplice)

L'immagine PAN è ottenuta per sintesi delle tre componenti RGB

No FMC

Vexcel UltracamL

Scoperta sul sito in data 15.12.2008



[immagine_ultracam_1.png]

Vexcel UltracamL - 2

Camera a medio formato

Quattro camere elementari

- Risoluzione della PAN: 9735 (across) x 6588 (along) pixel
- Risoluzione di COLOR e NIR: 5320 (across) x 3600 (along) pixel
- Pixel: 7.2 micron
- 12/14 bit
- Rapporto 1.83 : 1 nella risoluzione fra PAN e COLOR
- FMC basata su TDI

Intergraph RMK-D



Camera digitale medio formato

Presentata a Beijing 2008

Acquisizione contemporanea (da punti diversi) di 4 canali: R, G, B e NIR, tutti alla stessa risoluzione

CCD costruiti appositamente da Dalsa con 7.2 micron, 6098x6846: mi pare meno rettangolare di altri. 14 bit.

Lunghezza focale 45 mm, 8 cm GSD a 500 m. Fast readout, 1 sec rate.

B/H=0.40.

Intergraph RMK-D – 2

Dalla presentazione di Klaus Neumann

Siamo al break even: più camere digitali operanti che analogiche. Kodak non è presente al Convegno.

Non esistono a suo giudizio camera medium-format che siano metriche.

Nella camere con Bayer, la risoluzione effettiva a terra è 2.25 volte più bassa di quella nominale.

Pan-sharpening non è ideale per remote-sensing perché la gente vuole le misure vere.

Leica RCD105

39 MPixel

Vexcel Ultracam-X



Seconda generazione! Frame camera con 8 coni e 13 array di CCD.

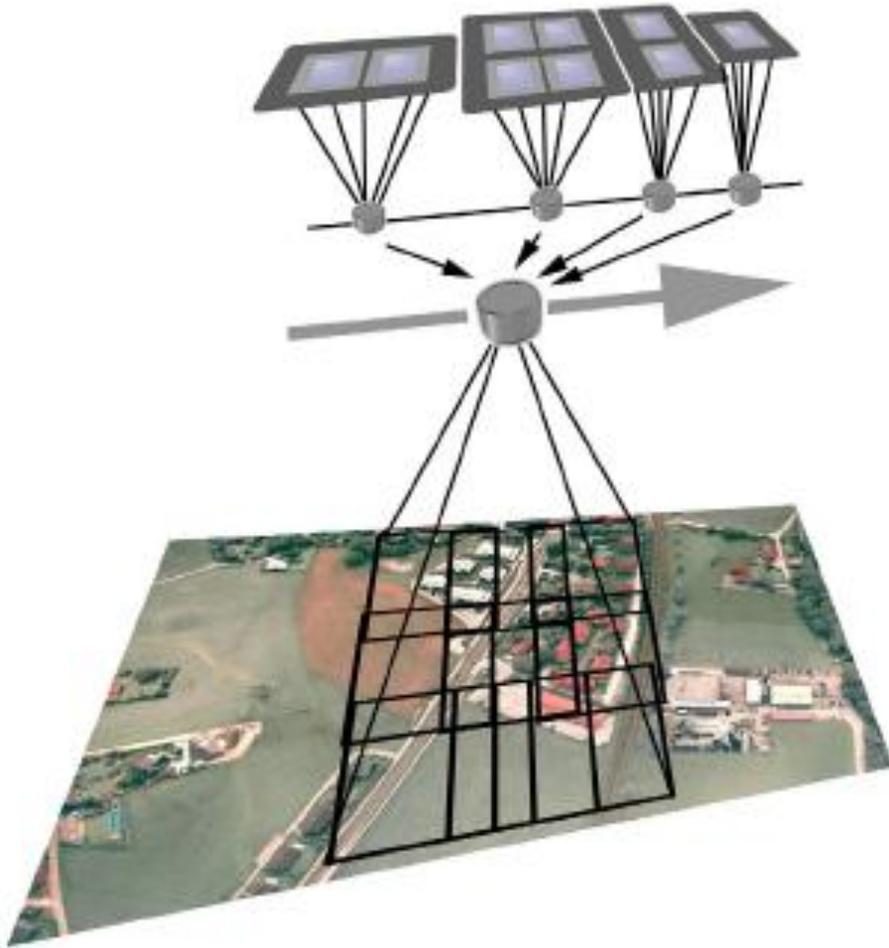
Vexcel Ultracam-X – 2



- Quattro camere PAN parallele, con 9 array CCD
- Quattro camere parallele che acquisiscono R,G,B e NIR a bassa risoluzione
- Le immagini a colori e CIR ad alta risoluzione sono ottenute con pan-sharpening
- FMC basata su TDI

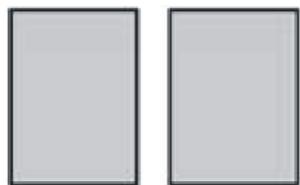
Acquisita da Microsoft nel 2006

Vexcel Ultracam-X – 3

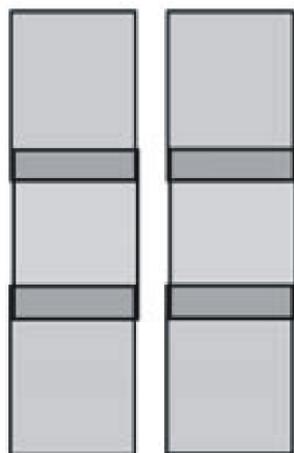


Le quattro camere PAN sono parallele e sintopiche (*syntopic*, neologismo creato da Leberl): non acquisiscono allo stesso momento, ma dallo stesso punto (in istanti diversi)

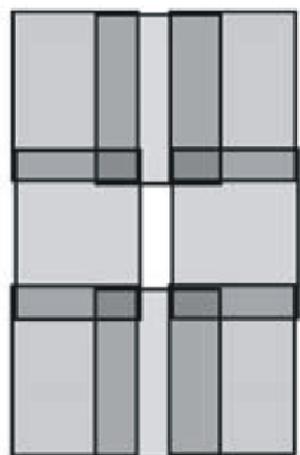
Acquisizione della PAN per frammenti



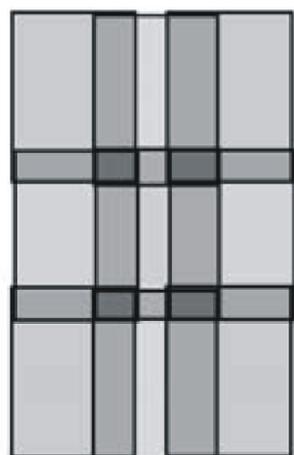
1



1+2



1+2+3



1+2+3+4

Scopo della sovrapposizione: stimare con il matching la posizione relativa delle camere componenti: evidentemente si muovono e non si può assumere che il loro orientamento resti esattamente quello determinato in laboratorio

Aspetti notevoli:

- i 4 coni acquisiscono dallo stesso punto
- le sotto-immagini acquisite dagli altri coni sono tutte mosaicate con riferimento alla master

Comparazione fra UltracamD e UltracamX

| Ultracam-D | UltraCam-X |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">● Risoluzione della PAN e delle PAN-SHARPENED: 11500 (across) x 7500 (along) pixel● Risoluzione delle COLOR: 4008 x 2672● Pixel: 9 micron● Focale per la PAN e pan-sharpened: 100 mm (virtuale)● 12/14 bit● Risoluzione del singolo array: 4008 x 2672● Rapporto 3:1 nella risoluzione fra PAN e COLOR | <ul style="list-style-type: none">● Risoluzione della PAN e delle PAN-SHARPENED: 14430 (across) x 9420 (along) pixel● Pixel: 7.2 micron● Focale per la PAN e pan-sharpened: 100 mm (virtuale)● 12/14 bit <p>Risoluzione del singolo array: 5010 x 3340 (ottenuta da me ipotizzando che la dimensione dell'array resti la stessa)</p> |

Comparazione fra UltracamD e UltracamX – 2

Altezza relativa di volo; ultima riga: UcD e UcX con lo stesso GSD

GSD in metri: risoluzione

Interasse:produttività

Rapporto base/altezza: geometria di presa

| Camera | DZ [m] | R1/R2 | p1/p2 | l1/l2 [mm] | d [mm] | f [mm] | L1/L2 [m] | D [m] | B/l [m] | B/H |
|------------|--------|-------|-------|------------|--------|--------|-----------|-------|---------|------|
| Analogica | 2000 | 60% | 16429 | 230 | 0,014 | 150 | 3067 | 0,19 | 1227 | 0,61 |
| | | 20% | 16429 | 230 | | | 3067 | | 2453 | |
| Ultracam-D | 2100 | 60% | 7500 | 68 | 0,009 | 100 | 1418 | 0,19 | 567 | 0,27 |
| | | 20% | 11500 | 104 | | | 2174 | | 1739 | |
| Ultracam-X | 2100 | 60% | 9420 | 68 | 0,0072 | 100 | 1424 | 0,15 | 570 | 0,27 |
| | | 20% | 14430 | 104 | | | 2182 | | 1745 | |
| Ultracam-X | 2600 | 60% | 9420 | 68 | 0,0072 | 100 | 1763 | 0,19 | 705 | 0,27 |
| | | 20% | 14430 | 104 | | | 2701 | | 2161 | |

Vexcel UltracamXp – terza generazione

Presentata a Beijing 2008



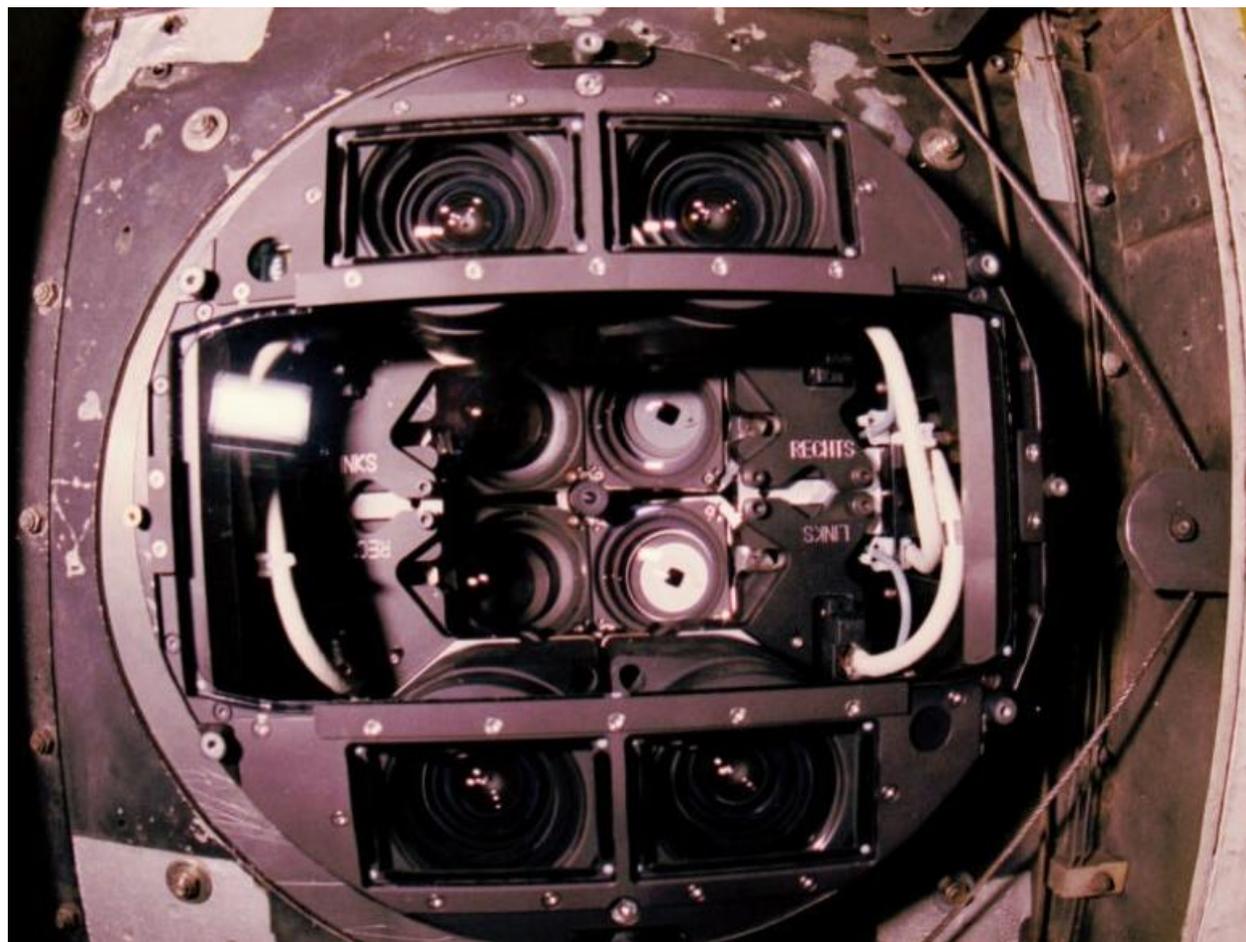
[immagine_ultracam_xp.png]

Comparazione fra UltracamX e UltracamXp

| UltraCam-X | Ultracam-Xp |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">● Risoluzione della PAN e delle PAN-SHARPENED: 14430 (across) x 9420 (along) pixel● Pixel: 7.2 micron● Focale per la PAN e pan-sharpened: 100 mm (virtuale)● 12/14 bit <p>Risoluzione del singolo array: 5010 x 3340 (ottenuta da me ipotizzando che la dimensione dell'array resti la stessa)</p> | <ul style="list-style-type: none">● Risoluzione della PAN e delle PAN-SHARPENED: 17310 (across) x 11310 (along) pixel● Risoluzione delle COLOR: 5770 x 3770● Pixel: 6 micron● Focale per la PAN e pan-sharpened: 100 mm (virtuale)● 12/14 bit● Rapporto 3:1 nella risoluzione fra PAN e COLOR |

Z/I DMC





- Quattro camere PAN parallele, con altrettanti array CCD
- Quattro camere inclinate che acquisiscono R,G,B e NIR a bassa risoluzione
- Le immagini a colori e NIR ad alta risoluzione sono ottenute con pan-sharpening
- FMC basata su TDI

Z/I DMC - 3

Le quattro **camere PAN** acquisiscono contemporaneamente da 4 punti diversi

- Risoluzione del singolo CCD PAN: 7000 (across) x 4000 (along)
- Focale: 120 mm
- Pixel: 12 micron
- Radiometria: 12 bit

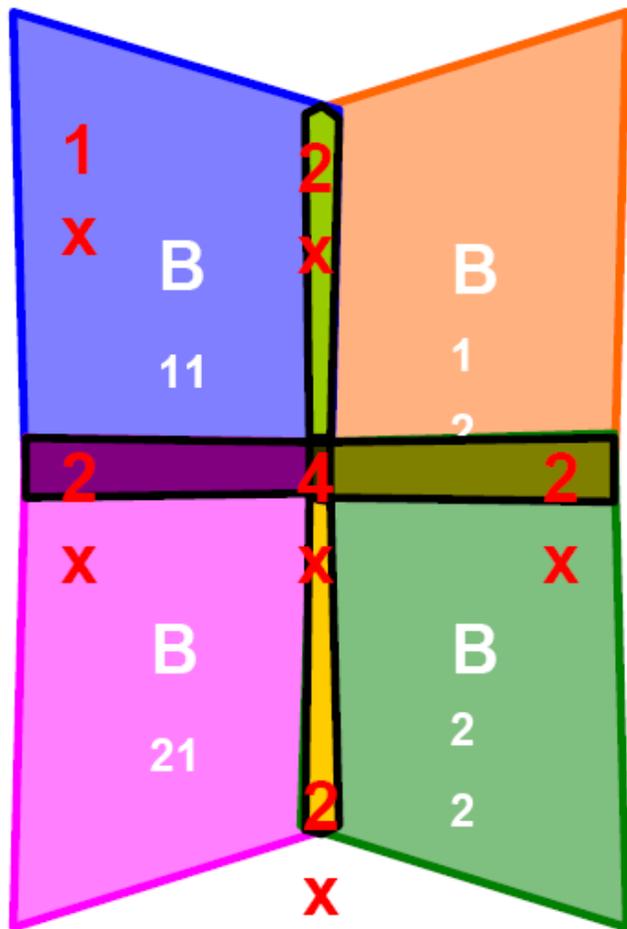
L'immagine **PAN complessiva** è: 13824 (across) x 7680 (along); è calcolata mosaicando e assegnando alla focale il valore 120 mm

Le **camere a colori**

- Risoluzione: 3000 (across) x 2000 (along)
- Focale: 28 mm
- Pixel: 12 micron
- Radiometria: 12 bit

Le immagini a **colori e CIR ad alta risoluzione** sono ottenute con pan-sharpening e hanno risoluzione 13824 (across) x 7680 (along)

Acquisizione della PAN per frammenti



Scopo della sovrapposizione: stimare con il matching la posizione relativa delle camere componenti: evidentemente si muovono e non si può assumere che il loro orientamento resti quello determinato in laboratorio

Aspetti notevoli:

- i 4 coni non acquisiscono dallo stesso punto
- non esiste un'immagine master

Rapporto di circa 4:1 nella risoluzione fra PAN e COLOR

Z/I DMC - 4

Altezza relativa di volo

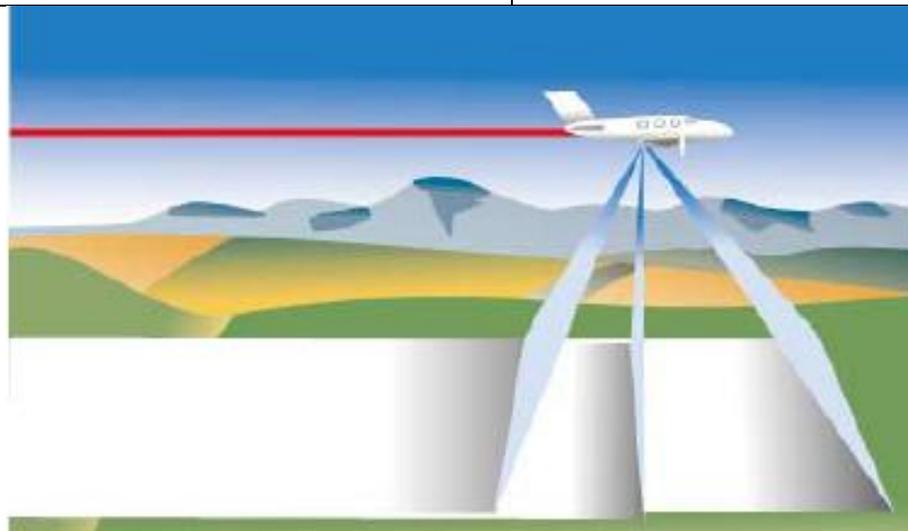
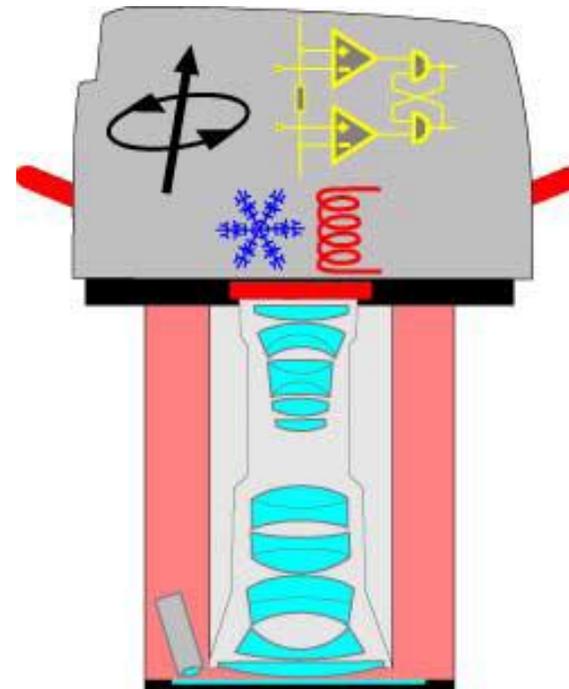
GSD in metri: risoluzione

Interasse:produttività (DMC leggermente meglio di UcX)

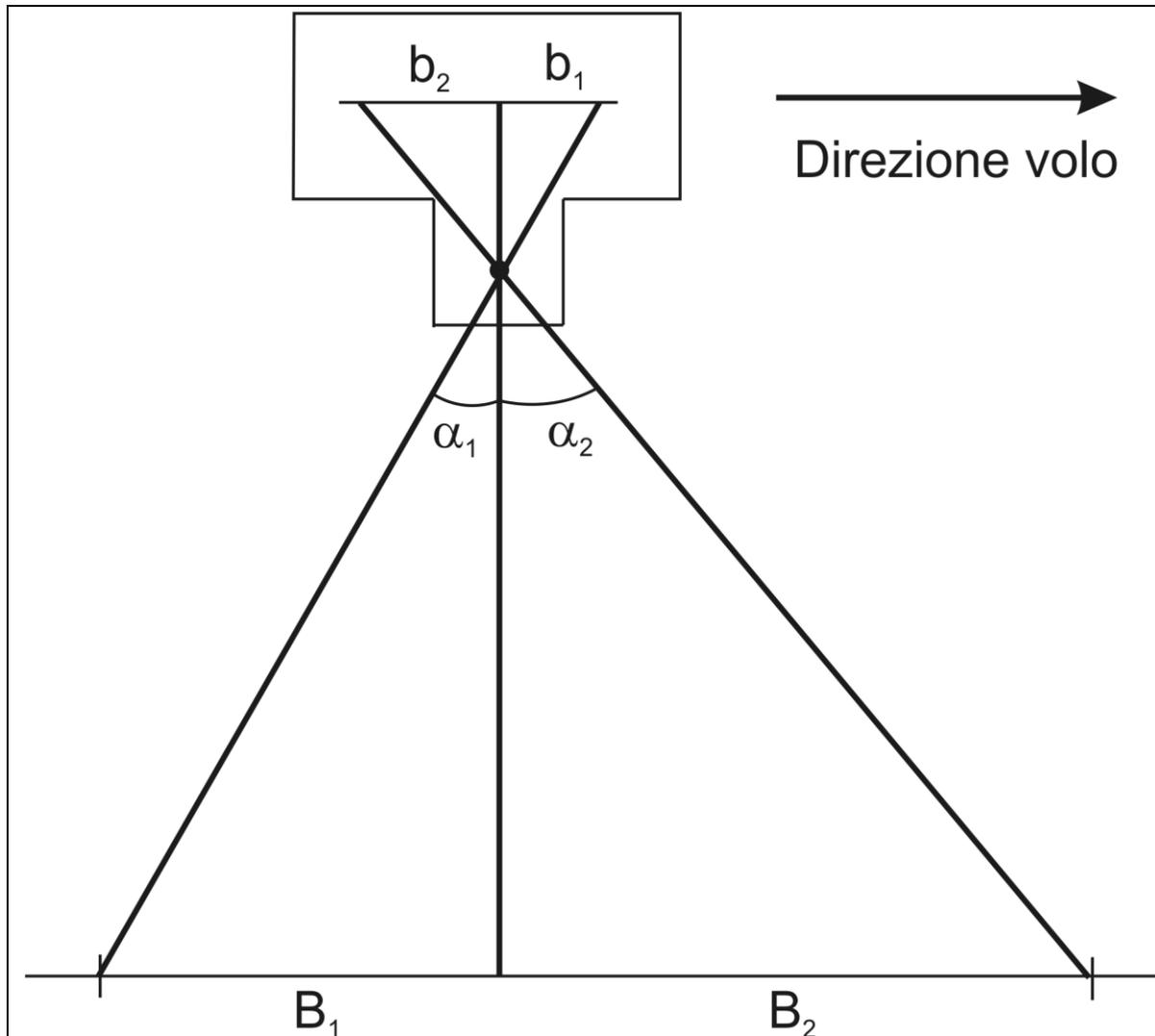
Rapporto base/altezza: geometria di presa (DMC leggermente meglio di UcX)

| Camera | DZ [m] | R1/R2 | p1/p2 | l1/l2 [mm] | d [mm] | f [mm] | L1/L2 [m] | D [m] | B/l [m] | B/H |
|------------|--------|-------|-------|------------|--------|--------|-----------|-------|---------|------|
| Analogica | 2000 | 60% | 16429 | 230 | 0,014 | 150 | 3067 | 0,19 | 1227 | 0,61 |
| | | 20% | 16429 | 230 | | | 3067 | | 2453 | |
| Ultracam-X | 2600 | 60% | 9420 | 68 | 0,0072 | 100 | 1763 | 0,19 | 705 | 0,27 |
| | | 20% | 14430 | 104 | | | 2701 | | 2161 | |
| DMS | 1900 | 60% | 7680 | 92 | 0,012 | 120 | 1459 | 0,19 | 584 | 0,31 |
| | | 20% | 13824 | 166 | | | 2627 | | 2101 | |

Leica ADS40

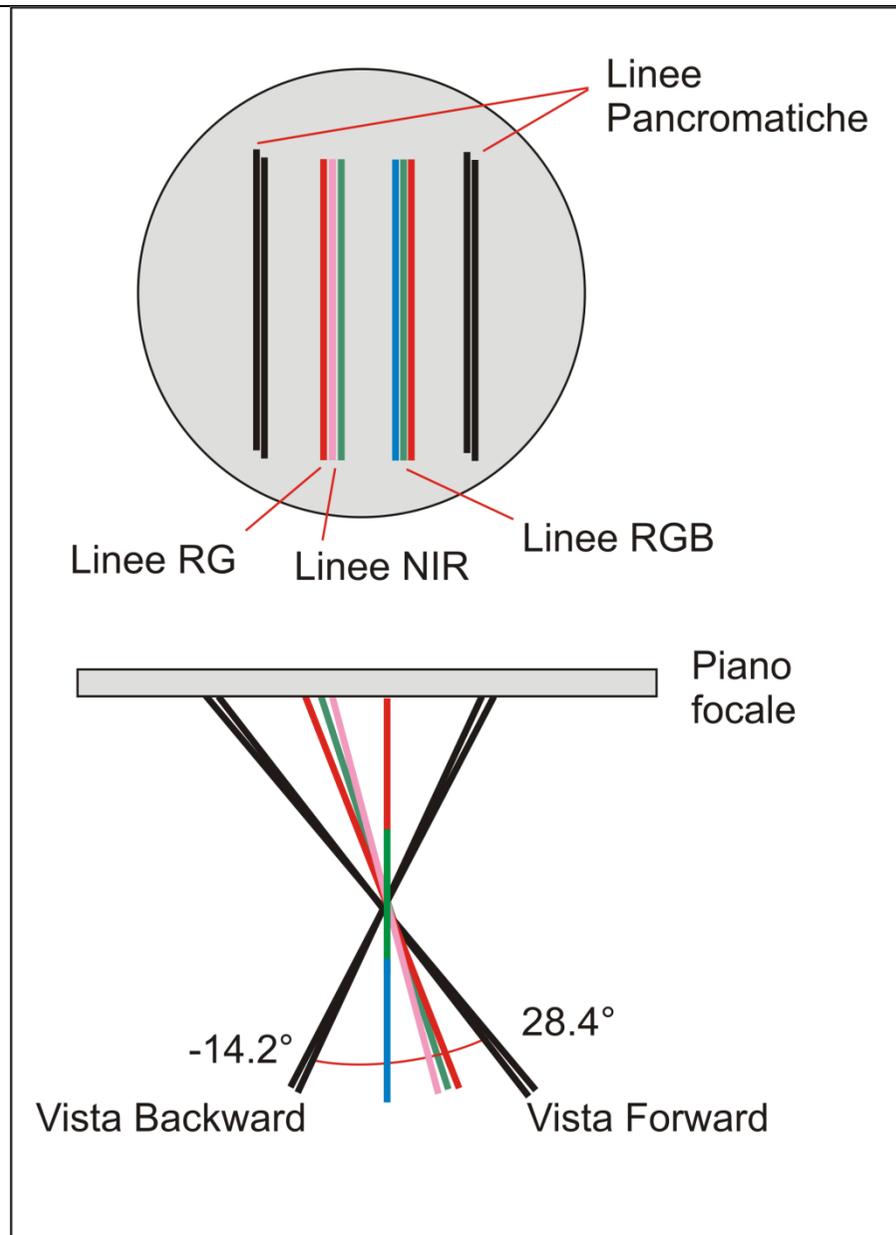


Leica ADS40: three-line camera



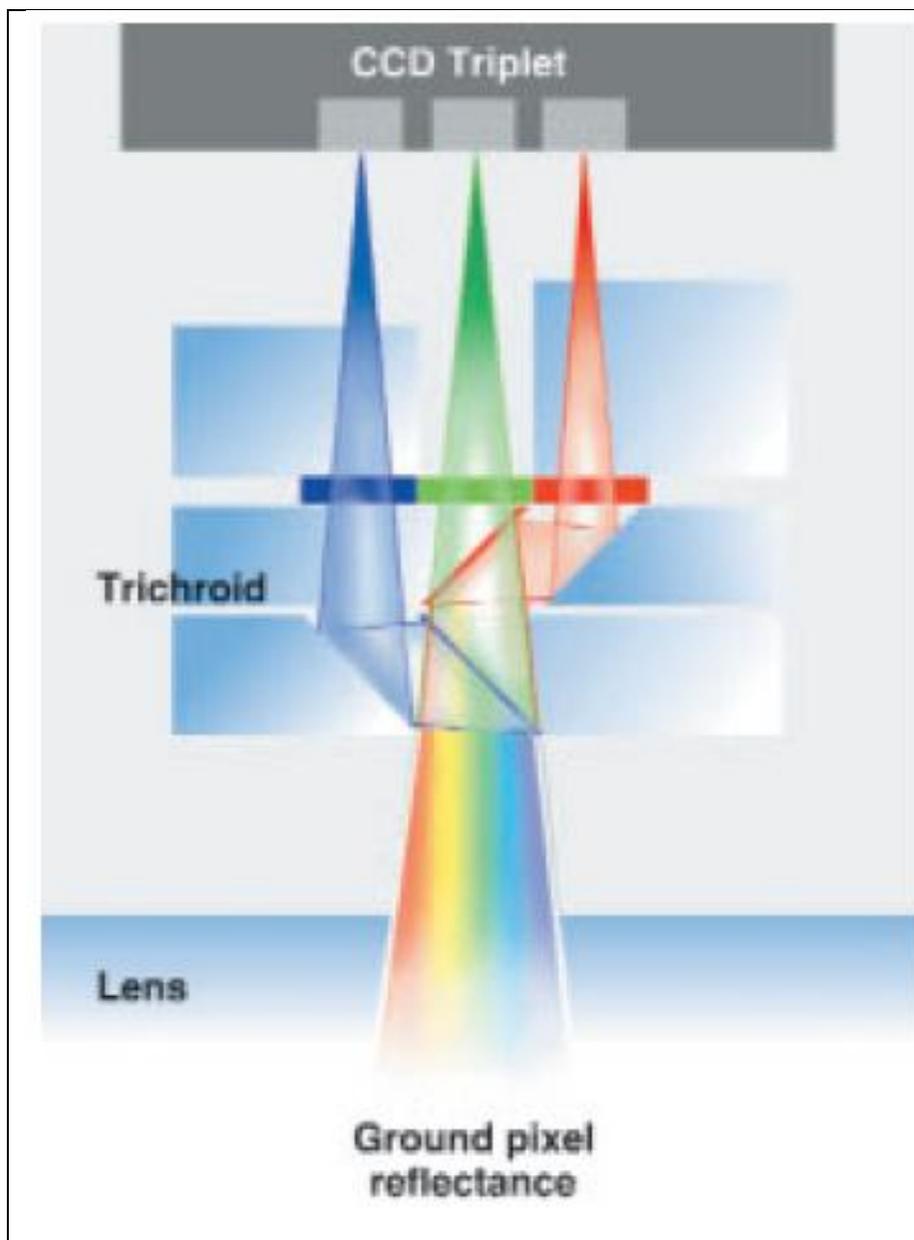
- Camera a linee: ha unico obiettivo; sul piano focale sono disposti molteplici sensori CCD a linea
- Acquisisce immagini lungo almeno tre direzioni (three-line camera)

Leica ADS40: il piano focale



- Sensori da 12000 pixel, 6.5 micron, lunghezza 78 mm
- Lunghezza focale: 62.77 mm
- Una coppia di sensori PAN staggered in posizione backward, inclinate di 14.2° ($b_1 = 15.88$ mm)
- Una coppia di sensori PAN staggered in posizione forward, inclinate di 28.4° ($b_2 = 33.94$ mm)
- Tre linee R, G e B esattamente nadirali; vedono il terreno sotto lo stesso angolo, grazie al tricroide
- Tre linee R, G e NIR in posizione forward

Leica ADS40: il dispositivo tricroide



Acquisisce un *singolo raggio di luce* e lo separa in tre componenti che, dopo essere state filtrate, vengono inviate ai tre sensori R, G, e B

- **Vantaggi:** perfetta co-registrazione
- **Svantaggi:** l'energia viene suddivisa in tre canali: possibile incremento del SNR; questo può costringere a volte a scegliere tempi di integrazione relativamente lunghi

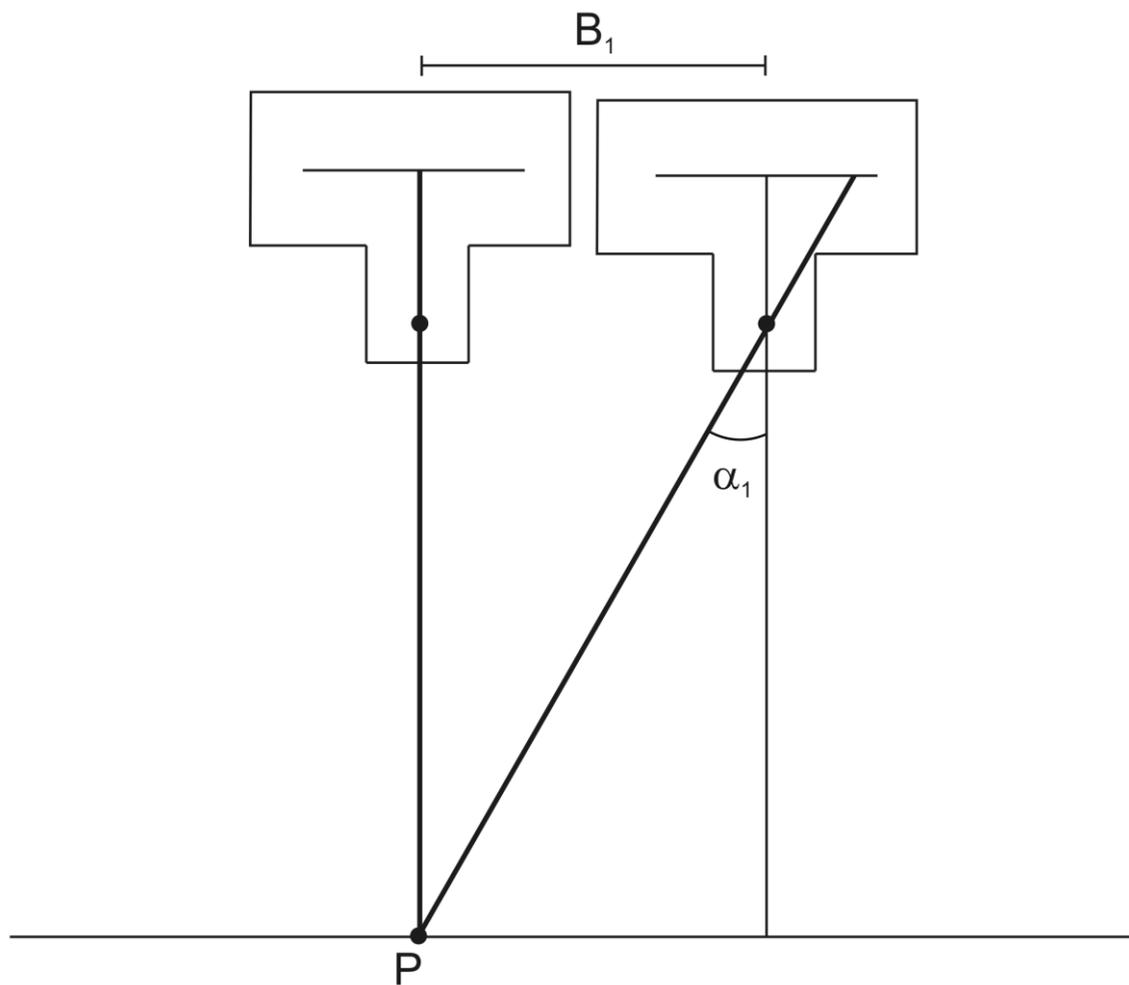
Leica ADS40

- Il GSD in direzione cross-track è dato dal sensore ed è regolare
- Il GSD in direzione along-track è dato dal movimento dell'aereo
- Non vi è garanzia che il pixel sia quadrato: il pixel quadrato è ottenuto per interpolazione

- Vengono sistematicamente acquisite 3 immagini del terreno
- Immagine RGB e immagini PAN hanno la stessa risoluzione: non è necessario il pan-sharpening
- Le componenti R, G e B sono co-registrate

Secondo Leica, non c'è bisogno di FMC perché i tempi di integrazione sono sufficientemente corti

ADS40: i modelli stereoscopici disponibili - 1

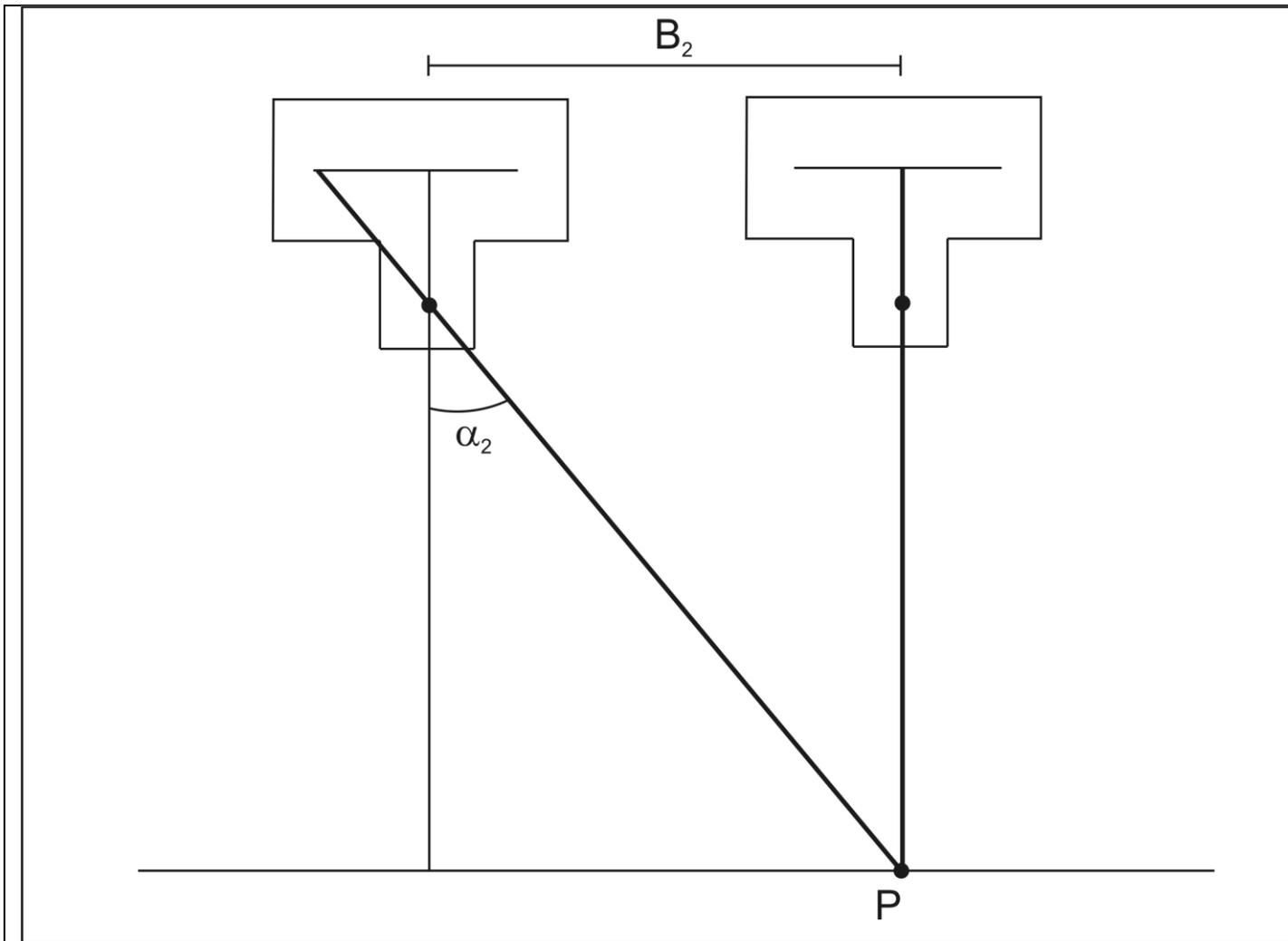


Nadir-Backward

$$B = 0.25 \Delta Z$$

Si vede a colori, in sostanza

ADS40: i modelli stereoscopici disponibili - 2

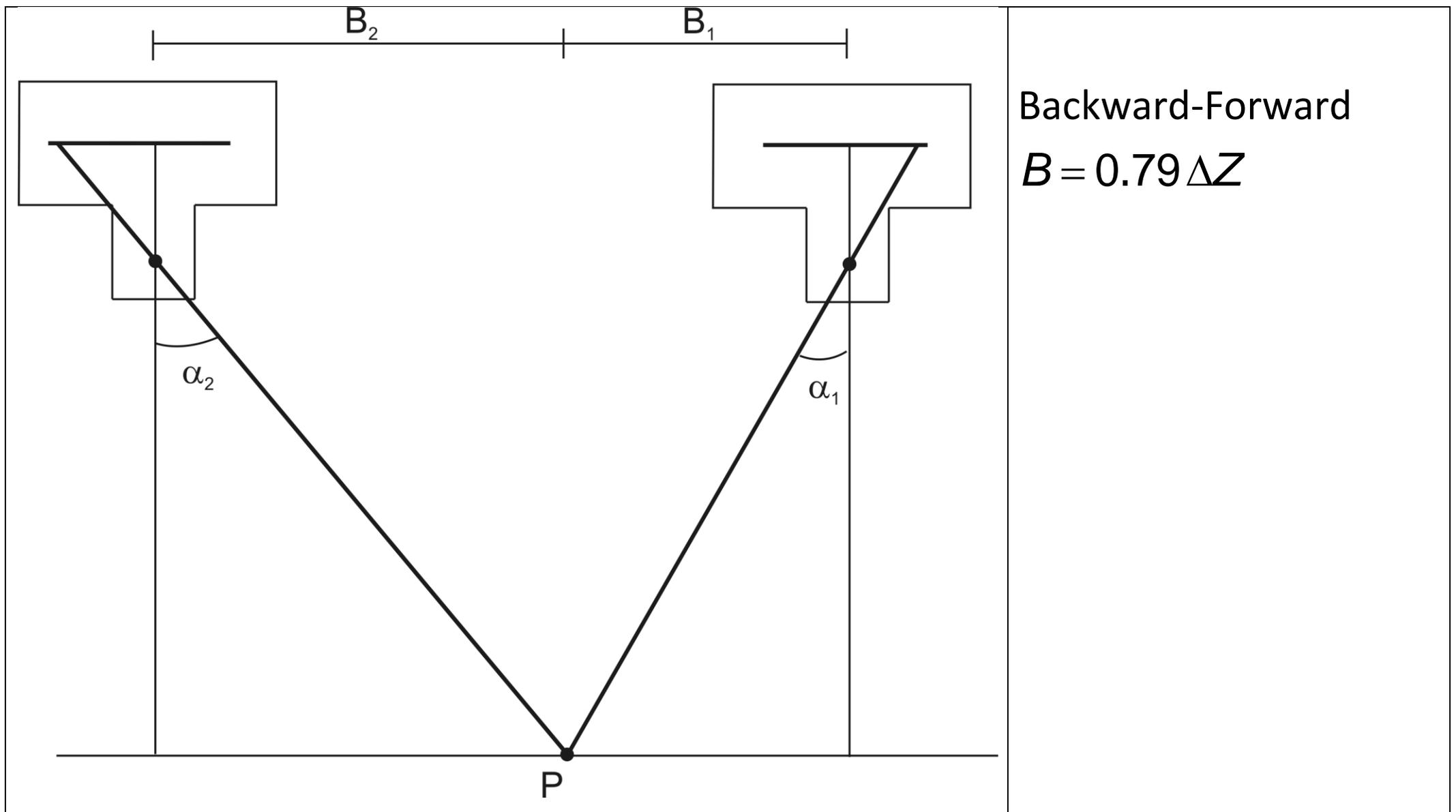


Nadir-Forward

$$B = 0.54 \Delta Z$$

Si vede a colori

ADS40: i modelli stereoscopici disponibili - 3

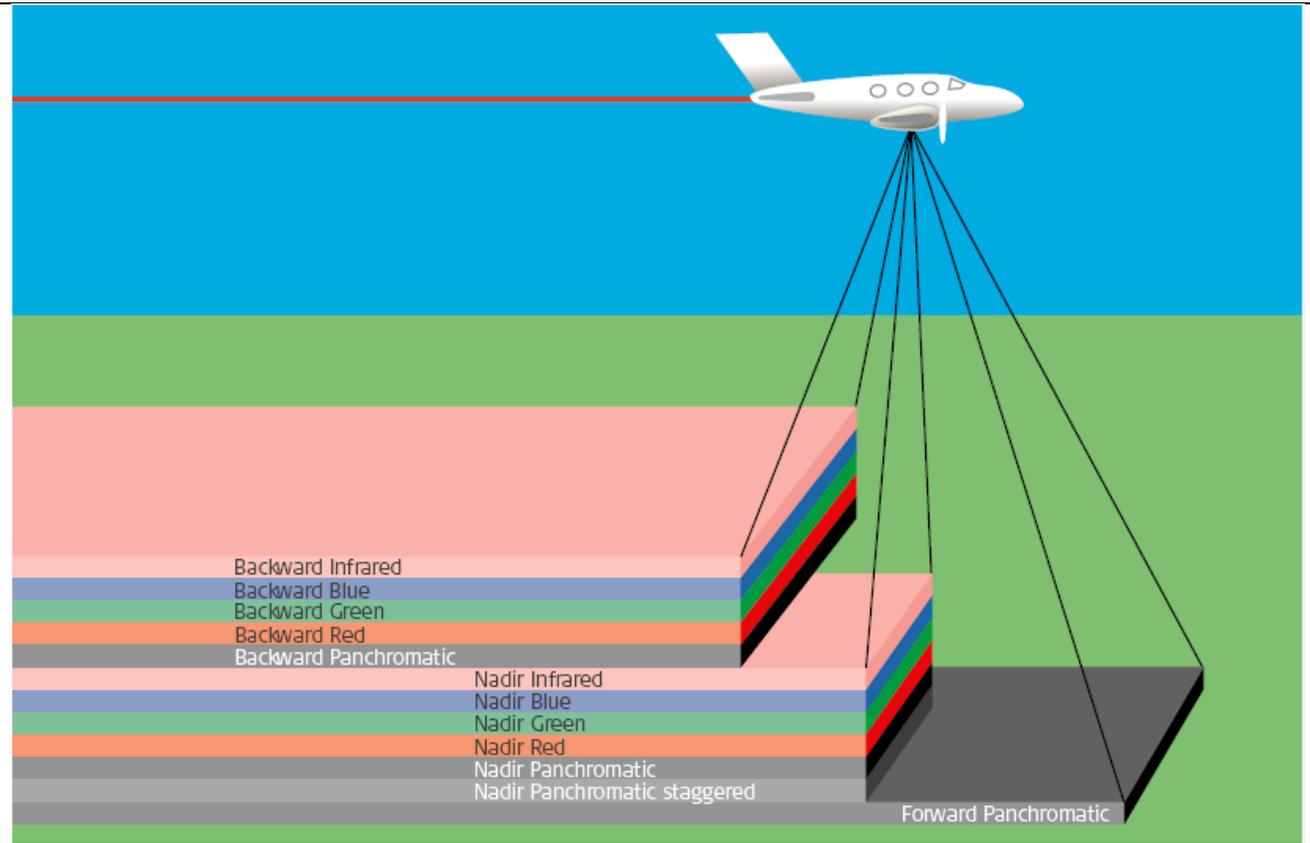


Comparazione

| Camera | DZ [m] | R1/R2 | p1/p2 | l1/l2 [mm] | d [mm] | f [mm] | L1/L2 [m] | D [m] | B/I [m] | B/H |
|------------|--------|-------|-------|------------|--------|--------|-----------|-------|---------|------|
| Analogica | 2000 | 60% | 16429 | 230 | 0,014 | 150 | 3067 | 0,19 | 1227 | 0,61 |
| | | 20% | 16429 | 230 | | | 3067 | | 2453 | |
| Ultracam-X | 2600 | 60% | 9420 | 68 | 0,0072 | 100 | 1763 | 0,19 | 705 | 0,27 |
| | | 20% | 14430 | 104 | | | 2701 | | 2161 | |
| DMS | 1900 | 60% | 7680 | 92 | 0,012 | 120 | 1459 | 0,19 | 584 | 0,31 |
| | | 20% | 13824 | 166 | | | 2627 | | 2101 | |
| ADS40-NB | 1850 | | | 0 | 0,0065 | 62,77 | 0 | 0,19 | 468 | 0,25 |
| | | 20% | 12000 | 78 | | | 2299 | | 1839 | |
| ADS40-NF | 1850 | | | 0 | 0,0065 | 62,77 | 0 | 0,19 | 1000 | 0,54 |
| | | 20% | 12000 | 78 | | | 2299 | | 1839 | |
| ADS40-BF | 1850 | | | 0 | 0,0065 | 62,77 | 0 | 0,19 | 1468 | 0,79 |
| | | 20% | 12000 | 78 | | | 2299 | | 1839 | |
| DSS | 1250 | 60% | 4092 | 37 | 0,009 | 60 | 767 | 0,19 | 307 | 0,25 |
| | | 20% | 5436 | 49 | | | 1019 | | 815,4 | |

ADS40 – Seconda generazione

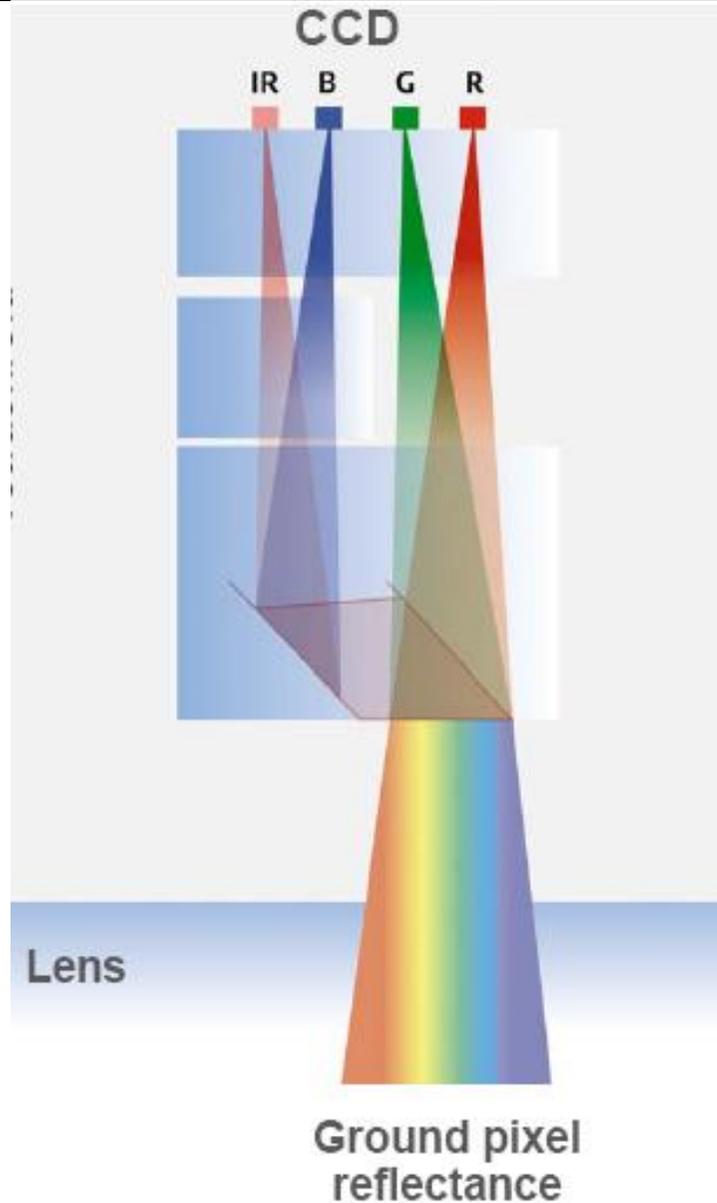
Annunciata a ottobre 2006. Due nuove teste denominate SH51 e SH52



Angolo backward: 16°

Angolo forward: 27°

ADS40 – Seconda generazione: novità principali



- Due immagini a colori
- Quadricroide: R, G, B e NIR co-registrate
- Si può fare stereovisione con immagini CIR
- Nuovi IMU, non americani, esportabili senza troppi vincoli
- Sensitività maggiore di 4 volte: minori tempi di integrazione per il colore

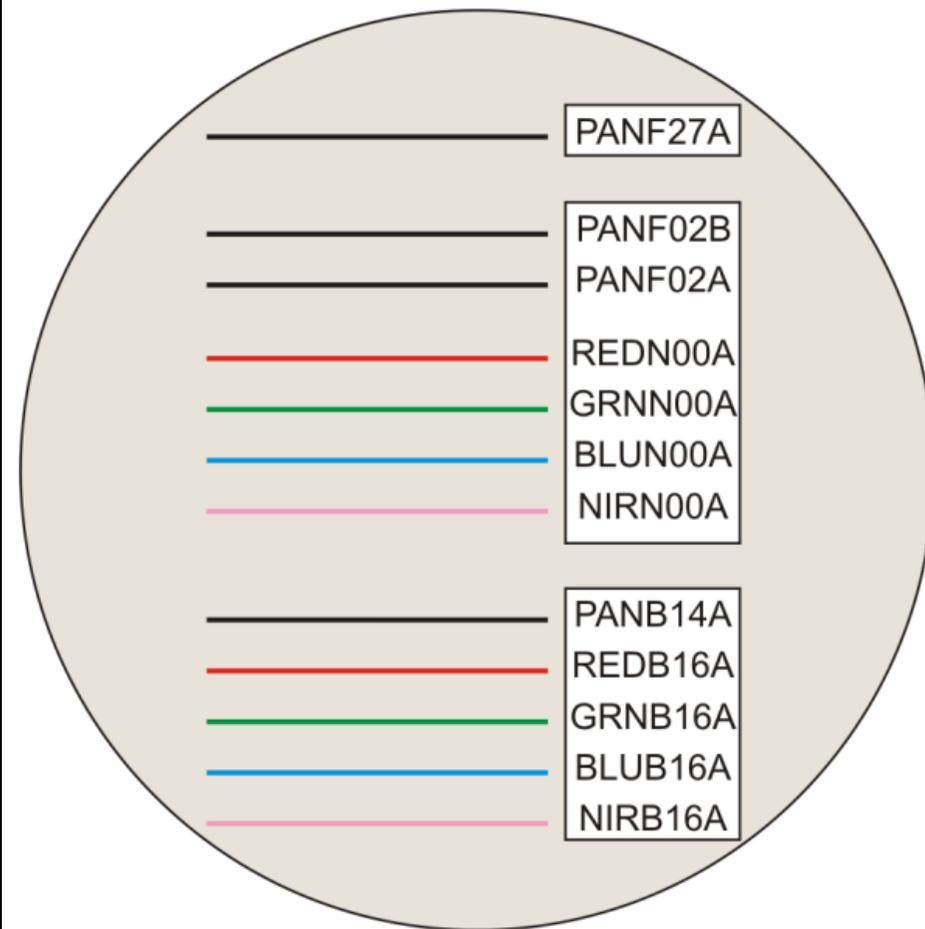
ADS40 – Seconda generazione: SH51



-
- **SH51**
- Una sola immagine a colori acquisita e un solo quadricroide
- PAN nadirale leggermente inclinata
- R, G, B e NIR co-registrati
- Se si vuole avere PAN co-registrata la si deve fare sintetizzando R, G e B

ADS40 – Seconda generazione: SH52

SH52



SH52

- Due immagini a colori e NIR, co-registrate
- Due quadricroidi
- Possibilità di fare stereo anche sulle CIR: studi forestali

ADS80 – Terza generazione

Annunciata a luglio 2008. Due nuove teste denominate SH81 e SH82

Caratteristiche simili ad ADS40-SH51/52, ma cambi nella elettronica e riduzione del tempo di integrazione. Shortest cycle time: 1 ms (invece che 1.25 ms della SH52 e SH40). Sensitività la stessa della SH52, 4 volte maggiore della SH40.

Sensori inerziali Leica IPAS: abbandono di Applanix

Nuovo programma XPRO

Rollei

Rollei presenta una camera che loro definiscono di grande formato, costituita da 4 delle loro famose camere digitali semimetriche. Costa 380 K€. Il nome RolleiMetric AIC x 4 Mapping Camera.

RolleiMetric has announced the newest member of the AIC xN series, the AIC x4 large format mapping camera with a virtual image size of ~135 megapixels (~10K x 13,5K mpx). The AIC x4 is a four-head camera system equipped with the new RolleiMetric Pro-lenses. The Pro series lenses are available with focal lengths of 35, 47,60, 72 and 100mm for RGB and (C)IR imagery. For the AIC x4 only the 72 and 100mm lenses are used.

Rollei – 2

