

STPOS

Il servizio di posizionamento satellitare
della Provincia Autonoma di Bolzano

*Utilizzo della tecnologia GPS
nell'osservazione della terra
con dati satellitari ed "in situ"*

Marcello Petitta, Claudia Notarnicola
Istituto di telerilevamento applicato
EURAC, Bolzano, Italy

Il GPS (Global Positioning System) è un sistema di posizionamento terrestre particolarmente preciso creato dal Ministero della Difesa Americano per fini militari ed in seguito utilizzato anche per scopi civili.

- 27 satelliti (24 operativi e tre di riserva)
- Orbite circolari su 6 piani orbitali
paralleli inclinati di 55°
- Circa 20.000 km di quota



Come funziona il GPS

Il GPS trasmette un segnale a due frequenze ($L1=1575.42$ Mhz
 $L2=1227.60$ Mhz) con l'indicazione dell'ora locale e della posizione orbitale del satellite

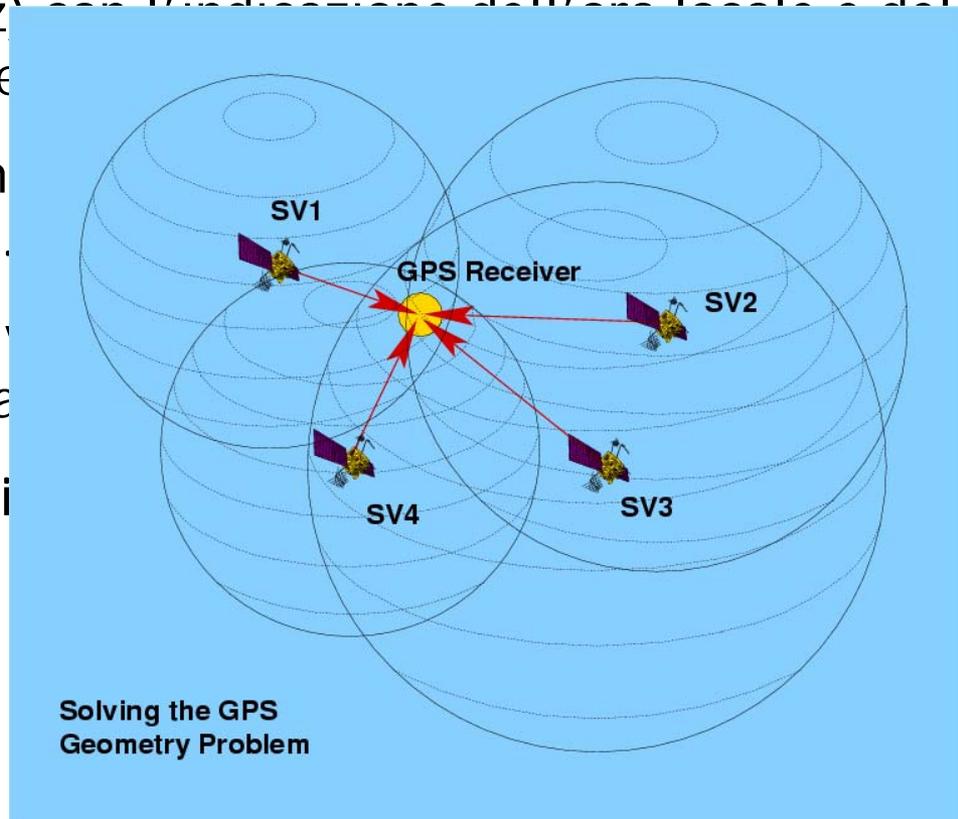
Il ricevitore con
 spazio percorso.

Sapendo che la
 ricevitore e il satellite

Con 4 satelliti si

io e ricava lo

la distanza tra il



Il ritardo del segnale GPS

Quando il segnale attraversa l'atmosfera subisce 2 tipi di ritardo:

Il primo dovuto alla ionosfera (Risolvibile con la doppia frequenza)

Il secondo dovuto all'atmosfera "neutra" (più complicato!)



Ci sono 2 ritardi dovuti all'atmosfera neutra:

1. Ritardo Idrostatico (anche detto "secco") 2.3m nella direzione di zenith
2. Ritardo Umido da 1cm (regioni secche) fino a 40cm (regioni umide)

Soluzioni

1. Usando un buon barometro superficiale (il ritardo arriva a 1mm)
2. Modellizzando la struttura del vapore acqueo.

Il vapore acqueo rallenta la propagazione del segnale e questo ritardo può essere messo in relazione con la quantità di vapore acqueo e di acqua precipitabile presente in atmosfera.

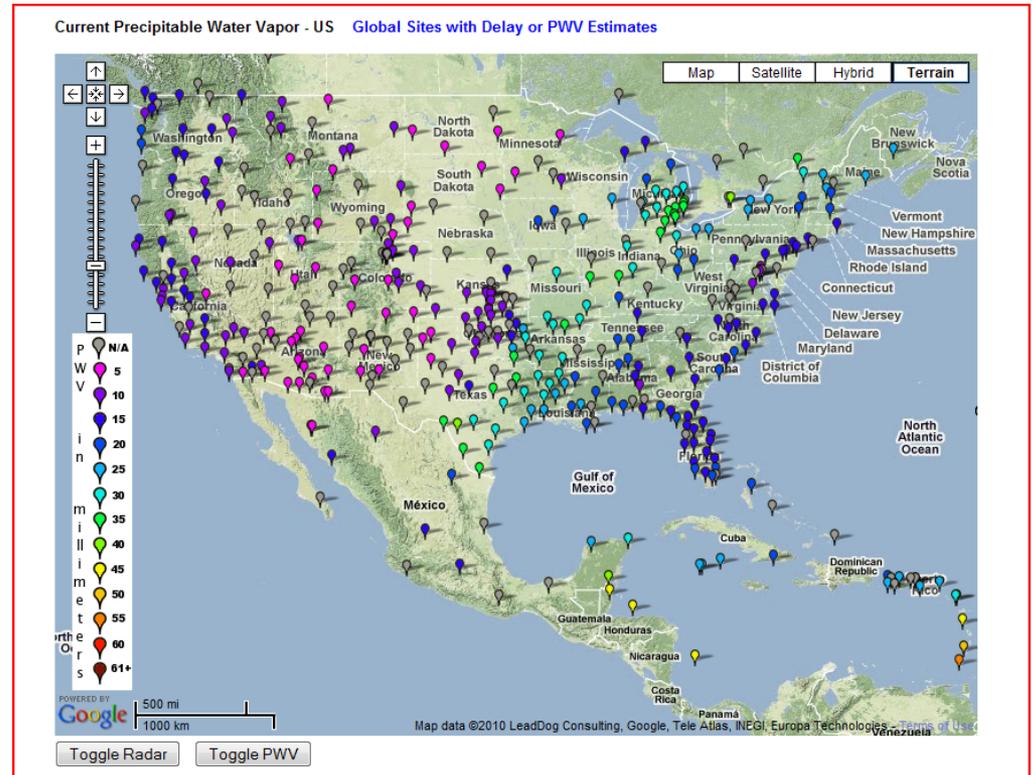
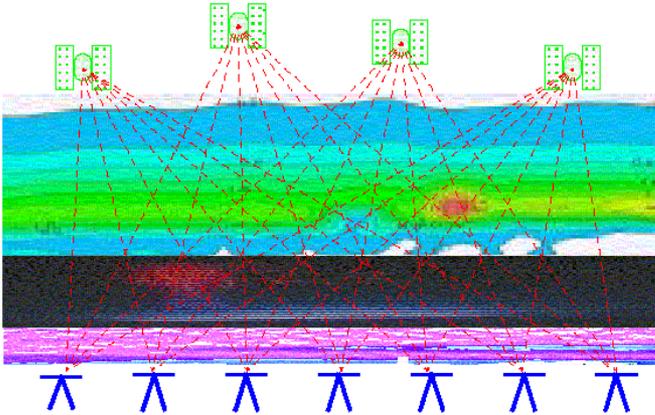
$$I_{WV} = K * D_w$$

Il ritardo è minore nella direzione di zenitale e maggiore ad angoli alti.

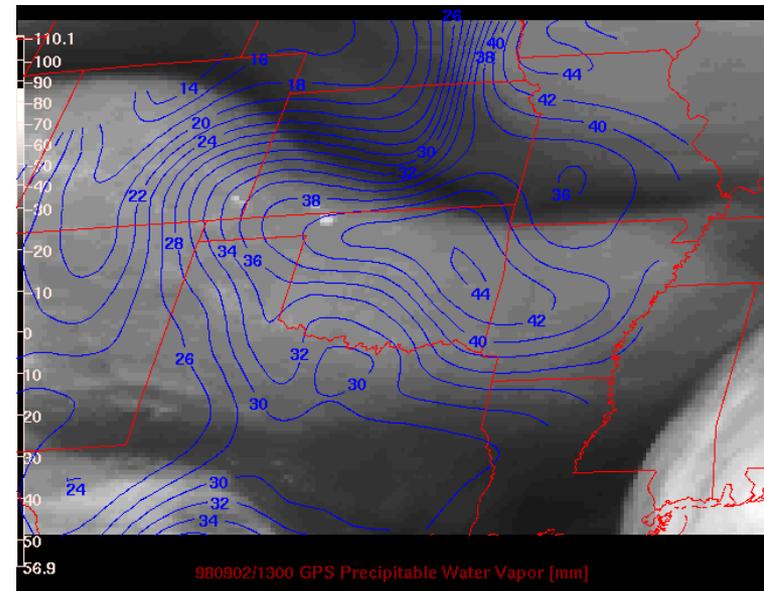
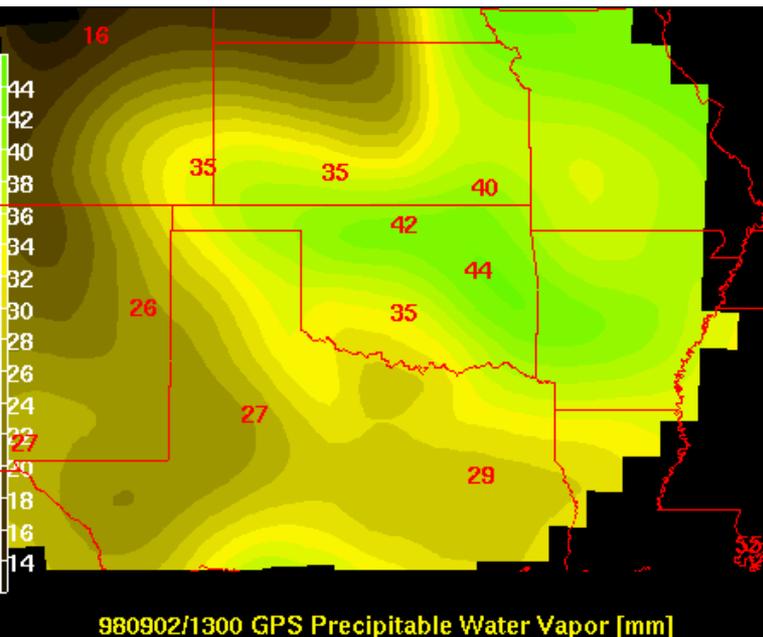
Tale ritardo si può stimare utilizzando più satelliti, degli opportuni filtri statistici, modelli meteorologici oppure altri strumenti in situ.

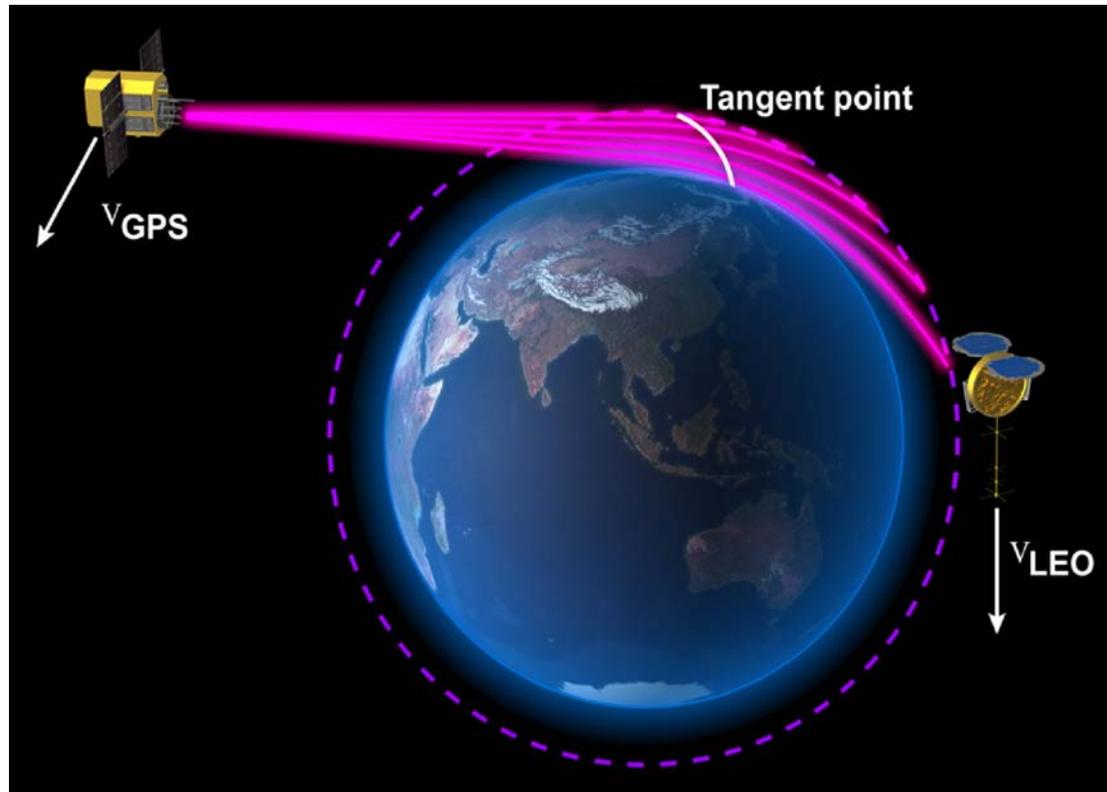
$$D_t = D_h + D_w$$

Atmospheric Sensing with Ground-Based GPS



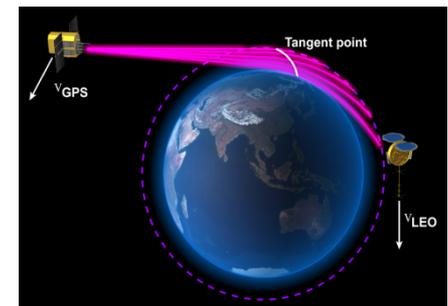
SuomiNet is an [international network](#) of GPS receivers, configured and managed to generate near real-time estimates of precipitable water vapor in the atmosphere, total electron content in the ionosphere, and other meteorological and geodetic information.





Progetti dell'EURAC con il GPS

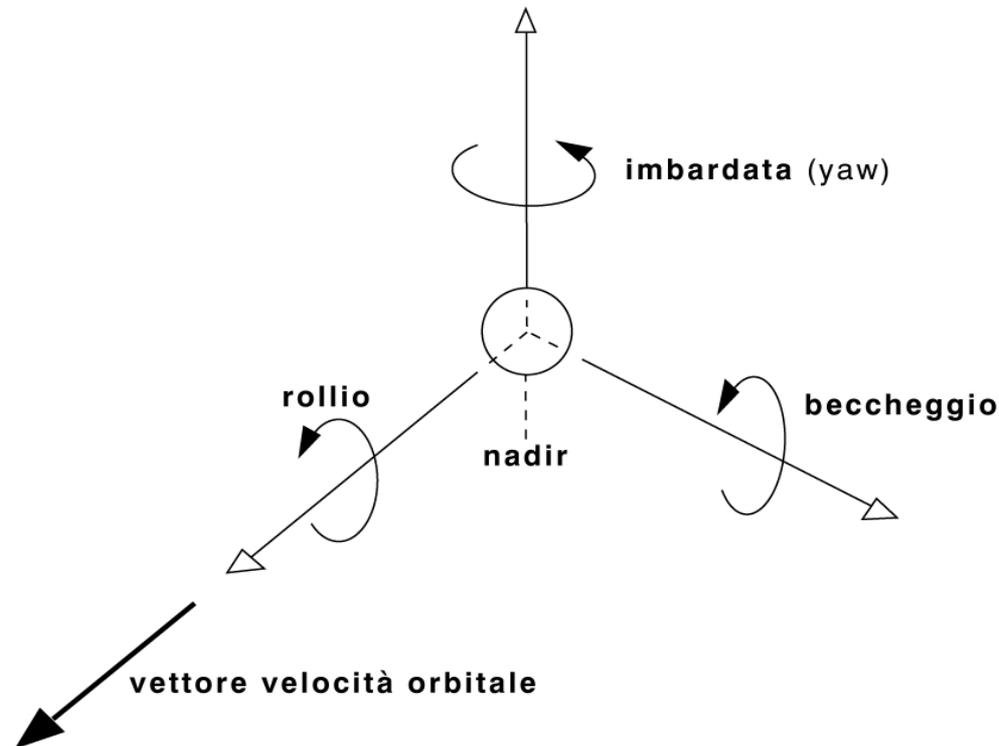
1. AO Aquarius-SAC/D: Water Vapour Cycle from Space (WaVaCyS)
*Servizio Idro-Meteo-Clima of ARPA Emilia Romagna
Jet Propulsion Laboratory (USA)*
2. ROSA on Oceansat II: Assimilation of ROSA vertical profiles into numerical weather prediction models for Meteorological and Air quality purposes. **AROMA**
ISAC-CNR
3. ROSA on Oceansat II: Upper tropospheric flow features triggering cyclogenesis over Euro-Mediterranean and Saharan regions: modeling, satellites (Radio Occultation) and ground-based measurements (Lidar). **CycloMedAS**
*ENEA
CMCC
University of Buenos Aires
University of Graz*
4. ROSA on Oceansat II: Validation, comparison and assessment of ROSA vertical profiles for Meteorological and Operational use. (ROMEEO)
*Servizio Idro-Meteo-Clima of ARPA Emilia Romagna
Area Previsione e Monitoraggio Ambientale Arpa Piemonte
Agenzia per la Protezione dell'Ambiente dell'Alto Adige
Ufficio Idrografico, provincia autonoma di Bolzano
Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Trento*

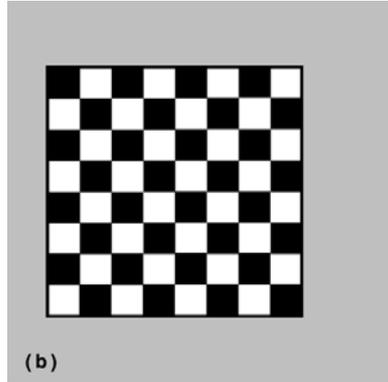
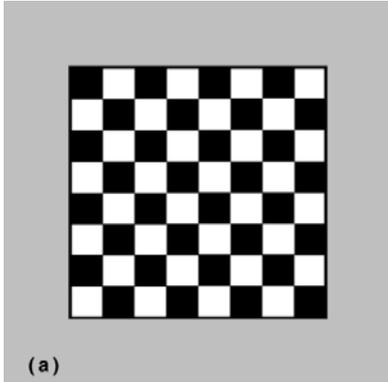


Geocodifica ed ortorettifica di immagini satellitari

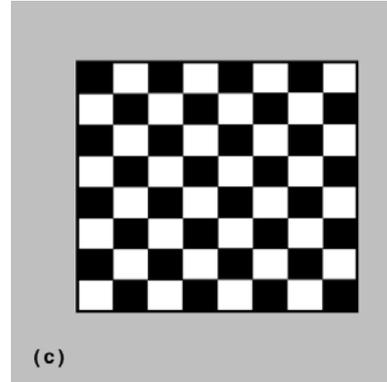
La georeferenziazione è la tecnica che permette di associare ad ogni pixel di una immagine digitale una coppia di coordinate geografiche (x,y) (latitudine e longitudine) che ne fissino la posizione sulla superficie terrestre.

Le distorsioni, di cui risultano inevitabilmente affette le immagini derivano dalle caratteristiche del sensore e dalla sua interazione con la geometria orbitale e la forma del globo terrestre. Per esempio la posizione della piattaforma è particolarmente critica per la precisione geometrica, in quanto anche un piccolo cambiamento nell'angolo di puntamento risulta in una variazione più ampia nella localizzazione del sensore.

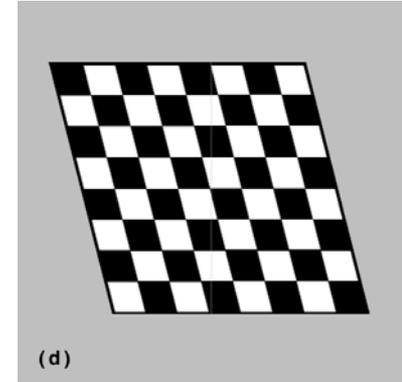




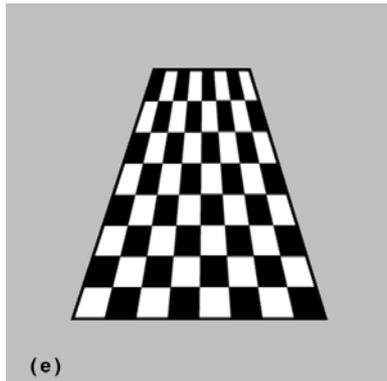
Pitch variation



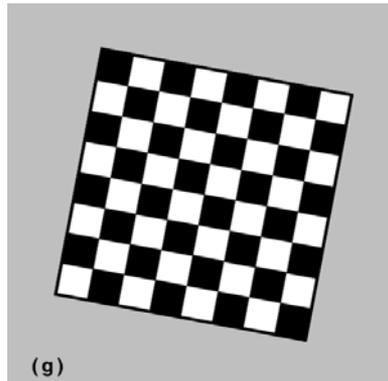
Velocità del sensore



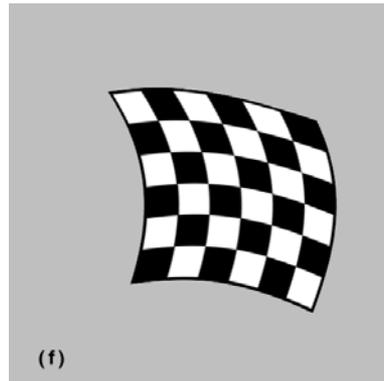
Rotazione Terra



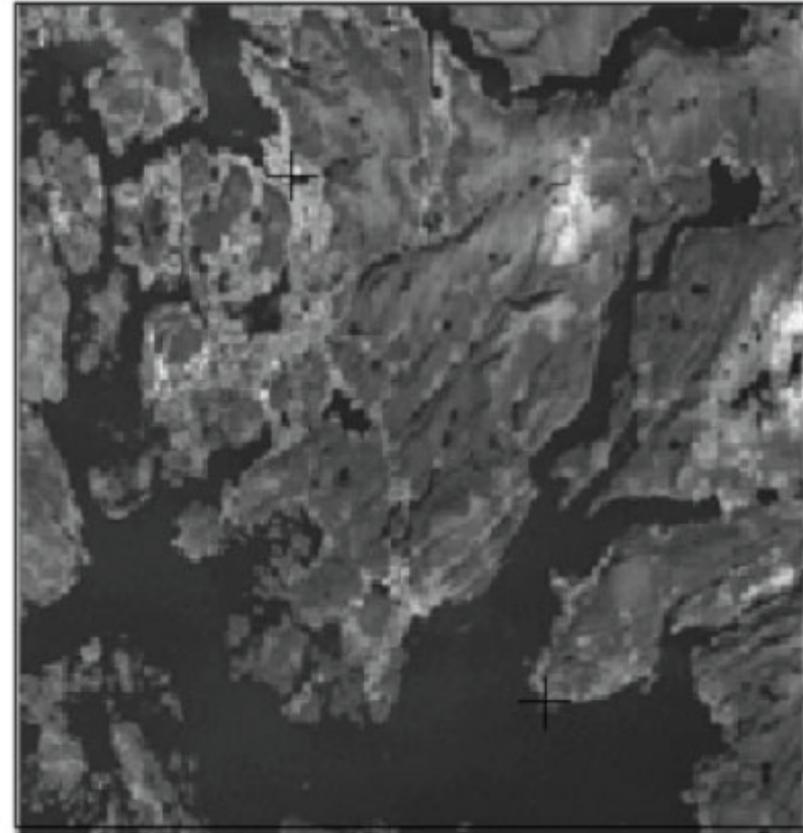
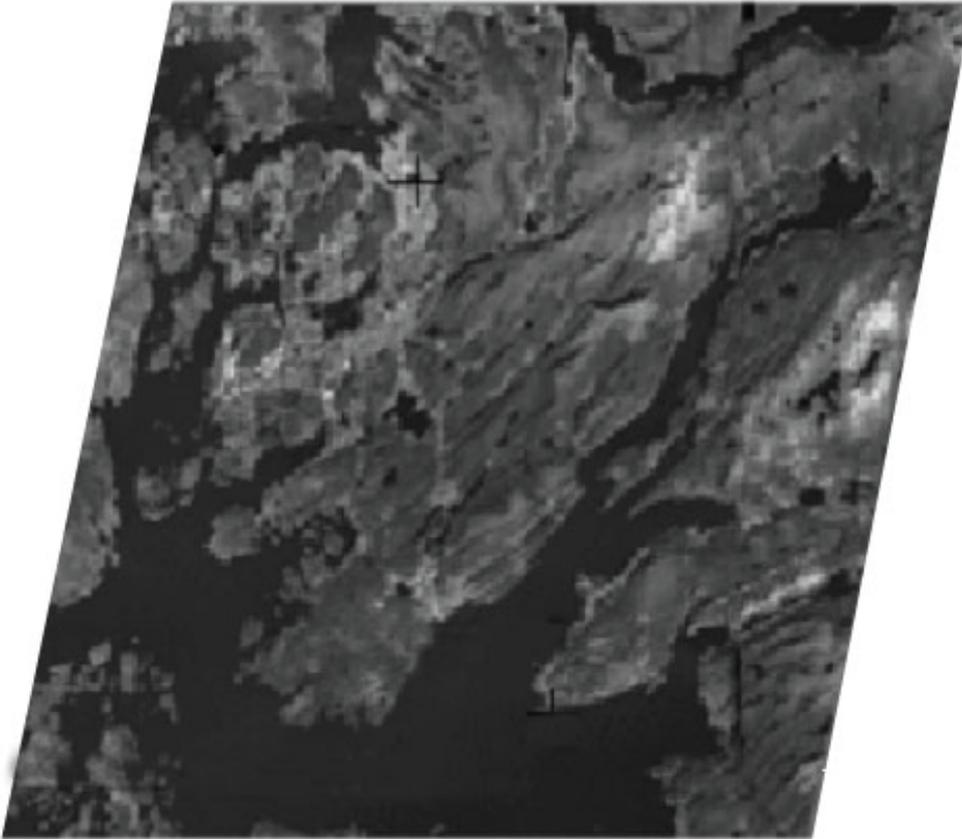
Altitudine variation



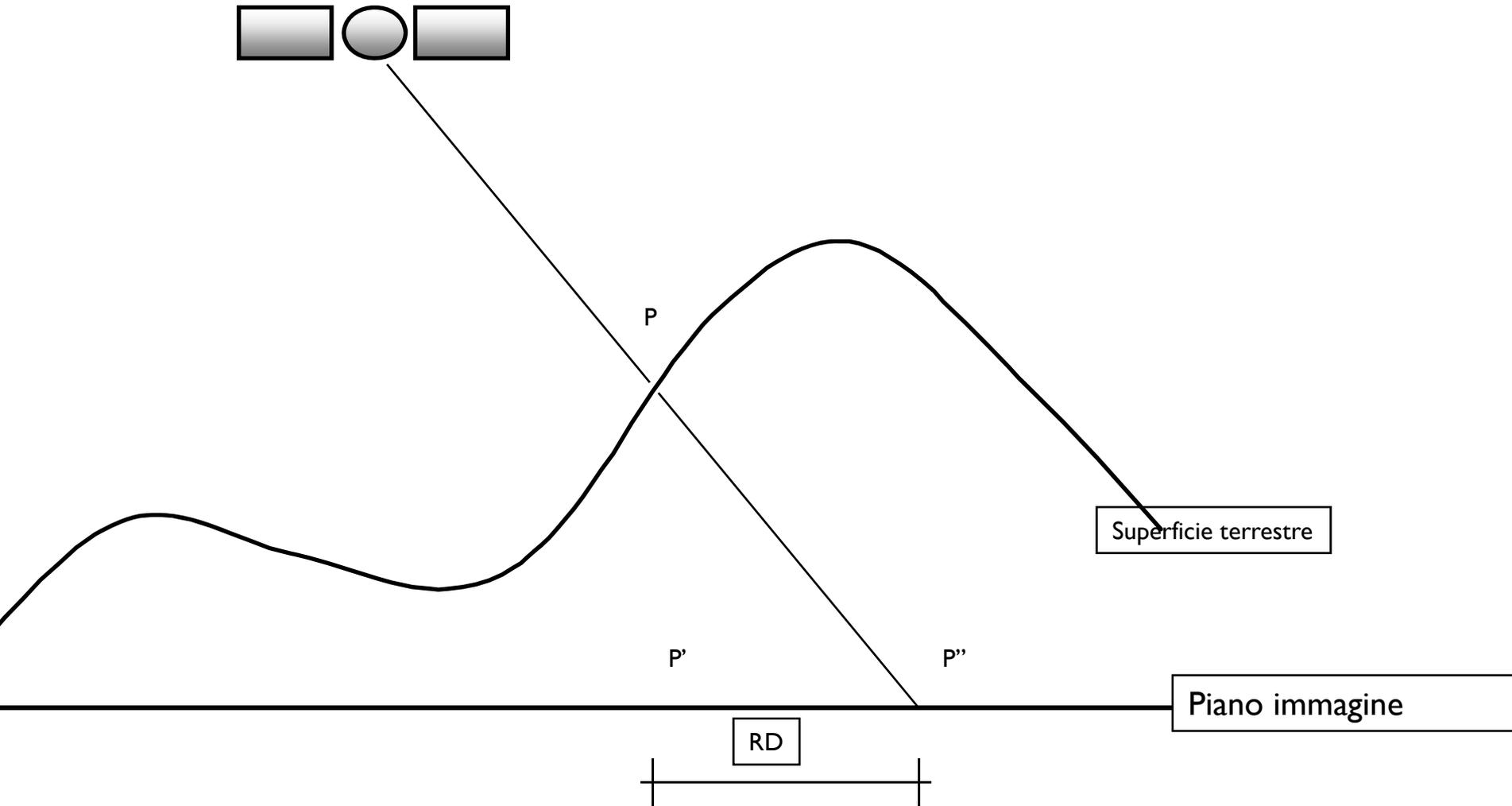
Yaw variation



Roll variation

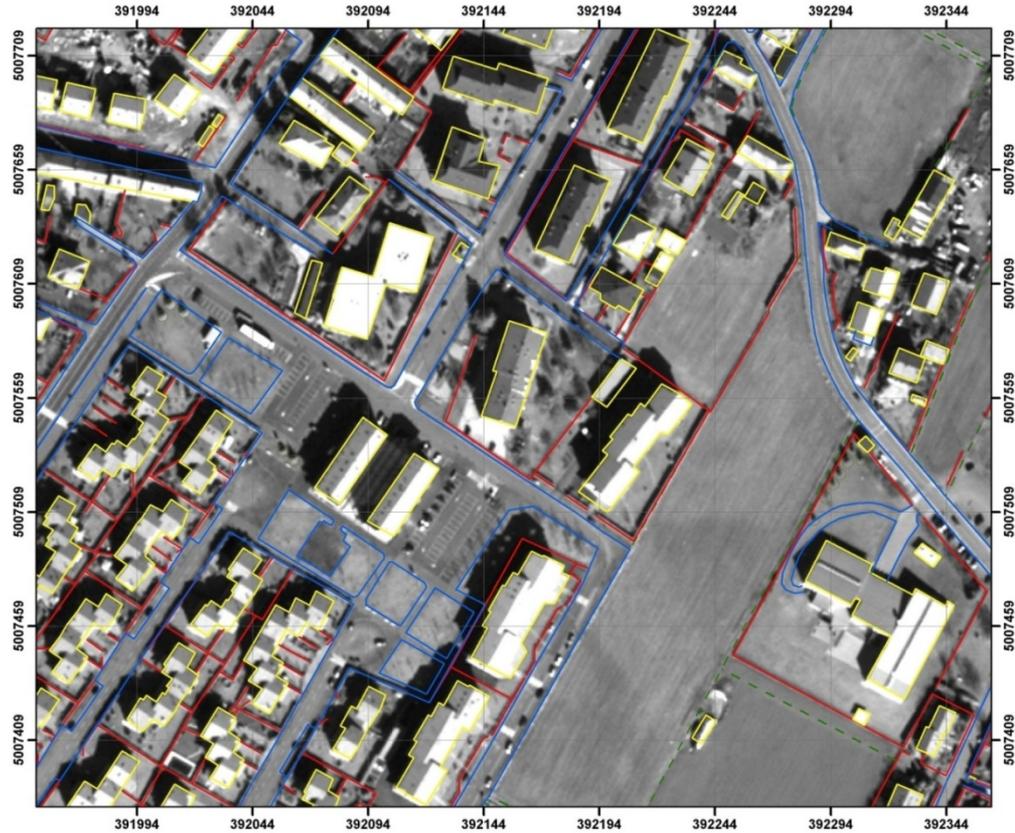


Rotazione della Terra (*skew*)



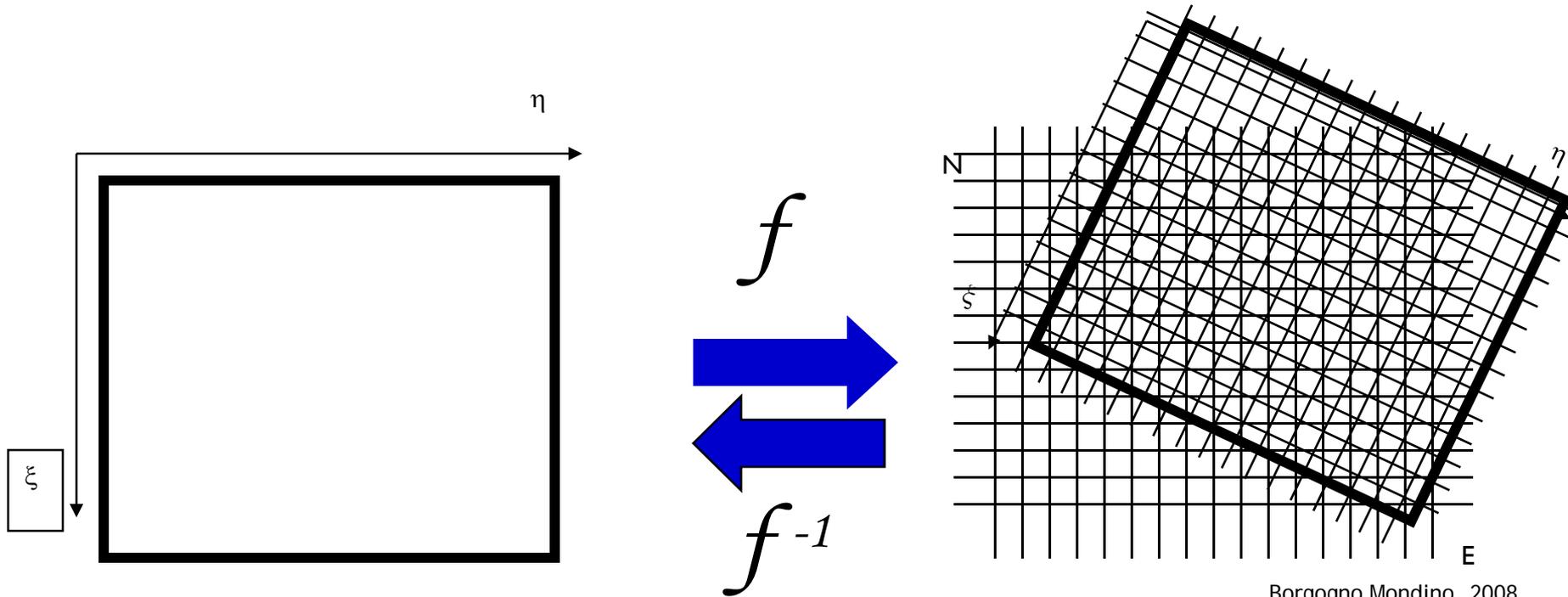
Spostamento dovuto alla quota

La necessità di registrare le immagini



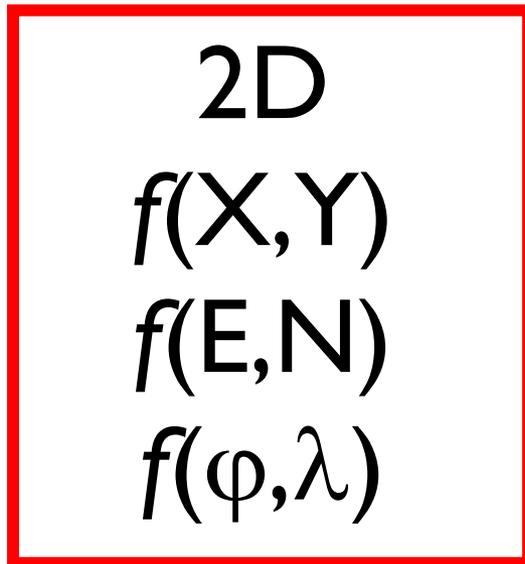
Necessità di sovrapporre fonti differenti come mappe vettoriali ed altre immagine

Una trasformazione geometrica consente di passare da un sistema di riferimento interno (riga, colonna) ad un sistema di riferimento esterno (mappa o immagine)

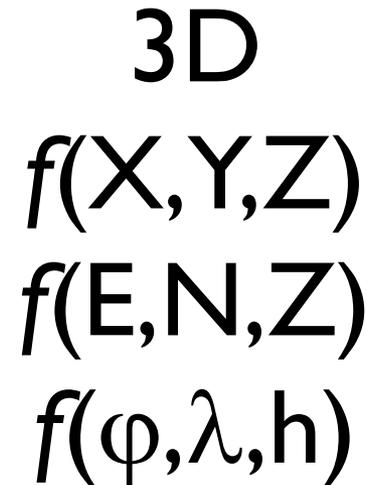


Borgogno Mondino, 2008

- La funzione f viene scelta anche in base ai dati che si stanno analizzando



Georeferenziazione originale (WARP)



Georeferenziazione più precisa necessaria per le immagini ad alta risoluzione (HR-VHR)

$$\xi = aX + bY + c$$

$$\eta = -bX + aY + d$$

RST

Rotation, Scaling (isotropic) and Translation
4 parametri

$$\xi = aX + bY + c$$

$$\eta = dX + eY + f$$

Polinomiale del 1° ordine (AFFINE)

6 parametri

$$\xi = \frac{aX + bY + c}{gX + hY + 1}$$

$$\eta = \frac{dX + eY + f}{gX + hY + 1}$$

Omografia

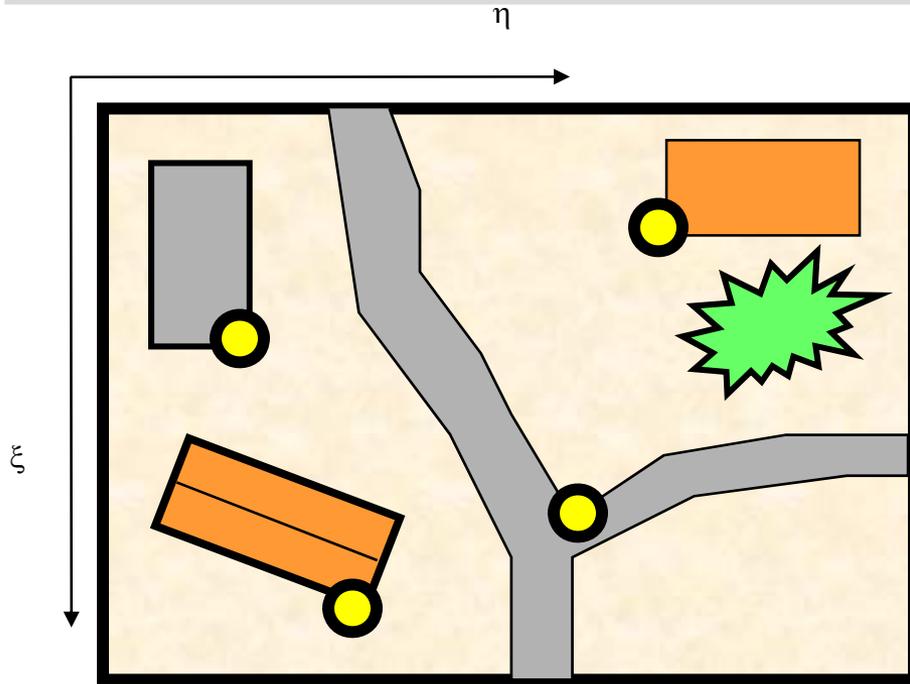
8 parametri

$$\xi = aX + bY + c \quad f = RST$$
$$\eta = -bX + aY + d$$

Per determinare i coefficienti presenti nell'espressione polinomiale, si fa affidamento a **punti di riferimento sul terreno scelti, denominati punti di controllo Ground Control Point (GCP)** in modo che abbiano:

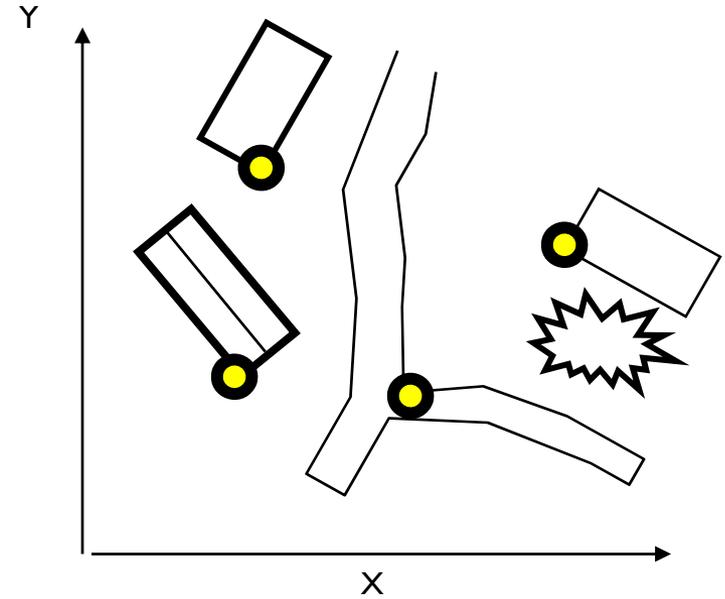
- un alto contrasto in tutta l'immagine;
- piccole dimensioni;
- invariabilità nel tempo;
- possibilmente tutti la stessa elevazione sul terreno
- Uniformemente distribuiti sull'immagine

Punti di controllo (GCP)



Image

$$(\xi_i, \eta_i)$$



Reference Map

$$(X_i, Y_i)$$

$$\text{GCP}_1 \rightarrow (\xi_1, \eta_1, X_1, Y_1)$$

$$\text{GCP}_2 \rightarrow (\xi_2, \eta_2, X_2, Y_2)$$

...

$$\text{GCP}_n \rightarrow (\xi_n, \eta_n, X_n, Y_n)$$

- Il numero minimo di punti dipende dal numero di parametri da stimare (e quindi dal modello scelto). Per ogni GCP si possono scrivere 2 equazioni.
- In generale il numero di equazioni dovrebbe essere 10 volte il numero di incognite

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n RMS_i^2}{n-1}}$$

$$RMS_i = \sqrt{\Delta\xi_i^2 + \Delta\eta_i^2}$$

$$(\xi_i, \eta_i)$$

Generica coordinata originale del GCP nell'immagine

$$\Delta\xi_i = \xi_i - \hat{\xi}_i$$

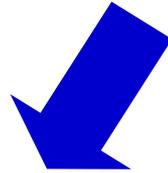
$$(\hat{\xi}_i, \hat{\eta}_i)$$

Generica coordinata stimata del GCP nell'immagine

$$\Delta\eta_i = \eta_i - \hat{\eta}_i$$

- ▶ Si scelgono altri punti detti Check Points (CP) che non partecipano alla determinazione dei parametri e sui quali viene stimata l'accuratezza della geocodifica.

Correzioni per le immagini ad alta-altissima risoluzione

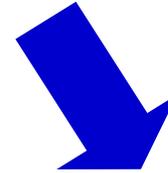


Modelli rigorosi

- Collinearity Equations
- Internal Orientation param.
- Exterior Orientation param.
- Atmospheric refraction modelling

(Toutin, 2001)

(Baiocchi, Crespi, 2004)



Modelli 3D generici

Indipendenti dal modello del sensore

PF = Polynomial Functions

DLT = Direct Linear Transformation

RFM (Rational Function Model) or RPC (Rational Polynomial Coefficient)

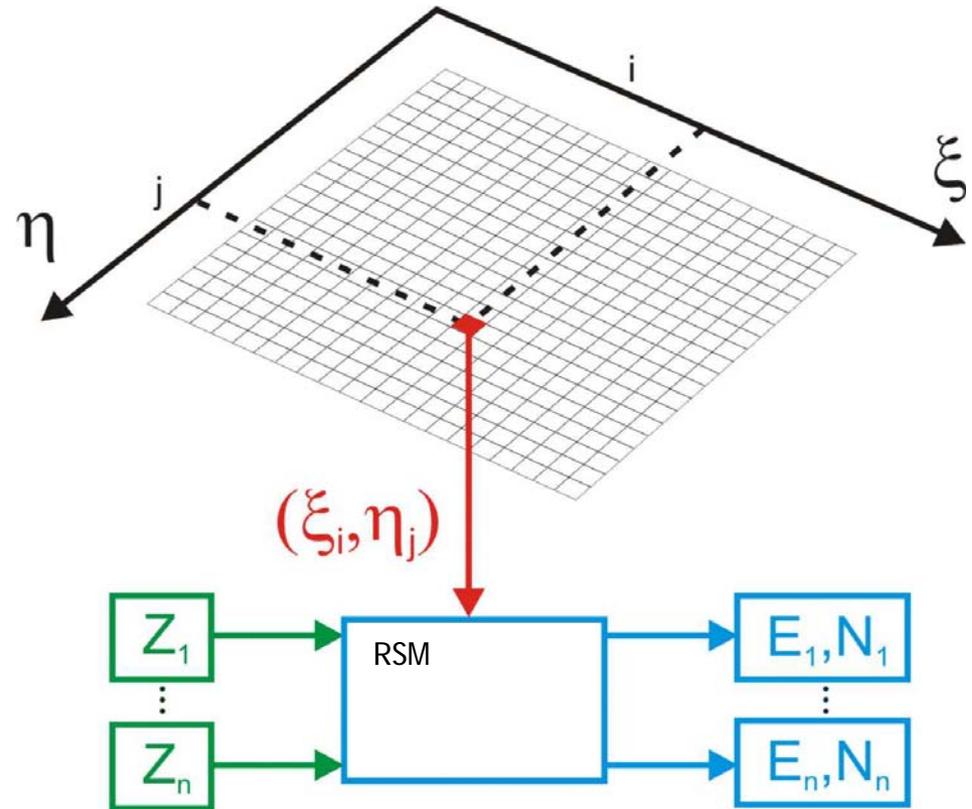
Neural Net

(Borgogno Mondino, 2004)

I coefficienti delle RPC ormai vengono normalmente indicati dai fornitori di immagini satellitari. Essi fanno parte dei metadati delle immagini satellitari.

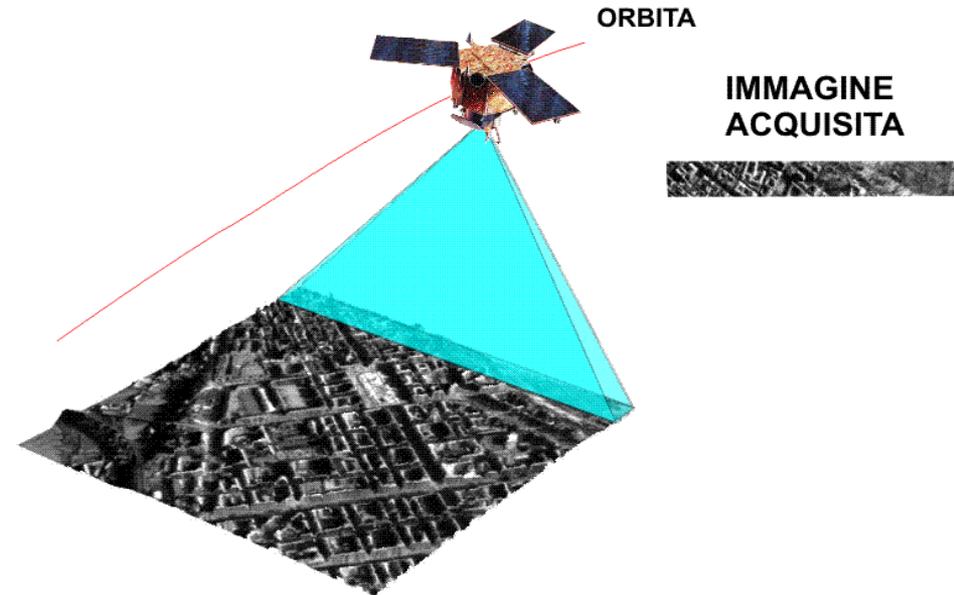
Vantaggi: si ottiene una correzione geometrica accurata anche senza uso di GCPs

Limitazioni: l'accuratezza è inferiore a quella che si ottiene con l'uso dei RSM, oppure ricalibrando gli RPC con opportuni GCPs.

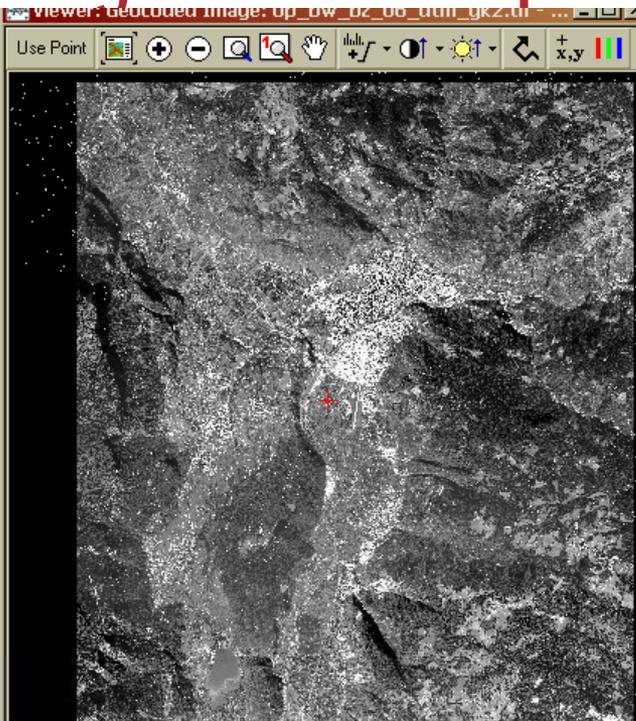
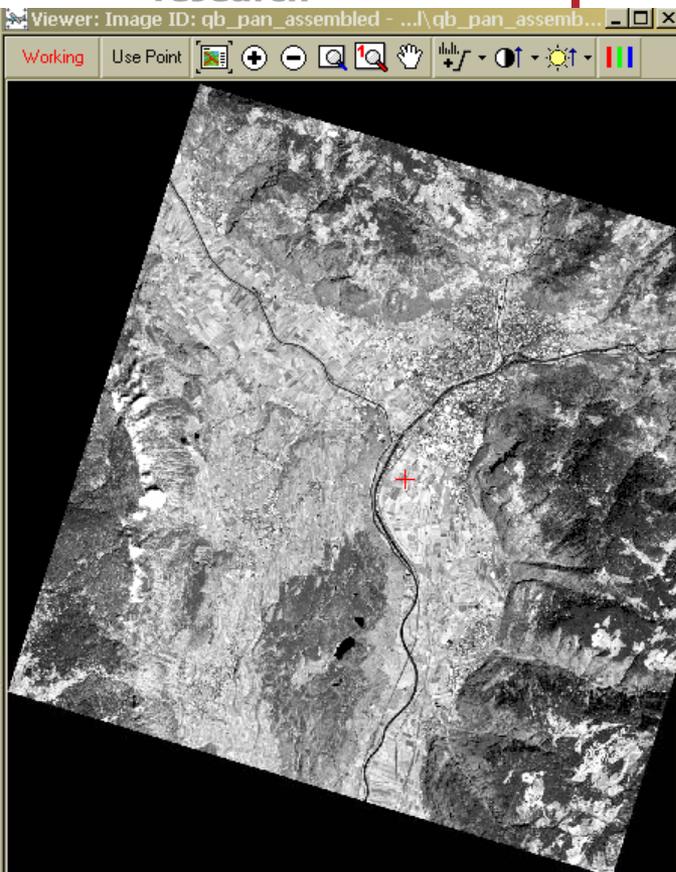


Questi modelli descrivono nel modo più rigoroso possibile il processo fisico di acquisizione dell'immagine. Ciò implica che tutti i parametri fisici (con significato geometrico) devono essere considerati:

Tipo di sensore; sistema ottico; movimenti della piattaforma; rifrazione atmosferica; curvatura della Terra. etc.



Ogni linea acquisita può essere considerata avente una prospettiva singola centrale, con i suoi parametri di orientazione esterni che differiscono da tutte le altre. Il problema è affrontato in modo fotogrammetrico.



GCP Collection for qb_pan_assembled

Ground control source: Geocoded image

Filename: Y:\mosaik_bozen\op_bw_bz_06_utm_gk2.tif

DEM: ...idar_sub.pix

Auto locate Compute model

Working Image: qb_pan_assembled

Point Projection: UTM 32 D000

Point ID: G0001

Image pixel: +/- 0.1 P

Image line: +/- 0.1 L

Easting (X): +/- 1.0 m

Northing (Y): +/- 1.0 m

Elevation (Z): +/- 1.000 m

Reference Images

Image ID	Status

Accepted Points: 0 Total

Residual units: Ground Pixels

RMS: RMS: Y RMS:

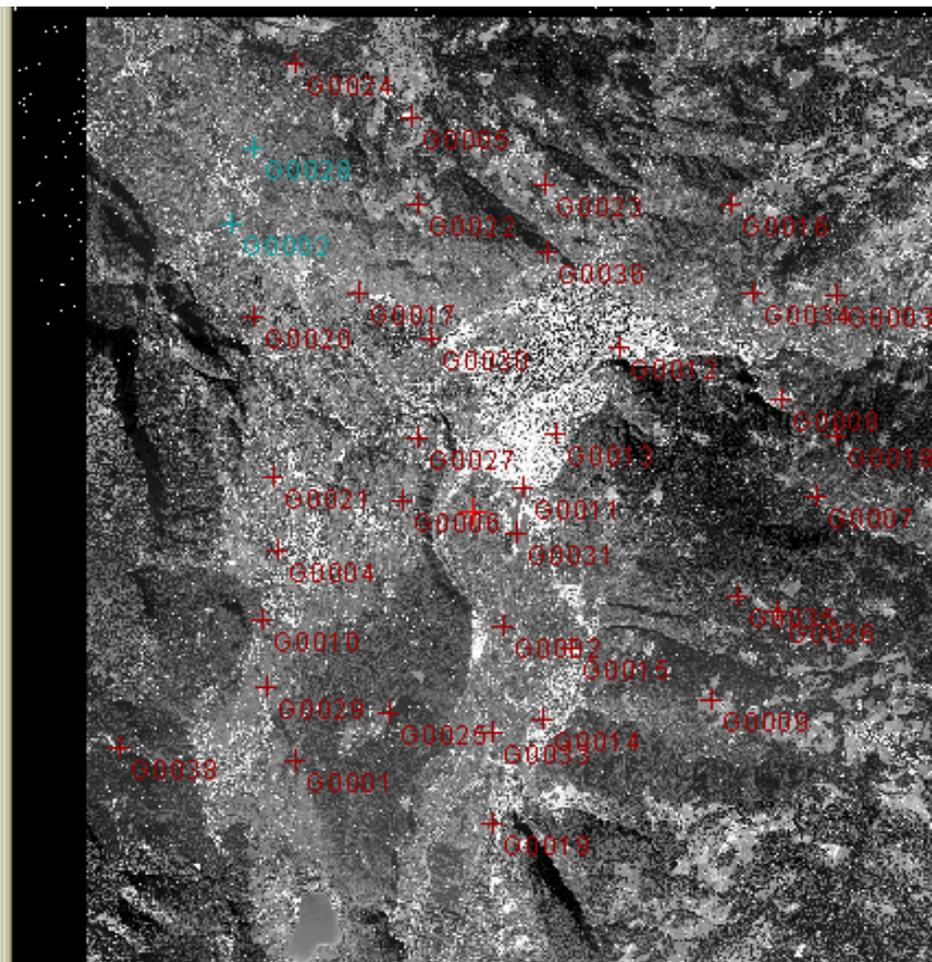
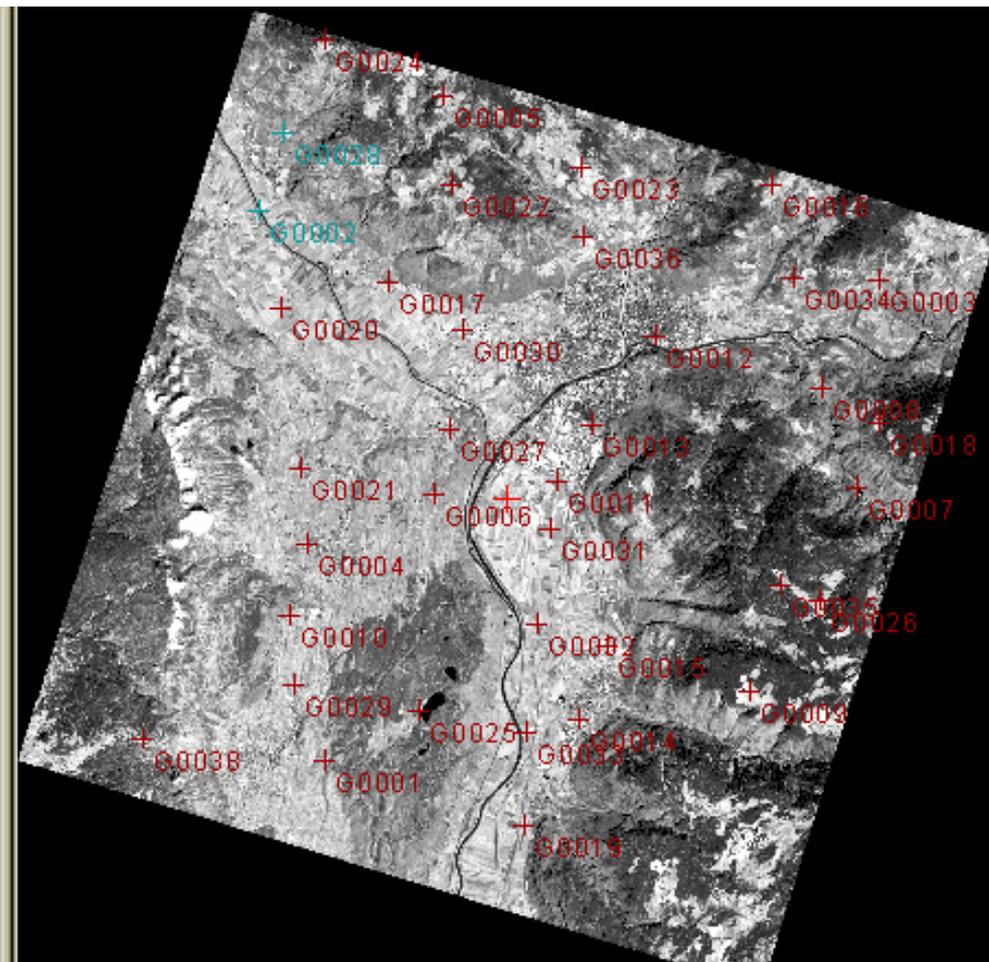
Point ID	Residual	Res X	Res Y	Type	Image

OrthoEngine: New Project

File Utilities Options Help

Processing step: GCP/TP Collection

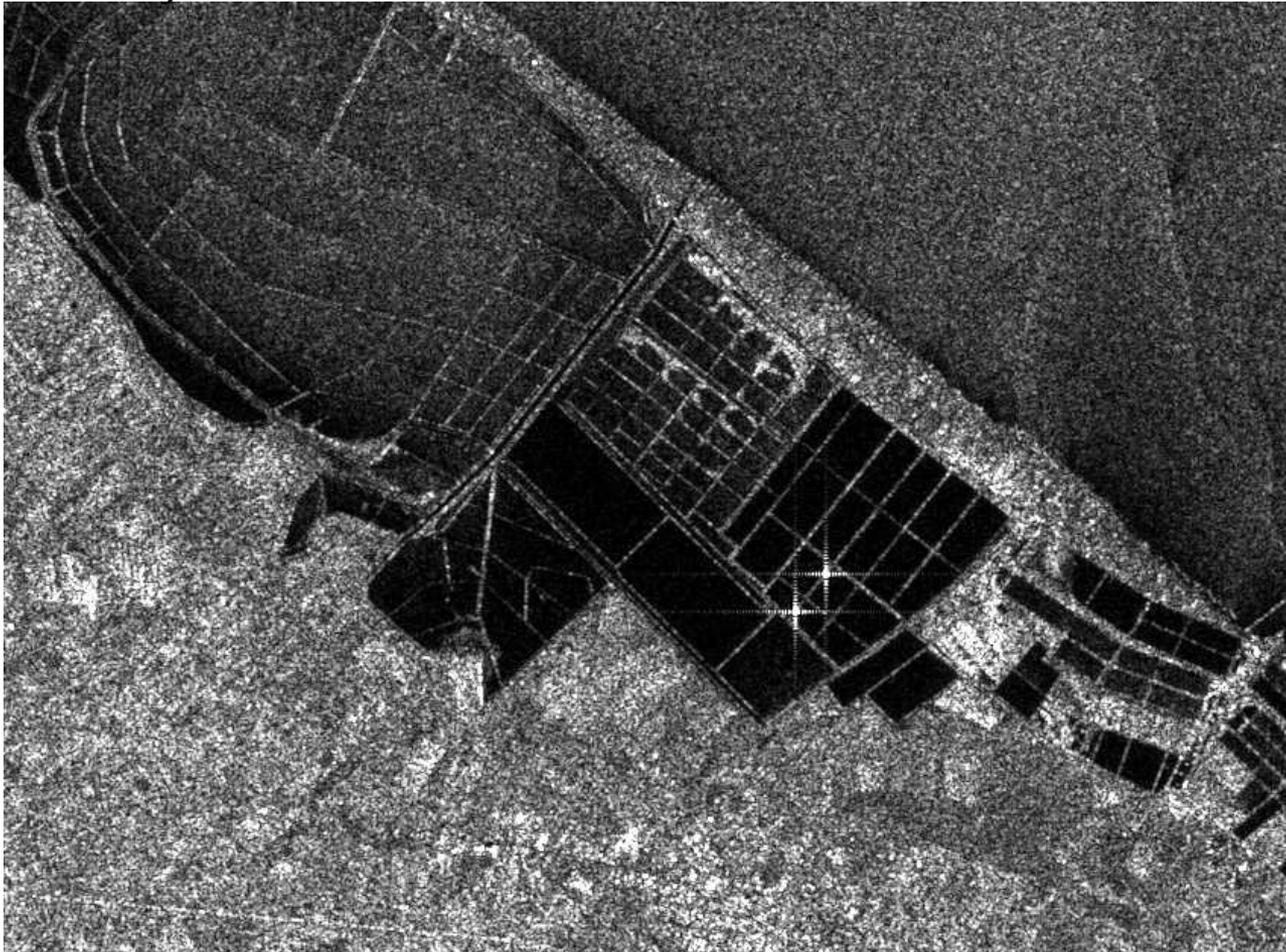
21976.0 P 22957.5 L 677626.3 X 5148060.0 Y Int: 63





Calibrazione esterna di immagini radar  utilizzata per eliminare ogni valore di bias dall'immagine

Courtesy of I-PAF-ESA



Area delle saline
40*40 Km²

Vengono scelti bersagli con un valore di fondo basso su cui vengono posizionati dei calibratori di cui si conosce la risposta.

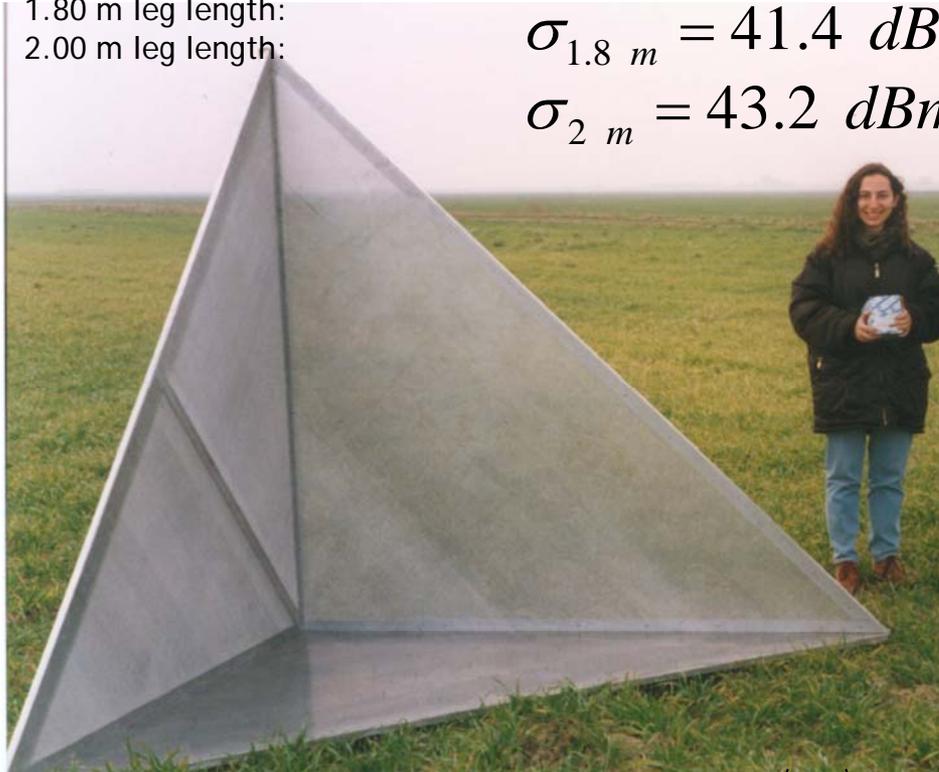
Posa et al., 2000

Trihedral Corner Reflector

1.80 m leg length:
2.00 m leg length:

$$\sigma_{1.8\ m} = 41.4\ dBm^2$$

$$\sigma_{2\ m} = 43.2\ dBm^2$$



Segnale atteso su suolo agricolo:

$$\langle \sigma^0 \rangle = -11\ dB$$

Segnale atteso sulle saline:

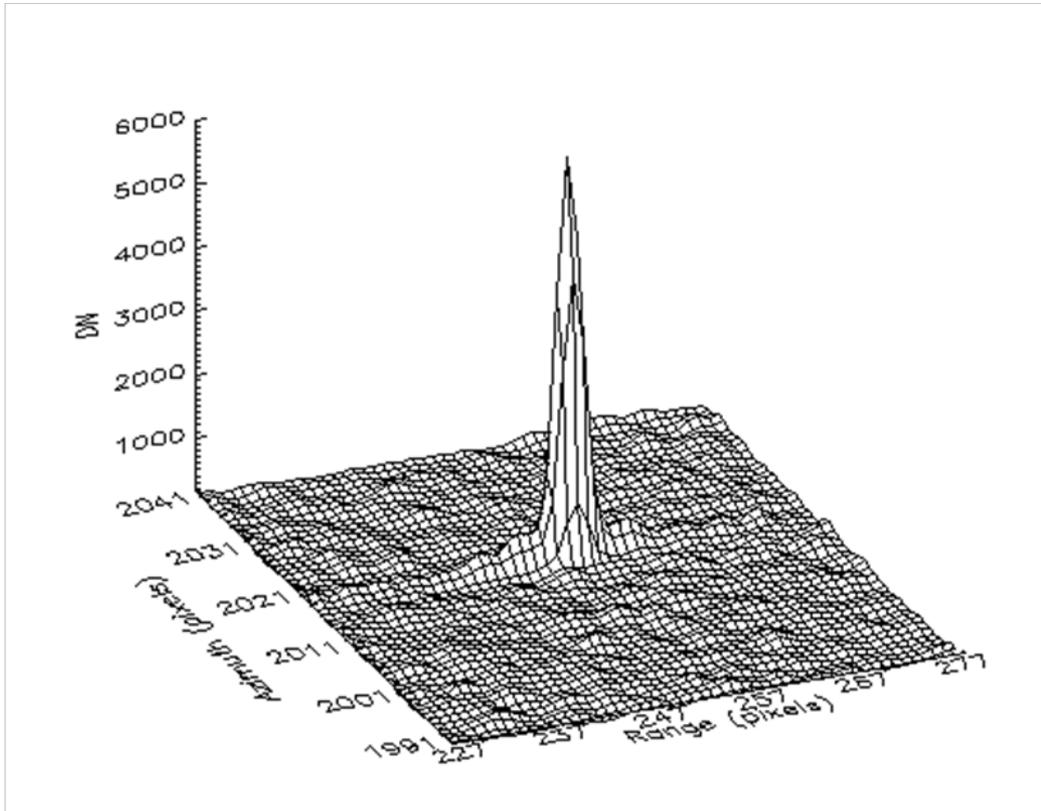
$$\langle \sigma^0 \rangle = -20\ dB$$

Posa et al., 2000

Cella di risoluzione del sensore:

$$A = 30 \times 30\ m^2$$

Risposta del TCR



leg length: 2.00 m
 $\sigma = 48.3 \text{ dBm}^2$
 Peak DN: 6416
 background <DN>: 194
 Site: Ex Daunia Risi
 CR coordinates:
 lat $41^\circ 32' 07.76'' \text{ N}$ /
 long $15^\circ 52' 40.33'' \text{ E}$

Utilizzo dei punti GPS

Posa et al., 2000

- Per definire la posizione dei TCR necessaria con una accuratezza di 10 cm
- Ground Control Points per effettuare delle correzioni geometriche.

Nell'ambito del telerilevamento, la tecnologia GPS viene utilizzata per diversi scopi:

- Lo **studio del segnale** é importante per fornire stime di parametri atmosferici (vapor d'acqua)
- Ultimamente viene utilizzato anche per fornire stime dei parametri al suolo (umidità)
- La **conoscenza di punti fissi**, o la possibilità di determinarne dei nuovi viene utilizzata per effettuare le correzioni geometriche alle immagini satellitari tramite i processi di geocodifica e ortorettifica
- Per le tecniche di calibrazione esterna, risulta fondamentale determinare la posizione dei bersagli con una accuratezza elevata.

Grazie per la vostra attenzione!

Bibliografia principale:

Borgogno Mondino: Course on Geometric Corrections, EURAC, November 2008.

O.T. Davies, C.N. Mitchell, P.S.J. Spencer, J.D. Nash, R.J. Watson and P.A. Watson: "Application of GPS phase delay measurements in radio science and atmospheric studies", *IEE Proc. -Microw. Antennas Propag.*, Vol. 151, No. 1, February 2004.

F. Posa, G. Calbi, D. Casarano, A.C. D'Alessio, L. Dente, A. Mongelli, C. Notarnicola, F. Paparella, V. Sabatelli: "External Radiometric Calibration Activity on Italian Test-site for the ENVISAT Mission" *Proc. ESA SP-461 ERS-ENVISAT Symposium*, October 16-20 2000, Goteborg, Sweden.