



# VANTAGGI E LIMITI DEL TELERILEVAMENTO PER L'ANALISI DEL TERRITORIO

**Maurizio Fea**

Associazione Geofisica Italiana (AGI)  
Università degli Studi - Roma La Sapienza  
Università degli Studi - Roma Tor Vergata,  
Istituto Universitario di Architettura di Venezia (IUAV)  
Università degli Studi del Molise  
Universidad Nacional de Luján (UNLu – Argentina)



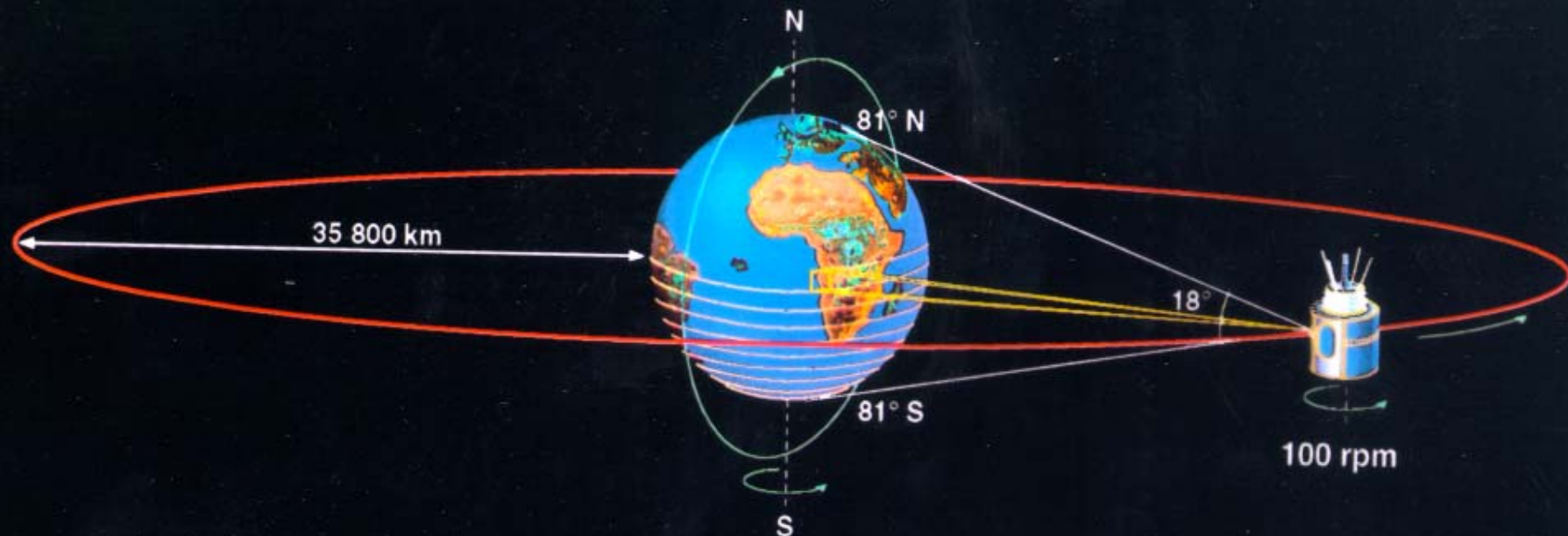
## Indice

1. Tipi di orbite per i satelliti ambientali
2. Co-registrazione e georeferenziazione dei dati
3. Uso integrato di diversi sistemi di satelliti
4. Istogrammi e classificazione dei dati
5. Carte tematiche e ricostruzione dei valori geofisici
6. Classi di satelliti per l'osservazione della Terra
7. Vantaggi e svantaggi del telerilevamento
8. Utilizzo del contenuto informativo
9. Ricerca dell'informazione nei cataloghi

*In collaborazione con il Prof. Emanuele Loret (MIUR)*

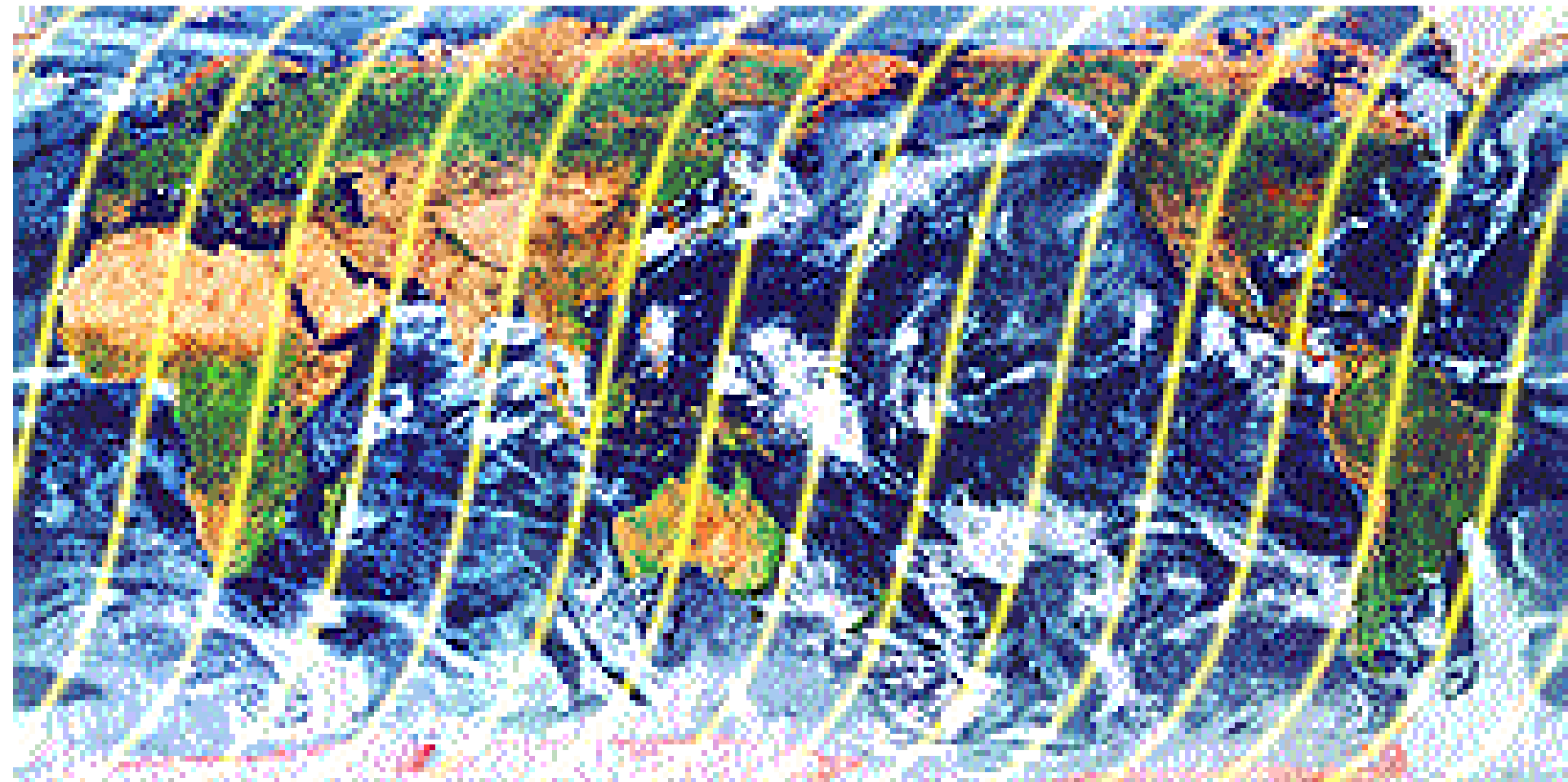
# Le orbite più usate dai satelliti per l'osservazione della Terra (telerilevamento)

- **Geostazionaria** - il satellite vola sul piano equatoriale alla quota di 35.800 Km ed alla stessa velocità angolare della Terra (24 ore), perciò resta in ogni luogo sempre nella stessa posizione apparente nel cielo
- **Eliosincrona** - il satellite vola da polo a polo ad una quota di 500-1000 Km con un'inclinazione di circa  $10^\circ$  lungo i meridiani, con l'orbita quasi fissa rispetto alle stelle, mentre la Terra al di sotto ruota verso Est; il satellite ripassa quindi sulla stessa località solo dopo un certo numero di orbite, però sempre alla stessa ora solare locale.



**Orbite quasi-polari**

**Orbite eliosincrone**



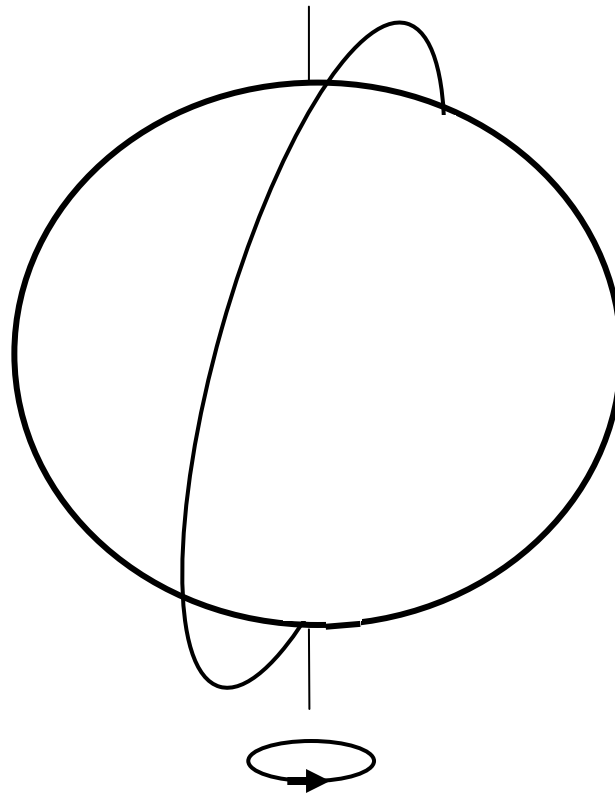
# Ciclo di Rivisita dei Satelliti in Orbita Polare

Orbite 1 --> z

1 Ciclo di Rivisita  
della durata di  
"y" giorni

"y-day Repeat"

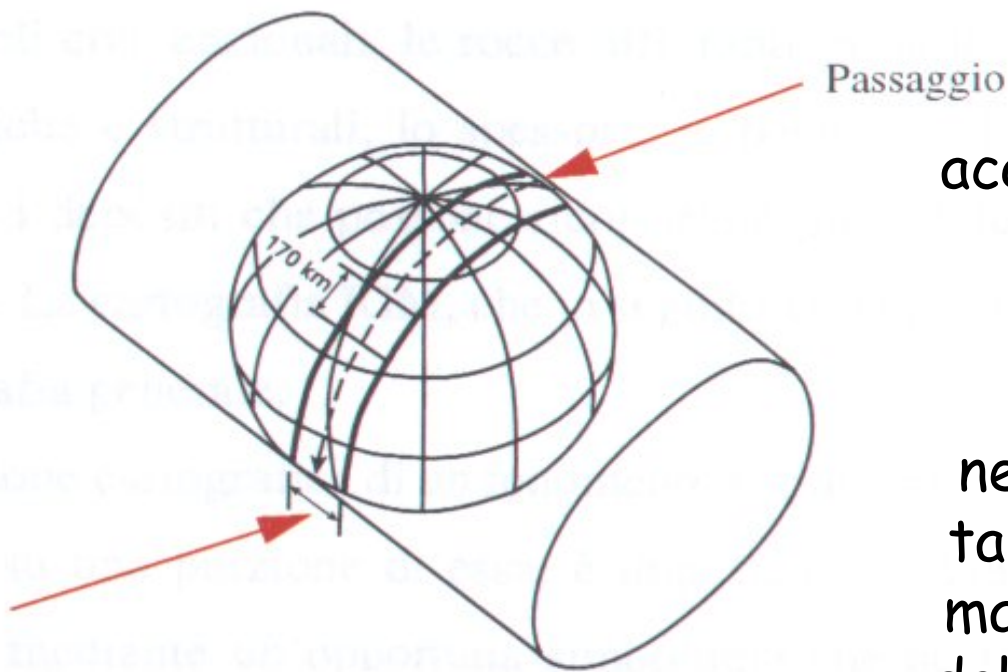
ogni y giorni il  
satellite passerà  
sullo stesso sito  
geografico con la  
stessa geometria  
di osservazione



Orbita  $O_1$

$O_2$	1°	<b>C I C L O</b>
$O_3$	giorno	
...		
$O_m$	2°	
$O_n$	giorno	
...		
$O_q$	giorni	
...	seguen	
$O_s$	ti	
...		
$O_z$		
$O_1$	giorno	<b>C.</b>
$O_2$	y+1	<b>2</b>
$O_3$		

## Space Oblique Mercator (SOM)



I satelliti per l'osservazione della terra in orbita eliosincrona acquisiscono i dati nella proiezione

**Space Oblique Mercator (SOM),**

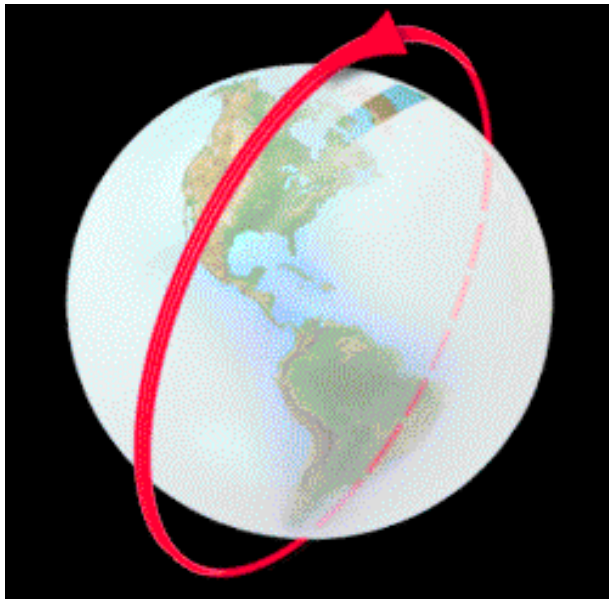
nella quale il cilindro è tangente ad un cerchio massimo che è formato dalla traccia al suolo del satellite

**Proiezione obliqua spaziale di Mercatore**

## Space Oblique Mercator (SOM)

Quindi, per poter confrontare le immagini di telerilevamento con le carte topografiche occorre prima proiettarle nello stesso sistema di riferimento di queste, vale a dire che le immagini devono essere *georeferenziate*





## Rettificazione o Georeferenziazione

Il problema è di proiettare geometricamente i punti (pixel) dell'immagine in un sistema noto di coordinate al suolo, cioè di:  
*stabilire la legge di corrispondenza tra coordinate immagine e coordinate geografiche.*

**Messa a registro:** corrispondenza da immagine a immagine nel sistema di coordinate orbitali del satellite

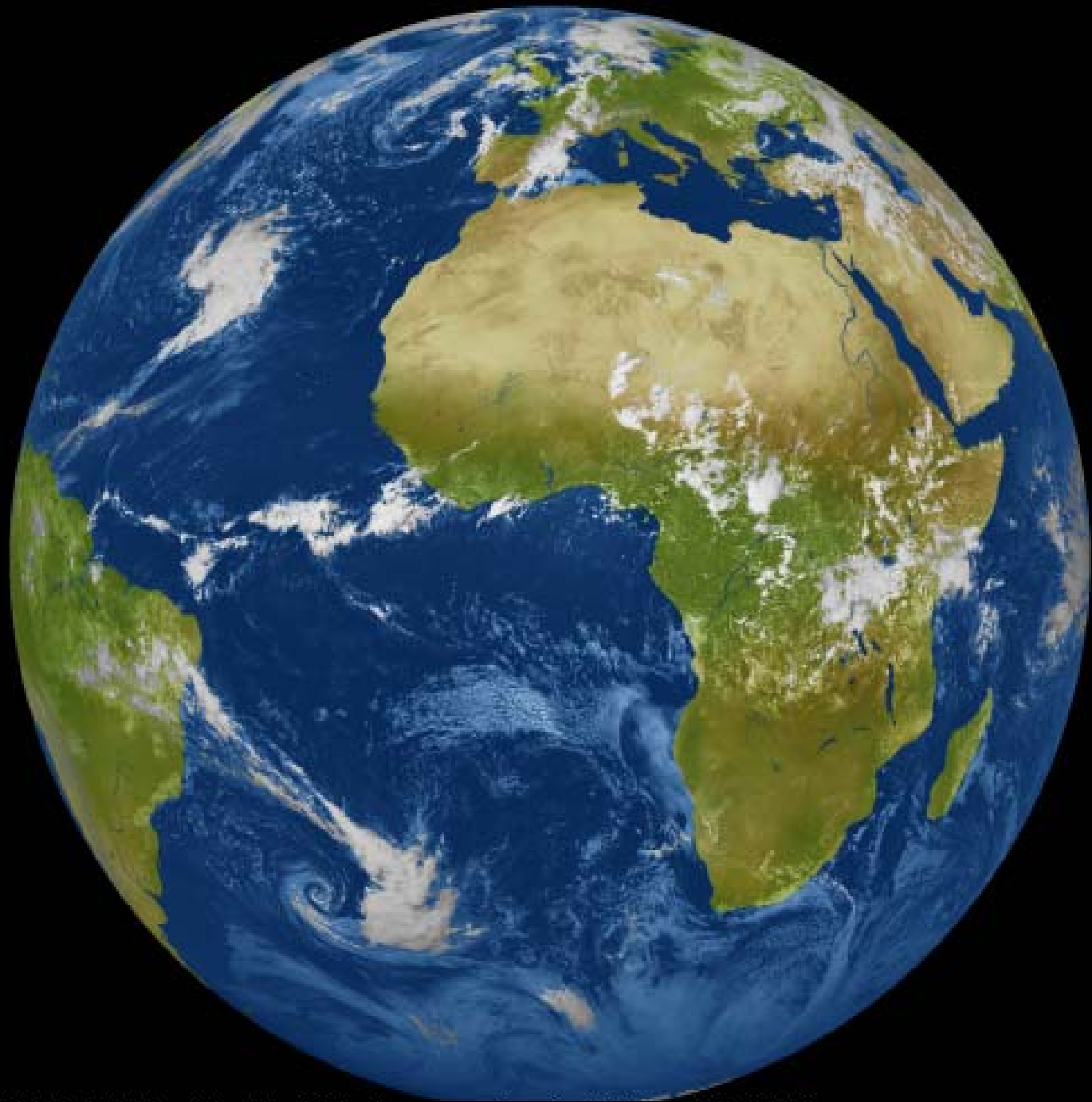
**Rettificazione o Georeferenziazione** : corrispondenza di un'immagine telerilevata con una carta topografica in una stessa proiezione ad una determinata scala (stesso ellissoide, stesso datum, stessa scala)

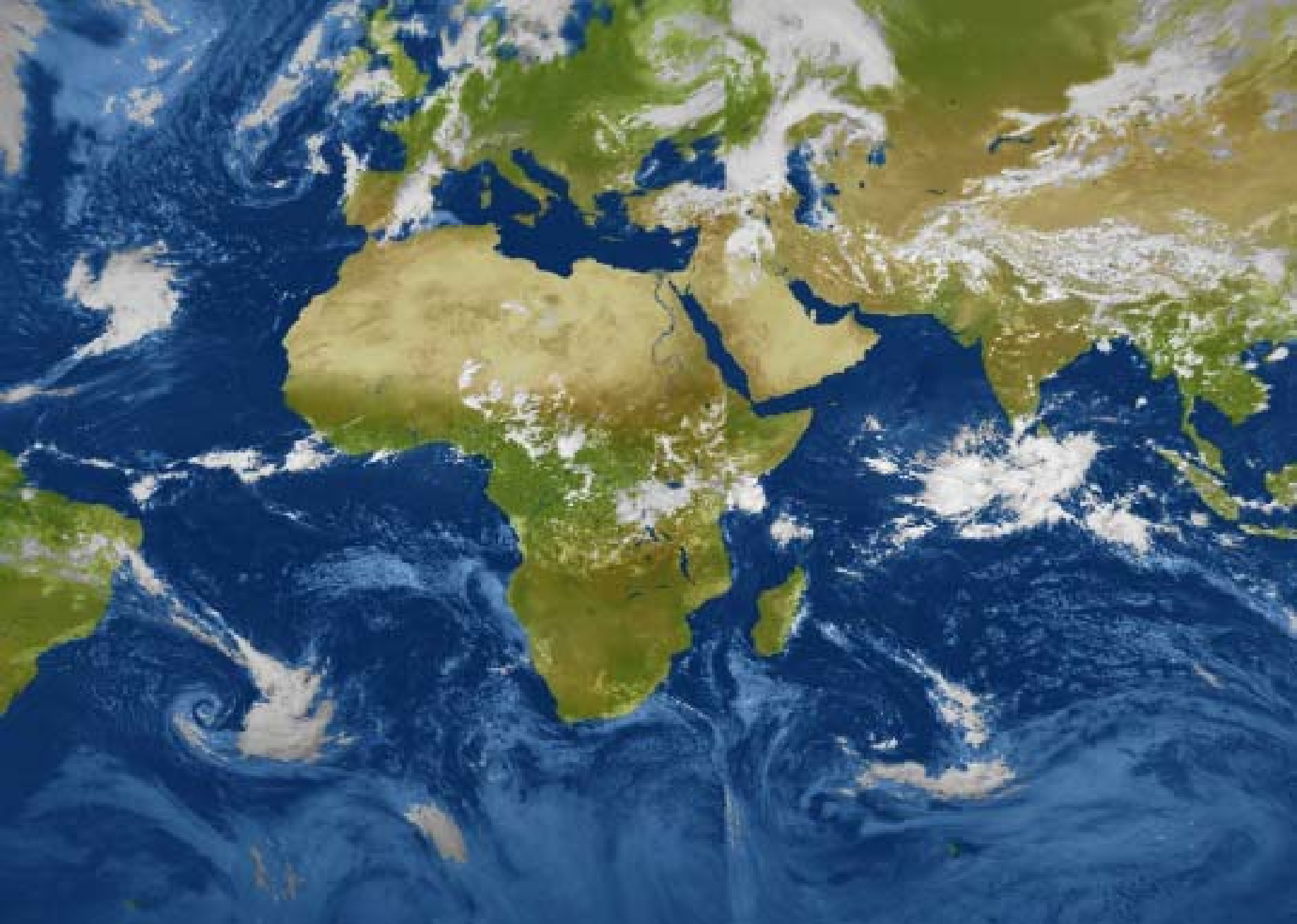
**ATT.:** la conferma della georeferenziazione si ha aprendo le "Proprietà" dell'immagine: il campo delle informazioni non deve essere vuoto, ma contenere i parametri geodetici (ellissoide, datum, scala)



# La Terra

Immagine della  
Terra rilevata da  
una distanza  
(altitudine) di  
35.800 Km  
dal satellite  
europeo  
geostazionario  
**METEOSAT-8**,  
costruito e  
lanciato dall'ESA e  
operato da  
EUMETSAT





02/05/2005 Copyright © 2005 EUMETSAT

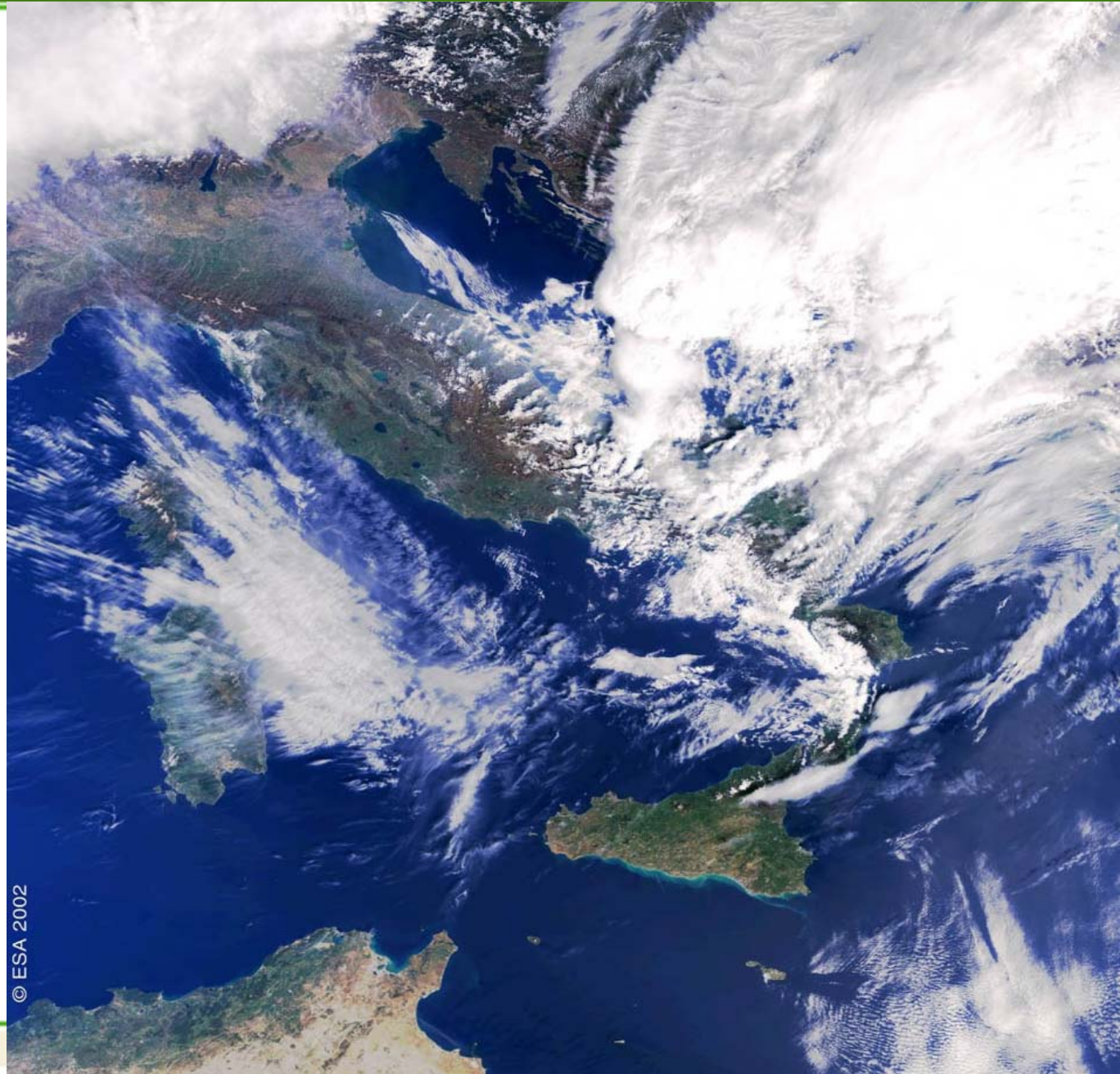




## L'Italia

La prima immagine  
generata dai dati  
rilevati il 21 marzo  
2002 dal  
radiometro **MERIS**  
imbarcato a bordo  
del satellite Envisat  
dell'ESA

© ESA 2002





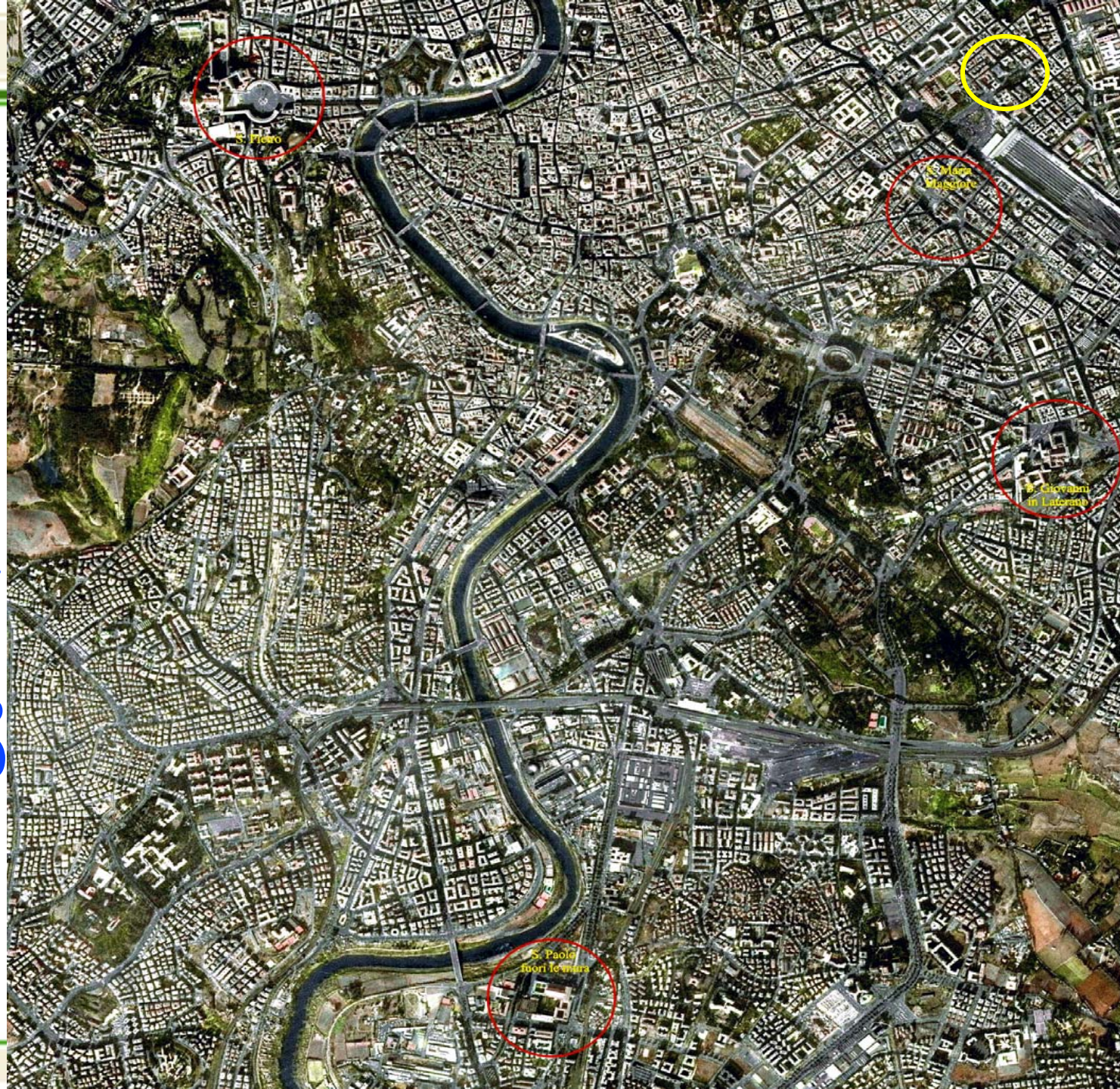
Scala regionale

# Roma

osservata dallo  
spazio

integrazione dei  
dati del sensore  
francese SPOT  
P (10 m)  
e di quello russo  
KVR-1000 (2 m)

(cortesia: ACS  
ed Eurimage)





**IKONOS-1 2000**  
**Risoluzione: 0.8 m**



**QUICKBIRD 2002**  
**Risoluzione 0.6 m**





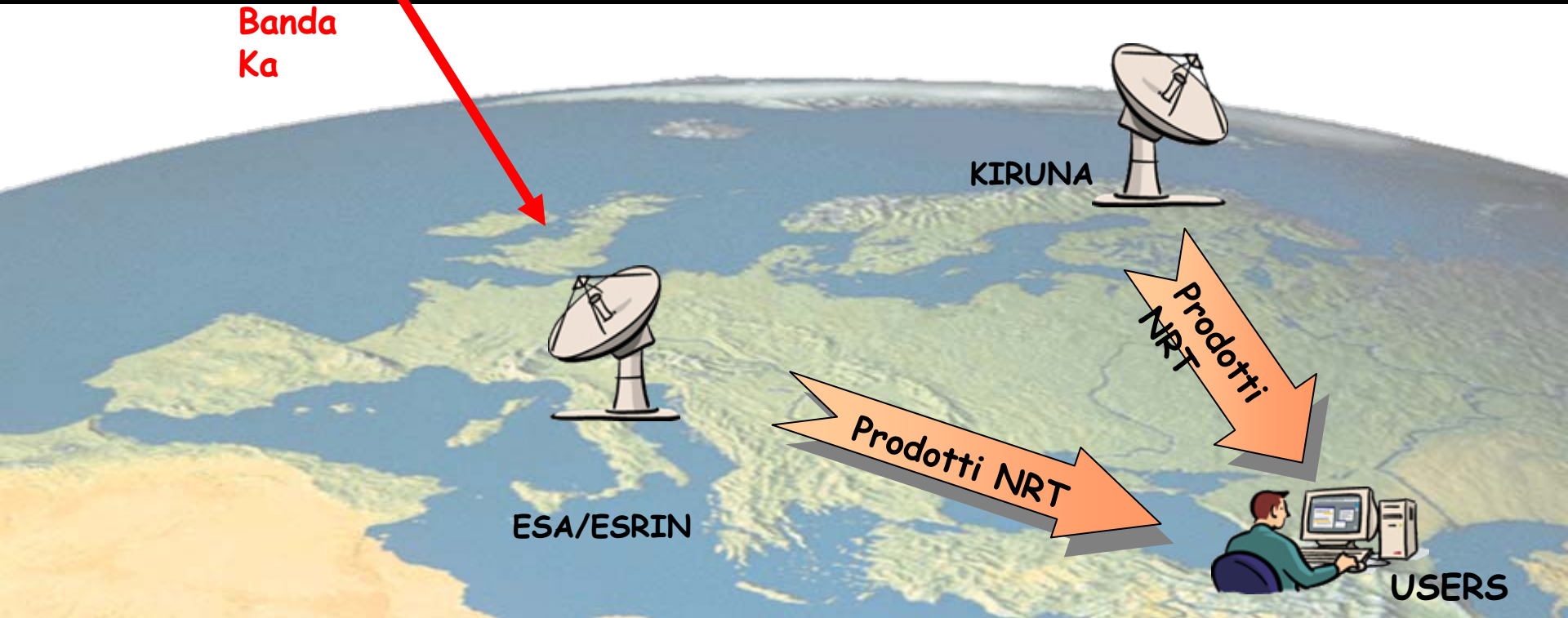
## Caratteristiche dell'osservazione della Terra dallo spazio attraverso i satelliti (telerilevamento)

- **visione sinottica** - l'osservazione dall'alto permette di osservare simultaneamente aree molto vaste (*ad es. l'intera provincia*)
- **visione dettagliata** - la tecnologia fornisce strumenti capaci di osservare con precisione oggetti relativamente piccoli, rispetto alla distanza (*ad es. case, strade, alberi*)
- **visione oggettiva e ripetitiva** - l'uso di strumenti calibrati e stabili nel tempo permette di costruire lunghe serie di dati omogenei e coerenti, per seguire l'evoluzione temporale e quindi identificare eventuali cambiamenti

# ENVISAT: il ponte con ARTEMIS



Banda Ka



KIRUNA

ESA/ESRIN

Prodotti NRT

Prodotti NRT

USERS



### Accesso per gli Utenti ai dati di Envisat via Internet

**esa** Earth Observations EOLI Online Multimodal

Login Logout Register ContactUs OdisseoHome CataloguePopulation EOLI Help

Catalogue Shop Cart Orders User Set ESA Sets

Collections: ERS / SAR, ERS / SWM, ERS / WSC, ERS / ALT

Query Mode: Advanced

Date: Orbit: Area: Frame:

User Defined Date: From: 21 Aug 1997 To: 26 Aug 1997

Center (Lat/Long): 43.55 5.84

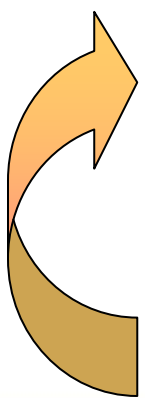
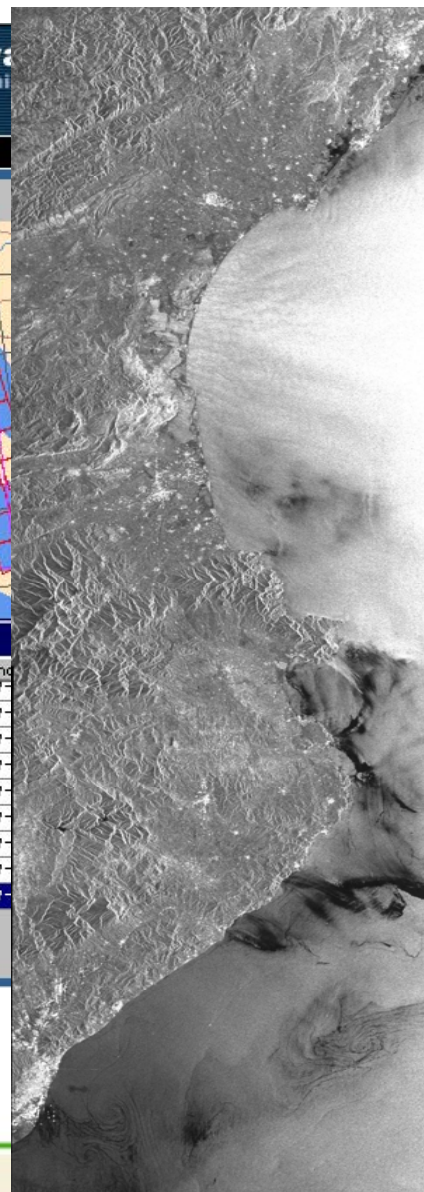
Extension (Lat/Long): 10.76 16.91

All Stations: Fairbanks, Alaska (USA), Alice Spring, Australia, Bangkok, Thailand

Product: Annotated Raw Data, Precision Image, Ellipsoid Geocoded Image

Submit Query

Id	Product	Mission	Sensor	Start Date	Start Time	End
69	RAW	ERS-2	SAR	1997-08-24	10:35:32.22	1997-
70	RAW	ERS-2	SAR	1997-08-24	10:35:47.31	1997-
71	RAW	ERS-2	SAR	1997-08-21	10:27:16.63	1997-
72	RAW	ERS-2	SAR	1997-08-21	10:27:31.72	1997-
73	RAW	ERS-2	SAR	1997-08-21	10:27:46.81	1997-
74	RAW	ERS-2	SAR	1997-08-21	10:28:01.90	1997-
75	RAW	ERS-2	SAR	1997-08-21	10:28:16.99	1997-
76	RAW	ERS-2	SAR	1997-08-21	10:28:32.08	1997-
77	RAW	ERS-2	SAR	1997-08-21	10:28:47.17	1997-



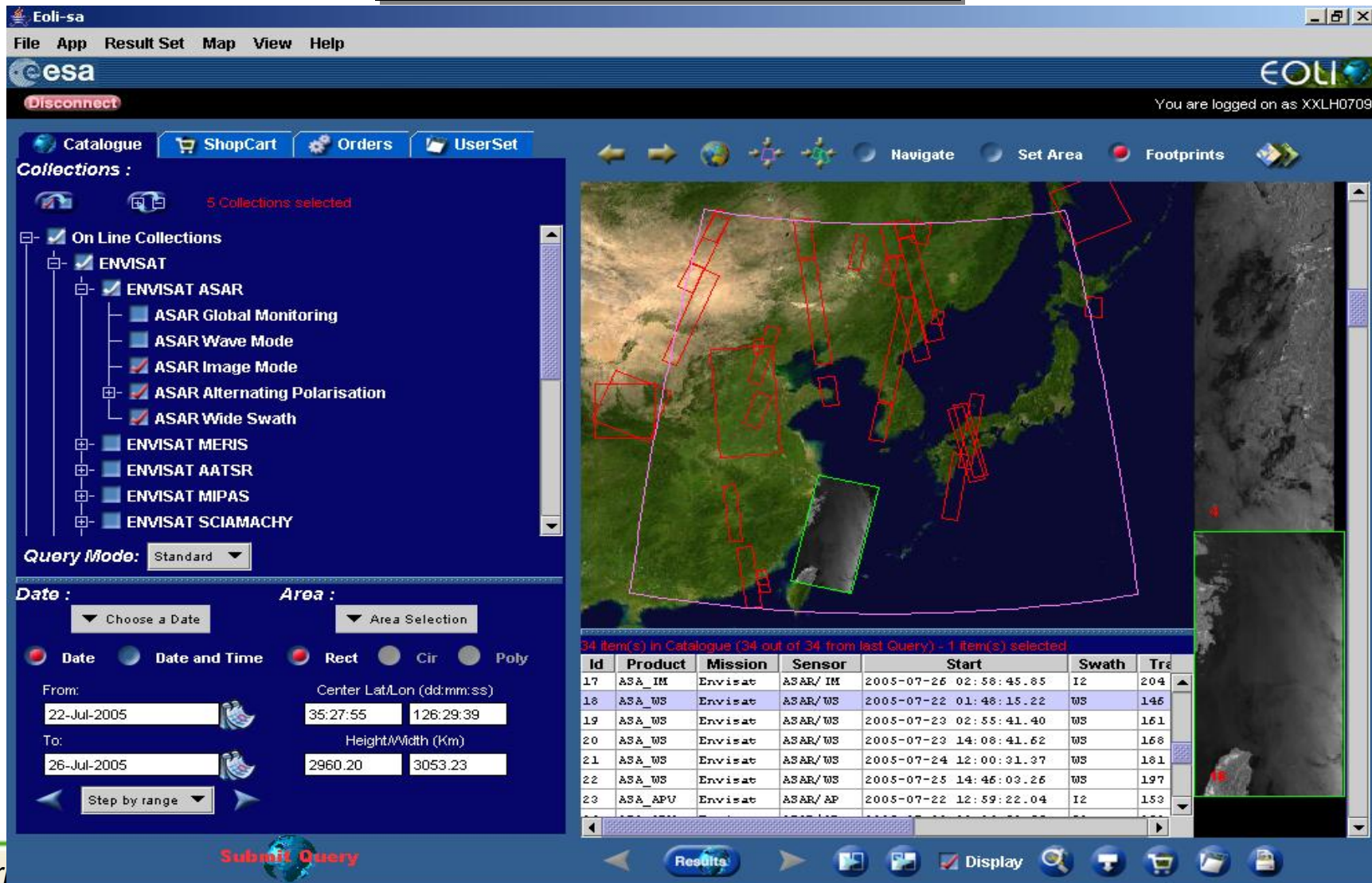
UTENTE



PRODOTTI

# EOLI-SA: Catalogo Multimissione in linea

Disponibile a <http://eoli.esa.int>



The screenshot displays the EOLI-SA web application interface. The top navigation bar includes 'File', 'App', 'Result Set', 'Map', 'View', and 'Help'. The ESA logo and 'EOLI' branding are visible in the top right, along with the user login 'XXLH0709'. The main interface is divided into a left sidebar for collection selection and a central map area.

**Left Sidebar (Collections):**

- On Line Collections
  - ENVISAT
    - ENVISAT ASAR
      - ASAR Global Monitoring
      - ASAR Wave Mode
      - ASAR Image Mode
      - ASAR Alternating Polarisation
      - ASAR Wide Swath
    - ENVISAT MERIS
    - ENVISAT AATSR
    - ENVISAT MIPAS
    - ENVISAT SCIAMACHY

**Search Parameters:**

- Query Mode: Standard
- Date: Choose a Date (From: 22-Jul-2005, To: 26-Jul-2005)
- Area: Area Selection (Center Lat/Lon: 35:27:55, 126:29:39; Height/Width: 2960.20, 3053.23)
- Shape: Rect (selected)

**Map Area:** A satellite map of Europe with several red rectangular footprints overlaid. A zoomed-in view of a footprint is shown on the right side of the map.

**Results Table:**

34 item(s) in Catalogue (34 out of 34 from last Query) - 1 item(s) selected

Id	Product	Mission	Sensor	Start	Swath	Tree
17	ASA_IM	Envisat	ASAR/IM	2005-07-26 02:58:45.85	I2	204
18	ASA_WS	Envisat	ASAR/WS	2005-07-22 01:48:15.22	WS	146
19	ASA_WS	Envisat	ASAR/WS	2005-07-23 02:55:41.40	WS	161
20	ASA_WS	Envisat	ASAR/WS	2005-07-23 14:08:41.62	WS	168
21	ASA_WS	Envisat	ASAR/WS	2005-07-24 12:00:31.37	WS	181
22	ASA_WS	Envisat	ASAR/WS	2005-07-25 14:46:03.26	WS	197
23	ASA_APU	Envisat	ASAR/AP	2005-07-22 12:59:22.04	I2	153

The bottom of the interface features a 'Submit Query' button and a 'Results' section with navigation icons for 'Display', 'Zoom', and other map controls.



## Sistemi spaziali per l'Osservazione della Terra utili per i sistemi d'informazione territoriale

- **Meteorologia**
  - geostazionari METEOSAT ogni 15 min
  - in orbita polare METOP, NOAA ogni 6-8 ore
  - risoluzione al suolo: da 5 km a 900 m
- **Risorse terrestri** - Landsat, SPOT, ERS, IRS, Radarsat, Envisat,  
frequenza passaggi: da giorni a settimane  
risoluzione al suolo: da 150 m a 5 m
- **Altissima risoluzione** - IKONOS, QuickBird, KOMPSAT, GeoEye,...  
frequenza passaggi: ogni 2 o 3 giorni  
risoluzione al suolo: da 4 m a 40 cm



## Elaborazione delle Immagini

### Pretrattamento

Correzioni radiometriche, correzioni geometriche (rettificazione)

### Miglioramento

Aumento del contrasto, stiramento lineare, filtraggi

### Trasformazione

Rapporti spettrali, analisi delle componenti principali

### Classificazione

Automatica, pilotata o assistita



## Elaborazione delle Immagini

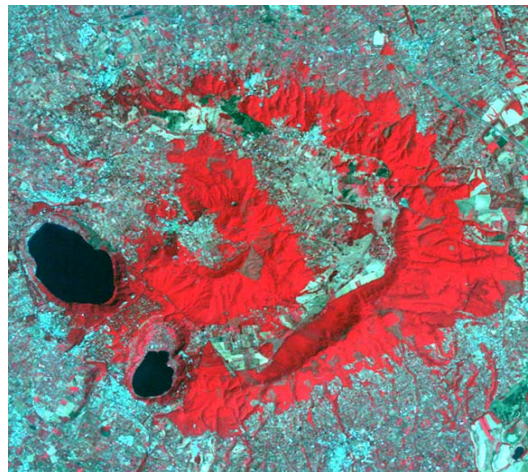
### Pretrattamento

#### Correzioni radiometriche

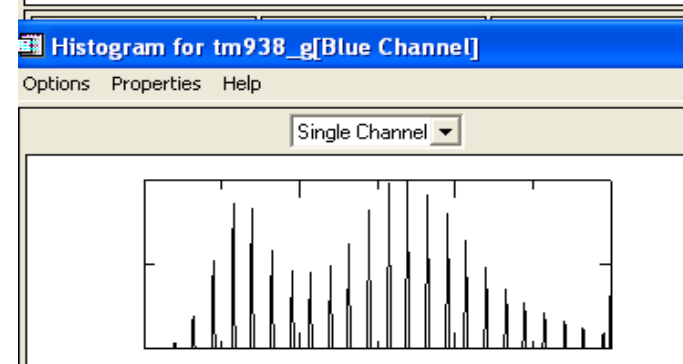
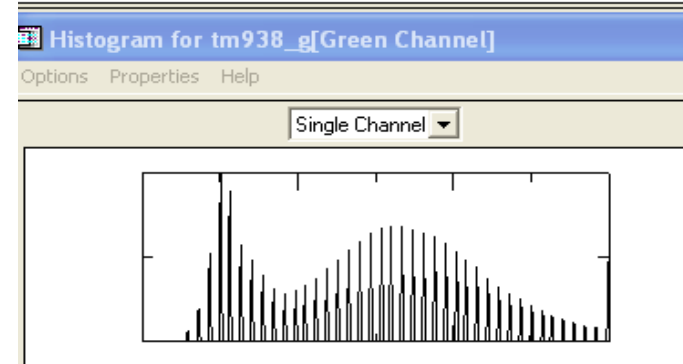
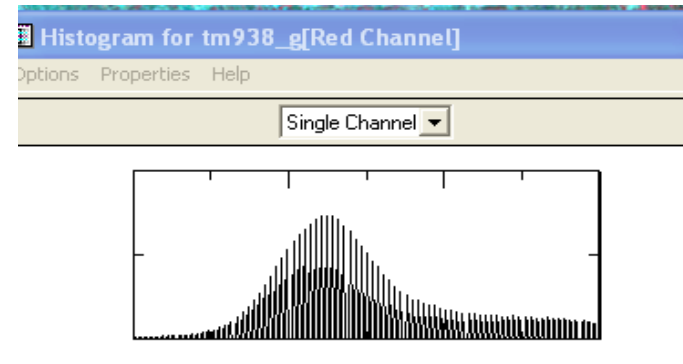
Operazioni per correggere le distorsioni radiometriche causate dalle piattaforme orbitanti e dai sensori. Ad esempio, sono necessarie correzioni radiometriche per correggere variazioni di illuminazione, condizioni atmosferiche differenti, "rumori", ecc. In genere, si eseguono calibrando i dati con altri dati rilevati da strumenti di controllo.

#### Correzioni geometriche (rettificazione)

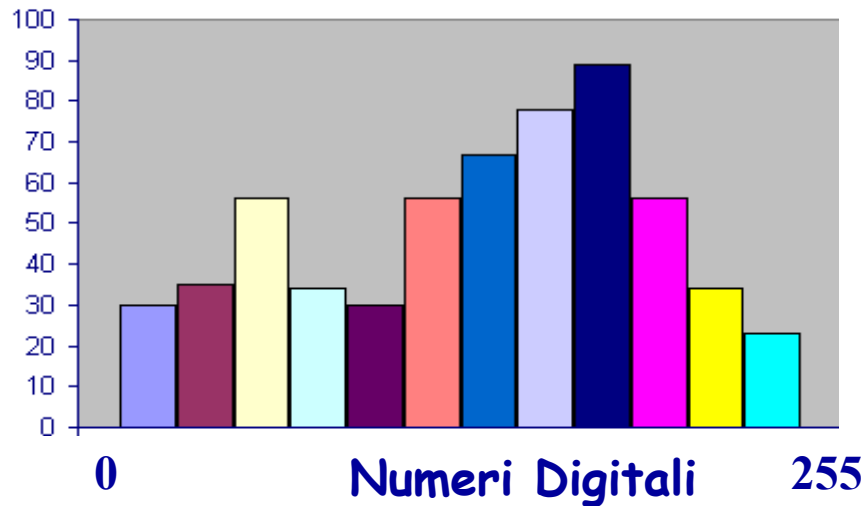
Necessarie per correggere distorsioni dovute alla prospettiva del sensore, alla oscillazione dello specchio rotante, al movimento del satellite nello spazio, all'altitudine, alla velocità orbitale, alla morfologia del terreno, alla curvatura e rotazione della Terra, ecc.



## Analisi di un Istogramma



Min: 0	Std Dev: 58.41	Level:
Max: 255	Median: 134	Count:
Bins Used: 26	Pixels: 405523	Percent:
Mean: 126.14		Mean:
		Std Dev:

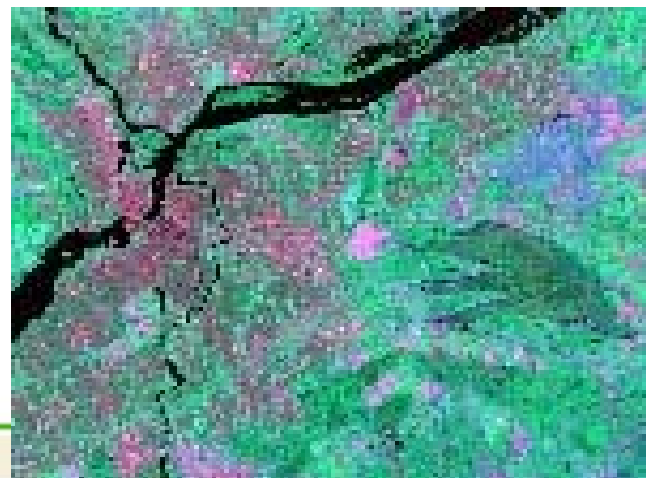
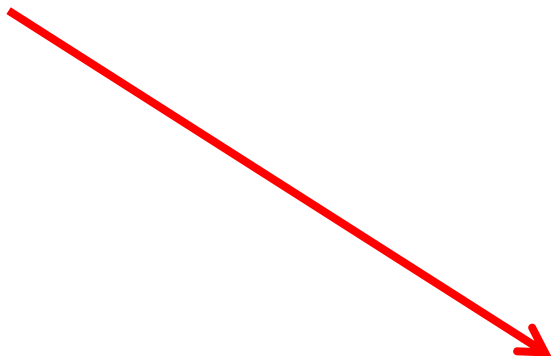
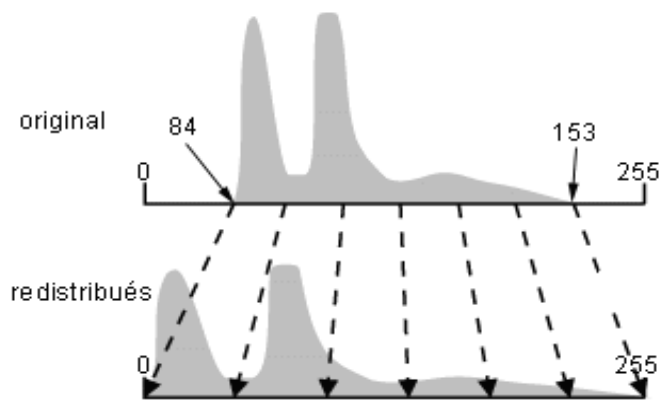


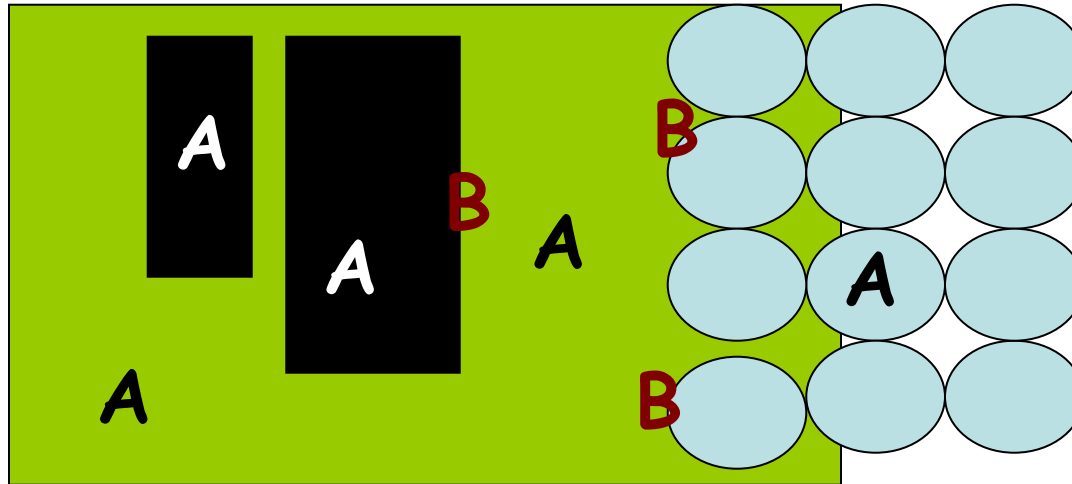
L'analisi dell'istogramma fornisce, per ogni valore di Numero Digitale (DN), il numero di pixel che hanno quel valore di DN nell'immagine.



# Uso dell'Istogramma

*Stiramento lineare*  
*Linear Stretching*

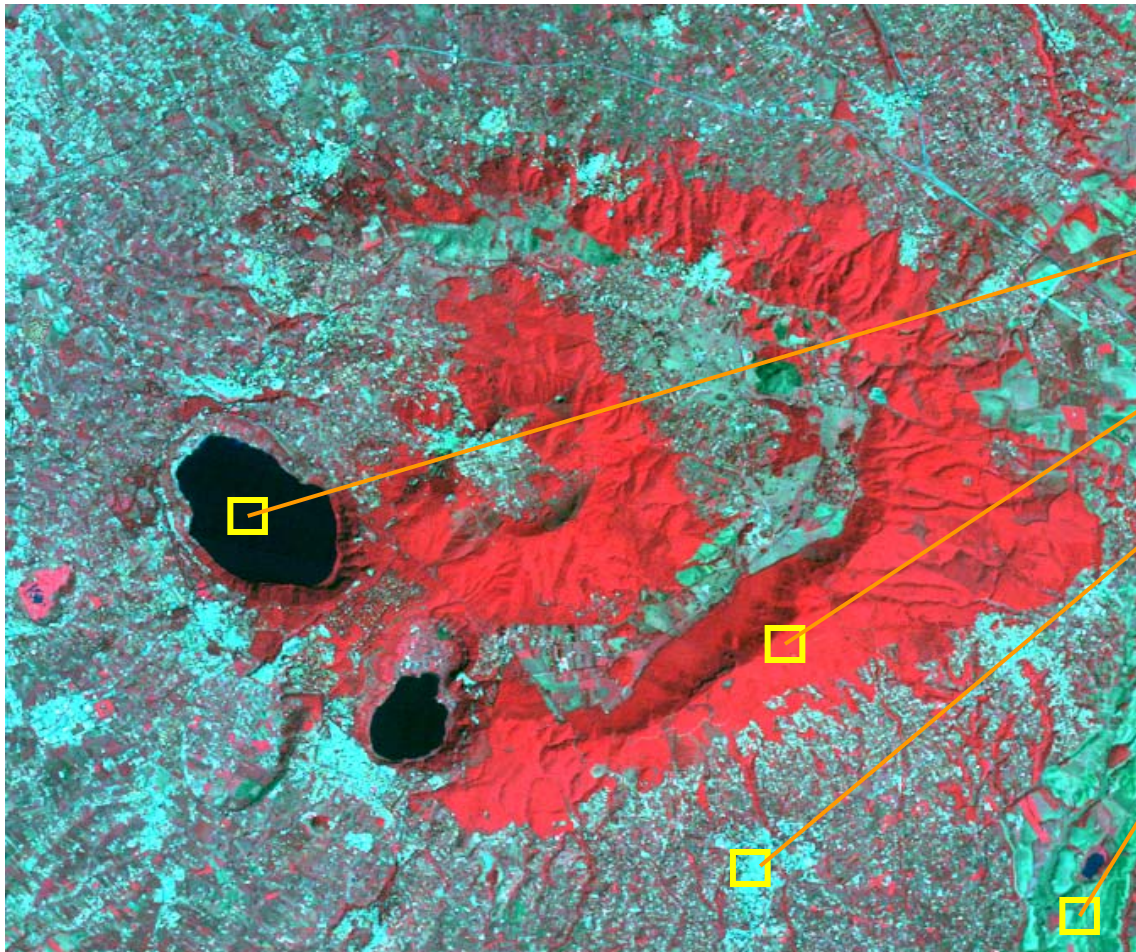




### Natura dei Pixel

- A - Pixel puri** - Il DN esprime il valore dell'energia irradiata da un solo tipo di superficie, quindi i valori dei DN dei pixel si addensano all'interno dello stesso picco (valori simili di radianza)
- B - Pixel misti o spuri** - Il DN esprime il valor medio dell'energia irradiata da 2 o più superficie contigue, poiché ogni pixel può includere più classi adiacenti.  
In genere, vengono riassegnati statisticamente alle classi di pixel tra loro adiacenti.

# Interpretazione dei differenti tipi di "oggetti" basandosi sull'analisi di insiemi di pixel puri



Acqua



Foresta



Area urbana



Campi



## Classificazione

Classificare un'immagine significa ripartirla in un numero adeguato di insiemi tra loro disgiunti, tali che la loro unione dia l'immagine intera. Ogni pixel, pertanto, apparterrà ad una sola classe (eventualmente alla classe "non classificato").

### Classificazione "Automatica (Unsupervised)"

L'algoritmo raggruppa automaticamente i pixel in insiemi (Clusters) solo in base ai valori della loro radianza e li raccoglie in classi distinte per mezzo delle firme spettrali.

I pixel puri sono assegnati per primi, quelli misti o spuri sono assegnati con metodo statistico alle classi adiacenti.

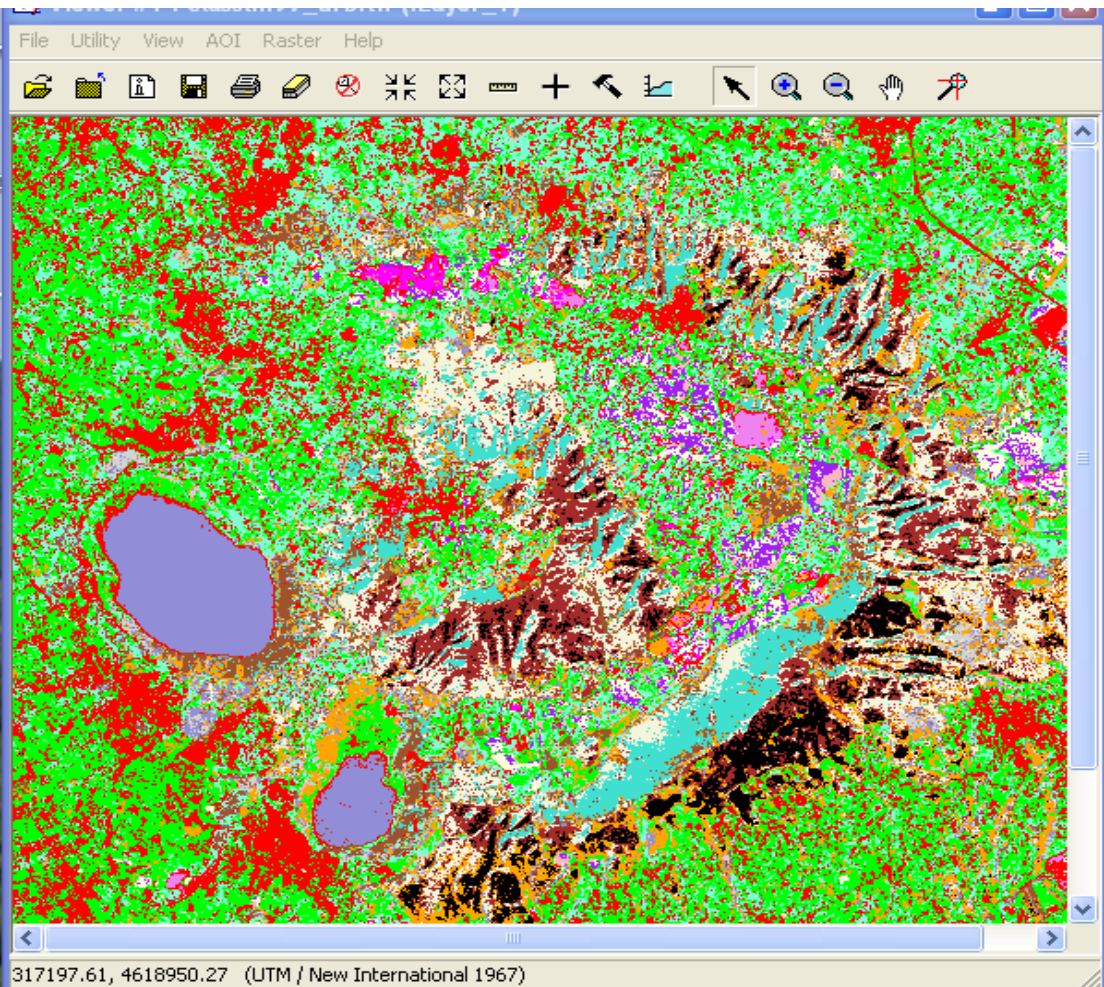
### Classificazione "Pilotata o assistita (Supervised)"

La procedura fa uso di aree campione (*training set*), scelte tra aree omogenee e conosciute, per classificare tutta la scena. I valori spettrali di ogni pixel sono poi confrontati con quelli delle categorie scelte, i cui valori siano già noti da prove di laboratorio, da visite sul terreno o da elaborazioni precedenti, ed assegnati ad una di esse.

## Tappe per la classificazione pilotata di un'immagine

- Analizzare l'istogramma dell'immagine per ciascuna banda spettrale  $\lambda$
- Identificare i picchi e le loro caratteristiche
- Assegnare ad ogni picco tutti i pixel con valori del DN che siano entro l'intervallo:  $(DN - 2\sigma) \leq DN \leq (DN + 2\sigma)$   
( $\sigma$  deviazione standard)
- Definire un "gruppo" come l'insieme di quei pixel il cui DN abbia un valore nell'intervallo  $(DN - 2\sigma) \leq DN \leq (DN + 2\sigma)$
- Associare un tipo di "oggetto" ad ogni gruppo, facendo uso di aree campione (test area) e dei valori dei DN centrali per oggetti noti (vale a dire delle loro *firme spettrali*)

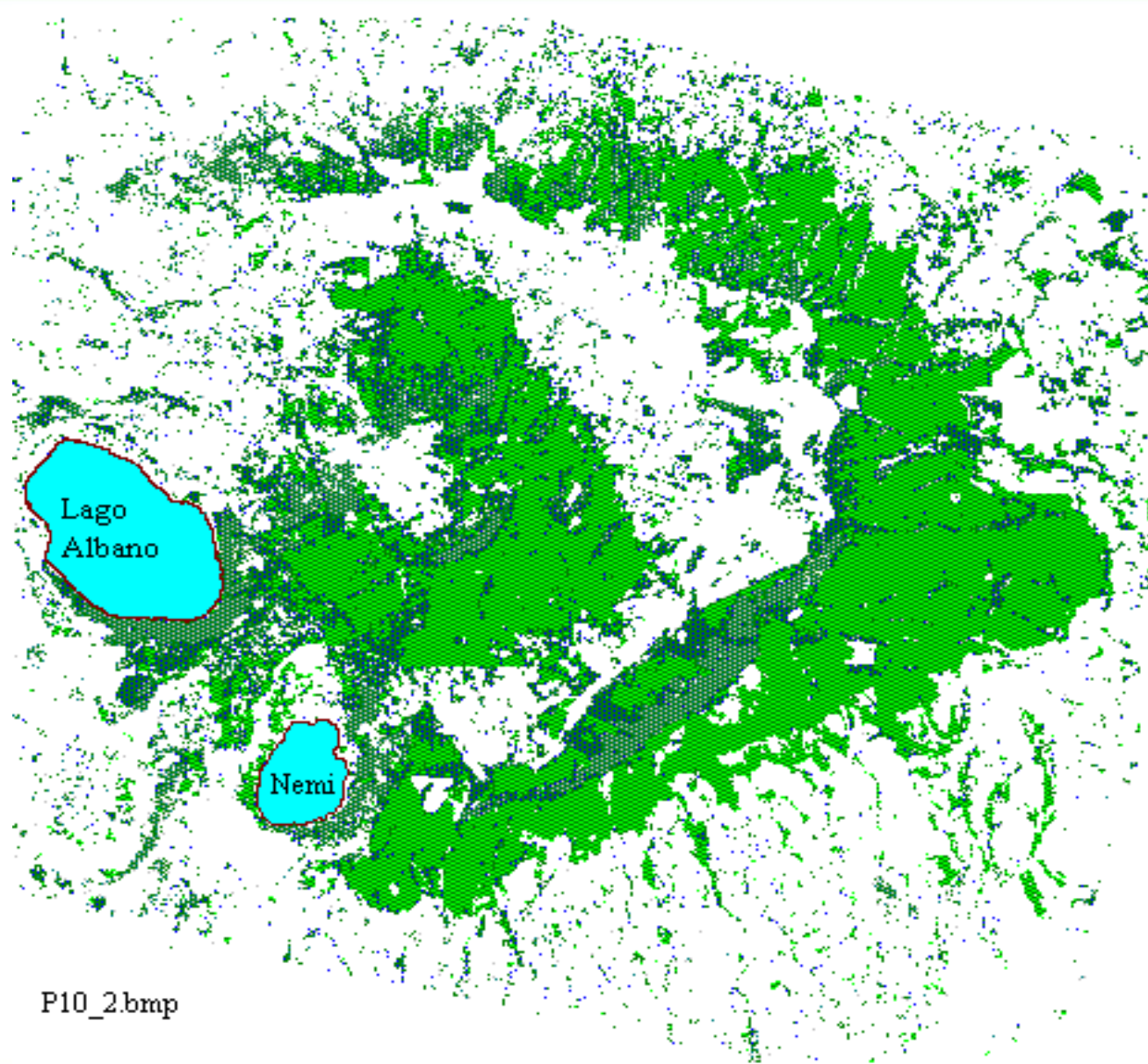
# Risultato di una classificazione



0		0	0
1		0	0
2		1	0
3		0	1
4	0.498039	1	0.831373
5	0.627451	0.321569	0.176471
6	0.827451	0.827451	0.827451
7	0.960784	0.960784	0.862745
8	0.933333	0.509804	0.933333
9	0.627451	0.12549	0.941176
10	1	0.713725	0.756863
11	0.25098	0.878431	0.815686
12	1	0.647059	0
13	0.647059	0.164706	0.164706
14	0	0	0
15	1	1	0.878431
16	1	0.647059	0
17	0.568609	0.555122	0.844878
18	1	0.647059	0
19	0.627451	0.321569	0.176471
20	1	0	0
21	0.568609	0.555122	0.844878



# Classificazione di Foreste e Boschi

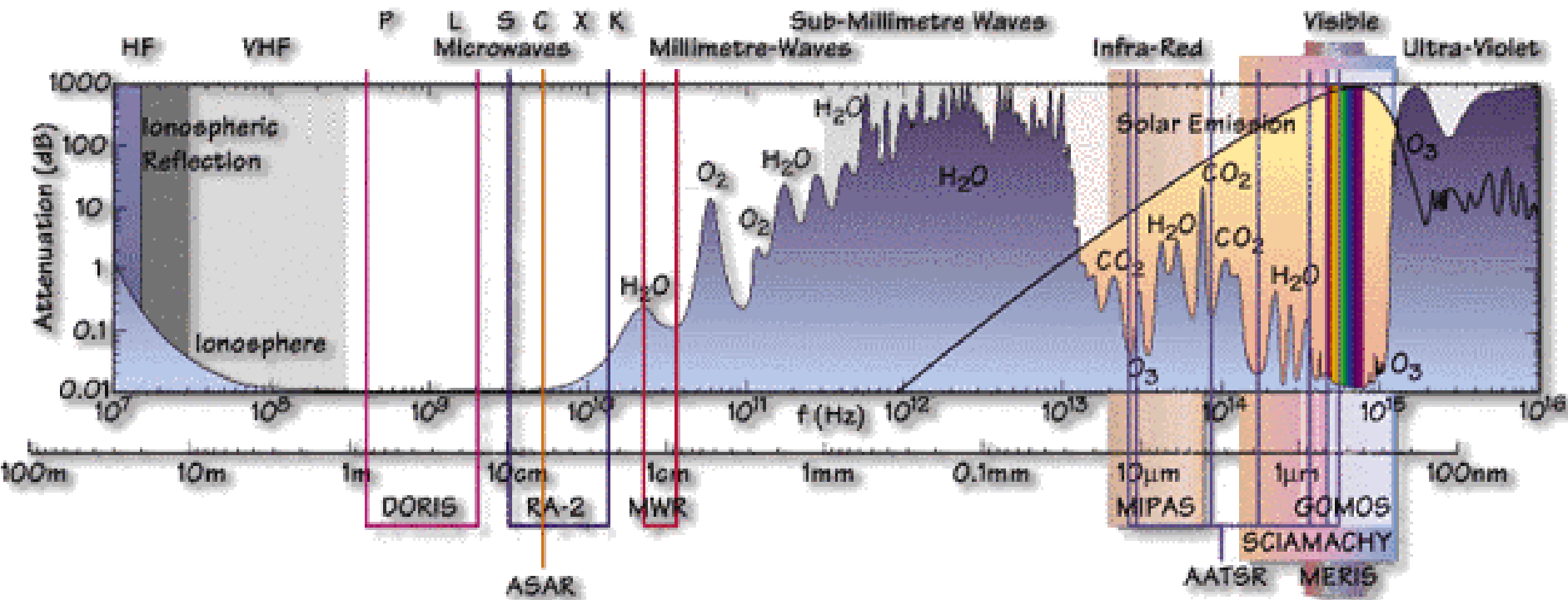


Carta Tematica

F10\_2.bmp



# Copertura spettrale dei sensori di Envisat





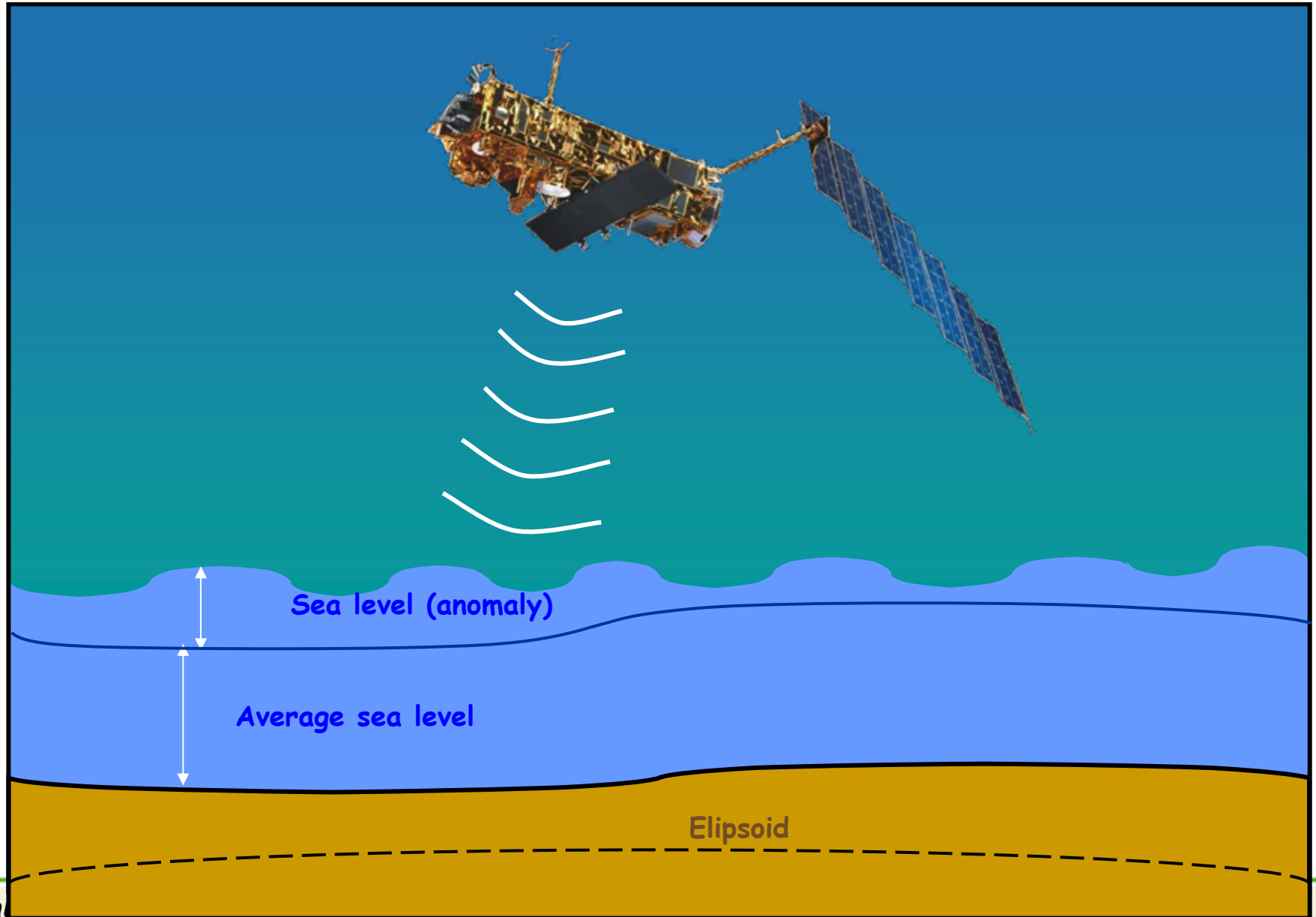
# Le microonde attraversano l'atmosfera senza essere assorbite

La lunghezza d'onda delle microonde (mm, cm, dm, m) è assai superiore alle dimensioni delle molecole dei gas atmosferici, delle particelle di materia sospesa in atmosfera (aerosoli, fumi, inquinanti, sal marino) e generalmente delle idrometeore (gocce di pioggia, cristalli di ghiaccio).

Di conseguenza, l'atmosfera costituisce una "finestra trasparente" alle microonde, le quali la attraversano senza venirne assorbite. Immagini del territorio rilevate da un radar non mostrano nubi né idrometeore, quindi il telerilevamento nelle microonde è "ogni tempo" e osserva il territorio anche se il cielo è totalmente coperto, contrariamente a quanto accade nell'ottico.

Soltanto nel caso delle lunghezze d'onda più corte (mm o cm) e di forti temporali estivi o tropicali con gocce grosse, queste ultime operano una dispersione dell'energia degli impulsi tanto più intensa quanto più le dimensioni delle gocce si avvicinano alla lunghezza d'onda: si ha allora una *doppia attenuazione* dell'energia radar che attraversa la nube (sia l'impulso iniziale sia l'eco di ritorno), che si rivela nell'immagine radar come un'ombra scura, ma che comunque lascia vedere il territorio.

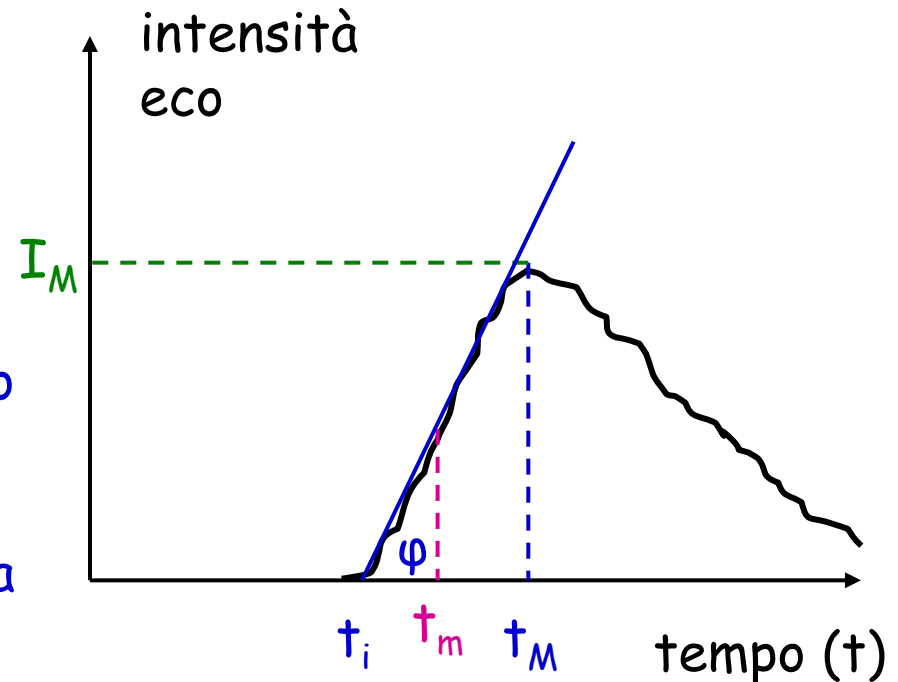
# Il Radar Altimetro "illumina" con impulsi elettromagnetici per misurare ...



# ... parametri oceanografici locali su scala globale

Dall'analisi dell'eco di ritorno di un impulso altimetrico si possono dedurre i parametri seguenti:

- *altezza media del mare* (dal tempo medio  $t_M$  di ritorno dell'eco)
- *altezza media delle onde* (dall'angolo  $\varphi$  della pendenza, cioè dal ritardo tra gli arrivi delle eco di cresta  $t_i$  e di gola dell'onda  $t_m$ :  $\varphi$  piccolo  $\rightarrow$  onda alta,  $\varphi$  grande  $\rightarrow$  onda bassa)
- *intensità del vento sulla superficie marina* (dall'intensità di picco del segnale, inversamente proporzionale all'increspatura [onde capillari] dovuta al vento)



Inoltre:

- la coda del segnale dà informazioni sull'assetto del satellite
- l'altezza media del mare su aree vaste o globali dà la *topografia marina*, dalla quale si deduce la *circolazione marina* e le caratteristiche delle *correnti marine* (così come si fa con le isoipse bariche in atmosfera).