

# Bocconi

Fibonacci (25)	= 75,025	[242,785 steps]
Fibonacci (26)	= 121,393	[392,835 steps]
Fibonacci (27)	= 197,418	[635,621 steps]
Fibonacci (28)	= 318,111	[1,028,457 steps]
Fibonacci (29)	= 515,229	[1,664,079 steps]
Fibonacci (30)	= 832,040	[2,692,537 steps]
Fibonacci (31)	= 1,346,269	[4,356,617 steps]
Fibonacci (32)	= 2,178,309	[7,049,155 steps]
Fibonacci (33)	= 3,524,578	[11,405,773 steps]
Fibonacci (34)	= 5,702,887	[18,454,929 steps]
Fibonacci (35)	= 9,227,465	[29,860,703 steps]
Fibonacci (36)	= 14,930,352	[48,315,633 steps]
Fibonacci (37)	= 24,157,817	[78,176,337 steps]
Fibonacci (38)	= 39,088,169	[126,491,971 steps]

$$F(n) := \begin{cases} 1 & n=1 \\ 1 & n=2 \\ F(n-1) + F(n-2) & n \geq 3 \end{cases}$$

# MATEpristem

I corsi "Matematica e... " a Urbino

Dipartimento di Economia,  
Società, Politica  
dell'Università di Urbino

## Matematica e Territorio

Dalla cartografia al GPS  
Telerilevamento ed osservazione della terra  
Il programma Copernicus

Urbino, 13 gennaio 2017

Davide De Marchi



# Di cosa parleremo:

**Chi sono, cosa faccio**

**La Terra, rappresentarla per comprenderla e proteggerla**

**Georeferenziare: sistemi di coordinate e trasformazioni**

**Introduzione al Telerilevamento: dai piccioni ai rilievi laser**

**Dal rilievo laser alla simulazione 3D**

**Le formule matematiche dietro il funzionamento dei GPS**

**Il programma Copernicus**

# Chi sono, cosa faccio

---

- ▶ Sono nato e vivo a Urbania
- ▶ Laureato in informatica a Pisa nel 1988
- ▶ Dal 1993 mi occupo di sviluppo di software nel settore della cartografia digitale e dei GIS
  - ▶ Dipendente gruppo ENI
  - ▶ Docente a contratto all'Università di Urbino fino al 2007
  - ▶ Socio fondatore di Terra Nova s.r.l.
  - ▶ Dipendente J.R.C. Commissione Europea - Ispra - Varese da luglio 2012



# EUROPEAN COMMISSION

DIRECTORATE-GENERAL

## Joint Research Centre



▶ Chi sono, cosa faccio

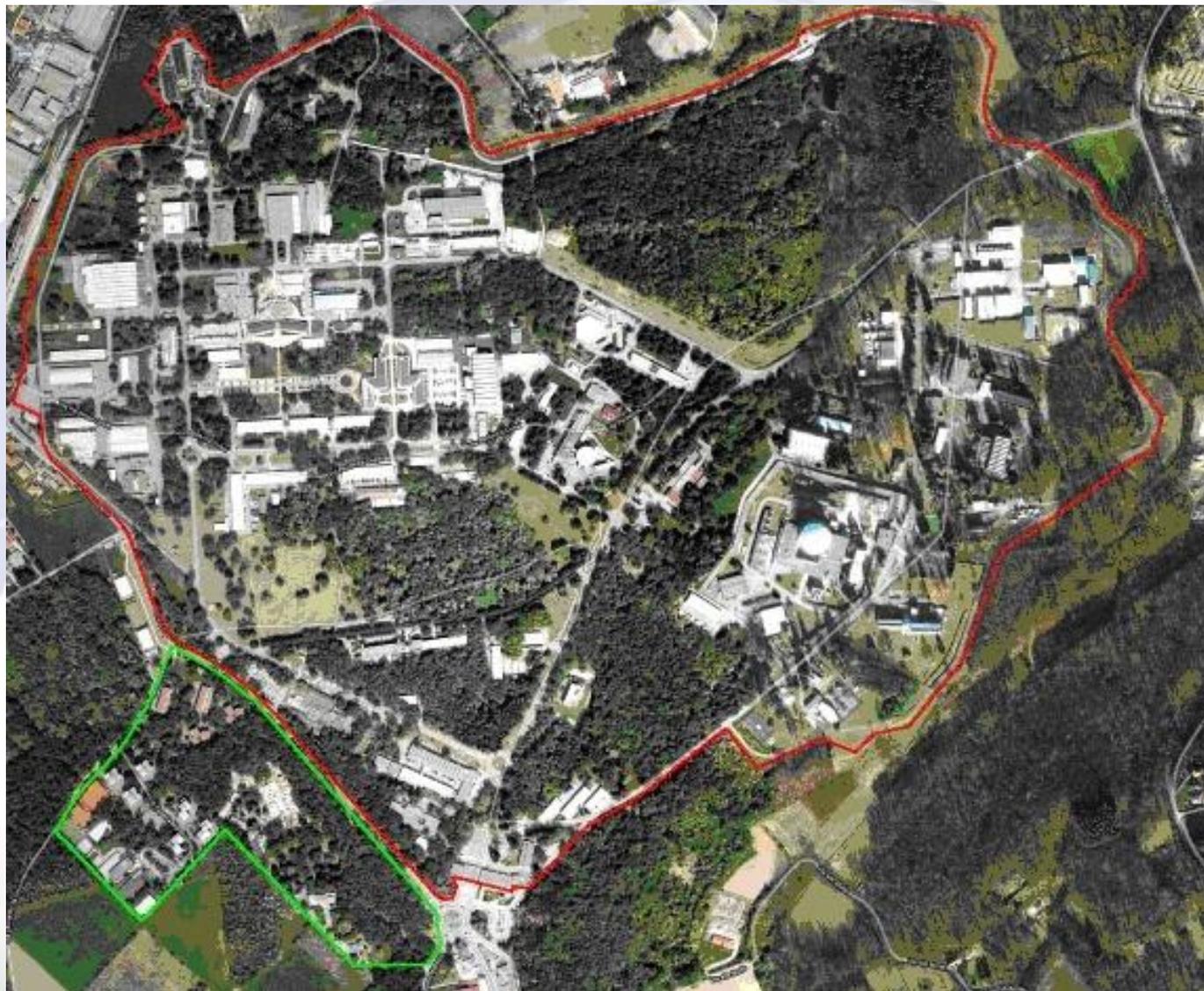
# The Joint Research Centre at a glance

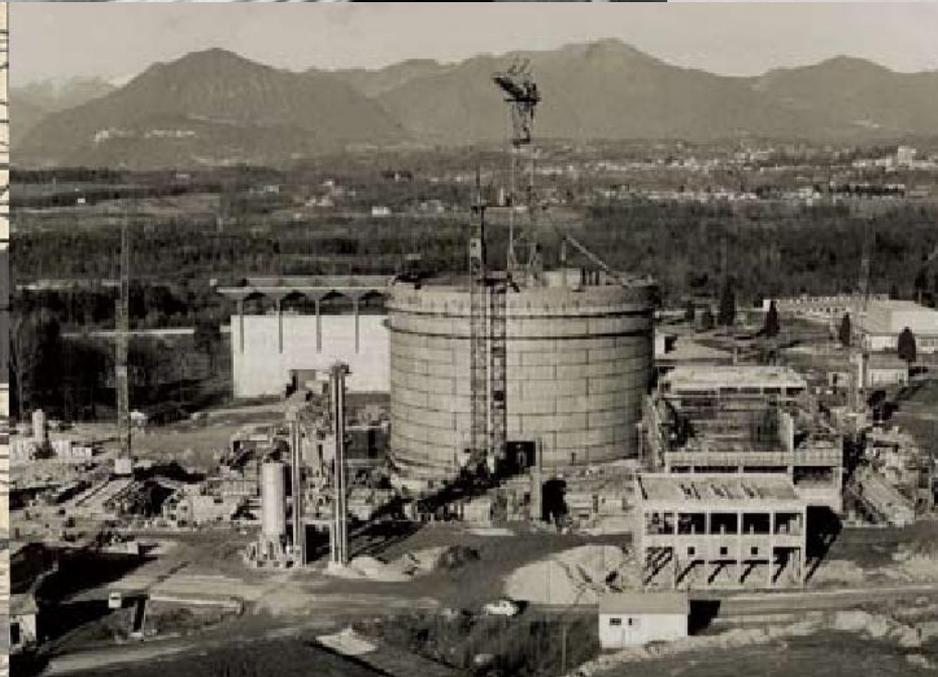
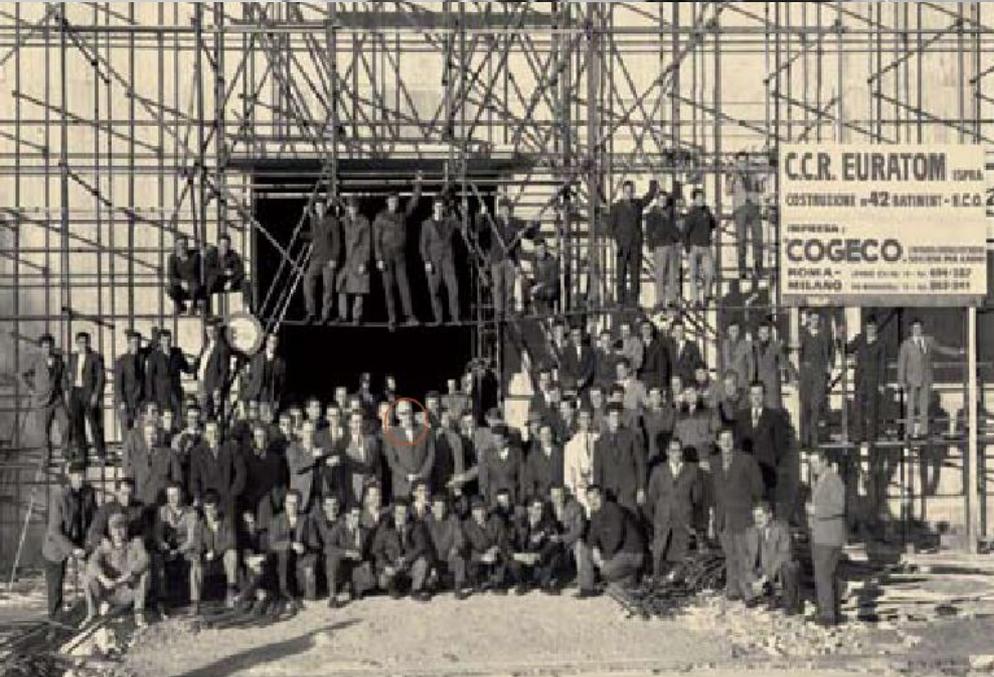
## 3000 staff

Almost 75% are scientists and researchers.  
Headquarters in Brussels and research facilities located in 5 Member States.









JOII  
Com

European Commission

European Commission > JRC > IES > DERD Unit > C

Bluemart

**About CID Portal**  
The CID Portal is a Web portal to search and access Remote Sensing data and derived products hosted at JRC. Search and preview is open to the public. Access to the image data via a variety of online services is limited to authorized and registered users.  
Staff of institutions of the European Union can be granted access to most of the archive data after registration. Please [see here for details](#).

Sample image from the archive:



**Search**

Clear all

Platform

Acquisition d

Pixel size [m]

Image type

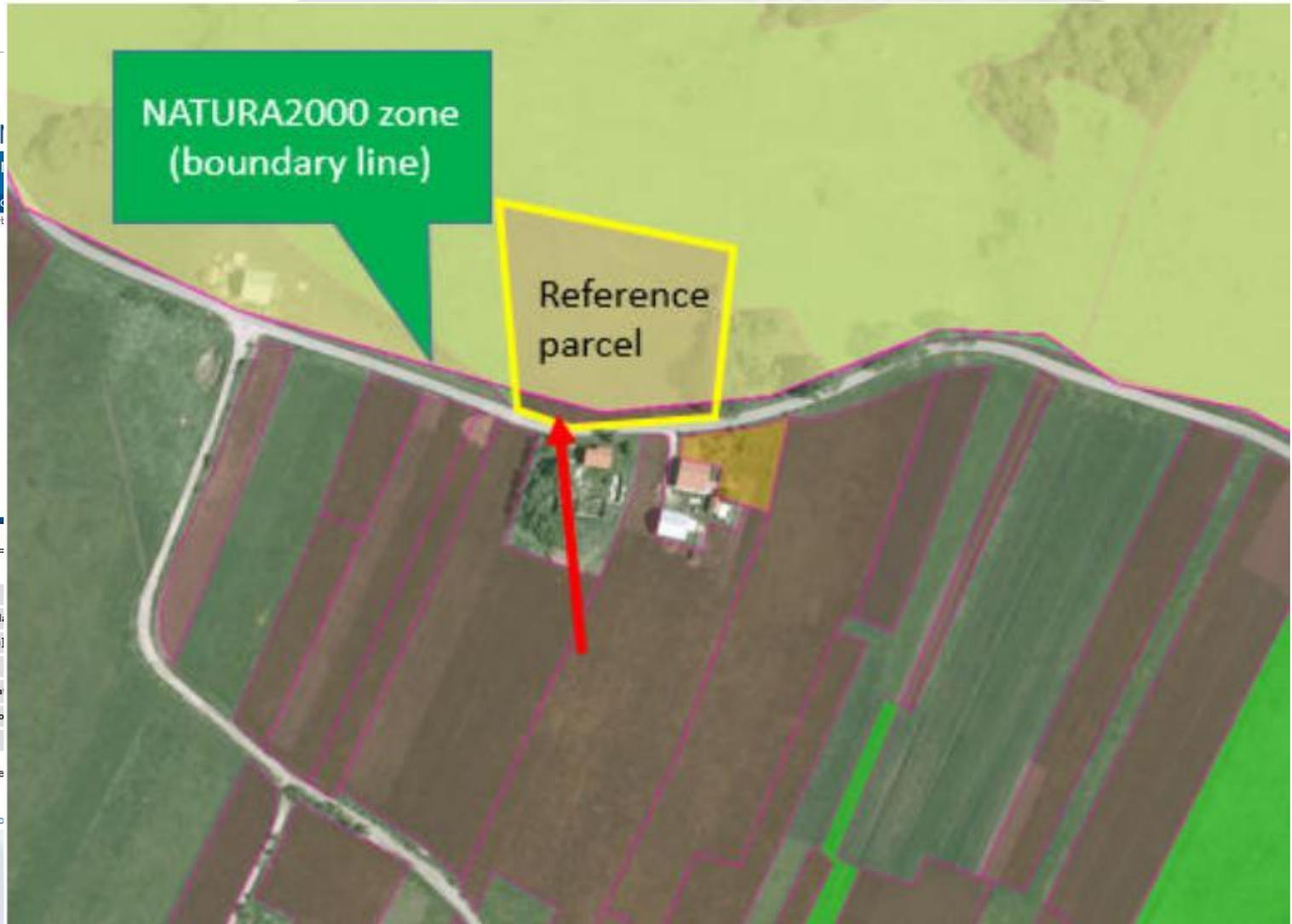
Image exten

Image versio

Country

Include  see

> Informatio





maggio 2016

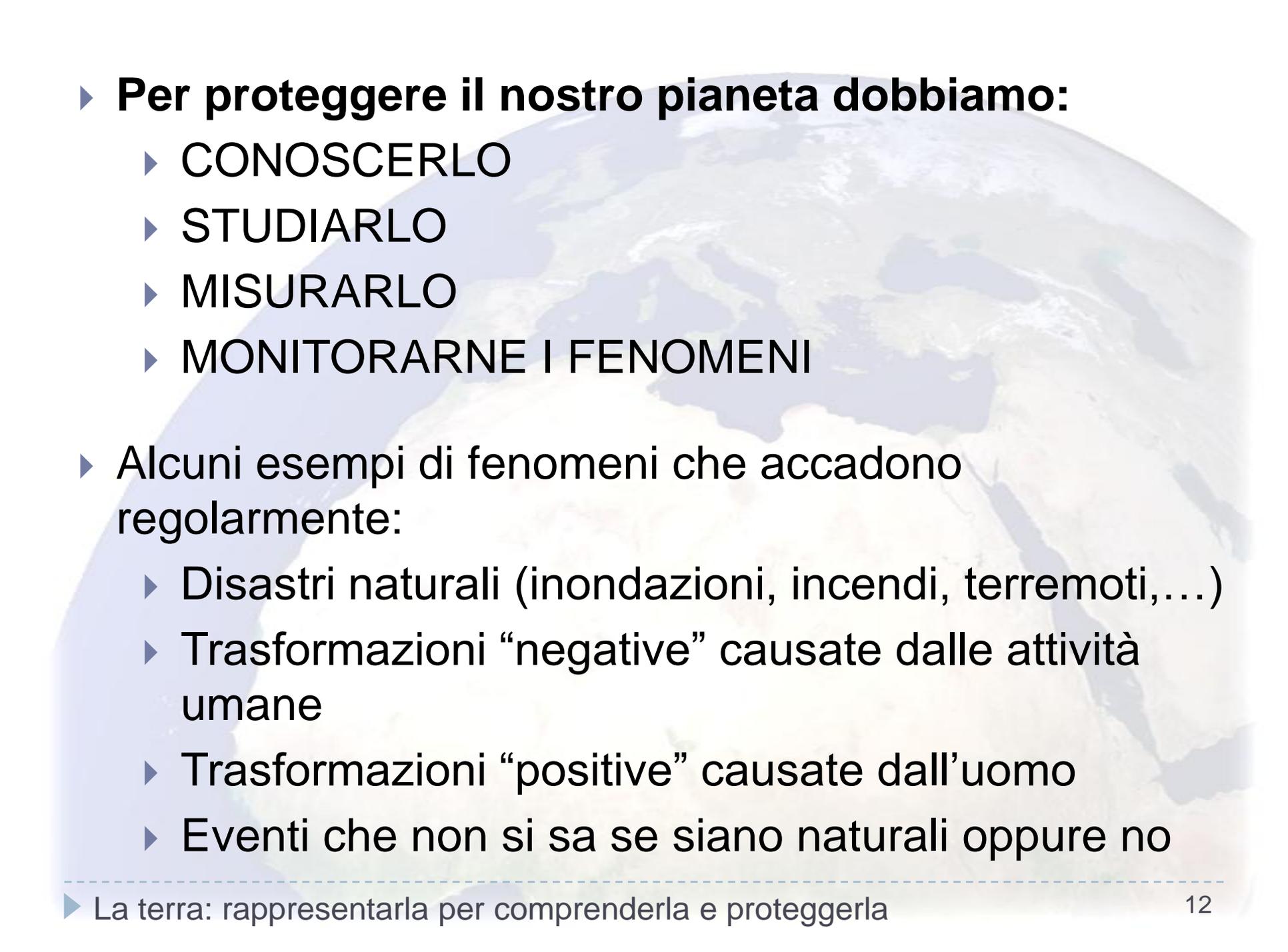
Prossimo nel 2018



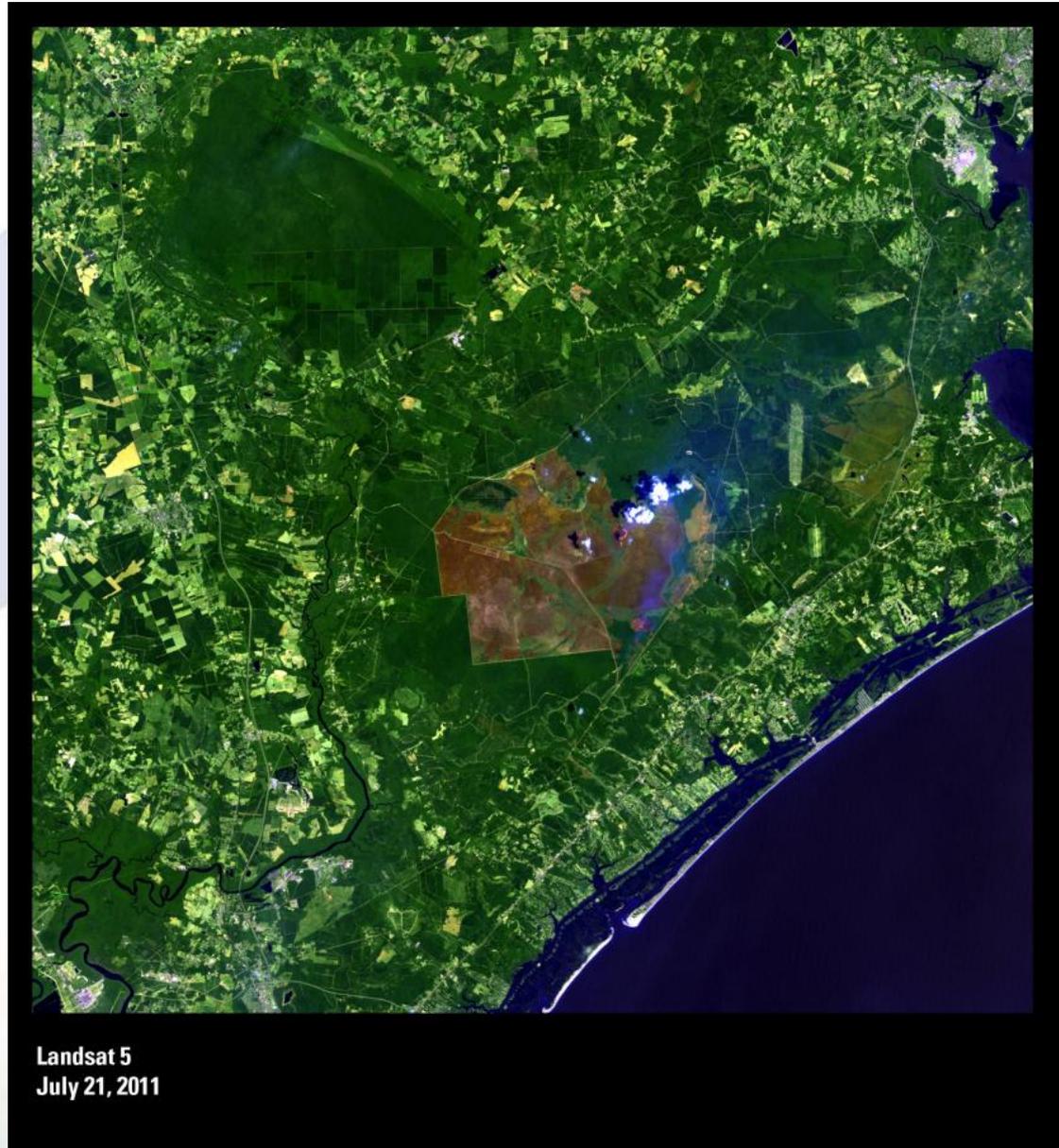
# La terra: rappresentarla per comprenderla e proteggerla

---

- ▶ La nostra terra è un “oggetto” molto complesso
- ▶ Ogni giorno subisce delle trasformazioni
  - ▶ Originate da eventi naturali
  - ▶ Causate dall'intervento umano
- ▶ Poiché ancora (e per molto tempo) non abbiamo alternative di vita in altri luoghi (luna, marte, ...):
  - ▶ Abbiamo la necessità di preservarla
  - ▶ Dovremmo sentire l'imperativo morale di “trasmetterla” intatta alle nuove generazioni
  - ▶ Alcuni fenomeni in atto non danno buone speranze in questo senso

- 
- ▶ **Per proteggere il nostro pianeta dobbiamo:**
    - ▶ CONOSCERLO
    - ▶ STUDIARLO
    - ▶ MISURARLO
    - ▶ MONITORARNE I FENOMENI
  
  - ▶ Alcuni esempi di fenomeni che accadono regolarmente:
    - ▶ Disastri naturali (inondazioni, incendi, terremoti,...)
    - ▶ Trasformazioni “negative” causate dalle attività umane
    - ▶ Trasformazioni “positive” causate dall’uomo
    - ▶ Eventi che non si sa se siano naturali oppure no

- ▶ Alcuni esempi di fenomeni
- ▶ Disastri naturali:
- ▶ Incendi in North Carolina



- ▶ Alcuni esempi di fenomeni

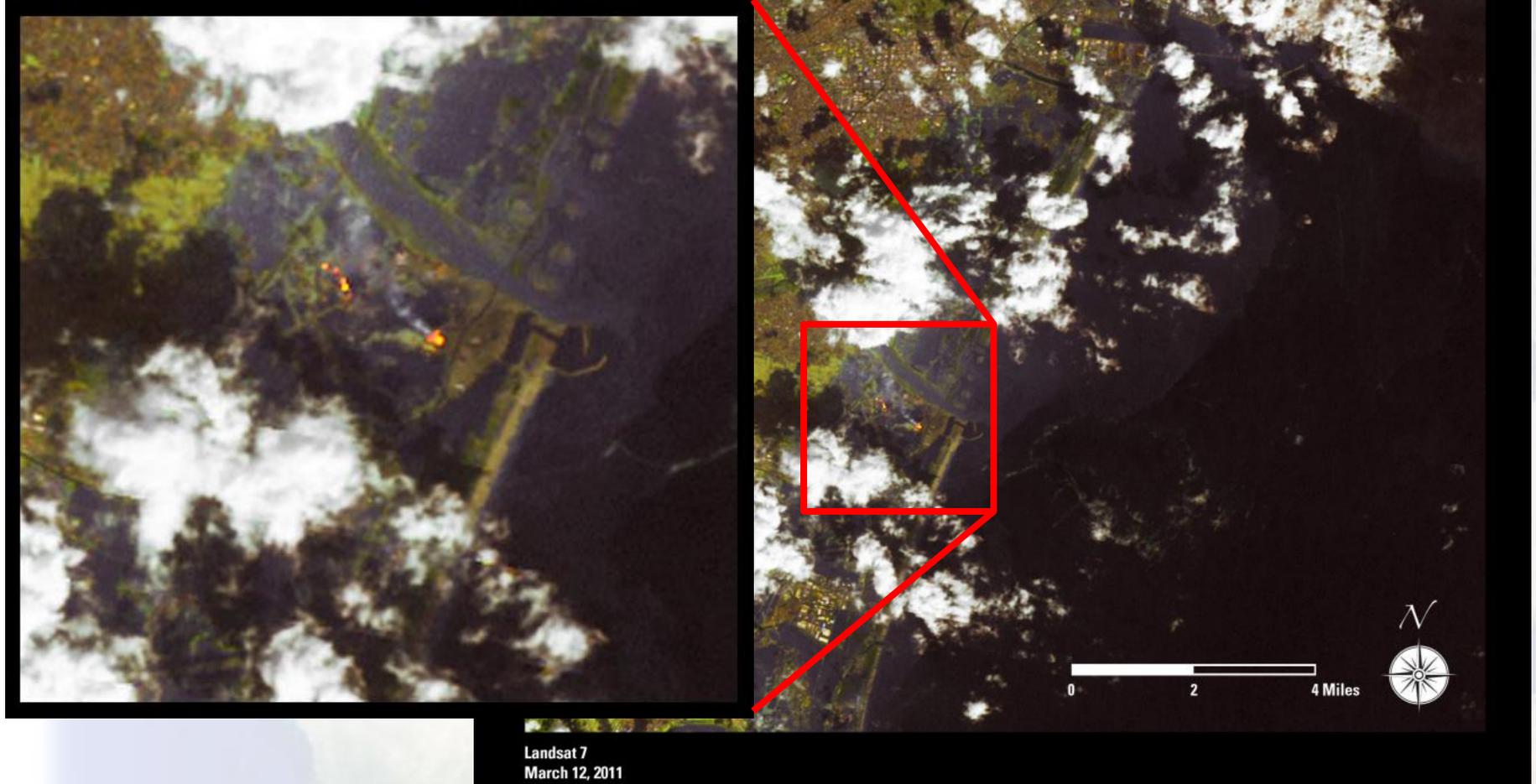
- ▶ Disastri naturali:

- ▶ Tsunami Bandah Ace Indonesia

- ▶ 26 dicembre 2004



- ▶ Alcuni esempi di fenomeni

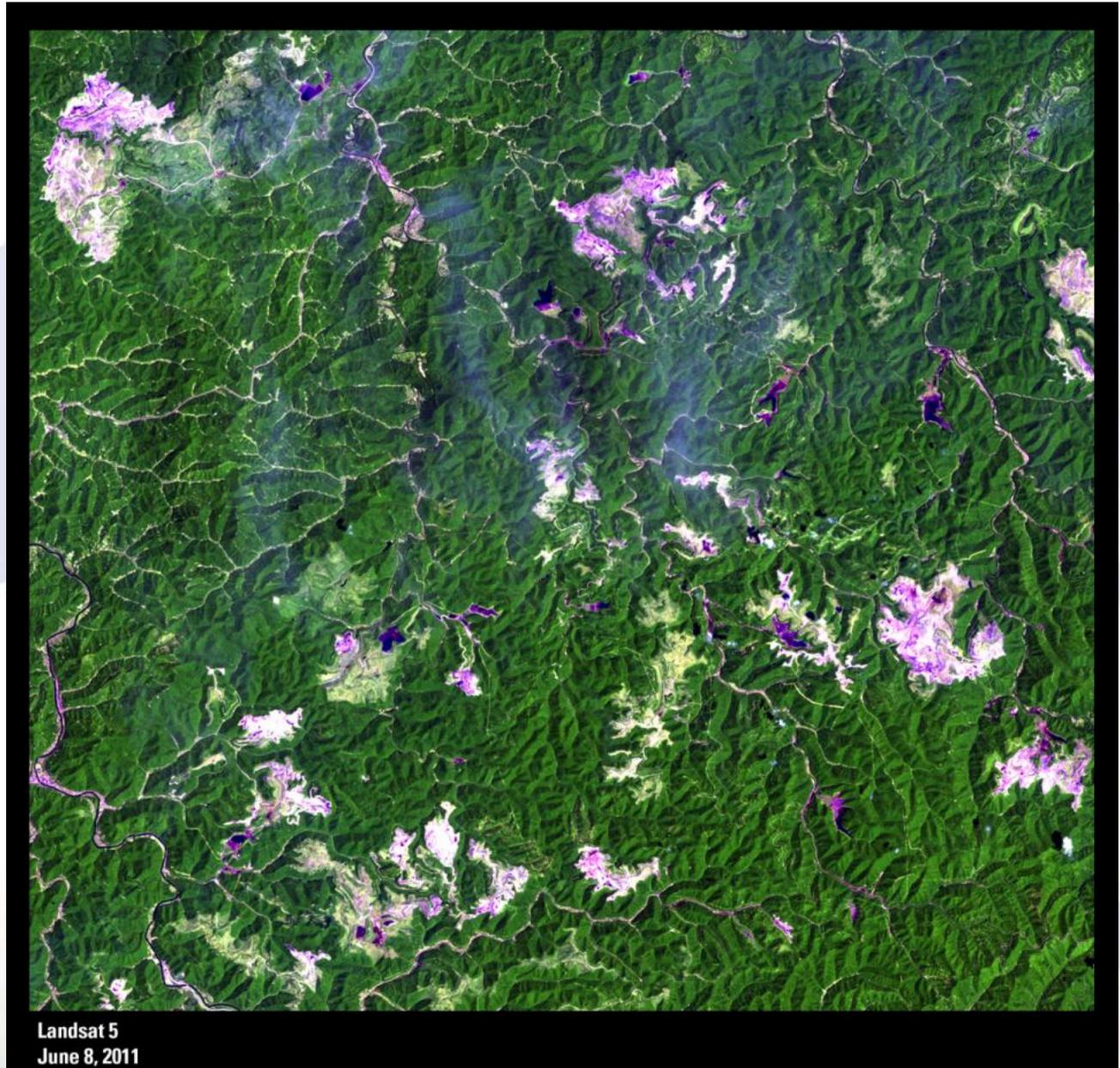


- ▶ La terra: rappresentarla per comprenderla e proteggerla

- ▶ Alcuni esempi di fenomeni
- ▶ Negativi umani
- ▶ Deforestazione in Bolivia



- ▶ Alcuni esempi di fenomeni
- ▶ Negativi Umani:
- ▶ Miniere di carbone in Virginia



▶ Alcuni esempi di fenomeni

▶ Negativi Umani:

▶ Crescita urbana di Manila

da 1.5 M  
a circa 13 M

Consumo di suolo!

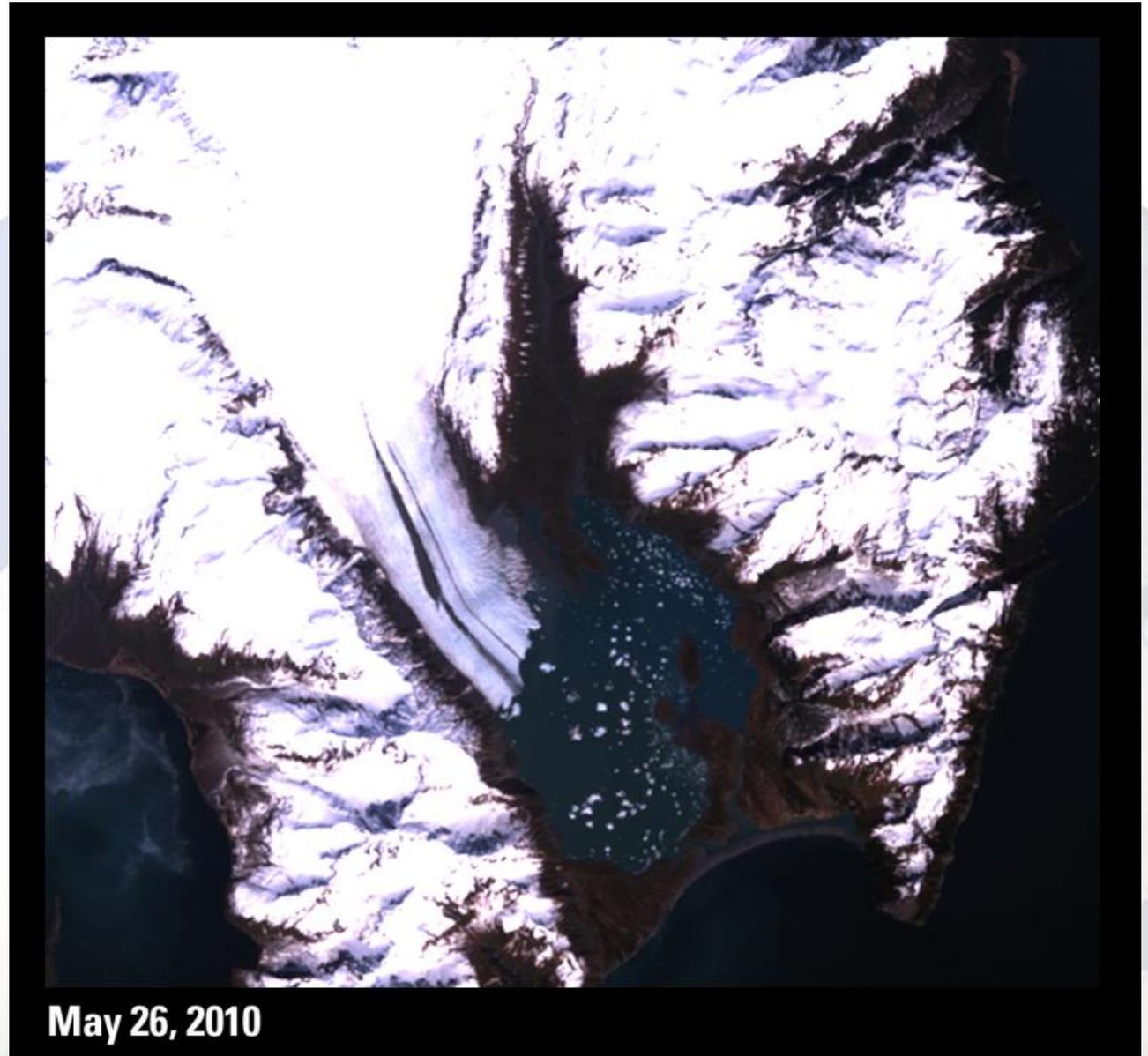


▶ La terra: rappresentarla per comprenderla e proteggerla

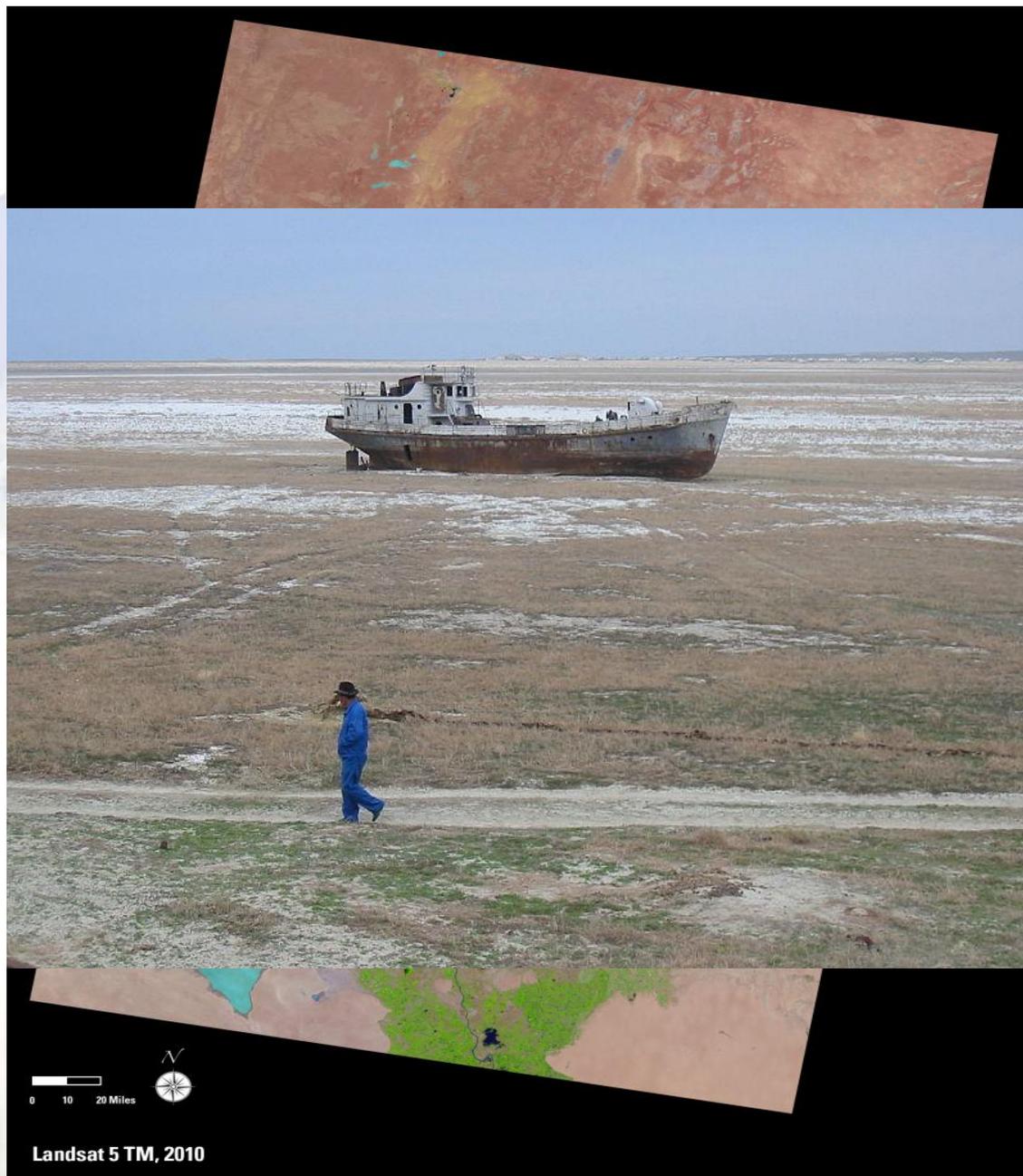
- ▶ Alcuni esempi di fenomeni
- ▶ Positivi Umani:
- ▶ Utilizzo del deserto per l'agricoltura in Egitto



- ▶ Alcuni esempi di fenomeni
- ▶ Negativi Umani o no?
- ▶ Scioglimento dei ghiacciai (Alaska)



- ▶ Alcuni esempi di fenomeni
- ▶ Negativi Umani o no?
- ▶ Restringimento del Lago D'Aral
- ▶ 68.000 km<sup>2</sup> nel 1960
- ▶ 17.160 km<sup>2</sup> nel 2007



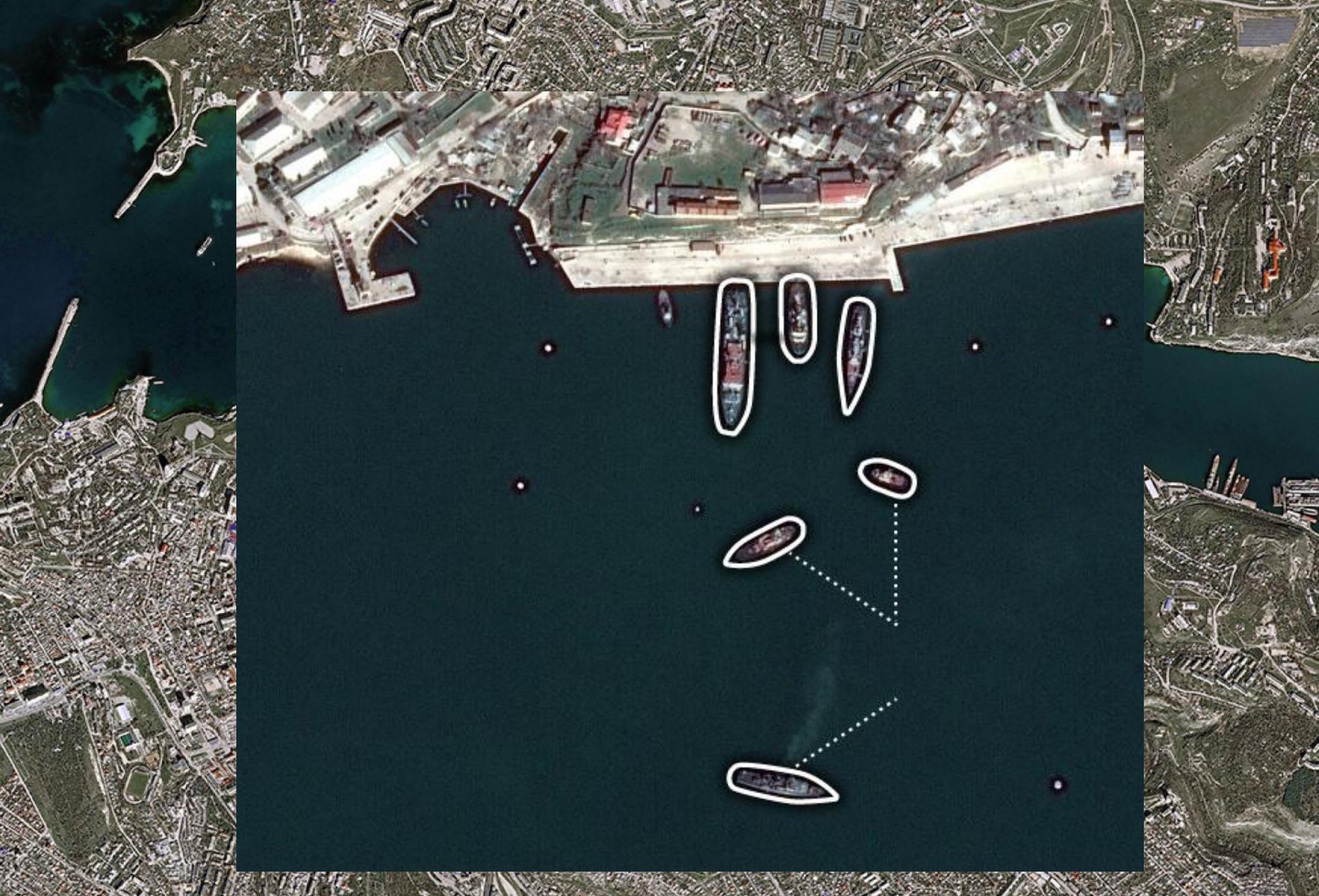
- ▶ Alcuni esempi di fenomeni
- ▶ Velocità di trasformazione molto alta
- ▶ Siccità nel Kansas centrale



Landsat 7  
July 17, 2012

0 1 2 Miles





► La terra: rappresentarla per comprenderla e proteggerla

- 
- ▶ **Come facciamo a conoscere e misurare la terra e i fenomeni che su di essa avvengono?**
    - ▶ Dobbiamo **rappresentarla** in un modo che sia:
      - ▶ Coerente temporalmente
      - ▶ Coerente geometricamente
      - ▶ Coerente numericamente
    - ▶ **Possiamo usare delle IMMAGINI (ovvero dei dati di tipo RASTER)**

## ► Cosa è un raster?

E' una matrice regolare formata da celle (pixel) che contengono un valore numerico

7	12	12	11	11	22	25	18	5	24	12	13	6	22	12	20
6	11	17	10	9	19	19	25	12	15	27	28	6	14	18	3
19	2	2	25	24	12	29	6	20	4	29	5	27	3	2	25
6	9	28	17	17	2	15	0	14	25	20	15	13	10	24	30
15	26	19	11	12	12	14	7	27	25	24	26	10	30	11	12
7	10	2	4	8	12	11	15	25	23	16	15	2	17	15	25
13	4	18	8	26	20	14	12	29	10	14	8	14	8	10	10
15	1	9	11	22	22	5	9	23	3	2	19	18	24	28	2
15	13	12	13	30	3	18	21	2	17	15	22	9	3	1	4
10	26	26	14	12	11	27	19	5	15	27	9	26	29	11	12
12	25	21	26	21	13	14	10	5	2	12	22	25	19	4	0
23	19	2	27	4	24	26	18	21	12	9	4	6	4	11	23
26	2	28	19	30	17	15	6	28	10	3	14	8	21	6	14
23	8	17	20	27	26	25	26	23	11	14	0	24	10	0	24
28	22	21	3	27	5	1	4	21	5	26	25	6	27	11	22
25	8	15	3	5	6	5	17	7	6	10	2	1	20	22	12

- Ogni cella rappresenta una porzione di territorio
- **Risoluzione spaziale** = quantità di territorio rappresentato da una singola cella di un raster (es.: 10 x 10 m.)
- **Risoluzione numerica** = quale intervallo di valori memorizzo in ciascuna cella
- I valori delle celle possono essere:
  - Tematici (es: rischio)
  - Fisici (es: temperatura)
  - Visuali (intensità di luce)

## ► **Esempio:**

Voglio rappresentare tramite un raster il rischio sismico del territorio italiano (circa 700 x 1000 km.)

Con una risoluzione spaziale di 10 metri

E una risoluzione numerica di 10 valori diversi

**Domanda: quanto spazio di memoria mi serve?**

1.000.000 metri / 10 metri = 100.000 righe

700.000 metri / 10 metri = 70.000 colonne

70.000 x 100.000 = 7.000.000.000 celle

Ogni cella occupa 1 byte = 7 GB di memoria

Come faccio a risparmiare spazio?

Posso usare un formato JPEG = compressione

## ► La matematica della compressione JPEG

Con tale compressione posso risparmiare anche il 90% dello spazio di memorizzazione

Come funziona? Si basa su una grande idea dei matematici del 19.º secolo:

***Ogni funzione può essere decomposta nella somma di seni e coseni di diverse frequenze***

Possiamo utilizzare le **serie di coseni di Fourier**:

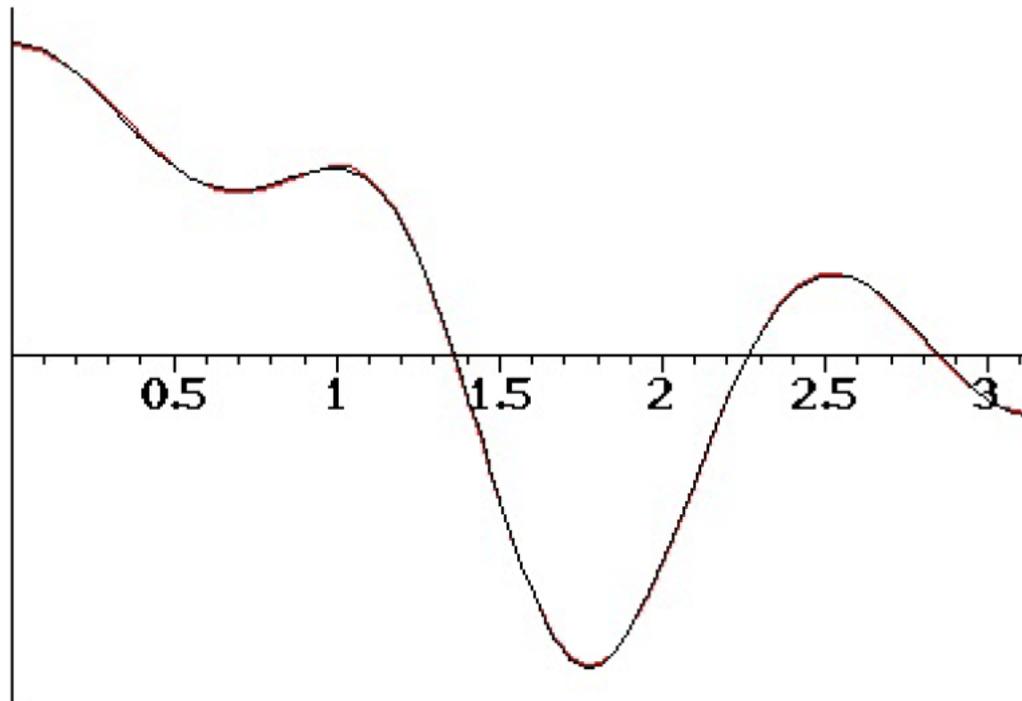
$$\begin{aligned} f(t) \approx & a_0 \\ & + a_1 \cos(t) \\ & + a_2 \cos(2t) \\ & + \dots \\ & + a_N \cos(Nt) \end{aligned}$$

Ovviamente dobbiamo scegliere accuratamente i valori  $a_k$  e prendere un  $N$  grande

► **Facciamo un esempio con una funzione di 1 variabile:  $y = f(x)$**

$$+ \dots - 1.70 \cos(7t) - 0.53 \cos(8t)$$

N=8



## ► Come funziona la compressione?

La funzione  $y = f(x)$  può essere approssimata dalla sequenza di numeri  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_N$

Per ottenere una compressione (ovvero risparmiare memoria):

- Possiamo accontentarci di una approssimazione peggiore ed eliminare tutti i valori  $a_k$  che sono molto piccoli
- Possiamo “quantizzare” i valori  $a_k$ , ovvero sostituirli con degli interi

Nell'esempio precedente, possiamo rappresentare i coefficienti:

9.403, 19.09, 18.97, -5.883, -9.919, 12.38, 2.967, -1.705, -0.5301  
0.4059, 0.04522, -0.05778

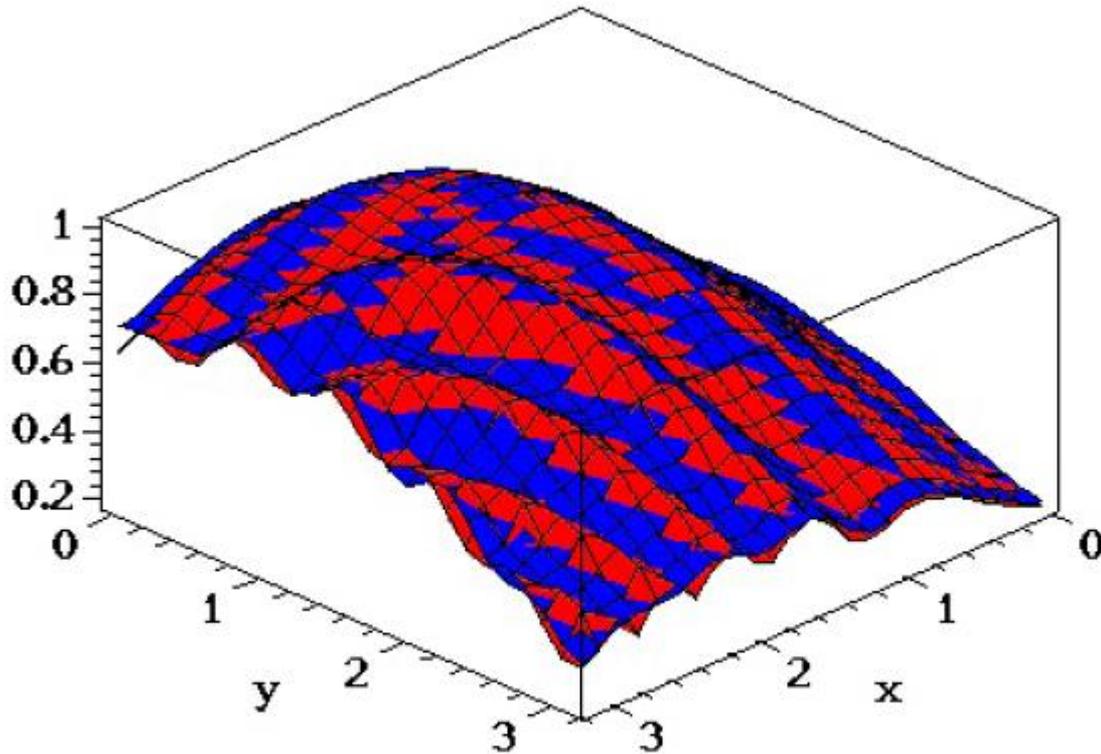
Con i valori: 9, 19, 19, -6, -10, 12, 3, -2, -1, 0, 0, 0

La compressione JPEG non fa altro che applicare lo stesso concetto ad una funzione  $f(x,y)$  che è la rappresentazione matematica di un raster

► **Visivamente:**

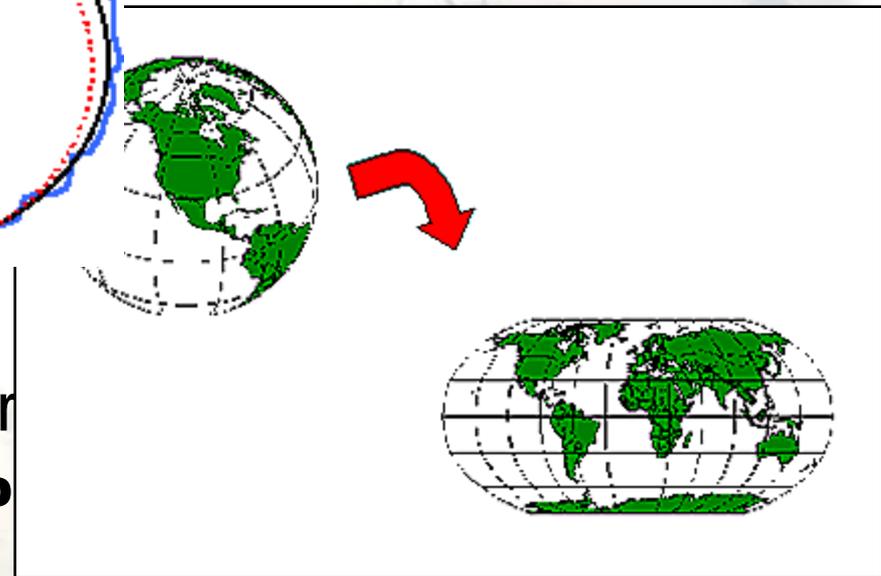
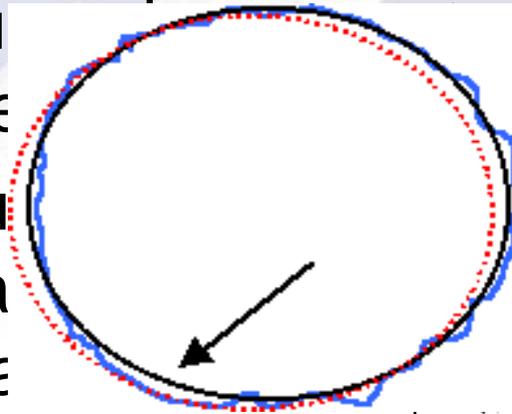
Poiché l'approssimazione peggiora se le funzioni sono discontinue, l'algoritmo JPEG applica la trasformata di Fourier a blocchi di 8x8 celle

E' una compressione LOSSY!

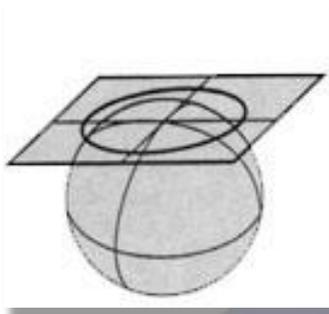


# Georeferenziare: sistemi di coordinate e trasformazioni

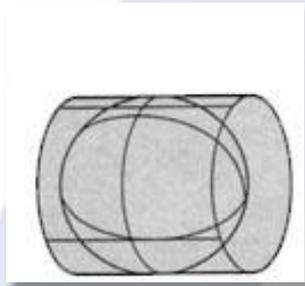
- ▶ La terra è un oggetto geometrico complesso
- ▶ Può essere approssimata con un ellissoide di rotazione (orientato localmente)
- ▶ Come individuare i punti su ciascun punto sulla superficie terrestre
- ▶ Posso usare un sistema di coordinate (ogni punto ha gradi rispetto a un riferimento)
- ▶ Spesso è utile rappresentarla in un sistema di coordinate  
▶ **Sistema di coordinate P**



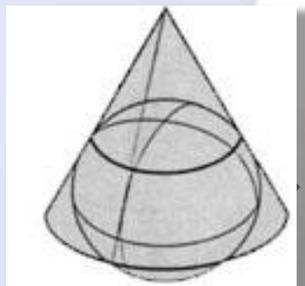
► La proiezione può essere effettuata su una superficie:



PIANA



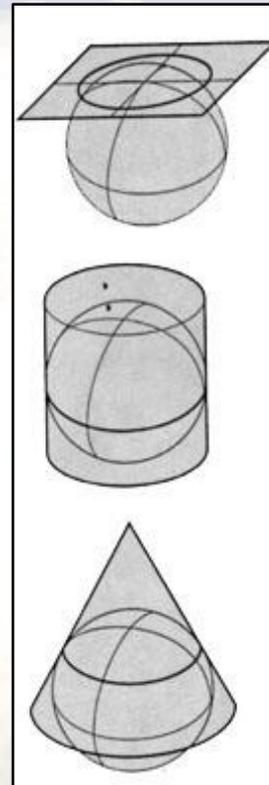
CILINDRICA



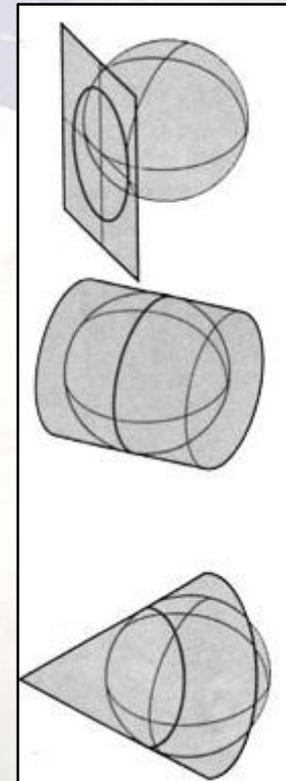
CONICA

L'orientamento della superficie può essere:

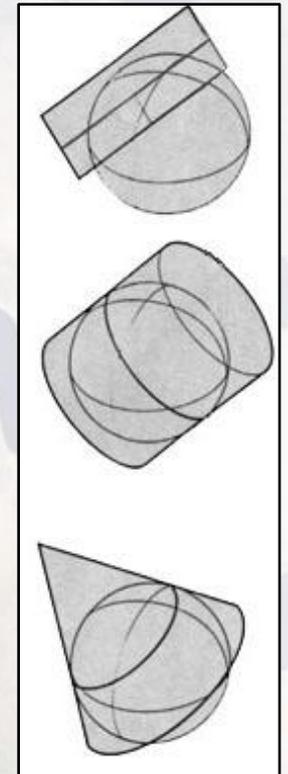
Normale



Trasverso



Obliquo



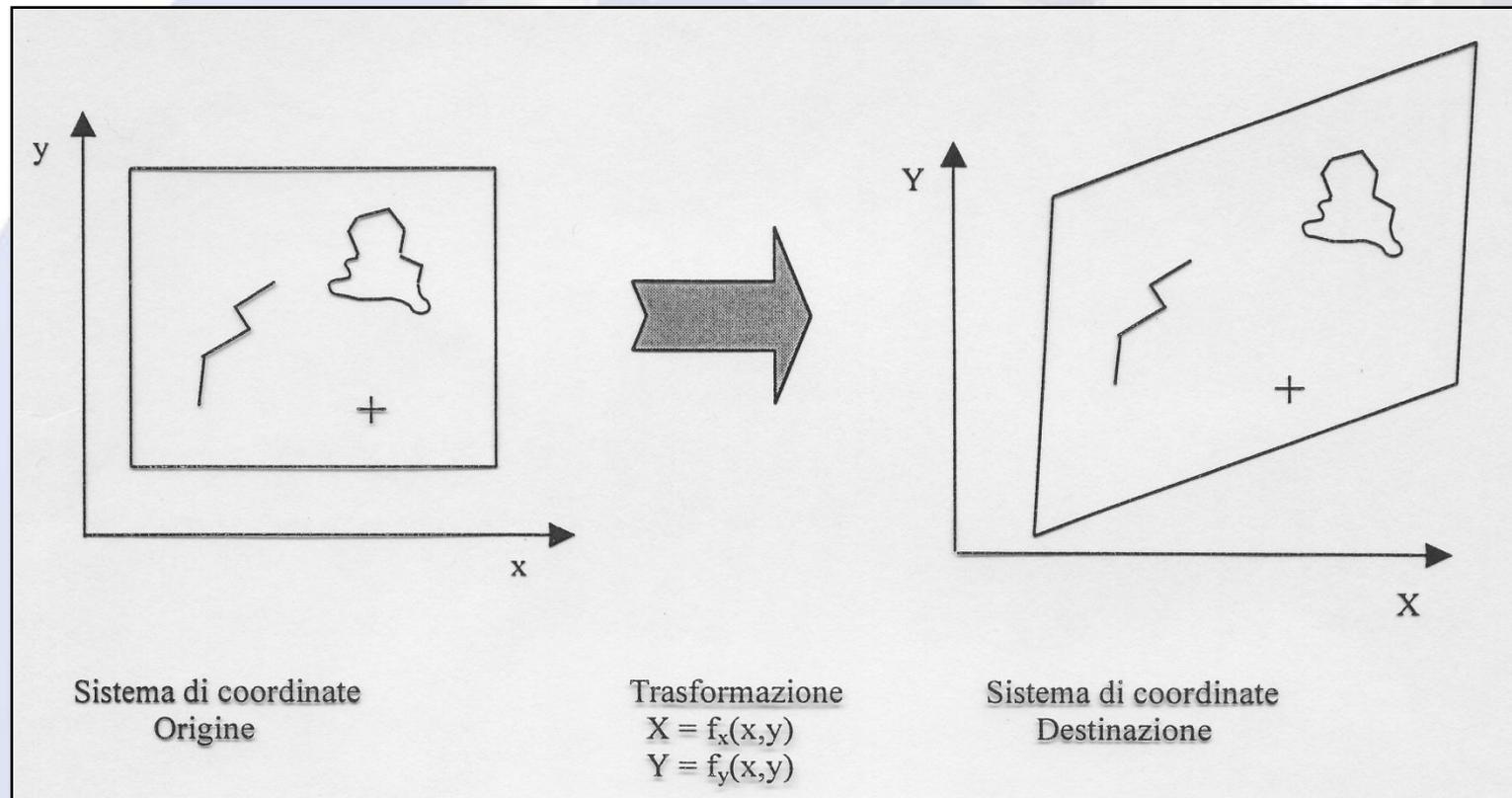
- ▶ **Ogni proiezione introduce degli errori**
- ▶ **La qualità matematica della rappresentazione approssimata può dare origine a una proiezione:**

**conforme** (si conservano le direzioni uscenti da un punto; gli angoli tra due direzioni sulla carta coincidono con quelli tra le stesse direzioni sull'ellissoide)

**equivalente** (si conserva l'area di elementi superficiali e non la forma, come nel caso precedente)

**equidistante** (si conservano le distanze lungo alcune linee)

- ▶ Con il termine **GEOREFERENZIARE** si indica il processo che assegna una coordinata cartesiana ben definita, in un particolare sistema di riferimento, agli elementi che rappresentano una porzione di territorio (ad esempio alle celle di un raster)
- ▶ **La georeferenziazione è matematicamente equivalente ad una TRASFORMAZIONE di coordinate tra due sistemi diversi**



- ▶ **Per trasformare delle coordinate tra due sistemi diversi occorre:**
- ▶ 1) definire la famiglia di funzioni da utilizzare
- ▶ 2) utilizzare dei **GCP** (Ground Control Point, ovvero punti di cui conosciamo le coordinate sia nel sistema di origine che in quello di destinazione)

Esempio: **TRASFORMAZIONE AFFINE DEL 1° ORDINE**

$$X = a*x + b*y + c$$

$$Y = d*x + e*y + f$$

Supponiamo di disporre di 3 GCP le cui coordinate sono:  $(x_1, y_1)$   $(x_2, y_2)$   $(x_3, y_3)$  nel sistema di origine,  $(X_1, Y_1)$ ,  $(X_2, Y_2)$ ,  $(X_3, Y_3)$  nel sistema di destinazione

Se applichiamo le due funzioni ai 3 punti otteniamo 6 equazioni:

$$a*x_1 + b*y_1 + c = X_1$$

$$d*x_1 + e*y_1 + f = Y_1$$

$$a*x_2 + b*y_2 + c = X_2$$

$$d*x_2 + e*y_2 + f = Y_2$$

$$a*x_3 + b*y_3 + c = X_3$$

$$d*x_3 + e*y_3 + f = Y_3$$

- ▶ In tali equazioni le incognite sono i 6 parametri  $a, b, c, d, e, f$ ; se risolviamo il sistema di 6 equazioni ne possiamo ottenere il valore

In tal modo abbiamo utilizzato i 3 GCP per calcolare la “migliore” funzione possibile tra quelle della famiglia delle trasformazioni affini del primo ordine

Abbiamo imposto che le funzioni “passino” per i GCP (cioè che la trasformazione, applicata ai 3 GCP porti da  $(x_i, y_i)$  a  $(X_i, Y_i)$  per  $i=1,2,3$ )

In forma matriciale avrò un sistema  $\mathbf{A} * \mathbf{x} = \mathbf{T}$

Una trasformazione affine del 1.o ordine è in grado di effettuare una

$$\mathbf{A} = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix} \quad \mathbf{T} = \begin{vmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ X_3 \\ Y_3 \end{vmatrix}$$

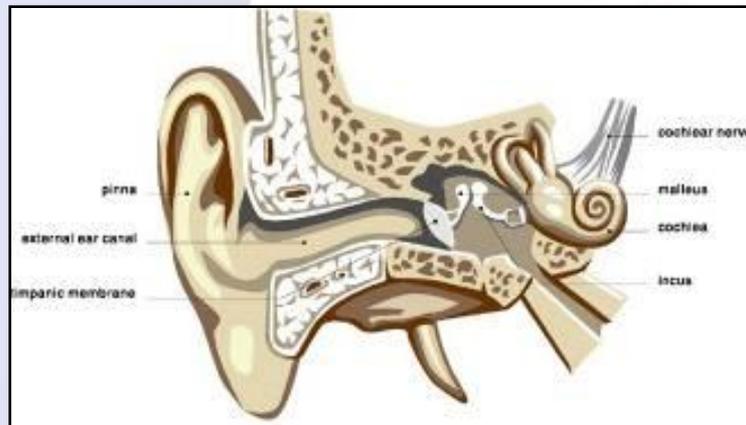
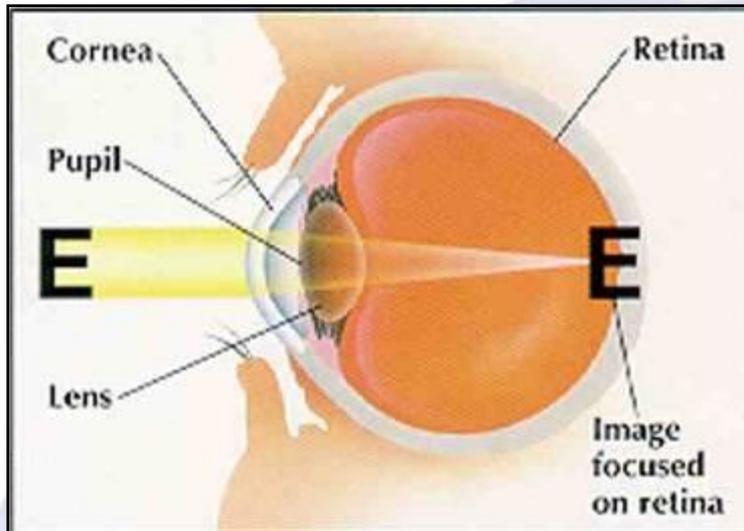
**Rototraslazione con cambiamento anisotropo della scala**

# Introduzione al Telerilevamento: dai piccioni ai rilievi laser

---

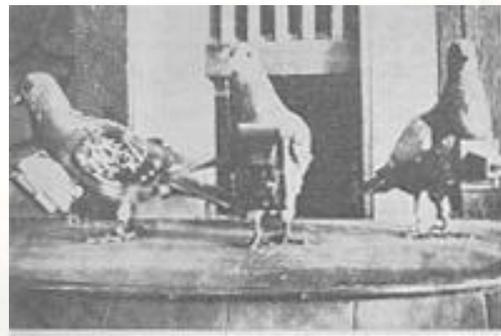
- ▶ **Telerilevamento = Remote Sensing:**
  - ▶ L'arte e la scienza che consente di ottenere informazioni su un oggetto senza che ci sia alcun contatto tra l'oggetto ed il sensore
  - ▶ Il processo di raccolta di informazioni sulla superficie della Terra e sui fenomeni che su di essa avvengono attraverso l'utilizzo di sensori che non sono in contatto fisico con la superficie e i fenomeni di interesse.
  - ▶ Tra oggetto e sensore c'è un mezzo di trasmissione: l'atmosfera terrestre.

## ► Alcuni “remote sensors”



## ▶ Storia del Remote Sensing:

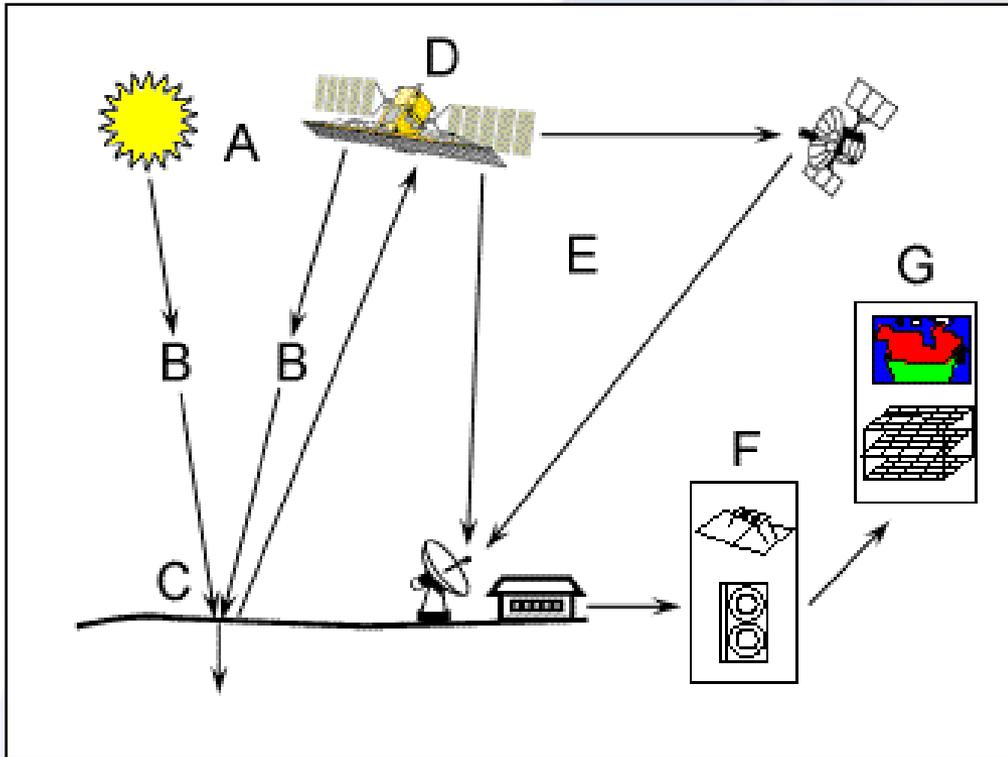
- ▶ Fotografia con palloni aerostatici (1858)
- ▶ Fotografia con aquiloni (1890)
- ▶ Piccioni fotografi (1903)
- ▶ Rilievo da aereo (I.a e II.a guerra mondiale)
- ▶ Rilievo dallo spazio (1947)



## ► Il ciclo del Remote Sensing

- A) Pianificazione della missione e scelta dei sensori
- B) Ricezione, memorizzazione ed elaborazione dei segnali
- C) Analisi dei dati ottenuti tramite l'elaborazione dei segnali

## ► I componenti del processo di Telerilevamento



(A) Sorgente di energia o di luce

(B) Passaggio delle radiazioni nell'atmosfera terrestre

(C) Interazione tra la radiazione e l'oggetto target

(D) Memorizzazione dell'energia da parte del sensore

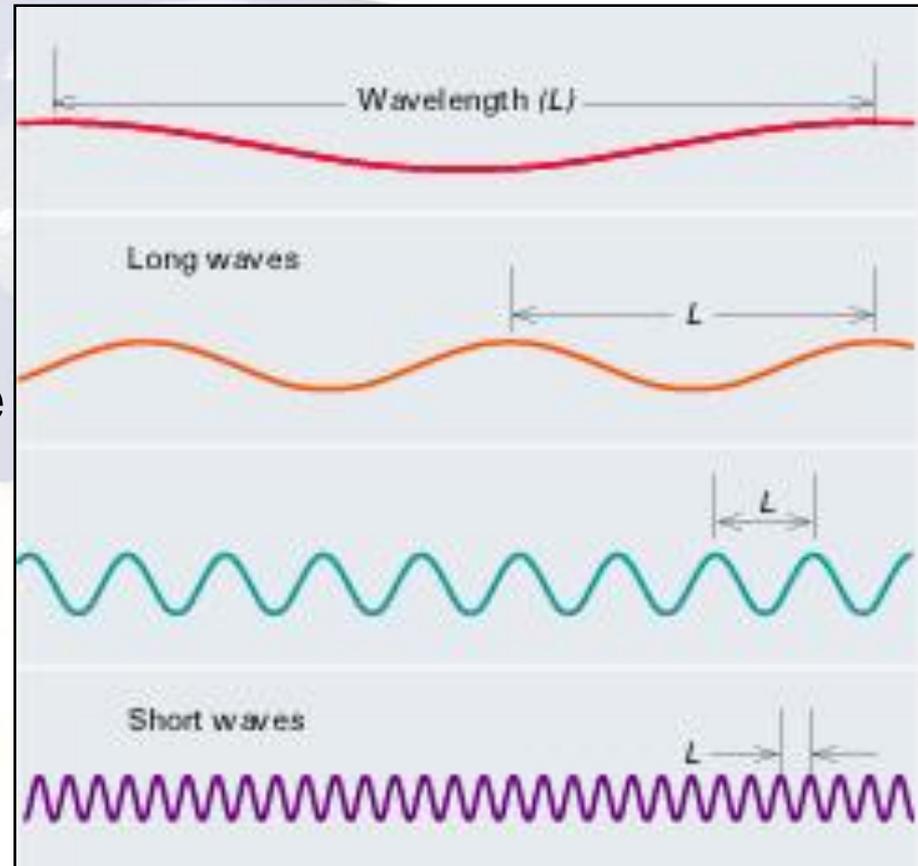
(E) Trasmissione, ricezione ed elaborazione

(F) Interpretazione ed analisi

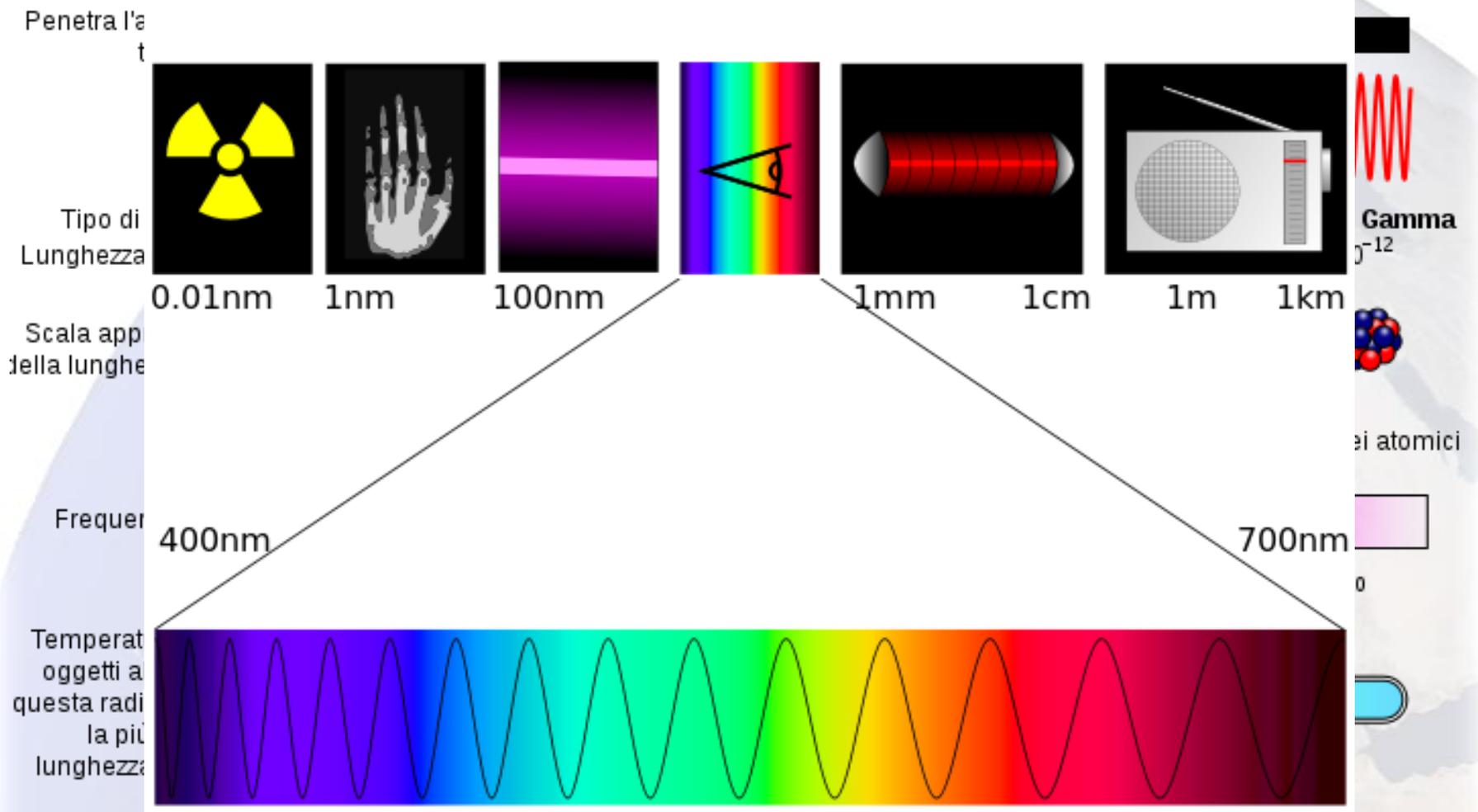
(G) Utilizzo in applicazioni reali

# La radiazione elettromagnetica

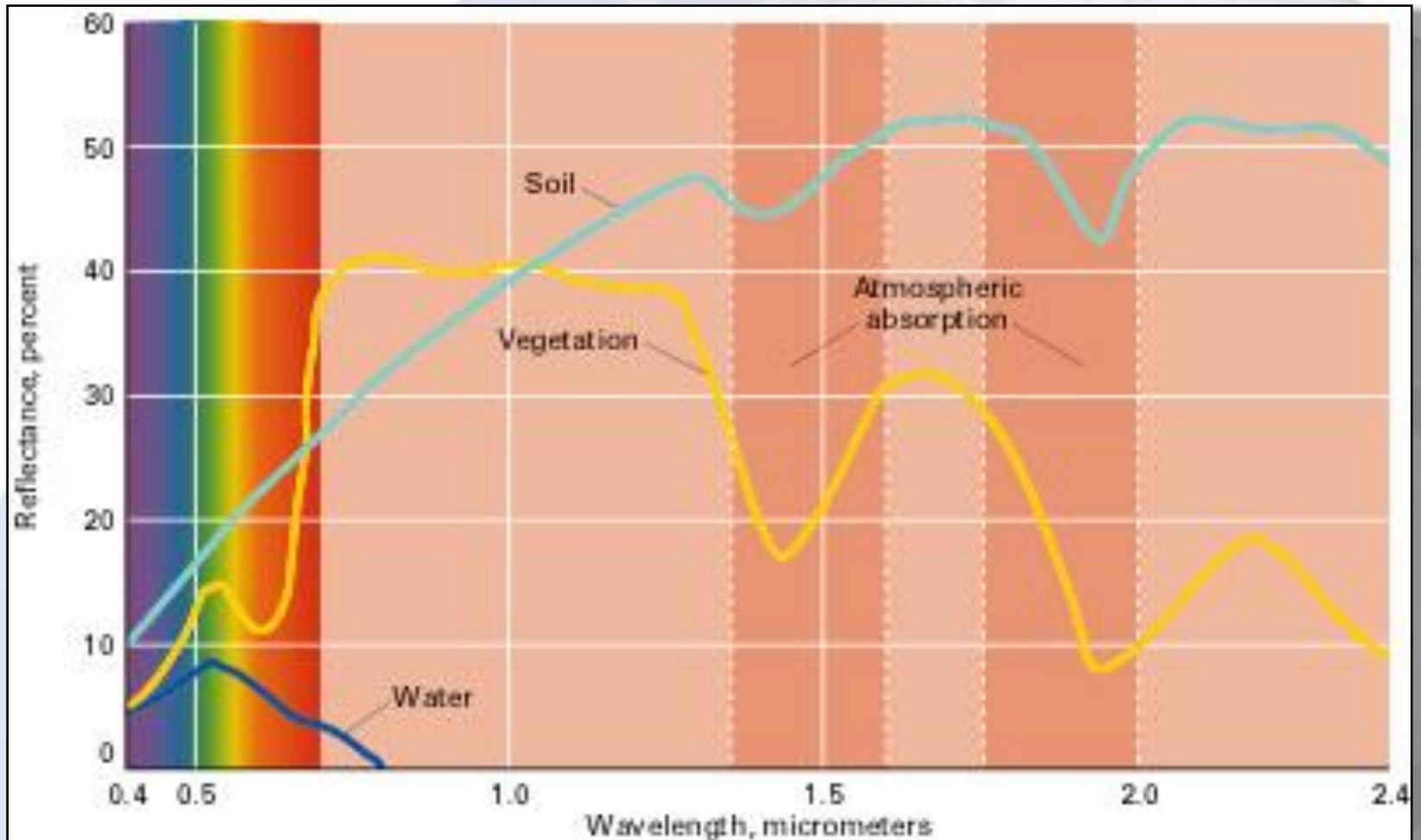
Le radiazioni elettromagnetiche sono onde elettromagnetiche caratterizzate da una lunghezza d'onda e da una frequenza. Poiché la lunghezza d'onda e la frequenza di una radiazione sono inversamente proporzionali, tanto minore sarà la lunghezza d'onda, tanto maggiore sarà la frequenza e quindi l'energia



# ► Lo spettro elettromagnetico



## ► Le firme spettrali



## ► Un termine fondamentale: la risoluzione

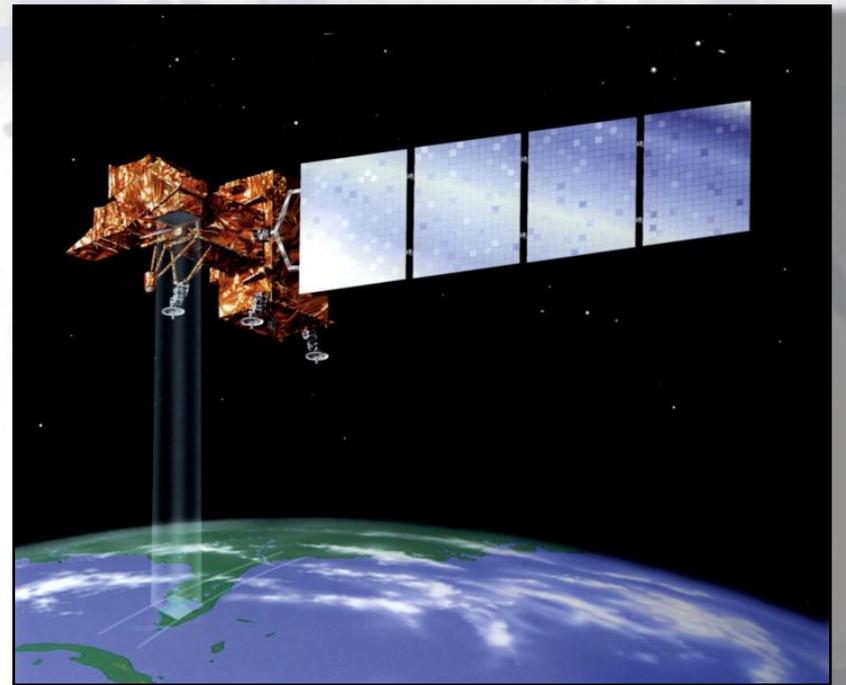
Tutti i sistemi di telerilevamento hanno quattro tipi di risoluzione:

**Spaziale**

**Spettrale**

**Temporale**

**Radiometrica**



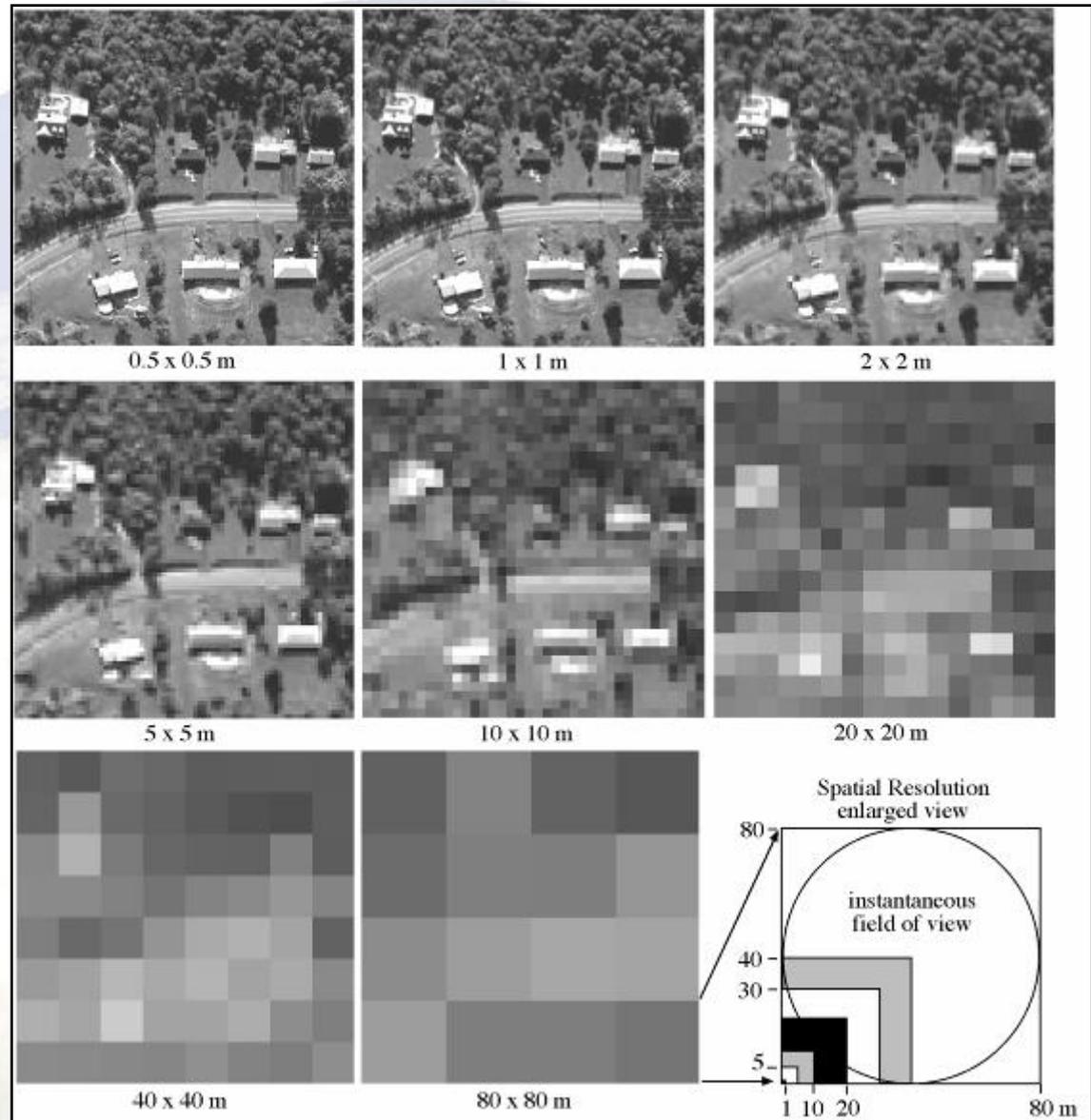
# La risoluzione spaziale:

E' la quantità di superficie terrestre coperta da un pixel di una immagine telerilevata

Se un pixel copre una area grande → bassa risoluzione spaziale

Se un pixel copre una area piccola → alta risoluzione spaziale

LR, MR, HR, VHR



# La risoluzione spettrale:

E' l'abilità di distinguere le caratteristiche spettrali degli oggetti da rilevare suddividendole in componenti separate dette bande

Maggiore è il numero delle bande spettrali in una specifica lunghezza d'onda maggiore e la risoluzione spettrale

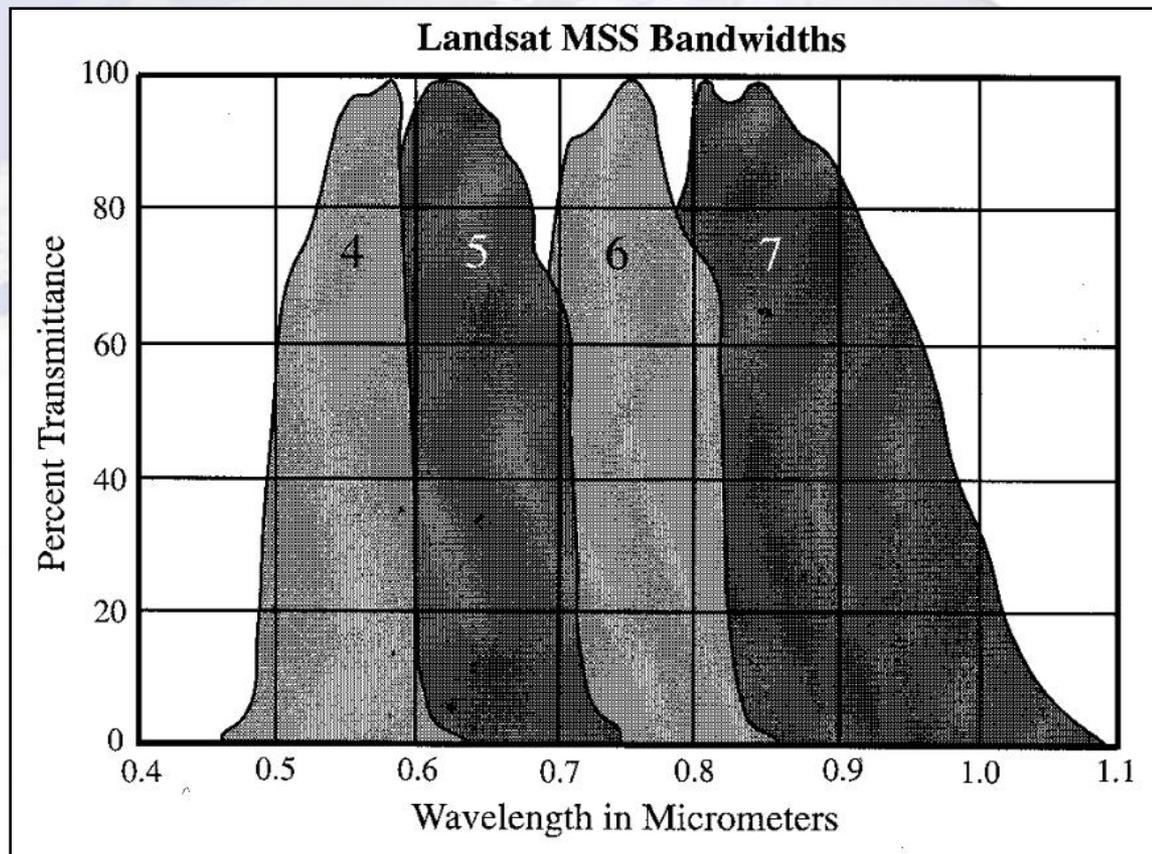
1 banda

3 bande

4 bande      MULTI

7 bande

N bande      HYPER



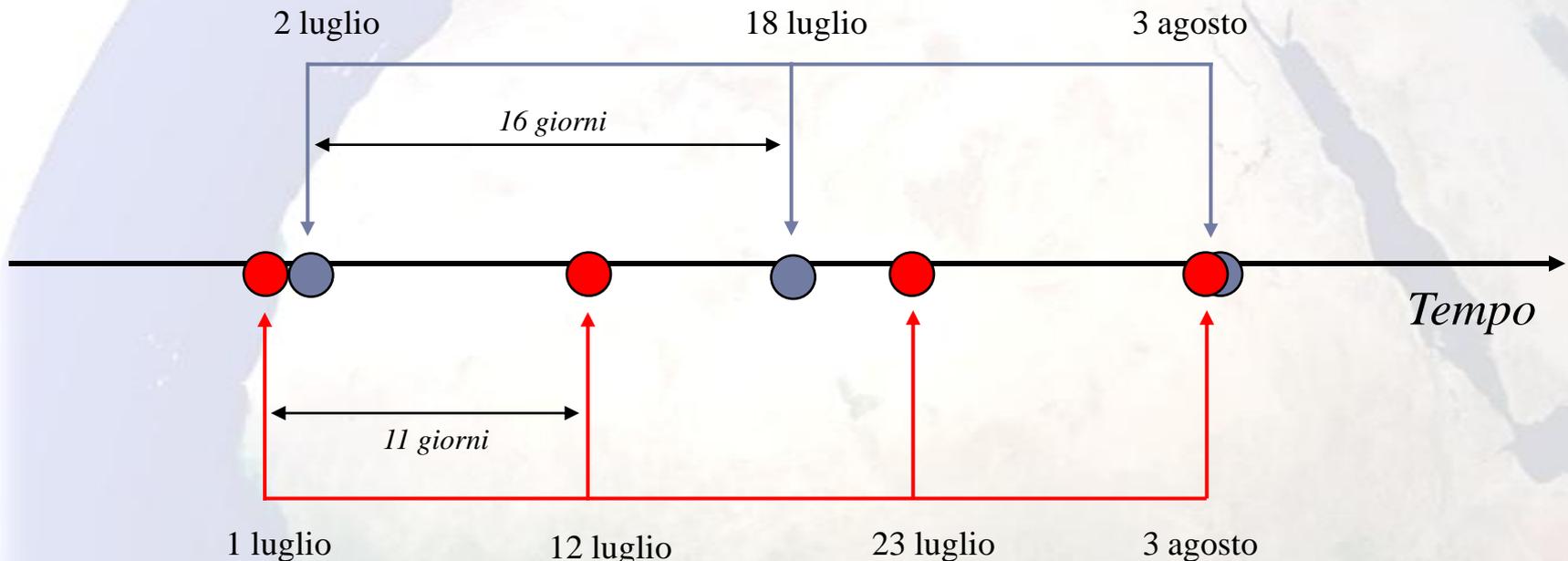
# La risoluzione temporale:

E' la frequenza con la quale le immagini sono catturate in una specifica parte della terra.

Più frequentemente avviene la cattura, migliore (o più fine) è la risoluzione temporale

Per esempio, un sensore che cattura una immagine di una zona agricola due volte a settimana ha una risoluzione temporale maggiore di un sensore che la cattura una sola volta a settimana

Molti sensori hanno solo la nadir view, alcuni possono essere programmati per catturare immagini oblique (off-nadir view, ovviamente in tal modo migliora la risoluzione temporale)



# La risoluzione radiometrica:

La sensibilità del sensore alla quantità di energia elettromagnetica ricevuta determina la risoluzione radiometrica.

Se un sensore è in grado di distinguere piccole differenze di energia riflessa o emessa, si dice che ha una risoluzione radiometrica migliore.

2-bit range  
0 → 4

6-bit range  
0 → 63

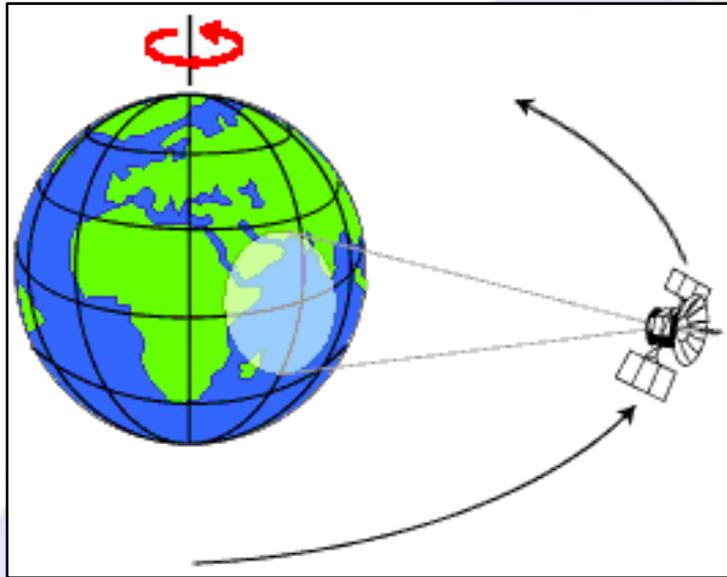
8-bit range  
0 → 255

10-bit range  
0 → 1023

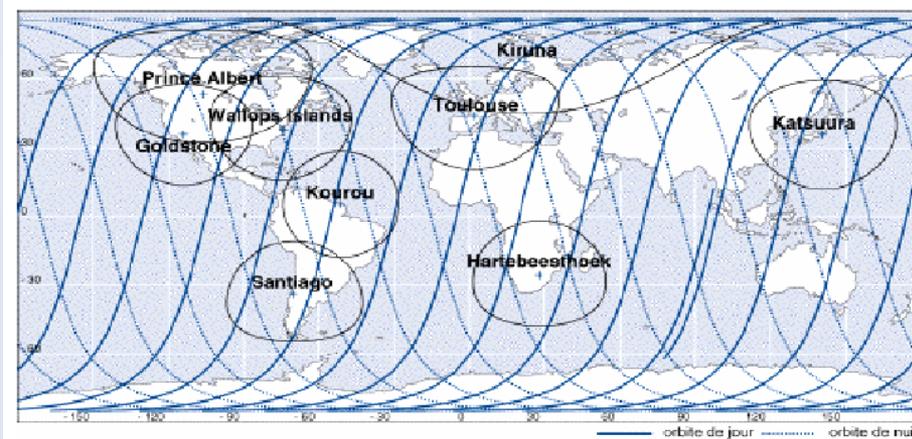
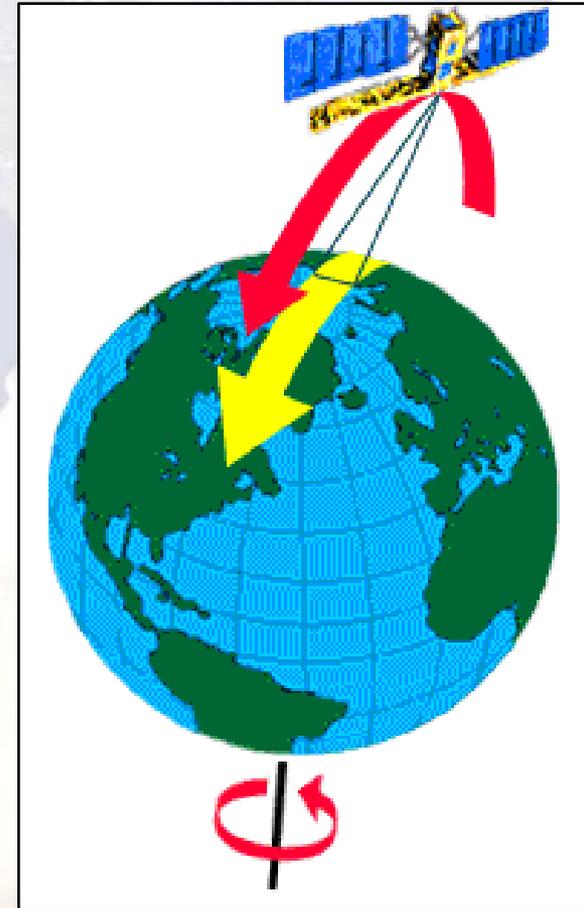


# ► Le tipologie di orbite dei satelliti

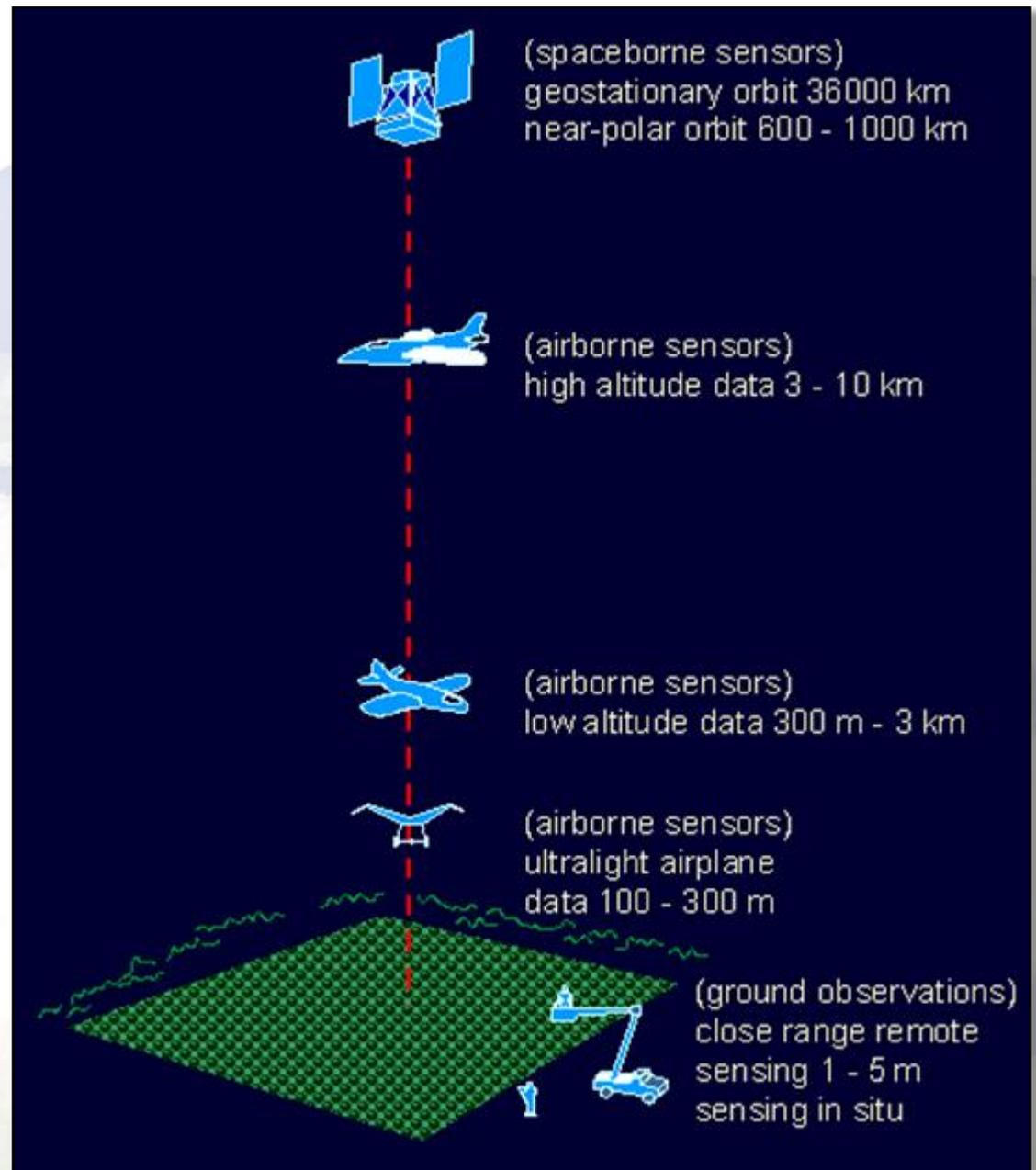
Geostazionaria (36.000 km.)



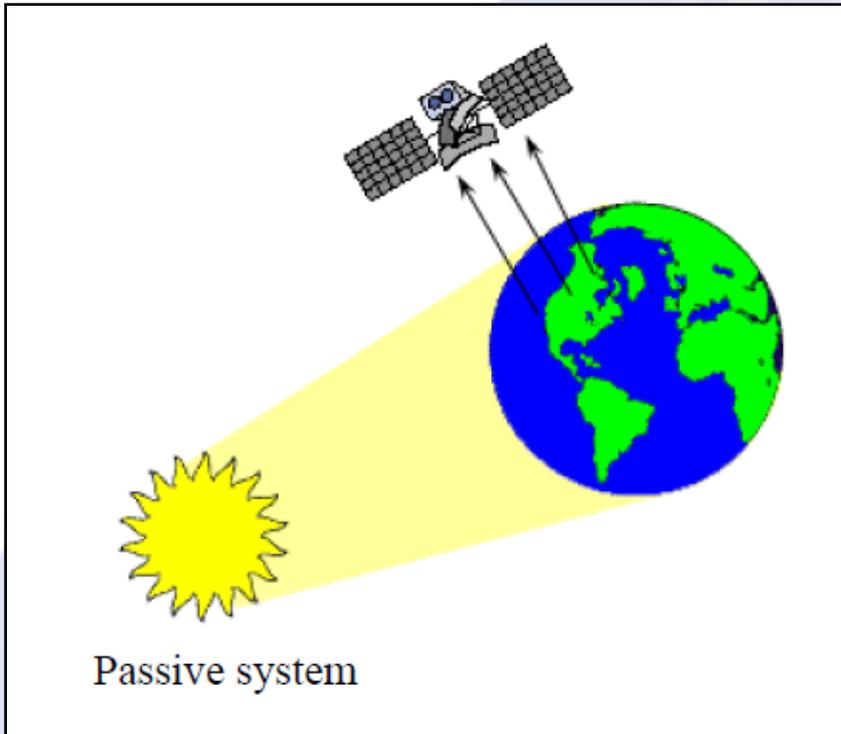
Polare (500-1000 km.)



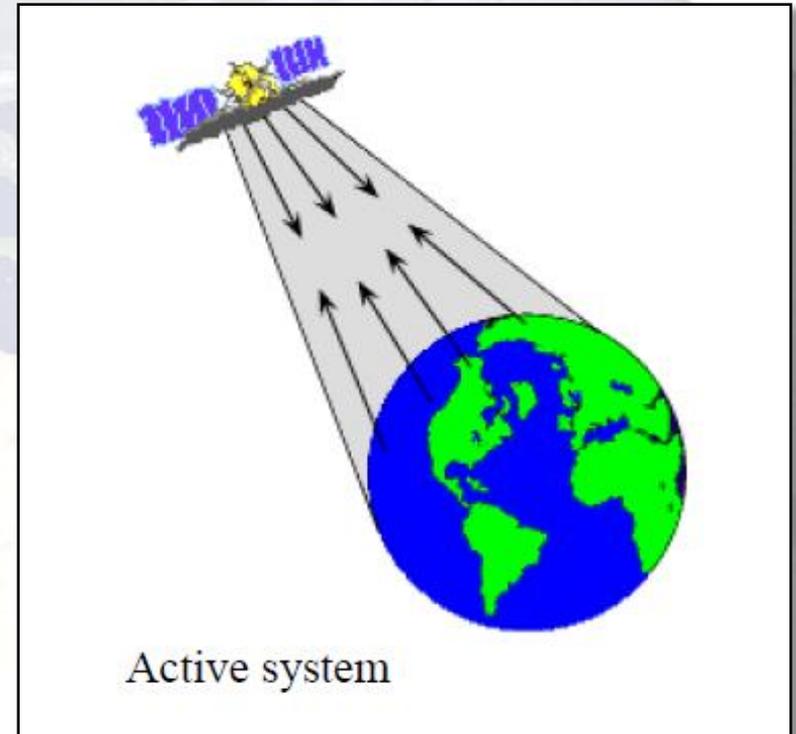
# Le quote di volo dei diversi tipi di sensore



## ► Le tipologie di rilevamento



**Fotografia aerea**  
**Satelliti multispettrali**



**Satelliti Radar**  
**Rilievi Laser**

## ► I satelliti più importanti

NOAA-AVHRR - 1100 m – 833 km. - 12 ore

GOES - 700 m. – 35.790 km. – 0 (Geostazionario!)

MODIS (Nasa) – 250/500/1000 m. – 705 km. - 1/2 giorni

Landsat 5 TM e 7 ETM – 30/60 m. – 705 km. - 16 giorni

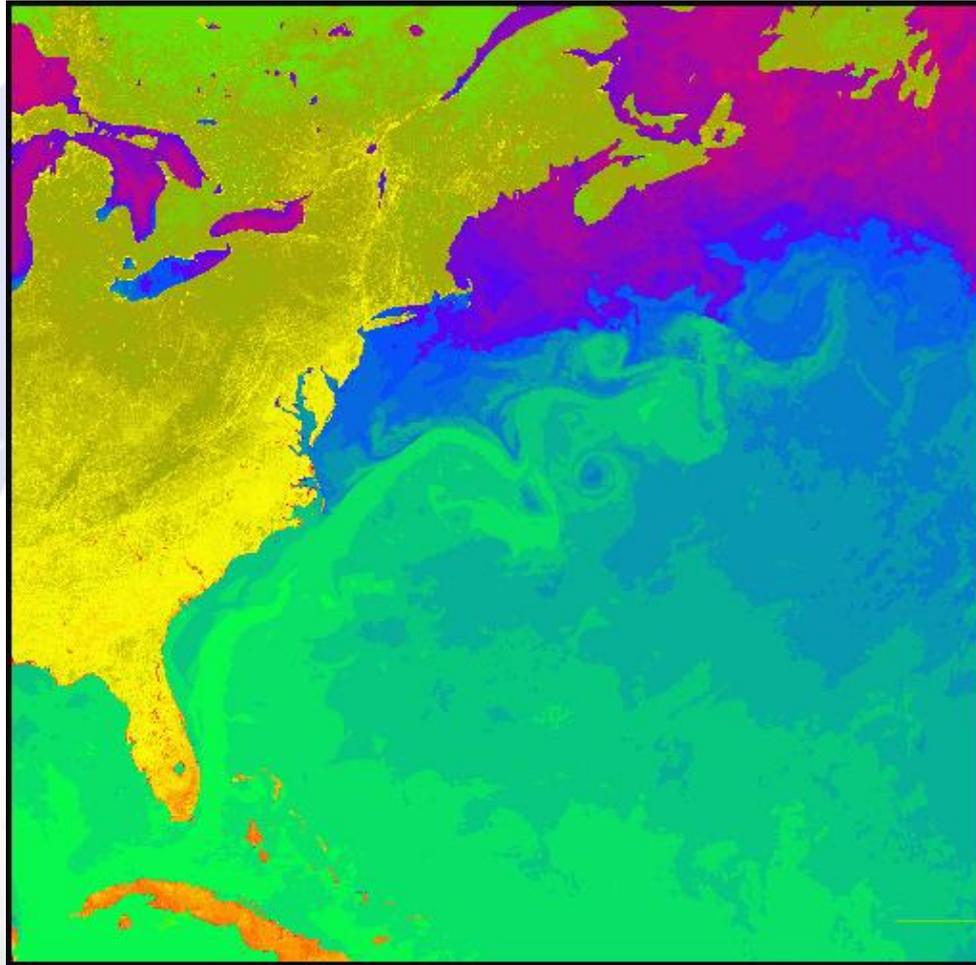
SPOT 4 – 10/20 m. – 822 km. - 26 giorni

IKONOS – 4/1 m. - 680 km. – 3 giorni (off-nadir)

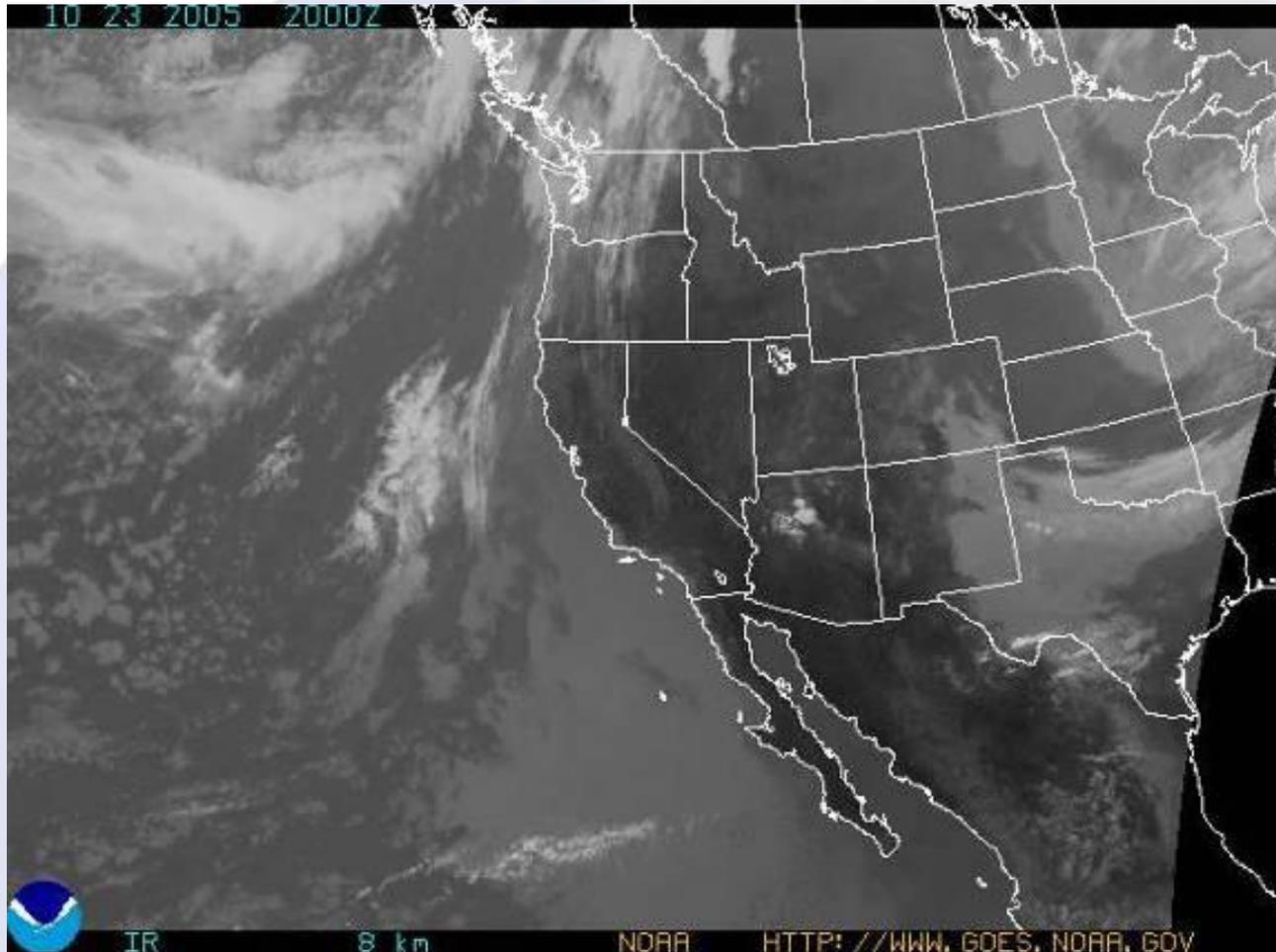
Quickbird - 0.6 m - 450 km. – 3 giorni (off-nadir)

WorldView 2 - 0.5 m. – 770 km. – 1,5 giorni (off-nadir)

# AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) NASA



# GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites) IR 4 (simile a METEOSAT)

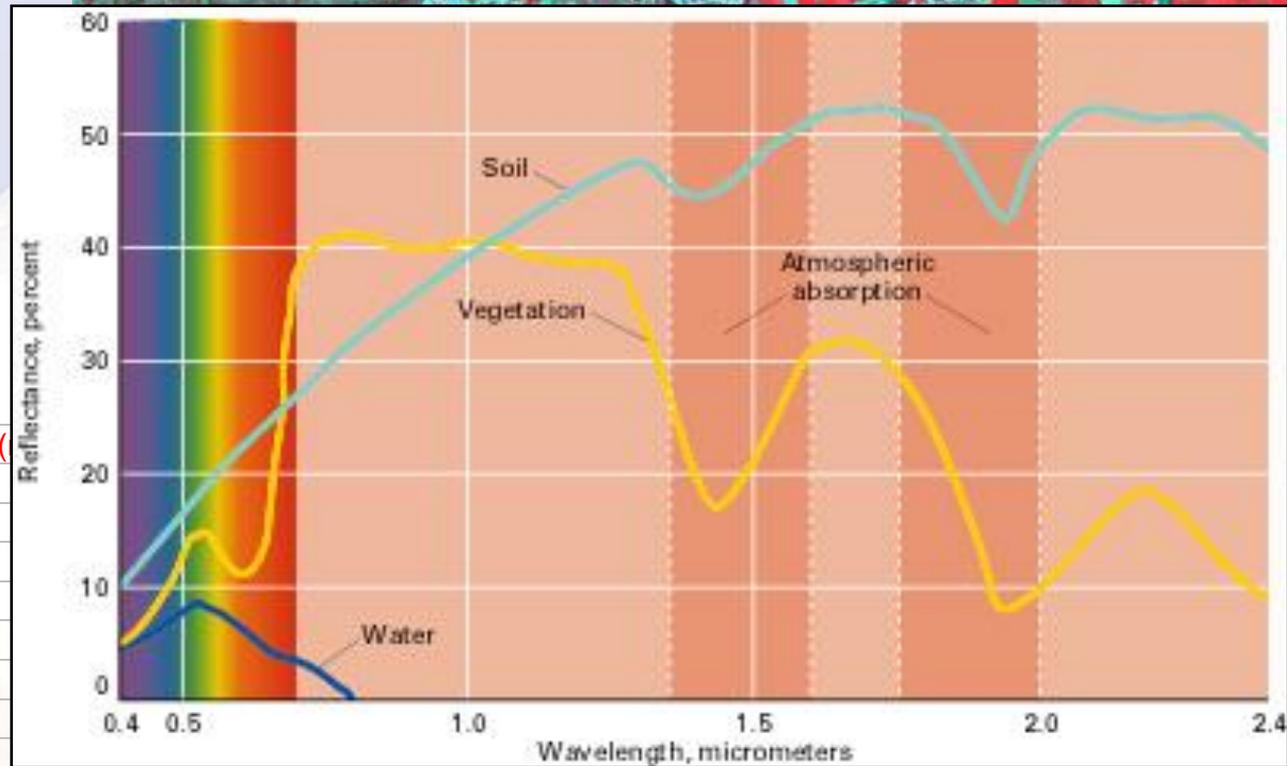
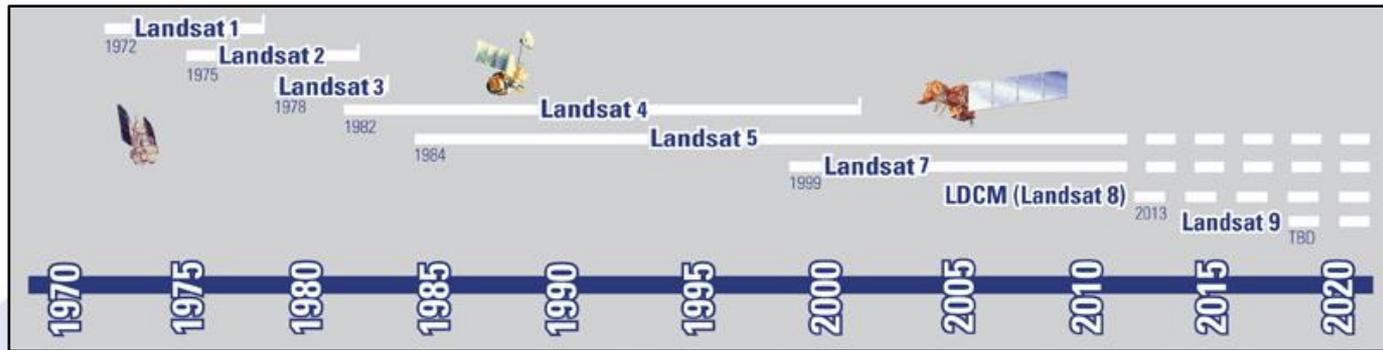


## MODIS (250 m.)



# Landsat TM (30 m)

## False Color Composite 432



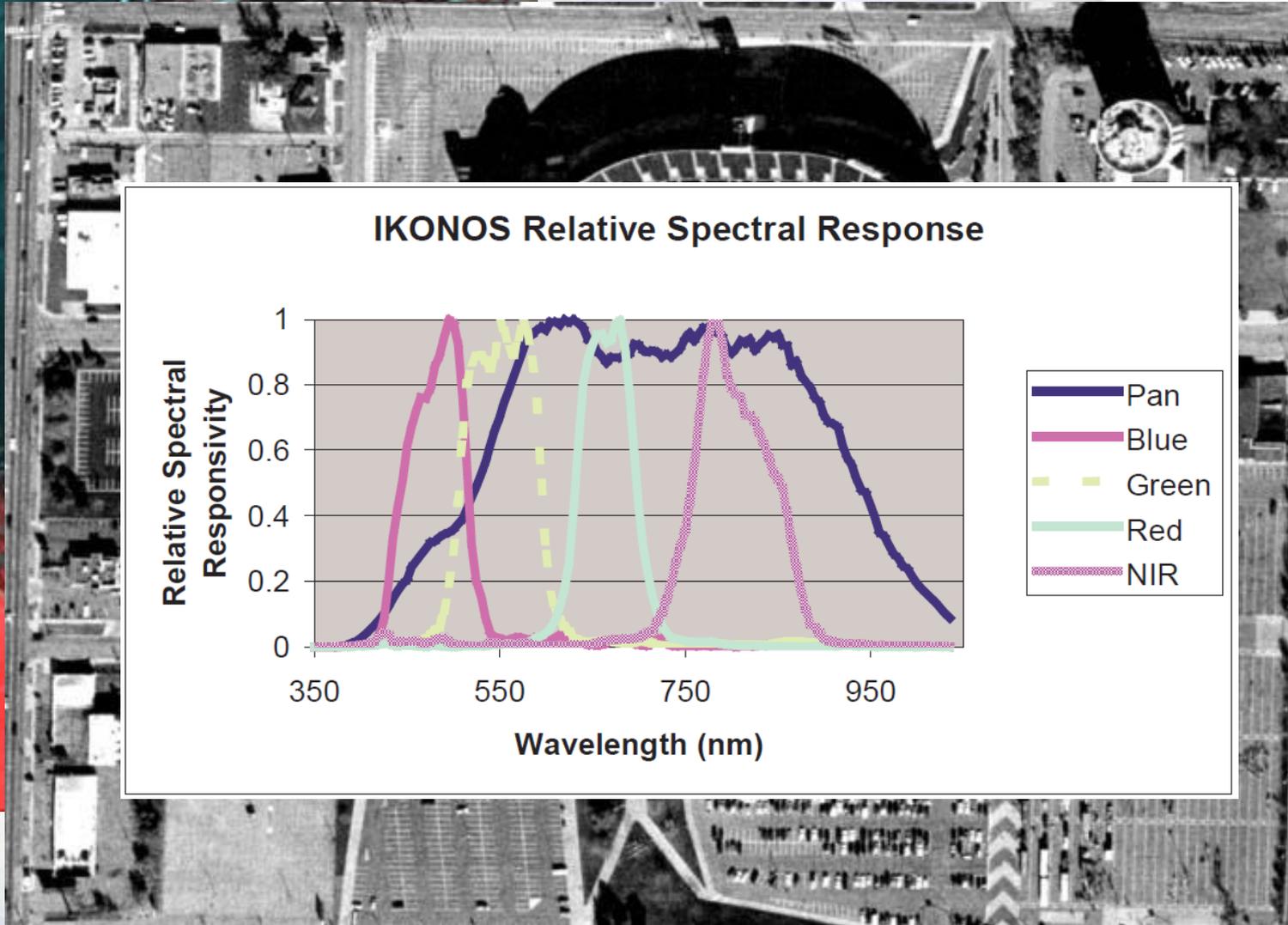
Band	Spectral Range (
1 (Blue)	.450- .515
2 (Green)	.525- .605
3 (Red)	.630- .690
4 (Near IR)	.750- .900
5 (Mid IR)	1.55- 1.75
6 (Thermal IR)	10.4- 12.5
7 (Mid IR)	2.09- 2.35
Panchromatic	.520-.900

SPOT  
(10 m)



Ikonos multispectral (4 m.)

Ikonos Panchromatic (1 m.)



# WorldView, GeoEye (0.5 metri)

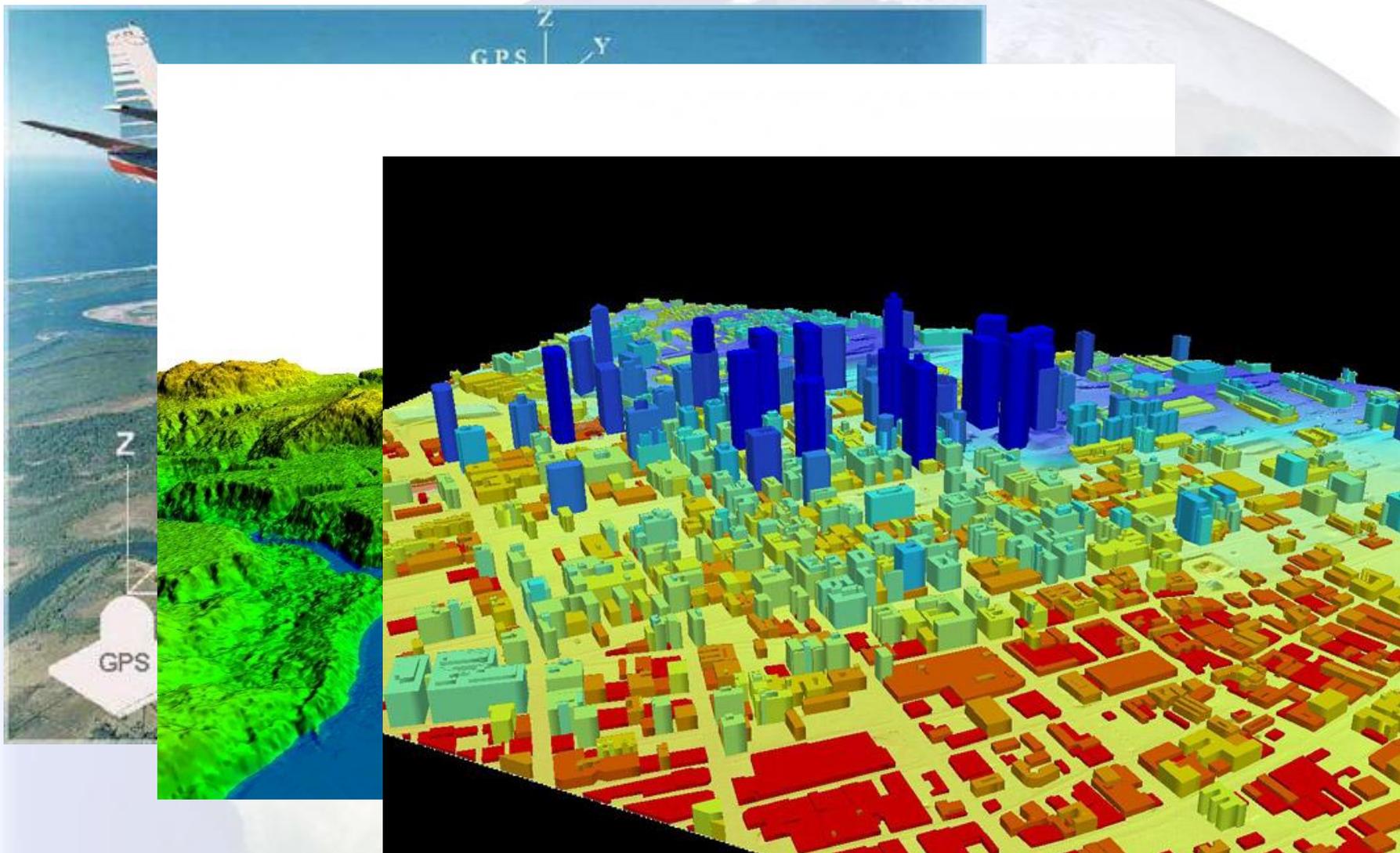


Quickbird (0.6 metri)

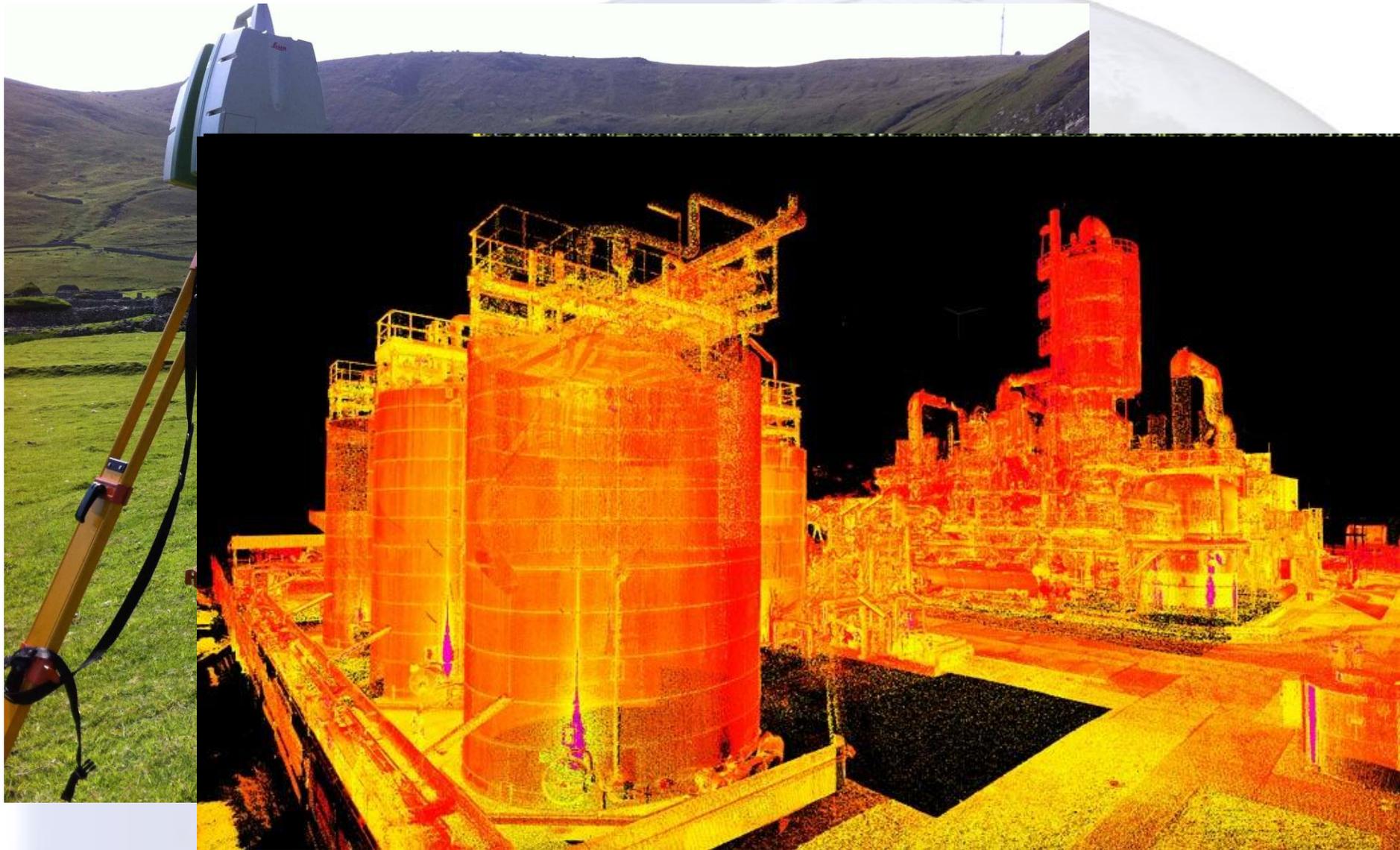
Ten images that define 2016



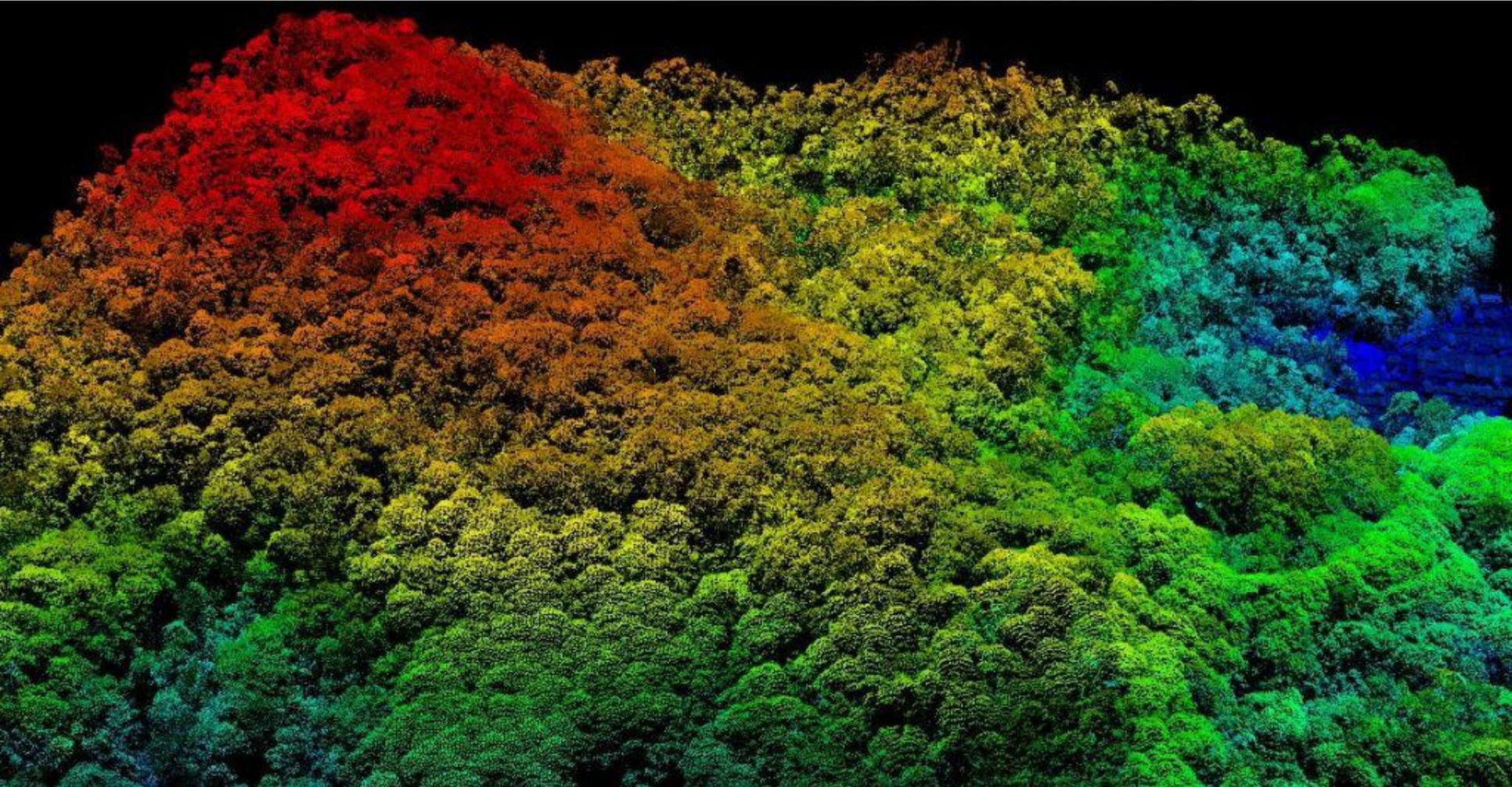
# Dal rilievo laser alla simulazione 3D



# Rilievo laser terrestre

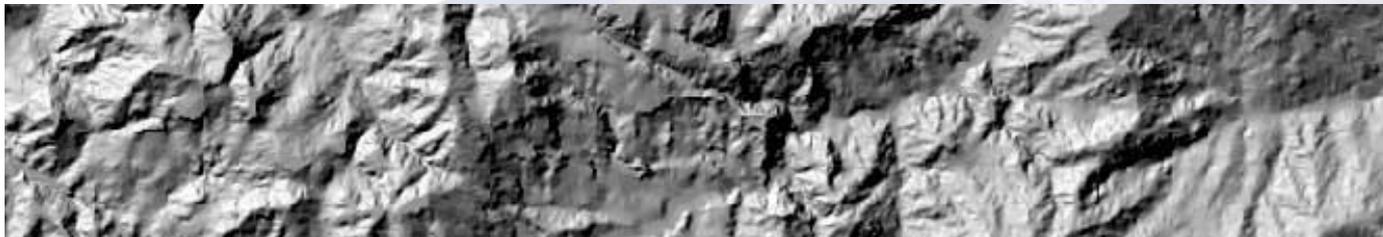


# Le nuvole di punti

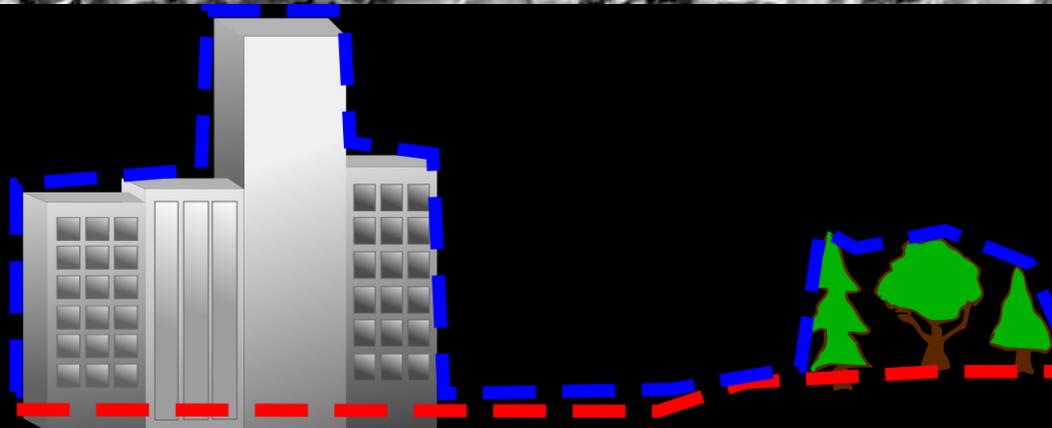


Esempio dal vivo con il software LaserViewer

# DEM e DTM



**DEM**  
**DTM**



# Ricostruzione 3D del territorio

Volo sul lago di Como

Approdo del gasdotto sulla costa di Elkala

Simulazione di un impianto eolico

Utilizzo di software che consente la digitalizzazione degli edifici per costruire i “3D city model”...

Volo su Firenze

Volo su Roma

# Le formule matematiche dietro il funzionamento dei GPS

## ▶ **GPS = Global Positioning System**

E' una costellazione di satelliti

Trasmettono  
posizione e tempo

Ricevitori a terra  
calcolano posizione  
( $x,y,z$ ) e velocità

Realizzato da D.O.D.  
(Dipart. della Difesa USA)



## ► Storia del GPS

- 1969 — Istituzione del Defense Navigation Satellite System (DNSS)
- 1973 — Sviluppo di NAVSTAR Global Positioning System (Navigation System with Timing and Ranging)
- 1978 — Lancio dei primi 4 satelliti (utilizzando il razzo Delta)
- 1993 — Lancio del 24.o satellite. Inizio della fase operativa
- 1995 — Piena capacità operativa

**Maggio 2000:**  
**Accuratezza militare**  
**rilasciata per tutti**

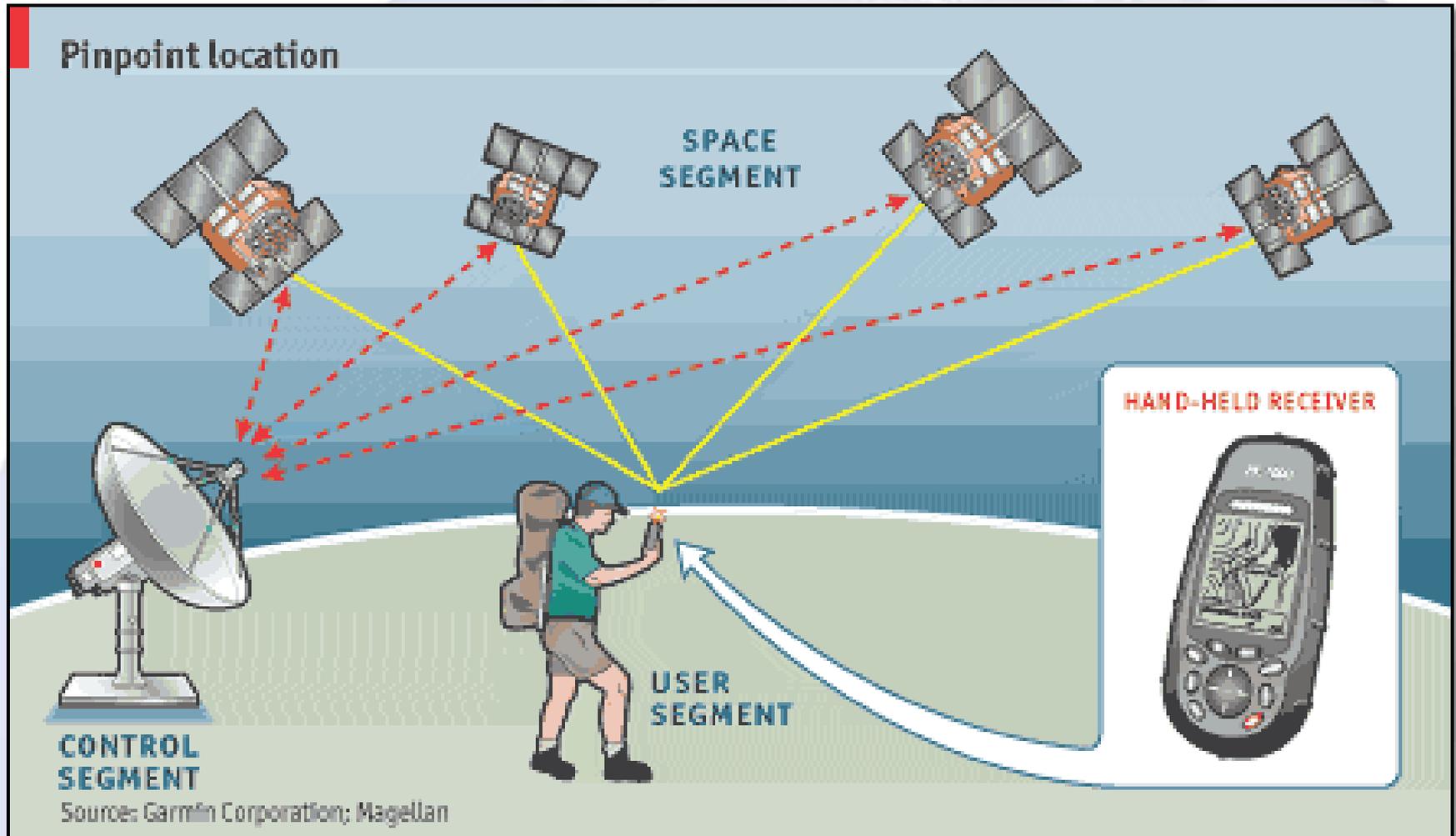


# ► Componenti del sistema GPS

Space

User

Control



## ► Space segment

**24** veicoli satellitari

**6** piani orbitali:

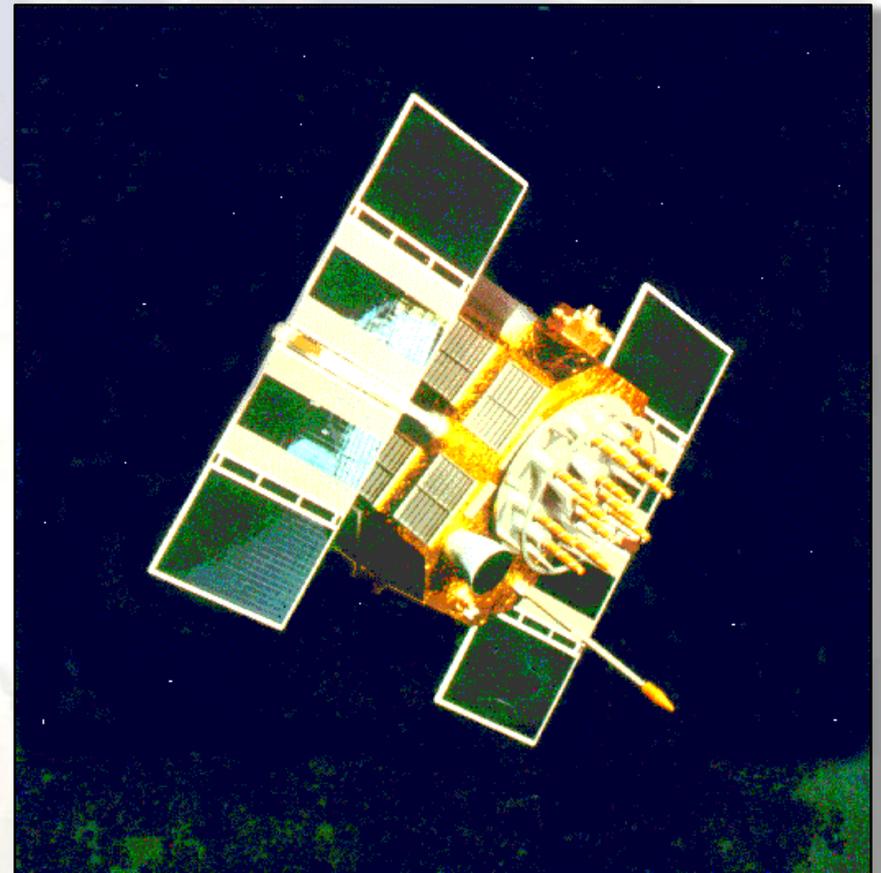
Inclinati di  $55^\circ$   
rispetto all'equatore

Orbite separate di  $60^\circ$

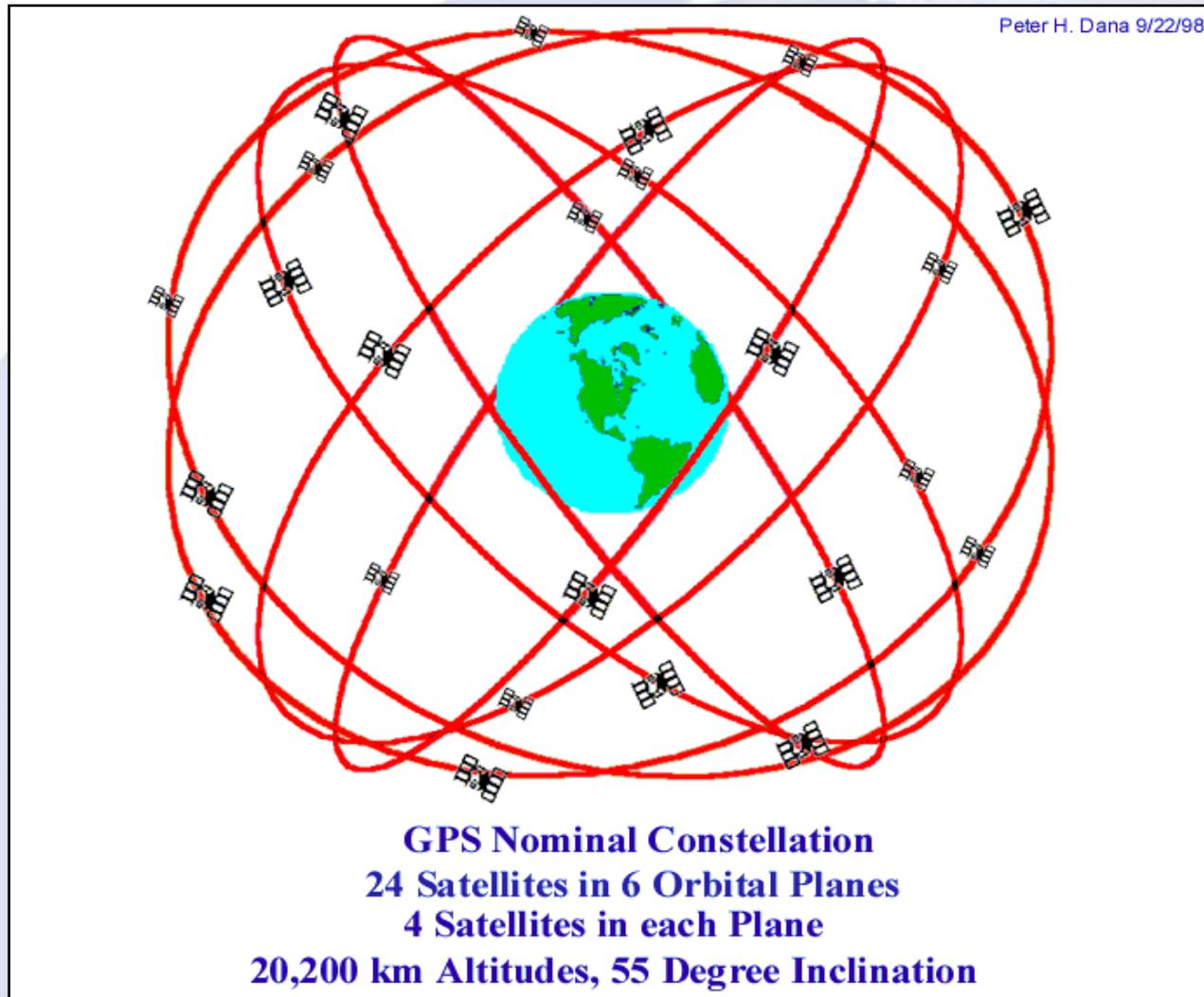
**20.200** km distanza dalla Terra

Periodo orbitale di 11h:55min

Da 5 a 8 satelliti sempre  
Visibili da ciascun punto sulla  
terra



## ► Space Segment



## ► Cosa c'è a bordo di ciascun satellite GPS

4 orologi atomici (100.000\$ ognuno)

3 batterie al nickel-cadmio

2 pannelli solari

Ricarica delle batterie  
Generazione di energia

Antenna S: Controllo del satellite

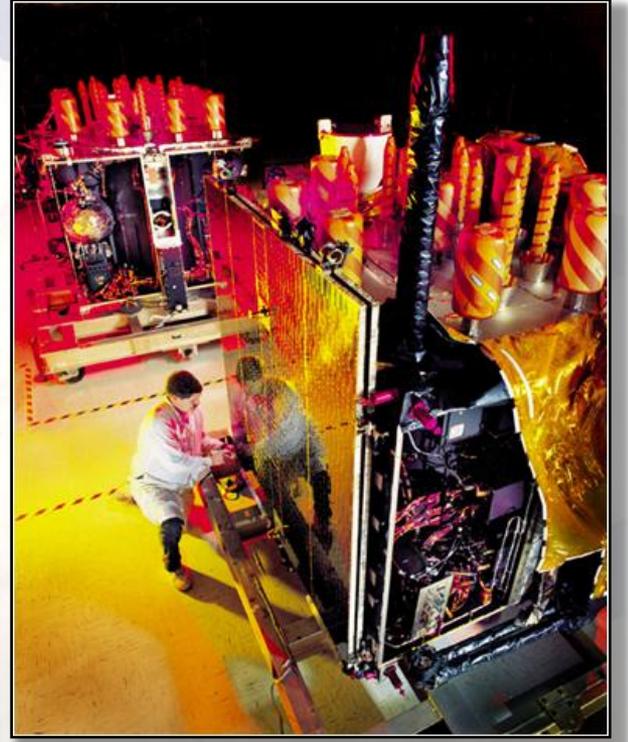
Antenna L: Comunicazione con utenti

Peso: 1077 chilogrammi

Altezza: 4,95 m.

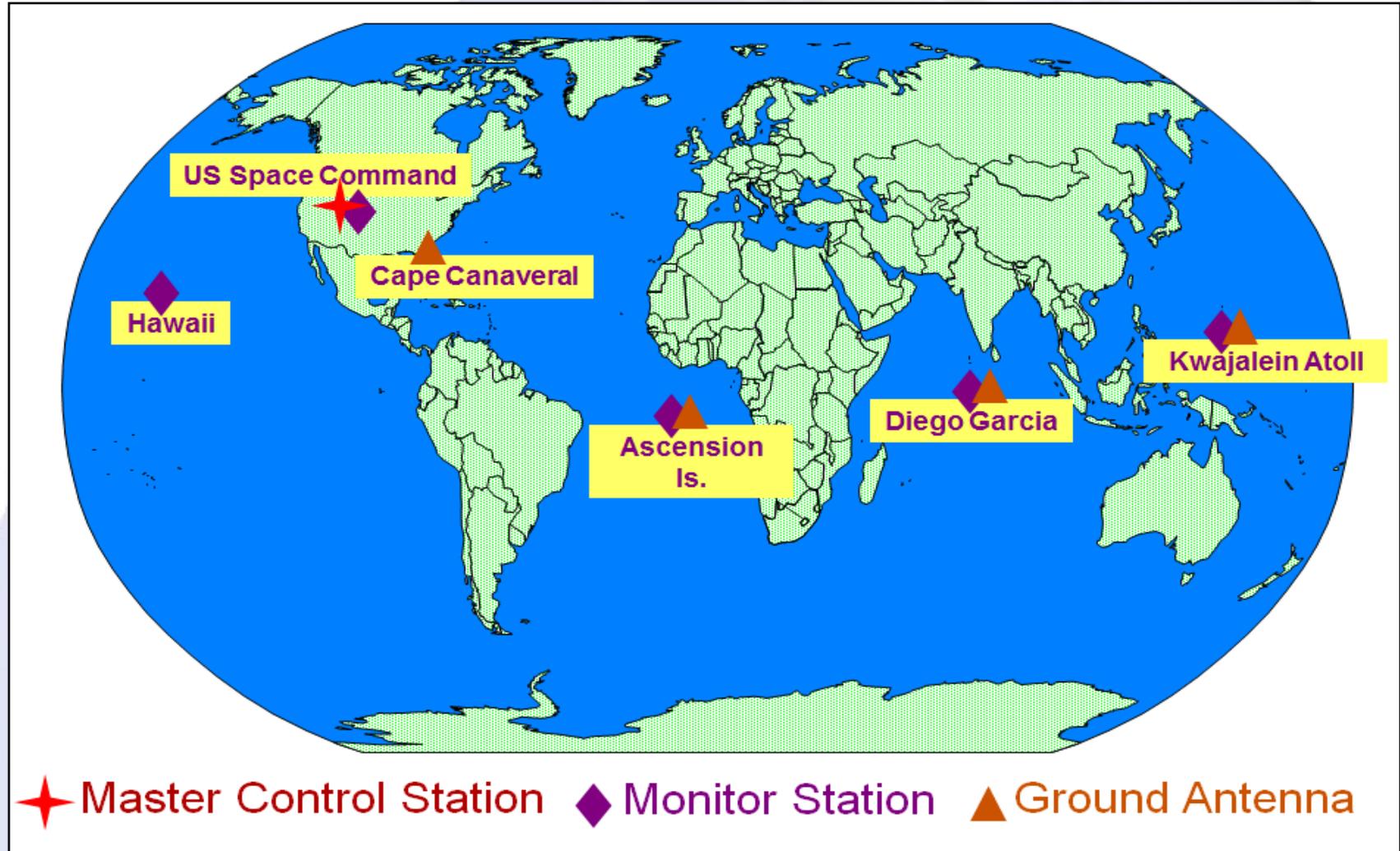
Larghezza: 11,90 m. (ali comprese)

Ciclo di vita: 10 anni



## ► Control Segment

5 stazioni di monitoraggio – 1 Master Control Station (Colorado)



## ► Come funziona il GPS?

Fondamentalmente, ogni ricevitore misura la distanza tra se stesso e uno o piu' satelliti

Il segnale dal satellite arriva ai ricevitori alla velocita' della luce (circa 300.000 km al secondo)

Velocita' = Distanza / Tempo

Distanza = Velocita' x Tempo

Esempio: se ricevo il segnale da un satellite con un ritardo di 0.09 secondi, quanto sono distante?

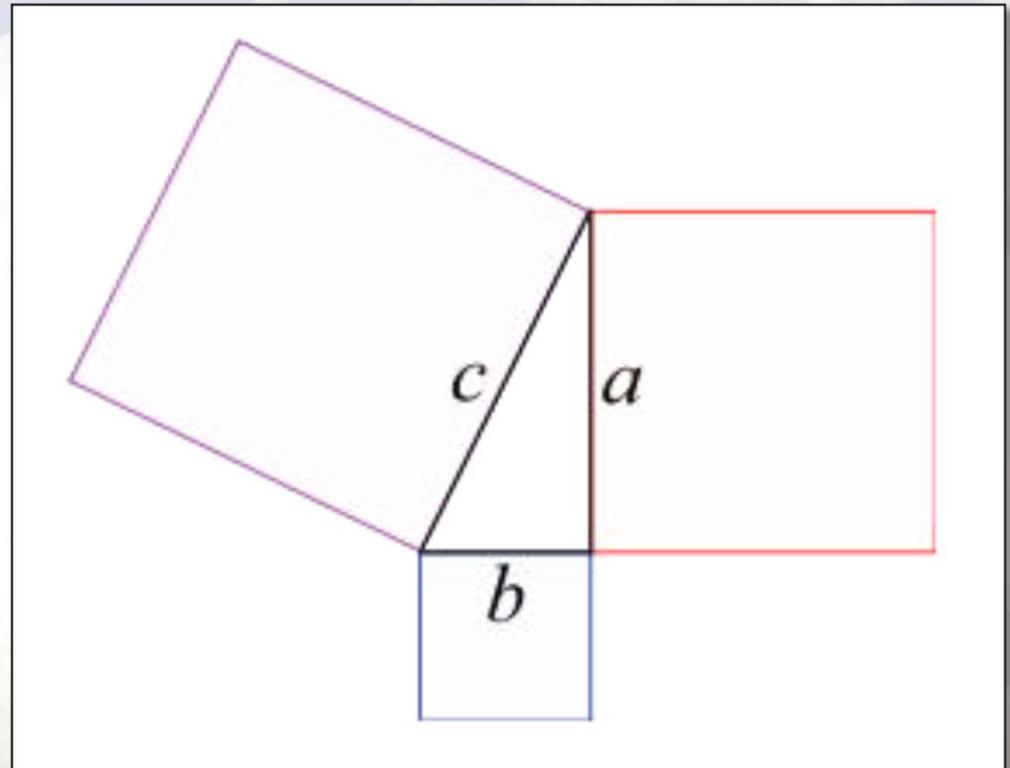
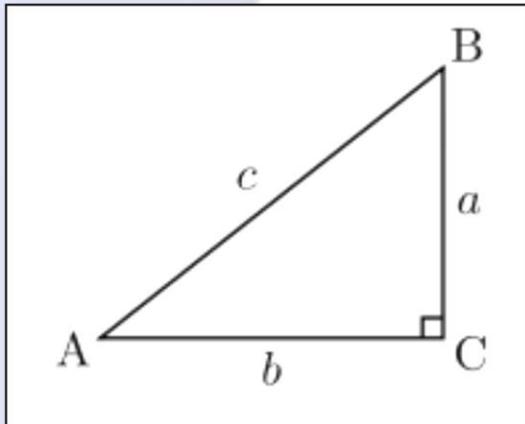
Distanza = 300.000 x 0.09 (km x s) / s = 27.000 km.

## ► Teorema di Pitagora

*In un triangolo rettangolo, l'area del quadrato costruito sull'ipotenusa è equivalente alla somma delle aree dei quadrati costruiti sui due cateti*

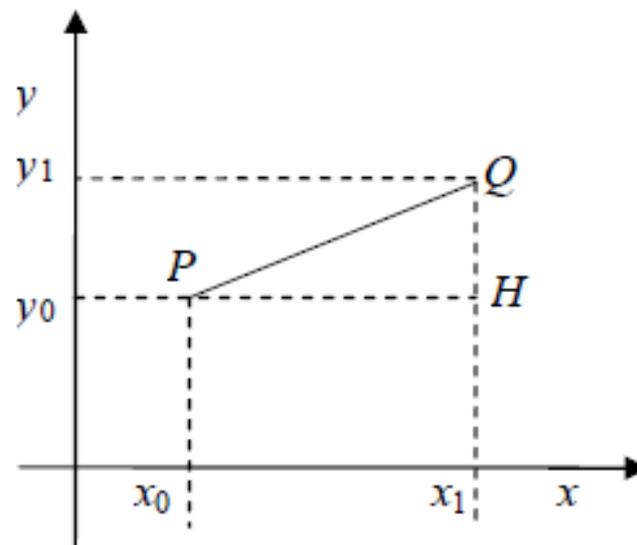
$$a^2 + b^2 = c^2$$

$$\sqrt{a^2 + b^2} = c.$$



## ► Uso Pitagora per calcolare la distanza tra due punti

Sul piano cartesiano, conoscendo le coordinate di due punti P e Q



$PQ$  risulta essere l'ipotenusa del triangolo rettangolo di cateti  $\overline{PH}$  e  $\overline{HQ}$

misura di  $\overline{PH} = |x_1 - x_0|$ ; misura di  $\overline{HQ} = |y_1 - y_0|$ .

Per il teorema di Pitagora, si ricava:

$$\overline{PQ}^2 = \overline{PH}^2 + \overline{HQ}^2 = (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2$$

da cui:

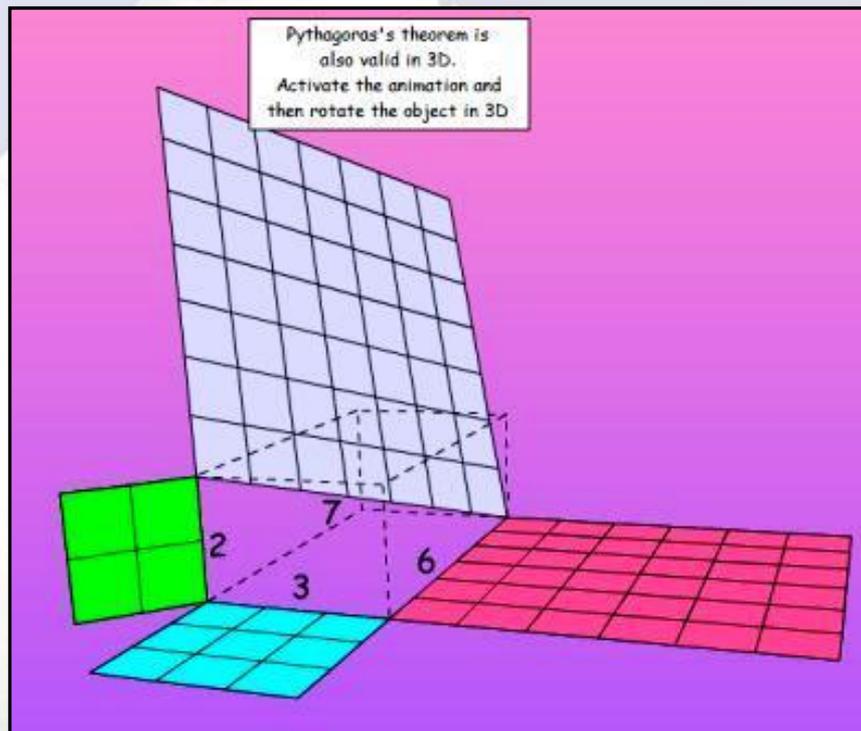
$$\overline{PQ} = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}$$

## ► Cosa succede nello spazio a 3 dimensioni?

La stessa identica cosa puo' essere fatta nelle 3 dimensioni.

Se ho due punti  $P = (p_x, p_y, p_z)$  e  $Q = (q_x, q_y, q_z)$

La distanza e'  $D = \sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2 + (p_z - q_z)^2}$ .



## ► Come applico tutto cio' ai GPS?

Ogni satellite GPS invia in continuazione dei segnali digitali che hanno, al loro interno, le seguenti informazioni:

Posizione assoluta del satellite:  $X_s, Y_s, Z_s$

Tempo assoluto di invio del segnale:  $T_s$

Il ricevitore GPS, utilizzando il suo tempo  $T_r$  e' in grado di calcolare la distanza dal satellite  $D = c * (T_r - T_s)$

Possiamo scrivere la seguente equazione:

$$D^2 = (x - X_s)^2 + (y - Y_s)^2 + (z - Z_s)^2$$

$x, y, z$  sono le nostre incognite (ovvero la nostra posizione)

Come facciamo a calcolarle?

## ► Ho bisogno di almeno 3 satelliti!

$$\left\{ \begin{array}{l} D_1^2 = (x - X_{s1})^2 + (y - Y_{s1})^2 + (z - Z_{s1})^2 \\ D_2^2 = (x - X_{s2})^2 + (y - Y_{s2})^2 + (z - Z_{s2})^2 \\ D_3^2 = (x - X_{s3})^2 + (y - Y_{s3})^2 + (z - Z_{s3})^2 \end{array} \right.$$

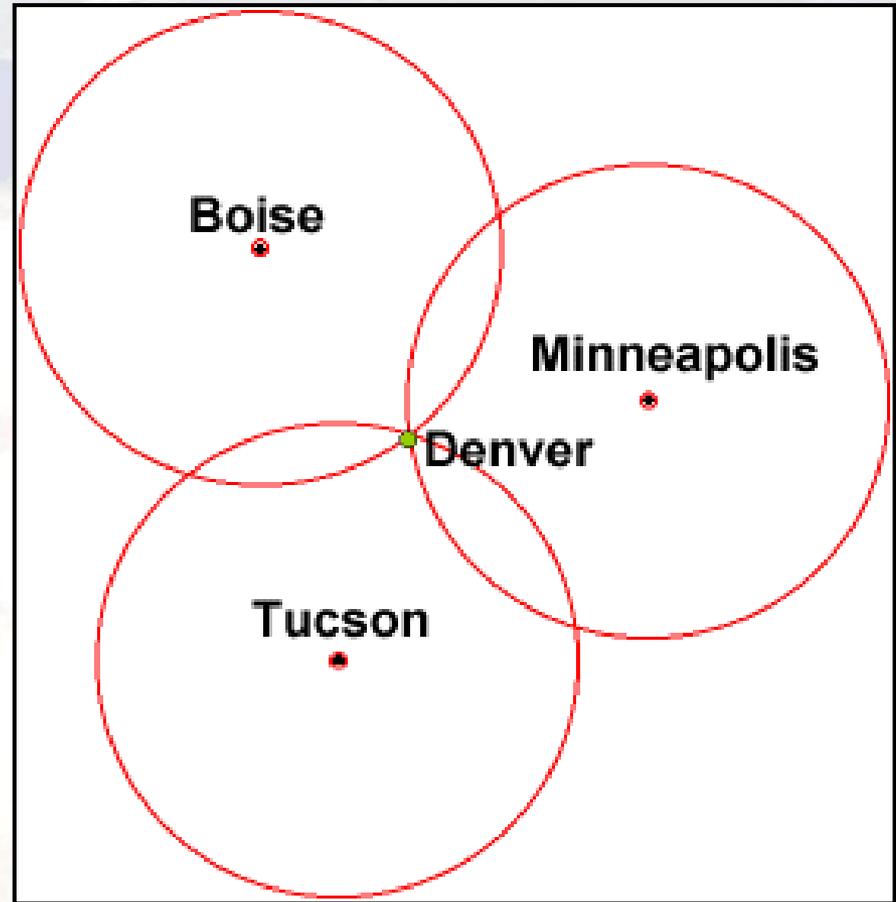
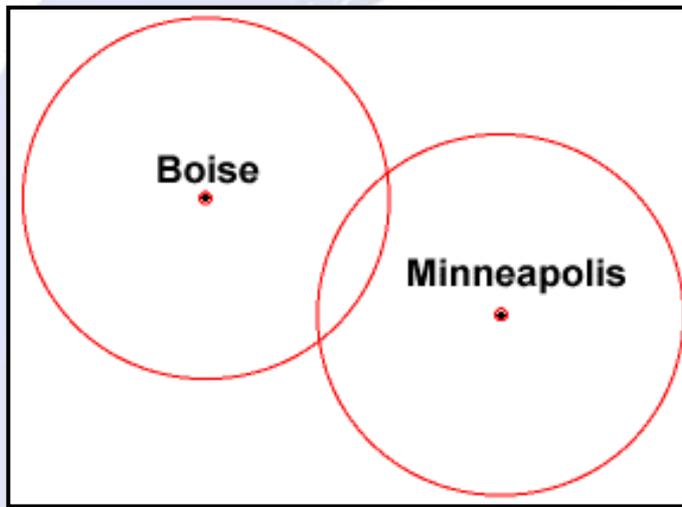
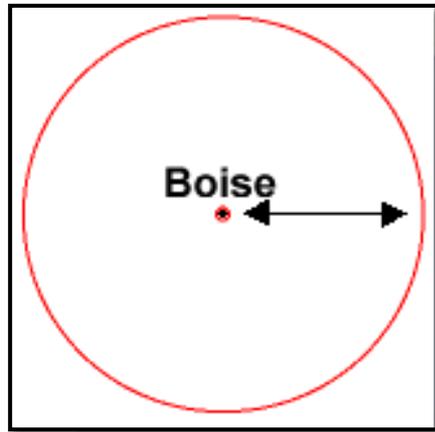
Ho un sistema di 3 equazioni con 3 incognite: lo risolvo e calcolo  $(x,y,z) \rightarrow$  **Ho ottenuto la mia posizione!**

In realta', dato che ricevitore GPS ha un orologio molto meno preciso rispetto all'orologio atomico a bordo dei satelliti GPS, avro' un errore di calcolo molto grande.

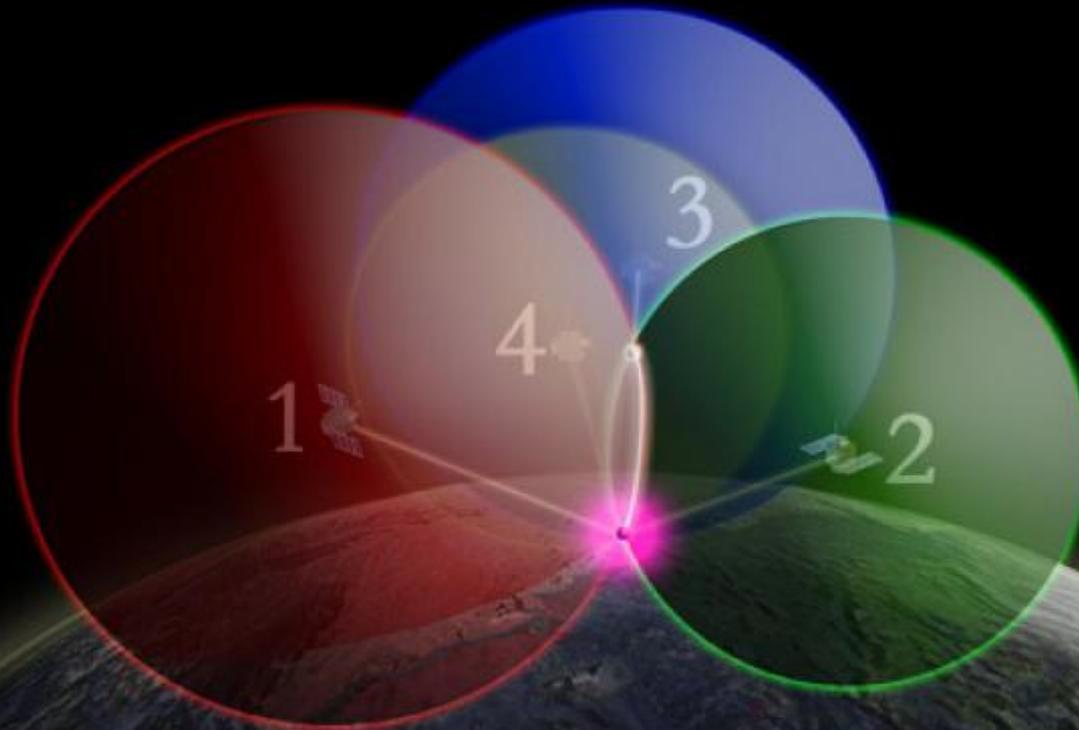
Per diminuire tale errore e' necessario utilizzare un quarto satellite e mediare l'errore con un procedimento di approssimazione ai MINIMI QUADRATI

# ► Vediamo il calcolo dal punto di vista geometrico

Il processo si chiama **Trilaterazione**



▶ In 3D puo' essere illustrato cosi':



▶ Le formule matematiche dietro il funzionamento dei GPS

## ► Valutazione degli errori di posizionamento

### Sorgente

Satellite clocks:

Orbital errors:

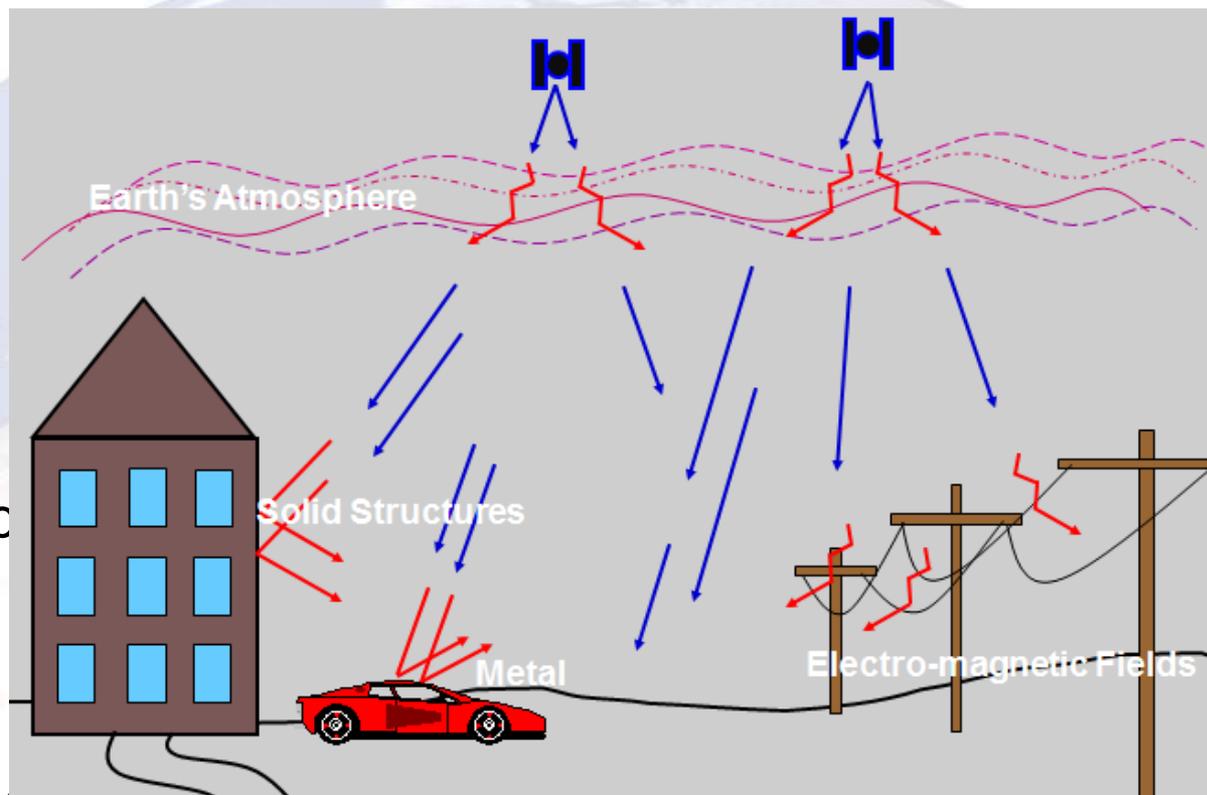
Ionosphere:

Troposphere:

Receiver noise:

Multipath:

Selective Availab



Oggi possiamo aspettarci una precisione orizzontale di circa **10/15 metri**, di **25 metri** in verticale

Ci sono metodi per migliorarla ma richiedono ulteriore apparecchiatura hardware (GPS differenziale)

# **Il programma Copernicus**

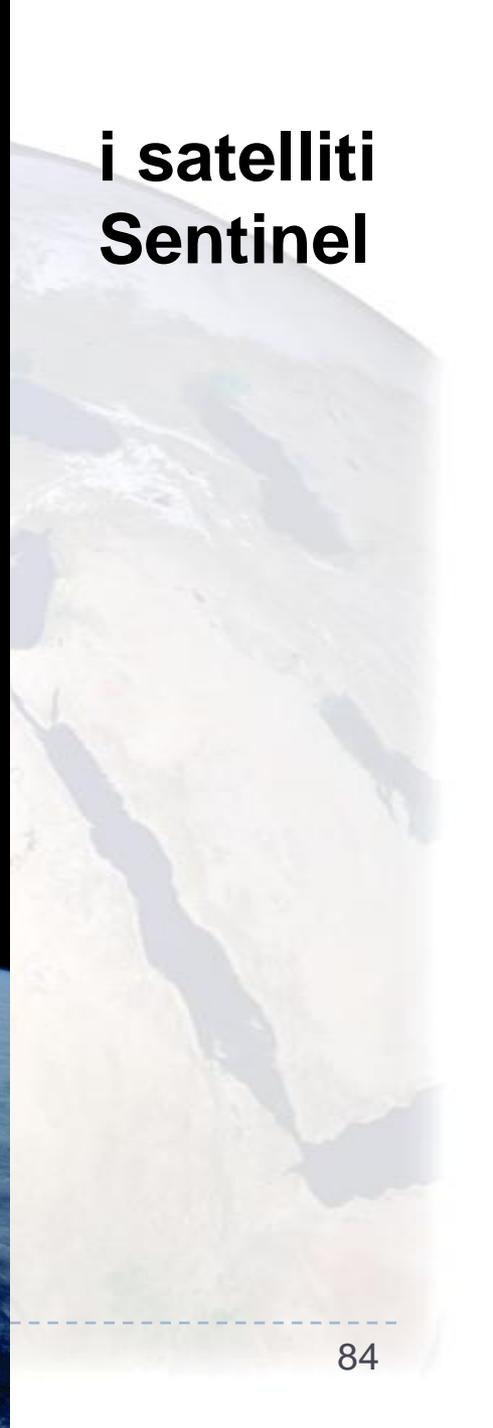
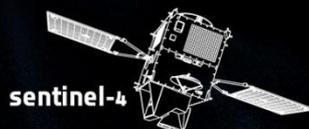
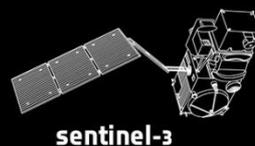
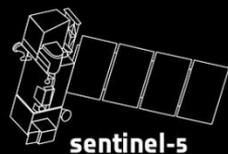
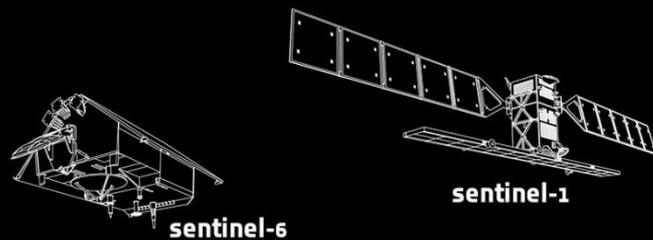
**E' il più grande ed organico programma di osservazione della terra.**

**Definito e finanziato dalla Commissione Europea in partnership con l'Agencia Spaziale Europea (ESA)**

**Stima di circa 7 miliardi di euro di spesa, di cui 4.5 dal 2014 al 2020**

**Basato sui satelliti denominati Sentinel**

# i satelliti Sentinel



## The European Earth Observation programme



# What is Copernicus?



## European response to global needs:

- to manage the environment,
- to mitigate the effects of climate change and
- to ensure civil security



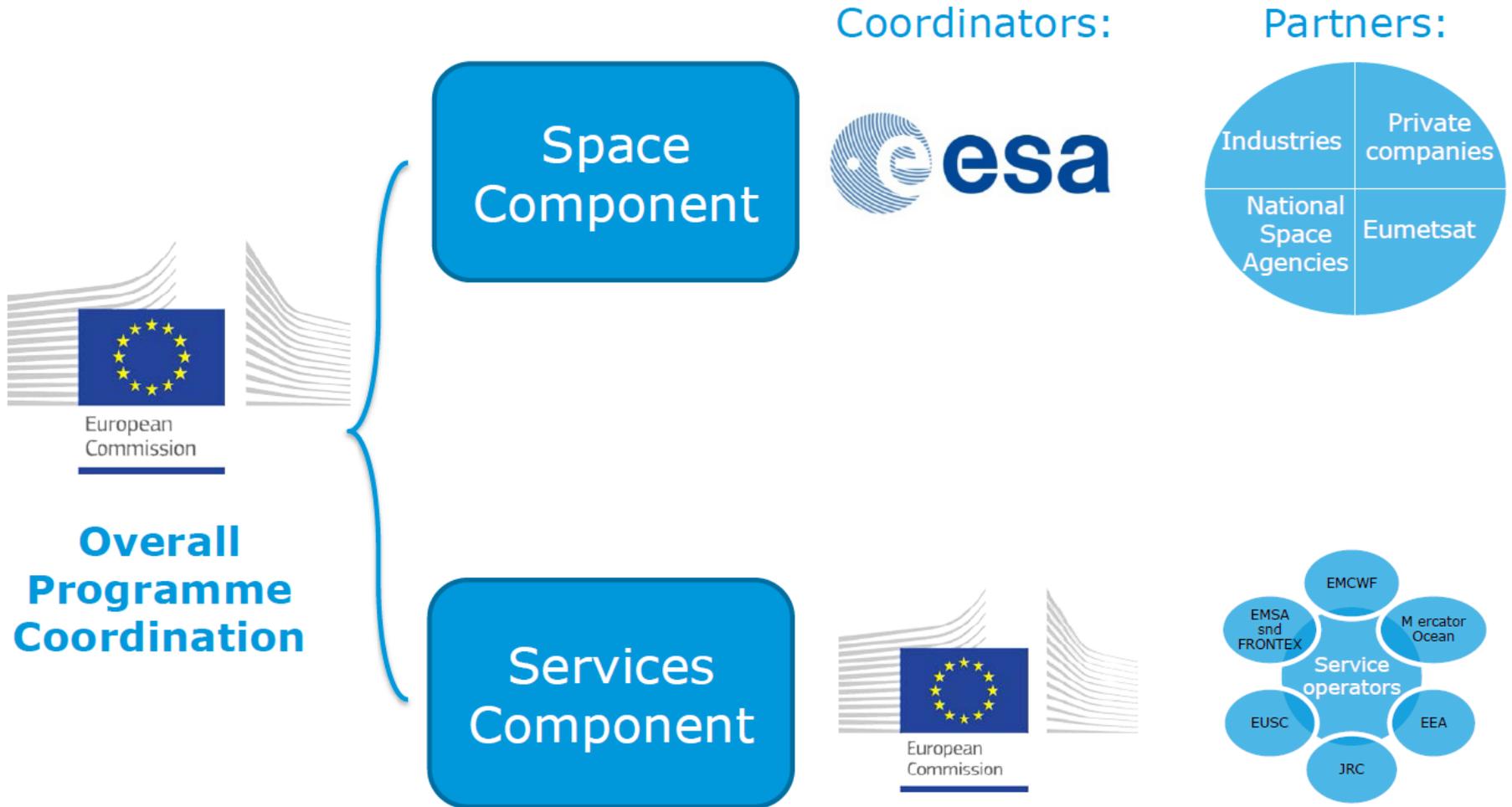
# Copernicus



# Copernicus Users

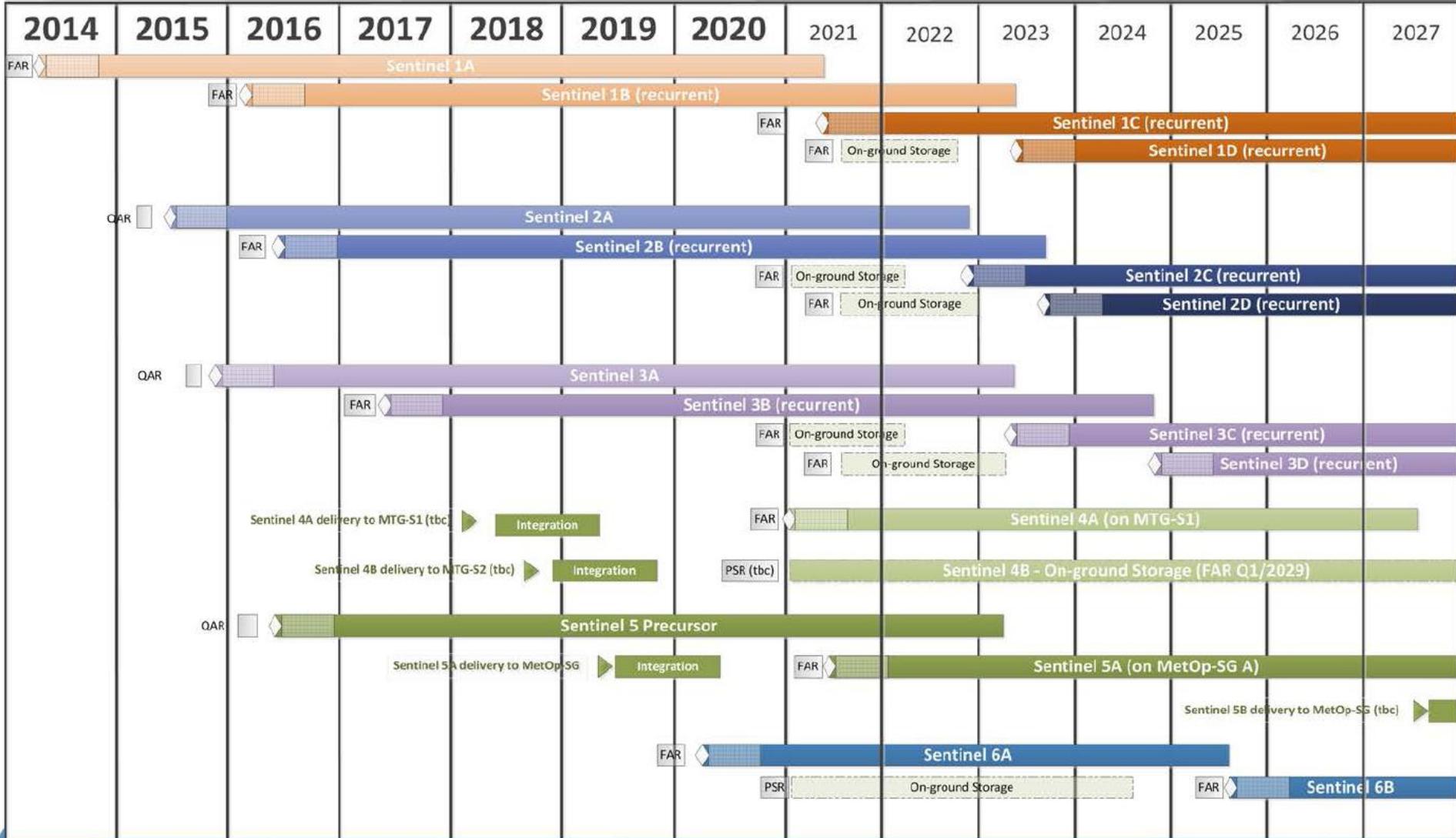


# Components & Competences



**In-situ data are supporting the Space and Services Components**

# ... with a long-term operational perspective



Qualification Acceptance Review (QAR)  
 Flight Acceptance Review (FAR) or PreStorage Review (PSR)
  On-ground Storage
  Tentative launch date
  In-orbit Commissioning

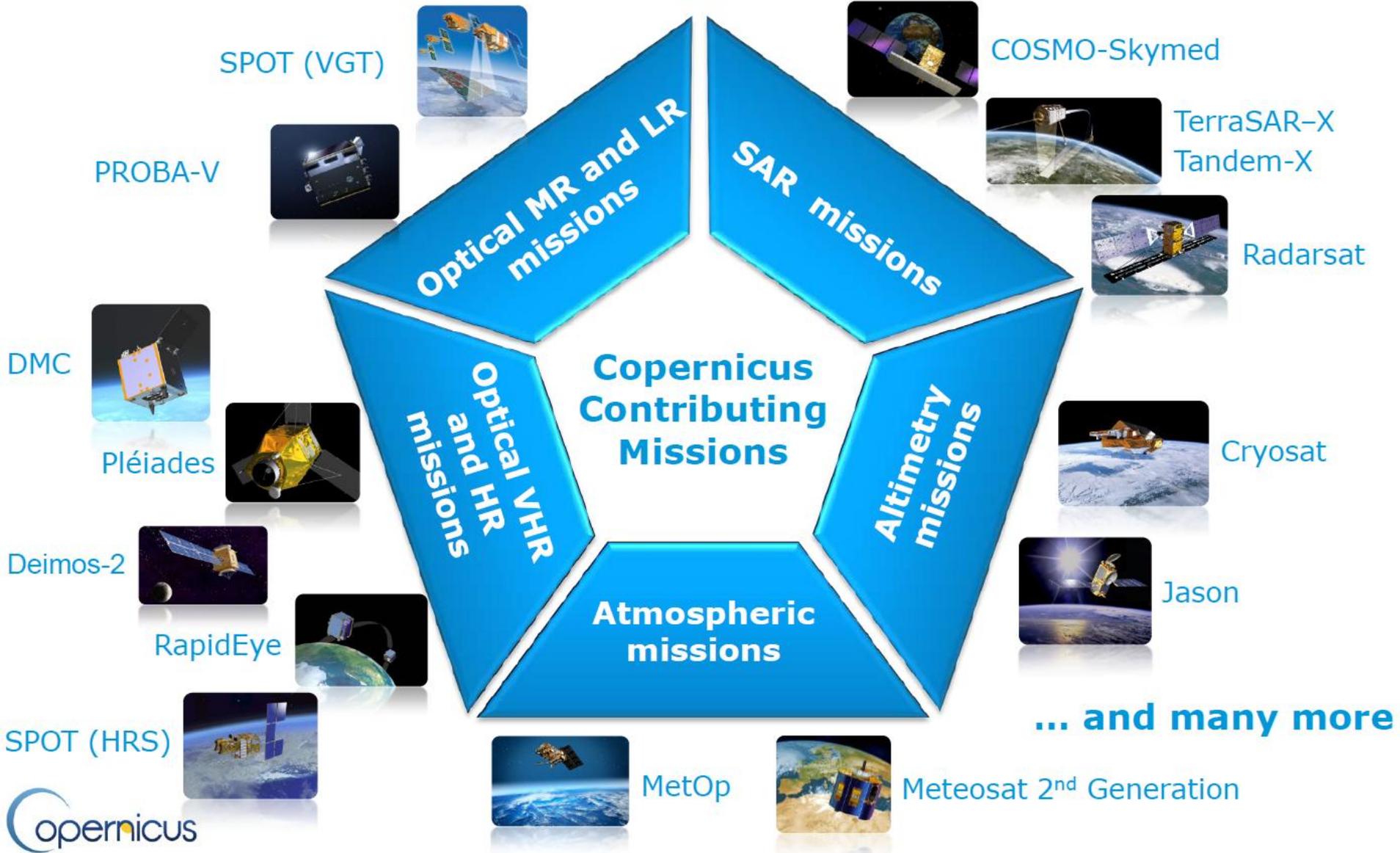
# Launch Sentinel-1A



- 3 April 2014
- Kourou spaceport
- Soyuz-2 rocket
- New era of Earth observation



# Copernicus Contributing Missions



## Sentinel Data Policy = **FREE and OPEN access**

The EC Regulation on Copernicus Data and Information policy stipulates the main principles of Sentinel Data Policy:

- ✓ **Open** access to Sentinel data by anybody and for any use
- ✓ **Free** of charge data licenses
- ✓ **Restrictions possible** due to technical limitations or security constraints.



Copernicus Contributing Missions data access follow their owners data policies.

## Mission profile:

- 
- ▶ **C-Band SAR** at 5.4 GHz, multi-polarisation
  - ▶ Sun synchronous orbit at **693 km** mean altitude
  - ▶ **250 km** swath width (Interferometric Wide-swath mode)
  - ▶ **6 days** repeat cycle at Equator with 2 satellites
  - ▶ **7 years** design life time, consumables for 12 years
  - ▶ **4** nominal mutually exclusive operation modes

## Mission objectives:

- ▶ Ice and marine, land monitoring
- ▶ Mapping for humanitarian aid and crisis management

# Sentinel-2 Superspectral imaging mission



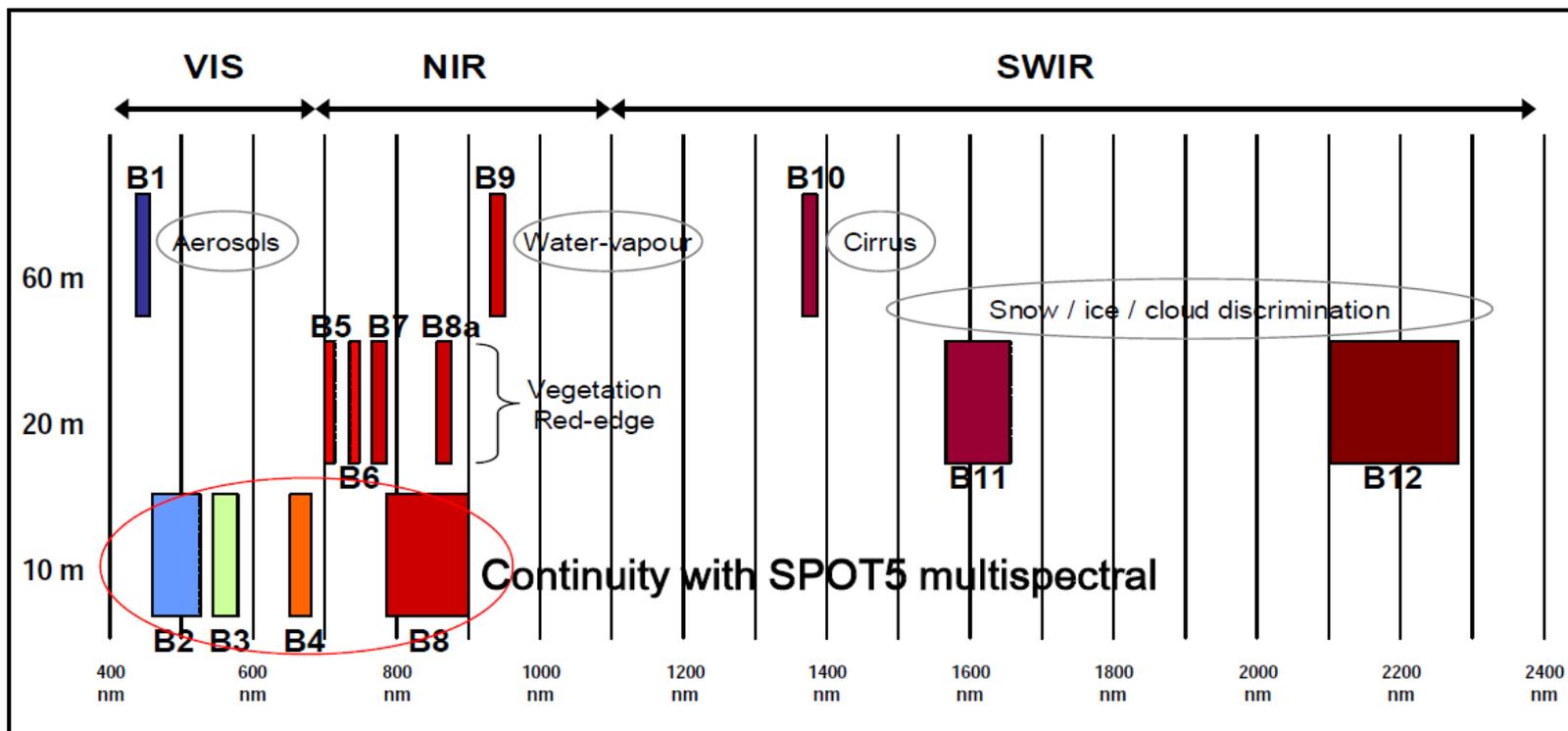
## Mission profile

- ↓ Multispectral instrument with **13** spectral bands (VIS, NIR & SWIR)
- ↓ Sun synchronous orbit at **786 km** mean altitude
- ↓ **290 km** swath width
- ↓ **5 days** repeat cycle at Equator (cloud free) with 2 satellites
- ↓ **7 years** design life time, consumables for 12 years
- ↓ **10, 20** and **60 m** spatial resolution

## Mission objectives:

- Generic land cover maps
- Risk mapping and disaster relief

# Sentinel-2: 13 Spectral Bands



## Spectral bands versus spatial resolution

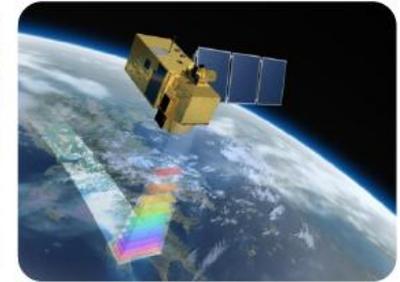
LANDSAT 7



SPOT-5



# Copernicus Quantum Leap: Sentinel-2



	<b>Landsat-8</b>	<b>SPOT-5</b>	<b>Sentinel-2</b>
Launch (most recent)	2013	2002	2015+
Earth Coverage (days)	16	26	5
Swath (km)	185	2*60	290
Multispectral Bands	8 MS + 1 PAN + 1 TIR	4 MS + 1 PAN	13 MS
Ground Resolution (m)	15, 30	5, 10, 20	10, 20, 60

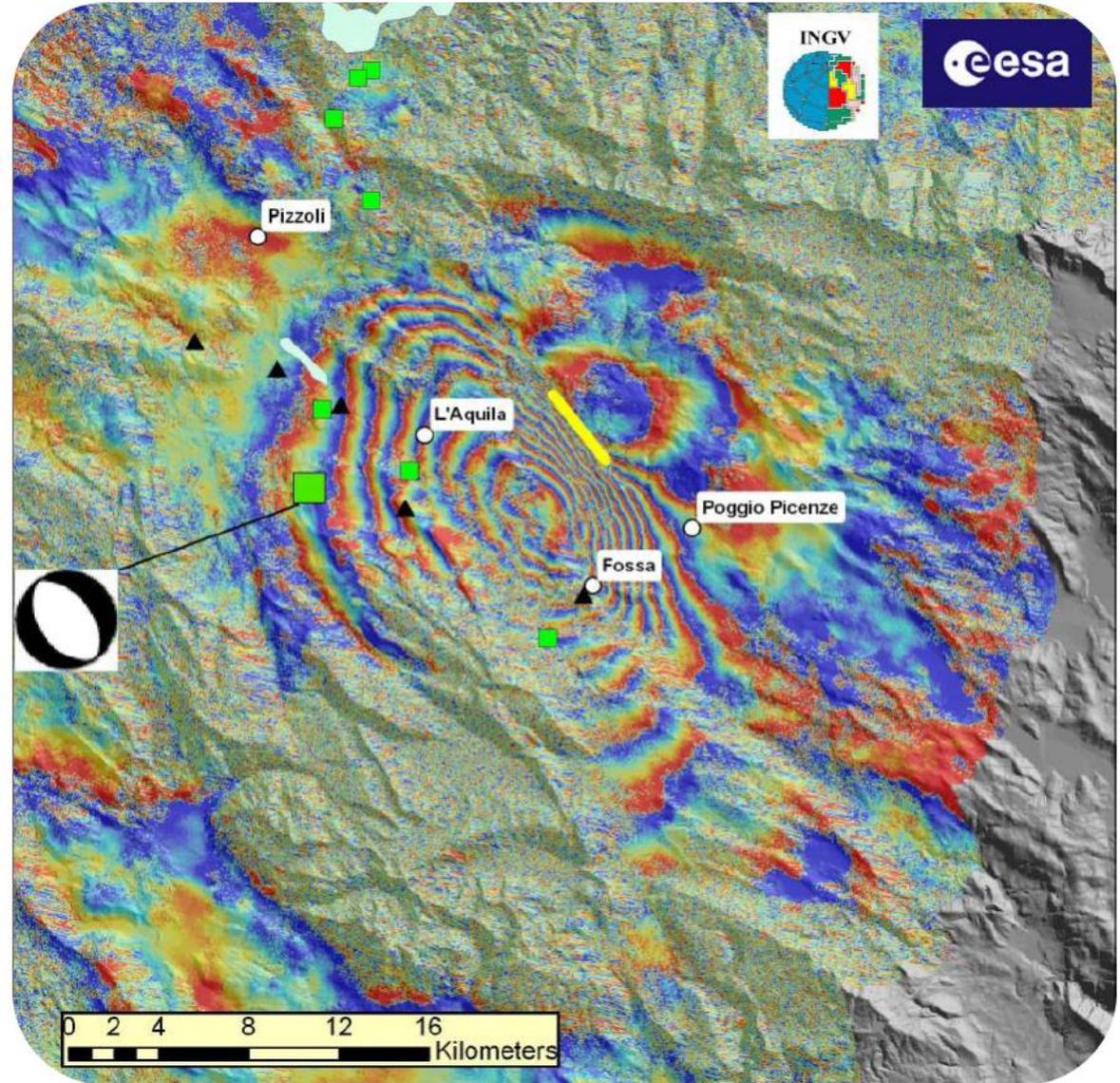
# Copernicus Services Component



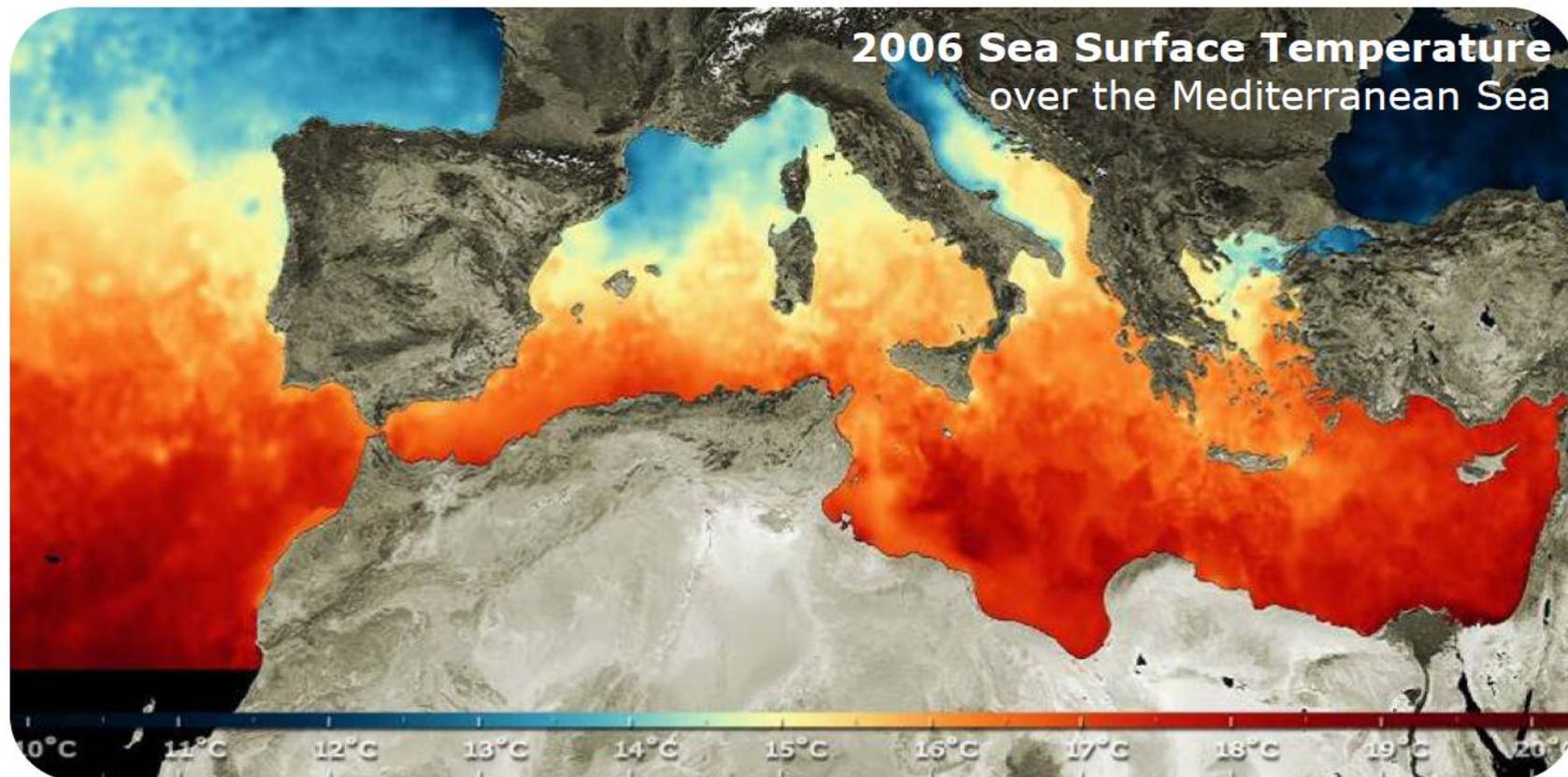
# Example of Land Monitoring



**Devastating earthquake**  
in L'Aquila, Italy  
on 6<sup>th</sup> April, 2009  
(Magnitude: 6.3)



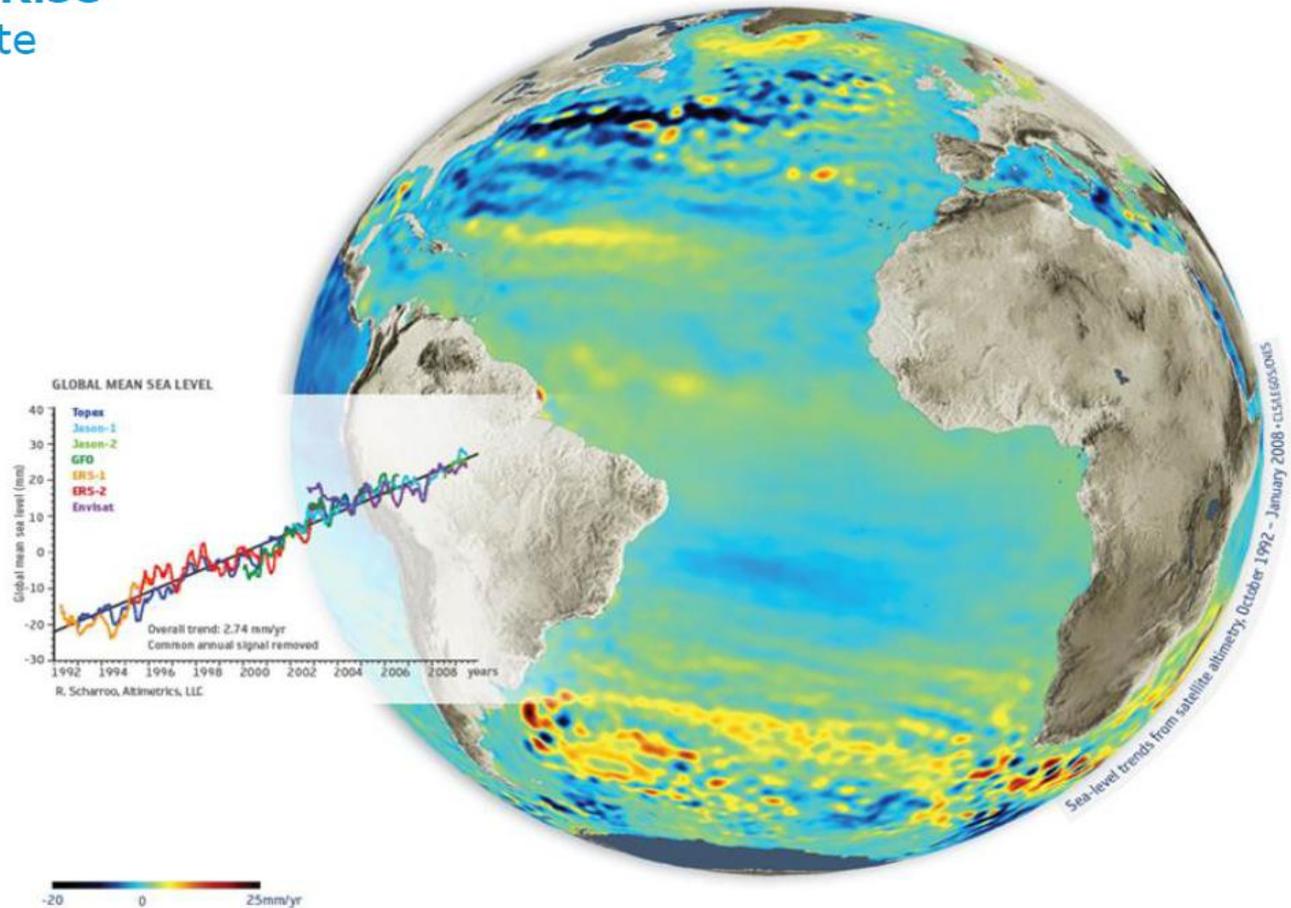
# Example of Marine Monitoring



Credits: Medspiration

# Example of Marine Monitoring

## Global Sea Level Rise from several satellite radar altimeters



# Monitoraggio agricoltura (Spagna 2015)

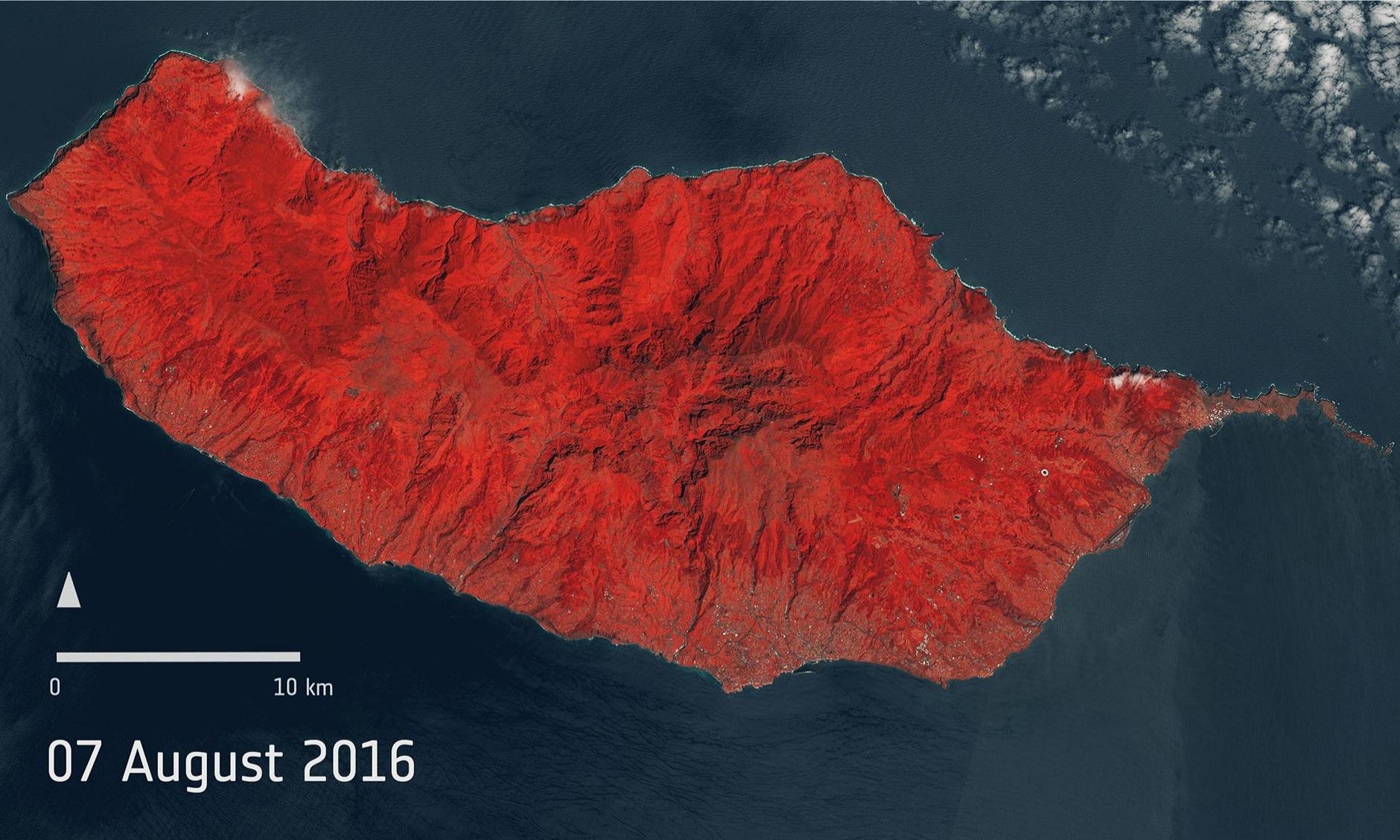


February

# Classificazione uso del suolo forestale (Chapas)



# Monitoraggio incendi (Madeira 2016)



## **Filmati su Copernicus:**

**[Presentazione di Copernicus \(Copernicus.mp4\)](#)**

**[Introduzione a Sentinel 2A \(EarthFromSpace.mp4\)](#)**

## **Sentinel Playground:**

**<http://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground>**



Slides di questa presentazione:

---

- ▶ <http://www.daigio.it/MatematicaETerritorio.pdf>

**Grazie per l'attenzione!**