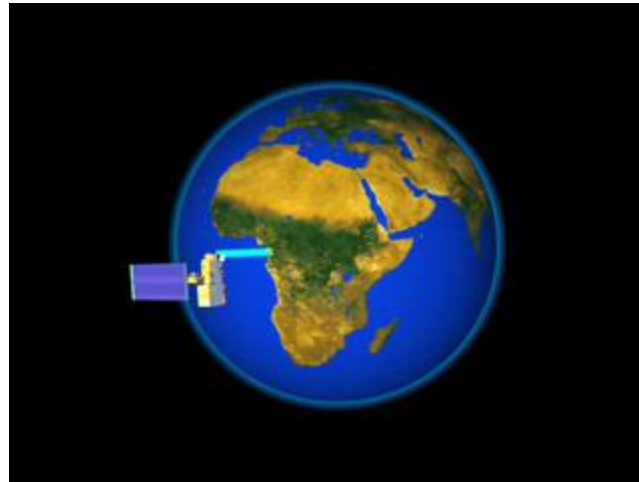


IL TELERILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE



Roberto Colombo

LABORATORIO DI TELERILEVAMENTO DELLE DINAMICHE AMBIENTALI

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

EMAIL: roberto.colombo@unimib.it

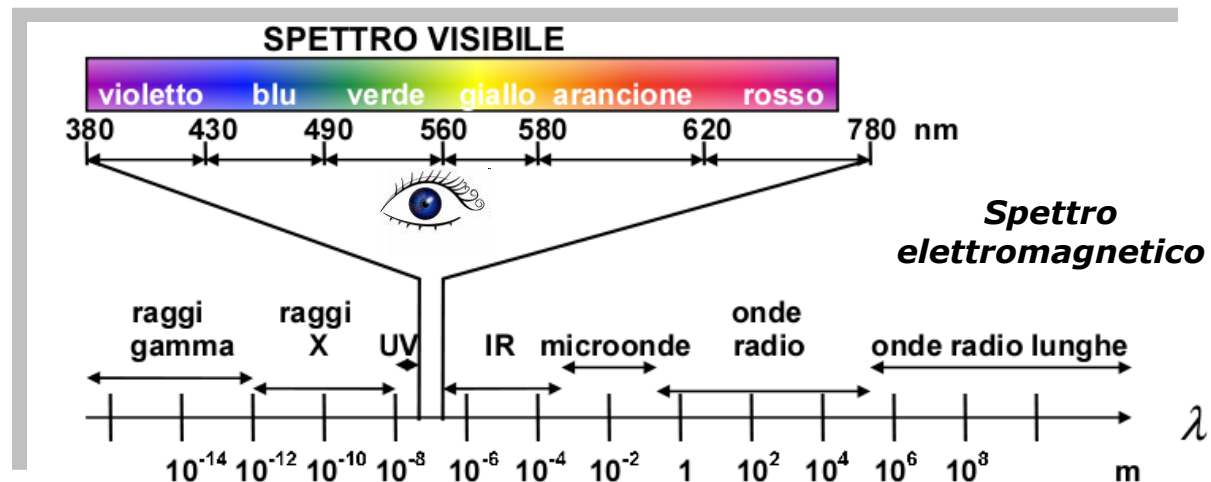
Introduzione

Che cos'è il Telerilevamento (Remote Sensing) ?

Il telerilevamento è una scienza che permette di ottenere informazioni qualitative o quantitative relative a un oggetto o un'area tramite la registrazione e l'analisi di dati acquisiti da un dispositivo che non è direttamente a contatto con l'oggetto o l'area o investigata;

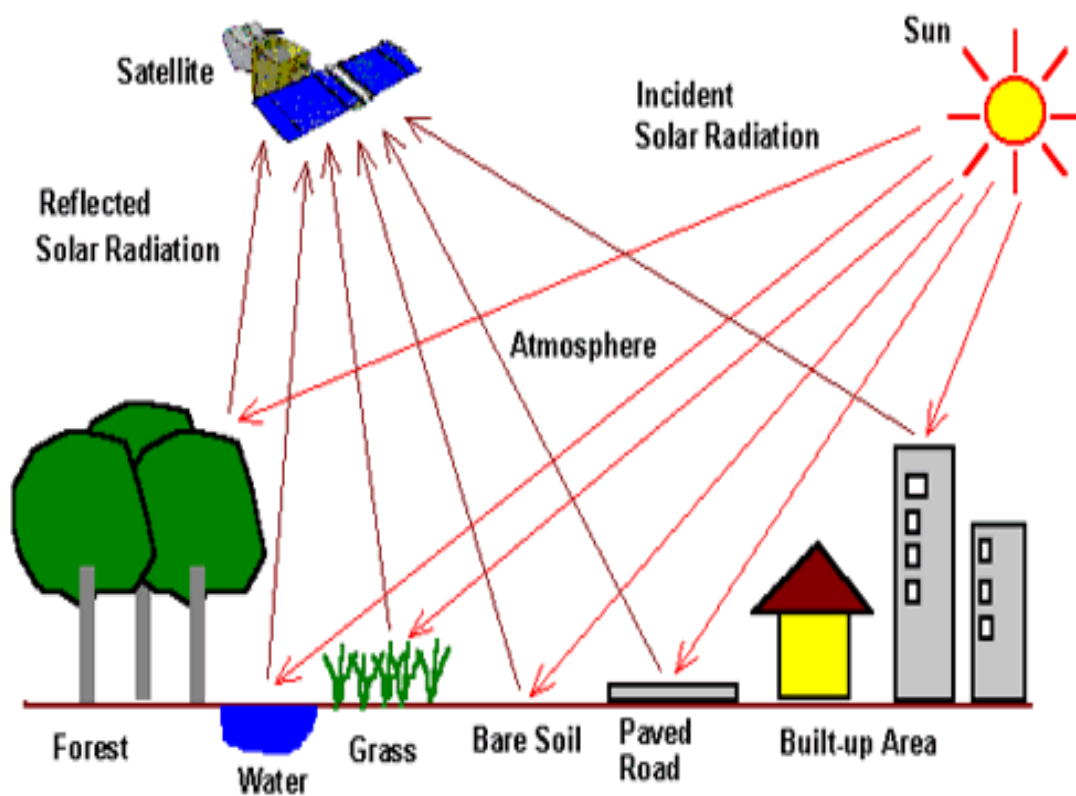
Più specificamente...

Lo studio delle caratteristiche di una determinata superficie avviene analizzando la radiazione da essa riflessa o emessa in differenti lunghezze d'onda, in vari domini dello spettro elettromagnetico.



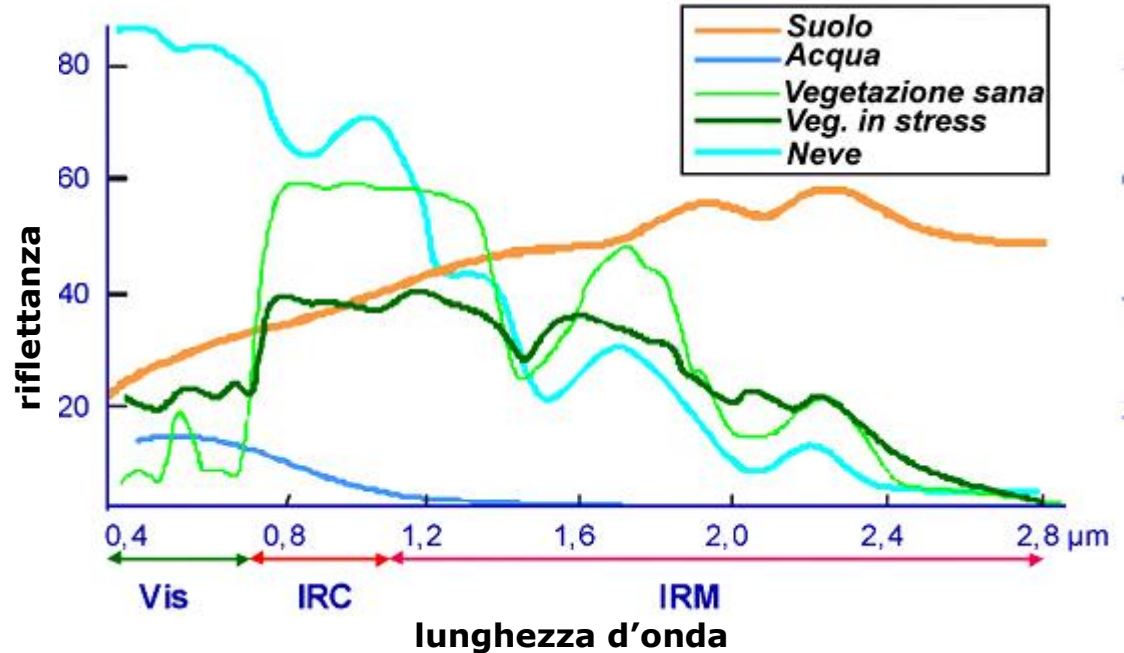
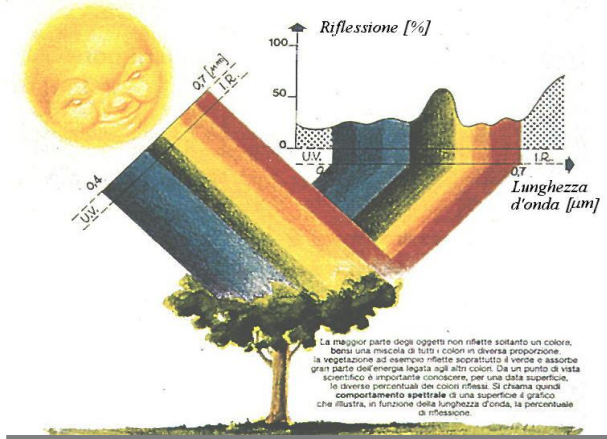
Introduzione

La radiazione elettromagnetica *riflessa* o emessa da una superficie alle diverse lunghezze d'onda dipende dalle caratteristiche chimico-fisiche della superficie stessa



Introduzione

Il "principio di base": la firma spettrale



- **La radiazione solare riflessa da una superficie alle diverse lunghezze d'onda dipende dalle sue caratteristiche chimiche e fisiche !**



Misurando la radiazione riflessa in diverse *bande spettrali* è possibile ottenere importanti informazioni relative alle caratteristiche del sistema terra-atmosfera

Esempio di immagini multispettrali satellitari



RGB:321

B/N: B6

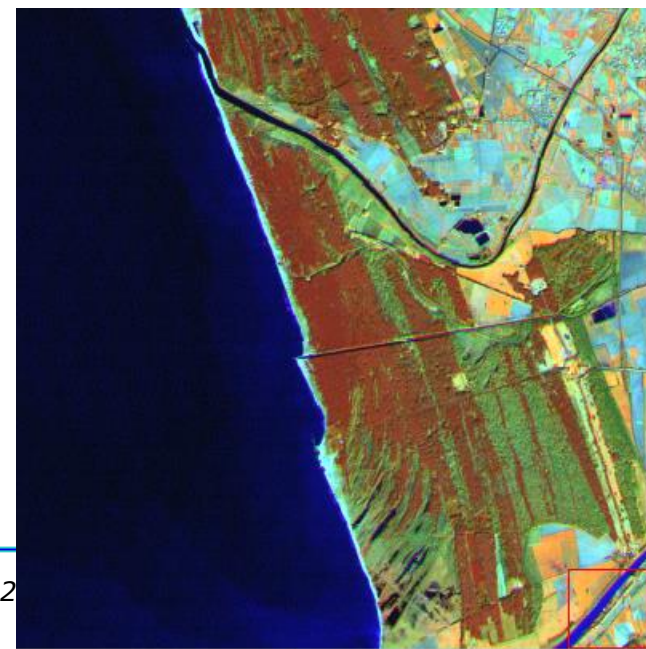


**Landsat-5 TM,
25.11.00, Pineta
di San Rossore**

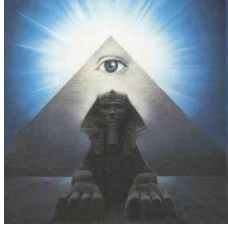


RGB:432

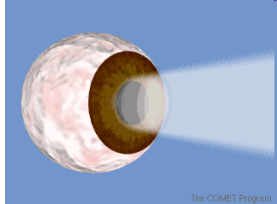
RGB:453



Un po' di storia....



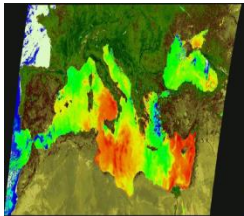
- Il più "antico" sistema di telerilevamento è costituito dal sistema occhio-cervello! L'occhio "misura" la radiazione proveniente dalle superfici nelle lunghezze d'onda del visibile (blu → rosso) e il cervello le elabora e le interpreta



- L'evoluzione tecnologica ha permesso di "potenziare" questo sistema:



- *"Trasportando" i nostri occhi dove non potrebbero arrivare attraverso l'installazione di appositi strumenti su piattaforme aeree o satellitari;*



- *Ampliando la gamma di lunghezze d'onda percepite, mediante lo sviluppo di strumenti "sensibili" a radiazioni invisibili all'occhio umano;*
- *Potenziando le capacità di elaborazione attraverso l'uso dei computer.*

Un po' di storia....

- **Il telerilevamento "nasce" nei primi anni del '900, con le prime foto scattate da mongolfiere o aerei, spesso per applicazioni militari**



Un po' di storia....

- ...le prime piattaforme



***Squadron of pigeons equipped with lightweight (~ 2.5 oz.)
70-mm aerial cameras
(from Jensen, 2000 – Deutsches Museum, Munich, Germany)***

Un po' di storia....

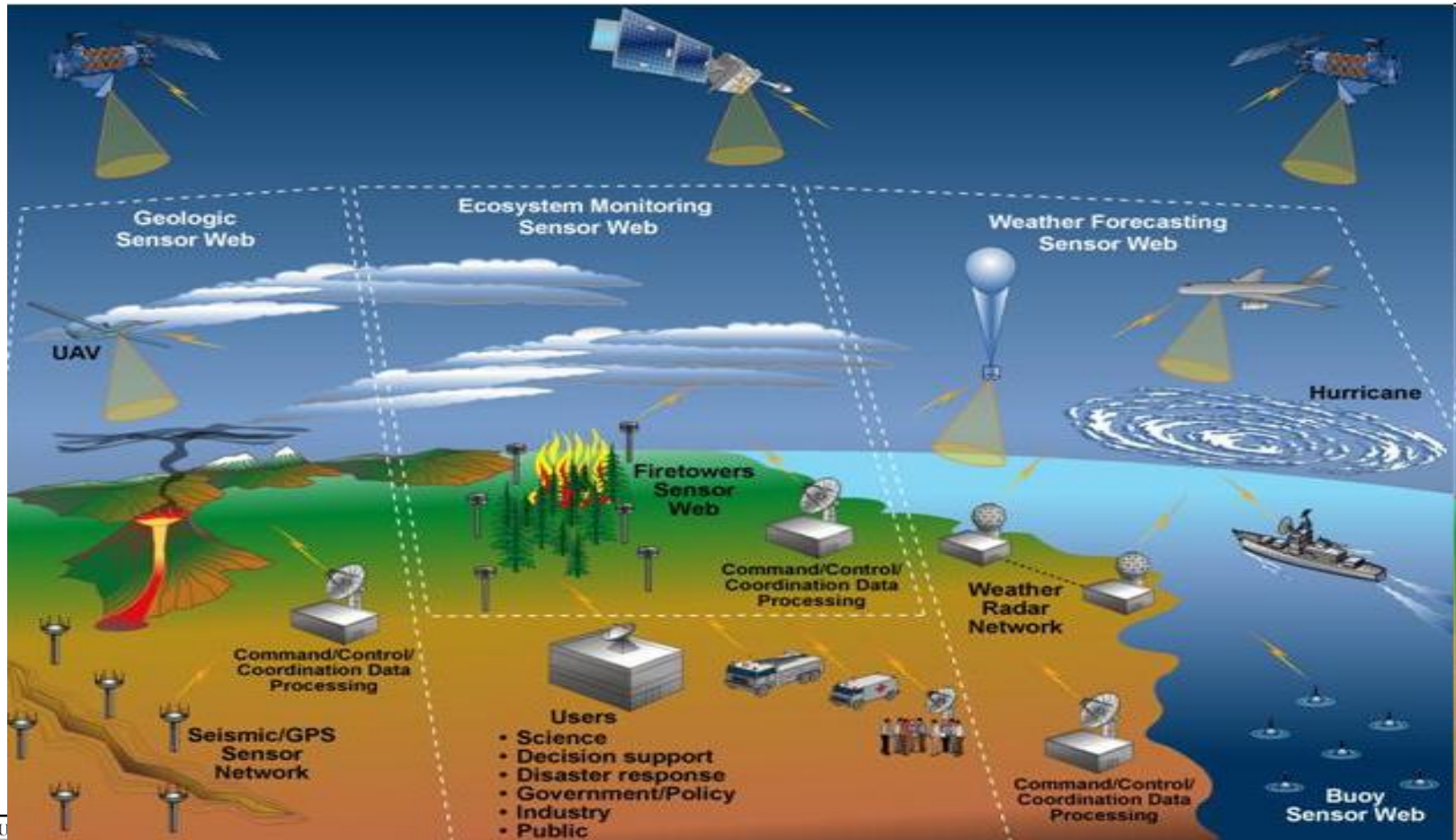
- La "corsa allo spazio" degli anni '50 e '60 fornisce grande impulso alla disciplina, con l'installazione dei primi strumenti montati su satellite per applicazioni meteorologiche o militari



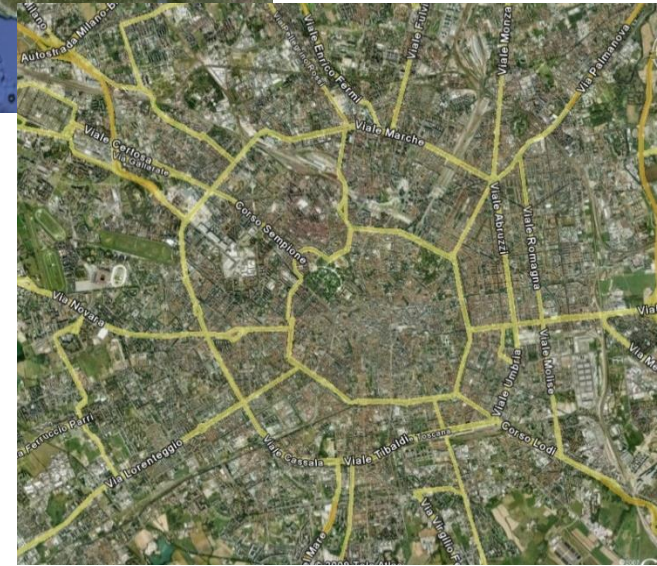
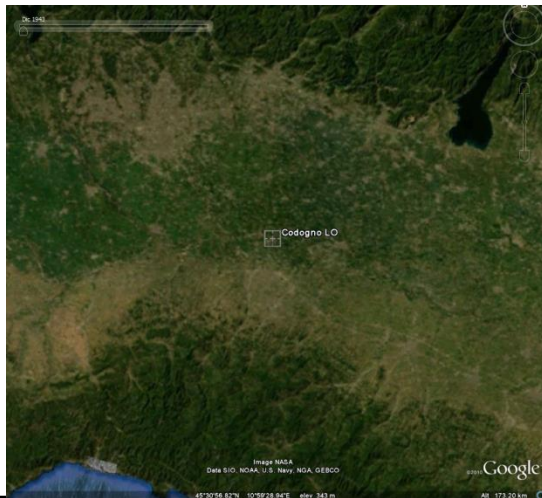
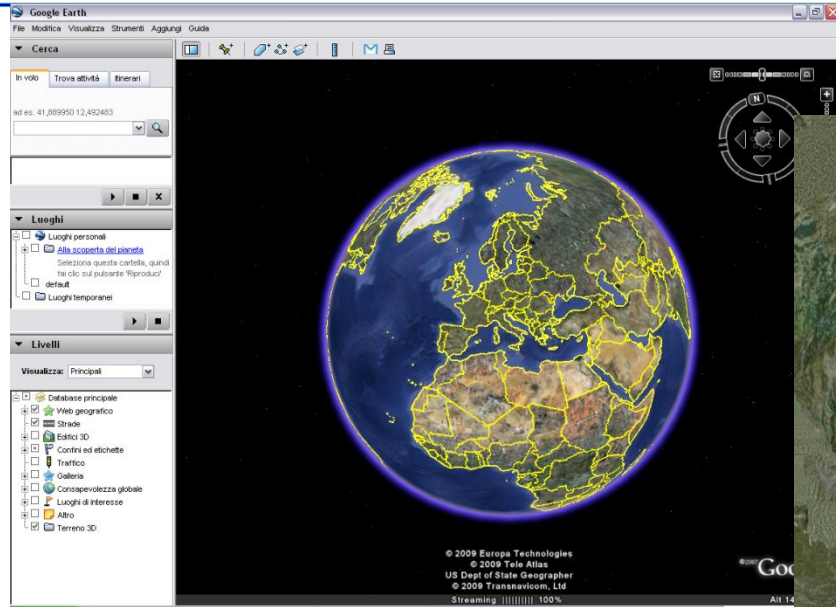
Un po' di storia....

Attualmente esistono numerosi sensori per il telerilevamento, installati su "piattaforme" di diverso tipo

I dati sono ormai spesso facilmente reperibili e le applicazioni si sono moltiplicate...



Recente diffusione dei dati telerilevati



Google earth

MONITORAGGIO AMBIENTALE

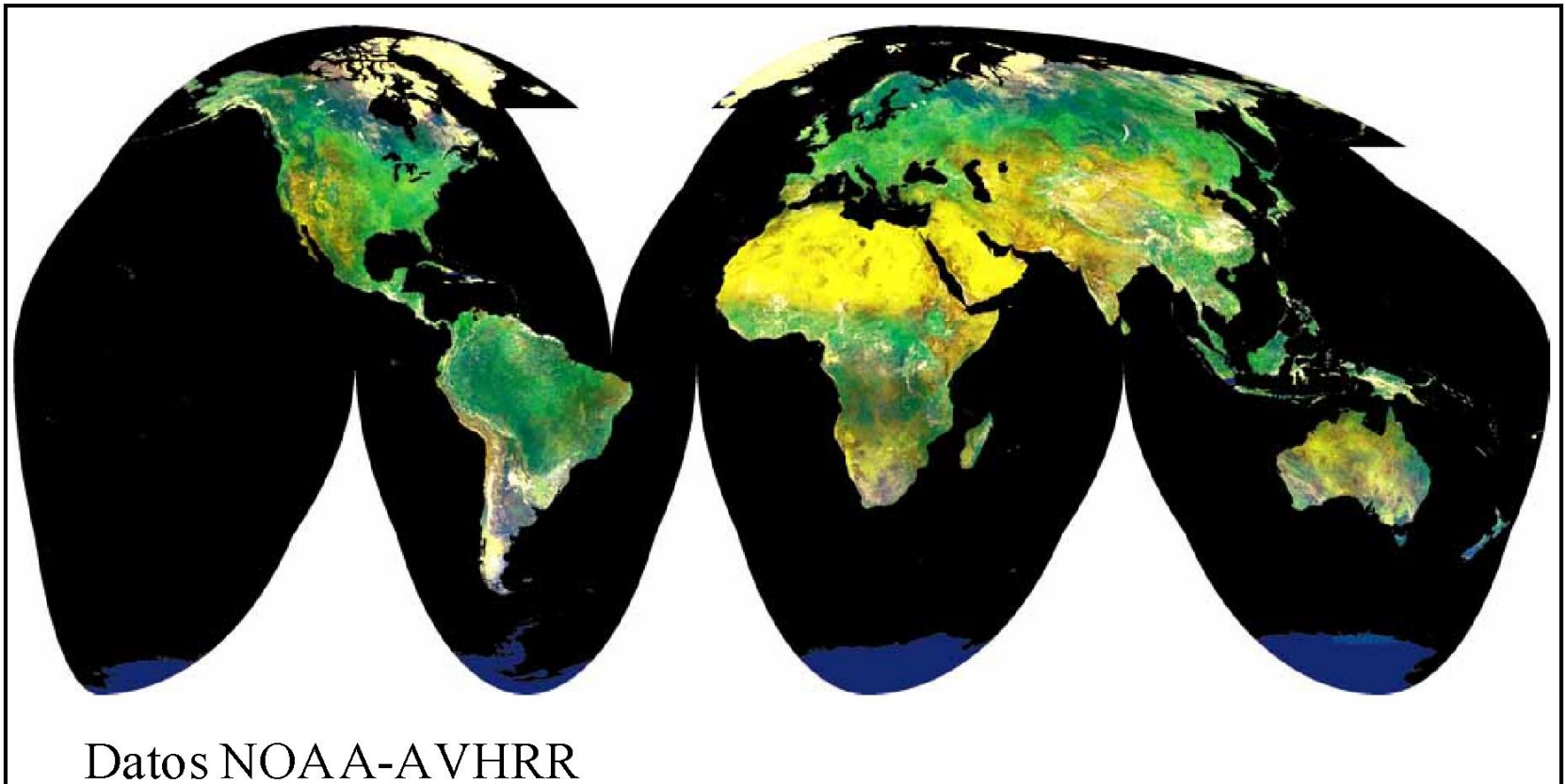
Il termine monitoraggio deriva dal verbo latino monere, con il significato di ammonire, avvisare, informare, consigliare.

In ambito ecologico-ambientale, il monitoraggio consiste nella misurazione e nel controllo delle dinamiche strutturali e dei processi che caratterizzano gli ecosistemi. Essendo i processi ambientali molto complessi è necessario individuare degli indicatori che permettano di semplificarne l'analisi.

Le tecniche di telerilevamento offrono numerosi vantaggi per il monitoraggio ambientale...

Vantaggi delle tecniche di telerilevamento

➤ Osservazione globale della superficie terrestre

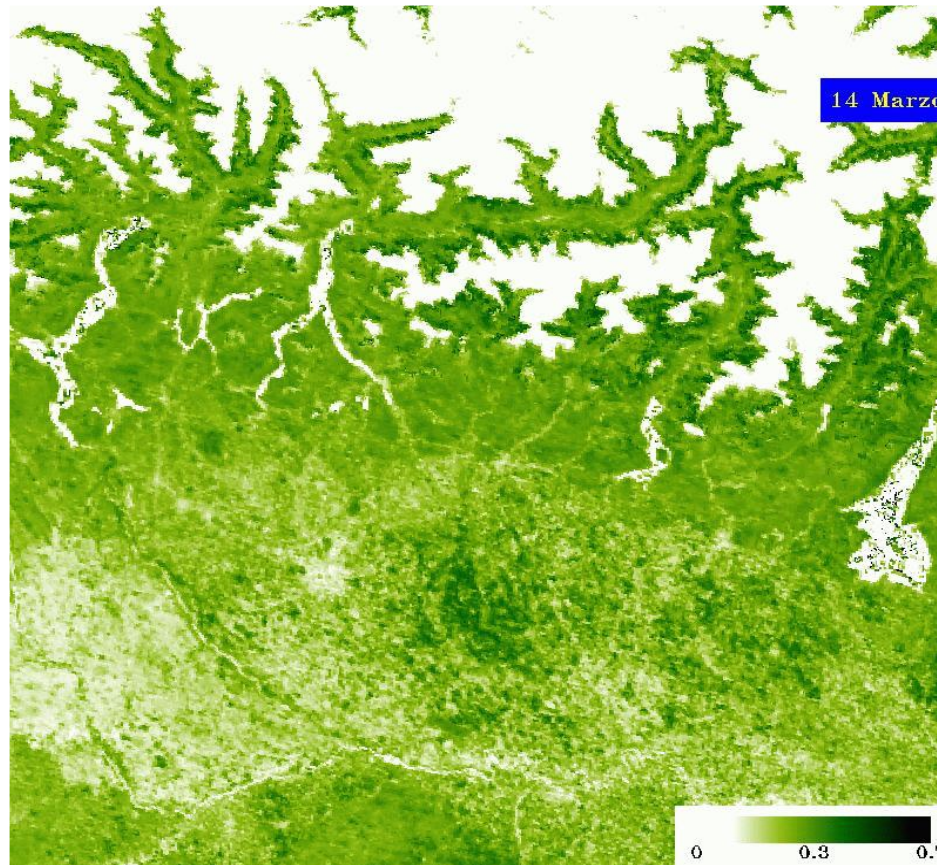


Anche aree difficilmente accessibili possono essere analizzate

(es. Deserti, zone polari, foresta pluviale)

Vantaggi delle tecniche di telerilevamento

➤ Possibilità di osservazione multitemporale



La stessa superficie può essere ripresa in diversi momenti, per cui è possibile analizzare fenomeni dinamici

Vantaggi delle tecniche di telerilevamento

➤ Possibilità di osservazione a differenti scale



Immagine GOES- EAST



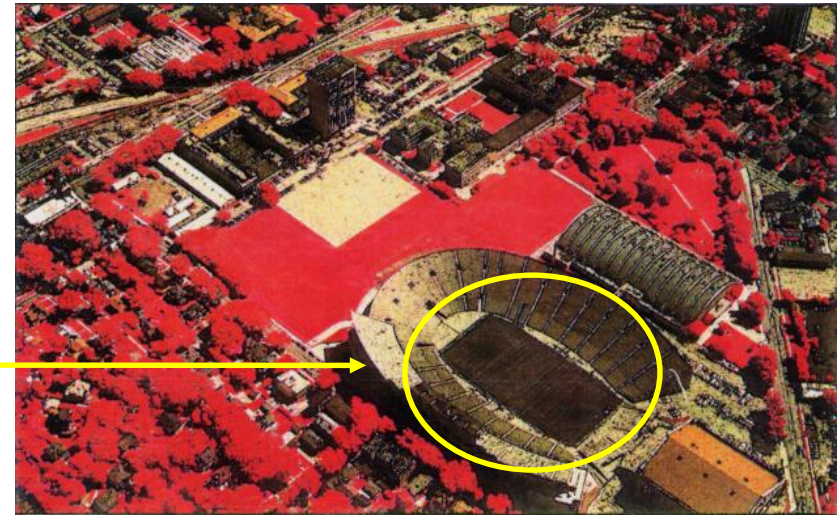
Immagine QuickBird

Vantaggi delle tecniche di telerilevamento

- **Possibilità di misurazione della radiazione proveniente dalla superficie anche in regioni dello spettro fuori dal range del visibile**



Sintesi RGB a colori reali

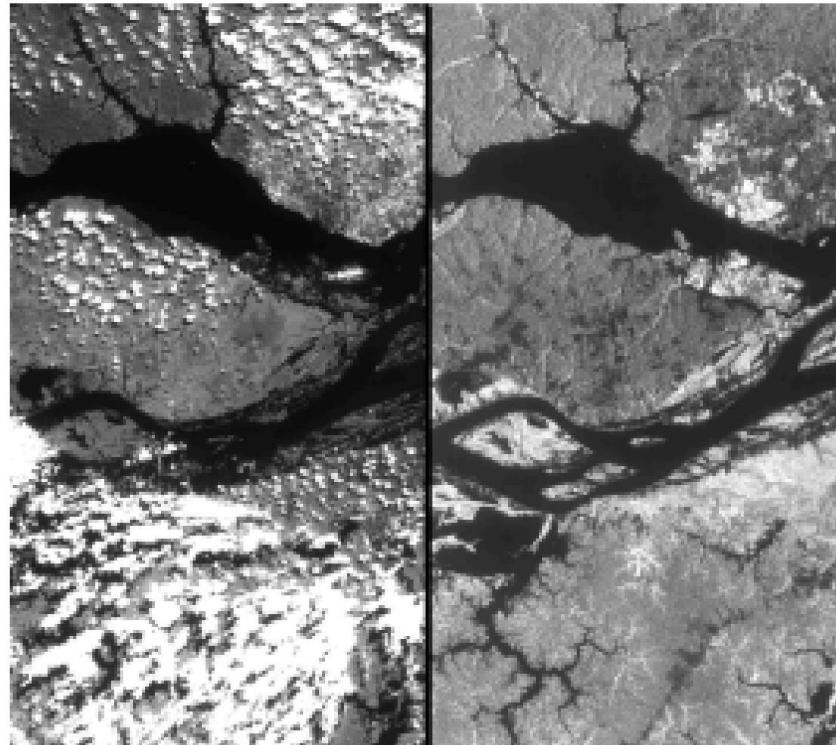


Sintesi RGB a falsi colori

E' possibile individuare differenze nelle caratteristiche delle superfici non visibili "ad occhio nudo"

Vantaggi delle tecniche di telerilevamento

- **Possibilità di misurazione della radiazione proveniente dalla superficie anche in regioni dello spettro fuori dal *range* del visibile**



Immagini Radar

QUALI SONO LE PRINCIPALI APPLICAZIONI DEL TELERILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE ?

- 1- Applicazioni nel campo della meteorologia**
- 2- Monitoraggio della vegetazione: agricoltura e foreste. Esempio di diagnostica precoce**
- 3- Monitoraggio delle superfici urbane**
- 4- Monitoraggio dei ghiacciai**
- 5- Gestione delle emergenze**
- ...**

➤ Meteorologia

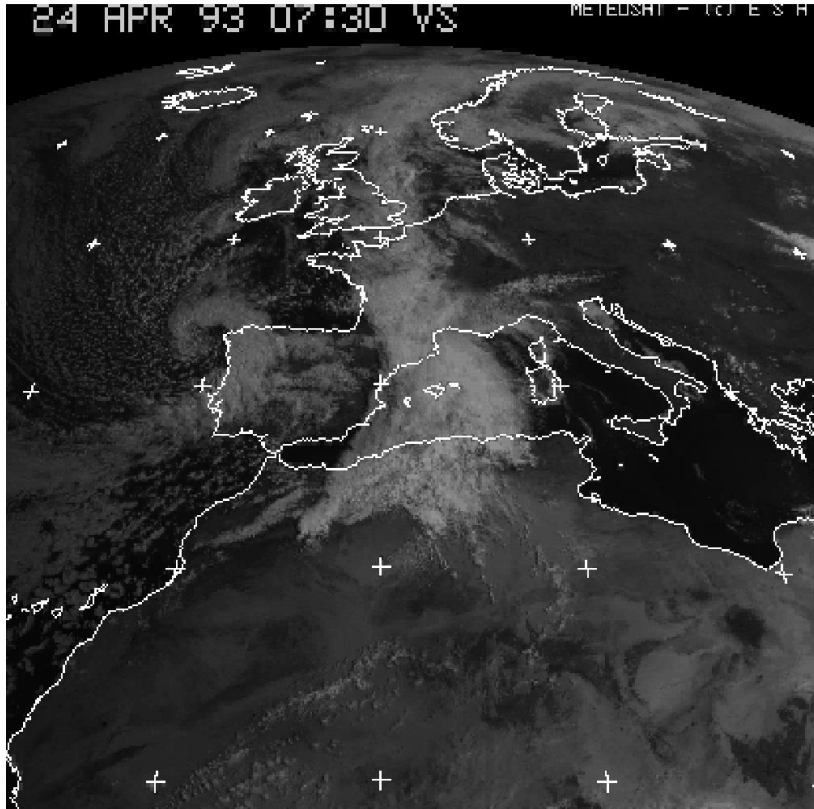


Immagine METEOSAT di un fronte freddo
(1993)

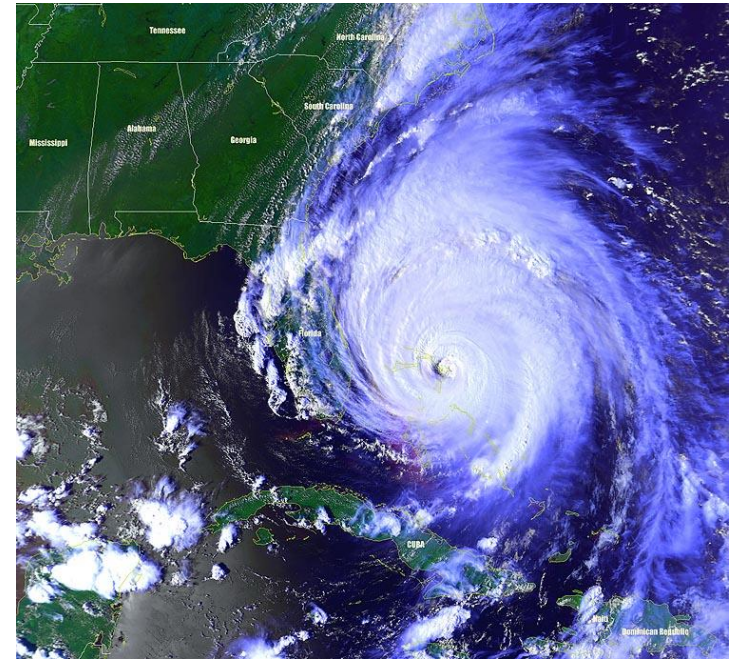
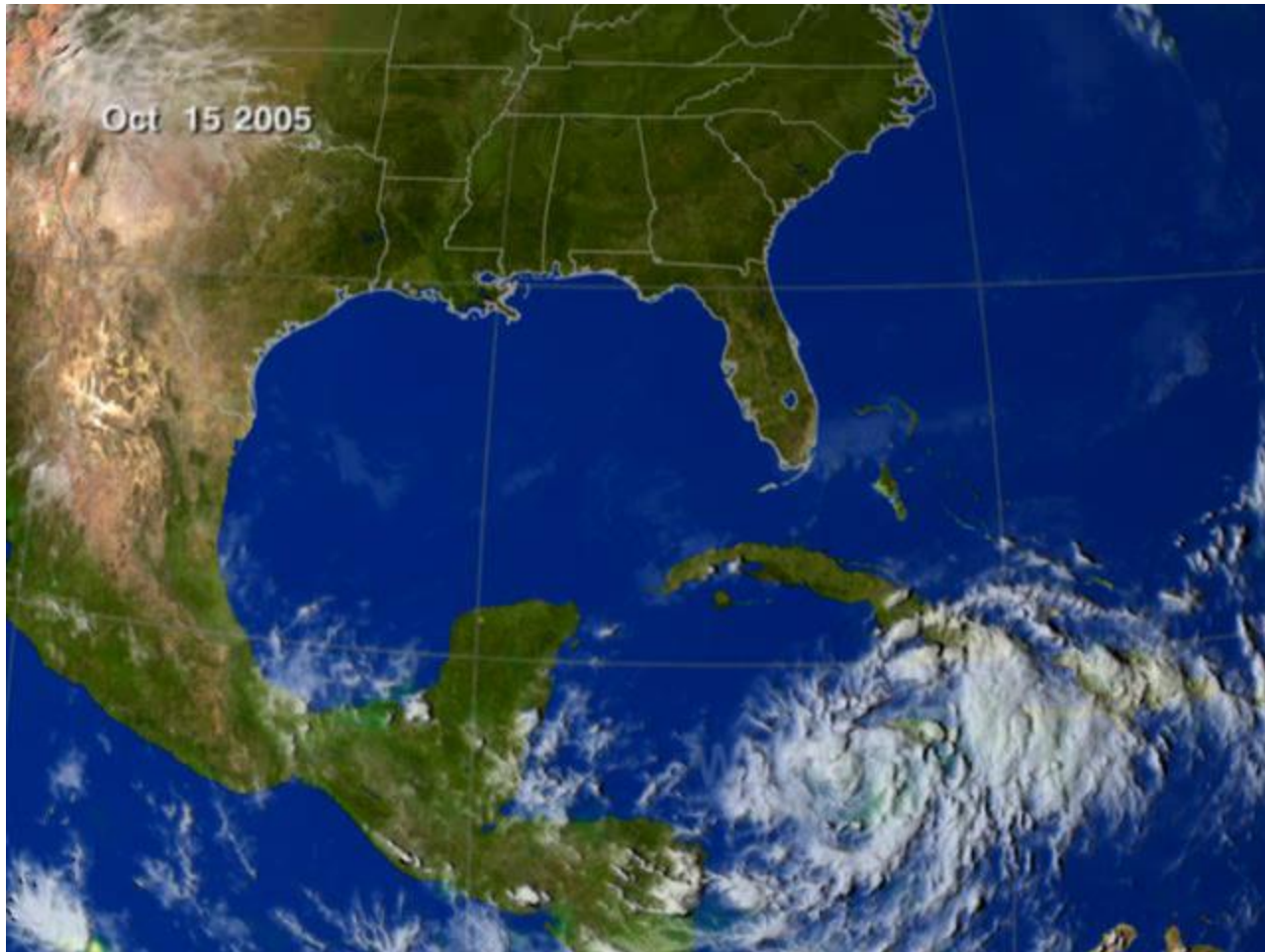
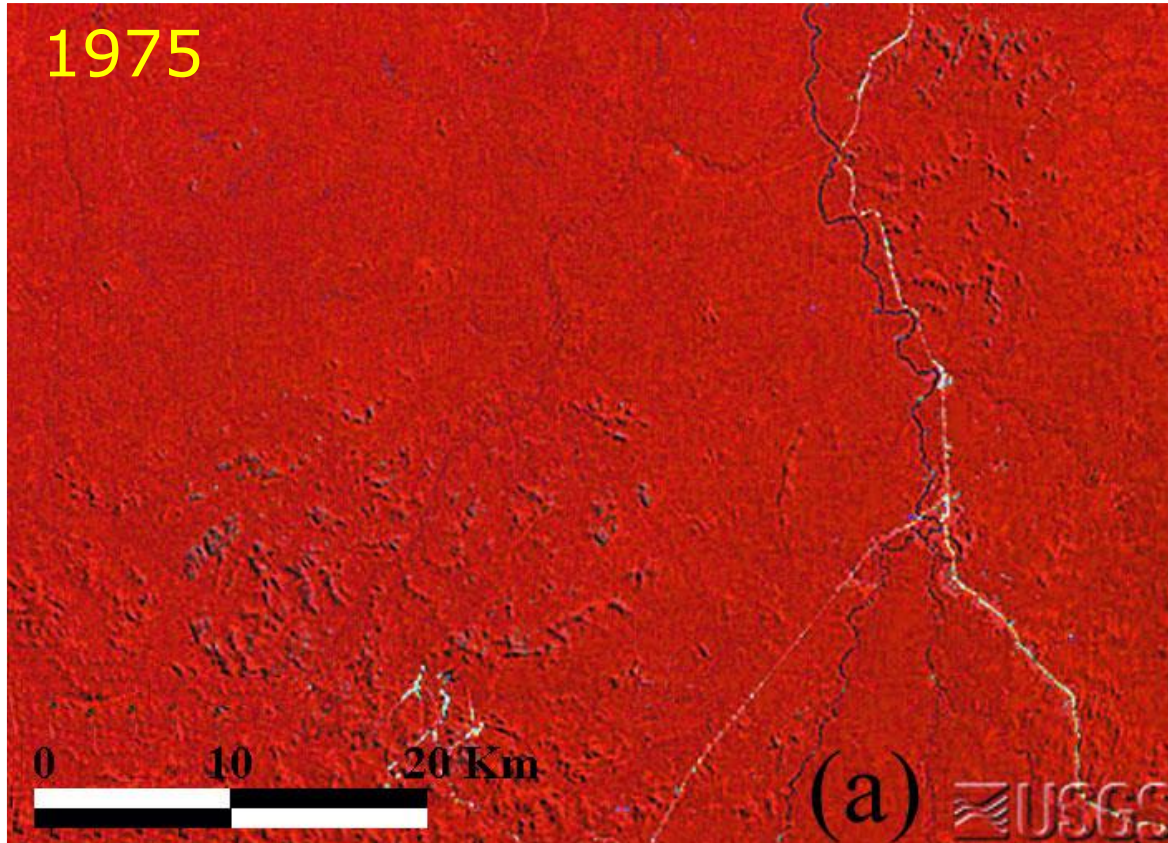


Immagine GOES di un ciclone tropicale
(2001)

➤ Meteorologia

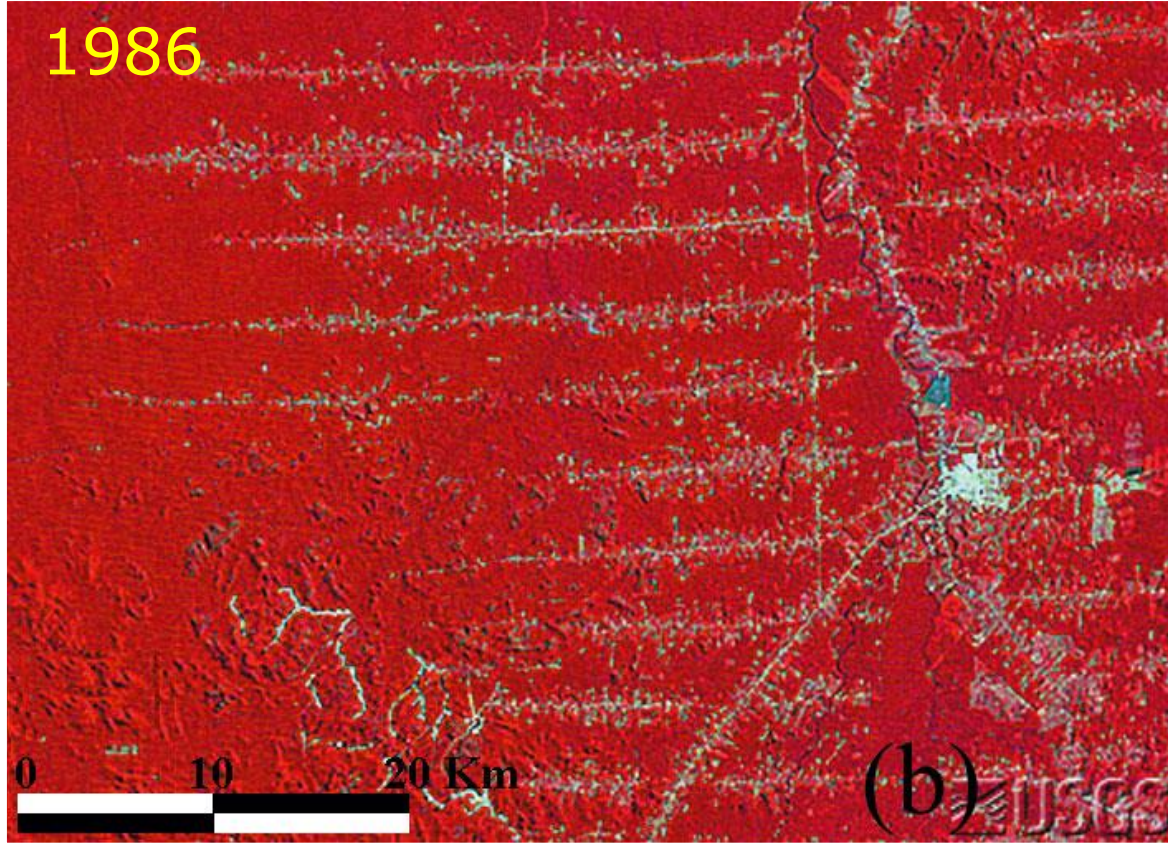


➤ Monitoraggio della vegetazione: Analisi della deforestazione



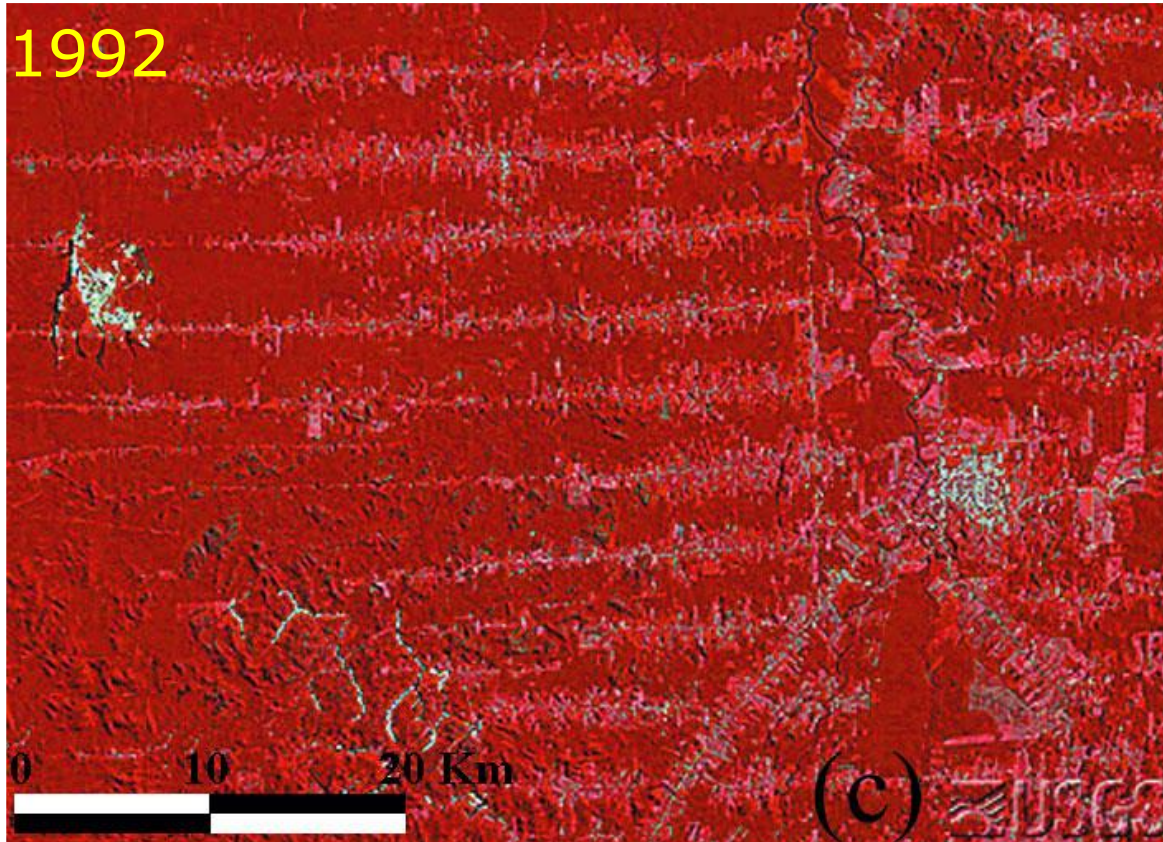
**Il processo di deforestazione della Rodonia
(Brasile) tra il 1975 ed il 1992**

➤ Monitoraggio della vegetazione: Analisi della deforestazione



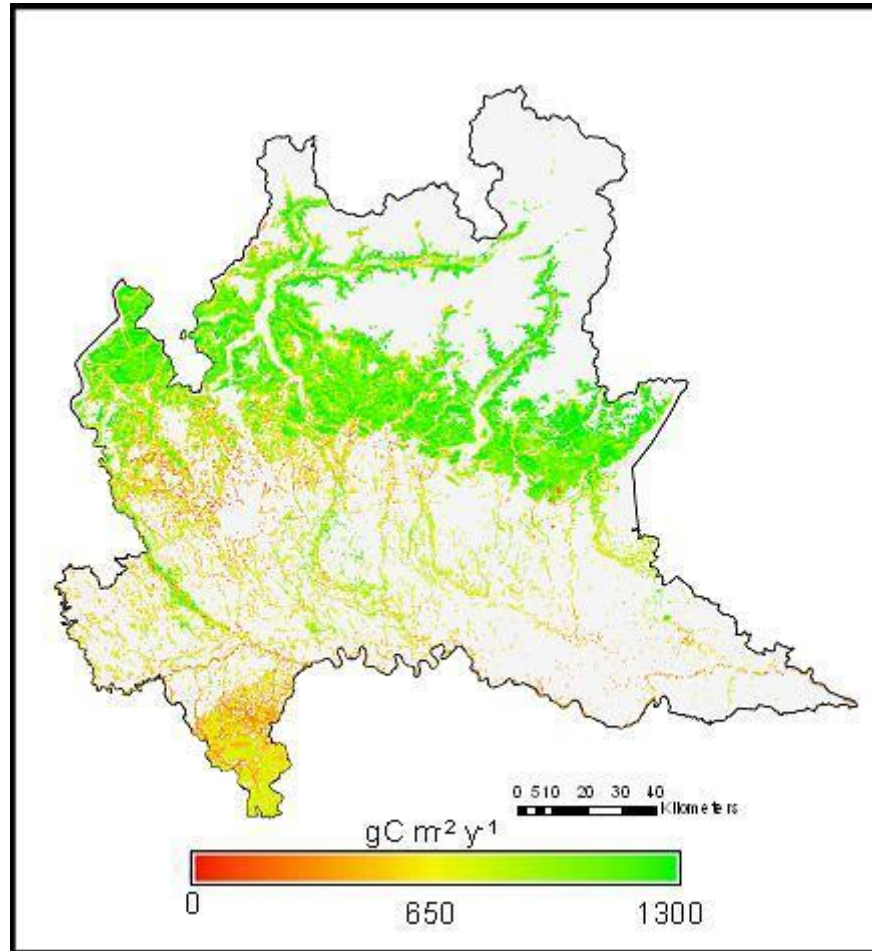
**Il processo di deforestazione della Rodonia
(Brasile) tra il 1975 ed il 1992**

➤ Monitoraggio della vegetazione: Analisi della deforestazione



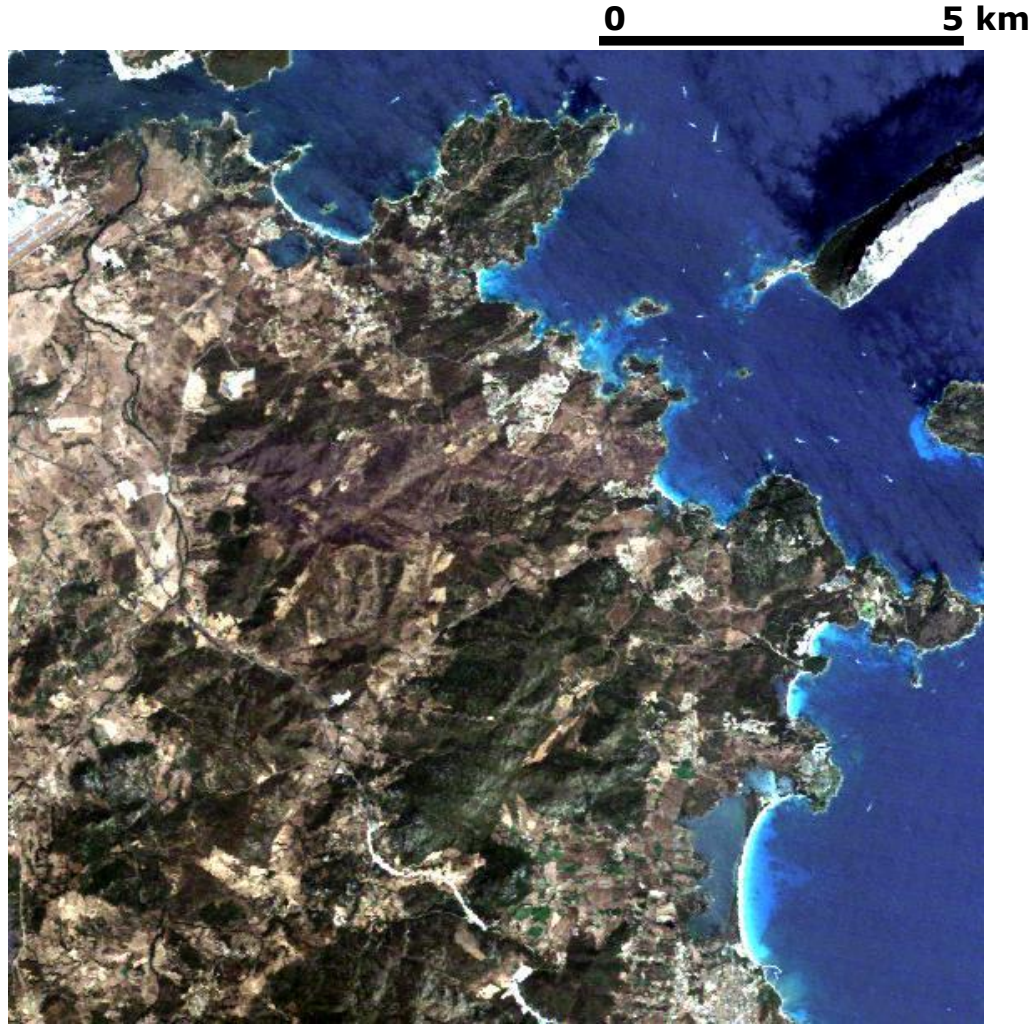
**Il processo di deforestazione della Rodonia
(Brasile) tra il 1975 ed il 1992**

➤ Monitoraggio della vegetazione: Stima della Produzione Primaria delle foreste



Produzione Primaria Lorda (GPP) delle foreste lombarde – anno 2004

➤ Riconoscimento e mappatura delle aree bruciate



Landsat-5 TM 193/32, Agosto 2004 Costa Smeralda. RGB:321

➤ Riconoscimento e mappatura delle aree bruciate



Landsat-5 TM 193/32, Agosto 2004 Costa Smeralda. RGB:432

➤ Riconoscimento e mappatura delle aree bruciate



Landsat-5 TM 193/32, Agosto 2004 Costa Smeralda. RGB:743

➤ Riconoscimento e mappatura delle aree bruciate

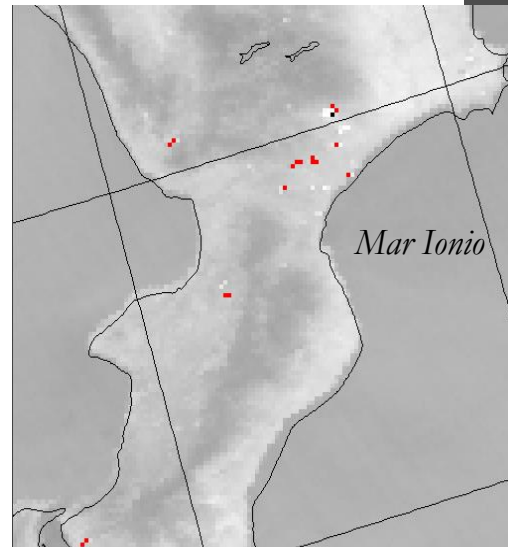
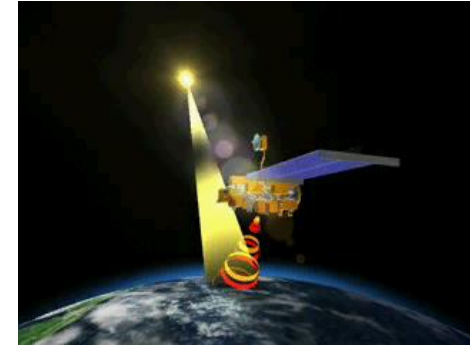


Landsat-5 TM 193/32, Agosto 1994



Landsat-5 TM 193/32, Agosto 2004

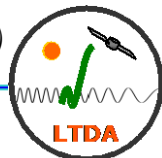
INCENDI BOSCHIVI



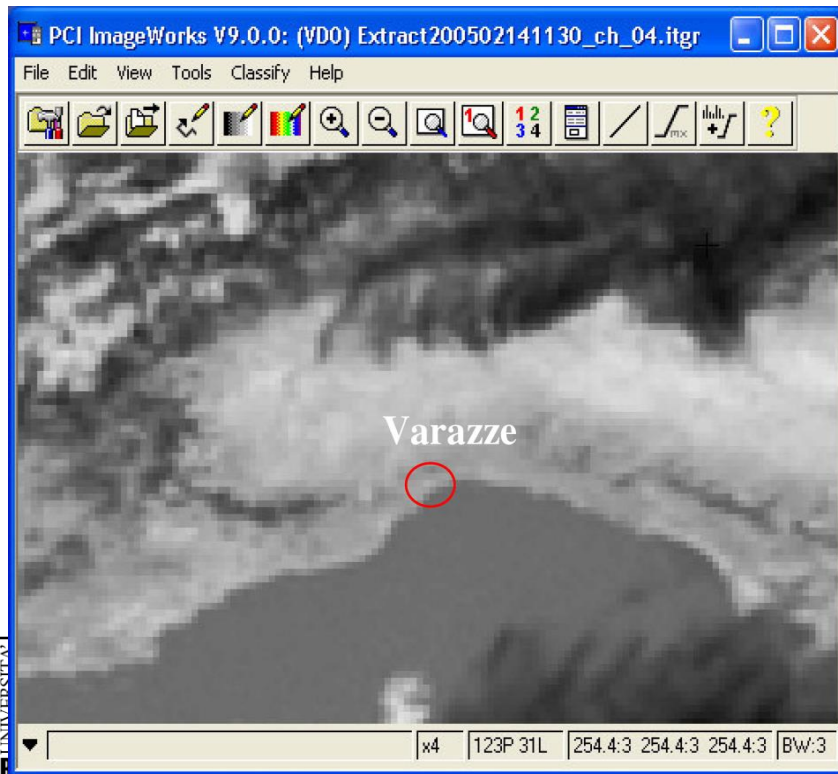
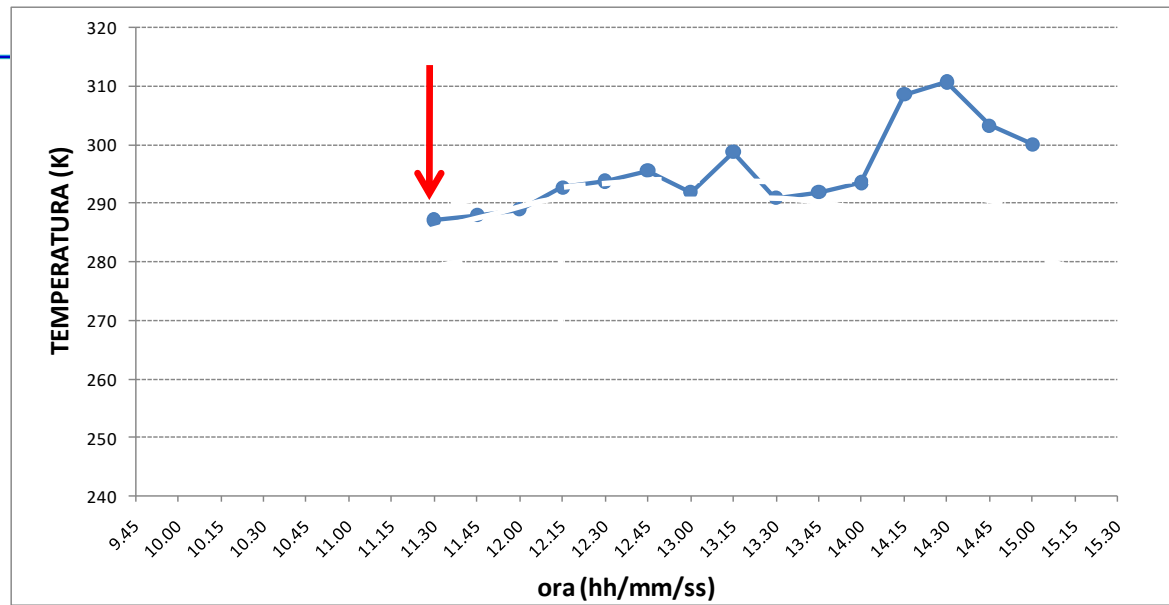
5 Luglio 2000 h15 GMT

 Anomalie termiche rilevate

Mazzeo G., (2005)

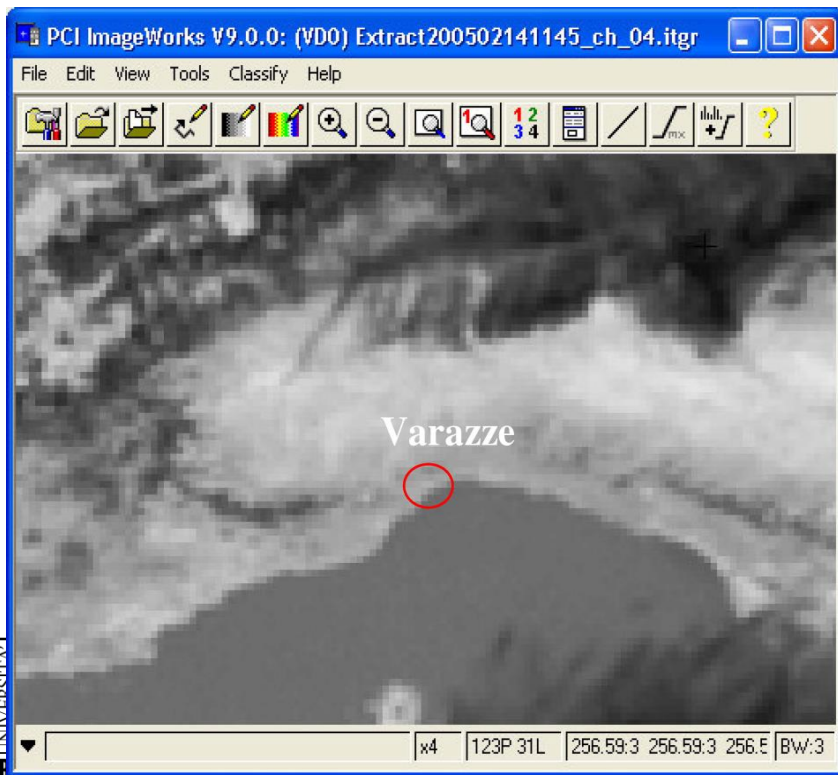
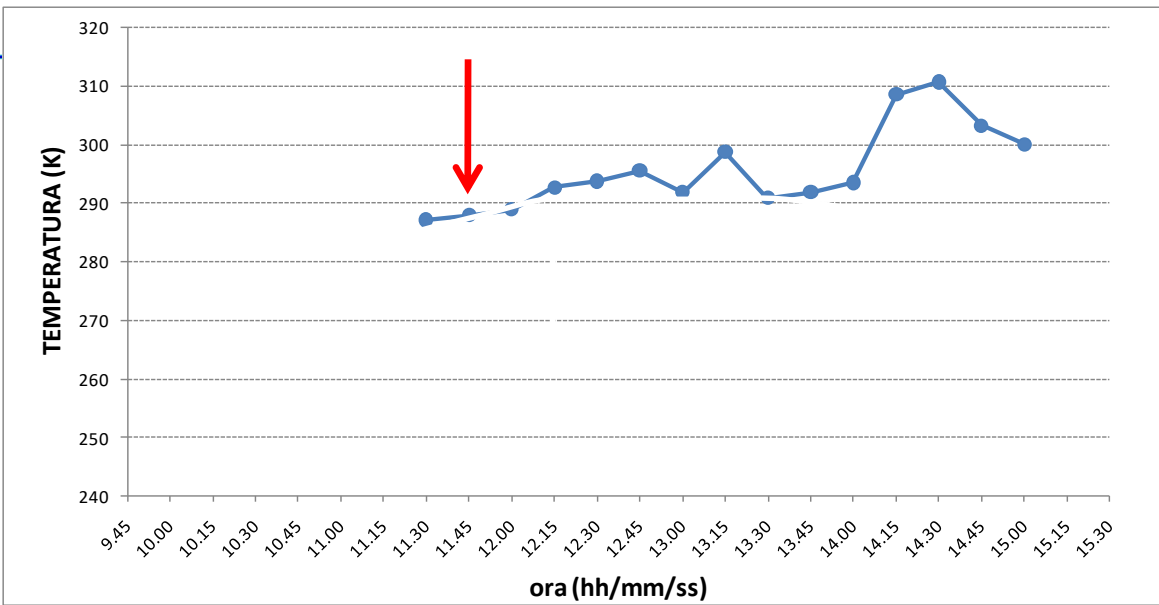


Early detection

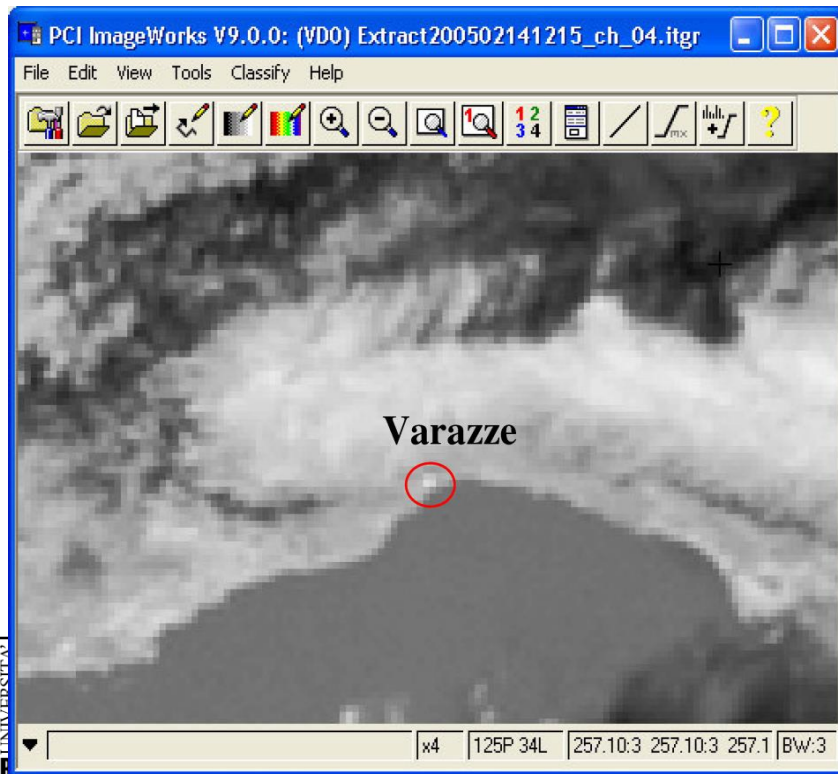
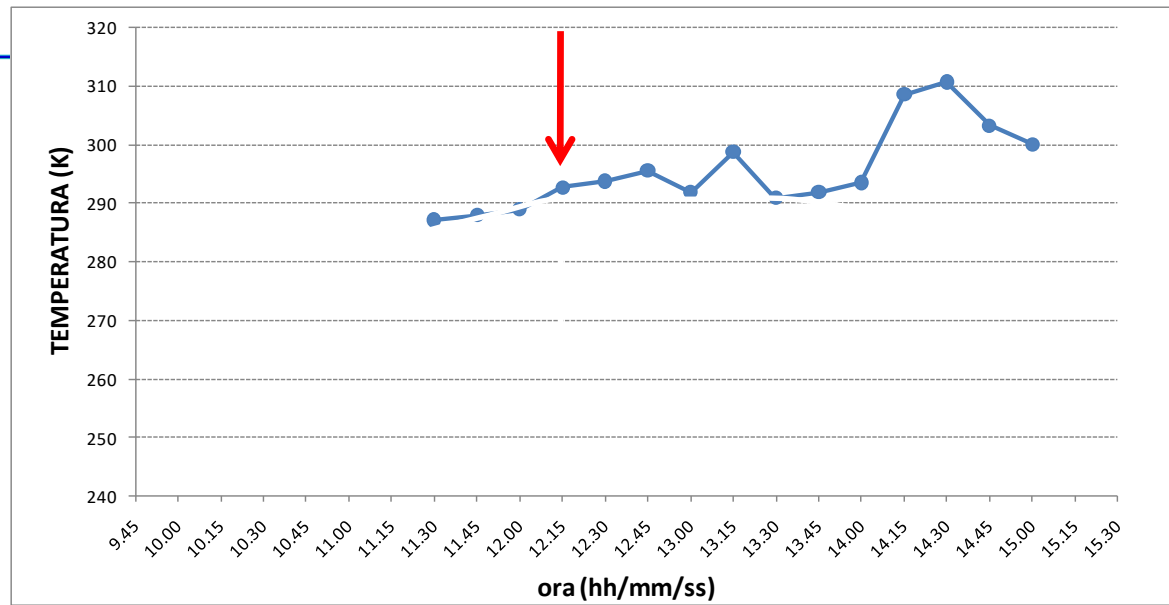


Conosciamo la «storia» termica di quel pixel sulla base di immagini NOAA-AVHRR acquisite negli ultimi 40 anni

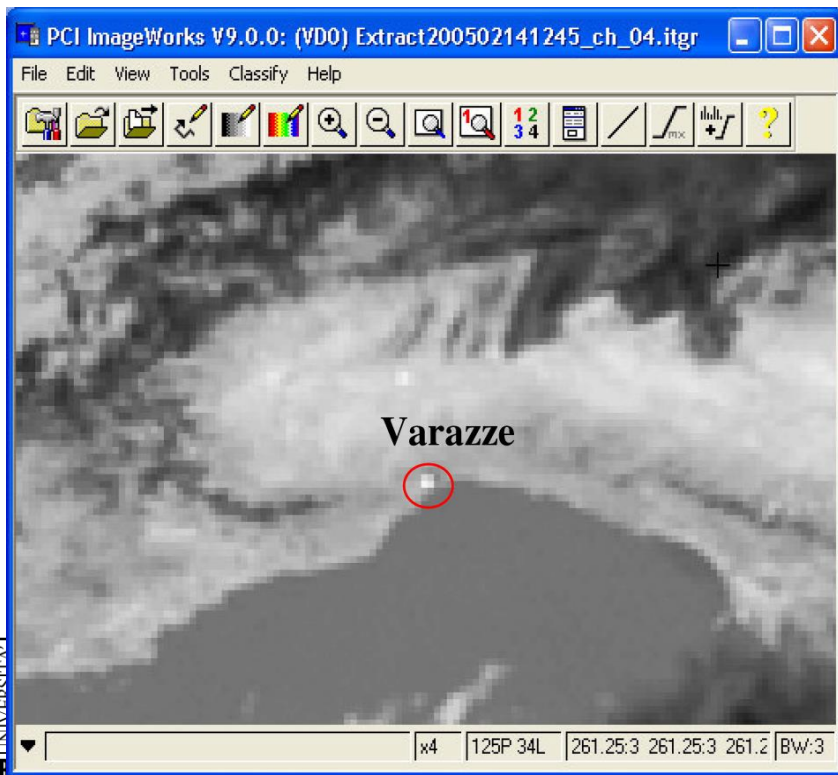
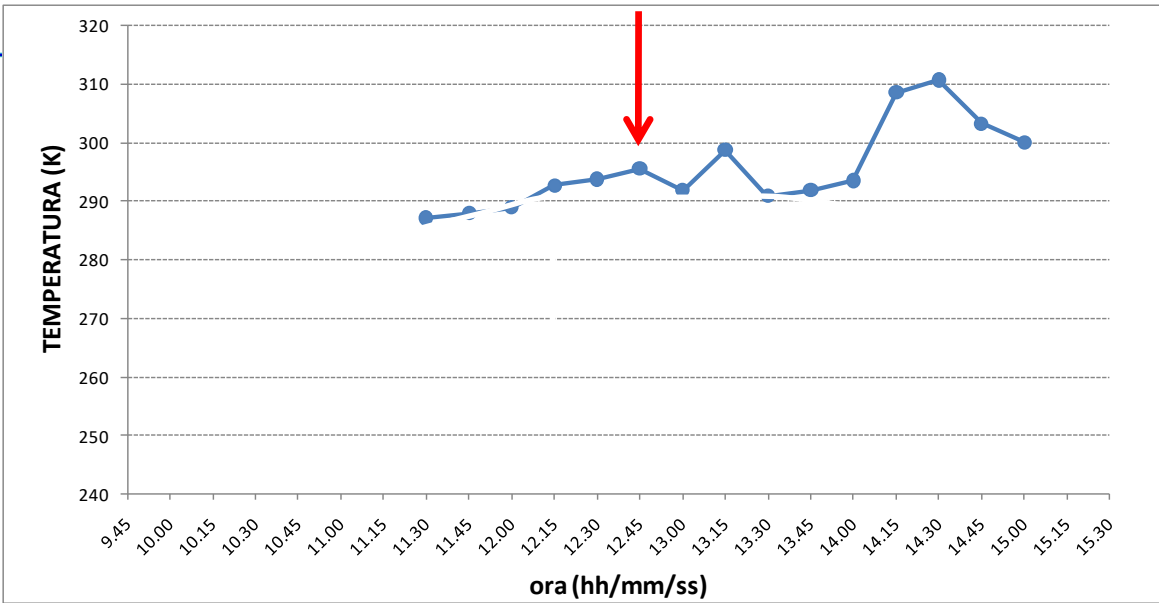
Early detection



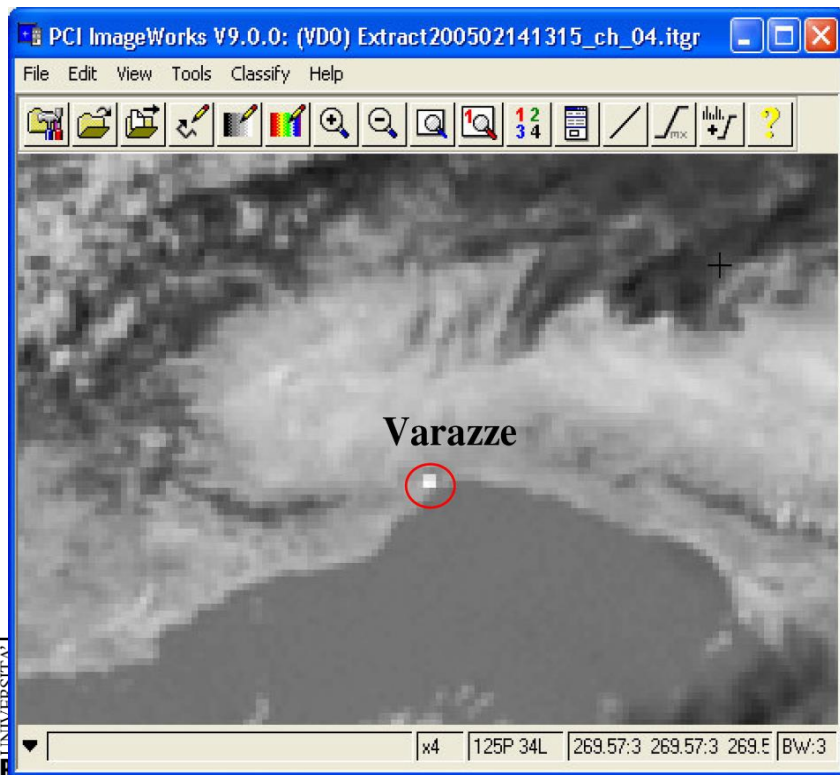
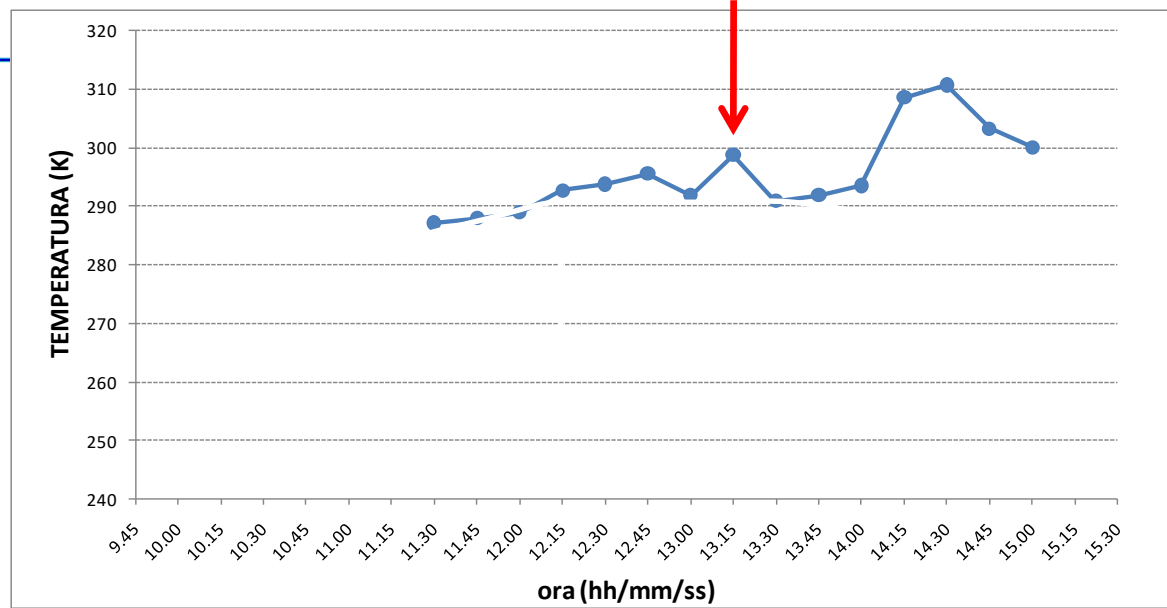
Early detection



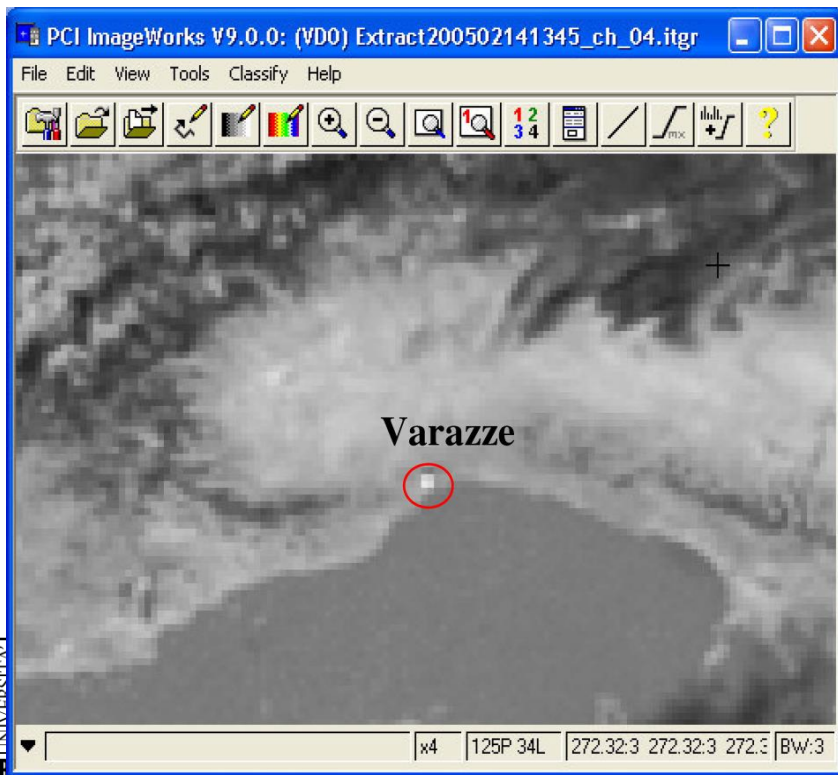
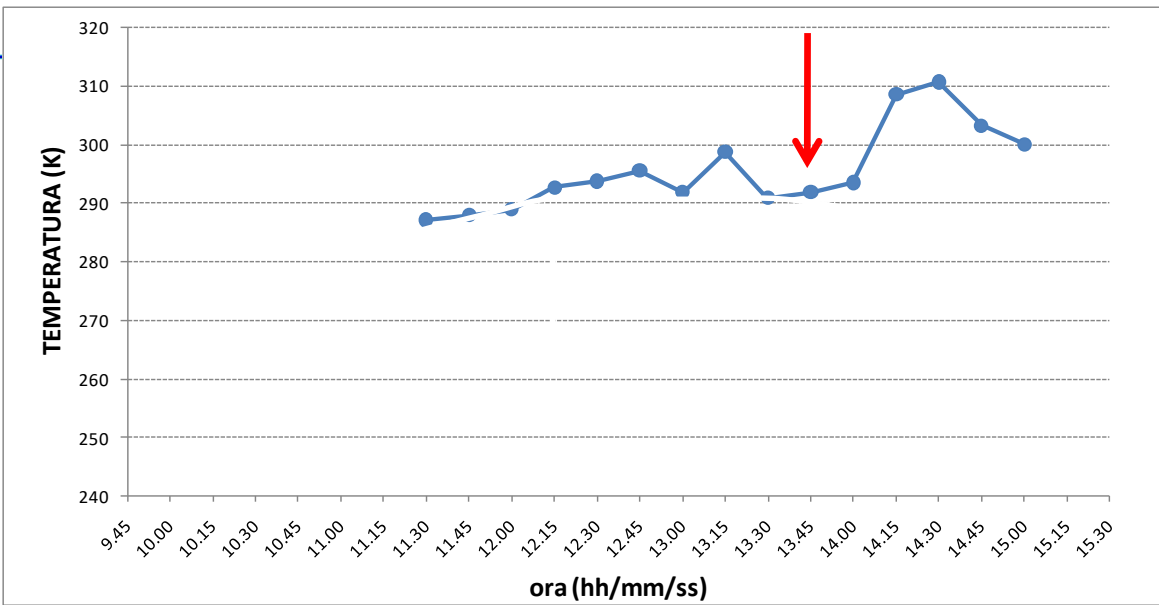
Early detection



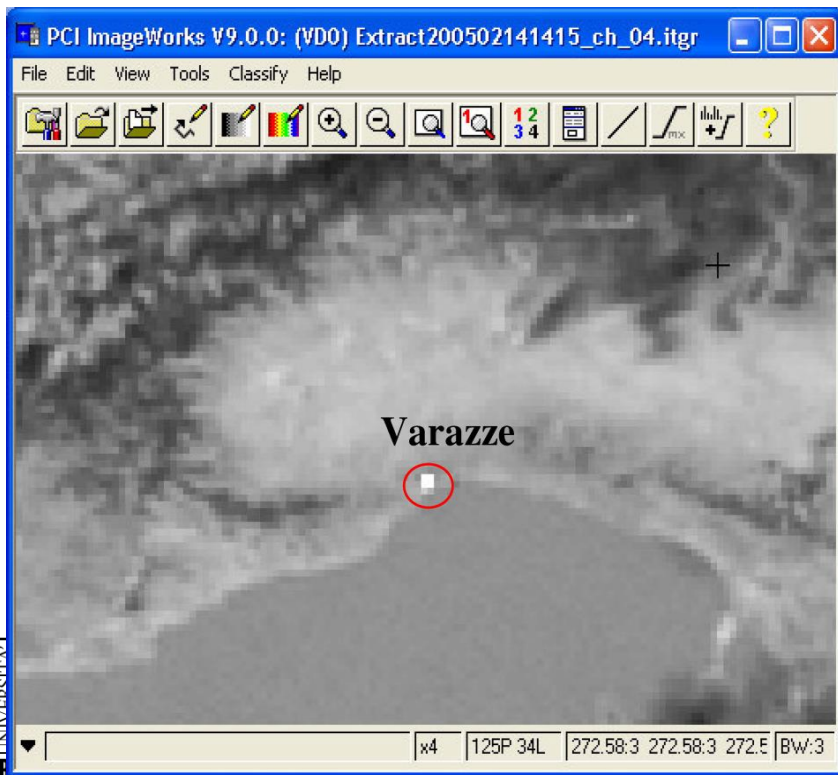
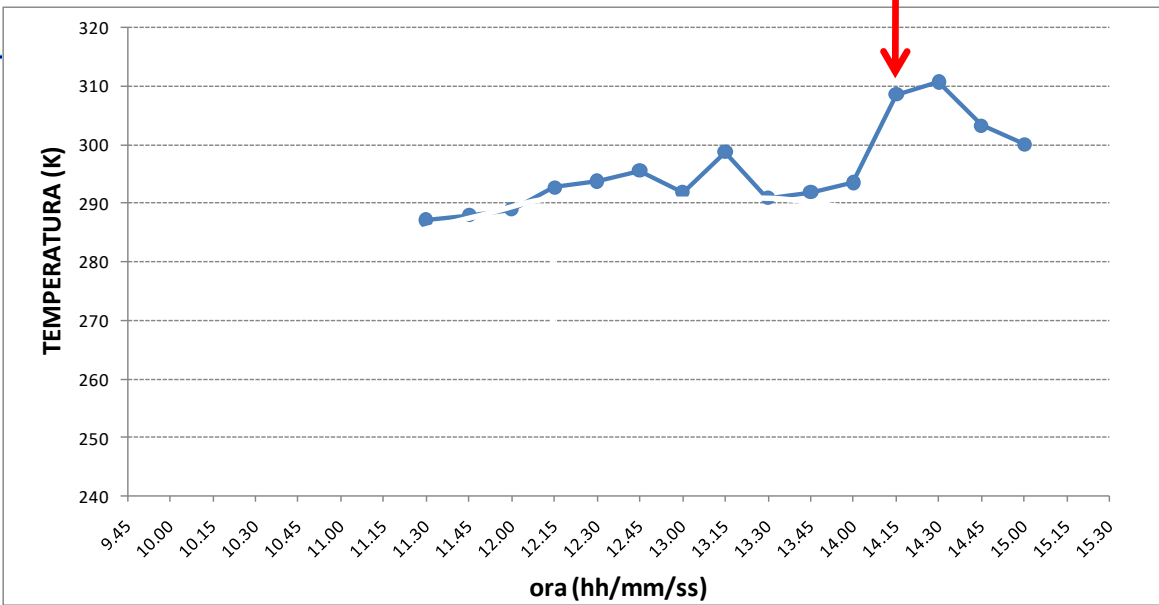
Early detection



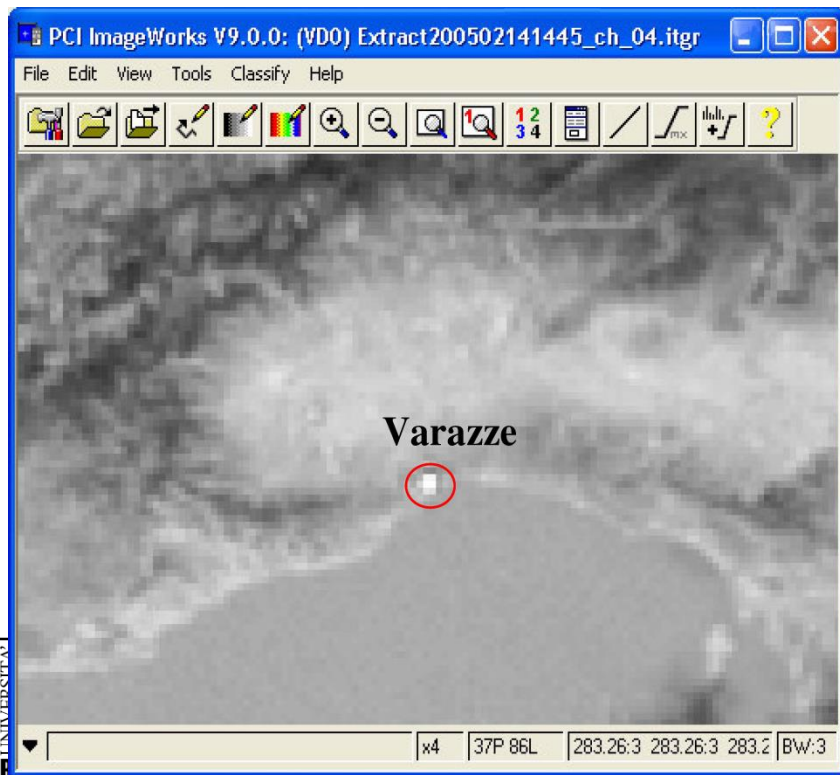
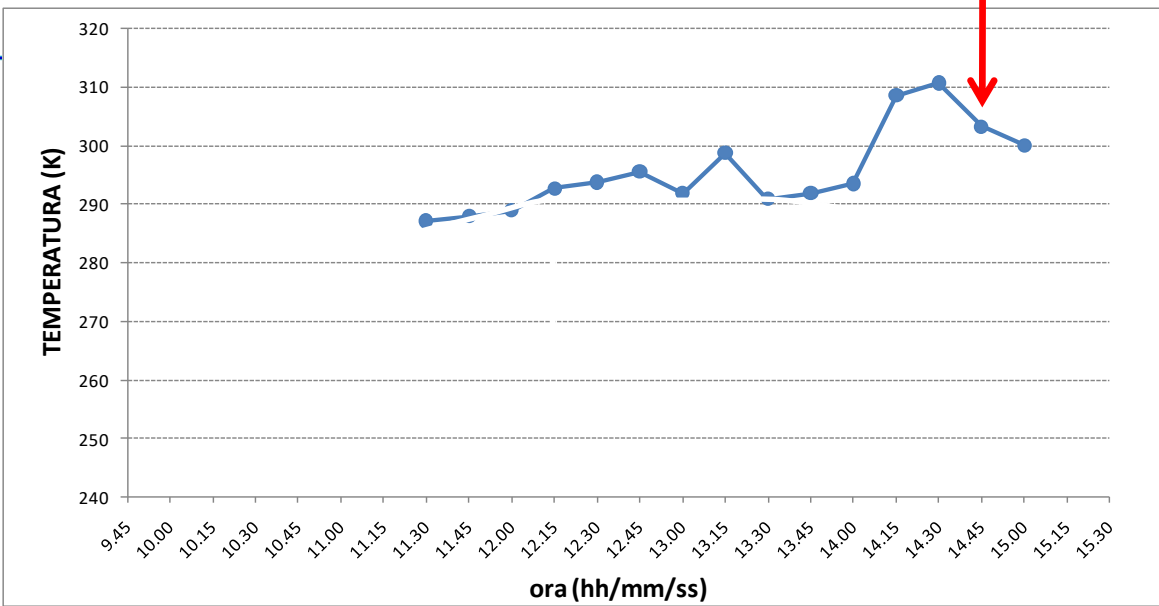
Early detection



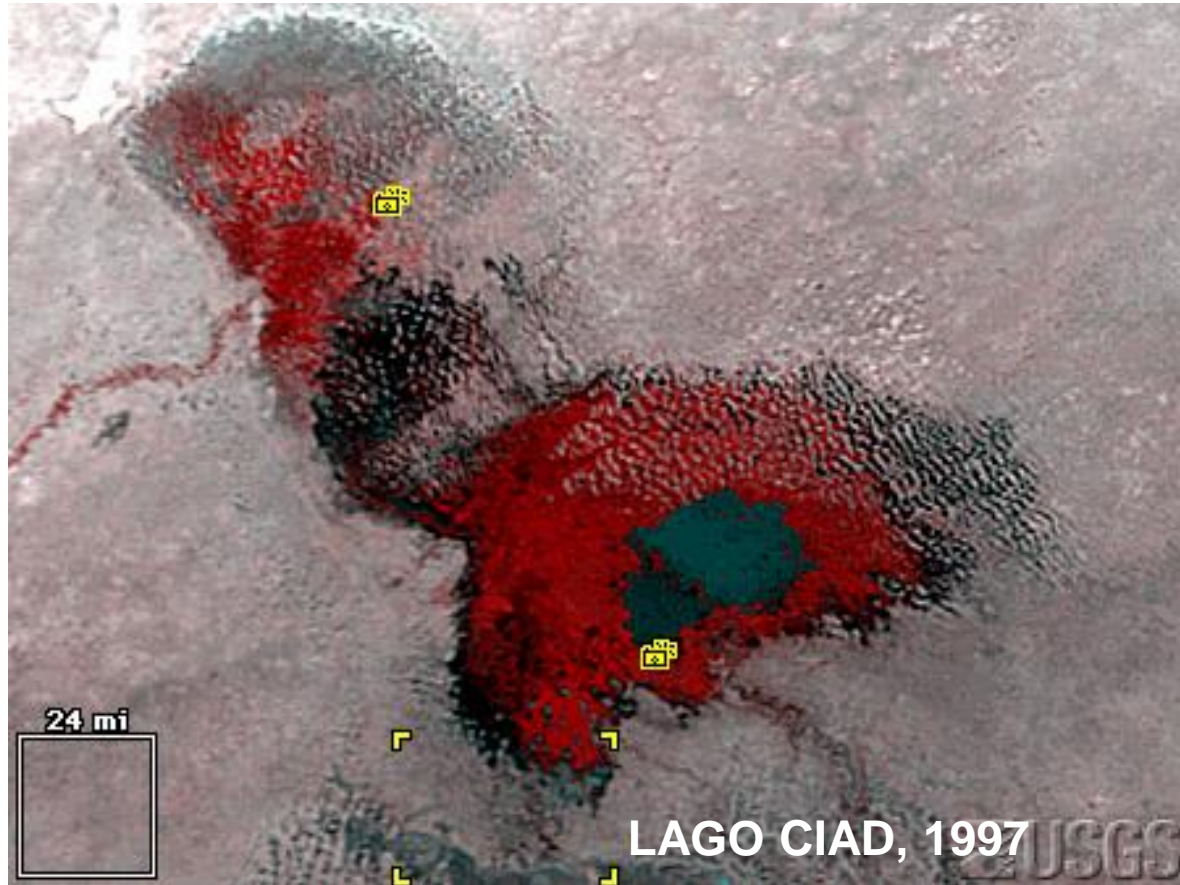
Early detection



Early detection



➤ Monitoraggio della vegetazione: Studio della desertificazione

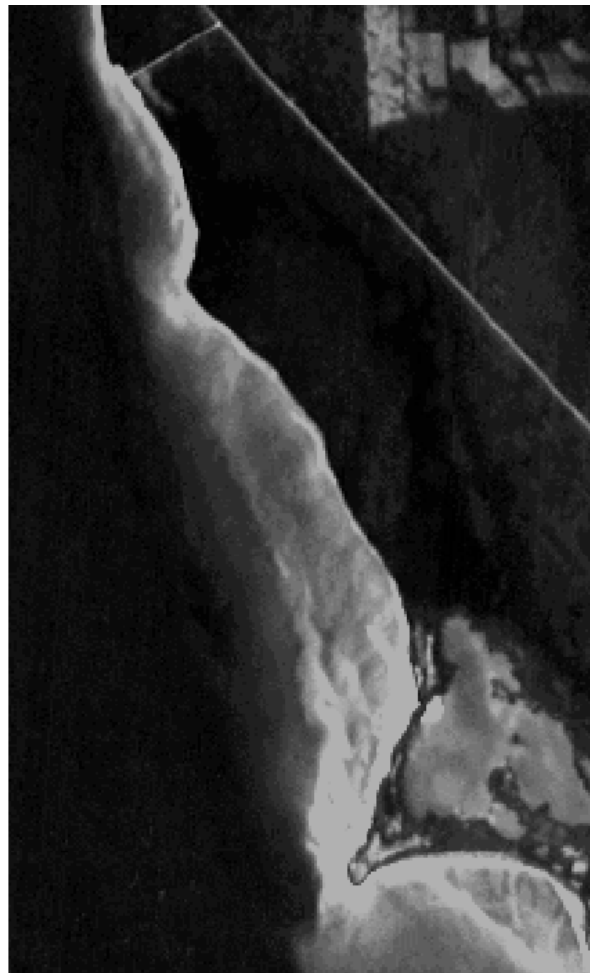


**Variazione dell'estensione del Lago Ciad
(Africa)**

Water penetration



SPOT Band 1 (0.5 - 0.59 μm) green

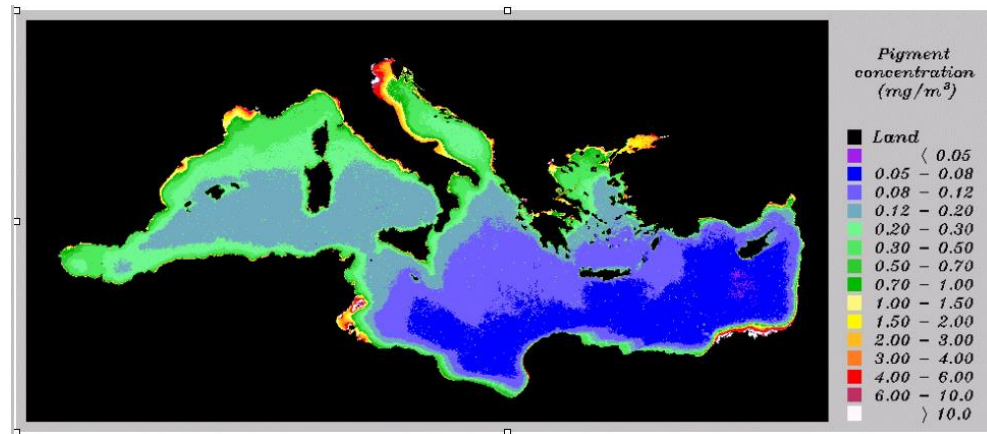
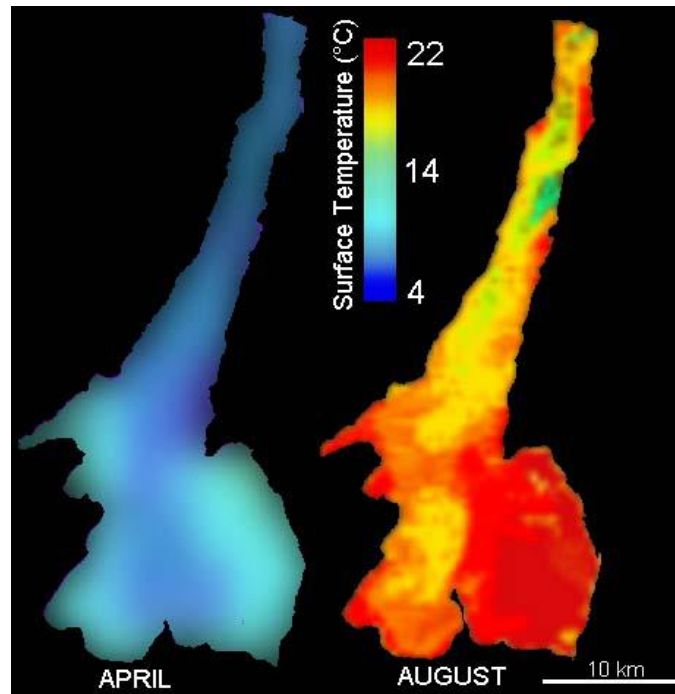
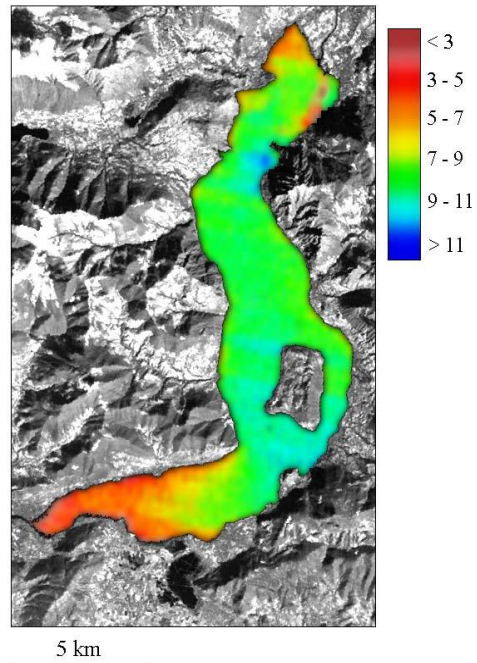


SPOT Band 2 (0.61 - 0.68 μm) red

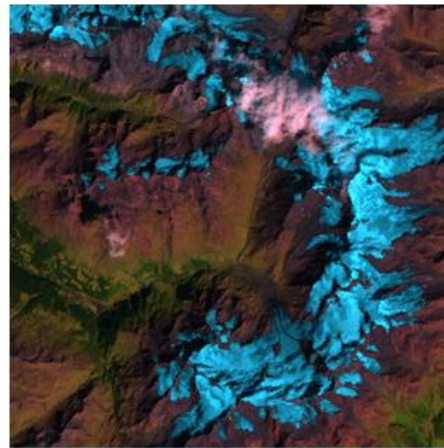


SPOT Band 3 (0.79 - 0.89 μm) NIR

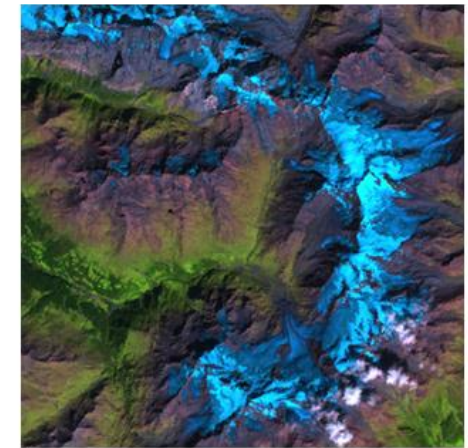
Mappe di parametri di qualità delle acque



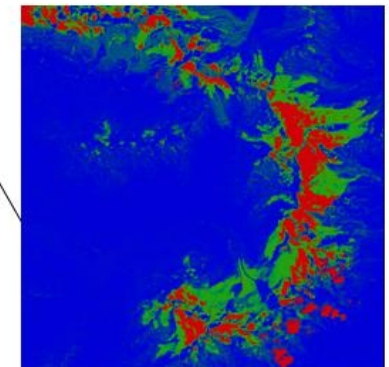
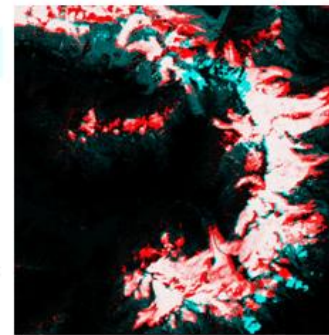
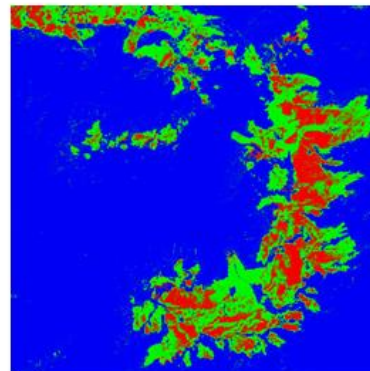
➤ Variazioni nell'estensione dei ghiacciai



LANDSAT 5 12 SEP 90



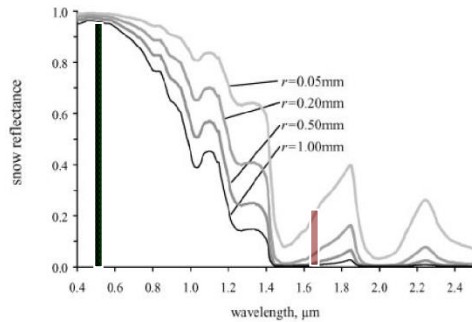
LANDSAT 7 13 SEP 99



**Variazione dell'estensione del ghiacciaio dell'Ortles
Cevedale tra il 1990 e il 1999**

Snow cover mapping and monitoring

- Snow vegetation indices

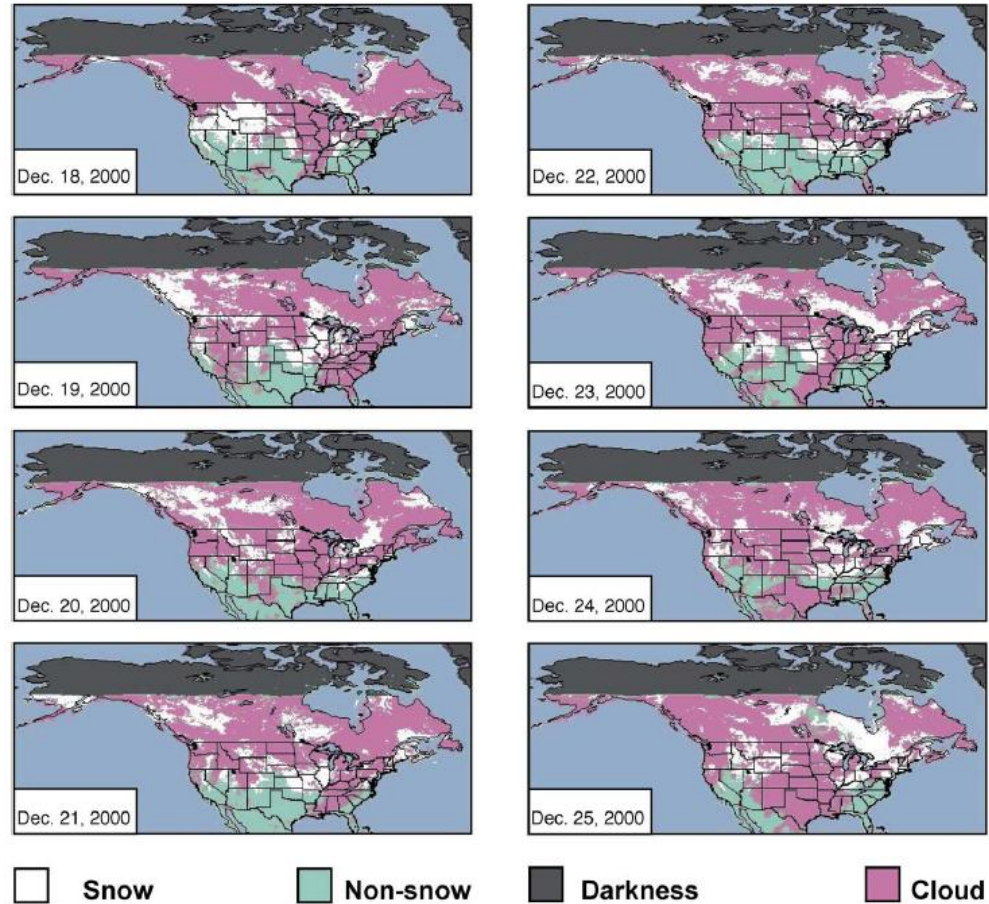


NDSI (Normalised Snow Spectral Index)

$$NDSI = \frac{\rho_{MODIS_{b4}} - \rho_{MODIS_{b6}}}{\rho_{MODIS_{b4}} + \rho_{MODIS_{b6}}}$$

$\rho_{MODIS_{b4}}$ (0.545–0.565 μm) green,
 $\rho_{MODIS_{b6}}$ (1.628–1.652 μm) middle infrared

Threshold application on NDSVI and ρ_2

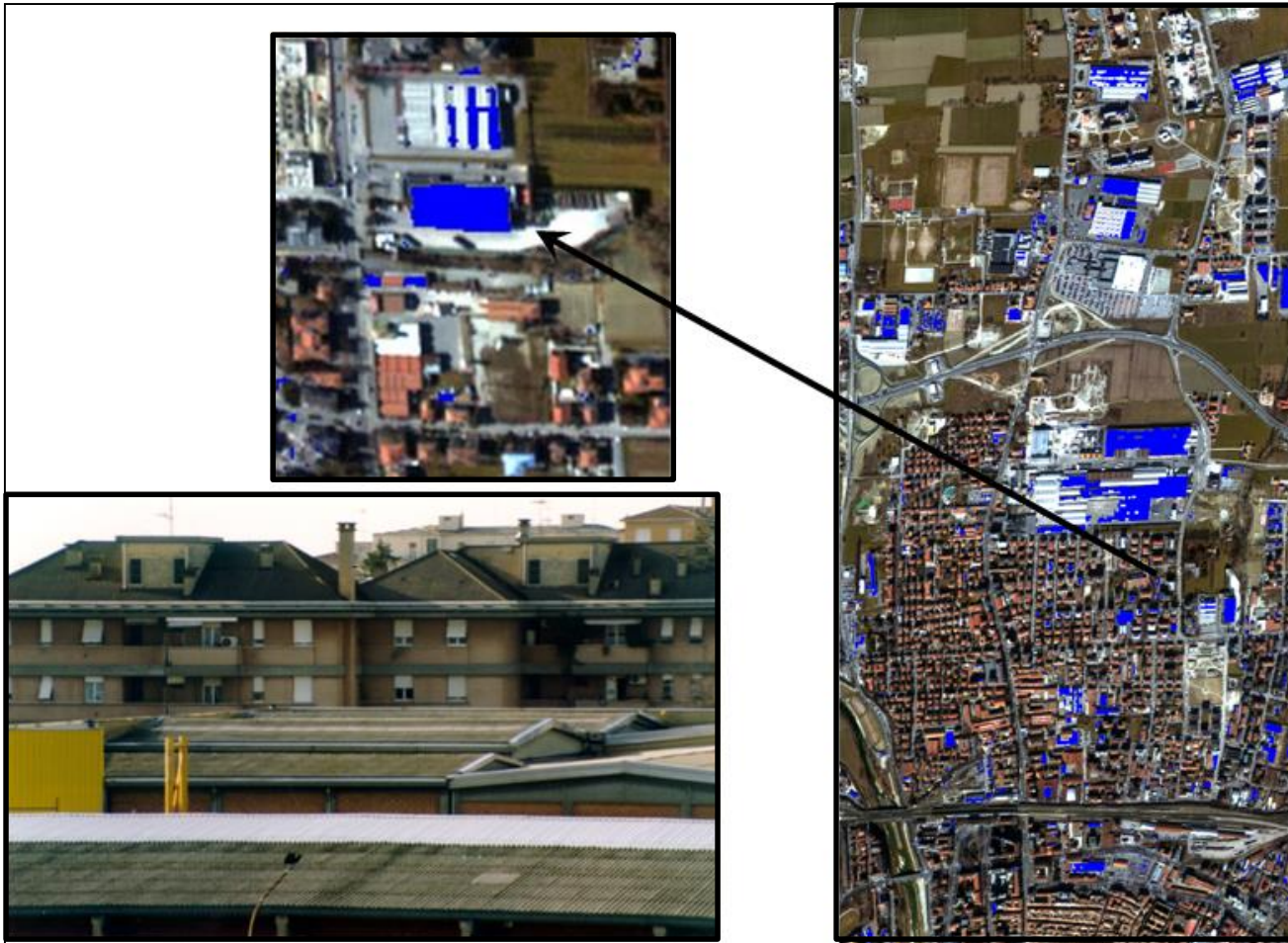


Hall et al., (2002)

Video

<https://archive.org/details/SVS-2484>

➤ Identificazione di particolari tipologie di superficie

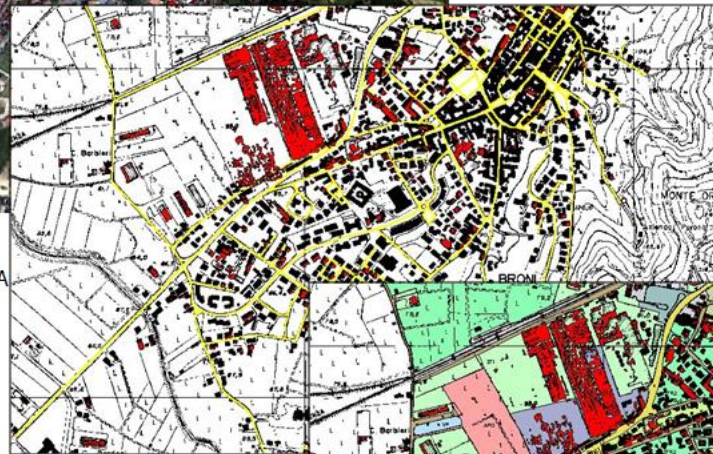


Identificazione dei tetti in Eternit (Cemento-Amianto) a partire da immagini aeree

➤ Identificazione di particolari tipologie di superficie

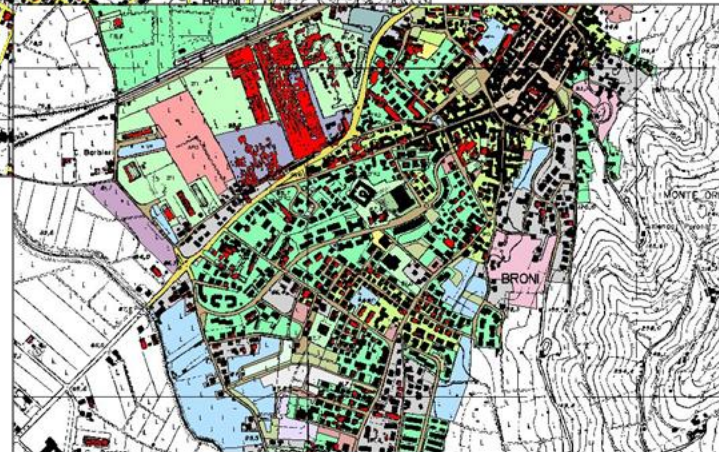


Immagine MIVIS,
Sintesi RGB, bande 10-6-1
In rosso le coperture in CA



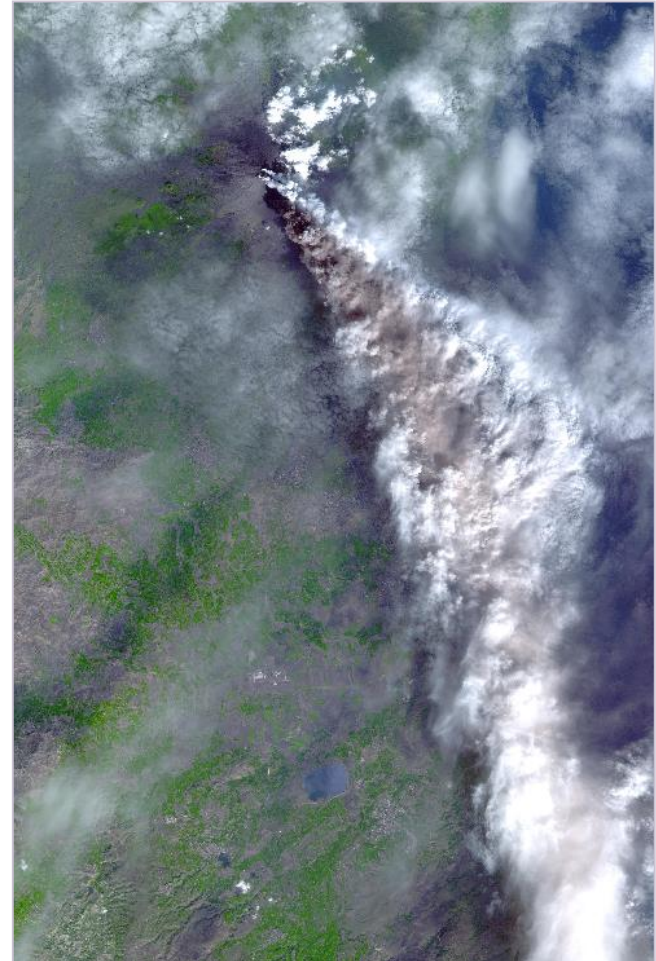
CTR 1:10.000,
Piano Regolatore Generale,
in rosso coperture CA

CTR 1:10.000,
in giallo sistema viario,
in rosso coperture CA



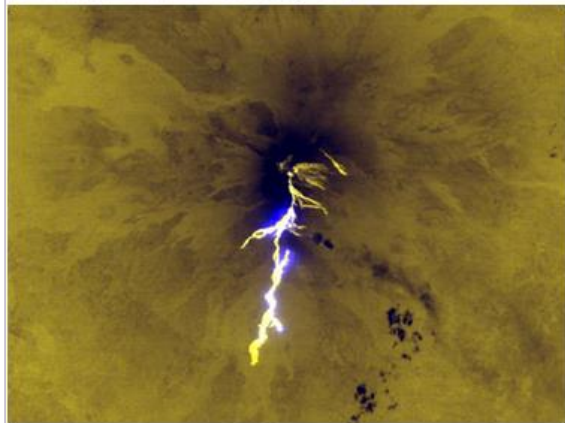
Identificazione dei tetti in Eternit (Cemento-Amianto) a partire da immagini aeree

➤ Gestione delle emergenze: Monitoraggio dei vulcani



Eruzione dell'Etna – Novembre 2002

➤ Gestione delle emergenze: Monitoraggio dei vulcani



Eruzione dell'Etna – Novembre 2002

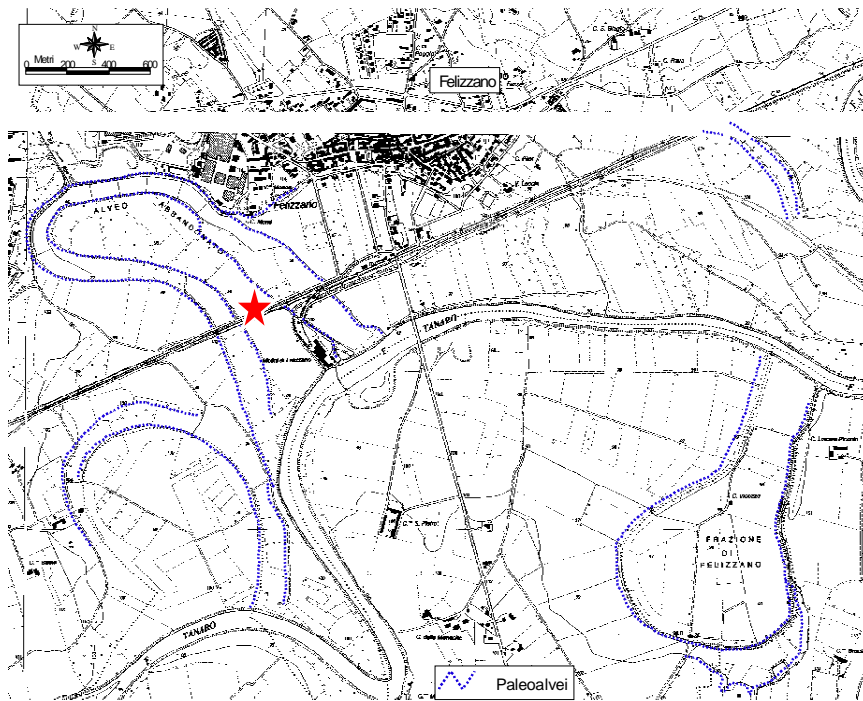
➤ Paleoalvei e fasce di rispetto. Consumo di suolo!



SPOT P image 01/04/1997

Liceo Manzoni, 22 Settembre 2021

➤ Paleoalvei e fasce di rispetto. Consumo di suolo!



RAILWAYS DAMAGE



$$f(\mathbf{A}, v, t, h, T_r, \mathbf{C}, d)$$

\mathbf{A} = extent of the flood affected area

v = rate of increase of area in time

t = time number of days of submer

h = depth of inundation

T_r = return period of the flooding

\mathbf{C} = standing crop area affected and

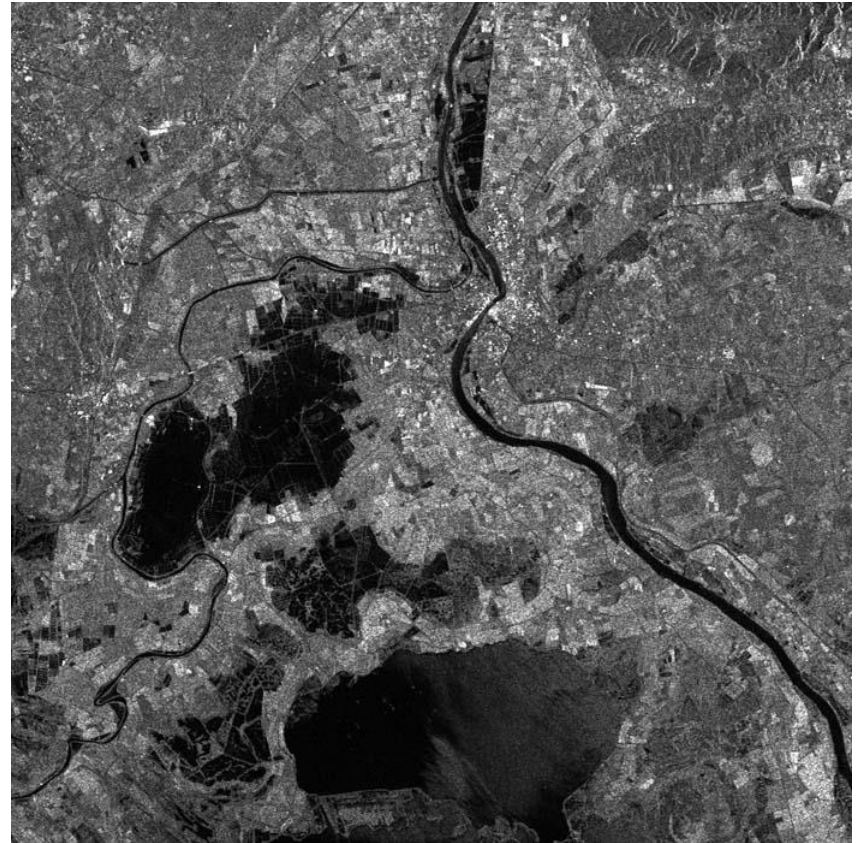
d = non-physical damage



Flooded areas in radar images



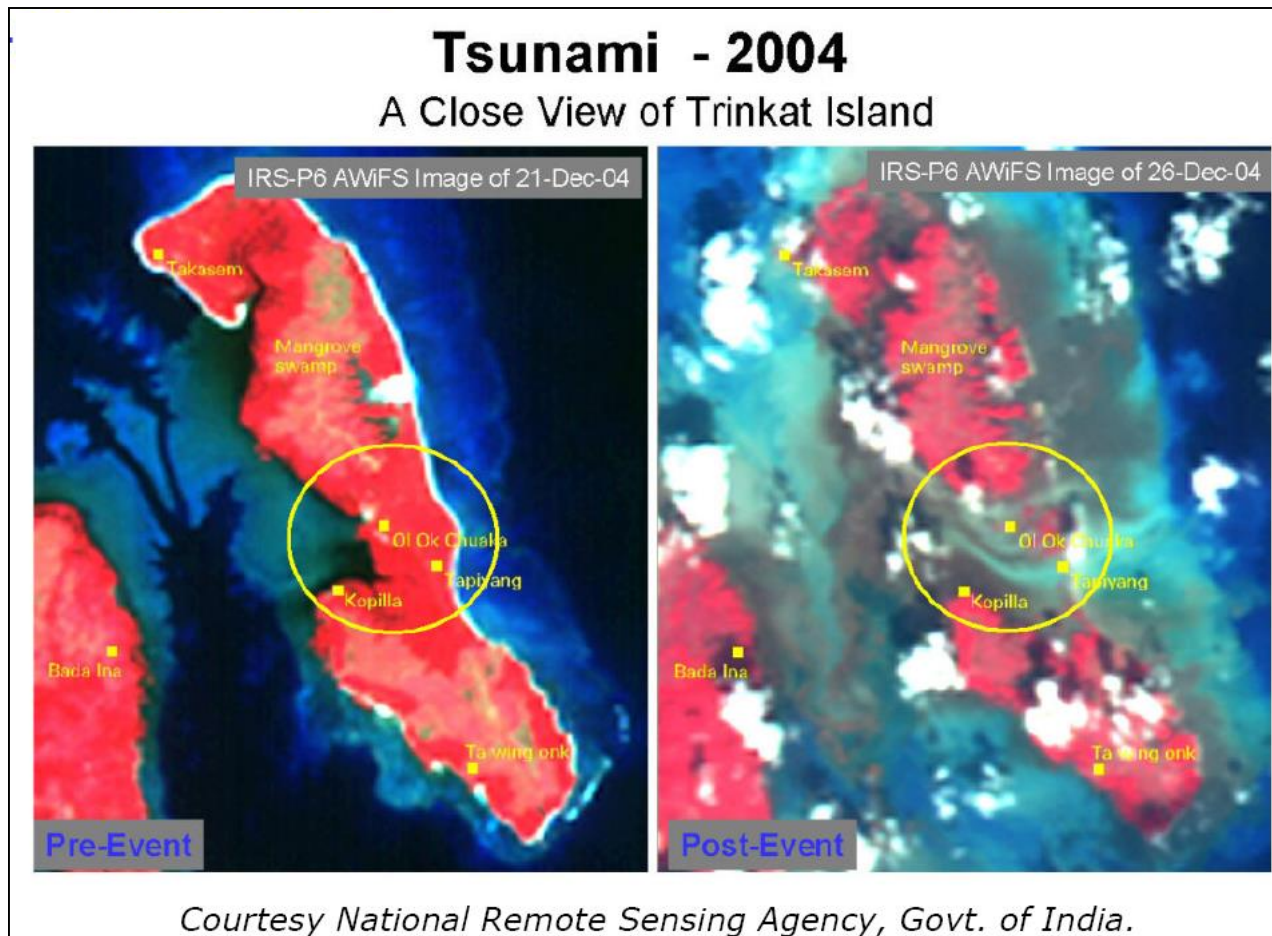
ERS-1; 3 January 1994



ERS-1; 12 January 1994

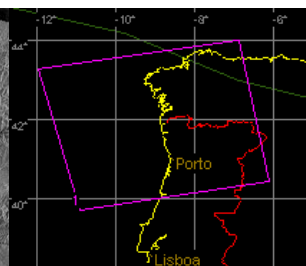
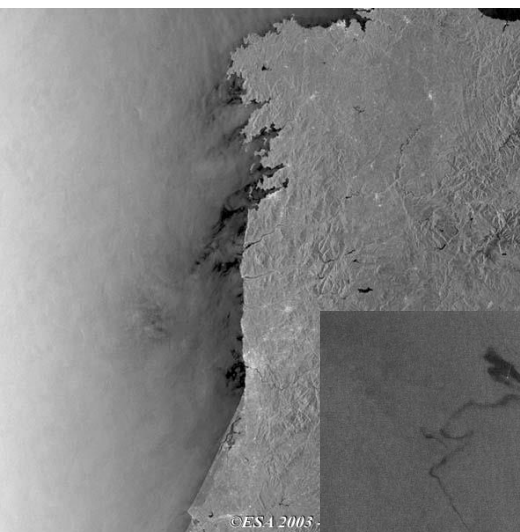
Rhine River (Camargue, France)

➤ Gestione delle emergenze: Lo Tsunami del dicembre 2004

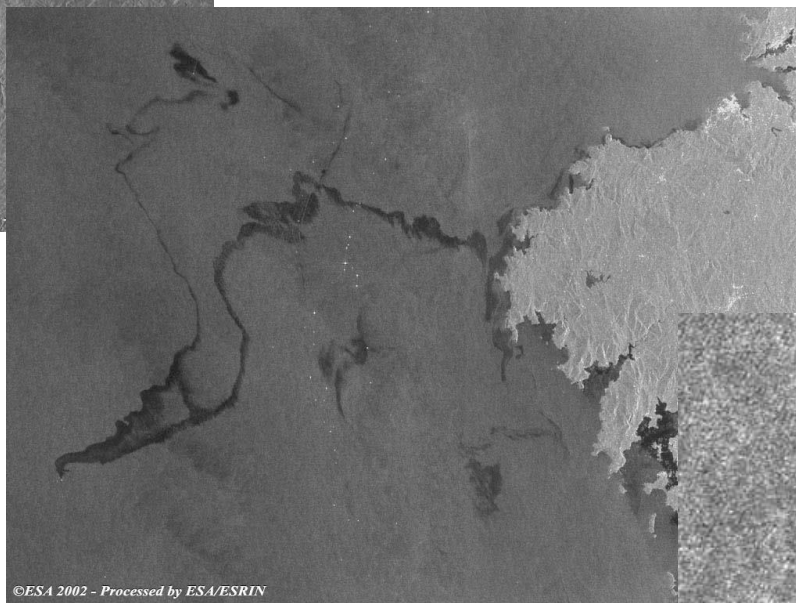
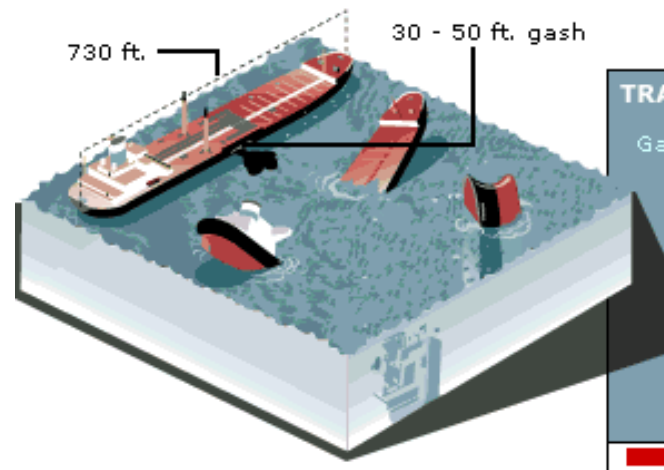


Immagini anche a basso dettaglio, se elaborate rapidamente, consentono una prima stima dei danni e l'individuazione rapida delle aree in cui intervenire

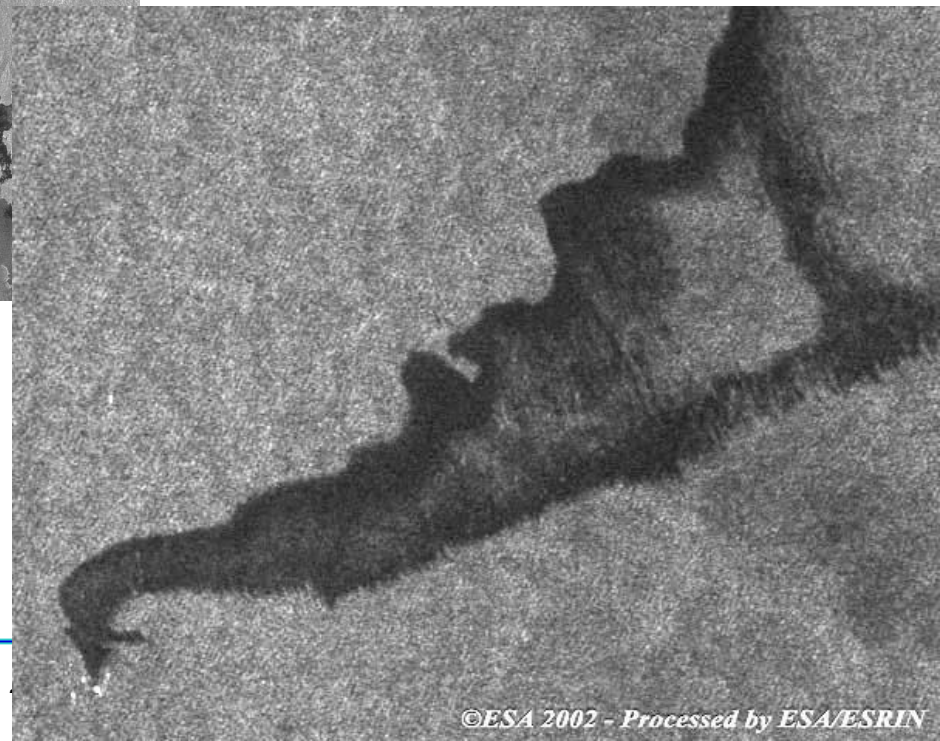
INQUINAMENTO MARINO DA IDROCARBURI



- **Nov. 13:** Tanker hull ruptures, leaking 1.3 million to 2.6 million gallons of fuel oil.



- **Nov. 19:** Tanker breaks in two; stern section sinks still holding more than 20 million gallons of fuel oil.

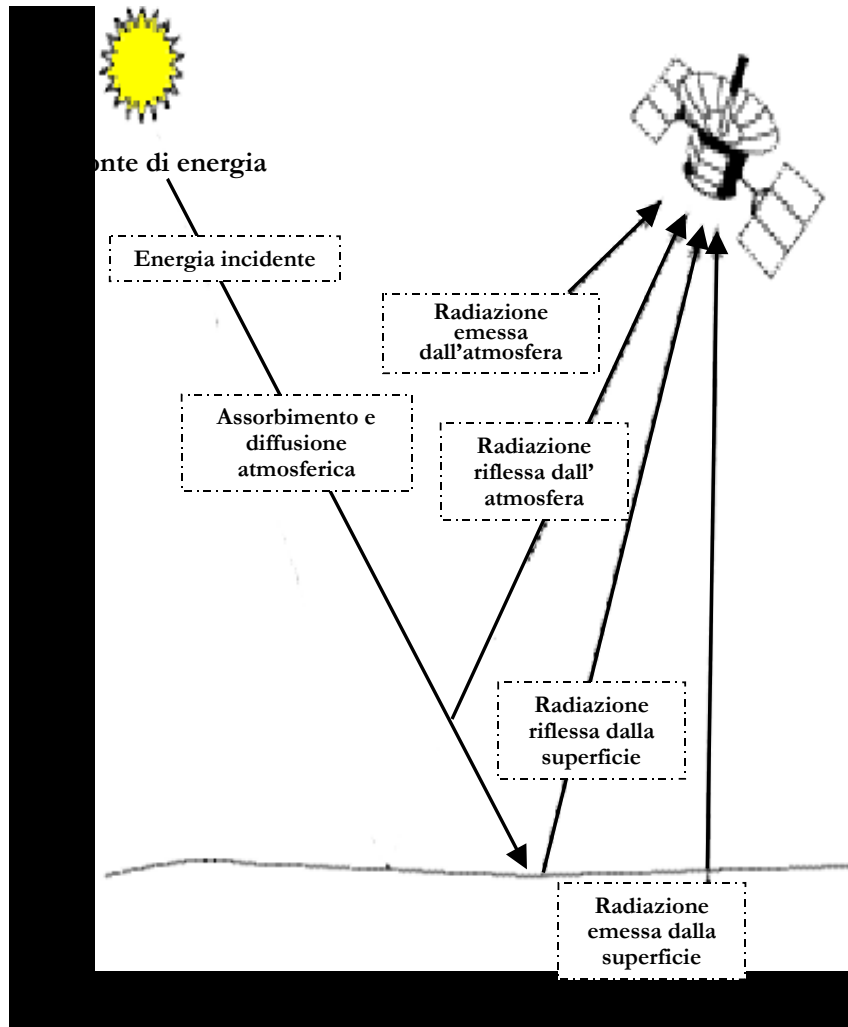


Concludendo....

- ✓ *Le tecniche di Telerilevamento sono un'importante strumento ai fini del monitoraggio ambientale, poiché permettono di ricavare informazioni frequenti e a differenti scale di osservazione sulla copertura/uso del suolo e su numerosi processi fisico-ambientali.*
- ✓ *Il continuo sviluppo tecnologico (miglioramento dei sensori, aumento della potenza degli elaboratori, etc) sta favorendo una forte espansione di questa disciplina, ampliandone i possibili campi di applicazione al di là di quanto ci si sarebbe potuti aspettare soltanto pochi anni fa!*

Radiazione EM e regioni spettrali

Che cosa misura un sistema di telerilevamento (esempio di un sistema satellitare passivo, riflesso/emesso)



- Il **sensore** raccoglie la radiazione EM riflessa o emessa dalla superficie e quella riflessa o emessa dall'atmosfera;
- L'**atmosfera** può assorbire e diffondere la radiazione solare, modificando sia la radiazione incidente sulla superficie, sia quella che raggiunge il sensore;
- **L'intensità della radiazione** riflessa o emessa dalla superficie dipende dalle caratteristiche della superficie e dalla lunghezza d'onda;

Natura e proprietà delle onde elettromagnetiche

La radiazione elettromagnetica è il mezzo che trasporta le informazioni

La **RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA** consiste di un campo elettrico (**E**) che varia in ampiezza nella direzione perpendicolare alla direzione di propagazione del campo magnetico (**M**).

Entrambi i campi viaggiano alla velocità della luce (c)

Parametri dell'onda EM

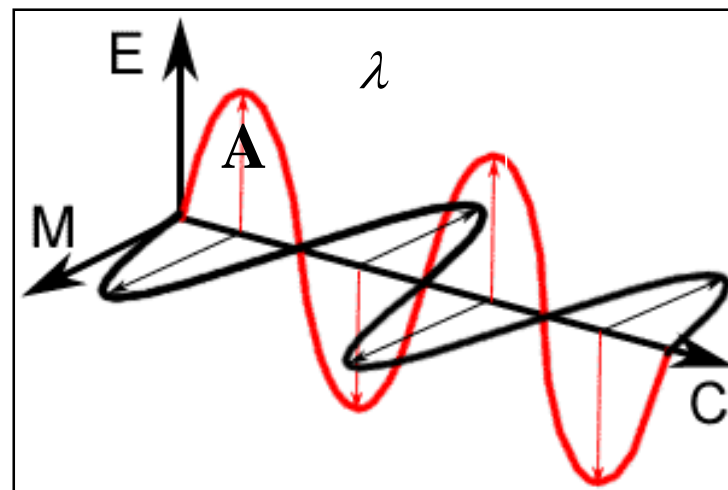
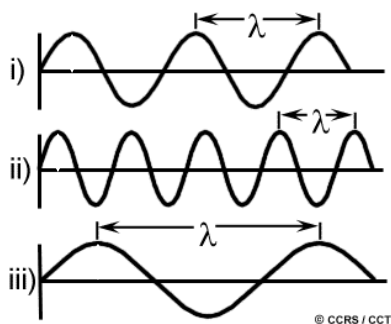
λ = lunghezza d'onda (m)

f = frequenza (cicli al secondo, s^{-1} oppure Hz)

a = ampiezza, intensità massima di E
(Irradianza in W/m^2)

c = velocità di propagazione (m/s)

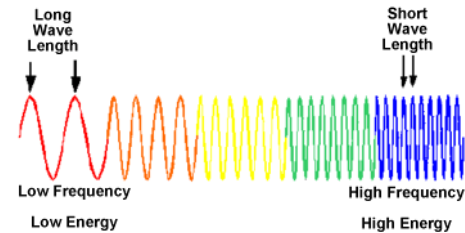
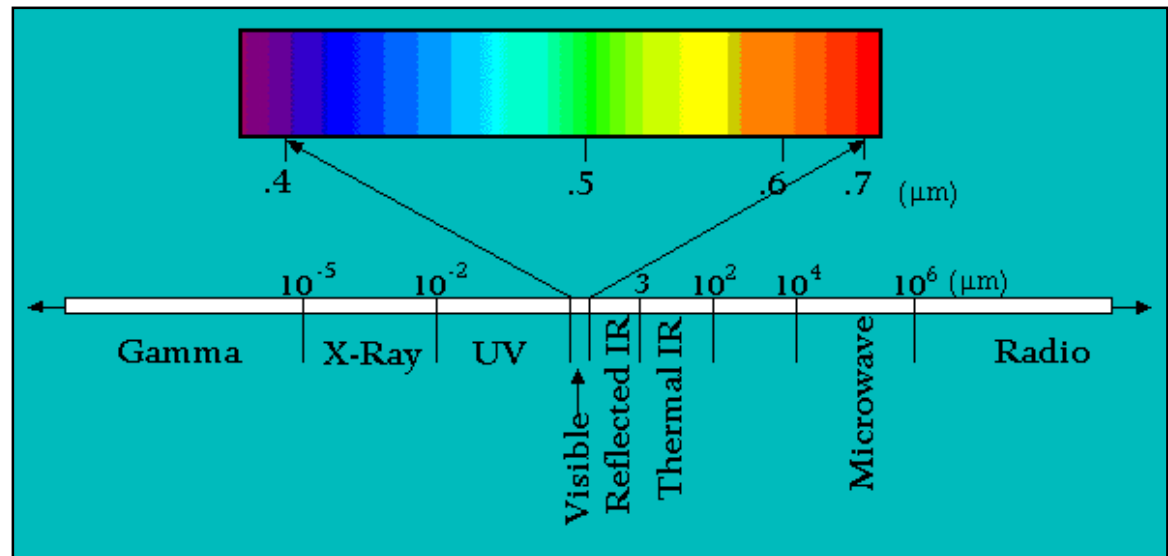
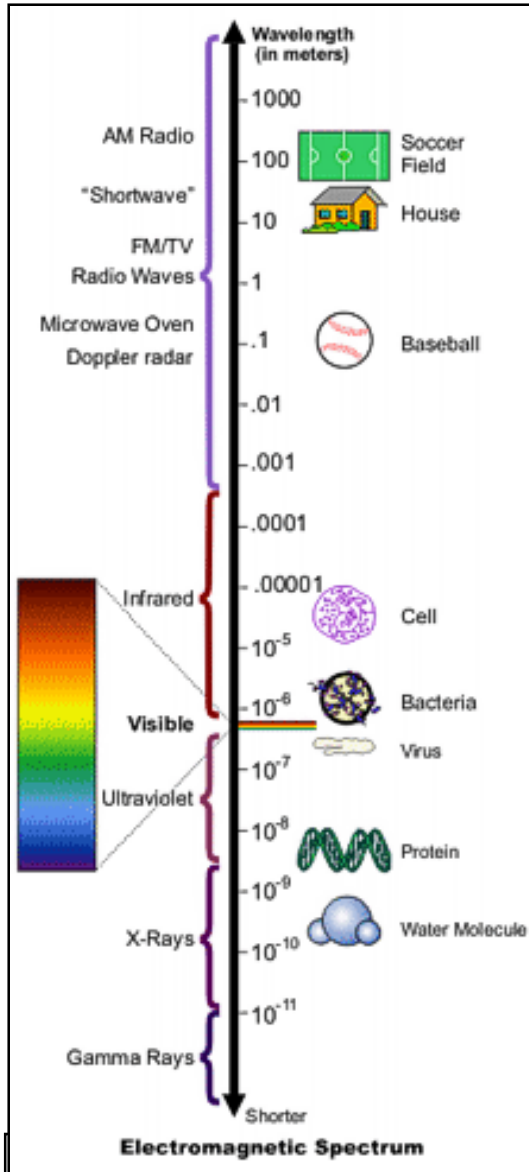
T = periodo (tempo di una oscillazione, $1/f$)



Si tratta pertanto di un fenomeno ondulatorio dato dalla propagazione in fase del campo E e del campo M , oscillanti in piani tra loro ortogonali e ortogonali alla direzione di propagazione. Tale fenomeno è descritto matematicamente come soluzione dell'equazione delle onde, ottenuta a partire dalle equazioni di Maxwell (1864)

Lo spettro elettromagnetico

- E' la distribuzione monodimensionale continua dell'energia EM ordinata normalmente per λ crescenti. E' l'intervallo di tutte le possibili frequenze della radiazione EM;
- Lo studio delle caratteristiche di una determinata superficie avviene analizzando la radiazione da essa riflessa o emessa in differenti lunghezze d'onda, in vari domini dello spettro elettromagnetico.



Leggi della radiazione EM di interesse per il remote sensing

- **3 leggi** fondamentali della radiazione di interesse per il telerilevamento:

1. **Legge di Planck**, che descrive l'andamento della potenza emessa dalle superfici in funzione della lunghezza d'onda e della loro temperatura.

2. **Legge di Stefan - Boltzmann**, che fornisce la quantità totale di potenza emessa dalle superfici calcolata su tutto lo spettro in funzione della loro temperatura.

3. **Legge di Wien**, che indica il valore della lunghezza d'onda ove l'emissione elettromagnetica è massima per una certa temperatura.

Principio di conservazione dell'energia - Kirchhoff

Emissione di onde elettromagnetiche: legge di Planck

- Max Planck nel 1900 enunciò la legge generale dell'emissione elettromagnetico per corpi neri
- La legge è basata sulla teoria quantistica e Spiega/calcola la densità di flusso radiante spettrale
- Si usa per predire quanta energia è presente tra determinate λ : permette di calcolare per unità di superficie e di lunghezza d'onda (λ) la densità di flusso radiante spettrale (o emittanza) emessa da un corpo nero

$$W_{\lambda} = \frac{2\pi c^2 h \lambda^{-5}}{e^{ch/\lambda k T} - 1} \quad [W m^{-2} \mu m^{-1}]$$

dipendenza da T

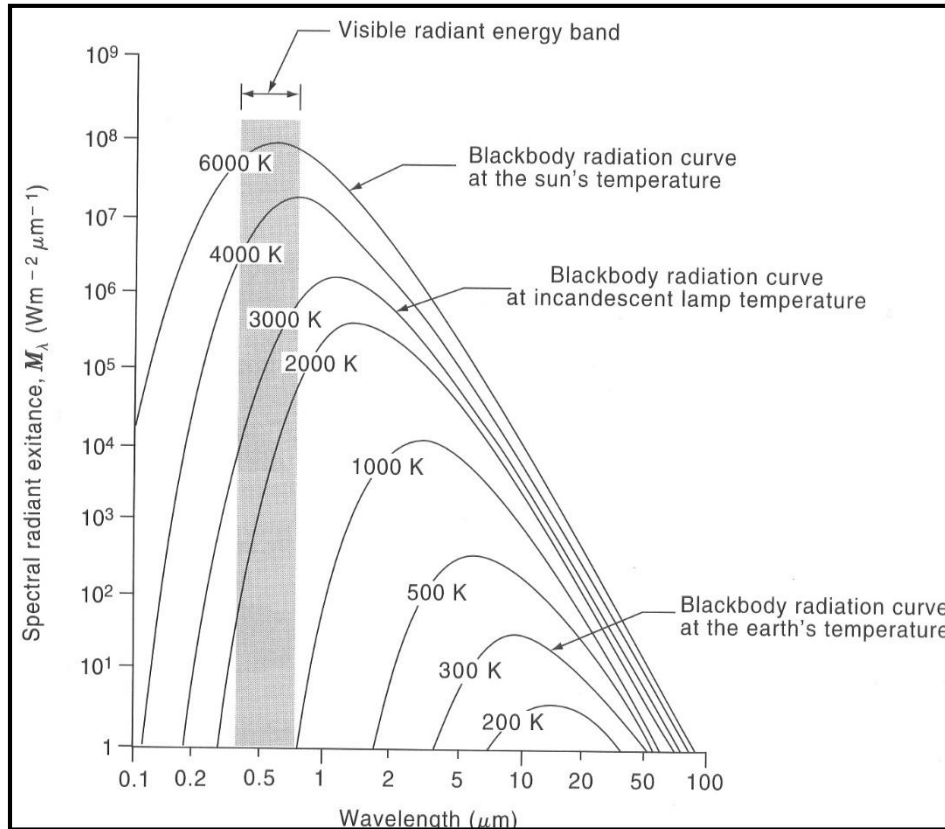
dipendenza da λ

potenza radiante (per unità di sup e lunghezza d'onda)

- Qualunque superficie esterna di un corpo nero con temperatura superiore allo zero assoluto (0° K) emette radiazioni elettromagnetiche in maniera continua su tutto lo spettro elettromagnetico, in accordo con la legge di Planck

Legge di Planck

Curve di Planck per corpi neri a diversa T ($\epsilon = 1$)

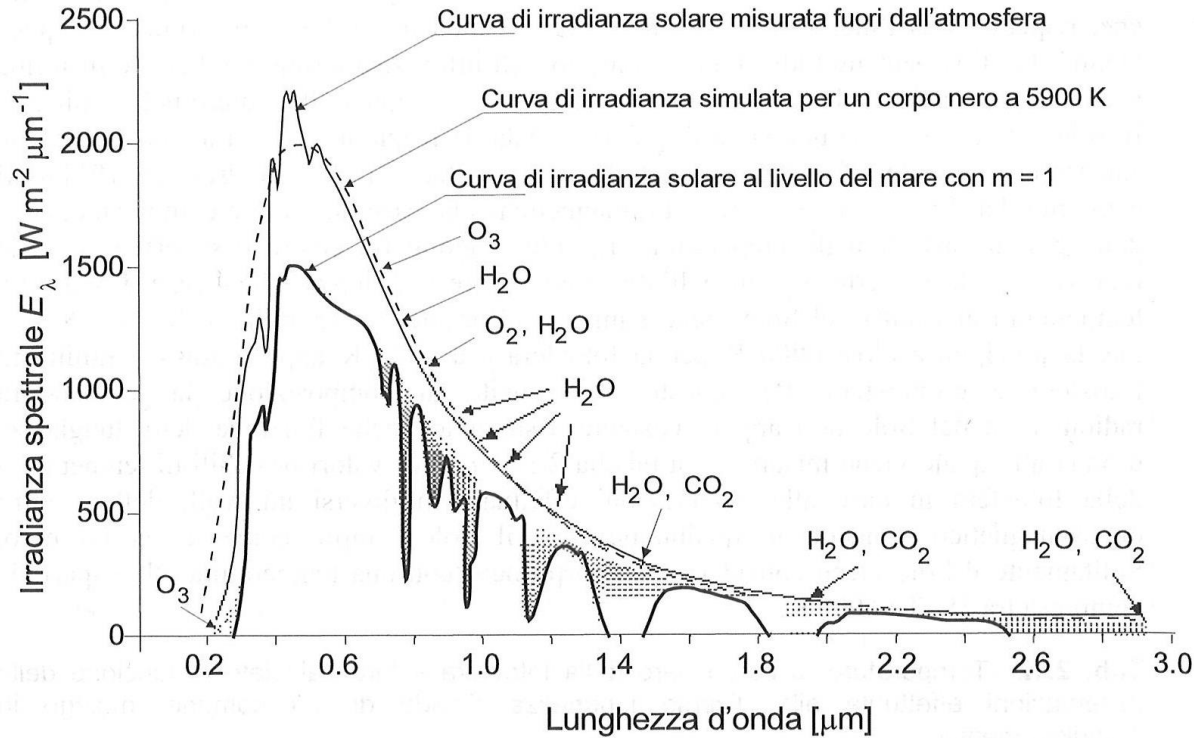


1. L'energia totale irradiata cresce al crescere della *Temperatura*;
2. Permette di calcolare l'energia irradiata per ciascuna λ
3. Al crescere di T il massimo della curva si sposta a *lunghezza d'onda* minori secondo la legge di Wien

Curva di emissione del sole

sole assimilato a un corpo nero con $T =$

5900 K curva reale di irraggiamento



Interazione con i gas in atmosfera

Sorgenti di onde elettromagnetiche nell'osservazione della terra

Sole:

$$T_{\text{media}} = 6000 \text{ °K (5727°C)}$$

Picco di emissione nel visibile

$$\lambda_{\text{max}} = 0.482 \text{ }\mu$$

Terra:

$$T_{\text{media}} = 300 \text{ °K (27°C)}$$

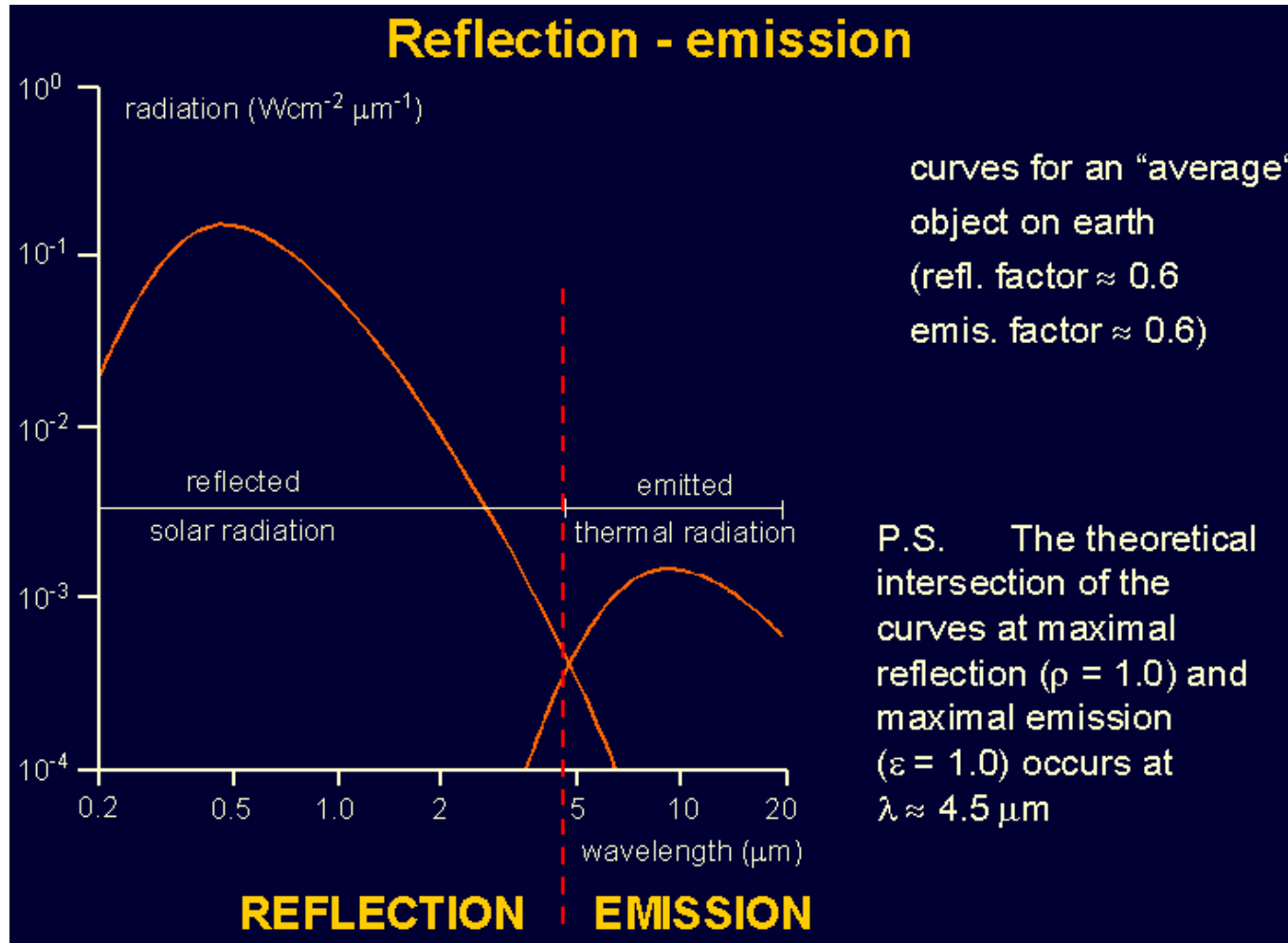
Picco di emissione nell'IR termico

$$\lambda_{\text{max}} = 9.7 \text{ }\mu$$

Dal punto di vista dell'irraggiamento queste due sorgenti si comportano in modo diverso a causa della diversa T!

Volendo misurare la radiazione solare RIFLESSA da una superficie, si utilizzeranno sensori sensibili alle radiazioni nel campo del visibile e dell'infrarosso vicino e a onde corte (NIR e SWIR), mentre volendo misurare la radiazione EMESSA da una superficie, si utilizzeranno sensori sensibili alle radiazioni nel campo dell'infrarosso termico (TIR)!

Emissione di onde elettromagnetiche



Nell'intervallo 3 – 6 μm in l' energia solare riflessa dalla terra e quella emessa sono confrontabili. Per questo motivo generalmente i sensori per telerilevamento non misurano in tale intervallo spettrale

Simbologia impiegata nei rapporti geometrici delle grandezze radiometriche incidenti e uscenti da un punto

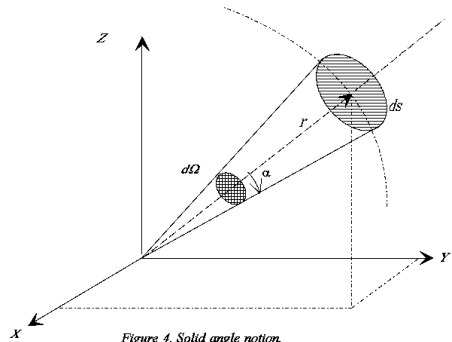
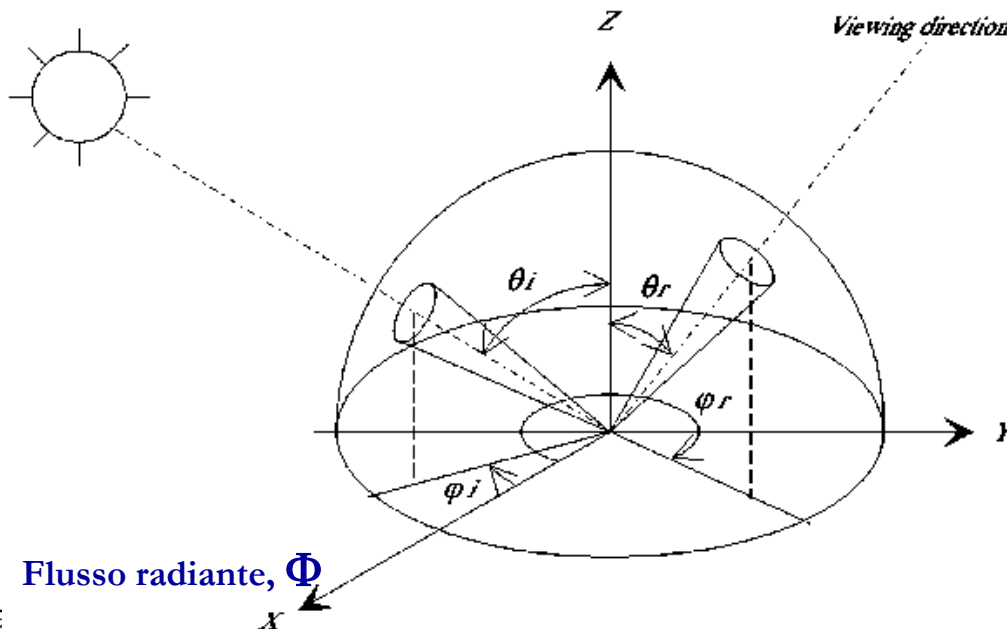


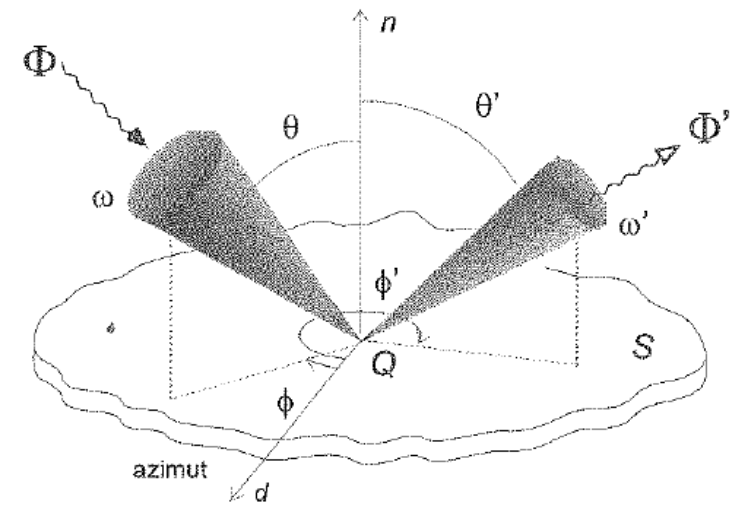
Figure 4. Solid angle notion.

Lo schema geometrico prevede un flusso radiante incidente a e uno uscente con angoli rispetto alla normale n (zenit) e alla direzione d (azimut); Gli angoli θ e ϕ sono relativi alla sorgente (flusso incidente) mentre θ' , ϕ' sono in genere riferiti alla direzione di osservazione (flusso uscente).



Flusso radiante, Φ

Descrizione geometria di osservazione (i=incidente; r=riflesso)



Radianza, L [$\text{W Sr}^{-1} \text{m}^{-2}$]

È il valore del flusso radiante $d\Phi$ misurato per unità di angolo solido e per unità di superficie proiettata ($ds \cos \theta$) in una data direzione e su un piano ortogonale a tale direzione. L'angolo θ è l'angolo tra la direzione di osservazione e la normale alla superficie interessata

$$L = \frac{d\Phi/d\Omega}{ds \cos \theta}$$

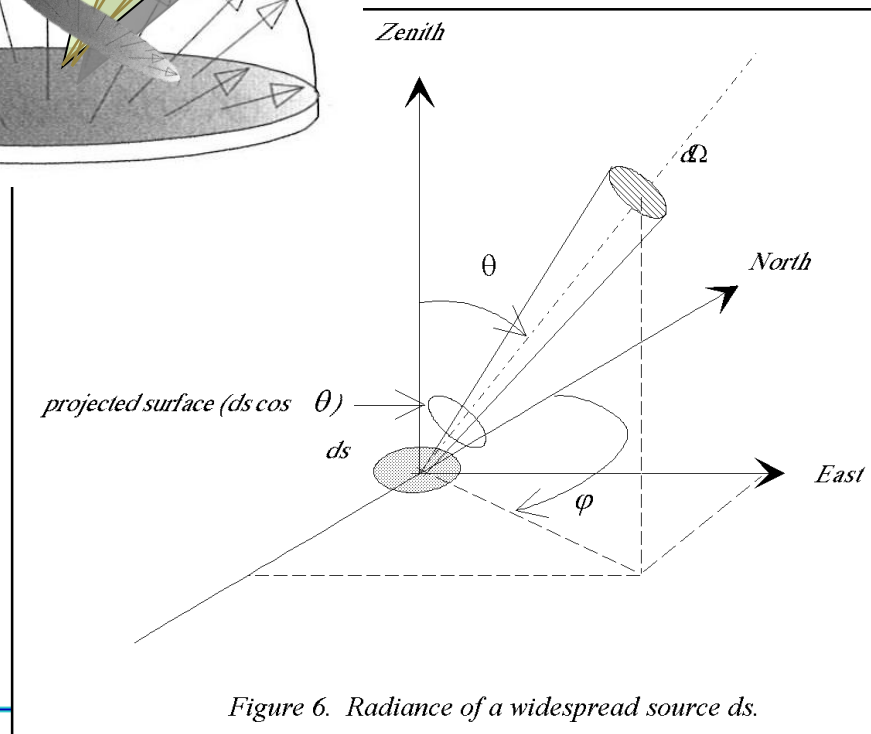
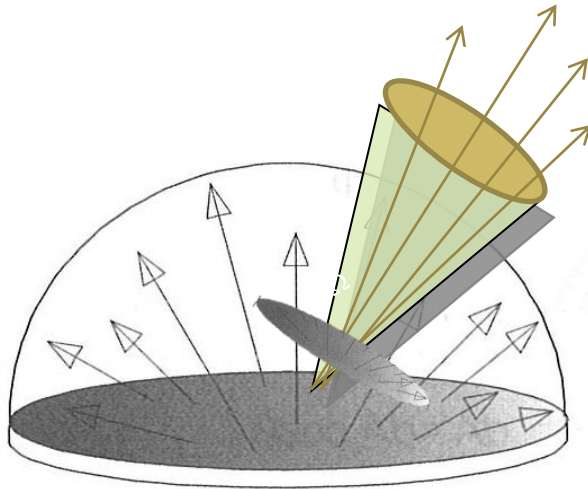


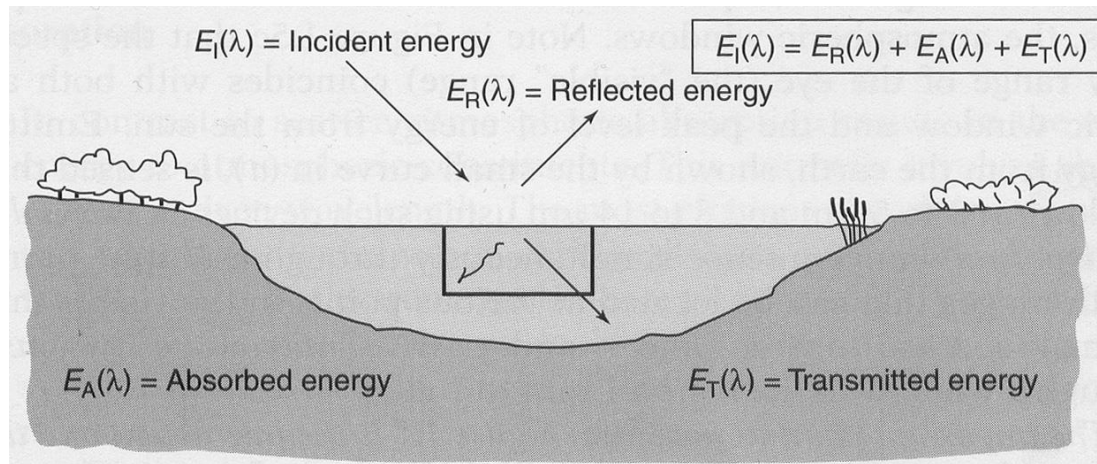
Figure 6. Radiance of a widespread source ds .

Il concetto di Radianza è quindi legato alla geometria di osservazione e alle caratteristiche strumentali e quindi è la grandezza radiometrica cruciale nel Telerilevamento

Interazione della radiazione EM con le superfici

Se applichiamo il principio di conservazione dell'energia possiamo vedere le relazioni tra queste interazioni

$$E_i(\lambda) = E_r(\lambda) + E_a(\lambda) + E_t(\lambda)$$



$E_i(\lambda)$ = energia incidente

$E_r(\lambda)$ = energia riflessa: la radiazione viene riflessa dalla superficie

$E_a(\lambda)$ = energia assorbita: la superficie assorbe EM e si scalda; l'oggetto a sua volta emette radiazioni in accordo alla legge di Stefan-Boltzman

$E_t(\lambda)$ = energia trasmessa: la radiazione passa attraverso l'oggetto

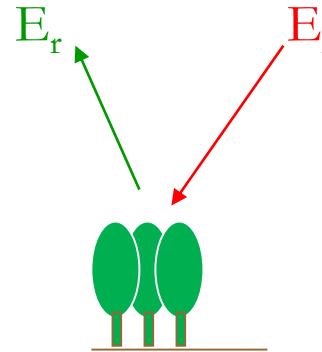
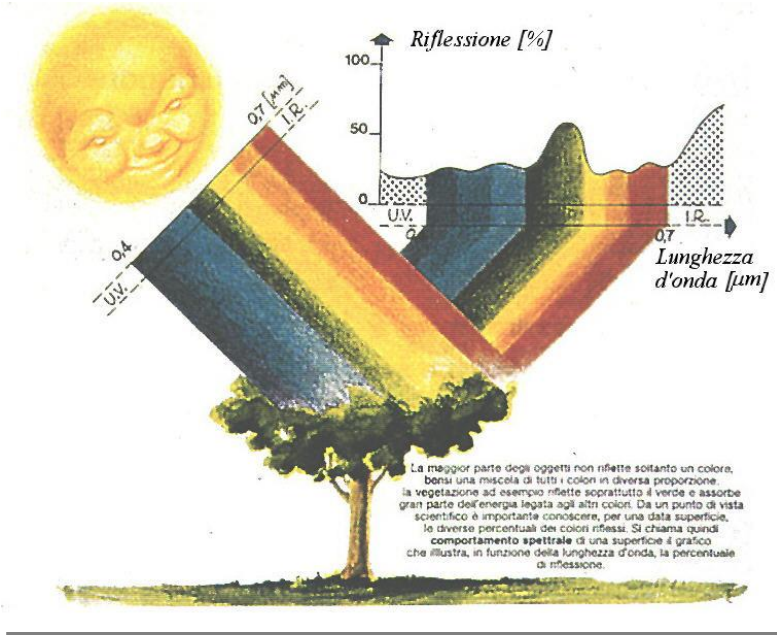
Interazione della radiazione EM con le superfici

Poiché la maggior parte dei sistemi di telerilevamento operano nelle regioni in cui le lunghezze d'onda sono principalmente riflesse (VIS e infrarosso riflesso NIR e SWIR), la RIFLETTANZA è il parametro più importante

la RIFLETTANZA è una misura della capacità della superficie di riflettere l'energia incidente

$$E_r(\lambda) = E_i(\lambda) - [E_a(\lambda) + E_t(\lambda)] \quad \rho(\lambda) = E_r(\lambda) / E_i(\lambda)$$

Una proprietà ottica: la riflettanza VIS-NIR-SWIR

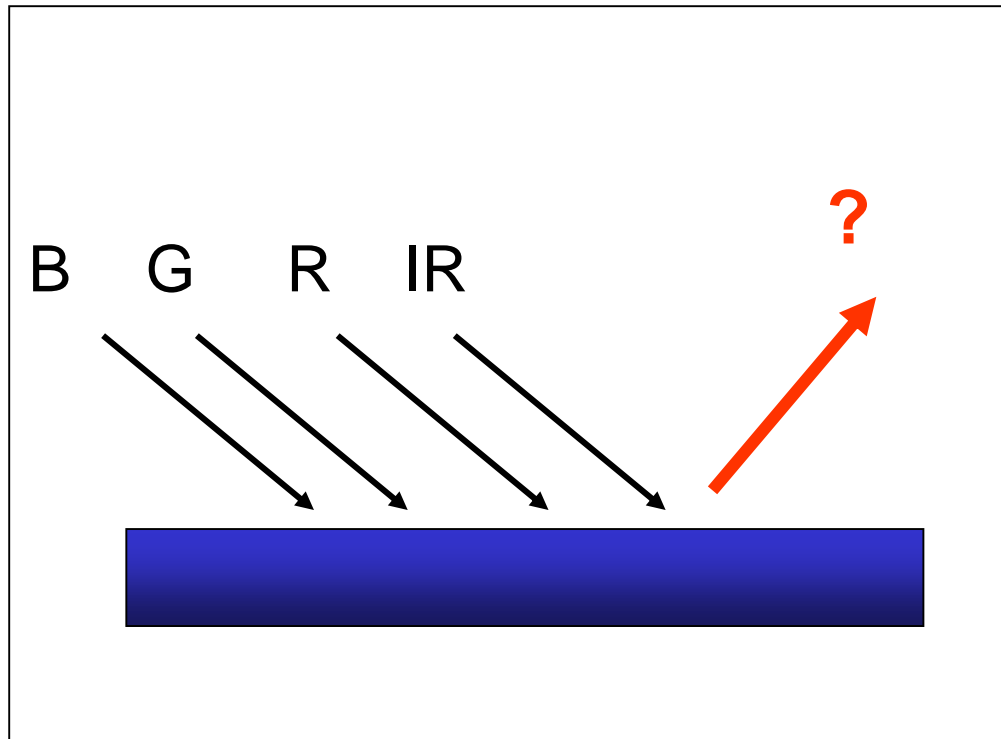


$$\rho(\lambda) = E_r(\lambda) / E_i(\lambda)$$

- Data una $E_{i\lambda}$ il fenomeno della riflessione dipende sostanzialmente da due fattori:
 - Caratteristiche fisiche della superficie interessata;
 - Geometria del binomio sorgente-osservatore
- In generale le superfici naturali sono anisotrope e riflettono la radiazione incidente in modo diverso a seconda delle diverse combinazioni della coppia incidenza-osservazioni
- Necessità di avere una funzione descrittiva della riflessione ai vari angoli → BRDF

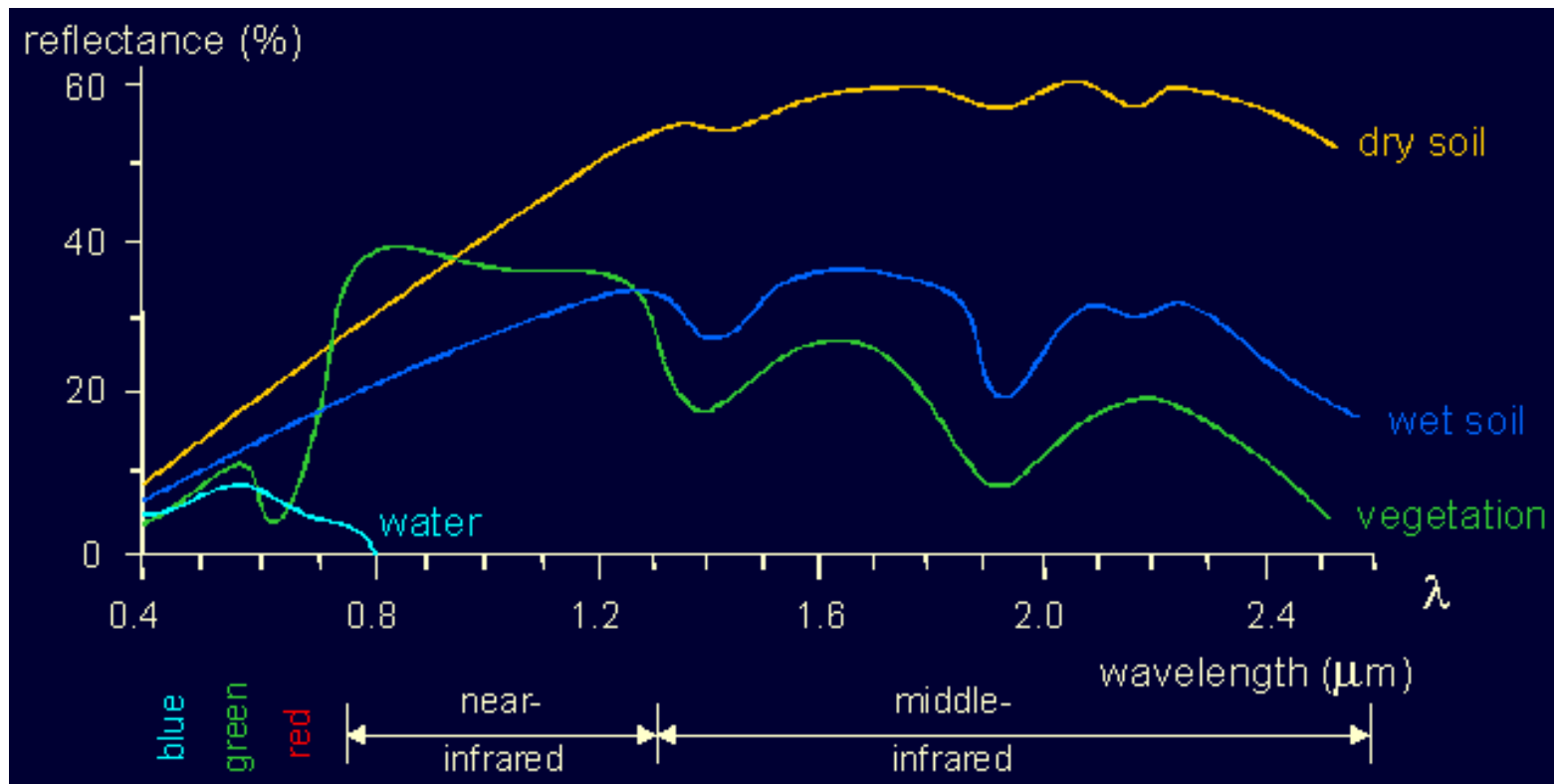
Che cos'è una firma spettrale

La firma spettrale è sostanzialmente un grafico che ci informa sulle capacità di riflessione di una determinata superficie in funzione della lunghezza d'onda della radiazione incidente



Interazione della radiazione EM con le superfici

Riflettività spettrale (analisi spettrale delle superfici)



Poiché la riflettanza varia con la lunghezza d'onda, anche la quantità di radiazione riflessa da una superficie sarà variabile con λ .

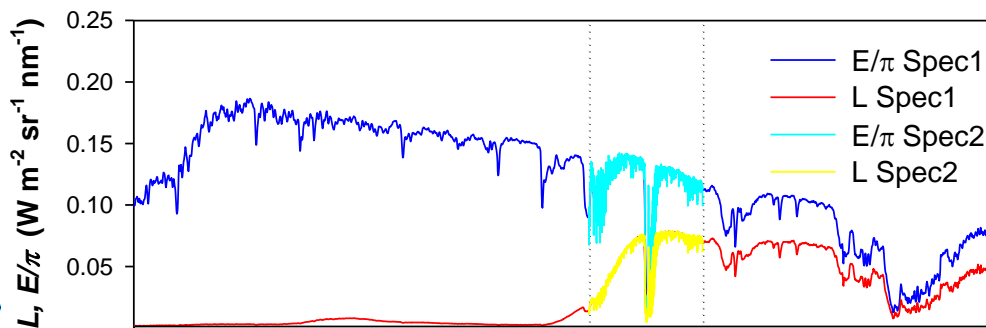
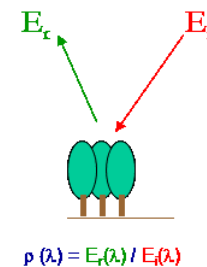
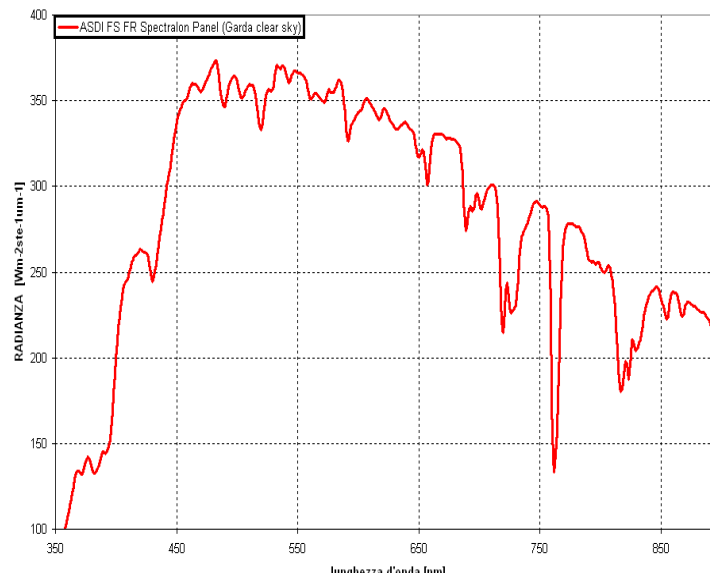
La radiazione EM riflessa da una superficie sarà quindi :

$$E_r(\lambda) = \rho(\lambda) * E_i(\lambda)$$

Misure di radianza riflessa (incidente e riflessa dalla superficie)



~38% della energia totale irradiata dal sole è posta nella regione spettrale del visibile



Liceo Manzoni, 22 Settembre 2021

In sintesi....

