

INTRODUZIONE AL TELERILEVAMENTO

Fondamenti fisici e sensori

Corso di Laurea Magistrale in SIT&TLR a.a. 2009/10
Ing. Claudio La Mantia

Argomenti della lezione



1. Concetti generali
2. Fondamenti fisici del telerilevamento
3. Tipologie / classificazione sensori

Concetti generali



- Definizione
- Sistema di telerilevamento
- Applicazioni
- Vantaggi

Definizione



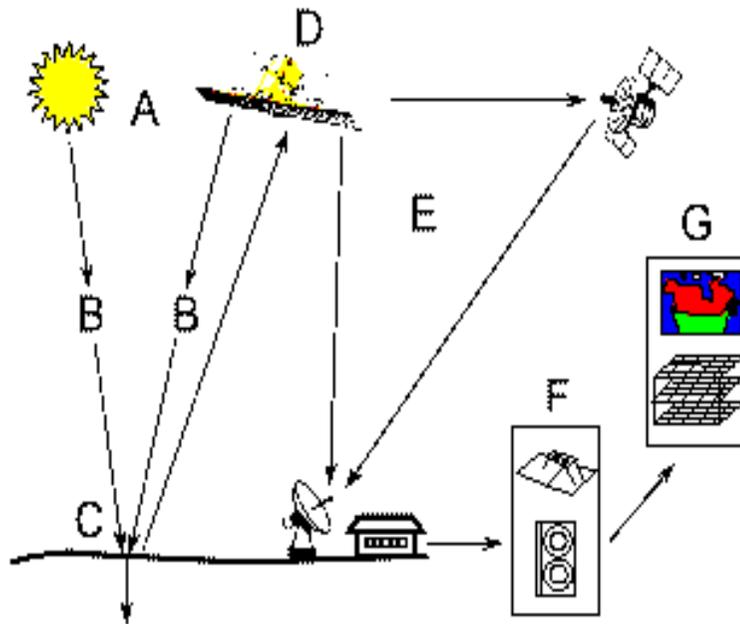
Insieme di

- **teorie**
- **strumenti**
- **tecniche**
- **mezzi interpretativi**



che consentono di acquisire informazioni qualitative e quantitative su oggetti, superfici o fenomeni mediante dispositivi non a contatto diretto con essi

Il Sistema Telerilevamento



- **A** Sorgente di energia e.m
- **B** Atmosfera
- **C** Interazione con oggetti
- **D** Sensore
- **E** Trasmissione, registrazione ed elaborazione dei dati
- **F** Interpretazione ed analisi
- **G** Prodotti informativi

Applicazioni



- Osservazione dell'atmosfera
- Osservazione dei mari e degli oceani
- Osservazione della superficie terrestre

Vantaggi del telerilevamento



- Osservazione del territorio uniforme e in forma numerica
- Rapidità di accesso all'informazione
- Informazioni in diverse parti dello spettro e.m.
- Osservazioni ripetibili nel tempo

Fondamenti fisici del telerilevamento



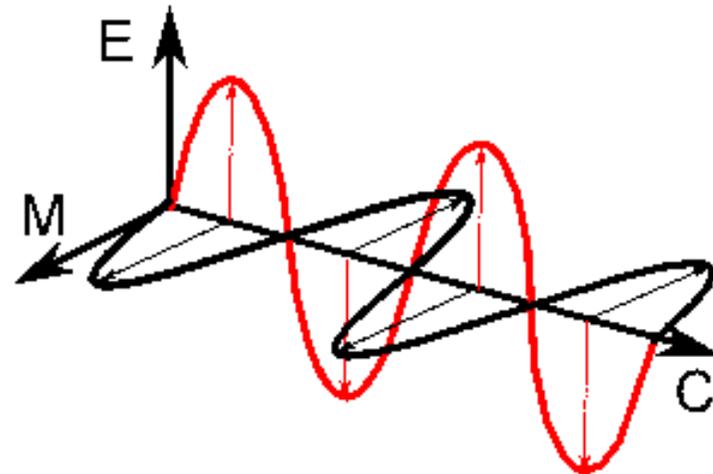
- Teoria della radiazione e.m
- Interazione radiazione-atmosfera
- Interazione radiazione-materia

La radiazione elettromagnetica



Il campo e.m. è un campo di forze descritto da due quantità vettoriali rispettivamente il campo elettrico E ed il campo magnetico M

Un'onda elettromagnetica corrisponde ad una perturbazione per cui i campi E (e M) variano nello spazio e nel tempo secondo una funzione di tipo sinusoidale

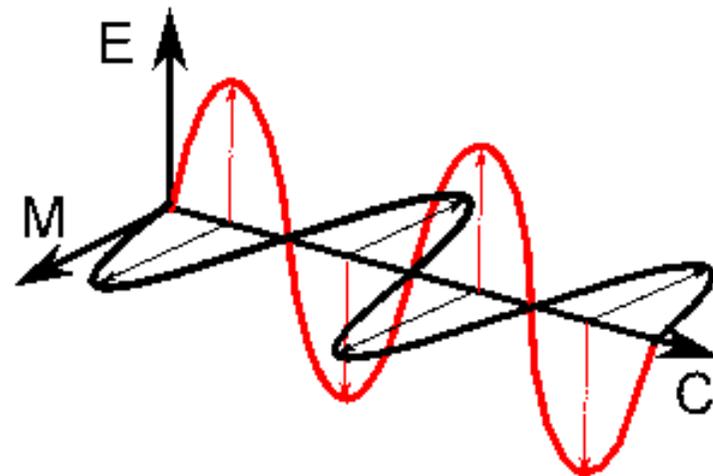


La radiazione elettromagnetica



La direzione in cui avviene l'oscillazione del vettore E definisce la polarizzazione dell'onda e.m.

Si parla di polarizzazione orizzontale o verticale a seconda se tale segmento giace su un piano orizzontale o verticale.



La radiazione elettromagnetica



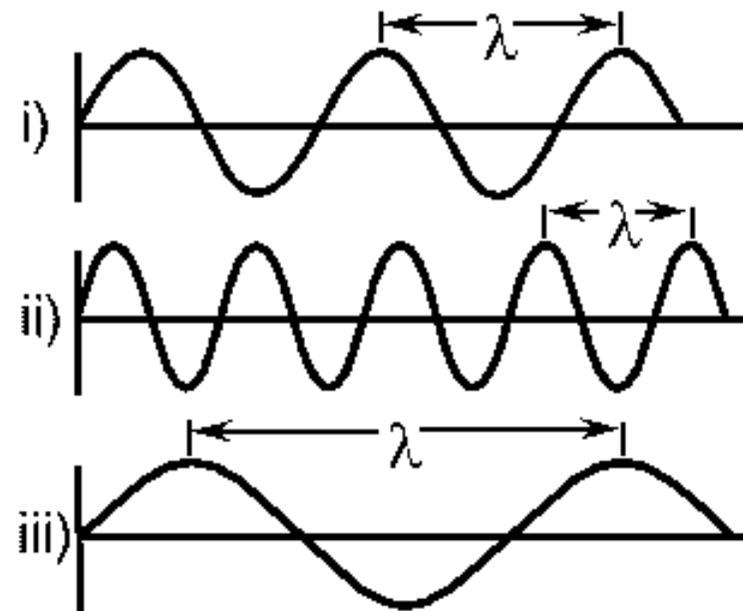
Un'onda è descritta da:

Lunghezza λ

distanza che separa
due picchi
consecutivi

Frequenza ν

numero di picchi che
passano in una dato
punto nell'unità di
tempo



La radiazione elettromagnetica



L'unità di misura della **Lunghezza d'onda** λ è il **metro** e le sue frazioni, solitamente il nanometro (nm, 10^{-9} m) e il micron (mm, 10^{-6} m).

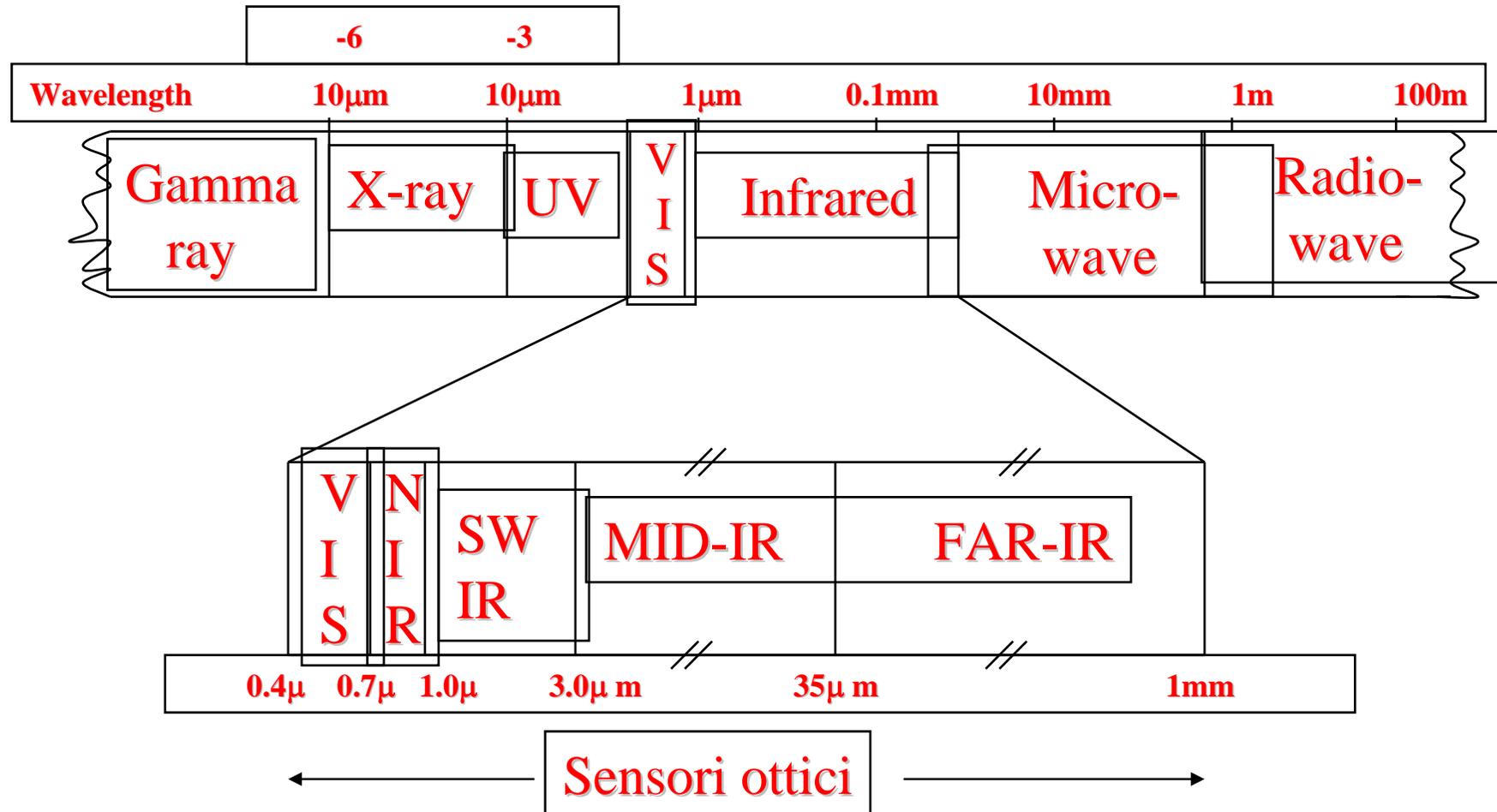
L'unità di misura della **Frequenza** ν è l'**hertz** (Hz), equivalente ad un ciclo al secondo, ed i suoi sottomultipli.

λ e ν sono legati dalla formula:

$$c = \lambda \nu$$

dove **c** = velocità della luce (3×10^8 m/s)

Lo Spettro E.M.

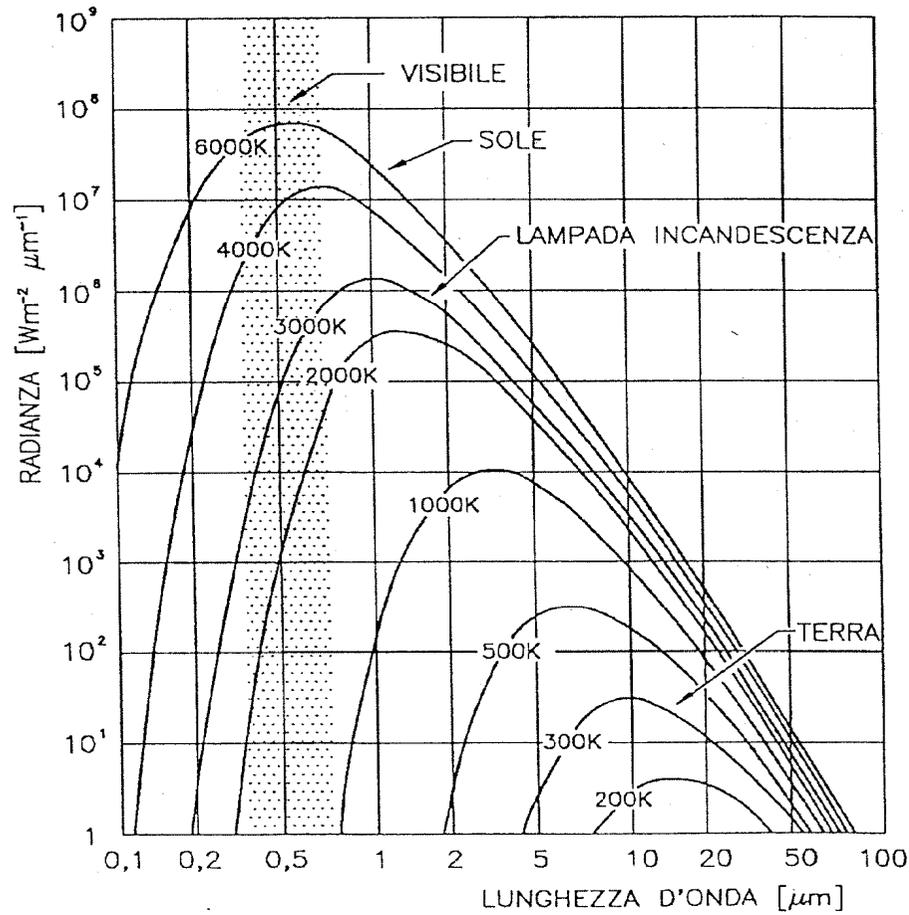


Emissività

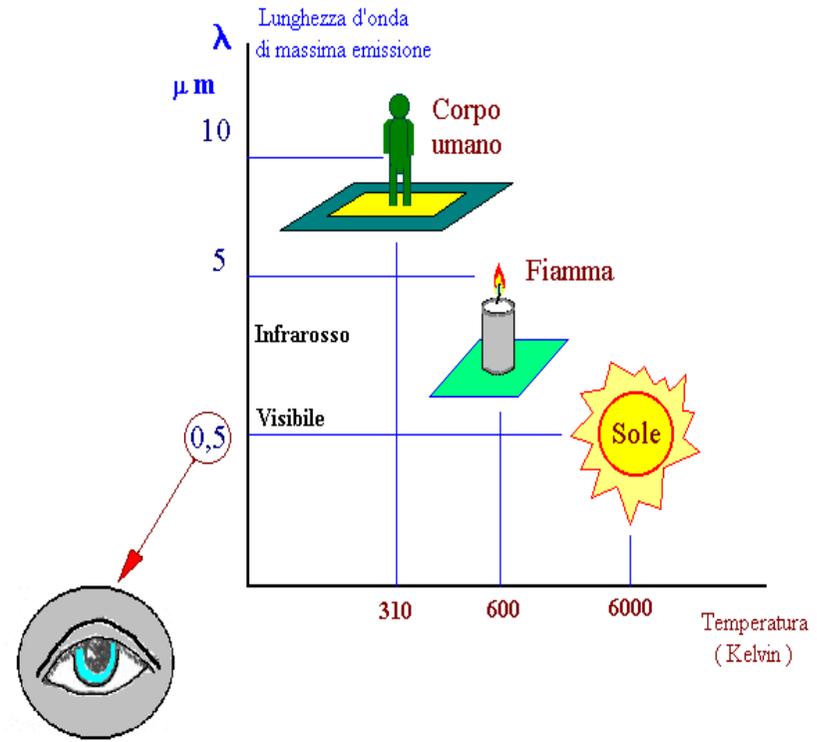


- Un corpo qualsiasi con una temperatura superiore allo zero assoluto (-273 °C) emette radiazioni elettromagnetiche.
- La legge di emissione elettromagnetica dei corpi per unità di superficie e lunghezza d'onda è stata studiata da Planck per una superficie di corpo nero.
- Integrando su tutte le lunghezze d'onda si ottiene che la radianza totale di un corpo nero dipende solo dalla sua temperatura (legge di Stefan-Boltzmann):
 - $L = \sigma T^4$
 - Con $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-12}$ è la costante universale di Stefan-Boltzmann

Emissività



Emissione dei corpi : la vera temperatura



Emissività



Dalle curve di radianza spettrale di un corpo nero si ricava che la relazione tra la temperatura del corpo e la lunghezza d'onda dell'energia emessa

legge di Wien o dello spostamento

$$\lambda_m = 2898 / T$$

dove λ_m è la lunghezza d'onda massima in μm , T la temperatura in $^{\circ}\text{K}$

Interazione radiazione - atmosfera

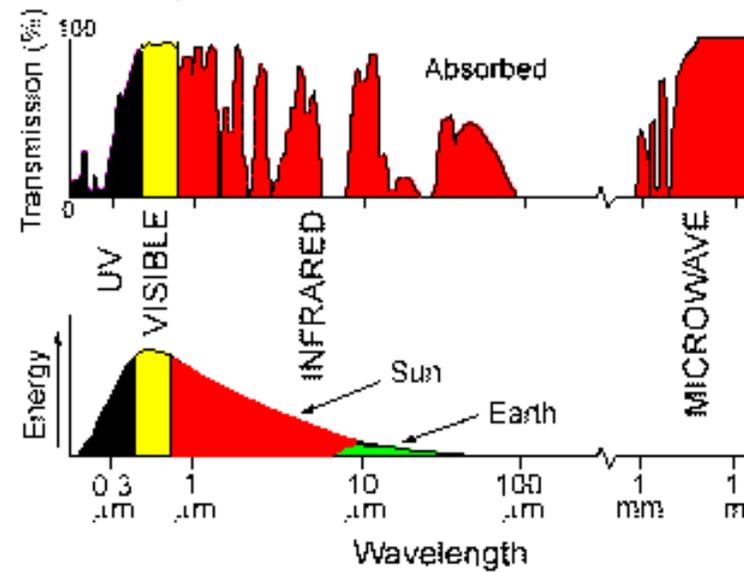


La radiazione atmosferica attraversando l'atmosfera terrestre viene

diffusa

assorbita

trasmessa

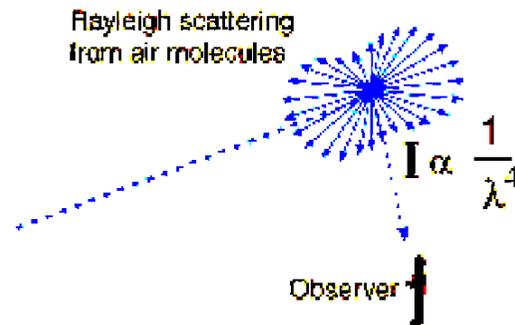


U
A
V
**Interazione
radiazione - atmosfera**



Tre sono le principali forme di diffusione:

Diffusione di **Rayleigh** - si verifica quando le particelle (o le molecole) sono molto più piccole della lunghezza d'onda della radiazione



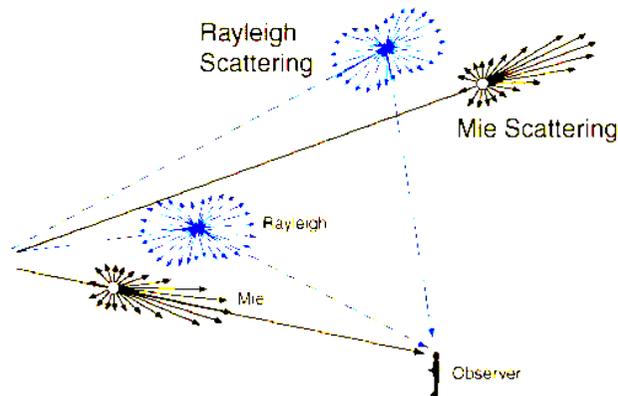
conduce ad una radiazione diffusa in tutte le direzioni e proporzionale a $1/\lambda^4$

U
A
V
**Interazione
radiazione - atmosfera**



Tre sono le principali forme di diffusione:

Diffusione di **Mie** - si ha quando la lunghezza d'onda della radiazione è comparabile con la grandezza delle particelle



l'energia è fortemente retrodiffusa in direzioni prossime a quella della radiazione incidente e decade sensibilmente nelle altre direzioni

U
A
V
**Interazione
radiazione - atmosfera**



Tre sono le principali forme di diffusione:

Diffusione **non-selettiva** - si ha quando il diametro delle particelle sospese nell'atmosfera, è molto più grande della lunghezza d'onda della radiazione.

Questo tipo di diffusione mostra una trascurabile dipendenza dalla lunghezza d'onda:

le radiazioni vengono diffuse tutte pressoché allo stesso modo, dal visibile all'infrarosso.

Finestre atmosferiche



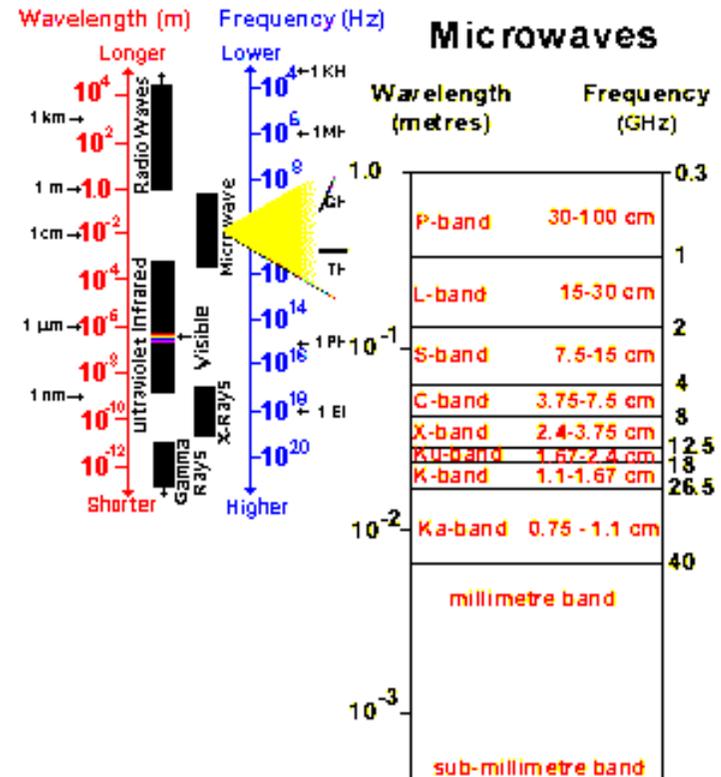
In telerilevamento vengono utilizzate soprattutto alcune porzioni dello spettro in funzione di λ e ν , dette “finestre atmosferiche”

Ultravioletto

Visibile

Infrarosso

Microonde



U
A
V
**Interazione
radiazione - materia**



3 forme di interazione dell'energia
incidente E_i con la materia:

Assorbimento E_a

Trasmissione E_t

Riflessione E_r



$$E_i = E_a + E_t + E_r$$

U
A
V

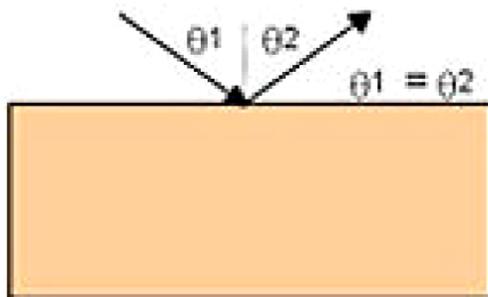
Interazione radiazione - materia



I fenomeni di riflessione intervengono quando esiste una discontinuità nel mezzo in cui si propaga la radiazione.

Se quest'ultima incide su una superficie perfettamente piana che separa i due mezzi essa viene riflessa in maniera speculare

Reflection



angolo di incidenza pari a quello di riflessione

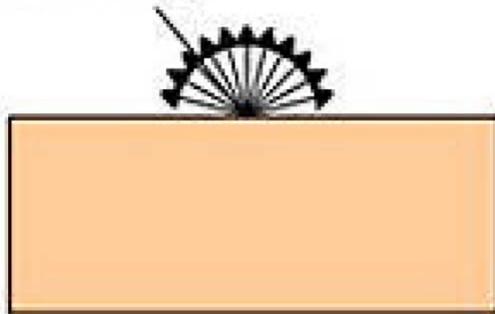
U
A
V

Interazione radiazione - materia



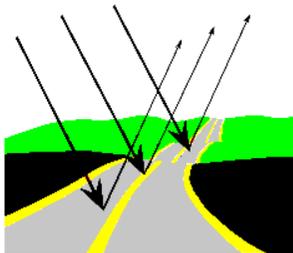
In presenza di rugosità significative la radiazione incidente viene reirradiata in diverse direzioni (diffusa) in funzione prevalentemente dell'ampiezza delle rugosità rispetto alla lunghezza d'onda

Scattering

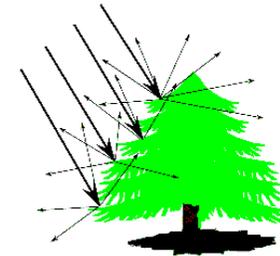


Per rugosità crescente essa viene sempre di più ridistribuita nello spazio crescendo generalmente l'energia reirradiata nella direzione opposta a quella di incidenza (retrodiffusione).

U
A
V
**Interazione
radiazione - materia**

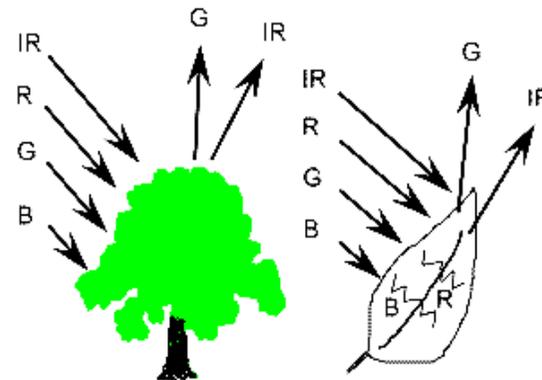
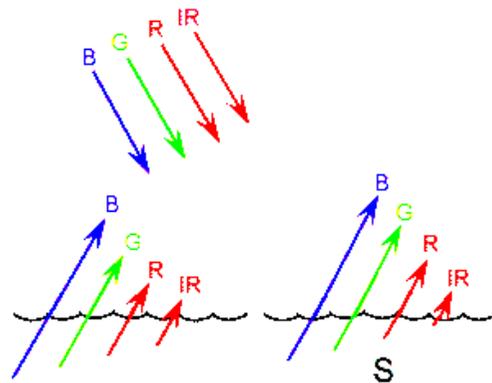


speculare



diffusa

acqua



foglie

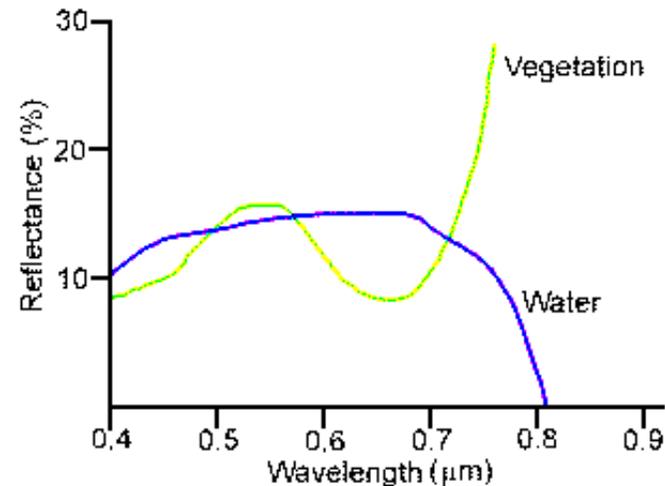
U
A
V
**Interazione
radiazione - materia**



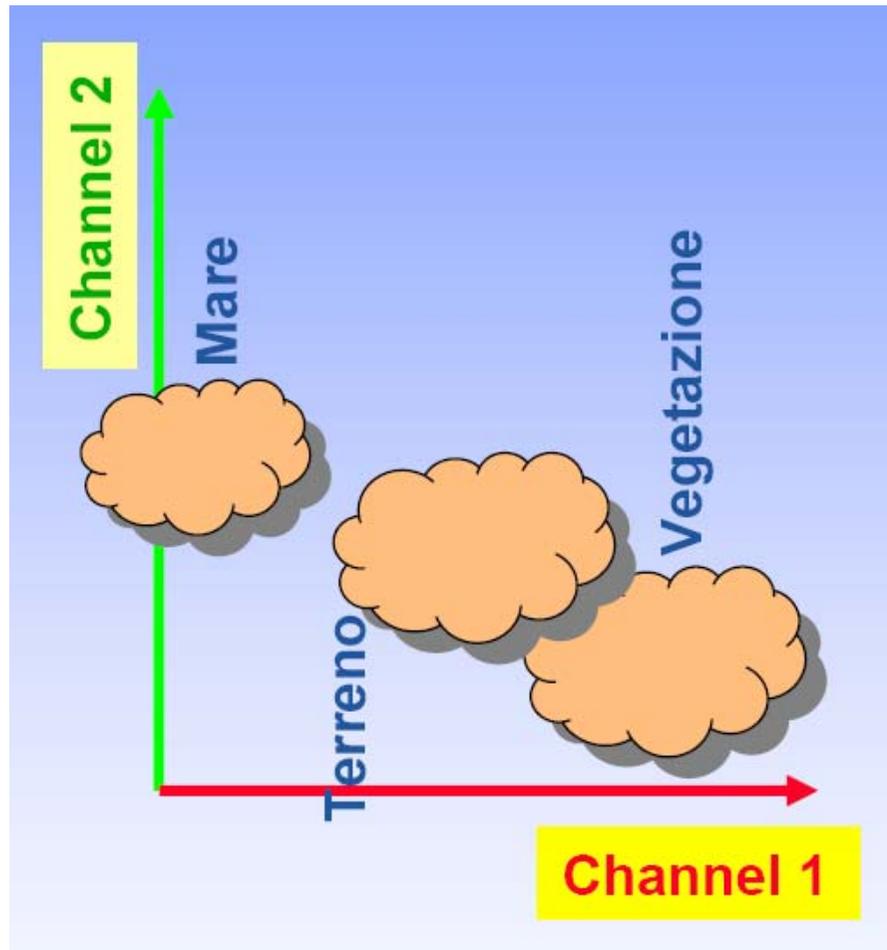
La distribuzione della energia totale incidente in E_a E_r E_t dipende:

- dalla lunghezza d'onda della radiazione incidente
- dalle caratteristiche chimiche e fisiche della superficie illuminata

firma spettrale



Firma spettrale



La Riflettanza spettrale di diverse coperture (VIS & NIR) e separazione con misure in due canali spettrali

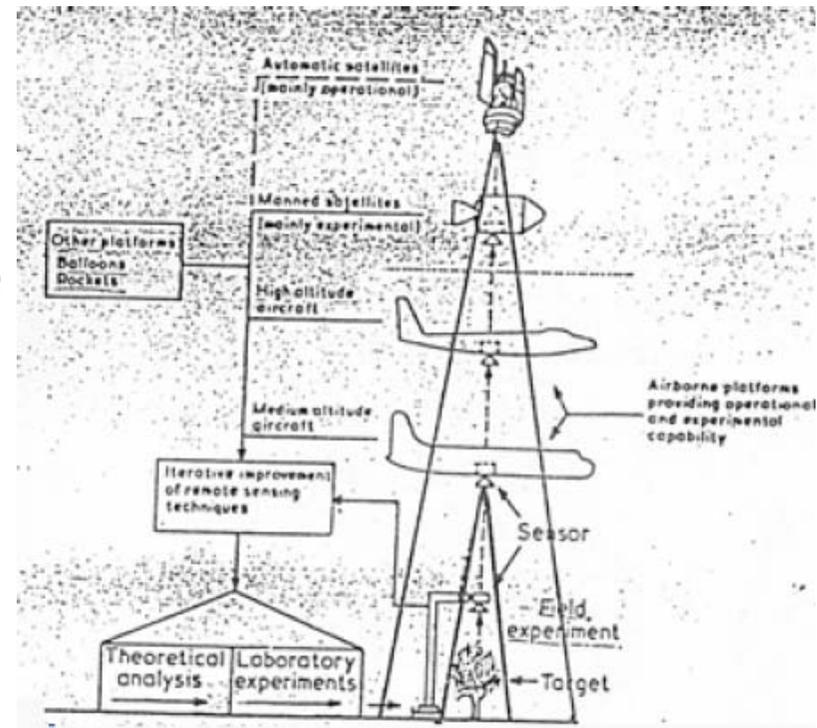
Tipologie/classificazione sensori



Piattaforme terrestri copertura limitata, elevata frequenza temporale, ricerca e sviluppo

Piattaforme aeree diverse quote di volo (aerostati; aerei leggeri: ~100 m; aerei alta quota: ~< 20000 m), copertura media, elevata flessibilità, ricerca e sviluppo (test sensori)

Piattaforme spaziali manned manned (es. Shuttle: 300 km, stazioni spaziali), unmanned (orbite LEO: ~800 km; GEO: =36000 km), vista sinottica, regolarità di ripresa



LEO Low Earth Orbit

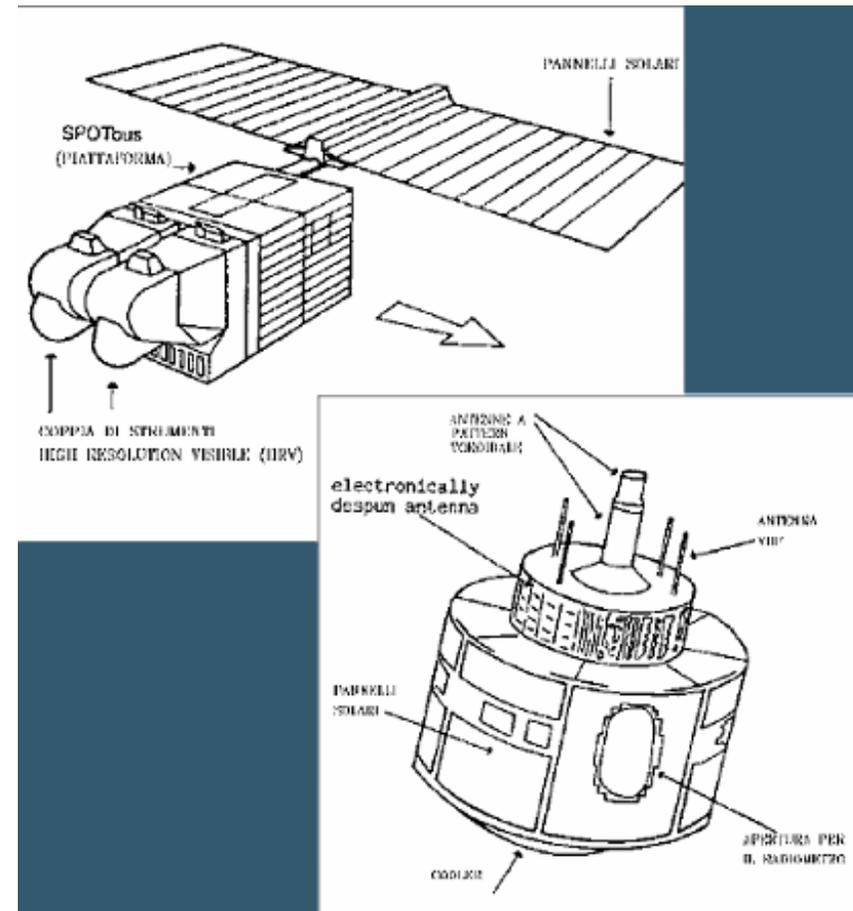
GEO Geostationary Orbit

Tipologie/classificazione sensori



Il segmento spaziale

- ✓ **Mantenimento in orbita**
- ✓ **Mantenimento in assetto: sensori e attuatori (controllo yaw, pitch, roll)**
- ✓ **Potenza elettrica (batterie, pannelli solari)**
- ✓ **Servizi TLC (comandi e controlli, trasmissione dati telerilevati)**
- ✓ **Gestione dati a bordo, registrazione dati a bordo**



Tipologie/classificazione sensori



Il segmento terrestre

Centro di Supporto Satellite: acquisisce dati telemetria e invia comandi attraverso le stazioni di Telemetria, Comando e Controllo (TT&C) per controllare e gestire tutte le operazioni del satellite.

Acquisizione e archiviazione dei dati: acquisisce, decodifica ed archivia i dati scientifici dei sensori.

Elaborazione dei dati: elabora i dati a vari livelli di elaborazione. I livelli via più elevati contengono informazioni meno legate alla tecnologia dei sensori e più significative per l'applicazione finale.

Tipologie/classificazione sensori



Il segmento terrestre

Distribuzione: rende disponibile i dati all'utente su supporti di memoria inviati per posta ordinaria o telematica.

Centro Supporto Utenti: coordina le operazioni di terra e di bordo (inclusa la pianificazione missione) in funzione delle esigenze utenti (es., gestione richieste, catalogo su web, rete di commercializzazione dei dati).

Tipologie/classificazione sensori

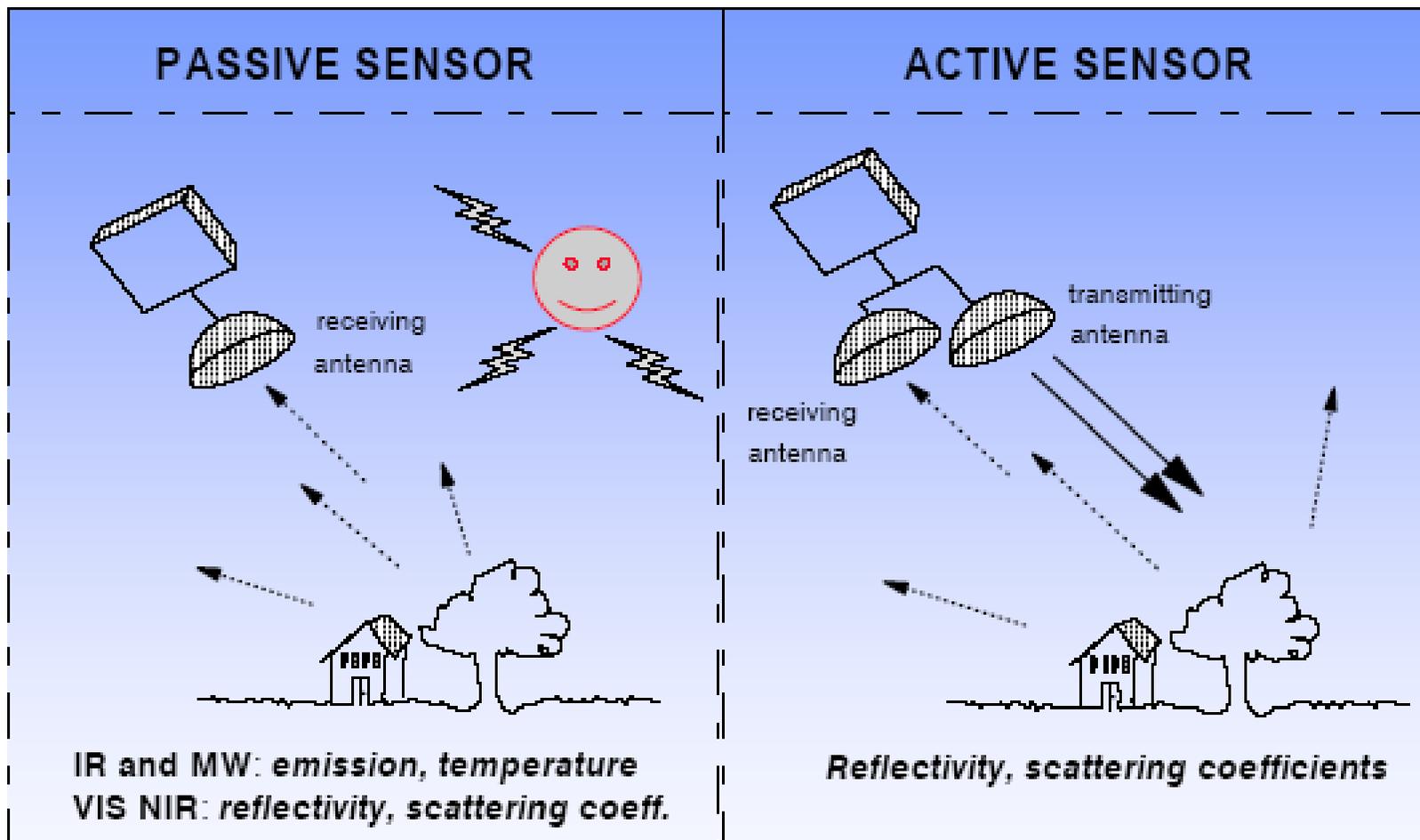


IN BASE AL PRINCIPIO DI MISURA

Sensori passivi: non hanno sorgente propria di radiazione. Misurano rad. riflessa/diffusa (VIS, NIR, MIR), emissione termica (MIR, ThIR, MW) o fluorescente (Radiometri, radiometri multispettrali, spettroradiometri)

Sensori attivi: hanno una propria sorgente (LIDAR, RADAR)

Tipologie/classificazione sensori



Tipologie/classificazione sensori



IN BASE ALLA TECNOLOGIA

Sensori **ottici** VIS, NIR (camere fotografiche, fotogrammetriche)

Sensori **elettro-ottici** VIS e IR (videocamere, radiometri)

Sensori **a microonde** (radar altimetro, scatterometro, SLAR, SAR)

IN BASE AL CAMPIONAMENTO SPETTRALE

Radiometri **pancromatici**: misurano in 1 banda spettrale

Radiometri **multispettrali**: misurano in 2-10 bande spettrali

Radiometri **iperspettrali**: misurano in 10-200 bande spettrali in genere contigue

Tipologie/classificazione sensori



IN BASE AL PRODOTTO

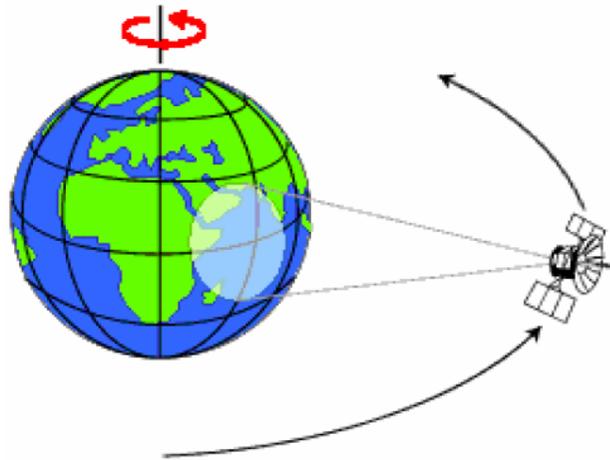
Sensori **"imaging"**: producono mappa parametri radiativi mediante tecnica scansione (Radiometro a scansione, SLAR, SAR)

Sensori **non imaging** (Altimetro, radar meteo, sounder atmosferico)

Orbita geostazionaria



Il satellite è fermo rispetto alla Terra



Periodo: (*giorno siderale*) 23 h 56 min

Altezza satellite H: ~36000 km

Angolo inclin. i : 0°

Vantaggi

- Alta frequenza ripresa (1/2 ora – 15 min)
- Stabilità orbita (scarso drag atmosferico)

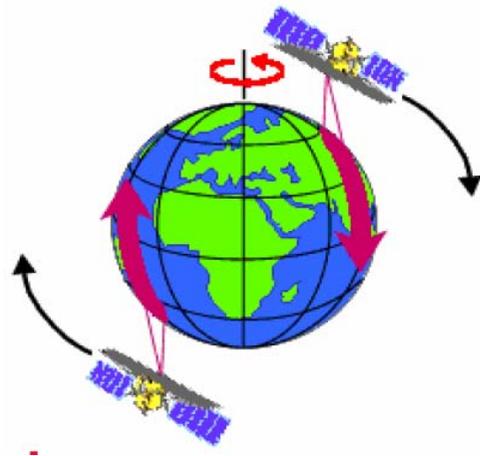
Svantaggi

- Bassa risoluzione spaziale
- Copertura parziale, necessità piú piattaforme (es. 5 piattaforme per meteorologia operativa)

Orbita quasi polare



Il satellite passa in prossimità dei poli



Altezza satellite: $\sim 600-900$ km

Periodo: $\sim 90-100$ min

Orbite/giorno: $\sim 13-15$ orbite

Angolo inclin. i : $\sim 100^\circ$

Vantaggi

- Buona/ottima risoluzione spaziale
- Possibilità copertura globale con 1 satellite

Svantaggi

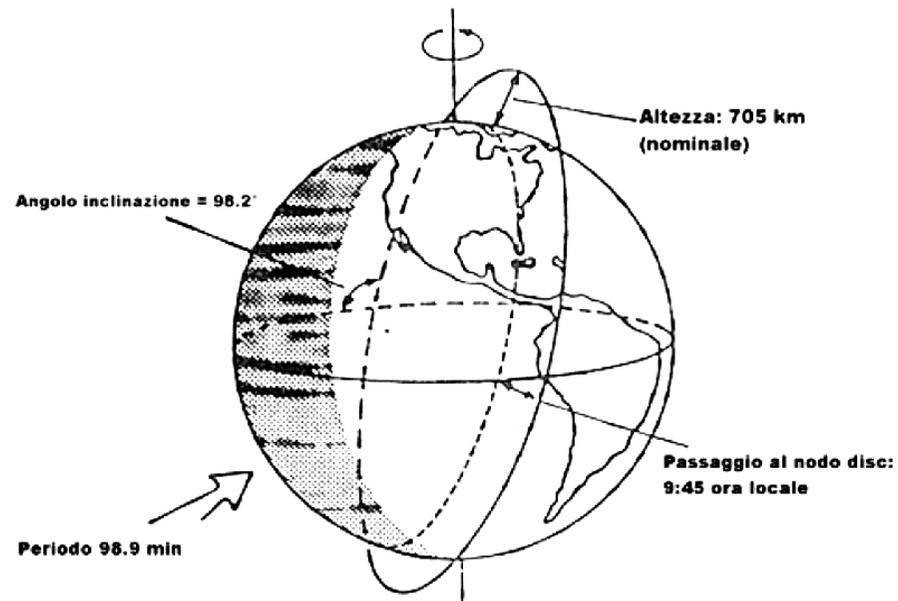
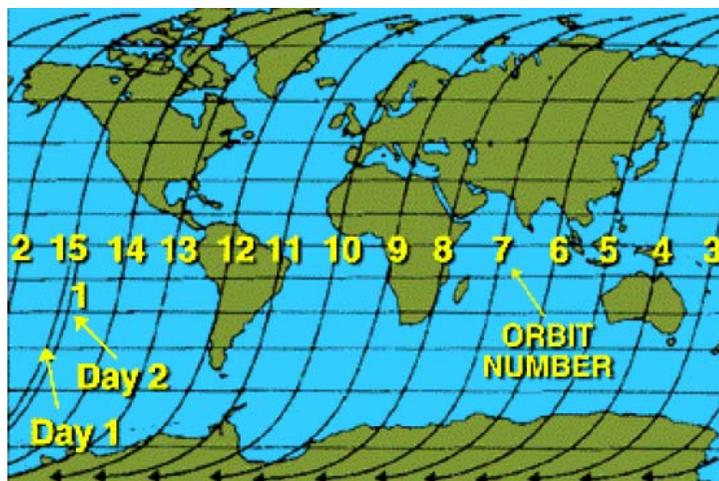
- Bassa risoluzione temporale (ripetitività traccia $\sim 1-30$ giorni)
- Maggiore instabilità, minore durata missione (drag atmo)

Orbita quasi polare



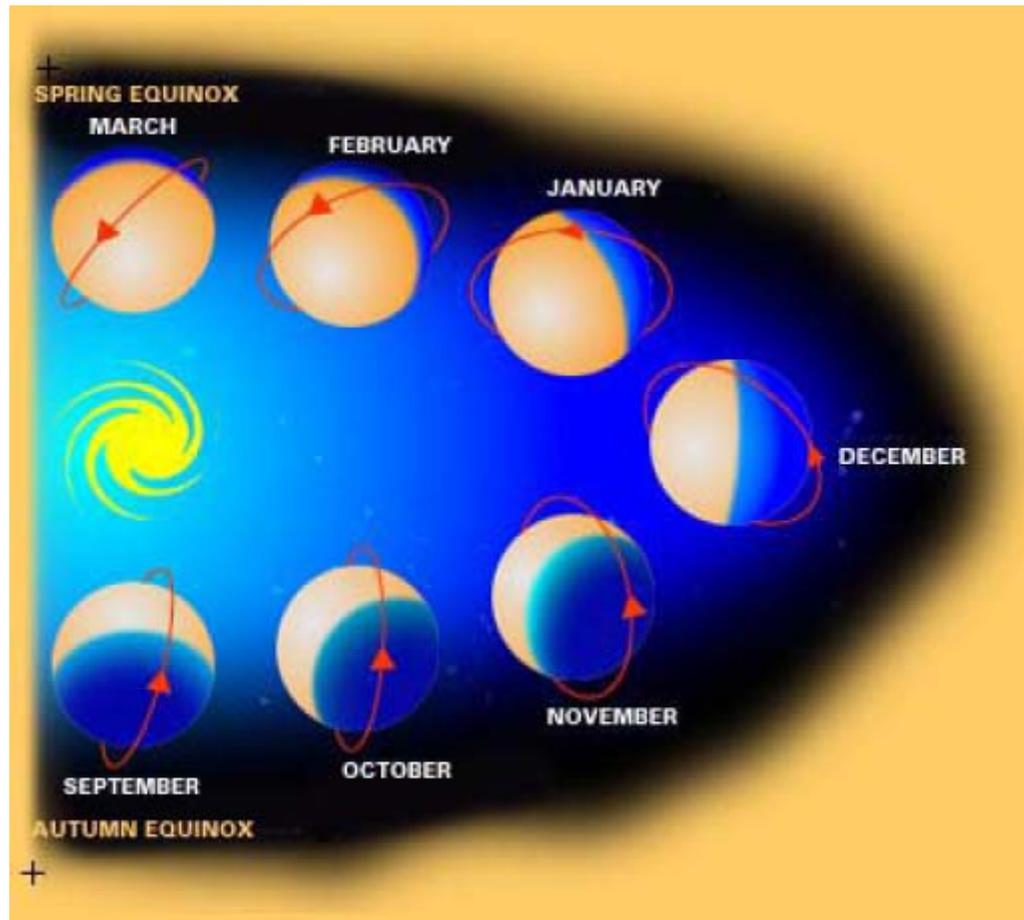
- ✓ Il satellite percorre l'orbita, la Terra ruota da Ovest verso Est.
- ✓ L'orbita successiva il satellite sorvola punti a Terra più a Ovest.
- ✓ L'orbita discendente sorvola (di solito) la regione illuminata dal Sole (diurna), quella ascendente la parte non illuminata (notte)

Tracce a terra



Es. Orbita Landsat

Orbita eliosincrona



- Il piano orbitale precede (ruota) sul piano dell'eclittica di 360° in 365 giorni
- Il satellite attraversa l'equatore alla stessa ora locale
- I punti sotto il satellite si trovano sempre nelle stesse condizioni di illuminazione solare

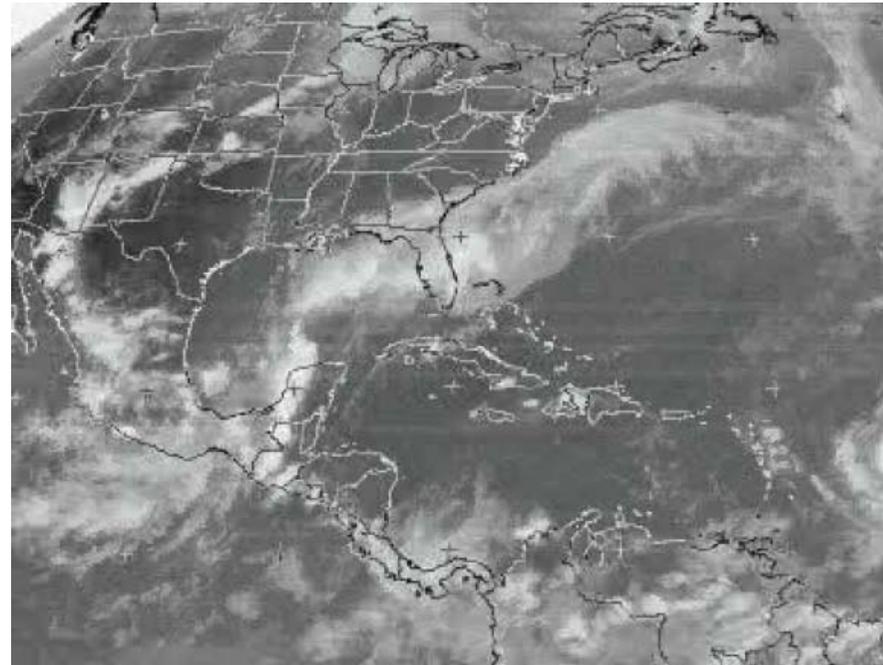
Confronto piattaforme/orbite



	Aereo	Orbita quasi polare eliosincrona	Orbita geostazionaria
Ripetitività	N/A	Medio bassa (12h – 30 gg)	Alta (15-30 min)
Copertura	Scarsa	Medio alta (anche globale)	Media (≈1/4 Terra)
Risoluzione spaziale	Alta	Medio alta (1m–1km VIS/IR)	Bassa (1-5 km VIS/IR)

Punti di vista

Stellite geostazionario



**L'orbita condiziona
le proprietà del
campionamento
spazio-temporale**

Punti di vista

Stellite eliosincrono



U
A
V

Risoluzione spettrale e geometrica



La **risoluzione spettrale** è l'ampiezza delle bande spettrali distinte dal rivelatore ossia la minima distanza tra le lunghezze d'onda medie di due bande spettrali che il sensore può separare.

La **risoluzione spaziale** o **geometrica** è definita come minima distanza relativa entro la quale due oggetti possono essere distinti nell'immagine e corrisponde alla dimensione dell'elemento di superficie minima identificabile sull'immagine (il pixel)

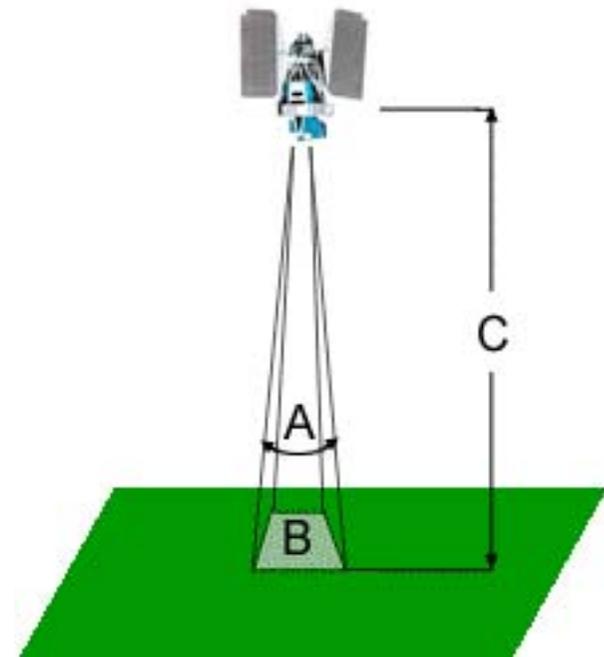
Campo di Vista



La risoluzione spaziale dipende dal **campo istantaneo di vista (IFOV)**

- ✓ definito come il cono angolare di visibilità del sensore **A**
- ✓ determina l'area **B** "vista" dal sensore da un certa altitudine in un dato momento

La dimensione dell'area inquadrata (**pixel**) è data dall'IFOV moltiplicato per l'altezza **C** dell'orbita del satellite



U
A
V

Risoluzione radiometrica e temporale



La **risoluzione radiometrica** esprime la minima differenza di intensità di energia raggiante che un sensore è capace di rivelare.

La **risoluzione temporale** indica il periodo di tempo che intercorre fra un passaggio del satellite al di sopra di una certa area ed il passaggio successivo al di sopra della stessa area.

Risoluzione spaziale



160 pixels con 10 m di risoluzione



80 pixels con 20 m di risoluzione



40 pixels con 40 m di risoluzione

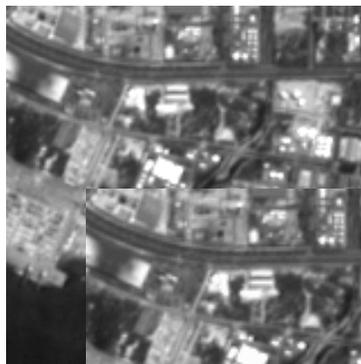


20 pixels con 80 m di risoluzione

Risoluzione radiometrica



Per le immagini digitali la **risoluzione radiometrica** è definita dal numero di livelli discreti in cui l'intensità ricevuta può essere suddivisa, che dipende dal numero di bit usati per registrare i dati



8 bit 2^8
256 livelli



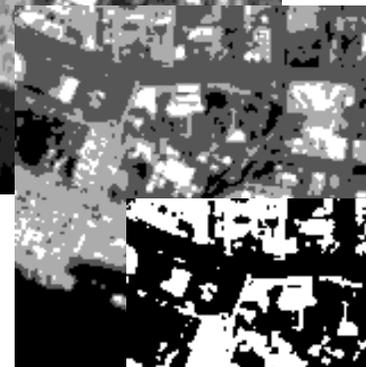
6 bit 2^6
64 livelli



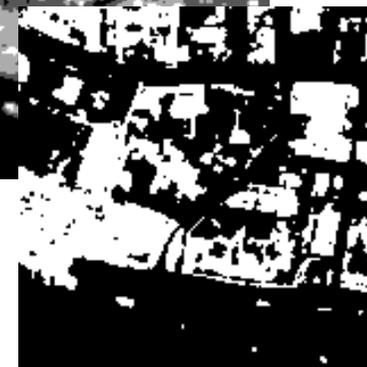
4 bit 2^4
16 livelli



3 bit 2^3
8 livelli



2 bit 2^2
4 livelli

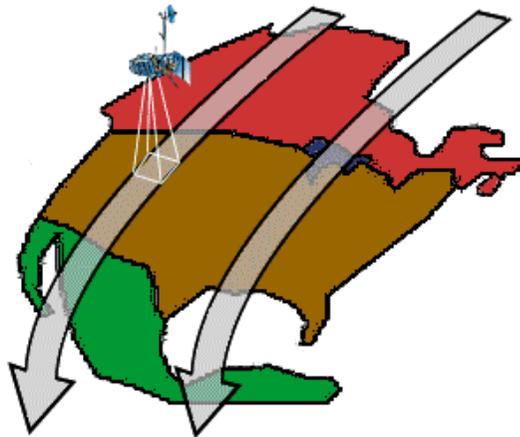


1 bit 2^1
2 livelli

Risoluzione temporale

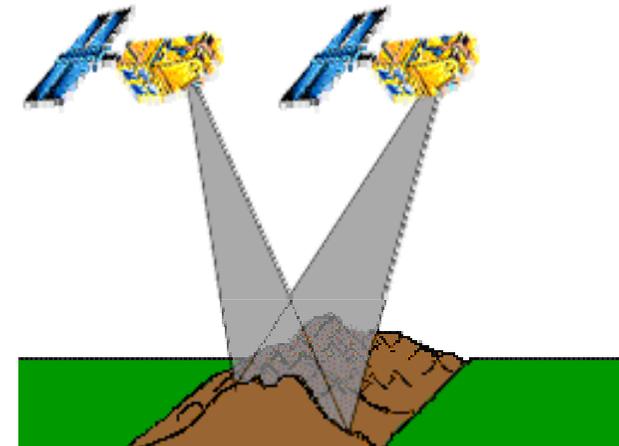


La **risoluzione temporale** dipende dalle caratteristiche del sensore, i parametri orbitali dei satelliti e la latitudine della scena osservata



Il satellite **Landsat** ha un risoluzione temporale di 16 giorni con riprese nadirali

Il satellite **SPOT** ha la possibilità di inclinare il sensore off-nadir per riprendere a distanza di un giorno la stessa area, seppur con angolazione differente



Tecniche di ripresa

Sensori elettro-ottici



I sensori misurano la radiazione proveniente dall'oggetto investigato in due modi:

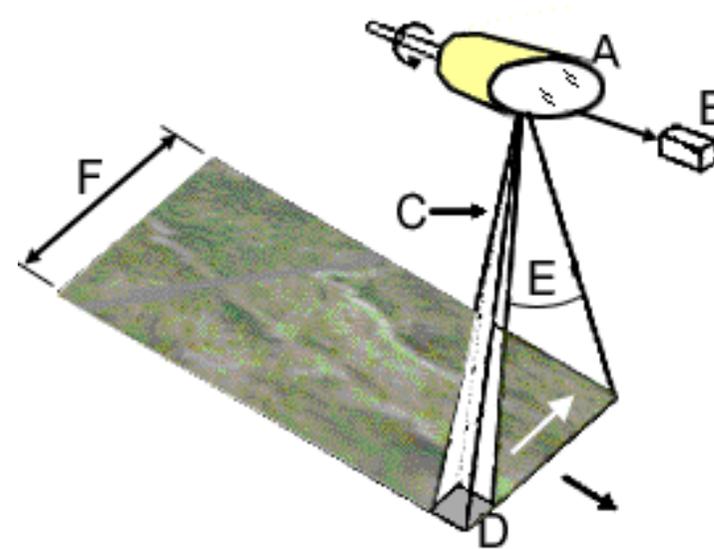
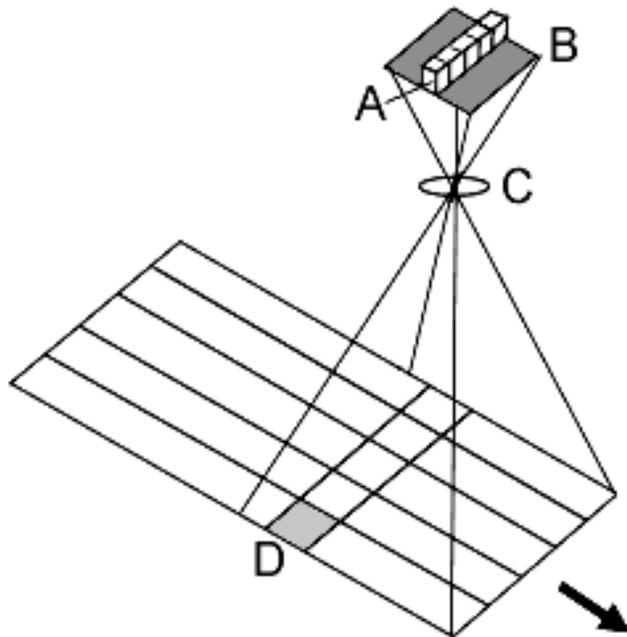
1. analizzando la scena intera contemporaneamente (occhio umano, fotocamera, ...)
2. a scansione, analizzando punto per punto (equivalente ad una piccola subarea della scena) lungo linee di scansione successive (la maggior parte dei sensori montati a bordo dei satelliti)

Tecniche di scansione

Sensori elettro-ottici



Across-track scanner



Along-track scanner

Tecniche di ripresa

Tecniche di telerilevamento alle microonde



Nella regione delle microonde la radiazione terrestre, sia pur debole, è tuttavia rilevabile mediante strumenti opportuni (**radiometri a microonde, radar**)

In entrambi i casi (radiometro e radar) è un'antenna che raccoglie la radiazione emessa o riflessa dalla superficie e la convoglia verso il ricevitore dello strumento che rivela il segnale e lo elabora ai fini dell'interpretazione

Tecniche di ripresa

Tecniche di telerilevamento alle microonde



L'antenna seleziona la regione della terra da cui viene raccolta l'informazione in base alle sue caratteristiche di "direttività".

L'angolo entro cui l'antenna raccoglie la o invia la maggior parte della radiazione, è legato ad una dimensione lineare dell'antenna (D) e alla lunghezza d'onda (λ) della radiazione secondo la formula:

$$\text{IFOV} = k \lambda / D$$

k è un parametro dipendente dalle caratteristiche costruttive dell'antenna

Tecniche di ripresa

Tecniche di telerilevamento alle microonde



La risoluzione geometrica (IFOV) ottenibile con un'antenna posta ad una quota H che osserva la superficie della Terra con incidenza normale, vale:

$$\text{IFOV} \sim H\lambda/D$$

la risoluzione ottenibile peggiora all'aumentare della quota e al diminuire della frequenza e delle dimensioni dell'antenna.

Tecniche di ripresa

Tecniche di telerilevamento alle microonde

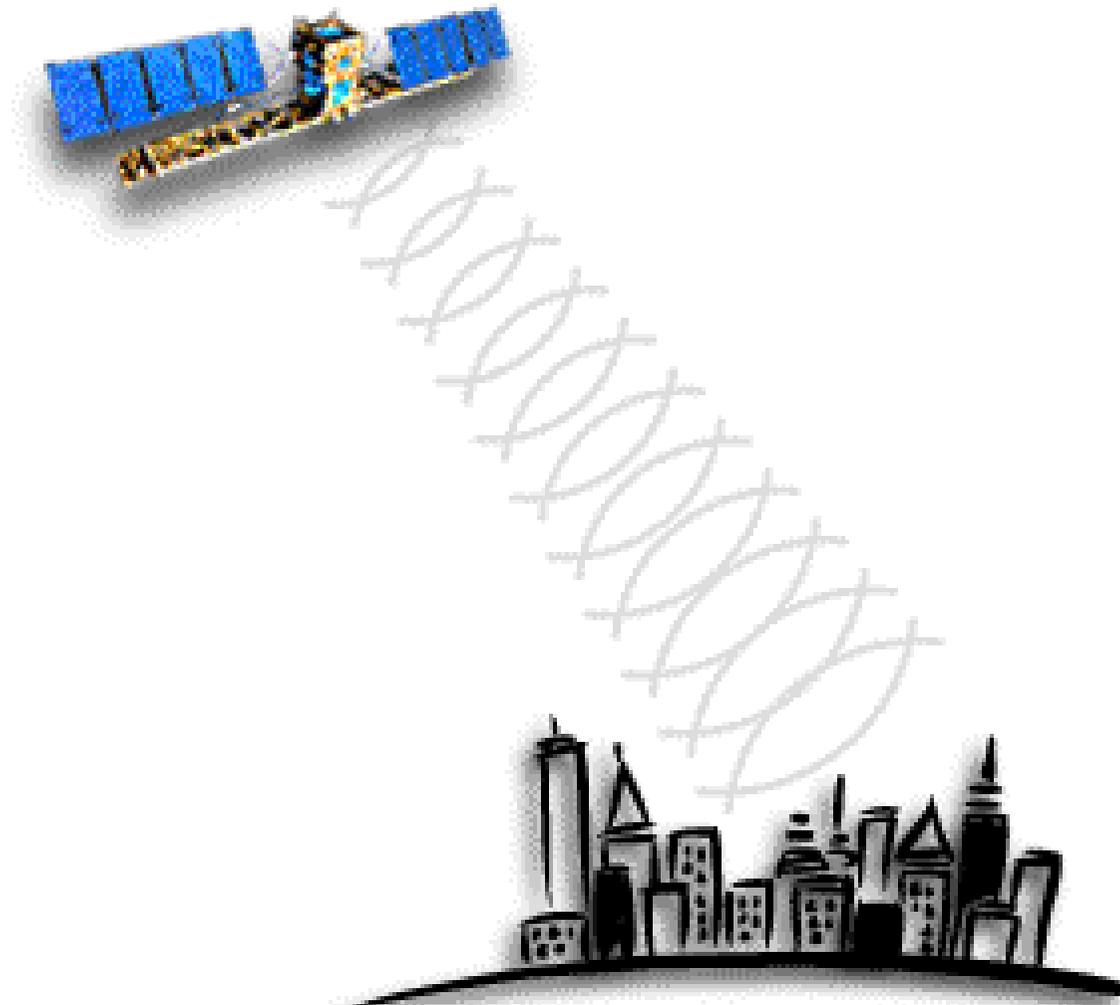


La scarsa risoluzione spaziale, unitamente alla bassa risoluzione radiometrica, sono i maggiori svantaggi dei sistemi passivi a microonde.

Nei sistemi radar è invece possibile selezionare la zona di superficie da cui si ottiene l'informazione elementare agendo sulla radiazione trasmessa mediante una opportuna modulazione ed elaborando opportunamente il segnale ricevuto.

Sensori radar

Tecniche di telerilevamento alle microonde



Vantaggi



- ✓ **Indipendenza dalle condizioni di illuminazione** (giorno o notte) e **atmosferiche** (copertura nuvolosa anche del 100% e pioggia)
- ✓ Possibilità di **controllo del fascio di radiazione emessa** dal radar in potenza, frequenza, polarizzazione e direzione
- ✓ Capacità di ottenere **informazioni su fenomeni sotto la superficie** e accesso a parametri che descrivono proprietà delle superfici diverse da quelli delle bande ottiche

Radar

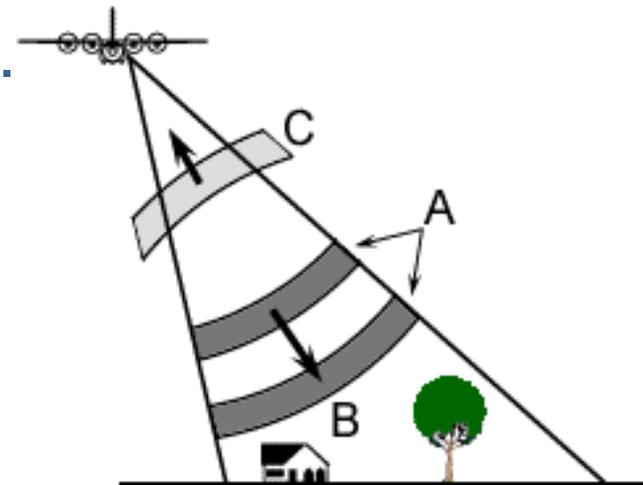


Il **trasmettitore** del radar genera microonde ad impulsi **A** ad intervalli regolari che sono focalizzati da un **antenna** in un fascio di onde **B**.

Il cono del radar “illumina” la superficie investigata con un’angolazione variabile.

L’**antenna** riceve una parte **C** dell’energia trasmessa “retrodiffusa” dai vari oggetti presenti sulla superficie.

Misurando l’intervallo di tempo intercorso fra l’emissione e la ricezione del segnale di ritorno (eco radar) è possibile calcolare la distanza di ogni oggetto dal radar e quindi la posizione.



Equazione radar



La potenza media retrodiffusa da un punto sulla superficie-bersaglio è data dall'equazione

$$P_r = P_t \sigma_0 \left[\frac{G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \right]$$

dove

P_r potenza media ricevuta dall'antenna

P_t potenza inviata dall'antenna

σ_0 coefficiente di retrodiffusione o backscattering coefficient

G guadagno d'antenna

R distanza obliqua tra antenna e superficie-bersaglio

Coefficiente di retrodiffusione



Il coefficiente di retrodiffusione contiene la risposta del bersaglio al segnale ricevuto e dipende da

1. Parametri del sistema radar (frequenza, polarizzazione, angolo di incidenza)
2. Parametri del bersaglio quali la rugosità, il contenuto d'acqua, la costante dielettrica e la geometria della scena

Sensori radar



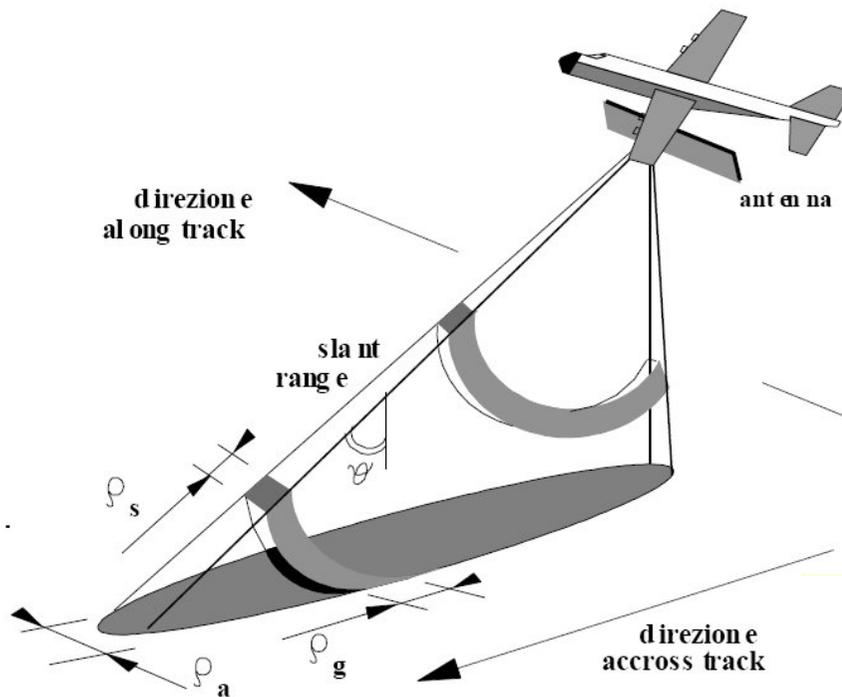
I sensori radar maggiormente utilizzati nel telerilevamento sono:

- Scatterometro
- Radar altimetro
- SLAR (Side Looking Airborne Radar)
- SAR (Synthetic Aperture Radar)

Il radar ad immagine



Il sistema radar osserva la superficie terrestre lateralmente rispetto alla linea di volo dell'aereo



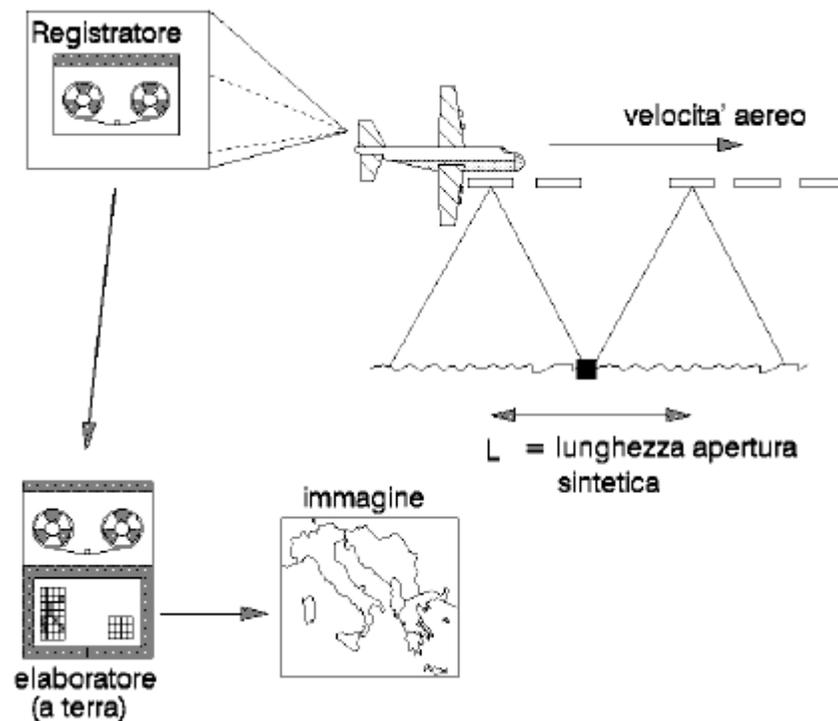
Nella direzione di volo (**azimut**) la risoluzione geometrica è ottenuta utilizzando una antenna sufficientemente lunga

Nella direzione ortogonale alla linea di volo (**range**) la discriminazione tra i vari punti si ottiene trasmettendo un impulso di durata molto breve

Il radar ad immagine

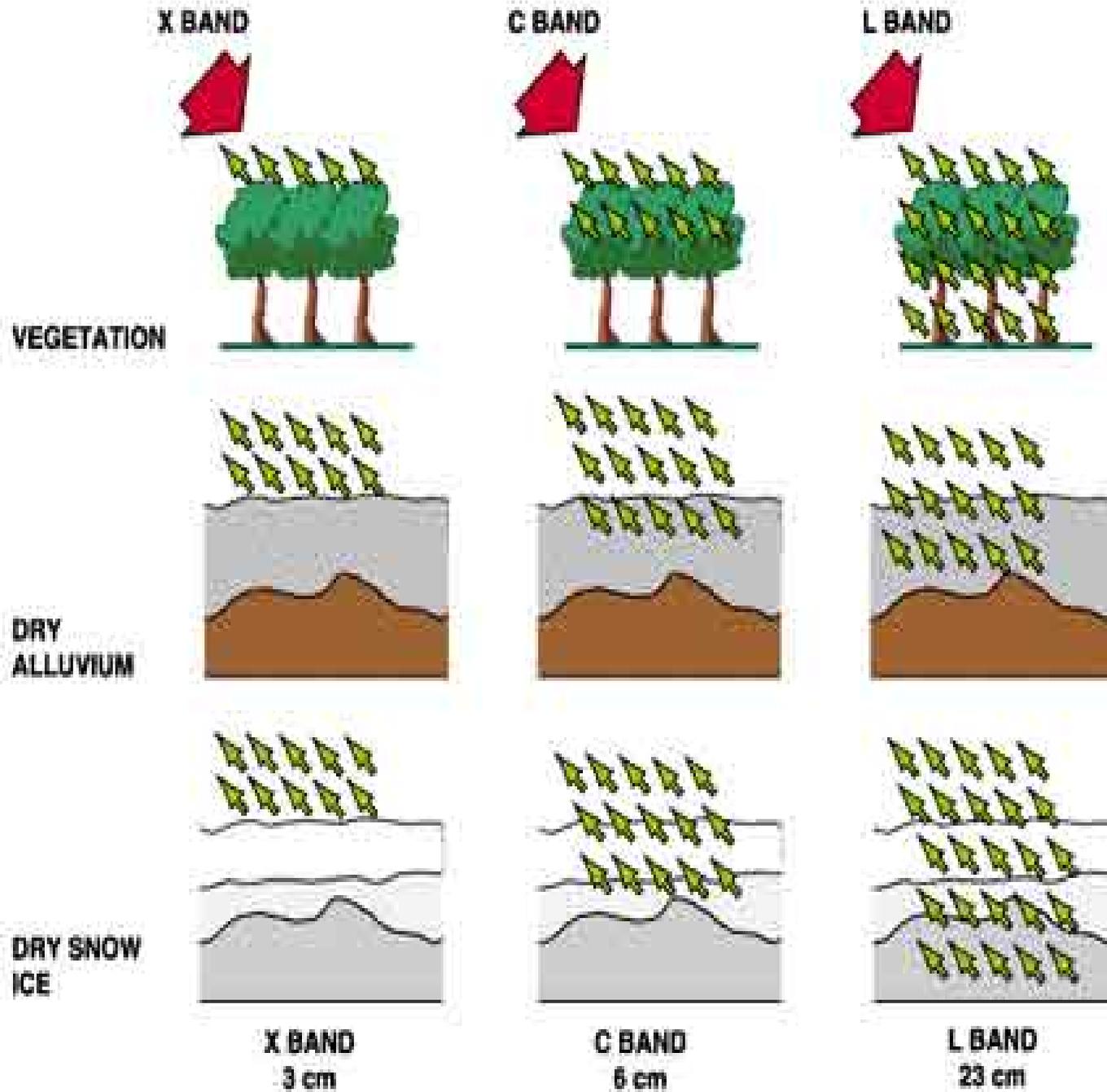


L'antenna radar si muove con una certa velocità.
Ogni volta che essa emette un impulso e ne riceve
l'eco si trova in posizioni diverse



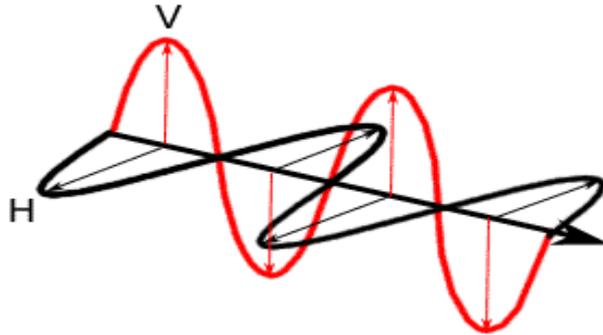
Si può pensare che questi echi, relativi a diversi istanti, derivino da porzioni diverse di una medesima antenna di dimensioni globali superiori a quelle dell'antenna reale.

Elaborando opportunamente tali echi è possibile ricostruire quello che sarebbe stato il segnale di ritorno della lunga antenna



- ▶
- ▶
- ▶
- ▶

Polarizzazione



La polarizzazione indica l'orientazione del campo elettrico associato alla radiazione e.m.

HH – onde trasmesse con orientazione orizzontale e ricevute con orientazione

VV – onde trasmesse verticali e ricevute verticali

HV – onde trasmesse orizzontali e ricevute verticali

VH – onde trasmesse verticali e ricevute orizzontali

I

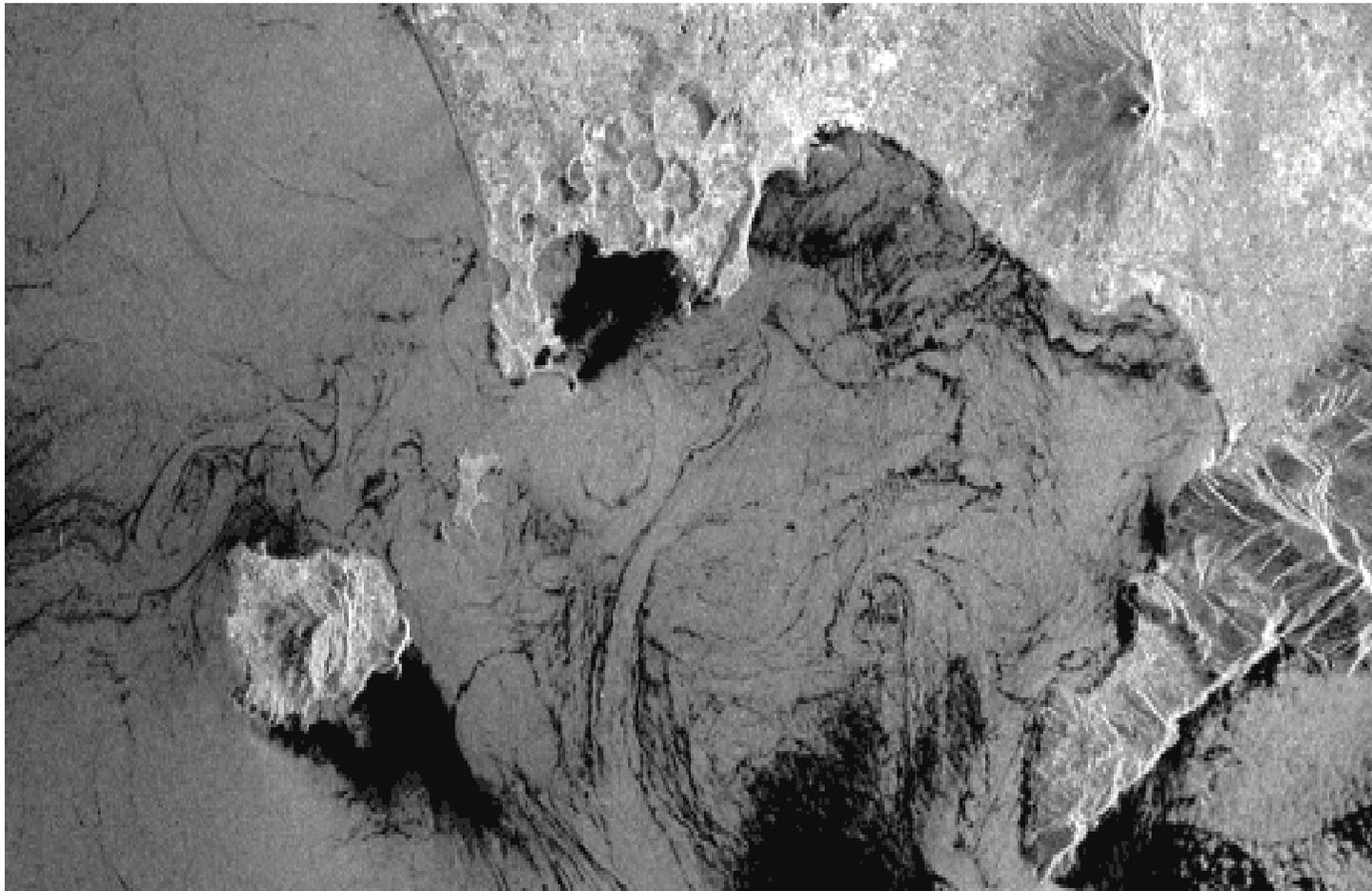
U

A

V

Corso di Laurea Magistrale in SIT&TLR a.a. 2009/10 - Ing. Claudio La Mantia

Esempio di immagine Radar



U
A
V

Esempio di applicazione da Radar

