

Telerilevamento

- Il *telerilevamento* è la tecnica/arte che fornisce informazioni su un oggetto senza entrare in contatto fisico con esso
- L'oggetto può essere l'ambiente terrestre (telerilevamento ambientale)
- I sensori di telerilevamento misurano le variazioni indotte dall'oggetto su un campo di forze, solitamente il campo elettromagnetico
- L'informazione è "trasportata" dalla radiazione elettromagnetica (e.m.) che, dopo aver interagito con l'oggetto (emissione, diffusione, assorbimento, ecc.) si propaga verso il sensore
- I *sensori* di telerilevamento sono ospitati da *piattaforme* aerospaziale o terrestri



Sorgenti, Sensori, Piattaforme

Sorgenti principali della radiazione

- Sole
- Oggetto osservato (radiazione emessa termicamente dall'oggetto)
- Sensore (tecniche attive)

Sensori

- **Attivi:** ricevitori+trasmettitori, dotati di sorgente propria (misurano le proprietà di trasmissione, riflessione e diffusione da parte dell'oggetto)
- **Passivi o radiometri:** ricevitori, privi di sorgente propria (misurano le proprietà di emissione dell'oggetto ovvero quelle di trasmissione, riflessione e diffusione nel caso di presenza di altra sorgente come il Sole)

Piattaforme

- **Terrestre:** copertura limitata, elevata frequenza temporale, ricerca e sviluppo
- **Aerea:** copertura media, elevata flessibilità, ricerca e sviluppo
- **Spaziale:** vista sinottica di aree molto vaste, regolarità di ripresa

Applicazioni Telerilevamento

Atmosfera: composizione, profili meteo, precipitazioni, vento, input modelli forecasting/nowcasting.

- **Oceano:** attività in mare, aree costiere: circolazione, onde, livello del mare, temperatura, biologia marina, inquinamento.
- **Glaciologia:** tipologia e movimenti dei ghiacci marini e terrestri
- **Geologia:** geomorfologia, geodesia: faglie e anomalie, movimenti tettonici, instabilità pendii, identificazione tipi di roccia
- **Climatologia:** comprensione processi climatici, desertificazione
- **Topografia e cartografia:** DEM, carte di base e tematiche
- **Agricoltura, foreste, botanica:** mappatura, stato fenologico e di salute, umidità, stima di produzione, indicazioni colturali.
- **Idrologia e idrogeologia:** risorse idriche, precipitazioni, input modelli di run-off, evapotraspirazione, erodibilità dei suoli
- **Previsione e controllo eventi catastrofici, valutazione di rischi:** incendi, alluvioni, instabilità, controllo zone inaccessibili
- **Gestione del territorio:** inventari risorse. supporto alla pianificazione, valutazione impatto ambientale

Ruolo Ingegneria elettronica nel Telerilevamento

L'ingegnere elettronico ha un ruolo fondamentale, accanto a quello degli ingegneri dell'ambiente e dei geofisici (fisici dell'atmosfera, oceanografi, fisici della Terra solida). Opera:

- nelle Aziende elettroniche manifatturiere che realizzano sistemi e apparati (piattaforme, sensori ottici o a microonde, etc.).
- nelle Aziende dell'*Information Technology* che realizzano sistemi di terra e di gestione/elaborazione dei dati
- nelle Aziende di servizio che forniscono dati ed informazioni *a valore aggiunto* agli utenti finali. Il lavoro si svolge in un contesto interdisciplinare (in contatto con gli utenti utilizzatori e gli specialisti di problematiche ambientali e territoriali).
- Negli Enti che progettano i sistemi e ne gestiscono lo sviluppo ad alto livello (es. Agenzia Spaziale)
- Negli Enti di ricerca

Classificazione sensori

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*)

TECNOLOGIA

- Sensori **ottici** VIS, NIR (camere fotografiche, fotogrammetriche)
- Sensori **elettro-ottici** VIS e IR (videocamere, radiometri)
- Sensori **a microonde** (radar altimetro, scatterometro, SLAR, SAR)

CAMPIONAMENTO SPETTRALE

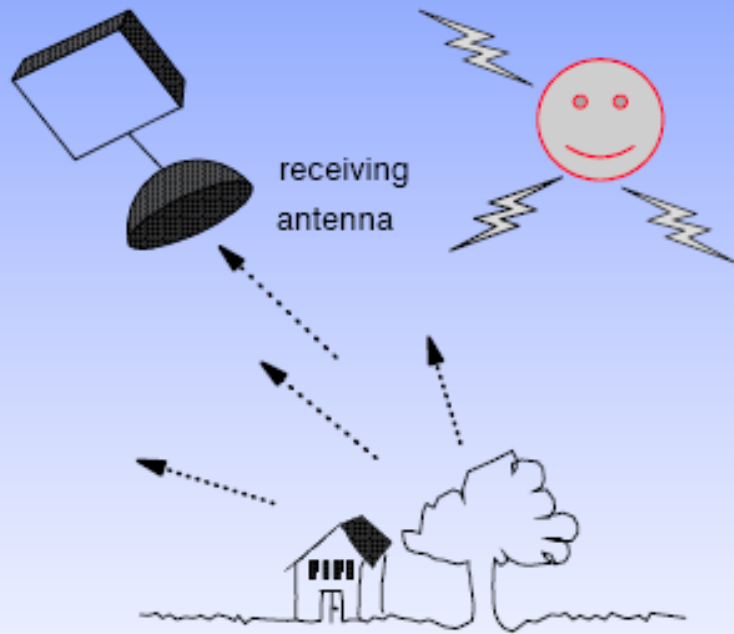
- Radiometri **multispettrali**: misurano in 2-10 bande spettrali
- Radiometri **iperspettrali**: misurano in 10-200 bande spettrali in genere contigue

PRODOTTO

- Sensori “*imaging*” : producono mappa parametri radiativo mediante tecnica *scansione* (Radiometro a scansione, SLAR, SAR)
- Sensori **non imaging** (Altimetro, radar meteo, *sounder* atmosferico)
- **Profiler**: misurano profilo verticale di una grandezza fisica

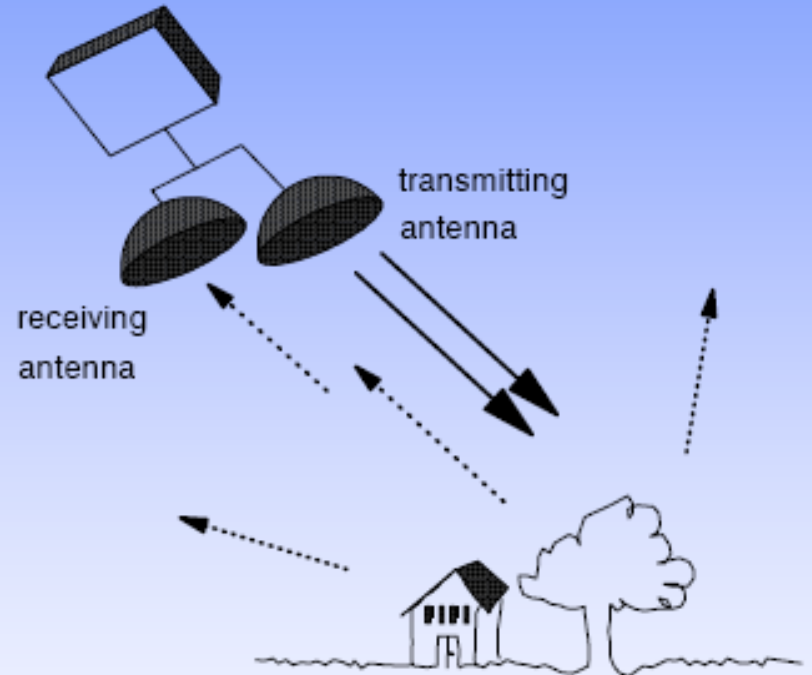
Sensori passivi e attivi

PASSIVE SENSOR



IR and MW: *emission, temperature*
VIS NIR: *reflectivity, scattering coeff.*

ACTIVE SENSOR



Reflectivity, scattering coefficients

Radiometro (I)

È un sensore passivo che rileva la radiazione: si fa quindi riferimento alla ricezione
La potenza per unità di larghezza di banda è spesso chiamata *potenza spettrale* e la sua variazione con la frequenza costituisce lo *spettro di potenza*.

L'unità di misura è il Watt per Hertz⁻¹:

$$dP_f = \frac{dP}{df} = L_f dA \cos \vartheta d\Omega$$

Si può definire il flusso spettrale di potenza:

$$F_f = \frac{dP_f}{d\Omega} = L_f \quad \left(= S_f ; \text{quindi } \Delta S = F_f \Delta f \Rightarrow S = \int F_f df \right)$$

La densità frequenziale di potenza si può calcolare anche come prodotto tra area efficace e flusso spettrale di potenza:

$$\Delta P_f = F_f \bullet A_e \quad \text{Perfetto matching di polarizzazione}$$

$$\Delta P_f = F_f \bullet \frac{A_e}{2} \quad \text{Polarizzazione random}$$

Radiometro (III)

Se la densità frequenziale di potenza assorbita dall'antenna (il segnale ha le proprietà di rumore termico in un resistore) vale:

$$P_{Nf} = K T_A \quad T_A \text{ temperatura d'antenna}$$

$$(P_N = W T_A \Delta f)$$

Ipotesi: regione emittente è grande e T_b costante da includere tutto il lobo principale dell'antenna

$$T_A \approx T_b$$

Si può dimostrare che:

$$T_A = \frac{\int T_b(\vartheta, \varphi) P_n(\vartheta, \varphi) d\Omega}{\int_{4\pi} P_n(\vartheta, \varphi) d\Omega} = \frac{\int T_b P_n d\Omega}{\Omega_A}$$

Radiometro (IV)

se vale Rayleigh-Jeans si ha:

$$L_f \cong \frac{2 k T_b}{\lambda^2}, F_f = \frac{2 k T_b}{\lambda^2} \Delta\Omega$$

quindi nella direzione di massimo:

$$\Delta P_f = \frac{2 k T_b}{\lambda^2} \Delta\Omega \frac{A_e}{2} = \frac{k A_e}{\lambda^2} \Delta\Omega$$

l di fuori della direzione di massimo:

$$A'_e(\vartheta, \varphi) = A_e \cdot i_r(\vartheta, \varphi)$$

$$\Delta P_f = \frac{W A_e}{\lambda^2} T_b i_r(\vartheta, \varphi) \Delta\Omega$$

la densità di potenza totale vale:

$$P_f = \frac{W A_e}{\lambda^2} \int_{4\pi} T_b(\vartheta, \varphi) i_r(\vartheta, \varphi) d\Omega$$

Ma poiché vale: $P_F = P_{Nf} = K T_A$

$$\frac{K A_e}{\lambda^2} \int_{4\pi} T_b(\vartheta, \varphi) i_r(\vartheta, \varphi) d\Omega = K T_A \quad \Rightarrow \quad T_a = \frac{A_e}{\lambda^2} \int_{4\pi} T_b(\vartheta, \varphi) i_r(\vartheta, \varphi) d\Omega.$$

Radiometro (V)

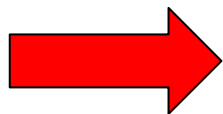
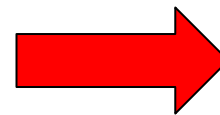
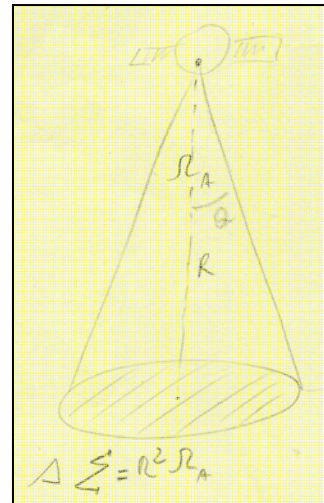
$$T_a = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} T_b(\vartheta, \varphi) \hat{i}_r(\vartheta, \varphi) \sin(\vartheta) d\vartheta d\varphi}{\Omega_A}$$

Ω_a è l'ampiezza del lobo principale dell'antenna

Footprint o Instantaneous Field of View (IFOV) $\Delta \Sigma = R^2 \Omega_A$

Se T_b è costante per le direzioni per cui i_r è diverso da zero

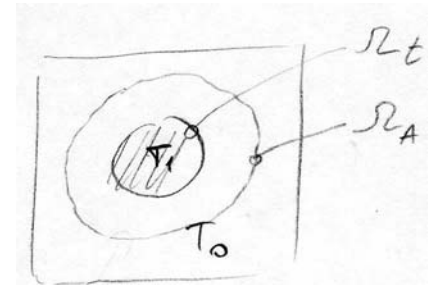
$$T_a = \frac{\int T_b(\vartheta, \varphi) \hat{i}_r(\vartheta, \varphi) d\Omega}{\Omega_a} = \frac{T_b \int \hat{i}_r(\vartheta, \varphi) d\Omega}{\Omega_a} = \frac{T_b \Omega_a}{\Omega_a} = T_b$$



La temperatura d'antenna che si ricava dalla potenza ricevuta consente una stima fedele della temperatura di brillantezza dell'oggetto

Radiometro (VI)

1. regione da osservare rappresentata dalla figura
2. antenna con diagramma a step: 1 all'interno di un certo valore massimo di θ e 0 altrove



L'antenna risponde uniformemente in un cono di angolo solido Ω_A e non risponde altrove

Ω_A troppo grande come in figura

$$T_A = \begin{cases} \left(1 - \frac{\Omega_t}{\Omega_A}\right) T_0 + \frac{\Omega_t}{\Omega_A} T_1 & \text{per } \Omega_A > \Omega_t \\ T_1 & \text{per } \Omega_A \leq \Omega_t \end{cases}$$

Sensibilità del sistema

L'espressione della potenza rivelata in termini di temperatura è utile perché anche il rumore degli apparati di ricezione è spesso espresso tramite la temperatura di rumore.

Se la rilevazione viene mediata su un intervallo di frequenza e un intervallo di tempo, si migliorano le cose. Data temperatura di rumore del ricevitore, si può calcolare approssimativamente la sensibilità tramite la seguente formula

$$\Delta T = C \frac{T_{\text{sys}}}{\sqrt{\Delta t \Delta f}}$$

Δt minimo cambiamento di temperatura che viene rilevato

$$C \approx 5 \div 20$$

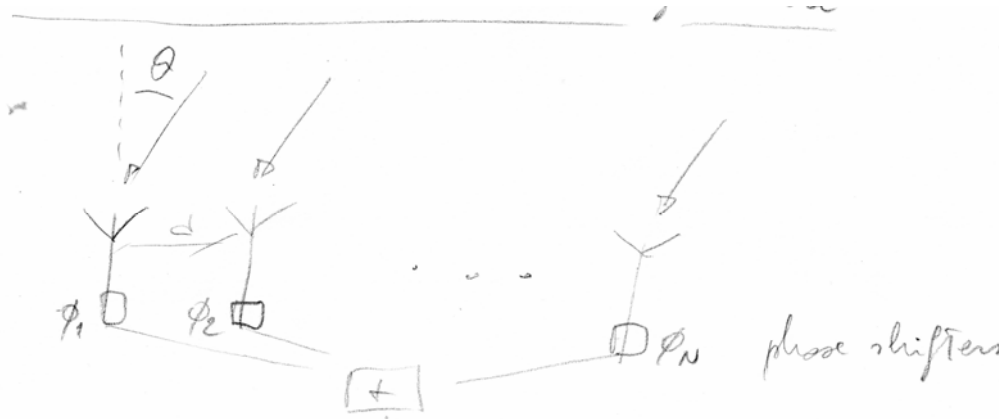
Δt Δf di solito sono scelti in modo da avere $\Delta T \cong 1\text{K}$

Radiometri a scansione

Per ampliare la regione di osservazione si usano i radiometri a scansione

- scansione meccanica (scomodi sia per aerei sia per satelliti)
- scansione elettronica (phased arrays)
- mista

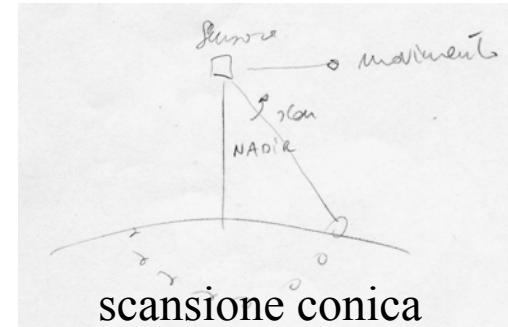
scansione elettronica con array lineare



Banda di circa $\frac{\lambda}{Nd}$ $\theta = 0$

Quando θ è grande il lobo si amplia

Si possono utilizzare anche array circolari o planari



l'antenna 2 avrà un segnale
in anticipo di $\beta d \sin \theta$
l'antenna 3 avrà un segnale
in anticipo di $2\beta d \sin \theta$

Applicazioni (I)

La radiometria a microonde ha il vantaggio di operare anche in assenza di visibilità e di notte

Principali applicazioni:

• **Osservazioni oceanografiche:** La T_b non dipende solo dalla temperatura fisica ma anche dalla frequenza, polarizzazione, salinità, rugosità superficiale. Occorre quindi fare osservazioni multifrequenza per isolare un fenomeno o l'altro. Es. sotto i 5 GHz la salinità aumenta molto la riflessività e decresce l'emissione (T_b), o l'emissività (ϵ). Tuttavia sotto i 5 GHz la risoluzione è molto limitata, perché l'IFOV è molto grande. Il vento aumenta molto la rugosità e la schiuma, che fa da isolante e quindi decresce l'emissione. Sembra che la polarizzazione verticale sia insensibile a ciò, a differenza di quella orizzontale, allora sono necessarie osservazioni in doppia polarizzazione. Osservazioni su ghiaccio (30 GHz ϵ è molto alto)

• **Osservazioni della superficie terrestre:** Il radiometro non è molto adatto per la scarsa definizione. Tuttavia si può usare per determinare la percentuale di umidità nel terreno o la presenza di ghiaccio o neve.

Correzione atmosferica: T_b dipende da: 1) componente emessa ϵT , 2) radiazioni atmosferiche verso il basso; 3) emissioni atmosferiche verso l'alto. Allora occorre correggere 2) e 3); si utilizza l'equazione del trasferimento radiativi

Applicazioni (II)

Sondaggi dell'atmosfera

La regione delle microonde contiene numerose linee di assorbimento nello spettro. Facendo scansioni multifrequenze si possono notare le linee corrispondenti al vapore acqueo o all'ossigeno.

Sopra i 300 GHz ci sono le linee del CO, NO₂ ecc.

Si riesce in qualche modo a determinare l'inquinamento

Esempio SSM/I Special Sensor Microwave Imager (US-Air force)

-19.4, 22.2, 37, 85.5 GHz

-scansione conca

-D = 1 m blowwidth di circa 0.03 rad e 18.4 GHz

-1 rivoluzione in ~ 2 secondi

$$\Delta T = 0.8 \text{ K}$$

-c'è anche il SMMR (scanning multichannel microwave radiometer)
con bande 6.6, 10.7, 18, 21, 37 GHz