

Materiale didattico per il corso:

- 059AR - TELERILEVAMENTO PER LO STUDIO DEL TERRITORIO - REMOTE SENSING FOR TERRITORIAL STUDY
- Docente: Andrea Favretto

afavretto@units.it

Parte prima

Telerilevamento

Il telerilevamento può essere definito come l'insieme delle tecniche e dei metodi per l'acquisizione di informazioni sulla superficie terrestre da una posizione remota, evitando il diretto contatto con il territorio oggetto di studi.

Esempio di Telerilevamento: la lettura di un testo

DISQUISITIONES GENERALES

CIRCA

SUPERFICIES CURVAS

AUCTORE

CAROLO FRIDERICO GAUSS.

SOCIETATI REGIAE OBLATAE D. 8. OCTOB. 1827.

1.

Disquisitiones, in quibus de directionibus variarum rectarum in spatio agitur, plerumque ad maius perspicuitatis et simplicitatis fastigium euehuntur, in auxilium vocando superficiem sphaericam radio = 1 circa centrum arbitrarium descriptam, cuius singula punota repraesentare censebuntur directiones rectarum radiis ad illa terminatis parallelarum. Dum situs omnium punctorum in spatio per tres coordinatas determinatur, puta per distantias a tribus planis fixis inter se normalibus, ante omnia considerandae veniunt directiones axium his planis normalium: puncta superficiei sphaericae, quae has directiones repraesentant, per (1), (2), (3) denotabimus; mutua igitur horum distantia erit quadrans. Ceterum axium directiones versus eas partes acceptas supponemus, versus quas coordinatae respondentes crescunt.

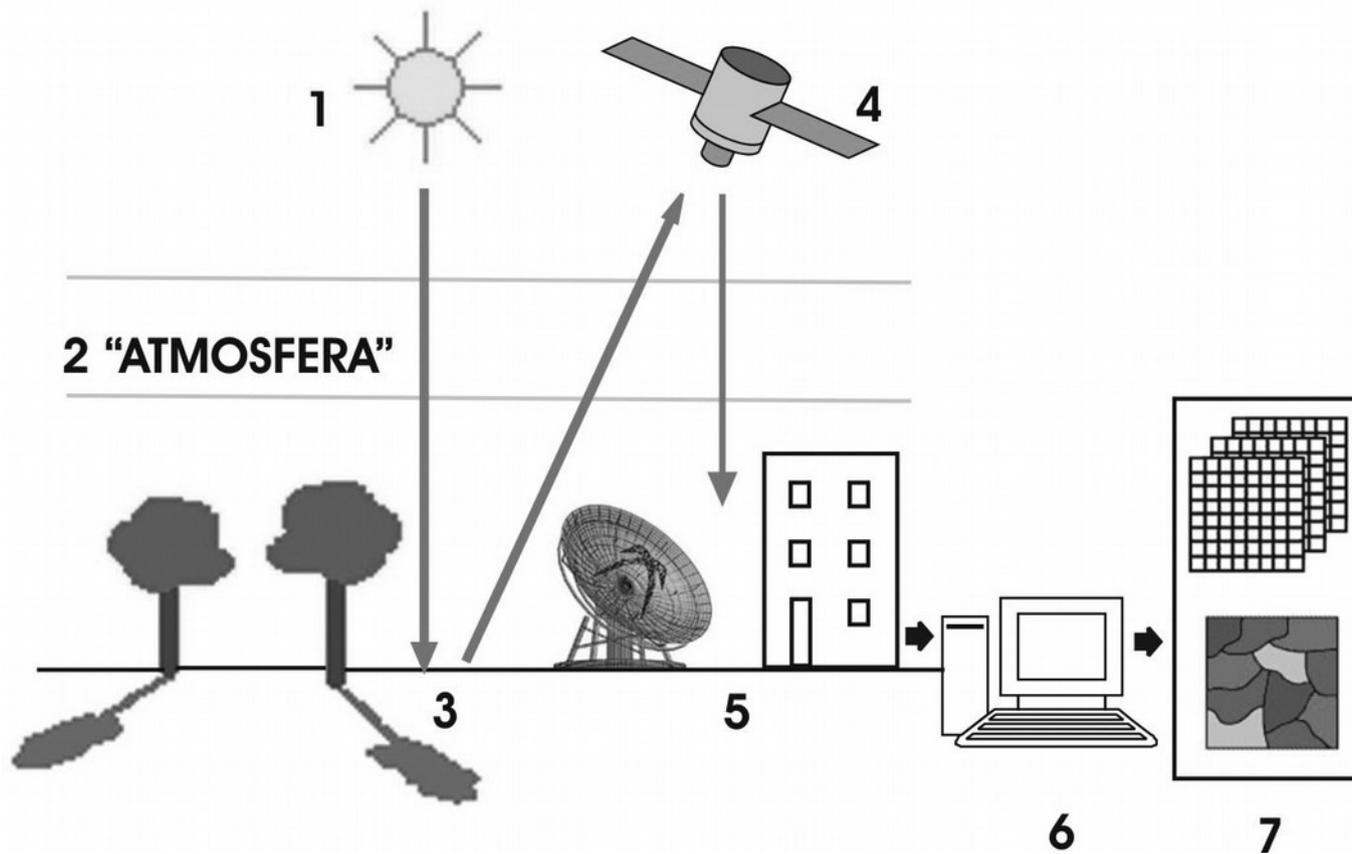
A 2

Gli occhi fungono da sensori, in quanto raccolgono le differenze di luce riflessa dalle parti scure e chiare della pagina scritta (corrispondenti alle lettere sullo sfondo bianco).

Il contenuto della pagina viene poi elaborato dal cervello e convertito in informazione.

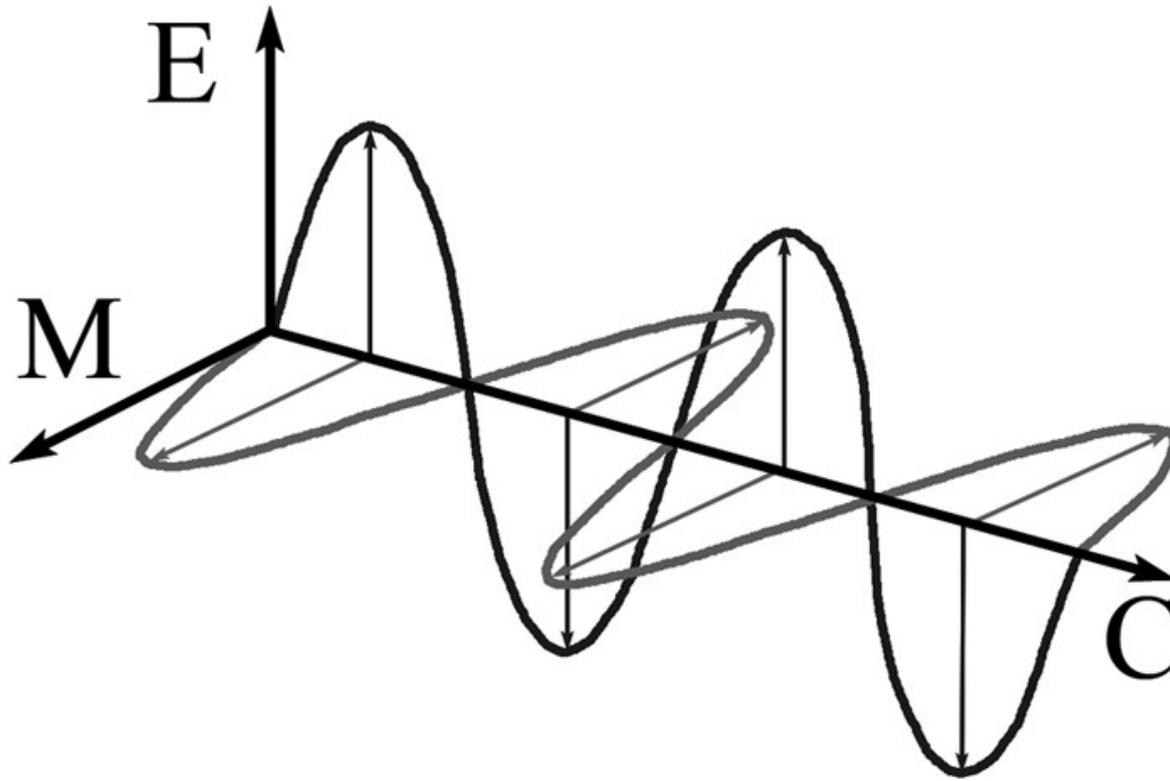


Le fasi del Telerilevamento



1. Energia elettromagnetica che illumina la superficie terrestre
2. Passaggio dell'energia elettromagnetica dalla sua sorgente alla superficie terrestre attraverso l'atmosfera
3. Interazione dell'energia elettromagnetica con gli elementi della superficie terrestre
4. Registrazione dell'impulso riflesso dal sensore del satellite
5. Trasmissione, ricezione e trasformazione del segnale registrato dal sensore del satellite in un'immagine
6. Interpretazione ed analisi dell'immagine
7. Inserimento dell'immagine e dei risultati della sua elaborazione nei GIS

1. Energia elettromagnetica che illumina la superficie terrestre



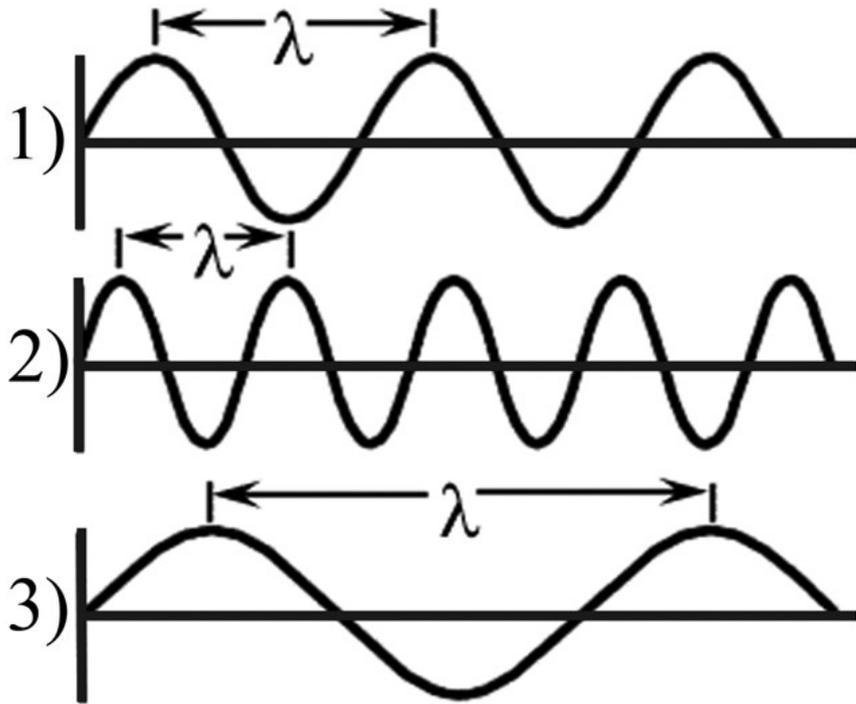
La radiazione elettromagnetica è formata da due componenti, una elettrica ed una magnetica che formano un campo elettromagnetico, ovvero la regione dello spazio in cui le due componenti sono presenti ed esercitano una forza.

L'energia elettromagnetica si propaga dalla sua fonte sotto forma di due onde oscillatorie.

L'onda elettrica e quella magnetica sono inscindibili: ogni variazione di un campo produce variazioni nell'altro.

Viaggiano alla velocità della luce orientate perpendicolarmente alla direzione di propagazione, il campo magnetico a destra del campo elettrico.

Onde elettromagnetiche. Frequenza e Lunghezza d'onda

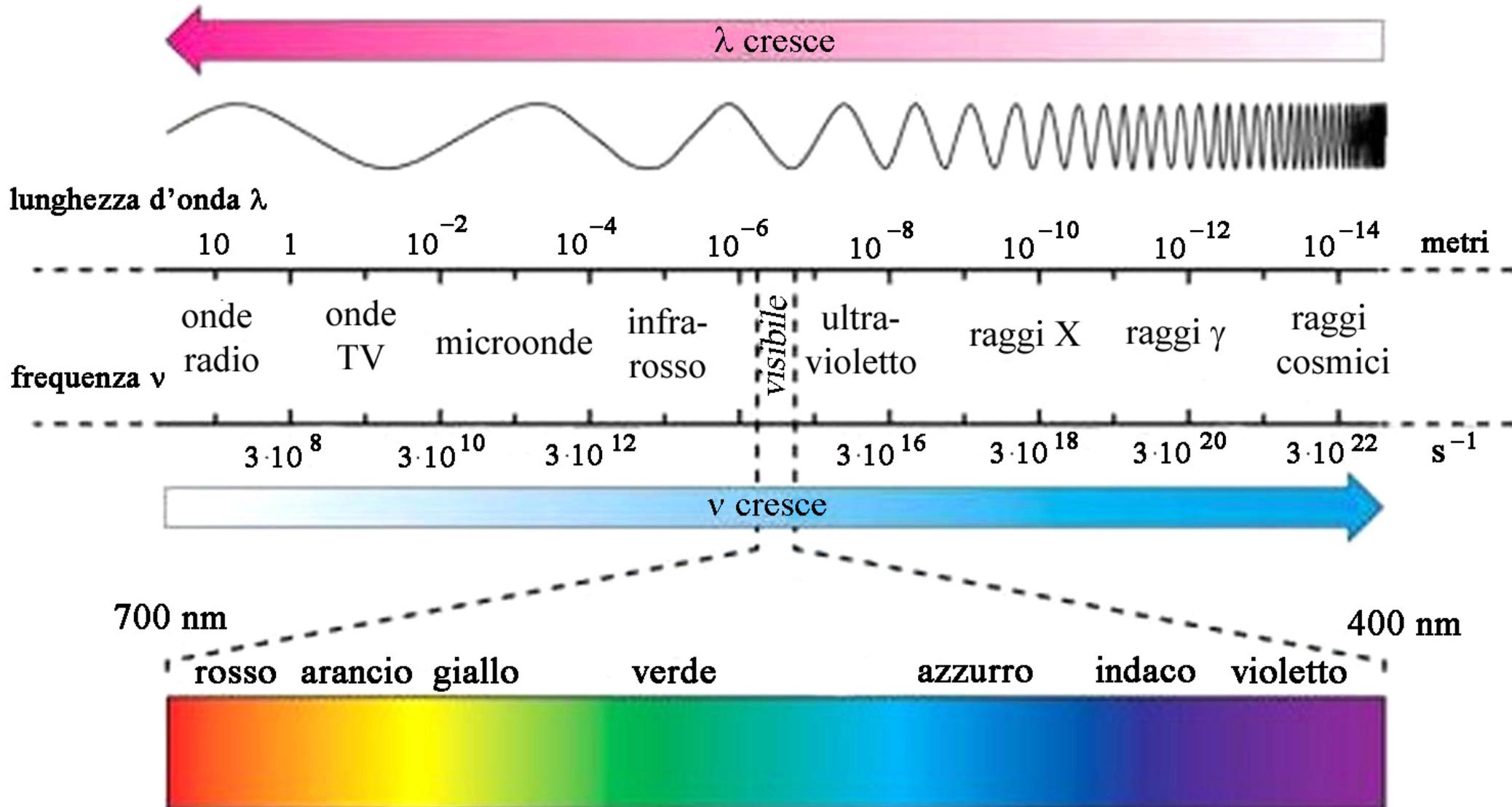


La frequenza è il numero di cicli al secondo ovvero il numero delle creste che passano un punto fissato in un periodo di tempo. Si misura in hertz - Hz (1 Hz equivale ad un ciclo per secondo)

La lunghezza d'onda (λ) è invece la distanza fra due creste e si misura, come qualsiasi altra distanza, in metri o, più precisamente, in nanometri (nm, 10^{-9} metri), micrometri (μm , 10^{-6} metri), centimetri (cm, 10^{-2} metri)

La frequenza e la lunghezza d'onda sono in relazione inversa l'una rispetto all'altra: ad alte frequenze corrispondono basse lunghezze d'onda mentre a basse frequenze, alte lunghezze d'onda.

Spettro Elettromagnetico: grafico che riporta le varie gamme di onde elettromagnetiche suddivise in categorie a seconda della loro lunghezza d'onda (e frequenza)



Onde radio.

Sono caratterizzate da lunghezze d'onda superiori al Km, suddivise in onde lunghe, medie e corte.

Microonde.

La lunghezza di queste va da un ordine di grandezza di centimetri al millimetro. Vengono usate rispettivamente nei radar e, per esempio, nei forni a microonde, ove, essendo parzialmente assorbite dai corpi, cedono parte della loro energia e riscaldano la materia.

Raggi infrarossi.

Sono radiazioni di grande importanza per il telerilevamento, si estendono da $0.72 \mu\text{m}$ ad oltre $15 \mu\text{m}$. Data la grande estensione della regione infrarossa, questa viene solitamente divisa in vicino e medio infrarosso (il riferimento è allo spettro del visibile, $0.38 - 0.72 \mu\text{m}$, ed infrarosso lontano (circa dai $6 \mu\text{m}$ in poi). Le radiazioni nel vicino e medio infrarosso sono essenzialmente prodotte dalla luce del sole riflessa dalla superficie terrestre. Quelle nel lontano infrarosso sono invece radiazione emessa dalla superficie terrestre sotto forma di calore o anche energia termica.

Raggi visibili.

Le radiazioni che sono comprese nel visibile occupano una parte molto piccola dell'intero spettro elettromagnetico ($0.38 - 0.72 \mu\text{m}$). Il rosso, il verde ed il blu (RGB red, green, blue) sono detti colori primari poichè ciascuno di essi non può essere formato da nessuna combinazione degli altri due. Grosso modo il blu ha una lunghezza d'onda che va da 0.4 a $0.5 \mu\text{m}$, il verde da 0.5 a $0.6 \mu\text{m}$, il rosso da 0.6 a $0.7 \mu\text{m}$. Tutti gli altri colori possono essere formati da combinazioni dei colori primari.

Raggi ultravioletti.

Vengono così chiamati in quanto cadono al di là del violetto ($0.38 \mu\text{m}$), che è l'ultima componente dello spettro elettromagnetico visibile all'occhio umano. La radiazione ultravioletta, che fissa la vitamina D, può essere pericolosa se assunta in dosi eccessive.

Raggi x.

Ricadono nella zona dello spettro fra 0.01 e 0.1 μm . I raggi x a lunghezza d'onda minore vengono impiegati in medicina e radiologia, quelli invece a lunghezza d'onda maggiore sono molto pericolosi per le cellule eventualmente irradiate.

Raggi gamma.

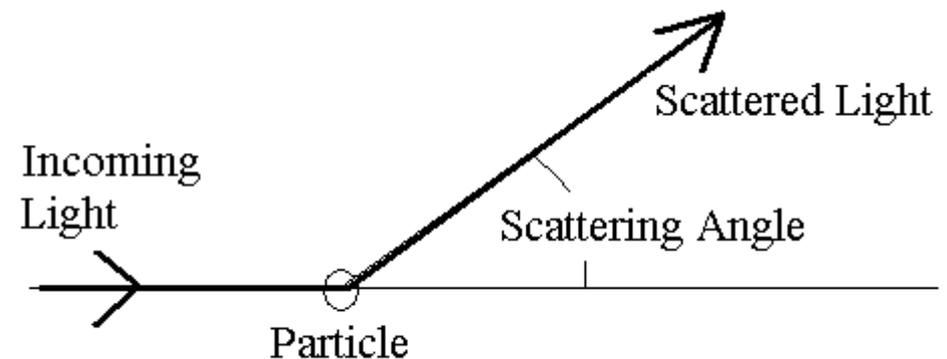
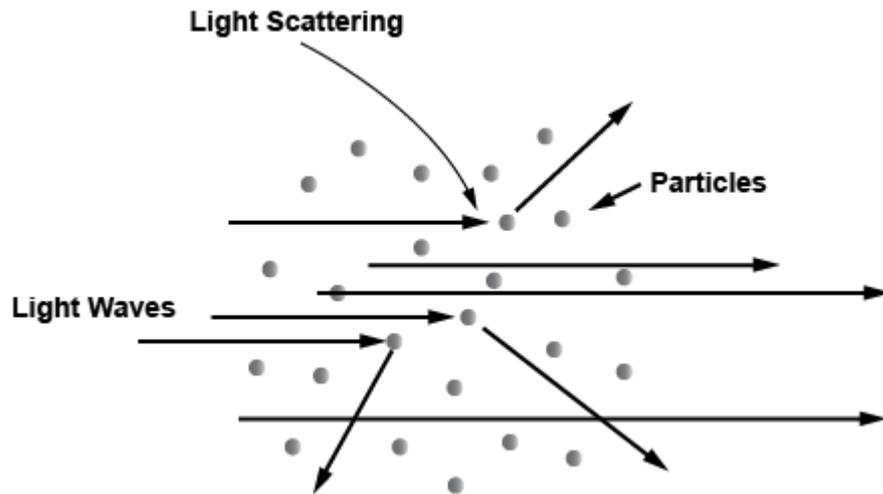
Sono all'estremo limite delle piccole lunghezze d'onda. Tale radiazione è molto pericolosa per gli esseri viventi.

2. Passaggio dell'energia elettromagnetica dalla sorgente alla superficie terrestre attraverso l'atmosfera

Prima di colpire la materia sulla superficie terrestre, la radiazione elettromagnetica attraversa l'atmosfera. Durante tale passaggio, è sottoposta a due fenomeni molto importanti per il telerilevamento: la diffusione (scattering) e l'assorbimento, ad opera delle particelle e dei gas presenti.

Scattering

L'energia elettromagnetica, nel suo cammino verso la superficie terrestre, viene rediretta in altre direzioni. Tale fenomeno risulta più o meno intenso a seconda della lunghezza d'onda della radiazione elettromagnetica, dalla lunghezza del cammino nell'atmosfera e dal contenuto di quest'ultima in termini di particelle sospese o gas disciolti.



Assorbimento

L'energia elettromagnetica viene assorbita da gas come il vapore acqueo, l'anidride carbonica e l'ozono presenti nell'atmosfera. Tali gas assorbono totalmente la radiazione elettromagnetica solo in specifiche zone dello spettro elettromagnetico. Le zone ove invece non vi è assorbimento sono quelle usate nel telerilevamento, vengono dette finestre atmosferiche e sono concentrate nei seguenti intervalli:

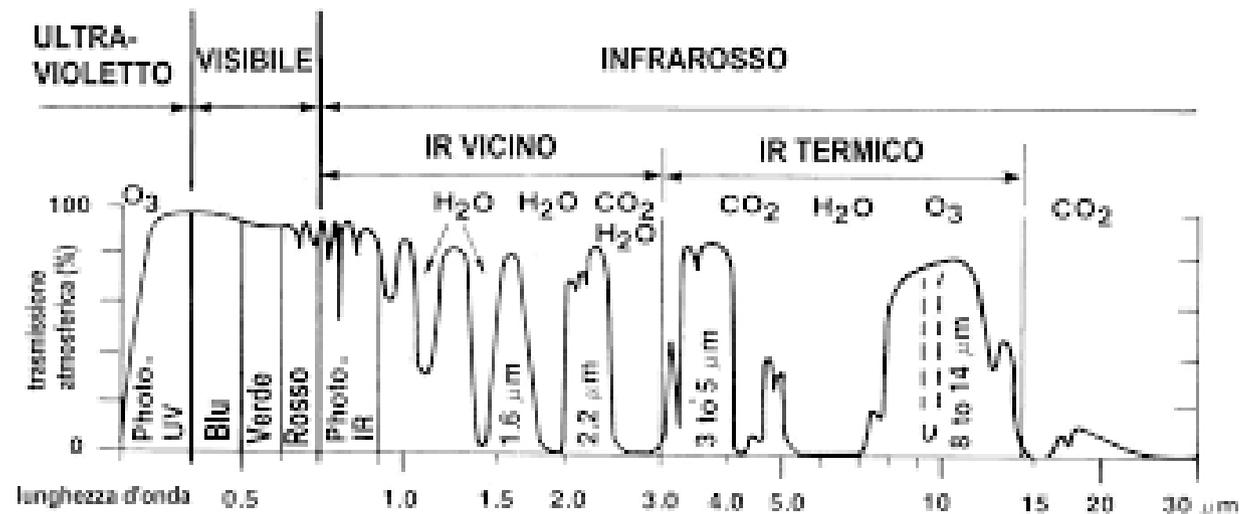
0.3 - 1.3 μm (visibile – vicino infrarosso);

1.5 - 1.8 μm ;

2.0 – 2.5 μm ;

3.5 – 4.1 μm (infrarosso medio);

7.0 – 15.0 μm (infrarosso termico).



3. Interazione dell'energia elettromagnetica con gli elementi della superficie terrestre

L'energia elettromagnetica che non viene diffusa o assorbita dall'atmosfera raggiunge la superficie terrestre.

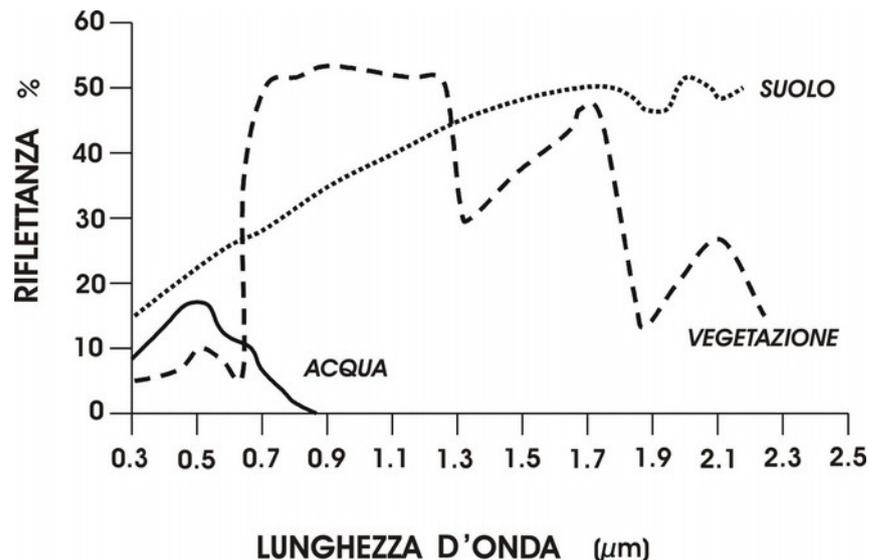
Qui può essere assorbita, trasmessa o riflessa dalla materia irradiata.

La percentuale di energia elettromagnetica totale che viene interessata da ciascun fenomeno citato dipende dalla lunghezza d'onda, dalla tipologia del materiale irradiato e dalle sue condizioni di esposizione.

Ai fini del Telerilevamento viene considerata solo l'energia riflessa dalla materia irradiata.

Il Telerilevamento si basa sull'assunto che uno specifico materiale (ad esempio: un determinato tipo di suolo, di bosco, di campo coltivato; uno specchio d'acqua contenente uno specifico inquinante, ecc.), ha un suo modo di reagire all'energia elettromagnetica irradiata.

Tale reazione è descritta dalla risposta spettrale del materiale considerato.



La funzione della risposta spettrale del singolo materiale può essere rappresentata su di un grafico bidimensionale.

In ascissa si pone la lunghezza d'onda della radiazione elettromagnetica.

In ordinata la percentuale di riflessione.

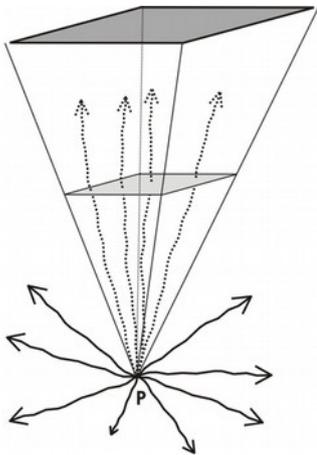
4. Registrazione dell'impulso riflesso dal sensore del satellite

L'energia elettromagnetica riflessa viaggia nuovamente attraverso l'atmosfera e viene registrata dal sensore a bordo del satellite in orbita.

La radianza è costituita dall'ammontare di radiazione da un oggetto.

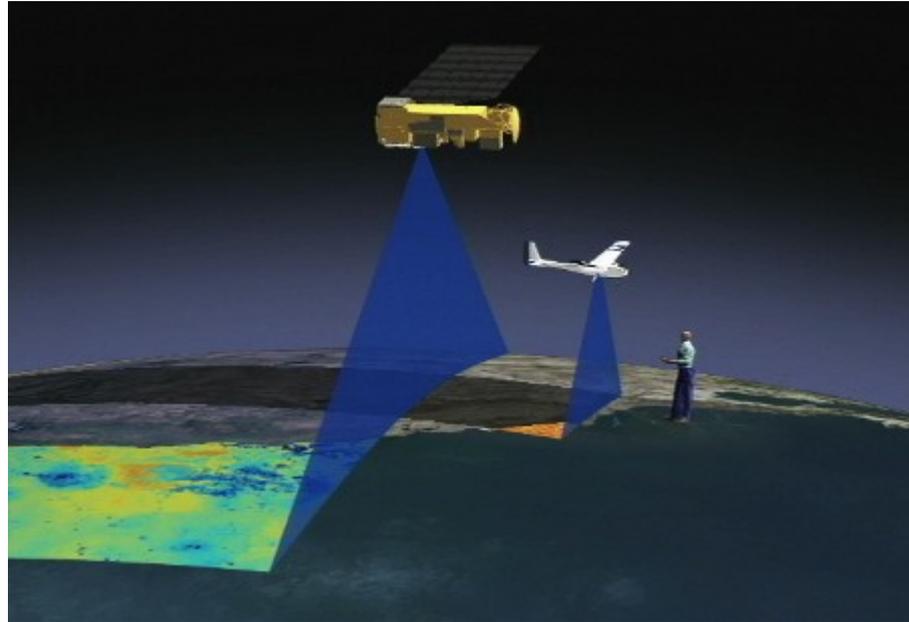
Viene definita come il flusso radiante per unità di superficie e di angolo solido, per una data direzione e misurato su un piano perpendicolare alla direzione data.

Per flusso radiante si intende la quantità di energia radiante (cioè trasportata dalle onde elettromagnetiche), trasferita da un punto o superficie ad un'altra superficie nell'unità di tempo (si misura in Watt-W).



La radianza si misura in $W m^{-2} sr^{-1}$ (Watt allo steradiante per unità di superficie)

L'energia elettromagnetica riflessa dalla superficie terrestre che arriva al sensore può essere registrata da una pellicola sensibile alla luce (come nelle foto aeree) oppure da una fila di misuratori elettronici.



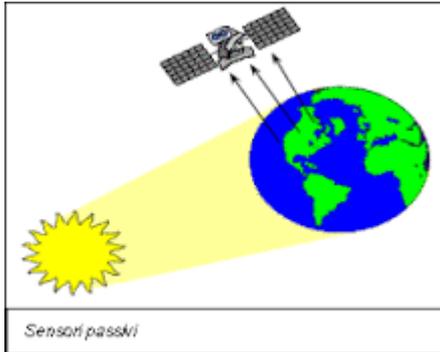
Pellicola sensibile.

La luce, mentre colpisce la pellicola causa una reazione chimica proporzionale alla quantità di energia di ogni punto del film. Il successivo sviluppo converte poi l'energia registrata da ogni punto in un livello di intensità di colore.

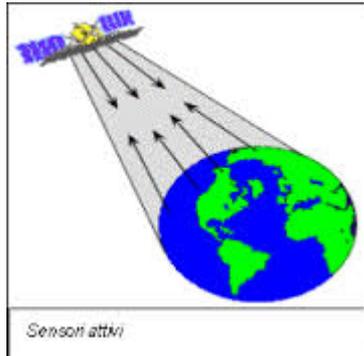
Fila di misuratori elettronici

Nel secondo caso i misuratori elettronici generano un segnale elettrico di forza proporzionale alla quantità di energia ricevuta. Il segnale di ciascun misuratore della fila viene registrato e trasmesso in formato digitale (sotto forma di un numero).

Sensori



Sono **passivi** i sensori che usano la radiazione solare (luce) o quella intrinsecamente emessa dall'oggetto osservato come fonte di illuminazione. Tipicamente lavorano nell'infrarosso o nel visibile



Sono **attivi** i sensori che hanno una propria sorgente di illuminazione (radar)

I sensori sono montati su una piattaforma che generalmente è trasportata da un vettore ad una certa distanza dalla terra.

I vettori possono ad esempio essere mongolfiere, aerei o satelliti.

Sensori

I sensori trasportati dai satelliti compiono periodicamente un sentiero attorno alla terra che viene detto orbita.

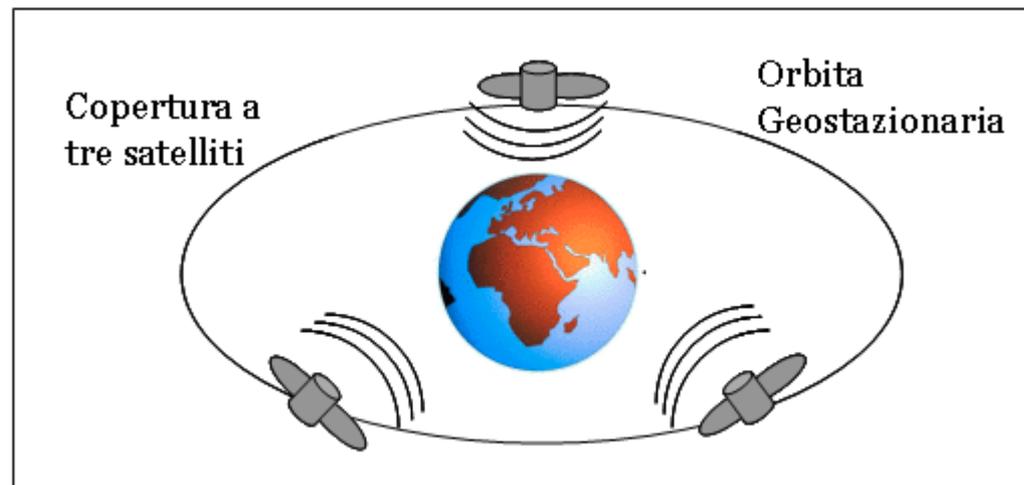
L'orbita può essere geostazionaria o polare condizionatamente all'altezza del vettore rispetto al livello del mare ed al suo orientamento e direzione.

Orbita Geostazionaria

Elevata altezza (anche 36.000 Km sul livello del mare).

In tale orbita, il satellite viaggia alla latitudine 0 (equatore) alla stessa velocità della rotazione terrestre, in modo da sembrare fermo rispetto alla superficie terrestre.

I satelliti meteorologici e quelli adibiti alle comunicazioni compiono un'orbita geostazionaria.



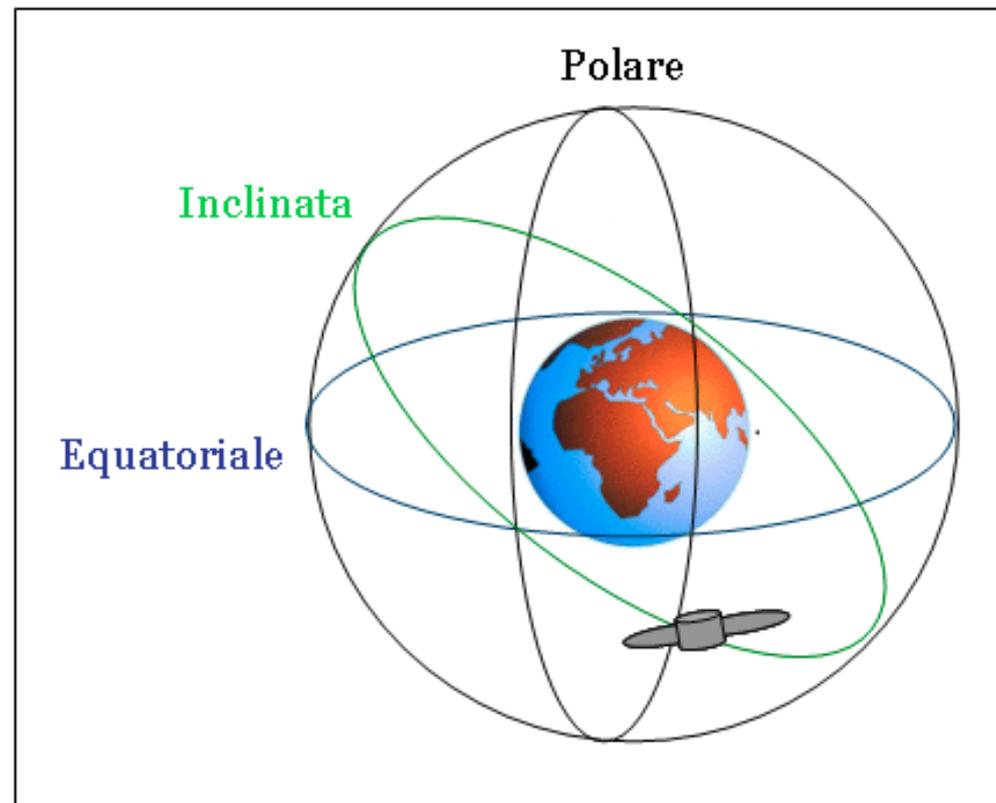
Sensori

Orbita Polare (o quasi polare)

L'orbita polare è invece compiuta ad un'altezza decisamente inferiore alla geostazionaria (circa fra i 500 ed i 1000 Km sul livello del mare).

Se quasi polare, il satellite viaggia da un polo all'altro con un'inclinazione 4° ed un periodo orbitale tale da permettergli di passare alla stessa ora locale sopra l'equatore durante ogni orbita.

In questo caso l'orbita viene detta anche sincrona solare, ovvero sia un'orbita nella quale il vettore gira attorno alla terra alla stessa velocità di rotazione di quest'ultima intorno al suo asse. Questo determina il passaggio del satellite sopra ogni parte del globo alla stessa ora locale.



5. Trasmissione, ricezione e trasformazione del segnale registrato dal sensore del satellite in un'immagine

Un'immagine telerilevata è composta da diverse migliaia di elementi, organizzati in una matrice non quadrata (griglia rettangolare).

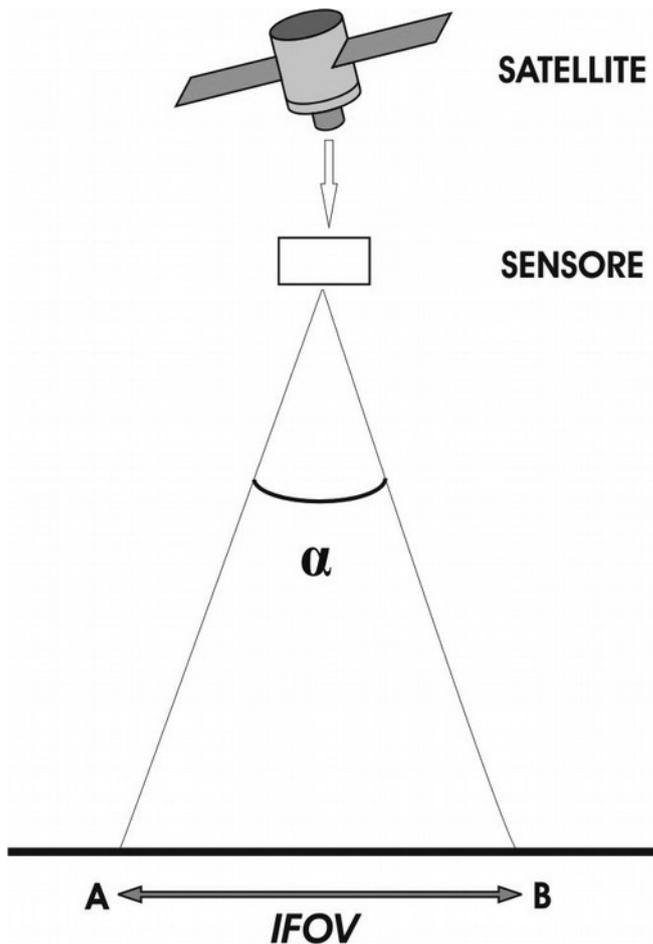
Ciascuno degli elementi della matrice (o celle della griglia), registra la luminosità media (o radianza) di una porzione di territorio, che costituisce l'unità di misura della superficie rappresentata dall'immagine.

Tale unità di misura corrisponde al singolo pixel se l'immagine è visualizzata su uno schermo di computer.



Risoluzione spaziale

La misura della più piccola separazione o distanza fra due oggetti alla quale gli stessi appaiono distinti e separati



Dipende dal campo di vista istantaneo del sensore stesso (IFOV – Instantaneous Field of View).

IFOV si misura moltiplicando l'angolo del cono per la distanza del sensore dal terreno

Risoluzione spettrale

Si riferisce al numero ed all'ampiezza degli intervalli dello spettro elettromagnetico alle quali il sensore del satellite è sensibile

Il numero degli intervalli corrisponde alle bande rese disponibili in layer diversi nell'immagine.

Un'immagine può quindi essere costituita da:

- un solo layer, risultato della risposta spettrale ad una lunghezza d'onda molto ampia (es. banda pancromatica di alcuni sensori, che copre l'intera lunghezza d'onda del visibile, ovvero blu, verde e rosso);

Banda pancromatica di un'immagine Landsat 8 relativa a Grado e Monfalcone (luglio 2013)



Risoluzione spettrale

- alcuni layer, ognuno dei quali è relativo ad una banda con lunghezza d'onda abbastanza ampia (immagini multispettrali)

Immagine falsi colori di Landsat 8, sensore Operational Land Imager (OLI) rosso/NIR, verde/rosso, blu/verde. Golfo di Trieste, luglio 2013



Colori reali (13,7,1)



Sintesi Falso Colore (18,14,7)



Banda 21 (1,175 ? m)



Risoluzione spettrale

- molti layer, relativi ad intervalli di lunghezza d'onda molto piccoli (immagini iperspettrali, registrate da sensori aviotrasportati – MIVIS 102 bande dal visibile all'infrarosso termico).

Immagine MIVIS della zona industriale del comune di San Giorgio di Nogaro
Tratta da: Comuzzi, Zampierin -

<http://www.regione.fvg.it/>

Risoluzione radiometrica

L'energia che arriva ad ogni misuratore elettronico viene trasformata da un flusso continuo in una serie di intervalli discreti registrati come numeri interi (DN – Digital Numbers).

Questi intervalli costituiscono la risoluzione radiometrica del sensore (e conseguentemente dell'immagine).

Tale risoluzione si riferisce quindi al numero di livelli nei quali viene espresso un segnale registrato dal sensore.

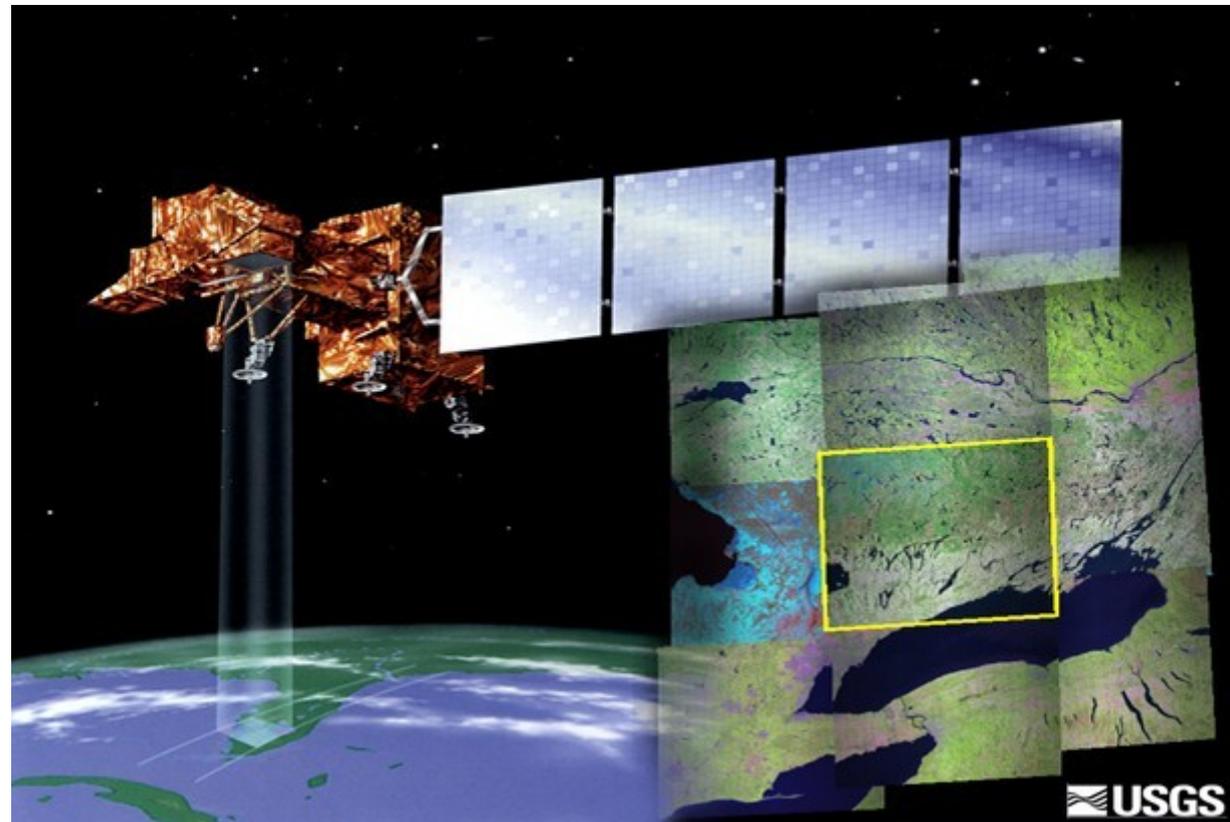
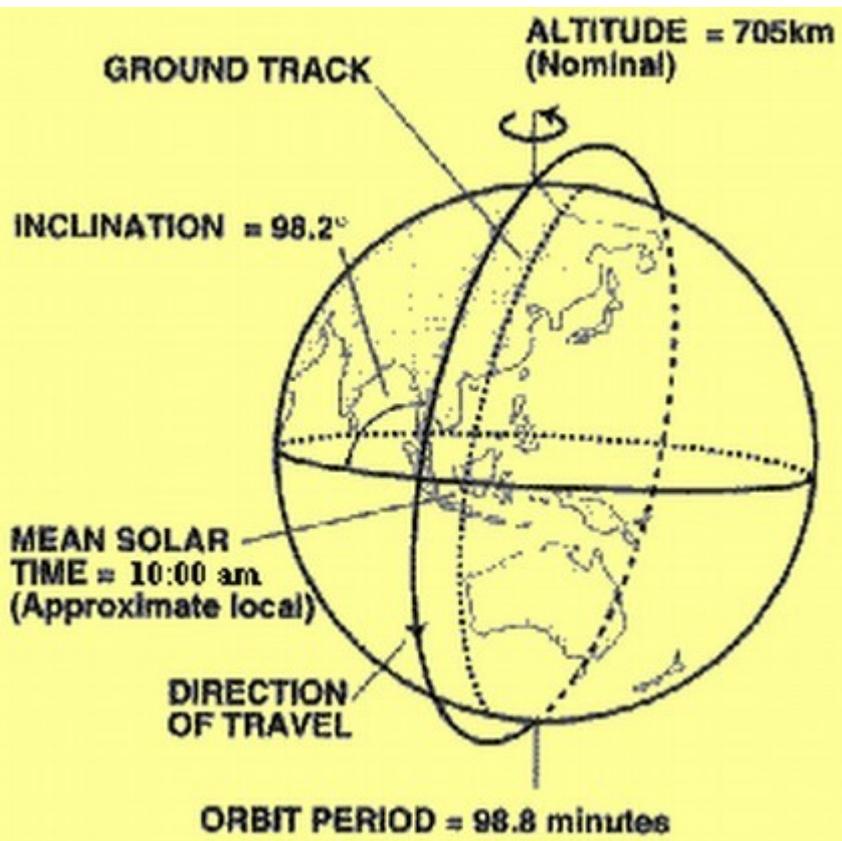
Generalmente più grande è il numero dei livelli, migliore è il dettaglio delle informazioni presenti sull'immagine.

Il numero dei livelli radiometrici è generalmente espresso in termini dei bit necessari per registrare il valore più elevato della scala discreta.

Così, ad esempio, per esprimere i 256 livelli di risoluzione radiometrica (da 0 a 255) del sensore TM di Landsat 5, sono necessari 8 bit, per OLI di Landsat 8 16 bit (da 0 a 65535).

Risoluzione temporale

La risoluzione temporale di un sensore specifica quanto spesso questo è in grado di registrare una scena nella stessa zona.
La ripetizione del passaggio del satellite sulla stessa area dipende dall'orbita compiuta e dalla sua altezza sul suolo.

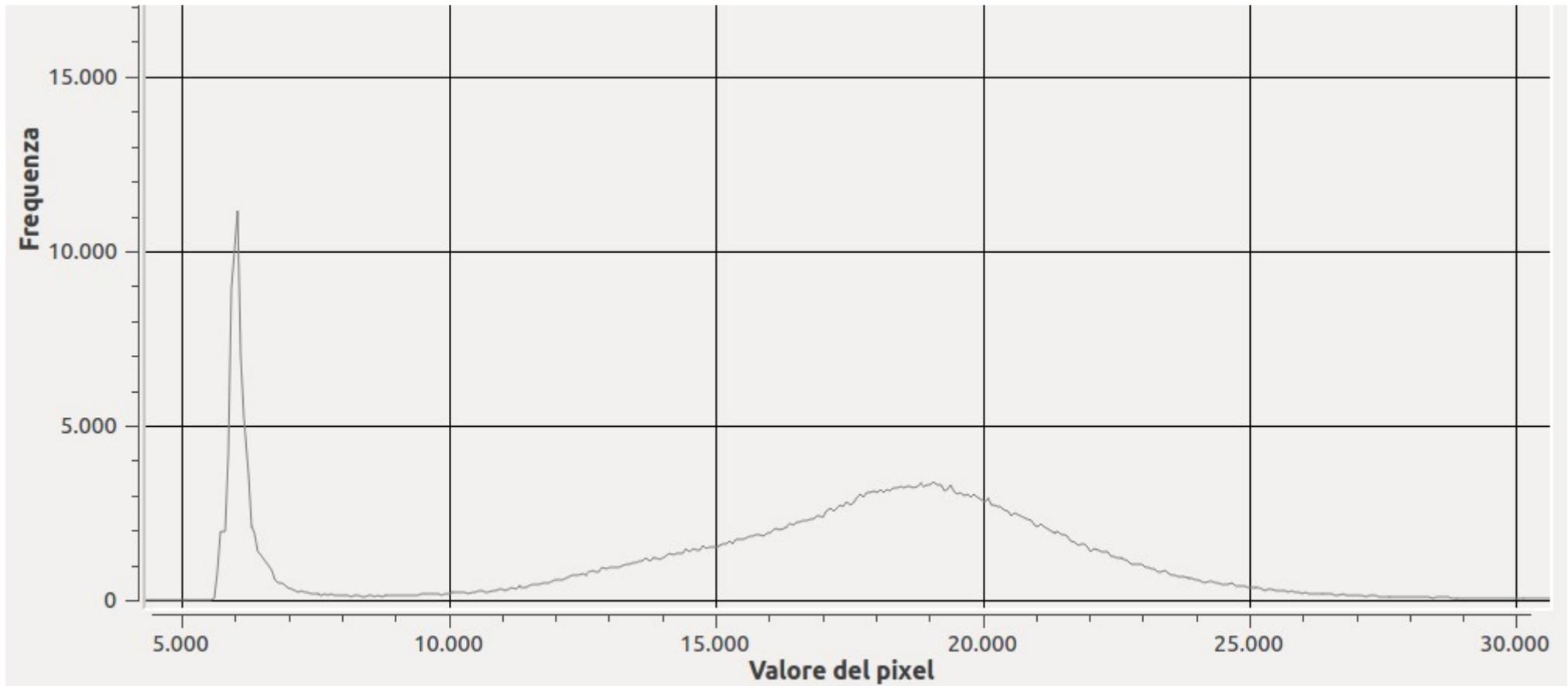


Istogramma di frequenza

In un'immagine multispettrale ciascun layer è organizzato come una matrice non quadrata di pixel.

Ogni pixel riporta la radianza media della rispettiva porzione di superficie terrestre.

La distribuzione della frequenza dei livelli di luminosità dei vari pixel viene generalmente rappresentata con un istogramma di frequenza.



Esempio di istogramma di frequenza per immagine Ids 8 banda 5 (NIR)

In ascissa i valori assunti dai pixel dell'immagine (16 bit - da 0 a 65535)

In ordinata la numerosità dei pixel per ogni valore dell'ascissa

L'immagine è nella prox slide

Immagine Ids 8 banda 5 (NIR): Trieste/Grado

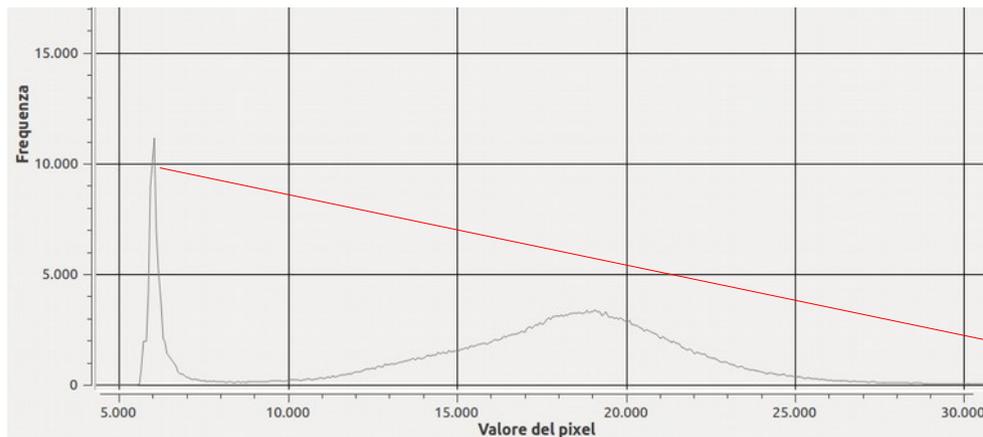


Istogramma di frequenza/Immagine Lds 8 NIR

Le parti scure dell'immagine sono quelle contraddistinte da DN più bassi mentre le parti chiare da DN più alti.

L'istogramma forma due picchi ben visibili, che corrispondono alle risposte spettrali più numerose nell'immagine (sono le coperture del suolo maggiormente presenti nell'area).

Il picco dei DN più vicini allo zero è riferito alla presenza del mare nell'immagine, dato che l'acqua assorbe l'energia elettromagnetica alla lunghezza d'onda della banda NIR (per OLI/Lds8: 0.85 – 0.88 micrometri/ μm)



Lookup table

Per visualizzare un layer telerilevato è necessaria un'operazione di lookup.

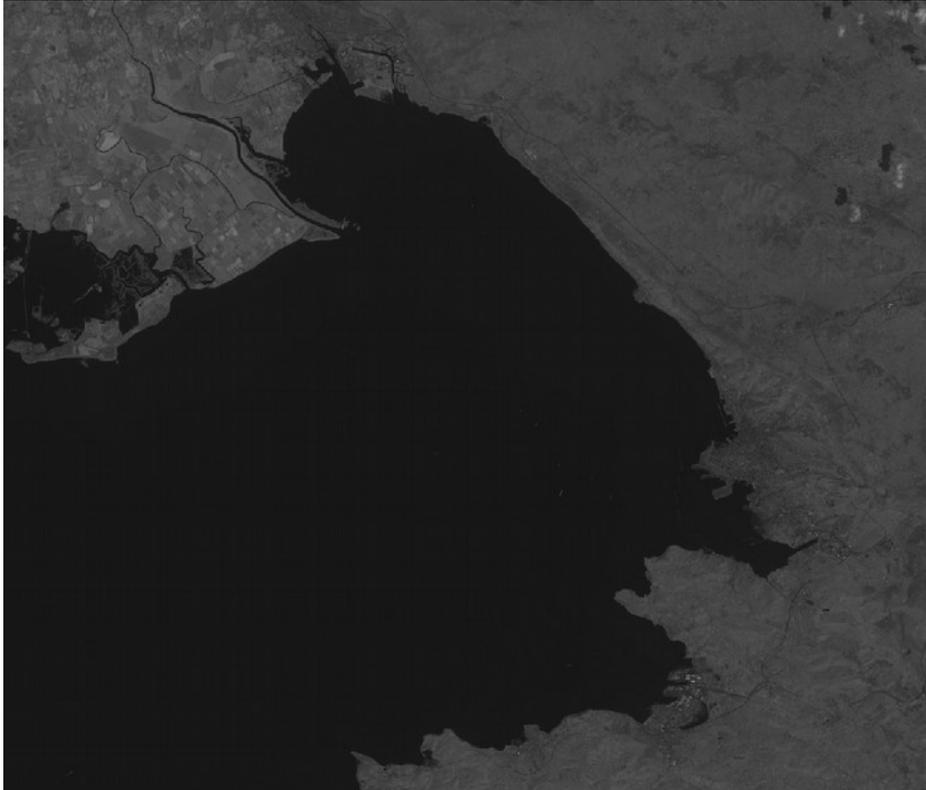
Questa consiste nell'ottimizzare l'attribuzione di un'intensità di colore ad ogni pixel.

Sulla base di una funzione di trasformazione vengono create le tavole di lookup, che collegano i DN in entrata ad un valore di uscita in lookup a video.

La funzione di trasformazione può essere di primo grado (retta) o di grado superiore e la sua forma condiziona il contrasto del layer visualizzato a schermo.

Tale operazione permette di ovviare a problemi collegati alla resa a video di particolari layer che hanno degli istogrammi di frequenza concentrati in un intervallo più ristretto di 0 – 65535 (nel caso di un sensore a 16 bit).

Nell'esempio della figura precedente, i valori dei pixel erano concentrati nell'intervallo 5000-28000: l'immagine è stata stirata con una funzione lineare in questo intervallo.



L'immagine precedente senza lo stiramento lineare
(variabilità lookup = variabilità dei pixel)

An aerial satellite image showing a coastal region. A large, dark blue bay or inlet is the central feature, surrounded by land with various textures of green, brown, and grey, indicating different types of vegetation and urban development. The image is used as a background for the text.

Utilizzando i tre canali in colore di un monitor (RGB – rosso, verde e blu) è possibile visualizzare le bande di un sensore multispettrale a gruppi di tre. Visualizzando le varie bande con combinazioni di colori diverse è possibile evidenziare la copertura vegetale o quella antropica con toni di colore che ne facilitino la localizzazione oppure identificare peculiarità collegate alla copertura del suolo dell'area ripresa.

432 colori naturali

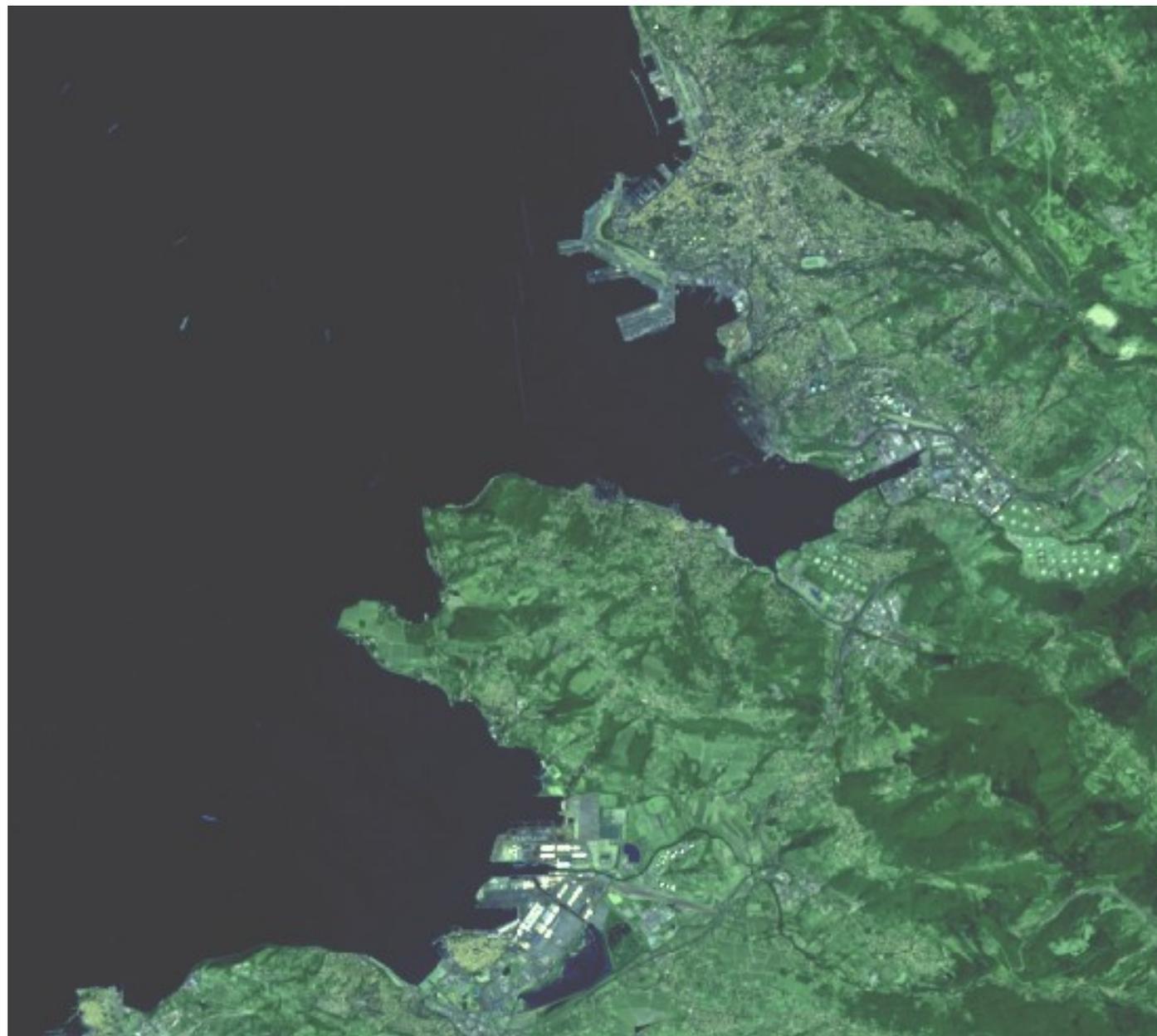
A false-color infrared satellite image of a coastal region. The image shows a large body of water in the center, surrounded by land. The land is color-coded: red for vegetation, blue for built-up areas, and brown for non-vegetated soil. The water is dark blue/black. The land shows a mix of these colors, indicating different land uses and vegetation cover. The image is oriented vertically, with the water body on the left side.

543 falsi colori infrarosso vicino
molto usata per gli studi sulla vegetazione
Vegetazione: tonalità di rosso
aree edificate: tonalità di azzurro
suoli non vegetati: tonalità di marrone



652 falsi colori per evidenziare aree coltivate
Aree agricole: verde acido

764 falsi colori per
evidenziare ambienti
urbani



Pre-elaborazione delle immagini

Quando l'energia elettromagnetica attraversa l'atmosfera è soggetta al fenomeno della diffusione (scattering)

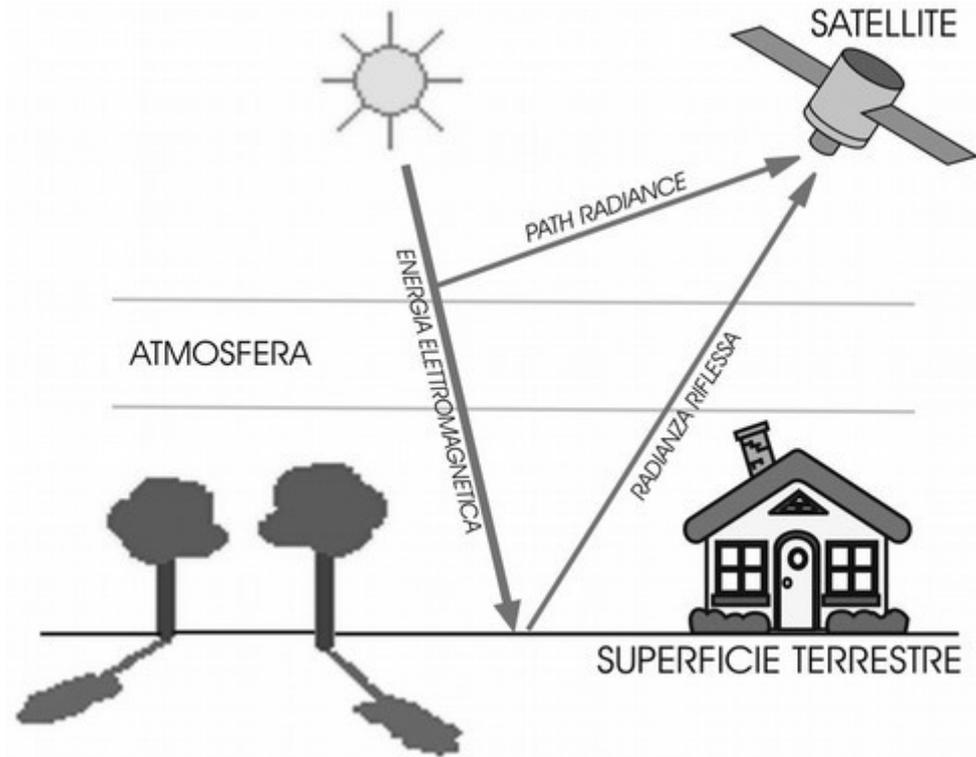
Metodo:

Dark Object pixel Subtraction (DOS).

Un oggetto scuro ha una radianza riflessa molto vicina allo zero in quanto assorbe gran parte dell'energia illuminante.

Identificare nella scena telerilevata delle aree scure (ad es. bacini d'acqua non contaminata da inquinanti o ricchi di nutrienti), ed andare a verificare il valore del pixel alle varie lunghezze d'onda registrate dal sensore.

Acquisiti i valori dovuti alla diffusione atmosferica per ciascuna banda, si procede alla sottrazione del valore a tutti i pixel dell'immagine, banda per banda.



Conversione dei DN in valori di radianza assoluta e riflettività

Molto spesso può risultare utile trasformare i DN della scena satellitare in valori di radianza assoluta o in riflettività.

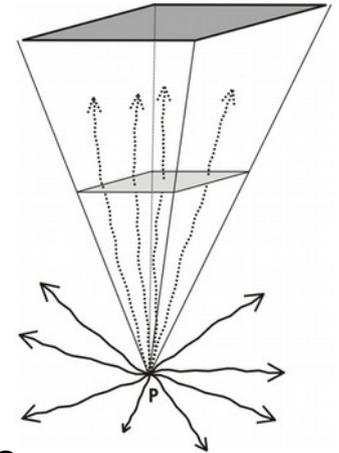
La radianza si misura in

$W m^{-2} sr^{-1}$ (Watt allo steradiante per unità di superficie).

La riflettività o albedo, è il rapporto fra energia riflessa da una superficie illuminata e la corrispettiva energia incidente: E_r / E_i . Può assumere valori compresi tra 0 ed 1

Tale procedura di conversione viene impiegata nel caso di confronto di scene da sensori diversi in periodi diversi.

Non aumenta o inserisce disturbi alla scena, essendo una mera trasformazione fisica dei DN



Interpretazione ed analisi dell'immagine

Trasformazione di immagini

Le attuali immagini multispettrali sono pre-elaborate dal distributore (per quanto riguarda il sistema di coordinate, sono generalmente georiferite in WGS84/UTM).

Ad esse vengono generalmente applicati degli algoritmi che trasformano i DN dei vari layer in valori di riferimento per una prima valutazione quali-quantitativa delle caratteristiche del suolo indagato.

Si possono in tal modo indagare alcune caratteristiche della vegetazione, della composizione minerale dei suoli, ma anche valutare l'uniformità di una copertura del suolo.

I valori calcolati dalle trasformazioni possono essere successivamente classificati in classi di intervalli, indicanti l'intensità di un fenomeno sul territorio al momento della ripresa dell'immagine.

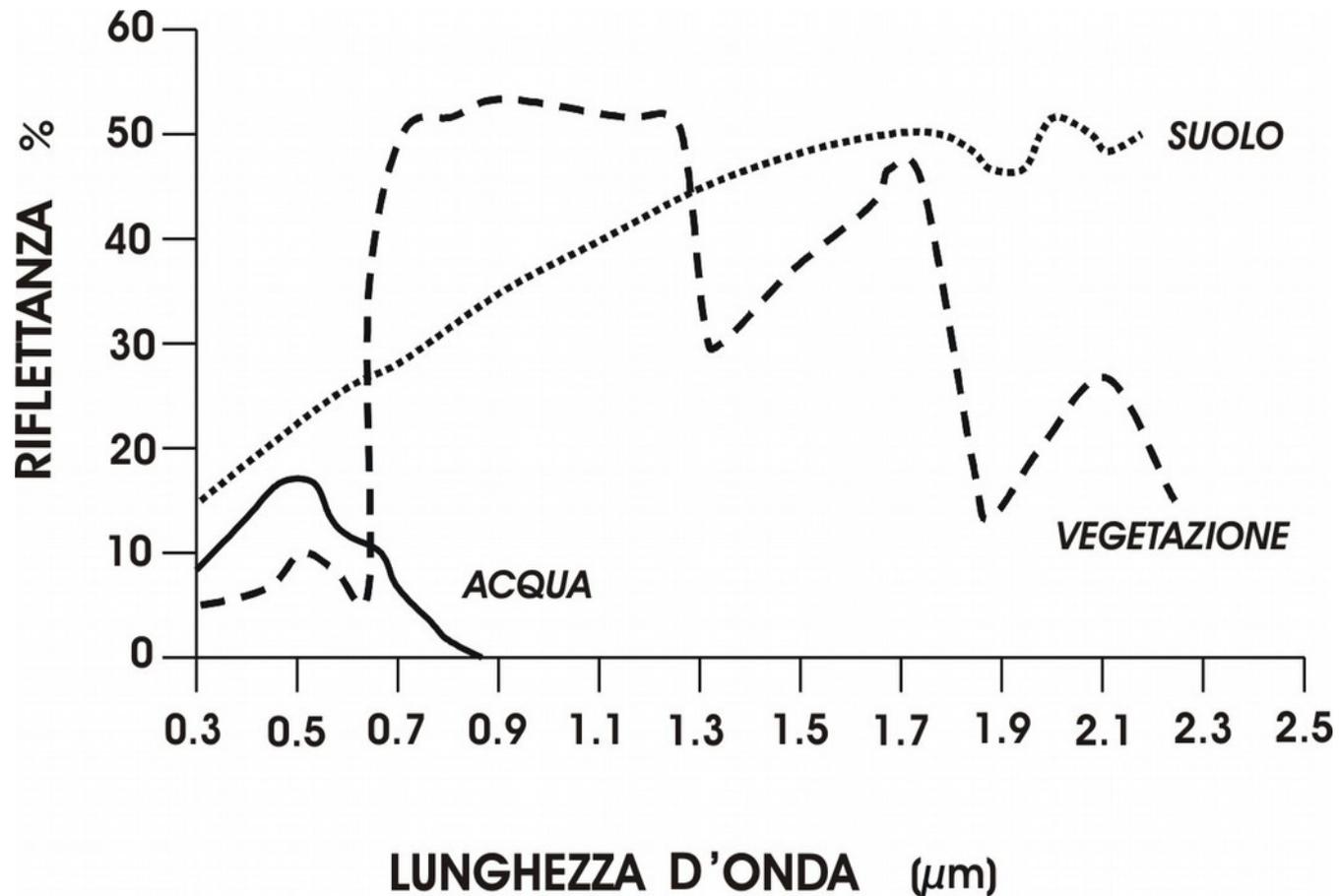
Rapporti fra bande

Sono procedure che elaborano i DN di due diverse bande facendone il rapporto.

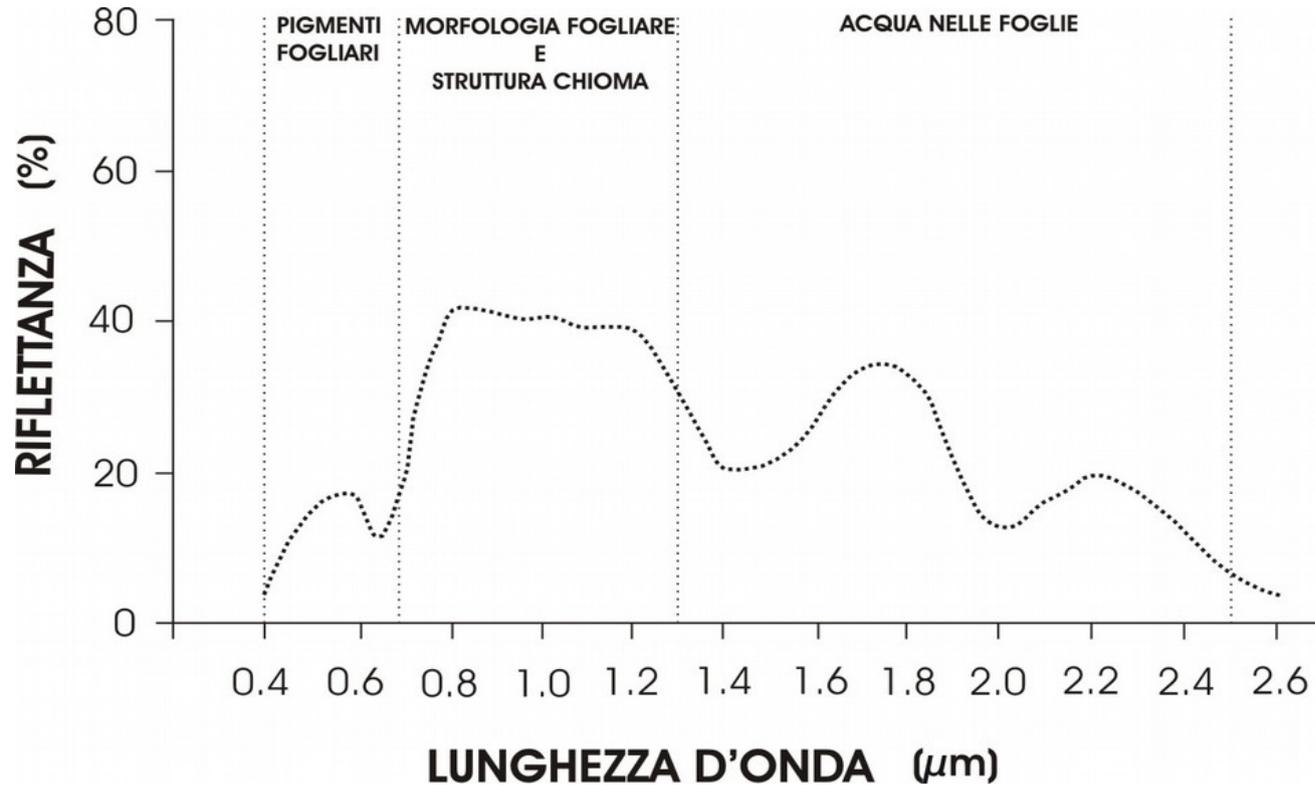
Si tratta di procedure fra le più utilizzate nel telerilevamento, in quanto sfruttano e pongono in evidenza alcuni aspetti connessi all'andamento della curva di riflessione spettrale collegata ad alcune tipologie di copertura del suolo.

Le curve di riflettanza per vegetazione, suolo nudo ed acqua.

In ordinata è riportata l'intensità della riflessione (in percentuale)
in ascissa è misurata invece la relativa lunghezza d'onda (in μm)
La differenza dell'andamento della riflessione alle varie lunghezze d'onda di vegetazione,
suolo nudo ed acqua è evidente, soprattutto negli intervalli 0.6 – 0.7 m (RED) e 0.8 – 1.1 m (NIR).



La curva spettrale della vegetazione



Caratteristiche di riflessione della vegetazione

Visibile: 0.4 – 0.7 μm.

Bassa riflessione a parte nel verde (μm 0.55)

Infrarosso vicino: 0.7 – 1.3 μm.

Massima riflessione dovuta alla morfologia interna della foglia ed alla struttura della chioma della pianta.

Infrarosso medio: 1.3 – 2.5 μm.

Bassa risposta della vegetazione. Dovuta principalmente all'assorbimento per la quantità d'acqua presente nelle foglie

Indici di vegetazione

Un indice di vegetazione è un numero generato dalla combinazione di alcune bande telerilevate da un sensore, e può avere alcune relazioni con l'ammontare della vegetazione in un determinato pixel di una scena satellitare.

Ogni volta che la copertura vegetale non copre il 100% del terreno, esiste una certa interferenza del suolo, che può quindi falsare in eccesso il segnale raccolto dal sensore. Esistono almeno 20 diversi indici di vegetazione, alcuni dei quali vanno considerati equivalenti nei loro contenuti informativi. Una possibile distinzione fra essi fa riferimento al concetto della cosiddetta "linea del suolo".

Essa è un'ipotetica linea costruita nello spazio spettrale delle bande del rosso e dell'infrarosso vicino (RED e NIR).

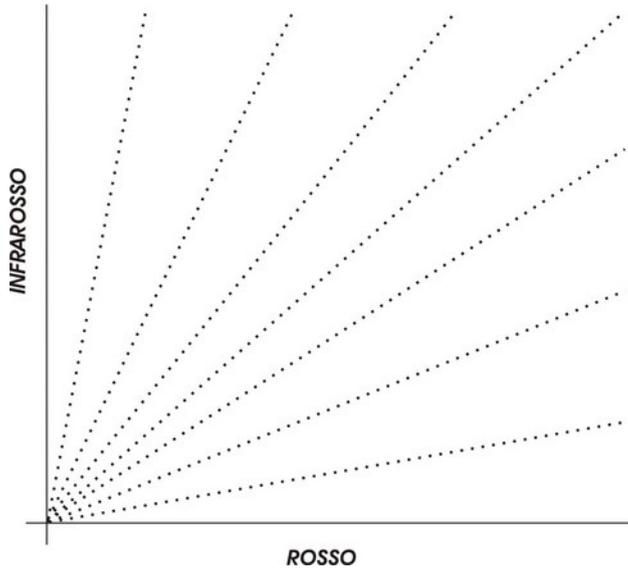
Considerando la distribuzione dei valori dei pixel della scena in uno spazio bidimensionale RED – NIR, vi possono essere due situazioni diverse

- indice di vegetazione è basato sulla pendenza
- indice di vegetazione è basato sulla distanza

Indici di vegetazione

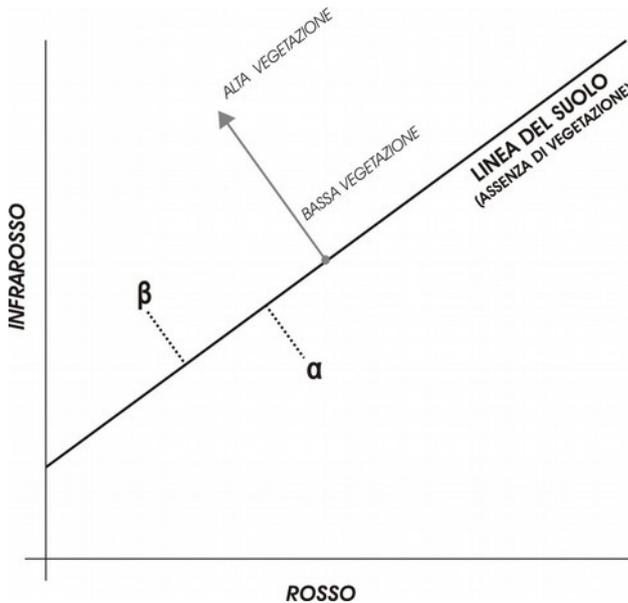
Indice di vegetazione basato sulla pendenza

In uno spazio bidimensionale Rosso – Infrarosso vicino un indice di vegetazione basato sulla pendenza assume un valore corrispondente al coefficiente angolare della generica retta passante per l'origine.



Indice di vegetazione basato sulla distanza

In uno spazio bidimensionale Rosso – Infrarosso vicino, un indice di vegetazione basato sulla distanza assume un valore corrispondente alla distanza spettrale fra il pixel e la linea del suolo (assenza di vegetazione).

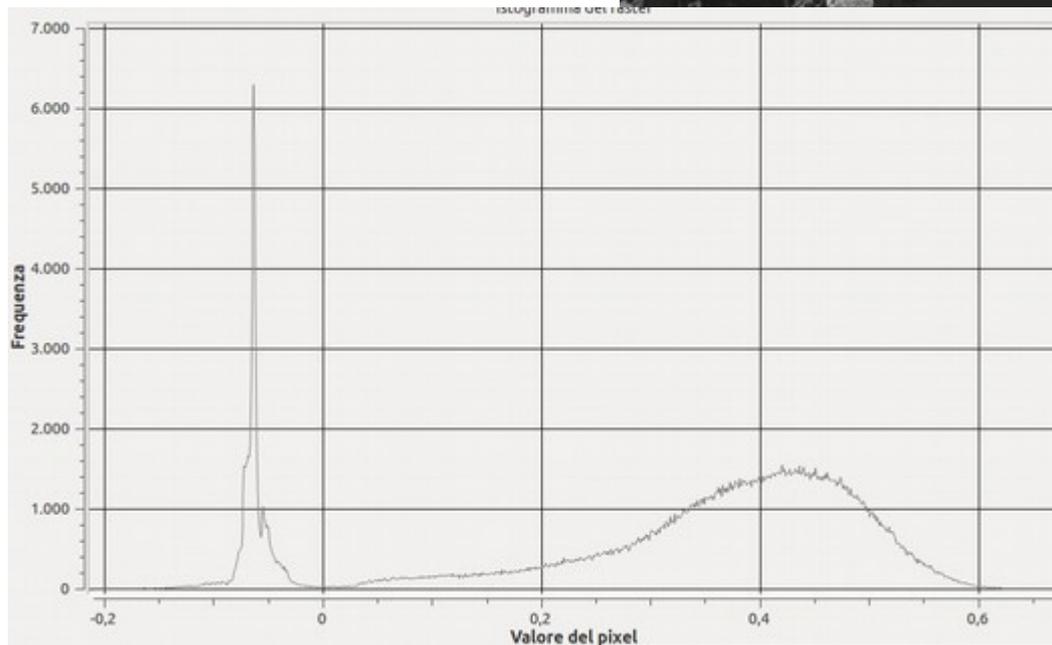
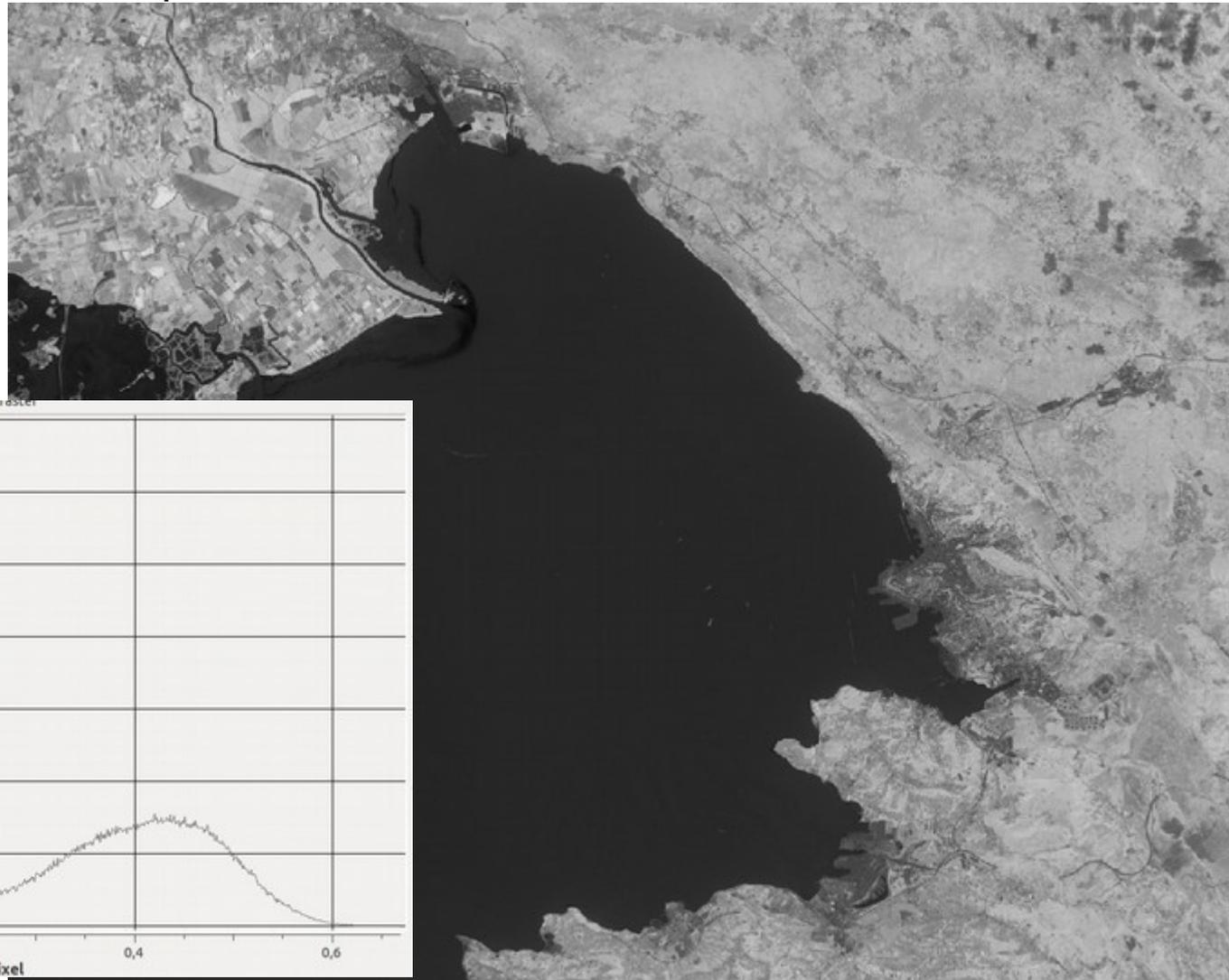


Indice di vegetazione basato sulla pendenza

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

La normalizzazione produce una variabilità dei risultati fra -1 e $+1$ e rende l'interpretazione e la classificazione più facile.



Indice di vegetazione basato sulla distanza

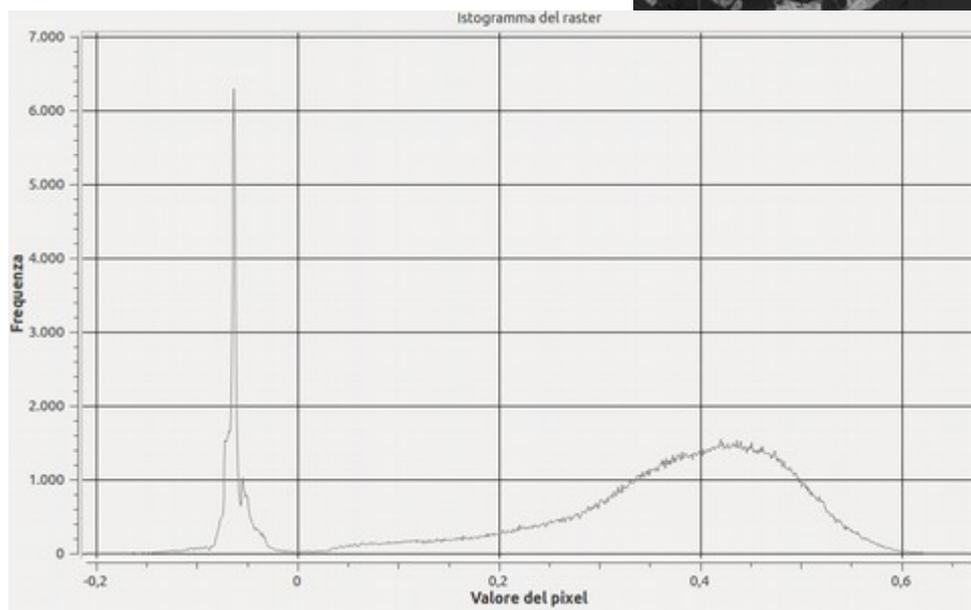
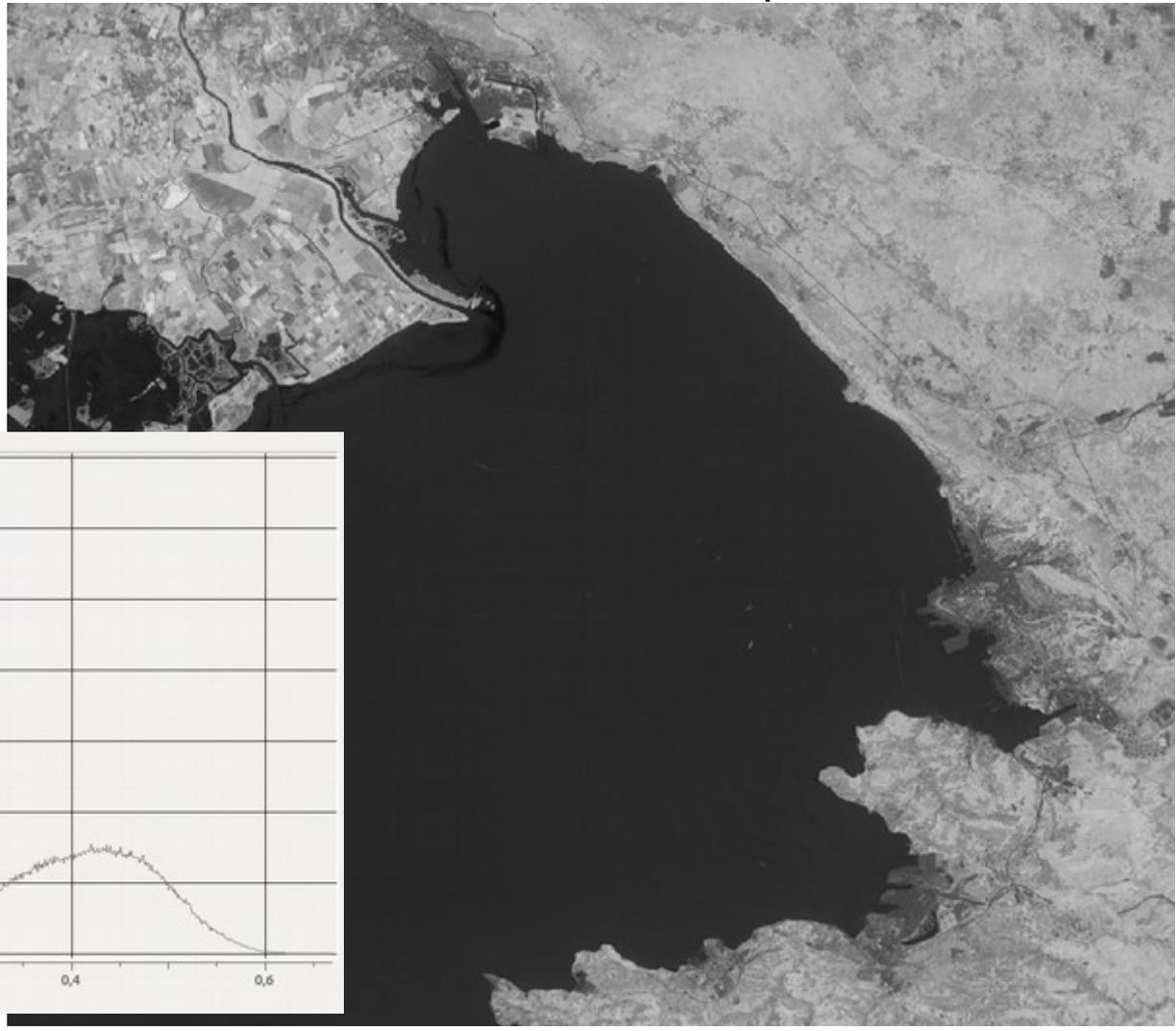
SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)

$$(1 + L)(\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED} + L)$$

L: fattore di correzione la cui variabilità è compresa fra 0 (nel caso di aree con alta copertura vegetale) e 1 (aree a bassa copertura vegetale).

Un valore di L pari a 0.5 è stato trovato adatto a minimizzare le variazioni di luminosità del suolo ed in tal modo in grado di eliminare la necessità di ulteriori calibrazioni per suoli con differente luminosità.

La variabilità dell'indice è compresa fra i valori -1 e +1.



Classificazione una scena telerilevata

Applicazione di una procedura automatica che suddivide in categorie omogenee i pixel, in modo da definire la copertura del territorio ripreso o la distribuzione spaziale di un singolo fenomeno rilevabile dal sensore.

Esistono molte metodologie di classificazione, che utilizzano algoritmi diversi e forniscono risultati più o meno precisi.

Il metodo di classificazione prescelto dovrebbe dipendere strettamente dal modo di considerare il pixel che compone l'immagine:

1. il **pixel** è un elemento **isolato** ed **omogeneo**, non divisibile. La classificazione è realizzata solamente sulla base delle caratteristiche spettrali del pixel;
2. il **pixel** è un elemento **isolato non omogeneo**, in quanto può essere composto da elementi di classi diverse che sono stati mediati per fornire i DN alle varie bande (pixel misti);
3. il **pixel** è un elemento **omogeneo** nel suo contesto di **relazione posizionale** con gli altri pixel dell'immagine. In tal caso, oltre alle caratteristiche spettrali del pixel, si analizza anche la geometria delle forme disegnate da più pixel contigui, omogenei dal punto di vista spettrale.

Classificazione una scena telerilevata: Pixel isolato ed omogeneo

La classificazione per pixel può essere realizzata con il metodo non supervisionato (**unsupervised**), o supervisionato (**supervised**).

Metodo supervised

Si usa quando si hanno a disposizione informazioni relative alla copertura del suolo dell'immagine da classificare (ovverosia si conoscono a priori le classi di appartenenza per un numero abbastanza cospicuo di pixel).

- Prima fase (**training stage**): l'analista identifica nello spazio territoriale dell'immagine aree costituite da pixel che rappresentano la stessa copertura del suolo (le "aree training").
- Seconda fase (**classificazione vera e propria**): sulla base delle caratteristiche spettrali dei pixel indicati vengono applicati degli algoritmi che classificano il resto dell'immagine. Gli algoritmi generalmente utilizzati derivano dalla statistica convenzionale e sono: minima distanza alla media (minimum distance to mean), parallelepipedo (parallelepiped), massima verosimiglianza (maximum likelihood).

Classificazione una scena telerilevata: Pixel isolato ed omogeneo

Metodo unsupervised

Usato se non si conosce molto, relativamente alla copertura del suolo dell'immagine da classificare.

Il risultato della classificazione è costituito da pixel raggruppati per classi spettrali (**cluster**).

Le **classi** sono **omogenee** per ciò che riguarda la **risposta spettrale** dei pixel che le formano.

E' successivo compito dell'analista quello di attribuire una classe di **copertura del suolo** ad **ogni classe** spettrale.

Esistono numerosi **algoritmi** che si fanno carico della procedura, molto comune è l'approccio cosiddetto **k-means**.

Controllo di qualità della classificazione: Accuracy assessment

Ogni classificazione ha bisogno di un controllo di qualità finale (cosiddetto **accuracy assessment**).

Tale controllo produce generalmente un **valore di riferimento** (a volte percentuale), che ne esprime l'**accuratezza**, insieme ad un rapporto finale di sintesi del lavoro svolto.

In tale contesto, l'accuratezza misura il livello di **conformità** fra le **classi di copertura del suolo assegnate** a ciascun pixel in base al processo di classificazione e la corrispondente classe che il medesimo pixel assume nella **realtà del territorio**.

Necessario poter disporre di un ulteriore **set di dati "sicuri"** sul **territorio** analizzato rispetto a quello eventualmente utilizzato per identificare le cosiddette aree training.

Si usa la matrice di confusione (o degli errori – **error matrix**)

Controllo di qualità della classificazione: error matrix

Dati di riferimento (<i>reference data</i>)						
Dati classificati (<i>classification data</i>)		Classe 1	Classe 2		Classe N	Tot. per riga
	Classe 1	a_{11}	a_{12}		a_{1n}	$\sum_{k=1}^N a_{1k}$
	Classe 2	a_{21}				$\sum_{k=1}^N a_{2k}$
	Classe n	a_{n1}	a_{n2}		a_{nn}	$\sum_{k=1}^N a_{nk}$
	Tot. per colonna	$\sum_{k=1}^N a_{k1}$	$\sum_{k=1}^N a_{k2}$		$\sum_{k=1}^N a_{kn}$	

orizzontale: dati di riferimento (**reference data**);

Verticale: dati classificati (**classification data**).

I numeri delle celle: l'elemento della i-esima colonna e j-esima riga della matrice riporta il numero di volte che un pixel della i-esima classe nei reference data (realtà effettiva del territorio), è stato classificato con la j-esima classe nei classification data (classificazione realizzata dall'analista).

La **diagonale** della stessa matrice rappresenta quindi i **pixel classificati correttamente** (appartengono alla stessa classe sia nei reference che nei classification data).

Controllo di qualità della classificazione: Overall Accuracy

L'accuratezza complessiva della classificazione (**overall accuracy - OA**) sulla base del campione rappresentato nella matrice degli errori è data dal numero dei pixel classificati correttamente (**la sommatoria delle numerosità sulla diagonale**) rapportato al numero totale del campione stesso (ovvero il numero dei reference pixel o dati sicuri).
Formalmente, dalla matrice degli errori si calcola:

$$OA = \frac{\sum_{k=1}^N a_{kk}}{n} \quad \text{ove: } n: \text{ numerosità dei dati sicuri (reference data)}$$

OA è una misura grezza della bontà della classificazione, che non specifica la distribuzione dell'errore nelle varie classi di copertura del suolo.

Altre misure:

class accuracy – CA (anche detta: producer accuracy);

PC = probabilità della classe (anche detta: user accuracy);

kappa statistics

(vedi libro)