



## Telerilevamento: strumenti e tecniche

- *Il telerilevamento (Remote Sensing) è un insieme di tecniche, strumenti e mezzi interpretativi che permette di estendere e migliorare le capacità percettive dell'occhio umano, fornendo informazioni di tipo qualitativo e quantitativo su oggetti posti a distanza.*

- *L'occhio umano percepisce solo un intervallo molto ristretto dello spettro elettromagnetico (la banda del visibile che è compresa tra 0,4 e 0,7  $\mu\text{m}$  di lunghezza d'onda), con il telerilevamento invece si è in grado di sfruttare quasi tutto lo spettro. Le immagini, dunque, devono essere prima processate in modo che tutte le informazioni diventino visibili ai nostri occhi.*

Il telerilevamento ha origine con la nascita delle tecniche fotografiche che, con lo sviluppo di ottiche di varie focali, ha ingrandito il campo di percezione dell'occhio umano.

Il telerilevamento riguarda sia immagini di oggetti della superficie terrestre posti a distanze di chilometri dal sensore, che oggetti posti a pochi metri. Le piattaforme di osservazione sulle quali sono montati i sensori possono essere satellitari (altezza di ripresa tra 200 e 35.800 km); aeree (in genere aeroplani che normalmente effettuano osservazioni da 300-6.000 m di quota, ma che per studi particolari si possono spingere sino a 20.000 m); al suolo (osservazione a distanza mediante sensori posti su strutture vincolate a terra, come torri metalliche o veicoli con braccio elevantabile sino a 15 m).

In particolare, per le immagini ottenute mediante sensori posti su satelliti sono necessarie molte correzioni che riguardano la curvatura della Terra, la velocità e la traiettoria del satellite, lo strato atmosferico attraversato.

L'acquisizione di immagini o in genere di informazioni inerenti la superficie terrestre è possibile grazie ad un alto numero di satelliti orbitanti, a diverse altezze, intorno alla Terra: dai satelliti che utilizzano sensori ottici a quelli che utilizzano sensori infrarossi, fino ad arrivare a satelliti in grado di fornire immagini radar.

### Lo spettro elettromagnetico

Nel telerilevamento, il modo più comune per caratterizzare un'onda elettromagnetica è determinare la locazione del valore di lunghezza all'interno dello spettro elettromagnetico (il quale rappresenta tutto il campo di esistenza di tali onde).

L'energia che arriva a contatto con una superficie viene in parte riflessa. In particolare ogni superficie terrestre si comporta diversamente a seconda delle sue caratteristiche e del materiale con il quale è costituita; si può quindi stabilire una corrispondenza tra tali misure e lo stato dei corpi da cui l'energia è riflessa, che è proprio lo scopo del telerilevamento.

La "firma o risposta spettrale" rappresenta il coefficiente di riflessione, per una data superficie, in funzione della lunghezza d'onda della radiazione incidente. Poiché la firma spettrale è caratteristica di ogni superficie, essa viene usata per "riconoscere" corpi o superfici specifici; ad esempio: una vegetazione sana ha una firma spettrale differente da quella di una vegetazione malata.

Nella figura 1 sono illustrati i massimi picchi corrispondenti al massimo valore di riflessione, ed i minimi relativi al massimo valore di assorbimento (e quindi minimo di riflessione) di alcuni tipi di vegetazione. Per effettuare una precisa indagine è necessario individuare le lunghezze d'onda alle quali corri-

spondono i massimi valori di riflessione dell'elemento da indagare, il che è uguale a conoscere la firma spettrale.

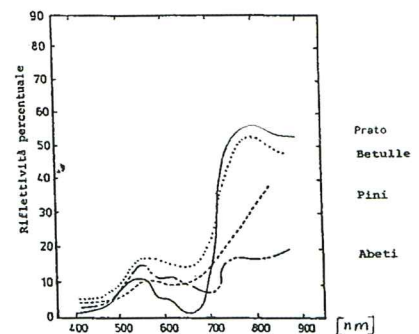


Fig.1 - Firma spettrale caratteristica di alcuni tipi di vegetazione.

### I diversi tipi di risoluzione degli strumenti

#### Risoluzione geometrica

La risoluzione geometrica è la capacità di registrare un certo numero di righe alternate bianco-nero, di una data dimensione, per unità di lunghezza, in relazione alla distanza presa. Tale definizione si adatta sia alle immagini analogiche che digitali.

#### Risoluzione radiometrica

Questa risoluzione indica i livelli di energia che il sensore è in grado di rilevare e registrare. Nelle immagini digitali, per livelli di energia si intendono tutti i possibili valori di radianza che vengono restituiti dalla superficie analizzata. In pratica rappresentano i livelli di grigio associati ad ogni singolo pixel.

La risoluzione radiometrica viene di solito indicata come valori in bits (binary digits). I valori comunemente adottati sono 6, 8 e 10 bit, i quali corrispondono rispettivamente a 64, 256, 1024 tonalità di grigio.

#### La risoluzione spettrale

La risoluzione spettrale rappresenta gli intervalli dello spettro elettromagnetico, espressi in lunghezza d'onda, nei quali il sensore

è in grado di lavorare e ricevere informazioni.

Essa è strettamente legata agli altri tipi di risoluzione, nel senso che ad un miglioramento della risoluzione spettrale corrisponde una diminuzione della quantità di energia che arriva al sensore. Poiché si è detto che aumentare le dimensioni del sensore peggiora la risoluzione geometrica, si può affermare che i due tipi di risoluzioni sono inversamente proporzionali.

Nella costruzione e progettazione dei sensori si cerca sempre di raggiungere il migliore compromesso fra le tre risoluzioni.

### La risoluzione temporale

Per risoluzione temporale si intende il periodo di tempo che intercorre tra due riprese successive di una stessa area (in genere compreso tra i 30 minuti e 30 giorni).

## Le riprese satellitari

### Le orbite satellitari

**Orbita eliosincrona** (400-1000 km dalla superficie terrestre)

Il piano orbitale è inclinato di quasi 90° rispetto al piano equatoriale: questo permette una ripresa della superficie terrestre in fasce che seguono approssimativamente i meridiani.

La dizione "eliosincrona" significa che l'angolo compreso tra la direzione Terra - Sole e il piano dell'orbita rimane costante. Questa caratteristica permette al satellite di fotografare una particolare zona sempre alla stessa ora locale e quindi con azimut solare costante (condizione di insolazione costante).

**Orbita bassa per missioni brevi** (150 e 400 km)

In queste orbite è possibile utilizzare, oltre agli strumenti di scansione, anche quelli di tipo fotografico; l'uso di questi strumenti è reso possibile dal fatto che la pellicola impressionata viene recuperata in breve tempo.

Questi due tipi di orbite, eliosincrone e basse, richiedono frequenti correzioni a causa dei residui atmosferici e delle variazioni del campo gravitazionale.

**Orbita geostazionaria** (36000 Km)

Le orbite geostazionarie conferiscono caratteristiche particolari; grazie a queste altezze il satellite rimane in verticale su un punto della superficie terrestre.

### I sensori

Per il monitoraggio della superficie terrestre vengono in genere impiegate immagini provenienti da più sensori, ciascuno più adatto a sviluppare e conoscere un particolare aspetto del fenomeno da studiare.

Il maggior contributo allo studio della superficie terrestre è stato offerto nell'ultimo ventennio da sistemi satellitari quali Landsat e SPOT, affiancati oggi da nuovi satelliti.

Il satellite americano Landsat e quello francese SPOT hanno numerose caratteristiche comuni:

- hanno orbite eliosincrone
- registrano le radiazioni elettromagnetiche in una (pancromatico) o più bande (multispettrale).
- entrambi gli scanner possono produrre "nadir VIEW", ossia viste direttamente sottostanti i detector. Inoltre lo SPOT può raccogliere immagini "off nadir", ossia fuori dalla verticale dei detector, così come il sistema Landsat 7.

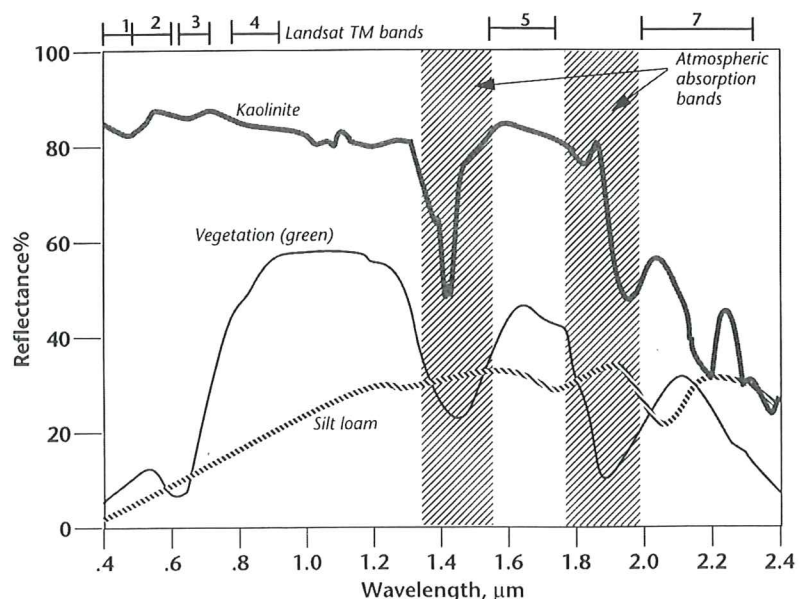
La figura 2 mostra la localizzazione delle sette bande del sensore Thematic Mapper del Landsat a confronto con la riflettanza di alcuni elementi naturali. Si evidenzia che le bande 5 e 7 sono state attentamente posizionate nel tentativo di evitare le regioni di assorbimento atmosferico.

Il Landsat Thematic Mapper registra l'energia elettromagnetica emessa/riflessa nelle regioni del visibile, vicino infrarosso, medio infrarosso, fino all'infrarosso termico dello spettro elettromagnetico.

Il Landsat ha un FOV (field of view, o campo visivo) di circa 185 km dall'altezza di 705 km. La risoluzione geometrica è di 28.5\*28.5 m per tutte le bande tranne che per la banda termica (120\*120 m). La risoluzione radiometrica è di 8-bit, ossia ogni pixel può assumere un valore da 0 a 255 (v. fig. 2).

Le bande 1, 2, 3 appartengono alla regione del visibile, le bande 4, 5 e 7 sono situate nel vicino infrarosso, e la banda 6 nell'infrarosso termico, come riportato in tabella 1.

Le diverse combinazioni delle bande del TM consentono di esaltare le diverse informazioni contenute nell'immagine:



NOTE: Spectra are offset for clarity and scale.

Modified from Fraser 1986, Crist 1986, Sabins 1987

Fig. 2 Disposizione delle sette bande del Landsat TM.

BANDA	RANGE ( $\mu\text{m}$ )	APPLICAZIONI
1	0,45-0,52 (blu)	Analisi delle acque costiere, dei tipi di foreste e per il riconoscimento degli elementi relativi all'attività antropica (strade);
2	0,52-0,60 (verde)	corrispondente alla riflettanza nel verde della vegetazione più rigogliosa, utilizzata anche per il riconoscimento di elementi relativi all'attività antropica;
3	0,63-0,69 (rosso)	Utilizzata per discernere le diverse specie di piante, e strutture geologiche e per il riconoscimento di elementi relativi all'attività antropica;
4	0,76-0,90 (infrarosso)	indicazioni sulla quantità di biomassa presente in una scena, consente di ricavare informazioni sulla qualità dei raccolti;
5	1,55-1,74 (medio infrarosso)	sensibile alla quantità d'acqua presente nelle piante, ed è quindi studio della salubrità della vegetazione; è una delle poche bande che permette di discriminare le nuvole dalla neve e dal ghiaccio;
6	10,40-12,50 (infrarosso termico)	studio sull'intensità del calore, l'inquinamento termico e l'attività geotermica;
7	2,08-2,35 (medio infrarosso)	discrimina i vari tipi di rocce e suoli, così come l'umidità presente nel suolo o nella vegetazione.

TABELLA 1: Bande del Landsat TM

- bande 3, 2, 1; permettono di creare delle immagini in veri colori, *true color composite*, ossia così come appaiono all'occhio umano;
- bande 4, 3, 2; creano un'immagine in falsi colori (*false color composite*) che evidenzia gli oggetti con colori e contrasto diversi da quelli percepiti nel visibile per cui, per esempio, la vegetazione appare nelle diverse tonalità del rosso, l'acqua appare blu notte o nera ecc.
- bande 5, 4, 2; consentono di creare falsi colori (*pseud color composite*) ottenendo un colore che non è quello percepito nel visibile, ad esempio le strade appaiono rosse, la vegetazione blu e l'acqua gialla.

Il primo satellite *Système Pour l'observation de la Terre*, SPOT, creato dal Centro Nazionale Francese d'Etudes Spatiales, CNES, è stato lanciato all'inizio del 1986. L'ultimo della serie è stato lanciato nel 1993. I sensori operano in due modalità, pancromatica e multispettrale. Il satellite SPOT può osservare una stessa area con intervalli di 26 giorni, ed è caratterizzato da un FOV che varia da 60 a 80 km per le viste off nadir all'altezza di 832 km.

Il satellite SPOT in modalità multispettrale, SPOT XS, ha una risoluzione geometrica di 20\*20 m, 8 bit di risoluzione radiometrica e contiene 3 bande come riportato in tabella 2.

Un altro satellite utilizzato per lo studio della terra è il NOAA ad orbita eliosincrona bassa (circa 850 km), caratterizzato da una bassa risoluzione geometrica e che consente però un'alta risoluzione temporale. Le immagini vengono acquisite dal sensore AVHRR avente 5 bande spettrali rispettivamente nel rosso, infrarosso vicino, medio e due nel termico.

Dalla fine degli anni '70 sono presenti anche satelliti dotati di sensori radar. Il radar utilizza il principio di emissione e successiva registrazione di onde di lunghezza d'onda compreso tra 0,1 cm ed 1 m. E' dunque un sensore attivo in grado di attraversare livelli dell'atmosfera costantemente perturbati e di rilevare la superficie terrestre anche con copertura nuvolosa e nelle ore notturne. Il radar è costituito da un trasmettitore che emette ad impulsi un fascio di onde elettromagnetiche e da un ricevitore che misura la radiazione di ritorno riflessa dai corpi al suolo.

Il SAR (Synthetic Aperture Radar) il primo sistema radar montato su satellite è costituito da un'antenna corta, ma in grado di riprodurre l'effetto di un'antenna molto lunga attraverso lo sfruttamento dell'effetto Doppler durante il movimento del satellite. L'interferometria SAR fa uso di due antenne separate da una distanza fissa; questo consente di valutare la differenza di fase tra i due segnali legata alla variazione di altezza del punto di misurazione. E' così possibile ricostruire pixel per pixel il modello numerico del terreno (DEM-Digital Elevation Model).

Tra i satelliti dotati di sistemi radar vi sono: l'ERS (European Remote Sensing radar) e RADARSAT.

### Sviluppi futuri

La nuova generazione di satelliti aumenterà le potenzialità del telerilevamento grazie ad immagini ad alta risoluzione. Il satellite più rappresentativo di questa serie è l'EROS, di prossimo lancio, con orbita eliosincrona e con risoluzione temporale di circa una settimana, che sarà caratterizzato da una risoluzione geometrica di 1,8 m dall'altezza di circa 450 km; il suo FOV è di 12,5

km, le immagini potranno essere riprese anche off nadir con un angolo massimo di 45° in ogni direzione.

I miglioramenti più evidenti apportati dall'alta risoluzione si avranno nella cartografia, nell'urbanistica, e nel catasto. Si prevede una minimizzazione dei costi e dei tempi di elaborazione delle immagini rispetto a riprese aeree su vaste zone.

### I sistemi da aereo

Le riprese aeree possono essere ricondotte a tre tipi fondamentali:

- con strumenti fotografici tradizionali e fotogrammetrici per la produzione di foto stereoscopiche;
- con una o più videocamere nel visibile e/o nell'infrarosso;
- con sistema a scansione multi-spettrale digitale che riprende la stessa scena contemporaneamente a più intervalli spettrali compresi tra il visibile e l'infrarosso vicino, medio e termico.

Tra i sensori multispettrali di rilevante importanza è il sistema a scansione MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer), dotato di 102 canali di cui 20 nel visibile, otto nell'infrarosso, 64 nell'infrarosso medio e 10 nell'infrarosso termico. La scelta dei canali è stata fatta per soddisfare le esigenze della ricerca per applicazioni in discipline scientifiche quali: botanica, scienze agrarie, geologia,

pedologia, idrogeologia, oceanografia e scienze atmosferiche.

### Le applicazioni

Le applicazioni delle informazioni ottenute da dati telerilevati sono molteplici: dall'idrogeologia in cui le immagini possono essere utilizzate per lo studio dell'umidità del suolo, per la valutazione del bilancio idrogeologico e per il monitoraggio di bacini; alla agricoltura, consentendo inventari e previsioni delle rese; allo studio della vegetazione mediante l'individuazione delle tipologie presenti, la valutazione dei danni alle foreste ed il monitoraggio degli incendi.

Nella geologia le immagini satellitari permettono studi litologici, geomorfologici, geotermici e monitoraggio di fenomeni di dissesto.

Nell'archeologia è possibile la localizzazione di siti di interesse storico.

Per i problemi ambientali, il telerilevamento consente: individuazione di discariche e di cave, valutazione dell'inquinamento costiero, monitoraggio dell'abusivismo edilizio, delle aree alluvionate e stima del rischio alluvioni.

Un importante uso dei dati telerilevati è quello fatto nella fotogrammetria che consente la generazione DEM. L'uso del radar consente, inoltre, la navigazione in presenza di iceberg dandone la localizzazione con qualsiasi condizione atmosferica.

### Bibliografia

*Gomasca*, Introduzione al telerilevamento e GIS per la gestione delle risorse ambientali, 1997.

*Lillesand-Kiefer*, Remote sensing and image interpretation, 1994.

*Tomoyuki Ishida*, "Estimation of Complex Refractive index of Soil Particles and Its Dependence on Soil Chemical Properties", Remote sensing Environ. 38: 173-182 (1991)

ANDREA PETRICONO,

si è laureato in geologia nel 1983 presso l'Università "La Sapienza" di Roma.

Ha lavorato nel campo del telerilevamento presso Eurimage S.c.r.l.,

Telespazio D.p.a. e F.A.O..

Attualmente è responsabile del settore commerciale della IPT.

ALESSANDRO GUERRA,

si è laureato in ingegneria dell'ambiente e delle risorse nel 1998 presso

l'Università "La Sapienza" di Roma.

Ha effettuato ricerche nell'ambito del monitoraggio delle acque costiere del Mediterraneo attraverso l'uso di dati telerilevati.

Tecnico specializzato nella realizzazione di sistemi informativi territoriali, dopo la frequentazione di diversi stage, attualmente lavora presso la società IPT.

BANDA	RANGE ( $\mu\text{m}$ )	APPLICAZIONI
1	0,50-0,59 (verde)	corrisponde alla riflettanza verde della vegetazione più rigogliosa;
2	0,61-0,68 (rosso)	discriminazione delle varie specie di piante e per il riconoscimento di strutture geologiche;
3	0,79-0,89 (vicino infrarosso)	indicazioni sulla quantità di biomassa presente in una scena, consente di ricavare informazioni sulla qualità dei raccolti.

TABELLA 2: Bande utilizzate dal satellite SPOT