

IL TELERILEVAMENTO PER L'OSSERVAZIONE DEL NOSTRO PIANETA DALLO SPAZIO (2)

MAURIZIO FEA, European Space Agency (ESA) - ESRIN, Frascati

Le orbite dei satelliti per il telerilevamento

I satelliti per l'osservazione della Terra volano in genere lungo orbite praticamente circolari, in modo da permettere la generazione di lunghe serie temporali di dati misurati sempre dalla stessa distanza rispetto alla superficie media della Terra. Tra le innumerevoli specie di orbita possibili, due sono di particolare interesse per il telerilevamento: quelle geostazionarie e quelle eliosincrone.

Le **orbite geostazionarie** hanno il piano orbitale coincidente con il piano equatoriale terrestre e un periodo orbitale di 1440 minuti (24 ore), pari quindi al periodo di rotazione terrestre; di conseguenza, l'altitudine media di volo è di 35.800 km, quota alla quale i satelliti hanno la stessa velocità angolare della Terra. Pertanto i satelliti seguono il nostro pianeta nel suo moto di rotazione, apparendo a un osservatore al suolo "stazionari" nel cielo, cioè sempre sulla verticale della stessa posizione geografica. I sensori, a bordo di satelliti geostazionari, permettono allora osservazioni molto frequenti dello stesso territorio, con la possibilità di esaminare in maniera accurata fenomeni ad evoluzione rapida. Queste osservazioni, però, essendo eseguite da distanze molto grandi (quasi sei volte il raggio terrestre), forniscono sì una visione sinottica molto ampia e pressoché continua, ma con minore dettaglio locale.

Le **orbite eliosincrone** hanno piani orbitali quasi polari, cioè quasi perpendicolari al piano equatoriale; la leggera inclinazione del piano orbitale, di circa 8° rispetto a quello polare vero che conterrebbe l'asse terrestre, permette al satellite di passare su ogni luogo sempre alla stessa ora solare locale, ad un'altitudine costante nella fascia 500-1500 km, scelta a seconda del sistema spaziale. Il periodo orbitale varia tra i 95 e 110 minuti (i satelliti ERS ed Envisat dell'ESA volano a 780 km di quota e hanno un periodo orbitale di 100 minuti). Di conseguenza, poiché i piani orbitali delle orbite eliosincrone rimangono quasi fissi rispetto alle stelle, mentre la Terra sottostante ruota verso Est, i satelliti in queste orbite osservano "fasce" di territorio sempre diverse nel loro moto da una regione polare all'altra. Soltanto dopo un certo numero di orbite, e quindi in un tempo più o meno lungo, torneranno a ripassare sulle stesse "fasce" di territorio già osservate in precedenza, per un nuovo ciclo orbitale. Queste "fasce" appaiono appena oblique rispetto ai meridiani, di circa 8°, a causa della succitata piccola inclinazione del piano orbitale; di qui la necessità di stabilire in modo rigoroso i riferimenti geografici dell'immagine, come si vedrà in seguito.

I sensori, imbarcati sui satelliti in orbita eliosincrona, osservano perciò il territorio da distanza molto inferiore a quella dei satelliti geostazionari; pertanto possono fornire un dettaglio maggiore sul territorio, ma a intervalli di tempo a volte anche molto lunghi tra un passaggio e quello successivo sulla stessa area. Questa limitazione nel tempo può creare difficoltà informative nel caso di fenomeni che siano in rapida evoluzione.

Da quanto sopra si deduce che la migliore tattica per ricevere informazioni deriva dalla utilizzazione di dati provenienti da più satelliti, possibilmente da una combinazione di satelliti eliosincroni e geostazionari.

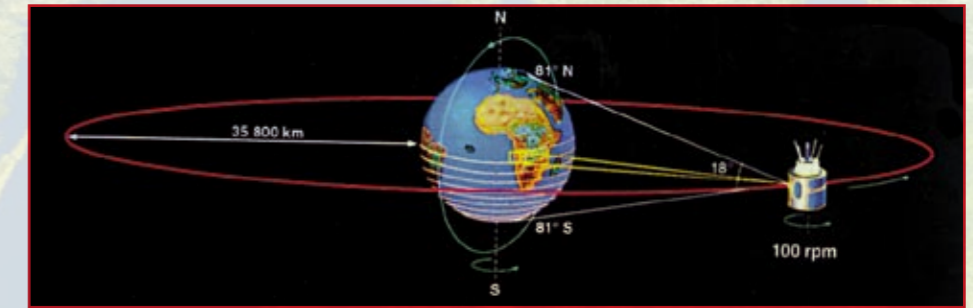
Il cammino del segnale telerilevato nello spazio

Per poter fornire dati utili all'ampia varietà delle applicazioni geofisiche e ambientali, gli strumenti imbarcati sui satelliti per l'osservazione della Terra dallo spazio sono dotati di sensori che operano in una o più delle bande spettrali descritte precedentemente. L'informazione primaria nel telerilevamento lungo l'orbita percorsa dal satellite è il segnale elettrico generato dai sensori in ciascuna di queste bande, la cui intensità è proporzionale alla quantità di energia elettromagnetica in arrivo ai sensori stessi dagli oggetti osservati. Per mantenerne integri la precisione e il contenuto informativo, il segnale è campionato e trasformato a bordo in una serie di numeri da un convertitore analogico/digitale. Ogni numero (detto "byte" in linguaggio informatico) rappresenta il valore dell'energia misurata dai sensori, istante per istante e quindi punto per punto (o, come si vedrà in seguito, "pixel" per "pixel"). Questa serie numerica continua è quindi inviata al suolo, dove un'opportuna rete di stazioni di ricezione acquisisce i dati e li registra su opportuni supporti magnetici e digitali per la successiva elaborazione e distribuzione.

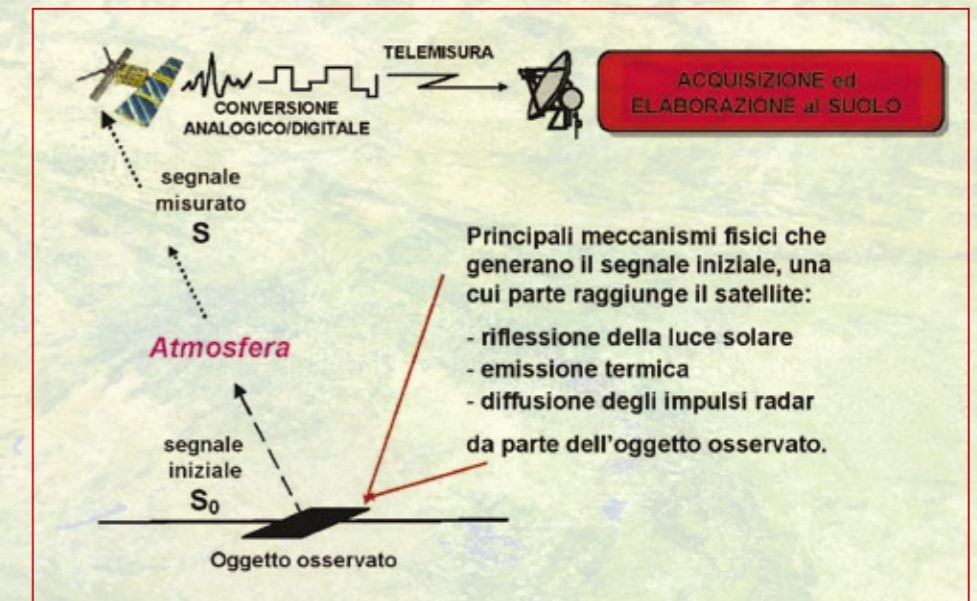
A questo punto è utile una precisazione. Nello schema binario usato nell'informatica, l'accuratezza con cui il segnale è convertito in numeri dipende da quanti "bit" sono usati per codificare il "byte" attraverso la formula: $2^x=N$, dove x rappresenta il numero di bit per byte e N il numero di livelli con i quali si vuole rappresentare la variabilità del segnale tra il valore minimo e quello massimo. Ad esempio, frequentemente si usano 8 bit per ogni byte, quindi $2^8=256$,

il che vuol dire che nel caso della banda dell'infrarosso termico si può ottenere un'accuratezza della misura di temperatura di circa 0.5 °C. Infatti, tra le temperature dell'oggetto più caldo osservabile sulla Terra dallo spazio (circa +60 °C per la sabbia del deserto) e di quello più freddo (circa -70 °C sulla cima delle nubi più alte) ci sono circa 130 °C da rappresentare, cioè proprio 260 livelli se si desidera un'accuratezza di mezzo grado. Qualora si desiderasse l'accuratezza di un grado, basterebbero 130 livelli a rappresentare l'intervallo di 130 °C tra massimo e minimo; quindi basterebbe usare 7 bit per ogni byte, cioè si potrebbe "digitalizzare" il segnale in 7 bit invece che in 8: minore accuratezza, ma anche meno "bit" da trasmettere al suolo! Come si vedrà, anche il volume di dati da trasmettere a terra è un aspetto da studiare.

1. Le orbite caratteristiche dei satelliti di telerilevamento



2. Il cammino del segnale telerilevato, dall'oggetto che lo irradia alla stazione di terra che lo acquisisce



Tab. A - Le categorie di satelliti per l'osservazione della Terra d'interesse in Italia, con la frequenza temporale di rilevamento dei dati sullo stesso luogo e la variabilità di dettaglio geometrico al suolo a seconda del tipo di satellite:

Meteorologia	Geostazionari METEOSAT: ogni 15 o 30 min in orbita polare NOAA: ogni 6-8 ore (dal 2005 anche l'europeo METOP) risoluzione al suolo: da 5 km a 900 m
Risorse terrestri	Landsat, SPOT, ERS, IRS, Radarsat, Envisat, ... frequenza passaggi: da giorni a settimane risoluzione al suolo: da 350 m a 5 m
Altissima risoluzione	IKONOS, QuickBird, EROS, ... frequenza passaggi: ogni 2 o 3 giorni risoluzione al suolo: da 4 m a 60 cm

Nella simulazione di un progressivo avvicinamento dallo spazio esterno verso la superficie terrestre (cfr. il precedente numero: *Il mosaico del mondo*), questo inserto mostra il mosaico dell'Europa realizzato integrando i dati acquisiti nel corso dell'estate del 2002 dallo spettrometro MERIS, imbarcato sul satellite *Envisat* dell'ESA. Il mosaico è composto di 85 immagini acquisite da MERIS nella successione dei passaggi orbitali sull'Europa e visualizzate in colore "vero", con la banda 2 (442,5 nanometri o miliardesimi di metro, ovvero 0,4425 μ m) nel Blu, la banda 5 (560 nm) nel Verde e la banda 7 (665 nm) nel Rosso. Il colore "vero" permette di visualizzare la diversa capacità di riflettere la luce solare delle varie zone della superficie, da quelle desertiche più brillanti a quelle vegetate e coperte di foreste del centro e del nord. Il colore del mare, che sarebbe dovuto essere nero a causa del totale assorbimento della luce solare da parte dell'acqua, è stato in realtà artificialmente uniformato a quello dello sfondo del mosaico. Infine, il bordo orientale del mosaico mostra che le tracce al suolo delle orbite dei satelliti d'osservazione della Terra non sono parallele ai meridiani terrestri, bensì risultano inclinate di circa 8° per assicurarne l'eliosincronicità.