

IL TELERILEVAMENTO PER L'OSSERVAZIONE DEL NOSTRO PIANETA DALLO SPAZIO (5)

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

La co-registrazione di più immagini

La creazione di un'immagine che sia il risultato di operazioni fra altre immagini, per esempio media di varie immagini o somma di diverse bande spettrali, presuppone la co-registrazione delle immagini di partenza, necessaria perché alle stesse coordinate in ciascuna immagine corrisponda lo stesso pixel dello stesso oggetto. L'operazione si esegue come nel caso della georeferenziazione: si sceglie un'immagine di riferimento e su questa dei Punti di Controllo, individuabili anche nelle altre immagini. Poi, si co-registra ciascuna immagine su quella di riferimento, che spesso è quella già georeferenzata, facendone corrispondere le coordinate dei Punti di Controllo.

L'istogramma multidimensionale

L'analisi dei dati misurati in diverse bande spettrali è molto utile per separare i vari oggetti presenti in un'immagine e classificarli. Oggetti che si comportano nello stesso modo in una banda spettrale, come appaiono nello stesso tono di grigio nella banda termica quelli che hanno la stessa temperatura (ad esempio il mare e la spiaggia all'alba), si possono invece riconoscere come diversi in un'altra banda spettrale, perché hanno per esempio una diversa riflettanza e quindi un diverso tono di grigio nel Visibile (nero il mare che assorbe tutte le lunghezze d'onda della luce solare nella banda del Visibile, praticamente bianca la spiaggia che invece le riflette bene). Nell'istogramma bidimensionale VIR-TIR mare e spiaggia appaiono quindi come due gruppi di pixel separati dalla riflettanza in ascisse sulla linea di stessa temperatura in ordinate (Fig. 1).

La firma spettrale di un oggetto

Da quanto fin qui esposto, appare chiaro che ogni oggetto si comporta in un suo modo specifico al variare della lunghezza d'onda, anche se in alcune bande spettrali il suo comportamento può farlo assomigliare ad un altro oggetto. È quindi di estrema utilità conoscere a priori la cosiddetta *firma spettrale* di un oggetto, che può essere costruita con misure radiometriche eseguite sia in laboratorio sia sul terreno: questa firma caratteristica costituisce infatti l'insieme dei "dati anagrafici spettrali" di quell'oggetto e ne permette spesso il riconoscimento e la classificazione nelle immagini telerilevate (Fig. 2).

La teoria del colore e la visualizzazione delle immagini

Lo schermo sul quale si visualizzano le immagini è uno schermo televisivo, quindi controllato da tre "cannoni elettronici" che regolano l'intensità dei tre colori principali (rosso, verde e blu) in ciascuno degli innumerevoli punti di cui esso è composto. Quando i tre cannoni inviano la stessa intensità di segnale in ciascuno dei tre colori il punto si illumina in tonalità di grigio: dal bianco quando l'intensità è massima, al grigio scuro quando l'intensità è bassa, al nero quando non c'è segnale. Altrimenti, il punto s'illumina di un colore principale, ad esempio rosso, quando manca il segnale negli altri due, cioè nel cannone del verde ed in quello del blu. Oppure si illumina di un colore complementare quando manca il segnale di un colore principale: giallo (rosso + verde) quando manca il segnale nel cannone del rosso, o di ciano (verde + blu) quando manca il rosso, di magenta (rosso + blu) quando manca il verde. La brillantezza del colore è proporzionale all'intensità del segnale: un giallo brillante indica un segnale alto sia nel cannone del rosso sia in quello del verde, mentre un giallo spento indica un segnale basso sia nel rosso sia nel verde. Quanto detto si riferisce solo alla *visualizzazione* sullo schermo televisivo dell'intensità dei segnali telerilevati, indipendentemente dalle bande spettrali usate nel rilevamento dei dati.

In gergo tecnico, i tre cannoni che alimentano lo schermo si chiamano con i nomi dei colori in lingua inglese: *RGB*, nell'ordine *Red*, *Green* e *Blue*.

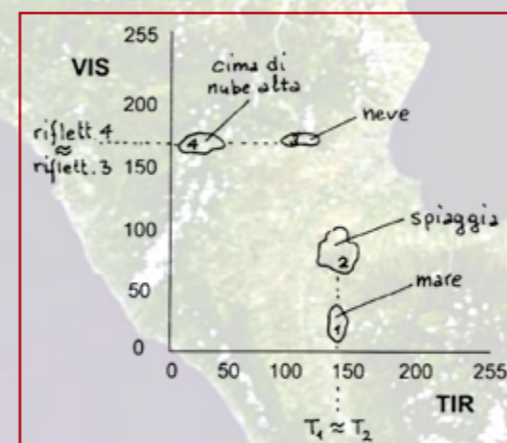
Immagini multispettrali

Gli strumenti di telerilevamento sono quasi sempre multispettrali, cioè osservano lo stesso oggetto simultaneamente in diverse bande spettrali: per esempio, l' "Extended Thematic Mapper" (ETM) del Landsat-7 rileva simultaneamente in 8 bande spettrali: una pancromatica, tre nel Visibile - corrispondenti alle lunghezze d'onda del blu (banda 1), del verde (banda 2) e del rosso (banda 3) -, una nell'Infrarosso Vicino (banda 4), due nell'Infrarosso Medio (banda 5 e banda 7), una nell'Infrarosso Termico (banda 6). In tal modo, dall'analisi integrata delle varie bande si possono spesso riconoscere le firme spettrali degli oggetti osservati e quindi classificarli. Le *immagini multispettrali* aiutano molto in questo compito. Un'immagine multispettrale è costruita integrando immagini rilevate in tre bande spettrali diverse. Ad esempio, una combinazione potrebbe essere: un'immagine nella banda del rosso del Visibile, una in quella del verde ed una in quella del blu. Oppure, un'altra combinazione: un'immagine nell'Infrarosso Vicino, una nel rosso del Visibile e una nel verde. Al momento della proiezione sullo schermo, si assegna a ciascun'immagine un cannone di colore (RGB) dello schermo: ogni pixel dell'immagine multispettrale appare sullo schermo con il colore che risulta dall'assegnazione delle bande spettrali ai cannoni dei colori (RGB). La prima combinazione fornisce un' *immagine multispettrale in colori veri* (o *reali* o *naturali*), perché c'è corrispondenza esatta tra i colori originari

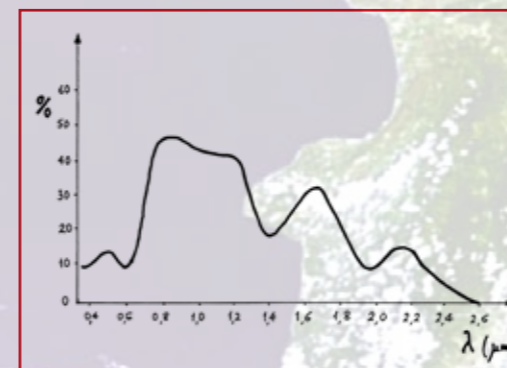
dell'arcobaleno nelle bande del Visibile ed i colori di visualizzazione RGB: il rosso visualizzato tramite il cannone del *Red*, il verde con quello del *Green*, il blu con quello del *Blue*. Tenendo presente i numeri corrispondenti alle bande dell'ETM, questa combinazione si esprime così: RGB 3,2,1 (Fig. 3). Tenendo conto di quanto detto sulla teoria del colore, ciascun pixel ha un colore derivante dal peso relativo di ciascun colore RGB, cioè di ciascuna banda. Ad esempio, i pixel relativi alla vegetazione boschiva sono sul verdone scuro: "scuro" perché l'energia solare nel visibile è fortemente assorbita dalle foglie per attivare la funzione clorofilliana e quindi poca ne viene riflessa, e "verdone" perché, proprio a causa della funzione clorofilliana più attiva alle lunghezze d'onda del blu e del rosso, prevale la riflettanza nella banda 2, che rappresenta appunto la luce solare riflessa nella lunghezza d'onda del verde, visualizzata dal cannone del *Green*.

Cambiando l'assegnazione delle bande ai cannoni RGB, la combinazione fornisce un' *immagine multispettrale in falsi colori*, perché la corrispondenza tra colori originari e colori di visualizzazione non è più quella vera, ma sarebbe, per esempio: RGB 2,1,3. La seconda combinazione su citata dà luogo anch'essa ad un' *immagine multispettrale in falsi colori* e si esprime con: RGB 4,3,2. In questo caso, un bosco appare rosso, perché le foglie hanno un'alta riflettanza nell'Infrarosso Vicino e quindi i pixel relativi alla vegetazione boschiva danno un forte segnale nel cannone del *Red*, che perciò domina quelli del *Green* e del *Blue*, che invece sono bassi a causa della suddetta bassa riflettanza delle foglie alle lunghezze d'onda del Visibile.

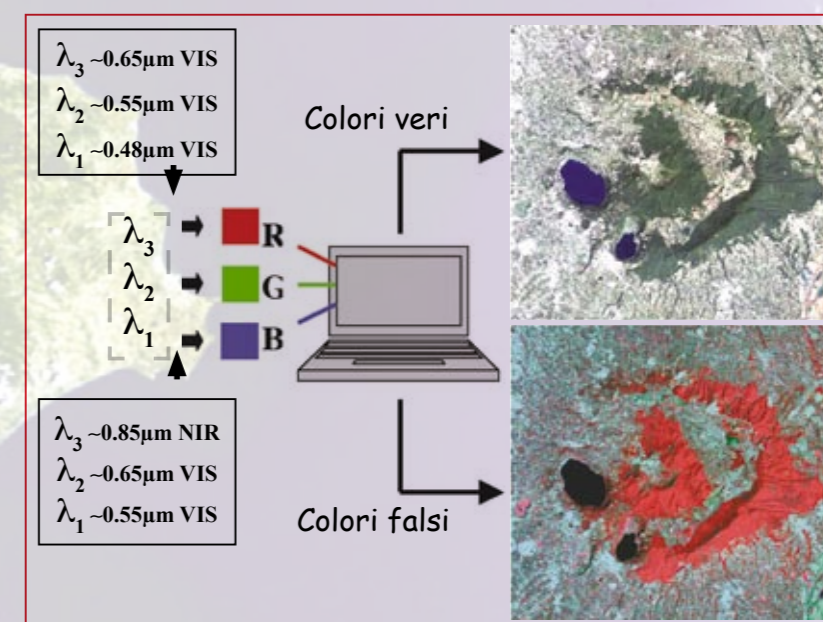
È quindi fondamentale ricordare che l'informazione fisica primaria è data dal fenomeno fisico associato alla lunghezza d'onda delle bande spettrali utilizzate per generare l'immagine multispettrale (riflettanza alle diverse λ , temperatura, rugosità, umidità, ecc.), mentre l'assegnazione dei colori alle singole bande è solo un mezzo per analizzare i dati e visualizzare meglio ciò che più interessa. Infine, è bene notare che il numero e il tipo di bande spettrali utilizzate varia da strumento a strumento.



1. Iistogramma bidimensionale dei valori radiometrici dei pixel nelle bande del Visibile e dell'Infrarosso Termico, relativi allo stesso oggetto.



2. Firma spettrale di una foglia.



3. Visualizzazione di un'immagine in colori "veri" o "reali" o "naturali" e in colori "falsi". I colori "elettronici" usati per visualizzare un'immagine su di uno schermo non vanno confusi con i colori dell'arcobaleno associati alle diverse lunghezze d'onda nella banda del Visibile.

La figura di copertina mostra l'immagine dell'Italia centro-meridionale acquisita il 21 giugno 2003 dallo strumento MERIS imbarcato sul satellite Envisat dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA), e visualizzata in colori "naturali", ponendo la banda 7 nel *Rosso*, la 5 nel *Verde* e la 2 nel *Blu* (RGB 7,5,2). L'immagine illustra bene la diversa natura del suolo e della vegetazione, in gran parte boschiva lungo l'Appennino, sul promontorio del Gargano, sul versante tirrenico e sui rilievi della Calabria e della Sicilia nord-occidentale. Le ampie zone coltivate della Conca del Fucino (in alto a sinistra al centro dell'Appennino), dell'Agro Pontino intorno a Latina, delle pianure vicino a Caserta, Salerno e Foggia appaiono di un colore turchese chiaro. Le Isole Pontine sono individuabili nel Tirreno in alto a sinistra. La caratteristica geografia del Golfo di Napoli è ben riconoscibile, con lo scuro cerchio del cono del Vesuvio, così come lo è quella del Tavoliere delle Murge in Puglia. Le vaste zone urbanizzate delle città più grandi appaiono di colore bianco-azzurro per la grande riflettanza della luce solare da parte del cemento, come nel caso delle città di Bari e di Brindisi in Puglia.