

Telerilevamento ed elaborazione di immagini

Traccia degli argomenti trattati
nel seminario del 28 febbraio 2005

Anno Accademico 2004/2005

Roberto Piuzzo

Telerilevamento

Rilievo di dati a distanza

Nella quotidianità:

si: lettura, fotografia

no: termometro classico a contatto

In campo GIS:

utilizzo di sensori, foto e videocamere montate su aereo o satellite (o altre piattaforme)

Telerilevamento

I vari tipi di sensore rilevano energia elettromagnetica (esistono anche strumenti sensibili al campo magnetico, alla densità e alla gravità terrestri, usati, ad esempio, nella ricerca degli idrocarburi).

L'energia e.m. partecipa di una duplice natura: può infatti essere descritta come particelle (fotoni) in movimento e come onda che si propaga nello spazio.

Telerilevamento

L'energia e.m. viene emessa da tutti i corpi con temperatura superiore allo zero assoluto (0° Kelvin).

È funzione delle caratteristiche del corpo e della sua temperatura.

Ogni corpo, ad una data temperatura, emette energia e.m. con intensità variabile in funzione della lunghezza d'onda.

Telerilevamento

L'energia e.m., vista come fenomeno ondulatorio, viene caratterizzata dalla lunghezza d'onda.

La discriminazione sulla base della lunghezza d'onda, rappresentata su un grafico con un unico asse orizzontale, prende il nome di spettro.

Lo spettro viene diviso in regioni, chiamate bande, distinguendo in tal modo l'energia e.m. in maniera funzionale ai suoi effetti ed al suo utilizzo.

Telerilevamento

Il Sole presenta il massimo di emissione proprio in corrispondenza della banda del visibile.



La banda del visibile può essere rappresentata come un arcobaleno con i tipici colori che sfumano dal blu al rosso, ed essere a sua volta suddivisa in tre bande principali: blu, verde e rosso.

Telerilevamento

L'apparato visivo dell'uomo (occhio e cervello) percepisce unicamente energia e.m. con lunghezza d'onda compresa tra circa 0.4 e 0.7 micrometri (banda visibile).

I sensori per telerilevamento possono essere costruiti in modo tale da percepire energia e.m. con lunghezza d'onda corrispondente a varie parti dello spettro, invisibili all'uomo.

Telerilevamento

L'energia e.m. si propaga nel vuoto alla velocità della luce, ma è influenzata dalla materia.

Quando incontra un corpo può essere:

- riflessa (torna indietro specularmente)
- assorbita (rimane nel corpo sotto forma di calore)
- trasmessa (attraversa il corpo)

Telerilevamento

Quando passa da un corpo ad un altro, l'angolo che il raggio forma con la perpendicolare alla superficie comune ai due materiali cambia a seconda della lunghezza d'onda del raggio incidente.

Da qui il fenomeno della scomposizione della luce tramite un prisma:

la luce solare bianca, passando dall'aria al vetro, viene deviata in misura diversa secondo la lunghezza d'onda, consentendoci in tal modo di percepire l'arcobaleno di colori che così si viene a formare.

Telerilevamento

Dal punto di vista del telerilevamento, la sorgente di energia e.m. per eccellenza è il sole.

Tale energia viaggia nello spazio fino ad incontrare la Terra; qui viene riflessa e successivamente percepita dai sensori montati su aereo o satellite.

In tale contesto, l'atmosfera gioca un ruolo fondamentale, alterando e bloccando le radiazioni, ostacolando in tal modo l'attività d'interesse.

Telerilevamento

L'atmosfera, tramite le particelle che la compongono (vapori, fumi, eccetera), produce fenomeni di diffusione (responsabili ad esempio del colore blu del cielo e bianco delle nubi) e di assorbimento.

Tale interazione dipende dal rapporto tra la lunghezza d'onda della radiazione incidente e il diametro delle particelle.

Telerilevamento

Energia e.m. con determinate lunghezze d'onda viene quasi completamente bloccata dall'atmosfera (pensiamo ad esempio allo scudo protettivo esercitato dall'ozono presente negli strati alti dell'atmosfera nei confronti dei raggi UltraVioletti).

Le porzioni dello spettro che lasciano passare in maniera significativa l'energia e.m. ai fini del telerilevamento prendono il nome di Finestre Atmosferiche.

Telerilevamento

È proprio in corrispondenza delle finestre atmosferiche che vengono progettati i sensori che vanno ad equipaggiare aerei e satelliti per il telerilevamento.

I sistemi che sfruttano l'energia e.m. emessa dal sole per il telerilevamento si chiamano Passivi.

Quelli che invece sono dotati, oltre che di sensori, anche di un emettitore (radar) prendono il nome di sistemi Attivi (e usano onde molto più lunghe dei primi, che non risentono dell'atmosfera).

Telerilevamento

I satelliti per il telerilevamento dotati di sensori passivi (gli unici di cui ci occupiamo in queste note) si dividono in due gruppi:

-
- satelliti meteo
 - satelliti per il rilievo e l'uso del suolo

Telerilevamento

I satelliti meteo (ad es. il Meteosat) generalmente sono posizionati su un'orbita geostazionaria (sono fermi sulla verticale di un punto a terra).

~~Hanno una risoluzione a terra piuttosto scadente, ma~~
possono vedere la stessa zona molte volte nello stesso giorno, consentendo in tal modo di poter seguire l'evolversi della situazione atmosferica.

Telerilevamento

I satelliti per lo studio del suolo (ad es. Landsat e Spot) sono posizionati generalmente su orbite eliosincrone.

~~L'angolo formato~~ dalla congiungente Terra-Sole con il piano dell'orbita del satellite attorno alla Terra si mantiene costante.

Questo significa che il satellite passa sullo stesso punto a terra sempre alla stessa ora (in giorni anche lontani tra loro), pertanto con le stesse condizioni di illuminazione.

Telerilevamento

I due satelliti "classici" a cui fare riferimento sono lo statunitense Landsat (nella versione 5) e il francese SPOT.

Naturalmente è opportuno sapere che sono in orbita molti altri satelliti, costruiti per assolvere diverse finalità, e pertanto con caratteristiche anche sensibilmente diverse da quelle di Landsat e SPOT.

Telerilevamento

Landsat 5

- ripassa sullo stesso punto a terra ogni 16 giorni
- monta tre sensori: MSS, RBV e TM
- il TM (thematic mapper) è il più evoluto
- acquisisce su 7 bande: B,G,R e 4infrarossi tra cui il termico in banda 6
- la risoluzione a terra del pixel è 30m (120m band 6)
- la scena copre un rettangolo di circa 185 km di lato

Telerilevamento

SPOT

- ripassa sullo stesso punto a terra ogni 26 giorni
- monta due sensori gemelli: HRV
- ciascun sensore può funzionare in due modalità:
~~pancromatico o multispettrale~~
- il pancromatico acquisisce su una banda dal verde all'infrarosso vicino, con una risoluzione a terra del pixel di 10m
- il multispettrale acquisisce su tre bande: G, R, nearIR, con una risoluzione a terra del pixel di 20m
- la scena copre un rettangolo di circa 60 km di lato

Telerilevamento

SPOT

I due sensori sono orientabili, dando la possibilità in tal modo di traguardare la stessa zona a terra in orbite diverse, con un angolo tale da consentire riprese utili ogni due o tre giorni.

Inoltre, avvalendosi di tale possibilità, si possono creare delle stereocoppie e ricostruire il modello digitale del terreno.

Infine, usando i sensori nella stessa modalità, posso coprire una striscia larga quasi il doppio (poco meno di 120 km)

Telerilevamento

Il telerilevamento produce rappresentazioni sotto varie forme (ad esempio pellicola chimica fotografica).

~~I sensori di cui ci occupiamo producono, in vari modi e con varie problematiche, che qui non citiamo, delle immagini digitali (ovvero numeriche) di tipo raster, in vari formati, adatte ad essere elaborate da computer con l'uso di programmi sw di vario tipo di diversi produttori.~~

Elaborazione di immagini

Le immagini telerilevate sono rappresentazioni della realtà, e come tali possono contribuire alla costituzione di un Modello, normalmente all'interno di un GIS (Geographic Information System - Sistema Informativo Geografico).

Le immagini digitali si dividono in due grandi gruppi:

- raster
- vector

Elaborazione di immagini

Vector

Ogni cosa rappresentata è un oggetto descritto matematicamente.

~~Ad esempio, un segmento verrà descritto da:~~

- coordinate (x,y,z) del primo vertice
- coordinate (x,y,z) del secondo vertice
- tipo (ad es.: continuo, tratteggiato)
- spessore
- colore
- attributi accessori (ad es.: proprietario, peso)

Elaborazione di immagini

Raster

L'immagine è una matrice di punti chiamati pixel (picture element).

~~Può essere vista~~ come un mosaico di tessere della stessa forma disposte secondo una griglia ortogonale.

Ogni pixel è caratterizzato da un numero, che può essere reso visivamente con un colore o una sfumatura di grigio.

Elaborazione di immagini

Le immagini vettoriali danno l'impressione di una maggiore precisione, a motivo della nitidezza degli oggetti componenti, anche a fronte di notevoli ingrandimenti (zoom in).

Le immagini raster invece colgono le sfumature di ciò che rappresentano, ma inevitabilmente sgranano se ingrandite oltre una certa soglia.

Le immagini telerilevate sono raster. I software GIS utilizzano entrambe i tipi di rappresentazione, facendoli convivere e consentendo di utilizzarli al meglio.

Elaborazione di immagini

Immagini in scala di grigio.

Ogni pixel è caratterizzato da un numero, che viene rappresentato visivamente con una sfumatura di grigio.

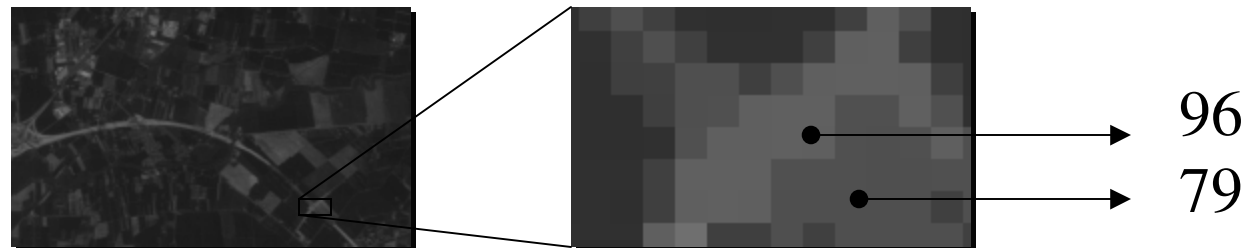
Il numero di sfumature dipende dalla memoria che si assegna a ciascun pixel, espressa in bit, e si indica con il termine Gamma.

Ad es., se assegno al pixel 8 bit, la gamma sarà 256.

Lo zero verrà rappresentato con il nero e il 255 con il bianco.

Elaborazione di immagini

Ogni immagine acquisita da un sensore su una banda è un'immagine in scala di grigio. Questo consente la visione anche di immagini rilevate al di fuori del visibile (tipicamente infrarosso).



La figura rappresenta un ritaglio di immagine Landsat TM banda3 in scala di grigio a 8 bit per pixel.

Elaborazione di immagini

È possibile assegnare ad un'immagine una gamma inferiore di quella originale, disponendo in tal modo di un numero inferiore di sfumature, con in cambio una riduzione dell'occupazione dello spazio su disco.

L'immagine così ottenuta perderà ovviamente parte del contenuto informativo.

Le tonalità non più presenti verranno rese con quelle ad esse più simili, oppure con una mescolanza di tonalità (dithering).

Elaborazione di immagini

8 bit



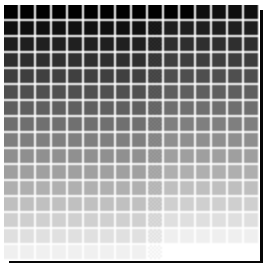
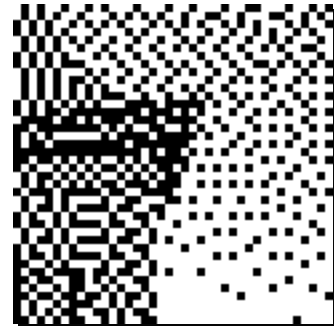
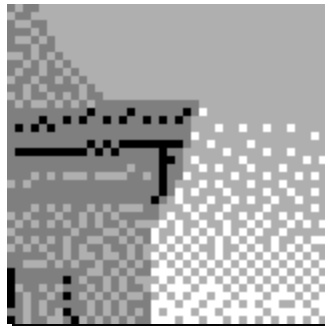
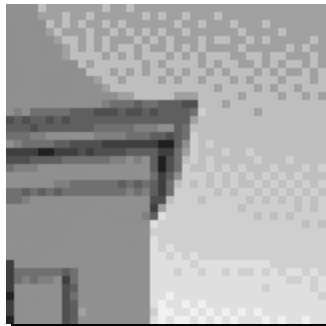
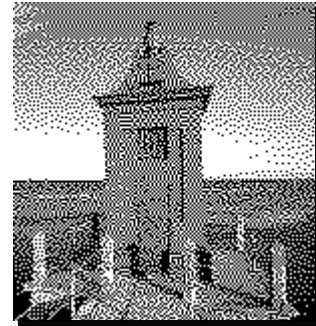
4 bit



2 bit



1 bit



Elaborazione di immagini

Il colore è la sensazione che percepiamo tramite il meccanismo della visione. Il cervello elabora i segnali trasmessi dall'occhio, quando questo viene investito da energia e.m. nella banda del visibile (luce).

I colori esistenti in natura sono virtualmente infiniti, tuttavia possiamo suddividere lo spettro in tre parti, dove le dominanti sono blu, verde e rosso.

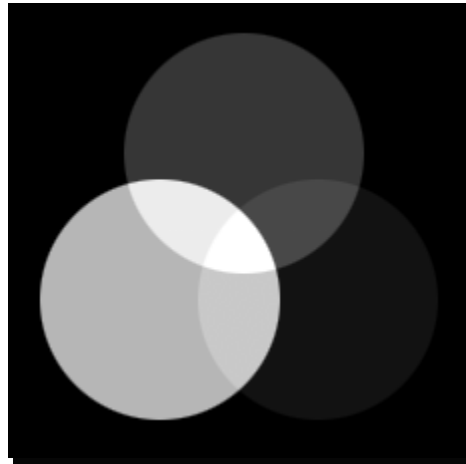
Elaborazione di immagini

Questi tre colori (Primari) possono essere usati per ricostruire gli altri colori mediante il processo della Sintesi Additiva.

Possiamo immaginare di essere in una stanza completamente buia, e di disporre di tre torce elettriche, ciascuna in grado di emettere un fascio di luce rossa, blu o verde.

Elaborazione di immagini

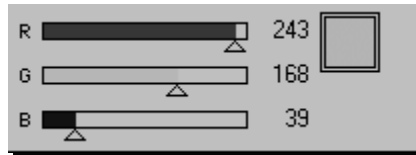
Il nero viene percepito come assenza di luce, il bianco come compresenza di R,G,B alla massima intensità.



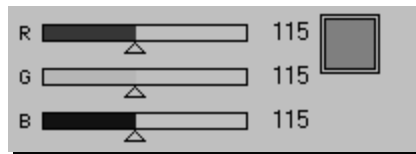
Coppie di colori primari creano colori che definiamo Secondari: giallo, ciano e magenta.

Elaborazione di immagini

Ogni altro colore viene definito da diverse proporzioni di rosso, verde e blu.



Quando i tre primari sono presenti in ugual misura otteniamo sfumature di grigio.



Elaborazione di immagini

I tre colori secondari della sintesi additiva (giallo, ciano e magenta) possono essere usati per ricostruire gli altri colori mediante il processo della Sintesi Sottrattiva.

Possiamo immaginare di mescolare i colori a tempera, o quelli della pasta per modellare, partendo dal bianco a cui aggiungiamo gli altri pigmenti, perdendo in tal modo luminosità.

Elaborazione di immagini

Il bianco viene percepito come situazione di partenza, il nero come compresenza di C,M,Y alla massima intensità.



Coppie di colori primari creano colori che definiamo Secondari: rosso, verde e blu.

Elaborazione di immagini

Ogni altro colore viene definito da diverse proporzioni di ciano, magenta e giallo.

Quando i tre primari sono presenti in ugual misura otteniamo sfumature di grigio.

I colori primari della sintesi additiva sono i secondari della sintesi sottrattiva, e viceversa.

La sintesi additiva viene usata, ad es., nei monitor, mentre la sintesi sottrattiva viene usata in stampa, dove con l'aggiunta dell'inchiostro nero (CMYK) il processo prende il nome di Quadricromia.

Elaborazione di immagini

Per poter sfruttare le immagini telerilevate è opportuno che queste siano corrette da vari tipi di errori e georiferite, ovvero vengano appoggiate su un sistema di riferimento.

Di questo, per il momento, non ci occupiamo.

Elaborazione di immagini

Le immagini telerilevate possono essere oggetto di due attività principali:

- classificazione
- interpretazione

La classificazione è un procedimento in base al quale ogni pixel viene attribuito ad una classe di interesse (ad es.: bosco, prato, coltivazioni, urbanizzato, sabbia, mare, laguna).

L'interpretazione è un processo di riconoscimento visivo fatto da personale esperto, che si avvale di tecniche di miglioramento delle immagini.

Elaborazione di immagini

Le tecniche di miglioramento delle immagini si dividono in due gruppi principali, basandosi su:

- operatori globali
- operatori locali

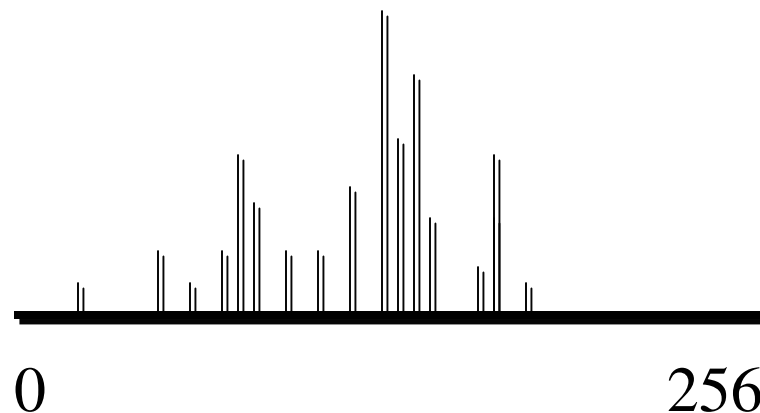
Le prime riguardano l'immagine nella sua interezza e si appoggiano su una descrizione statistica della stessa.

Le seconde agiscono sui pixel dell'immagine considerando i rapporti degli stessi (uno ad uno) con i pixel vicini.

Elaborazione di immagini

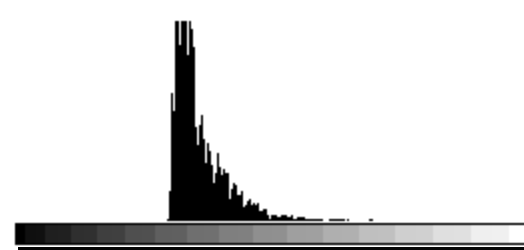
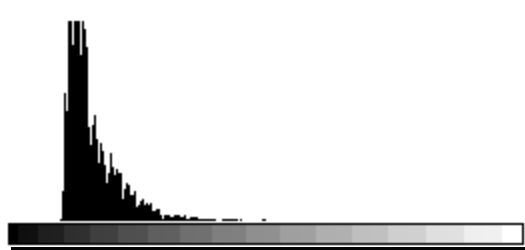
Da un punto di vista statistico un'immagine raster può essere descritta dal suo Istogramma.

Si tratta di un grafico che presenta sull'asse delle ascisse la gamma delle sfumature di grigio, e sull'asse delle ordinate la frequenza con cui i valori occorrono nell'immagine stessa.



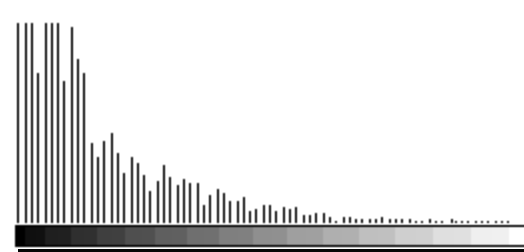
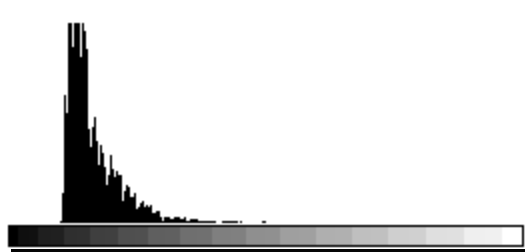
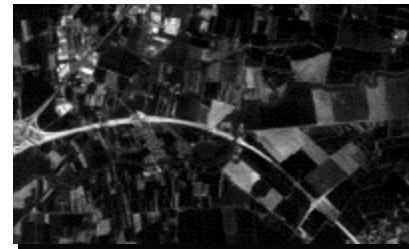
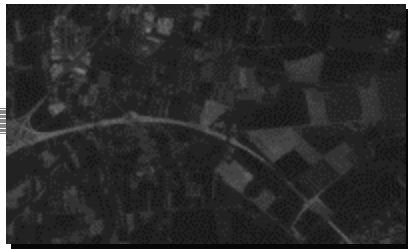
Elaborazione di immagini

Aumentare la luminosità di un'immagine significa traslare l'istogramma verso destra.



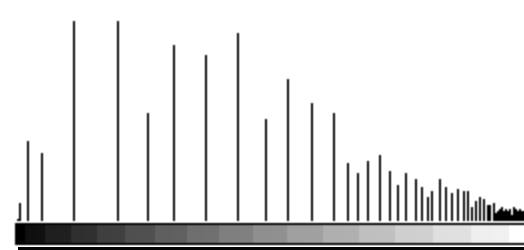
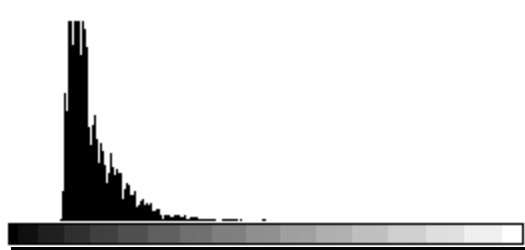
Elaborazione di immagini

Aumentare il contrasto di un'immagine significa allontanare le barre dell'istogramma le une dalle altre.



Elaborazione di immagini

Equalizzare un'immagine significa ridistribuirne i valori di grigio in modo tale da "appiattirne" l'istogramma, utilizzando tutta la gamma e aumentando il contrasto.



Elaborazione di immagini

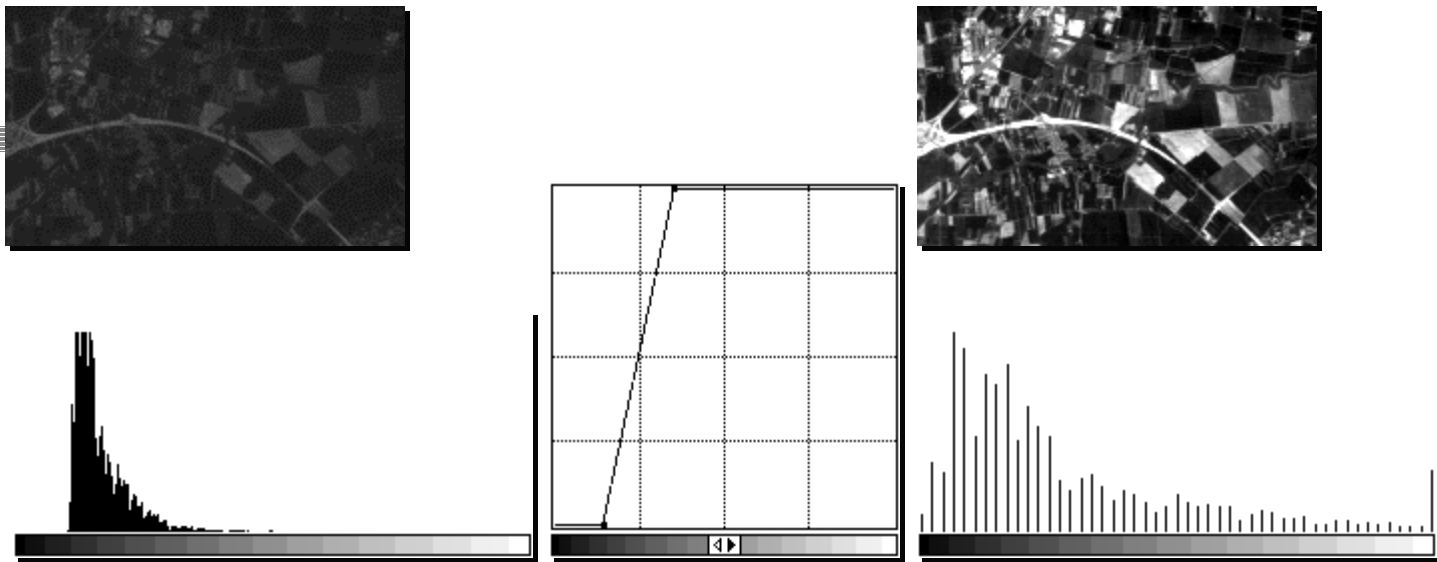
Per contrastare l'immagine agendo sull'istogramma, la metodologia sulla quale l'operatore ha il pieno controllo è costituita dalle varie forme di stretching.

Lo stiramento dell'istogramma avviene in base ad una funzione di trasformazione, e l'operatore sceglie quella che meglio si adatta all'immagine da migliorare.

Quando si ha un accumulo di frequenze sul bianco o sul nero (con relativa perdita di informazione) si parla di saturazione.

Elaborazione di immagini

Stretching lineare. Le soglie si posizionano ai margini della parte di istogramma con il contenuto informativo d'interesse.



Elaborazione di immagini

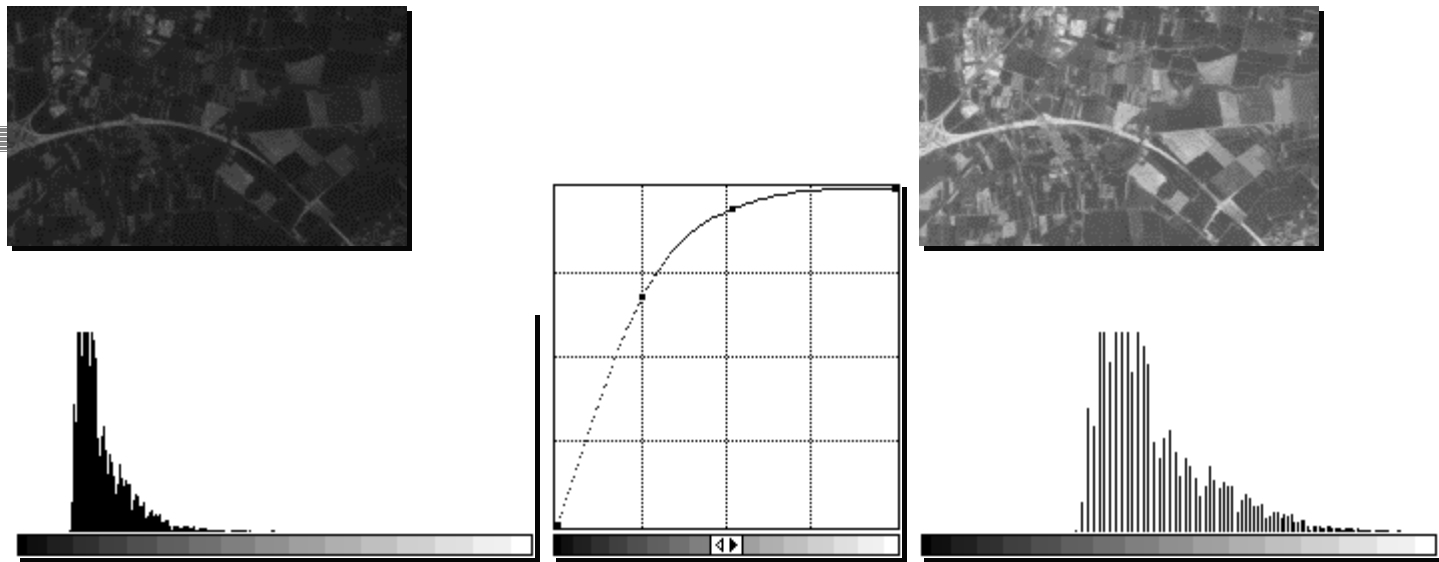
Stretching lineare a tratti.

La funzione di trasformazione è una sorta di scalinata dove le pedate sono orizzontali, e le alzate sono inclinate (come nell'esempio precedente).

Serve particolarmente per migliorare immagini con istogramma bimodale.

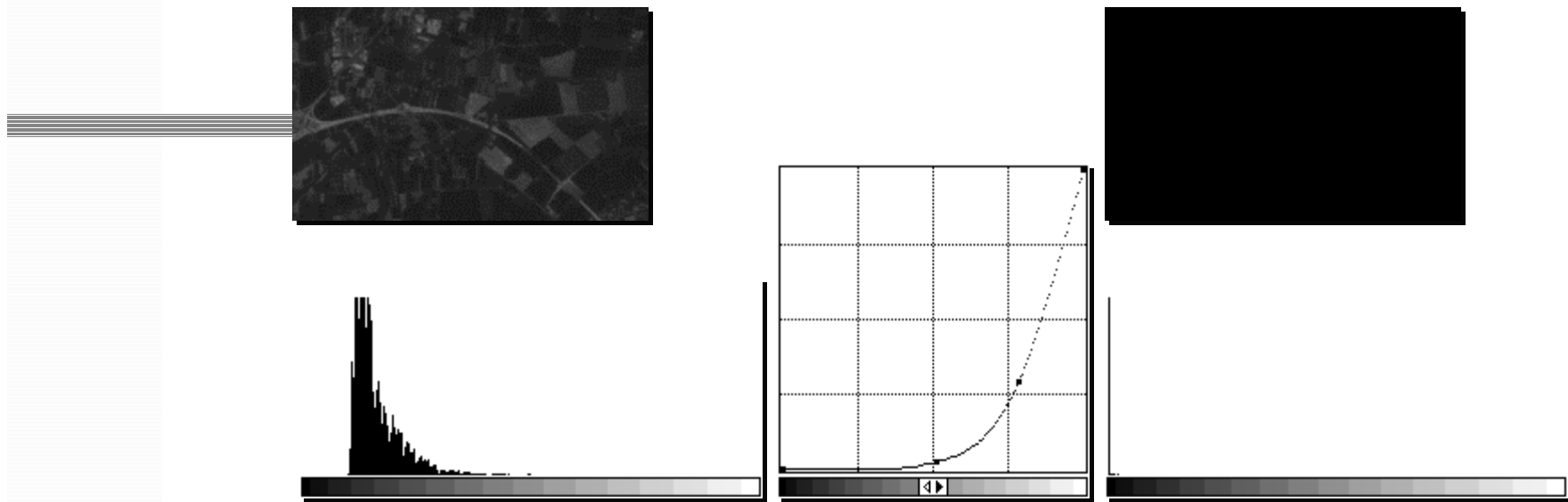
Elaborazione di immagini

Stretching logaritmico. Migliora le parti scure dell'immagine.



Elaborazione di immagini

Stretching logaritmico. Migliora le parti chiare dell'immagine.



Elaborazione di immagini

Operatori locali.

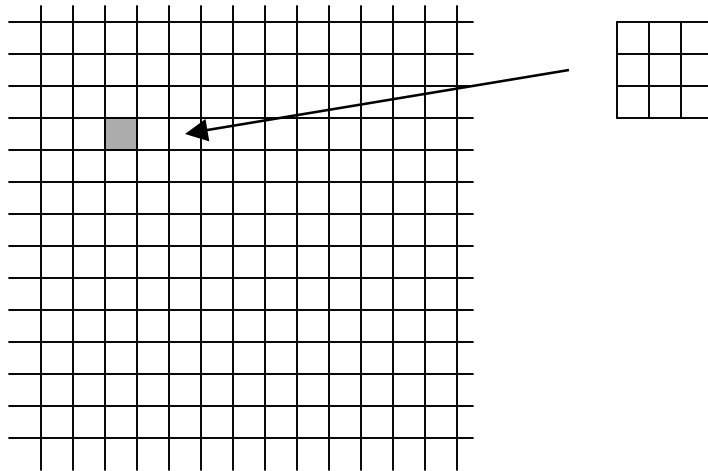
I filtri di convoluzione sono delle matrici che contengono dei coefficienti (nel caso più semplice) che si applicano ad un pixel alla volta (su tutta l'immagine o l'area selezionata) e ai pixel vicini.

La forma della matrice può variare, ma più comunemente ritroveremo matrici quadrate 3x3, centrate sul pixel da modificare.

Elaborazione di immagini

Tramite i filtri è possibile migliorare (localmente) il contrasto di un'immagine, oppure, al contrario, peggiorarlo (sfumandola).

O, ancora, individuare andamenti, eliminare rumore, eccetera.

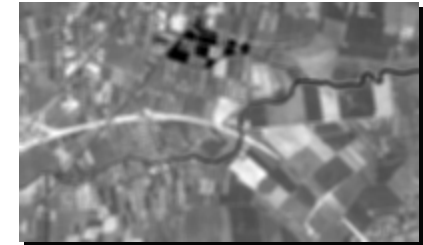


Il valore del pixel in evidenza viene modificato tenendo conto anche del valore degli otto pixel adiacenti, tramite i coefficienti del filtro.

Il filtro viene applicato a tutti i pixel dell'immagine, spostandosi su questa e generandone una nuova.

Elaborazione di immagini

Per migliorare il contrasto, il valore del pixel viene ancor più differenziato da quello dei pixel adiacenti, mentre per lisciare l'immagine il valore del pixel viene avvicinato a quello dei pixel adiacenti con, ad esempio, un'operazione di media.



	-1	
-1	5	-1
	-1	

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

Elaborazione di immagini

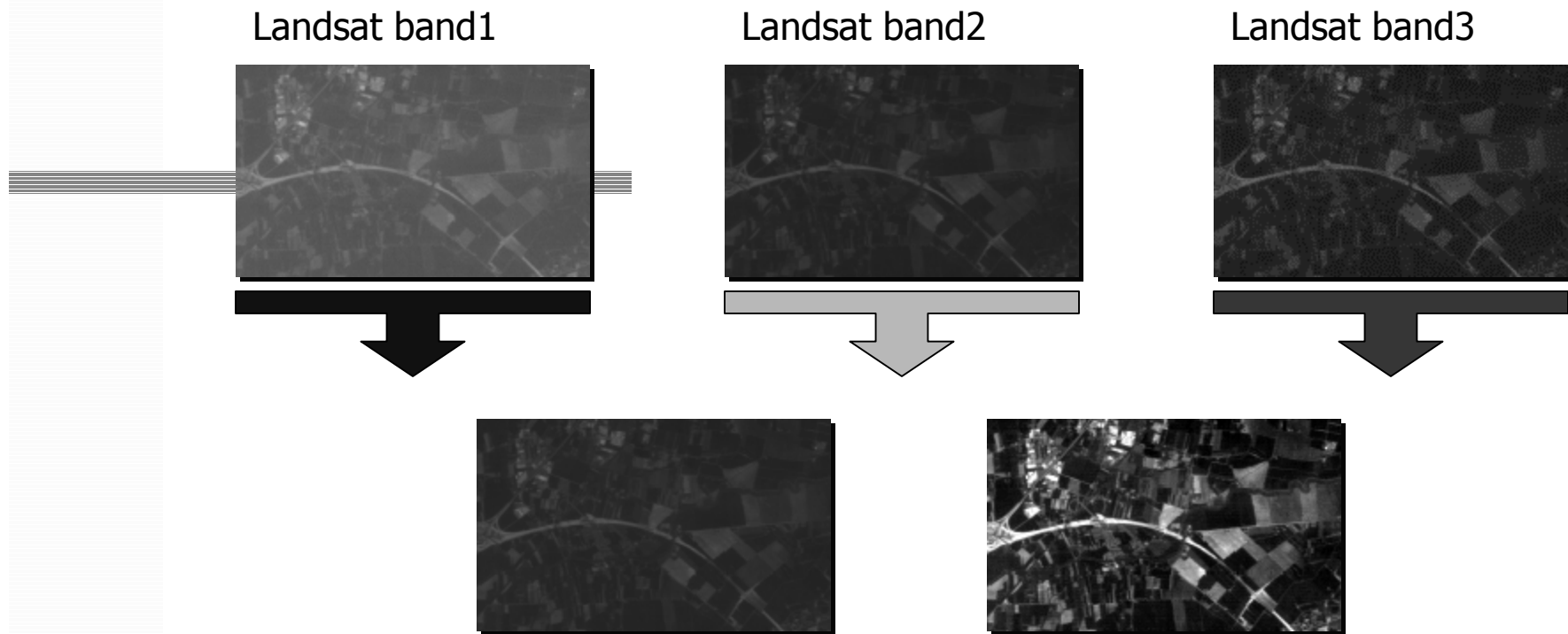
Composizione di bande.

È possibile appoggiare sui canali del sw di elaborazione d'immagini le bande di un'immagine multispettrale, allo scopo di ottenere un'immagine a colori.

Mettendo sul canale del blu la banda acquisita nel blu, e facendo la stessa cosa con i canali e le bande del verde e del rosso, tramite un'operazione di sintesi additiva del colore, si ottiene una composizione che prende il nome di Vero colore. Ogni altra composizione prende il nome di Falso colore.

Elaborazione di immagini

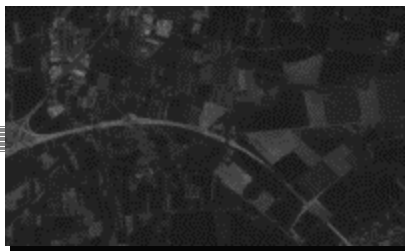
Vero colore. L'immagine (migliorata con stretching lineare) appare simile a quello a cui siamo abituati.



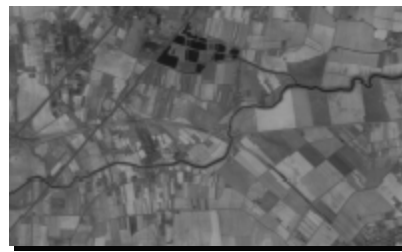
Elaborazione di immagini

Falso colore. L'immagine (migliorata con stretching lineare) appare con colori innaturali.

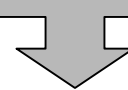
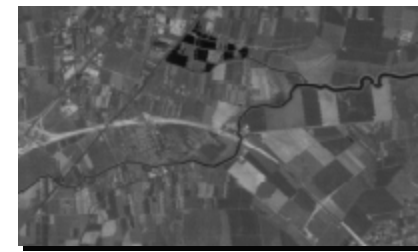
Landsat band3



Landsat band4



Landsat band5



Elaborazione di immagini

Due parole sulla classificazione.

Classificare un'immagine significa partirla in un numero adeguato di insiemi tra loro disgiunti, tali che la loro unione dia l'immagine intera.

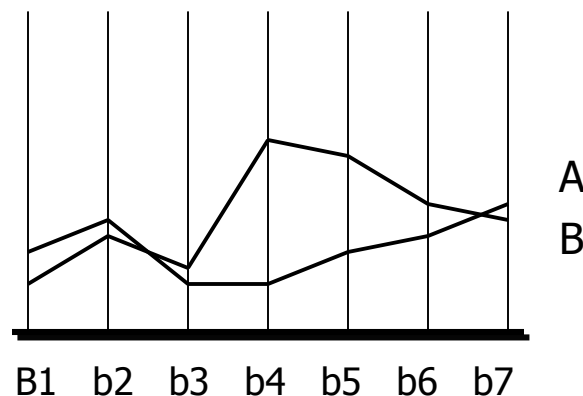
Ogni pixel pertanto apparterrà ad una sola classe (eventualmente alla classe "non classificato").

Questo processo si basa sul fatto che oggetti appartenenti a classi diverse hanno una risposta diversa, e caratteristica, alle radiazioni che li investono, a seconda della loro lunghezza d'onda.

Elaborazione di immagini

Si definisce Firma Spettrale di un oggetto la risposta tipica che tale oggetto presenta alle varie lunghezze d'onda.

I procedimenti di classificazione cercheranno di utilizzare le bande dove oggetti diversi presentano risposte diverse, per poterli discriminare.



Nell'esempio
la banda 4 e la banda 5
presentano le risposte
che maggiormente si
differenziano per
discriminare oggetti A
da oggetti B

Elaborazione di immagini

Distinguiamo due principali tipologie di classificazione:

- supervised
- unsupervised

La prima richiede un intervento a priori dell'esperto che individua sull'immagine delle zone note (Training sites) che fungeranno da esempio per le rispettive classi.

La seconda viene fatta alla cieca da un algoritmo che produce un certo numero di aggregazioni sulla base delle quali interviene poi l'esperto nel formare le classi.

Elaborazione di immagini

Entrambe i procedimenti si realizzano con criteri che qui non trattiamo.

In ogni caso il procedimento di classificazione può riguardare l'utilizzo di più immagini, provenienti da vari sensori, e ottenute su varie bande.

Richiede esperienza, verifiche a terra, padronanza delle tecniche di miglioramento e mascheratura.

Elaborazione di immagini

L'elaborazione di immagini telerilevate prevede la soluzione di problemi di posizionamento delle stesse su un sistema di riferimento (georiferimento).

Presenta problemi legati alla disponibilità temporale delle stesse, alla coregistrazione, alla considerazione di variabili morfologiche, ed altro ancora.

È una disciplina che ha una forte correlazione con molte altre attività, e, come i GIS con i quali condivide molti aspetti, si presta ad essere utilizzata in molti campi diversi, con varie finalità.

Elaborazione di immagini

La disponibilità di dati GPS, di hardware e software sempre più completi, potenti ed economici, e i nuovi satelliti, citiamo ad esempio Ikonos, con prestazioni assai migliori a quelli di solo pochi anni fa (1 metro di risoluzione a terra pancromatico, 4 metri multispettrale) aprono nuove affascinanti prospettive, ma lasciano alla capacità e al buon senso degli addetti la scelta delle immagini adatte alla soluzione dei vari problemi.