

L'analisi geografica Open Source: GRASS GIS parte 3 Image Processing

I PROCESSI DI TELERILEVAMENTO HANNO ULTIMAMENTE GUADAGNATO UN'ESTESA POPOLARITÀ GRAZIE A SERVIZI WEB QUALI GOOGLE LOCAL AND GOOGLE EARTH CHE HANNO PERMESSO DI RENDERE ACCESSIBILE AL PUBBLICO DATI SATELLITARI. IL TELERILEVAMENTO AD OGGI COMPRENDE VARIE TECNOLOGIE: RILEVAZIONI AEREE E SATELLITARI DI TIPO OTTICO, INFRAROSSO E TERMICO, RADAR O LIDAR. NON SOLO I SERVIZI WEB DEVONO ESSERE POPOLATI CON DATI DI TELERILEVAMENTO ELABORATI; ESISTE INFATTI ANCHE UN'AMPIA GAMMA DI APPLICAZIONI DOVE QUESTE TECNICHE HANNO APERTO NUOVI MODI DI OPERARE, COME NEL CAMPO DELLO STUDIO DELLA COPERTURA E DELL'USO DEL SUOLO E DELLE SUE VARIAZIONI, NELL'ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELLE LINEE DI COSTA O NEGLI STUDI EPIDEMIOLOGICI DOVE I DATI SATELLITARI SONO USATI PER DETERMINARE VARIABILI AMBIENTALI IMPLICATE NELLE MODALITÀ DI DIFFUSIONE DELLE EPIDEMIE. CHIARAMENTE TUTTI I DATI DEVONO ESSERE PROCESSATI ED ANALIZZATI. SPESSE I GIS ED I SOFTWARE DI ELABORAZIONE DELLE IMMAGINI SONO PACCHETTI SEPARATI. UNA SOLUZIONE INTEGRATA SI PUÒ TROVARE IN GRASS, CHE È UN GIS CON UN POTENTE PACCHETTO DI PROCESSAZIONE DELLE IMMAGINI. ESSO PERMETTE DI EFFETTUARE PREELABORAZIONI RADIOMETRICHE E GEOMETRICHE, GEOCODIFICA DI IMMAGINI, GENERAZIONE DI ORTOFOTO, NONCHÉ GEOCODIFICA DI IMMAGINI ANCHE RILEVATE CON FOTOCAMERE DIGITALI PORTATILI.

LE CARATTERISTICHE DEI DATI DA TELERILEVAMENTO

Il telerilevamento comprende, tra i numerosi tipi di dati, immagini satellitari ad alta risoluzione come Quickbird, Ikonos, LANDSAT and Terra/ASTER, a bassa risoluzione come AVHRR, Terra-Aqua/MODIS, nonché immagini Radar. Anche un satellite Lidar è ad oggi nello spazio. Molti satelliti forniscono immagini multispettrali e i più moderni utilizzano anche differenti risoluzioni. In questo caso le immagini relative alle diverse bande del visibile sono accompagnate da un canale pancromatico a più alta risoluzione.

Le immagini elaborate possono essere quindi ottenute tramite la fusione delle immagini relative ai canali relativi ai colori ed il canale pancromatico. Questo genera nuove immagini relative alle bande di colore che beneficiano dei miglioramenti geometrici. Diverse tecniche sono disponibili.

Altri dati di telerilevamento sono ottenibili da osservazioni aeree. Fotocamere digitali integrate con GPS sono montate su aeroplani. Queste camere coprono lo spettro del visibile e dell'infrarosso; grazie a canali stereo è anche possibile ottenere modelli digitali del terreno. Sistemi Lidar sono utilizzati per

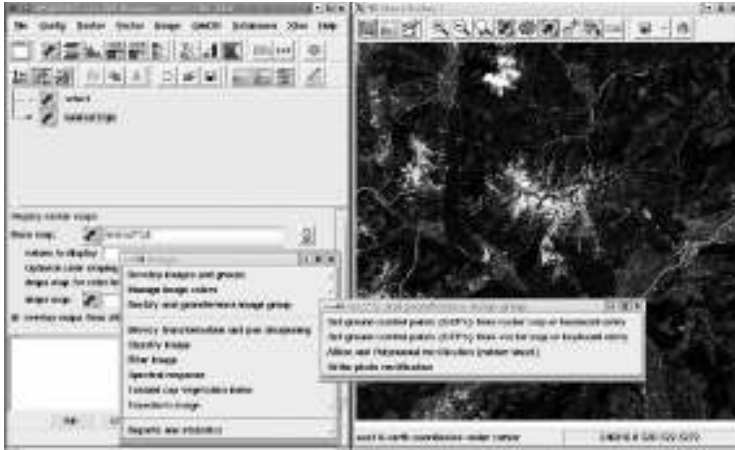


Figura 1 - Il menu grafico relativo alle funzioni di ortorettificazione ed un immagine creata tramite la fusione di immagini satellitari (d.rgb). GRASS GIS sotto GNU/Linux con l'interfaccia grafica 'GIS Manager' basata su Tcl/Tk

generare dati per modelli di superfici. GRASS supporta la maggior parte dei formati di dati appena menzionati.

LE IMMAGINI: UNA PANORAMICA DELLE POSSIBILITÀ DI ANALISI

Per l'importazione delle immagini, GRASS utilizza principalmente un modulo valido per numerosi formati che vengono gestiti tramite la libreria GDAL/OGR (vedi <http://www.gdal.org/>) ed altri moduli specializzati per i file HDF, Landsat, netCDF, Quickbird ed altri.

Tramite dati satellitari, è possibile creare mappe "storiche" ed attuali dello stato della Terra. Non molto tempo fa era molto difficile accedere a dati da telerilevamento a condizioni ragionevoli. Oggigiorno, grazie a particolari politiche del governo degli Stati Uniti, un vasto campionario di dati è disponibile gratuitamente. Per esempio, dati satellitari sono disponibili tramite il Global Land Cover Facility (GLCF) che è un membro del Earth Science Information Partnership presso l'Università del Maryland (<http://glcf.umd.edu/>). L'archivio contiene serie temporali di immagini LANDSAT 5 e ETM, ASTER, MODIS, AVHRR e anche dati Quickbird delle aree colpite dallo tsunami in Asia nel Dicembre 2004. La sorgente dei dati deve essere resa nota quando i dati vengono utilizzati e donazioni sono ben accette.

Scaricare immagini LANDSAT ETM è spesso un'operazione lunga; è consigliabile quindi procurarsi esclusivamente le bande necessarie. Questi sono i canali da 1 a 3 relativi alla banda del visibile (nominati 10-30 al GLCF) ed il canale 4 vicino all'infrarosso (40). Il canale pancromatico (80) è invece interessante per la fusione tra immagini. Essendo le immagini solitamente rilasciate come GeoTIFF/UTM, l'importazione in

GRASS può essere effettuata direttamente tramite il comando `r.in.gdal`. Per SPOT Vegetation è raccomandabile usare il comando `i.in.spotvgt` dato che queste sono disponibili come formati derivati da HDF.

VISUALIZZARE IMMAGINI IN COLORI REALI E NDVI

Per combinare velocemente i primi tre canali ed ottenere un'immagine con colori simili a quelli reali, in GRASS può essere utilizzato il comando `d.rgb` da shell di testo o tramite la nuova interfaccia grafica. Viene assegnato ad ogni canale un colore che è poi mixato sul video. Con un piccolo lavoro di regolazione della scala di grigio dei diversi canali, è possibile ottenere colori molto prossimi alla realtà. L'immagine LANDSAT 7 mostrata in figura 1 è stata creata dai canali del blu, del verde e del rosso con le tabelle dei colori regolati tramite l'analisi degli istogrammi dei canali.

Per lo studio dello stato vegetazionale (NDVI), la banda del rosso (30) e quella nell'infrarosso vicino (Nir, 40) sono usate come input per una semplice operazione di algebra tra le mappe tramite il comando `r.mapcalc` di GRASS: $ndvi = 1.0 * (nir - red) / (nir + red)$. Dopodiché una tabella ottimizzata dei colori può essere assegnata tramite il modulo `r.colors` (Fig. 2).

Quando si scarica il canale relativo alla banda dell'infrarosso (61), la codifica numerica digitale può essere trasformata in gradi Celsius in modo da avere una rappresentazione della temperatura della superficie terrestre osservata. Questo richiede un ulteriore passo di algebra tra le mappe con `r.mapcalc`, come descritto in letteratura, applicando opportuni parametri di gain e bias, direttamente dai metadati dell'immagine stessa (Fig. 3).

Figura 2 - Vista prospettica di un immagine relativa all'indice NDVI (16 days composite) relativa alla regione delle Alpi



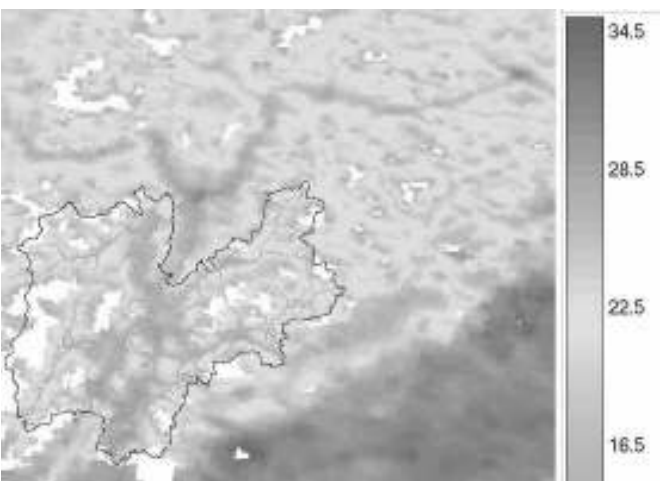


Figura 3 - Regioni del Nord Italia viste da MODIS TERRA (MOD11A) a 1 km di risoluzione. L'immagine satellitare è stata elaborata per ottenere un raster relativo alle temperature della superficie terrestre in gradi Celsius

FUSIONE DI IMMAGINI

In caso si usino immagini multi spettrali, un aumento della risoluzione può essere ottenuta fondendo il canale pancromatico con le immagini relativi ai colori base, come ad esempio per LANDSAT. La risoluzione finale ottenuta è di 14.25 m x 14.25 m (Fig. 4). GRASS presenta diversi metodi di fusione delle immagini, per esempio la trasformazione di Brovey (i.fusion.brovey) che può essere anche applicata alle immagini satellitari SPOT e Quickbird.

IMAGE GEOCODING

GRASS, come possiamo vedere in figura 1, presenta numerosi moduli che lo rendono in grado di georeferenziare raster ed immagini di vario tipo:

- mappe scannerizzate non referenziate: tramite quattro punti definiti (i.group, i.target, i.points, i.rectify);
- immagini satellitari da sensori ottici e radar non referenziate: tramite un certo numero di punti definiti di controllo sul terreno (i.group, i.target, i.points, i.rectify);
- ortofoto basandosi su modelli digitali del terreno (DEM): i.ortho.photo;
- georeferenziazione di foto digitali ordinarie: procedura modificata di i.ortho.photo (Fig. 5).

I punti di controllo sul terreno (GCPs) sono scelti manualmente (un metodo automatizzato di ricerca dei punti di controllo è attualmente in sviluppo) e le immagini sono rettificata in modo sequenziale nel database di geocodifica. Sia mappe raster che vettoriali possono essere usate come mappe di riferimento.

CLASSIFICAZIONE DI IMMAGINI

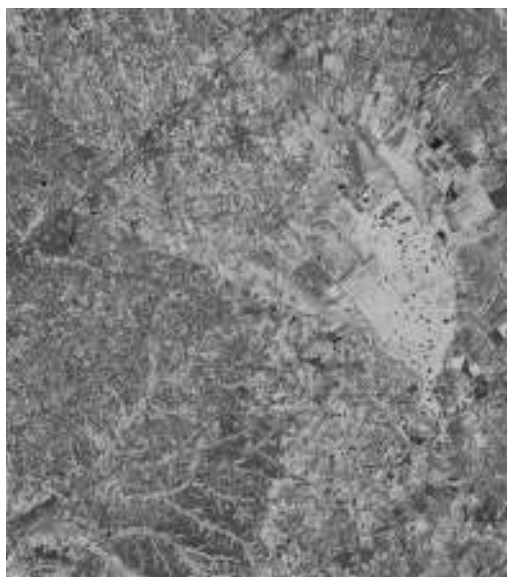
Immagini a singola banda o multispettrali possono essere classificate in definite classi di uso o copertu-

ra del suolo. In caso di immagini a singola banda, sarà usata la segmentazione. In caso di immagini multispettrali, è disponibile un approccio che combina una classificazione radiometrica ed una geometrica basata sulla segmentazione (i.smap). Sia i metodi di classificazione unsupervised che supervised sono supportati. La statistica kappa può essere calcolata per validare il risultato (r.kappa).

ELABORAZIONE DI DATI LIDAR

LIDAR è un sistema di telerilevamento che raccoglie informazioni molto accurate relative all'altitudine di un insieme denso di punti sul terreno. Da questi punti LIDAR, può essere costruito un modello digitale a griglia della superficie terrestre. In un secondo momento gli edifici e la vegetazione possono essere separati dal sottostante modello altitudinale. I sensori LIDAR possono raccogliere centinaia di punti al secondo, conseguentemente i data sets LIDAR consistono spesso di milioni o miliardi di punti. L'elaborazione di un grande numero di punti richiede chiaramente un grosso lavoro di calcolo e quindi necessita di hardware adeguatamente potente. In GRASS 5, e presto anche in GRASS 6, il pacchetto di elaborazione LIDAR era integrato con un modulo per identificare i bordi degli edifici, della vegetazione ed altro; tali bordi potevano poi essere riempiti. Un modulo di correzione permetteva di compiere la rimozione degli errori sul DEM estratto (edifici non identificati, vegetazione ed altro). In GRASS 6 è disponibile un pacchetto di interpolazione basato su spline. L'algoritmo usa una funzione generica thin plate spline con derivate regolari. Questa si comporta come una sottile lamina che può essere modulata da "lamina di acciaio" a "foglio di gomma" cambiando valore della ten-

Figura 4 - Immagini satellitare LANDSAT a risoluzione 14.25 x 14.25 metri ottenuta utilizzando il canale pancromatico (80)



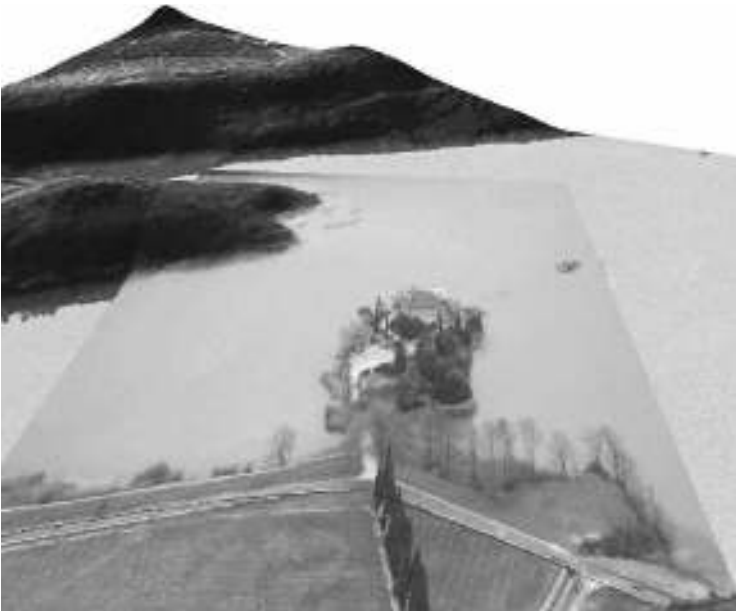


Figura 5 - Visualizzazione prospettica di un'immagine obliqua ottenuta da fotocamera digitale portatile (rettificata tramite i.ortho.photo), la foto è sovrapposta su un'ortofoto. Immagine cortesemente fornita da I. Michelazzi.

sione e livello di smoothing. La tensione controlla la distanza oltre la quale i punti influenzano la superficie, mentre lo smoothing controlla la deviazione verticale della superficie dal l'insieme di punti. Grazie all'uso della segmentazione basata sul quadtree si ha un'ottimizzazione della performance su grossi insiemi di dati, come LIDAR. La figura 6 mostra un esempio di un DEM derivato da punti LIDAR.

ESEMPIO DI CLASSIFICAZIONE D'IMMAGINI: NORTHERN GERMAN NATIONAL PARK

GDF Hannover ha sviluppato un algoritmo per realizzare il monitoraggio delle isole East Frisian tramite classificazione di recenti immagini aeree digitali con GRASS. Il progetto è stato realizzato per conto del Parco Nazionale del Mar Wadden in Bassa Sassonia (Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer) in Germania e includeva il mappaggio dell'intera area terrestre del parco nazionale con una risoluzione al decimetro. Basandosi su fotografie aeree digitali HRSC-AX (High Resolution Stereo Camera - Airborne Extended) e DMC (Digital Modular Camera), è stata eseguita una classificazione dell'uso del suolo allo scopo di realizzare una nuova carta della vegetazione delle isole Frisone e di parte della costa della terraferma. L'uso della classificazione di immagini ha reso l'assegnazione delle aree alle unità vegetazionali il più possibile efficiente ed economica. I dati usati per la classificazione includono meta data ed informazioni supplementari, dove erano disponibili, ottenute dall'Amministrazione del Parco Nazionale del Mare di

Wadden della Bassa Sassonia. I passi principali della classificazione enhanced supervised sono stati:

- produzione di maschere per forme ed aree al di fuori dell'area di classificazione;
- differenziazione delle unità di vegetazione superiori (serie);
- pre-elaborazione delle fotografie aeree;
- definizione delle aeree di esempio rappresentative (verifica terreno);
- classificazione gerarchica supervised basata sulle aree di esempio;
- filtro basato sui raster dei risultati di classificazione e vettorializzazione.

Prima di effettuare la classificazione, sono state elaborate le maschere per la serie vegetazionale delle dune, per le depressioni interadunali, prati salati e praterie. Questo ha ridotto il numero delle unità vegetazionali all'interno delle serie, aumentando la qualità della classificazione. Inoltre, per ragioni di efficienza di costo e lavoro è stata realizzata una maggiore automazione implementando algoritmi di analisi mediante script eseguibili in GRASS. L'algoritmo di classificazione era basato su un database di riferimento nel quale erano incluse le più conosciute unità vegetazionali mappate in qualità di dati di base. Questo database era interattivamente integrato nel corso del progetto e ottimizzato tramite l'esperienza dei cartografi in campo. Ulteriori canali sintetici erano generati in GRASS dall'analisi della texture che hanno enormemente aumentato la qualità della classificazione. Il cuore dell'algoritmo per la classificazione supervised implementata in GRASS è una combinazione di metodi di riclassificazione radiometrica e geometrica che è chiamata SMAP - sequential maximum a posteriori (i.smap). SMAP è usata per immagini a segmenti multi spettrali usando un modello a classe spettrale conosciuto come la distribuzione mista Gaussiana basata su semplici parametri quali media e covarianza spettrale. A differenza di un approccio basato sui pixel, questo metodo ne usa uno piramidale alle immagini che tiene in considerazione anche la somiglianza con i pixel circostanti e ottiene un significativo miglioramento dei risultati di classificazione. Come il modello basato sul Multiscale Random Field (MSRF), usa relazioni di vicinanza esistenti nelle aree di esempio durante l'assegnamento delle classi e calcola parametri statistici per ogni area. I risultati di classificazione sono stati filtrati prima di essere convertiti nel formato vettoriale. Le aree più piccole sono state eliminate per minimizzare lo spazio disco necessario e il tempo di elaborazione ed ottenere una chiara mappa della vegetazione per la successiva validazione e le correzioni sul campo. Il mappaggio dell'intera area terrestre del Parco Nazionale del Mare di Wadden nella Bassa Sassonia (25.500 ha su una mappa a scala 1:3.000) può essere così realizzato molto efficacemente ed in un tempo breve, in confronto con i metodi convenzionali di mappaggio.

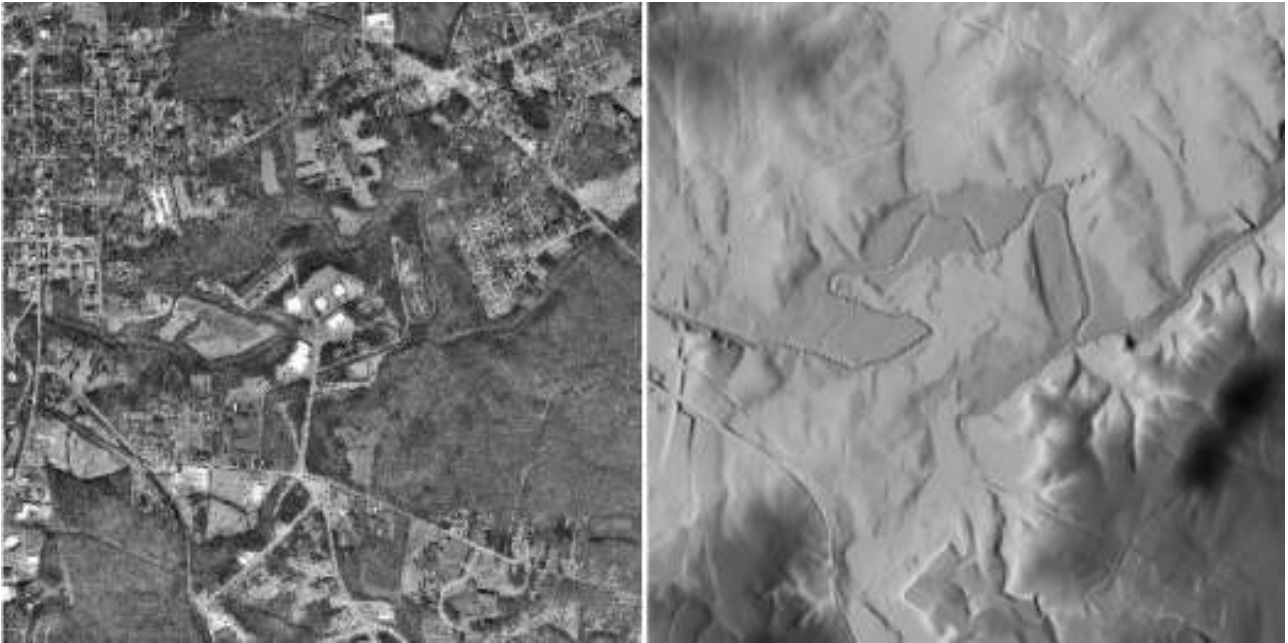


Figura 6 - Punti LIDAR di input mostrati in rosso (a sinistra) e corrispondente DEM (a destra) con colori rappresentanti l'altitudine. Per chiarezza, solo per ogni centinaia di LIDAR punti sono mostrati a sinistra. La regione mostrata è una piccola area fuori Hillsborough, NC, USA lungo il Fiume Eno (figura cortesemente fornita da Andrew Danner, Duke University)

ESEMPIO DI ANALISI DI SERIE TEMPORALI

GRASS offre anche supporto per elaborazioni di serie temporali (r.series). Per esempio, in studi epidemiologici i dati da telerilevamento ad alta risoluzione temporale (diverse mappe al giorno) sono considerate come un aumento della disponibilità di informazioni. Le dinamiche temporali della vegetazione sono un importante indicatore dei tipi vegetazionali e, conseguentemente, delle condizioni di umidità al suolo. Questo ad esempio è un importante predittore dell'habitat idoneo per la zecca *I. ricinus*. L'indice vegetazionale NDVI/EVI dal sensore MODIS può essere direttamente integrata in modelli di presenza/assenza.

È anche interessante calcolare differenze temporali dell'indice NDVI/EVI allo scopo di determinare i pattern spaziali della durata della primavera o dell'estendersi delle zone interessate dalla siccità. Le temperature superficiali giornaliere della terra ottenute tramite MODIS possono essere utilizzate per il calcolo di indici mensili. Questo è interessante dove le stazioni climatiche sono rare come nelle aree montuose.

GRASS permette di ottenere statistiche a partire da un set di coeregistrate mappe di input come le immagini satellitari multi temporali. La comune statistica univariata e la regressione lineare possono essere calcolate. Analisi automatizzate possono essere comprese in script di testo in modo da generare indicatori climatici. Usando dati da AVHRR/NOAA, le serie temporali vanno indietro fino al 1982 e forniscono un enorme ricchezza di dati spaziali.

CONCLUSIONI

GRASS combina le capacità GIS raster e vettoriali con funzionalità relative all'elaborazione di immagini. La piena integrazione è un grande vantaggio per gli utenti, in quanto modelli di conversione, riproiezione e scambio dati sono disponibili sotto una singola interfaccia utente. Grazie all'alta velocità di sviluppo di GRASS, alcune nuove tecniche sono in elaborazione come l'unmixing dei dati multi e iperspettrali, geocodifica basata su linee invece che su punti di controllo del terreno e la geocodifica automatizzata di strisce di immagini basata su omologie e correlazione di Fourier.

[autori]

Markus Neteler

*ITC-irst - Centro per la Ricerca Scientifica e Tecnologica
MPBA - Predictive Models for Biol. & Environ. Data
Analysis*

Via Sommarive, 18 - 38050 Povo (TN)

<http://mpa.itc.it>

Leonardo Lami, Paolo Cavallini

Faunalia

Piazza Garibaldi 5 - Pontedera (PI)

Internet: www.faunalia.it

Otto Dassau

GDF Hannover bR

Hagenweg 11, D - 31863 Coppenbruegge, Germania

Internet: www.gdf-hannover.de