

# L'analisi geografica Open Source: GRASS GIS parte 2 - Raster

OGGI LA MAGGIOR PARTE DEGLI UTENTI ED ESPERTI PENSANO AL GIS SOPRATTUTTO IN TERMINI VETTORIALI. I RASTER, PERÒ, SONO IL MODELLO MIGLIORE PER RAPPRESENTARE SUPERFICI CONTINUE, E SPESSO LE ANALISI RASTER SI RIVELANO PIÙ SEMPLICI ED INTUITIVE, OLTRE CHE PIÙ POTENTI, RISPETTO A QUANTO SI PUÒ REALIZZARE IN AMBI-TO VETTORIALE. INOLTRE, MOLTI DATI SONO STRUTTURALMENTE RASTER FIN DALLA LORO ORIGINE (SI PENSI AD ESEMPIO ALLE IMMAGINI SATELLITARI).

FINO DALLA SUA LONTANA ORIGINE ALL'INIZIO DEGLI ANNI '80, GRASS HA AVUTO FRA I SUI PUNTI DI FORZA PRINCIPALI PROPRIO L'ANALISI RASTER. NEL PROGRAMMA SONO PRESENTI NUMEROSI MODELLI SPECIALIZZATI MA LA STRUTTURA MODULARE DI GRASS CONSENTE ALL'UTENTE DI COMBINARE NUMEROSE FUNZIONI DIVERSE PER CREARE NUMEROSE ED ELABORATE ANALISI. LO SCOPO DI QUESTO SECONDO ARTICO-LO È QUELLO DI FORNIRE UN'INTRODUZIONE ALLE CARATTERISTICHE E ALLE POSSIBILITÀ DI ANALISI DEL FORMATO RASTER. NEI PROSSIMI ARTICOLI TRATTEREMO DELL'ANALISI D'IMMAGINE E DELLE VISUALIZZAZIONI 2,5 E 3D.

## **LE CARATTERISTICHE DEL MODELLO DATI RASTER**

Il termine raster indica un'immagine costituita da punti o pixel, la cui densità viene detta risoluzione ed è espressa in pixel/pollice, pixel/centimetro o nel mondo GIS, in pixel/metro.

Nel campo dei Sistemi Informativi Territoriali il termine raster è usato per indicare un tipo di dato impiegato nella rappresentazione cartografica digitale. Con i dati raster il territorio viene riprodotto attraverso una matrice di pixel di forma quadrata o rettangolare. A ciascun pixel è associato un attributo che definisce le caratteristiche e il valore dell'elemento rappresentato. Ad esempio in un modello digitale di elevazione a ciascun pixel è associato il valore della quota altimetrica in quel punto. La dimensione dei pixel è inversamente proporzionale alla precisione della carta mentre il numero è direttamente proporzionale. I dati raster possono essere implementati nel

sistema GIS mediante acquisizione tramite apparecchiature a lettura ottica quali scanner o attraverso l'elaborazione di dati, raster o vettoriali, già acquisiti. I dati raster più comuni (tiff, jpeg, gif, bil, png, ecc.) possono essere memorizzati attraverso tipi di file che, sfruttando algoritmi di compressione diversi che gravano in modo differente sul supporto di memorizzazione.

In GRASS il dato è memorizzato in un gruppo di file, contenuti a loro volta in cartelle distinte, che riportano:

- i valori delle singole celle espressi come numeri interi (directory cell);
- i valori delle singole celle espressi come numeri decimali (directory fcell);
- l'elenco delle categorie numeriche presenti nel raster, eventualmente associate ad etichette descrittive (directory cats);

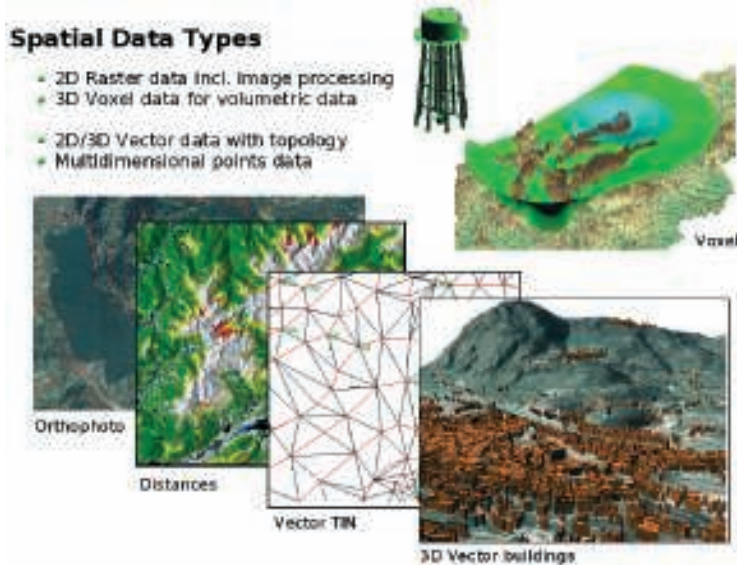


Figura 1 - Le principali tipologie di dati geografici gestiti da GRASS

- i valori massimi e minimi presenti nel raster e le celle con valore nullo (directory cell\_misc);
- la tavola dei colori da associare alle diverse categorie (directory colr);
- le informazioni che permettono di collocare il raster tramite la descrizione della proiezione, dei limiti geografici e della risoluzione (directory cellhd);
- informazioni generali quali il nome dell'autore, la data e la modalità di importazione (directory hist).

I formati vettoriale e raster sono salvati in cartelle diverse e sono gestiti mediante comandi diversi, per cui è possibile assegnare lo stesso nome ad una carta vettoriale e ad una raster senza problemi.

Oltre agli aspetti geometrico e categorico appena descritti, è in studio la possibilità di collegare il dato ad attributi, semplici file dbf o tabelle in database relazionali, allo scopo di ampliare la capacità di contenere informazioni.

Da ricordare, infine, che la possibilità visualizzare e gestire dati raster in 2,5 dimensioni (falso 3D), voxel a 3 dimensioni (raster volume, dove ad ogni dato sono associate tre coordinate) ed anche in 4 dimensioni (raster volume a cui è associata la dimensione temporale) rendono GRASS estremamente utile in numerosi campi applicativi (Fig. 1).

### IL DATO RASTER: UNA PANORAMICA DELLE POSSIBILITÀ DI ANALISI

Per l'importazione e l'esportazione dei dati raster GRASS utilizza principalmente un modulo valido per numerosi formati che vengono gestiti tramite la libreria OGR/GDAL (vedi [www.gdal.org](http://www.gdal.org)) ed altri moduli specializzati per i file ASCII Grid, binary, ESRI

Arc/Info Grid, Matlab/Octave-File array, SRTM HGT, Landsat, Quickbird, eTerra Aster HDF, garantendo un'ampia possibilità di interoperabilità con i principali GIS presenti sul mercato.

I formati raster e vettoriale sono ovviamente convertibili tra di loro, secondo opzioni diverse, tramite i comandi v.to.rast e r.to.vect.

Le possibilità di elaborazione ed analisi per il formato raster sono numerose (Tab. 1).

Oltre all'interfaccia grafica classica è disponibile, anche se ancora in fase di sviluppo, l'interfaccia grafica di QGIS ([www.qgis.org](http://www.qgis.org); vedi l'articolo sul numero scorso) che associa alle numerose capacità di "desktop GIS" un plugin per la visualizzazione dei dati e per eseguire comandi di GRASS.

La pratica interfaccia a linea di comando (detta shell di testo, secondo la tradizione Unix) permette infine di azionare i comandi in modalità testuale e di avviare programmi (detti script), anche complessi, che rendono possibile eseguire operazioni cicliche e ripetute; queste possono comprendere anche variazioni dei dati di input in modo completamente automatico.

### ALCUNE SEMPLICI ANALISI SPAZIALI

Come abbiamo visto dalla tabella le operazioni di analisi spaziale con i raster sono numerose e spesso rivolte a specialisti di determinati settori; nonostante questo proveremo di seguito a dare un piccolo saggio di come sia relativamente semplice ed intuitivo utilizzare i moduli di analisi di GRASS per ottenere risultati anche complessi.

Prima di esporre alcuni esempi relativi alle potenzialità nell'analisi raster è utile effettuare una piccola

Tabella 1- Elenco e breve descrizione delle funzioni principali relative al dato raster

Tipo di operazione	Descrizione
Operazioni relative alla struttura del raster	Digitazione di valori, gestione della struttura informatica, ridistribuzione dei valori, manipolazione delle celle con valore nullo
Operazioni relative alle caratteristiche geografiche del raster	Variazione della risoluzione della mappa tramite metodi di resampling, interpolazione, spostazione di un dato associato ad un altro sistema di riferimento geografico
Gestione dei colori e trasformazione tra modelli di colori (RGB, HSV, ecc.)	Settaggio della tabella dei colori, creazione di un nuovo raster partendo da tre mappe relative all'insieme di colori primari (modello rgb), creazione di questi ultimi partendo dalle mappe relative ai colori, all'insieme di colori secondari (modello hb)
Rapporti e statistiche	Statistica descrittiva, relazioni tra categorie ed area occupata, statistica avanzata, covarianza e correlazione, regressione lineare su raster multipli, correlazione tra categorie
Analisi spaziali di base	Algebra delle mappe, creazione di buffer, operazioni di patch, profilo morfologico e time series, ricerca di distanze tra gli oggetti di due raster, assegnamento di raster similari, raggruppamento di celle omogenee in oggetti unitari
Creazione di superfici	Interpolazione di superfici tramite i metodi di Voronoi, resampling, creazione di superficie da tracce di livello e punti altimetrici, interpolazione bilineare e cubica, ricerca Distance Squared Neighbour e Regularized Spline with Tension, creazione di superfici random e frattali
Analisi spaziali su DTM	Elaborazione di DTM (creazione di mappe della pendenza, dell'esposizione, della curvatura, ecc.), creazione di mappe relative all'irradiazione e delle zone d'ombra, individuazione di punti di discontinuità di un DTM (cristalli, picchi, punti di sella, snepvri, ecc.), analisi di visibilità ed analisi dei profili, creazione di curve di livello virtuale
Analisi spaziali complesse	Analisi di ecologia del paesaggio (anche con la possibilità di usare moving windows), analisi di vicinanza, calcolo dei costi di attraversamento da un punto, individuazione di percorsi a minimo costo
Modelli predittivi	Modelli idrologici (individuazione dei bacini, analisi di flusso, individuazione di zone di accumulo ed erosione), modelli di diffusione del fuoco, overlaid flow hydrologic model

ma fondamentale premessa: la risoluzione e l'estensione geografica di un raster ottenuto in GRASS è determinata da come queste sono state impostate precedentemente tramite il comando `g.region` e sono quindi indipendenti da quelle dei vettori o dei raster di input che vengono ricampionati in automatico per adattarne la risoluzione in base alle impostazioni definite.

Nel primo esempio affrontato ci proponiamo di voler mettere in evidenza le variazioni dell'uso del suolo in un determinato territorio nel corso degli ultimi decenni; in particolare si vuole evidenziare come le zone coltivate abbiano lasciato spazio all'incremento delle aree urbanizzate in pianura e del bosco in collina e montagna.

Supponiamo di avere a disposizione due vettori, relativi a due periodi temporali diversi, che descrivano tramite tre diverse categorie (vedi articolo precedente) l'uso del suolo del territorio in esame distinguendo le aree urbanizzate, le aree agricole e quelle boscate.

Prima di trasformare i dati vettoriali in dati raster è fondamentale settare la regione e la risoluzione di lavoro basandosi principalmente sull'estensione del territorio da esaminare e sulla scala di digitalizzazione dei vettori; tale operazione è eseguita tramite il comando `g.region` il quale, tramite l'opzione `res`, permette di definire la dimensione delle celle dei futuri raster.

Successivamente i vettori sono convertiti in raster tramite il comando `v.to.rast`, la finestra di gestione delle opzioni relative a questa funzione può essere attivata scrivendo il nome del comando nella console di testo o tramite il seguente percorso sul menù a tendina: File → Map type conversions → Vector to raster.

Nella finestra che si apre è necessario: inserire il nome del vettore (name of input vector), digitare il nome che vogliamo dare al raster risultante (name of output raster), scegliere quale sia la fonte da cui determinare il valore delle celle del raster (source of raster value) scegliendo l'opzione `cat` ed infine premere il pulsante RUN. I valori delle celle del raster possono essere determinate anche in base ad un valore predefinito (opzione `val` e valore numerico da impostare nel settore raster value), in base al valore contenuto in un campo della tabella associata al vettore (opzione `attr` e nome del campo nel settore column name) o in base al valore della coordinata `z` dei punti del vettore nel caso questa sia presente (opzione `z`).

Come per i comandi relativi ai vettori, anche in questo caso, nella finestra di output verranno fornite informazioni sulle operazioni in corso, una descrizione del raster creato ed eventuali "warning" ed errori riscontrati durante il processo; la prima riga di questo messaggio equivale alla riga di comando, comprensiva delle opzioni scelte, da digitare nella console per lanciare il comando in modalità testuale.

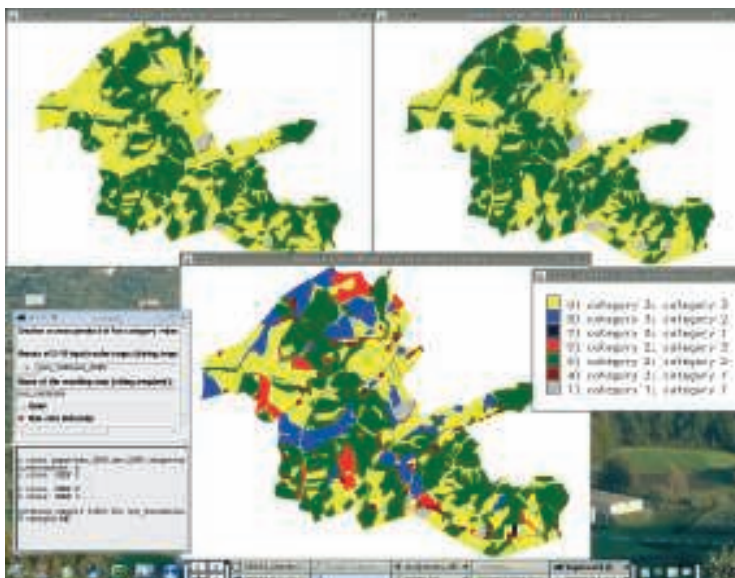


Figura 2 - Il comando `r.cross`: le finestre di dialogo di GRASS ed il risultato grafico completato da una legenda esplicitiva

Per evidenziare le differenze tra i due raster ottenuti utilizziamo poi il comando `r.cross`; da menù: Raster → Overlay maps → Cross product.

Nella finestra di opzioni occorre inserire: i nomi dei due raster separati da virgola (name of 2-10 input raster maps), il nome del nuovo raster che evidenzierà le differenze (name of the resulting map) e vista l'opzione (non-zero data only) nel caso i vettori originali, e quindi i raster ottenuti, presentino zone in cui l'informazione è assente.

Caricando il raster ottenuto e la rispettiva legenda è possibile osservare i risultati dell'analisi, i colori grigio, giallo e verde scuro rappresentano le zone urbane, agricole e boschive che sono rimaste invariate con il passare degli anni, gli altri colori presenti in legenda individuano i passaggi da un uso del suolo all'altro (Fig. 2).

Un modulo di grande utilità in GRASS è senz'altro quello che permette operazione di algebra tra raster, questo comando può essere lanciato da menù (Raster → Map calculator) con una versione più semplice nell'uso ma più limitata nelle funzioni oppure in modo interattivo da console (`r.mapcalc`) modalità che permette una maggiore plasticità e complessità di analisi.

Tale modulo permette di effettuare operazioni algebriche tra le celle di più raster ed ottenere una nuova mappa risultato di queste operazioni. Il menù a finestra di "map calculator" permette di inserire fino a sei raster da utilizzare come variabili (A, B, C, D, E, F), la formula da utilizzare per il calcolo algebrico (formula) ed il nome della mappa risultante (resulting output map).

La modalità da console permette di utilizzare operazioni logiche il cui risultato determina l'operazione

da effettuare sulle celle e quindi il valore che queste avranno nella mappa risultante.

Poniamo di avere a disposizione due raster relativi all'uso del suolo (vegcover) ed alla geologia (geology) di un territorio dove le differenti categorie discriminano i diversi caratteri dei due tematismi e due altri raster (A e B) relativi ad altrettante variabili su cui effettuare le operazioni algebriche:

Uso del suolo (vegcover)		Geologia (geology)	
Categoria	Descrizione	Categoria	Descrizione
21	Residential areas	1	Metamorphic
31	Baru rock/Sand/Clay	2	Transition
41	Deciduous forest	2	Igneous
42	Evergreen forest	4	Sandstone
43	Mixed forest	3	Limestone
51	Shrubland	6	Shale
71	Grasslands/Herbaceous	7	Sandy shale
81	Pasture/Hay	8	Clay sand
91	Woody wetlands	9	Sand

Vogliamo che il valore delle celle del nuovo raster sia dato dalla somma tra i valori delle celle dei raster A e B a meno che non si verifichi la compresenza di "pascoli" o "boschi umidi" per l'uso del suolo e "rocce ignee" o "sabbia" per la geologia; in questi casi il valore del nuovo raster sarà dato dalla sottrazione tra i valori di A e B.

L'espressione da scrivere dopo aver lanciato il comando r.mapcalc sarà allora:

```
new_map=if((vegcover==81 || vegcover == 91) && (geology == 3 || geology ==9),A+B,A-B).
```

È facile intuire come aumentando il numero dei raster e sfruttando a pieno le operazioni logiche disponibili sia possibile utilizzare il modulo di r.mapcalc per realizzare modelli notevolmente complessi (indici di erosione, grado di pericolosità da frana, gradienti naturalistici, ecc.)

Il modulo r.mapcalc in modalità grafica è in fase di progettazione anche in QGIS dove mediante semplici diagrammi di flusso in forma grafica è possibile costruire analisi algebriche molto elaborate (Fig. 3).

### ANALISI SPAZIALI COMPLESSE

In questo paragrafo verrà messo in evidenza come in GRASS anche analisi più complesse, a fronte di un substrato teorico e analitico sviluppato, possano essere affrontate con notevole semplicità.

Operazioni di notevole interesse nel campo raster sono quelle relative all'elaborazione dei modelli digitali del terreno (DTM) ad esempio per la costruzione di carte della pendenza e dell'esposizione.

Come esempio proponiamo l'uso del comando r.slope.aspect da shell o da interfaccia grafica (Raster → Terrain analysis → Slope and aspect). Come primo passo occorre definire la risoluzione di lavoro e quindi del raster da creare (ad esempio g.region res=50). Nella relativa finestra occorrerà inserire il nome del raster relativo alla morfologia del territorio (raster ele-

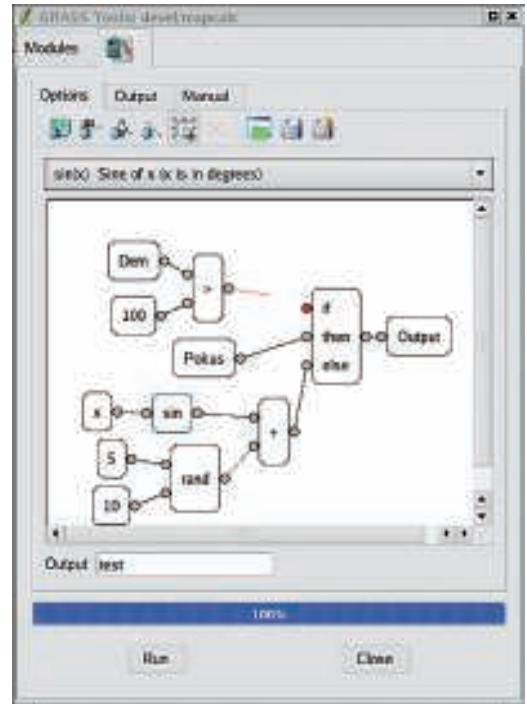
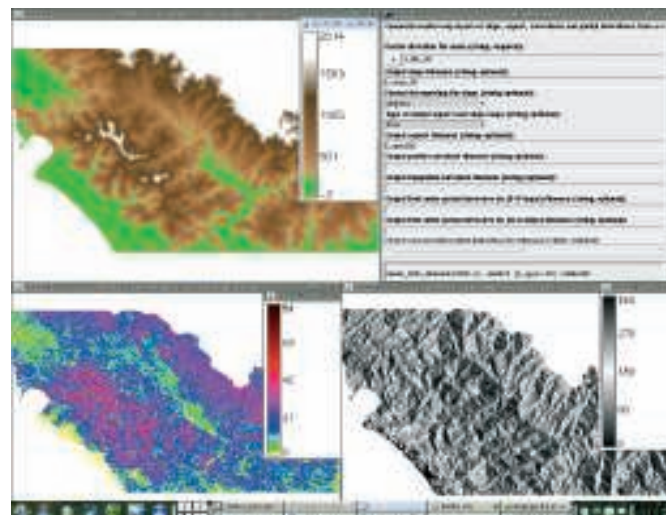


Figura 3 - L'interfaccia grafica di r.mapcalc sviluppata in QGIS

vation file name), il nome del raster delle pendenze (output slope file name), il modo in cui esprimere la pendenza (format for reporting the slope: degrees o percent), la precisione numerica dei raster da creare (type of output...) ed il nome del raster delle esposizioni (output aspect file name). È possibile utilizzare tale modulo anche per calcolare i raster relativi al profilo della curvatura, della tangente, la derivata parziale di primo e secondo grado per le variazioni lungo l'asse delle x ed delle y e la derivata di secondo grado rispetto ad entrambe le coordinate.

Figura 4 - Il modulo r.slope.aspect: le finestre di dialogo di GRASS e le mappe delle pendenze e dell'esposizione (in basso) ottenute a partire dal DTM (in alto)



Il risultato può essere visualizzato in modo indipendente (Fig. 4) oppure utilizzando trasparenze che permettono di unire, ad esempio, le informazioni del DTM con quelle delle esposizioni per ottenere un'immagine ombreggiata che dia un effetto tridimensionale (Fig. 5).

Un altro interessante caso di applicazione è quello dell'identificazione di percorsi a minor costo ovvero quelle procedure di analisi che permettono di identificare il percorso meno impattante dal punto di vista economico, naturalistico, sociale per la realizzazione di un'infrastruttura lineare di vario tipo. Tale analisi è di estrema utilità in numerosi campi quali l'ecologia per la realizzazione di corridoi ecologici, l'ingegneria per la realizzazione di condutture o infrastrutture viarie, l'archeologia per la scelta dei siti di scavo, ecc.

Per evidenziare la semplicità di realizzazione di tale analisi è necessario avere a disposizione un raster, relativo al territorio in esame, le cui celle siano associate al relativo costo di attraversamento.

Tale mappa può essere ottenuta, ad esempio, considerando i raster relativi ai vari tematismi che descrivono il territorio (uso del suolo, geologia, DTM, pendenza, distanza dalle strade, distanza dai fiumi, ecc.) riclassificati in base ai propri costi di attraversamento e quindi utilizzati, tramite `r.mapcalc`, per determinare il raster che descriva il costo complessivo di utilizzo della singola cella.

Nella figura 6 viene mostrato il territorio con le sue caratteristiche principali (profilo altimetrico, strade, centri urbani e idrografia), nell'altro il raster relativo al costo di attraversamento (su una scala da 0 a 100) per singola cella. In entrambi i monitor sono rappresentati i punti di partenza (punto arancio) e di arrivo (punto giallo) della struttura lineare di cui individuare il percorso.

Tramite il comando `r.cost` è possibile, a partire dal raster che dà informazione sul costo di attraversamento delle singole unità, creare il raster del costo cumulativo di allontanamento dal punto individuato come "punto di partenza".

La finestra interattiva del comando `r.cost` (Raster → Terrain analysis → Cost surface) necessita l'inserimento del nome del raster che identifica i costi per singola cella (name of raster map containing grid cell cost information), il nome del raster in uscita (name of the raster map to contain results) ed il nome del vettore che identifica il punto di partenza per il calcolo del costo cumulativo (starting points vector map). Tale modulo contempla ulteriori opzioni che permettono di: indicare un punto in cui fermarsi nel calcolo del costo cumulativo (utilizzando un vettore puntiforme o indicando le coordinate di tale punto), utilizzare un raster dai cui margini iniziare a calcolare il costo di allontanamento, aggiungere un eventuale costo fisso, decidere come considerare le eventuali celle nulle, usare diversi metodi di

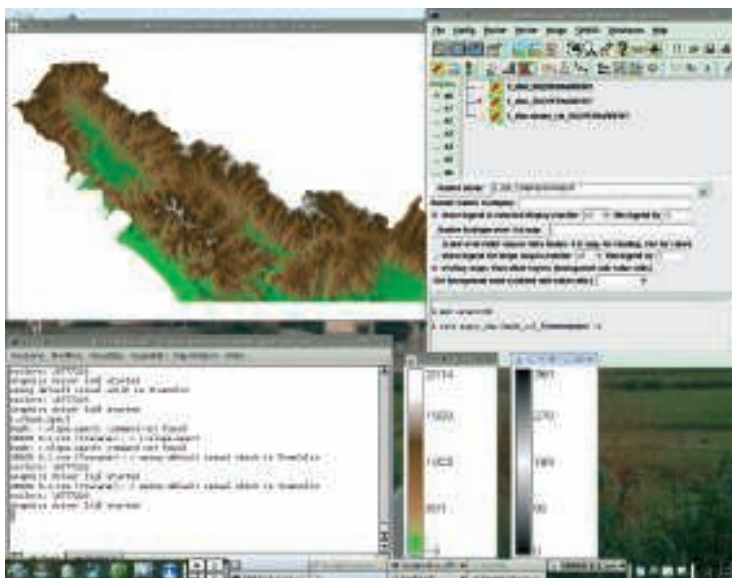
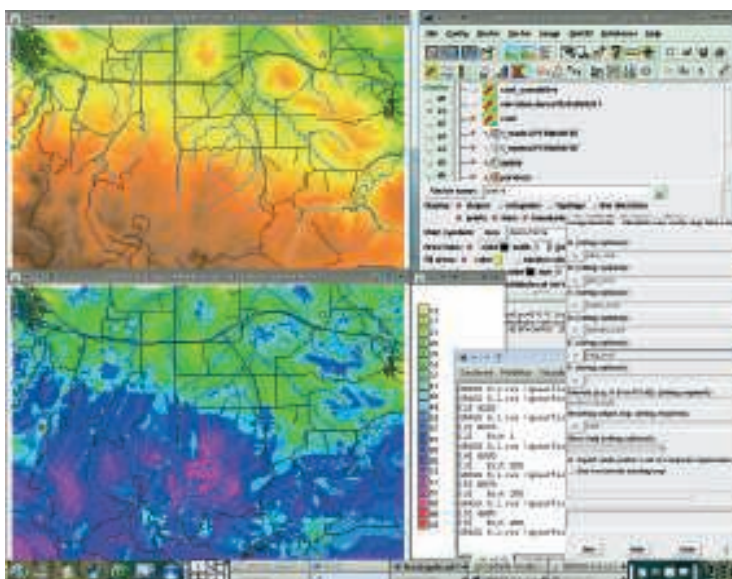


Figura 5 - La mappa dell'esposizione, ottenuta tramite il comando `r.slope.aspect`, è sovrapposta, in trasparenza, alla mappa del DTM

movimento per effettuare tale operazione, ecc. Un nuovo comando, `r.walk`, permette di considerare come parametro aggiuntivo il fatto che lo spostamento sia associato ad una salita od una discesa in modo da calcolare in modo più realistico il costo del percorso effettuato.

La figura 7 pone a confronto i raster dei costi per cella e del costo cumulativo di allontanamento visualizzati in modalità 2D (in basso), il raster ottenuto con `r.cost` è visualizzato anche in modalità 2,5D sovrapponendovi il raster dei costi di attraversamento

Figura 6 - Una mappa descrittiva del territorio in esame (in alto) e la mappa dei costi di attraversamento per cella (in basso) ottenuto tramite il modulo `r.mapcalc`



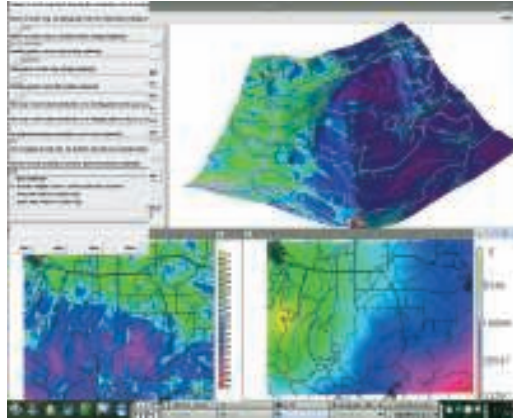


Figura 7 - Il comando `r.cost`: le finestre di dialogo di GRASS, la mappa del costo cumulativo di allontanamento in 2,5D (in alto) ed in 2D (in basso a destra) messa a confronto con la mappa relativa al costo di attraversamento per singola cella (in basso a sinistra)

to delle singole celle in modo da mettere in evidenza come il costo cumulativo aumenti maggiormente dirigendosi verso le celle caratterizzate da costi di attraversamento maggiori. In entrambi i casi sono visibili anche i vettori dei punti di partenza e d'arrivo, della rete stradale e dell'idrografia.

A questo punto si utilizza il comando `r.drain` (Raster → Terrain analysis → Cost surface) per identificare il percorso a minor costo basandosi proprio sul raster relativo al costo cumulativo.

Si inseriscono il nome di questo raster (map of existing raster map containing elevation surface), il nome del raster relativo al percorso individuato (output drain raster map) ed il nome dei vettori di partenza e di arrivo (vector maps containing starting point and stop point).

Nella figura 8 alle mappe precedenti è stato aggiunto il percorso individuato (in rosso), risulta evidente come questo si snodi attraverso le celle a minimo costo riducendo così il costo complessivo di spostamento. La modalità di visualizzazione 2,5D chiarisce il metodo utilizzato per l'individuazione del percorso: la mappa del costo cumulativo di allontanamento

è vista come una mappa DTM dove il punto di partenza (arancio) corrisponde all'unica zona depressa (minimo), il percorso individuato a partire dal punto di arrivo (giallo) è quello che un qualsiasi oggetto seguirebbe su una superficie simile dirigendosi sempre verso le zone a minor quota evitando così le celle a costo di attraversamento maggiore.

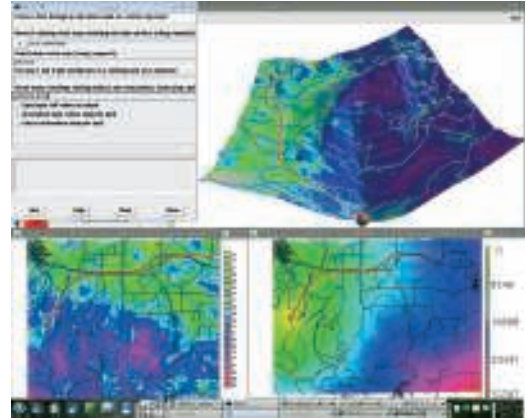


Figura 8 - Le mappe precedenti con sovrapposto il percorso a minimo costo individuato tramite il modulo `r.drain`

## CONCLUSIONI

Questo breve articolo non può certo dar conto della potenza dell'analisi geografica raster di GRASS; per un approfondimento, le risorse disponibili sono molte, soprattutto sul Web. Consigliamo soprattutto la consultazione della pagina di documentazione sul sito di GRASS (<http://grass.itc.it/gdp/>), disponibile in molte lingue, incluso l'italiano.

## [autori]

**Leonardo Lami, Paolo Cavallini**

Faunalia

Piazza Garibaldi 5 - Pontedera (PI)

[www.faunalia.it](http://www.faunalia.it)

**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>

## Bibliografia

M. Neteler and H. Mitasova. Open Source GIS: A GRASS GIS Approach. Kluwer Academic Publishers/Springer, Boston, Second edition, June 2004. ISBN: 1-4020-8064-6