

Modelli digitali del terreno e interpolazione

- *Lezione 5* -

Annalisa Minelli, PhD
ISPRA

Indice

- DEM, DTM, DSM
- Il processo di creazione di un DEM
- Il processo di interpolazione: interpolatori deterministici
 - Triangolazione
 - Voronoi
 - IDW
 - Spline
- Il processo di interpolazione: interpolatori stocastici
 - Il semivariogramma sperimentale
 - Fitting del modello
 - Kriging
- Strumenti di analisi su DEM:
 - Shaded relief
 - Slope e aspect
 - Estrazione di curve di livello
 - Semplici manipolazioni con mapcalculator

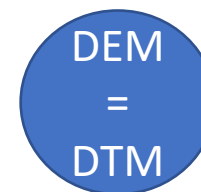
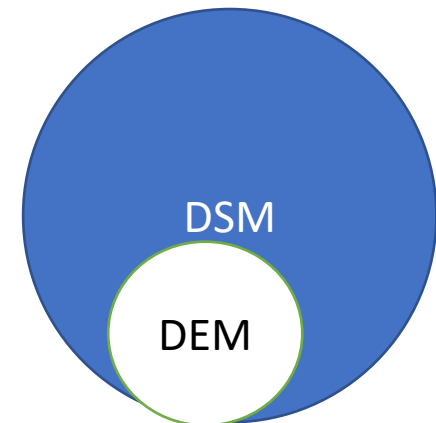
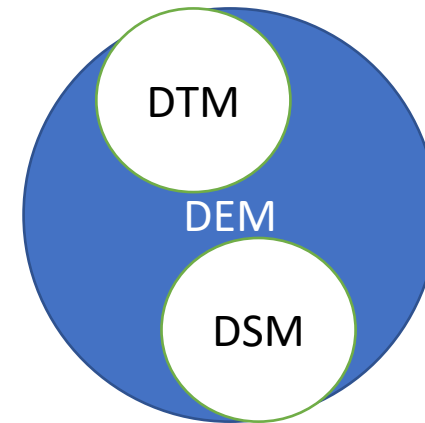
DEM, DTM, DSM

Definizioni e differenze

«Un modello digitale di elevazione (anche noto come DEM, dall'inglese Digital Elevation Model) è la rappresentazione della distribuzione delle quote di un territorio, o di un'altra superficie, in formato digitale. Il modello digitale di elevazione viene in genere prodotto in formato raster associando a ciascun pixel l'attributo relativo alla quota assoluta.» Wikipedia

«The Digital Elevation Model over Europe from the GMES RDA project (EU-DEM) is a Digital Surface Model (DSM) representing the first surface as illuminated by the sensors. The EU-DEM dataset is a realisation of the Copernicus programme, managed by the European Commission, DG Enterprise and Industry.» EEA

«A Digital Elevation Model (DEM) is a representation of the bare ground (bare earth) topographic surface of the Earth excluding trees, buildings, and any other surface objects.» USGS



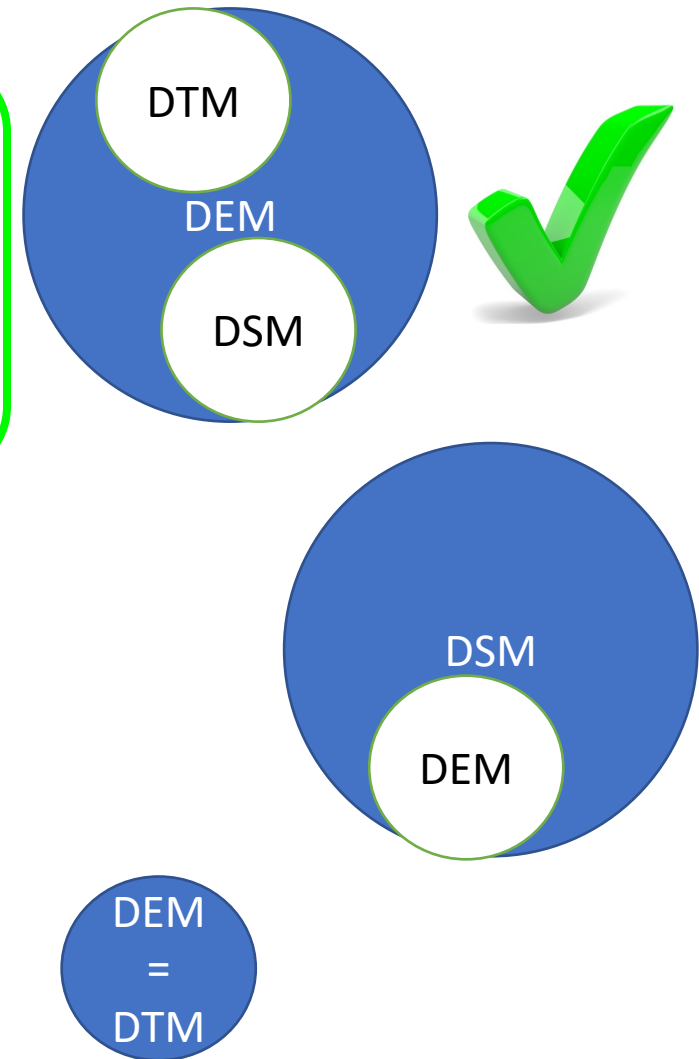
DEM, DTM, DSM

Definizioni e differenze

«Un modello digitale di elevazione (anche noto come DEM, dall'inglese Digital Elevation Model) è la rappresentazione della distribuzione delle quote di un territorio, o di un'altra superficie, in formato digitale. Il modello digitale di elevazione viene in genere prodotto in formato raster associando a ciascun pixel l'attributo relativo alla quota assoluta.» Wikipedia

«The Digital Elevation Model over Europe from the GMES RDA project (EU-DEM) is a Digital Surface Model (DSM) representing the first surface as illuminated by the sensors. The EU-DEM dataset is a realisation of the Copernicus programme, managed by the European Commission, DG Enterprise and Industry.» EEA

«A Digital Elevation Model (DEM) is a representation of the bare ground (bare earth) topographic surface of the Earth excluding trees, buildings, and any other surface objects.» USGS



DEM, DTM, DSM

Definizioni e differenze

La definizione di Wikipedia è anche la più generica, perché dicendo «DEM» diciamo solo che il valore associato ad ogni cella di un raster è una quota, poi se questa appartiene al «bare soil» come dice USGS (e quindi parliamo di DTM) o alla «superficie illuminabile dal sensore» come dice EEA (e quindi parliamo di DSM) non ci è dato saperlo.

Di fatto le differenze tra i due (DSM e DTM) ci sono e sono evidenti:



DEM, DTM, DSM

Definizioni e differenze

La definizione di Wikipedia è anche la più generica, perché dicendo «DEM» diciamo solo che il valore associato ad ogni cella di un raster è una quota, poi se questa appartiene al «bare soil» come dice USGS (e quindi parliamo di DTM) o alla «superficie illuminabile dal sensore» come dice EEA (e quindi parliamo di DSM) non ci è dato saperlo.

Di fatto le differenze tra i due (DSM e DTM) ci sono e sono evidenti:



DEM, DTM, DSM

Definizioni e differenze

Per semplicità ci riferiremo sempre al DEM e differenzieremo a seconda del modello con cui avremo a che fare.

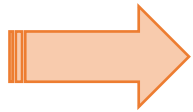
I DEM possono essere rappresentati sia in formato raster che vettoriale a seconda del **metodo di elaborazione** e delle **finalità** con cui vengono costruiti.

DEM, DTM, DSM

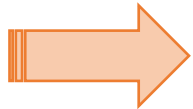
Definizioni e differenze

Per semplicità ci riferiremo sempre al DEM e differenzieremo a seconda del modello con cui avremo a che fare.

I DEM possono essere rappresentati sia in formato raster che vettoriale a seconda del **metodo di elaborazione** e delle **finalità** con cui vengono costruiti.



Metodo di elaborazione = Algoritmo di interpolazione



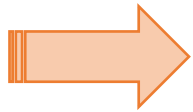
Finalità = Analisi volumi di frana, Analisi movimenti degli edifici, Analisi di bacino, Analisi probabilità di dissesto rispetto all'assetto giaciturale, etc.

DEM, DTM, DSM

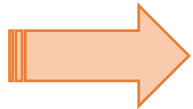
Definizioni e differenze

Per semplicità ci riferiremo sempre al DEM e differenzieremo a seconda del modello con cui avremo a che fare.

I DEM possono essere rappresentati sia in formato raster che vettoriale a seconda del **metodo di elaborazione** e delle **finalità** con cui vengono costruiti.



Metodo di elaborazione = Algoritmo di interpolazione



Finalità = Analisi volumi di frana, Analisi movimenti degli edifici, Analisi di bacino, Analisi probabilità di dissesto rispetto all'assetto giaciturale, etc.

Dipende dalla scala dell'indagine



Formato (raster o vettoriale) del DEM

Il processo di creazione di un DEM

Da punti a superficie

Si è nominata l'interpolazione perché il procedimento che porta alla creazione di un DEM è un procedimento che inizia con elementi discreti (punti) e finisce con la definizione di una superficie continua.

La prima cosa da definire, in ogni caso, è la **finalità** del DEM. Il suo futuro utilizzo.

Per passi:

- 1) Acquisizione dei dati (e riduzione ad un unico SDR in caso di fonti multiple)
- 2) Definizione del modello di DEM (se a griglia regolare o TIN) e algoritmi di interpolazione
- 3) Presentazione dei risultati elaborati in funzione dei prodotti voluti (vestizione)

Il processo di creazione di un DEM

Da punti a superficie

Si è nominata l'interpolazione perché il procedimento che porta alla creazione di un DEM è un procedimento che inizia con elementi discreti (punti) e finisce con la definizione di una superficie continua.

La prima cosa da definire, in ogni caso, è la **finalità** del DEM. Il suo futuro utilizzo.

Per passi:

- 1) Acquisizione dei dati (e riduzione ad un unico SDR in caso di fonti multiple)
- 2) Definizione del modello di DEM (se a griglia regolare o TIN) e algoritmi di interpolazione
- 3) Presentazione dei risultati elaborati in funzione dei prodotti voluti (vestizione)

Il processo di creazione di un DEM

Acquisizione dei dati

La fase di acquisizione dei dati (la pianificazione di una campagna di campionamento, ad esempio) dipende strettamente dalle finalità della mappa che andremo a creare.

Le tecniche di acquisizione sono le più disparate:

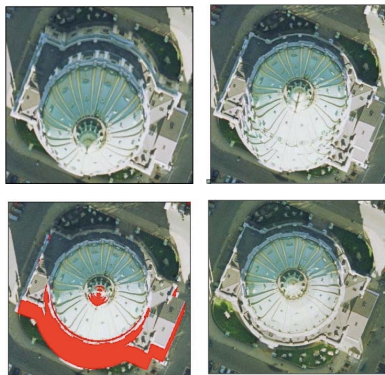
	Metodologia	Strumento	Quantità di dati misurabili	Automazione del metodo	Accuratezza media
Misura dalla cartografia	Scansione	Scanner	Elevata	Buona	Media
	Digitalizzazione	Tavolo digitalizzatore	Elevata	Scarsa	Media
Rilievo Topografico	Topografia classica	Stazione totale	Media	Nulla	Elevata
	Geodesia spaziale	GPS	Media	Nulla	Elevata
Rilievo fotogrammetrico	Approccio analitico	Stereocomparatore analitico	Elevata	Scarsa	Buona/Elevata
	Approccio digitale	Stazione digitale	Molto elevata	Ottima	Buona/Elevata
Telerilevamento	Ripresa spaziale	GIS	Elevata	Ottima	Media

Il processo di creazione di un DEM

Acquisizione dei dati

Metodi topografici:

Misurano angoli azimutali e zenitali, distanze, dislivelli. Gli strumenti possono essere un teodolite e una stadia o una stazione totale e satelliti GPS. Nel caso dell'uso del GPS nel rilievo topografico è più corretto parlare di GNSS (Global Navigation Satellite System) che definisce un servizio di posizionamento geospaziale a copertura globale basato sull'elaborazione di un segnale a radiofrequenza trasmesso in linea di vista tra i satelliti di diverse costellazioni (GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, IRNSS). L'errore nel posizionamento è di pochi metri.



Metodi fotogrammetrici:

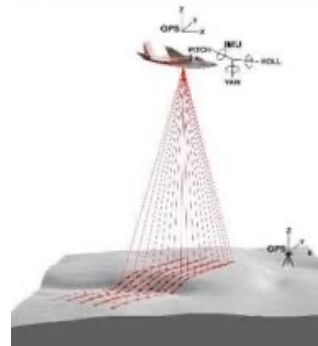
Due fotografie di uno stesso oggetto (o un'area), riprese secondo schemi precisi e inserite in opportuni visualizzatori, consentono di ricostruire un modello tridimensionale metrico dell'oggetto (principio fotogrammetrico).

Il processo di creazione di un DEM

Acquisizione dei dati

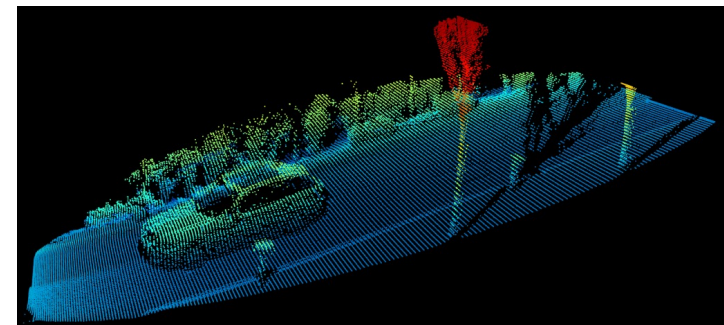
Laser scanner:

il rilievo può essere sia da terra che aereo, la restituzione dello strumento consiste in una nuvola di punti 3D ad elevata densità che descrive la superficie dell'oggetto osservato. La posizione dei punti è stimata in base al tempo che intercorre tra l'emissione di un segnale da parte dello scanner e il suo ritorno allo stesso, previa riflessione. Può misurare in ogni direzione tutto l'ambiente circostante.



LIDAR:

la tecnica di Light Detection And Ranging è una tecnica di telerilevamento attivo in cui un laser scanner è installato su un mezzo aereo, lo strumento ha un trasmettitore (laser), un ricevitore (telescopio) e un sistema di acquisizione dati. Il sistema permette di acquisire un'elevata mole di dati ad elevate accuratezza e risoluzione.



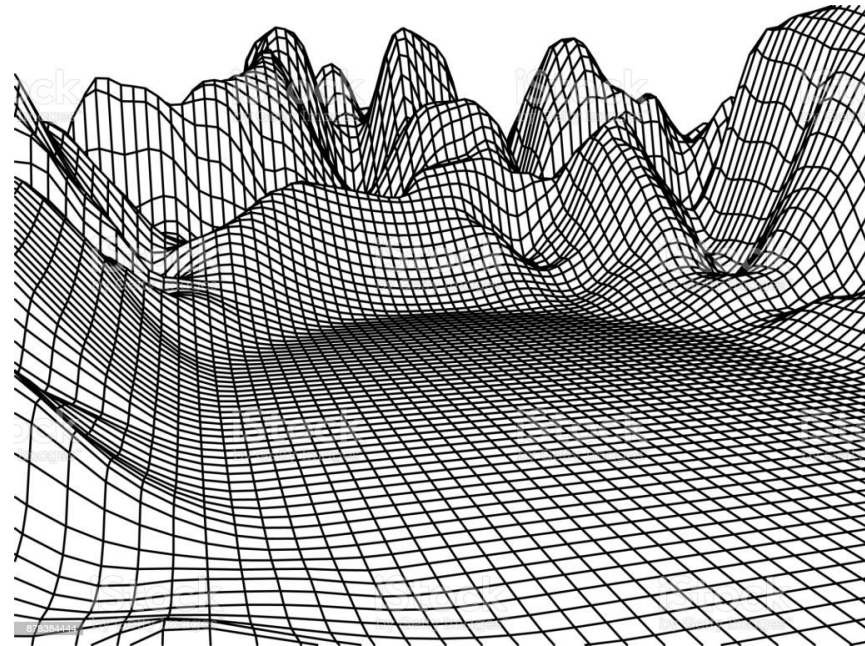
Il processo di creazione di un DEM

Definizione del modello di DEM e algoritmi di interpolazione

Un DEM può essere a **griglia regolare**:

- I valori delle quote al centro di ogni cella vanno calcolati tramite **interpolazione** (i dati acquisiti hanno distribuzione discontinua) sfruttando o meno le caratteristiche stocastiche dei dati stessi (metodi statistici o metodi deterministici).
- Attenzione ad eventuali comportamenti anomali ai bordi della griglia
- Occorre valutare il passo ottimale.
- Fare attenzione alla possibilità di oversampling (se campionamenti ridondanti su terreno uniforme).

In questo caso il DEM è una superficie **raster**.



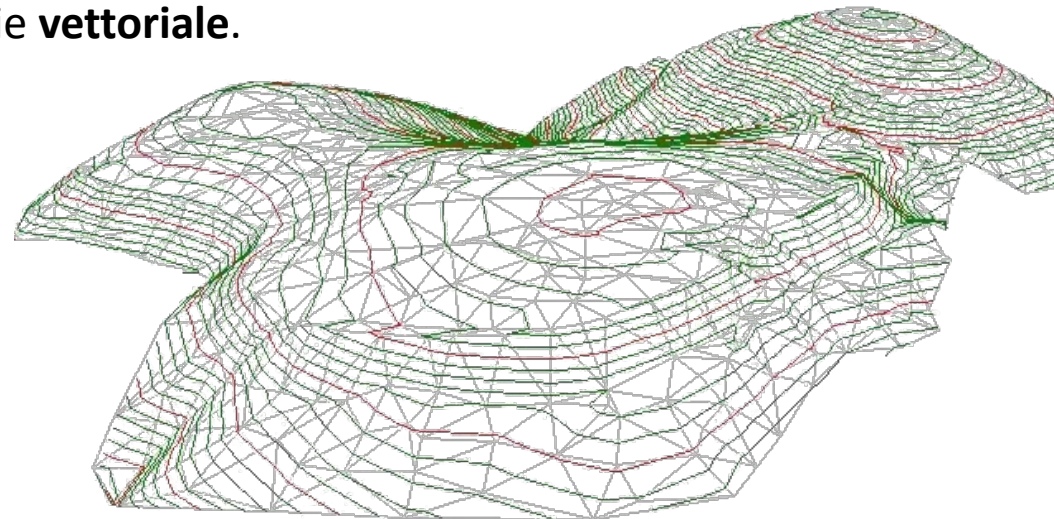
Il processo di creazione di un DEM

Definizione del modello di DEM e algoritmi di interpolazione

Un DEM può essere a **griglia irregolare**:

- Utile su terreni altrettanto irregolari, al fine di riprodurre la variabilità del terreno.
- Un esempio è il TIN (Triangulated Irregular Network) in cui i punti campionati ed eventuali altri punti significativi del terreno costituiscono i vertici di **triangoli**.
- I valori campionati e posizionati ai vertici dei triangoli che compongono la mappa non vengono modificati mediante **nessuna operazione di interpolazione**.

In questo caso il DEM è una superficie **vettoriale**.



Il processo di creazione di un DEM

Definizione del modello di DEM e algoritmi di interpolazione

Altri esempi (meno frequenti) sono i DEM a **griglia con passo variabile**.

Usati, ad esempio in batimetria per rappresentare al meglio il fondale marino, sfruttano anch'essi algoritmi di **interpolazione**. La mappa risultante è un **raster**.

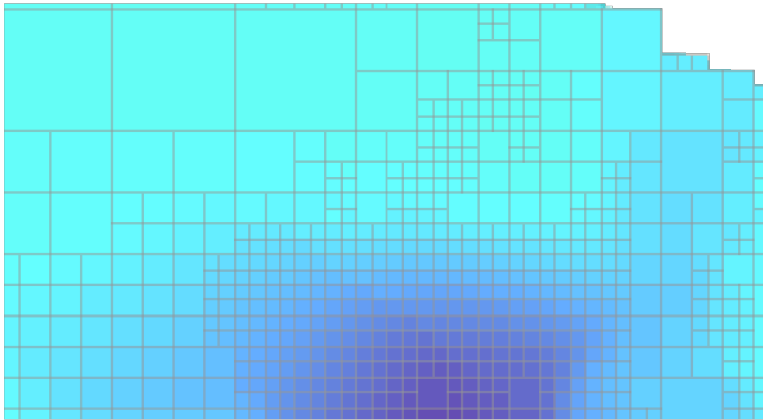


Immagine da CARIS HIPS and SIPS User Guide
(HIPS and SIPS User Guide - Sensor
[https://sensor.awi.de › rest › getOnlineResourcesFile](https://sensor.awi.de/rest/getOnlineResourcesFile))

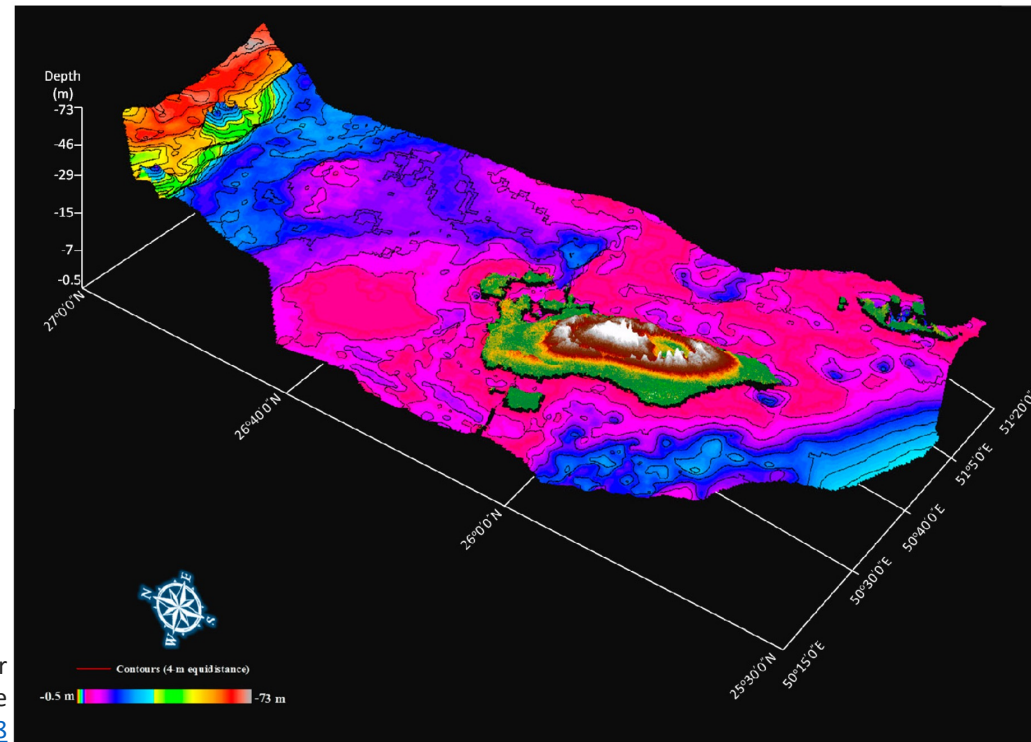


Immagine da Bannari, A.; Kadhem, G. MBES-CARIS Data Validation for Bathymetric Mapping of Shallow Water in the Kingdom of Bahrain on the Arabian Gulf. *Remote Sens.* **2017**, *9*, 385. <https://doi.org/10.3390/rs904038>

Il processo di interpolazione

Metodi globali e locali, esatti e approssimati, lineari e non

Il processo di interpolazione è quello che ci consente di passare da una rappresentazione discreta del territorio a una continua. Essenzialmente si tratta di fare una predizione del valore assunto da una variabile spaziale in un punto (inteso come posizione nello spazio) dove un valore campionato per la variabile non esiste.

I metodi di interpolazione possono essere classificati in molti modi:

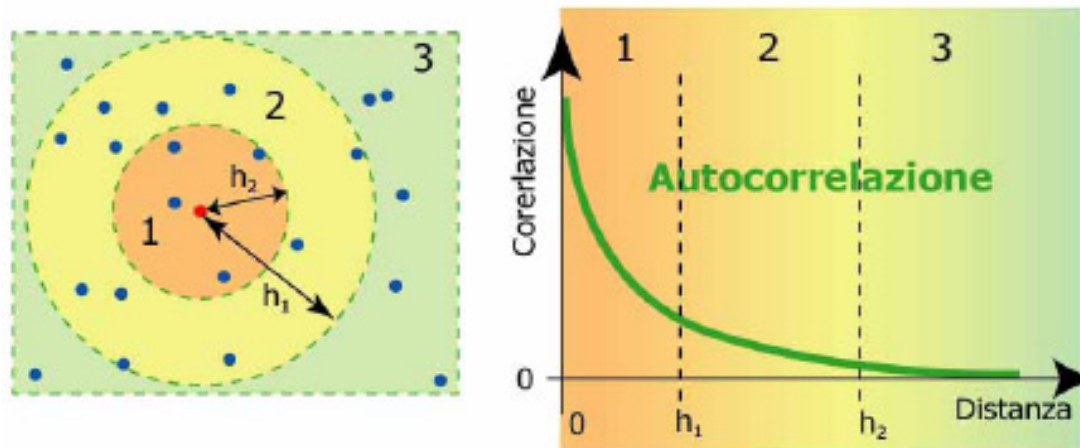
- **Metodi globali e metodi locali:** a seconda che si utilizzi tutto il dataset oppure solo i dati campionati in un dato range di distanza dal punto in cui stiamo effettuando la predizione.
- **Metodi esatti e metodi approssimati:** nel caso in cui la superficie finale riporti, in corrispondenza dei punti campionati i valori campionati oppure no.
- **Metodi lineari e non:** nel caso in cui si utilizzino le medie dei valori campionati per effettuare la predizione oppure si utilizzino metodi pesati.

Il processo di interpolazione

Autocorrelazione spaziale e workflow

Tutti i metodi sottendono la validità della **legge di Tobler** per cui «*Tutto in geografia è collegato a tutto ma le cose tra di loro vicine sono più correlate tra di loro di quelle tra di loro più lontane*». Cioè: esiste un'influenza tra i valori assunti da una variabile spaziale in diverse posizioni dello spazio ed è legata alla vicinanza degli oggetti.

Il concetto di **autocorrelazione spaziale** dice proprio questo: oggetti vicini sono positivamente relazionati, e la **posizione** del punto è importante tanto quanto il **valore** assunto della variabile in quel punto.



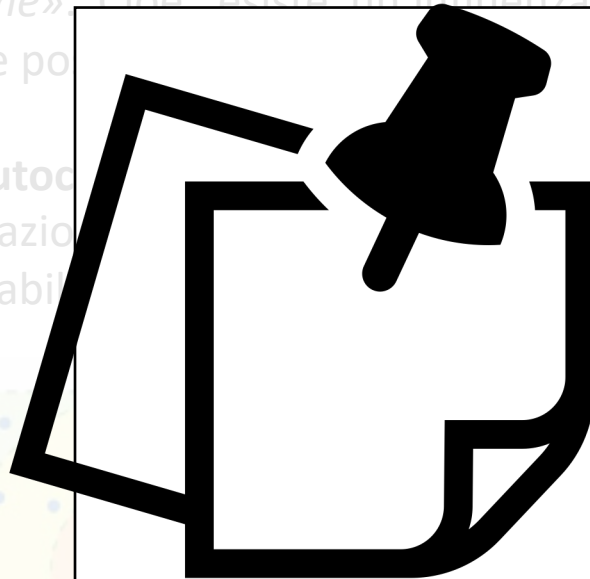
Rapporti tra campioni vicini molto correlati, 1, distanti poco correlati, 2, e lontani non correlati, 3, con il punto considerato

Il processo di interpolazione

Autocorrelazione spaziale e workflow

Tutti i metodi sottendono la validità della **legge di Tobler** per cui «*Tutto in geografia è collegato a tutto ma le cose tra di loro vicine sono più correlate tra di loro di quelle tra di loro più lontane*». Cioè: esiste un'influenza tra i valori assunti da una variabile spaziale in diverse po

Il concetto di **autocorrelazione spaziale** è positivamente relazione tra il valore assunto della variabile



Qualora prendiamo in considerazione l'autocorrelazione spaziale dei dati, tutto si basa sul concetto di **vicinaggio** inteso come una zona di influenza locale del valore campionato che consideriamo per le nostre analisi. Spostando poi questa sottomatrice lungo tutta la mappa raster (**vicinaggio mobile**) riusciamo a estendere stime

effettuate localmente a tutto il campo di definizione della variabile (estensione della mappa raster)

0 h_1 h_2 Distanza

Rapporti tra campioni vicini molto correlati, 1, distanti poco correlati, 2, e lontani non correlati, 3, con il punto considerato

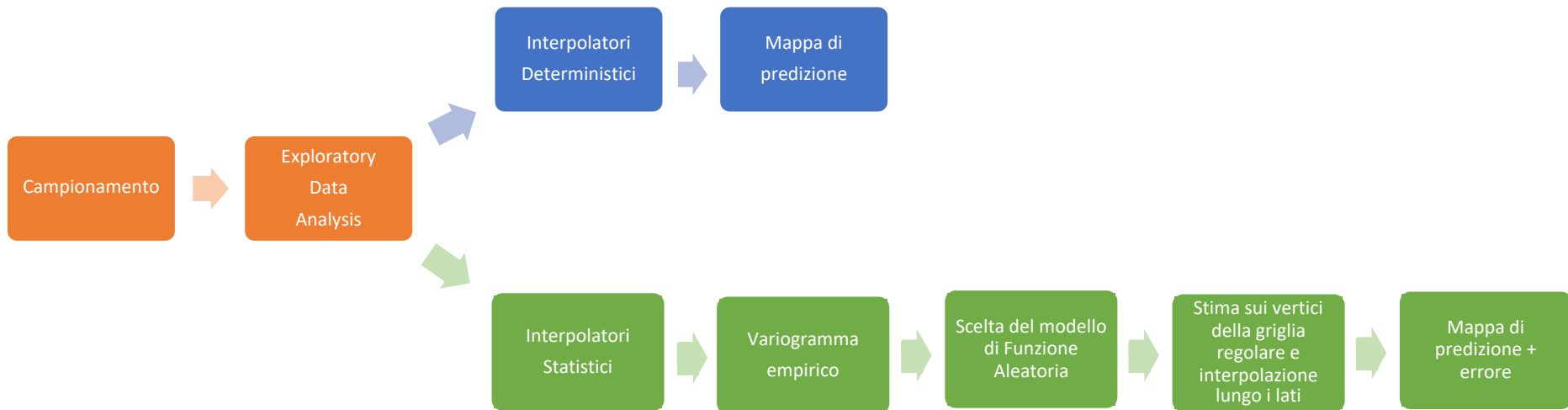
Il processo di interpolazione

Autocorrelazione spaziale e workflow

Possiamo quindi scegliere se utilizzare o meno le proprietà statistiche di un campione e scegliere quindi di produrre:

- Una mappa di predizione tramite gli interpolatori **deterministici**
- Una mappa di predizione + una di errore tramite gli interpolatori **geostatistici**

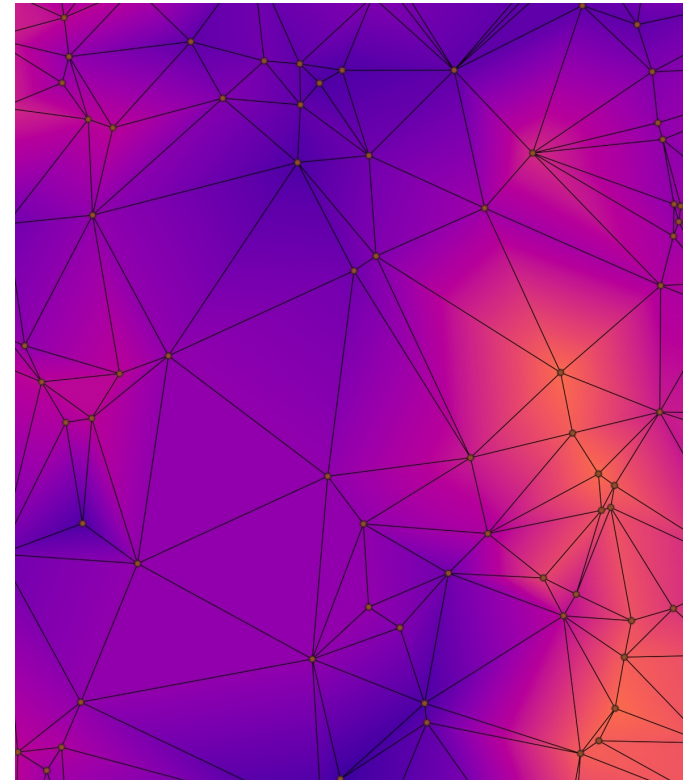
Qui di seguito è riportato uno schema molto sintetico dei passaggi concettuali che portano alla creazione di una mappa interpolata:



Interpolatori deterministici

Triangolazione

- Algoritmo d'interpolazione esatto.
- Superfici composte da elementi triangolari di dimensioni variabili secondo la regola di Delaunay (il cerchio che passa per 3 vertici di un triangolo non contiene alcun altro vertice della rete triangolata).
- Mentre i valori ai vertici sono quelli campionati, se si vuole conoscere il valore della variabile spaziale in un punto all'interno del triangolo occorre calcolarlo per interpolazione lineare rispetto ai valori dei vertici.
- Molto usato per generare DEM.
- Simula bene brusche variazioni locali tra un triangolo e l'altro.
- Non fornisce l'errore della stima.



Interpolatori deterministici

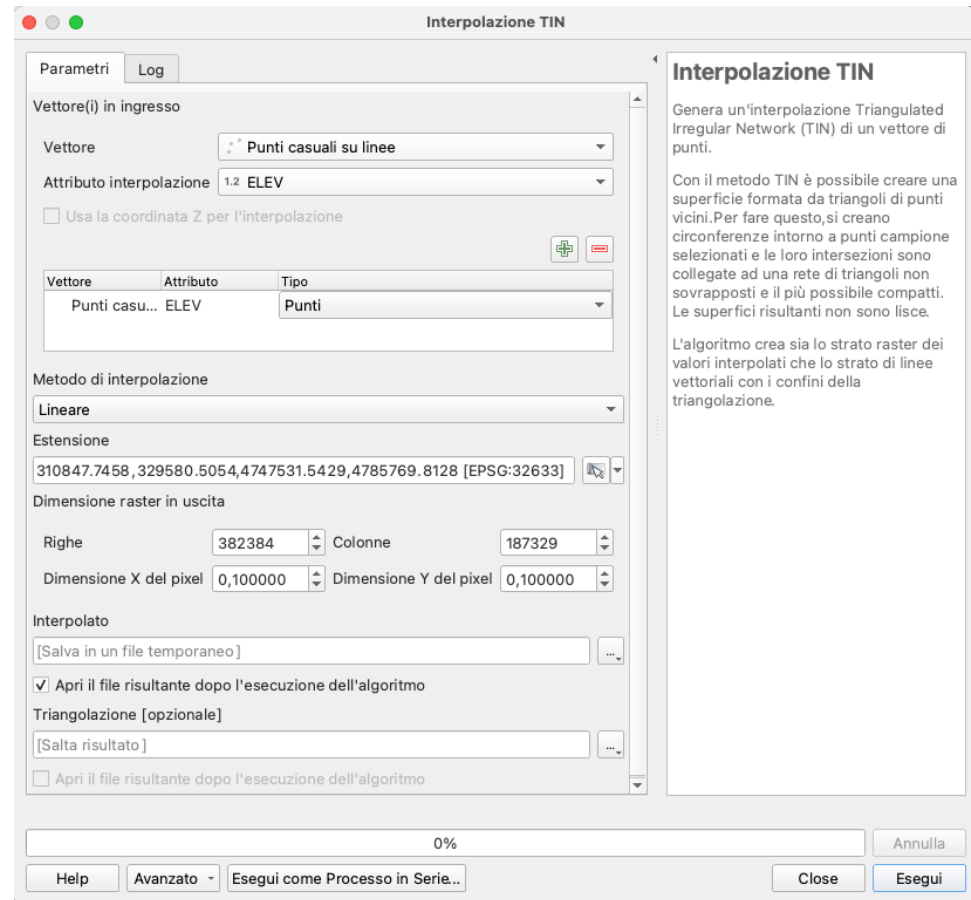
Triangolazione

In QGIS ci sono tre tools per creare una triangolazione:

1. Interpolazione TIN

In questo caso vengono prodotti sia un vettoriale (del reticolato) che un raster con tutti i valori di interpolazione (lineare) cella per cella, tra un vertice e l'altro.

Molto lento.



Interpolatori deterministici

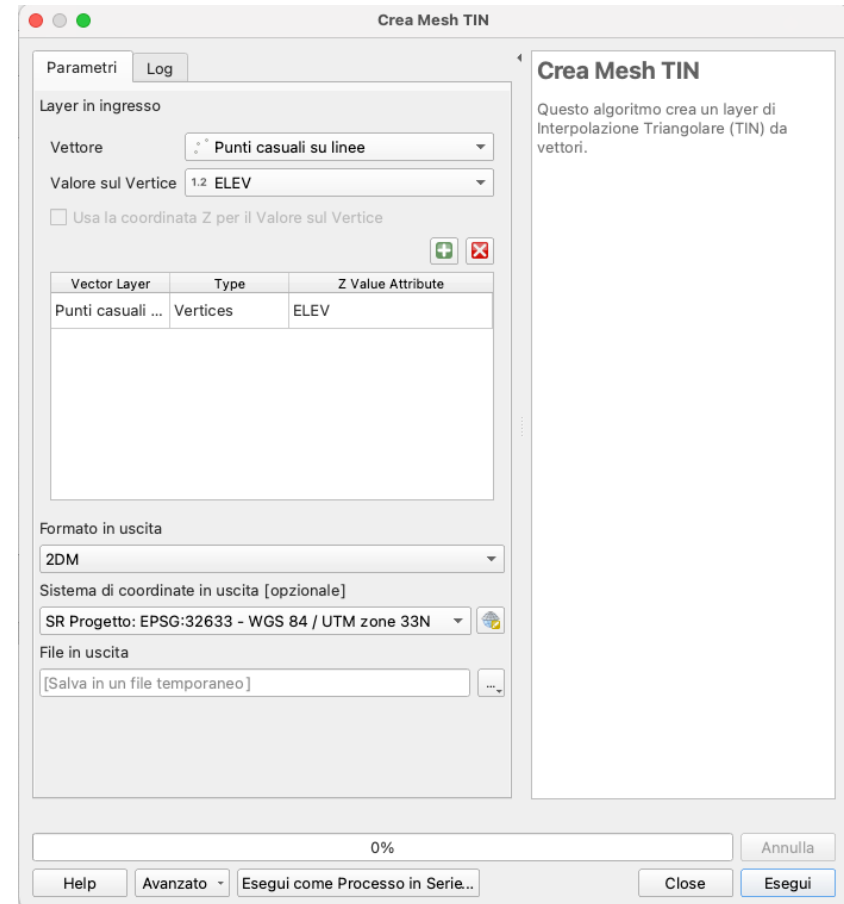
Triangolazione

In QGIS ci sono tre tools per creare una triangolazione:

2. TIN Mesh

In questo caso si crea una mesh che è per sua natura differente sia da un raster che da un vettoriale propriamente detto. Infatti, pur essendo formalmente un vettoriale, non ha una tabella degli attributi connessa e le informazioni relative alla quota e al centroide della faccia interrogata vengono immagazzinate nella geometria stessa.

Molto rapido.



Interpolatori deterministici

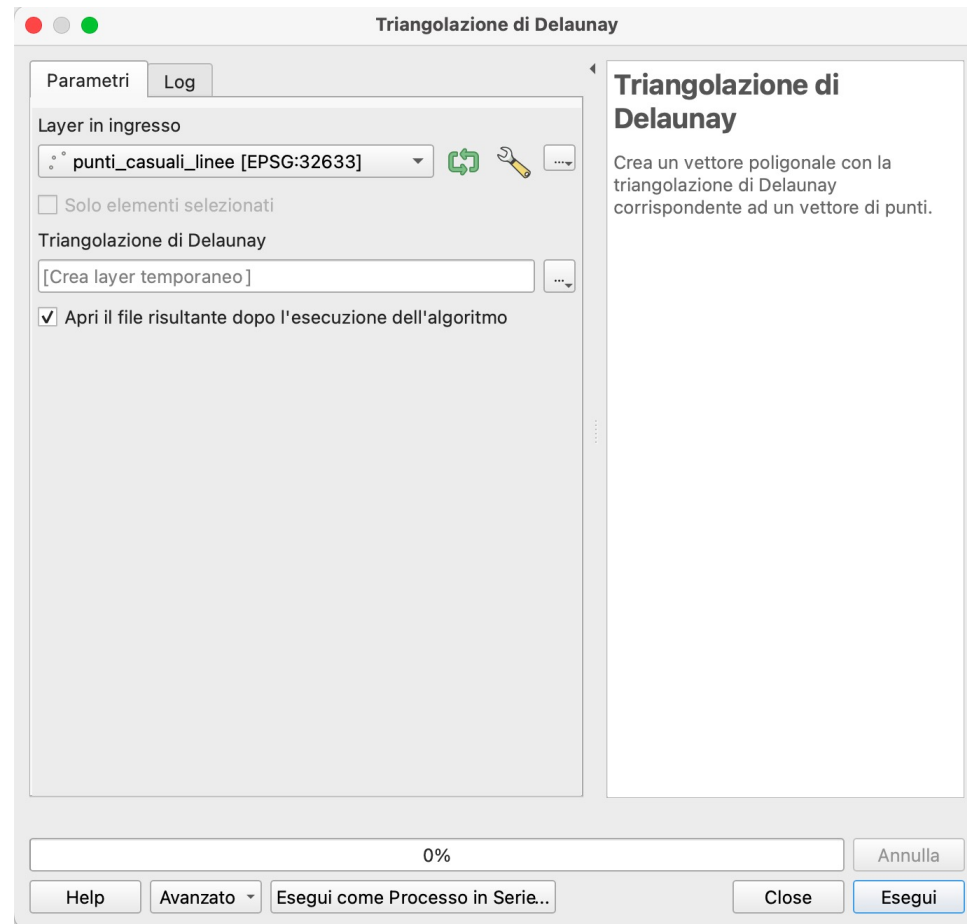
Triangolazione

In QGIS ci sono tre tools per creare una triangolazione:

3. Triangolazione di Delaunay

In questo caso si crea un file vettoriale di triangoli che corrisponde in tutto e per tutto a quella individuata dal precedente tool ma nessun attributo del layer in ingresso (layer di punti) viene mantenuto, nella tabella degli attributi vengono riportati i soli ID dei punti che rappresentano i vertici del triangolo.

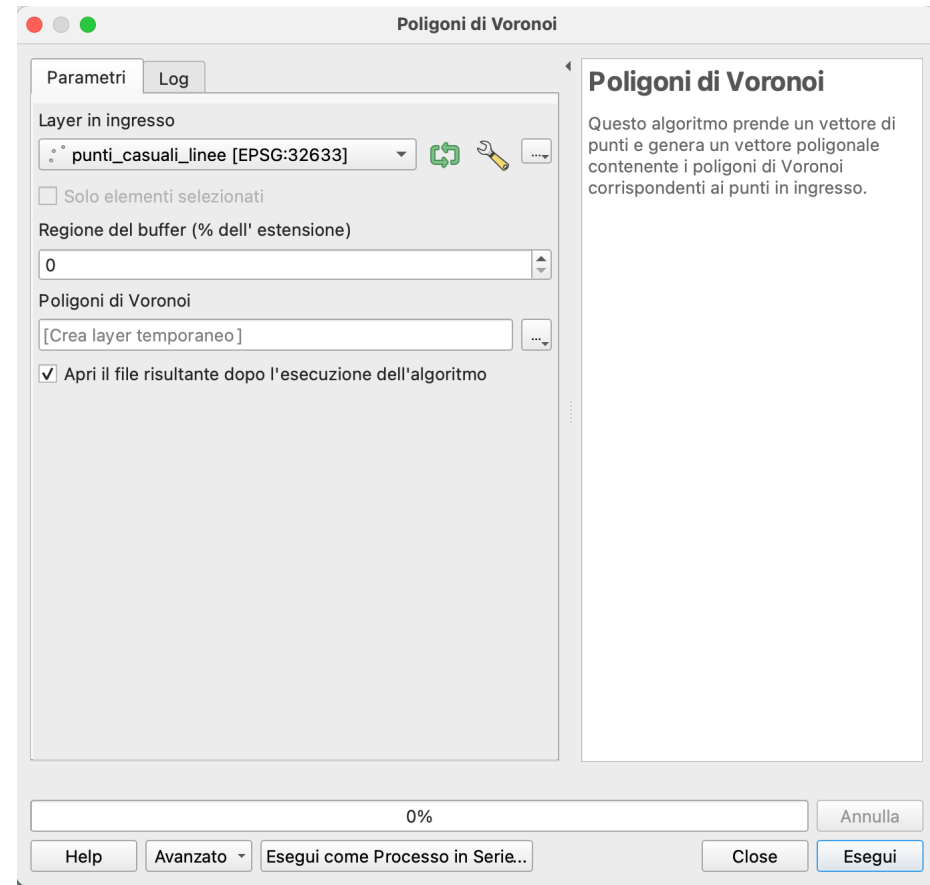
Molto rapido.



Interpolatori deterministici

Altre forme di interpolazione vettoriale

Un'altra forma di interpolazione vettoriale è quella dei poligoni di Voronoi, in cui lo spazio è suddiviso in poligoni adiacenti, con nr. di lati variabili, che racchiudono tutti i punti a minor distanza dal centro del poligono (individuazione delle bisettrici perpendicolari alle linee che uniscono i punti campionati).



Interpolatori deterministici

Interpolatori raster

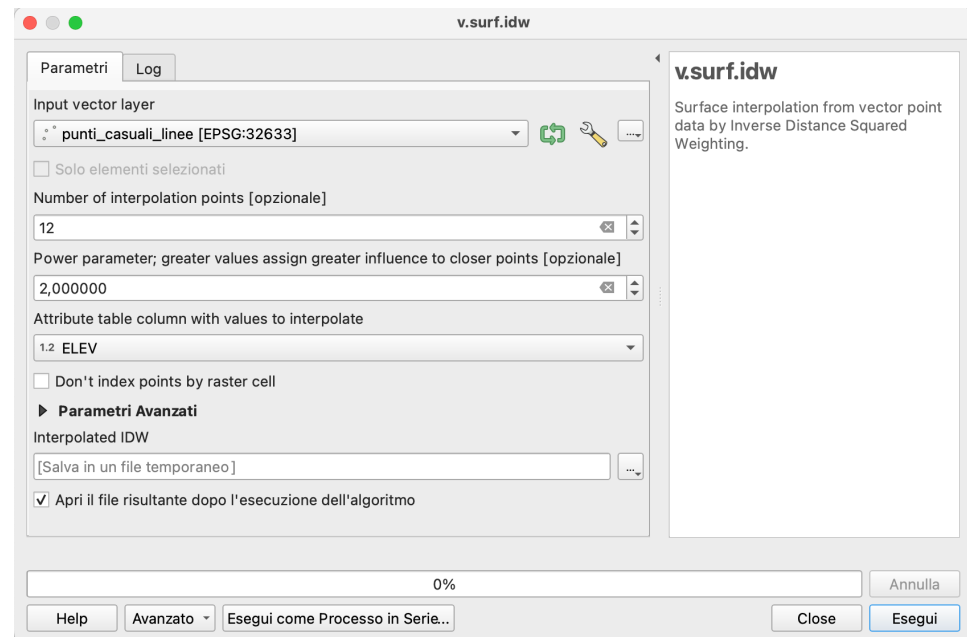
Tra gli interpolatori raster, molto utilizzati sono l'inverso delle distanze pesate e le spline.

IDW è un algoritmo in base al quale il valore assunto dal parametro in un punto di predizione è funzione dei valori nei punti circostanti, che sono pesati in base all'inverso della loro distanza dal punto di predizione.

Il valore del parametro sui punti campionati è quello campionato (interpolatore **esatto**), il numero di punti da utilizzare per la predizione è da definire (interpolatore **locale**) e si può decidere il parametro di potenza, che influisce su quanto la distanza abbia effetto sul valore da attribuire al peso (di solito p è compreso tra 1 e 2).

$$X^* = \frac{W_1 X_1 + W_2 X_2 + W_3 X_3 + \dots + W_n X_n}{W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n}$$

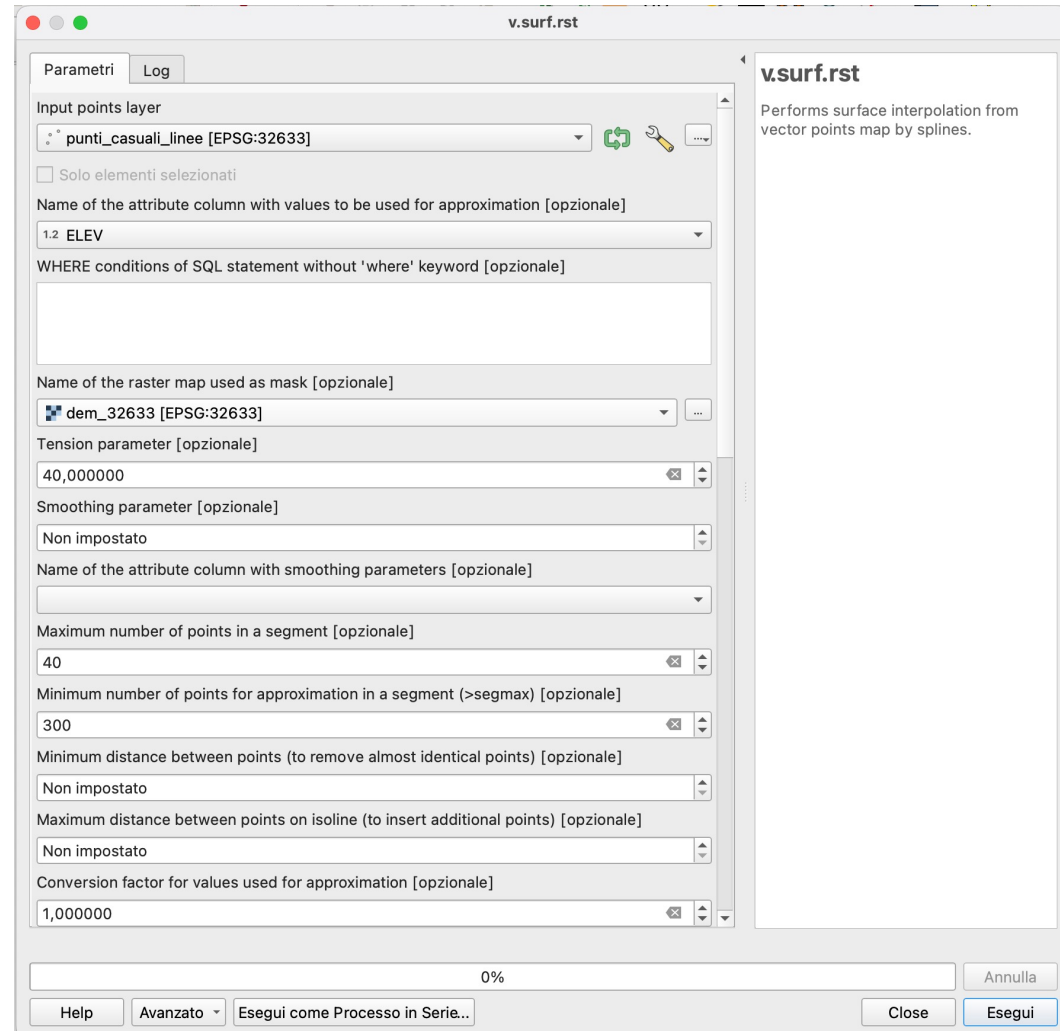
$$W_1 = \frac{1}{d_{1x}^p}$$



Interpolatori deterministici

Interpolatori raster

SPLine è un algoritmo di interpolazione **globale** e **approssimato** (i valori campionati possono non rimanere tali nella mappa in output) che sfrutta parametri come *smoothing* e *tension* per rappresentare al meglio le peculiarità del terreno. In particolare lo *smoothing* definisce il potenziale errore del campionamento (quindi qual è il livello di approssimazione di cui stiamo parlando) mentre la *tension* influisce su quanto la superficie sarà «tesa» tra un punto campionato e l'altro.

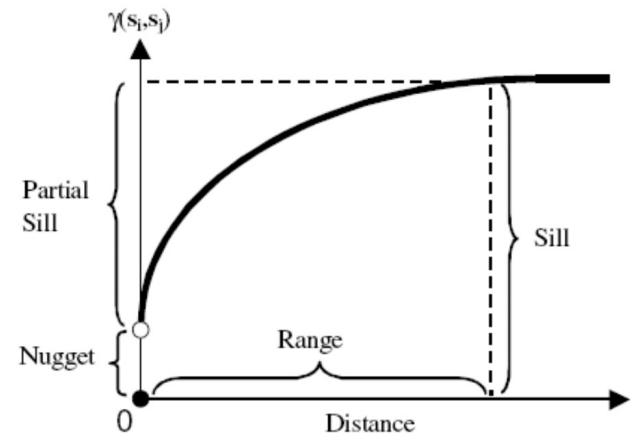


Interpolatori stocastici

Interpolatori raster

Come accennato prima, il processo di interpolazione geostatistica fornisce non solo la predizione ma anche una stima dell'errore della predizione. I passaggi concettuali che portano alla creazione della mappa di predizione sono:

- Analisi del variogramma empirico: la funzione variogramma (γ) è inversamente proporzionale al coefficiente di correlazione. Il variogramma empirico è costituito da questo parametro (in ordinata) per tutti i punti campionati in funzione della loro distanza relativa (in ascisse). Graficando questa dipendenza si vuole misurare quindi la distanza entro la quale ha un effetto l'autocorrelazione spaziale dei dati (*range*), il valore massimo di correlazione (*sill*) e come si comportano i dati per punti molto vicini tra loro (ci sono diversi comportamenti possibili, spesso esiste una discontinuità spaziale e si ha l'effetto *nugget*).

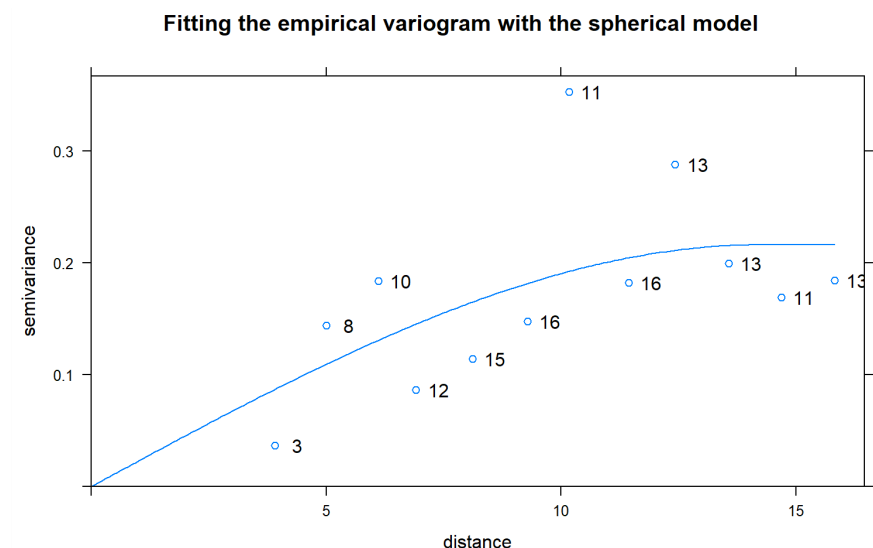
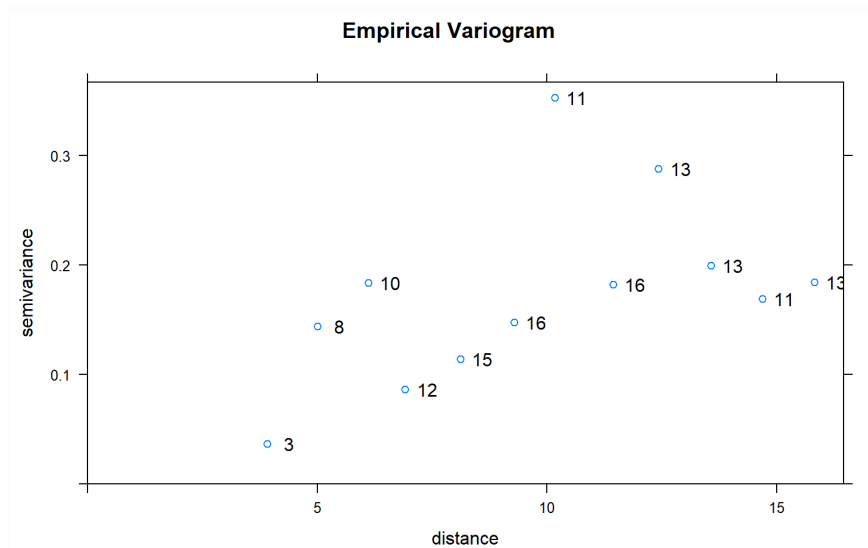


Interpolatori stocastici

Interpolatori raster

Come accennato prima, il processo di interpolazione geostatistica fornisce non solo la predizione ma anche una stima dell'errore della predizione. I passaggi concettuali che portano alla creazione della mappa di predizione sono:

- Scelta di un variogramma modello: osservando come si distribuiscono i dati nel variogramma sperimentale scegliamo quindi il modello di variogramma che più si avvicina alla nostra distribuzione (molto spesso i casi reali sono rappresentati da una combinazione di più modelli di variogramma).



Immagini da: <https://www.agronomoflorentini.it/wp-content/uploads/2020/03/Geostatistica-Univariata-e-Multivariata-3.html>

Interpolatori stocastici

Interpolatori raster

Come accennato prima, il processo di interpolazione geostatistica fornisce non solo la predizione ma anche una stima dell'errore della predizione. I passaggi concettuali che portano alla creazione della mappa di predizione sono:

- Fitting del variogramma sperimentale nel variogramma modello: l'operazione di fitting è costituita da due operazioni successive:
 1. La **stima** dei valori della variabile regionalizzata ai vertici di una griglia regolare con risoluzione pari a quella desiderata per la mappa finale
 2. L'**interpolazione** sui lati della griglia del valore della VR stessa sulla base dello stimatore usato. Lo stimatore stesso restituisce sia la predizione che la stima dell'errore.

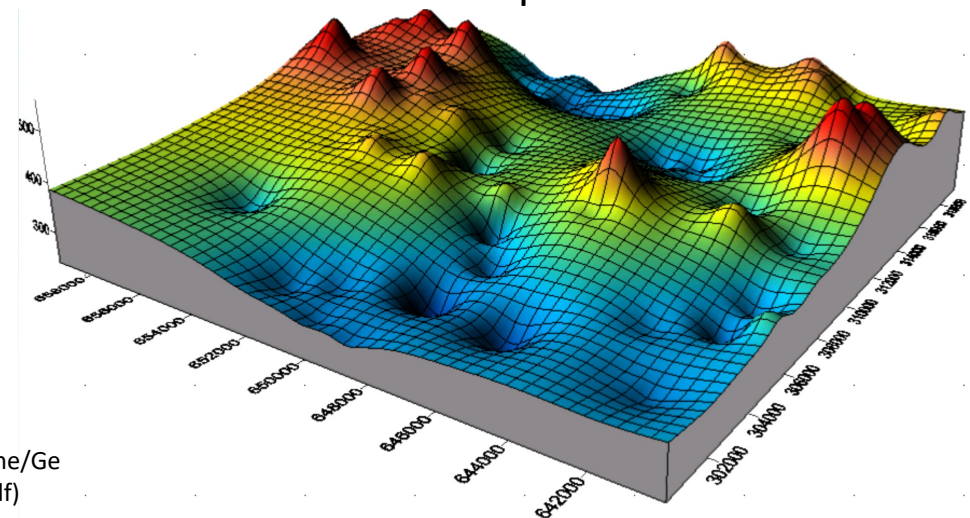


Immagine da: «Geostatistica e interpolazione spaziale», V. Noti
(http://www.ricercasit.it/public/documenti/Dottorato/Formazione/Geostatistica_e-learning/Lezione_Noti_23set2011_slide_parte_c.pdf)

Interpolatori stocastici

Interpolatori raster

Il **Kriging** è un interpolatore geostatistico esatto e, a seconda della forma che assume la funzione connessa al parametro da stimare, ne esistono di diversi tipi:

Metodi di Geostatistica Univariata: se per la predizione si considerano i valori assunti nello spazio dalla sola variabile regionalizzata da stimare.

- **Ordinario**: per funzioni stazionarie, per ogni cella esiste ed è unica la soluzione.
- **Semplice**: per funzioni stazionarie, utile se si hanno a disposizione molti dati.
- **Universale**: per funzioni non stazionarie, utile se la legge di correlazione ha un trend.

Metodi di Geostatistica Multivariata: se per predire una variabile si considerano anche altre variabili spaziali che hanno un effetto sulla variabile studiata (si dice quindi che le variabili sono spazialmente correlate). Un esempio è il **Co-kriging**, anch'esso interpolatore esatto che può essere utile nel caso in cui abbiamo dati di monitoraggio da periodi temporali diversi e/o da diversi sensori.

Interpolatori stocastici

Interpolatori raster

Come scegliere se usare un interpolatore deterministico o uno geostatistico?

Interpolatori Deterministici

- Semplici da usare
- Efficienti anche con pochi dati misurati
- Nessuna ipotesi su distribuzione spaziale dei dati
- Non dipendono da un variogramma

- Non considerano la variabilità spaziale del parametro da stimare
- Se sono approssimati non considerano esatto il valore della variabile nel punto di misura

Interpolatori stocastici

Interpolatori raster

Come scegliere se usare un interpolatore deterministico o uno geostatistico?

Interpolatori Geostatistici

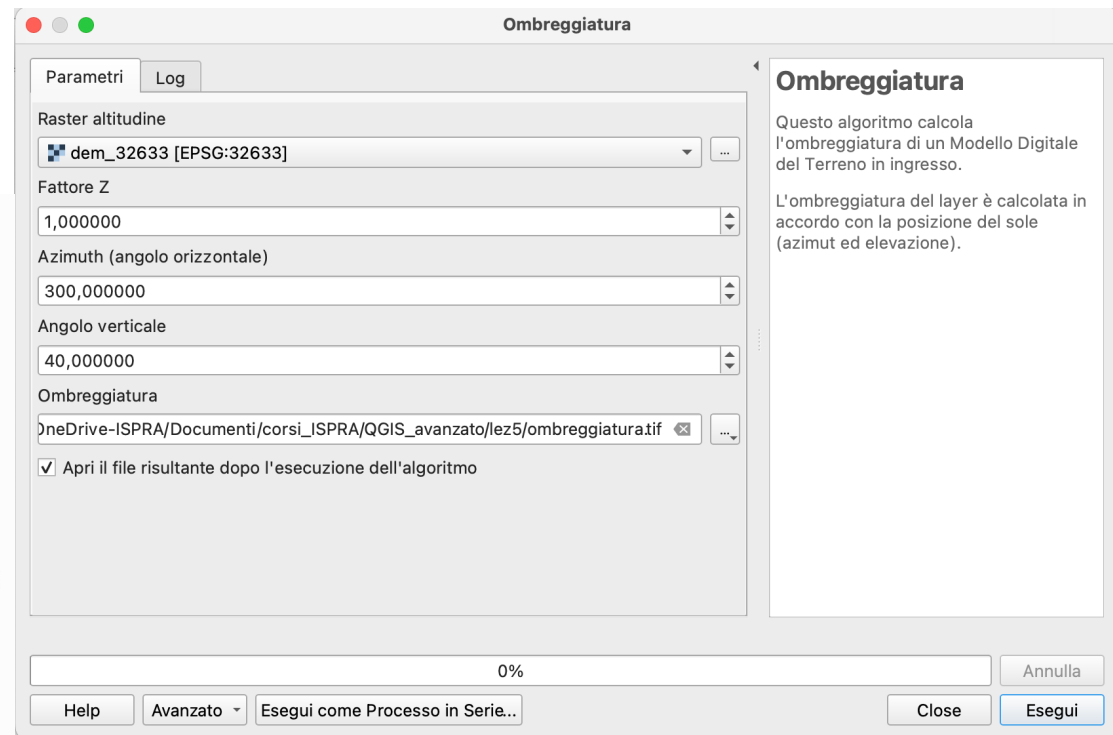
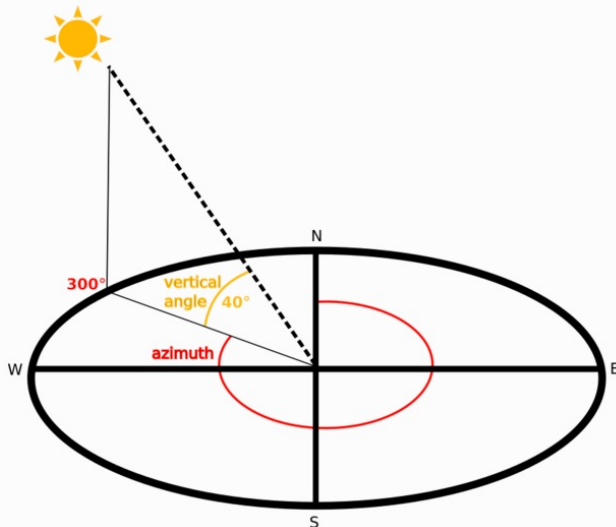
- Considerano la variabilità spaziale del dato
- Forniscono la mappa delle incertezze assieme a quella di predizione
- Stime mediamente più precise

- Più complessi da usare
- Richiedono ipotesi sulla distribuzione spaziale dei dati
- Dipendono dal modello di variogramma scelto
- Non funzionano bene se si hanno pochi dati a disposizione

Strumenti di analisi su DEM

Shaded and relief

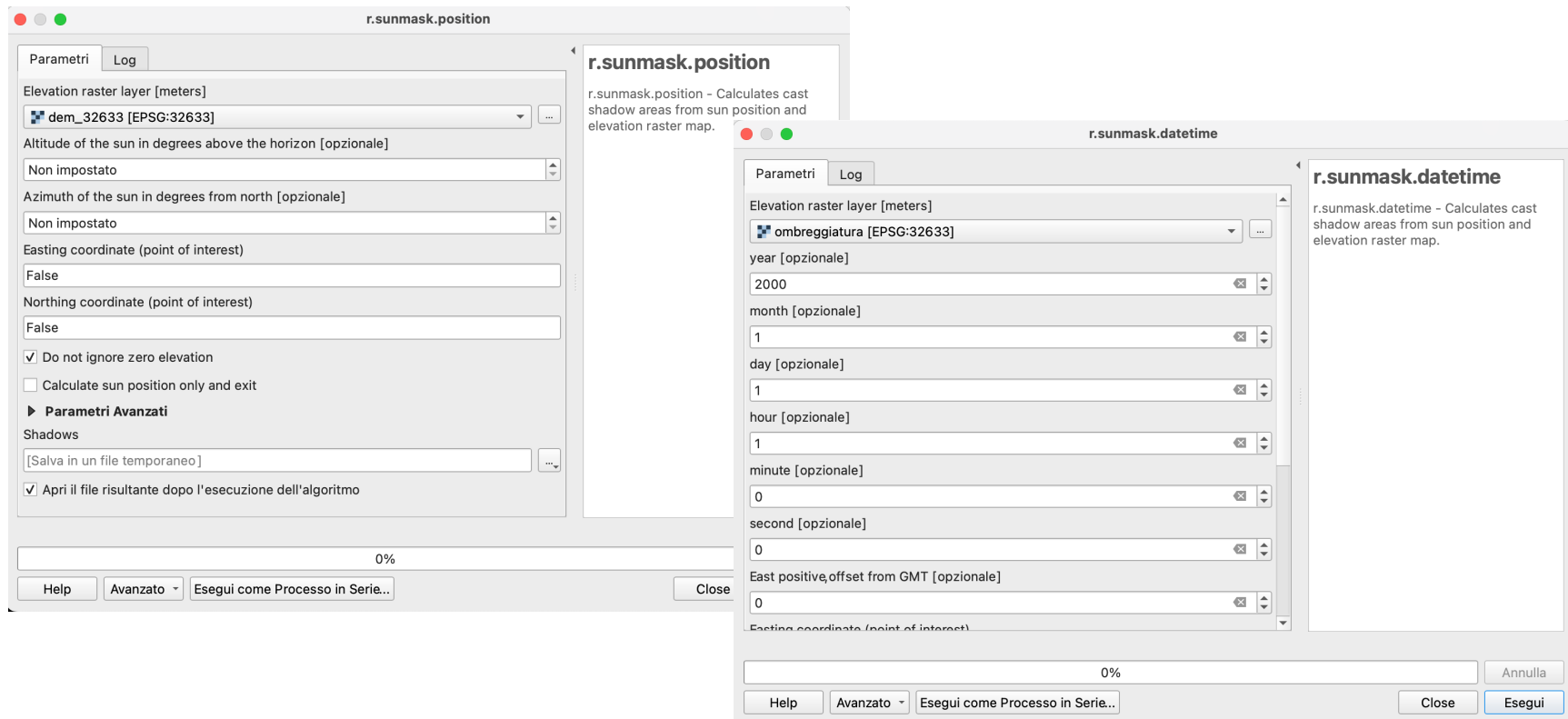
L'algoritmo «Ombreggiatura» (o hillshade) di QGIS calcola l'ombreggiatura delle zone di un raster (DEM) in funzione della posizione del sole, individuata tramite angolo verticale e orizzontale. La mappa prodotta assume valori che vanno da 0 (ombra completa) a 255 (sole completo) e può essere usata per meglio comprendere i rilievi dell'area.



Strumenti di analisi su DEM

Shaded and relief

Altri algoritmi, che possono essere visti come interessanti applicazioni dello *shaded relief*, sono presenti in GRASS GIS e sono, per esempio volti a quantificare il le aree poste in ombra in determinate ore del giorno e per determinate posizioni nel territorio.



Strumenti di analisi su DEM

Slope and Aspect

Altre interessanti analisi su un DEM possono essere l'analisi della pendenza del terreno (slope) e la sua esposizione (aspect). Per questo esistono gli algoritmi, in QGIS, Pendenza ed Esposizione. La pendenza è un angolo verticale espresso in gradi rispetto all'orizzontale (0), l'esposizione è l'angolo orizzontale, in gradi, da 0 a 360 partendo dal Nord in senso orario.

The image shows two overlapping dialog boxes from the QGIS processing toolbox. The 'Pendenza' dialog is in the background, and the 'Esposizione' dialog is in the foreground. Both dialogs have a 'Parametri' tab and a 'Log' button. The 'Pendenza' dialog has a 'Raster altitudine' field set to 'dem_32633 [EPSG:32633]', a 'Fattore Z' field set to '1,000000', and an output file path 'ive-ISPRA/Documenti/corsi_ISPRA/QGIS_avanzato/lez5/pendenza.tif'. The 'Esposizione' dialog has the same 'Raster altitudine' and 'Fattore Z' settings, and an output file path 'ive-ISPRA/Documenti/corsi_ISPRA/QGIS_avanzato/lez5/esposizionetif'. Both dialogs have a progress bar at the bottom showing '0%' and buttons for 'Help', 'Avanzato', 'Esegui come Processo in Serie...', 'Close', and 'Esegui'.

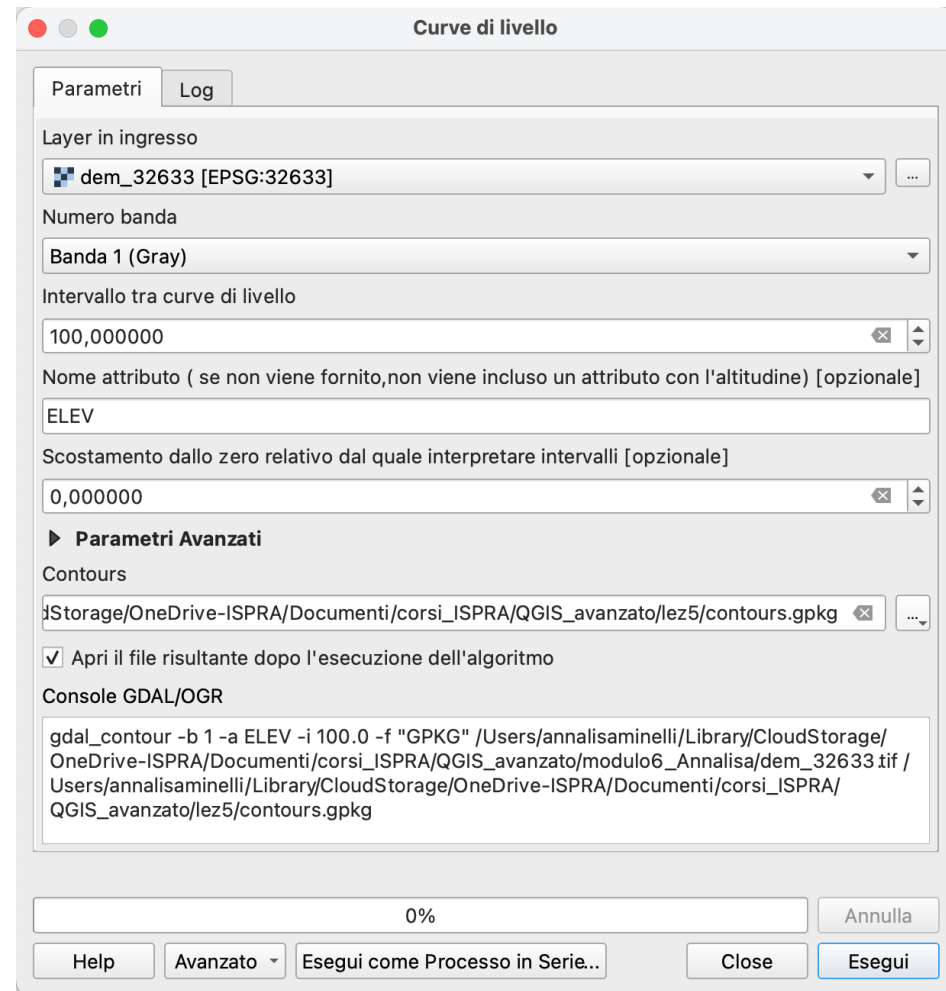
Strumenti di analisi su DEM

Curve di livello

Usiamo lo strumento `gdal_contour` per estrarre le curve di livello da un DEM. Il file in uscita è un vettoriale, si può scegliere il passo delle curve e anche un eventuale offset iniziale (può essere utile in caso abbiamo particolari esigenze di rappresentazione).

PS. Le curve di livello possono essere rappresentate anche tramite poligoni, usando il comando «`gdal_contour -p`».

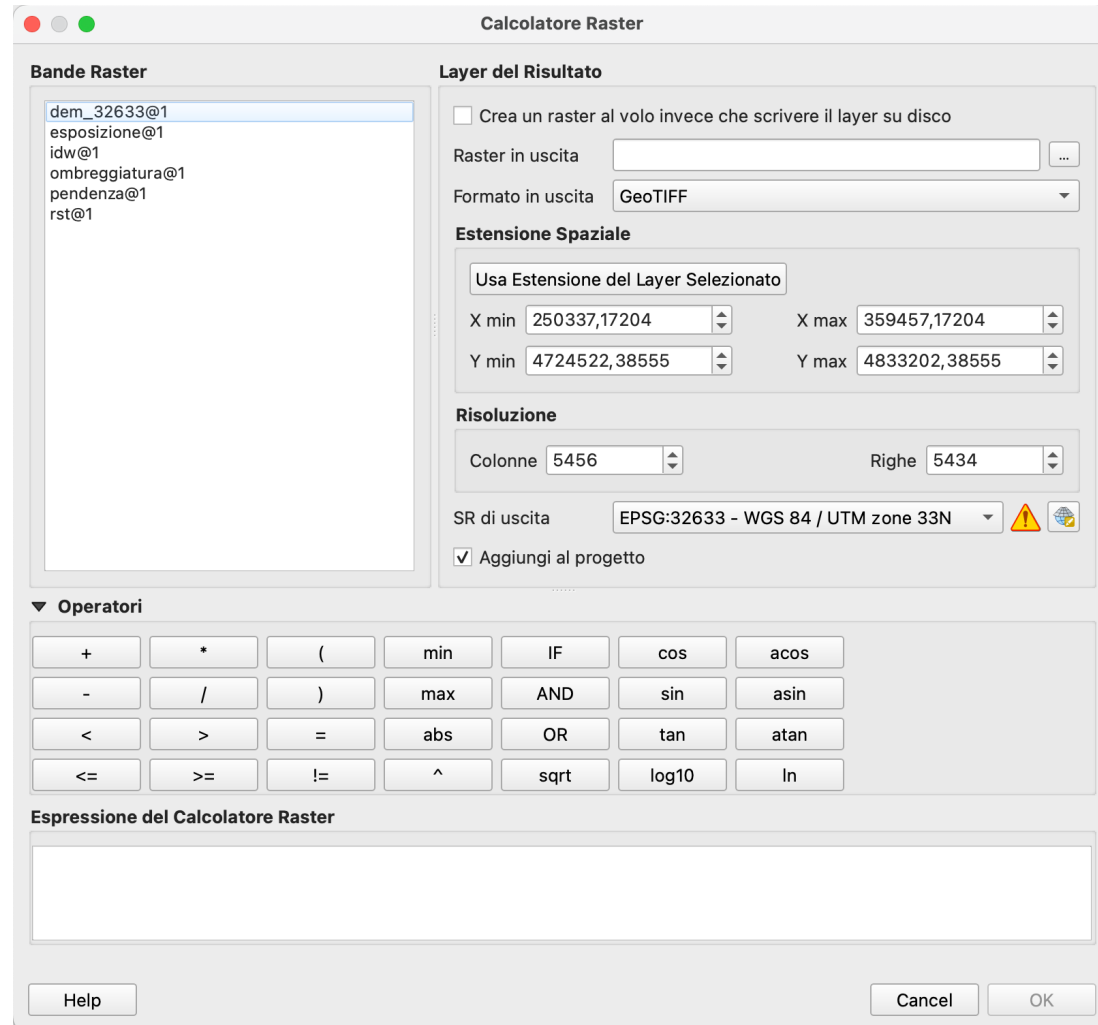
N.B. Tutti i comandi di GDAL vengono riportati in formato stringa nella console GDAL/OGR. Lo stesso comando, lanciato dal terminale, restituisce il medesimo risultato.



Strumenti di analisi su DEM

Semplici manipolazioni con Mapcalculator

Il Mapcalculator (o calcolatore raster) è un potente strumento che permette di eseguire operazioni di tipo logico o matematico cella per cella a partire da una o più mappe raster, che divengono elementi di un'equazione o un'espressione condizionale.



FINE: Grazie per l'attenzione!



Dubbi? Perplexità?

annalisa.minelli@isprambiente.it