

Modelli digitali del terreno (DEM)

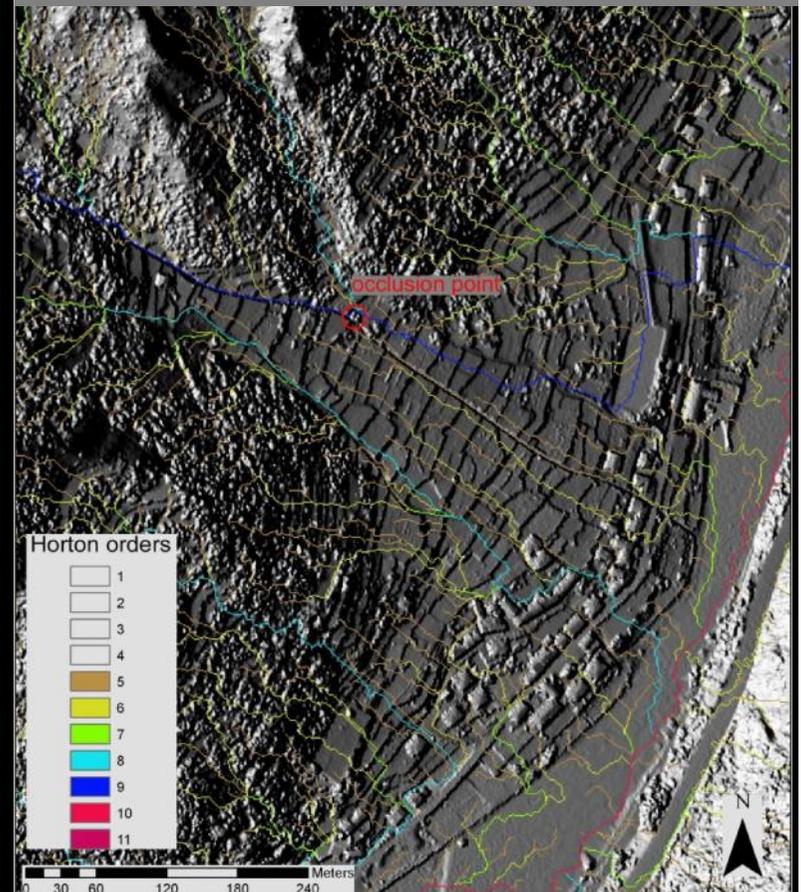


Andrea Ninfo

andrea.ninfo@unife.it

Dipartimento di Fisica e Scienze della
Terra

Università di Ferrara





Die Cpu quad core Intel, 45 nm, 410 milioni di transistor

Introduzione

Continua progressione nella potenza di calcolo delle CPU e nella tecnologia dei sensori

Nel 1961 ci sarebbero voluti 1100 miliardi di dollari per avere un Gigaflops, nel 1997 il mitico “Deep Blue” di IBM, costruito per battere Kasparov nel gioco degli scacchi, capace di 13 Gigaflops costava ancora la bellezza di 5 milioni di dollari. Nel maggio del 2008 IBM stima un costo di circa 0,13 dollari per Gigaflops nel suo supercluster “Roadrunner”, tuttora il più potente, in grado di infrangere la barriera di 1,7 Petaflops (peta=10¹⁵). Questa progressione continua della potenza di calcolo sta portando ad una rapida espansione delle attività di Osservazione della Terra.

Oggi: “I processori basati su Sandy Bridge sono in possesso di una potenza elaborativa di ben **28 GigaFLOPS per ogni core** ottenendo quindi fino a 112-224 GigaFLOPS per ogni processore completo (a seconda che sia a 4 o 8 core), grazie anche alla presenza della tecnologia Simultaneous Multi-Threading”.

Scopi morfometria

- L'esigenza di rappresentare la superficie topografica come funzione delle tre componenti "pure" x , y , z , è **insita da lungo tempo nella cartografia**; in particolare nel diciannovesimo secolo, la precisione raggiunta dalle misurazioni sul terreno ripropone il problema di rappresentare **il dato di campagna** senza procedimenti grafici.
- Per DEM si intende la descrizione numerica dell'altimetria della superficie del terreno. Negli **anni cinquanta** J. Miller del M.I.T per primo formula, dal punto di vista matematico/informatico, questo concetto che è ancor oggi alla base dei DEM.

Storia morfometria I

La nascita della morfometria può essere datata nominalmente con la fondazione dell'accademia geografica da parte di Alexander Von Humboldt (1808, 1817) e Carl Ritter (1826, 1828).

Quindi la morfometria venne poi sviluppata principalmente dai geografi tedeschi; e infine viene rivoluzionata dalla fine del ventesimo secolo con l'avvento dei computer (Pike, 2002).

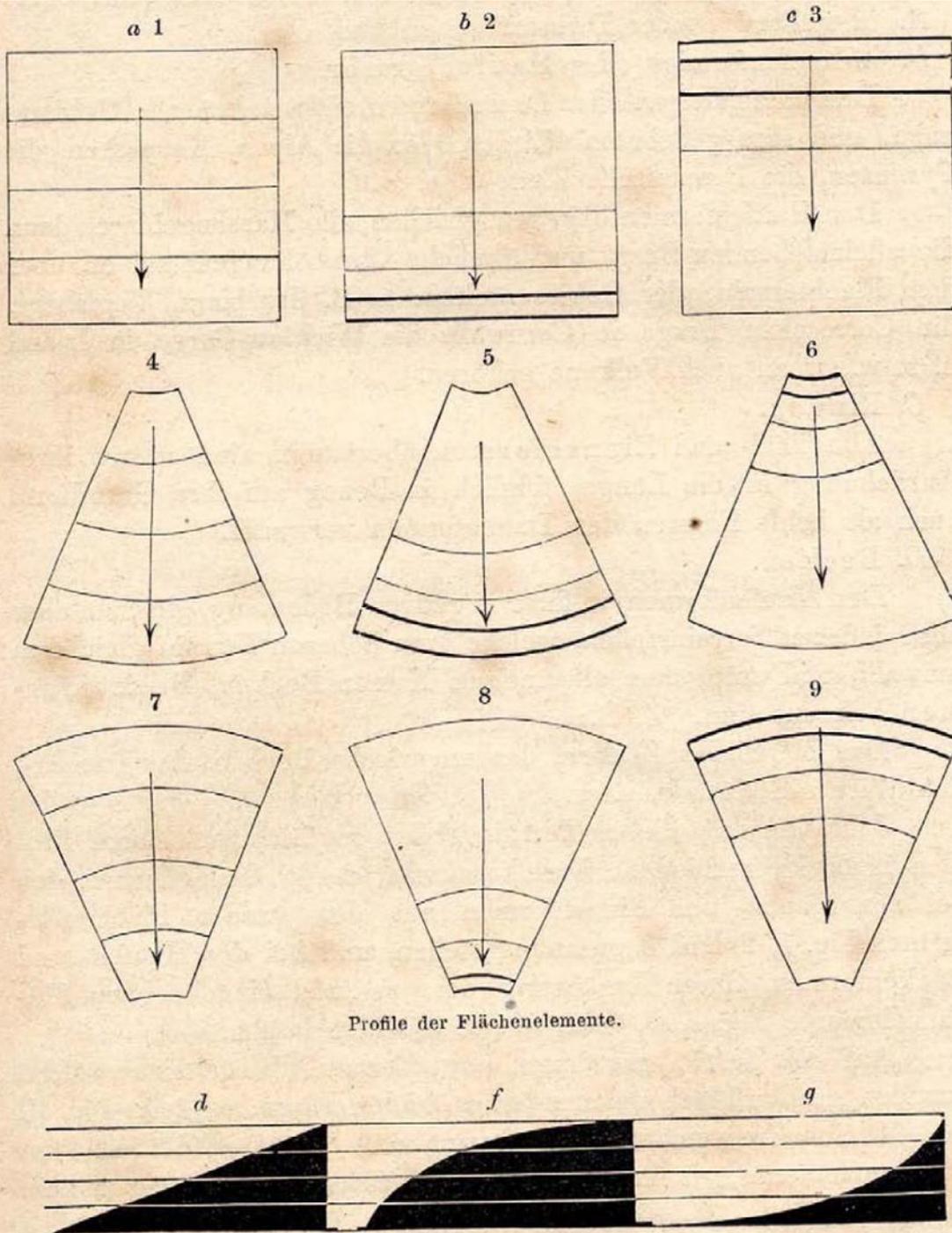


Illustration of the nine basic elements of surface form from the **1862 textbook** on military geography by an Austrian army officer, long pre-dating 20th-century morphometry.

Storia morfometria II

- In ambito scientifico, a partire dagli anni 60', si inizia a diffondere l'utilizzo dei DEM, con un'ulteriore spinta negli anni 70-80'.
- Oggi si assiste ad una sempre maggior standardizzazione nell'uso, infatti molti software GIS commerciali e specialistici incorporano funzioni per interpolare e gestire questi modelli unitamente ad algoritmi per l'estrazione delle informazioni, morfometriche, idrologiche, ecc.
- Il DEM è quindi stato una delle prime forme di **informazione digitale geografica** a essere **disponibile**; da allora l'utilizzo è sempre più diffuso.

DEM

- La rappresentazione numerica del rilievo della superficie terrestre è oggi una parte integrante degli studi in **geografia**, **geologia**, **geomorfologia**, zonazione del rischio idrogeologico, geofisica, ecc.
- In ambito scientifico, a partire dagli anni '60, si inizia a diffondere l'utilizzo dei DEM, con un'ulteriore spinta negli anni '70-'80. Oggi si assiste ad una sempre maggior standardizzazione nell'uso, infatti molti software GIS commerciali e specialistici incorporano funzioni per interpolare e estrarre informazioni dai DEM
- Il DEM è quindi stato **una delle prime forme di informazione digitale geografica** a essere disponibile; da allora l'utilizzo è sempre più diffuso.
- Si assiste ad un utilizzo sempre più massiccio di modelli di "superficie", che fungono da base nella visualizzazione 3D (computer grafica) che partendo, storicamente, dal mondo dei videogame invade oggi i film, le ricostruzioni dei musei virtuali, la progettazione ingegneristica, architettonica, ecc
- I DEM rappresentano infatti un fenomeno tangibile, direttamente osservabile, di cui tutte le persone hanno un'esperienza diretta: **la superficie della terra**.

Definizioni I

- Nel termine più generale il DEM è un set di misure che registrano l'elevazione della superficie della terra e che contengono anche l'informazione delle relazioni spaziali tra queste misure; una semplice lista di quote, infatti, non può essere definita un DEM.
- Questo perché, nello specifico, nella gestione dei dati all'interno del calcolatore, i DEM sono usati come rappresentazione completa del continuo della superficie; il che implica che le quote siano calcolabili in ogni punto dell'area in esame.
- **DSM (*Digital surface model*)**: descrive la superficie terrestre inclusi gli oggetti posti su di essa, (vegetazione, edifici, ecc);
- **DEM (*Digital elevation model*)**: descrive l'altimetria della superficie terrestre; normalmente si riferisce al geoide
- **DTM (*Digital terrain model*)**: usato a volte come sinonimo di DEM, più correttamente da usare quando ci si riferisce anche ad informazioni sugli attributi del terreno e non solo alla quota.

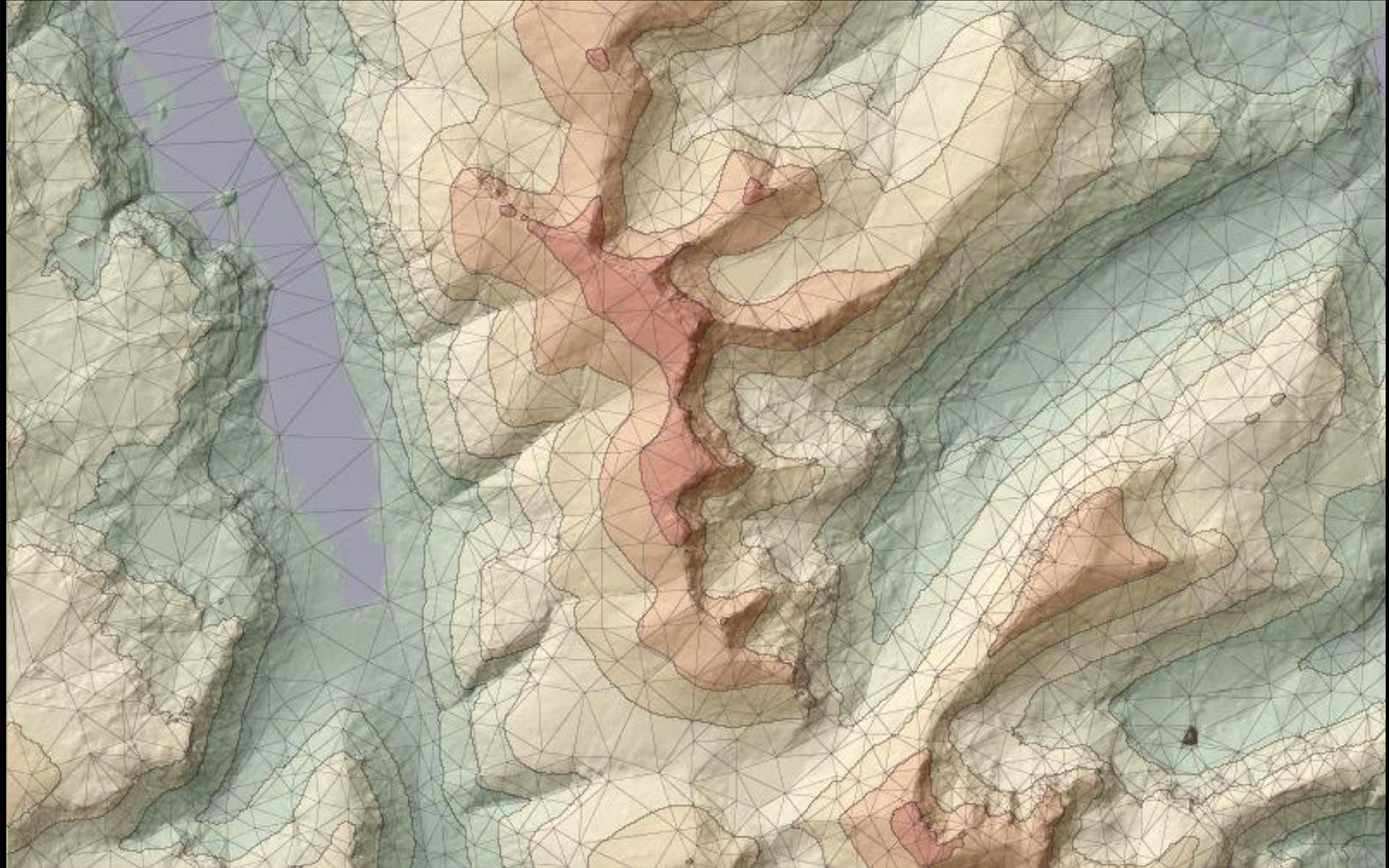
Definizioni delle principali caratteristiche di un DEM

- Il metodo globalmente più diffuso e consolidato per registrare l'informazione altimetrica, è la disposizione delle quote all'interno di una griglia regolare (*raster o grid*), rappresentabile con una *matrice numerica*, input ideale per la gestione all'interno di un calcolatore.
- Solitamente la griglia ha una *maglia quadrata*, più raramente triangolare o rettangolare, la cui dimensione del lato fornisce la dimensione della cella (*cell size o pixel size*), che corrisponde, fissata la proiezione, alla risoluzione spaziale del DEM (*mesh size*).
- **La risoluzione altimetrica** è invece l'intervallo numerico minimo con cui vengono rappresentati i valori di quota, ad esempio 1 o 0,1 m.

Modello Vettoriale

- I modelli irregolari o meglio vettoriali sono meno diffusi e sono dei TIN (*Triangular Irregular Networks*). La rappresentazione di insiemi irregolarmente distribuiti di quote (ad esempio la tipica nuvola di punti proveniente da acquisizioni LiDAR) può infatti diventare un DEM tramite la triangolazione; questa aggiunge al dato locale le informazioni riguardante la continuità della superficie (parametri relativi ai triangoli).
- In aree con rilievo accentuato o superfici fortemente scabre, i DEM vettoriali (TIN) possono usare un maggior numero di punti dove la topografia è più movimentata e una frequenza minore nelle aree più piane. In questo senso, risultano quindi più accurati nel rappresentare ad esempio cambi bruschi di quota (*breakline* antropiche) e vengono, infatti, largamente impiegati negli studi idrologici.
- In generale sono più accurati nel rappresentare i cambiamenti discreti e locali della superficie e non quelli gradualmente continui, risultando poco efficaci dove la topografia è fortemente smussata, come è ad esempio in aree di pianura.
- Tra gli **svantaggi** troviamo la **poca standardizzazione** dei TIN; la quasi totalità delle ricerche sugli errori e sull'incertezza sono stati condotti infatti su DEM *raster*.

TRIANGULAR IRREGULAR NETWORK (TIN)



Modello raster

In generale i DEM *raster* presentano i seguenti **vantaggi**:

- la griglia regolare è una struttura semplice che può facilmente essere ricostruita;
- è più facile derivare parametri relativi alla superficie perché si possono usare algoritmi più semplici;
- hanno una struttura spaziale uniforme che può generalmente essere definita da un solo parametro, la dimensione della cella;
- il modello a griglia è maggiormente adatto ai modelli informatici usati nell'analisi delle immagini (*image processing*).

Tra gli **svantaggi** dei *grid* si sottolineano:

- la sottostima della topografia in aree dove la morfologia è complessa e la sovrastima della topografia smussata;
- il cambio di proiezione di un *grid* è lento e porta una perdita della precisione. Infatti nella nuova proiezione la struttura regolare della griglia viene persa e deve essere ricalcolata.

ASCII file

- as an array of heights for a 6x6 DEM
- ncols 6
- nrows 6
- xllcorner 0
- yllcorner 0
- cellsize 10.00
- no_data_value -32767
- 10 16 23 16 9 6
- 14 11 18 11 18 19
- 19 15 13 21 23 25
- 20 20 19 14 38 45
- 24 20 20 28 18 49
- 23 24 34 38 45 51

Errori

- La progressione dal modello concettuale al DEM richiede la scelta di procedure adatte ma anche l'applicazione di appropriati processi di misurazione e statistica.
- La comprensione dei numerosi passaggi, con i relativi errori associati, che si eseguono nella costruzione e nell'analisi dei DEM porta ad affermare **che è praticamente impossibile che tutti i valori in un DEM siano corretti.**
- Per errori si intendono **problemi oggettivi** o formali legati a una misurazione/stima, altri problemi meno tangibili vanno sotto il termine **d'incertezza (*uncertainty*)**.

Errori

Gli errori possono essere divisi in tre tipologie principali:

errori grezzi o grossolani (gross errors o bulders): sono errori dovuti al malfunzionamento momentaneo dell'apparecchiatura di acquisizione; sono rari nei dati standardizzati, ma possono ritrovarsi con una frequenza più elevata nei rilievi eseguiti ad hoc (ad esempio rilievi GPS);

errori sistematici (systematic errors): possono essere definiti come il risultato di un sistema deterministico che se conosciuto può essere rappresentato da una relazione funzionale. Ad esempio i "fantasmi" delle isoipse (contour ghosts) che si ritrovano in molti DEM prodotti dalle isoipse possono manifestarsi come un effetto di pendio terrazzato, oppure gli artefatti dovuti allo striping parallelo tipico di vari DEM (ad esempio l'SRTM);

errori casuali (random errors): possono derivare da una gran varietà di operazioni eseguite durante la costruzione del DEM e si ritrovano secondo una distribuzione casuale.

RMSE

- La descrizione quantitativa dell'errore più usata è il calcolo dell'errore quadratico medio, l'*RMSE* (*root mean square error*) secondo la seguente formula che risulta la più diffusa:

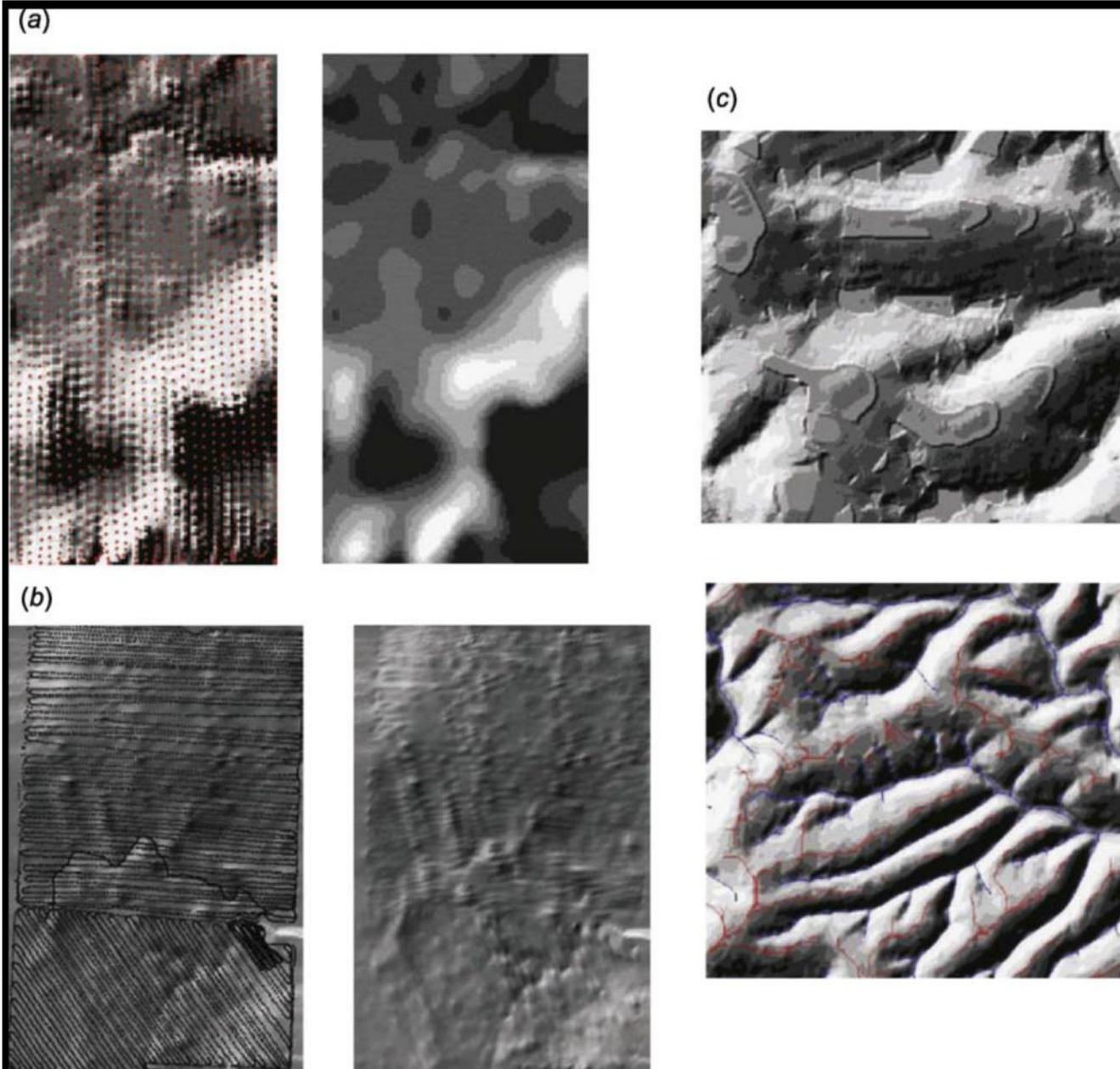
$$RMSE = \sqrt{ \sum (z_i - z_j)^2 / n }$$

- Dove z_i è la quota del DEM, z_j la misura che si intende usare come riferimento e n è il numero di campioni considerati. Se il numero di valori considerati è abbastanza grande da essere significativo, l'errore della misurazione del dato originale può essere quantificato statisticamente. Il valore risultante fornisce una misura di quanto i valori dei due *dataset* si discostano. Assumendo che la media degli errori sia prossima allo zero, il suo significato si avvicina alla deviazione standard della distribuzione dell'errore. Maggiore è il valore assunto dall'*RMSE* più i due dati sono difformi; l'unità di misura è una lunghezza equivalente ai dati di input, questo rende il suo valore di facile lettura.

Fonti errori

Le fonti di questi errori possono essere raggruppate in tre gruppi:

- quelli derivanti da errori nella sorgente di misura, che dipendono quindi dallo specifico metodo di acquisizione e generazione del dato;
- quelli che derivano dal processo di interpolazione che porta dal dato originario al DEM;
- quelli che risultano dalle caratteristiche specifiche della superficie del terreno che vengono modellate dal DEM costruito.



Examples of some **common artefacts** in DEMs and how these are reduced by filtering: (a) local noise arising from inverse weighted interpolation; (b) artificial patterns in DEMs from GPS input sources; and (c) systematic errors (terraces) in a DEM that has been interpolated from scanned contour data.

MacMillan (2004)

Incertezza

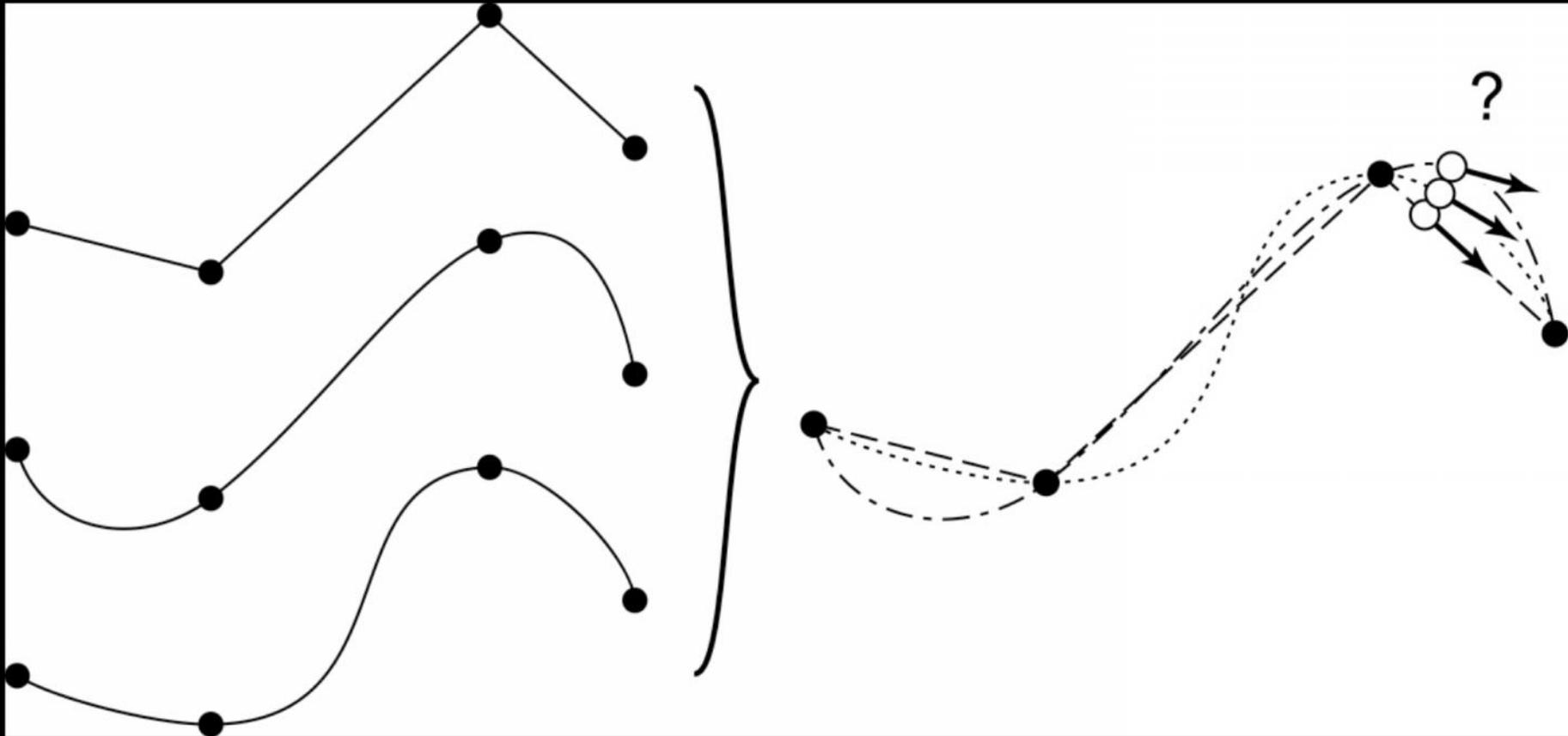
l'incertezza dipende

- dalla tipologia del dato di partenza,
- dalla scelta di una rappresentazione matematica valida per ricostruire il continuo della superficie,
- dal metodo di archiviazione digitale delle informazioni

Incertezza

-) incertezza nella misura proveniente dal dato di partenza;
-) incertezza della forma locale (*shape uncertainty*) introdotta dalla ricostruzione del continuo della superficie (interpolazione).

incertezza della forma locale



Dato che la forma corretta della superficie è ignota tutte le derivate (frecce) saranno affette dall'incertezza locale, rappresentata dal punto di domanda (Schneider, 2001).

- La superficie digitale modellata non esiste **nella realtà** ma è **un astrazione** che comprende sempre una semplificazione dipendente **dalla scala** e **dall'interpolazione**.

- La superficie del terreno non può infatti essere simulata in nessuna maniera semplice e molti, sottostimando la sua complessità intrinseca, costruiscono e analizzano DEM alla **cieca**, senza il controllo incrociato tra gli assunti e l'incertezza risultante.

Modello concettuale di riferimento

- Tutto ha una superficie, ma cosa si intenda per superficie del terreno è realmente un concetto chiaro e univoco?
- Questo fino a pochi anni fa era meno importante data la risoluzione non particolarmente dettagliata dei DEM. Oggi, invece, con la diffusione di dati più precisi, provenienti da acquisizione LiDAR, è più difficile definire esattamente quello che costituisce la superficie del terreno.
- E' necessario, ad esempio, filtrare la vegetazione e le strutture antropiche; di contro, il fondo dell'alveo che sicuramente fa parte della superficie del terreno, ma è molto difficile da rilevare, spesso viene comunque omesso

DEM in Geomorfologia

- In geomorfologia la superficie del terreno, oggetto di studio, può essere definita come:
la topografia “naturale” (priva degli artefatti antropici) considerata nella sua componente abiotica (inorganica).

Una caratteristica peculiare della superficie appena definita è che si dimostra nella maggioranza dei casi smussata. Normalmente in natura infatti le forze gravitazionali e gli agenti erosivi tendono ad addolcire il rilievo.

Restrizioni

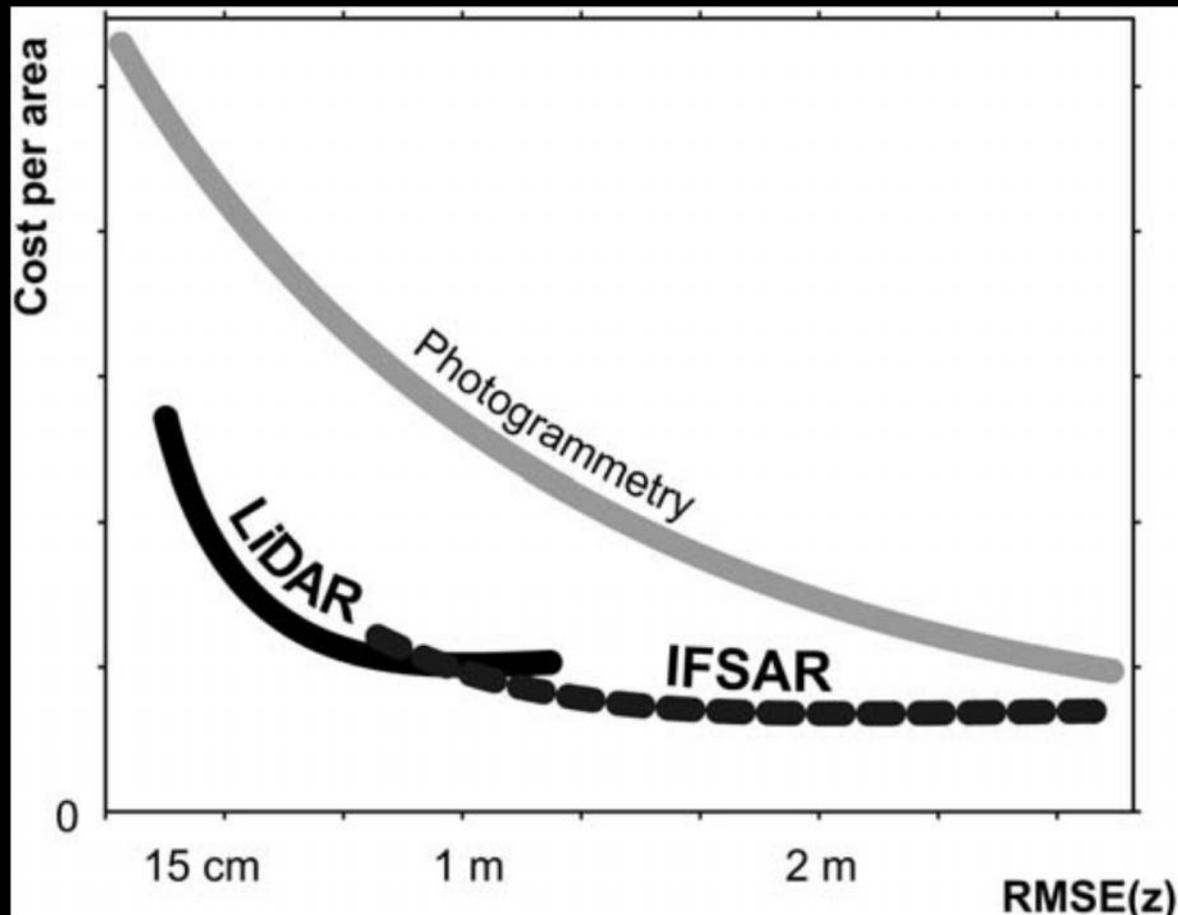
- Vi è un ulteriore concetto da introdurre, la superficie del terreno implica delle restrizioni o semplificazioni topologiche.
- In geomorfometria, solitamente la superficie viene modellata in maniera *single side*: in pratica nessun punto dello spazio proiettato (x,y) può avere valori multipli di quota. Quindi non useremo mai DEM per rappresentare elementi come le grotte, le sporgenze o i ciottoli. I ciottoli possono essere omessi come la vegetazione se giacciono sopra la superficie; se invece sono anche solo parzialmente sepolti dovrebbero essere considerati

Tipologia del dato di partenza

- Un fattore da valutare con estrema attenzione, che spesso viene preso per **buono** in maniera **acritica**, è la metodologia usata per produrre il dato altimetrico di partenza. Questa è una delle fonti di errori e incertezze che si possono propagare alle analisi successive.
- I dati possono essere raccolti appositamente per la ricerca o molto più spesso provengono da rilievi topografici o da cartografia pregressa.

Source	Resolution (pixel size in metres)	Accuracy	Footprint (km ²)	Cost (in €/km ²)	Post-processing requirements	Elevation/Surface
Ground survey	Variable but usually <5 m	Very high vertical and horizontal	Variable, but usually small	Very high	Low	Elevation
GPS	Variable but usually <5 m	Medium vertical and horizontal	Variable, but usually small	Low	Low	Elevation
Table digitising	Depends on map scale and contour interval	Medium vertical and low horizontal	Depends on map footprint	–	Medium	Elevation
On-screen digitising	Depends on map scale and contour interval	Medium vertical and low horizontal	Depends on map footprint	–	Medium	Elevation
Scanned topo-map	Depends on map scale and contour interval	Medium vertical and low horizontal	Depends on map footprint	–	Considerable	Elevation
Ortho-photography	<1	Very high vertical and horizontal	–	100 to 200 (depends on required accuracy)	Considerable	Surface
LiDAR	1–3	0.15–1 m vertical, 1 m horizontal	30–50/hour	25–50 (depends on required accuracy)	Considerable	Surface
SRTM C BAND	90 (30)	16 m vertical, 20 m horizontal	Almost global 60N to 58S	Free via FTP	Potentially considerable	Surface
SRTM X BAND	30	16 m vertical, 6 m horizontal	Similar to C-Band, but only every 2nd path is available	€400 per tile 15'' × 15''	Potentially considerable	Surface
ASTER	30	7–50 m vertical, 7–50 m horizontal	3600	0.02 (min. of 3600 km ² /€64)	Medium	Surface
SPOT	30	10 m vertical, 15 m horizontal	72,000 per swath	2.30 (min. of 3000 km ² /€7000)	Medium	Surface

- I principali metodi sono: la **fotogrammetria** da dati aerei e satellitari,
- **l'interferometria e i laserscanner** terrestri o aviotrasportati,
- il rilievo **GPS** e la **livellazione manuale** (*total station*, distanziometri *laser*).
- I dati **fotogrammetrici e laser** risultano i dati di partenza maggiormente usati.



The general relationship between the absolute accuracy of height measurements and the cost of topographic surveys. Maune (2001)

LiDAR

The introduction of light detection and ranging (LiDAR) technology in the early 1990s **marks a tipping point in geomorphology** (Lane et al., 1998), mainly for the fast acquisition and processing, and the **accuracy** of the restituted topographic surface over large areas (e.g. Marks and Bates, 2000; Pike et al., 2009).

One of the major advantages of aerial laser scanning (ALS) compared to other methods (e.g. photogrammetry) is its potential for the generation of digital elevation models (DEMs) even in **challenging and complex environments**. (Ninfo et al. 2016)

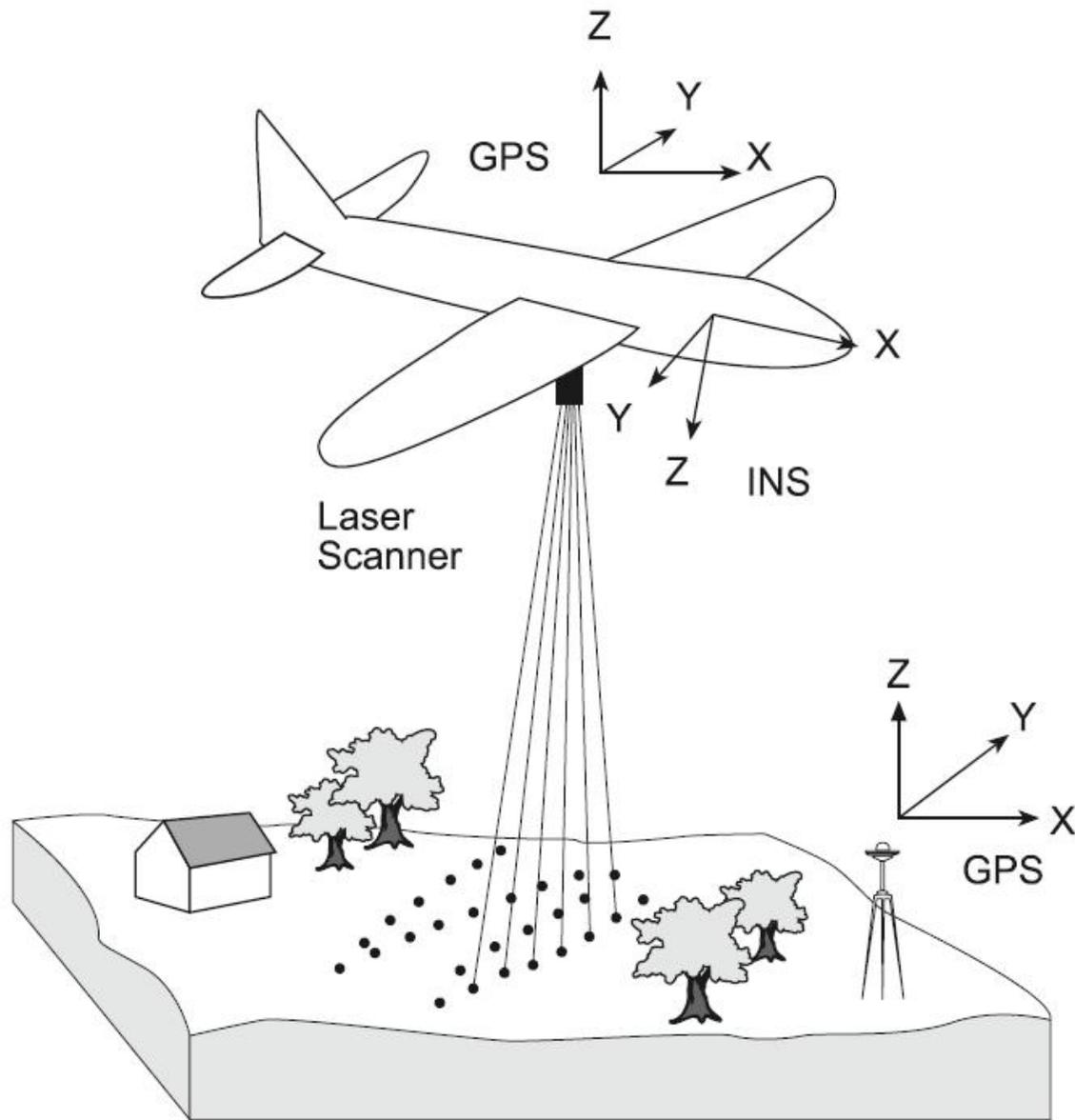
LiDAR

The *Aerial Laser Scanning* (ALS) is the convergence of three technologies:

- • *Laser rangefinding*;
- • *Satellite Positioning System* (GPS, GLONASS, Galileo);
- • *Inertial Navigation Systems* (INS).

LiDAR

- The system's peculiarity is to also **carry out measurements in high vegetation density and** to characterize position, shape and height of different objects and infrastructures.
- The method is based on the measure of distances between an airplane, or a helicopter, and the terrestrial surface measuring with precision the time taken by the laser signal's pulse to reach the ground and, reflected, to go back to the emitting platform
- The reflected laser signal is received by a small telescope collecting the laser light in a detector. The time taken by the signal is converted in distance from the platform considering the laser beam speed equal to the light speed in the vacuum ($2.99 \times 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$).



Gomarasca
(2009)

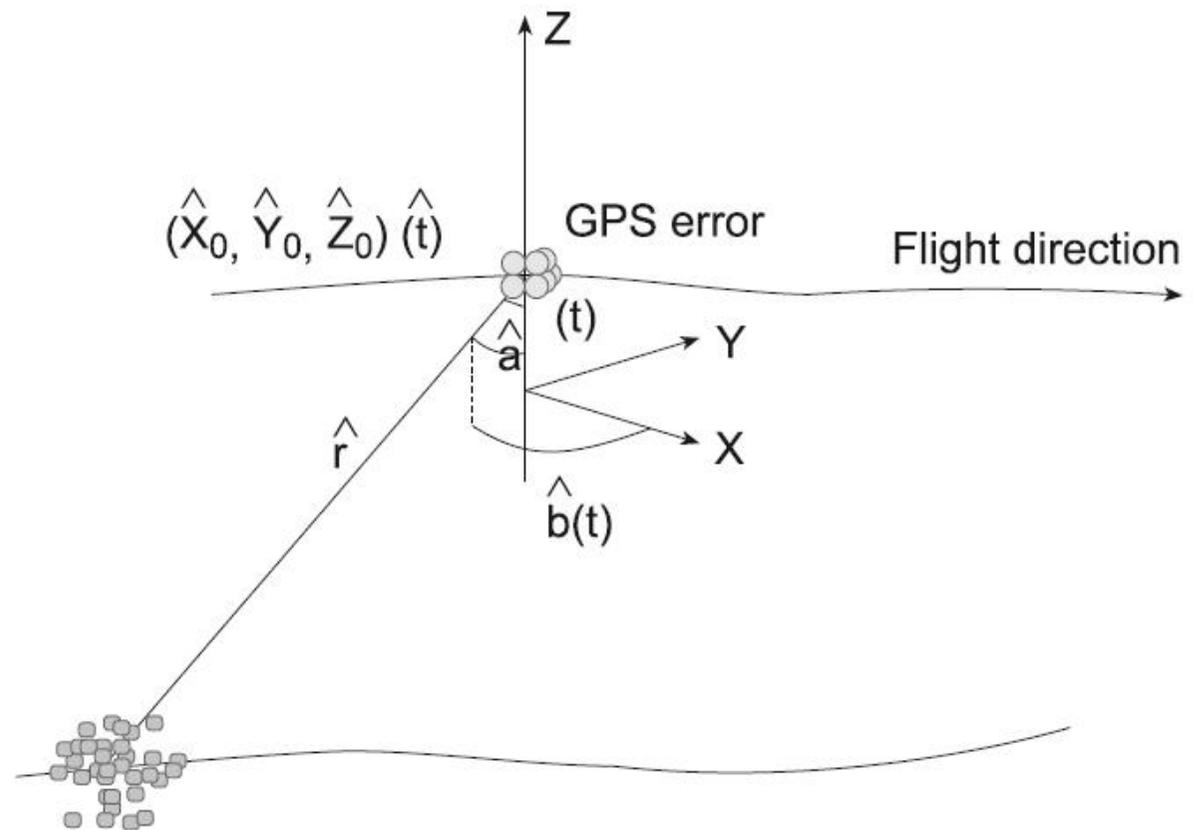


Fig. 6.35 The errors of the GPS/INS system are at the base of the inaccuracy of the localization of the measured points

LiDAR

- The laser transmitters emit from 2000 to 330,000 pulses per second; thousands of distances equal to the number of pulses emitted by the transmitter over a very narrow strip are recorded by scanning the investigated area through a rotating mirror.
- The measured distances are converted in planimetric coordinates and altimetric values for each laser pulse combining the measures of the distance with the exact position of the instrument on the acquisition platform.

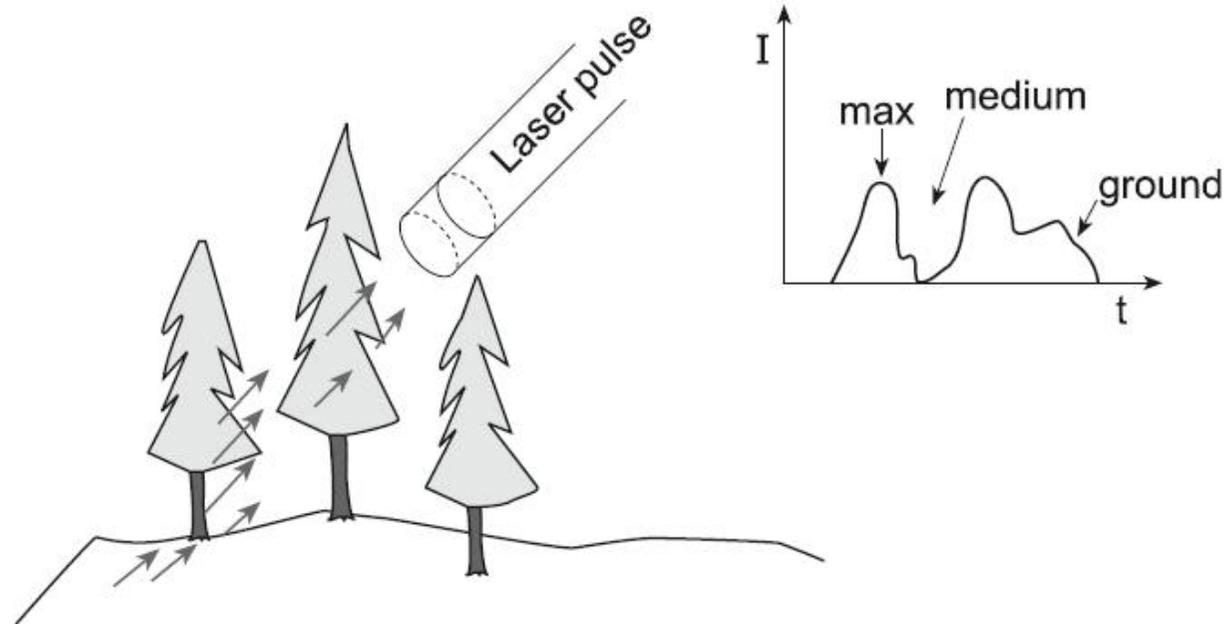
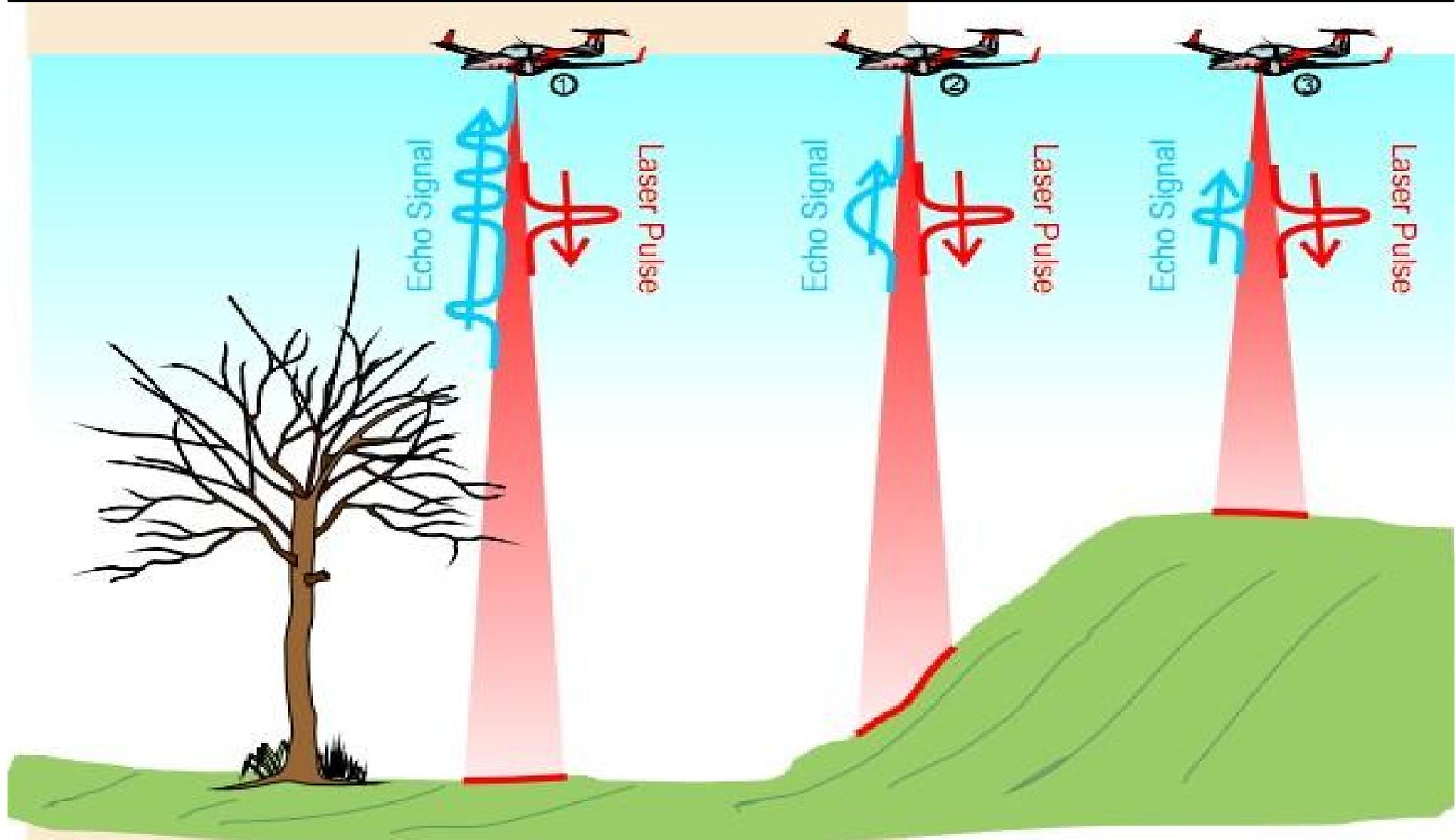
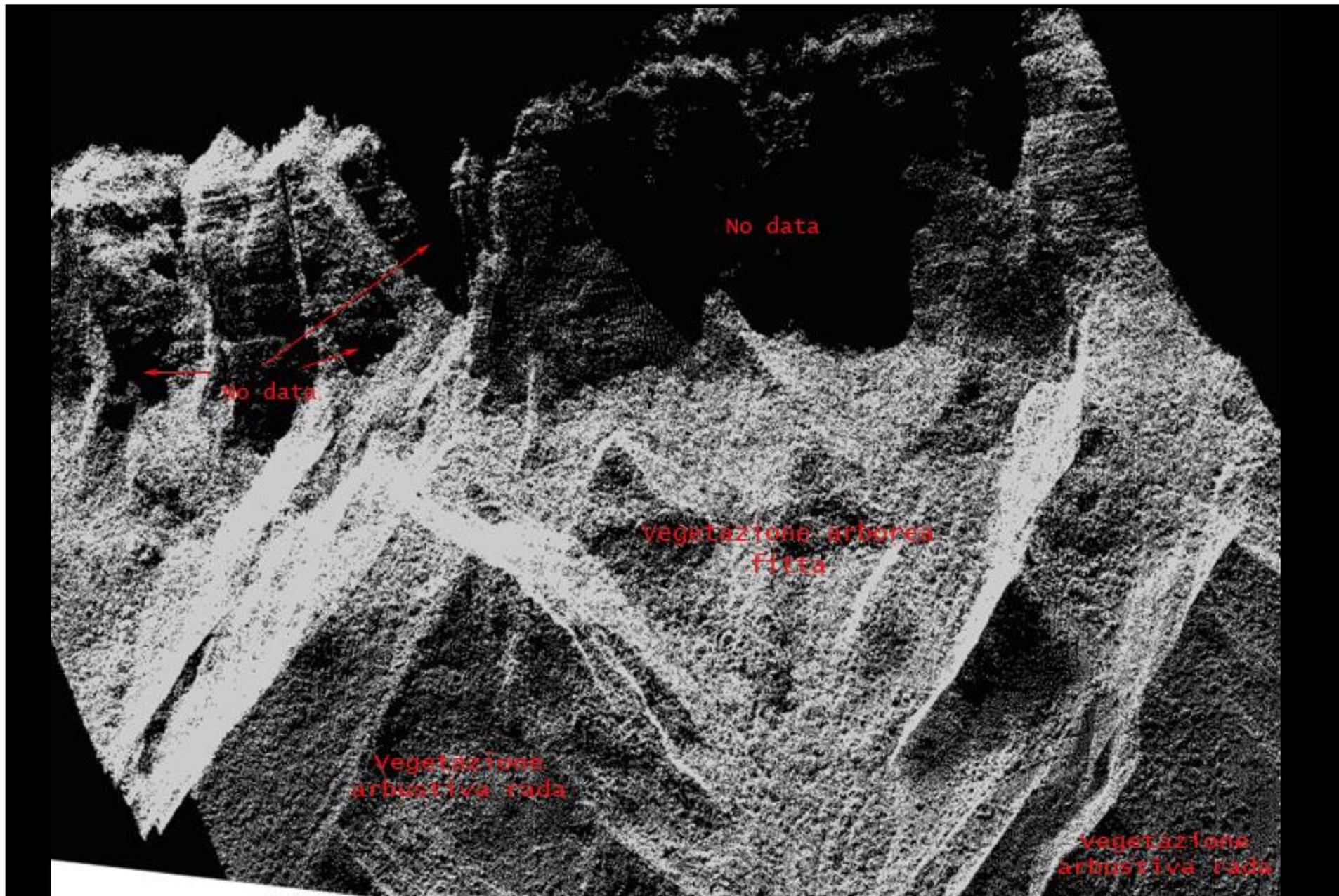


Fig. 6.34 The flight altitude influences the ground resolution. In woody areas, several backscattered signals (eco) can be recorded at different heights in the vegetation. The correct separation of the points belonging at the bare soil and at the top of the vegetation permits the building of the Digital Terrain Model (DTM) and/or the Digital Surface Models (DSM). I: Intensity, t: time

Sensori LiDAR più recenti sono full wave o waveform





Nuvola di punti da acquisizione LiDAR su un versante della Val di Brenta.
Le aree di *nodata* sono dovute al mancato ritorno dell'impulso laser su pareti $>70^\circ$.

Scelta della scala e della risoluzione del DEM

Per scala (*linear scale*) si intenderà l'ampiezza della finestra d'indagine (*dimensione del DEM o dell'area indagata*), per risoluzione la dimensione della cella del DEM (*mesh size*);

Ordini di grandezza principali
(unità di misura m)

Esempio rappresentativo

Mega 10^6 o maggiore

Placche continentali, fondali oceanici

Macro 10^4 – 10^6

Catene montuose

Meso 10^2 – 10^4

Valli, colline, pianure

Micro 10^0 – 10^2

Dune, terrazzi, alvei

Nano 10^{-2} – 10^0

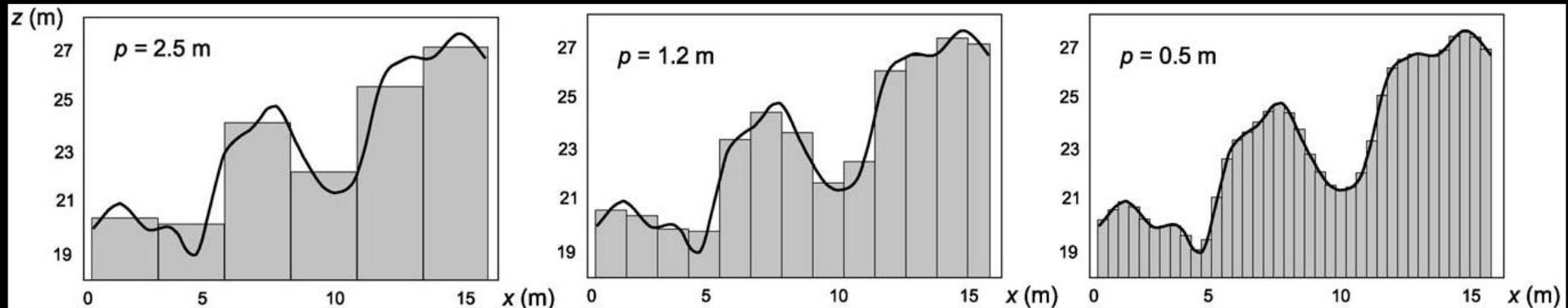
Solchi d'erosione (*rill*)

Pico 10^{-2} o minore

Striature glaciali (*glacial striations*)

Tipica classificazione della scala geomorfologica (da Breunig *et al.* 2003), modificato.

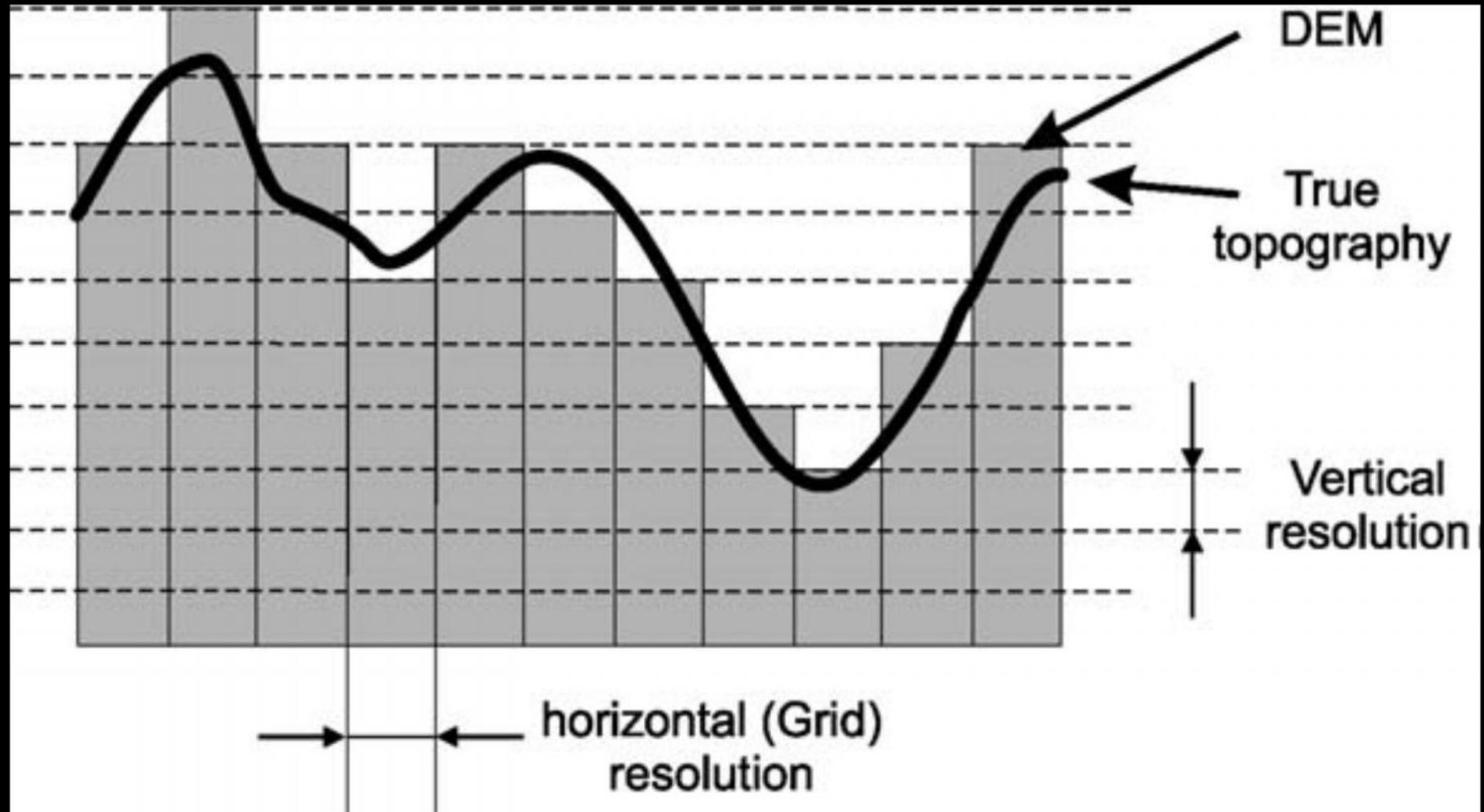
Scelta della scala e della risoluzione del DEM



Esempio schematico dell'influenza della risoluzione scelta sulla rappresentazione della superficie in esame da Hengel & Evans (2008).

Di norma è buona regola usare una dimensione della cella funzione della densità del dato di partenza (ad esempio la scala cartografica).

Risoluzione



Interpolazione

- Il processo d'interpolazione (chiamato anche *gridding*) può essere condotto secondo una gran varietà di metodi, tra i più comuni: *l'interpolazione lineare, Inverse Distance, Kriging, Spline, regressioni polinomiali, curvatura minima, triangolazione, ecc.*
- I diversi metodi possono essere divisi in base al tipo di approccio: deterministico, ad esempio l'interpolazione lineare, o stocastico, dove il metodo più usato è il *Kriging*.
- Un'altra suddivisione, pratica, si può fare tra quelli che non richiedono l'intervento da parte dell'operatore e quelli in cui è necessario inserire dei parametri. Chiaramente la possibilità di impostare dei "pesi" può essere un vantaggio che può consentire d'approssimare la superficie in maniera più precisa. Di contro l'impostazione di valori errati può portare a risultati molto peggiori di una semplice interpolazione lineare.

Yilmaz (2007) propone una comparazione tra **12 interpolatori**, usando un modello artificiale di gesso, inserito in un area controllata, di cui è perfettamente nota la geometria, il volume, la superficie, ecc.

Questa comparazione tra i vari algoritmi viene condotta secondo l'assunto che migliore è la rappresentazione della superficie **maggiore è la corrispondenza col volume di riferimento (reale) dell'oggetto**.

Da questo confronto l'autore deduce che la precisione dell'interpolazione è funzione del modello matematico usato, con i risultati migliori che derivano da quelli basati su modelli polinomiali o funzioni esponenziali.

Interpolation methods	Computing volume (cm ³)	Volume difference (cm ³)	Approach rate (%)	RMSE (cm)
Inverse distance to a power	368 902	-4 702	98.71	1.76
Kriging	361 303	2 897	99.20	0.94
Minimum curvature	362 671	1 529	99.58	1.32
Modified Shepard	375 163	-10 963	96.99	0.59
Natural neighbor	358 482	5 718	98.43	0.84
Nearest neighbor	367 681	-3 481	99.04	0.76
Polynomial regression	365 389	-1 189	99.67	27.73
Radial basis function	362 274	1 926	99.47	0.55
Triangulation with linear interpolation	359 527	4 673	98.72	0.92
Data metrics	556 420	-192 220	47.22	29.39
Moving average	400 179	-35 979	90.12	7.24
Local polynomial	316 995	47 205	87.04	29.31

Interpolazione II

Method	Smoothing effect	Local/ Global	Deterministic/ Stochastic	Requirements/ Inputs	Possible problems
Linear interpolation	Low	Local	Deterministic	None	No error assessment; cut-offs and similar artefacts
Inverse distance interpolation	Low	Local/ Global	Deterministic	Weighting function, search radius	No error assessment; over-smoothing
Ordinary kriging	Medium	Local/ Global	Stochastic	Variogram model, search radius	Over-smoothing; statistical assumptions
Moving surface	High	Global	Deterministic/ Stochastic	Polynomial order, search radius	Possible over-fitting; over-smoothing
Splines	High	Local	Deterministic	Smoothness factor, search radius	Overshooting; over-smoothing

Comparazione dei metodi più usati per interpolare la superficie del terreno da punti quotati.

- Un concetto mal percepito è che la superficie del terreno vada rilevata una **volta sola**, considerandola **un'entità statica**. La superficie della terra è soggetta costantemente a cambiamenti sia **graduali** (tettonica, weathering, ecc) sia **catastrofici** (piene, movimenti di massa, tsunami, ecc.).
- L'attività tettonica lavora a scale temporale molto lenta, ad esempio la distanza tra il nord America e l'Europa cresce costantemente (di circa 2 m in 70 anni); quindi una mappatura di dettaglio (ad esempio a scala 1:25000) può ritenersi valida per almeno 50 anni (Hengl & Evans 2008).
- Chiaramente le superfici più dinamiche (vulcani, ghiacciai, sistemi di dune, alvei fluviali, ecc.) fanno eccezione a questa regola e necessitano di essere rilevate con una frequenza maggiore, funzione **dell'intervallo temporale minimo utile per percepirne dei cambiamenti**.



DEM

Modello concettuale della superficie del terreno

(comparazione tra il modello adottato e il fenomeno del mondo reale che si sta studiando)

Scelta della scala e della risoluzione

Interpolazione

Valutazione del DEM (ad esempio, tramite estrazione variabili morfometriche)

Analisi: estrazione informazioni (morfometriche, idrologiche, ecc)

Validazione: incrocio con la realtà di terreno (rilievi, studi pregressi, ecc)

Importanza della costruzione del DEM in geomorfometria

The **quality** of the DEMs determines the quality of the **geomorphometric analysis**.

Even the most **sophisticated** geomorphometric **algorithm** will be unable to rectify severe **artefacts and errors** in the input DEMs.

The quality of land-surface parameters and objects and geomorphometric applications depends on several factors (Florinsky, 1998):

- *the roughness of the land surface,*
- *the sampling density (i.e. which method was used to collect elevation data),*
- *the grid resolution or sampling support,*
- *the DEM gridding algorithm,*
- *the vertical resolution,*
- *the type of geomorphometric analysis.*

Geomorfometria

Geomorphometry is the science of **quantitative land-surface analysis** (Pike, 1995, 2000a; Rasemann et al., 2004). It is a modern, analytical-cartographic approach to representing bare-earth topography by the computer manipulation of terrain height (Tobler, 1976, 2000).

Geomorphometry is an interdisciplinary field that has evolved from **mathematics**, the **Earth sciences**, and — most recently — **computer science**

Although **geomorphometry** has been regarded as an activity within more established fields, ranging from geography and geomorphology to soil science and military engineering, etc., it is no longer just a collection of numerical techniques but **a discipline in its own right** (Pike, 1995).

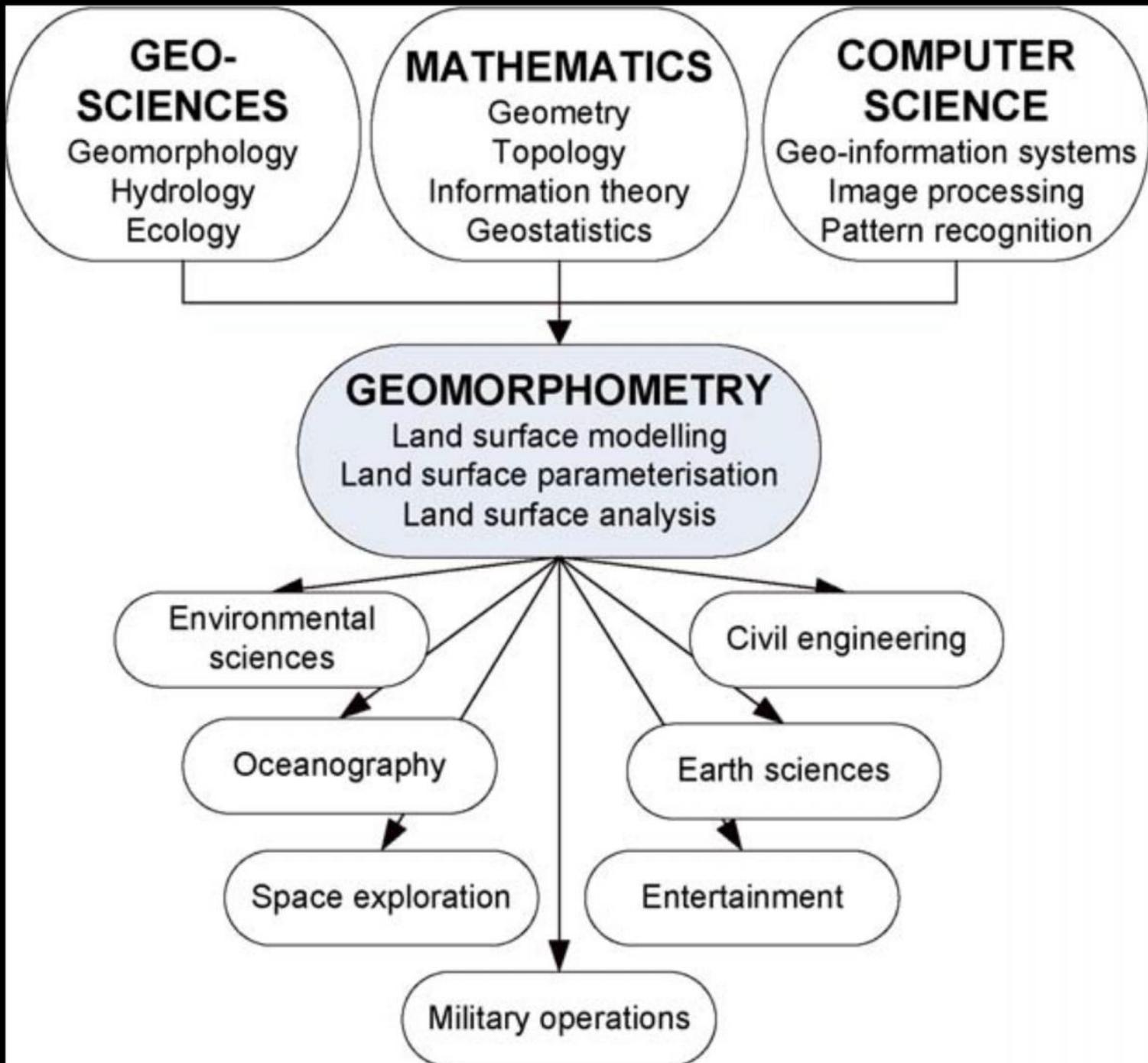


TABLE 1 Some basic land-surface parameters

LSP	Type	What does it describe?
Slope	Local	Flow rate
Aspect	Local	Flow-line direction
Tangential curvature	Local	1st accumulation mechanism
Profile curvature	Local	2nd accumulation mechanism
Catchment area	Regional	Flow magnitude
Hypsometry	Regional	Distribution of height values
Catchment height/slope	Regional	Flow characteristics
Insolation	Regional/local	Intensity of direct solar irradiation
Visual exposure	Regional	Extent of visible area
Roughness	Local	Terrain complexity