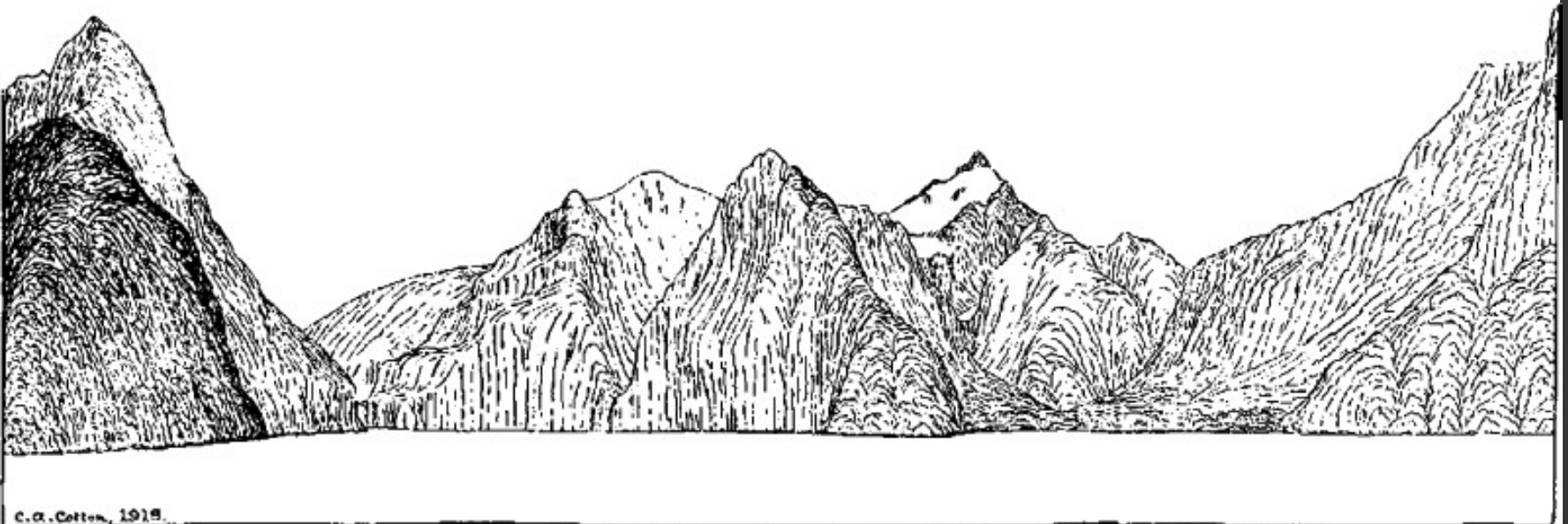


I fondamentali

A cura di S. Furlani

I fondamentali

- L'insieme degli elementi che costituiscono i paradigmi, i modi di analizzare e studiare le forme e i processi e le basi stesse della geomorfologia



C. A. Cotton, 1919.

FIG. 432.—Panoramic view of Milford Sound, N.Z., showing Mitre Peak (left) and the northern side of the fiord. Angle of view, west to north.

F_d vs F_r

La continua lotta tra chi attacca e chi resiste



Quando vince una quando vince l'altra?

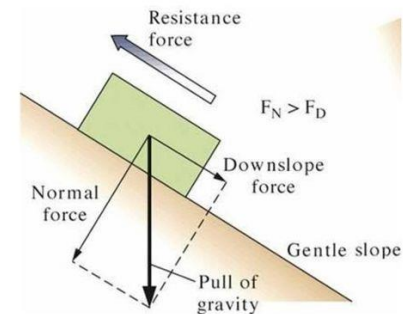
- $F_d > F_r \rightarrow$ attivazione di un processo
- $F_d < F_r \rightarrow$ le forze attaccanti non riescono a produrre un processo



Modification of landforms results from the application of energy.

Landforms represent the interaction between driving forces and resistance.

Driving Forces:
Resistance Forces:

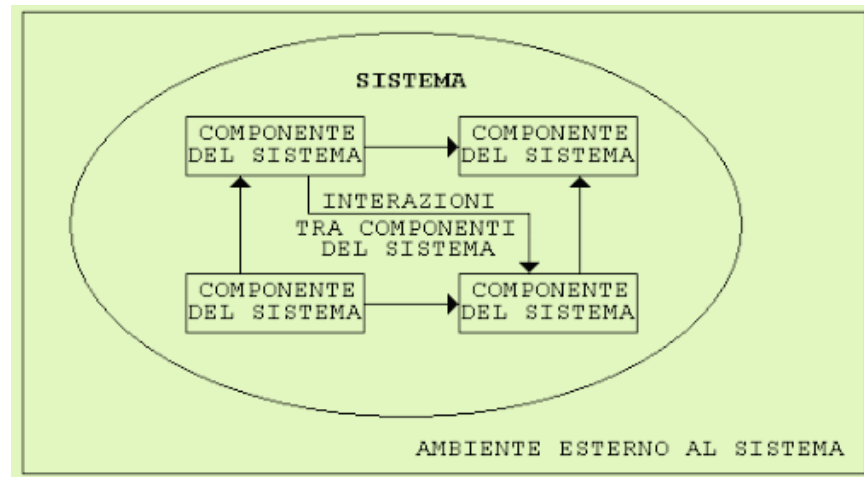


I sistemi morfo-genetici

Teoria sistemica

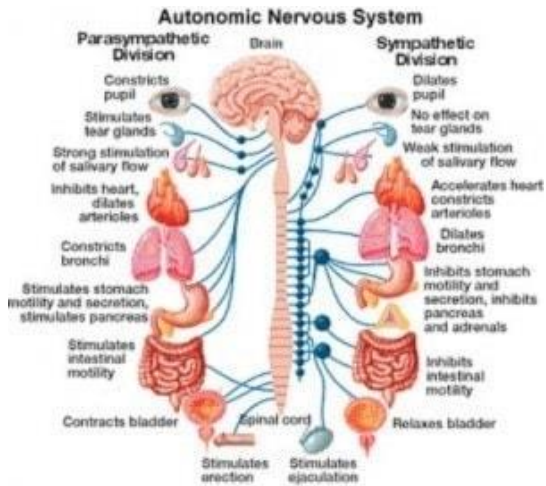
Cos'è un sistema morfogenetico?

- Un sistema è una connessione di elementi interagenti tra loro che formano un'entità organica e funzionalmente unitaria



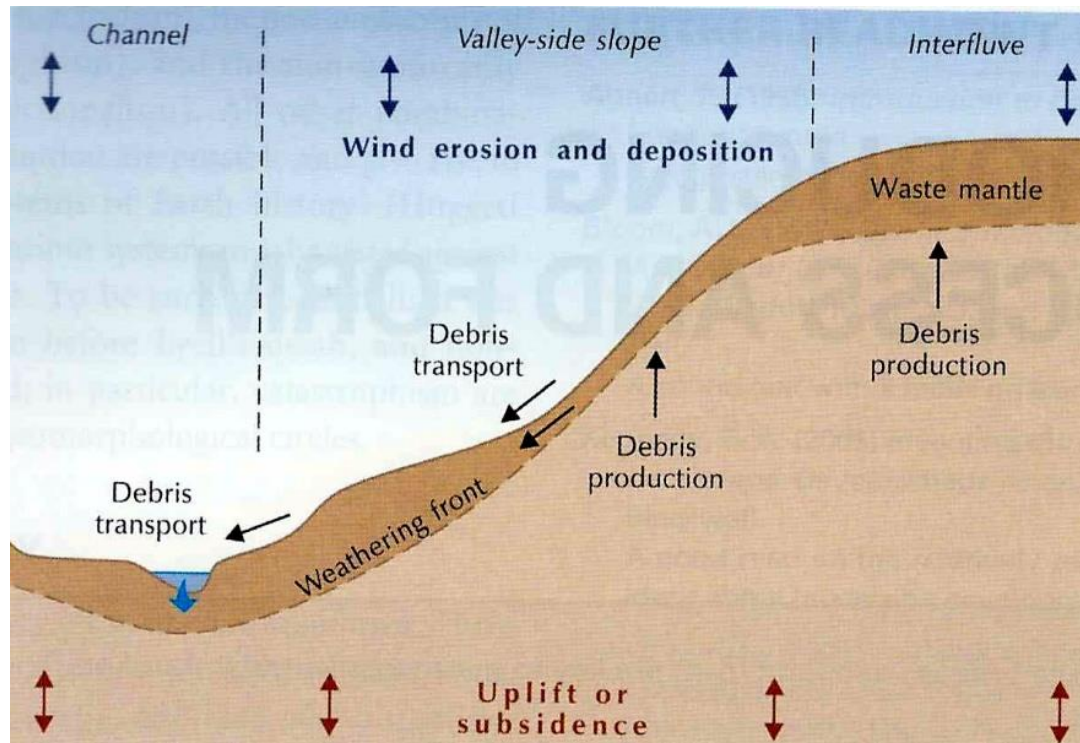
- -all'interno del sistema, gli oggetti (deposito, materia organica, ecc) sono disposti in una certa maniera: la disposizione non è casuale, ma è apparentemente significativa, dal momento che è spiegabile attraverso processi fisici
- -Gli oggetti possono essere descritti in termini di variabili come la dimensione dei clasti, il contenuto di umidità del suolo, la copertura vegetale, la pendenza, ecc.

Cos'è un sistema



Variabili in un sistema morfogenetico

- Le componenti interagiscono in modo da formare un entità regolare e intercorrelata: un versante, un detrito di falda, o altri elementi che si aggiustano reciprocamente tra un complesso sistema di variabili;
- Le variabili comprendono:
 - il tipo di roccia che influenza i tassi di degradazione (*weathering*),
 - le proprietà geotecniche,
 - i tassi di infiltrazione,
 - il clima,
 - la tettonica,
 - la geometria generale del versante, ecc.
- Cambiamenti in ognuna di queste variabili tenderanno a causare un aggiustamento dei processi e delle forme ad esempio di un versante

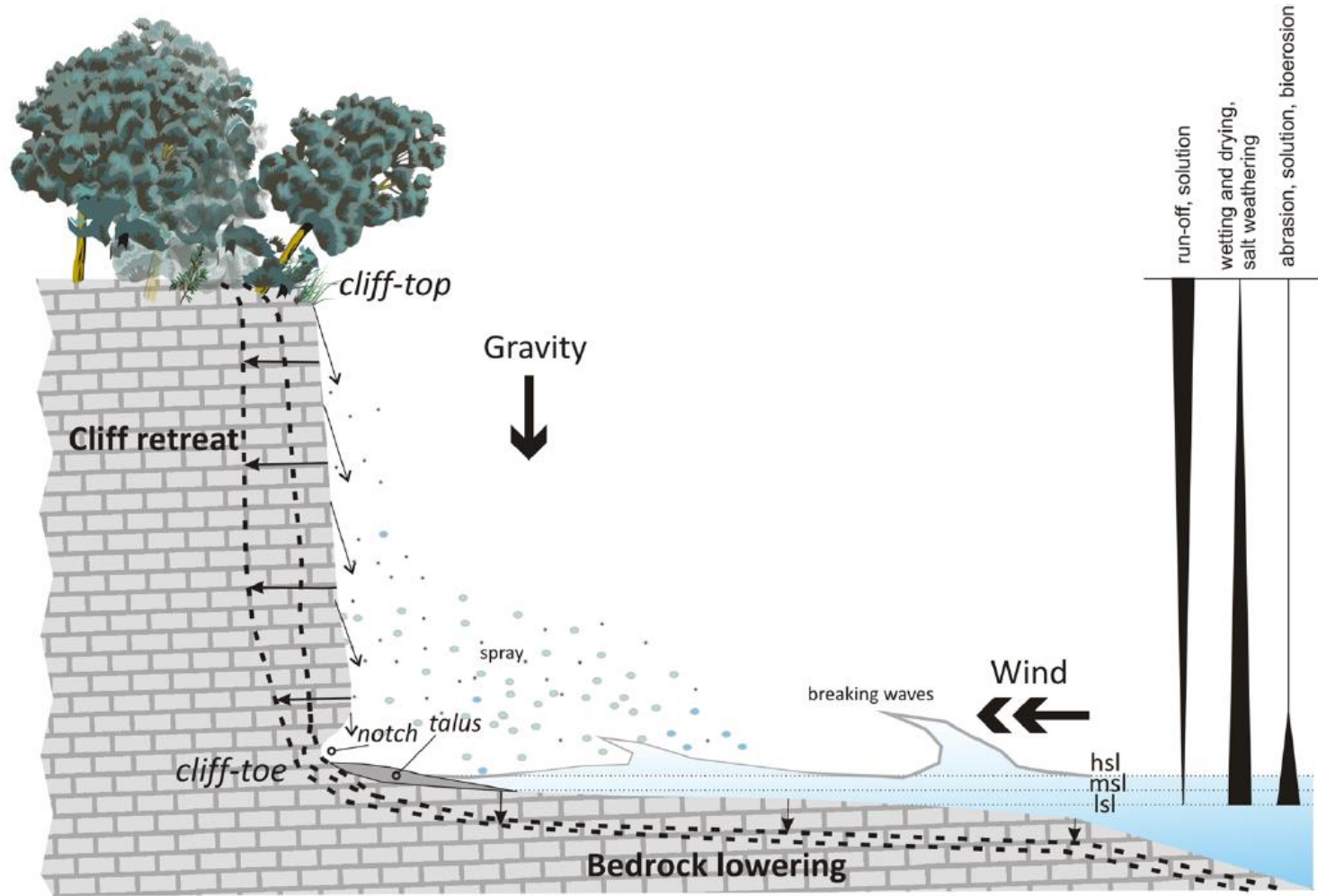


Da: Huggett (2011)

Cliff-top Cliff

Shore platform

Off-shore



Da Furlani et al. (2014), Geological Society of London

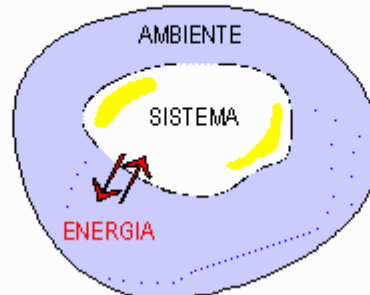
Sistemi chiusi, aperti e dissipativi

- Un sistema può essere aperto, chiuso o isolato a seconda di come interagisce con ciò che gli sta attorno
- Un **sistema isolato** è completamente isolato dal suo intorno e quindi non può importare o esportare energia o materia da o verso l'esterno
- Un **sistema chiuso** è aperto al passaggio di energia, ma non di materia.
- **Tutti i sistemi morfogenetici sono generalmente sistemi aperti, in quanto possono scambiare energia e materia**
- Un **sistema dissipativo** è governato da processi irreversibili che sono il risultato di dissipazione di energia.
- Un sistema morfogenetico si mantiene quindi dissipando energia proveniente dal sole, dai movimenti tettonici, dalle precipitazioni, ecc.

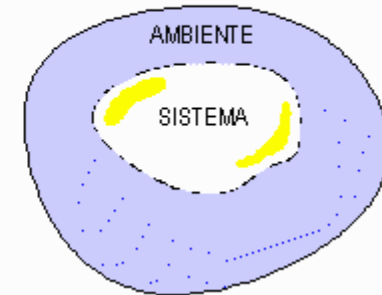
Sistema aperto



Sistema chiuso



Sistema isolato



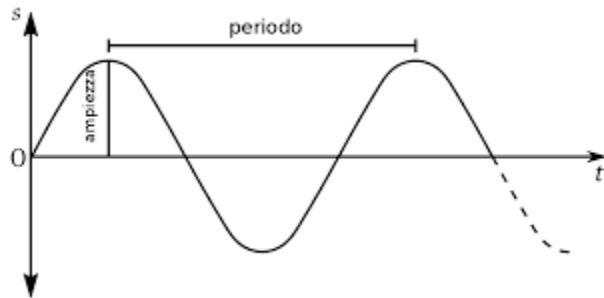
Come descrivere un sistema?

Variabili interne ed esterne

- Le variabili interne sono quelle che si originano dall'interno del sistema, quelle esterne si originano all'esterno del sistema
- Tutti i sistemi morfogenetici possono essere pensati come originati da un originario antagonismo tra forze endogene (tettoniche, vulcaniche, ecc) e processi morfogenetici (processi esogeni vari, dalle variazioni climatiche, ecc)
- In sintesi, i processi tettonici creano le forme, mentre la degradazione influenzata dal clima e l'erosione le distruggono.
- **La geomorfologia si occupa di ciò che avviene dal momento della creazione alla distruzione di queste forme**

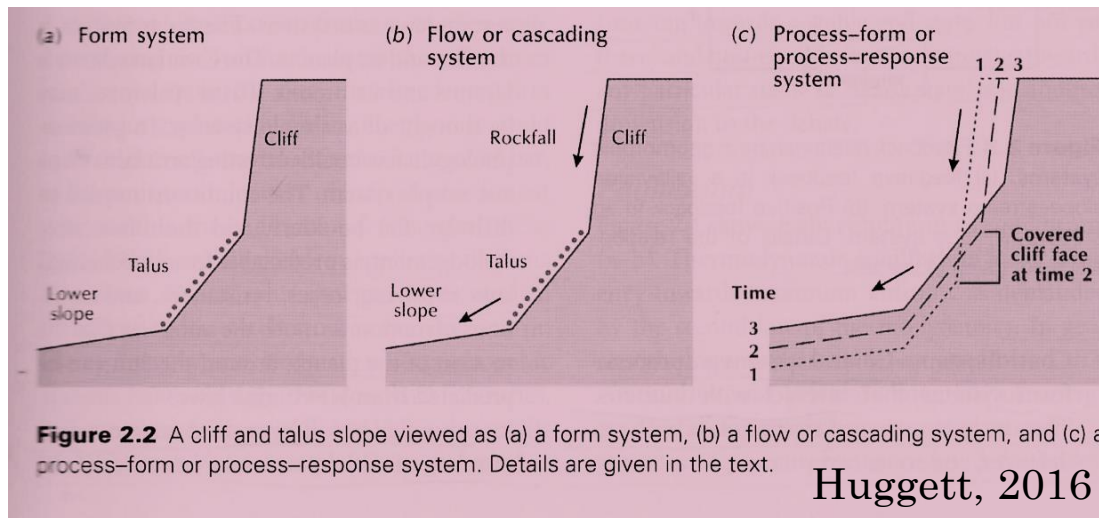
Sistemi di classificazione

- I sistemi sono costruzioni mentali che si possono definire in modi diversi
- 1) sistemi intesi come strutture di forme e processi
- 2) sistemi intesi come strutture semplici o complesse



Strutture di forma e di processo

- 1) Si tratta di un insieme di variabili di forma in grado di mettere in relazione in modo significativo, in termini di origine o funzione del sistema. Esso include misure (dimensioni, forma, proprietà fisiche, ecc). Non vengono studiate le connessioni causali tra i processi
- 2) Si tratta di un sistema i cui elementi sono interconnessi da una via preferenziale di trasporto di energia o materia o entrambe, assieme ad un accumulo di energia e materia
- 3) Detto anche *process-response system*, in cui i cambiamenti nella forma del sistema alterano il sistema dei processi.
- 4) I sistemi di controllo sono sistemi tipo processo-forma che interagiscono con l'uomo



Huggett, 2016

Quattro tipi diversi di sistemi morfogenetici possono essere identificati:

sistemi di forma,

sistemi di processo,

sistemi di forma e processo e

sistemi di controllo

Feedback positivi e negativi

- **Feedback positivi:** si verificano quando una variazione in un sistema provoca un ampliamento della risposta ed il sistema diventa instabile
- **Feedback negativi:** si verificano quando una variazione in un sistema provoca una sequenza di modificazioni che possono neutralizzare gli effetti della variazione originale, stabilizzando il sistema



Feedback negativo

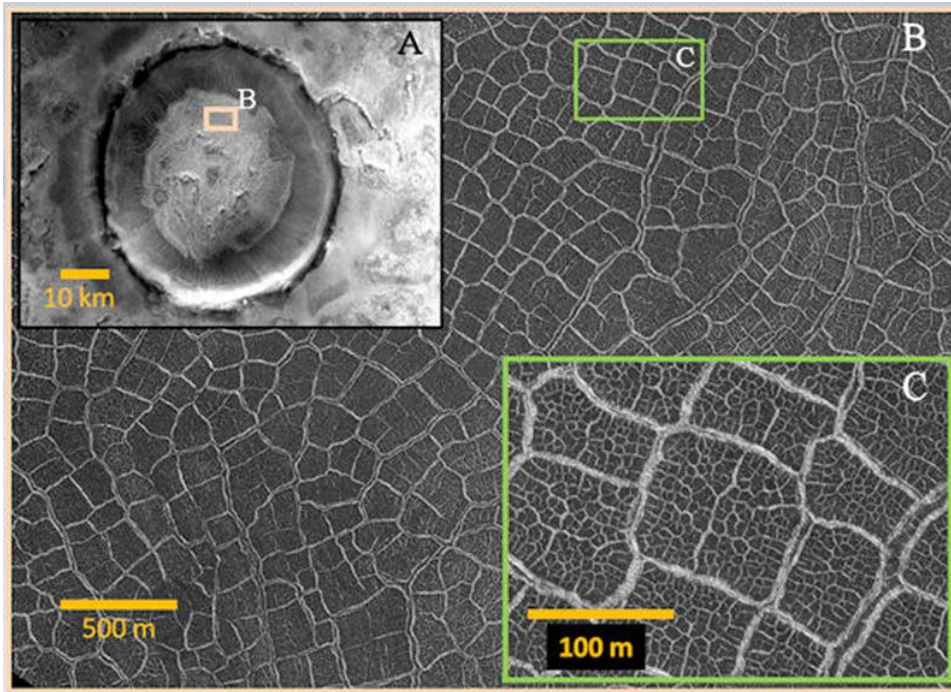


Feedback positivo

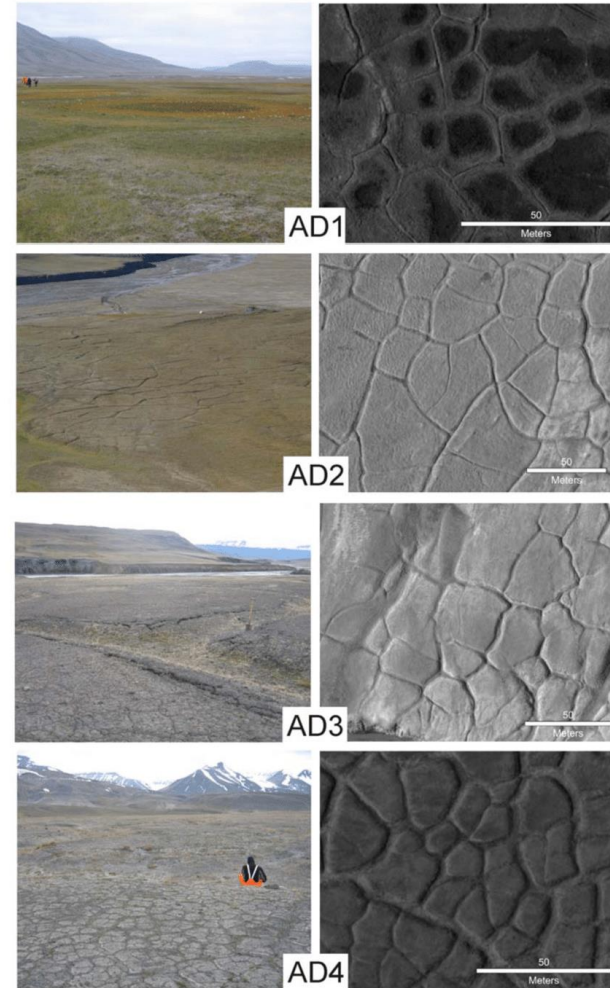
Organizzazione dei sistemi

- Possono essere riconosciuti tre diverse categorie di sistemi: **sistemi semplici, sistemi complessi e disorganizzati, sistemi complessi e organizzati**
- 1) I **sistemi semplici** sono sistemi in cui le cui condizioni iniziali e gli sviluppi futuri sono facilmente prevedibili
- 2) I **sistemi complessi disorganizzati** sono sistemi in cui un alto numero di oggetti interagiscono in modo debole e casuale. Lo studio di queste interazioni è troppo elevato per essere studiato individualmente, quindi possono essere condotte solamente osservazioni e misure su ampie porzioni del sistema
- 3) I **sistemi complessi organizzati** sono sistemi in cui gli oggetti interagiscono fortemente tra di loro, per formare strutture con alti gradi di regolarità

Sistemi complessi organizzati



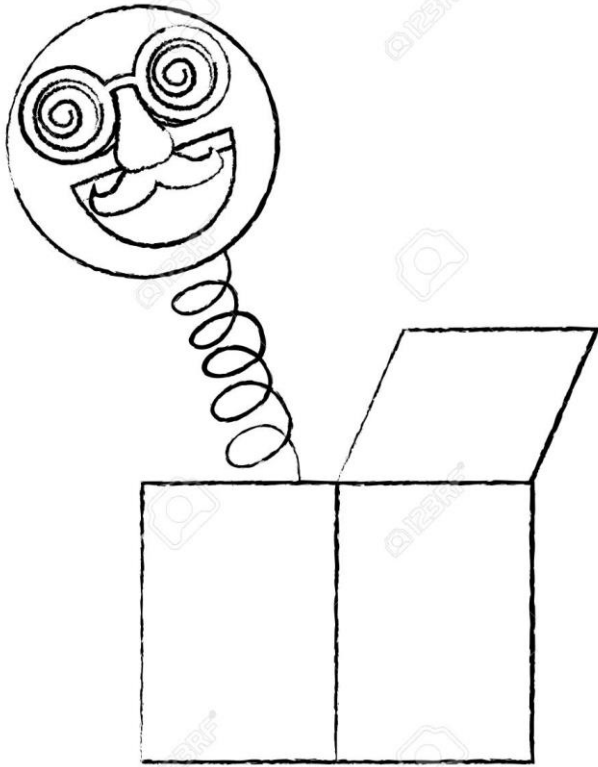
<https://planetarygeomorphology.wordpress.com/2013/09/16/dry-lake-beds-on-mars/>



PhD thesis Matthias Ulrich (2011)

Gerarchia di sistema: il problema della scala

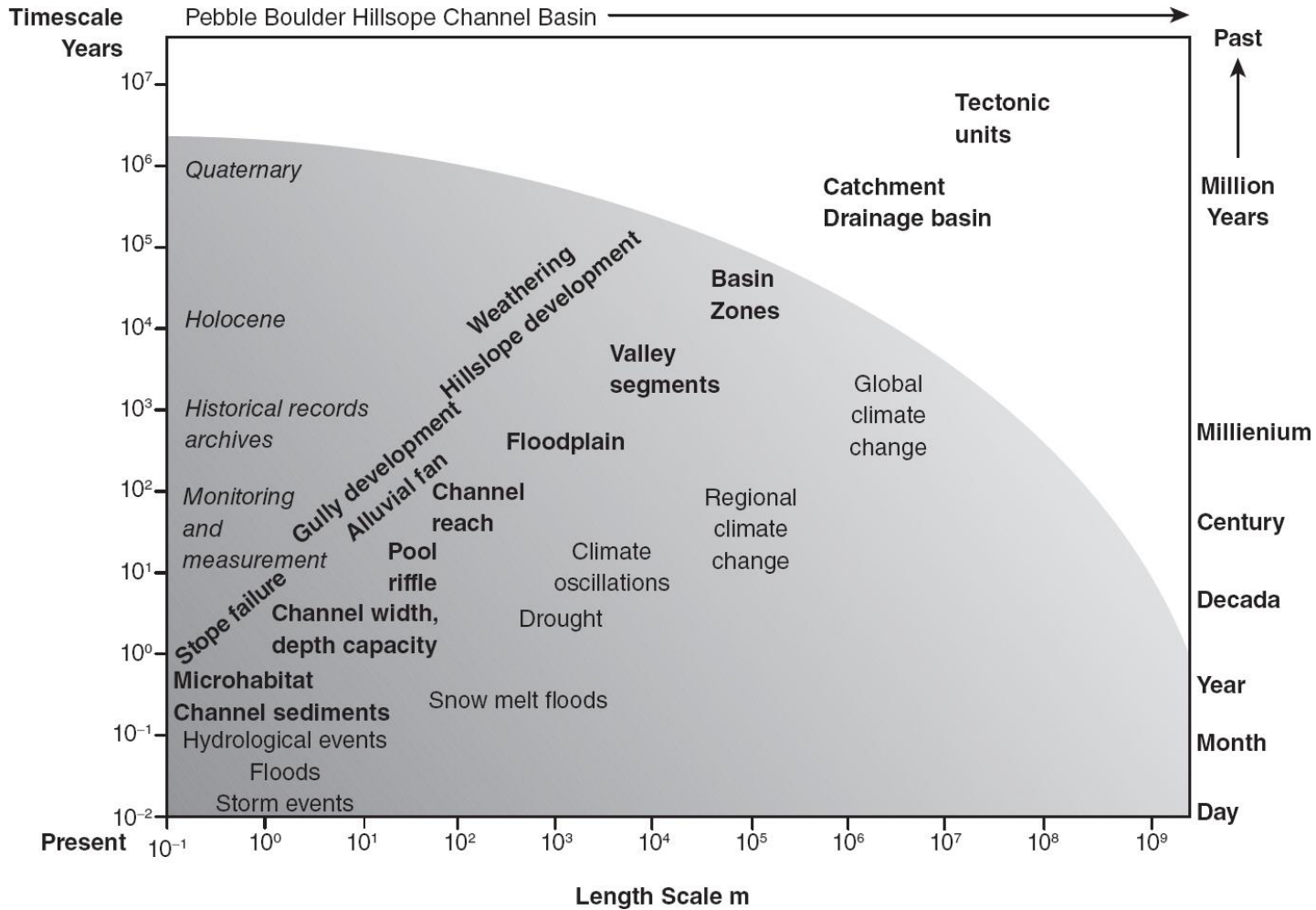
- In geomorfologia, le **spiegazioni dei comportamenti** del sistema possono **cambiare significativamente al variare della scala spaziale** in cui viene considerato un sistema morfogenetico
- **Lo stesso problema si pone nella dimensione temporale.** I sistemi morfogenetici possono essere studiati come agenti oggi. Molti studi sono a breve termine (da pochi anni a qualche decina di anni). Ma i sistemi morfogenetici possono avere età che si sviluppano da centinaia a milioni di anni.
- **Usare i risultati degli studi a breve termine per spiegare come i sistemi morfogenetici sono cambiati su scale temporali più lunghe è irto di difficoltà**
- Alcuni autori (Schumm, 1985, 1991; Stephenson, 2012) hanno cercato di risolvere il problema stabilendo alcuni legami tra i processi e la storia geomorfologica

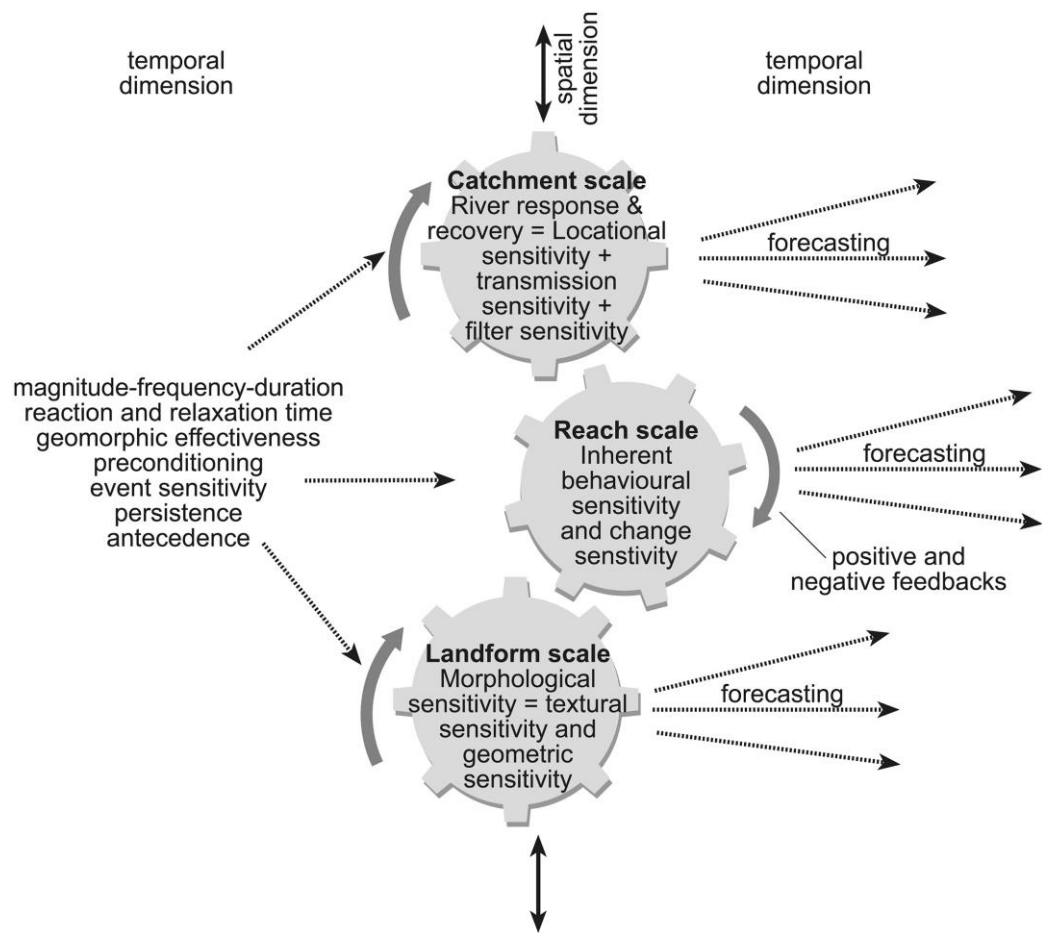


THIEF

DER DIEB

Spazio e tempo



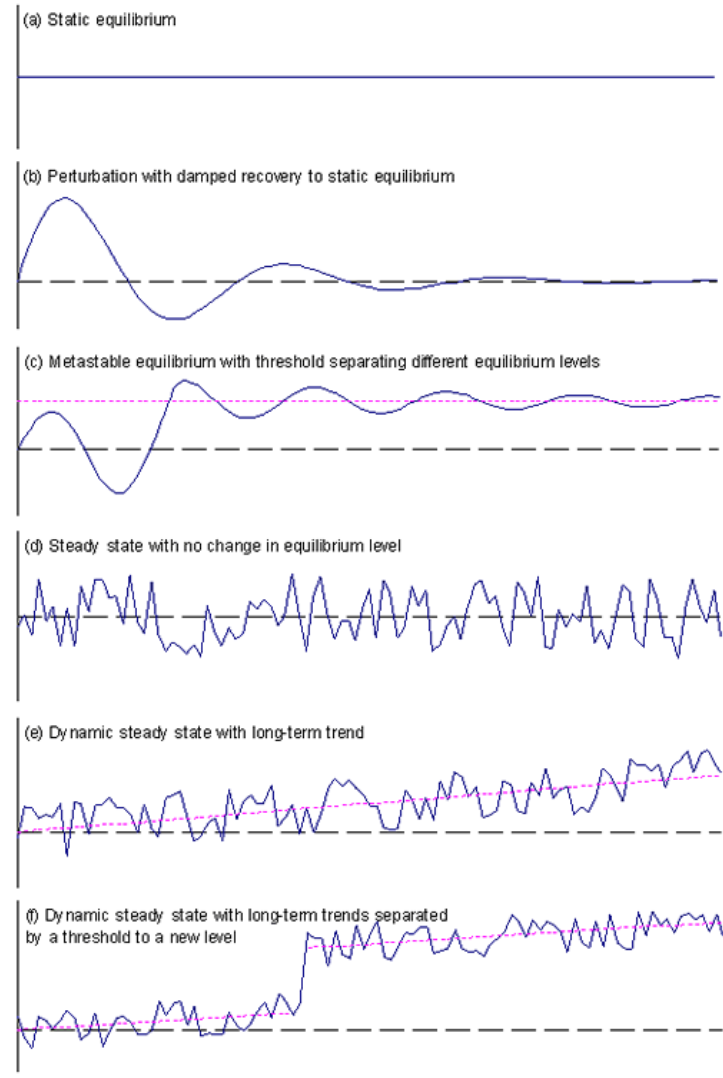
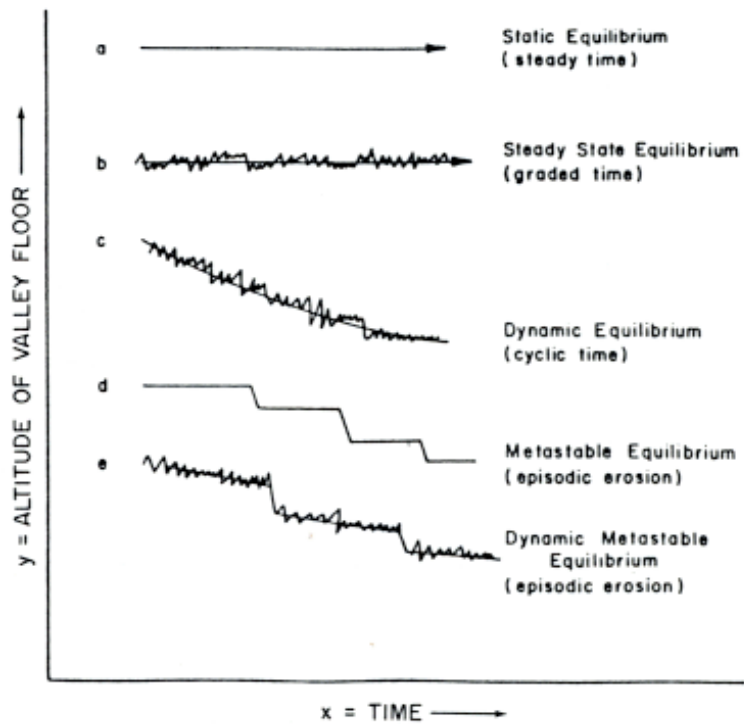


Dinamica di sistema: stasi e cambiamento

- Domanda:
 - come risponderà un sistema morfogenetico ad un disturbo esterno o ad una perturbazione, ovvero ad un cambiamento sulle forze agenti?
- La discussione delle risposte alle perturbazioni in geomorfologia ha comunemente ruotato attorno alla nozione di **equilibrio**
- In sintesi, l'equilibrio è una condizione nella quale è mantenuto un certo bilanciamento (Chorley e Kennedy, 1971). Si tratta di un concetto molto complesso, in quanto:
 - (1) entrano in gioco modelli multipli di equilibrio
 - (2) non tutte le componenti del sistema sono in equilibrio nello stesso momento
- Recentemente si sta discutendo l'idea di **disequilibrio** (di un sistema che si muove verso uno stato finale stabile, non ancora raggiunto) e **non-equilibrio** (di un sistema che non si muove verso particolari stati alternativi)

Condizione di equilibrio

1. Equilibrio termodinamico
2. Equilibrio statico
3. Equilibrio stabile
4. Equilibrio instabile
5. Equilibrio stazionario (*steady-state*)
6. Equilibrio dinamico
7. Equilibrio metastabile
8. Equilibrio metastabile dinamico

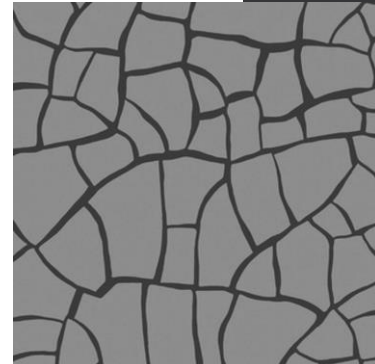
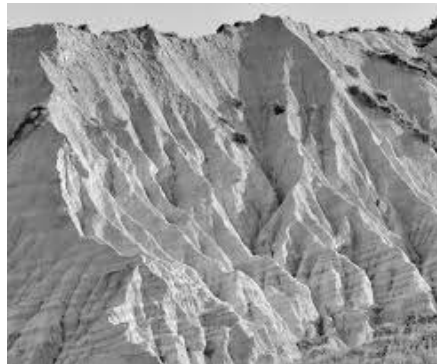


Alcuni tipi di equilibrio

Da Chorley e Kennedy (1971)

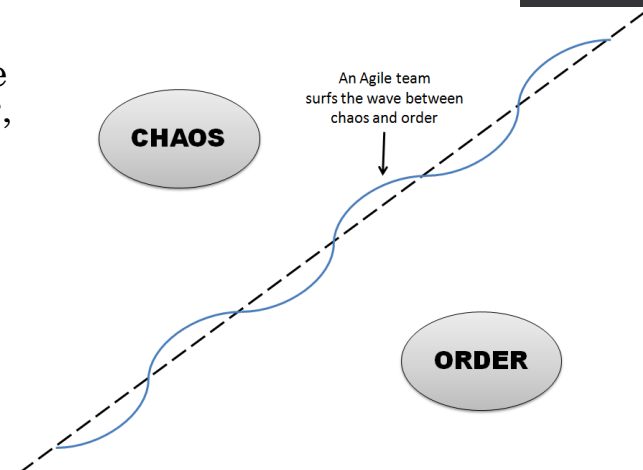
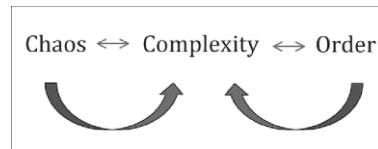
Condizione di disequilibrio

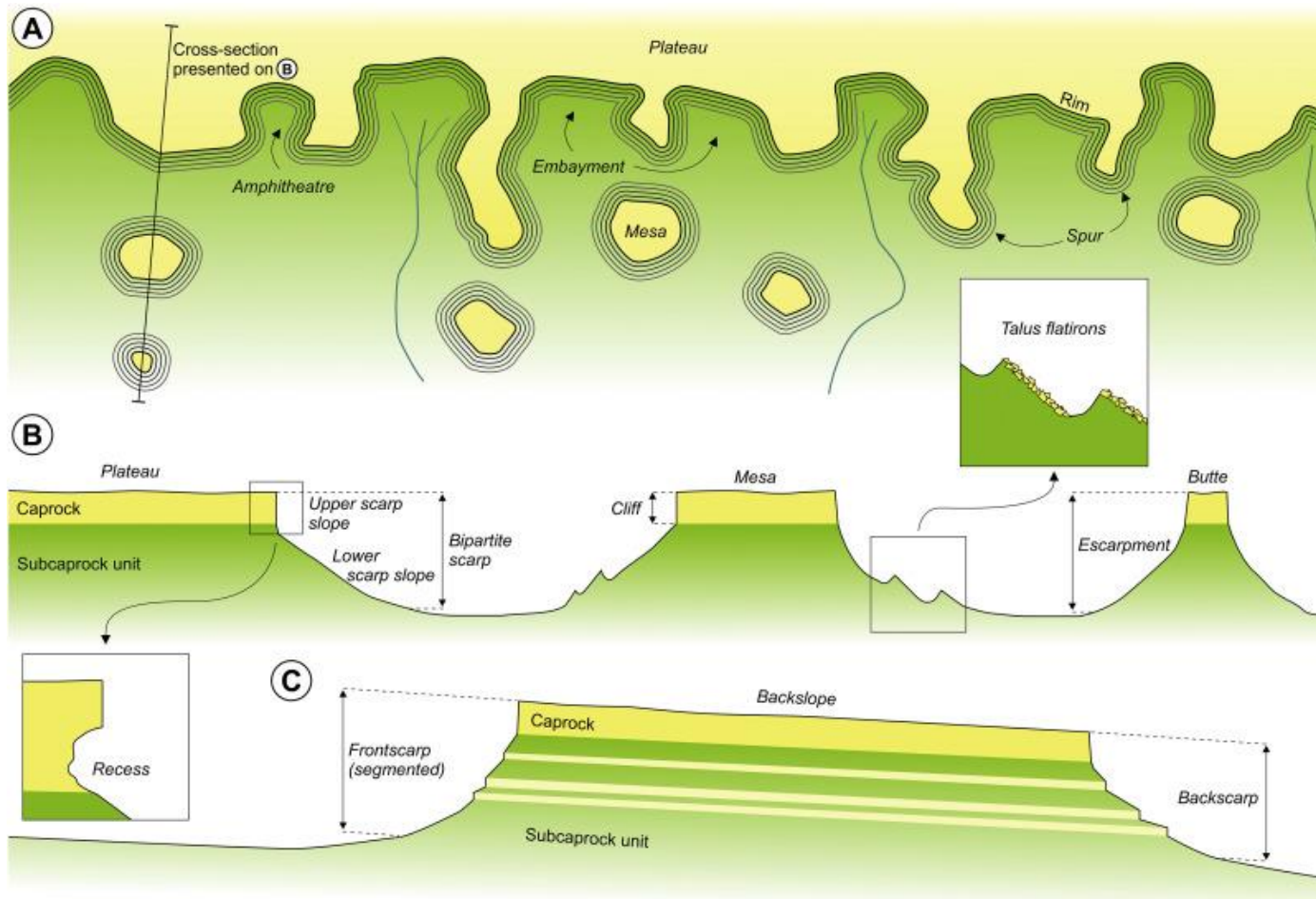
- Esistono 4 tipi di disequilibrio (o non-equilibrio):
 - sistemi che cambiano da uno stato all'altro in risposta a episodici eventi di passaggio di una soglia
 - sistemi che cambiano continuamente stato spinti da un feedback positivo
 - modificazioni brusche di stato legate al passaggio di soglia (*threshold-dominated*)
 - a sistemi i cui cambiamenti di stato sono completamente caotici



Non-equilibrio e caos

- Questa interpretazione del non-equilibrio deriva dalla **teoria dei sistemi dinamici**, che include le parole **complessità** e **caos**.
- L'idea parte dal presupposto che in natura gli *steady-state* sono molto rari, in quanto le forme sono intrinsecamente instabili
- Questo succede in quanto ogni processo che rinforza se stesso modifica il sistema attraverso meccanismi di feedback positivi e quindi disturbano il bilancio generale dello *steady-state*
- Il **Principio di instabilità** formalizza l'idea che in molte situazioni, variazioni casuali da una situazione in equilibrio tendono ad autorinforzarsi (Scheidegger, 1983)
- L'instabilità intrinseca è confermata dall'analisi matematica che individua la natura caotica di molte variazioni del paesaggio e delle forme





Duszynski et al. (2019), ESPL

Il problema dell'equilibrio dinamico

- Attualmente il concetto di **equilibrio dinamico** in geografia fisica è sinonimo di *steady-state*, dove il sistema appare essere in equilibrio, ma in realtà cambia in maniera estremamente lenta
- Il problema è collegato all'applicazione di fenomeni alla micro/nanoscala (fisica) alla macroscale dei sistemi morfogenetici (geomorfologia) ed alla difficoltà di separare le fluttuazioni osservate da un sottostante trend teorico
- Si preferisce parlare di **sistemi dinamici non-lineari** che non di equilibrio dinamico

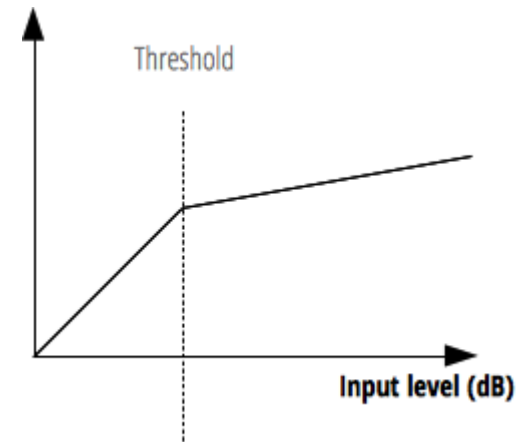
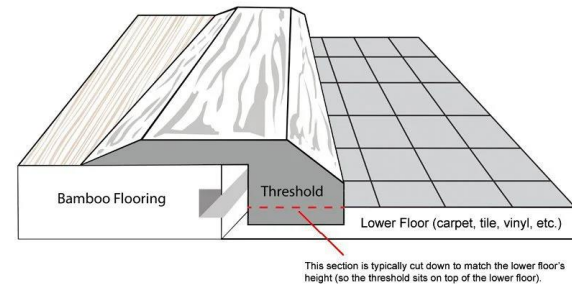
Table 2.1 Disturbance characteristics for selected geomorphic disturbances

Characteristics						
Frequency	Magnitude	Duration extent	Spatial onset	Speed of dispersion	Spatial spacing	Temporal
<i>Disturbing agency</i>						
<i>Fire</i>						
Frequent to rare	Low to moderate	Short	Moderate to extensive	Diffuse	Random	Rapid
<i>Drought</i>						
Frequent to rare	Low to moderate	Short to moderate	Extensive	Slow	Diffuse	Random to cyclical
<i>Volcanic eruption</i>						
Rare	Low to extreme	Short	Local to extensive	Rapid	Concentrated	Random
<i>Eustatic sea-level change</i>						
Rare	Moderate to extreme	Long	Extensive to global	Slow	Diffuse	Cyclical
<i>Subsidence</i>						
Rare to moderate	Low to high	Short to moderate	Local to moderate	Slow to rapid	Moderate to concentrated	Random
<i>Mining</i>						
Singular	Extreme	Short to moderate	Local	Rapid	Concentrated	Singular

Source: Adapted from Gares *et al.* (1994) and Phillips (2009)

La soglia

- Una soglia (*threshold*) separa stati diversi del sistema
- Una soglia segna alcuni tipi di transizioni nel comportamento, nelle operazioni o nello stato di un sistema (es. l'ebollizione, lo scongelamento, ecc)
- Molti processi morfogenetici operano solamente dopo aver oltrepassato una soglia
- Ad esempio le frane, che richiedono il fatto di oltrepassare un angolo critico, considerando gli altri fattori costanti
- Schumm (1988) ha distinto la **soglia interna** e la **soglia esterna**
- Un sistema morfogenetico non passerà una soglia esterna senza essere forzato a farlo a partire dalla modificazione di una variabile esterna (esempio la risposta al *climate change*, che si comporta da variabile esterna)



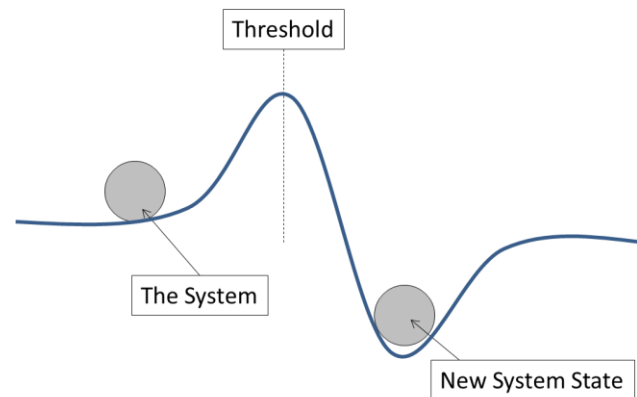
Oltrepassare la soglia

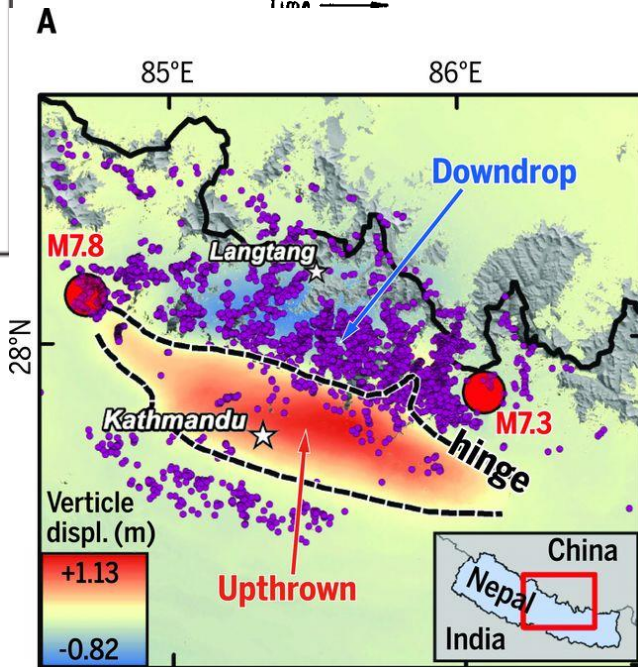
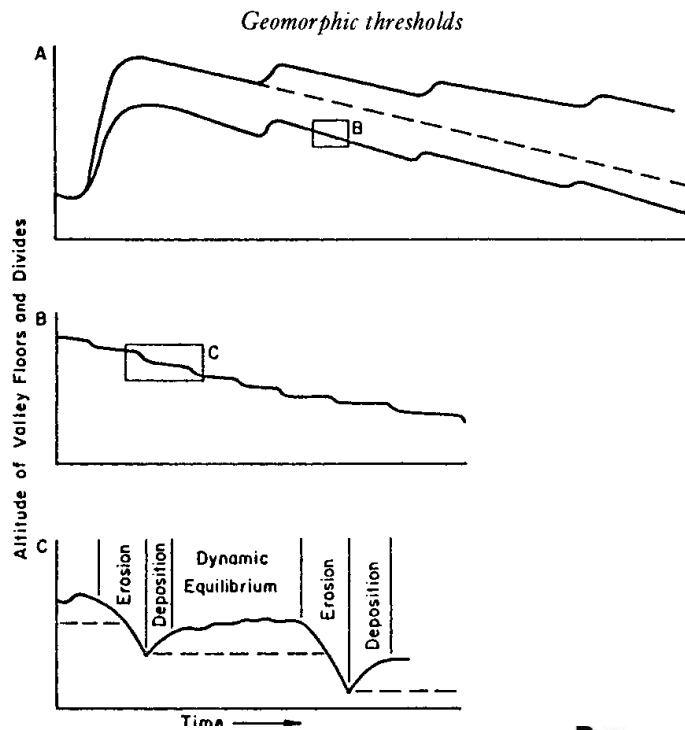
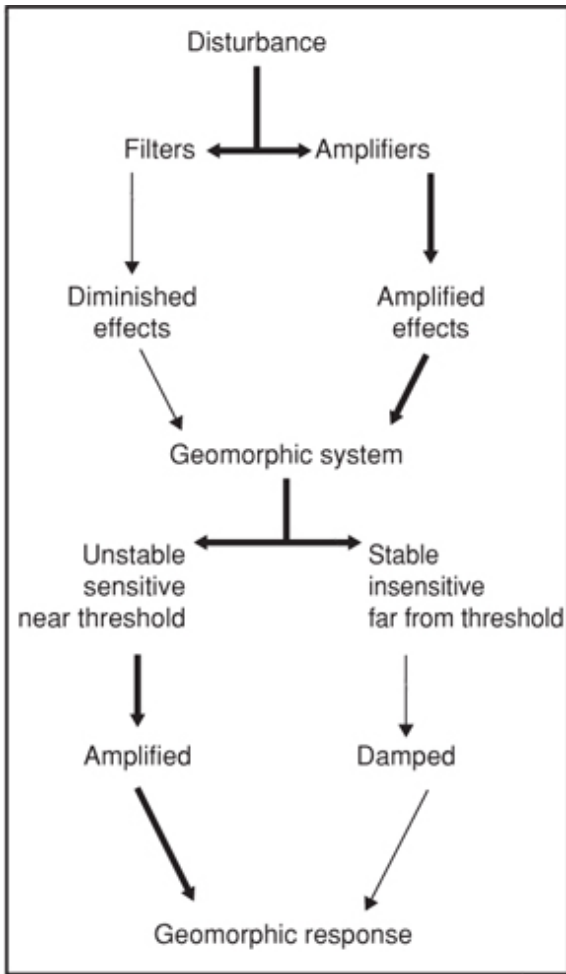
Quando verrà oltrepassata una certa soglia, il sistema si riorganizzerà nel nuovo stato

Non è richiesta la modifica di una variabile esterna per passare una soglia interna, ma piuttosto alcune possibili fluttuazioni in una variabile interna in un sistema morfogenetico può portare un sistema ad oltrepassare una soglia interna e portare alla sua riorganizzazione (esempio il **CLIMA**)

Es: Corsi d'acqua in cui un disturbo iniziale (es. eccessivo pascolo nel bacino idrogafico) può attivare risposte complesse sui canali fluviali;

Il cambiamento climatico che provoca una riorganizzazione complessa dei processi





B Pre-earthquake 2012

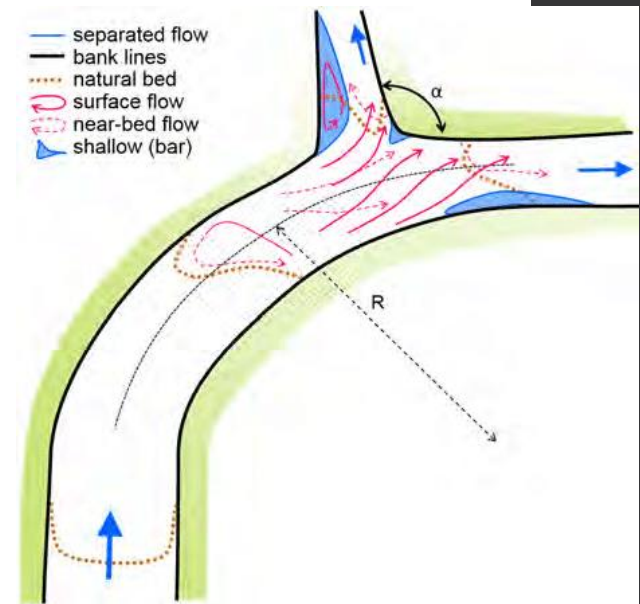


C Post-earthquake 2015

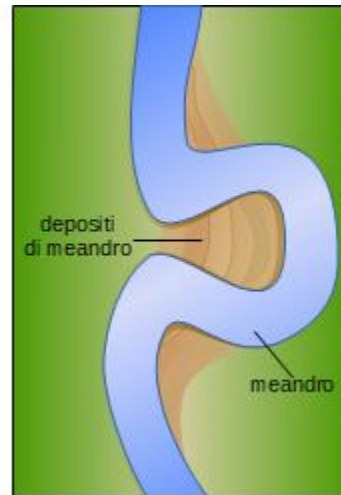
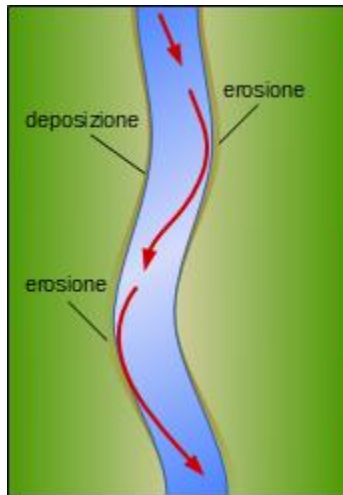


Biforcazione dei sistemi morfogenetici

- Alcuni geomorfologi applicano la **teoria della biforcazione** ai sistemi morfogenetici alla fine degli anni '70-'80
- **Un sistema può subire una deviazione rispetto ad una direzione di evoluzione predefinita a causa di un evento catastrofico che ne modifica lo stato**
- La teoria è basata fondamentalmente sul catastrofismo, che è una branca della teoria della biforcazione sviluppata da Thom (1975) per spiegare alcuni processi sulla superficie terrestre
- **Un evento catastrofico può portare alla creazione di due sistemi che si evolvono autonomamente**



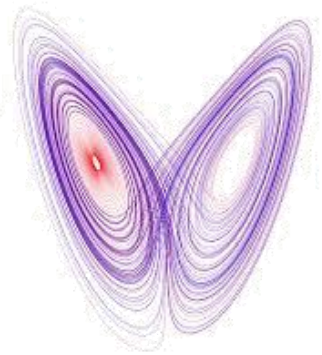
Van Denderen et al. (2018)
ESPL





Meteor Crater, Arizona (USA)

Il caos deterministico



- La ricerca classica sui sistemi aperti si snoda sulle relazioni lineari dei sistemi vicini all'equilibrio. Una nuova direzione del pensiero e un profonda comprensione è risultata proprio dai lavori sul caos deterministico di Edward Lorenz (1963)
- Il concetto chiave è stato quello della scoperta delle relazioni non-lineari nei sistemi
- In geomorfologia, **la non-linearità significa che gli output di un sistema (risposte) non sono proporzionali agli input del sistema (forzanti) attraverso tutta la gamma di input (Phillips, 2006)**
- Le relazioni non-lineari producono una ricca e complessa dinamica nei sistemi lontani dall'equilibrio, che evidenziano un comportamento periodico e caotico.
- La caratteristica più sorprendente di questi sistemi è la *generazione di ordine dal caos*, con gli stati di sistema che inaspettatamente si muovono verso alti livelli di organizzazione sotto forze agenti di produzione di entropia interna ed entropia dissipativa

La Teoria del Caos (*Chaos Theory*) è una branca della matematica che si occupa di studiare i sistemi *deterministici* che risultano, però, *imprevedibili*, cioè sistemi che, per quanto siano descritti in modo esatto da equazioni matematiche, presentano un comportamento caotico e *apparentemente* casuale.

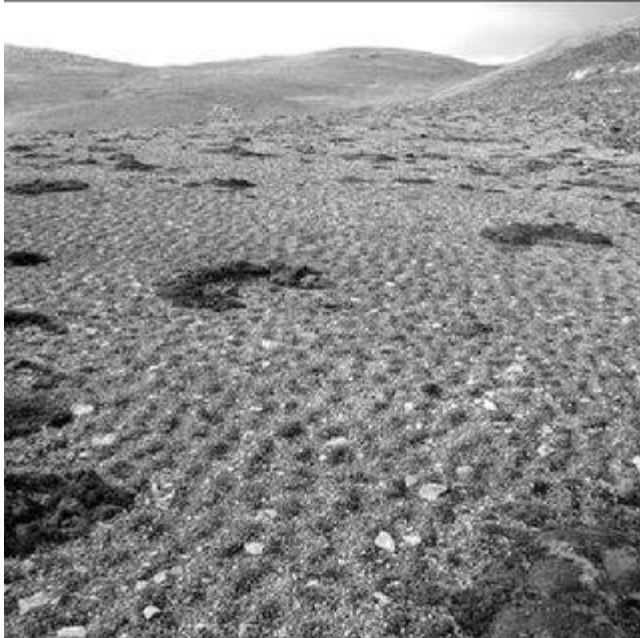
Dipendenza sensibile dalle condizioni iniziali, meglio nota come *effetto farfalla*.



Bad Water, Death valley (USA)



Sardegna (I)



Conseguenze del caos deterministico

Una delle conseguenze della dinamica del caos per il mondo naturale è che:

tutta la natura può contenere fundamentalmente elementi non predicibili, di carattere erratico, discontinuo ed inerente

Ciononostante, la Natura non-lineare non è tutta complessa e caotica

Phillips (2006) ha astutamente notato che «**i sistemi non-lineari sono non tutti, o non sempre, complessi e anche quelli che possono essere caotici sono caotici sotto certe circostanze. Al contrario, la complessità può generarsi da fattori diversi dalla dinamica non-lineare**»



Tabernas Desert (Spagna)

Altre conseguenze

- La distinzione tra **stabilità** e **nuovo equilibrio** è critica per capire le dinamiche degli attuali sistemi morfogenetici che divide due condizioni, per una data scala di osservazione o investigazione

nuovo equilibrio di stato stazionario (*steady-state*) governato da dinamiche di equilibrio stabili che si sviluppa dopo una variazione delle condizioni di confine o delle forze esterne

persistenza dell'impatto sproporzionato di piccoli disturbi associati con una instabilità dinamica.

1. lo stabilirsi di un nuovo equilibrio di stato stazionario implica una risposta **predicibile**, nel senso che le stesse modificazioni del sistema nelle condizioni al confine che interessano lo stesso sistema in uno spazio o tempo diverso produrrebbero lo stesso risultato
2. un sistema dinamicamente instabile possiede diversi modi di aggiustamento e risposte inconsistenti, con diversi risultati possibili per lo stesso tipo di disturbo, o modificazione

Altri concetti...

AAAAArrrrggghhhh!!!

Reazione, rilassamento, resistenza, resilienza, ricorso

- In molti sistemi morfogenetici, le variazioni nella forma del sistema sono legati a variazioni negli input (l'intervento di un disturbo).
1. Il **tempo di reazione** è il tempo necessario (ritardo) a certi meccanismi per reagire ai disturbi esterni. Per reagire un sistema richiede il passaggio di una soglia. La variazioni tra disturbo e forma della risposta può essere anche geografico (se la risposta avviene in un altro luogo).
 2. Il **tempo di rilassamento** è il tempo richiesto dal sistema per adeguarsi al disturbo.
 3. Tempo di reazione e tempo di rilassamento vengono assieme detti **tempo di risposta**.
 4. La **resistenza** è l'abilità di un sistema morfogenetico ad evitare o minimizzare la risposta alle forze agenti, quindi ai disturbi. Ha una componente detta **forza** (*strenght*, chimica, erodibilità, ecc) e **capacità**, in cui un sistema morfogenetico può resistere ai disturbi assorbendoli
 5. La **resilienza** è l'abilità di un sistema di recuperare verso il suo stato prima del disturbo
 6. Il **ricorso** coinvolge le modificazioni che seguono un disturbo alimentante se stesso

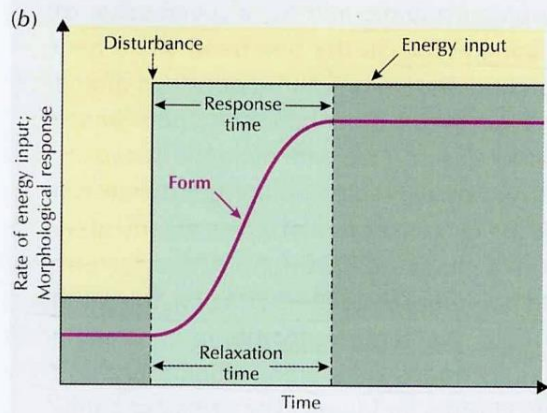
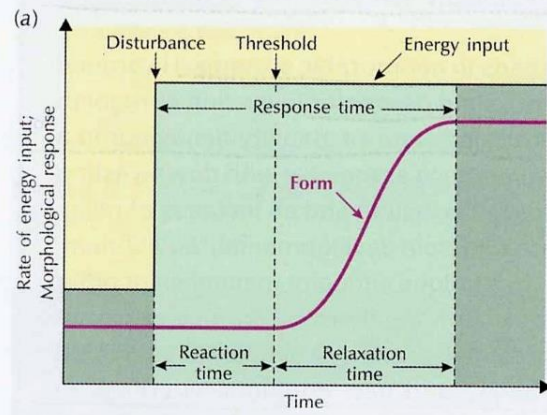


Figure 2.6 (a) Reaction time and (b) relaxation time in geomorphic systems.

Intensità e frequenza

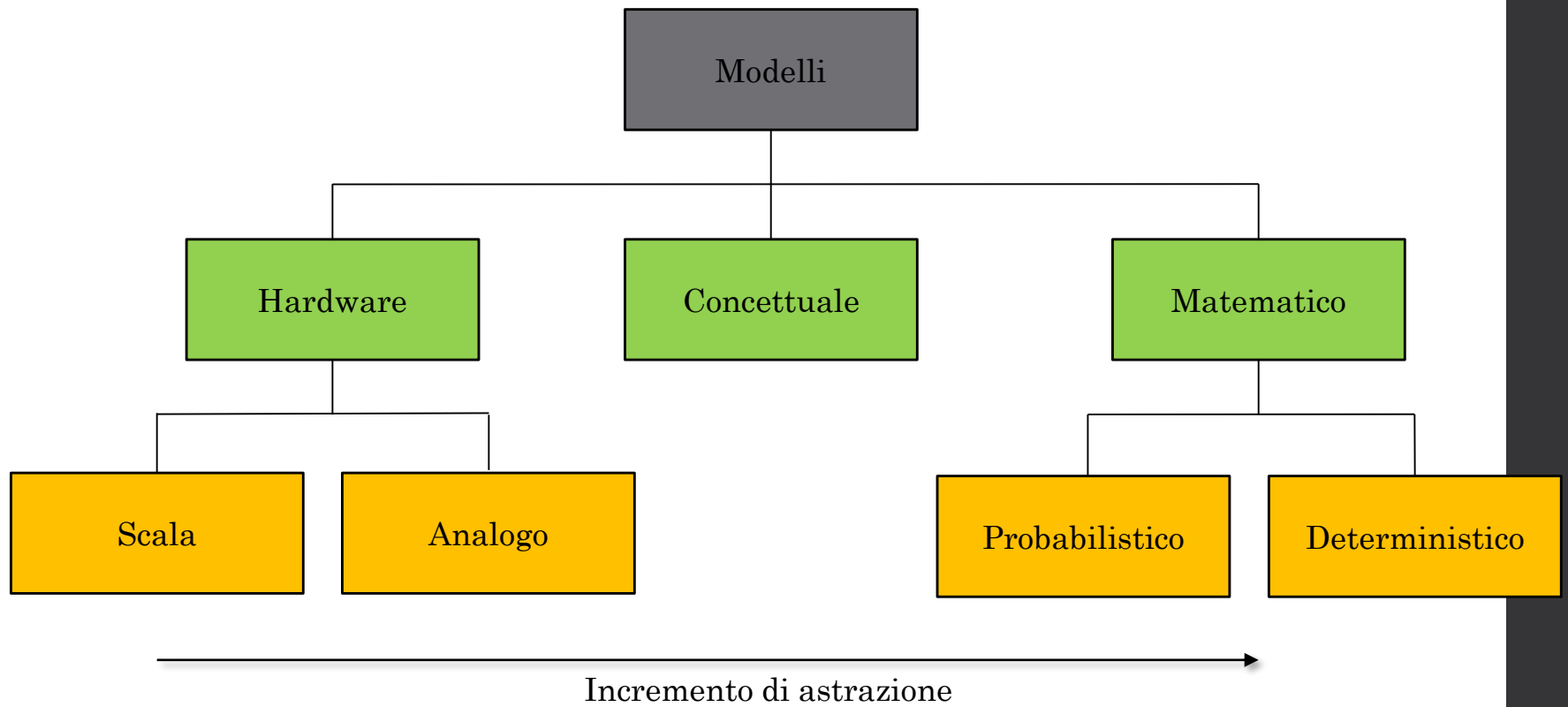
- **Eventi alta intensità meno frequenti degli eventi a bassa intensità.**
- Si dice **periodo di ritorno** (o intervallo di ricorrenza) la frequenza alla quale avviene un evento di una specifica magnitudo (intensità), ed è calcolata come il periodo medio di tempo tra eventi di intensità data
 - **$T = (n+1)/m$**
- T = periodo di ritorno, n = numero di anni di misure, m = magnitudo

I modelli morfo genetici

Come semplificare la natura

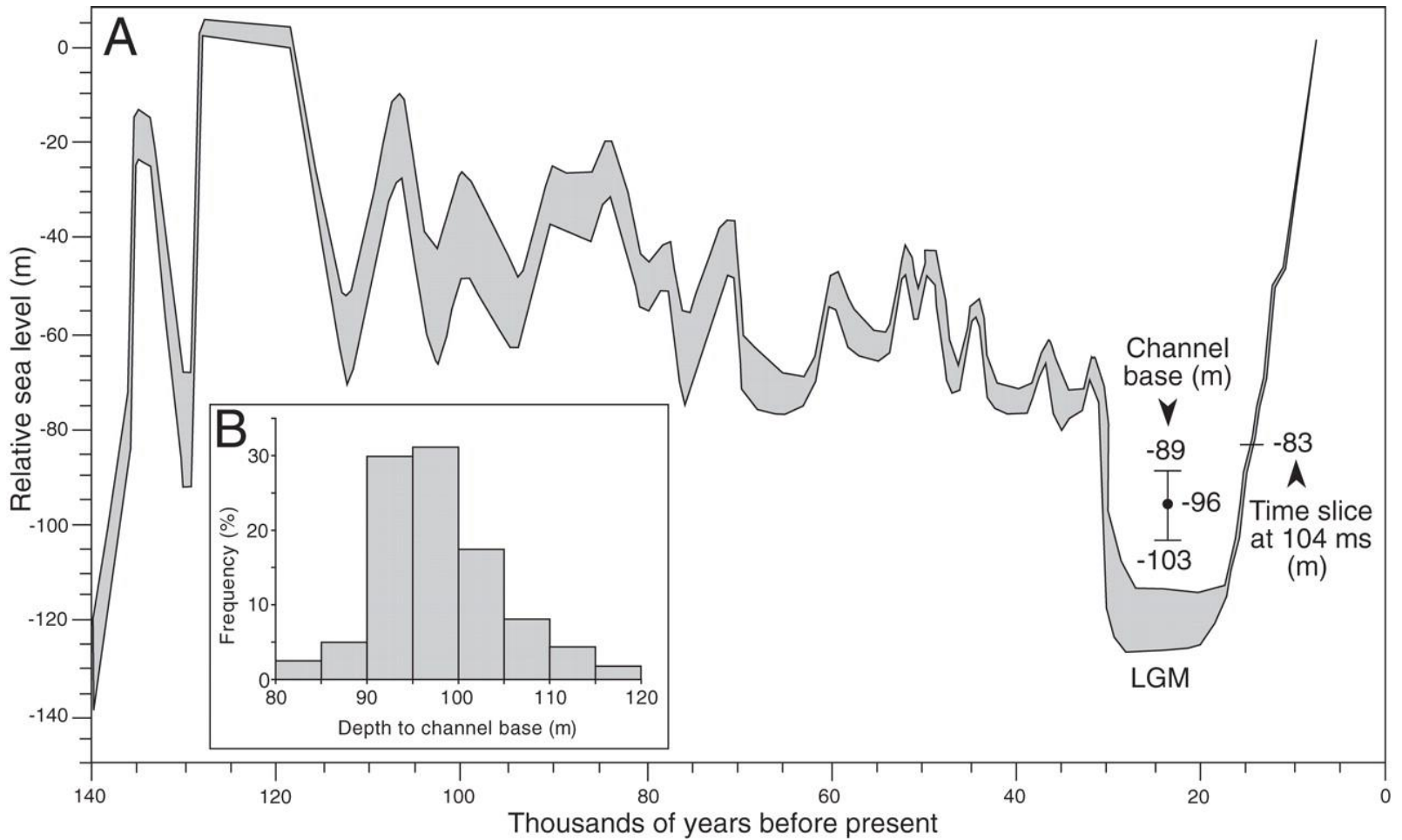
Definizioni

- Per isolare le componenti e le interrelazioni nei sistemi morfogenetici sono necessari alcuni gradi di astrazione.
- **La realtà morfologica è troppo ricca di oggetti ed interazioni per tener conto di tutte le sue componenti e le relazioni tra loro.**
- **Modello:** processo di semplificazione della realtà
- Un modello è quindi una rappresentazione semplificata di alcuni aspetti del paesaggio reale che riguarda ciò che interessa al geomorfologo. Si tratta di un tentativo di descrivere, analizzare, semplificare o mostrare un sistema morfogenetico
- Esistono modelli a diversi livelli di astrazione. Il più semplice riguarda il cambio di scala (*Hardware model*, Mosley e Zimpfer, 1978).



Tipi di modelli

1. **Modelli di scala** (iconici): sono miniature o gigantografie di sistemi reali
2. **Modelli analogici**: Sono le carte o le immagini da remote sensing
3. **Modelli concettuali**: Rappresentano la base per costruire i modelli matematici. Ne definiscono la struttura e la funzione
4. **Modelli statistici**: Hanno componenti casuali che rappresentano fluttuazioni non prevedibili in laboratorio o in campagna che derivano da errori di misura, errori nelle equazioni o la variabilità degli oggetti misurati
5. **Modelli stocastici**: Hanno componenti casuali (random) che descrivono il sistema, o alcune parti basate sulla probabilità
6. **Modelli deterministici**: sono modelli concettuali espressi matematicamente che non contengono componenti casuali. Questi modelli devono essere testati comparando le previsioni con osservazioni indipendenti sul terreno o in laboratorio



Lambeck and Chappell, 2001)

Le forme

Approcci alle forme

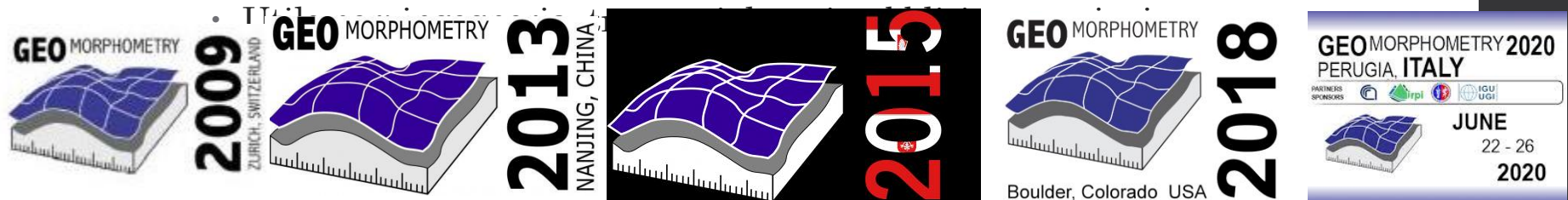
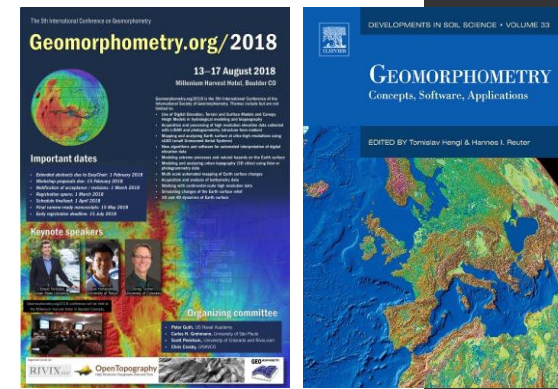
- Lo studio delle forme sulla terra parte da due approcci diversi:
 1. Approccio descrittivo – Descrizione di campagna e cartografia geomorfologica
 2. Approccio matematico – Geomorfometria

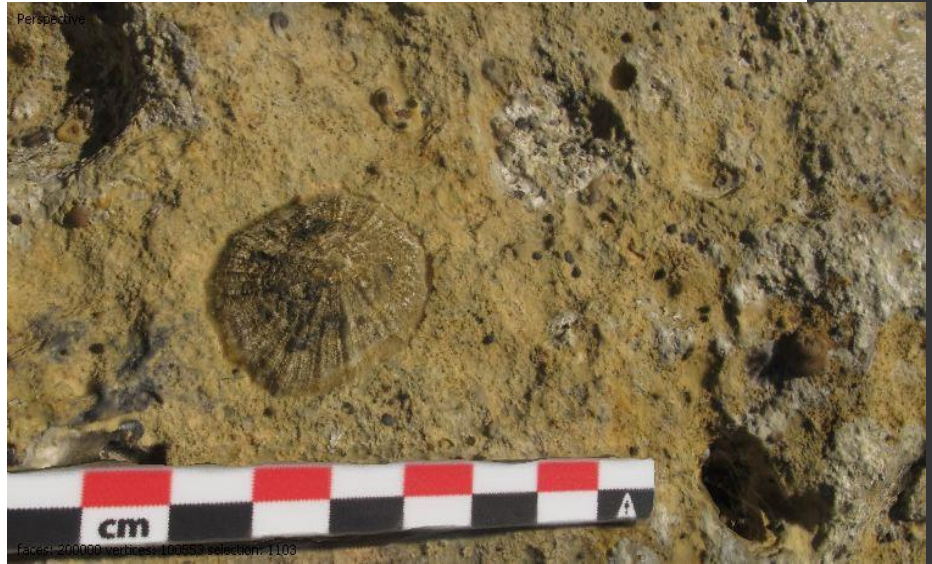
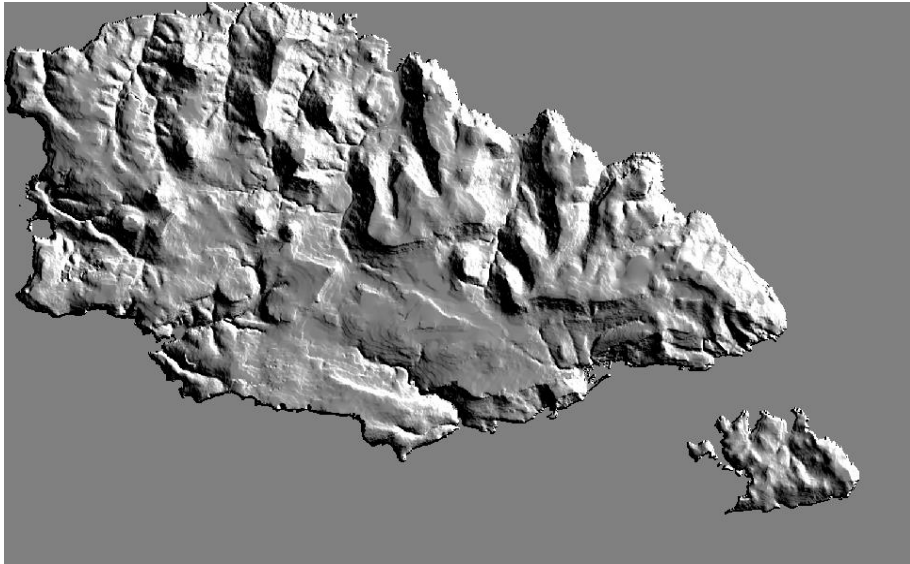
Descrizione e cartografia

- Il modo migliore per osservare le forme è tramite il rilevamento di campagna
- Molto può essere dedotto (...o meglio abdotto) dal «vecchio» metodo della descrizione, degli sketch e dalla lettura e produzione delle carte geomorfologiche
- La cartografia delle forme è un mix tra tecnica e arte
- Le forme possono variare enormemente in forma e dimensioni. Le più piccole possono essere rappresentate come punti, le maggiori come aree. Elementi idrografici o tettonici possono essere rappresentati come linee
- La mappatura morfologica può tentare di mappare le forme di base tramite le foto aeree o altre carte
- Gli elementi di forma possono essere riconosciuti già dalla cartografia tecnica

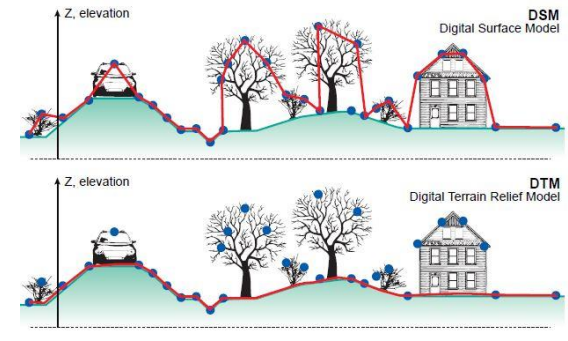
Geomorfometria

- La geomorfometria è una branca della geomorfologia che studia le forme della superficie terrestre da un punto di vista quantitativo (Hengl e Reuter, 2009)
- Ha una fortissima tradizione americana post-seconda guerra mondiale ed è stata «reinventata» con l'avvento del remote sensing e dei GIS (Geographic Information Systems)
- La geomorfometria è una componente importantissima della *terrain analysis* e del *surface modelling*
- Tra le applicazioni specifiche ci sono:
 - Misura della morfometria delle superfici dei ghiacci continentali, caratterizzazione dei circhi glaciali, mappatura della morfologia dei fondali marini, la guida dei missili, valutazione dell'erosione dei suoli, propagazione degli incendi, mappatura delle ecoregioni

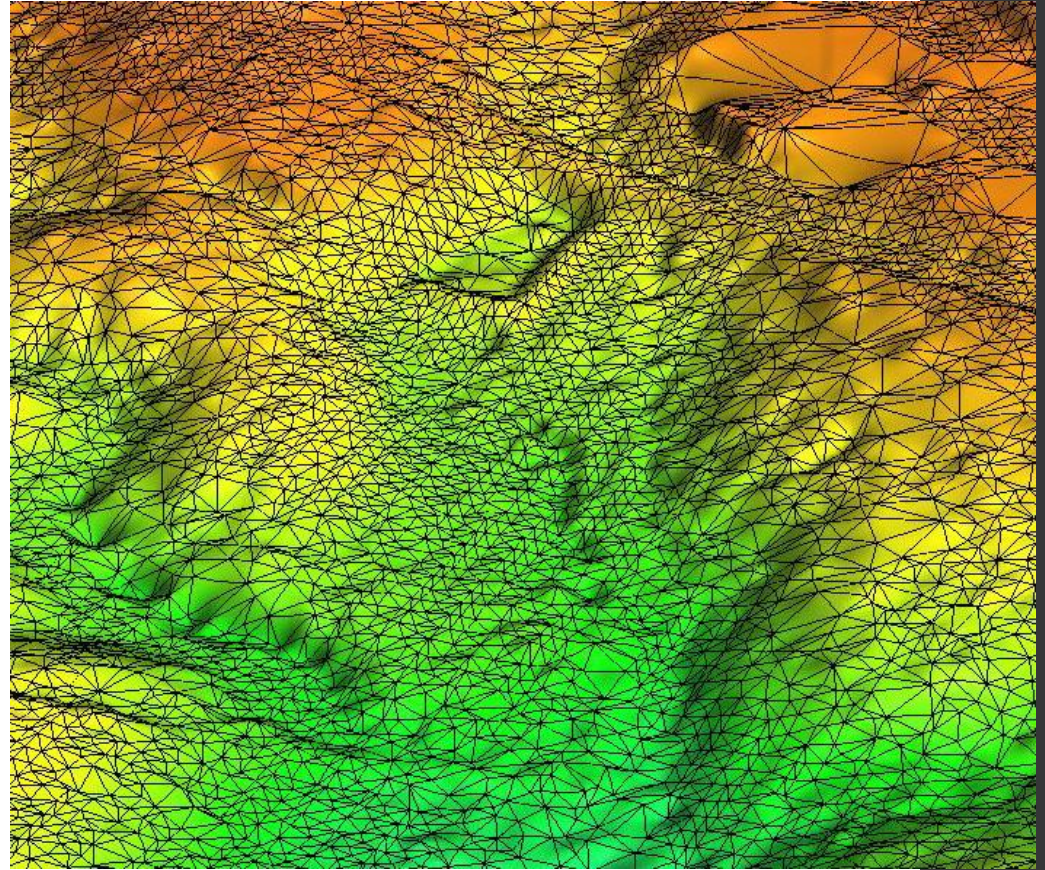
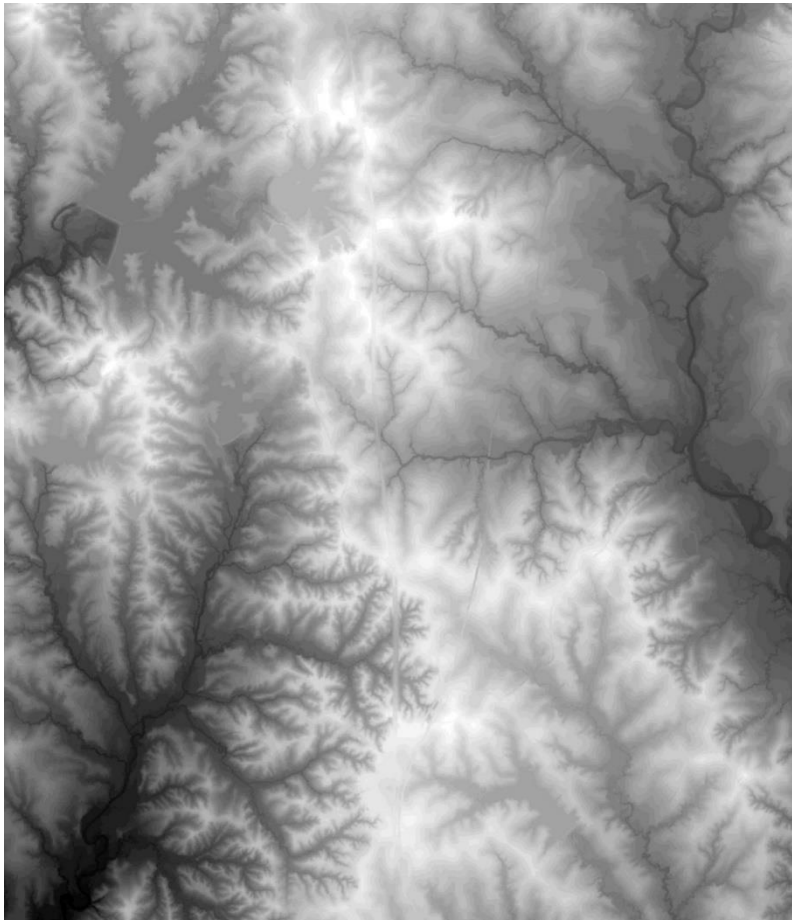




DEM



- Lo sviluppo della geomorfometria a partire dagli anni '70 è legata soprattutto a:
 1. Uso dei GIS che permettono di inserire, salvare e manipolare grandi quantità di dati georiferiti
 2. Sviluppo degli EDM (Electronic Distance Measurement) e dei GPS (Global Positioning System), che hanno reso estremamente più veloce la dispendiosa produzione di carte a grande scala
- La rappresentazione digitale del terreno si riferisce a:
 - DEM (Digital Elevation Model) – è un insieme ordinato di numeri che rappresentano la distribuzione spaziale delle quote in una rappresentazione cartografica arbitraria
 - DTM (Digital Terrain Model) – è un insieme ordinato di numeri che rappresentano la distribuzione spaziale degli attributi del terreno (senza edifici, alberi, ecc)
- I DEM sono quindi un sottoinsieme dei DTM. Sono molto utili per il modelling geomorfologico



Remote sensing

- Le rappresentazioni digitali del terreno attuali derivano da dati acquisiti in remoto (*remote sensing*), molto utili per studiare i processi sulla superficie della Terra
- I dati di elevazione del terreno sono derivabili da metodi fotogrammetrici (fotografie stereografiche, immagini satellitari, LiDAR) o da rilievi sul terreno (GPS, stazione totale, laser terrestre)
- Un vantaggio dell'uso di dati come il LiDAR è che riescono a penetrare la vegetazione, e quindi ricostruire il terreno al di sotto di essa
- TLS (terrestrial laser scanner) e LiDAR forniscono dati ad altissima risoluzione topografica, anche su aree molto vaste
- Sono utili per: studio delle frane, forme della superficie, struttura dei corsi d'acqua, batimetria, identificazioni di paleosuperfici, tectonica

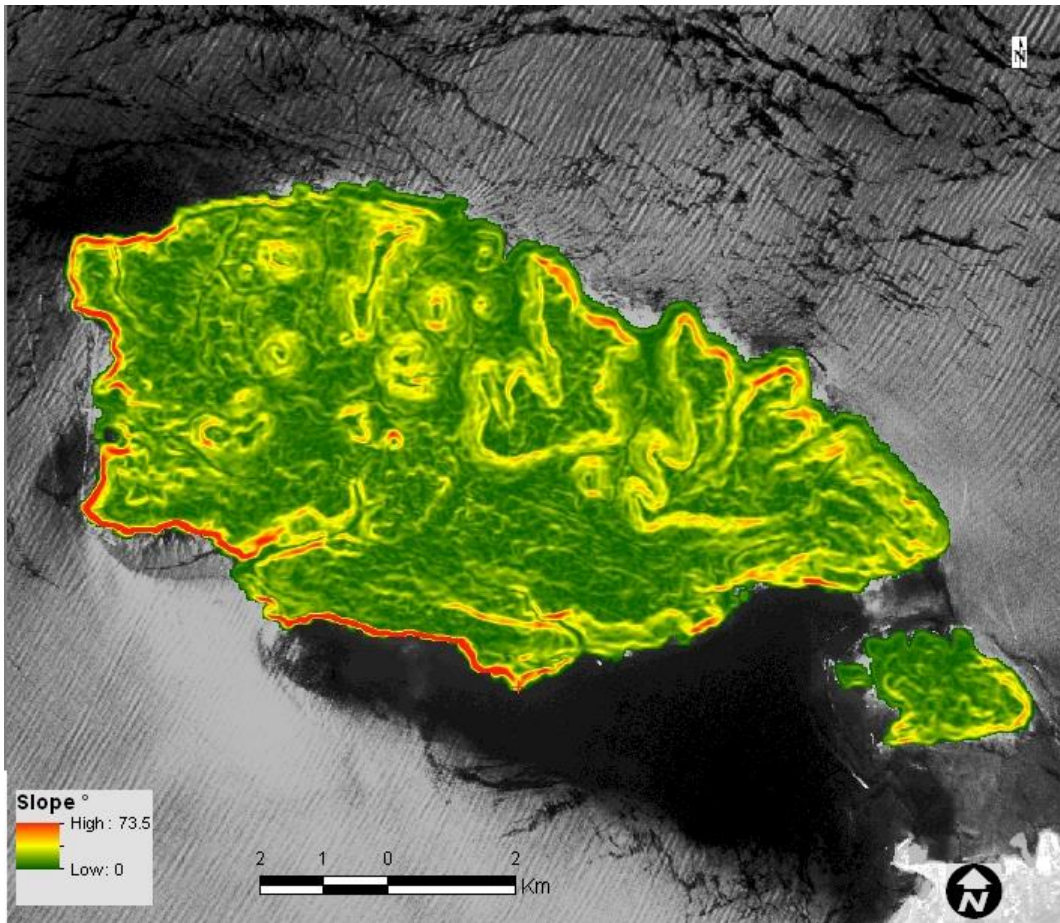
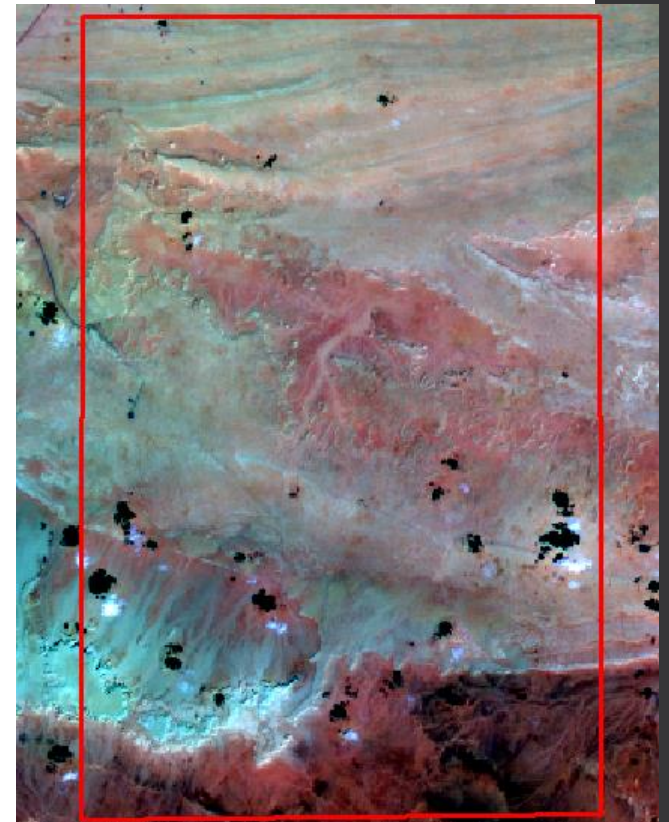
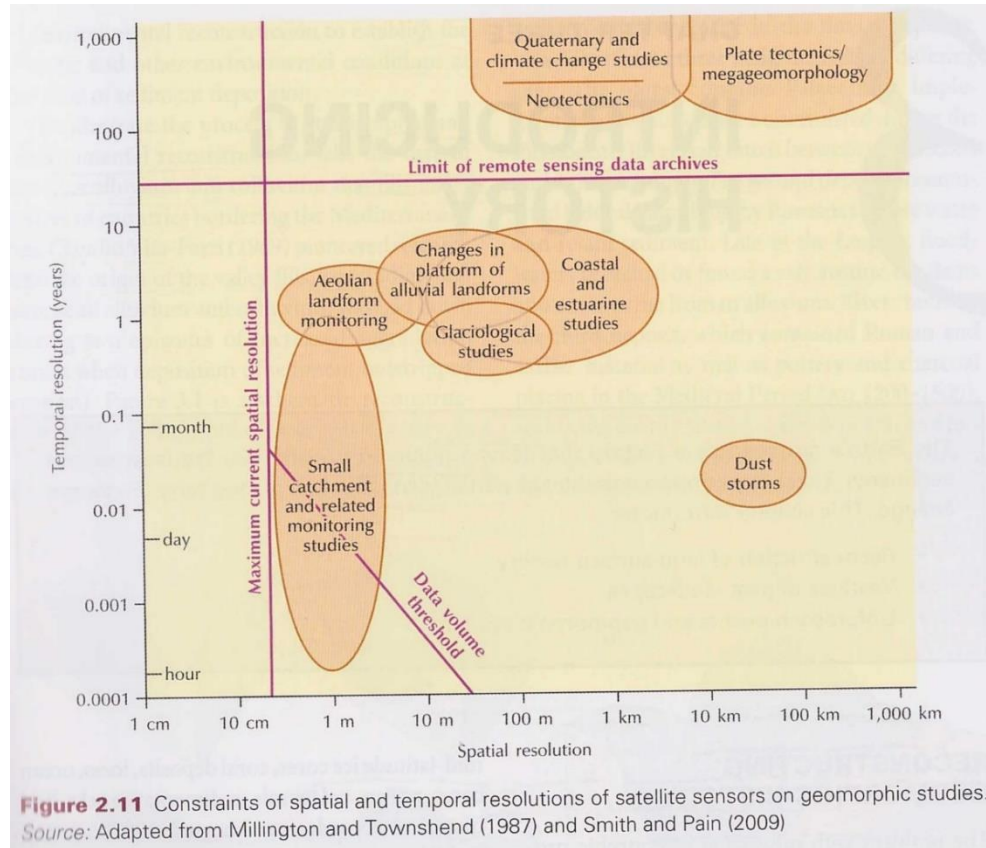


Immagine a falsi colori 731 (Asterisk)



Sovrapposizione di Slope (SRTM e infrarosso vicino (Landsat))



Limiti della risoluzione spaziale e temporale dei sensori satellitari per studi morfogenetici

La storia geomorfologica

Ricostruire la storia geomorfologica

- Il problema della misura dei processi morfogenetici è che, nonostante si possa valutare i processi ed i tassi a cui attualmente il *landscape* è soggetto, essi non forniscono una testimonianza affidabile dei processi che agivano milioni di anni fa, diecimila anni fa o anche poche centinaia di anni fa
- Per ricostruire l'evoluzione a lungo termine delle forme e del territorio, i geomorfologi hanno a disposizione tre metodi:
 1. La ricostruzione stratigrafia ed ambientale
 2. Gli studi cronostatigrafia
 3. I modelli numerici

Ricostruzione ambientale e stratigrafica

- Fortunatamente per i geomorfologi, i paesaggi passati contengono un enorme archivio delle condizioni ambientali passate, come:
 - anelli di accrescimento degli alberi, sedimenti lacustri, carotaggi di ghiaccio polare o delle medie latitudini, concrezioni coralline, loess, carote abissali, pollini, paleosuoli, rocce sedimentarie, record storici
 - Principi di stratigrafia
 - Datazioni al radiocarbonio
 - Dendrocronologia
- La recente agenda sulle variazioni ambientali globali hanno dato un forte impulso alle tecniche di ricostruzione ambientale a diverse scale temporali

Cronosequenza delle forme

- Lo studio della topografia cronostratigrafica mira a trovare siti dove un particolare set di forme differisce da punto a punto e dove quella determinata sequenza spaziale di forme può essere interpretata come una sequenza temporale
- La procedura è nota come *sostituzione spazio-temporale* (o *ergodicità*)
- Un esempio famoso è l'idea darwiniana sullo sviluppo delle barriere coralline, come differenti step di evoluzione delle isole coralline, ma anche il Ciclo di Davis

Il ciclo di Davis

- Davis ha applicato questo schema a forme sviluppate in luoghi diversi per sviluppare la sua teoria sul tempo di sviluppo delle forme (il cosiddetto ciclo geografico), che parte da uno stadio giovanile fino a stadi di maturazione più evoluta
- Questo semplice schema è seduttivamente aperto agli abusi:
- La tentazione è quella di adattare le forme in un'idea preconcepita della modificazione del territorio, anche se si potrebbero costruire altre sequenze di sviluppo del territorio
- Inoltre, **NON TUTTE LE DIFFERENZE SPAZIALI SONO DIFFERENZE TEMPORALI**
- C'è inoltre il problema della *equifinalità*, o convergenza delle forme, cioè che diversi set di processi possono produrre la stessa forma

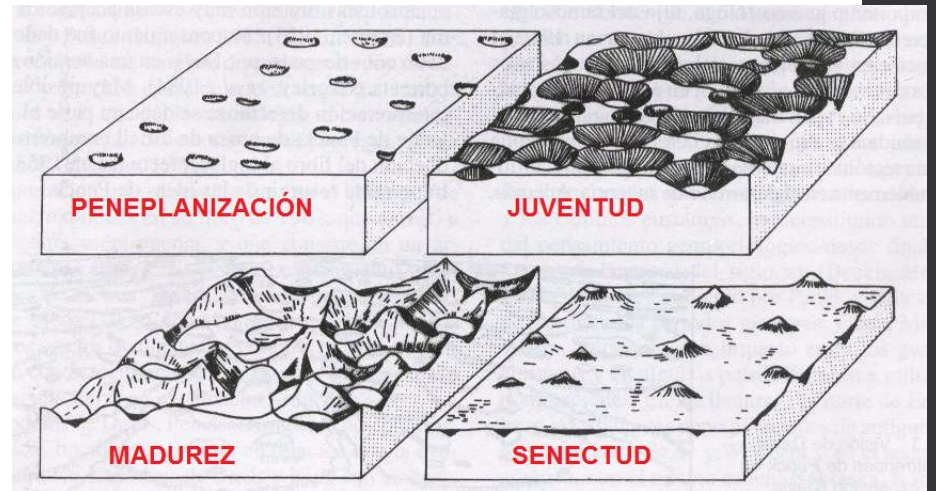
Young



Mature

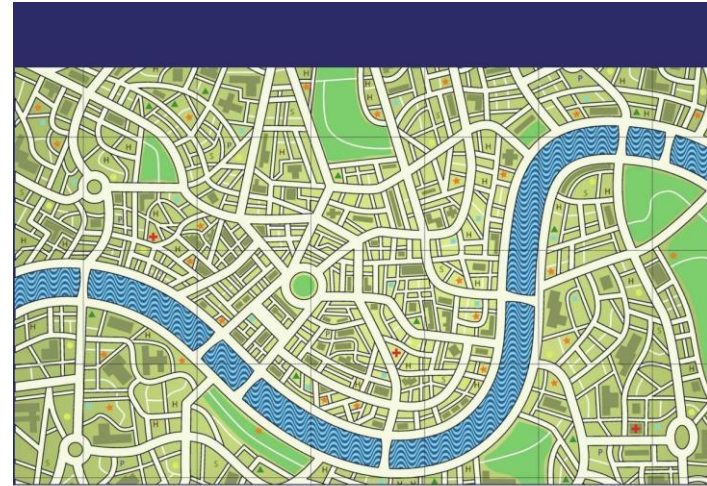


Old



Modellazione numerica

- I modelli matematici del territorio prevedono cosa accade se un particolare combinazione di situazioni morfologiche agisce per milioni di anni, a partire da condizioni iniziali molto ristrette (es. topografia, tettonica, condizioni al contorno, ecc)
- Alcuni geomorfologi ritengono che questi modelli hanno una potenzialità limitata, in quanto le condizioni ambientali non sono mai costanti, o circa costanti, sui tempi lunghi
- i modelli mostrano pattern grezzi di variazione della superficie terrestre che avvengono in determinate situazioni controllate



Januar Fery Irawan

Geomorphology Modeling for Meandering River

The numerical model of bank erosion in a
meandering river

Forme relitte

Superfici relitte

- *Solo una piccolissima parte della topografia terrestre è più vecchia del Terziario e la maggior parte non è più vecchia del Pleistocene (Thornbury, 1954)*
- Recentemente però si è potuto constatare che una significativa parte della superficie terrestre è sorprendentemente antica e sopravvive in forme relitte o sepolte
- Queste forme sono state modellate da processi attualmente non più agenti e si tratta dei cosiddetti **relicts**
- Bloom (2002) ha osservato che **solo poche forme molto giovani sono il risultato di processi attualmente attivi, e siccome la scala dell'evoluzione del territorio è molto più lunga della scala temporale delle variazioni climatiche del Tardo Cenozoico, quasi tutte le forme sono relitte, risultato di una complessa combinazione di processi antichi**
- Le forme attuali vengono sovente utilizzate come analoghi per comprendere le forme passate...o di altri pianeti...o del futuro

Contingenza

Processi, luoghi, tempo

Contingenza nello spazio e nel tempo

- La contingenza lega gli stati morfogenetici ed i processi a località particolari e tempi specifici (ovvero da una connotazione di luogo e tempo agli stati morfogenetici)
- La risposta di un sistema morfogenetico può essere contingente rispetto al timing, alla sequenza o alle condizioni iniziali del sistema
- La contingenza opera su tutte le scale temporali ed i suoi effetti sono quindi più evidenti nelle scale temporali più ampie. La storia della Terra è piena di eventi non previsti che hanno avuto un grandissimo impatto su ciò che è accaduto dopo
- C'è un interessante legame tra sistemi morfogenetici ed eventi impreveduti : molti sono infatti i controlli e le forzanti ambientali che interessano i sistemi morfogenetici e portano alla creazione di forme e paesaggi diversi Alcuni di questi controlli sono contingenti
- L'instabilità dinamica crea ed amplifica alcune di queste contingenze amplificando gli effetti di variazioni iniziali anche molto piccole o disturbi locali, tanto che possono persistere e crescere a dismisura

Tutte le forme sono perfette

- La probabilità combinata di ogni set di controlli globali è estremamente bassa, come la probabilità di ogni set di controlli contingenti locali
- In conseguenza, la probabilità di ogni forma o sistema morfogenetico esistente sulla faccia della Terra ad ogni particolare luogo e tempo è innegabilmente bassa. Questo significa che:

- **TUTTE LE FORME SONO PERFETTE**

- Nel senso che **sono il frutto della coincidenza improbabile di molti differenti fattori e forze** (Phillips, 2007)
- Si tratta di una nozione che ha molto in comune con la *geomorfologia evolutiva* (Ollier), per cui forme e paesaggi sono il risultato inevitabile delle leggi deterministiche
- Inoltre specifica che forme e paesaggi sono circostanziati e contingenti, relativi a leggi deterministiche che operano in ambienti specifici e contesti storici (geologici) particolari, con diverse risposte geomorfologiche possibili per determinati set di processi e condizioni al contorno

Conclusioni

- Per quanto riguarda un'analisi teorica ed empirica, l'egemonia della geomorfologia dei processi, dominante dagli anni '70, si sta sgretolando velocemente
- La geomorfologia storica sta proponendo nuovi orizzonti più appetibili
- La comprensione dei paesaggi e delle forme dovrebbe essere basata su una conoscenza profonda dei processi e della storia.
 - Senza una considerazione sui processi, la storia è indecifrabile
 - Senza la decifrazione della storia, i processi mancano di contesto
 - Assieme, storia e processi conducono ad una più profonda comprensione delle forme superficiali terrestri, del loro comportamento e della loro evoluzione