



Vuoto?

# utilità del vuoto

- Il commento di James Cook ai limiti dell'Antartide:
- *Contrade condannate dalla natura ad una eterna rigidità, mai intiepidite dal calore del sole, per il cui desolato e selvaggio aspetto non trovo parole adatte.*
- *Tali sono i luoghi da noi visitati: come saranno quelli che giacciono ancora più a Sud?*
- *Se qualcuno avrà la risolutezza e la forza di chiarire questo problema, spingendosi ancora più a Sud di quanto io abbia fatto, non gli invidierò la gloria della scoperta.*
- *Bensì oso dichiarare che l'umanità non ne trarrà alcun beneficio.*

# dimensioni del vuoto

- Ci sono i meandri, i pozzi, le gallerie, le forre, i pozzetti, le strettoie, i saloni, le buche da lettere, le caverne e così via.
- Tutti fatti di vuoto.
- Sono tutti nomi che diamo ad ambienti estranei, sotterranei, per renderceli pensabili.
- Nomi di vuoti.

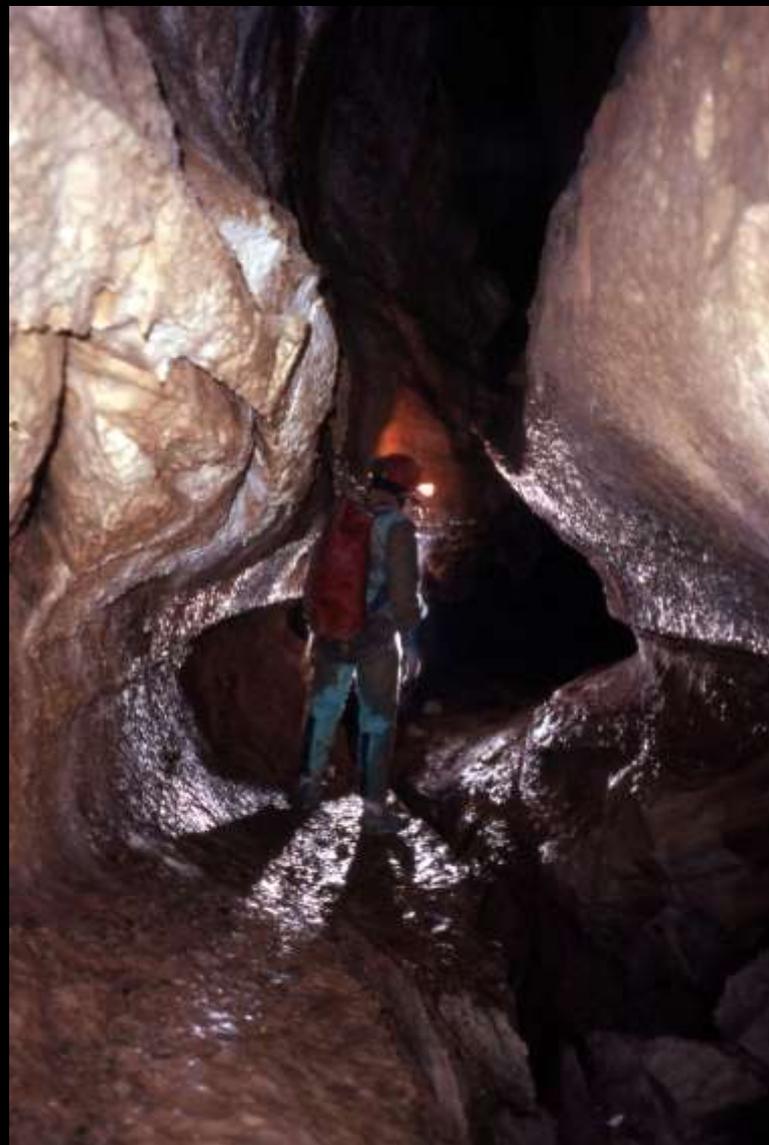


*Diamo loro un nome  
per poterli pensare.*

*Per fare un po' nostro  
quel che è*

*il ricordo di pietra  
delle vie dell'acqua,*

*d'un tempo remoto.*



# vuoti unidimensionali

- Un secolo fa per “grotte” si intendeva un territorio che, in totale, si sviluppava per qualche decina di chilometri.
- L'Abisso di Trebiciano, profondo 329 metri, rimase dal 1841 al 1924 la più profonda grotta del mondo.
- Ma era soprattutto l'unica grotta in cui si fosse puntato a scendere in profondità.



- Sino agli anni '60 le grotte erano ad una dimensione, perché così erano le esplorazioni.
- Un ambiente di tenebre in alto sopra di noi non era un pozzo inesplorato, ma un "camino", irrilevante.
- "Chiude su camino", si diceva.
- Anche una galleria che continuava nel buio alla sommità di un pozzo era irrilevante.



# vuoti bidimensionali

- **L'idea di *speleologia* è mutata in modo totale lungo gli anni '70.**
  - Non è stato per sviluppi tecnici, gli attrezzi c'erano già da molto tempo, ma non li si usava.
- **E' accaduto perché si è usciti dalla speleologia intesa come impresa, come cemento militare.**
  - La Grande Guerra in Europa era finalmente finita, non serviva più allevare soldati.



- Le grotte hanno acquistato così una seconda dimensione.
- In quegli anni la speleologia diventa “esplorazione del mondo sotterraneo”.
- Nasce e si diffonde la speleologia femminile.
- I camini continuano per un po’ ad essere irrilevanti, ma le gallerie che salgono **non lo sono più**, ora bisogna esplorarle.
- Sono esse che danno la seconda dimensione.

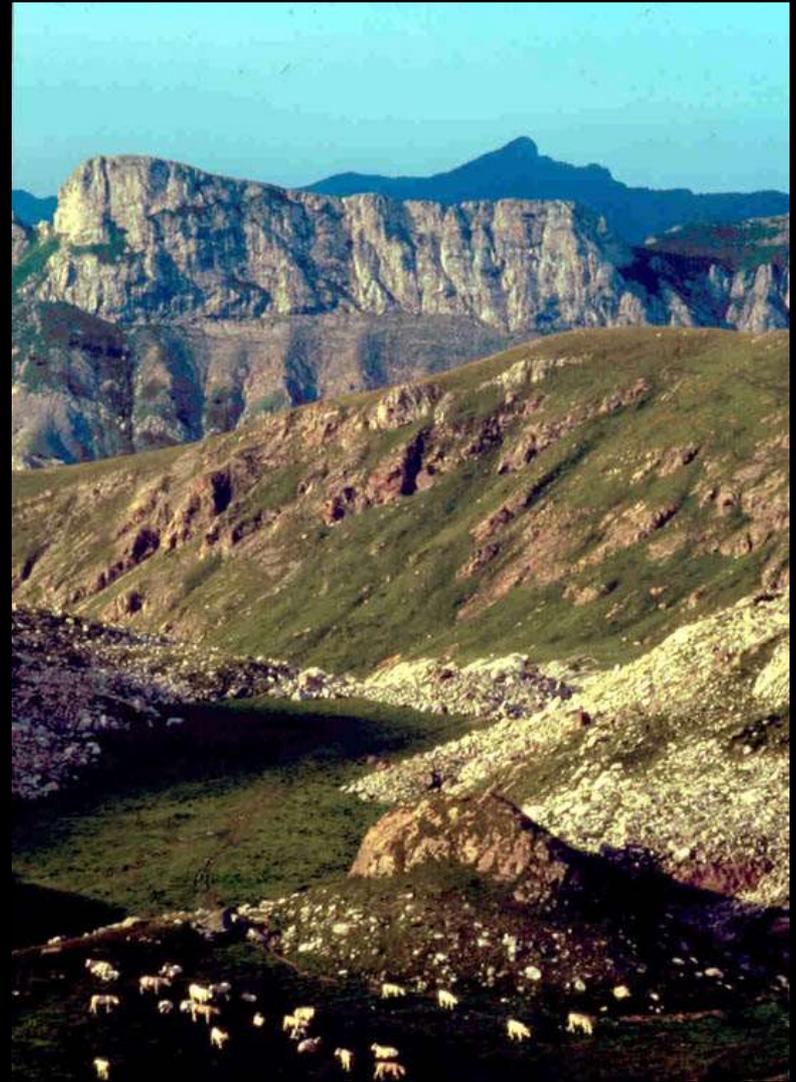


# vuoti tridimensionali

- La terza dimensione delle grotte compare lungo gli anni '80.
- Lo fa in modo sottile.
- Affiora dalla percezione del fatto che le grotte sono dentro le montagne.
- Pare ovvio, no?
- No.



- Anzi, sono dentro quella montagna lì.
- Quindi la mappa della grotta deve essere inserita nella mappa della montagna.
  - Il primo lavoro interno-esterno sistematico è del 1984: vengo molto preso in giro dai compagni.
- La grotta deve essere immaginata in tre dimensioni.
- Chi riesce a farlo, vince un continente inesplorato.
- Le grotte si integrano con l'esterno.
- Lo prolungano nel buio.



- **Il guaio è che noi non siamo abituati a muoverci e percepire in tre dimensioni.**
- **Tanto meno nel buio.**
- **Nell'umido.**
- **Nel freddo.**



*Le grotte  
cominciano ad  
apparirci  
tridimensionali, e  
finalmente ne  
intravediamo  
l'immensa,  
insopportabile  
complessità  
geografica.*

*Tre dimensioni  
sono troppe, per  
noi, abituati a  
pensarci su  
superfici,  
stropicciate quanto  
si vuole, ma su due  
sole dimensioni.*



Le grotte sono il  
monte,  
non nelle  
solari  
forme esterne.

Sono il monte  
nelle forme  
delle sue superfici  
interne.  
Buie.



Le superfici interne dei  
monti sono  
immensamente  
più vaste  
di quelle esterne.

Sono nascoste.

Quasi infinite.



*Le grotte si ampliano  
spaventosamente.*

*Riappaiono tecniche  
abbandonate, come quelle  
dei campi interni, e lungo gli  
anni '90 sono realizzate le  
massime esplorazioni della  
fase individuale e  
domenicale.*

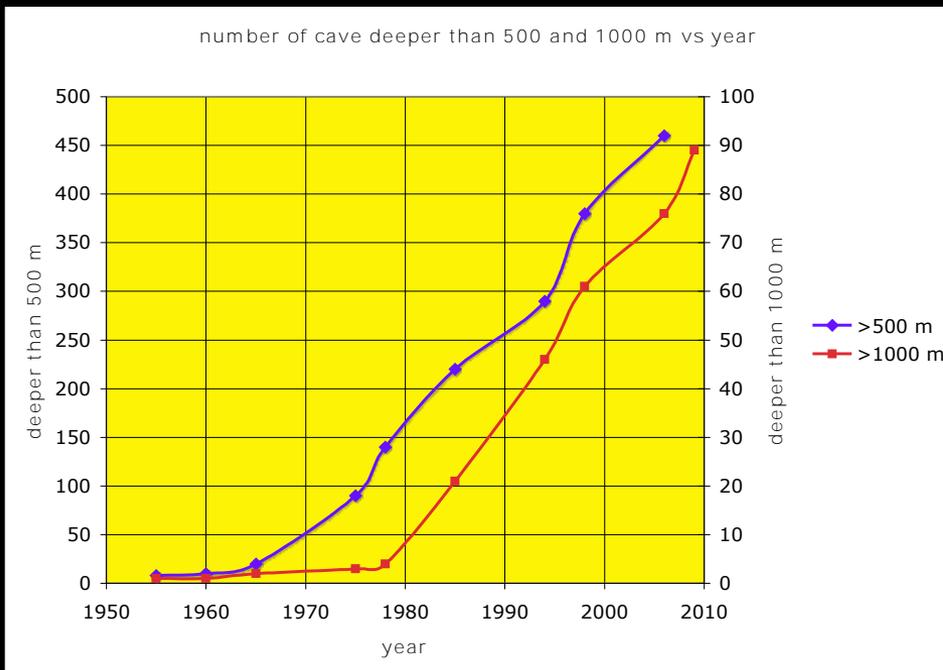
*E scopriamo che le Terre  
della Notte sono infinite.*

*Ma noi no.*

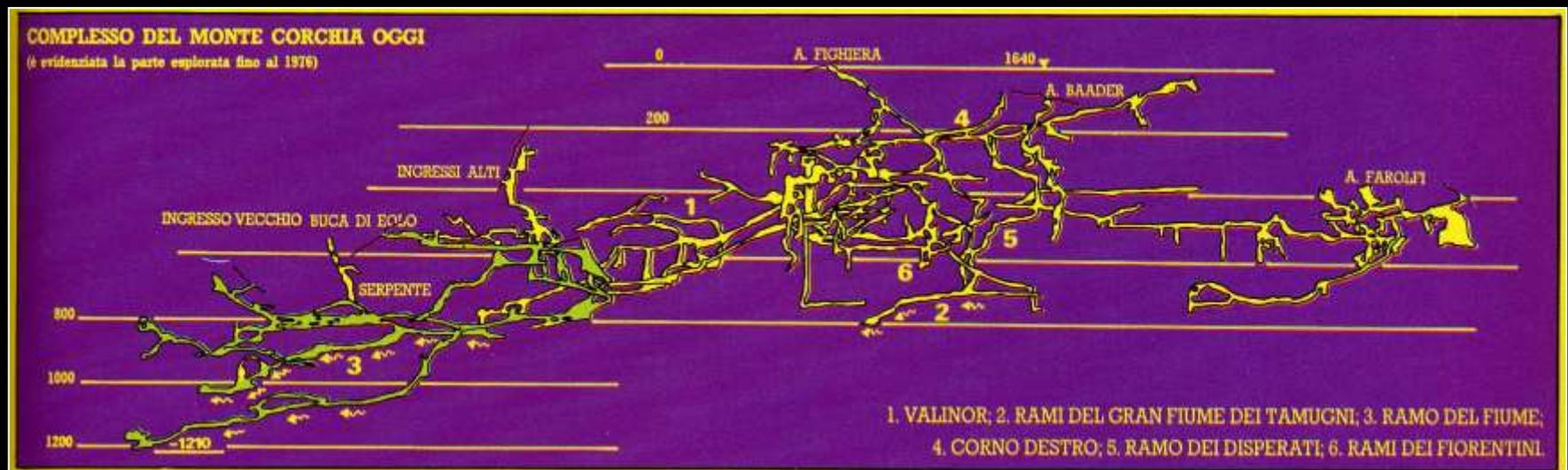
*Quindi possiamo solo  
scegliere, fra infinite Terrae  
Incognitae, quelle che  
possiamo esplorare noi.*



- **Il numero di grotte profonde esplorate è andato raddoppiando ogni pochi anni.**
  - **5.5 fra 1970-85**
  - **10 fra 1985-05**
- **Finalmente si punta all'esplorazione totale, e non solo ad una discesa profonda.**



- Ora in Italia si conoscono 2400 km di gallerie distribuite in 34000 grotte (2011).
- Sardegna 387 (+25%)
- Toscana 330 (+22%)
- Lombardia 326 (+39%)
- Veneto 310 (+4%)
- Friuli VG 306 (+2%)
- Piemonte 270 (+14%)



- **Scopriamo che le grotte non hanno bisogno di accessi percorribili per formarsi .**
- **Gli ingressi noti sono casuali e spesso recenti.**
  - **Persino al Corchia...**
- **Anzi, pian piano scopriamo che questi accessi sono dannosi per la grotta.**
- **La obbligano ad imitare l'esterno, la semplificano.**
- **Ma senza gli accessi, non sapremmo nulla dei vuoti interni.**



*L'interno dei monti è  
troppo vasto.  
Non puoi abbracciarlo  
spostando lo sguardo.  
Devi proprio spostare  
gli occhi.  
A ben vedere,  
è questo il terribile  
dell'andare  
in grotta.*



# vuoti quadridimensionali

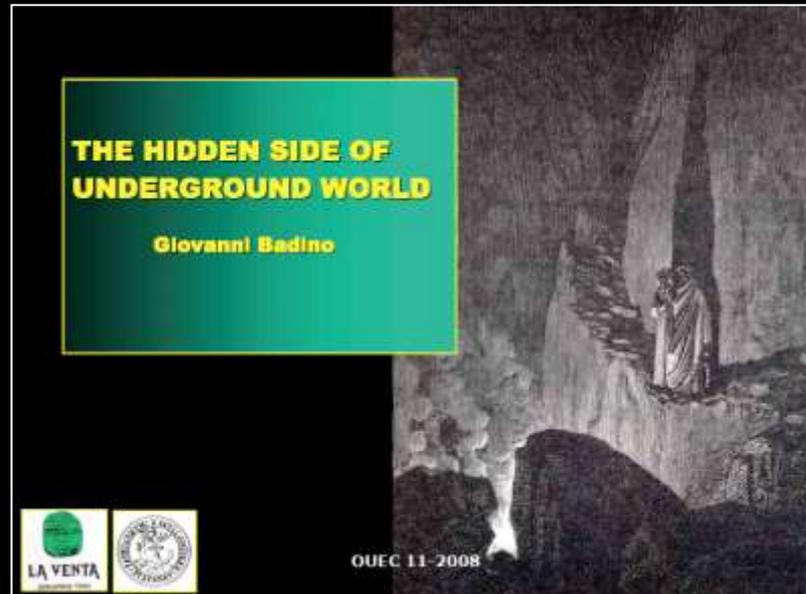
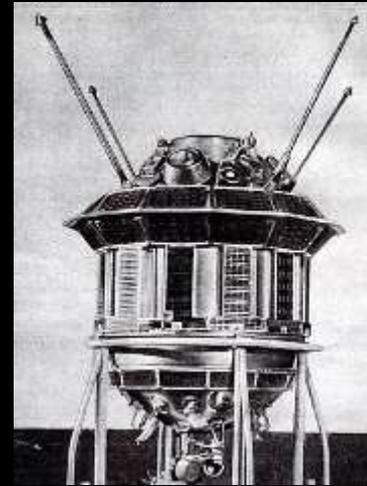
- Da diversi anni va emergendo lentamente la Quarta Dimensione dei vuoti che chiamiamo “grotte”.
- La si nota perché è perpendicolare alle altre tre.
- Da sempre sta in evidenza, per questo è praticamente invisibile.



- **La quarta dimensione sta nella profondità con la quale si guarda una grotta.**
- **E' nei suoi dettagli.**
- **Nella sua scansione temporale.**



- E allora parliamo della Faccia Nascosta del Mondo Sotterraneo.
- Andiamo a darle un'occhiata.
- Come su un Луна-3...



*Vieni, ti parlerò del Tao  
supremo.*

*L'essenza del Tao  
supremo è profonda e  
oscura.*

*La vetta del Tao supremo  
è buia e silenziosa.*



# luce

*Buio d'inferno e di notte privata  
d'ogne pianeta, sotto pover cielo,  
quant'esser può di nuvol tenebrata*



- **Il Regno del Buio inizia pochi millimetri sotto le superfici più illuminate.**
- **Quello che vediamo attorno a noi è la buccia luminosa su un oceano di buio.**
- **Le palpebre ci permettono di chiuderci nel nostro buio interno.**
- **Le grotte sono buie perché tutto l'interno dei monti è buio.**



- **Ma le grotte non sono mai davvero buie.**
- **Neppure nelle più profonde acque sotterranee, né all'interno dei cristalli sepolti.**
- **Ciò che è trasparente (aria, acqua, cristallo) emette luce quando è attraversato dai raggi cosmici. Lampi nel buio.**
- **Una particella attraversa un metro quadrato:**
  - ogni 0.01 s a 10 m sottoterra
  - ogni 10 s a 100 m
  - ogni ora a 1000 m

Int. J. Speleol., 29 B (1/4) 2000: 89 - 126

## IS IT ALWAYS DARK IN CAVES ?

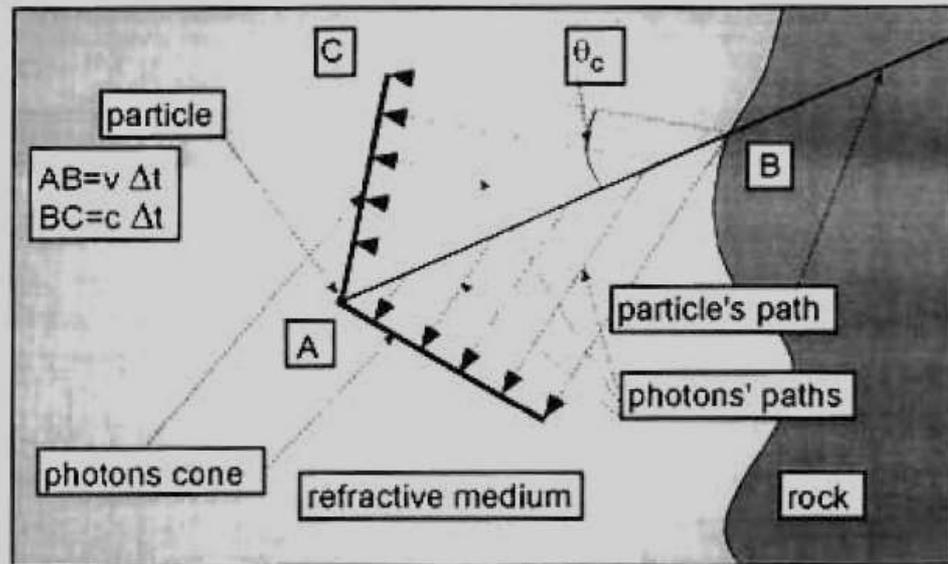
Giovanni BADINO

*Dipartimento di Fisica Generale, Università di Torino  
Associazione Culturale La Venta*

### ABSTRACT

Underground natural sources of visible light are considered. The main light producer is Cerenkov radiation emitted in air, water and rock by cosmic ray muons, that depends, in a complex way, on shape of mountain and of caves. In general the illumination increases linearly with the cavity dimensions. Other light sources are from secondary processes generated by radioactive decays in rock from minerals luminescence. The natural light fluxes in caves are in general easy to detect but are not used from underground life.

- Una grotta a 200 m di profondità, alta 10 m, in aria, ha 20 fotoni/m<sup>2</sup>/s.
- Il tempo di posa per una foto in luce naturale (400 ASA, f/1.4) è di 40 milioni di anni.
- Nella Grotta Gigante, solo 20mila anni.



*Fig. 1 - The general shape of Cerenkov radiation in air (or water) emitted by a particle coming from the rock: the photons are arranged on a conic surface with vertex on the particle.*

# pietra

*...che non per vista, ma per suono è noto  
d'un ruscelletto che quivi discende  
per la buca d'un sasso, ch'elli ha roso,  
col corso ch'elli avvolge, e poco pende.*



- **Le grotte sono il risultato della dissoluzione delle rocce calcaree.**
- **Sono la parte più chiusa delle forme che il calcare assume mentre si scioglie e ritorna al mare.**
- **Le modalità di formazione sono molte, ben note.**
- **Ben note?..**
- **No.**



- **Le forme delle grotte sono un frammento di quelle molto generali che assumono strutture in dissoluzione.**
- **Si formano in qualunque tipo di solido consumabile da fluidi.**
- **Le più comuni sono nel calcare, dove le modalità di formazione sono molto complesse e dipendono da molti fattori.**
- **Poco compresi.**



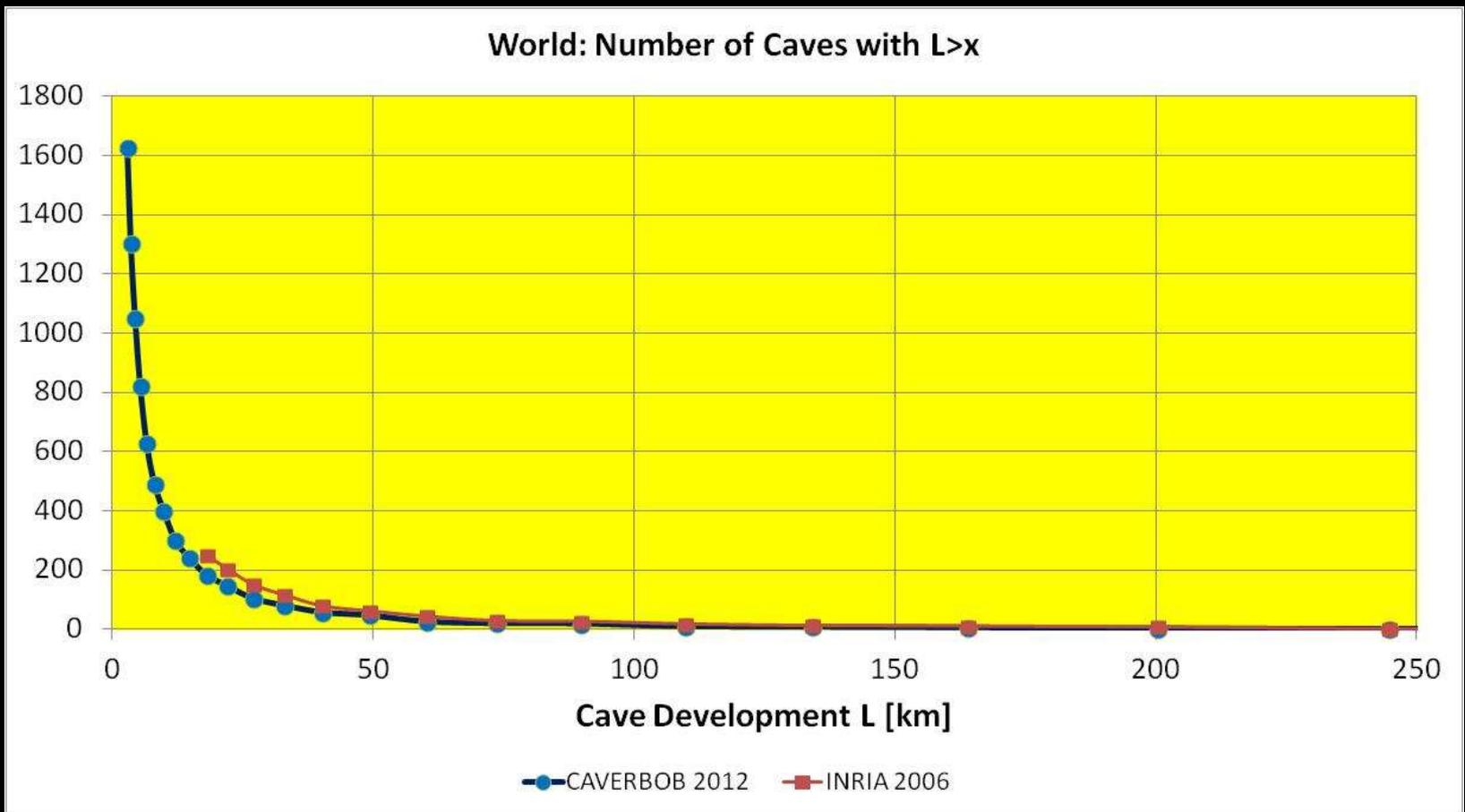
- Ora , dopo tanto lavoro, abbiamo modo di guardare alle grotte nel loro insieme.
- Intanto possiamo stimare statisticamente quanto mondo sotterraneo è rimasto ancora inesplorato dopo il nostro gran sforzo.
- Carsismo maturo: 10 km di condotti per ogni chilometro quadrato di superficie
- Superfici carsificabili nel mondo: 17 milioni di chilometri quadrati.
- ...
- ...



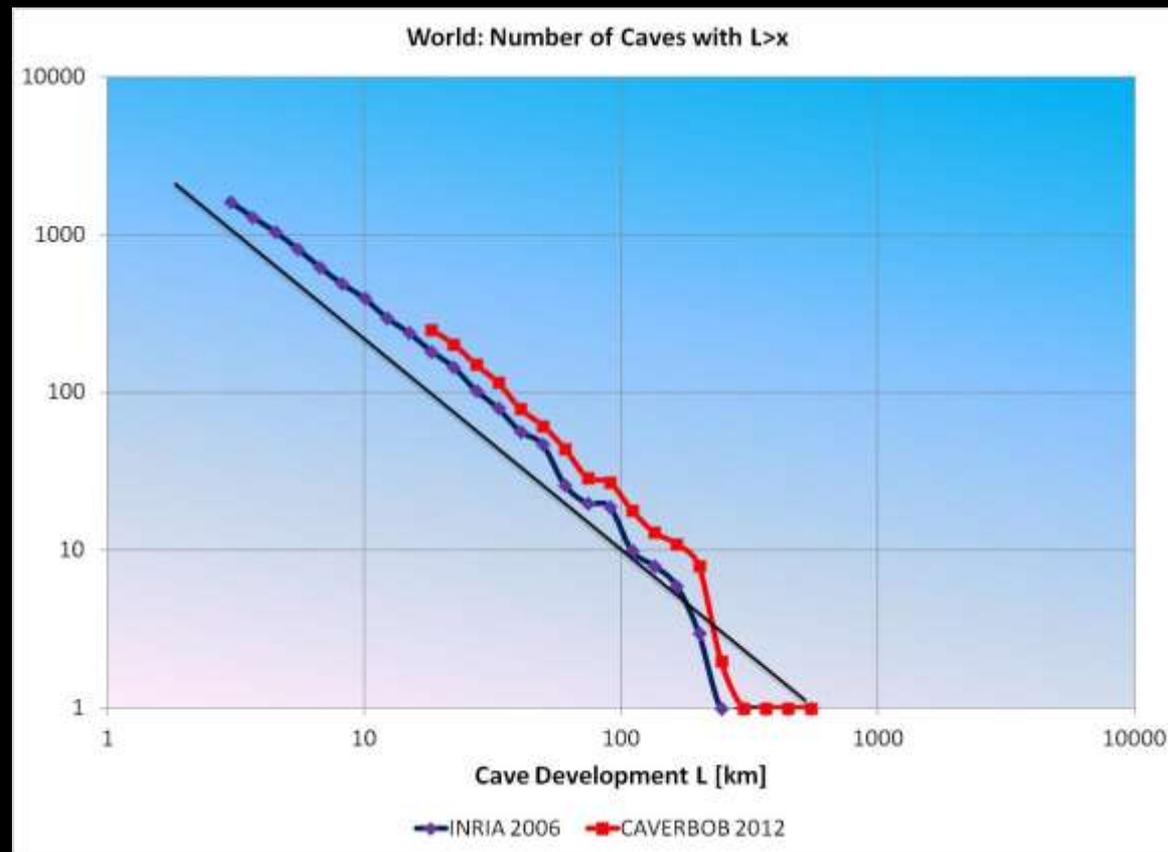
- **Possiamo quindi stimare che abbiamo esplorato fra 0.001 e 0.01 di quel che esiste.**
- **Dopo vite trascorse fra moschettoni e fango e corde e riunioni e feste e fatica e passione.**
- **Dopo incidenti e delusioni e amici passati.**
- **Per ogni metro percorso, altri 999 restano da percorrere.**



- Vediamo che dimensione ha il Geocosmo Sotterraneo nel suo complesso.
- ..?..
- Poco interessante, nevvvero?..



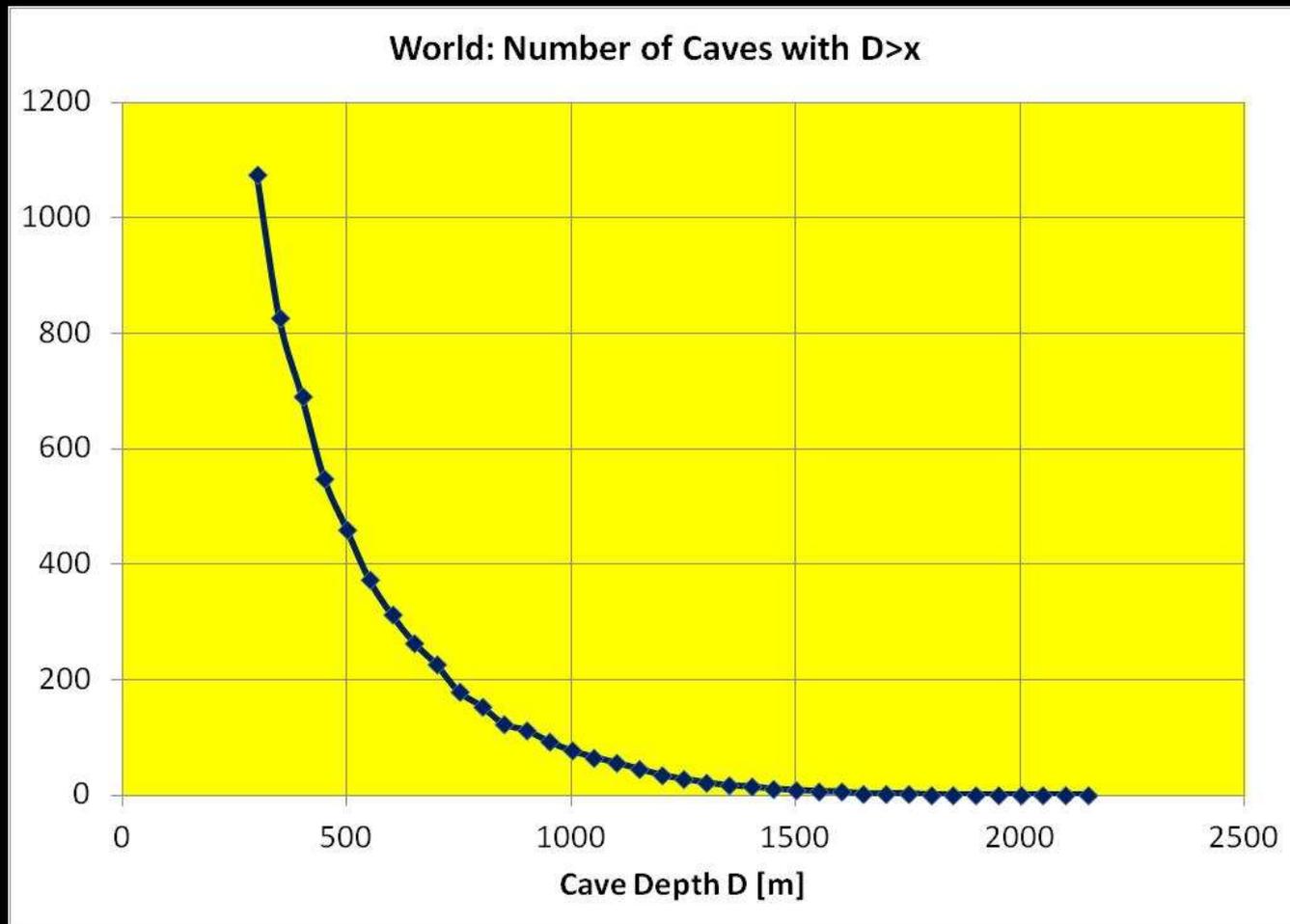
- Allora accendiamo la luce **Log-Log** e guardiamo.
- E' apparsa una retta.
- L'infinita pluralità del **Mondo Sotterraneo**, a ben guardare, si dispone su una retta.
- Una retta?.. E perché?..



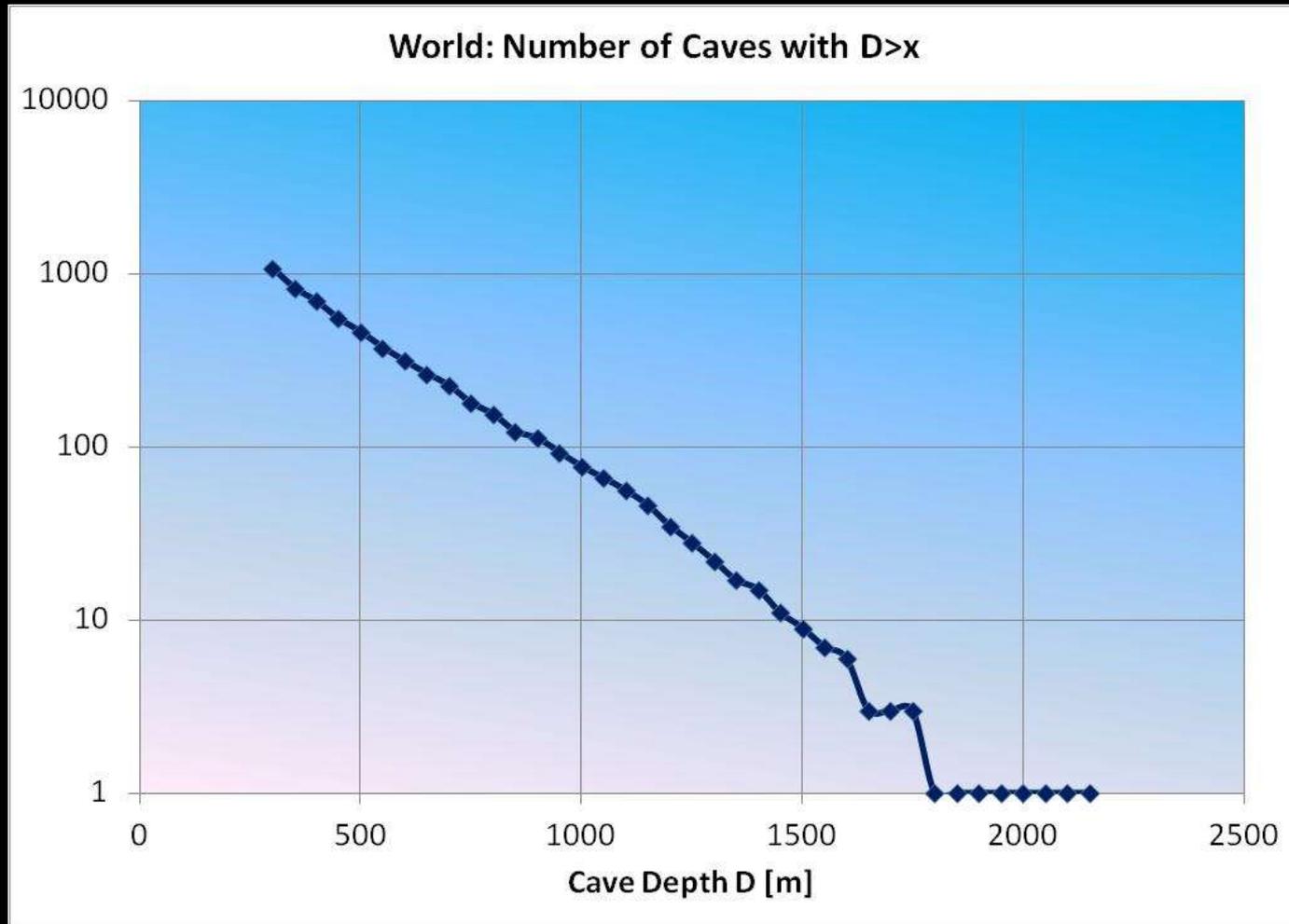
- E' una retta perché la legge che descrive lo sviluppo delle grotte del mondo è una “legge di potenza”.
- Appare in tantissime situazioni geologiche.
  - Terremoti
  - Fratture
  - Granulometrie
  - Forma delle coste
- Vuol dire che lo sviluppo totale delle grotte non ha una “scala di dimensioni”.
- Vuol dire che la dimensione delle grotte è frattale.
- Chissà cosa significa tutto questo.

$$N(L > X) = K \times X^{-1.4}$$

- **E quale è la dimensione delle profondità del Geocosmo Sotterraneo?**
- **Eccola.**
- **Sembra che non ci sia nulla di strano, no?..**



- Allora accendiamo la luce **Semi-Log** e riguardiamo.
- E' apparsa di nuovo una retta, un'altra.
- Di nuovo una retta?.. E perché?



- E' una retta perché la legge che descrive la profondità delle grotte del mondo è una “distribuzione esponenziale”.
  - Le grotte profonde decrescono in progressione geometrica.
- Vuol dire che le grotte hanno una “scala di dimensioni per il loro sviluppo verticale”.
- Questa scala vale 240 metri.
  - Si abbia un'urna che contiene 239 palline bianche e una nera. Procedi dall'ingresso estraendo a sorte una pallina: se è bianca, la rimetti nell'urna e scendi di un metro. Continua sino a che estrai la pallina nera. Sei arrivato al fondo.
- Chissà cosa significa.

$$N(D > X) = K \times \exp\left(-\frac{X}{240}\right)$$

# fuoco

***Già mi pareva sentire alquanto vento:  
per ch'io: «Maestro mio, questo chi move?  
Non è qua giù ogne vapore spento?»***



- **La roccia isola i suoi vuoti interni dal mutevole esterno.**
- **Tutto vi rimane costante.**
- **I Regni delle Acque Sotterranee sono immutabili.**
- **Le stagioni si fermano agli ingressi.**
- **Forse è nelle grotte che si è immaginata l'eternità.**
- **Quindi sono Luoghi Sacri per tutte le religioni.**



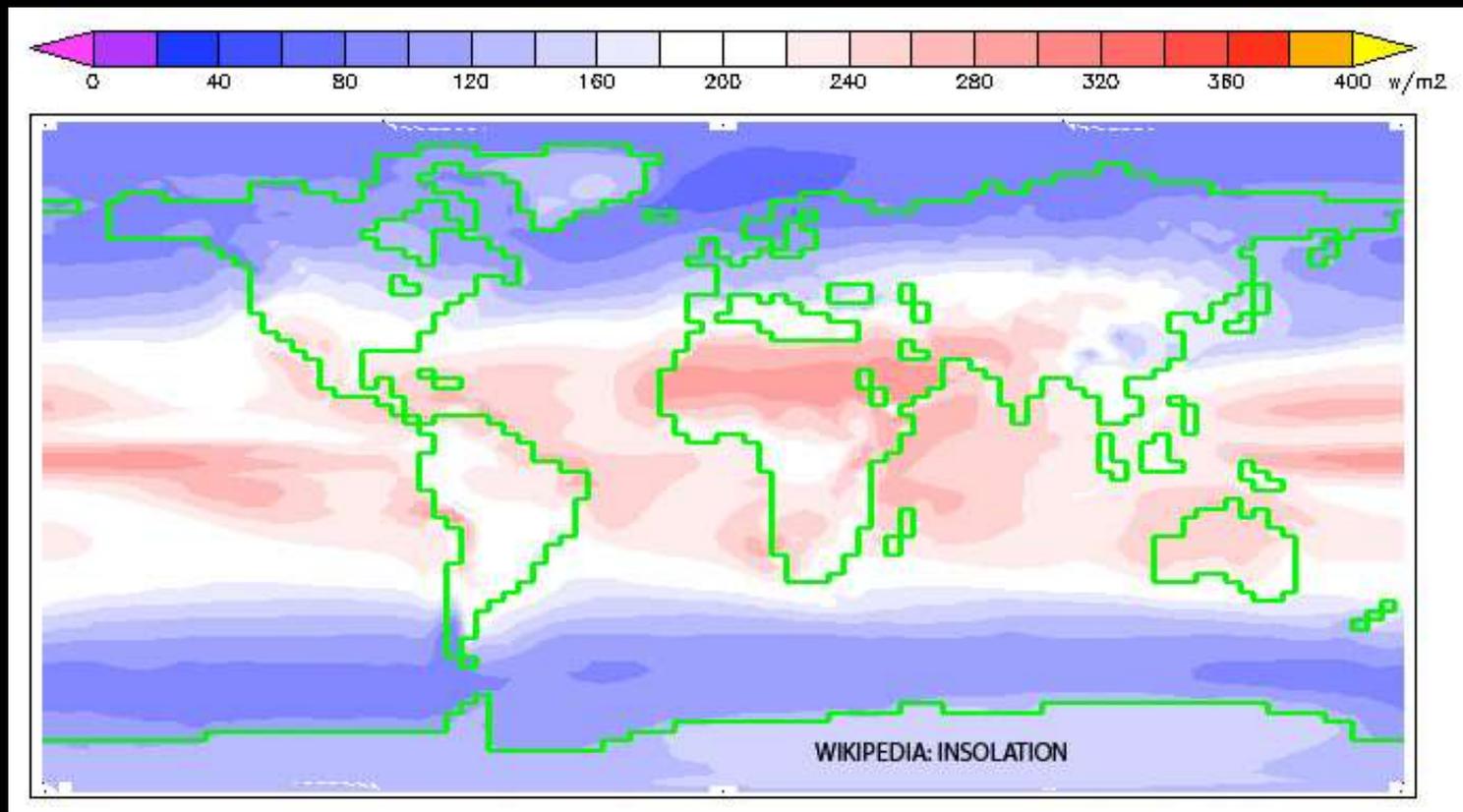
- **Le grotte sono Archivi del Tempo perché esso vi ha lasciati segni quasi permanenti.**
- **Climi, terremoti, inondazioni, atmosfere del passato sono in traccia attorno a noi, sottoterra.**
- **L'archeologia si fa in grotta.**
- **I nostri antenati erano Uomini delle Caverne?**
- **Se le vette fossero immutabili, li penseremmo Uomini delle Vette.**



- Ma nelle grotte entrano le stagioni, e i cicli diurni.
- All'esterno le escursioni termiche medie sono di pochi gradi, una decina. Ovunque.
- La vera sorpresa è che la variabilità delle escursioni termiche sotterranee è enorme.
  - Da 0.01 a 5 gradi centigradi.
- Variano da un punto all'altro della grotta, e con esse varia la capacità di costruire complessità.
- O di demolirle.



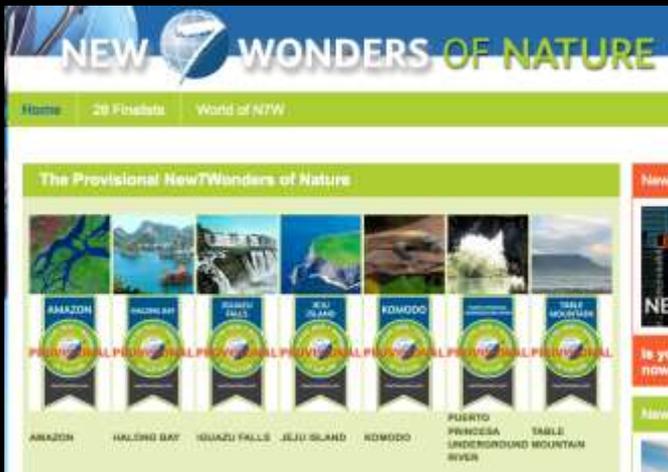
- Anche la variabilità dell'insolazione sotterranea è enorme
- Il flusso energetico sulla superficie della Terra varia da 50  $\text{Wm}^{-2}$  nel Nord Atlantico a 320 nel centro del Sahara.
- Fra il massimo e il minimo c'è quindi circa un fattore 6.



- In grotta l'insolazione è  $0 \text{ Wm}^{-2}$ .
- L'energia arriva dai flussi d'aria che portano il calore esterno.
- I grandi sistemi alpini hanno potenze di picco di 0.1-0.2 MW.



- **Subterranean River, Sabang, Philippine.**
- **Un fiume sotterraneo, navigabile, di 8.2 km.**
- **Enormi ambienti ancora inesplorati.**
- **Da ottobre 2011 è una delle *New 7 Natural Wonders of the World*.**



- Il fiume attraversa l'intera montagna, lungo gallerie che sono periodicamente invase dalle onde di marea.



- **Flussi:**
  - **Acqua marina: 0.8 m<sup>3</sup>/s**
  - **Acqua dolce: 1 m<sup>3</sup>/s**
  - **$\Delta T = 2^\circ \text{C}$**
  - **Aria: 100 m<sup>3</sup>/s**
  - **Volatili: diversi milioni**



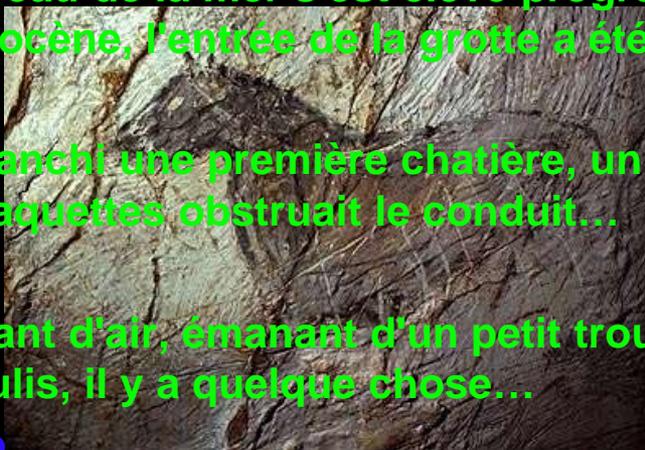
- **L'insolazione sotterranea della grotta di Sabang porta dentro 10-20 MW.**



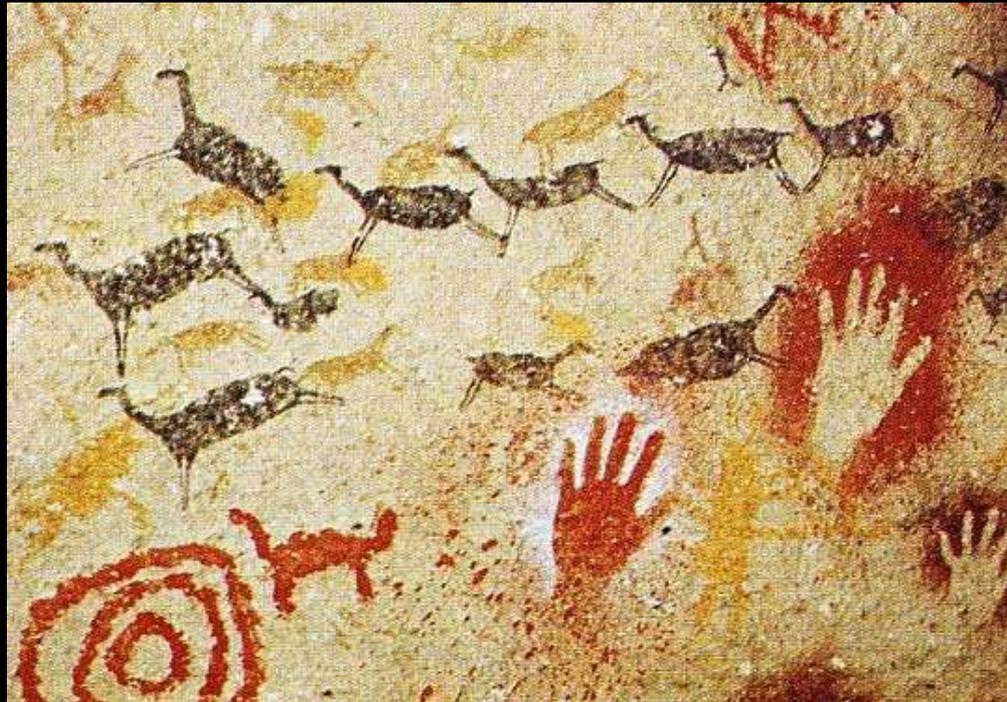
- Le grotte minuscole non hanno quasi correnti d'aria.
- I flussi sono solo quelli barometrici e da conduzione termica nel suolo.
  - Barometrico:
  - $\Sigma(\Delta P/P)=0.01 \text{ d}^{-1}$ .
- Il flusso energetico quindi dipende dal volume della grotta.
- Per  $V=10^4$
- L'insolazione sotterranea è 1-5 W.



- Altamira
- La cueva de Altamira fue descubierta de forma casual al intentar liberar a su perro, que había quedado atrapado entre las grietas...
- Lascaux
- Son chien Robot poursuit un lapin qui se réfugie dans un trou... un orifice d'environ 20 cm de diamètre s'ouvre au fond de ce trou, impossible à explorer sans un travail de désobstruction...
- Cosquer
- Lorsque le niveau de la mer s'est élevé progressivement au début de l'Holocène, l'entrée de la grotte a été submergée...
- Cussac
- Après avoir franchi une première chaudière, un éboulis de blocs et de plaquettes obstruait le conduit...
- Chauvet
- Un léger courant d'air, émanant d'un petit trou. Mais là, derrière l'éboulis, il y a quelque chose...
- Porto Badisco
- Forzato un basso cunicolo, semi-interrato, in località Porto Badisco, e superate varie altre difficoltà...



- **Grotte piccole, ora chiuse, a bassa quota.**
- **Quante grotte dipinte ci sono intorno a noi?**
- **Quante ce n'erano?**



- I flussi energetici all'esterno variano di un fattore 6.
- In grotta le variazioni invece sono di un fattore 7, sì, ma negli ordini di grandezza: da 1 a  $10^7$ ...
  - Cosa causano?
  - Chissà...



# acqua

***Versan le vene le fummifere acque  
Per li vapor che la terra ha nel ventre,  
Che d'abisso li tira suso in alto.***



- **All'esterno l'acqua si muove in modo incessante da gas, a liquido, a solido.**
- **Molecole che un tempo si frangevano nel Mare Tirreno, ora sono portate da venti ululanti del Karakorum, brinano nell'Antartide, scorrono nel sottosuolo.**
- **All'esterno l'umidità dell'aria varia di continuo.**



- **Nel chiuso delle montagne l'umidità è costante, alta e immutabile.**
- **L'acqua gassosa è in equilibrio con l'acqua liquida.**
- **Sembra rimanere costante.**



- Invece anche sottoterra l'umidità varia. Sottilmente.
- Ci sono le nuvole e le stagioni delle piogge.
- Masse d'aria migrano verso l'alto. Piove.
- Masse d'aria diverse si mescolano. Piove.
- Masse d'aria si espandono dopo una strettoia. Piove.
- Le stagioni delle piogge sotterranee dipendono dalla forma della grotta, ma loro stesse le danno forma.
- Piogge e nuvole sotterranee sono sottili, per vederle occorre molta, molta attenzione.

**SPELEOGENESIS**     
 and Evolution of Karst Aquifers *Online Scientific Journal*

[GLOSSARY](#) | [ARCHIVE](#) | [BIBLIOGRAPHY](#) | [NEW PUBLICATIONS](#) | [THESIS](#) | [MEETINGS](#) | [ABOUT](#)

ional  
 ss of  
 .OGY  
 \ 2009



**VOLUME 2, ISSUE 2**

**Badino G.**  
 2004  
**Clouds in caves**

Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers 2 (2), [www.speleogenesis.info](http://www.speleogenesis.info)

Reference: Badino G. 2004. Clouds in caves / Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers 2 (2), [www.speleogenesis.info](http://www.speleogenesis.info), 8 pages.

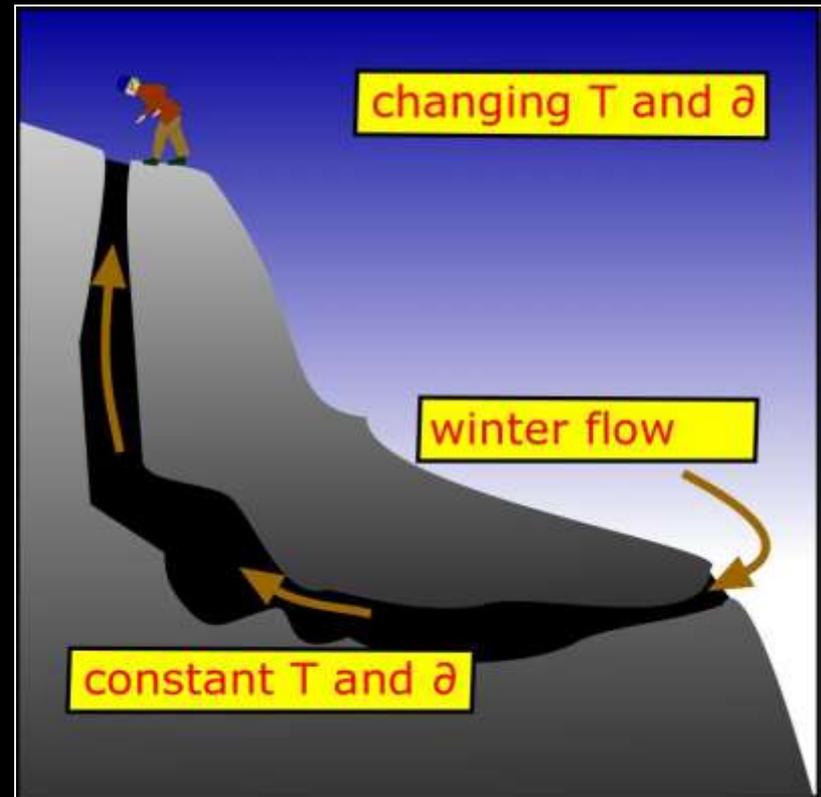
**Abstract:** This paper considers the different processes that can create vapour pressure above the equilibrium in the cave atmosphere: ascending air parcels, pressure drop behind bottlenecks, mixing of saturated air parcels at different temperatures and water flow fragmentation. These processes are essentially the same as those leading to clouds forming in the open atmosphere, always connected

# aria

*Io venni in loco d'ogne luce muto,  
che mugghia come fa mar per tempesta,  
se da contrari venti è combattuto.*



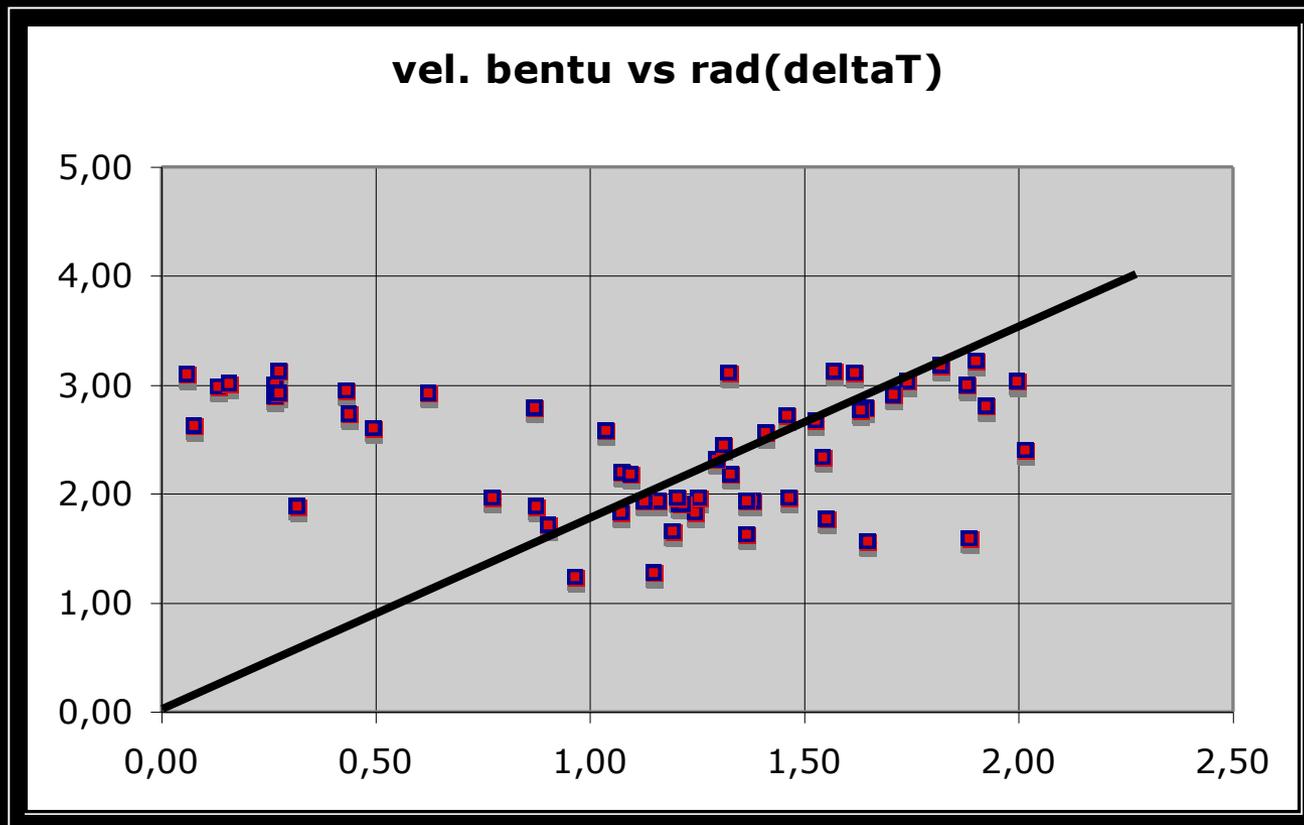
- Il flusso d'aria all'interno delle montagne dipende dal fatto che le colonne d'aria interne hanno una densità diversa da quelle esterne.
- Inoltre che la pressione interna è diversa da quella esterna.



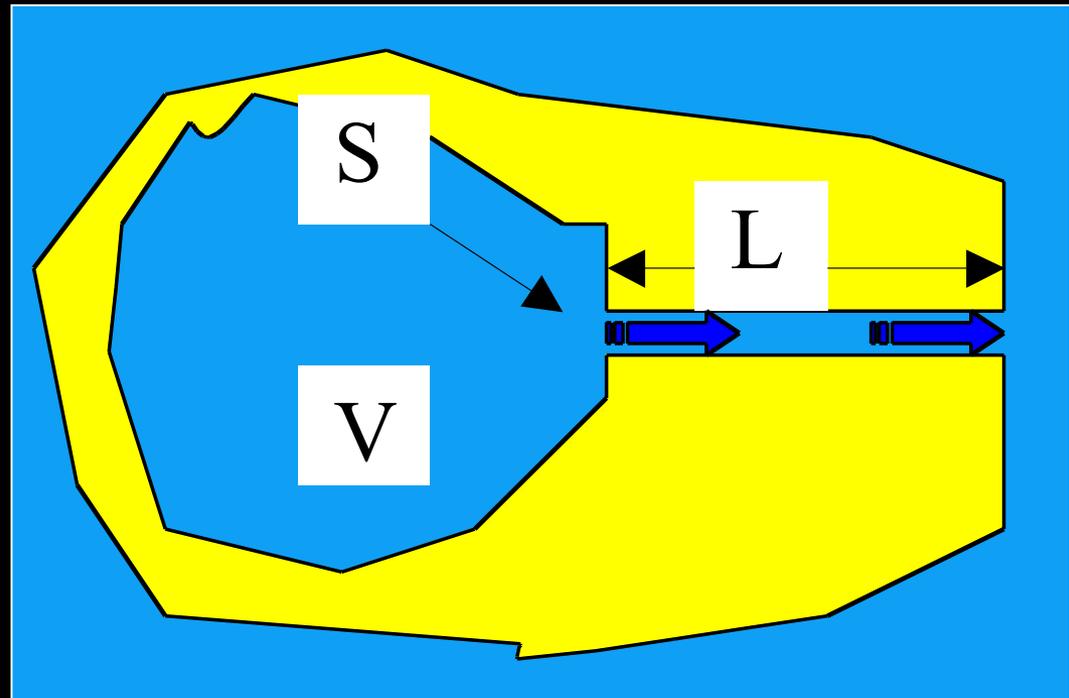
- **Quindi c'è una relazione regolare fra la differenza di densità dell'aria dentro e fuori e la velocità del vento.**



- Se si studia se è vero, si scopre che questa relazione ogni tanto c'è, ma ogni tanto no.
- La situazione è più complicata di quel che ci si aspetta.



- Quando l'atmosfera è instabile, le masse d'aria dentro le montagne prendono ad oscillare.
- Le gallerie si riempiono di vento che corre per uscire ad equilibrare la pressione fra dentro e fuori.
- Ma quando finalmente c'è riuscito, ecco che è in corsa, non si può fermare.
- Corre oltre il punto di equilibrio e deve tornare indietro.
- Ma lo supera di nuovo.
- La grotta suona.



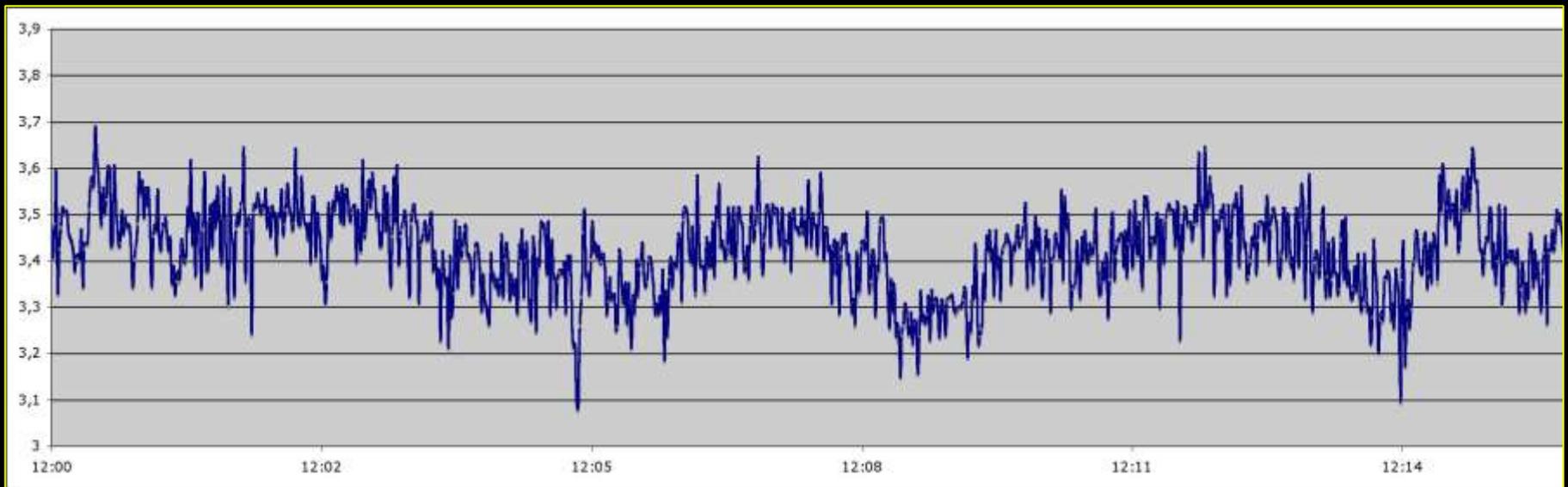
- **Il suono dipende dalla forma del complesso sotterraneo.**
- **La nota principale è legata alle dimensioni della grotta.**
- **Il timbro dipende dalla sua forma.**



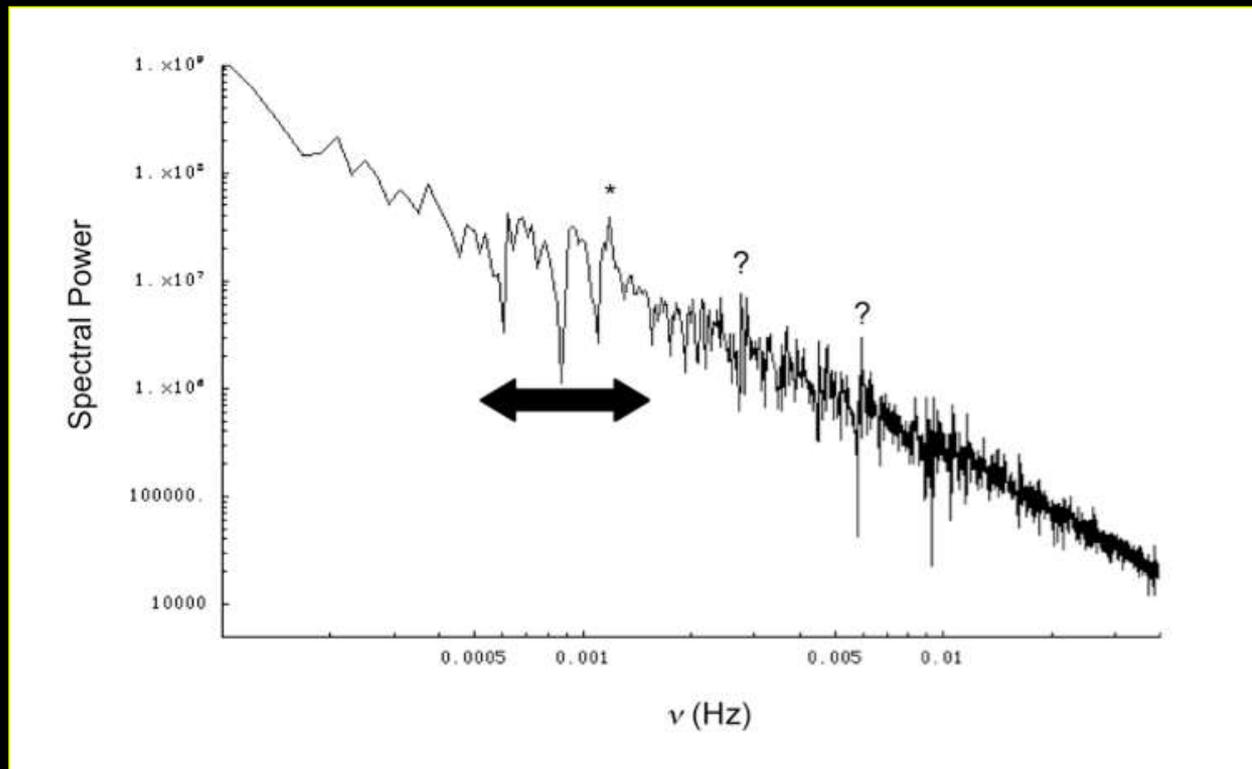
- **Queste oscillazioni hanno in genere periodi molto lunghi (10-1000 secondi e oltre).**
- **Ma si può comprimere tutto e sentirlo accelerato, sino a renderlo udibile.**
- **Basta tirarlo su di 15 ottave: in 1 s entrano 32768 s di misura, e va bene per cominciare a sentire qualcosa...**



- **Si può dimostrare che nella corrente d'aria di ogni punto della grotta ci sono informazioni sull'intera forma del vuoto nella montagna.**
- **Ogni punto risuona di Tutta la forma dell'aria racchiusa.**
- **Un ologramma acustico dell'Aerocarcere.**



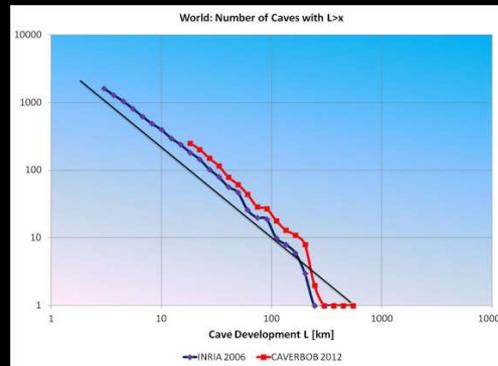
- Analizzando il segnale, si scopre che c'è un sacco di rumore.
- Ogni galleria borbotta, tanto più chiaramente quanto più è vicina al punto di misura.
- Complessivamente, gli Spettri –differenziali- degli Aerocarceri Sotterranei hanno queste forme



- Sono spettri di potenza, come le lunghezze delle grotte.
- Quindi riappaiono dimensioni frattali.

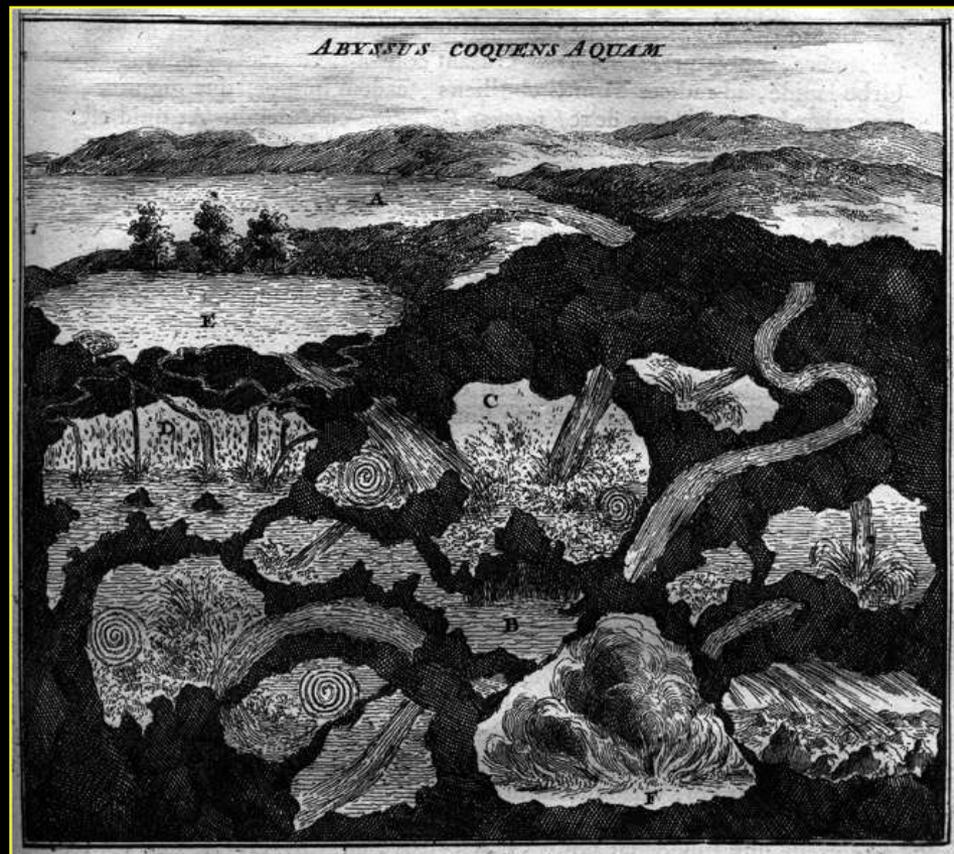
$$I(f > X) = K \times X^{-n} \quad n = 1.3 \div 1.7$$

- Anzi, pare che il rumore borbottato dagli Aerocarceri abbia quasi la stessa dimensione frattale 1.4 delle lunghezze delle grotte...

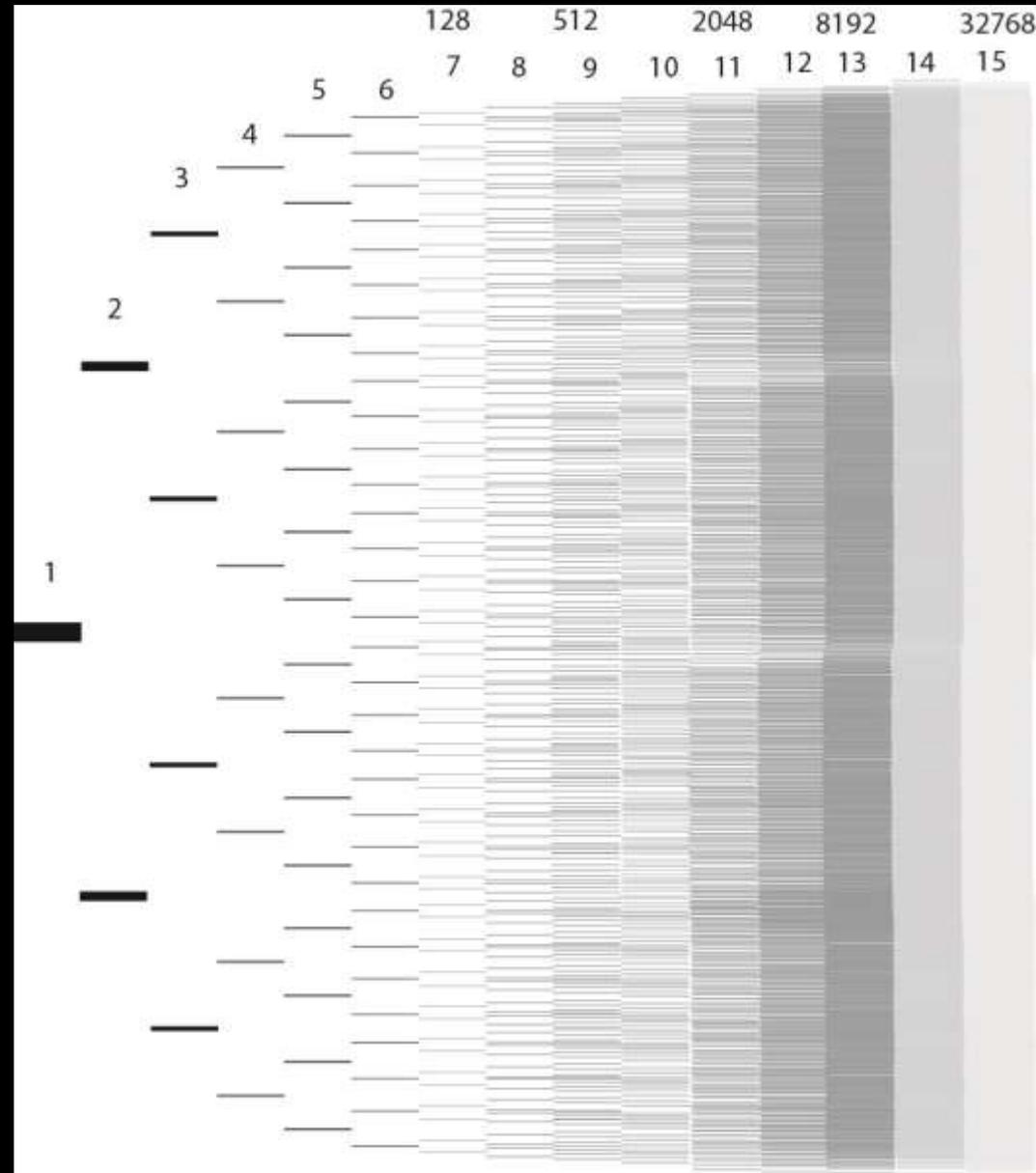


- La forma del rumore delle grotte è un frattale simile alla forma delle grotte?
- Strano. Chissà cosa significa.

- Non solo: tale è la regolarità del “rumore” che ci deve essere una tecnica matematica per trattarlo statisticamente.
- La grotta si può schematizzare con un grafo che va dividendosi ad ogni bivio della grotta.



- Il contributo di ciascun tratto decresce allontanandosi dal punto di misura.
- Naturalmente il numero delle gallerie non può crescere geometricamente.
- Quindi via via che si superano bivi, certi tratti di galleria apparterranno a tratti diversi del grafo.
- Ma questo ricorda un'altra cosa.





- **Sembra che la propagazione degli infrasuoni nei Geocosmi Sotterranei sia analoga alla propagazione della vita lungo un albero genealogico.**
- **La corrente d'aria in ogni punto contiene informazioni su tutta la grotta, allo stesso modo per cui in noi echeggiano tutte le generazioni passate. Curioso, no?**



- *Preparati a stupirti, fisico del piffero...*  
– *Roberto Chignola, 27-10-2009*



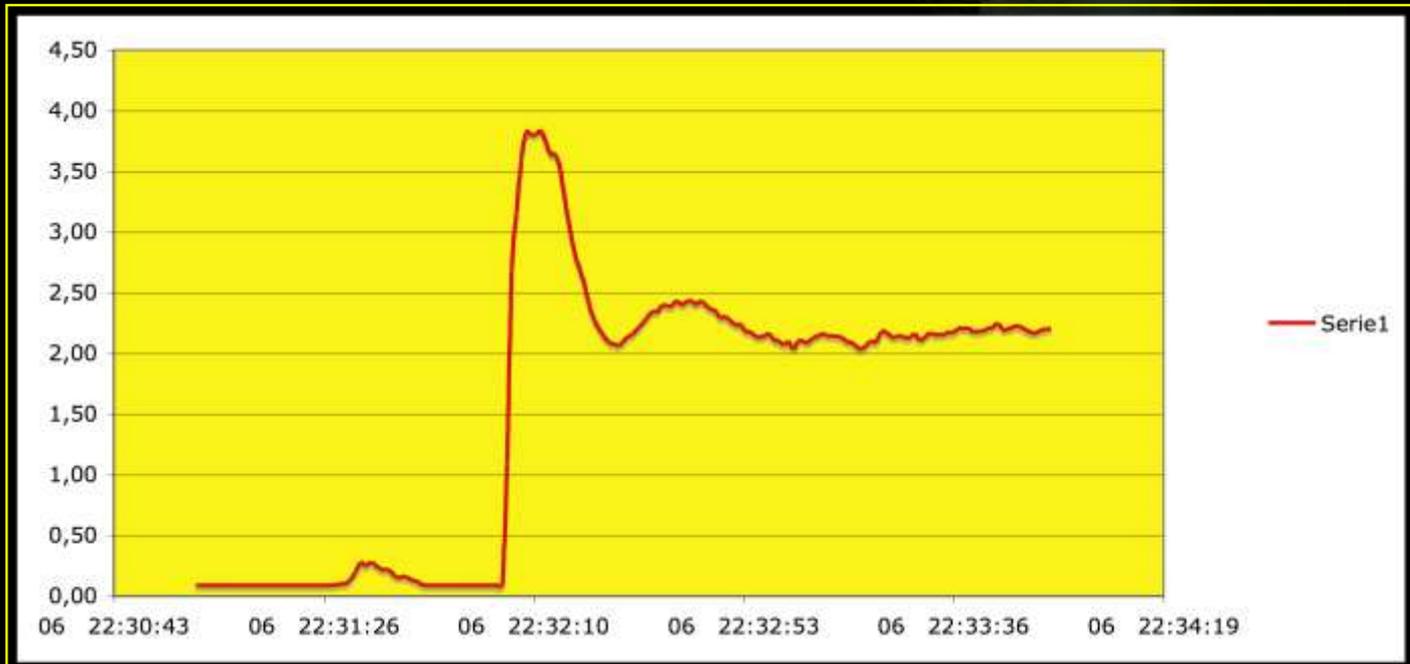
- Eolo e Serpente hanno timbri di voce diversi, ma usano una nota in comune, che forse è la Fondamentale del monte:
- *frequenza=0.000295 Hz*
- *periodo=3400 s*
- Un Re#, 20 ottave sotto il Re# sotto il Do centrale.
- È la nota di uno strumento a fiato lungo 280 km...



- **Il guaio è per sentire suonare uno strumento, occorre che qualcuno lo suoni.**
- **Quindi ho suonato la montagna.**
- **Non era difficile...**



- Per ancia ho usato una porta e per polmoni l'aria che correva nelle gallerie vicine all'ingresso.
- Sono il suonatore del Più Grande Aerofono Mai Suonato da Essere Umano.
- Mica poco, eh?..



*Die letzteren, flüchtigen Bemerkungen sollen nur dartun wie weit wir nach meiner Meinung davon entfernt sind, eine irgendwie verlässliche begriffliche Basis für die Physik zu besitzen.*

***Le ultime rapide osservazioni devono solo rilevare come, secondo la mia opinione, siamo molto lontani dal possedere una base concettuale della fisica alla quale poterci in qualche modo affidare.***

*A. Einstein, Princeton 4 aprile 1955*





