





**...Virgilio, ma laggiù fa
freddo?..**

Giovanni Badino
Dip. Fisica Generale Uni-TO
Associazione Culturale La Venta

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

Rime, 43

“Che tempo fa sottoterra?..”

- **Che domanda stupida!**
- **“La gente prima nega una cosa;**
- **poi la minimizza;**
- **infine decide che si sapeva già da tempo”.**

Alexander von Humboldt



0. GROTTA DIPINTE E NO



49° CORSO - Levigliani
2011

GROTTE DIPINTE

- Altamira
- La cueva de Altamira fue descubierta de forma casual en 1868 por un cazador, llamado Modesto Cubillas, al intentar liberar a su perro, que había quedado **atrapado entre las grietas de unas rocas** cuando perseguía a una pieza. En un principio se llamó la cueva de Juan Montero.



GROTTE DIPINTE

- Lascaux
- Au cours de cette promenade, son chien Robot poursuit un lapin qui se réfugie dans un trou situé à l'endroit où un arbre avait été déraciné: un **orifice d'environ 20 cm de diamètre** s'ouvre au fond de ce trou, impossible à explorer sans un travail de désobstruction.



GROTTE DIPINTE

- Cosquer
- Le rivage de la Méditerranée se situait alors à plusieurs kilomètres de l'emplacement de la grotte. Lorsque le niveau de la mer s'est élevé progressivement au début de l'Holocène, l'entrée de la grotte a été submergée.



GROTTE DIPINTE

- Cussac
- Après avoir franchi **une première chatière**, sa progression fut temporairement arrêtée: **un éboulis de blocs et de plaquettes obstruait le conduit**. La réduction partielle de l'obstacle autorisa l'accès à une grande galerie qu'il parcourut sur une centaine de mètres, ce qui lui permit...



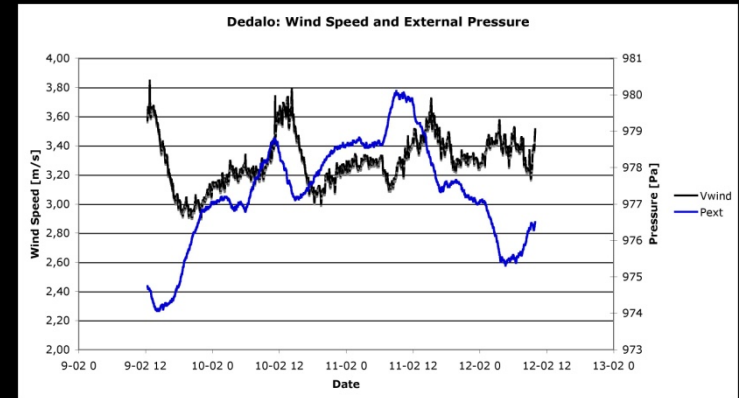
GROTTE DIPINTE

- Chauvet
- Un léger courant d'air, émanant d'un **petit trou**, au fond d'une petite grotte a attiré son attention et il veut en avoir le cœur net. L'après-midi est avancée et la petite cavité, dans laquelle ils pénètrent, est déjà connue. Mais là, **derrière l'éboulis**, il y a quelque chose...



GROTTE DIPINTE

- Porto Badisco
- Il 1 Febbraio 1970 **forzato un basso cunicolo, semi-interrato**, in località Porto Badisco, e **superate varie altre difficoltà**, riuscirono a penetrare in un complesso labirintico che doveva in breve rivelarsi di grandissimo interesse preistorico...
- Nelle grotte dipinte:
1 W/5000 m³



GROTTE NON DIPINTE

- Subterranean River, Sabang
- Flussi:
 - Acqua marina: $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Acqua dolce: $1 \text{ m}^3/\text{s}$
 - $\Delta T = 2 \text{ }^\circ\text{C}$
 - Aria: $100 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Volatili: diversi milioni (15-20 g, 5 kcal/d, 0.2 W)
- In totale possiamo stimare un flusso di 10-20 MW.

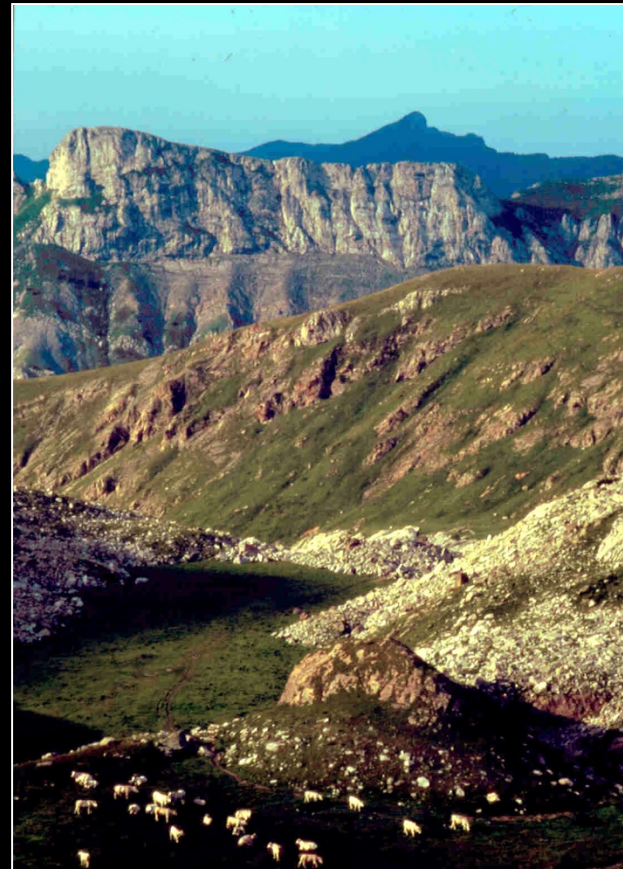
1. GLI SCAMBI TERMICI DELLE GROTTE



GDAD2009

CAPACITA' TERMICA DELLE GROTTA

- Complesso di Piaggia Bella.
 - Volume: 10^6 m^3 (?..)
 - Aria: 10^6 kg
 - $C=10^9 \text{ J/K}$
 - Acqua: $10 \text{ kg/m (?)x10 km (?..)$
- 10^5 kg o 10^6 kg
- $C=5 \times 10^8 - 5 \times 10^9 \text{ J/K}$
- Quanto 1000 ton di roccia.
- Un nulla.



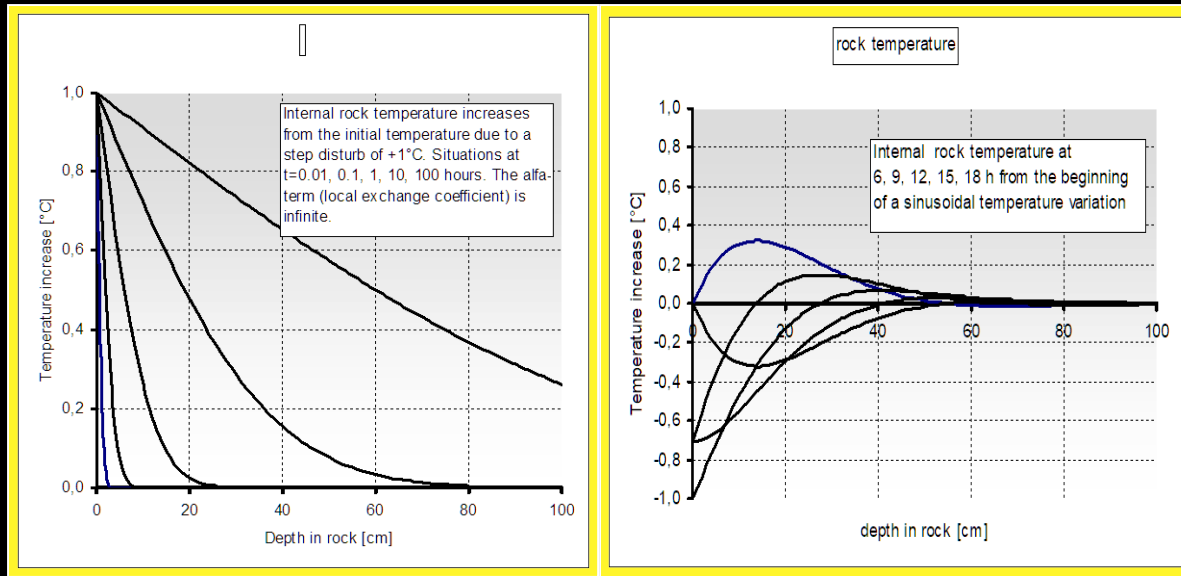
CAPACITA' TERMICA DELLE GROTTE

- La capacità termica delle grotte sta quindi nelle rocce che le delimitano.
- In tutta la montagna?
- No, solo la profondità che partecipa.
- Valutare quanta è difficile...



CAPACITA' TERMICA DELLE GROTTE

- Le grotte non esistono. Esiste un'assenza di roccia.
- Ma la capacità termica la dà la roccia che circonda l'assenza, così come da appigli, posti per i chiodi ...



periodo τ	x_p in calcare [m]
1 giorno	0.17
1 anno	3.2

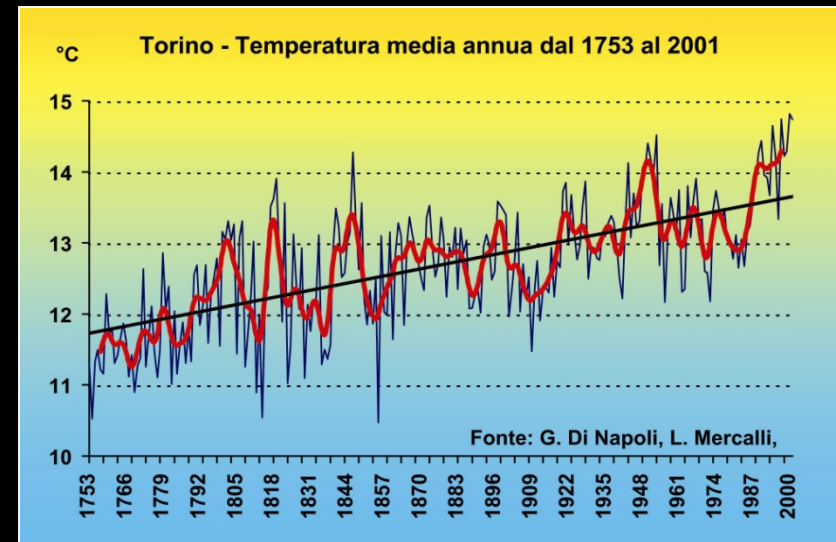
CAPACITA' TERMICA DELLE GROTTE

- In pratica a smorzare le fluttuazioni giornaliere partecipa una spanna di roccia ($\sim 500 \text{ kg/m}^2$) o 3 metri ($\sim 10000 \text{ kg/m}^2$) per fluttuazioni annuali.
 - Di nuovo Piaggia Bella:
 - Volume: 10^6 m^3 (?..)
 - Superficie: 10^6 m^2 (???)
- Massa roccia coinvolta:
 - Giornaliera: $0.5 \times 10^6 \text{ ton}$
 - Annuale: $10 \times 10^6 \text{ ton}$



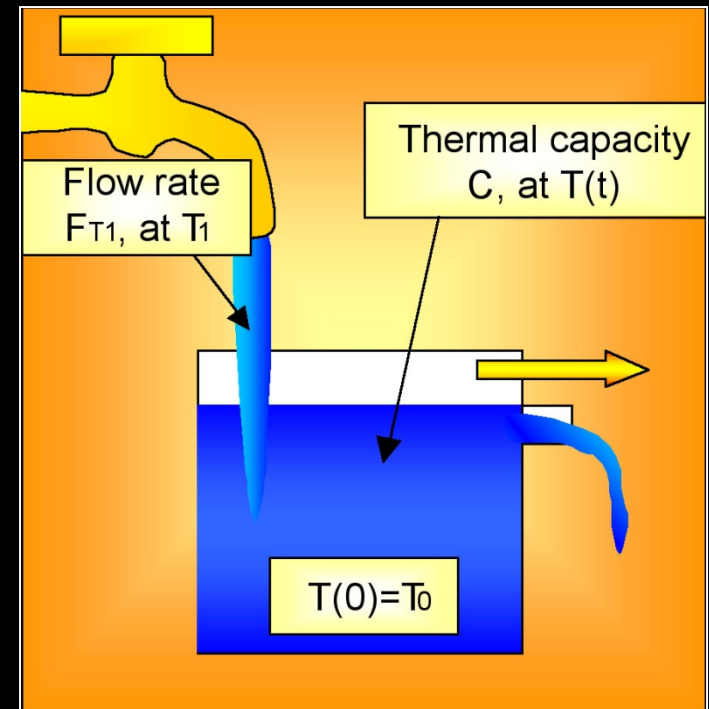
CAPACITA' TERMICA DELLE GROTTA

- Ma il clima cambia.
- La lunghezza di penetrazione di variazioni che durano diecimila anni è di molti chilometri.
- L'intera montagna partecipa quindi a smorzare la variazione.
- Ma per capire meglio dobbiamo fare un modello.



GROTTE COME FILTRI TERMICI

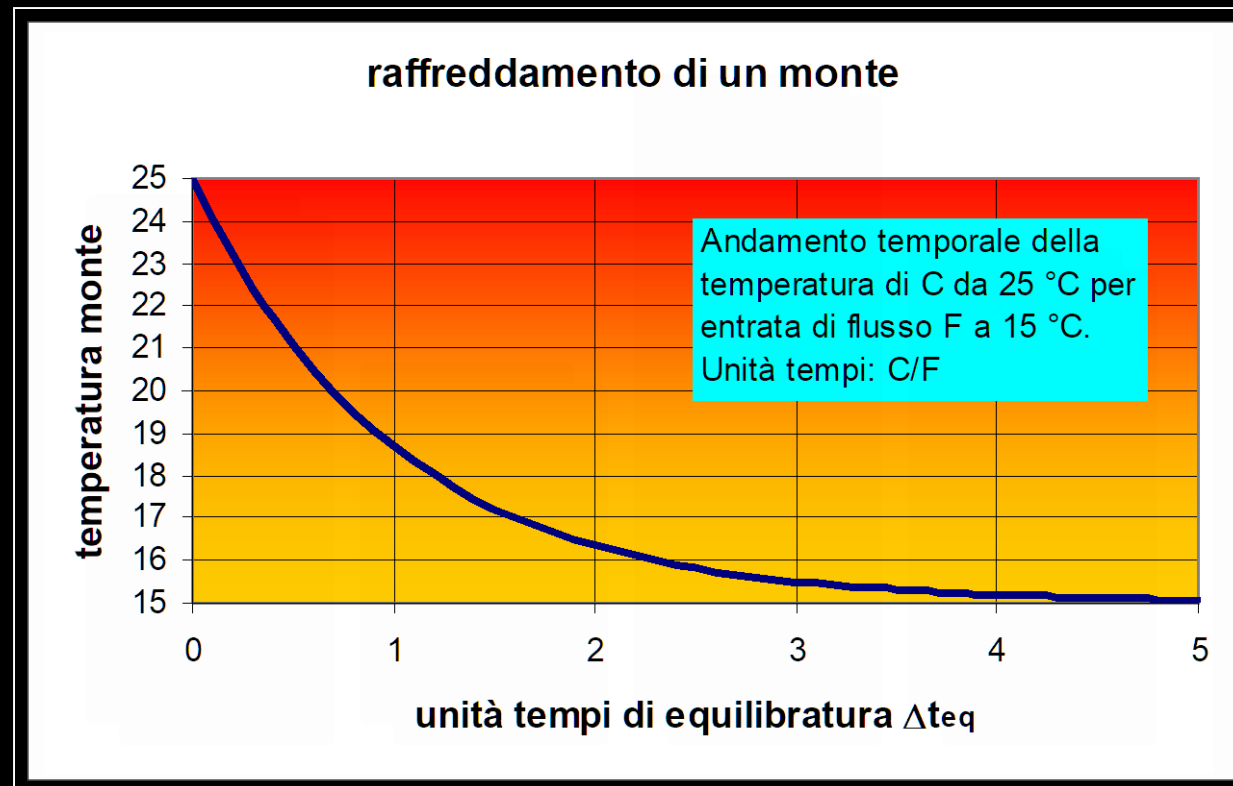
- Possiamo pensare che una grotta sia fatta così.
- Una pentola C in cui scorre acqua!
- Che temperatura assume l'acqua che ne esce, se quella che vi entra ha una T che varia di continuo?



GROTTE COME FILTRI TERMICI

- Si sistema alla T media delle acque che sono entrate.
 - Se la pentola era a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ e la media delle acque è invece a $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, la T della pentola tende in modo asintotico a 15 , con una scala temporale data dal rapporto fra la capacità termica totale e la portata entrante.
- Questo è il tempo di equilibratura di una grotta con l'ambiente esterno.

$$\Delta t_{eq} = \frac{C}{F_{T_1}}$$



GROTTE COME FILTRI TERMICI

- Il tempo di equilibratura di una grotta è il tempo necessario perché dentro la grotta scorra una quantità di fluido che abbia la stessa capacità termica totale della montagna.

$$C = \Delta t_{eq} \sum_j F_{Tj}$$



GROTTE COME FILTRI TERMICI

H [m]	Δt_{eq} aria [a]	Δt_{eq} acqua [a]
10	50	5
100	500	50
1000	5000	500

- Per raffreddare ad aria (flussi tipici) un altopiano di 100 m di potenza, occorrono 500 anni, ma ne bastano 50 se vi facciamo fluire acqua (flussi tipici).
 - In pratica questo ci dice che chi raffredda le montagne sono le acque che si infiltrano.
- E che in poche migliaia di anni *qualunque* montagna che sia attraversata dalle acque esterne, va alla T delle acque esterne.
 - Le montagne carsiche sono “fredde”.
 - *E se non sono fredde, non sono carsiche...*

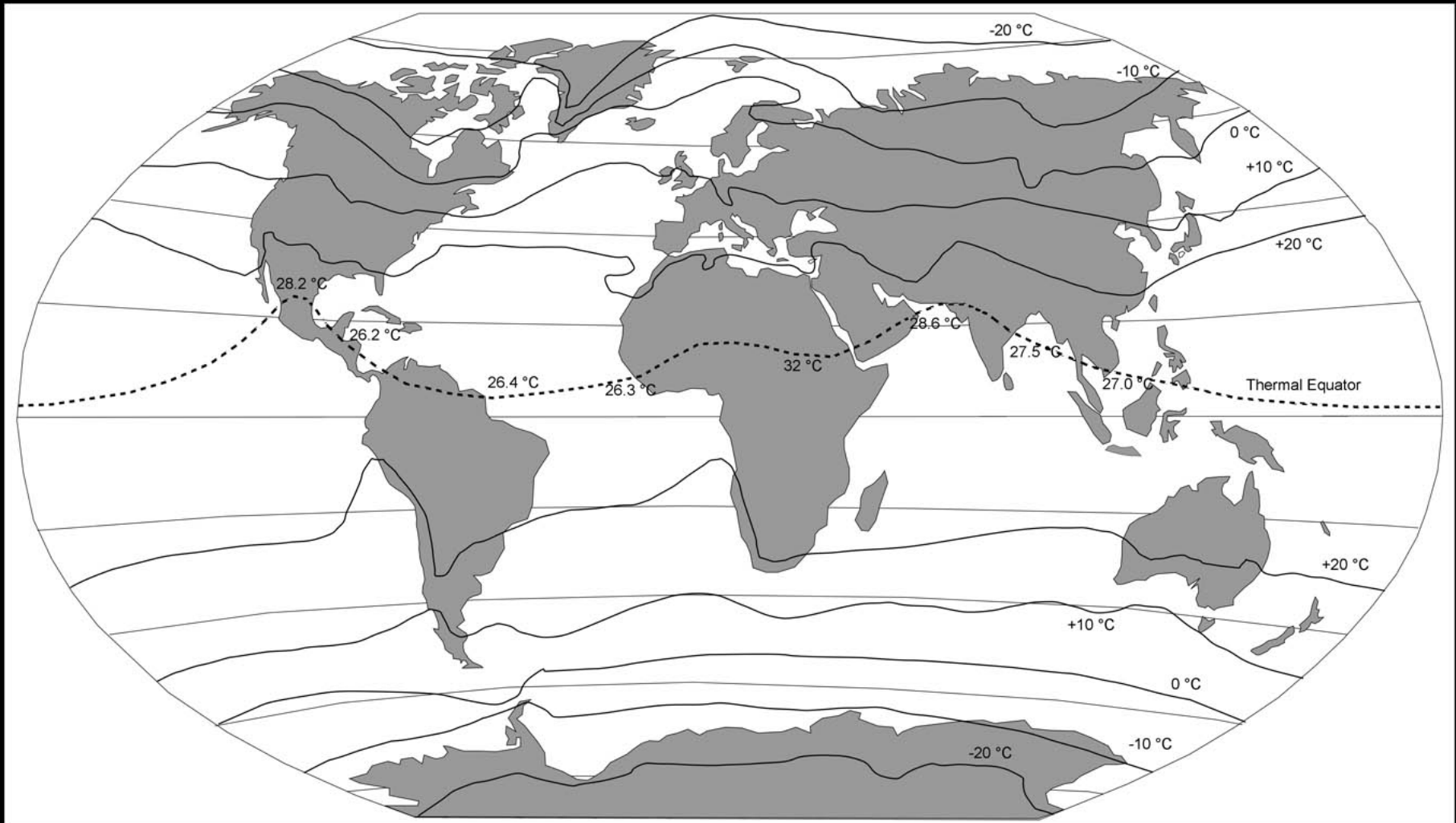
GROTTE COME FILTRI TERMICI

- In prima approssimazione possiamo assumere che la temperatura delle acque che si infiltrano sia quasi uguale alla *locale T media annuale*, che da ora in poi chiameremo TL.
- E quindi che anche la T delle grotte sia quasi uguale alla TL.
- *Quasi* uguale.
- Ma questo “quasi” contiene un mare di dettagli...

$$T_{grotta} \approx T_{media_annuale}$$

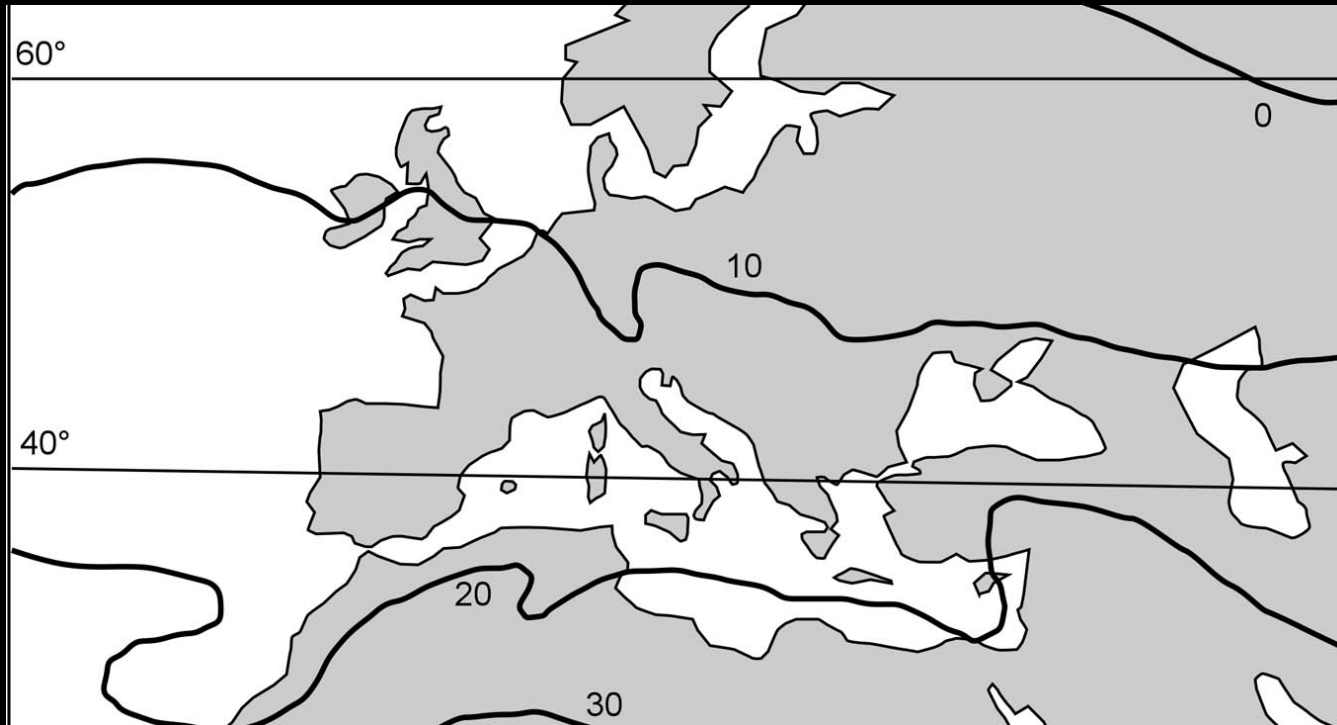
LA TEMPERATURA MEDIA LOCALE

- La carta dà i valori della T media annuale locale (TL) riportata al livello del mare.



LA TEMPERATURA MEDIA LOCALE

- La zona mediterranea è tutta inclusa fra l'isoterma 10 e quella 20 °C.
- Vuol dire che le grotte sono tutte a quella TL?
- Sì, **quelle a livello del mare**, sono a quella TL.
- Palermo: 17 °C. Trieste 12 °C. Barcellona: 16 °C. Torino: 13.5 °C...
- Ma Torino non è a livello del mare...



LA TEMPERATURA MEDIA LOCALE

- Infatti bisogna apportare correzioni.
 - La TL scende di $6.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Torino è a 250 m slm quindi $-1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 - Una grotta a Torino (una cantina, la roccia entro poche decine di metri di profondità, l'acqua delle falde profonde...) ha in prima approssimazione una T di $12-13\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Alla stessa latitudine (Marguareis...) ci aspettiamo che una grotta a 2000 m slm (Piaggia Bella) abbia una T poco più alta di $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 - E' così semplice?
 - Sì, in prima approssimazione è proprio così semplice.



LA TEMPERATURA MEDIA LOCALE

- Ma una grotta su un versante nord?..
- In genere possiamo operare così per stimare la TL:
 - cerchiamo i dati di TL forniti dalle stazioni WMO più prossime alla zona X interessante.
 - calcoliamo per ciascuna ΔLat e ΔAlt , differenza delle latitudini (in gradi) e delle altitudini (in chilometri) fra il punto X e la stazione WMO;
 - stimiamo TL con la formula qui sotto, valida dalle nostre parti, e mediamo.

$$T_L = T_{WMO} - 0.7 \Delta Lat - 6.5 \Delta Alt$$

WorldClimate

What the weather is *normally* like for tens of thousands of places worldwide!

City or town name:

Enter the name of the **CITY** above. Don't enter a country or state name. If you are not sure of the spelling, enter just the first few letters of the name. **For foreign cities, try entering the name in the local language, for example Venezia for Venice.**

LE CORREZIONI

- Ci sono diverse correzioni da apportare.
 - 1) Selezione dei fluidi.
 - 2) Calore geotermico.
 - 3) Diverse altitudini di infiltrazione.



SELEZIONE DEI FLUIDI: ACQUA

- La T media di una località si ottiene dalle misure di T dell'aria a 2 m di altezza su un prato pianeggiante.
- Ma noi abbiamo visto che il fluido che conta davvero nel fissare la T della grotta è l'acqua che si infiltra.
- La sua T media può essere diversa dalla T_L per vari motivi.



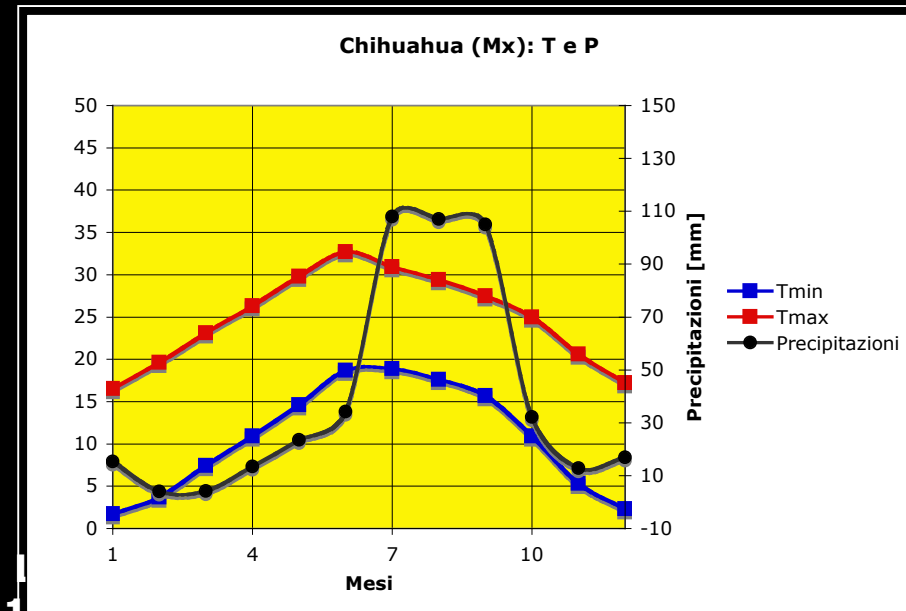
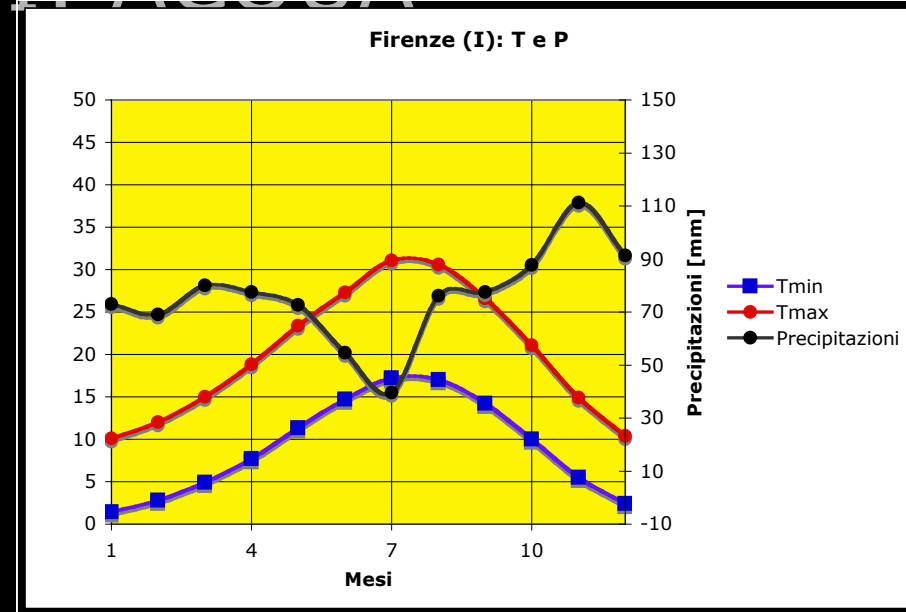
SELEZIONE DEI FLUIDI: ACQUA

- Primo motivo.
- Le precipitazioni partono da una quota sensibilmente più alta della superficie.
- In genere si ammette che la loro T sia circa $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ inferiore alla T locale dell'aria.



SELEZIONE DEI FLUIDI: ACOUA

- Secondo motivo.
- Le precipitazioni sono concentrate in stagioni particolari.
- Confrontiamo la situazione climatica di
 - Firenze (44° N, q. 50)
 - Chihuahua (29° N, q. 1400)
- Le T sono simili, come le medie:
 - TL Firenze: 14.6 °C.
 - TL Chihuahua: 17.8 °C.
- Le precipitazioni no, e le T medie delle infiltrazioni, e quindi delle grotte, sono:
 - T Firenze: 13.8 °C
 - T Chihuahua: 21.6 °C



SELEZIONE DEI FLUIDI: ACQUA

- Terzo motivo.
- In zone dove la neve permane per lunghi periodi, le acque di infiltrazione sono sensibilmente più calde della TL.
 - Infatti quando fa molto freddo l'acqua è neve, ed essa non si infiltra.
- L'infiltrazione inizia solo alla fusione primaverile, quando la sua T è salita a 0 °C.
- Sotto lo zero l'acqua non scorre: questo è il motivo fondamentale per cui tratti di grotta sottozero sono rarissimi e molto prossimi all'esterno.



SELEZIONE DEI FLUIDI: ACQUA

- La grotta di Ulugh Beg è stata scoperta dall'Associazione La Venta durante la spedizione Samarcanda 91.
- E' una delle più alte entrate conosciute al mondo.
 - Sviluppo: 1500 m
 - Profondità: 240 m
 - Altitudine: 3750
 - TL: -6°C
- T della grotta:
 - -0.8°C a 3700 m slm
 - 0°C a 3550 m slm



SELEZIONE DEI FLUIDI: ACQUA



49° CORSO - Levigliani
2011

33

SELEZIONE DEI FLUIDI: ACQUA

- Quarto motivo.
- In ingressi particolari le acque di infiltrazione possono non essere affatto all'equilibrio con la TL.
 - Una grotta alimentata da un lago molto assolato e poco profondo può essere molto più calda dell'atteso.
 - Una grotta il cui ingresso è una grande trappola per la neve può essere intorno allo zero anche a quote relativamente basse.



SELEZIONE DEI FLUIDI: ARIA

- Anche i movimenti dell'aria provocano scostamenti dalla regola che la T della grotta sia la TL.
- L'aria non congela ma la sua direzione di scorrimento dipende dalla T esterna.
- Durante l'estate l'atmosfera interna è più densa di quella esterna e cade, e l'aria viene inalata dalle entrate alte che ora sono "spazzate" dall'aria esterna, che è calda.
- L'aria interna, relativamente fredda, affonda nella montagna e sgorga alle entrate basse.

SELEZIONE DEI FLUIDI: ARIA

- Durante l'inverno avviene l'opposto: l'aria interna è relativamente calda e sale, sgorgando dalle bocche alte.
- Fonde la neve e mostra gli ingressi "buoni".



SELEZIONE DEI FLUIDI: ARIA

- Si forma una nuvola all'ingresso.



SELEZIONE DEI FLUIDI: ARIA

- Questo significa che le grotte filtrano l'aria, selezionandone le temperature.
- Fra l'aria interna e quella esterna esse scelgono:
 - la più calda per le entrate alte;
 - la più fredda per quelle basse.
- L'effetto complessivo sulla T della grotta è piccolo, perché l'aria ha poca capacità termica.

