



Società Alpina delle Giulie

Commissione Grotte Eugenio Boegan



*Gli effetti delle maree atmosferiche quale indicatore
microclimatico dell'ambiente di grotta*

Igor Ardetti



Le Maree atmosferiche o termo oscillazioni di marea

Le maree atmosferiche sono caratteristiche **ubiquitarie** dell'atmosfera terrestre. Sono le oscillazioni globali persistenti che si osservano in tutti i tipi di campi atmosferici, inclusi vento, temperatura, **pressione**, densità e altezza geopotenziale. Le oscillazioni mareali hanno **periodi** che sono frazioni intere di un giorno solare o lunare. Le maree solari diurne e semidiurne hanno periodi rispettivamente di 24 h e 12 h. Il periodo della marea diurna lunare è di circa 24,8 h, mentre il periodo della marea semidiurna lunare è di 12,4 h. Gli scienziati spesso usano una notazione abbreviata per rappresentare **le maree solari e lunari**. **S1** e **S2** si riferiscono rispettivamente alle maree solari diurne e semidiurne. I loro corrispondenti lunari sono M1 e M2.

Sono OVUNQUE

Si presentano con ampiezza e spettro in frequenza differenti a causa di molteplici fattori.

Variazioni PERIODICHE della PRESSIONE

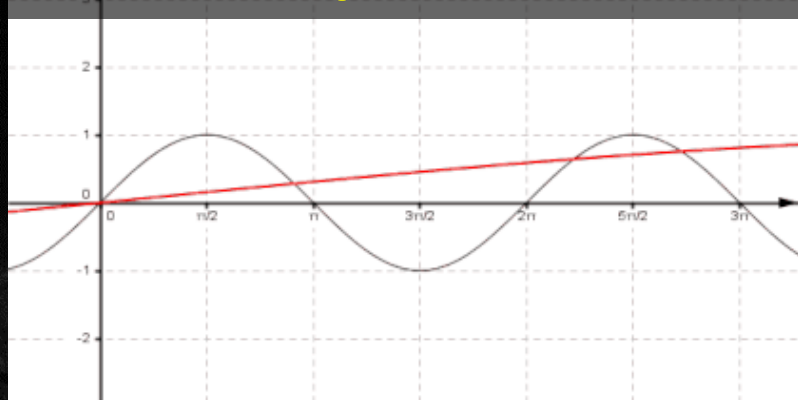
Sono facilmente osservabili calcolando le medie orarie giornaliere, e nello specifico notiamo come le maree semidiurne (**S2**) siano la componente periodica di maggior «peso» (periodo 12 ore).

Le maree atmosferiche originano indirettamente per l'azione del **SOLE** e **NON** sono collegate alle ben più note maree lunari.

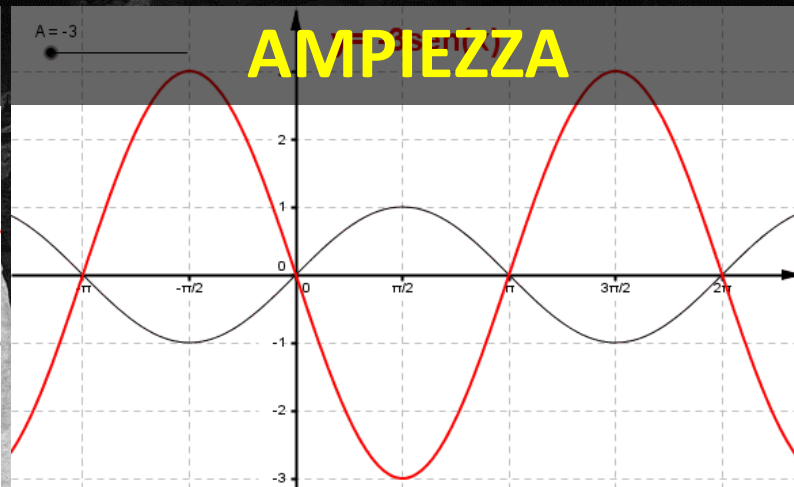


Caratteristiche principali di un'onda sinusoidale

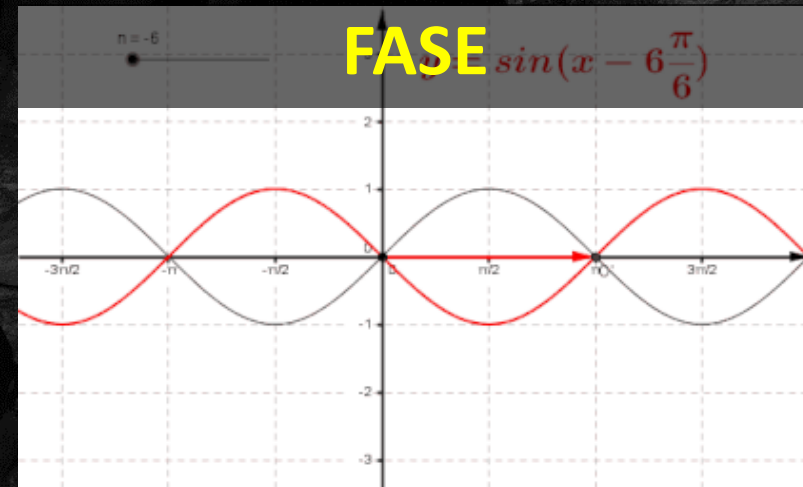
PERIODO / FREQUENZA



AMPIEZZA



FASE $\sin(x - 6\frac{\pi}{6})$



- La componente fondamentale delle maree atmosferiche seidiurne (S2) ha **periodo d'oscillazione 12 ore**.
- L'ampiezza della sua oscillazione è definibile come la **differenza tra il suo valore massimo ed il valore d'equilibrio** (quest'ultimo è il valor medio attorno il quale oscilla).
- La fase di un'onda sinusoidale rappresenta, nel nostro caso specifico, **«l'anticipo o il ritardo» nel tempo rispetto ad un riferimento** che sarà tipicamente un'altra onda sinusoidale.



Sfasamento tra P e T

...La temperatura dell'aria nella cavità cambia anche quando cambia la pressione atmosferica. Secondo la prima legge della termodinamica, **l'energia interna dell'aria nella cavità è influenzata dal lavoro svolto dalla pressione atmosferica sull'aria e dalla quantità di calore scambiato per conduzione dalla roccia...**

...Quando la pressione è al massimo, la potenza svolta dalla pressione atmosferica è pari a zero. Tuttavia, in questo momento, la temperatura dell'aria, non è al massimo perché la somma della potenza dovuta alla pressione e della potenza di conduzione non è pari a zero. Pertanto, non è difficile comprendere il fatto che la temperatura e l'oscillazione della pressione non sono in fase, e **la fase della pressione è in ritardo rispetto a quella della temperatura...**

(Wu S.C., Chen F., Fan S.H., Luo J. (2003), "Phase Leading of Temperature Variation in Cavity Caused by Heat Conduction Between Air and Rock", Chinese Phys. Lett., 20(12): 2192-2194.)

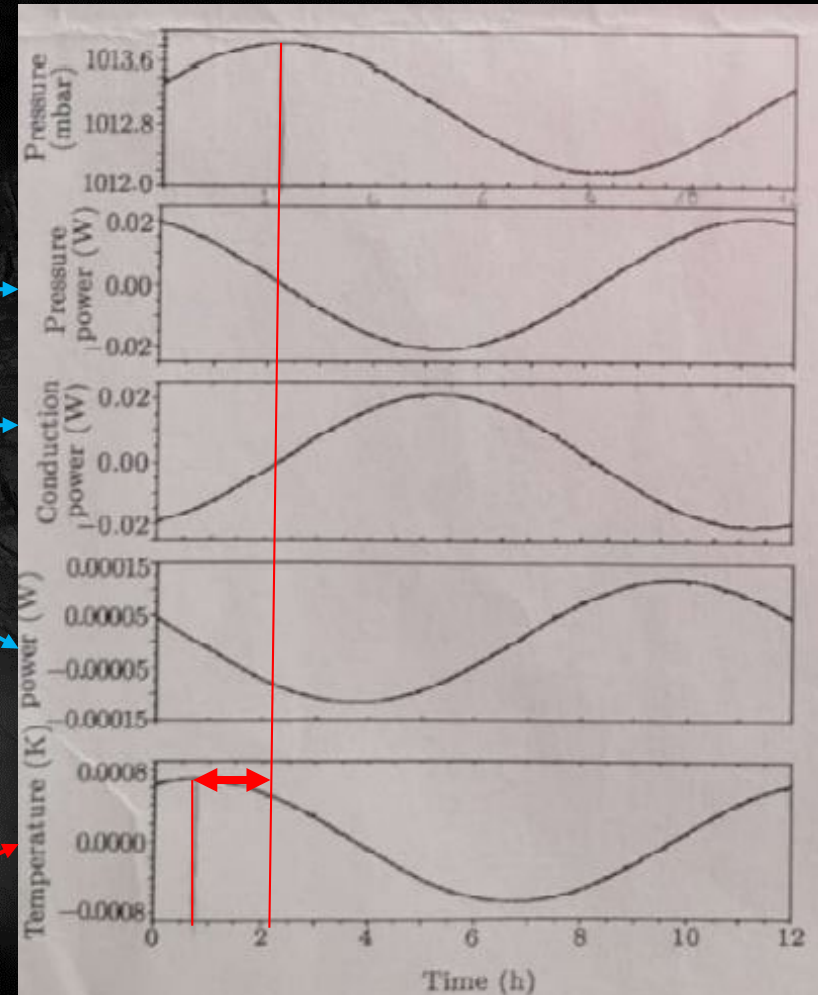
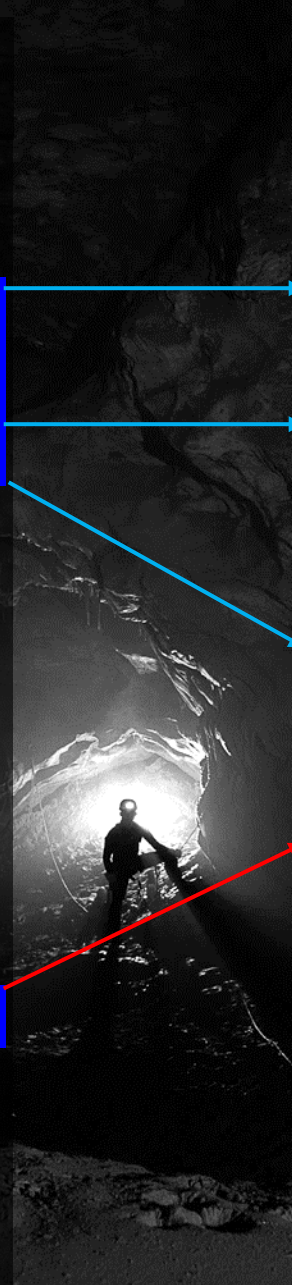


Fig. 3. Variation of parameters in the polytropic process as the heat conduction between air and rock is considered. (a) Atmospheric pressure variation, (b) power carried out by atmospheric pressure, (c) power of heat conduction, (d) sum power of heat conduction and work carried out by atmospheric pressure, (e) air temperature observed in the cavity.



Limiti e problematiche nell'osservazione del fenomeno

- **Comportamento barometrico della grotta**

<https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2022.100145>

L'osservazione delle oscillazioni di temperatura legate alle maree atmosferiche, risulta tanto più chiara quanto più ridotte sono le variazioni di temperatura dovute a processi non correlati alla variazione di pressione, come i moti convettivi causati da differenze di temperatura o densità (ad esempio stagioni, ciclo diurno, ecc.). Di conseguenza, gli ingressi delle grotte o le grotte che presentano un comportamento assimilabile ad una «trappola di freddo» non sono tra i luoghi più adatti per queste osservazioni.

- **Risoluzione del termometro**

<https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2022.100145>

Le oscillazioni di temperatura presentano ampiezze relativamente ridotte, dell'ordine di 10 m°C picco-picco (0,010°C). Di conseguenza, è necessario utilizzare strumenti ad alta risoluzione, tipicamente 1 m°C (0,001°C). Il costo di tali strumenti risulta considerevole.

- **Risoluzione temporale**

<https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2022.100145>

Maggiore è la frequenza di campionamento, migliori saranno le analisi temporali o spettrali ottenute dall'elaborazione dei dati. Tuttavia, ciò comporta una gestione notevolmente più complessa e richiede l'utilizzo di software di elaborazione avanzati, superando le capacità di un semplice foglio di calcolo

- **«Rumore in banda»**

Le variazioni di pressione e temperatura che si verificano nell'arco di circa 12 ore possono essere molteplici. Pertanto, sarà necessario applicare un filtro ai dati per evidenziare le maree atmosferiche, prestando particolare attenzione alle caratteristiche del filtro scelto.



Filtri e FFT – Fast Fourier Transform

- **Filtro**

Determinare il tipo e il grado di filtro da applicare non è affatto semplice. Un metodo pratico e facilmente implementabile consiste nel calcolare la media di tutti i dati raccolti ogni giorno alla stessa ora (hh:mm:ss) durante l'intero periodo di campionamento, sia per la pressione che per la temperatura. Nel caso della pressione, questo metodo evidenzierà sempre le maree atmosferiche S2. Per quanto riguarda la temperatura, invece, sarà possibile identificarle solo se l'osservazione è stata condotta seguendo le indicazioni riportate nelle slide precedenti.

- **FFT**

L'analisi FFT è uno strumento prezioso per valutare la finestra temporale e il grado del filtro da applicare, oltre a rappresentare un eccellente metodo di analisi dei dati.



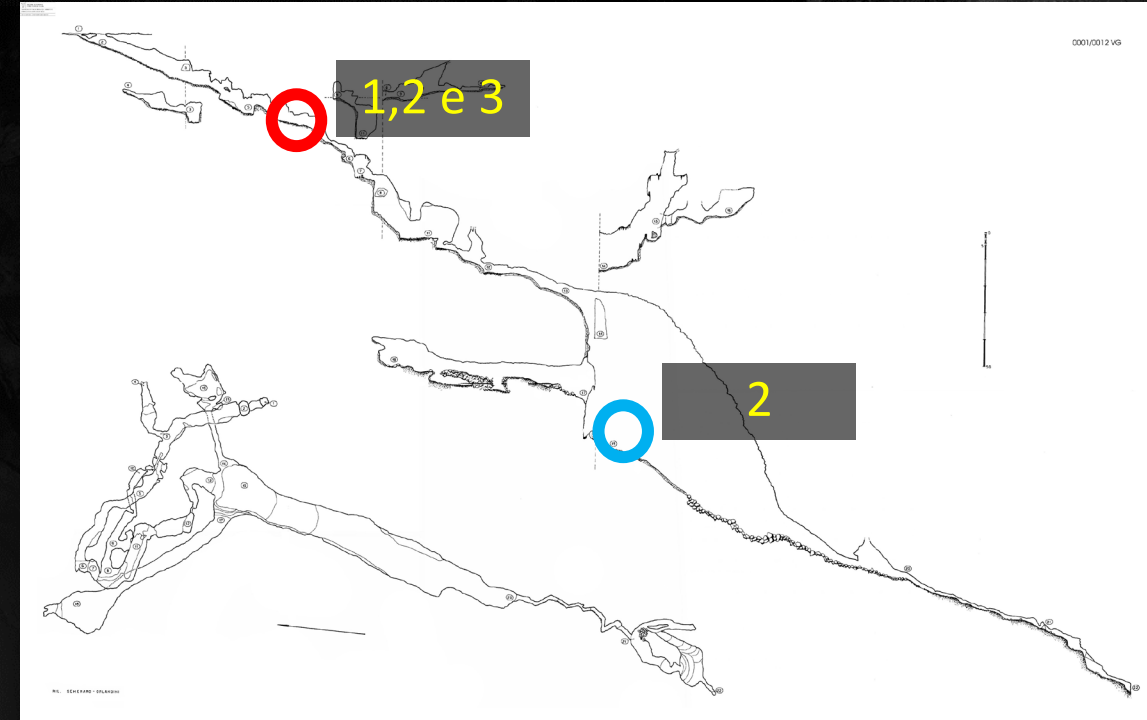


Progetto «1212»

L'obiettivo del progetto «1212» (riferito alle 12 ore della componente S2 e al numero catastale 12VG) è verificare sperimentalmente lo sfasamento della componente periodica a 12 ore nei segnali di temperatura e pressione. Per raggiungere questo scopo, sono stati installati due datalogger in due aree diverse della grotta, con l'intento di confrontare i risultati ottenuti.

La campagna di misurazione si articola in tre fasi di campionamento:

1. **Verifica della concordanza relativa** - Durante questa fase, i due datalogger vengono posizionati nello stesso luogo per confrontare quanto e come le loro letture differiscano.
2. **Periodo di campionamento effettivo** - I datalogger vengono posizionati nelle due aree individuate per la raccolta dei dati necessari allo studio.
3. **Seconda verifica della concordanza relativa** - Al termine del campionamento, i datalogger vengono nuovamente collocati nello stesso luogo per una seconda verifica della concordanza tra le letture.





Risultati preliminari del progetto «1212»

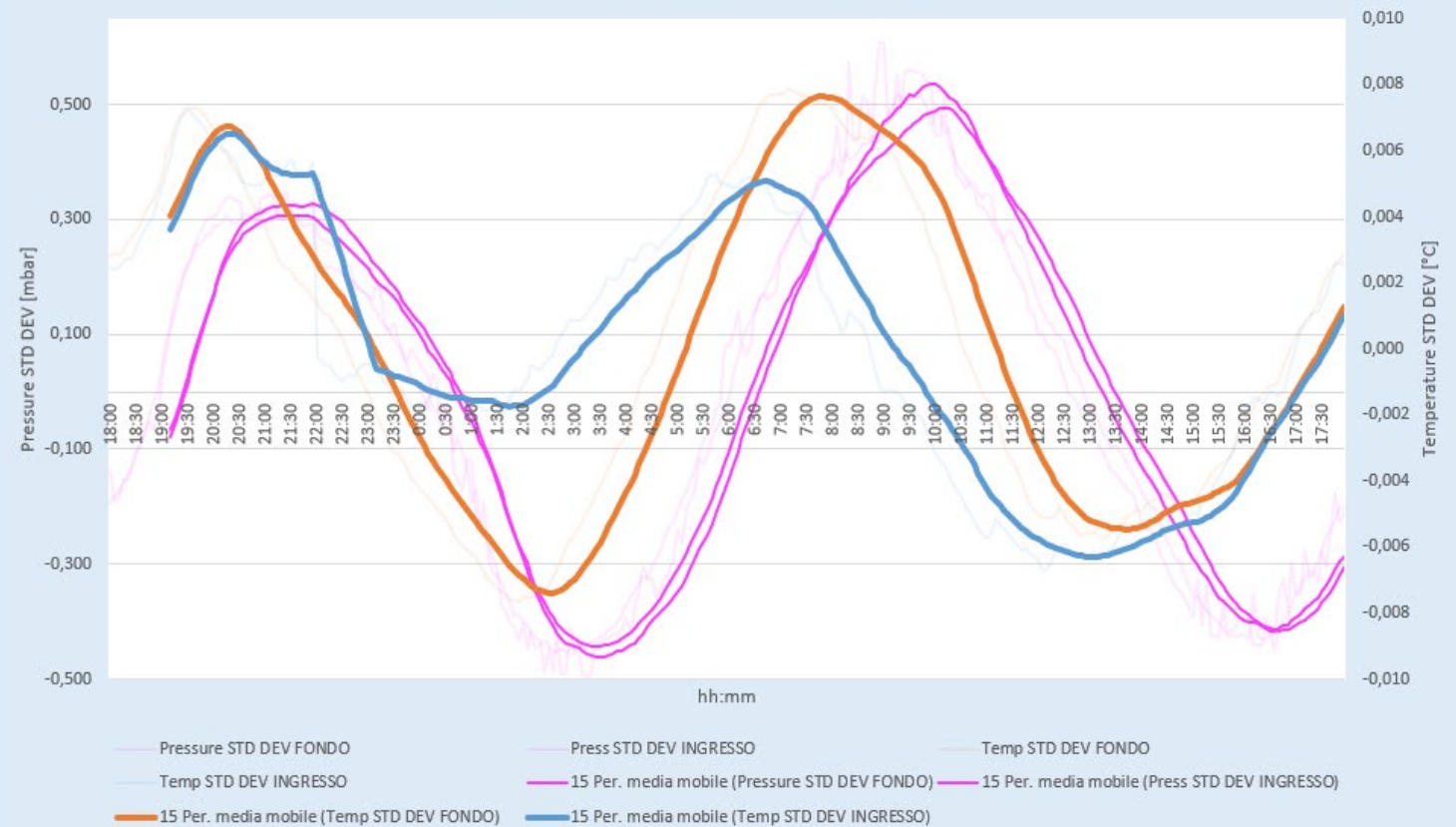
Siamo riusciti a verificare sperimentalmente lo sfasamento tra le componenti a 12 ore dei segnali di pressione e temperatura rilevati in entrambe le stazioni sperimentali durante il periodo estivo, evidenziando il comportamento barometrico della grotta.

È stata inoltre osservata una significativa differenza di fase tra i due segnali di temperatura:

$$\Delta\varphi_{(T_{ing}-T_{fon})} = \sim 56min$$

L'atmosfera delle due aree della grotta risulta influenzata in modo distinto e caratteristico dalle maree atmosferiche. Di conseguenza, lo sfasamento rilevato rappresenta un elemento distintivo che caratterizza queste due porzioni della grotta.

Averaged pressure and temperature variations behavior in a day from May to October 2024





Perché approfondire la conoscenza di questo fenomeno?

- Promuovere l'impiego delle cavità carsiche come preziosi osservatori naturali per studi meteorologici e climatici
- Per interessi di natura speleologica, arricchiti da «un pizzico di sana immaginazione e speculazione», come:
 - Gli sfasamenti tra temperature e pressione sono intrinsecamente legati alle caratteristiche morfologiche e climatiche della grotta.

$$\frac{S}{V} = \frac{\tan(\Delta\varphi) \cdot \rho_a \cdot c_a \cdot \omega}{\sqrt{k \cdot \omega \cdot c \cdot \rho} [1 - \tan(\Delta\varphi)]}$$

(Wu S.C., Chen F., Fan S.H., Luo J. (2003), "Phase Leading of Temperature Variation in Cavity Caused by Heat Conduction Between Air and Rock", Chinese Phys. Lett., 20(12): 2192-2194.)

- Le maree atmosferiche, ed il mezzo nel quale si propagano, sono **UBIQUITARI**. Ovvero, affinando la tecnica e le conoscenze in merito, si potrebbero modellare più cavità dello stesso contesto carsico, anche relativamente vasto (es. Carso classico), sfruttando la risposta allo **STESSO SEGNALE RIPETUTO**.