

Francesco Mongelli*

Inquinamento termico nelle Grotte di Castellana

ABSTRACT

Temperature in the Castellana caves has increased by more than 3 °C between 1961 and 1983. This is due to heat flow from visitors, lights and, in the terminal portion of the caves, from the hot air blown in by a fan during summer; this heat supply is not compensated by losses due to natural air circulation (where it occurs), to air flowing out rock cracks, and to cold air blown in by the fan during winter. Thermal pollution has reached a high grade, particularly in the first part of the caves, testified by a value of $I = 0,91$ where I is the Mongelli parameter $0 < I < 1$. Substitution of the fan with an air conditioning system at constant temperature (15°C) would be appropriate to decontaminate the terminal part of the caves. However it is still necessary to investigate which are the correct countermeasures required to reduce thermal pollution in the initial portion of the caves.

INTRODUZIONE

È ben noto che le Grotte di Castellana sono termicamente inquinate: la situazione è ormai tale da alterare sia le condizioni di vita degli organismi sia le reazioni chimiche che in esse si sviluppano.

Anche l'utilizzo delle Grotte a scopo turistico è compromesso dalla situazione di disagio biofisico che si prova specie nelle sue parti più profonde.

Scopo di questo lavoro è quello di analizzare la situazione, discutere le cause dell'inquinamento e proporre qualche soluzione del problema.

* Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università di Bari - CAI, Bari

EVOLUZIONE DELLO STATO TERMICO DELLE GROTTI DI CASTELLANA

Il primo rilievo sistematico della temperatura dell'aria nelle Grotte fu eseguito nel 1958-59 (Mongelli, 1961), quando l'esercizio turistico era limitato alla prima parte del complesso, fino alla Grotta del Precipizio a circa 600 m dall'ingresso (la Grave). Il rilievo mostrò che il complesso poteva essere suddiviso in due parti (fig. 1): una prima parte, che andava fino al Cimitero Musulmano, a circa 850 m dall'ingresso, in cui la temperatura mostrava una oscillazione annua intorno a un asse crescente da 12 °C a 15 °C, che si smorzava rapidamente e si estingueva appunto al Cimitero Musulmano; una seconda parte in cui la temperatura era costante (15 °C) fino alla Grotta Bianca (circa 1.550 m dalla Grave).

Misure eseguite nel 1982 (Forti e Cigna, 1983) misero in evidenza che la temperatura era aumentata su tutto il tracciato delle Grotte (fig. 2).

Un rilievo delle temperature stagionali eseguito tra il 1966 e il 1983 (Nobile *et al.*, 1989) ha mostrato tra l'altro che le oscillazioni erano insorte anche nella seconda parte e andavano crescendo di anno in anno (fig. 3).

È ben noto che le cause principali di inquinamento termico delle Grotte turistiche sono l'apporto di calore Q_e (calore entrante) dei visitatori e il calore sviluppato dalle lampade.

Cigna (1983) ha osservato un aumento di temperatura di 0,3 °C al passaggio di un gruppo di 105 turisti (fig. 4). Tale aumento, prodotto in una regione limitata, si propaga con estrema lentezza ma, spesso, prima che sia completamente estinto, viene rinforzato da un nuovo passaggio di turisti, causando un fenomeno cumulativo (fig. 5).

Gli effetti termici del fenomeno cumulativo si possono osservare sull'andamento diurno delle temperature, ad esempio nella Grotta del Precipizio. Dalla fig. 6 si vede che, in assenza di attività turistiche, la temperatura oscilla secondo l'orario delle visite ma alla fine della giornata è leggermente più alta che all'inizio. Di conseguenza, il fenomeno cumulativo giornaliero si traduce in quello annuo, facendo aumentare i massimi estivi e i minimi invernali.

Nella seconda parte delle Grotte, l'impiego dell'aeratore ha avuto d'estate, immettendo aria calda, l'effetto di far aumentare ulteriormente Q_e ; mentre d'inverno, immettendo aria fredda, ha fatto abbassare i minimi termici; ne è risultata una abnorme oscillazione termica annua (fig. 7).

La fig. 8 mostra gli effetti cumulativi sulle temperature massime e minime in funzione del numero di visitatori relativamente alla seconda parte delle Grotte; da essa si può dedurre che dal 1966 al 1982 le temperature massime sono aumentate di 0,3 °C/a e le minime di 0,11 °C/a.

AUTODEPURAZIONE E INQUINAMENTO DELLE GROTTES DI CASTELLANA

Il calore immesso in una grotta viene in parte asportato dalla circolazione naturale dell'aria (ma solamente fino a una certa distanza dalle bocche comunicanti con l'esterno) in parte viene assorbito dalle pareti, in parte è trasportato dall'aria attraverso le fessure della roccia, in parte resta nella grotta stessa. Il totale del calore uscente si può indicare con Qu.

Ogni grotta ha quindi un potere di *autodepurazione naturale*, limitato soprattutto alla parte soggetta alla circolazione dell'aria, che può essere totale o parziale, a seconda che riesca o no a smaltire tutto il calore immesso.

Nelle Grotte di Castellana è stato mostrato che nel 1958-59 la circolazione naturale dell'aria innescata dalla bassa temperatura nella Grave si estendeva fino al Cimitero Musulmano rinnovando l'aria continuamente (Mongelli, 1961) e realizzando così una autodepurazione costante che probabilmente, fino a quando il flusso turistico è stato ridotto e limitato alla Grotta del Precipizio, è stata totale.

L'apertura al pubblico della seconda parte delle Grotte, nel 1965, e l'aumento annuo dei visitatori ha prodotto un inquinamento termico che ha provocato:

nella prima parte, un aumento dell'ampiezza delle oscillazioni e dell'asse medio: l'autodepurazione non è stata sufficiente;

nella seconda parte, dove non esisteva una circolazione d'aria efficace, e quindi dotata di scarso potere di autodepurazione, l'insorgere di oscillazioni e l'innalzamento del valore medio della temperatura.

Con l'installazione dell'aeratore (nel 1970) nella Grotta della Cupola, quasi in fondo alla seconda parte delle Grotte, è stata immessa molta aria calda d'estate e poca aria fredda d'inverno, in relazione alla oscillazione stagionale del numero di visitatori.

Di conseguenza è aumentato notevolmente il calore entrante Q_e d'estate e di poco il calore uscente Q_u d'inverno. L'aeratore ha avuto quindi la doppia funzione di inquinamento d'estate e di depurazione artificiale di inverno.

L'abnorme aumento delle temperature massime non ha consentito che le temperature minime restassero costanti (fig. 9). La depurazione artificiale, sommata a quella naturale (solo tramite le fessure) è stata insufficiente.

Recentemente (Mongelli, 1995) è stato proposto l'uso di un parametro I per quantificare lo stato di inquinamento di una grotta.

Se indichiamo genericamente con ΔT il salto termico a cui è soggetta una grotta rispetto a un valore di riferimento R e con ΔT_r il residuo di tale salto, l'inquinamento termico che ne deriva può essere espresso dal parametro.

$$I = \Delta T_r / \Delta T, \quad 0 < I < 1$$

È stato valutato (Mongelli, 1995) che nel 1981 ai Monumenti il parametro I ha raggiunto il valore 0,91; e che nel secondo tratto delle Grotte, prima del 1970 (cioè prima che l'aeratore entrasse in funzione) si è avuto $I = 0,73$; mentre nel 1982-83 il parametro I si è abbassato a 0,45.

PROPOSTE DI INTERVENTO PER IL DISINQUINAMENTO

In linea di principio, per ottenere il disinquinamento delle Grotte di Castellana bisognerebbe far diminuire Qe, o far aumentare Qu, o entrambi.

La situazione però è diversa nei due tratti. Nel primo tratto Qe è prodotto da persone e lampade, Qu dalla circolazione naturale dell'aria e dalle fessure. Pertanto allo stato attuale qui si potrebbe agire solo sul numero dei visitatori e sulle lampade (finché queste producono anche calore).

Nel secondo tratto, Qe è prodotto dalle persone, dalle lampade e, d'estate, dall'aeratore; Qu dalle fessure e dall'aeratore d'inverno. Qui si può agire sul numero delle persone e sull'aeratore d'estate. Nel caso non si intenda intervenire su di esso, bisognerebbe sostituire all'aeratore un condizionatore a temperatura costante (15 °C era la temperatura originaria in questo tratto delle Grotte), per tutto l'anno.

Restano, comunque, alcuni importanti problemi:

- a) il disinquinamento del primo tratto;
- b) lo studio dell'influenza dell'aeratore (o condizionatore) anche sul primo tratto; infatti è possibile che questo abbia attivato una circolazione artificiale che si collega a quella naturale del primo tratto.

Quali vantaggi o svantaggi ne possono derivare? È possibile che un condizionatore funzionante nel secondo tratto contribuisca al disinquinamento anche nel primo? In tal caso, come e quando farlo funzionare?

Il monitoraggio ambientale delle Grotte, appena iniziato, andrebbe rapidamente completato; esso, oltre a permettere di valutare giorno per giorno lo stato di inquinamento termico, deve servire a risolvere i su esposti problemi aperti.

BIBLIOGRAFIA

- Cigna A.A., 1989, *La capacità ricettiva delle grotte turistiche quale parametro per la salvaguardia dell'ambiente sotterraneo. Il caso delle Grotte di Castellana*, in *Atti XIV Congr. Naz. Speleologia*, Castellana Grotte 1987.
- Forti P., Cigna A.A., 1983, *Relazione della Commissione tecnico-scientifica per lo studio di alcuni fenomeni di infiltrazione nelle Grotte di Castellana* (inedita, depositata presso l'Amministrazione Provinciale di Bari).
- Mongelli F., 1961, *Rilievo della temperatura dell'aria nelle Grotte di Castellana*, in «Boll. Geof. Teor. Appl.», 3 (11), pp. 197-208.
- Mongelli F., 1995, *Parametri di inquinamento termico nelle grotte turistiche: il caso delle Grotte di Castellana*, Relazione presentata al Simposio Internaz. «Grotte turistiche e monitoraggio ambientale», Frabosa Soprano (Cuneo).
- Nobile C.F., Orofino F., Latronico M., 1989, *Variazione della temperatura nelle Grotte di Castellana (8 Pu) tra il 1966 ed il 1983*, in *Atti XIV Congr. Naz. Speleologia*, Castellana Grotte 1987.

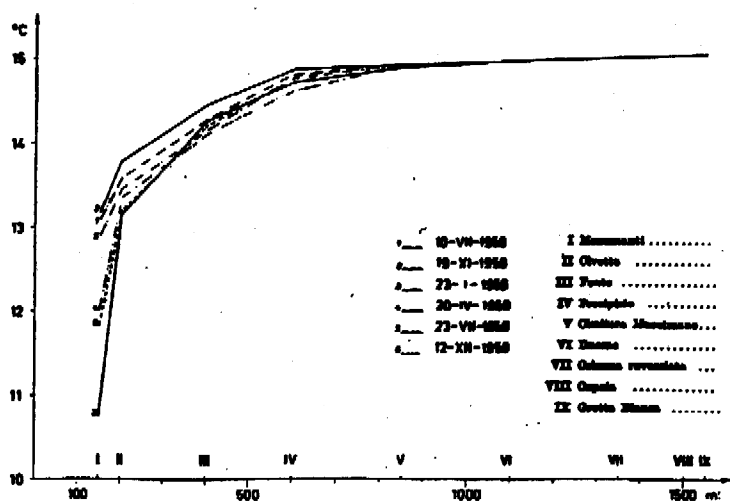


Fig. 1 - Distribuzione delle temperature lungo l'asse delle Grotte a 1 m dal piano di calpestio (Mongelli, 1961).

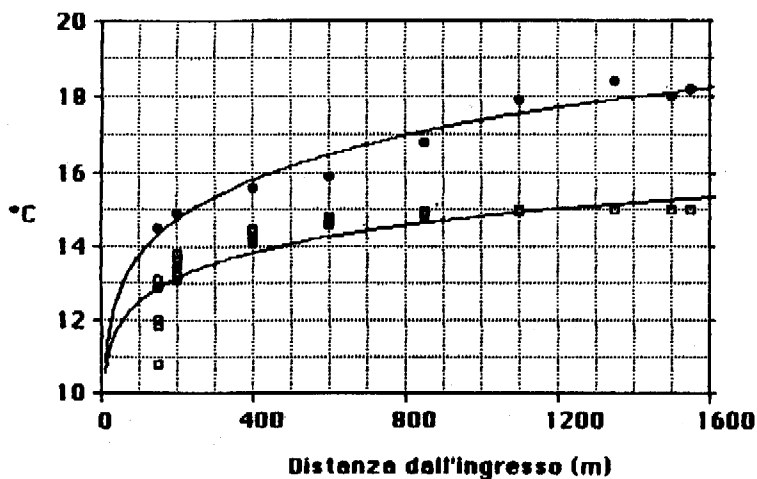


Fig. 2 - Andamento delle temperature dell'aria nelle Grotte di Castellana. I quadratini si riferiscono alle misure effettuate nel 1958-59 (Mongelli, 1961), mentre i punti si riferiscono alle misure effettuate nel 1982 (Cigna e Forti, 1983).

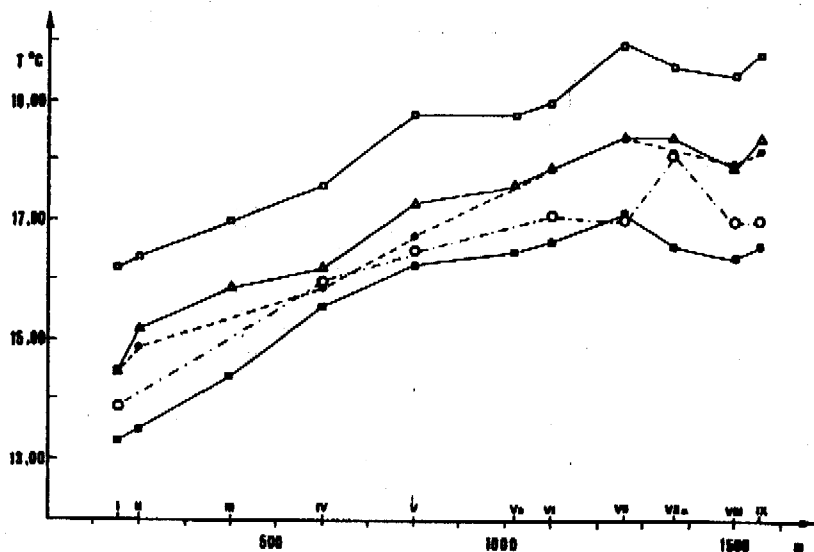


Fig. 3 - Distribuzione delle temperature lungo l'asse delle grotte tra il 29-XI-1981 e il 10-III-1983; (□ 4-VIII-1982; △ VI-1982; ● 8-XII-1982: dai valori ottenuti da Cigna e Forti; ○ 29-XI-1981; ■ 10-III-1983), da Nobile *et. al.*, 1989.

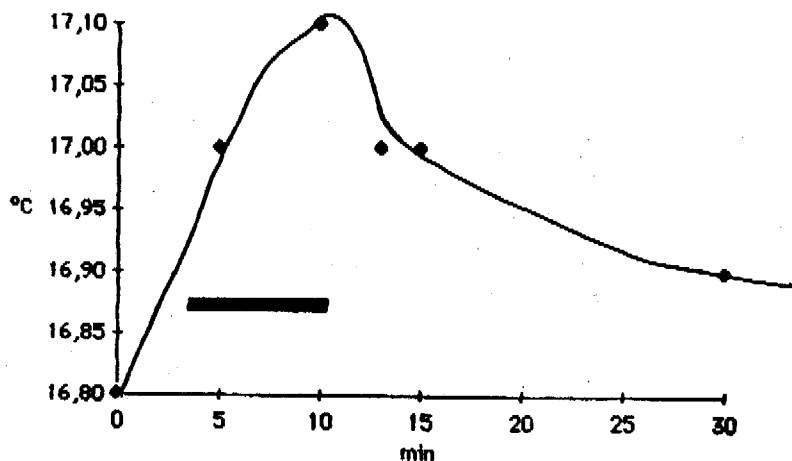


Fig. 4 - Diagramma della temperatura dell'aria misurata nelle Grotte di Castellana (Corridoio del Deserto) in corrispondenza del passaggio di un gruppo di 105 turisti (tratto nero) da Cigna, 1983.

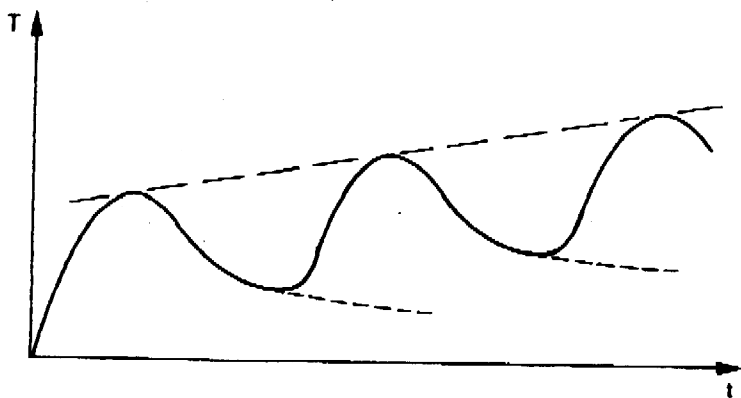


Fig. 5 - Schema della variazione di temperatura al passaggio consecutivo di gruppi turistici.

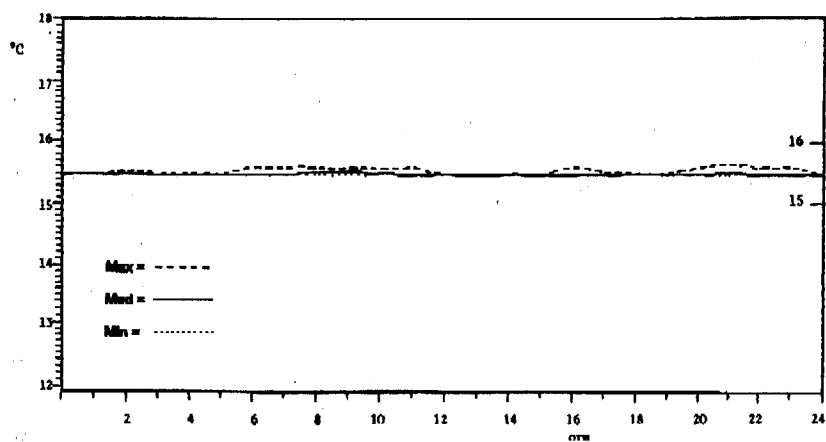


Fig. 6 - Temperatura giornaliera alla Grotta del Precipizio in assenza di gruppi turistici.

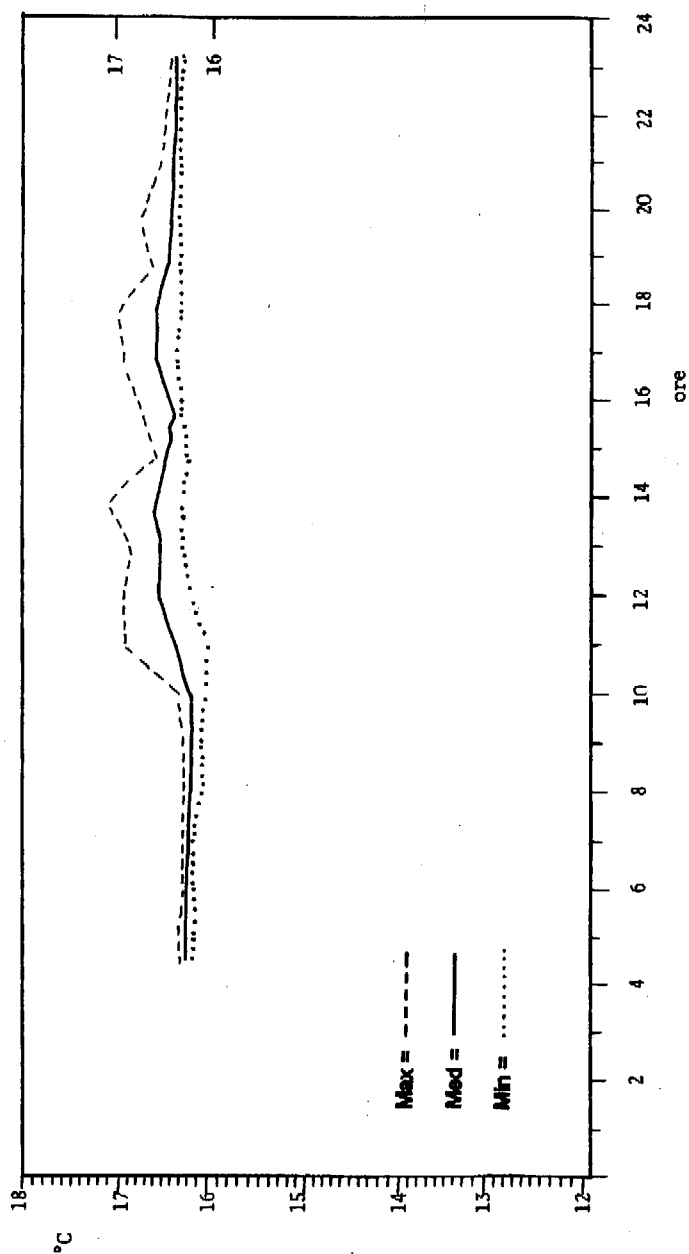


Fig. 7 - Temperatura giornaliera alla Grotta del Precipizio in attività turistica.

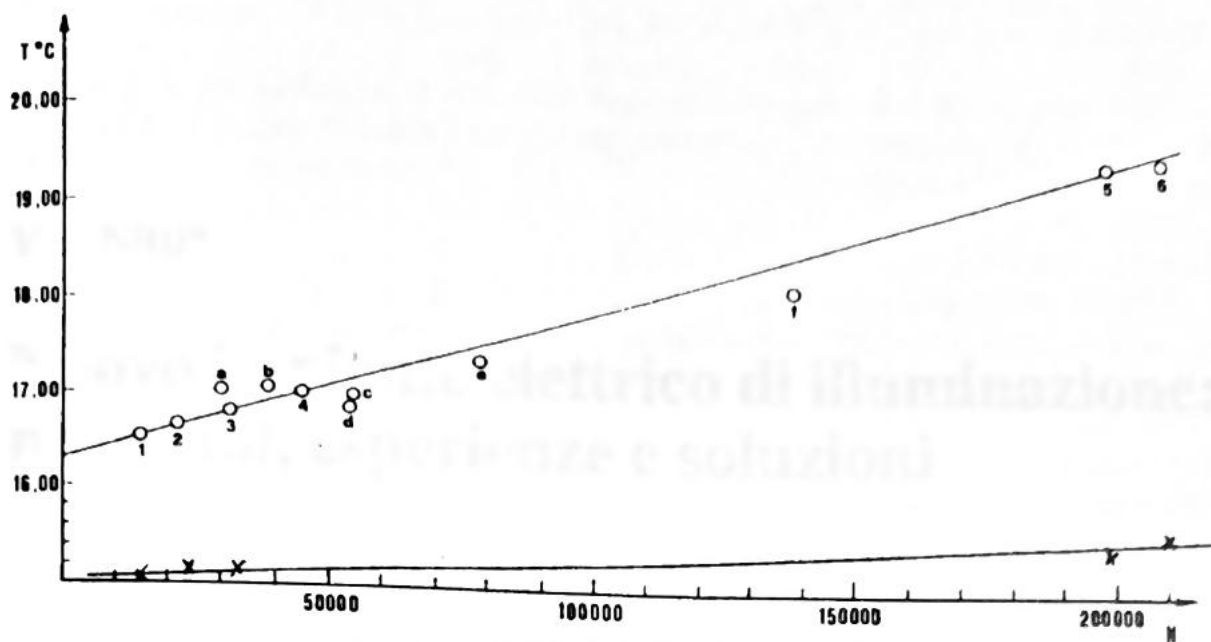


Fig. 8 - Media delle temperature massime e minime nelle stazioni tra VI e IX in funzione del numero di visitatori fino alla Grotta Bianca dal 1966 al 1982 (da Nobile *et. al.*, 1989, modificata).

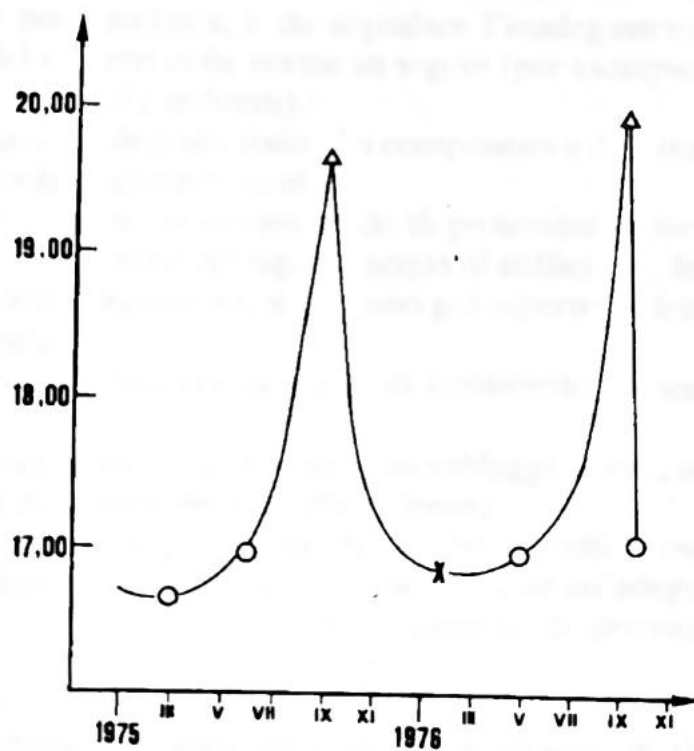


Fig. 9 - Andamento della temperatura media nell'ultimo tratto delle Grotte nel 1975-76 (da Nobile *et. al.*, 1989).