

SILVIO POLLI

**CINQUE ANNI DI METEOROLOGIA
IPOGEA NELLA GROTTA GIGANTE
PRESSO TRIESTE**

SIETÀ ALPINA DELLE GIULIE
SIONE DI TRIESTE DEL C.A.I.

MISC

1090

1885

BLIOTECA

tratto da: "Atti dell'VIII Congresso Nazionale di Speleologia - Como, 1956"

Memoria IV - Tomo II - Como, 1958

SILVIO POLLI

M. VIANELLO
TRIESTE - Via T. Vecellio, 9

CINQUE ANNI DI METEOROLOGIA IPOGEA
NELLA GROTTA GIGANTE PRESSO TRIESTE

Riassunto. — La grotta è una vastissima cavità naturale situata nell'altipiano carsico di Trieste. È lunga m 280, larga m 60, profonda m 120. Essa è in comunicazione con l'esterno mediante un pozzo di 15 m che sbocca all'aperto a 269 m sul livello del mare. La grotta è un tipico esempio di un'unica grande cavità sotterranea ed è perciò molto adatta per ricerche normative di meteorologia ipogea in questo tipo di grotte.

Nei cinque anni 1951-'55 furono eseguite nella caverna regolari e sistematiche misure delle condizioni dell'aria, dell'acqua e della roccia. Tutte le misure sono state eseguite col massimo rigore scientifico. La temperatura e l'umidità si misurarono mediante psicrometro ad aspirazione Assmann in sei siti opportunamente scelti e all'esterno della grotta.

In questo lavoro si presentano i risultati delle misure eseguite, sia singolarmente sia elaborati secondo valori medi mensili, annui e quinquennali. Risultano così definite le condizioni climatiche normali della grotta.

I. - *Premesse.* — Alla fine del 1950, per interessamento della Commissione Grotte della Società Alpina delle Giulie, Sezione di Trieste del C.A.I., sono state iniziate, nell'interno della grotta, regolari e periodiche misure dei principali elementi meteorici e geofisici.

Le misure, eseguite con intendimenti rigorosamente scientifici, furono continuate senza interruzioni per 5 anni consecutivi, consentendo così la determinazione dei valori e degli andamenti normali degli elementi geofisici della grotta. Essi precisano in ogni particolare il clima ed il microclima dell'ambiente ipogeo, sia come spazio a sè, cioè in valore assoluto, sia come spazio riferito a quello epigeo, cioè considerato relativamente al clima della zona sovrastante la grotta.

La grotta, detta « Gigante » per la particolarità di essere costituita da una unica enorme caverna, è situata nell'altipiano carsico, sei chilometri a Nord di Trieste, con l'apertura del pozzo d'ingresso a 269 m sul l.m.m. Dal pozzo, profondo 12 m, parte una ripida galleria che sbocca, alla profondità di circa 30 m nella cavità principale. Questa comprende una grande cavità, lunga 280 m, larga 60 m e alta 115 m. Il fondo è a 150 m sul livello del mare e a 121 m dalla superficie esterna.

La grotta comunica con l'esterno attraverso due aperture. Una comprende il pozzo e la galleria d'ingresso. Questa nel punto più stretto è chiusa da una porta di ferro, sopra la quale vi è un'apertura di cm 40 per cm 20, attraverso questa l'aria circola liberamente. L'altra apertura è il cosiddetto « ingresso alto », che si apre in una piccola concavità del terreno e che finisce nel vuoto sopra la parte centrale delle grotte. L'ingresso di questa breve galleria lascia libera un'apertura di circa quattro metri quadrati. Dal punto di vista meteorologico questa è la comunicazione con l'esterno più importante della grotta.

Le condizioni climatiche interne, determinate nei cinque anni considerati, si riferiscono alla situazione degli ingressi ora descritti e che era tale pure negli ultimi decenni. Eventuali successive piccole variazioni delle aperture non dovrebbero modificare sostanzialmente le condizioni climatiche interne.

Le misure sono state eseguite in sei stazioni interne alla grotta ed in una esterna. Quelle interne sono situate in posti di disagiata accesso. Pertanto ogni serie di misure ha richiesto notevole spirito di sacrificio da parte degli osservatori, tanto più che le misure

furono eseguite tutti i mesi per cinque anni consecutivi. Con particolare passione si dedicarono ad esse i due speleologi Fabio Forti e Tullio Tommasini, che vivamente ringrazio per la loro preziosa collaborazione. Ringrazi pure i Presidenti della Commissione Grotte e della Società Alpina delle Giulie di Trieste che in ogni maniera agevolarono queste ricerche.

2. - *Le condizioni climatiche esterne.* — Il paesaggio e il clima sono quelli tipici dell'altipiano carsico del Mediterraneo settentrionale. Calcari erosi dalle acque e dal vento, scheggiati dagli sbalzi di temperatura e dal gelo, biancheggiano tra il territorio rossastro, la magra erba ed i scarsi cespugli. Durante l'inverno pochi centimetri di neve coprono il suolo per una o due settimane.

Il clima della zona risente molto i fattori continentali del retroterra e, pur essendo vicina al mare, ne è separata climaticamente da questo dal sollevamento marginale carsico. Le normali condizioni meteoriche sono perturbate, specialmente nell'inverno, dal violento vento da ENE, detto « bora » che, con i suoi caratteri di vento freddo e secco, ostacola la vita di una vegetazione che altrimenti potrebbe essere meno povera. La temperatura media annua è di 11,1 °C ed è di 3 °C inferiore a quella di Trieste. La posizione elevata e vicina al mare comporta una precipitazione piovosa e nevosa maggiore di quella di Trieste.

Presentiamo nella tab. I i valori medi mensili della temperatura, della precipitazione, dell'umidità e del vento rilevati a Opicina, situata nelle stesse condizioni di terreno, 3 km a SE della grotta. Nella prima riga sono date le temperature medie mensili dedotte da 25 anni di osservazioni, nella seconda riga i valori medi dei massimi mensili avuti in ciascun anno e nella terza riga le corrispondenti medie delle temperature minime. Nella colonna dei valori annui è data la temperatura media annua e la media di tutti i massimi e di tutti i minimi annui del periodo considerato.

Le precipitazioni sono date in mm di altezza e comprendono pioggia e neve fusa. L'umidità è quella relativa, la velocità media mensile del vento è misurata in km/ora. Per giorno con pioggia s'intende quello con una precipitazione maggiore od uguale a 0,1 mm; analogamente per la neve, avendosi considerato 1 mm di altezza di neve caduta uguale a 0,1 mm di acqua fusa. Nell'ultima riga è indicato per ciascun mese il numero di giorni con temporale.

3. - *Le stazioni meteorologiche interne.* — Mentre tutta la cavità sotterranea, considerata nel suo insieme, presenta un determinato carattere climatico, è evidente che i diversi siti interni hanno condizioni microclimatiche diverse. La conoscenza precisa di questi stati fisici è la necessaria premessa per ogni ulteriore ricerca sia di meteorologia che di geofisica e biologia ipogea. In particolare poi tali dati saranno indispensabili per lo studio statico e dinamico delle masse d'aria interne. Tenendo conto di dette esigenze furono scelti nella grotta sei posti di stazione interni ed uno esterno. Le determinazioni meteorologiche sono state pertanto eseguite sempre nelle stesse sette stazioni.

1. — Esterna, quota del suolo m 269, ad una decina di metri dell'ingresso attuale alla grotta, sopra un terreno pianeggiante, sassoso con parziale copertura erbosa.
2. — Interna, q. m 245, profondità m 24, dopo il pozzo d'ingresso alla fine della galleria inclinata, qualche metro sotto la porta di ferro.
3. — Interna, q. m 168 (prof. m 100), bivio dei sentieri.
4. — Interna, q. m 150 (prof. m 119), piazzale sul fondo.
5. — Interna, q. m 190 (prof. m 79), sala dell'Altare.
6. — Interna, q. m 209 (prof. m 60), fine della cengia che sale lungo la parete NE alla Galleria Nuova.
7. — Interna, q. m 257 (prof. m 12), nella caverna dell'ingresso alto.

Le misure furono eseguite nell'ordine sopraindicato, nelle ore pomeridiane delle

Tab. 1. - Valori medi normali degli elementi del clima esterno

Elemento	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Anno
T. media	1.2	2.5	6.0	10.3	14.8	18.6	21.1	20.3	16.6	11.6	6.8	3.1	11.1
» » Max.	9.6	10.6	15.2	19.8	24.2	27.6	30.0	29.0	26.1	20.3	15.2	11.0	—
» » Min.	—	—	—	1.8	5.5	10.1	12.7	11.5	8.1	2.7	—	—	—
Prec. mm.	52	59	87	79	112	117	93	103	125	144	104	82	1158
Umidità %	67	67	66	64	64	63	62	61	64	69	69	70	66
Vento	9.6	9.7	10.5	8.4	7.5	7.3	7.6	6.8	7.3	11.4	9.0	10.6	8.8
N. g. piog.	6.0	6.9	9.4	9.4	11.9	11.1	8.8	8.3	9.1	10.9	9.1	8.4	109
N. g. neve	2.8	1.9	1.4	0.5	0.1	0	0	0	0	0.2	0.6	1.5	9
N. g. temp.	0.1	0.2	0.5	0.5	1.9	3.2	3.2	3.2	2.2	0.9	0.7	0.2	17

Tab. 2. - Temperature medie, estreme ed ampiezza dell'oscillazione nel quinquennio 1951-1955

Anni	Temperature nelle singole stazioni °C											Acqua cm. 5	Roccia cm.
	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
1951	11.9	10.4	9.7	9.7	9.7	9.7	9.4	9.6	9.6	9.6	43	9.6	—
1952	11.1	10.2	9.7	9.7	9.6	—	—	—	9.6	9.6	43	9.6	—
1953	11.2	9.9	9.9	9.9	9.8	—	—	—	9.9	9.9	43	9.7	9.6
1954	10.4	9.8	9.9	9.9	9.9	—	—	—	9.9	9.9	43	9.8	9.7
1955	10.5	10.0	10.0	10.1	10.0	—	—	—	10.1	10.1	43	9.9	9.8
Media	11.0	10.1	9.8	9.9	9.8	9.7	9.4	9.4	9.8	9.8	43	9.7	9.7
Mass.	—	11.0	10.4	10.4	10.4	10.0	11.7	11.7	10.4	10.4	43	10.0	10.0
Min.	34.0	8.7	9.2	9.3	9.1	9.0	6.5	6.5	9.1	9.1	43	9.3	9.5
Oscill.	44.3	2.3	1.2	1.1	1.3	1.0	5.2	5.2	1.3	1.3	43	0.7	0.5

giornate elencate nelle tab. 5 e 6. I termometri ad aspirazione furono tenuti ad 1,5 m. dal suolo, lontani dalla persona e illuminati con una piccola lampadina elettrica solamente per il tempo necessario alla lettura.

Le variazioni della temperatura nell'interno della grotta sono molto piccole. L'ampiezza dell'oscillazione annua al fondo è di 0,6 °C. Si è data perciò la massima importanza alla scelta, alla sensibilità, alla taratura degli strumenti e soprattutto alla esecuzione delle misure che furono fatte con tutti gli accorgimenti possibili affinché esse risultassero il più possibile esenti da errori.

Lo strumento fondamentale è stato lo psicrometro ad aspirazione Assmann. I suoi termometri sono isolati e schermati termicamente. I bulbi sono circondati da doppia schermatura metallica riflettente l'energia raggiante. La divisione è in $1/5$ °C, data la notevole ampiezza di una divisione la lettura è esatta sino ad $1/10$ °C. La velocità della corrente d'aspirazione lungo i bulbi è di 2,5 m/sec. Tutti i termometri usati sono stati confrontati periodicamente con un termometro campione, le correzioni sono inferiori ad $1/10$ °C, di queste si è sempre tenuto conto nel correggere la lettura. Per il bulbo bagnato si è usata acqua distillata, e ciò per evitare la formazione di incrostazioni.

La determinazione dell'umidità è stata fatta sulla base delle letture eseguite ai termometri asciutto e bagnato usando le apposite tabelle psicrometriche. Le letture venivano eseguite a temperatura stabilizzata e ripetute una seconda volta per controllo. Date tutte le precauzioni prese si ritiene che le misure rispecchino effettivamente le condizioni naturali dell'aria a m 1,5 dal suolo, con un errore inferiore a 0,1 °C.

4. - *La temperatura.* — Nelle tab. 5, 6 e 8 presentiamo le determinazioni termometriche corrispondenti ai singoli giorni di osservazione e a ciascuno dei sette posti di stazione. La stazione 1 è esterna alla grotta. Le stazioni 2-6 sono tutte interne. Il posto 7 è nella caverna dell'ingresso alto, in comunicazione quasi diretta con l'esterno, risente perciò notevolmente gli effetti delle condizioni epigee.

Riassumiamo nelle tab. 2, 3 e 4, per ciascuna posizione considerata, i valori medi ed estremi della temperatura e dell'oscillazione annua. Le medie annue delle stazioni 6 e 7 sono state dedotte solamente dai dati dell'anno 1951.

Per il sito n. 1, all'esterno dell'ingresso attuale, i valori dati in questa tabellina sono stati ricavati dalle osservazioni giornaliere eseguite nella stazione meteorologica di Villa Opicina. Essi risultano dedotti da serie complete e rappresentano perciò con maggiore precisione le condizioni climatiche esterne.

5. - *L'umidità dell'aria.* — L'umidità dell'aria è stata misurata mediante il psicrometro ad aspirazione Assmann descritto precedentemente. Dato lo stato di quasi saturazione dell'aria interna, per cui l'umidità relativa assume valori percentuali molto elevati, si è avuta la massima cura affinché il termometro bagnato funzioni sempre nelle condizioni più perfette possibili. Ciò si è ottenuto controllando il velo d'acqua trattenuto dalla garza, evitando che su questa e sul bulbo si formassero depositi calcarei e controllando la velocità della corrente d'aspirazione. Da confronti eseguiti con altri psicrometri è risultato che le misure eseguite possono ritenersi esatte a meno di una unità percentuale di umidità relativa.

Nelle tab. 7 e 8 si presentano i valori dell'umidità relativa in percento misurati in ciascuna stazione nei giorni d'osservazione. Nella stessa tabella è indicato lo stato del tempo all'esterno della grotta durante i pomeriggi nei quali furono eseguite le misure. Esso ha un valore relativamente scarso, dato che le variazioni meteoriche diurne esterne non alterano in modo apprezzabile le condizioni interne, specialmente quelle degli strati d'aria più bassi. Diamo per l'umidità relativa le due tabelle riassuntive 3 e 4 analoghe a quella della temperatura. Nella tab. 3 i dati del sito 1 sono stati ricavati dalle osservazioni giornaliere di Villa Opicina.

Tab. 3. - Valori medi, estremi ed ampiezza dell'oscillazione della temperatura e dell'umidità nel quinquennio 1951-1955

Anni	Staz. N. 5		Umidità relativa in percento						
	Max. ass.	Min. ass.	1	2	3	4	5	6	7
	1951	—	—	71	96	96	96	96	96
1952	—	—	66	96	95	95	95	95	—
1953	10.4	8.8	65	95	95	95	95	95	—
1954	10.3	8.7	66	96	95	95	95	95	—
1955	10.6	9.2	69	96	95	95	95	95	—
Media	10.4	8.9	67	96	95	95	95	96	94
Mass.	10.6	9.2	99	98	98	98	98	98	98
Min.	10.3	8.7	13	94	94	94	94	91	84
Oscill.	0.3	0.5	86	4	4	4	4	7	14
Umidità assoluta									
Media g/m ³			6.7	9.1	8.8	8.9	8.9	8.8	8.5
Mass. »			25.0	9.8	9.4	9.4	9.4	9.4	10.2
Min. »			1.2	8.1	8.4	8.4	8.4	8.0	6.3
Oscill. »			23.8	1.7	1.0	1.0	1.0	1.4	3.9

Tab. 4. - Aumento annuo delle medie quinquennali

Temperat.	Anno												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Staz. 2	9.6	9.3	9.4	9.8	10.3	10.4	10.5	10.6	10.7	10.5	10.1	9.8	10.1
Staz 3	9.6	9.5	9.5	9.7	9.9	9.9	10.0	10.1	10.1	10.1	10.0	9.8	9.8
Staz. 4	9.7	9.6	9.6	9.7	9.8	9.9	10.0	10.1	10.1	10.2	10.1	9.9	9.9
Staz. 5	9.6	9.3	9.4	9.6	9.8	9.9	10.0	10.0	10.1	10.1	10.0	9.8	9.8
Staz. 6	9.4	9.2	9.2	9.6	9.8	9.8	9.9	10.0	10.1	10.0	10.0	9.8	9.7
Media	9.6	9.4	9.4	9.7	9.9	10.0	10.1	10.2	10.2	10.2	10.0	9.8	9.9
Roccia 43	9.6	9.5	9.5	9.6	9.7	9.7	9.8	9.8	9.9	9.9	9.9	9.8	9.7
Roccia 117	9.7	9.6	9.6	9.6	9.6	9.7	9.7	9.8	9.8	9.9	9.9	9.9	9.7
Acqua	9.6	9.5	9.4	9.6	9.7	9.8	9.9	9.9	9.9	10.0	10.0	9.9	9.7
Umid. rel.													
Staz. 2	96	95	95	95	95	95	96	96	96	96	96	96	96
Staz. 3	95	94	95	96	96	96	95	96	96	96	95	95	95
Staz. 4	95	94	95	96	96	96	96	96	96	96	95	95	95
Staz. 5	93	94	95	96	96	96	96	96	97	96	95	95	95
Staz. 6	92	94	94	95	97	96	93	95	97	90	94	92	96
Media	94	94	95	96	96	96	95	96	96	95	95	95	95
Umid. ass.	8.6	8.5	8.6	8.9	9.0	9.1	9.0	9.2	9.2	9.1	9.0	8.8	8.9

Dai valori dell'umidità relativa presentati nelle diverse tabelle si possono facilmente ricavare, mediante le tabelle psicrometriche, le temperature del termometro con bulbo bagnato (che non sono state presentate per economia di spazio). Esse possono interessare in quanto che danno le temperature della materia (roccia, fango, metallo, ecc.) bagnata, ciò che nella grotta è molto comune. È però facile vedere che tali temperature risultano di pochi decimi di grado (da 0,1 a 0,5 °C) inferiori a quelle segnate dal termometro normale, cioè a bulbo asciutto.

Dalle stesse tabelle contenenti i valori dell'umidità relativa, usando sempre le tavole psicrometriche, si possono dedurre le tensioni del vapore acqueo contenuto nell'aria in quelle condizioni. E, conoscendo la tensione del vapore e la temperatura dell'aria, mediante la formula

$$U \text{ ass.} = \frac{1,06.e}{1 + \alpha t}$$

(U ass. = umidità assoluta; e = tensione del vapore in mm. di altezza di mercurio; $\alpha = 1/273,2$; t = temperatura del momento) si ottiene l'umidità assoluta in grammi di acqua per metro cubo di aria. Diamo nelle tab. 3 e 4 un riassunto dei valori dell'umidità assoluta dedotti, con la relazione sopra indicata, dalle tabelle della temperatura e dell'umidità relativa.

5. - *La temperatura dell'acqua.* — Tra le stazioni 4 e 5 vi sono alcune vaschette che generalmente sono piene d'acqua. Solo in periodi estivi di notevole siccità rimangono secche. La principale di esse ha circa 2 m² di superficie ed una profondità di una decina di cm. In questa vaschetta è immerso un termometro a mercurio, con divisioni della scala in 1/5 °C, è però bene apprezzabile la frazione 1/20 °C. Il termometro è stato tarato e controllato come quelli già descritti. I dati ottenuti dalle letture periodiche sono presentati nelle tab. 5, 6 e nelle tabelline 2 e 4. Essi sono corretti e ridotti ad 1/10 °C. Nelle tab. 5 e 6 l'indicazione asc. significa bacino asciutto.

La temperatura media dei 5 anni risulta di 9,8 °C. È di 1/10 °C inferiore a quella dell'aria circostante. Ciò è dovuto all'evaporazione, la quale produce un abbassamento di temperatura nell'acqua evaporante. La massima temperatura osservata nel quinquennio è stata di 10,4 °C e quella minima di 9,1 °C. L'escursione massima risulta di 1,3 °C, quella media annua di 0,6 °C. La massima temperatura annua si ha verso la metà di ottobre. La minima verso la metà di marzo. Il ritardo di fase medio rispetto all'andamento termico esterno è di 9 settimane; risulta di 11 settimane per il riscaldamento e di 7 settimane per il raffreddamento. Si vedrà più avanti la causa di questa asimmetria.

6. - *La temperatura della roccia.* — Al fondo della grotta, nella parete verticale Ovest, alla quota di 150 m e a 119 m di profondità, sono stati eseguiti due fori orizzontali del diametro di 3 cm, uno profondo 45 cm e l'altro 120 cm. In essi, con i bulbi a 43 e a 117 cm di profondità, sono stati immessi due sensibilissimi termometri a mercurio con la divisione in 1/10 °C, è apprezzabile la lettura di 1/20 °C. Il grosso bulbo è stato circondato da sostanze termicamente isolanti, in modo che estraendo il termometro dal foro non si abbia, per alcuni minuti, variazione nella indicazione della temperatura. Nel foro, con lo strumento in sito, sono stati messi numerosi diaframmi isolanti. I due termometri sono stati tarati come i precedenti.

La temperatura media del quinquennio è stata in tutti e due i casi di 0,7 °C. La massima temperatura è stata di 10,0 °C, la minima di 9,3 e 9,5 °C. L'escursione massima nei cinque anni è stata di 0,7 °C per il termometro a 43 cm e di 0,5 °C per quello a 117 cm, l'oscillazione media annua è di 0,4 °C nel primo caso e di 0,3 °C nel secondo.

TAB. 5. - Temperature dell'aria, dell'acqua e della roccia

Data	Stazioni							Acqua	Roccia cm. 43
	1	2	3	4	5	6	7		
1951									
7-1	5.7	10.2	9.5	9.5	9.4	9.4	7.6	9.7	9.5
21-1	4.8	10.3	9.5	9.5	9.3	9.3	6.5	9.5	9.6
4-2	4.0	10.0	9.3	9.4	9.1	9.0	7.5	9.5	9.4
18-2	6.7	10.4	9.6	9.6	9.5	9.6	8.3	9.6	9.4
4-3	4.4	9.9	9.4	9.5	9.3	9.0	6.6	9.5	9.4
18-3	10.5	10.3	9.5	9.6	9.5	9.4	9.2	9.3	9.4
1-4	10.4	10.2	9.6	9.5	9.5	9.5	8.7	9.5	9.4
15-4	14.0	10.0	9.7	9.8	9.6	9.7	9.5	9.5	9.4
29-4	12.5	10.5	9.7	9.6	9.6	9.7	9.6	9.5	9.5
13-5	10.5	10.5	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.6	9.5
27-5	23.3	10.6	9.7	9.8	9.7	9.7	10.2	9.6	9.6
10-6	20.3	10.6	9.7	9.8	9.8	9.8	10.3	9.6	9.6
1-7	15.6	10.6	9.8	9.8	9.9	9.9	11.2	9.6	9.7
22-7	24.8	10.7	9.9	9.9	9.9	9.9	11.0	10.0	9.7
5-8	23.8	10.7	9.9	9.9	9.8	10.0	11.4	asc.	9.7
26-8	24.2	10.9	10.0	10.0	10.0	10.0	11.5	asc.	9.8
23-9	19.4	11.0	10.0	10.0	10.0	10.1	11.7	asc.	9.8
14-10	12.4	10.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.4	9.9	9.8
4-11	7.5	10.7	10.0	10.0	10.1	10.0	9.6	9.9	9.8
25-11	10.0	10.8	9.9	10.0	9.9	10.0	9.5	9.9	9.8
9-12	6.7	10.6	9.6	9.7	9.6	9.6	8.3	9.6	9.7
29-12	6.6	10.4	9.5	9.5	9.5	9.4	7.2	9.5	9.5
1952									
20-1	5.2	9.8	9.3	9.3	9.3	9.3	7.0	9.4	9.4
17-2	2.1	9.1	9.4	9.3	9.2	9.0	6.6	9.2	9.3
16-3	5.4	9.3	9.2	9.4	9.1	9.1	7.1	9.1	9.3
20-4	15.0	9.8	9.4	9.4	9.3	—	—	9.3	9.4
18-5	16.5	10.2	9.5	9.5	9.5	—	—	9.5	9.5
2-6	24.4	10.4	9.7	9.6	9.7	—	—	9.7	9.6
20-7	26.3	10.6	10.0	9.9	10.0	—	—	asc.	9.7
24-8	21.8	10.7	9.9	10.0	9.8	—	—	asc.	9.7
28-9	16.1	10.8	10.2	10.0	10.0	—	—	9.8	9.8
3-11	10.1	10.6	10.0	10.0	10.0	—	—	10.1	9.8
30-11	8.6	10.5	10.0	10.0	9.9	—	—	10.0	9.8
14-12	6.3	10.4	9.9	9.9	9.8	—	—	9.9	9.7

TAB. 6. - Temperature dell'aria, dell'acqua e della roccia

Data	Stazioni					Acqua	Roccia	
	1	2	3	4	5		43	117
1953								
4-1	2.2	9.8	10.0	9.9	9.7	9.8	9.7	9.7
15-2	2.0	9.0	9.3	9.4	9.0	9.5	9.4	9.4
22-3	12.4	9.3	9.6	9.6	9.5	asc.	9.5	9.5
19-4	15.5	9.9	9.7	9.7	9.6	asc.	9.6	9.5
17-5	21.5	10.3	9.9	9.7	9.7	9.9	9.7	9.5
21-6	22.8	10.5	10.0	9.9	9.9	10.1	9.7	9.6
19-7	26.8	10.5	10.1	10.0	10.1	10.1	9.8	9.7
29-8	21.1	10.6	10.3	10.0	10.2	asc.	9.8	9.7
20-9	19.8	10.4	10.3	10.1	10.2	asc.	9.9	9.7
18-10	18.7	9.9	10.2	10.1	10.1	asc.	9.9	9.7
15-11	11.2	9.5	10.1	10.1	10.0	9.9	9.9	9.7
20-12	6.8	8.9	9.7	10.0	9.9	9.9	9.8	9.8
1954								
24-1	-4.2	8.7	9.6	9.8	9.8	9.8	9.7	9.7
14-2	5.4	8.8	9.6	9.7	9.6	9.8	9.6	9.7
7-3	9.9	9.1	9.6	9.6	9.5	9.7	9.5	9.7
10-4	11.6	9.4	9.7	9.6	9.6	9.8	9.6	9.6
27-5	23.2	10.1	10.0	9.8	9.8	9.9	9.7	9.6
29-6	23.4	10.3	10.1	10.0	10.0	10.1	9.8	9.7
25-7	26.8	10.3	9.9	10.0	10.0	10.1	9.8	9.7
15-8	20.4	10.4	10.0	10.1	10.0	asc.	9.8	9.7
5-9	25.5	10.5	10.0	10.2	10.0	asc.	9.9	9.8
17-10	20.7	10.5	10.1	10.3	10.1	10.2	9.9	9.9
21-11	2.6	9.7	10.0	10.1	10.0	10.1	9.9	9.9
19-12	4.1	9.6	9.9	10.1	9.9	10.0	9.8	9.8
1955								
9-1	6.5	9.5	9.8	10.1	9.8	10.0	9.8	9.8
13-2	2.9	9.3	9.7	9.9	9.6	9.9	9.7	9.7
13-3	5.7	9.2	9.6	9.8	9.6	9.9	9.7	9.7
17-4	8.5	9.5	9.8	9.9	9.8	10.0	9.8	9.7
22-5	10.5	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	9.9	9.8
12-6	17.2	10.3	10.1	10.2	10.1	10.1	9.9	9.8
17-7	29.3	10.4	10.1	10.2	10.1	asc.	10.0	9.8
21-8	25.5	10.5	10.2	10.2	10.2	asc.	10.0	9.9
25-9	18.5	10.7	10.2	10.1	10.3	10.4	10.0	9.9
23-10	16.2	10.7	10.4	10.4	10.4	10.4	10.0	10.0
20-11	3.4	10.0	10.1	10.3	10.1	10.2	10.0	10.0
18-12	5.6	9.6	10.0	10.1	10.0	10.1	9.9	10.0

TAB. 7. - Umidità relativa e stato del tempo

Data	Stazioni							Stato del tempo
	1	2	3	4	5	6	7	
1951								
7-1	87	98	98	97	96	96	95	coperto, aria calma
21-1	62	96	95	96	96	94	88	vario, vento debole ENE
4-2	81	96	95	95	95	95	92	piovoso, aria calma
18-2	83	98	98	97	97	95	96	piovoso
4-3	58	97	96	95	95	96	85	vario, aria calma
18-3	87	95	97	97	96	98	98	piovoso
1-4	76	96	96	97	95	96	95	piovoso
15-4	72	97	97	96	97	96	93	vento moderato ENE
29-4	86	95	97	98	98	98	97	piovoso, aria q. calma
13-5	54	97	98	97	98	98	97	sereno, vento forte ENE
27-5	59	96	97	96	97	97	96	vario, aria q. calma
10-6	57	96	97	96	97	97	96	coperto, aria calma
1-7	54	96	97	98	98	98	95	coperto, vento mod. ENE
22-7	56	97	96	97	97	98	88	vario, venti deb. W
5-8	60	97	98	98	98	96	91	sereno, venti deb. SW
26-8	65	95	96	96	97	98	98	coperto, vento legg. W
23-9	63	97	96	96	96	97	97	coperto, vento deb. W
14-10	42	95	96	97	97	96	89	sereno, vento forte ENE
4-11	78	96	96	96	95	96	93	piovoso, aria q. calma
25-11	68	96	95	95	95	96	95	vario, aria calma
9-12	81	96	96	96	95	95	95	coperto, aria calma
29-12	54	94	94	96	93	94	88	coperto, vento deb. ESE
1952								
20-1	26	96	95	95	90	91	85	sereno, aria calma
17-2	62	95	94	95	93	94	84	vario, vento mod. ENE
16-3	43	94	94	94	94	95	86	sereno, aria q. calma
20-4	56	95	95	95	95	—	—	sereno, aria calma
18-5	42	96	96	96	95	—	—	vario, aria q. calma
2-6	36	96	95	96	96	—	—	vario, venti legg. NNW
20-7	51	97	94	95	94	—	—	sereno, venti legg. W
24-8	60	96	96	94	97	—	—	coperto, vento mod. ENE
28-9	79	95	96	96	98	—	—	sereno, venti legg. W
3-11	70	95	95	96	96	—	—	coperto, vento deb. ESE
30-11	95	95	95	95	96	—	—	nebbioso, aria calma
14-12	76	94	94	95	95	—	—	coperto, vento mod. ESE

TAB. 8. - Temperature massime, minime e umidità relativa

Data	Temp. aria		Stazioni					Stato del tempo
	max.	min.	1	2	3	4	5	
1953								
4-1	—	—	65	95	93	95	93	sereno, vento forte ENE
15-2	—	—	68	93	93	91	94	coperto, vento forte ENE
22-3	—	—	27	93	94	95	94	sereno, vento debole SW
19-4	—	—	35	95	96	96	96	sereno, vento debole SW
17-5	10.4	9.4	61	95	95	96	96	sereno, vento debole SW
21-6	9.8	9.5	61	95	96	96	95	vario, aria calma
19-7	9.8	9.7	53	98	95	95	95	coperto, vento mod. S
29-8	10.0	9.7	68	96	93	96	95	sereno, aria calma
20-9	10.2	9.5	74	97	95	95	96	coperto, vento debole SW
18-10	10.3	9.2	64	98	96	96	96	coperto, vento debole NW
15-11	10.4	9.0	52	98	95	94	95	vario, aria quasi calma
20-12	10.3	8.8	78	97	94	94	95	coperto, vento mod. ENE
1954								
29-1	10.2	8.7	36	96	92	91	93	sereno, vento legg. ENE
14-2	9.9	8.7	88	96	93	93	94	coperto, vento debole E
7-3	9.6	8.8	82	95	94	94	94	sereno, vento debole ENE
10-4	9.6	9.2	29	96	95	96	95	sereno, vento mod. ENE
27-5	9.8	9.4	45	93	94	96	96	vario, vento debole W
29-6	9.9	9.6	59	98	94	96	98	sereno, vento mod. ENE
25-7	10.0	9.6	51	95	96	96	96	sereno, vento debole W
15-8	10.1	9.7	70	96	96	96	96	coperto, vento mod. ESE
5-9	10.1	9.8	53	96	96	95	98	sereno, vento debole W
17-10	10.2	9.8	45	96	96	94	96	sereno, vento debole W
21-11	10.2	9.7	50	98	95	96	93	sereno, vento mod. ENE
19-12	10.3	9.7	52	96	96	95	94	sereno, vento legg. ENE
1955								
9-1	10.3	9.7	60	95	96	95	95	coperto, vento forte ENE
13-2	10.0	9.4	72	95	95	94	94	vario, vento legg. WSW
13-3	9.9	9.3	61	94	96	94	95	sereno, vento forte ENE
17-4	9.9	9.2	59	94	95	95	96	vario, vento legg. WSW
22-5	10.0	9.3	79	95	95	95	96	vario, vento moderato W
12-6	10.2	9.4	45	96	95	96	96	vario, vento debole ENE
17-7	10.5	9.6	42	95	95	95	95	vario, vento deb. NNW
21-8	10.6	9.8	34	98	96	96	96	sereno, vento mod. ENE
25-9	10.3	9.9	62	98	98	99	96	sereno, aria calma
23-10	10.2	9.9	48	98	95	95	95	sereno, vento deb. NW
20-11	10.2	9.8	68	95	95	94	96	sereno, vento forte ENE
18-12	10.3	9.6	87	96	94	94	95	coperto, vento deb. WNW

Il ritardo di fase medio rispetto all'esterno è di circa 10 settimane. La roccia in quel sito assume la massima temperatura alla fine di ottobre, la minima a metà marzo. Con i dati dei due geotermometri si possono determinare i coefficienti di conducibilità termica e calorifica della roccia in sito.

6. - *La grotta quale cavità barometrica.* — La grotta si trova nelle migliori condizioni per agire quale enorme e sensibilissima cavità barometrica a temperatura costante. Se la pressione atmosferica esterna è in aumento si ha nelle due aperture una corrente entrante; se è in diminuzione, la corrente è uscente. Particolarmente intenso è il fenomeno alla porta dell'attuale ingresso dove la galleria inclinata presenta una strozzatura. Data la vastità della grotta basta ogni minima variazione di pressione esterna per produrre correnti d'aria anche forti. Da confronti eseguiti con un microbarometro risulta che variazioni della pressione atmosferica dell'ordine di 0,01 millibar producono correnti dell'ordine di parecchi cm/sec. Allo scopo di determinare qualitativamente e quantitativamente il fenomeno, sono state eseguite misure dell'intensità delle correnti d'aria alla porta d'ingresso, all'apertura alta e in altri punti della grotta. È stato usato un anemometro ad elica multipla con otto pale per correnti debolissime.

La pressione atmosferica è soggetta a continue fluttuazioni aventi periodi dell'ordine di giorni, ore e minuti. Su queste si sovrappongono oscillazioni più regolari di piccola ampiezza e di breve periodo, dette microscillazioni. Il loro periodo varia da pochi secondi a qualche decina di secondi. La grotta si comporta così bene da cavità barometrica che tutte le suddette fluttuazioni sono state messe in evidenza mediante osservazioni anemometriche eseguite alla porta dell'ingresso attuale. Con pressione atmosferica livellata furono ripetutamente determinate correnti alternate aventi periodi di circa 15 secondi, 30 secondi e 60 secondi. Queste rapide oscillazioni atmosferiche si osservano solo in corrispondenza alle perturbazioni atmosferiche che si sviluppano nella formazione e negli spostamenti dei fronti atmosferici.

7. - *Le correnti d'aria di densità.* — Queste correnti sono causate dalle differenti condizioni igrotermiche esistenti tra le masse d'aria esterna ed interna. Da novembre a marzo la temperatura esterna è minore di quella interna. Si ha pertanto una discesa di aria fredda lungo la parte inferiore della galleria d'ingresso ed un'ascesa di aria relativamente più calda e umida lungo la loro parte superiore. Durante i mesi estivi ed autunnali, essendo l'aria esterna più calda dell'interna, non si osservano normalmente queste correnti di densità. Quale effetto della variazione diurna della temperatura epigea si ha nelle due gallerie una circolazione analoga a quella ora descritta; il loro periodo è di circa 12 ore, esse interessano solo gli strati d'aria più elevati della grotta. Durante la notte e nelle prime ore del mattino le correnti discendenti sono notevoli, specialmente nelle stagioni primaverili e autunnali.

Complesso risulta perciò negli ingressi il moto risultante. L'effetto della pressione esterna può essere concordante o opposto a quello della densità. Si hanno nel primo caso forti correnti discendenti lungo la parte inferiore delle due gallerie. Specialmente in quella dell'ingresso attuale, perchè più strozzata, si possono raggiungere velocità tali da spegnere facilmente una candela ed anche una fiamma di acetilene. Sono state misurate velocità massime di 3 m/sec., le correnti normali sono invece dell'ordine di 0,2 a 0,5 m/sec.

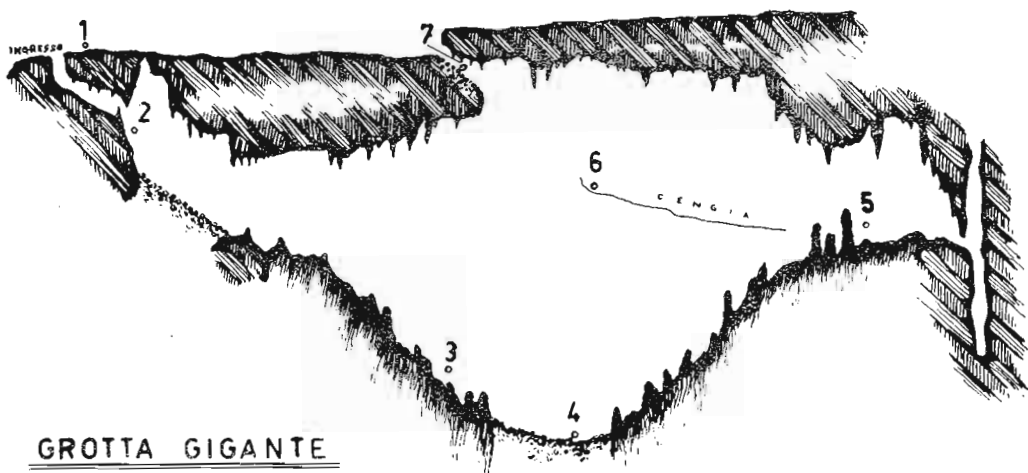
Negli strati superiori della grande caverna si notano ancora correnti d'aria, sono molto deboli ed hanno velocità dell'ordine di pochi cm/sec. Seguono gli stessi ritmi di quelle delle gallerie d'accesso. Le direzioni convergono verso le uscite in sensi concordanti con quelli che si osservano agli ingressi.

Verso il fondo della grotta le intensità correnti d'aria si smorzano sino a non essere più apprezzabili. Durante la stagione invernale si ha una graduale discesa di aria fredda. Questa è rallentata nelle stagioni intermedie ed è nulla durante l'estate. Il raffreddamento convettivo della massa d'aria inferiore non è compensato che da limitatissimi moti convettivi ascendenti. Prevale complessivamente la discesa d'aria fredda. Conseguo da ciò che al fondo della grotta l'aria ha una temperatura inferiore a quella media annua esterna. Questa è di 11,1 °C, quella in fondo alla grotta 9,8 °C. La differenza di 1,3 °C mette in evidenza la realtà del fenomeno descritto.

8. - *Le condizioni climatiche nella grotta.* — Nei capitoli precedenti è stato esaminato il comportamento dei singoli elementi meteorici. Consideriamoli ora nel loro insieme per avere una visione generale del clima ipogeo della cavità.

La temperatura media normale del quinquennio per le stazioni completamente interne n. 2-5 è di 9,9 °C, con una escursione media annua di 0,8 °C. L'umidità relativa media dei cinque anni è del 95 per cento, con una escursione media annua di 2 per cento. In tutto l'interno della grotta le condizioni climatiche risultano molto uniformi. esse assumono carattere di grande costanza specialmente negli strati inferiori. Si possono perciò distinguere nella grotta due zone d'aria sovrapposte, circa della stessa altezza, senza netti confini fra loro.

Consideriamo la regione inferiore. Essa comprende le stazioni n. 3, 4 e 5. La temperatura media annua è di 9,8 °C con una escursione media di 0,6 °C. La differenza fra la massima e la minima temperatura osservata nei cinque anni è stata di 1,3 °C; all'esterno l'analoga differenza risulta di 44 °C. La temperatura più alta si raggiunge nella seconda settimana di ottobre, cioè undici settimane dopo quella epigea. La minima temperatura si ha nella prima settimana di marzo cioè solo dopo sei settimane dal minimo esterno. Questa differenza tra i due ritardi si giustifica col fatto che il raffreddamento degli strati bassi avviene soprattutto per rapida convezione (discesa d'aria fredda) mentre il riscaldamento è dovuto soprattutto alla lenta conduzione, dato che il trasporto d'aria fredda verso l'alto è quasi inesistente.



GROTTA GIGANTE

L'umidità relativa, per le continue filtrazioni d'acqua e la quasi assenza di moti d'aria, si mantiene costantemente molto alta. La media di cinque anni è del 95 per cento con una escursione annua del solo 2 per cento. Il valore minimo si ha in febbraio (94 per cento) e il massimo in settembre (96 per cento). L'umidità assoluta, cioè il numero di grammi d'acqua contenuti in un metro cubo d'aria, è di 8,8 g/m³ nella media quinquennale. L'oscillazione annua è in media di 0,7 g/m³, e massima nei primi giorni di settembre e minima in febbraio.

L'acqua nelle vaschette ha avuto una temperatura media di 9,8 °C, è stata di 0,1 °C inferiore a quella dell'aria, ciò è giustificato dal raffreddamento prodotto dall'evaporazione. L'acqua che cola lungo le stalattiti e le pareti, per lo stesso motivo, assume temperature che sono di 0,1 - 0,3 °C inferiori a quelle dell'aria circolante. Le correnti d'aria sono nulle in questa zona, le variazioni meteoriche diurne esterne non risultano apprezzabili.

Nello spazio superiore, situato cioè tra gli ingressi e la profondità di circa 60 m, circolano deboli correnti d'aria, dovute specialmente alle variazioni della pressione esterna. Esse sono più intense verso le due aperture e più smorzate verso il basso. Questi moti perturbano lievemente le condizioni di stabilità di questa zona, senza per altro alterare notevolmente le condizioni climatiche che sono poco diverse da quelle della zona inferiore. Le temperature medie sono leggermente più alte delle masse d'aria sottostanti (non si è tenuto conto dei valori delle stazioni 6 e 7 riguardanti un solo anno di misure), l'escursione annua è pure maggiore, l'umidità invece leggermente superiore, e ciò, rendendo meno densa l'aria, contribuisce a mantenere stabile la stratificazione.

Nelle due gallerie degli ingressi queste condizioni variano rapidamente quanto più si va verso l'esterno. In questa zona sono comprese le due stazioni n. 2 e 7. La prima situata nella parte più bassa della galleria, è in immediata comunicazione con la cavità principale e partecipa pertanto alle condizioni climatiche interne. La stazione n. 7 situata nella galleria alta, che è larga e breve, risente notevolmente delle condizioni esterne e non va pertanto compresa fra le stazioni della cavità principale.

Nel complesso la massa d'aria della grotta si presenta in tutte le stagioni con una stratificazione igrotermica diretta, anche se appena apprezzabile. La temperatura e la umidità diminuiscono verso il basso e ciò conferisce alla massa d'aria un equilibrio stabile che rende possibile la costanza e l'uniformità delle condizioni climatiche interne.

Nel semestre invernale, attraverso le due aperture, si ha una graduale discesa d'aria fredda che mantiene l'aria al fondo ad una temperatura inferiore a quella sovrastante e alla media annua esterna. E ciò rende possibile la stabilità nel sistema stratificato della massa d'aria interna.

BIBLIOGRAFIA

- CRESTANI G. e ANELLI F., *Ricerche di meteorologia ipogea nelle Grotte di Postumia*. Uff. Idrogr. del Magistrato alle Acque. Pubbl. N. 143, Roma, 1939.
- POLLI S., *Dati climatici di Trieste e dintorni*. Ist. Talassograf. Trieste, Pubbl. N. 284 (1953).
- POLLI S., *Meteorologia Ipogea nella Grotta Gigante presso Trieste*. Atti del I Congresso di Speleologia. Parigi, 1953, Vol. II, Sez. 2. Pure in: *Atti Giulie, Trieste*, Vol. 52 (1953), pag. 22-32.
- POLLI S., *La Grotta Gigante del Carso di Trieste quale cavità barometrica*. Atti del VI Congr. Naz. di Speleologia, Trieste, 30 sett. - 2 ott. 1954.
- POLLI S., *Sulle misure di meteorologia ipogea*. Atti del VI Congr. Naz. di Speleologia, Trieste, 30 settembre - 2 ottobre 1954.
- TROMBE F., *Traité de spéléologie*. Bibli. scientif. Payot, Paris, 1932.
- VERCELLI F., *Il regime termico nelle Grotte di S. Canziano*. Grotte d'Italia (I Serie).

