

PREMIER CONGRÈS INTERNATIONAL DE SPÉLÉOLOGIE

PARIS — 1953

Silvio POLLI

Meteorologia ipogea
nella Grotta Gigante presso Trieste

Extrait des publications du Congrès — Tome II — Section 2

ALPINA DELLE GIULIE
TRIESTE DEL C.A.I.

115C

88

BIOTECA

Silvio POLLI (1)

Meteorologia ipogea nella Grotta Gigante presso Trieste (2)

Résumé

La grotte « Gigante » est située sur le plateau du Carso de Trieste, 6 km au Nord de cette ville. L'entrée est à 269 m au-dessus du niveau moyen de la mer. C'est une vaste cavité naturelle de 280 m de longueur, 120 m de hauteur et 60 m de largeur. Le fond est à 150 m au-dessus du niveau de la mer et à 120 m de la surface. La grotte est en communication avec l'extérieur grâce à deux ouvertures : une, au-dessus de la partie centrale de la grotte, constituée d'une galerie courte et en forte pente, ayant une section d'à peu près 20 m² ; l'autre, à l'extrémité nord de la grotte, est formée d'un petit puits suivi d'une galerie inclinée, ayant une section d'à peu près 5 m². Cette galerie est généralement fermée par une porte de fer au-dessus de laquelle il y a une ouverture de 8 dm². A chaque variation, même minime, de la pression atmosphérique interne, correspond un courant d'air notable qui s'infiltré dans les entrées. Ont été mesurés des courants dus à des micro-oscillations barométriques de l'ordre de 0,01 millibar (0,0075 mm de mercure). Ces courants ont des rythmes alternés, avec des périodes qui vont de peu de secondes à une minute. Très régulières furent les oscillations des courants d'air avec les périodes de 10-15 sec, de 25-30 sec et de 55-65 sec. Celles-ci furent en parfaite concordance avec les enregistrements d'un microbarographe externe.

Vers la fin de l'année 1950, sur l'initiative et grâce à l'aide de la « Commissione Grotte » de la « Società Alpina delle Giulie », section de Trieste du « Club Alpino Italiano », et avec la collaboration de « l'Institut Talassographique de Trieste », ont été exécutées dans l'intérieur de la grotte des mesures régulières et périodiques des principaux éléments météorologiques. Dans cette relation, on présente les résultats des déterminations exécutées dans les deux années 1950 et 1951.

Etant donné la petite variation annuelle de la température interne, les mesures ont été exécutées toutes les deux semaines. Furent choisis 7 postes de stations, indiqués avec des numéros allant de 1 à 7. Le n° 1 est à l'extérieur de la caverne, les numéros 2 et 7 dans les deux galeries d'entrée, les numéros 3, 4, 5 et 6 sont à l'intérieur de la caverne, le numéro 3 à côté du fond et le 4 au fond de la grotte.

Toutes les mesures furent prises avec des instruments de précision contrôlés et échantillonnés dans le laboratoire de physique de l'Institut déjà nommé. Elles furent exécutées avec toutes les précautions nécessaires pour éviter toute erreur. Pour les températures et pour l'humidité, on se servit du psychromètre à aspiration Assmann-Fuess avec division de l'échelle en 1/5 de degrés C. Pour les températures de l'eau et de la roche, on se servit de thermomètres de précision gradués en dixièmes de degrés. Les lectures furent faites au 1/20 et ensuite réduites au 1/10. Dans tous les cas, les erreurs sont inférieures à 1/10 de degré C. La température de l'eau est celle d'un petit bassin situé entre les stations 4 et 5. La température de la roche est mesurée à l'extrémité d'un trou horizontal de 43 cm de profondeur pratiqué dans le calcaire compact de la paroi au fond de la grotte.

Pour mieux comprendre les données des mesures internes, nous donnons dans le tableau suivant les valeurs de températures mesurées à la surface durant un intervalle de 12 mois.

(1) Geofisico all'Istituto Talassografico, Trieste.

(2) Communication présentée le 9 septembre 1953.

Température	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	An.
Moyenne.....	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
Moy. 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	30.6
Moy. min.....	-7.7	-5.9	-3.1	1.8	5.5	10.1	12.7	11.5	8.1	2.7	-2.0	-5.0	-8.8

Dans les tableaux suivants nous donnons un résumé des mesures exécutées dans la grotte dans les deux années d'examen.

*Températures extrêmes moyennes et oscillation moyenne
dans les deux années 1951-52, en degré centigrade.*

Température	1	2	3	4	5	6	7	eau	roche
max.....	35.0	11.0	10.0	10.0	10.1	10.1	11.7	10.1	9.80
min.....	-5.5	9.1	9.2	9.3	9.1	9.0	6.5	9.1	9.30
moy.....	11.0	10.4	9.7	9.7	9.7	9.6	9.2	9.6	9.60
osc.....	39.4	1.4	0.9	0.7	1.0	1.1	5.2	0.9	0.45

Dans toute la grotte, les conditions climatiques sont très uniformes, mais particulièrement dans les couches inférieures elles prennent un aspect de grande stabilité. Dans la zone inférieure, qui comprend les stations 3, 4, 5 et 6, la température moyenne est de 9°7, inférieure de 1°4 relativement à la température de l'extérieur, la variation annuelle est de 0°8. La température maximum se vérifie dans les premières semaines d'octobre, c'est-à-dire 10 semaines après le maximum externe ; la température minimum se vérifie dans les premiers jours du mois de mai, c'est-à-dire 6 semaines seulement après la température minimum externe. Cette différence dans les retards se justifie par le fait que le refroidissement des couches basses advient par convection (descente d'air froid), tandis que le réchauffement est dû surtout à la conduction, étant donné que le transport d'air froid vers le haut est très limité. Ce fait fondamental justifie aussi la différence entre la température moyenne externe et celle interne.

*Humidité extrême moyenne et oscillation maximum
dans les deux années 1951-52 (en pourcents)*

	1	2	3	4	5	6	7
Max.....	97	99	99	99	99	99	98
Min.....	26	94	93	94	90	91	85
Moy.....	67.5	96.2	96.1	96.6	96.2	96.7	93.7
Osc.....	71	5	6	5	9	8	13

L'humidité relative est en moyenne de 96,3 %, l'oscillation annuelle est de 4 %. L'eau du bassin a une température de 0°1, inférieure à celle de l'air, et cela en raison du

refroidissement produit par l'évaporation. L'eau qui coule le long des stalactites et des parois a, pour la même raison, des températures de 0°1 à 0°3, inférieures à celle de l'air. Les courants d'air sont presque nuls. On a pendant les saisons hivernales une petite descente d'air froid le long des parois qui, maintenant l'air au fond à une température inférieure à la moyenne externe, rend possible la stabilité dans le système de la masse stratifiée.

Dans la section supérieure, circulent de légers courants dus spécialement aux variations de pression, ils se déclenchent vers le bas. Dans les galeries d'entrée, les courants sont au contraire très forts. Quand le courant annuel (de densité) s'ajoute aux effets de la pression, on peut rejoindre des valeurs de la vitesse de 2,5 m/sec, telles qu'elles peuvent éteindre une lampe à acétylène. Ces phénomènes altèrent peu les conditions climatiques de la zone inférieure. Les températures moyennes sont légèrement plus hautes que dans les couches près du fond, le maximum annuel de très peu supérieur, l'humidité inférieure.

En général, la masse d'air de la cavité se présente dans toutes les saisons avec une stratification thermique directe peu marquée, la température diminue vers le bas. Ceci lui confère un équilibre stable qui rend possibles la constance et l'uniformité des conditions climatiques internes.

I. PREMESSE

Sull'altipiano carsico, a 6 km. in linea d'aria da Trieste, verso N, a 269 m. sul livello medio del mare, si apre al fondo di un breve pozzo l'ingresso alla grande cavità naturale. Alcune serie di gradini portano nel pozzo e da questo, attraverso una ripida galleria, al margine della vasta caverna. Questa è 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. Queste quote e quelle dei punti interni della grotta, indicate più avanti in questa nota e nella figura allegata, sono state determinate mediante livellazione barometrica e pertanto risultano approssimate a meno di 1-2 metri. Sono attualmente in corso rilievi topografici e fotogrammetrici i quali daranno le posizioni esatte di tutti i punti notevoli della grotta.

Alla fine del 1950, per iniziativa e per cura della Commissione Grotte della Società Alpina delle Giulie, Sezione di Trieste del C.A.I. (Club Alpino Italiano) e con la collaborazione dell'Istituto Talassografico di Trieste, sono state iniziate nell'interno della grotta regolari e periodiche misure dei principali elementi meteorici. In questa relazione si presentano i risultati delle determinazioni eseguite nei due anni 1951 e 1952. Essi danno una chiara idea del clima ipogeo di quella grotta sia in senso assoluto che relativamente a quello della zona sovrastante. Notevole risulta il basso valore della temperatura media, la minima ampiezza della oscillazione annua, il ritardo di fase degli estremi interni rispetto a quelli esterni, l'alto valore dell'umidità relativa e le fluttuanti correnti agli ingressi. Quest'ultime risultano continue o alternate secondo che le variazioni della pressione atmosferica all'esterno sono lente o rapide. La grotta agisce in questi casi come enorme cavità barometrica e microbarometrica.

Per poter meglio determinare questi fenomeni è necessario precisare quali sono le comunicazioni della grotta con l'esterno. Originariamente vi erano tre aperture. Una sopra la parte centrale della grotta, detta « ingresso alto » ; una all'estremità Nord, che costituisce l' « ingresso attuale » ; ed una tra queste due ma più vicina all'ingresso Nord, detta « ingresso intermedio ». Questa è la più piccola ed è ora ostruita. E' stato da questo pozzo che il 20 aprile 1890 venne effettuata la prima discesa nella grotta.

L'ingresso alto è una breve galleria inclinata che si apre in una piccola concavità del terreno e che finisce nel vuoto sopra la parte centrale della cavità. La sezione di questa galleria, all'inizio della discesa, corrisponde ad una larghezza di circa 5 m e ad un'altezza di 3 m. L'ingresso è chiuso inferiormente da un muro che lascia libera superiormente un'apertura di circa 4 m. quadrati. Una

leggera inferriata impedisce il passaggio alle persone e ciò per evidenti motivi di sicurezza.

L'ingresso attuale è costituito da un pozzo profondo circa 12 m dal quale si diparte una ripida galleria che sbocca, alla profondità di circa 30 m, nella cavità principale. Nella strozzatura della galleria, in prossimità dello sbocco interno, vi è una porta di ferro di m 1 per m 2, chiusa generalmente. Sopra la porta, una apertura di cm 20 per 40, lascia circolare l'aria attraverso la galleria.

Le condizioni del clima ipogeo, determinate nei due anni considerati, si riferiscono alla situazione degli ingressi ora descritta, che era tale pure negli ultimi decenni. Se questa dovesse di poco modificarsi è probabile che le condizioni climatiche subirebbero solo minime variazioni.

All'esterno della grotta e in sei siti interni furono scelti i posti di stazione nei quali, ogni 2 settimane, vennero eseguite accurate determinazioni di termometria e psicrometria. Furono usati strumenti di precisione controllati nel laboratorio di fisica dell'Istituto Talassografico di Trieste. Per eseguire le misure occorreva raggiungere, da Trieste, la grotta, discendere nella stessa e salire nei siti prescelti. Il lavoro è tanto più notevole in quanto viene eseguito regolarmente durante tutte le stagioni e con tutti i tempi. Queste missioni furono eseguite con cura e abnegazione dagli speleologi della Commissione Grotte della Società Alpina delle Giulie di Trieste. Con particolare passione si dedicarono ad esse i due speleologi Fabio FORTI e Tullio TOMMASINI che vivamente ringrazio per la preziosa collaborazione. Ringrazio pure il Presidente della suddetta Commissione per l'interessamento avuto nella sistemazione degli apparecchi e il Direttore dell'Istituto Talassografico di Trieste per gli strumenti messi a disposizione.

II. LE CONDIZIONI CLIMATICHE ESTERNE

Il terreno è quello tipico delle zone carsiche. Calcarei erosi e tormentati dall'azione chimica e fisica delle acque, scheggiati dal gelo e dal sole, biancheggiano tra il terriccio rossastro e i pochi ciuffi di un'erba stentata, sottile e bassa. Qualche piccolo fiore e qualche cespuglio di biancospino ravvivano un po' il paesaggio. Assenzio, timo e origano aromatizzano acutamente l'aria rendendo indimenticabili i tardi pomeriggi estivi ivi trascorsi.

La zona è situata in una lievissima depressione dell'altipiano che degrada lentamente verso NW. Soggetta fortemente ai fattori climatici del retroterra e separata dal mare dal sollevamento marginale dell'altipiano presenta notevoli analogie con il clima subalpino. 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 ad una vegetazione che altrimenti potrebbe essere meno povera. La temperatura media annua è di 11,1° C; è di 3° C inferiore a quella di Trieste e di 0,6° C inferiore a quella di Bolzano che si trova nelle Alpi ad una latitudine ben maggiore. La posizione elevata e vicina al mare comporta una precipitazione piovosa e nevosa maggiore di quella di Trieste.

Presentiamo i valori medi mensili delle temperature e delle precipitazioni 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 dai periodi 1885-1906 e 1911-1914, 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. 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.

Villa Opicina

Temperature medie in °C.

Temperature	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	A.
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
Med. 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	30.6
Med. min.....	-7.7	-5.9	-3.1	1.8	5.5	10.1	12.7	11.5	8.1	2.7	-2.0	-5.0	-8.8

Precipitazioni in mm e numero di giorni con pioggia, neve, grandine e temporali.

Precipitazioni	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	A.
Media.....	52.3	58.8	87.0	79.3	112	117	93.0	103	125	144	104	82.2	1158
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. gran....	0.1	0.1	0.2	0.4	0.4	0.2	0.3	0.5	0.3	0.3	0.3	0.2	3
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

III. LE STAZIONI METEOROLOGICHE

Per la conoscenza dell'ambiente climatico interno necessita eseguire per più anni consecutivi periodiche e regolari misure nei siti meteorologicamente più importanti della cavità e, per il confronto, in almeno un posto situato immediatamente all'esterno di essa. Furono scelti i seguenti posti di stazione che indicheremo con i numeri da 1 a 7.

1. — Esterno, quota del suolo m 269, ad una decina di metri dall'ingresso attuale alla grotta, sopra un terreno pianeggiante, sassoso con parziale copertura erbosa.
2. — Interno, q. m 245, profondità m. 24, dopo il pozzo d'ingresso alla fine della galleria inclinata, qualche metro sotto la porta di ferro.
3. — Interno, q. m 168 (prof. m. 101), bivio dei sentieri.
4. — Interno, q. m 150 (prof. m. 119), piazzale sul fondo.
5. — Interno, q. m 190 (prof. m. 79), sala dell'Altare.
6. — Interno, q. m 209 (prof. m. 60), fine della cengia che sale lungo la parete NE alla Galleria Nuova.
7. — Interno, q. m 257 (prof. m 12), nella caverna dell'ingresso alto.

Le misure vennero eseguite nell'ordine ora segnato, nelle ore pomeridiane delle giornate indicate nelle tab. 1 e 2. I termometri erano tenuti ad 1,5 m dal suolo, lontani dalla persona e illuminati con una piccola lampadina elettrica solamente per il tempo necessario alla lettura.

IV. GLI STRUMENTI E LE MODALITA' DI MISURA

Le variazioni della temperatura nell'interno della grotta sono molto piccole. L'ampiezza dell'oscillazione annua al fondo è di 0,7° C. Si è data perciò la massima importanza alla sensibilità e precisione degli strumenti da usarsi e ad

eseguire le misure con tutte le cure e gli accorgimenti affinchè esse risultino il più possibile esenti da errori.

Lo strumento fondamentale è stato il psicrometro ad aspirazione Assmann n. 162, di costruzione R. FUESS, Berlin-Steglitz. I termometri sono isolati e schermati. I bulbi hanno doppia schermatura metallica nichelata. La divisione è in $1,5^{\circ}$ C, la lettura è esatta sino ad $1/20^{\circ}$ C. La velocità della corrente d'aspirazione lungo i bulbi è di 2,8 m/sec, la durata utile dell'aspirazione è di 8 minuti. I due termometri sono stati tarati nel laboratorio di fisica dell'Istituto Talassografico di Trieste, hanno correzioni inferiori ad $1/10^{\circ}$ C, di queste si è sempre tenuto conto nel correggere la lettura. Per il bulbo bagnato si è usata acqua piovana.

La determinazione dell'umidità è stata fatta sulla base delle letture eseguite ai termometri asciutto e bagnato e usando le: « Aspirations-Psychrometer-Tafeln » del Preussischen Meteorologischen Institut, Berlin, 1914. 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 $0,1^{\circ}$ C.

V. LA TEMPERATURA E L'UMIDITA' DELL'ARIA

Nella tab. 1 presentiamo le determinazioni termometriche corrispondenti ai singoli giorni di osservazione e a ciascuno dei 7 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 esterne.

Riassumiamo nella seguente tabellina, per ciascuna posizione considerata, i valori estremi e medi della temperatura e quelli dell'oscillazione annua media. Le medie annue delle stazioni 6 e 7, tanto nella tab. 1 che nella seguente tabellina riassuntiva, sono state dedotte solamente dai dati dell'anno 1951, e ciò per evidenti ragioni di rigorosità.

Temperature estreme, medie ed oscillazione media nel biennio 1951-52, in °C

	1	2	3	4	5	6	7	acqua	roccia
Max	35.0	11.0	10.0	10.0	10.1	10.1	11.7	10.1	9.80
Min.	-5.5	9.1	9.2	9.3	9.1	9.0	6.5	9.1	9.30
Med	11.0	10.4	9.7	9.7	9.7	9.6	9.2	9.6	9.60
Osc.	39.4	1.4	0.9	0.7	1.0	1.1	5.2	0.9	0.45

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.

L'umidità dell'aria è stata misurata mediante il psicrometro ad aspirazione Assmann-Fuess 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 affinchè 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 od incrostazioni calcaree e controllando la velocità della corrente d'aspirazione. Da confronti eseguiti con altri psicrometri sia Assmann-Fuess che Assmann-S.I.A.P. (Soc. Ital. Apparecchi Precisione, Bologna), è risultato che le misure eseguite possono ritenersi esatte a meno di una unità percentuale di umidità relativa.

TABELLO I

Temperature dell'aria, dell'acqua e della roccia.

DATA	STAZIONI							ACQUA	ROC- CIA
	1	2	3	4	5	6	7		
7- 1-51	5,7	10,2	9,5	9,5	9,4	9,4	7,6	9,7	9,48
21- 1-51	4,8	10,3	9,5	9,5	9,3	9,3	6,5	9,5	9,60
4- 2-51	4,0	10,0	9,3	9,4	9,1	9,0	7,5	9,5	9,40
18- 2-51	6,7	10,4	9,6	9,6	9,5	9,6	8,3	9,6	9,45
4- 3-51	4,4	9,9	9,4	9,5	9,3	9,0	6,6	9,5	9,40
18- 3-51	10,5	10,3	9,5	9,6	9,5	9,4	9,2	9,3	9,40
1- 4-51	10,4	10,2	9,6	9,5	9,5	9,5	8,7	9,5	9,40
15- 4-51	14,0	10,0	9,7	9,8	9,6	9,7	9,5	9,5	9,40
29- 4-51	12,5	10,5	9,7	9,6	9,6	9,7	9,6	9,5	9,45
13- 5-51	10,5	10,5	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,6	9,50
27- 5-51	23,3	10,6	9,7	9,8	9,7	9,7	10,2	9,6	9,55
10- 6-51	20,3	10,6	9,7	9,8	9,8	9,8	10,3	9,6	9,60
1- 7-51	15,6	10,6	9,8	9,8	9,9	9,9	11,2	9,6	9,75
22- 7-51	24,8	10,7	9,9	9,9	9,9	9,9	11,0	10,0	9,70
5- 8-51	23,8	10,7	9,9	9,9	9,8	10,0	11,4	—	9,70
26- 8-51	24,2	10,9	10,0	10,0	10,0	10,0	11,5	—	9,75
23- 9-51	19,4	11,0	10,0	10,0	10,0	10,1	11,7	—	9,80
14-10-51	12,4	10,9	10,0	10,0	10,0	10,0	10,4	9,9	9,80
4-11-51	7,5	10,7	10,0	10,0	10,1	10,0	9,6	9,9	9,80
25-11-51	10,0	10,8	9,9	10,0	9,9	10,0	9,5	9,9	9,80
9-12-51	6,7	10,6	9,6	9,7	9,6	9,6	8,3	9,6	9,70
29-12-51	6,6	10,4	9,5	9,5	9,5	9,4	7,2	9,5	9,51
20- 1-52	5,2	9,8	9,3	9,3	9,3	9,3	7,0	9,4	9,40
17- 2-52	2,1	9,1	9,4	9,3	9,2	9,0	—	9,2	9,30
16- 3-52	5,4	9,3	9,2	9,4	9,1	9,1	—	9,1	9,30
2- 6-52	24,4	10,4	9,7	9,6	9,7	—	—	9,7	9,60
20- 7-52	26,3	10,6	10,0	9,9	10,0	—	—	—	9,70
24- 8-52	21,8	10,7	9,9	10,0	9,8	—	—	—	9,70
28- 9-52	16,1	10,8	10,2	10,0	10,0	—	—	9,8	9,80
3-11-52	10,1	10,6	10,0	10,0	10,0	—	—	10,1	9,80
30-11-52	8,6	10,5	10,0	10,0	9,9	—	—	10,1	9,80
4- 1-53	2,2	9,8	10,0	9,9	9,7	—	—	9,8	9,70
Media	12,5	10,4	9,7	9,7	9,7	9,7	9,4	9,6	9,60

TABELLO II

Umidita' relativa in percento e s'ato del tempo

DATA	STAZIONI							STATO DEL TEMPO
	1	2	3	4	5	6	7	
7. 1.51	97	99	99	98	96	96	96	coperto, calma
21. 1.51	62	96	95	98	96	94	88	vario
4. 2.51	91	96	95	95	95	96	92	piovoso
18. 2.51	92	99	98	99	98	95	97	piovoso
4. 3.51	58	98	96	95	95	96	85	coperto, calma
18. 3.51	91	95	98	98	96	99	99	cop., vento NE
1. 4.51	76	96	96	99	95	96	95	cop., vento W
15. 4.51	82	98	98	96	99	96	93	vario
29. 4.51	94	95	98	99	99	99	98	piovoso
13. 5.51	64	98	98	98	98	99	97	bello
27. 5.51	39	96	98	96	98	98	96	vario
10. 6.51	67	96	98	96	99	98	96	coperto, calma
1. 7.51	67	96	98	99	98	98	95	cop., vento ENE
22. 7.51	46	98	96	98	98	98	88	vario
5. 8.51	60	98	98	98	99	96	91	bello
26. 8.51	67	95	96	96	98	99	98	cop., vento W
23. 9.51	67	97	97	96	96	98	98	vario
14. 10.51	42	95	96	98	98	96	89	sereno, vento ENE
4. 11.51	88	96	95	96	95	96	93	coperto, calma
25. 11.51	78	96	95	96	95	96	95	vario
9. 12.51	91	96	96	98	95	95	95	coperto
29. 12.51	54	94	95	98	93	94	88	cop., vento ENE
20. 1.52	26	96	95	95	90	91	85	coperto, calma
17. 2.52	62	96	93	95	93	94	—	vario, vento ENE
16. 3.52	43	94	94	94	94	95	—	bello
2. 6.52	36	96	95	96	96	—	—	vario
20. 7.52	51	98	94	95	94	—	—	bello
24. 8.52	60	96	96	94	98	—	—	vario, vento ENE
28. 9.52	79	95	96	96	98	—	—	bello
3. 11.52	70	95	95	96	96	—	—	cop., vento ENE
30. 11.52	95	95	95	95	96	—	—	nebbioso
4. 1.53	65	95	93	95	93	—	—	sereno, vento ENE
Media	67,5	96,2	96,1	96,6	96,2	96,7	93,7	

Nella tab. 2 si presentano i valori dell'umidità relativa in percento misurati in ciascuna stazione nei giorni d'osservazione. Le medie delle stazioni 6 e 7 sono state dedotte dai soli valori dell'anno 1951. Nella stessa tabella è indicato lo stato del tempo all'esterno della grotta durante i pomeriggi nei quali furono eseguite le misure. Esso ha valore relativo in quanto che le variazioni meteoriche diurne non alterano sensibilmente le condizioni interne, specialmente quelle degli strati d'aria più bassi. Diamo per l'umidità relativa una tabellina riassuntiva analoga a quella della temperatura. In essa però anche i dati del sito 1 sono stati ricavati dalla tab. 2, inoltre l'oscillazione dell'umidità in ciascun sito è quella massima osservata nel biennio in esame.

Umidità estreme, medie ed oscillazione massima nel biennio 1951-52, in percento

	1	2	3	4	5	6	7
Max.....	97	99	99	99	99	99	98
Min.....	26	94	93	94	90	91	85
Med.....	67.5	96.2	96.1	96.6	96.2	96.7	93.7
Osc.....	71	5	6	5	9	8	13

Dai valori delle tab. 1 e 2 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. E' però facile vedere che tali temperature risultano di pochi decimi di grado (da 0,3 a 0,5° C) inferiori a quelle segnate dal termometro normale, cioè a bulbo asciutto.

Dalle stesse due tabelle, usando sempre le tabelle 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 :

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

(U ass. = umidità assoluta, ε = tensione del vapore in mm. di altezza di mercurio, $\alpha = 1/273,2$), si ottiene l'umidità assoluta in grammi di acqua per m. cubo d'aria. Diamo nelle seguente tabellina un riassunto dei valori dell'umidità assoluta dedotti, con la relazione sopra indicata, dalle tab. 1 e 2.

*Umidità assoluta in g/m³ (grammi di acqua per m cubo)
Valori estremi, medi ed oscillazione massima nel biennio 1951-52*

	1	2	3	4	5	6	7
Max.....	15.4	9.7	9.2	9.2	9.2	9.3	10.2
Min.....	1.9	8.4	8.4	8.5	8.1	8.2	6.4
Med.....	7.9	9.3	8.9	8.9	8.8	8.9	8.4
Osc.....	13.5	1.3	6.8	0.7	1.1	1.1	3.8

VI. LA TEMPERATURA DELL'ACQUA

Tra le stazioni 4 e 5, alla quota di circa m 180, in una bassa e breve cavernetta, vi sono alcune vaschette che generalmente sono piene d'acqua. Solo in periodi estivi di grande siccità rimangono secche. La principale avrà un paio di 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 bene apprezzabile la frazione 1/20° C. Il termometro è stato tarato e controllato come quelli già descritti. I dati ottenuti dalle letture sono presentati nella tab. 1 e nelle tabelline precedenti. Essi sono corretti e ridotti ad 1/10° C.

La temperatura media del biennio risulta di 9,6° C. E' di 1/10° C inferiore a quella dell'aria circostante. A ciò contribuisce l'effetto dell'evaporazione, la quale produce, come si è visto, un abbassamento di temperatura di 3-5 decimi di grado. La massima temperatura osservata nel biennio è stata di 10,1° C e quella minima di 9,1° C. L'oscillazione massima risulta di 1,0° C, quella media di 0,9. La massima temperatura si ha verso la metà di ottobre, la minima verso la metà di marzo. Il ritardo di fase medio rispetto all'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.

VII. LA TEMPERATURA DELLA ROCCIA

Al fondo della grotta, nella parete verticale Ovest, alla quota di 150 m, circa a 119 m. di profondità, è stato eseguito un foro orizzontale, profondo 45 cm e del diametro di 3 cm. In esso, con il bulbo a 43 cm. di profondità, è stato immerso un sensibilissimo termometro a mercurio. 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, il tappo esterno è pure isolante. In tal modo il termometro indica la temperatura della roccia alla profondità di 43 cm. Lo strumento è un termometro di precisione con la divisione in 1/10° C, è apprezzabile 1/50° C. E' stato tarato e controllato come i precedenti.

La temperatura media del biennio è stata di 9,60° C. La massima temperatura è stata 9,80° C, la minima 9,30° C. L'escursione massima nei due anni è stata di 0,50° C, l'oscillazione media annua è di 0,45° C. 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 alla metà di marzo.

Nella stessa parete di calcare compatto è stato sistemato in questi ultimi mesi un termometro in un foro orizzontale profondo 120 cm. Sono in corso periodiche letture anche di questo strumento.

Si potranno così determinare i coefficienti di conducibilità termica e calorifica della roccia in sito.

VIII. LA GROTTA QUALE CAVITÀ BAROMETRICA

Se in un recipiente chiuso e indeformabile si apre un piccolo foro si avrà, attraverso questo, una corrente entrante o uscente secondo che la pressione atmosferica esterna sarà in aumento o in diminuzione. In modo perfettamente analogo si comporta la vasta cavità della grotta. Se la pressione atmosferica è in aumento si ha, nelle due aperture, corrente entrante; se 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 per produrre correnti d'aria anche forti. Da confronti eseguiti con le registrazioni di un microbarografo risulta che variazioni della pressione atmosferica dell'ordine di 0,01 millibar

(0,0075 mm di altezza di mercurio) producono correnti dell'ordine di pochi cm/sec. e pertanto facilmente misurabili.

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 il sensibilissimo anemometro ad elica multipla, con 8 pale, per correnti deboli (N. 87), costruito dalla Filotecnica-Salmoiraghi di Milano.

La pressione atmosferica è soggetta a continue fluttuazioni aventi pseudo-periodi che possono essere dell'ordine di giorni, ore e minuti. Su queste si sovrappongono oscillazioni più regolari di piccola ampiezza e di breve periodo, aventi caratteri di quasi persistenza, 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 con misure eseguite alla porta dell'ingresso attuale. Con pressione atmosferica livellata furono ripetutamente determinate correnti alternate aventi periodi di 10-15 sec, di 25-30 sec, di 55-65 sec. Gli stessi periodi si presentarono in giornate diverse delle stagioni estate-autunno 1951. Le altre fluttuazioni, con periodi minori e maggiori, risultarono meno regolari. Se la pressione esterna era in continuo aumento o diminuzione, gli stessi periodi apparivano quali ritardi o acceleramenti della corrente fondamentale. Queste rapide oscillazioni si osservano solo in corrispondenza alle particolari perturbazioni atmosferiche che si hanno nella formazione e negli spostamenti dei fronti atmosferici freddi e caldi.

Le correnti d'aria ora considerate, e che diremo di pressione, sono caratterizzate dal fatto che hanno lo stesso senso in tutta la sezione dell'apertura, contrariamente a quanto avviene nelle correnti di « densità » per le quali nella parte inferiore dell'apertura si ha corrente discendente e in quella superiore corrente ascendente. L'altra particolarità è quella, come si è visto, di avere carattere oscillatorio, per cui il verso della corrente cambia con una certa periodicità che può variare da parecchi secondi a vari minuti secondo lo stato dei fronti atmosferici.

IX. LE CORRENTI D'ARIA

Alle correnti d'aria dovute all'effetto ora descritto si associano quelle generate dalle variazioni di densità. Esse sono causate soprattutto dalle differenti condizioni termiche delle due masse d'aria, esterna ed interna. Da novembre a tutto marzo la temperatura all'aperto è minore di quella interna. Si ha pertanto una discesa di aria fredda lungo la parte inferiore delle gallerie d'ingresso ed una ascesa di aria relativamente più calda e umida lungo la parte superiore delle aperture. Durante i mesi estivi ed autunnali, l'aria esterna essendo più calda dell'interna, non si osservano in condizioni normali queste correnti stagionali di densità.

Per effetto della variazione diurna della temperatura si osserva nelle due gallerie una circolazione analoga a quella ora descritta. Il loro ritmo è però più breve, esse pertanto interessano solo gli strati d'aria più elevati della grotta. Durante la notte e le prime ore del mattino le correnti discendenti sono notevoli, specialmente nelle stagioni primaverili ed autunnali.

Complesso risulta pertanto negli ingressi il moto risultante. L'effetto dovuto alla pressione può essere concordante od opposto a quello della densità. Si hanno nel primo caso forti correnti discendenti lungo la parte bassa delle due gallerie. Specialmente in quella dell'ingresso attuale, perchè più strozzata, si possono raggiungere velocità tali da spegnere facilmente una candela accesa ed anche una fiamma ad acetilene. Sono state misurate velocità massime di 2,5 m/sec. In corrispondenza alla porta di ferro si osservano normalmente correnti dell'ordine di 0,2-0,5 m/sec.

Nell'interno della grotta e solamente negli strati superiori si notano ancora correnti d'aria, ma molto più deboli, hanno velocità dell'ordine di pochi cm/sec.

Seguono però gli stessi ritmi di quelle delle due gallerie d'accesso. Le direzioni convergono o irradiano verso le uscite, i sensi sono concordanti con quelli che si osservano nelle gallerie degli ingressi. Le intensità si smorzano allontanandosi dagli ingressi, specialmente verso il fondo. Negli strati bassi non si hanno apprezzabili movimenti d'aria. Durante la stagione invernale vi discendono gradatamente masse d'aria fredda. Questa discesa è rallentata nelle stagioni intermedie ed è ordinariamente nulla durante l'estate. Questo raffreddamento convettivo della massa d'aria bassa non è compensato che da limitatissimi moti convettivi ascendenti. Prevalde dunque la diretta discesa d'aria fredda. Conseguendo da ciò che al fondo della grotta l'aria ha una temperatura inferiore a quella media annua che si ha all'esterno. Questa è di $11,1^{\circ}\text{C}$, quella in fondo alla grotta $9,7^{\circ}\text{C}$, la differenza di $1,4^{\circ}\text{C}$ mette bene in evidenza il fenomeno descritto.

X. IL CLIMA IPOGEO DELLA GROTTA GIGANTE

Esaminati nei capitoli precedenti i singoli elementi meteorici, possiamo ora considerarli nel loro insieme e dedurre le condizioni del clima ipogeo della cavità.

In tutta la grotta le condizioni climatiche sono molto uniformi, ma particolarmente negli strati inferiori esse assumono carattere di grande stabilità. Distinguiamo perciò nella cavità, due zone, circa della stessa altezza, una inferiore ed una superiore.

Consideriamo quella inferiore. Essa comprende le stazioni n. 3, 4, 5 e 6. La temperatura media annua è di $9,7^{\circ}\text{C}$ e l'escursione tra le due stagioni estreme è di $0,8^{\circ}\text{C}$, risulterà cioè inferiore al grado. All'esterno la differenza fra la massima estiva e la minima invernale è di 40°C . La temperatura più alta si raggiunge nella prima settimana di ottobre, cioè 10 settimane dopo quella esterna. La minima temperatura si ha verso i primi giorni di marzo, cioè solo dopo 6 settimane del minimo esterno. Questa differenza di ritardo si giustifica col fatto già accennato che il raffreddamento degli strati bassi avviene soprattutto per convezione (discesa d'aria fredda) mentre il riscaldamento è dovuto soprattutto alla conduzione, dato che il trasporto d'aria fredda verso l'alto è molto limitato.

L'umidità relativa, date le continue filtrazioni d'acqua e la quasi assenza di moti dell'aria, si mantiene costantemente molto alta. E' del $96,3\%$ in media. L'oscillazione annua è del 4% con massimi invernali e minimi estivi. L'umidità assoluta media, cioè il numero dei grammi d'acqua contenuti in un m. cubo d'aria è di $8,9\text{ g/m}^3$. L'oscillazione annua è di $0,8\text{ g/m}^3$; inferiore cioè ad 1 g/m^3 . E' massima alla fine dell'estate e minima alla fine dell'inverno.

L'acqua delle vaschette ha una temperatura di circa $0,1^{\circ}\text{C}$ inferiore a quella dell'aria e ciò per il raffreddamento prodotto dall'evaporazione. L'acqua che cola lungo le stalattiti, le stalammite e le pareti, per lo stesso motivo, assume temperature che sono di $0,1-0,3^{\circ}\text{C}$ inferiori a quelle dell'aria. Le correnti d'aria sono debolissime negli strati superiori e quasi nulle in quelli inferiori. Le variazioni meteoriche diurne non sono apprezzabili in questa zona.

Nella regione superiore, cioè situata tra gli ingressi e la profondità di circa 60 m., circolano deboli correnti d'aria, dovute specialmente a variazioni di pressione. Esse sono più intense verso la volta e più smorzate verso il basso. Questi moti perturbano lievemente le condizioni di stabilità della zona considerata, senza peraltro alterare molto le condizioni climatiche che sono poco diverse da quelle della zona inferiore. Le temperature medie sono leggermente più alte di quelle delle masse d'aria sottostanti, l'escursione annua è di poco maggiore, l'umidità minore. 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 n. 7. La prima, situata dopo il pozzo, quasi alla fine della galleria d'ingresso, è in immediata comunicazione con la cavità principale e partecipa

pertanto alle condizioni climatiche interne ; tanto più che la galleria è di piccola sezione e chiusa dal portone di ferro (a meno dell'apertura sopra la porta). La stazione 7, situata nella galleria alta, più larga, più breve e molto più aperta della precedente, risente notevolmente delle condizioni esterne e non va pertanto compresa fra le stazioni della cavità principale.

Nel complesso la massa d'aria della cavità si presenta in tutte le stagioni con una stratificazione termica diretta anche se appena apprezzabile, la temperatura cioè diminuisce verso il basso. Ciò le conferisce un equilibrio stabile che rende possibile la costanza e l'uniformità delle condizioni climatiche interne. Dalle due aperture, e specialmente da quella alta, scendono al fondo, scorrendo lungo le pareti, lievi correnti d'aria fredda che, mantenendo l'aria al fondo ad una temperatura inferiore alla media esterna, rendono possibile la stabilità nel sistema della massa d'aria stratificata.

RIASSUNTO

La grotta è una vastissima cavità naturale lunga m 280, alta m 210 e larga m. 60. E' in comunicazione con l'esterno mediante una stretta apertura che si apre all'estremità superiore della grotta. Essa è un tipico esempio di unica e grande cavità sotterranea ed è perciò molto adatta per ricerche normative di meteorologia ipogea. Essa agisce inoltre come enorme e sensibilissima cavità barometrica. Dal 1950 si eseguono nella caverna regolari e sistematiche misure delle condizioni dell'aria, dell'acqua e della roccia. La temperatura e l'umidità si misurano, mediante psicrometro Assmann, in sette posti opportunamente scelti. In questa relazione si presentano i risultati della elaborazione di queste misure e di quelle, eseguite ad intervalli stagionali, delle correnti d'aria continue e oscillatorie registrate particolarmente alla bocca. I valori medi calcolati ed il loro andamento definiscono le condizioni climatiche della grotta e possono servire di norma per le cavità di tipo analogo.

IMPRIMERIE ARTIÈRES, MILLAU (AVEYRON)

SOCIETÀ
SEZIONE

N

10

BIB