
ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI

RENDICONTI

SERGIO OLIVERO

Misure di temperatura della roccia nel Traforo del Monte Bianco - Stazione di misura alla progressiva m 2610 dall'imbocco italiano

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche,
Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 40 (1966), n.5, p. 875–879.*
Accademia Nazionale dei Lincei

<http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1966_8_40_5_875_0>

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)
SIMAI & UMI*

<http://www.bdim.eu/>

Geologia. — *Misure di temperatura della roccia nel Traforo del Monte Bianco — Stazione di misura alla progressiva m 2610 dall'imbocco italiano* ^(*). Nota di SERGIO OLIVERO, presentata ^(**) dal Socio G. B. DAL PIAZ.

SUMMARY. — Measurement data of temperature with thermometers placed in the rock at different depths from the tunnel wall are given. The measuring station has been running—even if with frequent interruptions—since May, 1962. The available data are still insufficient for quantitative approximate appraisal; anyway, variations with time of temperature at depth, if interpreted by the scheme of heat transfer through rock by simple internal conduction, would give values of conductivity of about ten times that known for “dry” granitic rocks. It is probable that heat transfer is influenced by the presence of water in the pores and microscopic discontinuities of the rock.

Nel programma di indagini termometriche redatto in occasione dello scavo del Traforo del Monte Bianco [1] erano state previste alcune stazioni di misura destinate a rilevare le variazioni della temperatura della roccia, entro un raggio di una trentina di metri intorno alla galleria, durante tempi relativamente lunghi e, in particolare, anche durante l'esercizio del traforo.

Difficoltà di diverso genere hanno molto limitato la realizzazione di questa parte del programma.

Una di queste stazioni si è potuta realizzare, alla progressiva m 2610 dall'imbocco sul versante italiano, solo nel 1962, ad oltre un anno e mezzo di distanza dal momento in cui lo scavo aveva raggiunto questa progressiva ⁽¹⁾.

Una seconda stazione era prevista alla progressiva m 5740 dall'imbocco italiano, cioè nella zona del tronco scavato da parte italiana ove più elevate erano risultate le temperature della roccia misurate all'atto dello scavo [3].

Purtroppo quest'ultima stazione non ha potuto essere realizzata, in quanto uno dei fori da sonda eseguiti per la collocazione dei termometri ha incontrato forti venute d'acqua (1–2 l/sec alla profondità di 20 m) ed è stato neces-

(*) Lavoro compreso nel programma del Gruppo di Ricerca sui Trafori Alpini del Comitato per la Geografia, Geologia e Mineralogia del C.N.R., eseguito nel Centro di Studio per la Geologia Tecnica del C.N.R. presso l'Istituto di Geologia Applicata all'Ingegneria della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma.

Hanno collaborato con lo scrivente i dott. ingg. R. Ribacchi e S. Martinetti, il per. min. G. Mezzacasa e il per. ind. M. Petri.

(**) Nella seduta del 14 maggio 1966.

(1) Questa stazione è ubicata sulla parete destra (procedendo verso progressive crescenti dall'imbocco italiano). In essa sono installati: 3 termometri a resistenza di Platino (100 Ω a 0°C) rispettivamente al fondo di fori da sonda profondi m 29, 15 e 9; un termometro analogo situato a m 13 di profondità entro il foro da sonda di m 29; un termometro a bulbo asciutto e un termometro a bulbo bagnato situati nell'ambiente della galleria ed abbinati ad un piccolo ventilatore. Per le condizioni geologiche della zona in cui è situata la stazione si rimanda a [4].

sario provvedere alla cementazione del foro per non compromettere la funzionalità del rivestimento della galleria nella fase di esercizio del Traforo.

La realizzazione di quest'ultimo provvedimento è stata tecnicamente molto difficoltosa; ciò ha costretto a rinunciare ai tentativi di installare stazioni con fori profondi in altri punti della galleria.

D'altra parte, doveva ritenersi ragionevolmente molto scarsa la probabilità di non trovare venute d'acqua (che avrebbero, oltre tutto, tolto significato alle misure di temperature proposte) con fori profondi in altri punti oltre la progressiva 3000 m circa.

Di conseguenza la sola stazione di misura di questo tipo è rimasta quella della progressiva 2610.

In questa stazione, dal maggio al novembre 1962 le temperature furono ricavate da misure di resistenza con ponte di precisione; di queste misure si è già data notizia in [3]. Successivamente è stato installato un registratore ⁽²⁾, nel quale la registrazione delle temperature dei 6 termometri viene effettuata due volte nelle 24 ore su intervalli di 1 ora ogni volta.

In base ai controlli di taratura effettuati, l'approssimazione delle misure con questa apparecchiatura può considerarsi sull'ordine di $0,2^{\circ}\text{C}$.

La stazione di misura ha subito, dal 1962 ad oggi, quattro interruzioni, dovute parte alle esigenze dei lavori di rifinitura della galleria, parte a necessità di revisione e parziale sostituzione delle apparecchiature di misura costrette ad operare, fino all'entrata in esercizio del traforo, in condizioni particolarmente difficili (umidità, polvere, vibrazioni per le volate di mine ecc.), solo in parte mitigate dalle precauzioni prese nell'installazione (chiusure « stagne » degli apparecchi di misura, essiccatori, sospensioni antivibranti ecc.).

Nei grafici della fig. 1 *a*) e *b*) sono riportati i valori delle misure corrispondenti ai periodi di funzionamento della stazione comprendendo, per completezza, anche i dati già comunicati in [3].

Per chiarezza di rappresentazione e stanti le piccolissime variazioni nel tempo riscontrate, in diagramma sono stati riportati, di regola, per ciascuno dei termometri entro la roccia, solo i valori della temperatura misurata all'ultimo giorno di ciascun mese ⁽³⁾.

Nella fig. 1 *a*) sono riportati i valori delle medie quindicinali della temperatura nell'ambiente della galleria (termometro E), salvo che per il periodo maggio-novembre 1962 in cui le misure venivano effettuate solo saltuariamente.

Le temperature della roccia misurate a m 6 di profondità a breve distanza di tempo dallo scavo, nelle due stazioni temporanee più vicine alla stazione « permanente » qui esaminata, erano le seguenti [2]:

Progressiva 2520 m: a 16 giorni dallo scavo, in sinistra $20,8^{\circ}\text{C}$, in destra $21,0^{\circ}\text{C}$. Progressiva 2740 m: a 12 giorni dallo scavo, in sinistra $20,6^{\circ}\text{C}$, in destra $20,2^{\circ}\text{C}$. Entrambe queste stazioni sono prossime a zone nelle quali si avevano venute d'acqua dalla roccia.

(2) SIS, tipo SP 66 - 2/r, a 6 grafici.

(3) Oltre ai valori iniziali e finali di ogni rullo di carta di registrazione.

Come può vedersi dai diagrammi, si hanno finora a disposizione misure su intervalli di tempo continui relativamente lunghi solo per due periodi: maggio '62-febbraio '63 e maggio '65-febbraio '66.

Le misurazioni per brevi intervalli compresi nel periodo febbraio '63-maggio '65 sono state riportate nel grafico per completezza; sulla loro attendibilità debbono però necessariamente mantenersi delle riserve, dato che non si è potuto raggiungere la sicurezza di un corretto funzionamento degli apparecchi di misura.

I due periodi sopra indicati corrispondono a condizioni nettamente diverse nei riguardi dei regimi termici dell'ambiente della galleria: in gran parte in fase di scavo a fondo cieco, il primo; in fase di normale esercizio del traforo già aperto, l'ultimo.

Nel primo periodo, alle oscillazioni stagionali della temperatura dell'aria di ventilazione si sovrapponevano gli effetti del regime molto irregolare della ventilazione stessa dovuto alle mutevoli esigenze del cantiere. Nel secondo periodo, a ventilazione regolarizzata, le variazioni della temperatura ambiente sono più regolari.

Probabilmente in futuro si potrà stabilire una oscillazione sistematica stagionale della temperatura, con ciclo annuo, e solo dopo un prolungato periodo di osservazioni in queste condizioni regolari, potranno impostarsi valutazioni quantitative sul regime termico della roccia in rapporto al regime termico dell'ambiente.

Sulla base dei dati oggi a disposizione possono farsi solo delle considerazioni di ordine di grandezza.

Dall'andamento generale della temperatura nel termometro più profondo (A), può vedersi che la roccia, dopo lo scavo, continua a subire in media un lento raffreddamento, sensibile anche a profondità dell'ordine dei 30 m. Il termometro (D) a 9 metri di profondità, d'altronde, segnala che, a questa profondità, già 500 giorni dopo lo scavo la temperatura della roccia si era abbassata, rispetto a quella originaria, dell'ordine almeno di $2-2,5^{\circ}\text{C}$.

Sia questo abbassamento di temperatura a m 9, nei primi 500 giorni dallo scavo, sia l'abbassamento di temperatura di circa $0,5^{\circ}\text{C}$ a m 29 dal maggio '62 al febbraio '66 appaiono eccessivi, e fuori ordine di grandezza, rispetto a quanto si dedurrebbe con l'ipotesi di trasmissione del calore entro la roccia per semplice conduzione interna (ed equilibrio termico tra parete della galleria ed atmosfera).

Con questa ipotesi, infatti, per spiegare i valori rilevati, la conducibilità dovrebbe essere, come ordine di grandezza, circa 10 volte quella massima data per rocce granitiche « secche » ($3-3,6 \text{ Cal/mh }^{\circ}\text{C}$) (4).

(4) Questo più elevato ordine di grandezza della conducibilità termica apparente potrebbe ricavarsi anche dalla considerazione delle oscillazioni della temperatura a m 9 di profondità, rilevabili dal diagramma di fig. 1 b).

Nelle grandi linee, tali oscillazioni coprono un intervallo di temperatura dell'ordine almeno di $1,2^{\circ}\text{C}$ (tra $19,4^{\circ}$ e $20,7^{\circ}$). Come ipotesi verosimile, si possono imputare queste

Sembra quindi necessario dover ammettere l'intervento di altri fattori oltre a quelli considerati nell'ipotesi semplice suddetta. Questi fattori potrebbero essere di due specie: alcuni legati ad un meccanismo della trasmissione del calore entro la roccia e degli scambi termici roccia-atmosfera diverso da quello ipotizzato, altri alla tecnica di misura.

Tra i primi si può pensare principalmente all'influenza dell'acqua di cui è imbevuta la roccia interessata da micro e macro-fratture. L'acqua potrebbe influire nella trasmissione del calore entro la roccia anche mediante moti convettivi o realizzando un vero e proprio trasporto di calore per lento movimento verso la parete della galleria; inoltre, l'evaporazione sulla parete della galleria comporterebbe un'addizionale sottrazione di calore. In ogni caso l'influenza sarebbe sempre nel senso di un aumento della conducibilità apparente della roccia e della dispersione di calore verso l'atmosfera.

Più difficile da valutare è il senso dell'influenza della tecnica di misura impiegata.

Da un lato la tecnica di misura potrebbe aver variato le condizioni termiche della roccia, d'altro lato le temperature dei termometri potrebbero non corrispondere alla temperatura effettiva della roccia nel punto in cui essi sono collocati.

Per quanto riguarda la prima fonte di errore, è indubbio che le circolazioni convettive entro l'atmosfera di un foro da mina tendono ad uniformare la temperatura della roccia all'intorno del foro e nell'atmosfera del foro stesso.

Tuttavia questa influenza dei moti convettivi nel foro sembra nel caso in esame molto scarsa, come mostrano le temperature dei termometri C e B, situati a profondità quasi uguali e cioè il primo collocato a 13 m nel foro profondo 29 m, il secondo collocato al fondo di un foro di 15 m. La media delle temperature lungo il foro C è certamente più elevata di quella lungo

oscillazioni a variazioni stagionali a ciclo annuo della temperatura ambiente, oscillazioni che nel nostro caso coprono al massimo un intervallo di una decina di gradi (tra 13 e 23°C).

In primissima approssimazione, se ΔT_{am} è l'oscillazione della temperatura ambiente, nell'ipotesi di semplice conduzione interna l'intervallo di oscillazione della temperatura ad una profondità x dovrebbe essere

$$\Delta T_x = \Delta T_{am} \cdot e^{-x\sqrt{\pi/aP}}$$

ove α è la diffusività termica della roccia (pari al rapporto tra la conducibilità termica e il prodotto del peso specifico per il calore specifico) e P è il periodo dell'oscillazione (nel nostro caso 1 anno).

Se

$$\Delta T_{9m} = 1,2^\circ \text{C} \quad \text{e} \quad \Delta T_{am} = 10^\circ \text{C}$$

risulta

$$\alpha = 6,46 \cdot 10^{-3} \quad \text{e la conducibilità pari a } 37 \text{ Cal/mh } ^\circ\text{C}.$$

Con tale valore della conducibilità termica apparente, l'ordine di grandezza dell'abbassamento di temperatura a m 9 dopo 500 giorni dallo scavo, nell'ipotesi di una temperatura originaria dell'ordine di 22°C e di una temperatura media dell'ambiente della galleria dell'ordine di 17°C, sarebbe stato dell'ordine di 1,5-2°C cioè abbastanza prossimo a quello effettivamente riscontrato.

il foro B e tuttavia o la temperatura dei due termometri in esame è praticamente uguale, o, se mai, quella del termometro B, di poco più profondo, è superiore.

Per quanto riguarda il secondo tipo di influenza, la non corrispondenza tra temperatura dei termometri e quella della roccia indicherebbe la mancanza di un contemporaneo equilibrio termico tra termometro ed ambiente del foro e tra ambiente stesso e roccia.

S'è già detto più sopra riguardo alla semplice influenza dei moti convettivi lungo il foro, probabilmente trascurabile.

L'eventuale influenza del regime termico del cavo in rame (ad alta conducibilità termica) alla cui estremità sono situati rispettivamente il termometro e l'apparecchiatura di misura (quest'ultima situata nella galleria) è difficile a valutarsi teoricamente, con schemi semplici; sono perciò in corso delle prove sperimentali al riguardo.

Comunque, se questa influenza dovesse rivelarsi sensibile, essa dovrebbe agire nel senso che la temperatura della resistenza termometrica sarebbe, rispetto a quella dell'atmosfera del foro e della roccia all'intorno, più prossima a quella della temperatura dell'atmosfera nella galleria. Questa influenza potrebbe contribuire a giustificare l'ampiezza delle oscillazioni termiche stagionali della temperatura segnata dai termometri situati entro la roccia; le oscillazioni termiche rilevate nei termometri non corrisponderebbero cioè, totalmente, a oscillazioni della temperatura della roccia.

BIBLIOGRAFIA.

- [1] S. OLIVERO e F. PENTA, *Sulle misure di temperatura nel Traforo del Monte Bianco*, « Rend. Acc. Naz. Linc. » (Cl. Sc. fis., mat. e nat.), ser. VIII, vol. XXVI, fasc. 6 (1959).
- [2] S. OLIVERO, *Primi dati sulle temperature del sottosuolo nel Traforo del Monte Bianco*, « Rend. Acc. Naz. Linc. » (Cl. Sc. fis., mat. e nat.), ser. VIII, vol. XXXII, fasc. 2 (1962).
- [3] S. OLIVERO, *Temperatura del sottosuolo nel Traforo del M. Bianco tra le progressive m 3300 e m 5600 dall'imbocco italiano*, « Rend. Acc. Naz. Linc. » (Cl. Sc. fis., mat. e nat.), ser. VIII, vol. XXXIV, fasc. 1 (1963).
- [4] P. BAGGIO e R. MALARODA, *Il Traforo del Monte Bianco; prime osservazioni geologiche sul tratto dalla progressiva 2500 alla progressiva 3700 (parte italiana)*, « Rend. Acc. Naz. Linc. » (Cl. Sc. fis., mat. e nat.), ser. VIII, vol. XXXIII, fasc. 3-4 (1962).