

# PENETRAZIONE DELLE RADIAZIONI LUMINOSE NEL GHIACCIO E NELLA NEVE

SILVIO POLLI

1. *Generalità.* — Il problema ha assunto recentemente notevole importanza per la necessità, sentita specialmente dagli idrobiologi, di conoscere l'ambiente luminoso nell'acqua di un lago sotto la copertura invernale di ghiaccio e neve. La sua soluzione richiede pertanto la determinazione dei corrispondenti coefficienti di estinzione, distinti per gruppi di radiazioni. Per l'acqua tali ricerche sono state in parte già eseguite e in parte in corso di esecuzione.

I pochi lavori sull'argomento riguardano misure eseguite con termometri, coppie termoelettriche, calorimetri e pireliometri, e pertanto si riferiscono alle radiazioni essenzialmente calorifiche. Sono quelli dell'Idum (1936), di Hand e Lundquist (1912) e di Gerdel (1944 e 1947). Questo, nel suo ultimo lavoro, determinò, mediante un pireliometro a termocoppie di rame e costantina, i rapporti e i coefficienti di estinzione in funzione della densità della neve, e mise in evidenza come l'aumento di questa diminuisca il valore del coefficiente. Misure selettive per le radiazioni puramente luminose non risultano ancora eseguite.

2. *Strumenti.* — Si usò la seguente apparecchiatura fotometrica. Una cellula fotoelettrica a strato di sbarramento al ferro-selenio (Photronic Cell Weston, mod. 594, Newark, N.J., U.S.A.), posta in un cilindro chiuso da una lastra piana di vetro, è collegata mediante un sistema di resistenze, con un galvanometro Kipp & Zonen di Moll, tipo « Micro A-23 ». Lo strumento ha una sensibilità massima di  $6.2 \cdot 10^{-8}$  ampère per 1 mm di scala posta a 50 cm, un periodo di 0.2 secondi e una resistenza interna di 13 ohm. È accoppiato con resistenze in serie e in derivazione in modo che quella del circuito cellula-galvanometro rimanga quasi costante sui 300 ohm quando si adoperano i vari shunt per variare la sensibilità dello strumento.

Per mantenersi nei limiti di proporzionalità fra illuminazione della cellula e corrente elettrica sono stati adoperati, per illumina-

zioni intense, come quelle solari dirette, vetri bianchi e vetri neutri della Casa Zeiss di Jena.

3. *Procedimento pratico.* — Messa la fotocellula orizzontale ed esposta alla luce, si regolavano le resistenze ed i vetri neutri in modo da spostare l'indice luminoso del galvanometro verso il fondo della scala e si eseguiva la lettura. Sovrapposto alla cellula il blocco di ghiaccio si leggeva il nuovo spostamento. L'operazione si ripeteva tre volte cambiando ogni volta la posizione del ghiaccio. Le tre letture differivano di pochissimo fra di loro, le variazioni erano inferiori all'1%. Come misura effettiva si prendeva la media delle tre. Lo stesso procedimento veniva seguito per ogni filtro colorato che si sovrapponeva alla fotocellula.

Per la neve si operava in modo analogo usando un blocco tagliato dal manto nevoso. Lo spessore degli strati era misurato con molta cura, la larghezza e la lunghezza erano di dimensioni sufficienti per avere una diffusione laterale esclusivamente dovuta al mezzo esaminato. Si operò fra il ghiaccio e la neve, in riva al lago, nelle condizioni del tutto naturali.

4. *Procedimento teorico.* — La relazione

$$I = I_0 e^{-\gamma z}$$

( $I_0$  = intensità dei raggi penetranti nel mezzo,  $I$  = intensità degli stessi dopo un percorso  $z$ ,  $\gamma$  = costante caratteristica dei raggi e del mezzo considerati) presuppone raggi monocromatici e penetranti verticalmente nello strato di ghiaccio o neve. In pratica né le radiazioni sono monocromatiche né i raggi perpendicolari alla superficie. Adoperando però filtri selezionatori è possibile operare in campi spettrali limitati e avvicinarsi così al caso teorico.

Per correggere gli effetti dell'obliquità dei raggi occorre determinare l'angolo  $r$  che i raggi rifratti nel mezzo fanno con la verticale e introdurre questo valore nella formula precedente, che diviene:

$$I = I_0 e^{-\gamma z \sec r}$$

da cui, usando i logaritmi decimali, si ottiene per  $\gamma$  la formula:

$$\gamma = 2,30 (\log I_0 - \log I) \cos r/z.$$

Mediante questa formula si calcolarono i coefficienti di estinzione presentati in questo lavoro. Lo spessore dello strato è misurato in m:

per il calcolo dell'angolo  $r$  dei raggi rifratti si usarono le effemeridi astronomiche e il coefficiente medio di rifrazione del ghiaccio a 0° (1,31) che si applicò pure, per uniformità, alla neve, per quanto possa avere senso il significato di rifrazione nella neve.

Per rimanere nel campo di validità della formula si operò con sole libero e alla massima altezza, eseguendo le misure dalle ore 10,30 alle 13,30. L'intervallo di tempo fra le serie di lettura di una stessa operazione risulta di qualche frazione di minuto. L'intensità luminosa praticamente non varia. Per i valori  $I_0$  e  $I$  si ottengono in queste condizioni misure molto precise.

Data la non perfetta omogeneità del mezzo furono usati più blocchi distinti ma dello stesso tipo di ghiaccio o neve. Nel calcolo dei coefficienti si considerarono i valori medi.

I vetri filtri adoperati sono quelli della Jenaer Glaswerke Schott & Gen. e precisamente:

UG 2, violetto estremo a parte dell'ultravioletto;

BG 12, azzurro, trasparente per l'ultravioletto, non trasparente per il rosso e l'ultrarosso;

VG 2, verde, trasparente dall'azzurro al rosso iniziale;

RG 1, rosso chiaro, estingue le radiazioni con lunghezza d'onda inferiore a 590 m $\mu$ ;

RG 3, rosso molto scuro, estingue i raggi con lunghezza inferiore a 670 m $\mu$ .

Lo spessore dei vetri-filtri è di 2 mm, tranne l'UG 2 che ne ha 1 mm.

5. *Le condizioni ambientali del momento.* — Le misure per il ghiaccio furono eseguite al lago di Levico (Trento) il giorno 20 febbraio 1950 dalle ore 12 alle 12,30. Il cielo era coperto da leggeri e uniformi alto-strati, l'ombra prodotta dagli oggetti risultava leggermente debole. La temperatura dell'aria, misurata con lo psicometro Assmann, era di 9,0 °C per il termometro asciutto e di 5,5 °C per quello a bulbo umido. l'umidità corrispondente risulta del 58%.

La temperatura dell'acqua sotto la copertura di ghiaccio risultò di 6,2 °C; a 1 m di profondità era di 5,6 °C; a 5 m di 4,8 °C e tale si misurò pure al fondo (8 m).

Lo strato di ghiaccio copriva tutto il lago, con uno spessore di circa 8-10 cm, ed era in fase di sgelò. La parte inferiore, in contatto con l'acqua, per circa 4 cm, era di ghiaccio compatto, cristallino e trasparente, quella superiore era costituita invece di ghiaccio boloso.

Le bollicine erano più numerose e grosse verso la superficie, e avevano spessori medi di 2-3 mm, massimi di 5-6 mm. Un qualsiasi oggetto posto nell'acqua immediatamente sotto il ghiaccio risultava visibile in ogni suo particolare e colore. Buona dunque era la trasparenza complessiva.

I blocchi di ghiaccio esaminati sono stati prelevati a 20 m dalla riva. Avevano spessori di 9 cm, erano larghi e lunghi cm 30, la loro temperatura era di 0 °C.

Le misure per la neve furono eseguite alla riva del lago di Caldonazzo (Trento) il giorno 22 dicembre 1949, dalle ore 13 alle 14. Il cielo era coperto da leggeri e uniformi alto-strati. L'ombra prodotta dagli oggetti risultava leggermente debole. Tutta la zona era coperta da 15-20 cm di neve caduta 10 giorni prima. Essa si presentava come neve normale, asciutta, abbastanza soffice e farinosa. Dallo strato superficiale furono tagliati blocchi dello spessore di 8 cm, larghi e lunghi 25 cm, la loro temperatura era di qualche decimo di grado sotto lo zero. Quella dell'aria, misurata con lo psicrometro Assmann a 1,5 m sul suolo, era di 3,8 °C per il termometro asciutto e di 2,8 °C per quello a bulbo bagnato, l'umidità era dell'85%. L'aria era calma, nel mattino si è avuto un leggero vento da ESE.

6. *I coefficienti di estinzione per il ghiaccio.* — Presentiamo i valori dei coefficienti  $\gamma$  corrispondenti ai gruppi di radiazioni e alle condizioni già indicate.

*Coefficienti di estinzione ( $1/m$ ) per il ghiaccio.*

bianco —	violetto UG 2	azzurro BC 12	verde VG 2	rosso ch. RG 1	rosso sc. RG 2
1,52	4,63	2,28	1,25	3,73	4,88

Notevole risulta l'azione selettiva del ghiaccio sulla penetrazione dei singoli gruppi di radiazioni. L'assorbimento è minimo per i colori verdi, quasi doppio per gli azzurri, triplo per i rossi e poco meno che quadruplo per i violetti e i rossi scuri.

Confrontando questi valori con quelli corrispondenti all'acqua dello stesso lago risulta che essi sono, come ordine di grandezza, circa 10 volte maggiori. I rapporti fra i  $\gamma$  delle radiazioni considerate sono circa gli stessi nei due mezzi, ciò vale a dire che l'azione selettiva del ghiaccio differisce poco da quella dell'acqua.

*Rapporti  $I_x/I_0$  determinati con i coefficienti precedenti  
mediante la formula  $I_x=I_0 e^{-\gamma x}$*

profond. cm.	bianco —	violetto UG 2	azzurro BG 12	verde VG 2	rosso ch. RG 1	rosso sc. RG 3
0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	97,5	91,2	95,5	97,5	92,8	90,7
5	94,0	79,3	89,2	91,0	83,0	78,3
10	88,2	63,0	79,6	88,3	68,9	61,1
20	77,8	39,7	63,4	77,8	47,1	37,7
50	53,5	9,9	32,0	53,5	15,5	8,7
100	28,6	0,98	10,2	28,6	2,4	0,76
200	8,2	0,01	1,1	8,2	0,06	0,006

Uno strato di ghiaccio di 10 cm (quello del lago era di 9 cm) lascia passare quasi il 90% delle radiazioni verdi, il 60% delle violette e rosso scure. Uno spessore di 1 m riduce le prime al 30% e le seconde all'1%. Dopo 2 m prevalgono le verdi (8%) e le azzurre (1%); le altre sono praticamente smorzate. È noto infatti come forti spessori di ghiaccio assumano, per trasparenza, colorazioni verdi e verdi-azzurre.

7. *I coefficienti di estinzione della neve.* — Volendo estendere il significato di coefficiente di estinzione anche al caso della neve, per quanto in tale mezzo la propagazione delle radiazioni puramente luminose sia più complessa, presentiamo anche per essa i coefficienti  $\gamma$ . Essi rispecchiano le condizioni del momento dello strato esaminato e sono perciò strettamente legati ad esse, e questo occorre tenere presente nel loro esame.

*Coefficienti di estinzione (1/m) per la neve.*

bianco —	violetto UG 2	azzurro BG 12	verde VG 2	rosso ch. RG 1	rosso sc. RG 2
20,7	32,9	31,4	30,4	29,5	29,7

Confrontando questi coefficienti con quelli del ghiaccio e dell'acqua si possono fare le seguenti osservazioni:

a) essi risultano circa 10 volte maggiori di quelli del ghiaccio e 100 volte maggiori di quelli dell'acqua dello stesso lago:

b) sono molto meno differenziati di quelli del ghiaccio e dell'acqua, l'azione selettiva della neve sulla penetrazione delle radiazioni appare dunque molto debole;

c) nella neve, l'estinzione maggiore si ha per le radiazioni viollette e azzurre, minore per le rosse e verdi; nel ghiaccio e nell'acqua l'estinzione è massima per le radiazioni rosse e viollette, minima per le verdi.

Con i coefficienti della tabellina e applicando la formula  $I_z = I_0 e^{-\gamma z}$  si ottengono i seguenti rapporti percentuali fra l'intensità della radiazione incidente e quella alla profondità  $z$ .

*Rapporti percentuali  $I_z/I_0$  per la neve.*

profond. cm.	bianco —	violetto UG 2	azzurro BG 12	verde VG 2	rosso ch. RG 1	rosso sc. RG 8
0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	66,1	51,8	53,4	51,5	55,5	55,2
5	35,5	19,3	20,8	21,9	22,9	22,7
10	12,6	3,7	4,3	4,8	5,2	5,1
20	1,6	0,11	0,19	0,23	0,23	0,26
50	0,003	0,00001	0,00002	0,00003	0,00004	0,00004

Uno strato di 5 cm di neve estingue quasi l'80% delle radiazioni. A 20 cm di profondità l'intensità è ridotta all'1%. Uno strato di 50 cm di neve assorbe praticamente tutte le radiazioni luminose.

*Trieste — Istituto Talassografico — Maggio 1950 (\*)*

**RIASSUNTO**

*Si determinano i coefficienti di estinzione e i rapporti fra le intensità di illuminazione, delle radiazioni luminose nel ghiaccio e nella neve in condizioni naturali. Essi sono selezionati per gruppi di radiazioni corrispondenti ai colori violetto, azzurro, verde, rosso chiaro e rosso scuro. Per il ghiaccio e per la neve risultano circa 10 volte e 100 volte maggiori di quelli dell'acqua.*

(\*) Lavoro eseguito con i contributi del Centro di Studi Talassografici e del Centro di Studi Alpini del C.N.R.

## BIBLIOGRAFIA

- GERDEL R. W.: *Penetration of radiation into the snow pack* - Transac., Amer. Geoph. Union., vol. 29 (1948), n. 3, 366-71.
- HAND I. F. - LUNDQUIST R. E.: *Observations of radiation penetration through snow* - Mon. Wea. Rev., vol. 70 (1942), 22-25.
- IDUMI S.: *On the transmissibility of solar radiation of snow on ground* - J. Met. Soc. Japan., vol. 14 (1936), n. 2.
- POLLI S.: *Ricerche fotometriche subacquee nel lago di Caldonazzo* - Ann. di Geofisica, vol. 11 (1949), n. 1, pag. 40-43.