

# Sulla misura della temperatura superficiale del mare mediante radiometri all'infrarosso

da

M. COLACINO

*Istituto di Fisica dell'Atmosfera, C.N.R., Roma (Italia)*

## 1. Introduzione

La conoscenza accurata della temperatura superficiale del mare riveste particolare importanza sia dal punto di vista oceanografico, sia dal punto di vista meteorologico.

In oceanografia, infatti, è di notevole interesse conoscere la struttura termica superficiale del mare poiché essa è indicativa di vari fenomeni: presenza di correnti, formazione di acque profonde, movimenti locali delle masse di acqua.

Dal punto di vista meteorologico, se è vero che tutti i movimenti del mare a piccola e grande scala sono determinati dal movimento dell'atmosfera, è anche vero che quest'ultima riceve dal mare calore e vapor d'acqua e risulta, inoltre, profondamente modificata dall'interazione col mare stesso.

Recenti ricerche svolte al riguardo, hanno sottolineato come determinate situazioni meteorologiche siano correlabili alla distribuzione della temperatura superficiale degli oceani, la cui conoscenza sta mostrando di essere molto importante per le previsioni meteorologiche a lunga scadenza.

Quanto detto comporta, naturalmente, l'acquisizione dei dati di temperatura superficiale del mare in sempre maggiore quantità e con la maggiore densità possibile.

Attualmente, i metodi di misura per i rilievi suddetti sono diversi e vanno dall'impiego dei termistori a quello dei termometri ad alcool o a mercurio, dall'uso dei termometri nelle prese d'acqua dalla nave a quello dei radiometri atti ad eseguire misure a distanza. Come conseguenza deriva che i dati raccolti dalle varie navi con i vari tipi di misura risultano non solo affetti da errori diversi, ma anche non omogenei, poiché le misure, a seconda dei metodi usati, risultano riferite a livelli di acqua completamente differenti.

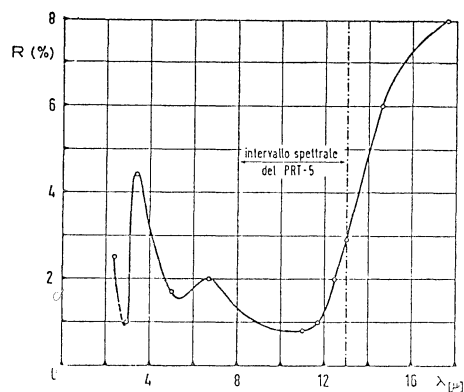


FIG. 1. — Riflettività dell'acqua secondo KILOVSKII (1959).

E' possibile, infatti, suddividere le misure di temperatura superficiale in tre categorie [4] :

- temperatura dello strato di separazione (« skin temperature ») che è la temperatura di una pellicola di spessore  $\leq 1$  mm a diretto contatto con l'atmosfera;
- temperatura dello strato superficiale, che è la temperatura relativa ad uno strato di spessore di  $\sim 10 \div 20$  cm, normalmente misurata mediante termometro immerso nel bugliolo;
- temperatura alla presa di acqua della nave, che corrisponde allo strato d'acqua compreso tra 4 e 5 m di profondità e che è misurata mediante termistori posti all'ingresso del circuito di circolazione della acqua atessa.

La temperatura dello strato di separazione differisce, in genere, notevolmente dalle altre temperature sopra definite, poiché i processi di scambio di calore e di vapor d'acqua tra oceano e atmosfera determinano sulla superficie del mare la formazione di un sottile strato più freddo dell'acqua sottostante. Si generano, quindi, dei gradienti di temperatura che possono essere anche molto intensi : misure eseguite nel Nord Atlantico hanno indicato gradienti con valori medi aggirantesi sui  $-0,4^{\circ}\text{C}$  con massimi fino a  $-2,0^{\circ}\text{C}$ . Analoghi risultati sono stati trovati nel Pacifico, ove il gradiente negativo medio è circa  $-0,5^{\circ}\text{C}$ . Analoghi effetti sono in fase di studio nel Mar Mediterraneo.

Va notato, infine, che lo strato sottile freddo risulta essere molto stabile anche in condizioni di mare agitato : secondo alcuni ricercatori sovietici esso persisterebbe anche per mare forza 6 sulla scala Beaufort. E' ovvio, comunque, che l'effetto suddetto è più marcato quanto più intensa è l'evaporazione e, quindi, esso si manifesta maggiormente in condizioni di mare calmo e di vento leggero [3].

La temperatura di questo strato sottile può essere misurata solo mediante i radiometri, i quali, oltre ad essere utilizzabili, montati su aereo o satellite, per la raccolta di dati su scala sinottica, acquistano, quindi, una notevole importanza per l'approfondimento delle conoscenze relative ai processi di scambio tra atmosfera ed oceano.

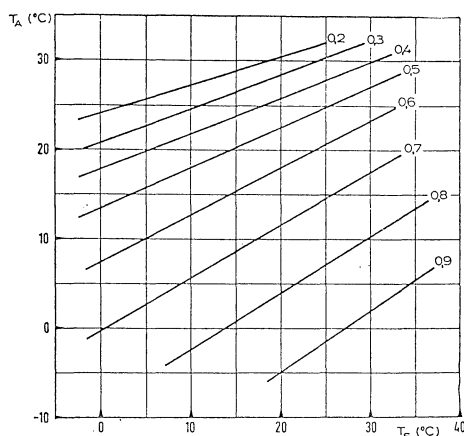


FIG. 2. — Diagramma per la correzione, nelle misure della temperatura superficiale dell'acqua, dell' errore dovuto all'emissività  $\epsilon < 1$  (cielo sereno).

## 2. Considerazioni teoriche sull'impiego dei radiometri per la misura della temperatura superficiale del mare.

Un radiometro è uno strumento capace di misurare la temperatura superficiale di un corpo, dalla misura del flusso di calore emessa dal corpo stesso.

Ogni corpo di emissività  $\epsilon$ , emette, essendo  $T$  la sua temperatura superficiale espressa in  $^{\circ}\text{K}$ , un flusso dato dalla relazione seguente (legge di Stefan) :

$$W = \epsilon \sigma T^4 \quad (1)$$

Se indichiamo con  $\omega$  l'angolo solido del rivelatore, il radiometro capta un flusso  $W' = \omega W$  e dalla misura di  $W'$  si può quindi risalire al valore di  $T$ . Una misura integrale di questo tipo non darebbe però risultati attendibili, poiché l'atmosfera presente tra sensore e sorgente altererebbe il risultato della misura, dato che l'atmosfera assorbe, emette e diffonde la radiazione infrarossa. Tuttavia l'atmosfera

ha la caratteristica di essere trasparente per alcune bande alla radiazione infrarossa : viene utilizzata, quindi, per la misura della temperatura superficiale, la banda 8-13  $\mu$  che corrisponde appunto ad una finestra atmosferica.

Il flusso in arrivo sul rivelatore è in questo caso

$$W = \omega \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{\lambda} E_{\lambda} (T) d\lambda \quad (2)$$

con  $\Phi_{\lambda}$  distribuzione spettrale del filtro,  $E_{\lambda} (T)$  funzione planckiana di corpo nero,  $\lambda_1$   $\lambda_2$ , limiti della banda passante. Questa relazione sarebbe valida ove la sorgente si comportasse come un corpo nero : l'acqua, pur avendo nell'intervallo spettrale 8-13  $\mu$  una emissività prossima ad 1 (cfr. fig. 1), non si comporta esattamente come un corpo nero. Ciò determina una correzione dovuta al flusso di radiazione atmosferica riflesso dall'acqua nel rivelatore. Risulta allora per il radiometro che il flusso incidente è :

$$W = \omega \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon_{\lambda} \Phi_{\lambda} E_{\lambda} (T) d\lambda + \omega \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (1 - \varepsilon_{\lambda}) \Phi_{\lambda} \frac{G_{\lambda}}{\pi} d\lambda \quad (3)$$

ove  $\varepsilon_{\lambda}$  è la emissività spettrale dell'acqua e  $\frac{G_{\lambda}}{\pi}$  è lo spettro della radiazione ad onda lunga del cielo per unità di angolo solido.

Usualmente la (3) è difficilmente impiegabile poichè non si conosce l'andamento di  $\varepsilon_{\lambda}$  : per l'acqua tale andamento nella regione 8-13  $\mu$  è conosciuto; si può allora determinare la temperatura superficiale, data la temperatura di radiazione  $T_R$  della relazione seguente :

$$\begin{aligned} & \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{\lambda} E_{\lambda} (T) d\lambda - \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{\lambda} E_{\lambda} (T_R) d\lambda = \\ & = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{\lambda} (1 - \varepsilon_{\lambda}) E_{\lambda} (T) d\lambda - \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{\lambda} (1 - \varepsilon_{\lambda}) \frac{G_{\lambda}}{\pi} d\lambda \end{aligned} \quad (4)$$

Essendo lo spettro della radiazione lunga del cielo correlato alla temperatura dell'aria, misurata al momento della registrazione, risulta possibile costruire un diagramma, in cui la correzione da aggiungere al dato radiometrico si ottiene come funzione della temperatura radiometrica  $T_R$  e della temperatura dell'aria  $T_A$  (cfr. Fig. 2).

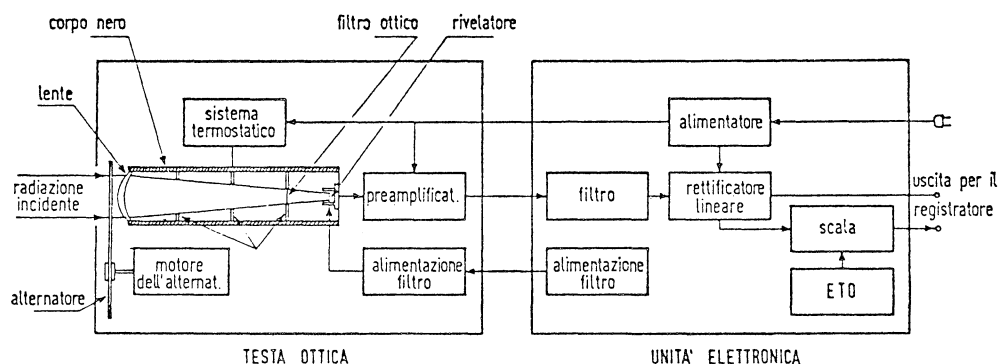


FIG. 3. — Schema di principio del PRT.5.

### 3. Descrizione generale di un radiometro

Un radiometro di quelli usualmente impiegati per le misure suddette è un apparato capace di rivelare il flusso termico emesso dalla superficie del mare nell'intervallo spettrale 8-13  $\mu$ .

Esso è costituito dal rivelatore con relativa parte ottica, dal corpo nero di riferimento e dalla unità elettronica per la elaborazione del segnale uscente dal rivelatore.

La parte ottica ha la funzione importante non solo di concentrare la radiazione sul rivelatore, ma anche di delimitare la banda passante in modo che lo strumento operi entro i limiti spettrali previsti.

Il corpo nero, mantenuto ad una temperatura costante, serve come standard assoluto di riferimento : la radiazione in arrivo dalla sorgente viene alternata sul rivelatore con quella proveniente dal corpo nero. In questo modo il segnale in uscita dal rivelatore è un segnale sinusoidale di frequenza ben definita, modulato in ampiezza dalle variazioni del flusso emesso dalla sorgente, poichè il corpo nero di riferimento ha una emissione termica costante.

Essendo la frequenza ben determinata, il segnale si può facilmente individuare mediante amplificatori e filtri, a banda molto stretta, sintonizzati sulla frequenza di lavoro. Questa tecnica di rivelazione sincrona consente di individuare anche segnali di ampiezza paragonabili al fondo : detti apparati, infatti, sono in grado di rivelare facilmente variazioni di temperatura dello ordine del decimo di grado. Dopo la elaborazione, il segnale proveniente dal rivelatore viene portato a comandare una scala di lettura o una uscita per la registrazione analogica del segnale.

In fig. 3, si riporta lo schema generale di uno di questi radiometri (Barnes PRT-5) largamente impiegato per misure di temperatura superficiale del mare. Esso consta di due unità distinte : testa ottica ed unità elettronica.

Mediante tale apparato sono state eseguite da parte dell'IFA diverse campagne di misura, di cui si riferisce, con maggiori dettagli, in altre relazioni.

#### Bibliografia

- [1] COLACINO (M.), ROSSI (E.) & VIVONA (F.M.), 1970. — Sea surface temperature measurements by infrared radiometer. *Geofis. pur. appl.*, **3**, pp. 98-110.
- [2] LORENZ (D.), 1968. — Temperature measurements of natural surfaces using infrared radiometers. *Appl. Optics*, **7**, 9, 1705 p.
- [3] SAUNDERS (P.M.), 1967. — The temperature at the ocean-air interface. *J. atmos. Sci.*, **24**, 3, 269 p.
- [4] W.M.O. - C.M.M., 1969. — Sea surface temperature. *Tech. Notes World met. Org.*, **247**, 135.