

Pisani

PERONA, GIOVANNI EMILIO - CANAVERO, FLAVIO -
PISANI, RAFFAELE UMBERTO.

"Analisi statistica degli echi Sodar."

(Convegno annuale dell' Associazione di Geofisica
Italiana - Roma, 4,5 aprile 1978.)

ROMA, 1978

Analisi statistica degli echi Sodar.

G.E. PERONA *

F. CANAVERO *

R.U. PISANI **

Riassunto - La risposta dei sistemi Sodar dipende dalla "scattering cross-section" del volume di atmosfera interessato dall'onda sonora. Poiché le dimensioni di tale volume sono comparabili con le scale della turbolenza dell'aria, una prima operazione di media sulle caratteristiche della distribuzione di temperatura e vento viene fatta dal sistema stesso. Ulteriori considerazioni statistiche sulla struttura dei parametri casuali della atmosfera si desumono ancora dall'analisi del segnale ricevuto dal Sodar, che sonda in altezza e ad intervalli prefissati, la colonna d'aria presente su di esso.

Atmosfera - Sondaggio Sodar - Scattering cross-section

* Ist. Elettronica e Telecomunicazioni - Politecnico Torino

** Ist. Elettrotecnico Nazionale "Galileo Ferraris" - Torino

Negli ultimi anni [1, 2, 3, 4, 5], studi sperimentali della turbolenza atmosferica sono stati effettuati con "radar" acustici, detti Sodar. In Fig. 1 è illustrato il sistema Sodar usato nel modo "backscattering", cioè con una sola antenna utilizzata sia in trasmissione che in ricezione. La relazione fra la potenza trasmessa e ricevuta può essere determinata con l'"equazione di trasmissione":

$$P_r = P_t \sigma_v \frac{c\tau}{2} \left(\frac{\lambda}{4\pi h} \right)^2 G_r \alpha \quad (1)$$

dove P è la potenza acustica e i pedici t e r indicano trasmissione e ricezione, G è il guadagno dell'antenna, σ_v è la "backscattering cross-section" mediata sul volume v , c è la velocità del suono, τ è la durata del pacchetto acustico, λ è la lunghezza d'onda acustica, h è l'altezza dello strato riflettente e α è l'attenuazione atmosferica dell'onda.

La potenza acustica P è legata a quella elettrica P_e tramite i rendimenti di trasduzione η (in trasmissione e in ricezione).

La tensione elettrica in un qualsiasi punto della catena ricevente è proporzionale alla pressione dell'onda sonora e, perciò, alla radice quadrata della backscattering cross-section σ_v .

La quantità σ_v tiene conto della diversa riflettività dell'atmosfera nei riguardi del suono in tutti i punti del volume v interessato, ad un dato istante, dal pacchetto sonoro; pertanto, se σ_d è la "backscattering cross-section" differenziale di ogni elemento dv del volume, si può scri-

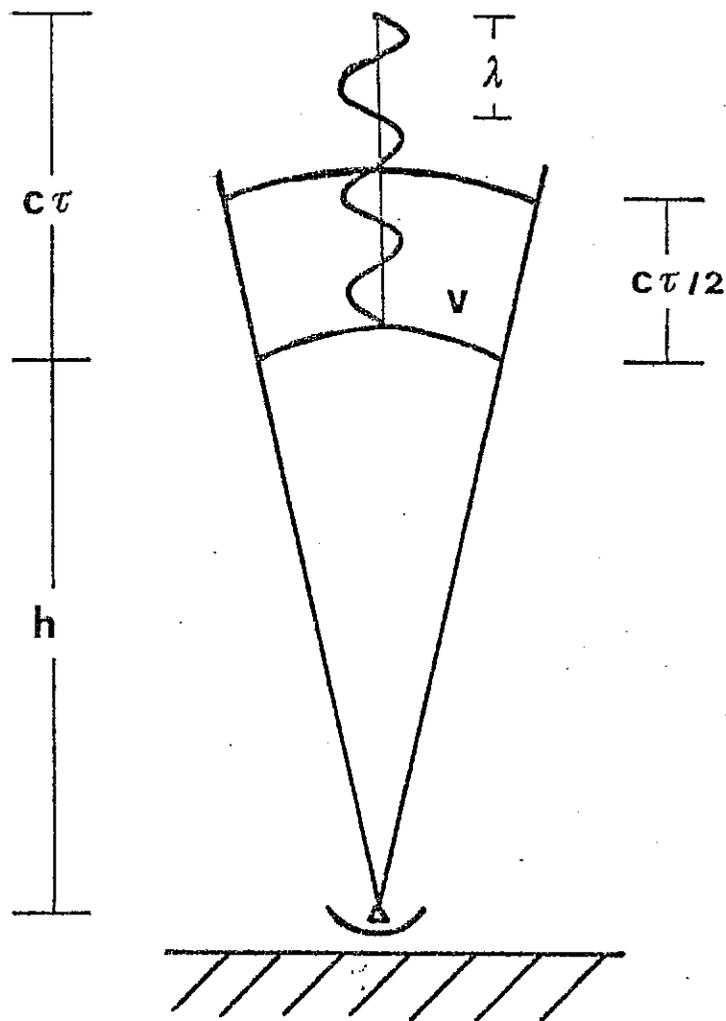


Fig. 1 - Sistema radar in moto "backscattering": il volume di scattering v è ampio metà della lunghezza spaziale $c\tau$ dell'impulso.

vere:

$$\sigma_v = \frac{1}{v} \int_v \sigma_d dv \quad (2)$$

nell'ipotesi che ogni dimensione lineare dell'elemento di volume di scattering dv sia molto maggiore della lunghezza d'onda acustica.

Per definizione la backscattering cross-section differenziale σ_d è proporzionale al quadrato del gradiente verticale della temperatura presente in dv , cioè

$$\sigma_d \propto |\nabla T|^2 \quad (3)$$

Pertanto gli echi provenienti da un dato volume, ad istanti diversi, dipendono dal gradiente di temperatura istantaneo, mediato sul volume v , cioè

$$\sigma_v = \overline{\sigma_d}^s \quad (4)$$

dove si indica con $\overline{\quad}^s$ l'operazione di media spaziale sul volume finito v .

Se si vuole dare una caratterizzazione della turbolenza atmosferica, è necessario considerare la media d'insieme operata sulle quantità σ_d : questo comporterebbe la necessità di fare la media su un volume di atmosfera molto grande, nel quale non sono più rispettate le condizioni di omogeneità della turbolenza. A questo inconveniente si può ovviare calcolando una media temporale, nell'ipotesi di stazionarietà dei fenomeni turbolenti; infatti:

$$\overline{\sigma_v}^t \propto \left\langle \overline{|\nabla T|^2}^s \right\rangle \quad (5)$$

dove $\overline{\quad}^t$ indica una media temporale e la notazione $\langle \quad \rangle$ rappresenta una media d'insieme.

In pratica è possibile calcolare la media temporale, poiché si hanno a disposizione i valori dell'eco ricevuta da un dato volume sondato con treni di impulsi di durata τ , intervallati di t_0 .

Dal momento che V_u (tensione di uscita della catena ricevente) è proporzionale a $(\sigma_v)^{1/2}$, il valor medio nel tempo risulta essere:

$$\overline{V_u}^t \propto \overline{\sqrt{\sigma_v}}^t \propto \left\langle \left[\overline{|\nabla T|^2}^s \right]^{1/2} \right\rangle \quad (6)$$

e la varianza, normalizzata rispetto al valor medio,

$$\Sigma = \frac{\sqrt{(V_u - \overline{V_u}^t)^2}^t}{\overline{V_u}^t} \propto \frac{\left[(\sqrt{\sigma_v} - \overline{\sqrt{\sigma_v}}^t)^2 \right]^{1/2}}{\overline{\sqrt{\sigma_v}}^t} \quad (7)$$

Pertanto si constata che la media nel tempo del segnale ricevuto è proporzionale alla media d'insieme dei gradienti di temperatura mediati su un volumetto dv , mentre la varianza è proporzionale alla media d'insieme del quadrato delle differenze fra il gradiente presente sul volumetto dv e la media d'insieme dei gradienti di temperatura.

Si riportano, come esempio, i dati di valor medio, in Fig. 2, e di varianza normalizzata, in Fig. 3, in funzione dell'altezza, calcolati in seguito alla campagna di misure con Sodar effettuata in Torino il 27 agosto 1976 con inizio alle ore 7.00. La portante acustica usata ha frequenza di 1 000 Hz; gli impulsi hanno durata di 50 msec e sono ripetuti ogni 5 sec. L'involuppo del segnale ricevuto è campio-

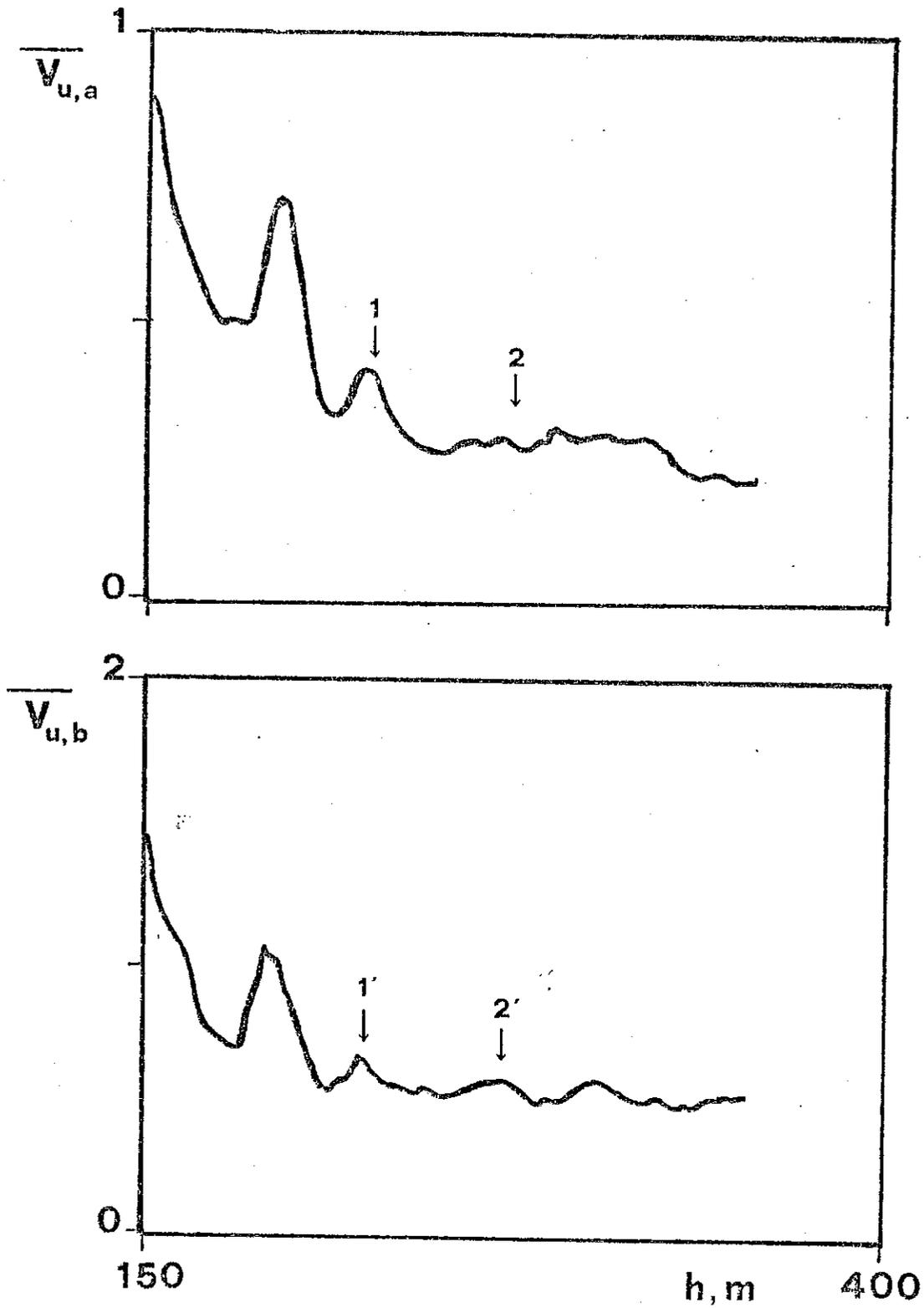


Fig. 2. - Preparazione del color verde delle tensioni
 (a) in un punto della zona da 150 a 400 m;
 la scala delle ordinate è arbitraria. La figura
 videologica è stata scelta in cui il diagramma della E
 corrispondente presenta un picco.

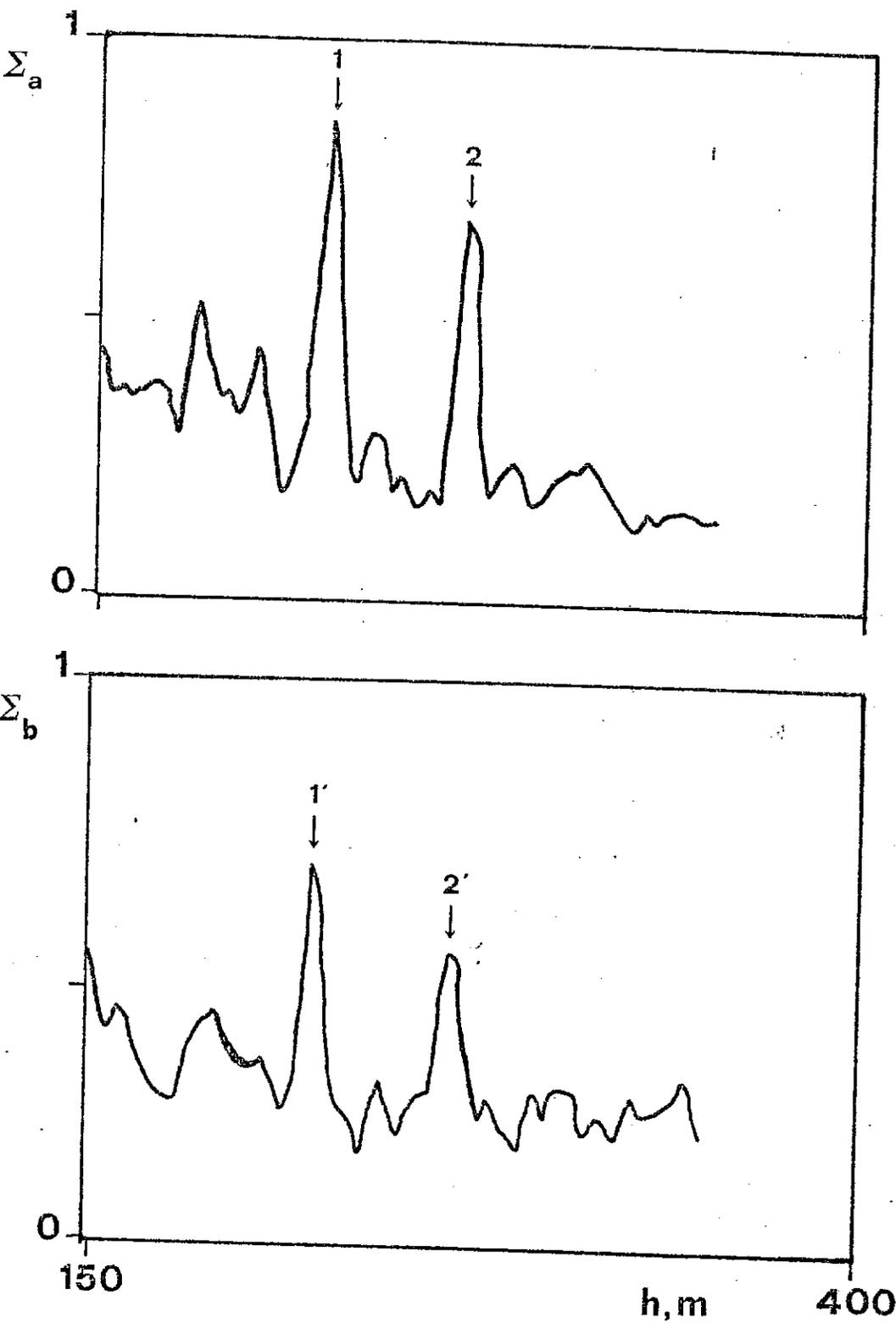


Fig. 1. Spettro di assorbimento della radiazione secondaria, E_{γ} , nel canale di ricerca in funzione della quota, da 150 a 400 m. Le frecce evidenziano i picchi di

nato alla frequenza di 51.2 Hz e il valore medio e la varianza sono calcolati su 32 echi consecutivi.

Si riscrive ora la (4) nella forma

$$\sigma_v = H \overline{|\nabla T|^2}^s \quad (8)$$

dove H è un fattore dipendente dalla frequenza dell'onda acustica, dalla temperatura media dello strato di atmosfera sondato e dal gradiente verticale del vento, mediato sul volume di scattering; H, perciò, è una quantità variabile in modo non noto con la quota.

Si faccia l'ipotesi che σ_v , che è sempre positiva, abbia una funzione di distribuzione di probabilità alla Rayleigh, cioè

$$W(\sigma_v) = \frac{\sigma_v}{a^2} \exp\left[-\frac{\sigma_v^2}{2a^2}\right], \text{ per } \sigma_v \geq 0 \quad (9)$$

dove "a" è funzione dell'altezza. Dalla (9) si ha che il valor medio è:

$$\overline{\sigma_v}^t = \sqrt{\frac{\pi}{2}} a \quad (10)$$

e la deviazione quadratica media è:

$$\overline{\sigma_v^2}^t = 2 a^2 \quad (11)$$

Inoltre si ha [4,6]:

$$V_u = A \sqrt{\sigma_v} = A \left(H \overline{|\nabla T|^2}^s \right)^{1/2} \quad (12)$$

dove A è un fattore deterministico, funzione dell'altezza, dipendente dalla propagazione, dalla potenza trasmessa e dai guadagni degli apparati di trasmissione e ricezione.

Per V_u risulta una funzione di distribuzione di probabilità pari a [7]:

$$W(V_u) = \frac{2 V_u^3}{A^4 \alpha^2} \exp\left[-V_u^4 / 2 A^4 \alpha^2\right], \quad V_u \geq 0 \quad (13)$$

Con le posizioni sopra indicate si ha:

$$\overline{V_u}^t = 1.07 A \sqrt{\alpha} \quad (14)$$

ed inoltre

$$\Sigma = \frac{\left[\overline{(V_u - \overline{V_u}^t)^2}^t \right]^{1/2}}{\overline{V_u}^t} = 0.315 \quad (15)$$

Si osserva pertanto che il valor medio del segnale ricevuto da strati a varie quote fornisce indicazioni sul gradiente verticale del vento e della temperatura, mentre la quantità Σ risulta essere una costante, indipendente dalla quota.

Analizzando i dati sperimentali di Fig. 2 si constata che il valor medio del segnale ricevuto è decrescente con la quota: è anche possibile [5] desumere informazioni sullo andamento del gradiente di temperatura in base alla potenza della curva approssimante il valor medio.

Osservando la Fig. 3 si vede che i dati sperimentali sono in buon accordo con la teoria: nei punti in cui la Σ presenta dei picchi con valori molto superiori a 0.3 si è in presenza, con buona probabilità, di turbolenza non omogenea che non rispetta la statistica semplice che è stata ipotizzata.

In tal modo sembra possibile individuare strati di natura diversa, o zone di separazione tra strati, da una semplice analisi di Σ .

BIBLIOGRAFIA.

1. BEAN, B.R.; FRISCH, A.S.; MC ALLISTER, L.G.; POLLARD, J.R.: "Planetary Boundary Layer Turbulence Studies from Acoustic Echo Sounder and in-situ Measurements", Bound. Layer Met., 4, 449 (1973).
2. CREASE, B.A.; CAUGHEY, S.J. & TRIBBLE, D.T.: "Information on the Thermal Structure of the Atmospheric Boundary Layer from Acoustic Sounding", Met. Mag., 106, 42 (1977).
3. PERONA, G.E.; PISANI, R.U. & MAZZETTI, B.: "Some Preliminary Results of an Acoustic Sounding System", Riv. Ital. Geofis., II, 85 (1975).
4. PERONA, G.E.; PISANI, R.U.: "Scintillations of Acoustic Signals Backscattered by Atmospheric Layers", Riv. Ital. di Geofis., III, n. 5/6, 297 (1976).
5. PERONA, G.E.; PISANI, R.U. & CANAVERO, F.: "Numerical Analysis of Low-Height Sodar Echoes", Riv. Ital. Geofis., IV, n. 3/4, 149 (1977).
6. LITTLE, C.G.: "Acoustic Methods for the Remote Probing of the Lower Atmosphere", Proc. IEEE, 57, 571 (1969).
7. PAPOULIS, A.: Probability, Random Variables and Stochastic Processes (Mc Graw-Hill, New York, 1965).