

le forze magnetomotrici agenti nelle cinture rispettive, sono naturalmente in scala.

La considerazione acquisita della validità lineare degli effetti consente quindi di calcolare e sperimentare sul modello una distribuzione di cinture, delle quali si è in grado di rilevare immediatamente gli effetti, perseguendo il risultato di ottenere un diagramma di compensazione che riproduca — nei limiti di un'approssimazione accettabile — il diagramma di perturbazione rilevato direttamente sullo scafo reale, con il segno opposto. Questo calcolo risulta effettuabile quindi *indipendentemente* dal diagramma di perturbazione proprio del modello, il quale, se si fa uso di un magnetometro differenziale per le determinazioni sperimentali, non è neppure necessario rilevare.

Il magnetometro appositamente approntato per questa ricerca è appunto del tipo differenziale, e basato sul noto principio della duplicazione di frequenza, di cui, per una coincidenza qui del tutto fortuita ma mirabilmente significativa, lo stesso prof. Vallauri si è occupato magistralmente parecchi anni or sono, prospettandone applicazioni di pratico interesse pur in campo diverso.

Gli elementi rivelatori del magnetometro sono due, connessi elettricamente in opposizione e disposti a conveniente mutua distanza nel laboratorio, in modo che entrambi sono sensibili alle perturbazioni accidentali estranee che praticamente li interessano allo stesso modo, data la loro relativa-

mente piccola distanza mutua, mentre uno solo è sensibile alle perturbazioni causate dal modello, poichè si trova nelle sue immediate vicinanze. La connessione elettrica dei due rivelatori fra loro fa sì che allo strumento indicatore compaia soltanto la perturbazione che interessa uno solo dei due elementi, e cioè quello opportunamente disposto in prossimità del modello.

Nella fotografia della figura 4 è visibile la disposizione dei magnetometri nella sala modelli; nella fotografia di figura 5 è rappresentato uno degli elementi sensibili (quello in prossimità del modello).

I risultati di questa ricerca sono stati utilizzati per un progetto reale, ed hanno consentito un risparmio di tempo e di spesa per le determinazioni preliminari del progetto stesso, che certamente compensa la costruzione del modello in scala. Sono inoltre valsi a comprovare per la prima volta nel nostro paese l'attuabilità dell'applicazione conveniente nei modelli magnetici, e hanno dato modo di concretare un dispositivo di misura, che consente di alleggerire fondamentalmente e nella massima misura desiderabile le condizioni necessarie per il funzionamento di un laboratorio per determinazioni magnetiche di compensazione.

Sergio Bruno Toniolo

Torino - Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris.

a Giancarlo Vallauri

Sistemi assorbenti del suono con risuonatori senza collo

Si riferisce su alcune ricerche effettuate su rivestimenti per assorbimento delle onde sonore, attuati mediante una piastra metallica sottile e forata, posta ad una distanza precalcolata dalla parete. Analogamente a quanto accade con piastre forate di notevole spessore, si realizzano anche con le piastre sottili una serie di risuonatori di Helmholtz, coi quali si possono ottenere elevati valori dell'assorbimento, seppur limitati ad una banda ristretta di frequenze. La frequenza di risonanza misurata viene confrontata con la frequenza di risonanza prevista dalle formule.

1. - I rivestimenti acustici assorbenti, attuati mediante sistemi di risuonatori, vanno acquistando ogni giorno maggiore importanza per le loro peculiari caratteristiche: un elevato valore di assorbimento per una gamma di frequenza assai ristretta. Essi sono generalmente attuati mediante pannelli situati ad una distanza precalcolata dalla parete, sui quali sono praticati fori di sezione circolare od altra forma (il che non altera il principio di funzionamento).

Il tipo di pannello più frequentemente utilizzato è quello avente uno spessore generalmente non inferiore al mezzo centimetro e più spesso superiore al centimetro. In tal modo il risuonatore che si realizza è molto simile al classico risuonatore di Helmholtz, in quanto vi sono una cavità costituita da una porzione di intercapedine ed un collo formato dal foro praticato nel pannello. Questo tipo di rivestimento è stato, soprattutto in questi ultimi anni, oggetto di numerose ricerche, in modo che tale

sistema per assorbire i suoni è ormai assai ben noto non soltanto qualitativamente ma anche quantitativamente.

Per contro, poco o punto utilizzato ed altrettanto poco noto è il rivestimento attuato mediante una piastra forata di piccolo spessore. Si realizza così un sistema di risuonatori senza collo, con il quale come nell'altro caso si ottengono assorbimenti molto notevoli delle onde sonore.

La teoria, che non si scosta in nulla da quella relativa al risuonatore con collo, porta a scrivere per la frequenza di risonanza del risuonatore senza collo la formula ben nota:

$$[1] \quad f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{2a}{V}}$$

dove c è la velocità del suono, a il raggio della bocca del risuonatore supposta circolare, e V il volume

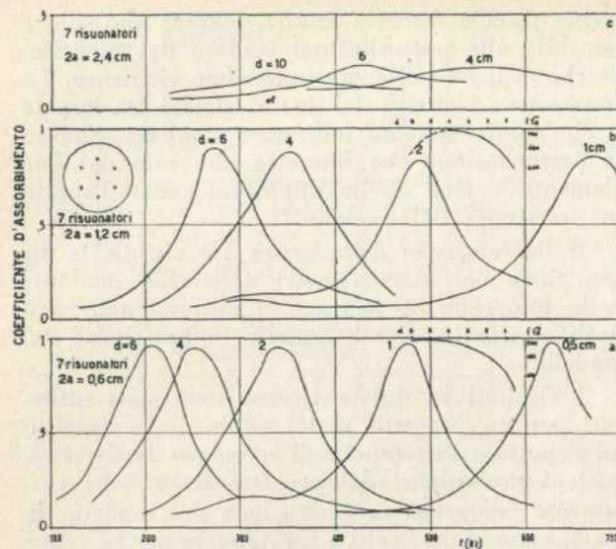


Fig. 1.

del risuonatore (nel caso del rivestimento assorbente considerato, V è la porzione di intercapedine afferente a ciascun risuonatore ed a il raggio del foro praticato nella piastra) ⁽¹⁾.

Questa formula è identica a quella data da Helmholtz ⁽²⁾ nella forma:

$$[2] \quad f = \frac{c \sqrt{\sigma}}{4 \sqrt{\pi^5} \sqrt{2V}}$$

che presenta il pregio di mostrare subito che la frequenza di risonanza varia molto rapidamente con il cambiare della area della bocca del risuonatore indipendentemente dalla forma di questa.

L'area della bocca ed il volume della cavità sono le due sole grandezze geometriche dalle quali dipendono le caratteristiche acustiche del risuonatore. Invece nel caso di risuonatore con collo vi è inoltre la lunghezza di questo, di modo che i rivestimenti acustici attuati con risuonatori senza collo risultano in pratica meno facilmente adattabili alle varie esigenze e questo è certo uno dei motivi della loro scarsa diffusione.

La [1] risulta in buon accordo con l'esperienza come riscontrò Wertheim ⁽³⁾. Sondhauss che pure

⁽¹⁾ Della [1] ci si rende facilmente ragione ricordando che la frequenza di risonanza è espressa, con evidente analogia elettrica, dalla relazione $f = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_a M_a}} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\sigma}{V^2 a}}$,

dove $C_a = \frac{V}{\rho_0 c^2 \sigma}$ è la cedevolezza acustica del volume d'aria del risuonatore e $M_a = \frac{\pi}{2} a \rho_0 \sigma$ la massa acustica d'aria in vibrazione, essendo $\sigma = \pi a^2$ l'area della bocca del risuonatore, ρ_0 la densità dell'aria ed avendo gli altri simboli i significati noti.

⁽²⁾ H. von HELMHOLTZ, *Die Lehre von Tonempfindungen*, p. 601.

⁽³⁾ H. BOUASSE, *Tuyaux et résonateurs*, p. 402.

effettuò numerose esperienze sui risuonatori senza collo pervenne sperimentalmente ad una forma analoga, ma con un coefficiente numerico correttivo, che porta a valori della frequenza di risonanza un po' minori di quelli deducibili dalla [1]. La validità delle suddette formule è sempre limitata dalla condizione che il diametro della bocca non superi la dimensione di circa un decimo della cavità del risuonatore; per valori superiori gli scostamenti tra i risultati teoricamente prevedibili con la [1] e l'esperienza aumentano.

2. - Per determinare le proprietà essenziali di un rivestimento assorbente costituito da una piastra di piccolo spessore forata e posta a piccola distanza da una parete, realizzando un sistema di risuonatori senza collo, sono state effettuate alcune misure, presso la Sezione Elettroacustica dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, con onde piane ad incidenza normale entro un tubo di Kundt, secondo una disposizione sperimentale largamente utilizzata per ricerche di questo genere ⁽⁴⁾. Le esperienze in oggetto sono state effettuate con piastre di piombo dello spessore di 1,8 mm e di acciaio dello spessore di 0,9 mm, con dischi del diametro di 25 cm, attuando un rivestimento con uno e con sette risuonatori.

Facilmente si constata (fig. 1 e 2) che i sistemi di risuonatori senza collo presentano proprietà analoghe a quelle dei risuonatori con collo attuati con piastre di notevole spessore, raggiungendosi assorbimenti molto elevati (anche prossimi all'unità), ma limitati ad una gamma ristretta di frequenze.

I grafici della fig. 1 si riferiscono ad un sistema di sette risuonatori realizzati con la piastra di piombo dello spessore di 1,8 mm. Allorquando la bocca dei risuonatori è piccola di fronte alle dimensioni della cavità (fig. 1a e 1b), il comportamento dei risuonatori è quale si prevede in base alla formule [1] e [2], con frequenze di risonanza proporzionali alla radice quarta dell'area della bocca ed inversamente proporzionali alla radice quadrata del volume. La frequenza di risonanza misurata è mediamente del 10 % inferiore a quella calcolata; il valore del prodotto $f\sqrt{d}$, invece di rimanere costante, diminuisce con il decrescere dello spessore dell'intercapedine analogamente a quanto accade con i risuonatori con collo ⁽⁵⁾. (Solo per $d = 6$ cm, come risulta dalla fig. 1b, si ha un risultato anomalo).

È interessante notare che il coefficiente di assorbimento raggiunge un valore massimo superiore a 0,9, e che la curva di risonanza è quasi sempre assai smorzata.

Quando la bocca dei risuonatori raggiunge il diametro di 2,4 cm, l'effetto di risonanza va in gran parte perduto (fig. 1c), e il coefficiente di assorbimento rimane sempre assai basso.

I grafici della fig. 2 si riferiscono alle esperienze effettuate con una piastra di acciaio da 0,9 mm e con un sol foro e quindi realizzando un sol risuo-

⁽⁴⁾ A. GIGLI, A. F., 9 (1940), p. 717.

⁽⁵⁾ A. GIGLI e G. SACERDOTE, J.A.S.A., 23 (1951), p. 349.

natore. Si è subito verificato che la piastra presentava vibrazioni meccaniche, di frequenza diversa naturalmente secondo il diametro del foro, ma sempre tali da disturbare fortemente il comportamento del risuonatore via via realizzato con le varie intercapedini. Vibrazione meccanica della piastra e vibrazione acustica del risuonatore si influenzano vicendevolmente, in modo tale da mascherare il fenomeno di risonanza acustica, che in questo caso particolarmente interessa. Dopo aver provveduto a bloccare le vibrazioni proprie della piastra, si sono ottenuti risultati indicati in fig. 2: il blocco tuttavia non è sempre riuscito in modo perfetto e la doppia risonanza che appare nei grafici di fig. 2a e 2b è appunto da attribuire a residue vibrazioni meccaniche.

Quando si può praticamente escludere la presenza di vibrazioni meccaniche, il fenomeno di risonanza acustica è manifesto: tuttavia la frequenza propria misurata è molto diversa da quella prevedibile con la formula [1] e nettamente superiore; non risulta nemmeno verificata la legge prevista dalla formula per il modo di variare della frequenza con il variare delle dimensioni della bocca o del volume dell'intercapedine. Invero le caratteristiche del risuonatore sono quasi sempre tali da ritenere non più applicabile la [1]. Infatti le dimensioni della bocca sono paragonabili a quelle della cavità del risuonatore, e la forma di questa cavità è molto diversa da quella sferica o quasi sferica, per la quale si debbono ritenere applicabili le formule [1] e [2]. La cavità è infatti costituita da un sottile strato d'aria e ciò, in connessione con la larghezza della bocca, produce verosimilmente un notevole cambiamento rispetto alle condizioni di onda incidente piana, di regolarità della radiazione acustica sulla bocca e così via, condizioni sulle quali è fondata la validità della [1].

Il tipo di rivestimento assorbente con risuonatori molto spaziosi, cioè con bocche di alcuni centimetri di diametro, è tuttavia assai interessante, perchè si ottengono per questa via assorbimenti assai elevati e per una gamma assai ampia di frequenze: risultato che sarebbe non altrettanto facile conseguire con i rivestimenti realizzati mediante risuonatori con collo.

Anche sperimentando con piastre di piombo ed un sol risuonatore, si sono verificate vibrazioni meccaniche della piastra sufficienti ad influire apprezzabilmente sulle proprietà del risuonatore.

È superfluo ricordare che le condizioni di vincolo al contorno influenzano profondamente la vibrazione meccanica della piastra e pertanto* in caso di applicazioni pratiche si possono ottenere risultati di volta in volta assai discordanti.

3. - Lo studio dell'assorbimento del suono con risuonatori senza collo riveste anche per il seguente motivo un notevole interesse. Nel risuonatore senza collo la componente reattiva di tipo inerziale è costituita essenzialmente dalla massa d'aria in vibrazione sulla bocca del risuonatore. Il valore di questa componente ⁽¹⁾ è basato su ipotesi che sono lungi dall'essere sempre ben verificate e questo è il motivo delle divergenze tra valori teorici e valori spe-

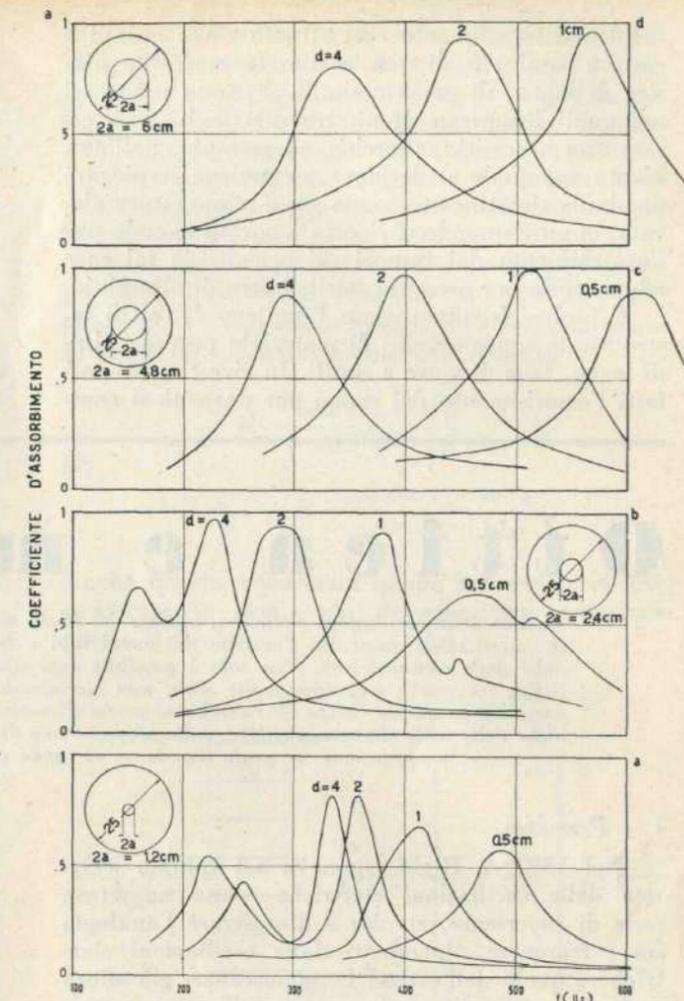


Fig. 2.

rimentali della frequenza di risonanza. Pure assai poco noto, anche numericamente, è il valore della componente resistiva, che influisce sulla forma della curva di risonanza: essa pure dipende dal modo di vibrazione della massa d'aria sulla bocca del risuonatore. Esperienze condotte su risuonatori senza collo possono dunque servire a meglio determinare i valori di queste due grandezze con vantaggio notevole anche per la conoscenza delle proprietà dei risuonatori con collo, nei quali esse sono rispettivamente confuse con la massa d'aria nel collo del risuonatore e con l'attrito sulle pareti del collo stesso, di modo che una loro precisa determinazione è, operando su risuonatori con collo, praticamente impossibile o molto difficile.

4. - Per le pratiche applicazioni l'importanza dei rivestimenti assorbenti realizzati con piastre forate di piccolo spessore, cioè con risuonatori senza collo, è assai minore di quella dei rivestimenti assorbenti attuati con risuonatori con collo. Questo, sia per la deformazione nella caratteristica assorbimento-frequenza, provocata dalla sovrapposizione alle vibrazioni acustiche di quelle meccaniche della piastra, che non possono essere eliminate se non con dispositivi senza dubbio complessi, sia perchè le piastre di piccolo spessore debbono essere metal-

liche: un rivestimento così attuato viene quindi a costare assai più di uno realizzato mediante piastre di legno di gesso o simili. Vi sono però casi nei quali l'impiego di piastre metalliche può essere una necessità allorchè, ad esempio, nell'ambiente nel quale si desidera o conviene impiegare un simile rivestimento, siano gas a temperatura elevata oppure quando si ricorra a questo metodo per l'assorbimento dei rumori sui veicoli: in tal caso adoperando per esempio sottili lastre di alluminio.

È inoltre frequentissimo l'impiego di sottili lastre forate sopra cuscini di materiale poroso: fibre di legno lana di vetro e simili. In rivestimenti così fatti l'assorbimento del suono per porosità si com-

mina con l'assorbimento per risonanza: la cavità del risuonatore venendo ad essere riempita di materiale poroso. Interessante quindi ed anzi necessaria una buona conoscenza delle proprietà dei risuonatori semplici, come quelli qui considerati.

Per questi vari motivi di carattere scientifico e pratico appare interessante condurre ricerche su questo tipo di rivestimento assorbente: i risultati presentati in questa nota hanno soltanto un valore di primo orientamento di una ricerca in corso.

Antonio Gigli

Torino - Società Torinese Esercizi Telefonici.

a Giancarlo Vallauri

Ottica e microonde

L'ottica delle oscillazioni elettriche, iniziata dal Righi alla fine del secolo scorso, ha avuto larghi sviluppi in questi ultimi anni con l'avvento dei nuovi tubi e dei nuovi metodi per la generazione e la rivelazione delle onde centimetriche. Non solo è possibile oggi ripetere agevolmente con microonde le esperienze del Righi, ma anche eseguirne molte altre, non riproducibili con i metodi ottici ordinari. Di alcune ricerche compiute in questo campo — ricerche su mezzi dispersivi metallici, su onde evanescenti, su azioni meccaniche delle onde elettromagnetiche, sulla propagazione di onde in strutture periodiche, sulla relatività nella propagazione in guide d'onda — si rende conto succintamente nel presente lavoro.

1. - Premessa

Nel 1897 A. Righi espose nel volume « Ottica delle oscillazioni elettriche » una numerosa serie di esperienze rivolte a dimostrare l'analogia fra i fenomeni dipendenti dalle oscillazioni elettriche e quelli dell'ottica. Le conoscenze, già allora molto approfondite nel campo dell'ottica, servirono così per la prima volta, da guida per esplorare uno nuovo e vastissimo, quello delle onde elettromagnetiche.

In seguito all'enorme sviluppo raggiunto attualmente dalla tecnica delle onde elettromagnetiche centimetriche o microonde, è possibile non solo ripetere agevolmente le esperienze del Righi, ma anche eseguirne molte altre, che, pur prevedibili nell'ottica non sarebbero riproducibili con i metodi ottici ordinari.

In linea generale possiamo dunque affermare che l'ottica ha indicato molti studi fecondi da eseguire nel campo delle onde centimetriche. In questa nota ricorderemo quelli dedicati ai mezzi dispersivi metallici alle onde evanescenti, alle azioni meccaniche delle onde polarizzate ellitticamente, alla propagazione in strutture periodiche, alla relatività nella propagazione in guide d'onda.

Una speciale menzione merita la spettroscopia molecolare con microonde, che ha già fornito risultati di grande interesse nello studio della struttura della materia.

2. - Mezzi dispersivi metallici.

È noto ⁽¹⁾ che fra due superfici piane, parallele perfettamente conduttrici, il campo elettroma-

gnetico può propagarsi in infiniti modi appartenenti a due tipi: *TE* (trasversali elettrici), quando il campo elettrico \vec{E} ha direzione invariabile, parallela alle superficie conduttrici; *TM*, quando ciò accade per il campo magnetico \vec{H} . Nel primo caso, il campo e. m. si propaga in direzione (*z*) normale ad \vec{E} ; nel secondo si propaga in direzione normale ad \vec{H} .

La velocità di fase secondo *z* per i modi *TE* è:

$$(1) \quad v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{n\lambda}{2b}\right)^2}},$$

ove ϵ , μ sono le costanti dielettrica e magnetica del mezzo interposto fra le superficie, che supponiamo perfetto (conduttività $\sigma = 0$), b è la distanza fra le due superficie conduttrici; X la lunghezza d'onda, che il campo e. m. assumerebbe nel dielettrico illimitato, ove si propagherebbe con velocità $c_0 = 1/\sqrt{\epsilon\mu}$; n un intero qualunque. Vi sono dunque infiniti modi *TE*, che si indicano col simbolo TE_{on} . Ciascun modo è caratterizzato dall'esistenza di una lunghezza d'onda critica, per la quale $\sqrt{1 - (n\lambda/2b)^2} = 0$, cioè:

$$(2) \quad \lambda_c = \frac{2b}{n},$$

cui corrisponde una frequenza critica o di taglio:

$$(3) \quad f_c = \frac{v}{\lambda_c}.$$

Per $\lambda < \lambda_c$, cioè $f > f_c$, il campo e. m. si propaga fra le superficie conduttrici con velocità v sempre maggiore di c_0 . Per $\lambda \rightarrow \lambda_c$ ($f \rightarrow f_c$), la velocità v

⁽¹⁾ Vedasi ad es. J. S. SLATER, *Microwave Transmission*, McGraw-Hill, 1942, p. 124.