

# Pirati, Balene, Ultrasuoni e Onde Solitarie

## ULTRASUONI UDIBILI

**D**opo i solitoni dello scorso numero, un altro interessante fenomeno di acustica non lineare è la trasmissione mediante ultrasuoni di onde modulate in ampiezza, che si trasformano in suoni udibili grazie alla non linearità dell'aria. Il fascio di ultrasuoni esiste ma, logicamente, non è udibile: il suono si materializza magari quando becca la tua capa o un muro. Ti sembra allora che una porzione di muro stia suonando, che la sorgente sia lì. Invece proviene da una sorgente "parametrica" posta alle tue spalle.

Il fascio di ultrasuoni si rende facilmente diretto poiché le lunghezze d'onda ( $\lambda$ ) degli ultrasuoni sono cortissime ( $\lambda$  = velocità del suono nell'aria diviso la frequenza), quindi è sufficiente un piccolo "disco" o pannello rettangolare purché questi sia paragonabile o addirittura grande rispetto alla lunghezza d'onda.

La frequenza ultrasonica portante è generata da un gruppo di trasduttori piezoelettrici ed è modulata in ampiezza, come avveniva con le prime radio. Il pioniere della materia, un giapponese, dovette arrendersi all'impraticabile livello di distorsione che caratterizzava la tecnica.

Il segnale audio che si usa al giorno d'oggi per la modulazione è processato digitalmente con trattamenti di pre-correzione per ridurre le distorsioni.

Il segnale elettrico così condizionato va a pilotare dei trasduttori piezoelettrici, che hanno un'irritante curva di impedenza simile a quella di un condensatore e quindi necessitano di un amplificatore assai bislacco.

Trasmettendo nella banda opportuna accade un fenomeno strano in cui l'aria stessa funziona da demodulatore, estraendo il segnale sonoro. Perciò possiamo ascoltare direttamente con le orecchie, nell'aria, senza bisogno di radio ricevente e altoparlanti.

Questi dispositivi si chiamano *array parametrici*. Storicamente, risalgono alla fine della seconda guerra mondiale e furono impiegati nei sonar.

Il fenomeno, non ci crederete, fu scoperto per caso nell'800 da un ingegnere navale, un americano di stanza presso un centro di ricerca della marina. Ironia della sorte, ascoltò il primo fenomeno di suono "fantasma", cioè che non ci doveva essere, nell'aria.

Cercò di capire cosa lo aveva provocato, ci si applicò, e il suo lavoro divenne un classico con applicazioni importantissime e preziose per il genere umano.

Gli array parametrici si usano, tra l'altro, per individuare i banchi di pesce, per indagini sul fondo marino, per le tecniche di indagine non distruttive sui materiali, nel settore medico (ad esempio nelle TAC) e in parecchie altre applicazioni.

Ascoltai la prima volta il suono fantasma in uno stand della Sennheiser, forse oltre 15 anni fa. Ne scaturì un prodotto per musei, per sonorizzazioni "individuali", ma credo abbia avuto poco successo. L'idea è comunque quella di avere un fascio sonoro stretto e "collimato" che possa essere indirizzato magari a un singolo individuo in mezzo a una folla.

A fine anni '80, due ditte americane misero sul mercato dei dispositivi parametrici "audio". Una si chiama Holosonics e fabbrica un "audio spot light" mentre l'altra, ATC, si occupa anche di audio "convenzionale" ma da guerra. Il prodotto per cui la ATC è più nota è infatti L-RAD, una sorgente ad alta potenza, trasportabile e molto direttiva. Recentemente la ditta ha anzi cambiato il nome direttamente in quello del prodotto principale. La direttività di L-RAD è ottenuta convenzionalmente e non tramite ultrasuoni modulati. Convenzionalmente signifi-

ca "grazie alle dimensioni della sorgente".

La vera "scoperta" è quella che in un sacco di occasioni è utile disporre di "megafoni" carrellati molto potenti e leggeri, in grado di gettare ben oltre un paio di km messaggi vocali intelligibili. Oltre a voci e suoni, L-RAD dispone anche di un micidiale *bip bip bip* che (probabilmente) gioca sulla risonanza dei driver

per raggiungere livelli sonori ancora maggiori, da completo rimbambimento. Ad un metro di distanza, il "bip" ferma i fonometri a 158 dB.

Se avete la curiosità di sapere che pressioni si generano in lontananza, potete usare i logaritmi oppure le widget del telefonino oppure togliete 6 dB ogni raddoppio della distanza per calcolare i livelli prodotti.

Pare avessero stanato così Noriega durante la crisi di Panama. Il maccagnico è anche impiegato sulle navi per disturbare i pirati durante i loro attacchi. C'è anche un video su YouTube di una baleniera che lo impiega contro un'imbarcazione di Greenpeace.

Finisco con una citazione colta: *do whales dreams of electric ships?*

## Parabole, Poltergeist e ombrelli

Per rendere direttivo il suono si possono impiegare i paraboloidi, posizionando la sorgente nel fuoco, esattamente come si fa con i fari.

È classico l'uso di parabole nel cui fuoco si pone un microfono a interferenza e gradiente di pressione, i famosi "fucili", per incrementare la direttività. Tali accrocchi sono reperibili nel catalogo delle principali case produttrici di microfoni. Si riesce a selezionare e focalizzare una piccola sorgente a distanze relativamente elevate, sorgente che non sarebbe udibile a orecchio nudo. Dispositivi del genere vengono impiegati ad esempio per catturare i canti degli uccelli, lo scimmiettio delle scimmie, formule per la crescita del pisello e altri importanti segreti industriali.

In certi casi è sufficiente un ombrello. Mi disse di un noto acustico che individuò i fantasmi localizzandoli con l'ombrello. Si trattava di pazzeschi fenomeni di acustica non lineare, scambiati per poltergeist dalla popolazione. Occasionali ma potenti rombi di bassa frequenza scuotevano i nervi degli abitanti del villaggio di montagna. Non si capiva da dove venissero,

né tantomeno quale fosse la causa.

Per localizzare l'origine, lo scienziato pose l'orecchio nel "fuoco" dell'ombrello e si mise in marcia, segnalando la direzione di provenienza della maggiore intensità. L'ingegnoso scienziato localizzò nel bosco la fonte del fenomeno, rivelatasi del tutto naturale: si trattava dello scorrere di una lama d'acqua nel locale

torrente. La sorgente non era facilmente localizzabile a "occhio nudo", a causa della predominanza di bassissime frequenze, dell'ocasionalità e di altre condizioni al contorno, quali spine, rovi, dirupi e terreno accidentato.

Tornando alle dimensioni della sorgente, valide le considerazioni di cui sopra, è lecito aspettarsi che una parabola con sorgente nel fuoco abbia diversi effetti di bordo rispetto a un disco vibrante delle stesse dimensioni. La maggior concentrazione della parabola in una sola direzione incrementa la pendenza della curva di cut-off sotto la minima frequenza (cioè sopra la massima lunghezza d'onda) supportata dalle dimensioni. ■

Con la tecnica delle sorgenti parametriche a ultrasuoni si "aggira" una proprietà dell'acustica lineare e il fascio può essere "collimato" praticamente senza lobi laterali, un tubo "solido". Nel nostro campo, al contrario, quello dell'acustica lineare nella banda udibile, qualsiasi *schifaizer* sia usato come sorgente non può generare un fascio sonoro immediatamente al di fuori del quale si abbia silenzio. Le molecole in vibrazione ai bordi del "fascio" disturberanno sempre quelle vicine. Qualunque fascio, inoltre, tende a divergere mano a mano che si allontana dalla sorgente. Matematicamente inevitabile la formazione di lobi nonché l'esistenza di diffrazioni su bordi e spigoli. Cause per le quali anche i tweeter più direttivi suonano di fianco.

La direttività è funzione delle dimensioni della sorgente rispetto alla lunghezza d'onda del segnale emesso. Nel caso di un altoparlante prenderemo in considerazione il diametro del cono, o le dimensioni della bocca di una tromba. L'altoparlante esibirà un certo pattern di direttività se montato alla fine di un cilindro, un altro se montato a filo di un largo pannello rigido e riflettente. I primi articoli di questa serie – *sorgenti semplici, interferenze e spazio* – sono illuminanti a questo proposito. Ogni pistone o cono o bocca di uscita di una tromba si può equiparare ad una superficie composta da innumerevoli sorgenti semplici una accostata all'altra, che interferiscono tra loro cancellandosi e rinforzandosi a seconda delle distanze fra di esse, della lunghezza d'onda e dalla distanza di misura.

Un pistone o una tromba piccoli saranno direttivi solo alle alte frequenze. Le regole della fisica non cambiano e deve essere valutato anche il buono o cattivo adattamento dell'impedenza. Non si possono fare i bassi con le piccole membrane dei tweeter. Il trasferimento di energia è favorevole per valori di  $K \times a$  un po' maggiori dell'unità (trovano carico resistivo) e sfavorevoli al di sotto, dove l'energia viene in gran parte assorbita e dissipata e non trasformata in energia acustica.  $K$  sta per  $2\pi f / c$ ,  $a$  = raggio del disco. Visto che, alla fine, la direttività te l'ho infilata a tradimento?



di Stefano Cantadori