

IL MONITOR DA STUDIO

Monitor fai da te

di Giuliano Nicoletti

La scelta del giusto monitor per lo studio di registrazione, sia esso casalingo o professionale, è uno dei passi più complicati e delicati da compiere, fonte di indecisione e, a volte, di insoddisfazione.

Sul mercato sono reperibili moltissime proposte, differenti per tipologia, ingombri, costi, e spesso mancano le conoscenze di base che dovrebbero guidare l'utente ad una scelta ragionata e consapevole. L'attrattiva esercitata dai marchi più conosciuti, o semplicemente le immagini più diffuse di molti importanti studi possono poi portare ad errori ed incomprensioni. Il monitor è in effetti uno degli anelli più importanti della catena: le differenze acustiche tra modelli diversi possono essere ampie, e l'impronta timbrica resterà sempre riconoscibile nel suono di un impianto. Non esistono diffusori totalmente neutrali, e l'interfaccia ambiente/cassa acustica

può modificare sostanzialmente (ma per davvero!) il risultato complessivo.

Occorre dunque essere in grado di identificare la giusta tipologia di prodotto e curarne il corretto posizionamento in ambiente, in relazione alle dimensioni, alle strutture che vi sono ospitate e al punto di ascolto. Se queste scelte verranno effettuate correttamente, avendo ben presente tutti gli elementi che contribuiscono a determinare il risultato, avremo a disposizione un sistema dal suono affidabile e corretto, in grado di costituire un riferimento valido per il lavoro di produzione musicale. Non esiste invece niente di peggio di un sistema di monitoraggio falsato; quanto di voi si sono ritrovati per la mani un mix che alla prova dei fatti ha mostrato un suono totalmente differente da quanto ricordavamo in fase di missaggio? Il valore del lavoro, delle ore di concentrazione spese alla ricerca di quel suono particolare, è a mio avviso inestimabile; cerchiamo dunque di valutarlo correttamente, ed andiamo allora ad approfondire le tematiche legate a questi

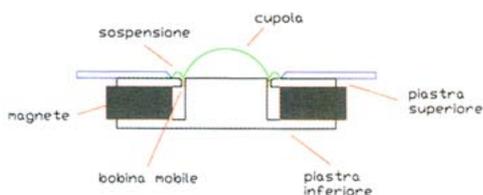
affascinanti dispositivi acustici, certi che si tratterà di tempo ben impiegato. Cominceremo ad osservare più da vicino l'altoparlante e le sue caratteristiche più importanti, per passare poi all'analisi delle più diffuse modalità di caricamento della gamma bassa (dalla cassa chiusa alla linea di trasmissione), alle differenze tra sistemi multivia e subwoofer più satelliti. Parecchio spazio sarà dedicato all'interfaccia tra Monitor e ambiente di ascolto, alle nuove tecnologie di amplificazione di potenza, ed alla fine di questo piccolo corso proporrò un piccolo sistema di Monitor attivo per autocostruzione, dalle ottime prestazioni ed impegno contenuto. Insomma, tutto quanto possa essere utile da imparare per il neofita della produzione audio, o da approfondire per il professionista che non ha mai avuto modo di affrontare il tema in modo completo ed esauriente.

L'ALTOPARLANTE...

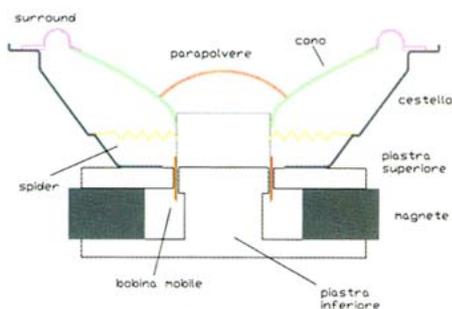
Il cuore di ogni diffusore è costituito dall'altoparlante; sebbene ne esistano oggi differenti tipologie, possiamo affermare che la struttura di base di questo dispositivo elettroacustico è rimasta molto simile a quanto veniva prodotto più di cinquanta anni or sono, quando venivano progettati e perfezionati diversi componenti che ancora oggi restano dei riferimenti di alto valore. In figura è visibile lo schema semplificato di due tradizionali altoparlanti elettrodinamici, un woofer e un tweeter.

Il funzionamento di questi oggetti è abbastanza semplice ed intuitivo: un magnete compreso tra due piastre polari genera un campo magnetico permanente concentrato in un piccolo spazio detto traferro, dove si trova posizionata una bobina, avvolta su di un supporto cilindrico molto leggero e sottile. Quando il segnale elettrico scorre all'interno della bobina, il campo magnetico generato interagisce con quello permanente creato dal magnete, e mette in vibrazione la bobina stessa. Le vibrazioni meccaniche vengono dunque trasmesse mediante il supporto cilindrico alla membrana, che trasferisce questa energia meccanica

tweeter - sezione schematica



woofer - sezione schematica



all'aria, sotto forma di suono.

Le due sospensioni (spider e surround, nel caso del tweeter è presente solo il secondo) vincolano la libertà di movimento dell'equipaggio mobile su un solo asse, permettendo l'escursione anche in presenza di ampie sollecitazioni (in gamma bassa le vibrazioni della membrana possono produrre spostamenti nell'ordine di alcuni cm, in grandi woofer).

Le frequenze più gravi, da circa 200 Hz verso l'estremo inferiore, producono grandi movimenti delle membrane (si può immaginare che per generare vibrazioni di ampia intensità è necessario eccitare una notevole massa di aria), mentre salendo di frequenza lo spostamento diventa quasi impercettibile (ecco il motivo per cui i midrange hanno sospensioni più piccole, e i tweeter soltanto il surround).

I trasduttori a nastro utilizzano una tecnologia molto simile, con alcune sostanziali diversità: la bobina mobile non è più avvolta su un supporto cilindrico, ma distesa sulla membrana stessa. Il conduttore può essere stampato sul diaframma mediante processi chimici o incollato seguendo geometrie particolari. In alcuni casi la membrana stessa può essere l'elemento conduttivo, come avviene in alcuni diaframmi in alluminio. Il gruppo magnetico non è più di forma rotonda, dunque, ma viene realizzato con barre di neodimio (la ferrite non è in grado di generare un campo abbastanza potente) poste in adiacenza della membrana.

... E LA SUA PROGETTAZIONE

Come si può notare dai due schemi esemplificativi, il classico altoparlante elettrodinamico si presenta come un dispositivo abbastanza semplice nella costruzione e nel funzionamento; è sufficiente però scendere un poco in profondità nell'analisi per scoprire che queste poche parti possono interagire secondo modalità complesse e difficilmente prevedibili, e che ogni componente deve essere dedicato ad un particolare tipo di utilizzo, seguendo in sede di progettazione alcune regole stringenti, ed aggiungendo poi un pizzico di magia, di esperienza, di sensibilità personale. In effetti i parametri oggi più comunemente utilizzati per descrivere le caratteristiche di un altoparlante sono stati formalizzati soltanto nei primi anni settanta, quando questi dispositivi venivano già utilizzati diffusamente in differenti tipologie di applicazioni.

Molti parametri determinanti non venivano analizzati approfonditamente, e l'approccio alla progettazione era poco tecnico e soprattutto non standardizzato.

Fu il paziente ed esaustivo lavoro di analisi di Richard Thiele e Neville Small a definire la classica tavola dei parametri oggi familiarmente detta di T/S (Thiele/Small), che descrive le caratteristiche per piccoli segnali dell'altoparlante elettro-

namico e viene comunemente utilizzata dalle case produttrici nei datasheet degli altoparlanti.

Non entriamo in questa sede nella descrizione e nell'analisi dei parametri di Thiele Small; si tratta di un argomento assai specialistico che interessa gli autocostruttori ed i tecnici più smaliziati, ma ci riserviamo la possibilità di dedicare a questo interessante argomento una analisi più approfondita, ove ve ne fosse richiesta. Sarà sufficiente per adesso immaginare i parametri di Thiele Small - ricavati mediante l'analisi della curva di impedenza dell'altoparlante - come una fotografia molto accurata delle relazioni che si sviluppano tra il gruppo magnetico, la bobina mobile, la membrana. Se ne ricavano indicazioni sulla predisposizione del componente ad un determinato tipo di carico acustico (bass reflex o cassa chiusa? Linea di trasmissione o tromba? Dipolo o doppio carico reflex?), sul tipo di carico elettrico presentato all'amplificatore di potenza, sulla qualità dei materiali utilizzati.

Questi parametri hanno rappresentato per circa trent'anni la cartina di tornasole dell'altoparlante elettrodinamico, ed ancora oggi mantengono un valore assoluto; nuove tecnologie si sono poi sviluppate negli ultimi anni, e la diffusione di sistemi di calcolo molto potenti e versatili ad un costo sempre minore ha favorito lo sviluppo e la diffusione di nuovi strumenti di analisi e misura. La simulazione ad elementi finiti permette oggi di prevedere con ottima approssimazione il comportamento di un gruppo magnetico o di un particolare profilo di membrana, e diversi produttori di software dedicano energie allo sviluppo di programmi di calcolo espressamente dedicati alla progettazione elettroacustica. Un cenno deve essere infine dedicato allo strumento Klippel Audio Analyser, che ha permesso per la prima volta di analizzare il comportamento dinamico degli altoparlanti elettroacustici, aprendo lo spazio a nuove frontiere dell'analisi e dello sviluppo. Wolfgang Klippel, tecnico di grande valore, esperienza e intuito, ha sviluppato sul finire degli anni novanta un sistema di misura PC based che utilizza un laser, sensori di corrente e tensione e permette di osservare il comportamento di un altoparlante elettrodinamico durante l'applicazione di grandi segnali.

Cosa succede al mio woofer durante escursioni di parecchi millimetri (o addirittura

cm), con grandi potenze in ingresso, e come si modificano durante la riproduzione del ciclo di una onda acustica i parametri classici, solitamente misurati in posizione di riposo? L'analisi del comportamento dinamico permette di osservare l'altoparlante da nuovi punti vista, ed aggiungere ai classici parametri di T/S una notevole quantità di dati in più.

Grazie a Klippel la fotografia è diventata una rappresentazione tridimensionale, dinamica, approfondita.

Resta ad ogni modo una base solida di estrema soggettività, che affida un valore determinante all'aspetto umano della progettazione; la psicoacustica è una materia assai complessa e per molti versi ancora inesplorata. Nonostante oggi la tecnologia di progettazione ed analisi sia estremamente raffinata e potente, molte scelte vengono ancora compiute affidandosi a prove di ascolto e test comparativi. Alcuni progettisti utilizzano esclusivamente alcuni specifici materiali e geometrie, altri si dimostrano più propensi a sfruttare ogni tipo di tecnologia oggi a disposizione; non esiste ancora una regola chiara e precisa su cosa sia giusto impiegare per ottenere un componente di alto valore, o un test che indichi senza ombra di dubbio il materiale migliore per lo specifico impiego.

Questo significa anche che non è possibile stabilire a priori che un determinato diffusore avrà particolari doti soniche determinate dall'utilizzo di alcuni materiali o tecnologie di produzione; è però possibile indicare alcune caratteristiche associabili a determinati materiali e geometrie costruttive.

I MATERIALI

Il primo e più evidente elemento di ogni altoparlante è la membrana; esistono mille e più materiali utilizzabili per realizzare membrane di woofer, ➤

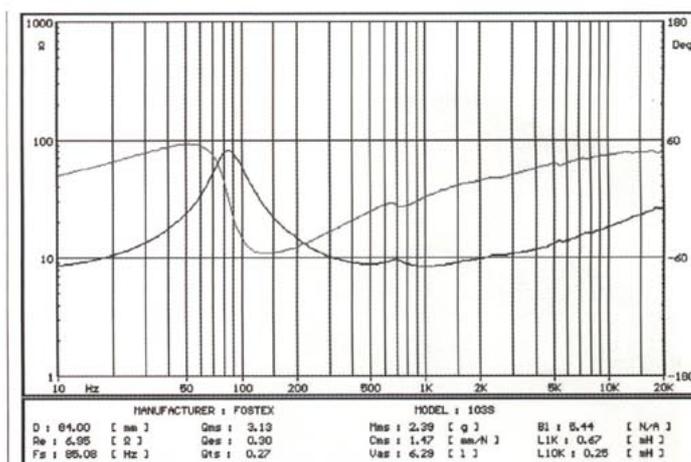


Fig. 1 vT-S: I parametri di T/S di un bel fullrange Fostex, l'FE126.

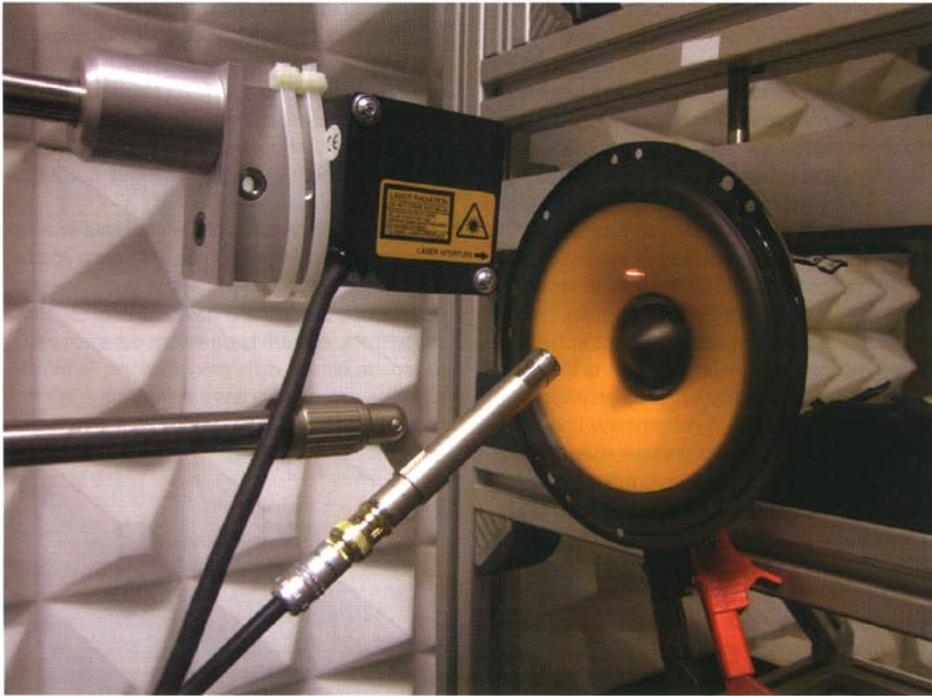


Fig. 2 Klippel: Un dettaglio di Klippel in funzione: il laser monitorizza lo spostamento della membrana, il microfono misura la risposta in frequenza, ai morsetti dell'altoparlante vengono onclizzate tensione e corrente. Servizio completo!

midrange e cupole di tweeter, ognuno dotato di caratteristiche precipue. Ogni progettista di altoparlanti sogna di avere a disposizione un materiale leggerissimo, rigido, smorzato, economico e semplice da produrre, bello da vedere e stimolante per gli addetti del marketing e della promozione, spesso impegnati ad elaborare nuove e roboanti sigle ed acronimi bizzarri per descrivere i propri prodotti. Ovviamente questo materiale non esiste, ma resta una amplissima libertà di scelta, in grado di soddisfare ogni palato. La buona vecchia cellulosa impregnata viene ancora impiegata con successo da molti produttori, anche in linee di punta. Ha dalla sua caratteristiche di ottima linearità di emissione e naturalezza nel suono, che permettono di utilizzarla in dif-

fusori di ogni tipologia e impostazione timbrica. Membrane in cellulosa possono essere leggere, abbastanza rigide e ben smorzate, possono venire modellate negli stampi secondo profili di ogni tipo e utilizzabili per grandi tagli come per piccoli componenti. Se ben trattate si dimostrano resistenti nel tempo e affidabili.

I materiali plastici, nei vari polimeri compositi in cui si possono presentare, sono parimenti assai diffusi. Possono essere formati per stampo od iniezione, con l'aggiunta di varie sostanze smorzanti (Mica, Talco, fibre di ogni tipo...). Abbastanza leggeri, smorzatissimi, non eccellono in rigidità, e si dimostrano assai indicati per la realizzazione di altoparlanti che non debbano avere una banda passante estremamente estesa su frequenze alte (ottimi nei sistemi multivia, ad esempio), semplificando il compito di filtrarne l'emissione per realizzare incroci con altri componenti del diffusore acustico. Il suono di questo materiale è in effetti generalmente morbido e controllato, tanto che spesso viene utilizzato in abbinamenti a trasduttori a cupola rigida o metallica, che vi conferiscono una più vibrante ricchezza armonica (e il pensiero corre subito a tutte le realizzazioni Genelec, vero e proprio standard del monitoraggio in studio). Sono economici e possono assumere ogni tipo di profilo e di spessore. La seta trattata, con le sue mille differenti possibilità di combinazioni (si possono difatti realizzare misti con qualsiasi altro tipo di tessuto, e con differenti trattamenti impregnanti), resta ancora

oggi il materiale principe per la realizzazione di cupole dei tweeter. Leggera, smorzata, lineare, ha un suono naturale e scevro di risonanze indesiderate. Nei tweeter a cupola permette di ottenere praticamente ogni tipo di suono: giocando con la tipologia e quantità di trattamento smorzante del tessuto, con la possibilità di utilizzare del ferrofluido nel traferro (un denso fluido ferromagnetico che favorisce la dissipazione termica della bobina mobile e smorza la risposta acustica e l'impedenza del componente) con la realizzazione di camere posteriori di smorzamento acustico, è possibile passare da un suono frizzante e aperto sull'estremo acuto (sempre con una buona dose di naturalezza) ad un timbrica raffinata e precisa, delicata nelle tessiture armoniche e ben smorzata (avete presente il suono dei tweeter più raffinati della Dynaudio?).

I materiali a base di fibra oggi sono meno utilizzati che in passato: le fibre di vetro, di kevlar, o di altro tipo, risultano abbastanza costose e delicate da produrre (ovviamente il capitolo "costi" è uno dei più importanti per ogni produttore di acustiche - di qualsiasi oggetto), ma hanno parecchie virtù: sono rigide, leggere, se ben trattate possono risultare molto smorzate, e produrre un suono dinamico e armonicamente ricco, senza incorrere in risonanze problematiche. Occorre sottolineare che si tratta di materiali complessi da trattare, soprattutto se si desidera ottenere costanza di prestazioni in fase di produzione. Difficile dunque generalizzare, in questo caso, ma impossibile non pensare alle bellissime membrane in fibra di kevlar sviluppate dalla B&W e dalla KRK, entrambe caratterizzate dal bel colore giallo vivo, dal suono ricco e cromatico.

Le membrane metalliche hanno alcuni pregi molto evidenti: estrema rigidità e leggerezza, innanzitutto, ma anche la possibilità di essere stampate secondo ogni profilo possibile. Risultano però abbastanza delicate ed hanno la tendenza a produrre risonanze abbastanza evidenti: nell'applicazione per tweeter è possibile spostare la risonanza principale in banda ultrasonica, ma nei midwoofer risulta spesso abbastanza complesso filtrarne le componenti sgradite (che tendono poi a protrarsi fastidiosamente nel tempo). Bellissimi gli altoparlanti Monitor Audio, azienda inglese che di questo materiale ha fatto il proprio marchio di fabbrica, e assolutamente affascinanti i dispositivi AMD (Amplitude Modulation Devices) sviluppati dalla Boston Acoustics per assorbirne le risonanze: dei veri e propri risuonatori meccanici cilindrici che operano tagli selettivi assorbendo energia a determinate frequenze, proprio come una risuonano le canne degli organi.

Ultimamente godono di ottima fama i materiali ceramici per la realizzazione di midwoofer e sintetici, come il diamante (ovviamente generato in laboratorio mediante complessi procedimenti), per le membrane dei tweeter. Rigidissimi, leggeri,



Fig. 3 Coni: Dettagli di coni in Cellulosa, Polipropilene, Sandwich, fibra di Kevlar.



molto reattivi e cromaticamente ricchi, generano però parecchie risonanze spurie che possono risultare difficili da controllare in sede di filtraggio e messa a punto del diffusore. E rendono complessa la realizzazione di profili particolari, a volte necessari per ottenere pattern di dispersione omogenei e regolari. Tra i costruttori più importanti che utilizzano questa tecnologia è senza dubbio Accuton, azienda specializzata nella produzione di membrane in ceramica per i midwoofer e diamante sintetizzato per i propri tweeter. Avalon utilizza questi altoparlanti nei propri diffusori di punta, come i rigorosi Mixing Monitor, dedicati agli studi di registrazione più raffinati ed esigenti. Infine un cenno ai materiali compositi, sandwich di differenti strati: leghe di alluminio e schiume poliuretatiche, fibre di kevlar e cellulosa, fibre di kevlar e alluminio strutturato a nido d'ape (e chi più ne ha più ne metta...); non si tratta quasi mai di novità assolute: già negli anni sessanta la Leak produceva dei magnifici diffusori che utilizzavano dei coni compositi in polistirolo e alluminio e sfoggiavano prestazioni di altissimo livello e un suono estremamente affascinante.



Fig. 4 Cupolo: Ecco una cupola in seta, e accanto la relativa bobina avvolta su supporto in alluminio.

Ovviamente anche in questo caso è estremamente difficile astrarre le qualità particolari di questo tipo di tecnologia, che può produrre materiali molto differenti per caratteristiche timbriche. La Eton, rinomata azienda tedesca fondata nel 1983, è senza dubbio uno dei produttori più specializzati nell'utilizzo di sandwich a nido d'ape con fibre impregnate: i suoi woofer con membrane in Exacone sono utilizzati anche nei modelli di punta della Adam, in abbinamento ad originali tweeter planari.

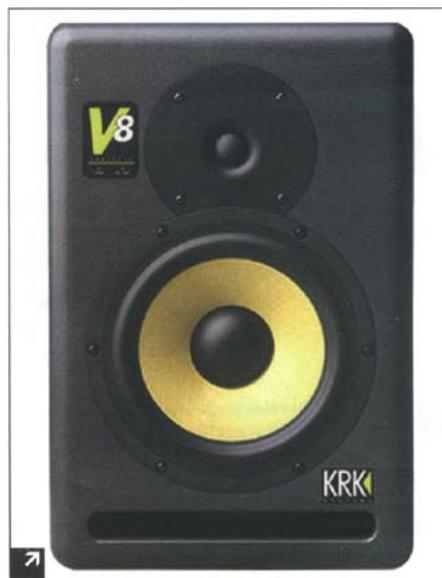
Come potete immaginare l'argomento è molto ricco, affascinante e complesso: ogni materiale ha un proprio suono, un proprio modo di vibrare, produrre componenti armoniche e trasmettere energia all'aria. Il progettista di altoparlanti ha dunque piccole e curiose manie: spesso si ritrova a stropicciare tra le dita un foglio di carta, ascoltandone il suono, o dimostra un subitaneo ed intempestivo interesse per la ricchezza armonica della cukipack da cucina, o per la leggera rigidità del polistirolo delle vaschette per alimenti. Avete mai provato ad ascoltare il suono di un CD flesso e liberato tra il pollice e l'indice, giusto accanto ad un orecchio? Suona smorzato e dinamico, gustosamente corposo sul mediobasso e ben delineato in gamma media, con alcuni ricchi, puntuti e gradevoli armonici in gamma altissima.

La membrana però è soltanto una parte dell'altoparlante: sarebbe un grosso errore sottovalutare il contributo di tutti gli altri componenti nella determinazione delle caratteristiche sonore.

Procediamo dunque con l'analisi. Il gruppo magnetico fornisce l'energia che viene tradotta in suono, e deve essere ben ottimizzato per creare un campo simmetrico e la giusta densità di induzione (né troppa, né troppo poca). Contribuisce inoltre a determinare il valore di induttanza della bobina mobile, e ne mantiene la corretta temperatura di esercizio.

Questo componente può essere molto semplice ed economico, come anche estremamente complesso e costoso. Il materiale ferromagnetico più diffuso e utilizzato è oggi la ferrite, stabile ad alte temperature, abbastanza potente ed economica. Il neodimio, nella varie formule reperibili, è decisamente più potente e costoso, e permette di compattare le dimensioni ed il peso dei gruppi magnetici. Viene quindi utilizzato sempre più spesso per i tweeter (è un retaggio del settore car: lo sviluppo di tweeter in neodimio per l'ambiente automotive ha aumentato progressivamente la produzione di questo tipo di materiale, abbassandone drasticamente i costi). All'interno delle due piastre polari possono essere utilizzati anelli e schermature in rame o alluminio, con funzione di linearizzazione (statica e dinamica) dell'impedenza della bobina mobile.

Questi dispositivi non si vedono dall'esterno ma contribuiscono in modo determinante ad ampliare la banda passante dell'altoparlante e controllarne



i tassi di distorsione. Ovviamente aumentano i costi di produzione, che rendono possibile utilizzare questi elementi solo in componenti costosi e assai raffinati. E' importante sottolineare che il gruppo magnetico costituisce anche un elemento determinante per il raffreddamento della bobina mobile, e realizza spesso un vero e proprio circuito dove l'aria viene pompata dal movimento della membrana, sempre per mantenere costante la temperatura di esercizio della bobina (se la temperatura della bobina sale la resistenza dell'avvolgimento aumenta, diminuisce la potenza erogata dall'amplificatore e con lei l'SPL del sistema. Ecco cosa è il fenomeno della compressione termica, temuto da ogni fonico di FOH che si rispetti). E la bobina mobile? Deve avere avvolgimenti compatti e ben ottimizzati nella geometria, e determina in prima istanza il dato della banda passante dell'altoparlante (vale a dire quanto l'altoparlante estende la gamma utile di frequenze riproducibili).





Fig. 5 Lack: Bellissima la membrana composta di questo woofer Lack anni sessanta: polistirolo con una sottile lamina in alluminio.

riflessioni sul lato posteriore del cono, che ne perturberebbero l'emissione (non poco, non si tratta di un aspetto secondario: lo sviluppo di un cestello acusticamente ottimizzato assorbe notevoli energie ad un reparto di R&D). Per non parlare poi delle sospensioni: il suono di un surround in foam od in tela trattata, così



Fig. 6 Mag1: un tradizionale gruppo magnetico per woofer in ferrite: si noti il polo centrale rialzato, un espediente che permette di ottenere un campo maggiormente simmetrico.



Fig. 7 Mag2: un gruppo magnetico per woofer in neodimio. Si notino le compatte dimensioni e l'anello in rame sul polo centrale, che linearizza l'andamento dell'impedenza della bobina mobile.

► Può essere realizzata in rame smaltato (la soluzione più comune ed economica), in alluminio ricoperto di rame (più leggero e performante), a volte addirittura in argento. Può avere sezione circolare, quadrata, rettangolare, esagonale, per compattare al massimo la struttura degli avvolgimenti.

Anche il cestello svolge una funzione molto importante: le vibrazioni indotte nella bobina mobile debbono trasformarsi esclusivamente in suono, ed è importante che non vengano assorbite dal cestello. La corretta centratura dell'equipaggio mobile nel gruppo magnetico deve essere mantenuta anche dopo trasporti e spostamenti dei diffusori non proprio delicati. E il profilo della parte posteriore del cestello non deve essere acusticamente ingombrante, per evitare di produrre

come lo smorzamento meccanico che ne deriva e il contributo complessivo alla massa dell'equipaggio mobile. Nei monitor da studio o mastering il materiale più utilizzato è senza dubbio la gomma, che assicura un eccellente smorzamento e una notevole affidabilità e costanza di prestazioni. Il foam, pur avendo caratteristiche soniche di assoluta eccellenza (è il materiale che meno contribuisce ad aggiungere carattere sonico ad un altoparlante) ha problemi di affidabilità nel tempo. Le nuove formulazioni dovrebbero assicurare una vita assai più lunga, ma quanti di voi hanno dovuto buttare dei vecchi diffusori, anche di ottime prestazioni, a causa dello sbriciolamento delle sospensioni dei woofer?

La tela trattata viene utilizzata soprattutto in componenti Pro, per applicazioni di PA: è difatti molto leggera e permette di ottenere un suono dinamico e brillante, per piccole escursioni (carichi a tromba o grandi diametri di emissione). Nei subwoofer di ridotte dimensioni, con necessità di permettere alte escursioni all'equipaggio mobile non potrebbe essere utilizzata (in questi casi la gomma è il materiale principe).

CONCLUSIONI?

Descrivere ed analizzare in modo chiaro ed esauritivo il funzionamento e le caratteristiche dell'altoparlante elettrodinamico non è semplice, e mi rendo conto di quanti spunti siano soltanto accennati, di quanti approfondimenti potrebbero essere possibili. Si tratta di un dispositivo affascinante, dove l'elettronica incontra l'acustica, la fluidodinamica, il magnetismo. Un oggetto complesso e delicato che in ultima analisi deve poter soddisfare lo strumento di misura più raffinato e selettivo che esista: il nostro udito. Introdurre le caratteristiche principali è stato comunque utile ed estremamente importante: è il primo anello della catena di riproduzione acustica, e le sue caratteristiche di timbrica, dettaglio, selettività e dinamica non potranno essere migliorate dalla cassa acusti-

ca, dal sistema di filtraggio od amplificazione; come l'impronta digitale di una persona, l'altoparlante definisce il carattere di base di ogni diffusore acustico. Nella prossima puntata andremo allora ad allargare lo sguardo: tratteremo delle più diffuse tipologie di caricamento, dalla cassa chiusa alla linea di trasmissione, e ci soffermeremo sull'importanza del cabinet, della sua forma e delle modalità di emissione del suono nello spazio. ■



Fig. 8 VoiceCoil: Bobina mobile di un midwoofer, avvolta su supporto in Kapton, assieme al relativo spider e surround in gomma, foam e tela trattata.