

Cavi e qualità del suono qualcosa di nuovo, anzi, d'antico

C'è un elemento che imbarazza fortemente qualsiasi tecnico sia chiamato ad esaminare il capitolo "cavi di potenza": le forti convinzioni di quelli che sostengono la loro grande influenza sul suono complessivo della catena di riproduzione e le finora piccole risultanze dei classici test tecnici. Dopo tanti anni dall'ultima volta, anche noi ci siamo riavvicinati all'argomento cercando di tenere a bada gli scetticismi derivati dalle precedenti esperienze e di cercare un approccio diverso, seppur ovviamente sempre nel fedele rispetto dei criteri dell'indagine razionale. Dopo la prima fase di messa a punto dei test, ed ampliando l'ambito delle possibili modellizzazioni del "sistema cavo", non c'è voluto molto per rimanere francamente sorpresi dai risultati.

Un'anticipazione su tutte: se, alla pari degli altri elementi della catena, si considera il cavo di potenza come un dispositivo dotato di un ingresso ed una uscita, allora in un moderno impianto è molto probabilmente lui a presentare le maggiori distorsioni non-lineari, subito dopo gli altoparlanti, essendo solo raramente superato dall'amplificatore di potenza.

Le acquisizioni consolidate

Non è certo la prima volta che AUDIOREVIEW si occupa tecnicamente di cavi. La prima estesa disamina fu di Paolo Nuti, sul numero 54 (ottobre 1986), e permise di puntualizzare gli elementi del modello del cavo di potenza e di valutare quantitativamente l'influenza dei medesimi, come anche di chiarire la fondatezza - aneddotica allora come oggi - delle creative tesi concernenti il verso dei cavi o le non-linearità da micro-rettificazione. In effetti già in precedenza (fine anni '70) lo stesso gruppo di lavoro si era occupato della materia, ma più in termini osservativi che sintetici. L'ultima volta fu invece esattamente 10 anni or sono (AR 138-139) e riguardò soprattutto i cavi di segnale, in quella estesa monografia che dedicammo alle cosiddette "interazioni deboli", fortemente voluta dallo stesso Nuti e sviluppata dal sottoscritto, dapprima con fatica e scetticismo e poi, sulla base dei crescenti risultati acquisiti, con coinvolgimento e sincera meraviglia. Per chi non lesse quei numeri, ricordiamo che alcuni dei maggiori fenomeni di deterioramento della qualità del suono emersi allora erano legati direttamente alla tipologia, alla qualità ed alla geometria dei cavi di segnale, e la loro incidenza era tale che (anche questa fu idea di Paolo) fummo in grado di portare al Top Audio un set up dimostrativo che lasciò di stucco parecchi audiofili: un impianto completo ma privo di altoparlanti (i finali pilotavano delle resistenze) che, per interferenze indotte, faceva "suonare" un parallelo impianto completo ma privo di sorgente. In realtà ci occupammo anche di cavi di potenza, seppure più marginalmente, e tro-

vammo che questi erano in grado di radioemettere debolmente segnali tali da poter essere captati da fonorivelatori di tipo MM (od assimilabili), e la conclusione fu che tale fenomeno poteva essere annullato solo mediante cavi coassiali.

La teoria "classica"

Premettiamo che conosciamo dal loro apparire le teorie simil-scientifiche di diversi costruttori di cavi, anche di quelli che alla prova dei fatti mostrano di saper realizzare prodotti di reale alto livello, e non ci interessano. Sono una chiara necessità di marketing e non hanno fondamento nella realtà effettuale delle cose, nel leggerle proviamo sentimenti analoghi a quelli che ogni giorno, ascoltando alcuni telegiornali mattutini, ci spingono ad usare il telecomando quando dalle previsioni del tempo si passa agli oroscopi. Pur essendo dotato - oltre che di normali orecchi - dei migliori strumenti di analisi in circolazione, capaci di evidenziare fenomeni distorsivi di molti ordini di grandezza inferiori alle soglie di udibilità scientificamente dimostrate, il nostro team non è mai stato in grado di mettere in evidenza fenomeni di non linearità intrinseca di cavi di potenza - se non addirittura di isteresi o rumore, come pure abbiamo letto - quali quelli che dovrebbero conseguire alla presenza di impurità secondarie nei conduttori od ai "versi" preferenziali di scorrimento degli elettroni, né tantomeno di convalidare la consistenza delle osservazioni relative al "rodaggio" ed al "warm up" dei cavi stessi, mentre siamo ad esempio in grado di farlo per gli altoparlanti e secondariamente per gli amplificatori. Il problema

di fondo è quello storico dell'alta fedeltà, intramontabile nonostante tutto: citare fenomeni anche reali, dimenticandosi completamente di indicare **quanto** questi fenomeni pesano e quale rilevanza possano quindi avere. Dato che molti ossidi metallici hanno proprietà rettificatrici, posso ben immaginare che impurità e punti di contatto (potenzialmente ossidabili) possano causare distorsione in presenza di passaggio di corrente, ma se questo effetto è significativo **deve** manifestarsi in qualche modo, creando distorsione, o rumore, o altre anomalie. E se non trovo nulla fin sotto -120 dB vuol dire probabilmente che quel fenomeno non esiste, o se esiste non è rilevante.

Nella teoria "classica" il comportamento e l'influenza del cavo sono determinate dai suoi parametri elettrici, ovvero da resistenza, induttanza e capacità. La resistenza può andare (salvo casi estremi) da alcuni milliohm a molte decine di mohm per metro di lunghezza, la capacità da alcuni picofarad ad alcune migliaia di pF, l'induttanza da alcuni centesimi di microhenry a parecchi decimi di μ H. Con questi valori, e date le impedenze caratteristiche degli altoparlanti, si possono avere effetti immediatamente prevedibili e facilmente misurabili su alcune alterazioni lineari, ovvero:

1) La resistenza determina le alterazioni di risposta, perlomeno a bassa frequenza, che sono presenti se il sistema di altoparlanti non ha un'impedenza costante rispetto alla frequenza (il che avviene solo in casi molto rari, e solo in prima approssimazione). Supponendo ad esempio un caso favorevole, con cavi da 15 milliohm ed altoparlanti con escursione da 6 a 10 ohm, tale alterazione vale un insignifi-

cante 0.0087 decibel. Ma in una installazione pedestre, con cavi da mezzo ohm ed altoparlanti da 2.5 a 30 ohm, tale alterazione raggiungerebbe un poco gradevole valore di 1.44 dB, udibilissimo; senza contare che al minimo d'impedenza l'amplificatore trasferirebbe sul cavo non meno del 30% della potenza erogata. Si potrebbe obiettare che "in natura" l'ultimo caso non esiste, ma ad esempio chi scrive ricorda ancora con raccapriccio il mega-impianto di un conoscente, allestito alla fine degli anni '70 da un allora molto noto negoziante romano: altoparlanti (delle grandi Tannoy) in un vasto salone, elettroniche a due vani di distanza, connessione mediante oltre 15+15 metri di piattina rossa e nera, per una resistenza serie dell'ordine di 1 ohm...

2) La resistenza diminuisce lo smorzamento degli altoparlanti: il fattore di merito della risposta di un altoparlante dinamico è notoriamente dato dal parallelo di 2 fattori di merito, quello meccanico e quello elettrico. Anche in presenza di altoparlanti con alte perdite dissipative, ovvero con Q meccanico basso, il Q meccanico è normalmente superiore a quello elettrico di circa un ordine di grandezza, per cui è il Q elettrico a dominare il comportamento d'insieme. Il Q elettrico dipende dalla resistenza su cui l'altoparlante è chiuso dalla semplice relazione

$$Q_{ec} = Q_e (R_e + R_c) / R_e$$

ove

Q_{ec} = Q elettrico effettivo

Q_e = Q elettrico dell'altoparlante chiuso su un cortocircuito

R_e = resistenza della bobina mobile

R_c = resistenza parassita in serie al circuito di chiusura (del cavo ed interna dell'altoparlante)

Detta così potrebbe sembrare che questo punto sia cosa ben diversa e distinta dal punto (1): invece no, è esattamente la stessa cosa, ma da una visuale differente!

3) L'induttanza può determinare un'ulteriore alterazione della risposta sull'estremo superiore, sia positiva che negativa, ma solo in casi particolari questa alterazione assume valori consistenti. Ciò può risultare a prima vista anomalo, dato che un'induttanza da 2 μ H ha (da sola) un modulo d'impedenza di circa mezzo ohm a 20 kHz, e che nelle situazioni reali si possono anche abbondantemente superare i 5-6 μ H: ma un'induttanza è una reattanza pura, e ad esempio 2 μ H in serie ad un altoparlante sostanzialmente resistivo da 4 ohm presentano nell'insieme un'impedenza a 20 kHz di 4.008 ohm, con una attenuazione sul carico di appena 0.017 dB. Se però ad alta frequenza il carico diventa capacitivo (condizione invero piuttosto rara, dato che per sua natura un altoparlante dinamico è tendenzialmente induttivo alle alte frequenze) allora una marcata induttività del cavo può produrre incrementi di risposta an-

che non irrilevanti, seguiti da un roll off relativamente ripido. In altre parole, l'induttanza del cavo "sensibilizza" la trasmissione del segnale in termini di equilibrio della risposta alle frequenze più alte.

4) L'effetto pelle può attenuare le alte frequenze, ma sempre in modo trascurabile.

All'aumentare della frequenza la conduzione tende a concentrarsi sulla superficie del conduttore, per ragioni di natura magnetica, e di conseguenza la sezione equivalente del conduttore si riduce. Questo fenomeno vale però - con gli usuali dimensionamenti dei cavi, che comunque tengono in considerazione questo fenomeno - al massimo, nei casi peggiori, qualche punto percentuale all'estremo acuto, e l'aumento di resistenza che ne consegue è quindi generalmente modesto.

5) La capacità non ha effetti diretti sulle prestazioni: i valori in gioco sono troppo piccoli, soprattutto perché rapportati a valori di resistenza particolarmente bassi. Chi scrive, peraltro, ha provato fino ad oggi un numero di amplificatori ormai prossimo al migliaio, trovando in più occasioni nei manuali forniti a corredo l'indicazione di non utilizzare cavi ad alta capacità (come quelli multifilari intrecciati) pena il rischio di autoscillazione.

6) Il "sistema cavo" può essere rappresentato da un modello a costanti concentrate (fig. 1), non c'è bisogno di frazionarlo in una serie di resistenze/induttan-

ze/condensatori molto piccoli, ovvero in una "linea di trasmissione". Il primo a giungere a questa conclusione nel nostro paese fu Giancarlo Gandolfi, già direttore tecnico della RCF negli anni '70 ed '80 nonché tra i "padri fondatori" dell'alta fedeltà italiana, nel 1981. Tale conclusione era motivata da un lato dalle dimensioni in gioco (ammettendo una "bassa" velocità di propagazione del segnale elettrico di 100.000 km/s, un ciclo a 20 kHz copre una distanza di 5 km, circa 3 ordini di grandezza superiore all'estensione dei cavi d'un impianto di riproduzione del suono), dall'altro - forse - pure dalla constatazione che inserendo ambo le opzioni in un programma di calcolo (erano di allora i primi computer) in banda audio non c'erano variazioni di risposta se non microscopiche.

Cosa abbiamo fatto oggi

Ci siamo chiesti se, oltre a misurare le alterazioni lineari (modulo e fase della risposta) su un carico reale legate alla presenza del cavo in un contesto di misura differenziale (uscita vs ingresso), come già fatto in passato, non potevamo misurare anche le distorsioni non lineari (armonica ed eventualmente intermodulazione). In teoria si poteva fare ma, sapendo a priori che l'esito poteva anche essere il classico pelo nell'uovo, occorreva un set up di misura di altissima purezza ed una procedura in grado di effettuare test a correnti elevate senza bruciare gli alto-

Figura 1. Per il cavo di potenza audio vale il modello a costanti concentrate o quello a costanti distribuite (la "linea di trasmissione")? Alle frequenze audio non sembrerebbero sussistere differenze di qualche rilievo, ma 2 o 3 decenni al di sopra le differenze esistono e potrebbero avere influenza non sul segnale trasmesso, bensì sui parametri interni degli amplificatori, soprattutto di quelli con ridotti margini di stabilità.

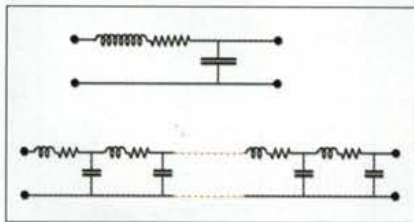
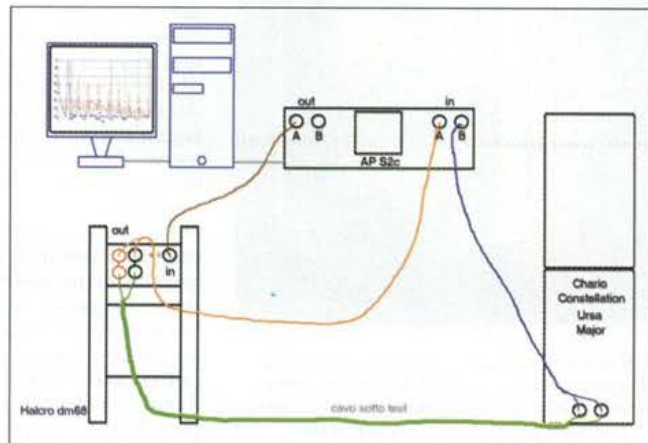


Figura 2. Set up di misura per la comparazione dell'incremento della distorsione armonica tra l'uscita dell'amplificatore e l'uscita del cavo di potenza. Eseguite le autocalibrizzazioni preliminari, il controller dell'Audio Precision System 2c comanda la generazione di burst di ampiezza desiderata nonché l'acquisizione sincrona di ingresso ed uscita. Per ogni singola frequenza di misura una volta acquisiti gli spettri si ricava immediatamente di quanto, per ogni singola armonica, la distorsione sia aumentata, poi le componenti vengono sommate ed il risultato plottato su un file.



parlanti, giacché appare piuttosto intuitivo che se qualcosa da scovare c'è non possa che manifestarsi più nettamente ai livelli operativi elevati.

Per la strumentazione non c'era problema, il nostro Audio Precision System Two Cascade offre un residuo migliore dello 0.0005% su tutta la banda udibile ed è in grado di evidenziare fenomeni distorsivi 10 volte più deboli. Per la procedura bastava riconvertire quella di misura della distorsione in regime dinamico per i sistemi di altoparlanti, cosa che ha richiesto un paio d'ore. L'amplificatore poteva invece essere un problema, perché non è pensabile "andare a caccia" di fenomeni potenzialmente ben al di sotto di -80 dB con un finale che magari distorce a -70 dB: in teoria basta comunque sottrarre gli spettri, ma in pratica ci si trova nella condizione di chi vuol confrontare la lunghezza di 2 pali alti 20 metri con una precisione di qualche micron... La fortuna ha però voluto che in redazione fosse ancora presente la coppia dei finali Halcro dm68, provata su AUDIOREVIEW 237, di gran lunga quelli che in laboratorio hanno esibito i più bassi tassi di distorsione armonica e d'intermodulazione di sempre, nonché (parametro altrettanto importante) una bassissima impedenza d'uscita.

La catena di misura (fig. 2) è strutturalmente semplice: il generatore produce un burst di altissima purezza spettrale, il



Il finale Halcro dm68, senza la cui bassissima distorsione (minore dello 0.00015% su carico resistivo) e bassissima impedenza interna (meno di 1 mohm a basse e medie frequenze) non sarebbe stato possibile scendere agli altrettanto minimi valori inferiori di misura nella distorsione che invece abbiamo potuto indagare.

finale lo amplifica, i 2 canali dell'Audio Precision acquisiscono sincronicamente l'uno il segnale presente all'uscita del finale, l'altro il segnale in ingresso al sistema di altoparlanti. L'elaborazione è ancor più semplice, perché (fig. 3) si limita a sottrarre dal segnale di uscita ogni singola componente di distorsione presente nel segnale d'ingresso (per quanto lineare possa essere l'amplificatore, un carico non ohmico induce comunque piccole distorsioni, che vanno tenute nel conto) sfruttando l'utile possibilità di poter fare una sottrazione scalare, non sussistendo uno sfasamento apprezzabile tra ingresso ed uscita. Appena montata tale catena e messo a punto il software abbiamo ovviamente cominciato ad esaminare quanto avveniva, ed in breve tempo il laboratorio si è riempito dapprima dei tecnici, poi degli ascoltatori presenti in redazione, ed infine di tutte le maestranze della TechniPress, tanto poco attesi apparivano i risultati.

È infatti accaduto che in più casi e con burst di potenza nemmeno irrealistica (100-150 W su 8 ohm) abbiamo rilevato aumenti uscita-ingresso della distorsione anche superiori all'uno per cento, con una punta di 1.7%: e ciò con qualche metro di cavi di qualità indiscutibile, non con la classica piattina bicolore da mezzo millimetro (!). La colpa di tali distorsioni è ascrivibile al cavo, ma non la causa: se infatti al posto di un altoparlante reale mettiamo una resistenza non induttiva di buona qualità ed alta potenza ogni distorsione scompare fino al limite inferiore di misura che - come descritto poc'anzi - è davvero molto basso. La causa è nelle distorsioni non lineari della corrente generate dalle distorsioni non lineari dei trasduttori (legate a distorsioni intrinseche del circuito magnetico ed ancor più ai riflessi elettrici delle distorsioni meccaniche) che il cavo, in ragione dei suoi parametri caratteristici e della frequenza di lavoro, non consente di abbattere. È ovvio quindi che, quando ai capi del cavo la distorsione vale, ad esempio, lo 0.5%, l'altoparlante di solito produce una distorsione molto maggiore, e quindi si potrebbe pensare che il contributo del cavo possa "perdersi" nel più forte segnale distorto generato acusticamente. In più casi potrebbe essere vero, ma occorre non trascurare almeno due elementi:

1) Solo in casi particolari la distorsione elettrica rilevabile all'uscita del cavo è spettralmente assimilabile a quella acustica misurabile sulla pressione. Di norma le componenti sono distribuite in modo molto diverso. Le fasi di tali segnali potrebbero poi anche essere tali da produrre un effetto in tutto od in parte compensativo (ossia potrebbero diminuire la distorsione, e viene spontaneo pensarlo se si considera che il pilotaggio in corrente, ovvero ad altissima resistenza sorgen-

te, di norma migliora la distorsione), ma di certo modificano quanto esce dai trasduttori.

2) In caso di connessione non di tipo multi-wiring, la distorsione non abbattuta dal cavo si trasmette direttamente all'ingresso dei filtri di tutti gli altri altoparlanti, ovvero aumenta il livello di interferenza reciproca tra i trasduttori.

Le misure effettuate

Occorre in primo luogo fare una puntualizzazione. Le misure effettuate sono relative ad un provino lungo 5 metri per tutti i cavi disponibili come matasse, ovvero acquistabili a metraggio. Per i cavi terminati abbiamo ovviamente effettuato la misura sulla lunghezza disponibile (i tagli andavano da 2.5 a 3.5 metri), poi nel grafico di distorsione abbiamo riportato sia la misura assoluta che quella riportata ad una lunghezza di 5 metri, tratteggiandola, onde agevolare i confronti. Vale la pena a questo proposito di sottolineare la circostanza (verificata anche empiricamente, non solo a tavolino) che, dati i rapporti in gioco tra impedenza del carico ed impedenza dei cavi, tutte le alterazioni sia di tipo lineare (attenuazione e rotazioni di fase) che non lineare (distorsione armonica ed IMD) sono legate linearmente alla lunghezza del cavo: un cavo da 4 metri distorcerà il doppio (+6 dB) dello stesso cavo tagliato a 2 metri, attenuerà il doppio e ruoterà del doppio la fase.

Per ogni cavo riportiamo 3 misure:

1) Modulo e fase della risposta da 20 a 50.000 Hz su un carico puramente resistivo da 4.1 ohm (2 resistenze non induttive - ed accuratamente verificate - da 8.2 ohm messe in parallelo), alla tensione efficace di 2 volt (mezzo watt su 8 ohm). Nel caso di cavi terminati di lunghezza prefissata viene graficata anche la misura riportata a 5 metri.

2) Modulo e fase della risposta allo stesso livello di prova su un sistema di altoparlanti reale. Abbiamo optato per le Chario Constellation Ursa Major, perché caratterizzate da una buona escursione dell'impedenza e del tutto in grado di "digerire" burst di potenza molto elevata, che peraltro abbiamo applicato solo nella fase di acquisizione d'una casistica iniziale. Nel caso di cavi terminati NON viene graficata la misura riportata a 5 metri, bensì solo la misura assoluta.

3) Distorsione armonica differenziale (uscita meno ingresso) sulle stesse Chario, con burst di potenza equivalente a 50 watt su 8 ohm, limitata alle prime 10 armoniche e comunque con il vincolo di 40 kHz. Anche qui, come nel primo grafico, nel caso di cavi terminati viene graficata anche la misura riportata a 5 metri.

Dalla prima misura, effettuata con un'accuratezza di un centesimo di dB sul mo-

dulo, si ricava direttamente e con elevata precisione la resistenza, atteso che si sia stati sufficientemente bravi da rendere trascurabile la resistenza di contatto sulle terminazioni (compito abbastanza facile, anche vista la relativa lunghezza prescelta per i provini). In effetti, anzi, vista la geometria di prelievo (con i terminali del cavo sensore sulla parte posteriore dei terminali d'ingresso delle Chario) l'effetto della resistenza di contatto - comunque sempre migliore di 1 mohm - è totalmente trascurabile. Inoltre il calo all'estremo acuto (la risposta si estende fino a 50 kHz) e la variazione della fase permettono di verificare i dati di reattanza misurati direttamente tramite il nostro ponte Wayne e Kerr.

Dalla seconda misura si ha un'idea di quel che può succedere nella realtà in termini di alterazione della risposta in frequenza.

Dalla terza misura si apprende quanto può venire alterato il segnale elettrico consegnato agli altoparlanti in un caso reale. Naturalmente i risultati sono funzione del sistema di altoparlanti usato e del livello di prova, ma è altrettanto ovvio che non esiste un carico standard per questo test. Altrettanto ovvio è che nell'eseguire le misure abbiamo curato certamente le condizioni al contorno, effettuando le misure in un range di temperatura non superiore al singolo grado e temporizzando uniformemente i burst.

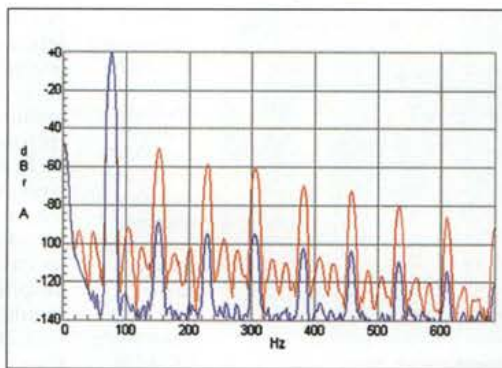
I risultati delle misure

Il dato più interessante riguardava ovviamente il test di distorsione differenziale. I risultati, riportati sinotticamente nella tabella di pag. 45, indicano chiaramente 2 elementi, abbastanza intuitivi se non fosse che un conto è pontificare a priori ed un conto è andare a vedere cosa succede nella realtà tangibile:

- 1) La resistenza del cavo controlla il contenimento della distorsione a bassa frequenza.
- 2) L'induttanza del cavo controlla il contenimento della distorsione ad alta frequenza.

Anche nei casi migliori il segnale elettrico consegnato agli altoparlanti presenta distorsioni che nessuno salterebbe con favore se misurate in uscita dall'amplificatore. C'è poi un altro elemento su cui riflettere, che viene messo in evidenza da un'analisi più accurata nella quale abbiamo simulato (con il nostro AFW) il circuito del set di misura della risposta su carico resistivo usando per il cavo il modello a costanti concentrate ed inserendo i valori di L e C che leggevamo sul ponte: nonostante anche le fasi siano state misurate differenzialmente e con grande precisione, modello e risultati sono congruenti con buona accuratezza solo per i cavi a più alta induttanza. Ad esempio il

Figura 3. Esempio di confronto tra la distorsione presente all'uscita dell'amplificatore ed ai morsetti di entrata di un sistema di altoparlanti commerciale, a poche decine di watt di potenza del burst di prova. A parte il netto aumento di tutte le componenti armoniche, anche al di sopra del limite di frequenza analizzato, che costituisce l'obiettivo del test di distorsione differenziale, possono essere notati altri 2 fenomeni di notevole interesse: la distorsione, bassissima ma non nulla come sarebbe stato su carico resistivo, rilevabile all'uscita del finale, e la presenza di componenti sub-armoniche all'ingresso del diffusore.



Monitor Gladiator C2 e l'Oehlbach 1226, al ponte entrambi prossimi ai 3.8 μH per una lunghezza di 5 metri, una volta "ricostruiti" al computer esibiscono un comportamento congruente con una induttanza da 3.5 μH sia per il modulo che per la fase, ma man mano che si scende con l'induttanza la congruenza rimane ottima per il modulo, mentre dalla rotazione di fase si ottiene un valore d'induttanza molto minore. Il G&BL HPV vale 1.04 μH sia al ponte che dal valore dedotto dal modulo, ma la fase è congruente con soli 0.47 μH , per non parlare del Flatwire DePWR che al ponte risulta da 0.47 μH mentre dalla fase appare come da 0.12 μH . Se si scompone il cavo in una linea si ottengono andamenti tendenzialmente in accordo con questo comportamento, ma solo a frequenze superiori di almeno 2 ordini di grandezza, per cui al momento possiamo solo riservarci di indagare ulteriormente.

Aspetti insoliti, ma non inattesi, vengono anche da un test comparativo della capacità misurata a 1000 e 10.000 Hz, che in qualche caso, con ogni probabilità a causa delle variabili perdite nel dielettrico (le guaine isolanti), cambiano apprezzabilmente. Ad esempio Audioquest e Kimber mantengono graniticamente la loro capacità entro il singolo pF, mentre nei Supra si verifica un calo del 10% e nel G&BL HPV dell'11%. Anche in questo caso è difficile fornire un'interpretazione oggettiva in termini di prestazioni, anche se sembrerebbe intuitivo attribuire alla coerenza una caratterizzazione positiva.

Un elemento ulteriore

Come accennato in precedenza, e come ipotizzato nelle monografie del passato, i cavi ad alta capacità possono generare problemi di stabilità in alcuni amplificatori di potenza. Abbiamo cercato di evidenziare come ciò possa avvenire con delle simulazioni. La stabilità di un amplificatore controelegato dipende direttamente dal fattore di controelegazione e dalle prestazioni ad anello aperto. All'aumentare della frequenza il guadagno diminuisce e la fase si discosta pro-

gressivamente dallo zero, assumendo valori negativi: se la porzione di segnale riportata in ingresso per controelegare il sistema assume un guadagno maggiore di 1 quando la rotazione raggiunge i 180 gradi la reazione diventa positiva e l'amplificatore autoscala, distruggendosi di norma in poche decine di millisecondi. La differenza tra 180 gradi ed il valore della fase di uscita quando il guadagno del segnale riportato in ingresso ("guadagno di anello") è pari ad 1 prende il nome di "margine di fase", e deve essere massimamente positivo. Il reciproco del coefficiente di amplificazione di anello quando la fase vale 180 gradi prende il nome di "margine di guadagno" e deve essere quanto più possibile maggiore di 1. Questi parametri consentono di gestire abbastanza intuitivamente il concetto di stabilità, senza dover ricorrere al meno intuitivo diagramma di Bode.

In figura 4 vediamo simulata la risposta ad anello aperto su un carico resistivo da 4 ohm di un amplificatore ad alto guadagno (90 dB), bassa frequenza di taglio (2 kHz) e moderata impedenza d'uscita (5 ohm), caratterizzato dal solo polo dominante a 2 kHz (una approssimazione "favorevole") e da nessun ritardo di propagazione. Tale modello di amplificatore è sicuramente semplificato, ma didatticamente del tutto valido. Con il carico resistivo da 4 ohm la fase approssima asintoticamente i 90 gradi, per cui è possibile portare il guadagno ad anello chiuso a valori anche bassi (ovvero applicare alti tassi di controelegazione) senza rischio di instabilità. In figura 5 osserviamo cosa succede se al carico viene messa in serie un'induttanza da 1 mH: ad alta frequenza la risposta si "solleva" di alcuni decibel, peggiorando moderatamente il margine di guadagno, ma la fase diventa addirittura più favorevole in banda di transizione e comunque rimane confinata entro +90 gradi. Se invece al posto di un'induttanza da 1 mH in serie mettiamo un condensatore da 0.47 μF in parallelo succede quanto si osserva in figura 6: il guadagno cala sensibilmente ma la fase approssima rapidamente i 180 gradi, che sommati ai 180 dell'inversione attuata

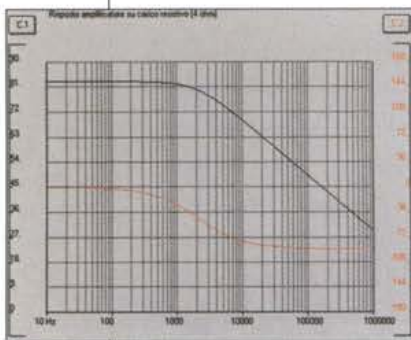


Figura 4. Simulazione della risposta ad anello aperto di un amplificatore caricato su 4 ohm resistivi e dotato di 90 dB di guadagno, 5 ohm di impedenza interna e di polo dominante collocato a 2 kHz.

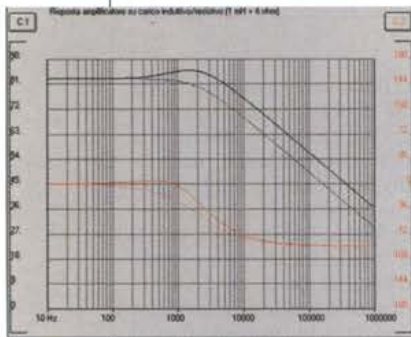


Figura 5. Come figura 4, ma con un'induttanza da 1 mH serializzata al carico resistivo.

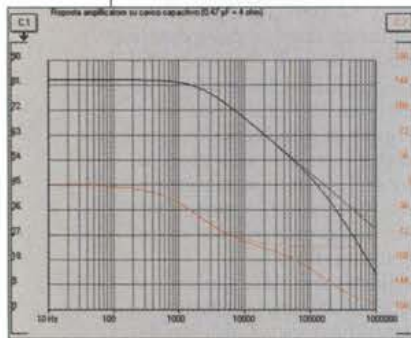


Figura 6. Come figura 4, ma con un condensatore da 0.47 uF in parallelo al carico. Notare il netto peggioramento della fase.

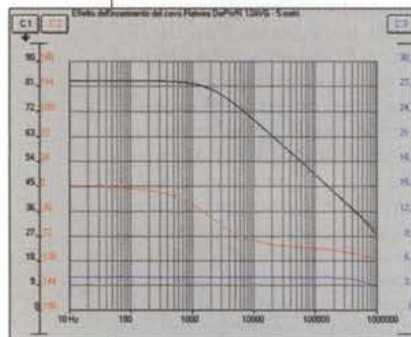


Figura 7. Come figura 4, ma simulando l'inserimento di un cavo Flatwire DePWR 12 AVG da 5 m. In blu è riportata l'impedenza di carico vista dall'amplificatore.

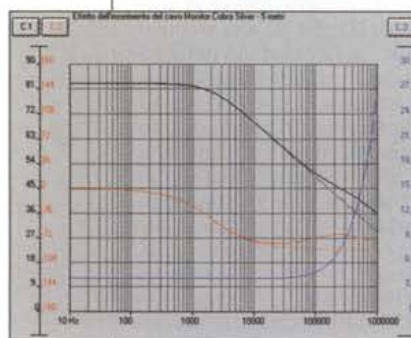


Figura 8. Come figura 7, ma con 5 metri di Monitor Cobra Silver al posto del Flatwire. Dal punto di vista dell'amplificatore la situazione è certamente più tranquilla...

per reazionare negativamente il sistema fanno un intero angolo giro e quindi una reazione positiva. In quest'ultimo caso se si impone un basso guadagno ad anello chiuso, ovvero si applica una contoreazione elevata, l'amplificatore perde la stabilità, il che è esattamente il motivo per cui, vari anni or sono, quando tra i test standard che il sottoscritto eseguiva c'era anche la risposta al gradino su carico capacitivo puro, in media un amplificatore su 20 entrava istantaneamente in protezione o passava a miglior vita. In figura 7 vediamo cosa accade se il carico resistivo da 4 ohm lo alimentiamo mediante 5 metri di Flatwire DePWR da 32 nanofarad: l'impedenza che l'amplificatore "vede" in uscita (curva blu) intorno al megahertz scende a circa 2.7 ohm, ma soprattutto la fase scende apprezzabilmente e solo la pur minima componente induttiva impedisce di arrivare in area di pericolo a frequenze dell'ordine della decina di MHz, che potrebbero sembrare altissime, ma alle quali in realtà molti amplificatori moderni arrivano con attenuazioni non troppo elevate. Di sicuro la condizione offerta dal Monitor Cobra Silver (fig. 8) è alquanto più tranquillizzante.

La complicazione "geometrica"

Qualcuno si chiederà perché abbiamo inteso utilizzare provini da 5 metri e comunque riportare a tale lunghezza i grafici delle rilevazioni più importanti. Il motivo non è solo nella automatica riduzione dell'errore di misura, bensì anche nel fatto che da un lato esistono molti casi reali in cui bisogna ricorrere a tratti ancora più lunghi, dall'altro che esiste una filosofia di ascolto specifica - che ad esempio annovera il nostro Matarazzo tra i fautori più convinti - secondo la quale le elettroniche non devono essere collocate tra i diffusori, perché "la scena si forma al centro, ed al centro dev'esserci solo l'aria". Chi segue tale impostazione e vuole usare cavi relativamente corti ha una sola possibilità, quella di sistemare sorgenti ed amplificazione dietro il muro di fondo, in un altro vano. In altre parole, deve trattarsi di un audiofilo tanto accanito quanto scapolo...

Conclusioni

Volendo essere pessimisti, si potrebbe dire che i cavi di potenza sono un male inevitabile. All'inverso si potrebbe affermare che l'adozione di un cavo di qualità consente di contenere a termini minimi la degradazione del segnale consegnato agli altoparlanti. Alla luce dei test quantitativi e delle simulazioni di modelli che abbiamo effettuato c'è di certo che:

1) Tanto più breve è il cavo, tanto proporzionalmente minori sono le degradazioni lineari e non lineari che presenta

in uscita.

2) Il modello ideale continua ad essere quello a resistenza, induttanza e capacità nulle, ma si può tentare di approssimarlo solo riducendo la lunghezza. Sia alla luce delle analisi che conducemmo in passato, sia a parere di alcuni costruttori di cavi, la stessa estensione lineare può essere considerata un parametro rilevante.

3) Dei 3 parametri di base, ed assumendo (come verificato in questo contesto) che le geometrie in gioco rendano secondario l'effetto pelle, la resistenza pare quello che più condiziona la percentuale maggiore di spettro udibile, ovvero le basse e medie frequenze.

4) Alle alte frequenze il parametro dominante sulle distorsioni non lineari è l'induttanza. In effetti il binomio resistenza/induttanza emergeva come globalmente strategico anche nelle analisi del passato, i risultati attuali corroborano e consolidano questa visione delle cose.

5) La capacità non pare generalmente avere effetti diretti, ma in presenza di valori elevati può interferire debolmente con la debolmente induttiva impedenza interna dell'amplificatore, e comunque introduce un'incognita rispetto al comportamento intrinseco dell'amplificatore, soprattutto (statisticamente parlando) di quelli altamente contoreazionati, dato che può modificarne apprezzabilmente alcuni dei parametri di progetto.

6) Se si dispone di un finale a bassissima impedenza d'uscita, dell'ordine dei millesimi di ohm (fattore di smorzamento relativo ad 8 ohm dell'ordine delle migliaia), pare del tutto ragionevole ricorrere al multi-wiring (un cavo di potenza per ogni via), e del tutto ragionevole pare anche il ricorrere ad un cavo a bassissima resistenza per i bassi ed uno a bassa resistenza e bassissima induttanza per gli acuti.

7) Poiché l'effetto sulle oggettive prestazioni complessive di un cavo di potenza appare governato dai suoi parametri elettrici, e poiché tali parametri operano di norma su impedenze complesse da ambo i lati, pare poco ragionevole parlare di qualità "assolute" del cavo stesso: sempre e comunque riconoscibili, sempre e comunque dello stesso segno e della stessa incidenza. Molto più logico sembra il parlare eventualmente di "legame" o, come sempre abbiamo fatto in altri ambiti, di "interfacciamento" del cavo con il resto del sistema.

8) Forse sarebbe il caso di riconsiderare alcune soluzioni del passato, come quelle introdotte da Kenwood ed altri negli anni '70. Le "scuole" erano fondamentalmente 2: finali monofonici collocati a ridosso degli altoparlanti, pilotati quindi mediante lunghi cavi di segnale, e finali con uscita a 3 o 4 fili per prelevare la contoreazione direttamente sui morsetti ed includere quindi il cavo nel loop di contoreazione. Oggi naturalmente sappia-

Induttanza specifica crescente [$\mu\text{H}/\text{m}$]	Resistenza specifica crescente [$\text{m}\Omega/\text{m}$]	Capacità specifica crescente [pF/m]	THD specifica estremo basso 68 Hz [%/m]	THD specifica estremo alto 10 kHz [%/m]
0,096 Flatwire De PWR 12	6,6 Monitor PC Black & White LS 1000	8,2 Flatwire Ready FLT 18	0,0336 Monitor PC Black & White LS 1000	0,00022 Flatwire De PWR 12
0,164 Kimber Kable 8TC	6,8 G&BL HSP35	32 Oehlbach Cable Type 1266	0,0358 Kimber Kable 8TC	0,00032 Kimber Kable 8TC
0,28 Kimber Kable 4VS	7,1 Kimber Kable 8TC	34 Monitor PC Cobra Silver MSR 007026	0,0397 G&BL HSP35	0,00073 G&BL HPV80082-3
0,3 Monitor PC Black & White LS 1000	7,48 Transparent Cable Music Wave Super	35 Oehlbach Cable Type 1091	0,0416 Oehlbach Cable Type 1266	0,00078 Kimber Kable 4VS
0,35 G&BL HPV80082-3	7,6 Transparent Cable The Wave 100	43 Monitor PC Gladiator C-2	0,0432 Oehlbach Cable Type 1091	0,0008 Monitor PC Black & White LS 1000
0,403 Audioquest CV-6	7,9 G&BL HPV80082-3	47 G&BL HSP35	0,0477 G&BL HPV80082-3	0,00103 Audioquest CV-6
0,409 Audioquest Pikes Peak	8,5 Oehlbach Cable Type 1266	52 Monster Cable XP-HP NW	0,04836 Transparent Cable Music Wave Super	0,00106 Audioquest Pikes Peak
0,472 Supra Ply 2.0	8,5 Oehlbach Cable Type 1091	131 Kimber Kable 4VS	0,0484 Transparent Cable The Wave 100	0,00136 Supra Ply 3.4
0,474 Supra Ply 3.4	10,4 Supra Ply 3.4	173 Supra Ply 3.4	0,0504 Supra Ply 3.4	0,00142 Supra Ply 2.0
0,68 Transparent Cable The Wave 100	10,4 Flatwire De PWR 12	174 Monitor PC Black & White LS 1000	0,0512 Flatwire De PWR 12	0,0018 Transparent Cable The Wave 100
0,696 Flatwire Ready FLT 18	10,8 Audioquest Pikes Peak	186 Supra Ply 2.0	0,058 Audioquest Pikes Peak	0,00209 G&BL HSP 35
0,74 G&BL HSP 35	14,2 Audioquest CV-6	195 Audioquest CV-6	0,0684 Monitor PC Gladiator C-2	0,0022 Monitor PC Gladiator C-2
0,75 Oehlbach Cable Type 1266	14,3 Monitor PC Gladiator C-2	235 Audioquest Pikes Peak	0,0689 Audioquest CV-6	0,00224 Oehlbach Cable Type 1266
0,756 Monitor PC Gladiator C-2	15,2 Monitor PC Cobra Silver MSR 007026	336 Kimber Kable 8TC	0,0692 Monitor PC Cobra Silver MSR 007026	0,00236 Monster Cable XP-HP NW
0,758 Monster Cable XP-HP NW	16,2 Kimber Kable 4VS	428 G&BL HPV80082-3	0,0776 Kimber Kable 4VS	0,00242 Oehlbach Cable Type 1091
0,782 Oehlbach Cable Type 1091	17,5 Supra Ply 2.0	430 Transparent Cable Music Wave Super	0,0802 Supra Ply 2.0	0,00278 Monitor PC Cobra Silver MSR 007026
0,906 Monitor PC Cobra Silver MSR 007026	19,1 Monster Cable XP-HP NW	509 Transparent Cable The Wave 100	0,0924 Monster Cable XP-HP NW	0,00408 Transparent Cable Music Wave Super
1,364 Transparent Cable Music Wave Super	29,8 Flatwire Ready FLT 18	6400 Flatwire De PWR 12	0,1424 Flatwire Ready FLT 18	0,0208 Flatwire Ready FLT 18

La "Stele di Rosetta" di questa sessione di test sui cavi. Nella prima colonna i cavi sono ordinati per induttanza specifica (ovvero per ogni metro di lunghezza) crescente, nella seconda per resistenza specifica, nella terza per capacità specifica, nella quarta per distorsione specifica all'estremo basso (68 Hz, laddove con il sistema di prova si osserva la distorsione massima) e nella quinta per distorsione specifica all'estremo alto (10 kHz). Si nota immediatamente la stretta parentela tra la seconda e la quarta colonna, ovvero tra resistenza e distorsione incrementale alle basse frequenze, anche se con piccoli shift; del resto il test è stato eseguito non su un carico da laboratorio, perfettamente stabile entro ampi margini, ma su un sistema reale seppur di livello ineccepibile (Chario Constellation Ursa Major), che comunque non può essere caratterizzato dalla stessa invarianza nel tempo; e poi - a parte

questa considerazione ovvia - non è detto che non sussista qualche fattore secondario ancora da scoprire. La stessa parentela tra la seconda e la quarta la ritroviamo tra la prima e la quinta: i cavi a più bassa induttanza sono quelli che controllano meglio la distorsione ad alta frequenza. Questo è un risultato che non ci attendevamo con tale evidenza, intuitivamente eravamo portati a pensare ad un maggior peso della componente resistiva anche in quest'area. La colonna della capacità non pare avere parentele con la distorsione, se non quella inversa con la quinta derivata dall'ovvia circostanza che in generale i cavi a minore induttanza sono anche quelli a maggiore capacità e viceversa. Infine, una sottolineatura necessaria: questa tabella confronta i cavi nell'unico modo possibile, ovvero per unità di lunghezza, ma i valori effettivi sul campo dipendono dalla lunghezza reale del cavo.

mo che la scuola da preferire sarebbe certamente la prima, purché la trasmissione del segnale di pilotaggio sia attuata da una linea bilanciata, anche perché la seconda presuppone comunque finali sensibilmente controeazionati.

9) I risultati ottenuti sembrano soddisfacenti, ma probabilmente non esaustivi, ovviamente non escludiamo di tornare in futuro sull'argomento. Altrettanto ovviamente lo faremo impiegando i metodi dell'indagine scientifica che ci sono usua-

li, evitando con cura, come sempre il nostro gruppo di lavoro ha fatto nel corso di quasi trent'anni di attività, di parlare del come senza al contempo specificare il quanto.

Fabrizio Montanucci