

Un JIG per tutti

Semplice ed economico apparecchio per interfacciare al meglio la scheda audio, utilizzata come strumento di misurazione, con l'elettronica che si vuole testare. E come dotazione di serie c'è anche un voltmetro True RMS!

L'autocostruttore odierno è molto fortunato! E quanto affermo è una semplice constatazione dei fatti: quando ero ragazzino e alle prime armi con diodi e resistenze, l'unico strumento di misura che disponevo era un tester analogico (il classico, a quei tempi, ICE), preso a prestito da mio padre. Sfogliando le varie riviste audio dell'epoca, Suono e Audio Review in primis, ero sempre affascinato dal leggere gli articoli inerenti le tecniche e l'interpretazione delle misure, misure quasi sempre impossibili da riprodurre vista la strumentazione richiesta. Al giorno d'oggi l'autocostruttore ha la possibilità di misurare di tutto e di più, senza doversi rivolgere allo I.A.F. e comodamente seduto nel proprio laboratorio casalingo: la spesa che deve affrontare varia dai pochi euro della scheda audio integrata nel computer di casa, alle migliaia dei sistemi professionali tipo *Audio Precision*, passando per sistemi intermedi, solo nel prezzo, come quelli dell'italianissima *Audiomatica*.

Anche la nostra amata rivista si è occupata, in passato, di misure e strumenti di misura: come non ricordare gli articoli sulla ATI LMS e Clio (vale a dire segnale MLS contro sinusoidale), o le modifiche per migliorare i kit di *Nuova Elettronica* (induttanzimetro e ohmmetro), o il programma FFT per i possessori di schede Sound Blaster. E si potrebbe continuare con l'elenco, fino ad arrivare a una serie di arti-

coli che, modestia a parte, secondo me hanno aperto gli occhi a molti appassionati DIY, ossia hanno mostrato come fare misure sui diffusori a costo quasi zero: sto parlando di *Speaker Workshop* e degli scritti che portano il mio nome (correva l'anno 2005). E nella lista dei ricordi non possiamo far mancare quel grande progetto che si chiama SuperJIG, nato per meglio interfacciare *Speaker Workshop* alla scheda audio, a firma dell'amico Valerio Russo: sicuramente in futuro sentiremo parlare di una sua nuova versione del SJIG, ma è troppo presto parlarne.

Come dicevo poc'anzi, l'autocostruttore può cominciare ad attrezzare il proprio laboratorio con un scheda audio, che funge da convertitore analogico-digitale, e con un software di misura che rende visibile a video quanto inviato all'ingresso della scheda audio. Quindi abbiamo una parte hardware e una software, con la prima che determina le specifiche del sistema di misura, mentre la seconda stabilisce il tipo di misure che si potranno effettuare. E a cosa serve il JIG, si chiederanno in molti? Il JIG è una interfaccia che si posiziona tra la scheda audio e l'apparecchio che vogliamo misurare (ovvero il DUT, device under test), con un duplice scopo: di interfacciare (leggi impedenza) al meglio l'hardware e di proteggere. Infatti, la maggior parte delle schede audio accetta in ingresso fino a un massimo di 2,5 VAC, e superato questo

valore il rischio che si corre è quello di bruciare la scheda stessa. A evitare questa evenienza interviene il JIG, con il suo sistema di protezione, e il nostro portafoglio ringrazia!

IL JIG DI MILLET

L'apparecchio che vi presento (**Foto 01**) in questo articolo è opera dell'americano Pete Millet, abbastanza conosciuto nel mondo delle amplificazioni a valvole grazie ai suoi numerosi scritti apparsi sia su *Glass Audio* che su *audioXpress*. Vi consiglio di visitare la Home Page dell'ingegnere americano, dato che troverete molto materiale di lettura, specialmente se siete amanti dei tubi a vuoto: <http://www.pmillett.com>.

Il kit di Millet è molto interessante e forse l'unico disponibile sul mercato, ed è composto dalla PCB doppia faccia già predisposta nelle dimensioni per entrare nel contenitore scelto da Pete e dai due pannelli antero-posteriore serigrafati e forati: all'autocostruttore rimane da comprare i componenti, saldarli sulla PCB, montare il tutto nel contenitore e iniziare a misurare! Ma guardiamo più da vicino cosa ci offre questo JIG, aiutandoci con lo schema visibile nella **Figura 10**.

L'alimentazione prevede una doppia entrata, nel senso che si può collegare il JIG o a una porta USB presente sul proprio computer, o a un alimentatore esterno che fornisca i 5 Volt DC richiesti (mi raccomando



Foto 01 - Il JIG di Millet completato.

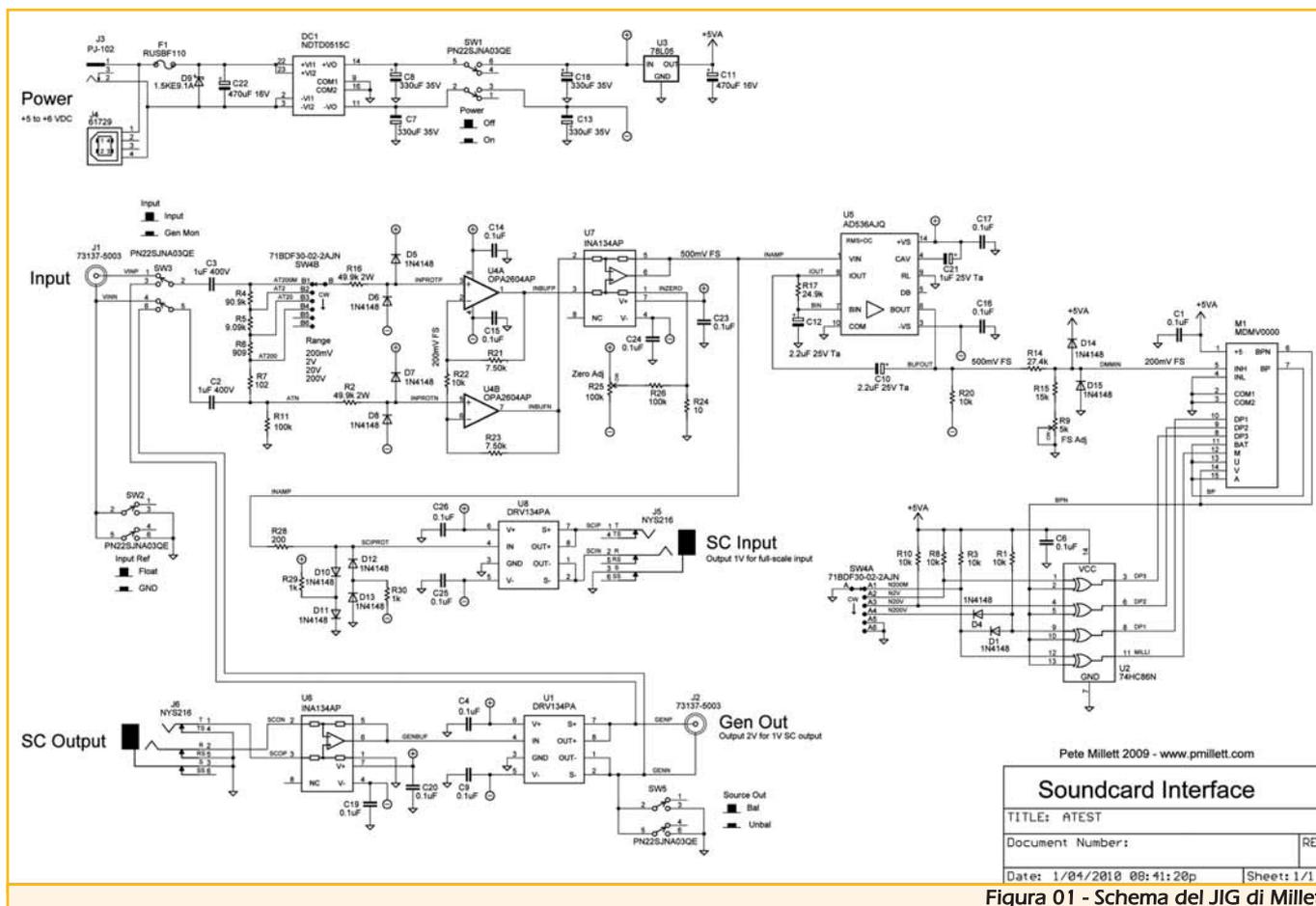


Figura 01 - Schema del JIG di Millet.

a non collegare contemporaneamente USB e alimentatore esterno). A protezione del circuito incontriamo il fusibile resettabile F1, e il diodo TVS (D9) soppressore dei transienti di voltaggio; i 5 Volt continui vengono trasformati in +/- 15VDC tramite un convertitore Murata, che funge anche da isolatore.

Il segnale in uscita dalla scheda audio (SC Output) viene inviato a un integrato differenziale (INA134), che lo amplifica con rapporto 1:2 per poi mandarlo al buffer, un IC DRV134; questi mantiene bassa l'impedenza d'uscita (misurati 47 ohm a 100 e 1.000 Hz) e permette sia un collegamento bilanciato che non (Gen Out).

L'ingresso del JIG (SC Input) è del tipo pseudo-bilanciato, che secondo Millet è più facile da implementare rispetto a una configurazione bilanciata; in pratica l'autore ha preso spunto dallo schema del suo analizzatore audio HP 8903A, che è appunto pseudo-bilanciato, e del quale è soddisfatto. Il limite di una simile scelta è principalmente nella restrizione in ampiezza del segnale in ingresso (10 VAC), quando si vuole misurare un circuito con uscita bilanciata o un amplificatore collegato a ponte. Il segnale in ingresso è disaccoppiato in DC tramite un condensatore, il cui limite

d'accettazione identifica la massima tensione che il JIG sopporta. Il segnale prosegue in un partitore resistivo, determinato dalle 4 posizioni del selettore di range, per poi passare ai due diodi di protezione (per ramo): questi sono i componenti che salvaguardano la vita della nostra scheda audio. Continuando nello schema, troviamo un amplificatore differenziale formato da due IC (OPA2604 e INA134), che hanno il compito di mantenere alta l'impedenza d'ingresso, senza sacrificare rumore e distorsione. L'impedenza d'ingresso vale 100k Ohm. L'uscita dell'integrato INA134 viene limitata da un nuovo gruppo di diodi, per poi entrare nel buffer (DRV134) che permette il collegamento all'input di schede audio bilanciate/sbilanciate, senza problemi di impedenza. Con un segnale in ingresso a fondo scala nel range impostato, l'uscita del JIG (SC Input) fornisce 1 Vrms. Il JIG di Millet implementa uno strumento molto utile in fase di misurazioni, un voltmetro RMS: il segnale in ingresso al JIG viene inviato al convertitore AD536A e a un circuito logico, in modo che la visualizzazione sul display LCD del voltaggio alternato presente sia sempre corretta.

La PCB (12x16,5 cm) e i frontalini sono in vendita su E-Bay, come specificato nel sito

di Millet; il costo è di \$ 50. La lista dei componenti è visibile nella **Tabella 01**: come è mio solito fare, ho inserito il codice prodotto dei due rivenditori di componenti che ho usato, in modo che possiate perdere meno tempo a fare l'ordine. Purtroppo non è possibile prendere tutti i componenti da un solo rivenditore, ma comunque riuscirete a superare l'importo minimo per non pagare le spese di spedizione. Tenete conto che mentre i prezzi di *Mouser* includono i dazi doganali, quelli di *Digi-key* no: dopo circa una settimana dal ricevimento dell'ordine, vi vedrete recapitare una seconda fattura dove si chiede il pagamento delle imposte dovute. Il costo totale, inclusa la PCB, è sui 190,00 euro. Volendo si può ridurre di parecchio la cifra, se si decide di non aver bisogno del voltmetro RMS: il display LCD e il relativo circuito pesano per una sessantina di euro sulla spesa. Le uniche tarature necessarie riguardano il voltmetro, ossia azzerare l'offset in DC dell'amplificatore d'ingresso, e settare il fondo scala del voltmetro. Alla prima ci pensa il trimmer R25, ma alla prova dei fatti questa taratura è superflua, tanto che io non ho proprio montato detto trimmer. Settando il range su 200mV e cortocircuitando l'ingresso, leggo sul display LCD il valore di 0,3 mV (lo stes-

RIFERIMENTO	DESCRIZIONE	MOUSER P/N	DIGI-KEY P/N
C1, C4, C6, C9, C14, C15, C16, C17, C19, C20, C23, C24, C25, C26	Cap, 0,1 microF 50V, film, P5	80-MMK5104M63J01TR16	
C2, C3	Cap, 4,7 microF 250V, film, P22,5	667-ECQ-E2475KF	
C21	Cap, 1 microF 35V, tantalio P2,5	581-TAP105K035SCS	
C10, C12	Cap, 2,2 microF 25V, tantalio P2,5	T350B225K025AS7301	
C7, C8, C13, C18	Cap, 330 microF 35V elettrolitico, P5, D10	UPM1V331MPD1TD	
C11, C22	Cap, 470 microF 16V elettrolitico, P5, D10	661-EKMG250ELL471MJ	
D1, D4, D5, D6, D7, D8, D10, D11, D12, D13, D14, D15	Diodo, 1N914A	512-1N914ATR	
D9	Diodo, TVS, 1.5KE9.1A	625-1.5KE9.1A-E3	
DC1	DC/DC converter, da +5 a +/-15V	580-NDTD0515C	
F1	Fusibile PTC	650-RUSBF110	
J1, J2	Connettore, BNC per PCB	538-73137-5003	
J3	Connettore, DC Jack, per PCB	806-KLDX-0202-B	
J4	Connettore, USB "B", per PCB	649-61729-0010BLF	
J5, J6	Connettore, 1/4" phone jack	568-NYS216	
M1	Digital Panel Meter		RLC000-ND
@M1	Connettore per M1		SAM1224-15-ND
R24	Res, 1/4W 1% metal film, 10 ohm	71-CMF5510R000FHEK	
R7	Res, 1/4W 1% metal film, 102 ohm	271-102-RC	
R28	Res, 1/4W 1% metal film, 200 ohm	71-CMF55200R00FHEK	
R6	Res, 1/4W 0,1% metal film, 909 ohm	66-RC55LF-D-909	
R29, R30	Res, 1/4W 1% metal film, 1k	271-1K-RC	
R21, R23	Res, 1/4W 1% metal film, 7,5k	271-7.5K-RC	
R5	Res, 1/4W 1% metal film, 9,09k	66-RC55LF-D-9.09K	
R1, R3, R8, R10, R20, R22	Res, 1/4W 1% metal film, 10k	271-10K-RC	
R17	Res, 1/4W 1% metal film, 24,9k	271-24.9K-RC	
R14	Res, 1/4W 1% metal film, 27,4k	271-27.4K-RC	
R15	Res, 1/4W 1% metal film, 15k	271-15K-RC	
R4	Res, 1/4W 1% metal film, 90,9k	66-RC55LF-D-90.9K	
R11, R26	Res, 1/4W 1% metal film, 100k	271-100K-RC	
R2, R16 (x2)	Res, 2W 1% metal film, 10k	71-CPF210K000FKE14	
R9	Trimpot, verticale, 5k	652-3266W-1-502LF	
R25	Trimpot, verticale, 100k	652-3266W-1-104LF	
SW1, SW2, SW3, SW5	Switch, DPDT, PCB, alt action	611-PN22SJA03QE	
@SW1, @SW2, @SW3, @SW5	Cappuccio per interruttore	611-G001G	
SW4	Switch, 2P 6T rotary, PCB		GH7106-ND
@SW4	Manopola, D 3/4"		226-1011-ND
U1, U8	IC, balanced driver, DRV134, DIP8	595-DRV134PAG4	
U2	IC, quad exclusive OR gate, 74HC86, DIP14	595-SN74HC86N	
U3	IC, 5V linear reg 78L05, TO92	512-LM78L05ACZ	
U4	IC, dual opamp, OPA2134, DIP8	595-OPA2134PA	
U5	IC, true RMS converter, AD536, DIP14		AD536AJQ-ND
U6, U7	IC, INA134, DIP8	595-INA134PAG4	
Contenitore		563-PC-11403	

Tabella 01 - Lista componenti usati.

so indicato da Millet), valore sotto il quale non sono riuscito a scendere anche regolando R25. La seconda taratura è affidata a R9: vediamo come procedere. La bontà delle letture del voltmetro del JIG dipende dal riferimento che impiegherete; se avete un generatore o un voltmetro AC calibrato siete a cavallo, in caso contrario dovrete accontentarvi delle tolleranze del tester che userete. In pratica dovete mandare un segnale sinusoidale di ampiezza nota all'ingresso del JIG, e regolare il trimmer per leggere lo stesso valore. Nel caso adoperiate uno strumento non calibrato (il

multimetro e la scheda audio, per intenderci), generate una sinusoidale a 100 Hz e immettetela nell'ingresso del JIG; settate il selettore di range su 2V e regolate il mixer di Windows in modo da leggere sul multimetro, collegato all'ingresso del JIG, un valore vicino al fondo scala: diciamo 1,99 VAC. Regolate il trimmer R9 per leggere lo stesso valore sul display LCD dell'interfaccia. La necessità di usare basse frequenze di taratura è dettata dall'impedenza interna del multimetro: tanto minore è, tanto maggiore sarà l'errore di lettura al salire della frequenza del segnale misurato.

MODDIAMO IL JIG

Indubbiamente qualcuno si chiederà per quale strano motivo abbiamo bisogno di modificare il circuito di Millet, che sulla carta sembra essere un ottimo progetto. La risposta è semplice: per migliorarne le prestazioni!

Non scordatevi che il progettista americano lavora principalmente con i tubi termoionici, da qui le alte richieste di tensione sopportabile dal JIG in ingresso: a me le valvole non interessano, quindi ho cercato di ottimizzare il circuito più per le prestazioni

che per i limiti d'accettazione.

Dopo lunghe chiacchierate con il maggiore esperto di JIG, al secolo Valerio Russo, abbiamo individuato i punti sui quali sperimentare soluzioni diverse da quelle del progetto originario, e alla fine siamo riusciti a ottenere dei miglioramenti sostanziali. Vediamo insieme cosa vale la pena modificare e cosa no, il tutto supportato da grafici comparativi, ovviamente.

Non ho notato differenze alimentando l'apparecchio con un alimentatore esterno rispetto a fornirgli i 5V necessari via porta USB del mio computer. E a proposito di computer, visto che è un componente essenziale per fare le misure in casa, vi esorto ad adoperare alimentatori ATX di buona marca, pena un decadimento delle prestazioni ottenibili tramite la vostra scheda audio. È facile trovare in giro PSU per computer dal costo irrisorio, quasi sempre di provenienza cinese, magari anche con il marchio "CE" (senza spazio tra le lettere) impresso sulla targhetta: peccato che il significato di questa marcatura significhi "China Export" e non "Conformité Européenne"! In tanti anni di esperienza sul campo, posso dire che se devo scegliere al volo tra due PSU anonime, scelgo quella che pesa di più: la mancanza di componenti e di dissipatori adeguati si ripercuotono sulle prestazioni e l'integrità del computer.

Proseguendo sull'alimentazione del JIG, avevo letto dei miglioramenti ottenuti dall'utilizzo di una rete LC posta all'ingresso del convertitore DC/DC, operazione che diminuiva il ripple residuo in uscita. Ho sperimentato questa strada, ma nell'uso pratico del JIG non ho notato differenze degne di nota e quindi ho escluso questa modifica.

Vediamo ora cosa possiamo modificare nel circuito d'ingresso. Il primo componente che troviamo sul segnale di input è un condensatore (C2-3), il cui valore influisce sia sulla risposta in frequenza del JIG che sul rumore dello stesso. Andiamo per gradi, e guardiamo il **Grafico 01** per vedere come cambia la risposta alle basse frequenze del JIG al variare del valore di C2-3: a 10 Hz la differenza tra 1 e 4,7 microF è di 0,6 dB, che non è poco. Un valore superiore a 4,7 microF non riesce a linearizzare apprezzabilmente la risposta, ma questo perché si è raggiunto il limite della scheda audio utilizzata. Ma come mai Millet ha previsto nello schema un condensatore da 1 microF invece che da 4,7? La risposta sta nelle dimensioni, ovvero C2-3 possono avere un passo, sulla PCB, di massimo 22,5 mm: i condensatori da 400V con quel passo si fermano a 1 microF, in

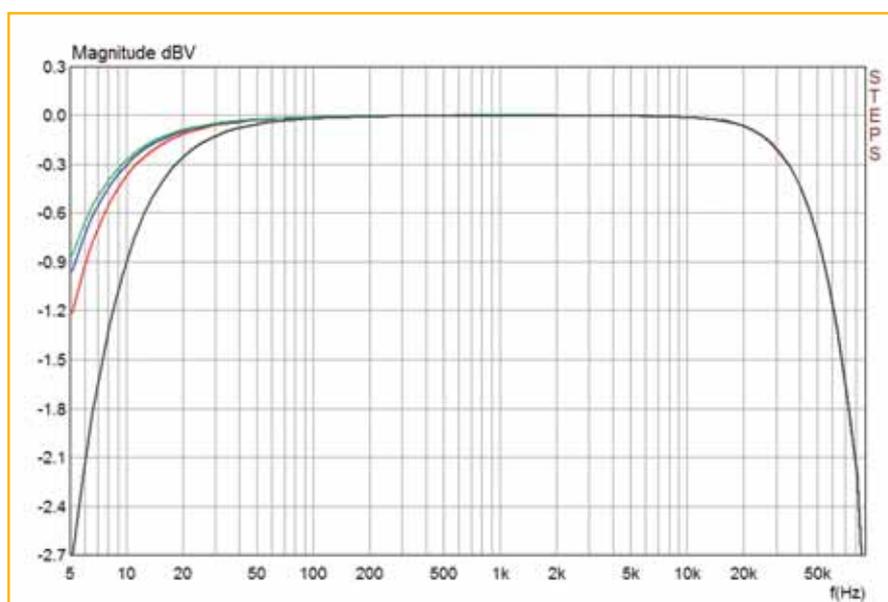


Grafico 01 - Risposta in frequenza del JIG con differenti condensatori d'ingresso (C2-3). Curva verde=4,7 microF.

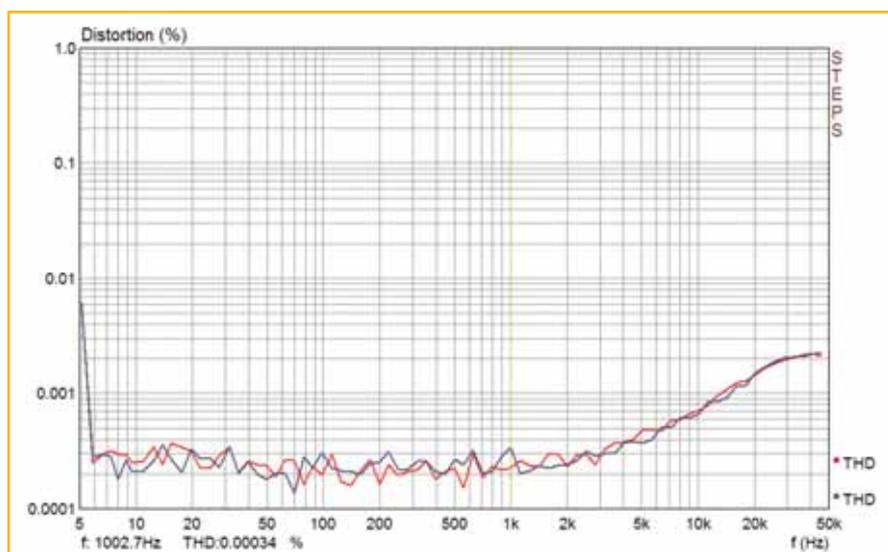


Grafico 02 - Comparativa THD Vs Frequenza tra condensatore d'ingresso in policarbonato (curva rossa) e in poliesteri (curva blue).

genere. *Notizia dell'ultim'ora:* Mouser ha immesso in catalogo i nuovi condensatori in polipropilene metallizzato Panasonic serie ECWF (codice 667-ECWF2W475JA), che hanno dimensioni e voltaggio idonei per il nostro uso (450VDC, passo 22,5).

Ma se non abbiamo bisogno di fare misure con tensioni DC così alte, come nel mio caso, si può ridurre la tensione massima a 250 V e aumentare la capacità a 4,7 microF, valori che permettono di trovare facilmente in commercio condensatori con passo da 22,5. Inoltre, un aumento della capacità implica, alle basse frequenze, una minor distorsione intrinseca del componente, dato che la sua reattanza capacitiva è

inversamente proporzionale alla capacità. Tuttavia, comparando l'andamento della distorsione in frequenza di due poliesteri da 1 e 4,7 microF, non sono riuscito a evidenziare differenze da far gridare al miracolo. E visto che c'ero, mi son preso la briga di andare a raffrontare le distorsioni di vari condensatori a film: poliesteri, policarbonato e polipropilene. Come il buon Douglas Self insegna (*Small signal audio design*, pag. 53), quando un condensatore è attraversato da un voltaggio di segnale introduce distorsione; con *Audio Precision* alla mano, Self indica i film di poliesteri come una razza da evitare a tutti i costi. Ma cosa succede quando analizziamo non il componente singolo ma tutta la catena nel

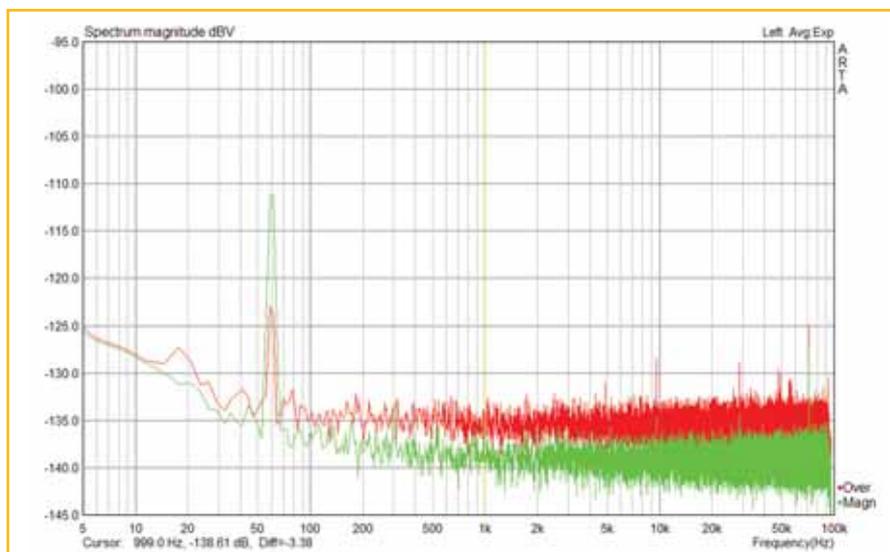


Grafico 03 - Analisi spettrale del rumore del JIG con resistenza d'ingresso (R2-16) da 49,9k ohm in rosso, e da 4500 ohm in verde.

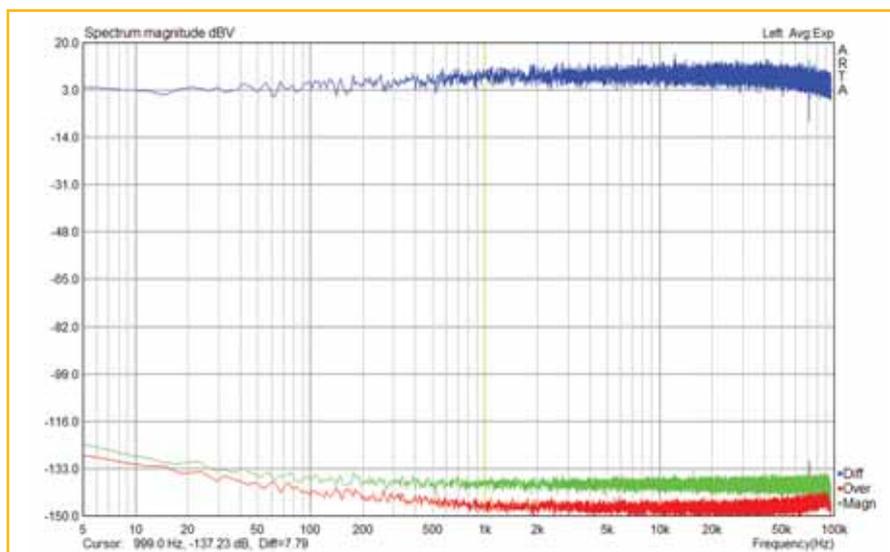


Grafico 04 - Analisi spettrale del rumore del JIG (curva verde) e della scheda di misura (curva rossa). La curva blue è la differenza tra le due.

quale è inserito? È quanto mi propongo di chiarire con la prossima immagine. Nel **Grafico 02** ho comparato l'andamento in frequenza della THD tra poliestere e policarbonato (ricordo che sono C2-3 dello schema del JIG), grafico che non mostra differenze degne di nota né alle basse frequenze, come mi sarei aspettato, né altrove. Stesso risultato si ottiene comparando policarbonato con polipropilene. Non contento, ho misurato la THD rispetto al segnale in ingresso, ma anche stavolta le differenze tra poliestere e policarbonato o polipropilene non indicavano niente, per cui non ho ritenuto necessario pubblicarle. Tiriamo le somme sull'argomento condensatore d'ingresso del JIG: non spendete i vostri soldi inutilmente, un economico poliestere fa bene il suo lavoro. Sia chiaro

che il mio consiglio di utilizzare, in serie al segnale, un poliestere piuttosto che un altro dielettrico vale per questa applicazione, cioè il JIG di Millet! Che policarbonato e polipropilene distorcano meno del poliestere è assodato, ma in questo specifico contesto non annoto benefici probabilmente per un limite della catena di misura.

Altro componente modificabile è la resistenza R2-16. Questa si trova in serie al segnale d'ingresso, dopo il deviatore di fondo scala: Millet ha previsto 49,9K ohm, valore troppo alto per i miei gusti. Diminuendo il suo valore si riduce il rumore termico introdotto dalla resistenza e, di conseguenza, si abbassa il fondo di rumore del JIG. Io ho utilizzato 5k ohm, ottenuti parallelando due resistenze da 10k ohm 2W; così facendo sono riuscito a guada-

gnare quasi 4 dB di rumore, come potete vedere nel **Grafico 03**. In questa misura ho confrontato il rumore ottenuto, con l'ingresso del JIG chiuso su 600 ohm, usando R2-16 da 49,9k e 4500 ohm (mentre nel progetto finale ho usato 5k ohm); non considerate la risonanza a 60 Hz e le spurie ad alta frequenza, piuttosto mettete a confronto i livelli del tappeto di rumore. Un ulteriore step migliorativo è quello di usare resistenze a bassissima tolleranza (0,1% o meno) nelle posizioni R21-23 (sono le resistenze di feedback dell'integrato OPA2604), ma stiamo parlando di finezze.

E siamo arrivati all'amplificatore differenziale doppio, U4: e qui ci si può sbizzarrire a provare gli IC che più ci piacciono, basta che siano doppi e con la stessa piedinatura. Millet stesso consiglia di usare l'OPA2134 piuttosto che quello indicato nello schema (OPA2604). Io ho fatto una comparativa tra tre modelli: l'economico e sempreverde NE5532A (ingresso a BJT), il Texas OPA2134 (input a FET), e il più recente e costoso National LM4562 (ingresso a BJT). Senza dilungarmi oltre e tediarvi con inutili grafici, vi dico subito che le differenze tra i tre erano molto piccole, con 5532A e OPA2134 quasi appaiati, mentre LM4562 un pò sotto tono. La mia scelta finale per il JIG è stata di optare per l'OPA2134. Anche U7 potrebbe essere oggetto di modifica, magari servendosi del THAT 1240P08-U al posto dell'INA134: costa il doppio, e non credo possa fornire una qualche miglioria significativa rispetto al Burr Brown, per cui lascio a chi ne avrà voglia di provare questa modifica.

L'ultima sperimentazione che ho intrapreso sull'ingresso del JIG di Millet, riguarda trasformarlo in bilanciato vero: ho montato un deviatore stereo, al posto di quello mono previsto dallo schema, raddoppiato le resistenze del partitore, eliminato delle resistenze sulla PCB e fatto tutti i necessari collegamenti, volanti ovviamente. I vantaggi che si otterrebbero da una configurazione bilanciata, rispetto a quella pseudo-bilanciata usata dall'autore americano, sono un incremento dell'ampiezza del segnale bilanciato accettato dal JIG, e un miglioramento del rumore in modo comune. Alla prova dei fatti, però, ho dovuto abbandonare questa implementazione in quanto ho misurato un peggioramento del rumore differenziale, a conferma che in questo tipo di applicazioni il layout della PCB assume un ruolo principale: le modifiche volanti non sono ammesse.

E veniamo alla modifica principe, quella che dovete fare senza esitazioni. Un limite che ho notato nel progetto dell'interfaccia è la completa mancanza di una schermatura,



Foto 02 - Interno del JIG e schermatura contenitore.

visto che il cabinet scelto da Millet è fatto di plastica. Tutto ciò si traduce, nelle misurazioni, in una maggior dipendenza dall'ambiente di lavoro, ovvero vedrete risonanze e spurie che nulla hanno a che vedere con l'apparecchio che state valutando. Per ovviare a questo problema bisogna impiegare un cabinet metallico, piuttosto che plastico, e la cosa non è di grande difficoltà: oltretutto si possono continuare a usare i frontali serigrafati forniti nel kit, utilissimi anche per fare i fori sui pannelli di metallo. Un'alternativa, che io ho utilizzato, è di rivestire l'interno del case plastico con dei fogli di alluminio, come quello usato in cucina, avendo cura di collegare un cavo tra l'alluminio e un punto di massa della PCB. Così facendo, però, bisogna isolare il foglio metallico dalla PCB per non incorrere in corti circuito indesiderati: io ho usato della plastica trasparente, tipo quella che trovate nelle PSU dei computer, e fissato il tutto con del nastro adesivo da imballaggio. Il risultato è quanto mostra la **Foto 02**. I due fili da collegare a massa sono collegati alla carcassa metallica del deviatore SW4 (**Foto 03**); da quest'ultimo, attraverso un occhiello inserito tra perno e dado di bloccaggio del deviatore, ho collegato un cavo che è saldato su un punto di massa della PCB, è più precisamente a quello di SW5. È importante mettere a massa anche il corpo del deviatore SW4: senza questo

accorgimento, l'avvicinare la mano al selettore di range causava disturbi nella misurazione. Visto il bassissimo costo di questa schermatura, non esimetevi dal farla!

L'ultimo mod, che avrete già notato guardando le ultime due foto, è stato quello di applicare un dissipatore sul convertitore DC1: avevo notato, con il termometro chiamato dito indice, che questo componente

scaldava dannatamente, specialmente sul lato ingresso. Visto che mi ritrovavo, fra le tante cianfrusaglie che si tengono nei cassetti del laboratorio, un dissipatore disoccupato, ho deciso di assumerlo a tempo pieno. Per tenerlo fermo ho applicato del silicone, come si vede nelle foto, e devo dire che il nuovo assunto fa molto bene il suo lavoro!

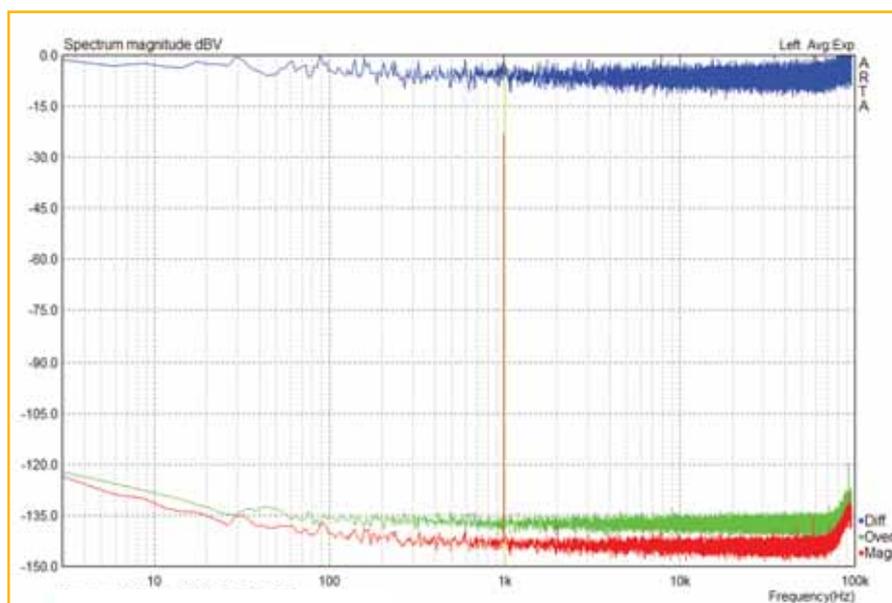


Grafico 05 - Analisi spettrale a 1k Hz, -20 dB: JIG (curva verde) e scheda di misura (curva rossa). La curva blue è la differenza tra le due.

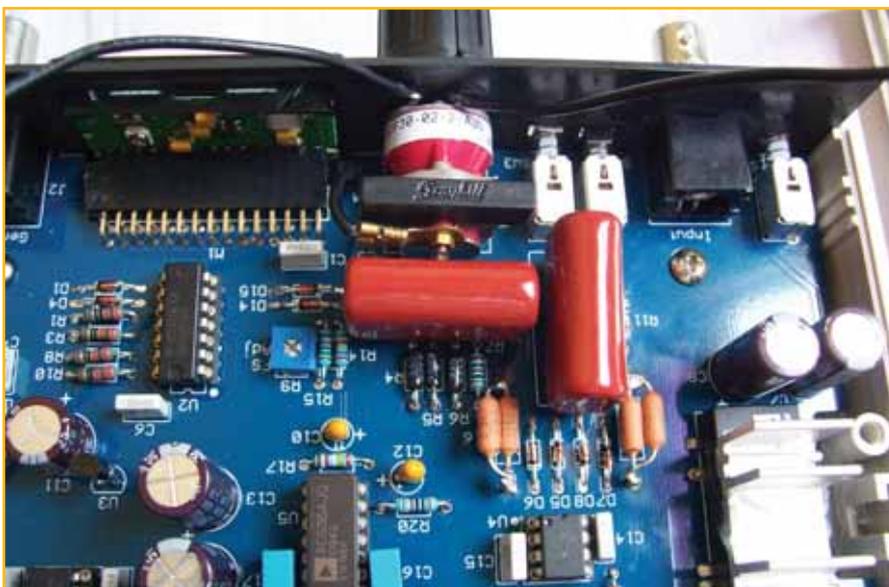


Foto 03 - Primo piano dei collegamenti di massa.

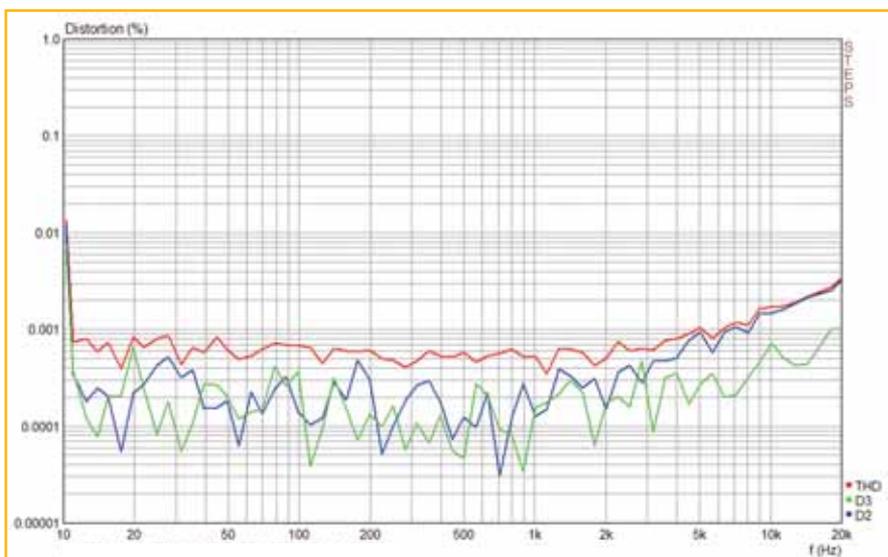


Grafico 06 - JIG, andamento in frequenza della distorsione: 1V in ingresso, portata 2V.

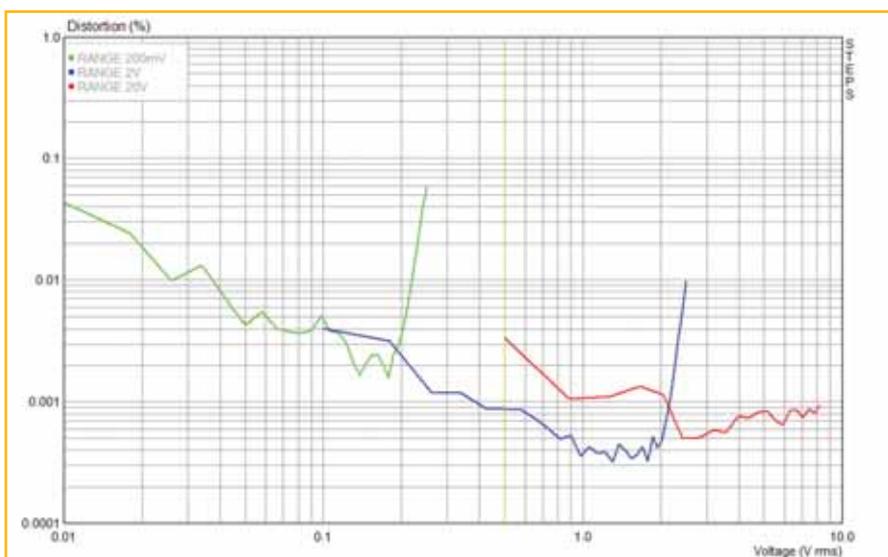


Grafico 07 - JIG, andamento in ampiezza della distorsione a diverse portate.

PRESTAZIONI DEL JIG

Come catena di misura ho impiegato una scheda audio PCI Emu 1212M e il software Arta. I dati che vi propongo si riferiscono al JIG moddato con i componenti che trovate nella **Tabella 01** e descritti nel paragrafo precedente. La risposta in frequenza del JIG è quella già vista nel Grafico 01, la curva verde con il condensatore da 4,7 microF. Il rumore del JIG con il suo ingresso terminato su 600 ohm è quanto osserviamo nel **Grafico04**: in banda audio siamo sotto i -130 dB, un bel risultato. Per sapere quanto rumore aggiunge il JIG, ho incluso nel grafico la risposta della sola scheda audio, e la differenza tra i due spettri: l'interfaccia ci mette di suo dai 3 ai 7 dB a seconda della frequenza, valori che non destano preoccupazioni. Adesso aggiungiamo del segnale al JIG e guardiamo il **Grafico 05**, che è la FFT a 1k Hz -20 dB, sempre comparata con la misura della sola EMU: la THD aumenta di 1/1000, e sono assenti non-linearità da attribuire all'interfaccia. Il prossimo **Grafico 06**, ci mostra l'andamento della THD e delle sue armoniche nel dominio della frequenza, applicando un segnale di 1V con il selettore del JIG posizionato a 2V. Sempre per restare in tema distorsione, osserviamo come essa varia rispetto all'ampiezza del segnale immesso nell'interfaccia, alle diverse posizioni del selettore di fondo scala (**Grafico 07**). Notate come s'impenna la THD una volta superato il range d'utilizzo.

Occupiamoci ora del voltmetro incluso nell'apparecchio. Fintanto che usiamo il selettore di range appropriato al segnale immesso, riuscite a rimanere entro basse tolleranze d'errore (<2%), a tutte le frequenze. Vale la pena implementare questo voltmetro nel JIG o è meglio risparmiare sul costo finale dell'interfaccia? Secondo me solo la comodità di poter monitorare sia il voltaggio in ingresso che quello in uscita premendo un tastino (GEN MON/INPUT), vale i 60 euro richiesti. Se a questo aggiungiamo la corretta lettura delle tensioni, la domanda risulta pleonastica.

In conclusione, il JIG ha delle prestazioni di tutto rispetto e ben si presta a far parte del laboratorio dell'autocostruttore evoluto e al passo con i tempi.

MISURE SUL CAMPO

In questo ultimo paragrafo dell'articolo troverete un vademecum per allestire un laboratorio casalingo, in modo da aiutare chi è alle prime armi e magari invogliare chi ancora non si è convertito alle misure "fatte in casa". Ci occuperemo quindi dell'hardware e software necessario e della loro ottimizzazione.

Partiamo dall'hardware: la scheda audio da usare determina, in primo luogo, i valori che potrete misurare. Appare lapalissiano che se la vostra scheda audio ha un rumore di -80 dB, qualsiasi elettronica misurerete non sarà possibile migliorare tale valore. E questo vale anche per la misura di distorsione, in tutte le sue forme, o per la risposta in frequenza. Una volta stabilito il budget da usare per l'acquisto della scheda audio, se ancora non la possedete, bisogna decidere se prendere una scheda interna o esterna; chiaramente se il computer è un portatile, giocoforza dovrete usare una scheda esterna. E che dire della scheda audio implementata nella scheda madre (desktop o notebook che sia)? Benché abbiano specifiche di tutto rispetto, non sono ancora riuscito a trovare un scheda on-board (Adi o Realtek) con una risposta piatta ed estesa, o senza picchi di spurie. Il mio consiglio è di iniziare a smantellare con quello che avete in casa, fare esperienza e capire i limiti hardware, software e quelli propri; in seguito, quando vi sentirete pronti al grande passo, investite in una scheda audio di qualità. Già, ma interna o esterna? Quella esterna ha il vantaggio, teorico, di essere meno propensa a captare rumore dall'ambiente, tipo quello presente dentro un cabinet di un computer. In realtà non sempre è così, essendoci molte variabili in gioco. L'ideale sarebbe usare un notebook alimentato a batterie, con una scheda audio USB alimentata dalla porta stessa, in modo da disaccoppiare elettricamente strumento e DUT: posso solo dirvi che, nella mia esperienza personale, due modelli di notebook HP si comportano in maniera opposta, quando alimentati a batteria e connessi alla stessa scheda audio USB2, segno che la risposta corretta alla domanda iniziale varia caso per caso. Di sicuro tra USB2 e Firewire la seconda è da preferire (Clio FW-01 docet), se guardiamo al flusso dei dati; magari con USB3 le cose miglioreranno, ma per adesso questa nuova versione di bus seriale è ancora sporadicamente implementata e men che meno nelle schede audio. Anche con la Firewire non sono tutte rose e fiori: tutti i notebooks che conosco hanno la porta *iEEE1394a* a 4 pin, cioè mancano i pin di alimentazione, sicché la scheda audio necessita del suo alimentatore esterno per poter funzionare. Spesso ricevo e-mails nelle quali mi chiedete consiglio su quale scheda acquistare, ragion per cui voglio fare qualche nome. Nella fascia bassa trovo la *Sound Blaster X-Fi surround 5.1 USB* un best-buy, dato che l'ho usata con successo sia con *Speaker Workshop* che con *Arta*; salendo di prezzo, mi sono

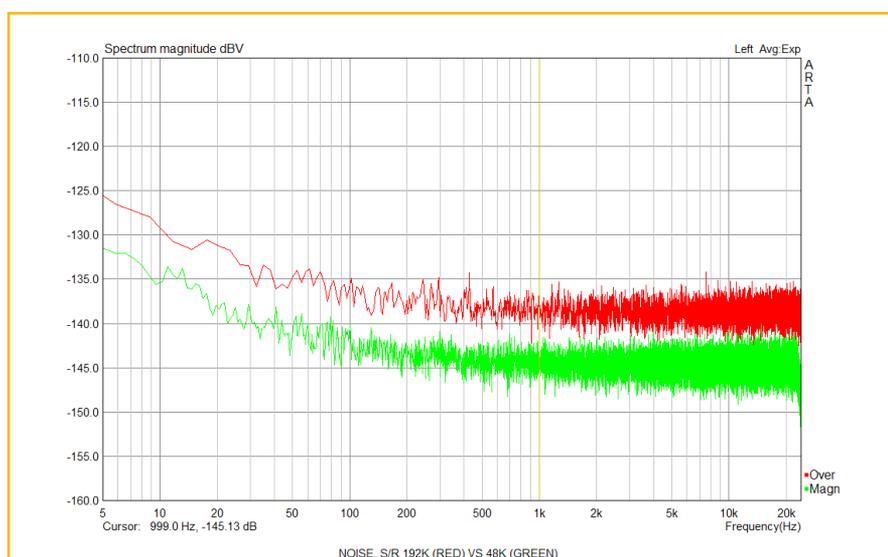


Grafico 08 - Analisi spettrale del rumore a diverse campionature: 192k Hz in rosso, 48k Hz in verde.

trovato molto bene con la *M-Audio FW410*, che ha delle prestazioni degne di nota e una interfaccia Firewire. Purtroppo non è più in produzione, anche se è facile prenderla usata, sostituita dalla *Profire 610*. Altre belle schede esterne, che però non ho ancora avuto tra le mani, sono la *EMU 0202* e la *0404*, entrambe USB. Tra le schede interne, invece, vi suggerisco un solo modello: *EMU 1212m*, disponibile con bus PCIe e PCI. Costa poco più della concorrenza (*ESI Juli@*, *M-Audio Audiophile 192*), e la trovate usata senza difficoltà; in compenso ha delle specifiche da prima della classe, tanto che la consiglio senza remore. Tra scheda interna ed esterna preferisco quella interna, per due motivi: lo spazio di lavoro è delimitato e noto, e quindi anche il rumore captato, e non ci sono potenziometri a regolare i livelli. Tra scheda con ingresso/uscita bilanciato e sbilanciato preferisco la prima, perché aiuta non poco a eliminare spurie e abbassare il livello del rumore. La marca della scheda ha anche il suo peso, dato che i driver condizionano le specifiche della scheda stessa: mi è capitato di vedere cose turche aggiornando i driver della FW410!

Se decidete per una scheda interna, dovrete perdere un po' di tempo a misurarla (rumore con ingresso terminato su 600 ohm e in loop) in tutti gli slot PCI disponibili della vostra scheda madre; vi posso assicurare che troverete differenze tra uno slot e l'altro.

Passiamo al software: il sistema operativo può essere XP o Seven, con il secondo in vantaggio teorico sul primo. Teorico perché nonostante l'ultimo nato della casa di Redmond abbia una gestione audio migliore, perde punti quando si parla di driver, in

molti casi ancora in versione *beta*. Allo stato attuale delle cose, consiglio XP Pro con Service Pack 3 e formattazione NTFS. È d'obbligo avere un computer, oppure una partizione del disco rigido, dedicata solo alle misure (con il dual boot siete a cavallo), e ottimizzarlo eliminando quello che non serve. In particolare, conviene disinstallare programmi come Indicizzazione automatica, Fax, Win messenger, WMP, Outlook Express, MSN explorer, IIS; disabilitare Windows Firewall e i suoni di Windows; non installare programmi antivirus. Nelle proprietà dello schermo disabilitate lo screen saver, come anche optate per una combinazione risparmio energia "sempre attivo", ed escludete l'ibernazione. Nelle proprietà Hardware disabilitate i componenti non necessari, come la scheda di rete, la scheda audio integrata (se non la usate), stampante, modem. Già con questi accorgimenti dovrete essere pronti per le misure, ma per esserne certi adoperate il programma gratuito *Dpc Latency Checker* (http://www.thesycon.de/deu/latency_checker.shtml). Se volete approfondire la materia vi rimando ai consigli del sempre disponibile Roberto Vagli: lo trovate sia sul forum di CHF che di Nexthardware. Vi suggerisco anche questo piccolo tutorial in inglese <http://www.audioforums.com/resources/windows-xp-optimization.html>, senza dimenticare la serie di articoli apparsi su Audio Review a partire dal numero 305 e che portano la firma di Marco Benedetti.

L'ultimo anello della catena è il software di misura. Ne esistono per tutte le tasche: da *Speaker Workshop* a *Visual Analyzer*, da *Holmimpulse* a *Sample Champion*, da *Arta* a *Soundeasy*, da *Virtins* a *Praxis* e via dicendo. La mia scelta è caduta su *Arta*,

PRATICA

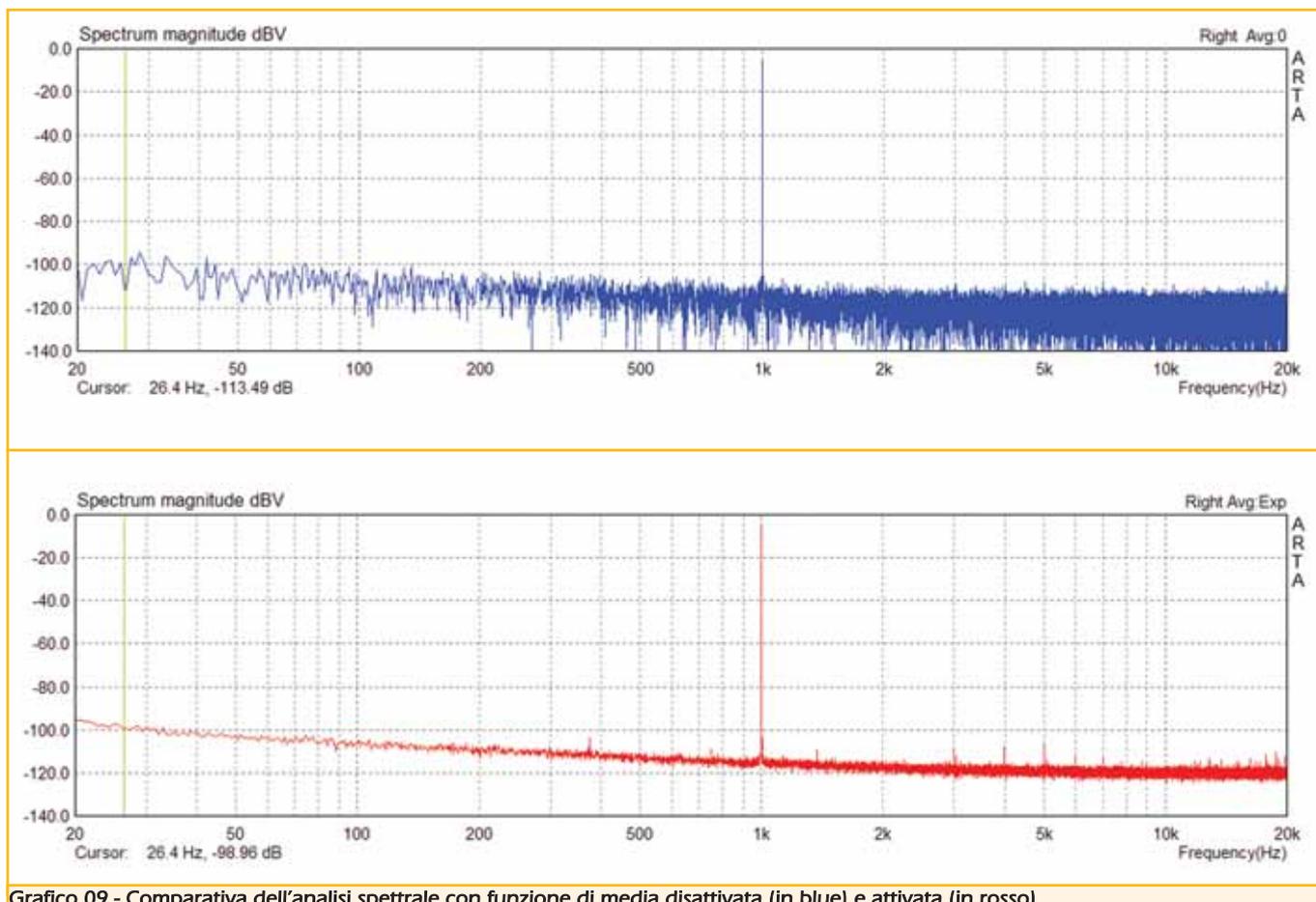


Grafico 09 - Comparativa dell'analisi spettrale con funzione di media disattivata (in blue) e attivata (in rosso).

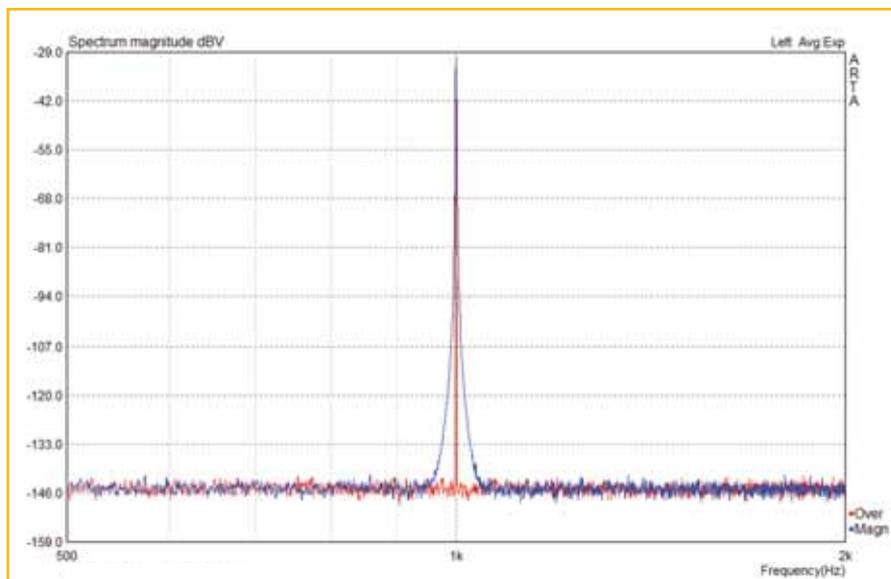


Grafico 10 - Analisi spettrale di un tono con leakage (1000 Hz, in blue), e di un tono bin rounded a 999,75Hz (in rosso).

prodotto croato sempre in aggiornamento. Con un costo minimo è possibile misurare sia i diffusori che le elettroniche, utilizzando sia segnale MLS che sinusoidale, il tutto farcito da un manuale ben fatto e diverse *Application Note*. Qualunque sia il software che deciderete di valervi, siate certi della

sua compatibilità con la scheda audio e il sistema operativo che impiegherete: se non specificato, chiedetelo via e-mail all'ideatore del programma. Dulcis in fundo, prima di ogni compera hardware o software che sia, è sempre bene frequentare i forum disponibili in rete per sincerar-

si di non fare un cattivo acquisto.

E infine settiamo il software di misura, partendo dalla scelta del sample rate (S/R). È sempre bene usare una frequenza di campionamento uguale o sottomultipla della massima permessa dalla scheda; se per esempio la nostra scheda è capace di arrivare a 192k Hz, avremo come opzioni 192k, 96k, 48k, 24k, 12k, questo per evitare deleterie interpolazioni da parte del convertitore. Maggiore è il S/R scelto, peggiore sarà il rumore della scheda, dato che aumentando la banda si incrementa il rumore acquisito: guardiamo il **Grafico 08** a conferma di quanto detto. Notate come si riescano a guadagnare quasi 7 dB passando da una frequenza di campionamento di 192k a una di 48k Hz. Allora, mi direte, facciamo sempre uso di un sample rate pari a 48k e non poniamoci più il problema: troppo semplice, vediamo perché. Dal teorema di Nyquist-Shannon sappiamo che la frequenza di campionamento determina il limite alto dello spettro campionabile, ossia $F_{max} = S_{rate} / 2$, vale a dire che se la nostra scheda audio arriva a campionare fino a 192k Hz, potremo misurare in un range il cui limite alto è uguale a 96k Hz, che diventano 48k Hz se usiamo un S/R di 96k, e 24k Hz nel caso settiamo il software

di misura a 48k Hz di campionamento. Se, per esempio, vogliamo misurare la risposta in frequenza di una elettronica, useremo il massimo campionamento disponibile, in modo da indagare su cosa avviene oltre la classica banda audio: poco ci importa del rumore aggiunto (quei 7 dB del Grafico 08). Vediamo un altro caso: desideriamo osservare l'analisi spettrale di una elettronica, iniettandogli un segnale sinusoidale a 15k Hz. Se optiamo per un sample rate di 48k, riusciremo a vedere solo la fondamentale e la THD risultante non sarà veritiera; le cose migliorano se alziamo il S/R a 96k, ma non di molto poiché non andremo oltre la terza armonica. Questo è un tipico caso dove è necessario utilizzare i 192k Hz di campionamento.

Proseguiamo con la scelta della risoluzione in frequenza, che viene chiamata **FFT Size**. Questa determina la frequenza minima della misurazione che andremo a effettuare, oltre che la risoluzione tra due segnali con diversa frequenza. Per conoscere quanto vale la frequenza di risoluzione, basta eseguire la frazione *Sample Rate/FFT Size*. Risulta evidente che aumentando la frequenza di campionamento bisogna aumentare la FFT Size: io sono solito usare il valore di 65536, quale che sia il S/R impostato, che mi permette misurazioni con una risoluzione di 2,9 Hz nel peggiore dei casi. Aumentando la FFT Size aumentano i tempi di elaborazione e, conseguentemente, di visualizzazione a schermo.

Per migliorare la lettura dell'analisi spettrale è necessario attivare la funzione di media (averaging), e settare un certo numero di ripetizioni (1000 cicli). Consiglio di impostarla su esponenziale (exp) piuttosto che lineare: così facendo la misura è continua e gli ultimi arrivati hanno maggior

peso rispetto ai dati più vecchi. Se si imposta lineare, invece, essa si ferma una volta raggiunto il numero di cicli impostato e tutti i dati ricevuti hanno la stessa valenza. Esiste anche la media vettoriale (synchronous averaging), ma conosco un solo programma che la implementa. Diamo un'occhiata al **Grafico 09** che mette a confronto due FFT, una con la funzione di media attivata (in rosso) e l'altra disattivata (in blue): è lampante l'utilità di questa opzione, che elimina parte del rumore e permette la visualizzazione di armoniche altrimenti mascherate.

Un ruolo di estrema importanza assume, nelle misure per via digitale, la corretta scelta della frequenza sinusoidale da analizzare, pena una dispersione (leakage) nella visualizzazione della stessa. Senza dilungarci a discutere di numero intero di cicli, Fast Fourier Transform, Picket Fence Effect e riga spettrale, lasciamo parlare il **Grafico 10** che altri non è che l'analisi spettrale di due sinusoidi: in blue quella a 1.000 Hz, in rosso quella a 999,75 Hz. Appare evidente la presenza di leakage nella sinusoide in blue, dispersione causata dall'errata scelta della frequenza generata; al contrario il tono rosso è una mazza di scopa centrata alla sua frequenza, senza energia disseminata ai lati della fondamentale. Prestate attenzione alla differenza in ampiezza tra i due picchi, differenza sempre dovuta alla dispersione spettrale. Ma come si calcola la frequenza senza dispersione e che d'ora in avanti chiameremo **bin rounded**? Bisogna scegliere una frequenza in modo tale che il numero di cicli sia uguale a un numero intero, ovvero: $\text{Numero cicli} = (\text{FFT Size}) * (\text{Frequenza sinusoide}) / (\text{Sample rate})$. Basta creare un foglio Excel per automatizzare il calcolo, e per i più pigri consiglio una visita al mio sito

(www.claudionegro.com) dove è disponibile, nella cartella *Download*, un file per il calcolo della frequenza *bin rounded*.

Altra funzione, che ci viene in aiuto quando abbiamo bisogno di ridurre il leakage, è quella di *finestra* (window). Ne esistono di diversi tipi, ciascuna con i suoi pro e contro, ciascuna con caratteristiche che la fanno più indicata per uno determinato tipo di segnale. Nello specifico, analizzando un tono o una combinazione di sinusoidi la finestra Hanning va benissimo, mentre quando si ha a che fare con un segnale ad ampio spettro (rumore bianco o rosa) si preferisce la finestra *Uniform*, anche conosciuta come rettangolare. Quando voglio misurare la risposta in frequenza di una elettronica io scelgo la rettangolare, o la *Flat-top* (miglior accuratezza in ampiezza) nel caso impieghi uno sweep in frequenza. In genere la *Hanning* va bene quasi sempre, ma è bene leggere il manuale del software di misura che si adopera, per sapere se ci sono consigli a riguardo: Arta, per esempio, suggerisce la finestra *Kaiser* o *Blackman* nelle misure di distorsione armonica e intermodulazione, segno che ogni programma ha delle sue caratteristiche da seguire. Sia chiaro che non sempre è necessario finestrare, specialmente se ci si avvale degli accorgimenti poc'anzi descritti. Sperando di aver invogliato qualche lettore a cimentarsi nel magico mondo delle misurazioni fatte in casa, mi preme sottolineare che vista la vastità della materia è necessario impegno, studio e tempo per ottenere risultati veritieri e ripetibili. Indi per cui non correte ma passeggiate, approfondendo ogni mattonella su cui poserete il piede. Per qualsiasi comunicazione in merito agli argomenti trattati, rimango a vostra disposizione al solito indirizzo di posta elettronica, cnegro@costruirehifi.net.

Blu Press

A grande richiesta il CD di **Le Guide di Fedeltà del Suono 1 e 2**

9.00 euro a CD