

## Finalab, un amplificatore da laboratorio

**Nelle misure acustiche abbiamo bisogno di un amplificatore per pilotare il diffusore, o l'altoparlante, che vogliamo misurare: in questo articolo vi espongo la mia proposta, in risposta alle richieste che mi giungono dai tanti audiocostruttori che mi scrivono.**

In genere consiglio di utilizzare un amplificatore tra quelli disponibili in casa: basta che sia a stato solido, abbia una risposta lineare in tutto lo spettro audio anche al variare del carico collegato (quindi niente classe D vecchia scuola) e che disponga di una bassa impedenza d'uscita. Poi un bel giorno spinto dalla voglia di realizzare qualcosa, voglia tipica e innata in ogni buon audiocostruttore, e avendo un po' di tempo libero a disposizione, mi sono seduto a tavolino per studiare le varie alternative possibili.

L'idea era quella di ottenere un amplificatore dedicato alle misure usando i componenti che avevo nel cassetto, per mantenere bassi i costi dell'operazione e sfruttare le mie conoscenze per conseguire qualcosa di valido e facilmente riproducibile anche dall'autocostruttore alle prime armi.

La prima decisione da prendere è quella di decidere quale tipo di componenti adoperare: discreti o integrato di potenza? La scelta cade sull'integrato per vari motivi, di cui uno è la facilità d'implementazione che porta, come conseguenza positiva, a una riduzione dei tempi per terminare il progetto.

Tra i power chip disponibili sul mercato, mi sono soffermato su due famiglie storiche: la TDA di STMicroelectronics e la LM della fu National, ora Texas Instruments. Avendo avuto modo di lavorare con gli LM3886 (vedi *Il Trio Solido*, CHF 115-116) e disponendone di un paio nel cassetto a far niente, ho optato per questo modello di integrato di potenza che ha, tra le sue caratteristiche, diversi punti di forza.

Vediamone alcuni. La potenza ottenibile da questo chip arriva tranquillamente a 50

Watt RMS su 8 Ohm di carico, valore ben oltre le nostre necessità se teniamo conto della finalità di questo amplificatore; l'integrato della Texas ha al suo interno un sistema di protezione dinamico che lo protegge da tutto e da tutti: interviene quando la temperatura del die supera i 165°, annulla i transienti di accensione/spegnimento, limita la corrente d'uscita a circa 11 Ampere di picco in modo da proteggersi da sovra voltaggio e sovraccarico, come anche da un corto nella alimentazione. A chi volesse approfondire l'argomento sulle protezioni implementate nel LM3886, consiglio la lettura della Application Note 898, scaricabile qui: <http://www.ti.com/lit/an/sn008a/sn008a.pdf>.

L'importanza di tutte queste protezioni è lapalissiana quando parliamo di un ampli-



ficatore da laboratorio, ovvero di un oggetto che vedrà disattenzioni ed errori umani che potrebbero minare la sua integrità; inoltre ho previsto di utilizzare un circuito per la protezione dalla corrente continua in uscita, a salvaguardia degli altoparlanti che collegheremo al finalab.

Un altro punto a favore del chip LM3886 è la vasta disponibilità, in quel mercato globale che prende il nome di eBay, del circuito stampato necessario alla costruzione dell'amplificatore, come anche di kit comprensivi sia della PCB che dei componenti. Proprio in questi giorni estivi, navigando per *la baia*, ho visto che con una decina di euro, spese di spedizione incluse, si può comprare un kit completo di tutto, anche del chip di potenza! Un'altra offerta che ha attirato la mia attenzione offriva 2 schede mono, l'alimentatore e tutti i componenti necessari, a poco meno di 30 euro: ci manca solo il trasformatore e il contenitore per terminare l'opera.

Comunque sia, è bene prestare attenzione a cosa si compra in questi negozi virtuali, dato che prezzi molto bassi possono indicare componenti non proprio originali, i cosiddetti *fake*. Se, per esempio, volessi comprare l'integrato della Texas da *Mouser*, il suo costo è di circa 7 euro: secondo me è meglio diffidare di chi lo vende su eBay a meno, e personalmente preferisco acquistarlo dai distributori autorizzati della Texas, a garanzia della sua originalità.

A parte il discorso del prezzo medio, un'altra fonte di notizie per poter cercare di capire se si è comprato un falso o un originale, è guardare il codice identificativo stampato sul componente e confrontarlo con quello disponibile sul datasheet fornito dal fabbricante.

Per esempio a questo indirizzo della TI, [http://www.national.com/en/quality/marketing\\_conventions.html](http://www.national.com/en/quality/marketing_conventions.html), si può leggere il significato di ogni lettera presente sui componenti prodotti dal marchio americano. Ovviamente bisogna avere tra le mani il componente, piuttosto che basarsi sulla foto pubblicizzata dal venditore della *baia*. Un discorso simile vale anche per i condensatori, dei quali esiste una grande disponibilità su eBay: in alcuni casi ho visto in vendita dei componenti con valori di capacità e/o voltaggio che non esistono sul datasheet del proprio fabbricante. È logico evitare di fare acquisti da tali commercianti.

Nonostante la grande quantità di circuiti stampati già pronti all'uso, nulla vieta all'autocostruttore incallito di prodursi la PCB dell'amplificatore e dell'alimentatore; io, per una ragione di tempo e anche per

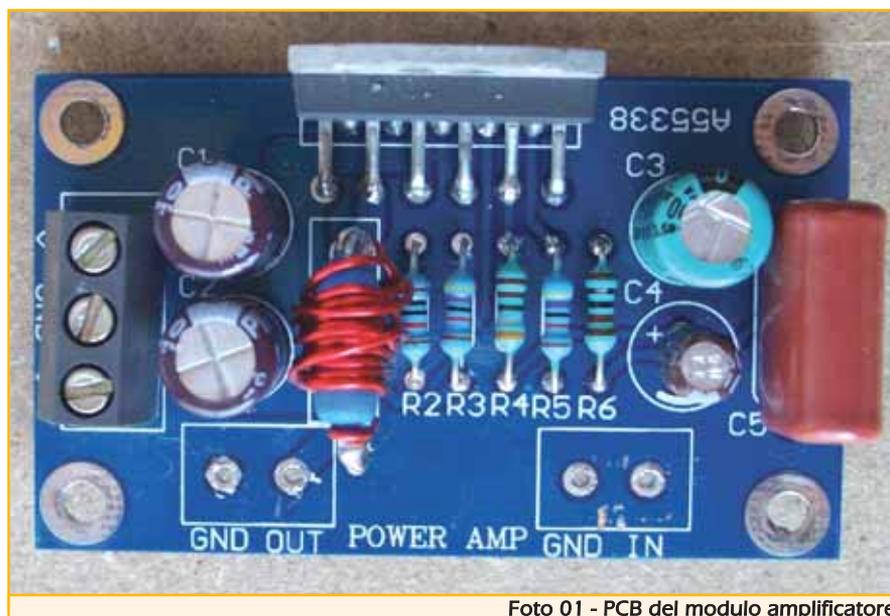


Foto 01 - PCB del modulo amplificatore.

sperimentare la qualità della PCB che andavo a presentarvi, ho preferito comprare un'offerta composta da due PCB per LM3886 e da una per l'alimentatore, per la modica cifra di 8 dollari, spedizione inclusa. Per i componenti preferisco scegliere io quali adoperare, sia come valore che come qualità, anche perché ho un certo numero di componenti disponibili "a magazzino". Nella **Foto 01** potete vedere il circuito stampato che ho utilizzato, con tutti i componenti saldati: è una scheda a doppia faccia di buona fattura, e la consiglio a chi volesse costruire il Finalab.

#### LO SCHEMA

Partendo dal circuito tipico visibile sul datasheet dell'integrato LM3886 (<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3886.pdf>), ho optato per certi valori dei componenti in base alle mie esigenze, così da ottenere quanto visibile nello schema di **Figura 01**; in verde è riportata la nomenclatura come sul datasheet della TI, in modo da facilitarvi la lettura. Analizziamo insieme lo schema e vediamo il perché della scelta di un valore piuttosto che di un altro. Vi segnalo che il circuito mostrato è del tipo non invertente, e i componenti sono ottimizzati per questa applicazione. Il segnale in ingresso trova il condensatore  $C_1$  che blocca qualsiasi tensione in continua dall'arrivare al piedino 10 del LM3886; il valore di detto condensatore dipende dalla frequenza passa alto desiderata, andando a formare una rete RC insieme alla risultante di  $R_1-R_2$ . La frequenza a -3 dB viene calcolata con la formula

$$F_{-3dB} = 1/(6,28 \cdot R \cdot C).$$

$R_B$  serve a non far arrivare corrente all'ingresso non invertente quando si spegne l'apparecchio, corrente che potrebbe arrivare al carico (nella fattispecie il diffusore acustico).

Il condensatore  $C_C$  ha un duplice compito: funge da filtro alle interferenze elettromagnetiche (EMI), e riduce il guadagno dell'amplificatore alle alte frequenze, di fatto agendo da filtro passa basso a tutto vantaggio della stabilità dei transistor finali dell'IC, prevenendo eventuali oscillazioni ad alta frequenza causate dall'accoppiamento, per via aerea, uscita-ingresso. Ho usato un ceramico NPO, ma va anche bene il tipo X7R, saldandolo direttamente sui piedini 9-10 del chip, non essendo previsto il suo utilizzo sulla PCB acquistata; il valore di 100 pF è stato scelto, dopo numerose misurazioni, per conseguire una risposta piatta alle alte frequenze. Il valore di  $C_C$  può variare nel range compreso tra 50 pF e 500 pF.

$R_1-R_{f1}$  determinano il guadagno dell'amplificatore, calcolabile dalla formula

$$G = (R_{f1} + R_i) / R_i.$$

Nel nostro caso, con i valori di resistenza adoperati, il guadagno è uguale a 13: un valore non molto alto rispetto a quanto di solito si vede in giro. Tuttavia un basso guadagno comporta, come effetti secondari, una riduzione della grandezza del dissipatore, un aumento della larghezza di banda e un minor rumore. Nonostante il basso guadagno, con un  $G=13$  siamo in grado di ottenere oltre 20W RMS puliti su 8 Ohm, più che sufficienti per i nostri scopi laboratoriali. Come regola generale è bene non scendere sotto un valore di qua-

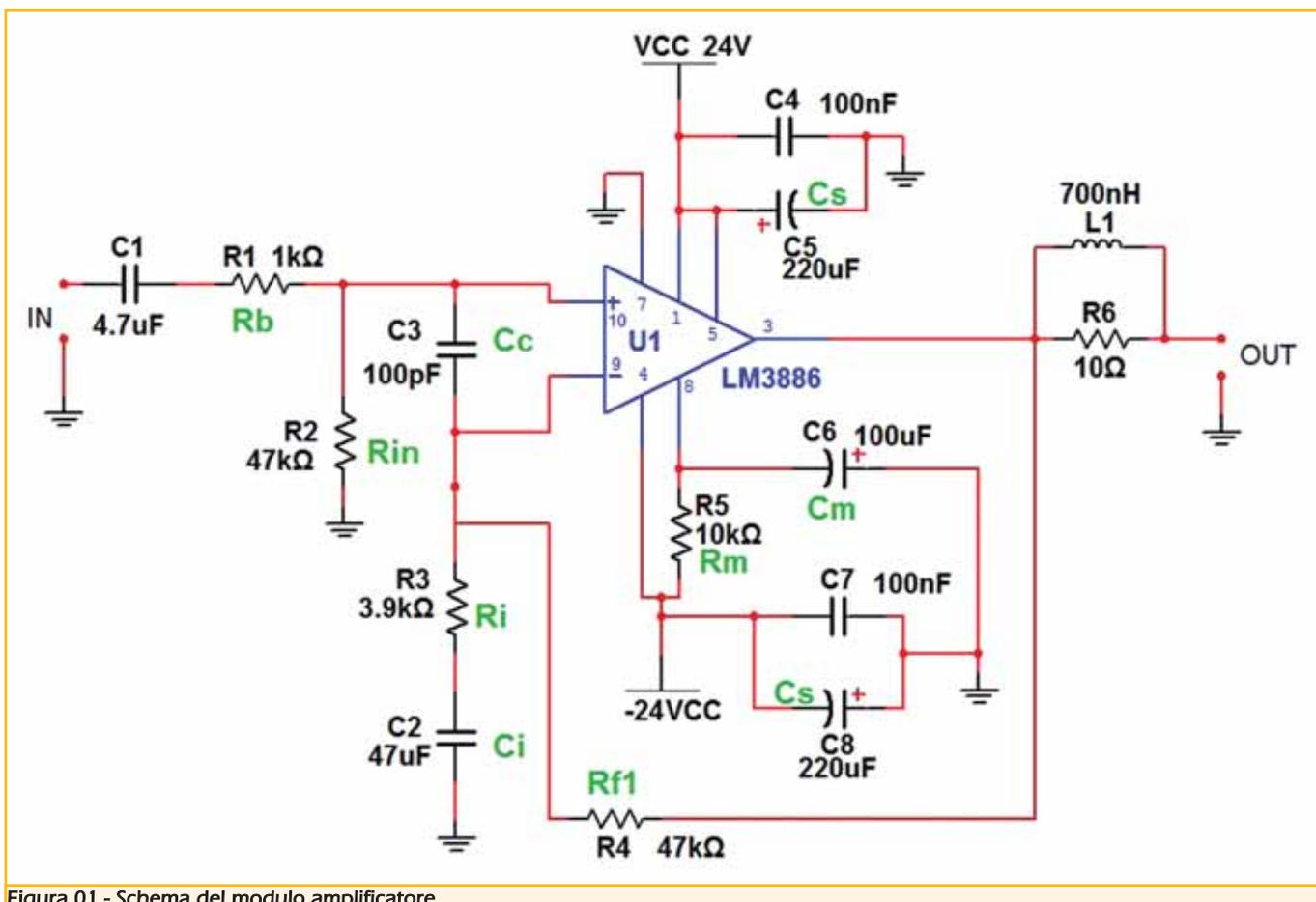


Figura 01 - Schema del modulo amplificatore.

RIFERIMENTO	DESCRIZIONE	MOUSER P/N
R1	Resistenza 1/2 W, 1K Ohm	71-CCF60-1K-E3
R2, R4	Resistenza 1/2 W, 47K Ohm	273-47K-RC
R3	Resistenza 1/2 W, 3,9K Ohm	71-CCF60-3.92K-E3
R5	Resistenza 1/2 W, 10K Ohm	71-CCF60-10K-E3
R6	Resistenza 2-3W, 10 Ohm, carbone	603-RSF200JB-73-10R
C1	Condensatore a film, 4,7 microF, 63V	505-MKS44.7/63/20
C2	Condensatore elettrol. 47 microF, 50V	667-EEU-FC1H470
C3	Cond. ceramico C0G, 100 picoF, 50V	594-K101J15C0GF53L2
C4, C7	Condensatore poliestere, 100 nanoF, 50V	871-B32529C104K189
C5, C8	Cond. Elettr. 220 microF, 50V, bassa ESR	667-EEU-FM1H221B
C6	Cond. Elettr. 100 microF, 35V	871-B41828A7107M7
L1	Induttanza 0,7 microH	vedi testo
U1	LM3886TF	926-LM3886TF

Tabella 01 - Lista dei componenti usati.

dagno uguale a 10, altrimenti l'amplificatore potrebbe diventare instabile. Una volta deciso il guadagno che si desidera, scegliete  $R_{f1}$  nel range tra 10k-100k Ohm, e calcolate  $R_i$  di conseguenza. Per minimizzare l'offset DC in uscita, utilizzate lo stesso valore per  $R_{f1}$  e  $R_{iN}$ .  $C_i$  è il condensatore della rete di feedback, e insieme a  $R_i$  riduce il guadagno alle basse frequenze; per calcolare  $C_i$ , conoscendo la frequenza a -3 dB desiderata e  $R_i$ , basta applicare la formula:

$$C_i \geq 1/(6,28 * R_i * F_{.3})$$

Sebbene il chip LM3886 disponga di una buona reiezione al rumore introdotto dall'alimentatore (PSRR), è consigliabile inserire un condensatore di bypass su entrambi i rami dell'alimentazione.  $C_S$  svolge questo compito, e inoltre cerca d'impedire l'instaurarsi di oscillazioni di bassa frequenza: è bene che sia del tipo a bassa ESR e con una buona capacità, e conviene montarlo vicino ai pin del circuito integrato. In parallelo all'elettrolitico  $C_S$ , per evitare oscillazioni ad alta frequenza, ho previsto un condensatore a film da 100

nF montato volante sulla basetta, dato che non era previsto sulla PCB.

$R_M$  serve a disabilitare la funzione di mute, attivabile tramite un interruttore. Il suo valore deve essere minore o uguale a:  $(|V| - 2,6) / I$ , dove  $I > 0,5$  mA. In una discussione sul forum di DIYAudio, veniva messo in evidenza da Nelson Pass che era meglio adoperare un  $I$  maggiore di 1 mA, per eliminare un picco di distorsione visibile nel grafico THD vs OUTPUT POWER del datasheet, picco che il progettista americano attribuiva a un non completo spegnimento di due transistor relativi al circuito di muting.

Se volete approfondire, ecco il rimando alla discussione: <http://www.diyaudio.com/forums/pass-labs/36585-7-easy-pieces-6.html#post845710>.

$C_M$  fa parte del circuito di mute, e il suo valore determina per quanto tempo funziona il muting durante l'accensione/spegnimento dell'amplificatore. Il valore raccomandato dalla Texas è quello utilizzato nel Finalab.

Gli ultimi due componenti che troviamo nello schema sono **L1-R6**: hanno lo scopo di scongiurare oscillazioni causate da un carico capacitivo, tipico di un diffusore. R6 va bene da 2-3 Watt (io ho usato due resi-

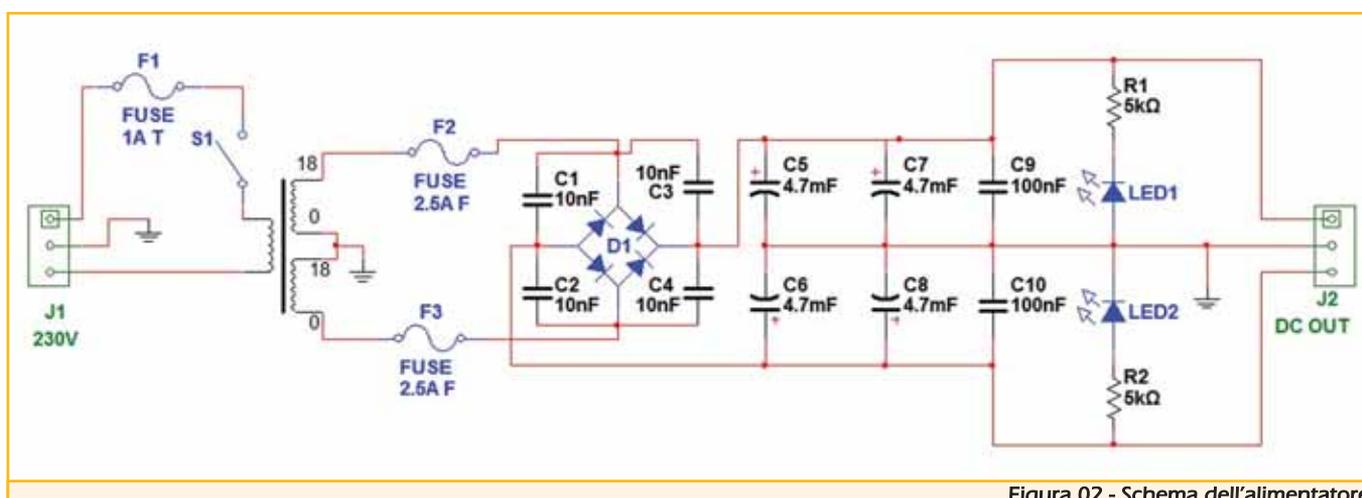


Figura 02 - Schema dell'alimentatore.

stENZE da 20 Ohm in parallelo) del tipo a carbone piuttosto che a film metallico, mentre L1 la ottenete avvolgendo attorno a R6 del filo di rame smaltato da almeno 1,3 mm di diametro (per rendere ininfluente la componente resistiva dell'induttanza), per circa 20 giri. Se avete un ponte LCR potete misurare l'effettiva induttanza, ma il valore di 700 nHenry non è tassativo. I più accorti noteranno che nello schema adottato non sono presenti due reti che invece figurano, come opzionali, nel data-sheet del LM3886: sto parlando di  $R_{SN}$ - $C_{SN}$  e  $R_{f2}$ - $C_f$ . Lo scopo della prima è di eliminare possibili oscillazioni ad alta frequenza, mentre la seconda diminuisce il guadagno in alternata nella regione alta dello spettro. Oscilloscopio alla mano, non ho notato situazioni pericolose con vari tipi di carico, indi per cui non le ho previste nel mio circuito. La **Tabella 01** mostra la lista dei componenti: ho usato la versione isolata del chip LM3886, quella con la sigla TF, ma siete liberi di adoperare anche l'altra versione (T finale): basta che vi ricordiate di isolare elettricamente il chip dal dissipatore.

### L'ALIMENTATORE

Sempre sulla baia, ho acquistato un circuito stampato per raddrizzare e filtrare i 18+18 Volt che escono dal trasformatore toroidale; quest'ultimo, viste le non grandi pretese in termini di potenza in uscita, è da 120VA.

Il circuito è abbastanza banale e lo potete vedere nella **Figura 02**: i 230 VAC passano per un fusibile del tipo lento da 1A, e arrivano a un interruttore SPST (ma se preferite potete usare un doppio polo per una maggior sicurezza), che permette o meno l'alimentazione del trasformatore. I 18V per ramo che escono dal trasformatore attraversano un fusibile di tipo rapido da 2,5A, valore che dipende dalle proprietà



Foto 02 - PCB dell'alimentatore.

del trasformatore utilizzato, e vengono raddrizzati da un ponte raddrizzatore (200V-10A) filtrato da quattro condensatori ceramici X7R da 10 nF-50V, che hanno lo scopo di diminuire eventuali spikes tipici dei diodi.

Due condensatori elettrolitici per ramo (4700 microF-35V) filtrano la tensione raddrizzata, fornendo una buona riserva di corrente anche con i bassi carichi che andremo a collegare al nostro finale. Infine due LED segnalano il funzionamento di ciascun rail, e due condensatori a film plastico (100 nF-50V) chiudono il cerchio. La PCB con i componenti è quanto raffigurato nella **Foto 02**.

### II CIRCUITO DI PROTEZIONE IN DC

Immaginatevi nel vostro laboratorio quando, terminata l'ultima saldatura, spegnete il saldatore e accendete una sana sigaretta, ovviamente elettronica, quasi a premio

per il lavoro fatto. È giunta l'ora di accendere per la prima volta l'amplificatore ultra-mega-galattico, nato dopo lunghe ed estenuanti notti insonni passate a decidere quale condensatore usare sul percorso del segnale. Per fortuna tutto questo, ormai, appartiene al passato: adesso l'unica cosa che vi frulla per la testa è la frase "let's party"!

Con qualche timore date corrente per qualche secondo e, con un sogghigno di compiacimento, notate che l'amplificatore non vi manda a dire, attraverso segnali di fumo, che non potrà partecipare alla festa, pur essendo l'ospite d'onore. Già immaginate quale musica soave uscirà dai vostri diffusori acustici, ora che finalmente saranno alimentati da un amplificatore degno di questo nome; manca poco, anzi pochissimo: vi resta solo da misurare la tensione in continua sui terminali d'uscita. Girate lentamente in senso antiorario la

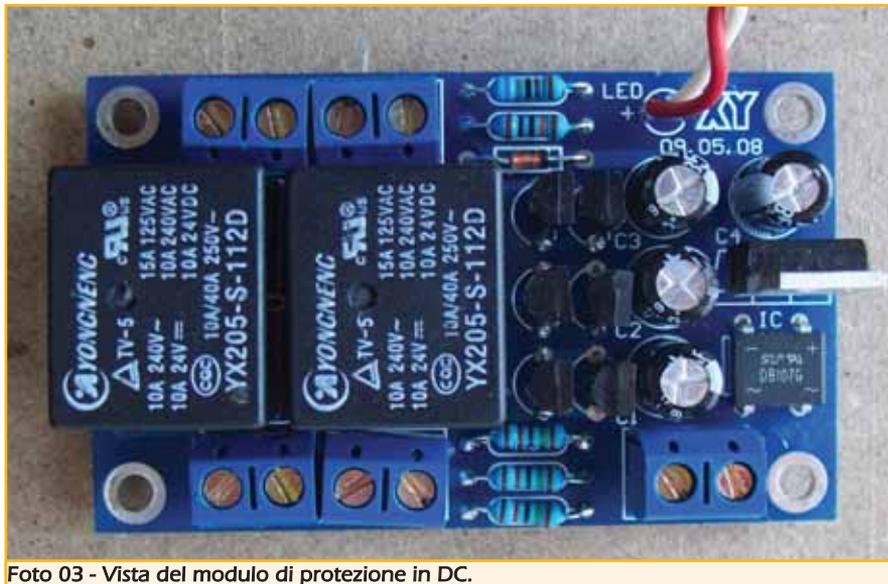


Foto 03 - Vista del modulo di protezione in DC.

grossa manopola del volume, tornita a mano durante l'eclissi di Venere del 2012, fino a sentire il fondo corsa; inserite nei due ingressi dell'amplificatore dei connettori RCA cortocircuitanti saldati, anch'essi durante l'eclissi, utilizzando uno speciale e introvabile stagno di lega esoterica; infilare i puntali del multimetro digitale, acquistato da una bancarella sul lungomare, nei connettori d'uscita dell'ultra-mega-galattico e selezionate, sicuri di voi stessi, la scala su 200 mV DC. La pendola nel soggiorno inizia a battere la mezzanotte, creando un'atmosfera di suspense *hitchcockiana*, e con la mano tremula andate a premere il tasto d'accensione dell'amplificatore; sentite l'ultimo rintocco dell'orologio accavallarsi con quello del relay temporizzato del circuito di *soft start*, e dirigete lo sguardo al pannello LCD del tester. Come

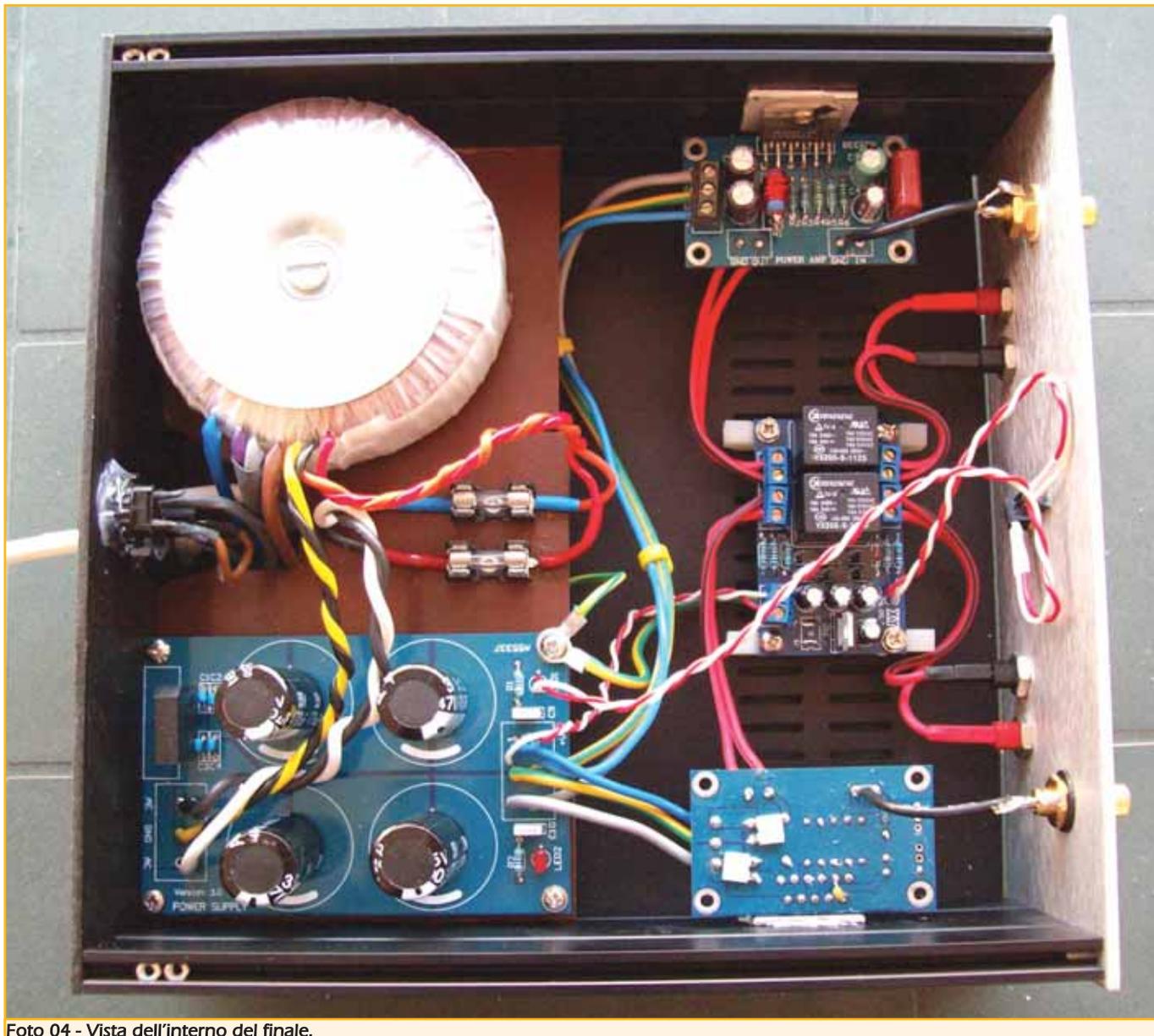


Foto 04 - Vista dell'interno del finale.

mai vi era accaduto, sentite un brivido freddo pervadere il vostro corpo e in un flashback di pochi istanti rivivete tutti i momenti della costruzione dell'ultra-megalattico amplificatore: il multimetro, implacabile, mostra le due lettere maledette "OL"!

Dopo questo intercorso tragicomico, peraltro con lieto fine dato che l'*over limit* era dovuto alla batteria del tester quasi scarica, torniamo seri e vediamo cosa significa avere un tensione DC sull'uscita dell'amplificatore e come proteggersi da questa occorrenza. L'esistenza di tensione continua, oltre certi valori, è un sintomo che qualcosa non va nell'elettronica, quindi il primo passo è quantificare detto valore e valutarlo.

L'ideale è non avere DC in uscita, ma fino a 20 mV siamo in una zona tranquilla; tra 20 e 50 mV rientriamo in un'area di sufficienza; tra 50 e 100 mV ci stiamo perdendo qualcosa, e oltre questo valore dobbiamo seriamente preoccuparci.

Cosa succede in presenza di troppa DC?

**Sul lato diffusore acustico** si creano due problemi: l'altoparlante rimane sempre eccitato, quindi la sua posizione di riposo risulta falsata e la bobina, e di conseguenza il cono, potrebbe rimanere bloccata in un'area non lineare; Klippel illustra, in uno dei suoi *papers*, dell'influenza negativa di una posizione di riposo irregolare della bobina mobile. Il secondo problema riguarda l'integrità dell'altoparlante stesso. Quello che la DC fa, è spingere e bloccare in una certa posizione parte della bobina mobile la quale, non riuscendo a raffreddarsi attraverso il movimento e la vicinanza al magnete, si surriscalda e cuoce sia la vernice isolante che la colla dell'equipaggio mobile. Con voltaggi DC nell'ordine di 1-5 Volt, la cottura avviene lentamente; con tensioni superiori la rottura può avvenire in pochi secondi. Ovviamente i tempi di rottura dipendono dai Watt sopportati dall'altoparlante. In un diffusore sottoposto a corrente continua l'altoparlante più predisposto a rompersi è il woofer, dato che nel suo crossover, di solito, non c'è nessun condensatore in serie al segnale.

**Sul lato amplificatore**, un elevato offset in DC fa aumentare la distorsione di seconda armonica, con le conseguenti ripercussioni sull'ascolto, ed è un chiaro indicatore di una *défaillance*, in atto o imminente, di un componente del circuito. Per proteggerci dalla nefasta corrente continua, abbiamo a disposizione tre possibilità. La prima, e più semplice, è collocare un condensatore in serie al segnale in uscita. Così facendo, però, si creano

diversi effetti collaterali: taglio alle basse frequenze e distorsione, per citarne due. Per ovviare al passa alto della rete RC che si va a creare, dobbiamo usare un condensatore di grossa capacità il quale, giocoforza, potrà essere solo del tipo elettrolitico; il prezzo da pagare per detto componente non sarà certo economico. Inserire un condensatore elettrolitico in serie al segnale causa un aumento della THD, che si riesce a mitigare solo usando valori spropositati. Douglas Self mostrava che per annullare la distorsione causata dal condensatore, bisognava usare una capacità di 100.000 microF, valore oltremodo spropositato. Se a questo aggiungiamo che il nostro amplificatore nasce per essere usato in laboratorio, è meglio evitare ESR ed ESL aggiunte.

Scartata l'opzione condensatore, vediamo la seconda possibilità: il circuito di servocontrollo in DC. Questi altri non fa che prendere la tensione continua in uscita dall'amplificatore, filtrarla con un passa basso e ri-iniettarla nel circuito di feedback, lato ingresso. Benché per realizzare un servocontrollo bastano pochi componenti, bisogna avere una certa esperienza per non incorrere in errori di progettazione. Dal mio punto di vista il servocontrollo in DC è più un sistema per minimizzare la DC, piuttosto che una protezione dalla DC. In situazioni limite (la tensione di alimentazione che arriva al diffusore), a ben poco serve il servocontrollo per salvare gli altoparlanti.

Eccoci infine alla terza via, protezione via relay, che è quella che ho adottato nel finalab. Un piccolo circuito rivela la presenza di DC sulle uscite, e quando questa supera una soglia predefinita stacca,

attraverso un relay, il collegamento con le casse. Sebbene su CHF (71, 86, 109 a firma di Franceschi, Russo e Marzullo) siano stati presentati dei circuiti di protezione di questo tipo, ho deciso di comprare un circuito già bello che pronto, sì da testarlo e potervelo consigliare. Scandagliando eBay, ho trovato due tipi di kit per la protezione delle casse acustiche: uno è basato sul chip  $\mu$ PC1237, mentre l'altro è a componenti discreti. Il costo varia tra i 6 e i 10 euro, e la mia scelta è andata per quello visibile nella **Foto 03**. Il circuito include un ponte raddrizzatore e il condensatore di filtraggio, nonché un regolatore LM7812; l'alimentazione richiesta è compresa tra 12-18 VAC. Il kit è stereo, quindi ne basta uno per proteggere ambo i canali, e funge anche da temporizzatore d'accensione (anti bump). L'ho testato iniettandogli della tensione continua, e ha funzionato a dovere senza il minimo indugio nello staccare i contatti del relay: circuito promosso!

#### IL MONTAGGIO

Avevo in casa un contenitore HI-FI-2000 serie GX, e facendo delle prove con i vari pezzi dell'amplificatore, ho visto che lo potevo utilizzare. La serie GX ha i pannelli laterali che possono fungere da dissipatore, e viste le basse potenze in gioco, ho sfruttato questa opportunità.

Il trasformatore è avvitato su una basetta di bachelite che si incastra negli incavi dei due pannelli laterali, come già avevo fatto nel *Trio Solido*; sempre sulla bachelite trovano posto i due fusibile (F2-3) dei secondari del trasformatore. I due moduli amplificatore sono avvitati sui laterali con l'interposizione di un rettangolo di alluminio, a

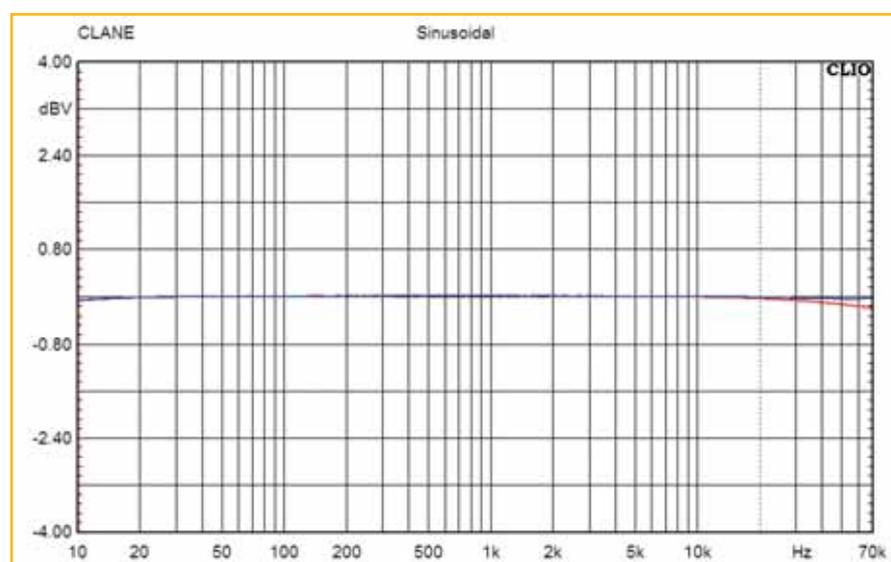


Grafico 01 - Risposta in frequenza del finale, 1W su 4 Ohm (curva rossa) e su 8 Ohm (curva blu).

## PRATICA

migliorare il contatto termico fra le parti; un modulo è posizionato a testa in giù per mantenere corti i collegamenti; non ho impiegato mica isolante visto che ho adoperato la versione TF dell'LM3886, ma ho comunque fatto uso di pasta conduttiva per massimizzare il trasferimento termico. I connettori di entrata e uscita sono sul pannello frontale, visto l'uso del finale; sempre sul frontale sono presenti due led di colore verde e rosso, che segnalano la presenza di tensione in uscita dall'alimentatore e l'entrata in funzionamento del circuito di protezione dalla DC. Nel pannello posteriore trova posto l'interruttore d'accensione e il fusibile sulla 230 VAC. Il risultato finale lo potete osservare nella **Foto 04**. Si potrebbe aggiungere un pan-

nellino di schermatura a dividere la sezione di alimentazione da quella di segnale, per migliorare il rumore indotto, oppure utilizzare un cabinet di dimensioni maggiori per aumentare la distanza tra le parti: potete sbizzarrirvi a volontà!

### LE MISURE

Il setup di misura prevede la Clio nella sua massima espressione, la FW: una volta avuta tra le mani, è difficilissimo riuscire a farne a meno, soprattutto tenendo a conto che è un prodotto italiano e che il supporto offerto dalla Audiomatica è un plus non da poco. Il primo grafico che voglio mostrarvi è quello che, secondo me, assume una rilevanza primaria in un amplificatore con indirizzo laboratoriale: la risposta

in frequenza.

Il **Grafico 01** ci fa vedere una risposta su 8 Ohm che sembra tirata con il righello fino a 70.000 Hz (notate il range sull'asse delle ordinate)! Volendo dare dei valori, il finalab ha una risposta in frequenza entro +0 e -0,06 dB da 10 a 20.000 Hz, sia con un carico di 4 che di 8 Ohm, come ci mostrano i marcatori della Clio; la risposta si estende, nella situazione peggiore, entro +0 e -0,2 dB fino a 70.000 Hz.

Il secondo riscontro misuriccio importante è l'impedenza d'uscita dell'amplificatore, che deve rimanere bassa e costante per non andare a modulare con l'impedenza del diffusore, che sappiamo essere tutto tranne che lineare. Ecco quindi il **Grafico 02** (che raramente vedete nelle riviste del settore o nei depliant delle case costruttrici di elettroniche). L'impedenza dell'amplificatore si mantiene lineare sul valore di 0,06 Ohm fino alle alte frequenze, per raggiungere i 0,12 Ohm a 20.000 Hz. Indubbiamente stiamo parlando di valori d'impedenza bassi e abbastanza costanti nello spettro audio, come desideravamo che fosse.

Andiamo ora a vedere come si comporta il finale rispetto alla distorsione armonica, e per fare questo guardiamo il **Grafico 03**, relativo alla THD rispetto alla potenza generata, che ci mostra che con un carico di 8 Ohm riusciamo a tirar fuori 23 Watt con lo 0,1% di THD; con un carico di 3 Ohm saliamo a 42 Watt. A valori di potenza minori la distorsione totale si attesta ampiamente sotto lo 0,01%; da notare una leggera risalita della THD a 0,4W, piccolo che comunque non è tale da creare problemi di sorta. L'entrata in saturazione è repentina, ma non troppo, come è solito accadere nelle elettroniche con una buona dose di controreazione.

### CONCLUSIONI

Bene, penso che questo articolo potrà essere fruttuoso per tutti gli audiocostruttori sprovvisti di un amplificatore finale dedicato alle misure, i quali potranno realizzare un oggetto performante e sicuro senza spendere molti soldi. E parlando del vile denaro, il costo finale per realizzare il finalab è sotto i 100 euro, valore che può variare in base ai componenti che avete già a disposizione. Come ultima raccomandazione, vi ricordo di usare la massima accortezza quando lavorate con la tensione di rete che, è sempre bene rammentarlo, può essere fatale.

Rimango a vostra disposizione, per eventuali domande o richieste di chiarimento in merito agli argomenti trattati, al solito indirizzo: [cnegro@costruirehifi.net](mailto:cnegro@costruirehifi.net).

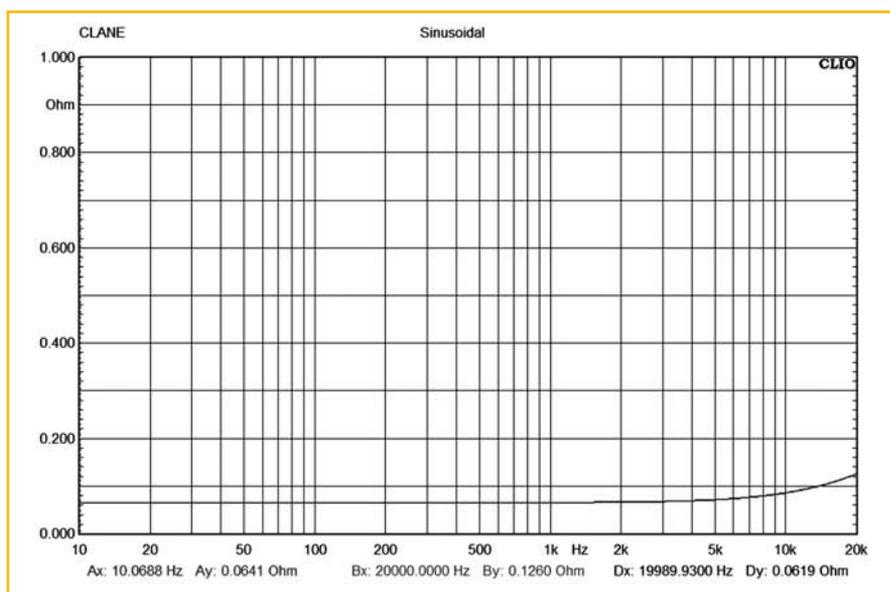


Grafico 02 - Impedenza d'uscita del finale.

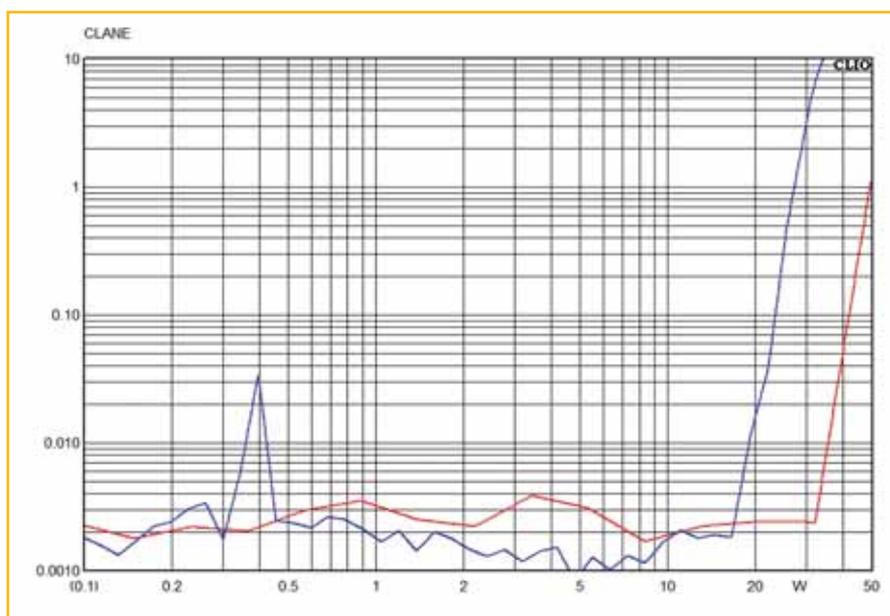


Grafico 03 - THD Vs Potenza in uscita, carico 3 Ohm (curva rossa) e 8 Ohm (curva blu).