

o-10: 10 W, Class T Stereo Audio Amplifier

Francesco Campedelli

rev.1 - 14/01/08

Si tratta di un amplificatore audio stereofonico in classe T (che a sua volta può essere definita come un sottoinsieme della classe D), basato su uno dei circuiti integrati prodotti da Tripath, in particolare il TA2020.



Contents

1	Requisiti	3
2	Architettura	3
3	Sviluppo del progetto	4
3.1	Principali caratteristiche tecniche	5
4	Descrizione del progetto	5
4.1	Sezione di alimentazione	5
4.1.1	Dimensionamento del trasformatore	6
4.1.2	Regolatore lineare per Vcc	6
4.2	Sezione di amplificazione	6
4.2.1	Circuiti di ingresso	7
4.2.2	Circuiti di uscita	7
4.2.3	Circuiti ausiliari	8
4.3	Risposta in frequenza complessiva	8
5	Verifica delle prestazioni	9
6	Avvertenze importanti !	11
6.1	Filtro e Fase di uscita	11
6.2	Uscite a massa	11
6.3	Dissipazione del calore	11
6.4	Condensatori sulle uscite	12

1 Requisiti

In dettaglio i requisiti definiti per l'amplificatore sono:

1. costo materiale (IVA esclusa) contenuto sotto i 150 Euro, contenitore compreso
2. utilizzo di tool di progettazione SW free (o ancora meglio Open Source) (il fine NON giustifica i mezzi ...!)
3. potenza nominale disponibile non inferiore a 10 W su 8 Ohm (sufficienti con altoparlanti ad alta efficienza)
4. risposta in frequenza (-0.5 dB): 20 - 20000 Hz
5. Total Harmonic Distortion (T.H.D.) inferiore allo 0.1% a tutte le frequenze e alla potenza nominale
6. InterModulation Distortion (I.M.D.) inferiore allo 0.1% a tutte le frequenze e alla potenza nominale
7. Total Aural Dissonance (T.A.D.) inferiore a 500 a tutte le frequenze e alla potenza corrispondente a 90 e 95 dB di pressione sonora (a 2m).

Quest'ultimo parametro (T.A.D.), definito da Cheever nella sua tesi di MSEE (Dic. 2001), è il "numero" che meglio dovrebbe descrivere in maniera oggettiva la qualità sonora della riproduzione audio, ponendosi come un tentativo scientifico di risolvere le annose dispute sul perché certi amplificatori con caratteristiche a datasheet peggiori "suonino" in realtà meglio. Per il dettaglio si rimanda al sito di Cheever, da cui è possibile scaricare la tesi in pdf; in due parole si tratta in sostanza di una misura di distorsione "pesata" in funzione della curva di distorsione media dell'orecchio umano ...

2 Architettura

Sulla base dei requisiti identificati è stata definita l'architettura di base per l'amplificatore: stato solido (principalmente per il costo inferiore, sia iniziale che nel tempo), assenza o apporto estremamente limitato della retroazione negativa ingresso-uscita.

La scelta del circuito è infine caduta sulla classe T per i seguenti motivi:

- le prestazioni dichiarate sono quantomeno equivalenti alla classe AB;
- prodotti basati sui componenti Tripath (Belcanto EVO, Carver, T-Amp, ...) hanno ricevuto recensioni molto buone dalla stampa specializzata (OK, non è sicuramente l'argomentazione più forte ...!);
- ho avuto personalmente modo di ascoltare il T-Amp, ricavandone un'ottima impressione;
- l'estrema efficienza consente di ridurre significativamente le dimensioni complessive (alto WAF ...) grazie alla limitazione del peso/volume occupato dall'alimentazione da rete e dai dissipatori, con ulteriori benefici in termini di costo (ad es. in relazione ad un amplificatore in classe A di pari prestazioni ...);

- si tratta in sostanza di un convertitore switching, ossia appartenente ad una classe di prodotti elettronici che hanno costituito la base della mia occupazione lavorativa professionale per quasi 9 anni ...
- il TA2020 non ha retroazione negativa dall'uscita finale (quanto il NFB influisca sulla qualità del suono è argomento ampiamente discusso - peraltro senza una chiara ed univoca conclusione ... il lato positivo è che, non essendo in questo caso strettamente necessaria, può permettere di sperimentare)

I principali svantaggi di questo tipo di soluzione sono invece:

- il dimensionamento del filtro RF dipende dal carico, i.e. la risposta in frequenza può essere influenzata dall'impedenza dell'altoparlante
- la necessità di sviluppare un circuito stampato, stante le frequenze utilizzate dai chip Tripath e le potenze in gioco

3 Sviluppo del progetto

La progettazione, agevolata anche dalla completezza delle informazioni fornite dal datasheet, dalla documentazione della Evaluation Board e dalle Application Notes Tripath, ha puntato dall'inizio a:

- ottimizzare il filtraggio a radio frequenza sulla parte a commutazione e il layout per ridurre la generazione e l'accoppiamento delle radiofrequenze;
- integrare l'alimentazione da rete e relativa stabilizzazione;
- ridurre al minimo i cablaggi e la lunghezza dei collegamenti;
- ridurre al minimo le dimensioni totali, utilizzando al contempo un contenitore esteticamente gradevole (la scelta è caduta sul modello Galaxy 1GX247 prodotto da HiFi 2000).

Dopo accurato studio e simulazione con Spice (pacchetto SW gratuito LT-Spice/SwitcherCAD III della Linear Technology) delle reti analogiche principali, e utilizzando per disegnare schema elettrico e PCB il SW Free Kicad in ambiente Linux (ma è disponibile anche per Windows), è stato sviluppato un circuito stampato a due strati, che impiega sia componenti tradizionali che a montaggio superficiale (questi ultimi consentono una effettiva riduzione della lunghezza delle piste). Il circuito stampato è stato sviluppato anche in funzione del posizionamento dello stesso all'interno del contenitore prescelto, ma ovviamente può essere inserito in un contenitore qualunque.

L'amplificatore è stato infine ribattezzato "o-10" (o come omicron perché è piccolino, 10 come i Watt su 8 Ohm ...).

3.1 Principali caratteristiche tecniche

- l'amplificatore utilizza il TA2020 Tripath;
- il fattore di guadagno impostato (13.7 volte, pari a circa 23 dB) rende superfluo l'utilizzo di un preamplificatore per segnali a livello "line" (CD, etc.)(10W su 8 Ohm con 0.7 Vrms in ingresso);
- lo schema (dimensionamento del filtro di uscita) è ottimizzato per pilotare carichi a 8 Ohm, sui quali eroga fino a circa 10W con distorsione molto bassa;
- l'alimentazione da rete impiega un comune trasformatore toroidale da 50 VA con secondario a 15 V, seguito da ponte raddrizzatore e regolatore lineare tarato alla massima tensione accettata dal TA2020 (14.6 V) per sfruttarne in pieno la dinamica di uscita;
- la stabilizzazione dell'alimentazione è di fatto necessaria in quanto, per assenza di controreazione dell'uscita, tutte le variazioni sull'alimentazione "modulano" la tensione applicata agli altoparlanti.
- il controllo di volume è ottenuto con un classico potenziometro ALPS blu (serie RK27) doppio;
- sono state applicate le tecniche relative alla progettazione dei convertitori switching ad alta frequenza prima ancora che quelle proprie dell'audio tradizionale:
 - piani di massa accuratamente definiti per evitare anelli di corrente a RF (il circuito stampato è, in questi casi, uno dei "componenti" più importanti !)
 - utilizzo di condensatori elettrolitici a bassissima ESR e ceramici di bypass
 - induttori di filtro RF realizzati su toroidi a bassa permeabilità per evitare la saturazione del nucleo e ridurre i disturbi elettromagnetici irradiati

4 Descrizione del progetto

Viene descritta l'implementazione di dettaglio dell'amplificatore, senza riportare le informazioni già presenti nel datasheet del TA2020 o in altri documenti, Application Notes etc. reperibili sul sito Tripath.

Si fa riferimento allo schema elettrico (fornito come file pdf separato).

4.1 Sezione di alimentazione

L'ingresso dell'alimentazione 230Vac avviene tramite presa IEC320 comprendente fusibile e un filtro di rete (necessario stante la natura "switching" del convertitore).

4.1.1 Dimensionamento del trasformatore

A valle dell'interruttore di accensione è posto un trasformatore toroidale da 50 VA con secondario da 15 V (nel mio caso ho utilizzato un trasf. reperito sul catalogo RS con cod. 223-7901). La tensione del secondario viene rettificata ad onda intera da un ponte di diodi "robusto" e inviata alla scheda, dove è presente il condensatore di filtro (6800uF) a valle del quale è posto un regolatore lineare (LT1085 o 1084 in TO220).

La scelta della tensione del secondario del trasformatore è legata alla tensione di alimentazione del chip Tripath. Per ottenere la max. potenza su 8 Ohm a bassi livelli di distorsione è opportuno scegliere il max. valore di Vcc possibile che, da datasheet, risulta di 14.6 Vdc. Proseguendo all'indietro, il regolatore Low Drop LT1085 ha bisogno di una caduta minima di 1.6 Vdc alla corrente max. di 3 A. Considerando una caduta sul ponte di diodi di circa 1.5 V, occorre che il trasformatore abbia una tensione di uscita efficace a carico di

$$V_{sec} = \frac{14.6+1.6+1.5}{\sqrt{2}} = 12.5 \text{ V}$$

con la minima tensione di ingresso garantita da Enel (230 -15%). Il valore nominale della tensione di secondario deve dunque essere 14.7 V che ci porta alla scelta, per praticità di reperimento, del trasformatore da 15 V. Per il calcolo della potenza: alla massima potenza erogata indistorta su 8 Ohm (ossia 10+10 W) il TA2020 ha un rendimento maggiore dell'85%; la potenza gestita dal regolatore lineare è pertanto 24 W, cui vanno sommati la potenza dissipata dal regolatore lineare stesso (circa 8 W) e quella dissipata dal ponte di diodi (circa 3 W), per un totale di 35 W. Un trasformatore da 50 VA, possibilmente toroidale per ridurre flusso disperso e possibilità di vibrazioni meccaniche, garantisce un margine sufficiente.

4.1.2 Regolatore lineare per Vcc

Per ottimizzare la resa sonora dell'amplificatore è opportuno che la tensione Vcc sia regolata (come peraltro già anticipato sopra), in quanto il TA2020 ha specificato un PSRR minimo non particolarmente buono (60 dB).

Come regolatore lineare può essere impiegato un LT1085 (o LM1085) se si prevede l'impiego di diffusori con impedenza di 8 Ohm, per i 4 Ohm è forse più adatto LT1084 che ha una limitazione di corrente più alta (5A contro 3A).

4.2 Sezione di amplificazione

Lo schema applicativo è preso di fatto da quello consigliato da Tripath nel datasheet del TA2020, con i componenti del filtro di uscita (destinati a rimuovere dal segnale audio amplificato le componenti a radio frequenza) dimensionati per un carico da 8 Ohm.

4.2.1 Circuiti di ingresso

Allo schema è stato aggiunto un potenziometro stereo (ALPS blu) da 20K per la regolazione del volume. L'uscita del potenziometro, disaccoppiata in continua tramite C serie, entra nel TA2020 dove un primo stadio con opamp provvede a una prima amplificazione analogica del segnale; il guadagno è fissato da due resistenze e può essere scelto a piacere; in questo caso è stato fissato per ottenere l'uscita la potenza massima con un segnale di ingresso di 0.7 V (la regola di calcolo è riportata sul datasheet). E' inoltre stata prevista una rete di compensazione in frequenza (BSC), mediante la quale, montando un condensatore Cx di valore opportuno, si può attuare una compensazione dell'effetto di aumento delle frequenze medio-alte dovute al pannello frontale dei diffusori. La correzione possibile è dell'ordine dei 3.5 dB, la frequenza di attenuazione dipende dal valore del condensatore aggiuntivo Cx secondo la seguente tabella di corrispondenza:

Val. Cx [nF]	Frequenza F1 [Hz]
—	nessuna attenuazione
4.7	400
6.8	300
10	200
15	150
22	100
47	65

Se non viene introdotto alcun condensatore, non si ha compensazione dell'effetto.

I piedini (pin o reofori) del condensatore utilizzato possono avere un diametro compreso tra 0.46 e 0.51 mm. Il condensatore deve essere non polarizzato, con tensione di lavoro non inferiore a 16V e tolleranza non superiore al 5%; tipi suggeriti ceramici C0G o plastici poliestere o polipropilene, con passo 5 mm.

Ovviamente questa possibilità è utile soprattutto nel caso di diffusori monovia, per evitare reti di compensazione interposte tra amplificatore e altoparlante.

All'uscita dell'opamp il segnale viene poi processato internamente dal DSP che genera e controlla i segnali PWM per lo stadio a commutazione integrato, composto da 4 MOSFet in topologia Full-Bridge, ossia la tensione di uscita viene presa in maniera differenziale tra i due rami del ponte. Per inciso questa è la topologia di amplificatore a commutazione che garantisce le migliori prestazioni, essendo intrinsecamente bilanciata ed evitando asimmetrie nell'alimentazione (al proposito è interessante leggere i primi "white paper" di Tripath sulla descrizione delle loro soluzioni - attenzione che non tutti i chip sono fatti internamente allo stesso modo).

4.2.2 Circuiti di uscita

Finalmente fuori dal TA2020 si trovano i diodi Schottky (per clampare a massa o alla Vcc eventuali ringing associati alle commutazioni dei MOS) e il filtro LC. In questo caso i due induttori richiesti sono stati realizzati su un'unico nucleo toroidale in polvere di ferro a bassa permeabilità per evitare ogni rischio di

saturazione. L'utilizzo di questi nuclei risulta molto vantaggioso sia rispetto alle bobine in aria (non si ha dispersione di flusso RF che potrebbe accoppiarsi ovunque), sia rispetto ai nuclei in ferrite (si evita il traferro che ha, seppure ridotto, lo stesso potenziale problema). Gli induttori sono realizzati avvolgendo su un nucleo tipo Micrometals T106-18, Magnetics 77894-A7 o equivalente due avvolgimenti da 11 spire ciascuno, realizzati con filo smaltato diam. 1 mm. Occhio alla polarità degli avvolgimenti !! In alternativa possono essere montati due induttori singoli, di valore 18 uH ciascuno, da non meno di 3 .. 4 A di picco.

4.2.3 Circuiti ausiliari

Sono stati previsti n.3 LED la cui accensione ha il seguente significato “diagnostico”:

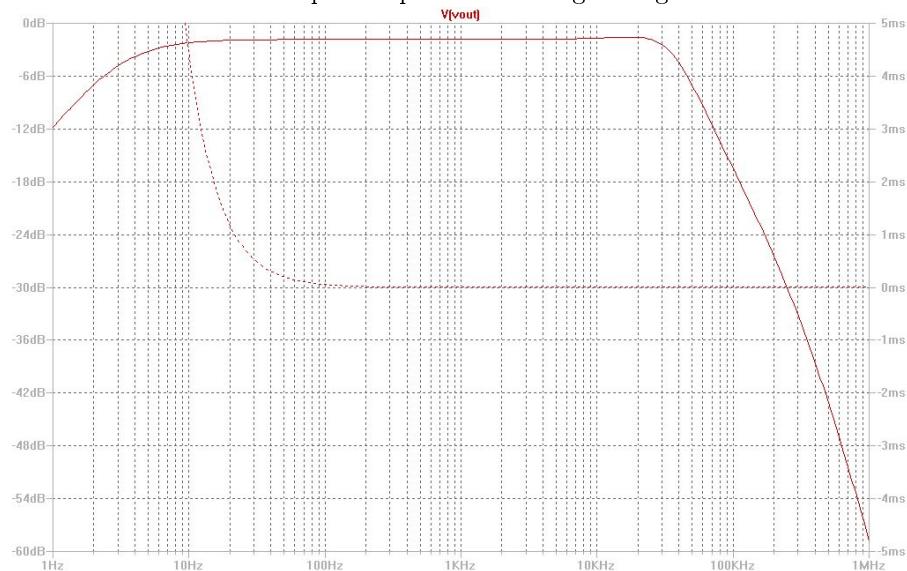
LD1: presenza alimentazione Vcc (Amplificatore acceso)

LD2: overload (i.e. segnale di ingresso troppo elevato, rischio distorsione)

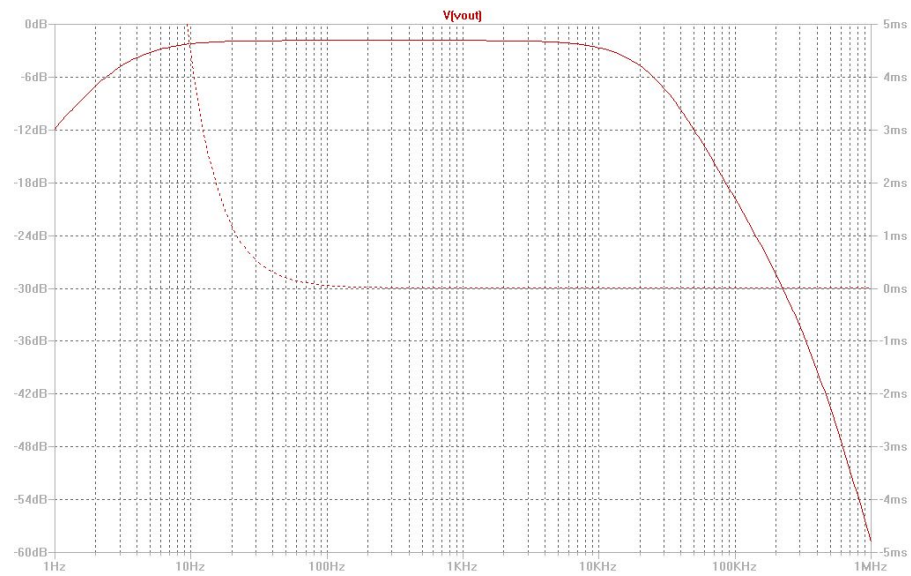
LD3: fault (i.e. sovracorrente in uscita o sovratemperatura del chip)

4.3 Risposta in frequenza complessiva

Considerando il “filtro” di ingresso (ossia il C serie da 2.2 uF) e il filtro di uscita del TA2020, la risposta in frequenza complessiva (modulo + ritardo di gruppo) simulata dell'alimentatore è quella riportata nella figura seguente:



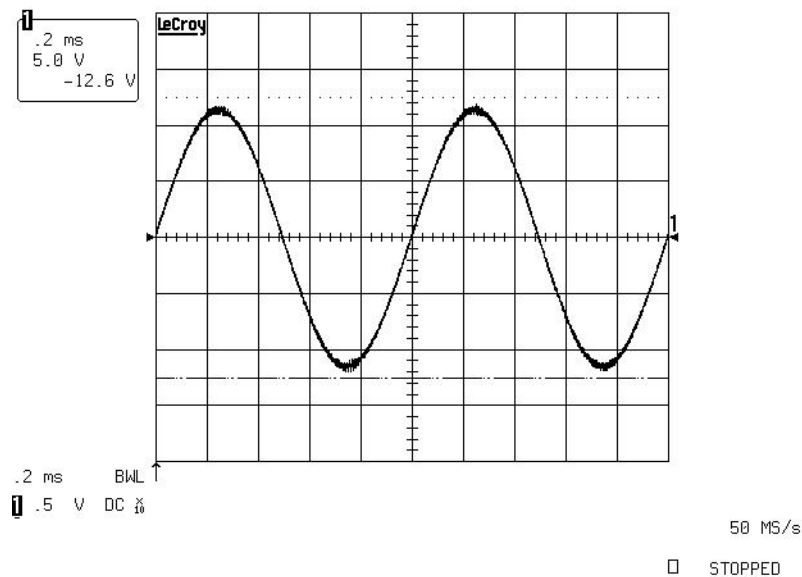
Attenzione a quello che capiterebbe se ad es. il carico risultasse da 4 Ohm:



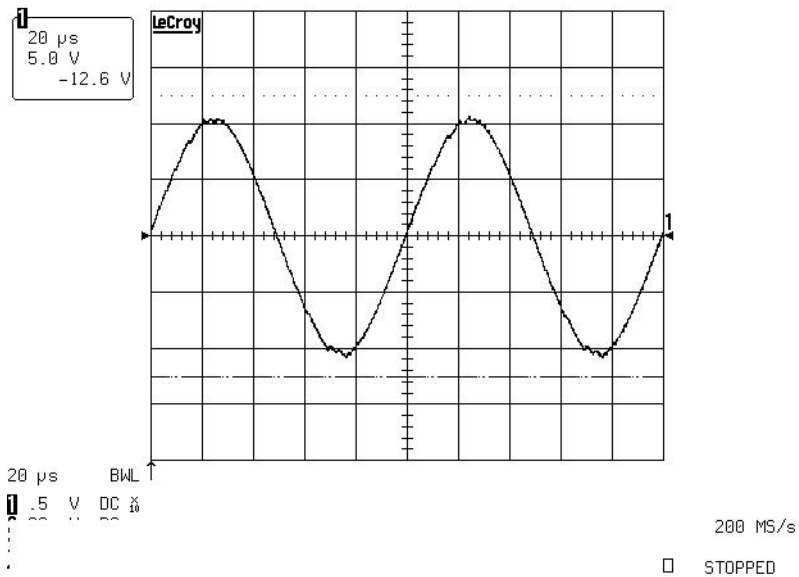
5 Verifica delle prestazioni

Ad oggi sono riuscito a fare alcune misure all'oscilloscopio con onda sinusoidale e quadra e di THD.

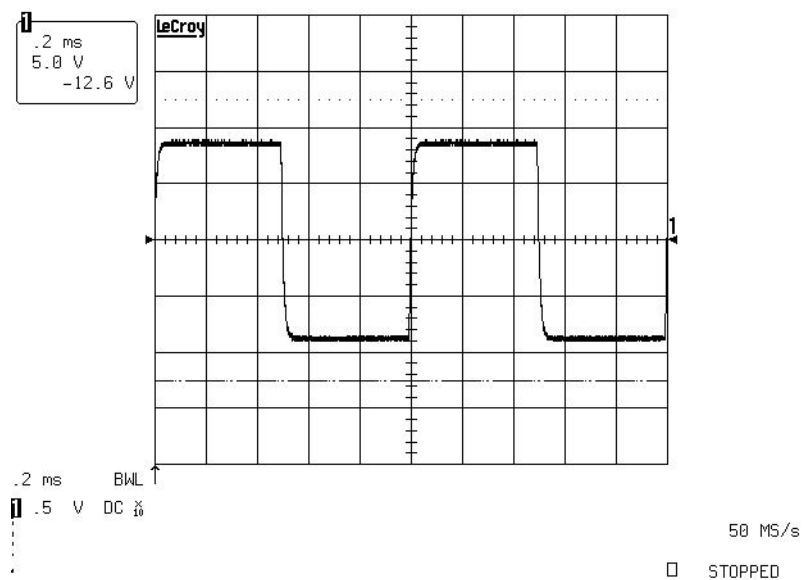
Sinusoide 1kHz:



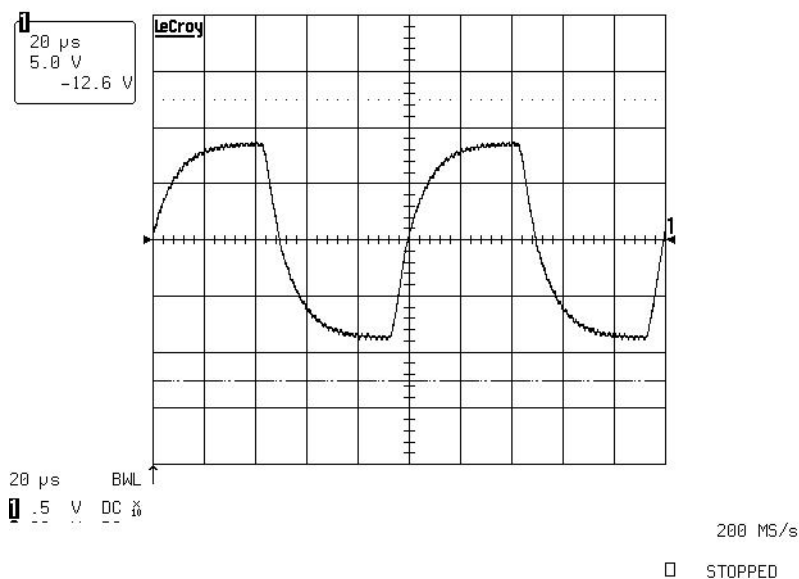
Sinusoide 10kHz:



Onda quadra 1kHz:



Onda quadra 10kHz:



La THD totale misurata (a 7.5 W su 8 Ohm, 1 kHz) con analizzatore di spettro risulta inferiore allo 0.001% .

La risposta in frequenza misurata con 8 Ohm è -1.5 dB @ 20 kHz.

6 Avvertenze importanti !

Alcune note importanti.

6.1 Filtro e Fase di uscita

L'Amplificatore risulta invertente; la corretta rispondenza di fase si ottiene collegando il polo positivo degli altoparlanti ai connettori P2 e P3 (la polarità sullo schema è coerente con il nome dei pin del TA2020).

I valori del filtro di uscita del TA2020 devono essere adeguati all'impedenza nominale dei diffusori utilizzati.

6.2 Uscite a massa

Nessuno dei due poli di uscita deve essere collegata a massa !

6.3 Dissipazione del calore

E' opportuno fissare ad un adeguato radiatore:

- il regolatore lineare LT1085
- il C.I. TA2020

- il ponte di diodi

Attenzione che le alette dei due integrati (LT1085 e TA2020) NON sono isolate, è pertanto opportuno interporre tra componente e radiatore un apposito isolante (Silpad o simile).

6.4 Condensatori sulle uscite

E' opportuno aggiungere un condensatore (ceramico X7R da 10 nF) tra ciascuno dei morsetti di uscita e il telaio/contenitore.