



Piercarlo Boletti (Piercarlo), Candy

## PREAMPLIFICATORE CON TLO71 I: IL PROGETTO

14 July 2012

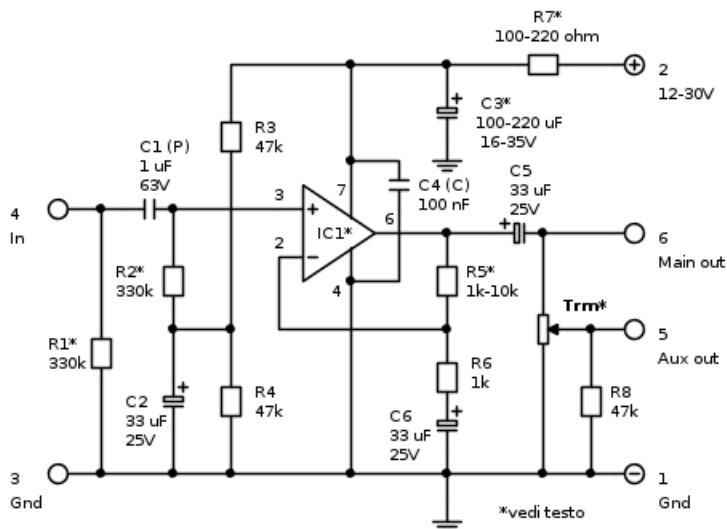
### Premessa

Questo articolo nasce da una delle tante occasioni che si presentano sul forum in cui viene richiesto, per gli usi più disparati, un preamplificatore di segnale audio. In questo caso si è trattato di un preamplificatore per pick-up di chitarra ma avrebbe potuto tranquillamente essere un preamplificatore per microfono, un piccolo "booster" di linea per adattare il livello di una sorgente più o meno "debole" (radio, registratore, lettori CD o digitali di vario genere) ad un amplificatore di potenza un po' "duro d'orecchi", ovvero tutte situazioni che richiedono, in sostanza, la stessa "cura".

Lo spunto di partenza è stato uno dei tanti (pessimi) circuiti audio pescati in rete e riproposti da un forumista in un [thread](#) che, grazie anche alla felice disposizione d'animo di uno dei coautori (**Candy**) che si è fatto carico di sviluppare una traccia di circuito stampato veramente di ottimo livello non solo tecnico ma anche estetico, si è poi evoluto in un preamplificatore vero e proprio, il cui schema elettrico è stato rifinito dall'altro coautore (**Piercarlo**, assai più pigro e dalla voglia di lavorare molto meno "calvinista" di quella di Candy ma che una volta tanto, spinto dal buon esempio di Candy, si è deciso ad alzarsi dalla sua cuccia e a darsi un po' da fare!) in modo da renderlo decisamente più flessibile e relativamente più "universale" di quanto era all'inizio. Il risultato di tutto questo buon daffare è quello che state leggendo! :-)

### Schema

Lo schema "ultimo" di questo preamplificatore lo si può vedere nel sottostante disegno in fidocad:



Il circuito, per chi pasteggia elettronica dalla mattina alla sera, non è sicuramente molto più complicato di quello che serve ad accendere una lampadina con un interruttore - o anche il contrario alle volte! :). Le spiegazioni che seguono non sono quindi per loro ma per tutti gli altri che durante il giorno, solitamente, mangiano altre cose forse più appetitose.

Quando si deve fare un preamplificatore (o un amplificatore tout court) occorre chiarire prima di tutto:

- 1) da chi o che cosa si amplifica;
- 2) per chi o che cosa si amplifica;
- 3) che cosa si amplifica;
- 4) con cosa si amplifica.

Nel nostro caso i primi 3 punti sono di fatto già stati decisi prima - più esattamente: 1) da un pickup per chitarra; 2) presumibilmente per pilotare un amplificatore per chitarra con tutto il suo corredo di effetti; 3) una tensione generata da un pickup a riluttanza variabile, sensibile alle variazioni di flusso generate dal movimento delle corde metalliche della chitarra entro il campo magnetico prodotto da magneti permanenti nel cui circuito sono incluse anche le bobine che poi producono effettivamente il segnale in tensione da amplificare.

Sul quarto punto, in teoria già prefissato, ci siamo presi qualche libertà almeno mentale e di pensare al circuito non tanto dedicato ad "un" amplificatore operativo particolare (il TL071, più economico di un caffè, di prestazioni più che decorose ma non per questo una scelta obbligata o "migliore" in assoluto) ma "ai" vari possibili amplificatori operazionali che potevano fare il lavoro richiesto nel miglior modo possibile. Non certo una libertà da urlo visto che comunque a qualche convento bisogna pur sempre rivolgersi... ma una piccola libertà è sempre meglio che nessuna.

Il circuito, pur non avendo certo pretese di originalità, è stato impostato però in base ad alcune scelte che meritano qualche spiegazione. La prima di esse è l'uso di un'alimentazione singola imposta non soltanto dalle esigenze di una possibile alimentazione a batteria ma anche dalla caratteristica di molti operazionali (incluso il TL071) di offrire una miglior reiezione ai disturbi di

alimentazione (SVRR) su uno solo dei rami di alimentazione (solitamente quello positivo) di cui è sempre meglio approfittare soprattutto in situazioni in cui non si possono avere garanzie circa la qualità delle fonti di alimentazione.

Un secondo motivo per favorire questa scelta ogni volta che è possibile è legata al fatto che essendo uno dei rami di alimentazione (il negativo) coincidente con il riferimento (la "massa") offre meno possibilità ad eventuali problemi di stabilità innescati da possibili anelli di retroazione positiva parassiti che possono formarsi attraverso le alimentazioni qualora queste non siano di impedenza realmente trascurabile. Al riguardo, mentre in un finale di bassa frequenza, a causa delle elevate correnti circolanti nello stadio di uscita, la scelta di un'alimentazione singola o duale si riduce né più né meno a scegliere la padella in cui cuocere, in un preamplificatore l'alimentazione singola, a parità di (buona) cura prestata al layout fisico del circuito, può offrire buoni vantaggi rispetto a quella duale di cui troppo spesso si abusa senza ragione.

Nel nostro caso l'unico modesto fastidio che ci viene dall'usare un'alimentazione singola è quello di dover polarizzare l'ingresso dell'operazionale con un partitore che, per funzionare al meglio, andrà necessariamente disaccoppiato dall'alimentazione principale. Su questo aspetto il circuito ha subito in corso d'opera una piccola evoluzione che, partendo da classico partitore di polarizzazione composto da due resistori alimentati a monte una cella RC in serie all'alimentazione principale, è approdato alla versione visibile nel circuito presentato all'inizio dell'articolo che, nello svolgere la sua funzione primaria (appunto polarizzare l'ingresso dell'operazionale) si libera di una noiosa grana che in pratica costringeva a "reinventare la ruota" ogni volta che si cambiava tensione di alimentazione: la dipendenza del valore dell'impedenza di ingresso dal valore dei resistori usati nel partitore che si trovano così, loro malgrado, a svolgere DUE funzioni (in DC quella di partitore di polarizzazione e in AC quella di carico per il segnale erogato dalla sorgente) che finiscono per pestarsi i piedi a vicenda. La situazione attuale invece è tale che le due funzioni vengono svolte la prima dal partitore  $R_3/R_4$ , i cui valori possono essere fissati una volta per tutte, mentre l'impedenza di ingresso viene fissata da  $R_1$  ed  $R_2$  il cui valore individuale va impostato semplicemente al doppio del valore dell'impedenza di ingresso desiderata.

## Alimentazione

Nel passare dall'astratto al concreto nella realizzazione del circuito occorre decidere... cosa dargli "da mangiare" per farlo lavorare a nostro profitto, tenendo bene a mente che, poiché i miracoli non esistono nemmeno in elettronica, alla fine il circuito potrà restituirci, trasformato in vario modo, solo e soltanto quanto gli si è dato "in pasto" da elaborare. Nel caso nostro, essendo solo un preamplificatore, abbiamo a che fare con un circuito che consuma più o meno quanto un canarino (che fa cantare gli altri!). Un canarino che però ha delle esigenze da rispettare e che non si possono ignorare.

Nello specifico, la prima di queste esigenze è di tipo "ambientale": la tensione solitamente disponibile agli accessori elettronici per chitarra è di soli 9 volt, dovuta al fatto che, da quando è stata inventata, la classica pila "parallelepipeda" da 9 volt è divenuta la fonte di energia più

compatta e pratica disponibile per la piccola elettronica portatile, compresa quella musicale. Naturalmente, quando si può, si alimenta direttamente il circuito da rete con degli adattatori che però, per compatibilità, forniscono all'uscita sempre 9 V a cui pertanto occorre attenersi almeno come limite minimo a cui deve essere garantito il regolare funzionamento del circuito.

Come vedremo tra non molto, il TL071 come peraltro la maggioranza degli operazionali di uso generale, non è la scelta migliore per lavorare con tensioni di alimentazione così basse non soltanto perché è molto vicino al puro e semplice spegnersi per alimentazione insufficiente ma anche perché la massima tensione di uscita indistorta raggiunge a stento i 2 V di picco (1.4 V rms), un valore troppo vicino al livello di uscita normalmente richiesto a questi circuiti per garantirsi dal rischio di ritrovarsi quasi sempre in saturazione.

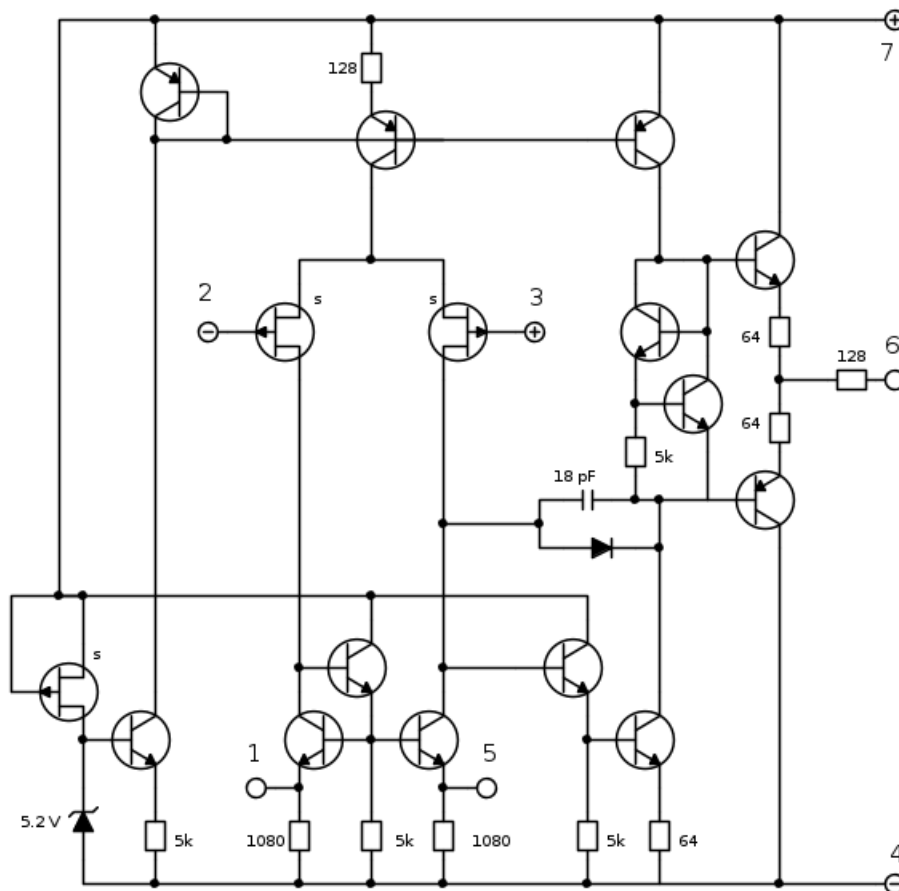
Alimentando il circuito a 12 V invece la situazione migliora in modo apprezzabile: la massima tensione di uscita diventa 3,5 volt di picco (2,8 V rms) che consentono di sfruttare il pre in modo decisamente migliore e più rilassato. Quindi, non escludendo comunque la possibilità di lavorare a soli 9 volt (per i quali è però vivamente consigliato l'uso di altri operazionali più idonei a lavorare a bassa tensione), possiamo considerare 12 V come la tensione "minima ufficiale" a cui va alimentato questo preamplificatore per farlo lavorare in maniera decorosa.

La massima tensione di alimentazione consigliata senza ricorrere ad uno stabilizzatore è preferibile non vada oltre i 30 V in modo da cautelarsi da possibili "cotture" dell'operazionale (che viene dato per una tensione massima di alimentazione di 36 V singoli o +18 V, -18 V duali, da non superare per nessuna ragione) dovuti a sbalzi di tensione, "schicchiere" ecc. In questo il circuito è parecchio aiutato dalla cella RC composta da R7 (100 ohm - 220 ohm) e dal condensatore C3 (100 uF - 220 uF) che serve soprattutto a filtrare disturbi e segnali impulsivi che si possano presentare sulla linea di alimentazione.

A spanne, le combinazioni di valori più utili sono 100 ohm per R7 e 220 uF C3 per tensioni che vanno dai 12 V ai 20 V e 220 ohm per R7 e 100 uF per C3 per tensioni comprese tra 20 V e 30 V. Nel caso si voglia utilizzare il circuito anche a 9 V la resistenza R7 dovrà essere ridotta a 47 ohm o 56 ohm, in modo da non compromettere la già scarsa massima tensione di uscita mentre C3 dovrà essere portato a 470 uF. La tensione di lavoro di C3 deve essere scelta tra quelle disponibili di valore superiore alla tensione di alimentazione, tenendo naturalmente conto dello spazio occupato sul circuito stampato, calcolato per l'ingombro tipico di un condensatore da 100 uF/35 V.

## **Amplificatore**

Ed eccoci finalmente a parlare del circuito in quanto tale. Il circuito è un esempio di altissima ingegneria... Il cui merito va però al progettista che progettò il TL071 quasi quarant'anni fa, non certo a noi! :-). Noi qui ci limitiamo a sfruttare con comodo una briciola della flessibilità d'uso consentita da questo operazionale. Qui sotto il suo schema interno:



Questo operazionale, a dispetto dei suoi "anta" è tutt'ora estremamente valido per realizzare circuiti audio di buon livello, flessibili e dalla linearità al di sopra di ogni sospetto. Inoltre, a meno che non lo si metta veramente con le spalle al muro, è un operazionale tra i più stabili che si possano trovare in giro grazie anche al fatto che, pur avendo un guadagno ad anello aperto più che rispettabile (oltre 80 dB prima dell'intervento della compensazione), non punta però a "primati" che avrebbero il solo effetto di rendere la sua effettiva stabilità meno certa ed affidabile in condizioni di lavoro realistiche (cavi di collegamento più o meno capacitivi, alimentazioni per forza di cose non ideali ecc.). Il tutto al prezzo di una manciata di viti da quattro soldi.

Di questo operazionale in commercio è molto diffusa anche la versione doppia con i JFET di ingresso sostituiti da una coppia di bipolari che, sebbene peggiori alcune prestazioni "velocistiche" (slew-rate e massima frequenza a guadagno unitario), offre in cambio un ingresso sensibilmente più silenzioso il cui rumore a media frequenza audio si riduce dai  $12nV/\sqrt{Hz}$  del TLO71 ai soli  $6nV/\sqrt{Hz}$  del JRC4558 - il capostipite di questa serie a ingresso bipolare - rendendolo così adatto a fungere da preamplificatore anche per sorgenti con tensioni di uscita dell'ordine del millivolt - preamplificatori per microfoni magnetodinamici e all'occorrenza, per chi ancora le ha, per testine fonografiche a magnete mobile.

## PCB

In effetti il primo PCB proposto dall'utente era veramente un disastro e, se il primo sentimento è stato quello di tentare un qualche forma formativa/istruttiva con una traccia di esempio ma non funzionante, il lavoro è poi proseguito. Sia perché i due tentativi dell'utente erano indegni di qualunque denominazione: nè lusinghiera, nè denigratoria, sia perché non aveva alcun senso lasciare incompiuta un'opera iniziata bene, senza un definitiva chiusura.

Quando ci si presta a progettare un PCB è abbastanza normale che all'inizio non si sappia bene dove disporre i componenti. Si comincia quindi col disporli un poco ovunque sul piano di lavoro, per spostarli poco alla volta, riposizionarli, ruotarli, collegarli, ecc., finché il tutto non assume un aspetto degno, funzionale, ..., utile.

Certo il CAD usato non facilita il lavoro, contrariamente ad altri programmi che dispongono di funzioni di autoroute, anche real-time, (intanto che si spostano i componenti, le piste vengono rielaborate e rifatte dal programma e l'utente dovrà solo poi dare gli ultimi ritocchi), questo non dispone di nessuna funzione di autoroute. Le piste morte si sovrappongono alle nuove; il progettista deve ogni volta farsi carico di controllarle e completarle. E' il progettista che deve sapere cosa fare e come farlo. In alcuni casi ci si spazientisce un poco; ma esistono realizzazioni ben più complesse di questa. Non bisogna lasciarsi prendere dalla pigrizia.

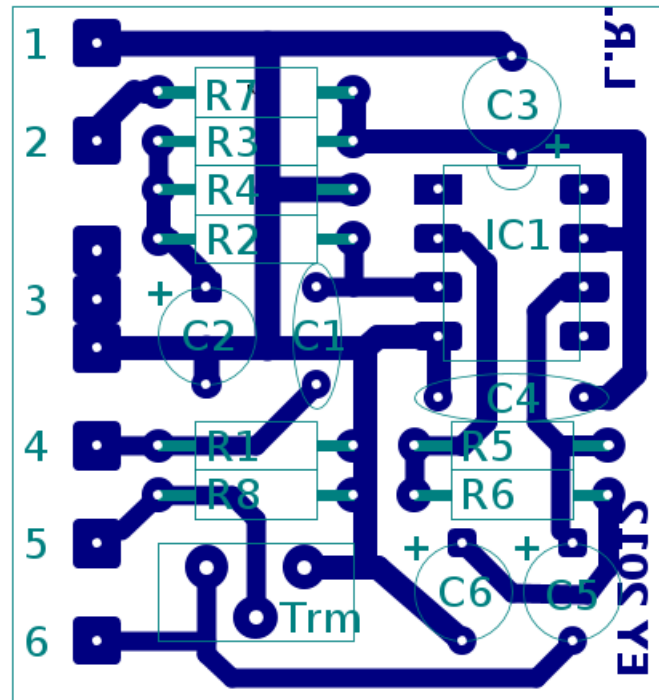
### Alcune regole basilari di riferimento

- I componenti scelti delle dimensioni adeguate, avendo cura di studiare i datasheet e verificare piedinature e dimensioni.
- Componenti adeguatamente allineati tra loro. Permette di ridurre ed ottimizzare gli spazi.
- Ottimizzazione delle piste, avendo cura di renderle le più corte possibile. Piste diretta tra le piazzole senza giri inutilmente "tortuosi".
- Le piazzole di connessione con l'esterno devono essere portate ai lati e, meglio ancora, se tutte su un unico lato dello stampato. (Sarà così molto pratico effettuare le connessioni, anche con saldatura diretta dei conduttori alle piazzole, per non dire che sarà anche più semplice il cablaggio successivo). In alternativa si può sfruttare più di un lato, ma sempre portando tutte le connessioni ai bordi.
- Dimensioni di piste e piazzole, ma anche il cosiddetto "clearance", devono tenere conto della tecnica che si userà per l'incisione.
- Le piste ad angolo retto sono nel limite del possibile da scartare, lasciando spazio a variazioni di percorso smussate.
- Nel limite del possibile sono da evitarsi i ponticelli per la realizzazione delle piste. (Sono un punto di ulteriore probabilità di guasto, oltre che antiestetici).

## Sbroglio del PCB

Non per critica, ma come esempio di cosa non si deve fare, [questo](#) è stato il disegno che ha scatenato la "buona" disposizione d'animo per avviare un lavoro di riprogettazione del PCB proposto. Si vedono componenti, e pochi tra l'altro, sparsi ovunque. Piazzole di connessione messe qua e là senza regola, piste mal progettate con percorsi inutilmente lunghi.

Il PCB che propongo di seguito è frutto dei vari passaggi e sviluppi che ha avuto lo schema. Schema di **Piercarlo**, io mi sono limitato a curare lo stampato, non avendo esperienza di BF.



Sequendo da [questo](#) punto il thread di riferimento si può osservare come in pochi passaggi si passa da una disposizione disordinata e casuale alla disposizione finale.

## Finiture

Successivamente si possono poi applicare le finiture utili. Alcuni testi chiari sono sempre utili per riconoscere il lato componenti ed il lato rame. Nel nostro progetto ho messo, sul lato rame, unico lato da incidere, le sigle "L.R." ed "EY2012". Infatti quando si sviluppa e si incide la piastra si ha solo un foglio di vetronite ramata in mano con il relativo lucido e non riconoscere l'esatto profilo delle piste e l'orientamento del lucido significa potenzialmente incidere una piastra "specchiata", poi inutile per qualunque scopo.

Questi elementi di finitura hanno senso soprattutto quando si passa ad incidere la piastra con la tecnica della fotoincisione. Tecnica che però ha senso di essere usata se si deve fare un discreto numero di piastre, in quanto richiede attrezzature e prodotti tecnici particolari che non giustificano i costi per fare una unica piastrina.

E' bene progettare assieme al PCB anche il case finale dell'intero progetto e quindi dimensionare il profilo della scheda ed eventuali ingombri e punti di fissaggio prima ancora di disporre componenti e piste. Nel mio esempio è chiaro che questo aspetto è carente, trattandosi di un lavoro generico. All'occorrenza si può prelevare il sorgente del PCB ed utilizzando [FidocadJ](#) rivederlo per le proprie esigenze.

### Incisione e montaggio

Sono due aspetti questi che un articolo non può affrontare bene. Per quante parole si spendano, (e ne sono già state spese e scritte molte), solo la pratica e l'esperienza possono realmente permettere una realizzazione adeguata e funzionante.

Si può anche pensare, per un circuito tanto semplice come questo, di realizzarlo su scheda millefori. Se non si ha dimestichezza con l'incisione di PCB è certamente ancora la via più semplice ed immediata.

Con [questo](#) articolo ben fatto, illustrato, due nostri amici utenti hanno prodotto una guida seria su come si realizzano questi prototipi.

### Conclusioni

Per quanto riguarda il circuito vi è da sottolineare che, pur ribadendo l'assoluta "non originalità" di progetto (un riconoscimento, l'originalità, assai difficile da conquistare al giorno d'oggi visto che al mondo vi sono MILIONI di ingegneri elettronici la gran parte dei quali tutt'altro che sprovveduti), vi sono comunque anche in casi semplici come questi modi buoni, mediocri e pessimi di fare le stesse cose, tra i quali la vera differenza non sta tanto nella quantità o qualità di componentistica usata ma piuttosto nella catena di ragionamenti e riflessioni che vengono fatti prima di concretizzare le idee in un circuito costruibile.

Nel nostro caso, tra il circuito iniziale "pescato" dal web e quello finale proposto in questo articolo vi sono giusto una mezza dozzina in più di componenti passivi di differenza - corrispondenti a forse neanche un euro di spesa aggiuntiva - che però fanno la differenza tra un circuito che lo monti, lo installi e non ci pensi più a cambiarlo fin che campi e un altro che invece, dopo qualche tempo, ti vien solo voglia di buttarlo in pattumiera.

Per quanto riguarda la realizzazione del PCB la traccia vuole essere giusto un esempio e non necessariamente lo stato dell'arte. Quando si ha a che fare con le frequenze audio i gusti e pareri personali in materia si moltiplicano e cominciano a scaturire molti ma e molti se. Un simile lavoro può essere considerato ben fatto, ma altrettanto mal fatto, basta girare la medaglia di riferimento. Il nostro intento è stato soprattutto quello di trasmettere delle regole assenziali, generali, utili un poco in tutti i settori dell'elettronica, senza soffermarsi invece su elementi, secondari.

Per il resto circuito e componentistica sono molto semplici e dal valore economico veramente risibile. Ci auguriamo pertanto che, nel suo piccolo, riesca a far felice qualcuno aiutandolo anzitutto a passare un'oretta o due a pieghettare terminali, saldarli allo stampato o alla millefori, sacramentare quanto basta... ma soprattutto a divertirsi un mondo! :-)

## Ringraziamenti

Prima di tutto l'utente che con le sue richieste e scarsa applicazione ha smosso l'animo degli autori, trasformando una richiesta ed un lungo thread in progetto presentato con questo articolo.

Gli utenti che hanno partecipato al thread e stimolato l'articolo. Invece di un lungo thread di difficile lettura, ecco la "pappa" quasi pronta.

Il sito che ospita il tutto, coi suoi amministratori che lo gestiscono magistralmente, ne curano contenuti e presentazione.

I commentatori, indipendentemente da quanto diranno.

Infine e più di tutti **Piercarlo** che ha strappato alle sue attività il tempo utile per dedicarsi con passione e semplicità al progetto.

## "Quasi" errata

*Nella stesura del testo è stato dimenticato di specificare il valore del trimmer di uscita (o all'occorrenza anche un potenziometro vero e proprio) che infatti... se ne è rimasto solo soletto in "compagnia" dell'asterisco. In effetti per questo trimmer non esiste un valore "ottimale" in quanto questo va definito in base alle esigenze degli ingressi linea dei circuiti che vengono dopo questo pre; deve però essere rispettato un valore minimo sia per non sovraccaricare l'uscita dell'operazionale sia per evitare, nel caso lo si alimenti a 9 volt, un'ulteriore riduzione del già non proprio abbondante massimo valore di picco della tensione di uscita.*

*Tenendo conto di tutto è consigliabile evitare che il valore del trimmer o del potenziometro scenda al di sotto dei 5 kohm, preferendo ove possibile restare intorno ai 10 kohm. D'altra parte è pacifico che l'uscita che passa attraverso il trimmer sia considerata strettamente ausiliaria e che, dove occorra ridurre o aumentare stabilmente il guadagno del circuito, sia preferibile procedere a ricalcolare il guadagno del circuito variando R5 come segue:*

$$R5 = R6 (Av - 1)$$

*dove Av è il guadagno che si desidera ottenere. Con R6 pari (non a caso...) a 1 kohm com'è attualmente facendo*

*Av - 1 si ottiene direttamente il valore in kohm da assegnare ad R5. Nulla vieta però, a chi lo ritenesse opportuno, di assegnare alla resistenza R6 un valore diverso dal nostro.*

## Montaggio pratico

[Preamplificatore con TLO71 II: la realizzazione](#)

Estratto

da

["http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Candy:preamplificatore-con-tlo71"](http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Candy:preamplificatore-con-tlo71)