



## **Amplificazioni OTL**

Con l'acronimo **OTL** vengono solitamente indicati gli amplificatori di potenza a valvole privi di trasformatore di uscita.

Le amplificazioni OTL, se ben progettate e realizzate, posseggono alcune caratteristiche soniche difficilmente riscontrabili in altre circuitazioni (anche negli ottimi monotriodi).

### **La nascita**

A parte alcuni iniziali timidi esempi di amplificazioni OTL, i primi veri apparati di larga diffusione, anche commerciale, furono quelli introdotti dal grande progettista Julius Futterman nell'intorno degli anni cinquanta. Caliamoci un attimo in quell'epoca per poter comprendere fino in fondo quanto fosse ritenuta rivoluzionaria quella circuitazione. Siamo nel periodo in cui, grazie ad un sempre più massiccio uso della controeazione, risultava possibile raggiungere prestazioni, almeno strumentali, qualitativamente in crescita costante; per inquadrare con il giusto peso questo risultato, rammentiamo che a quei tempi era radicata la convinzione che a misure di laboratorio migliori corrispondessero prestazioni soniche superiori. Il tanto odiato trasformatore di uscita era pertanto considerato due volte nefando: la prima perché risultava alle misure il componente più limitato sotto il profilo delle prestazioni (soprattutto per la ridotta banda passante), la seconda perché, a seguito delle inevitabili rotazioni di fase da esso introdotte nel circuito, limitava fortemente l'uso della controeazione.

In questo clima è assai facile immaginare quale irrefrenabile entusiasmo dovettero suscitare le prime realizzazioni OTL che lasciavano intravedere prestazioni da capogiro: bande passanti che toccavano facilmente il MHz e distorsioni armoniche con almeno uno zero dopo la virgola!

### **Oggi**

Molti sono i cambiamenti che, negli ultimi anni, hanno profondamente modificato l'iter progettuale delle apparecchiature hi-fi. Oggi, infatti, viene riconosciuto (finalmente!) il giusto valore ad uno strumento di misura semplicemente eccezionale: *l'orecchio*. Prove e misurazioni serie ne tengono conto!

Questa presa di coscienza è stata, per certi versi, tardiva: troppe sono state, infatti, le amplificazioni transistorizzate prodotte negli ultimi decenni e frutto, purtroppo, di tecniche scellerate che hanno letteralmente ignorato i responsi delle *prove d'ascolto*. Volendo brevemente analizzare solo alcuni degli aspetti negativi e delle conseguenze di queste tecniche, potremmo citare:

- *la controeazione*, se da un lato abbatte il valore della distorsione iniziale del sistema, prima della sua applicazione, ne trasla altresì lo spettro verso le armoniche più elevate, laddove, purtroppo, il nostro orecchio è ben più sensibile; simile trattamento subisce anche la distorsione di intermodulazione, il cui ordine cresce di pari passo a quello della distorsione armonica, rendendo il suono, anche in questo caso, sempre più fastidioso per il nostro udito.
- *la connessione in controfase* (o push-pull, come è anche possibile indicarla),

---

**S.I. Audio**

S.I. srl - via Ugo Niutta 36, 80128 NAPOLI - Tel. (+39) 081 5580270-fax (+39) 081 5580272

Web: [www.siaudio.it](http://www.siaudio.it) e-mail: [tecnica@siaudio.it](mailto:tecnica@siaudio.it)



annullando solo le armoniche pari della distorsione, consente sì un eccezionale contenimento del valore percentuale della distorsione totale, ma sbilancia il suo spettro a favore delle armoniche dispari, le più sgradevoli all'ascolto: non vi è più il corretto decadimento armonico tipico dei migliori monotriodi.

- *la ricostruzione della scena* è legata alle componenti a minore intensità del messaggio sonoro che devono a tale scopo conservare integra tanto la loro intelligibilità, quanto i reciproci rapporti di fase; è possibile dimostrare matematicamente che la simmetria può rendere incerta la fase di alcune componenti del segnale: meglio a questo punto una dissimmetria spiccata, come insegnano le circuitazioni monotriodo.

Ecco che alla luce di quanto sopra, la validità delle circuitazioni OTL appare più interessante oggi che non nel passato: infatti, grazie alla elevata linearità del funzionamento dei tubi, è possibile progettare moderni sistemi OTL che hanno, al più, solo una innocua controreazione locale a livello di stadio finale, mentre del tutto assente è la perniciosa controreazione ingresso uscita.

Inoltre, come è noto, nelle circuitazioni push-pull di tipo tradizionale l'uso del trasformatore di uscita, che, come vedremo più avanti, svolge anche una funzione di sommatore delle due semionde, impone, per un corretto impiego di quest'ultimo, la simmetria funzionale sia statica, sia dinamica. Diversamente, nel caso degli OTL, viene offerta al progettista una notevole opportunità: è infatti possibile dosare a piacimento lo sbilanciamento dinamico del controfase: non è azzardato affermare che, in siffatta configurazione, un push-pull ben calibrato può riuscire a coniugare in buona parte i propri pregi con quelli tipici degli stadi single-ended.

Oggi è finalmente possibile, mutuando buona parte delle esperienze accumulate con la progettazione delle amplificazioni a transistor e ricorrendo al prezioso aiuto fornito dai computer, progettare amplificatori valvolari senza trasformatore di uscita, anche molto potenti, dal suono davvero superbo.

### **Tecnica progettuale**

Per comprendere appieno il principio informatore comune a tutte le circuitazioni di amplificazione OTL, partiamo dalla osservazione dello schema del classico push-pull valvolare: riferiamoci per chiarezza a quanto illustrato in Fig.1. I due segnali presenti agli anodi dei tubi vengono sommati grazie al trasformatore di uscita, il quale, pertanto, è preposto non solo all'adattamento di impedenza, ma anche a svolgere una funzione di miscelazione: qualora quindi si volesse rinunciare all'adattamento d'impedenza svolto dal trasformatore, grazie ad esempio all'uso di particolari tubi con resistenza di uscita straordinariamente contenuta, l'impiego del trasformatore in una circuitazione di siffatta topologia sarebbe comunque inevitabile: dunque, volendo realizzare un amplificatore OTL non sarebbe questa una circuitazione di possibile impiego.

Pertanto, modifichiamo il circuito di **Fig.1**, trasformandolo in quello di **Fig.2**; quest'ultima topologia, funzionalmente simile alla precedente, è stata da essa ottenuta operando il seguente artificio: il trasformatore a presa centrale è stato sostituito con un semplice trasformatore a singolo primario, mentre è stata sdoppiata la alimentazione: il trasformatore deve ora svolgere esclusivamente la funzione di adattamento di impedenza e non più quella di sommatore che viene eliminata, grazie alla particolare configurazione circuitale.

---

### **S.I. Audio**

S.I. srl - via Ugo Niutta 36, 80128 NAPOLI - Tel. (+39) 081 5580270-fax (+39) 081 5580272

Web: [www.siaudio.it](http://www.siaudio.it) e-mail: [tecnica@siaudio.it](mailto:tecnica@siaudio.it)

Fig. 1

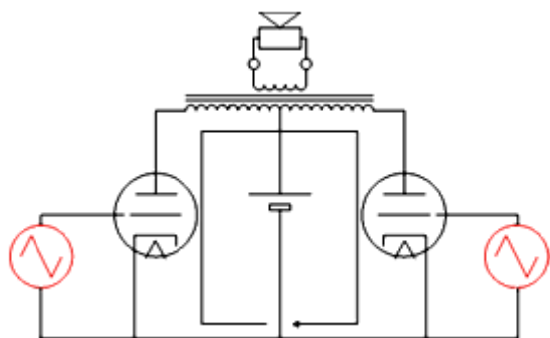
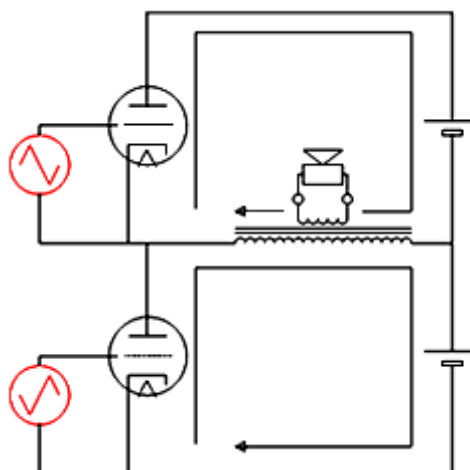


Fig. 2



Tutto ciò rende possibile, a patto di utilizzare tubi adatti, la eliminazione del trasformatore di uscita: il circuito di principio di **Fig.2** è infatti impiegato, salvo alcune modifiche non fondamentali, per la realizzazione di tutti gli amplificatori di tipo OTL.

Individuata dunque la circuitazione giusta, forniamo ora qualche cenno circa il dimensionamento dello stadio di potenza: osserviamo, innanzi tutto, che di solito, tramite lo studio del modello matematico, viene, oltre alla potenza, individuata anche la impedenza ottimale di carico, il cui valore risulta il dato di certo più importante per il dimensionamento del trasformatore di uscita. Per gli OTL invece, il valore di detta impedenza non sarà fornito dal calcolo, ma imposto come parametro sostanzialmente fisso dall'altoparlante; esso oscillerà quindi da un minimo nominale di 4 ohm ad un massimo di 16 ohm: un corretto valore medio può essere assunto pari a 6 ohm, salvo poi verificare ciò che accade per ampie variazioni, anche ben oltre il range 4...16 ohm prima citato, allo scopo di garantire una efficace interfacciabilità del sistema anche in casi limite.

La potenza d'uscita fornita al carico è ovviamente pari al prodotto della tensione ai capi dell'altoparlante per la corrente in esso circolante:

$$P = V \times I.[1]$$

Nel caso delle amplificazioni OTL le maggiori difficoltà per il raggiungimento di potenze adeguate non sono legate al parametro tensione, in quanto le valvole sono in grado di modularne certamente di entità assai elevata; il vero limite è quello costituito dalla corrente che i tubi sono in grado di gestire. Da ciò deriva che nel caso specifico è opportuno esprimere il valore della potenza di uscita in funzione del valore della corrente e di quello dell'impedenza del carico imposto dall'altoparlante: poiché

$$V = I \times Z,$$

sostituendo nella [1] si ha

$$P = I \times I \times Z.[2]$$

La [2] è finalmente la ricercata relazione che ci consente, conoscendo la corrente massima erogabile da un tubo (o dal parallelo di più tubi), di calcolare la potenza fornita ai capi di un determinato carico.



Da questa formula derivano due immediate osservazioni:

1) negli OTL la potenza decresce al decrescere del carico: in particolare dimezzarsi dell'impedenza si dimezza anche la potenza, l'inverso dunque di quanto avviene in un amplificatore transistorizzato ideale, nel quale al dimezzarsi del carico la potenza raddoppia. Attenzione dunque alla potenza fornita ai carichi più bassi!

2) già per potenze solo discrete è necessario che la corrente in gioco sia dell'ordine di qualche ampere; per ottenerla bisogna utilizzare necessariamente o tubi in grado di gestire tali correnti o più tubi in parallelo: questa seconda opzione è certamente da preferire per i seguenti motivi

- il parallelo, a differenza di quanto si verifica per gli amplificatori con circuitazione tradizionale, non comporta alcun degrado sonico, anzi è vero l'esatto contrario (la motivazione teorica di questo asserto, peraltro di immediato riscontro all'ascolto, risiede nel fatto che nel nostro caso le valvole si comportano quali generatori di corrente e non di tensione, come generalmente accade);
- le scelte dei tubi di potenza, non più tanto condizionata dalla ricerca di quelli a più alta corrente, diventa ben più ampia, potendosi in tal modo operare anche in funzione delle qualità sonore del componente.

Inoltre, essendo la potenza funzione quadratica della corrente erogata dalle valvole, un amplificatore OTL equipaggiato con un numero doppio di tubi eroga una potenza che dovrebbe teoricamente essere quadrupla. Questa modalità di crescita, certamente atipica (al raddoppio delle valvole di uscita ci si aspetterebbe il raddoppio della potenza, come negli amplificatori standard muniti di trasformatore di uscita), potrebbe indurre un inesperto ad immaginare che nelle configurazioni con più valvole, le stesse vengano maggiormente stressate, essendo aumentata la potenza erogata per tubo; ciò non si verifica: il calcolo, invero non facile da eseguire, ci assicura che la dissipazione per tubo resta sostanzialmente costante, anzi decresce leggermente.

### **L'avvocato del diavolo**

L'avvocato del diavolo: strano titolo per un capitolo! Spieghiamone immediatamente il senso: una obiezione legittima, tipica da avvocato del diavolo appunto, potrebbe essere avanzata a tutto quanto su esposto in merito alle circuitazioni OTL; se è vero che queste ultime hanno tanti ed importanti pregi, perché i costruttori che le adottano, anche a livello mondiale, sono così pochi? Tenteremo di dare una risposta a questo interrogativo, precisando però che esprimiamo un semplice parere.

Innanzitutto va sottolineato che sebbene l'amplificatore OTL faccia a meno di uno dei componenti più impegnativi in assoluto, è errato guardare ad esso come ad una strada semplificativa per l'ottenimento di elevate prestazioni. Esso, infatti, richiede un'accurata progettazione, in genere molto più complessa di quella necessaria per assemblare un buon monotriodo; e se la progettazione è complessa, non lo è da meno l'ingegnerizzazione. Il tracciato del circuito stampato e la filatura esterna devono essere curati in modo maniacale; ciò per evitare che le correnti nei tubi di uscita, dello stesso ordine di grandezza di quelle che circolano in un amplificatore transistorizzato, e le elevate impedenze in gioco, interagendo

---

### **S.I. Audio**

S.I. srl - via Ugo Niutta 36, 80128 NAPOLI - Tel. (+39) 081 5580270-fax (+39) 081 5580272

Web: [www.siaudio.it](http://www.siaudio.it) e-mail: [tecnica@siaudio.it](mailto:tecnica@siaudio.it)



attraverso le linee comuni (massa ed alimentazione), possano costituire una miscela esplosiva in grado di generare ronzio, autooscillazione od anche solo consistente alterazione del segnale in transito. Quest'ultima altro non è se non una forma di distorsione, anche molto grave.

A rendere più arduo il compito del progettista vi è il fatto che, a differenza di ciò che si verifica per tutte le altre topologie valvolari, la reale diffusione degli OTL fu penalizzata sul nascere poiché vide gli albori in concomitanza con l'eplosione del *fenomeno transistor* quindi gli studi e gli approfondimenti, di fatto, furono abbandonati.

Inoltre, lo studio particolarmente raffinato del sistema comporta costi assai elevati e a questi vanno aggiunti quelli relativi alle valvole finali, spesso numerose e per giunta selezionate in modo particolare. Pure la sezione alimentatrice pesa in maniera non indifferente sul budget: infatti il suo generoso dimensionamento, esuberante rispetto alla potenza erogata, è inalienabile esigenza imposta dal basso rendimento complessivo di questo tipo di apparecchi.

### **Alcune domande sugli OTL**

Spesso nei confronti degli OTL, vengono mosse diverse obiezioni; cerchiamo di dare una risposta alle più frequenti:

- parallelo di numerosi tubi di potenza.
- irreperibilità di valvole di recente produzione adatte ad equipaggiare gli stadi d'uscita.
- instabilità della corrente di riposo.
- breve vita dei tubi di uscita.
- pericolo per gli altoparlanti a causa del loro collegamento diretto con gli stadi d'uscita.

Una attenta progettazione può risolvere ciascuno dei problemi, nessuno dei quali è insormontabile: cogliamo l'opportunità per esporre qui le tecniche da noi attuate in merito.

Con l'impiego di molti tubi in parallelo nello stadio di uscita, potrebbero sorgere problemi di affidabilità derivanti da una eventuale avaria di una delle valvole di potenza; a seguito di ciò l'equilibrio tra i vari potenziali potrebbe essere compromesso e portare rapidamente alla distruzione di altri componenti, tanto attivi quanto passivi. Diverse sono le possibili soluzioni al problema; in particolare, il nostro circuito di amplificazione, così come è stato concepito, svolge anche una funzione di servocontrollo tesa al mantenimento costante del bilanciamento funzionale dei due rami del push-pull, anche in caso di avaria di uno o più tubi. Per verificare l'efficacia di questa funzione autostabilizzante basta effettuare una prova il cui esito straordinario è in grado di dissipare ogni dubbio: è possibile estrarre dallo zoccolo una valvola di uscita, mentre ***l'apparecchio sta suonando***. Non si verifica nessuna sostanziale modifica nel suono, né vi sono rumori impulsivi nell'altoparlante allorché il tubo viene tolto, a riprova di un perfetto funzionamento del sistema. Inutile aggiungere che anche il suo reinserimento -sempre durante l'ascolto- non causa alcuna discontinuità di funzionamento. Resta ovviamente inteso che la potenza massima erogabile certamente diminuisce, ma se il livello d'ascolto non è al limite, quasi non si avverte differenza.

E' possibile che nel tempo avvenga una staratura del bias: la nostra soluzione al problema consiste nell'aver dotato l'amplificatore di un esclusivo circuito di stabilizzazione (sempre

---

### **S.I. Audio**

S.I. srl - via Ugo Niutta 36, 80128 NAPOLI - Tel. (+39) 081 5580270-fax (+39) 081 5580272

Web: [www.siaudio.it](http://www.siaudio.it) e-mail: [tecnica@siaudio.it](mailto:tecnica@siaudio.it)



valvolare) per una automatica ottimizzazione del punto di lavoro dei tubi di potenza in tutto l'arco della loro vita: il bias è regolato in fabbrica e non richiede ritocchi da parte dell'utilizzatore.

In merito alla reperibilità dei tubi per gli stadi di uscita, segnaliamo che, di certo per far fronte ad una precisa richiesta del mercato, la SVETLANA, prendendo le mosse da vecchi progetti, ha recentemente avviato la produzione di valvole di potenza di nuovissima concezione, espressamente studiate per circuitazioni di bassa frequenza con alte correnti, che assicurano una spiccata raffinatezza sonora, requisito fondamentale per applicazioni audiofile, non disgiunta dalle necessarie doti di affidabilità, lunga durata e reperibilità futura per eventuali ricambi.

E' naturale ipotizzare che negli OTL un regime di funzionamento spinto oltre i limiti usuali di impiego standard delle valvole di uscita, possa portare ad un loro precoce esaurimento; a tal proposito segnaliamo che, in tutti gli amplificatori valvolari (e quelli senza trasformatore non fanno di certo eccezione), per garantire lunga vita alle valvole è necessario non stressarle, badando che, in un ascolto a volume normale, la dissipazione per elemento sia molto inferiore a quella limite ed a livelli elevati, o con segnali sinusoidali di prova, nessuno dei parametri massimi ammessi venga mai superato. Perché tutto ciò accada, oltre ad un assennato dimensionamento, è importante che i tubi posti in parallelo abbiano parametri il più possibile simili, allo scopo di evitare che una valvola con guadagno maggiore, oltre al proprio, svolga anche il lavoro della compagna più pigra. E' per tale motivo che nei nostri apparati poniamo una grande cura nella selezione.

E' certamente vero che l'accoppiamento diretto con il carico, potrebbe comportare, in caso di avaria, la presenza di componente continua ai capi dell'altoparlante, con probabile danneggiamento di quest'ultimo: né più né meno dello stesso problema che si verifica con gli amplificatori transistorizzati privi del relè di protezione. Stante la grandissima importanza della cosa, come è stato per le circuitazioni a semiconduttori, alla stessa maniera e, peraltro con tecniche concettualmente non dissimili, ogni costruttore che si rispetti ha proposto una sua soluzione: le più gettonate sono di certo quella che prevede il condensatore di accoppiamento tra ampli ed altoparlante o il relè sempre lungo la linea del segnale di potenza, pronto ad interromperla alla minima presenza di tensione continua sulla stessa. Noi, pur approvando entrambe le tecniche su esposte, ne abbiamo adottato un'altra: lasciando la connessione diretta tra ampli ed altoparlanti -di certo la scelta più audiofila- abbiamo risolto in modo radicale il problema agendo sulla connessione di massa: infatti, grazie ad una circuitazione a massa flottante, componente continua e picchi di tensione, derivanti da scariche nei tubi o da qualunque altro tipo di guasto, non possono in alcun modo raggiungere il sistema di altoparlanti, a totale protezione degli stessi; il sistema agisce in tempo assolutamente reale, meglio quindi di una protezione elettronica attuata a relè. Unico scotto da pagare: un non indifferente incremento dei costi di realizzazione della sezione alimentatrice, in particolare per il suo trasformatore.

### **La selezione delle valvole**

Diversi sono i valori caratteristici di una valvola in base ai quali è possibile operare delle selezioni; poiché i dispositivi attivi negli OTL fungono da generatori di corrente, il parametro di maggiore interesse è la transconduttanza che quantizza, appunto, il legame tra la tensione di pilotaggio in ingresso (alla griglia controllo) e la corrente fornita in uscita (dall'anodo).

---

### **S.I. Audio**

S.I. srl - via Ugo Niutta 36, 80128 NAPOLI - Tel. (+39) 081 5580270-fax (+39) 081 5580272

Web: [www.siaudio.it](http://www.siaudio.it) e-mail: [tecnica@siaudio.it](mailto:tecnica@siaudio.it)



La transconduttanza è fortemente variabile con il punto di lavoro scelto: il dato per noi significativo è quello relativo alla coppia tensione e corrente anodiche prossime alla erogazione della potenza massima. Il test per rilevare il valore della transconduttanza va quindi effettuato ad una tensione anodica dell'ordine di grandezza del centinaio di Volt congiuntamente ad una corrente prossima all'Ampere.

Poiché non esistono apparecchiature standard in grado di effettuare detta prova, abbiamo messo a punto una attrezzatura custom che rileva, con notevole accuratezza, il parametro da valutare: *la vera novità*, introdotta dal nostro sistema esclusivo, è quella di effettuare la misura in *regime impulsivo*, allo scopo di non stressare in alcun modo il tubo per eccesso di dissipazione.

Il test viene effettuato dopo un breve periodo di rodaggio della valvola, sufficiente alla stabilizzazione delle sue curve caratteristiche.

I dati vengono infine immessi in un archivio computerizzato ed un abbinamento viene considerato soddisfacente se la dispersione parametrica nell'ambito di un set non eccede il 5%; questo è un ottimo risultato, conseguibile solo se il numero dei tubi a disposizione per eseguire l'operazione di cernita è davvero elevato: noi operiamo in media su stock dell'ordine di grandezza del migliaio di pezzi.

E' oramai nostra prassi consolidata riportare a corredo di ciascuna valvola così selezionata alcuni numeri che ne individuano i principali parametri. In tal modo è possibile rintracciare in magazzino, anche in tempi successivi, tubi aventi eguali caratteristiche elettriche: ciò si rivela utilissimo allorquando, per la rottura accidentale di uno di essi (urto, caduta, ecc.), si voglia ripristinare il set esattamente come all'origine.

**Fulvio Chiappetta**

---

**S.I. Audio**

S.I. srl - via Ugo Niutta 36, 80128 NAPOLI - Tel. (+39) 081 5580270-fax (+39) 081 5580272

Web: [www.siaudio.it](http://www.siaudio.it) e-mail: [tecnica@siaudio.it](mailto:tecnica@siaudio.it)