

Corso di Elettroacustica

Lezione 8 - Gli outboards

Gli outboards sono costituiti da tutta quella serie di apparecchi che completa l'elaborazione del segnale audio aggiungendo effetti che o sono presenti nei mixer in forma semplificata o non sono presenti affatto. Sono quindi apparecchi esterni ("stand-alone"), oppure possono svolgere le loro funzioni in forma virtuale all'interno delle workstation digitali, sotto forma di "plug-in". Non è infrequente incontrare dei plug-in che riproducono in tutto e per tutto l'estetica dei pannelli di controllo del corrispondente hardware, oltre ad essere in grado di svolgerne tutte le funzioni. Quello che ci interessa approfondire sono le caratteristiche funzionali degli outboards, e quindi le considerazioni che esporremo rimangono valide sia per i dispositivi hardware che software.

Il campo degli outboards è piuttosto vasto, ci occuperemo qui delle principali elaborazioni, ed in particolare:

- 1) Equalizzatori
- 2) Compressori
- 3) Riverberi
- 4) Delay

Gli equalizzatori

Dell'equalizzazione abbiamo parlato nella lezione dedicata al mixer, ma mentre nei canali di input del mixer sono presenti equalizzatori per lo più parametrici o semi-parametrici, tra gli outboard è possibile trovare una serie più ampia di tipologie. Qui parleremo più diffusamente degli equalizzatori grafici.

Equalizzatori grafici

Alla base dei circuiti equalizzatori noi troviamo un filtro, che nella sua forma più elementare è noto come "Filtro RC" (fig. 1).

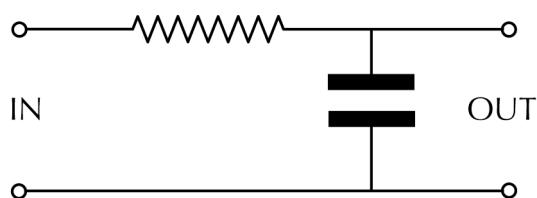


fig. 1: filtro RC

Quello rappresentato in figura (un filtro passa-alto, come vedremo tra poco) è una combinazione di una resistenza e di un condensatore (RC), ed appartiene alla categoria dei filtri passivi, ossia si avvale di un circuito in cui non è

presente alcun semiconduttore con funzioni di amplificazione (transistor, circuito operazionale, ecc.).

Semplici varianti di questa circuitazione ci portano ad avere le seguenti tipologie (fig. 2):

- a. filtri passa-alto (“high-pass filter” o HPF)
- b. filtri passa-basso (“low-pass filter” o LPF)
- c. filtri passa-banda (“band-pass filter” o BPF)
- d. filtri a reiezione di banda (“band-rejection filter” o “notch filter”)

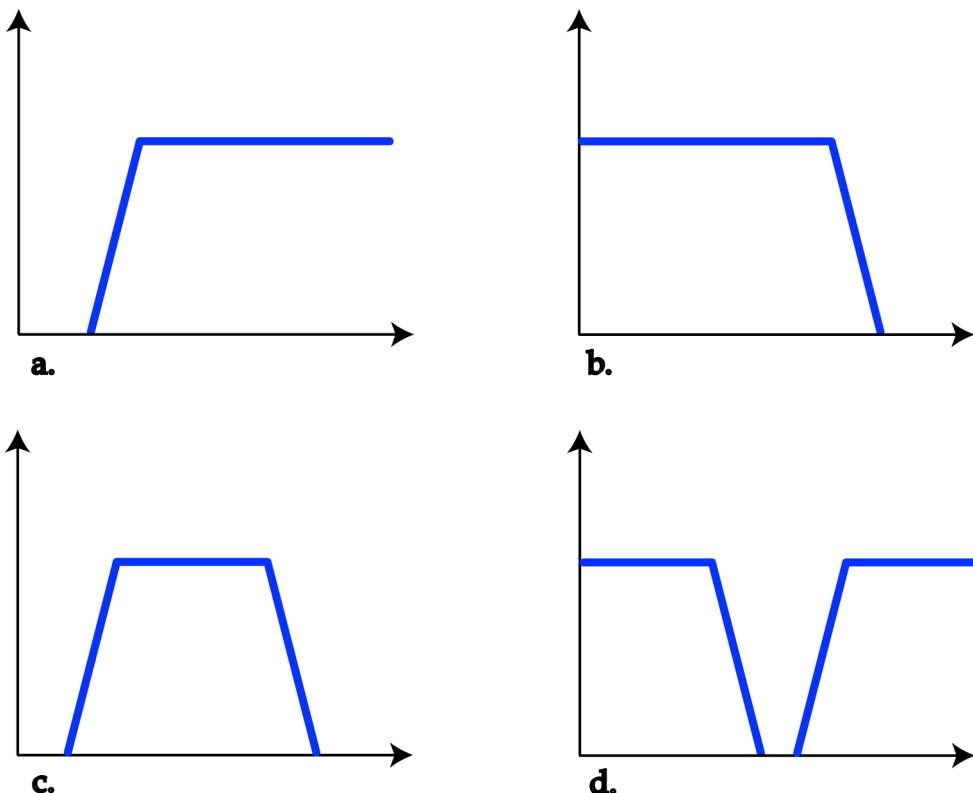


fig. 2: tipologie di filtri

I filtri passa-alto (passa-basso), come abbiamo accennato nella lezione sul mixer, hanno il compito di escludere le frequenze al di sotto (al di sopra) di un punto di taglio, e di far passare tutte le frequenze al di sopra (al di sotto), con la maggiore linearità possibile. In ognuna di queste configurazioni la regione di frequenze nella quale esse sono attenuate si chiamerà “stop-band”, mentre la regione nella quale non sono attenuate si chiamerà “pass-band”.

Se osserviamo la fig. 3 possiamo notare come nella realtà i filtri si comportino in un modo lontano da quello ideale. La transizione dalla zona di pass-band alla zona di stop-band comporta delle oscillazioni (ripple), che formano un parametro di valutazione del filtro.

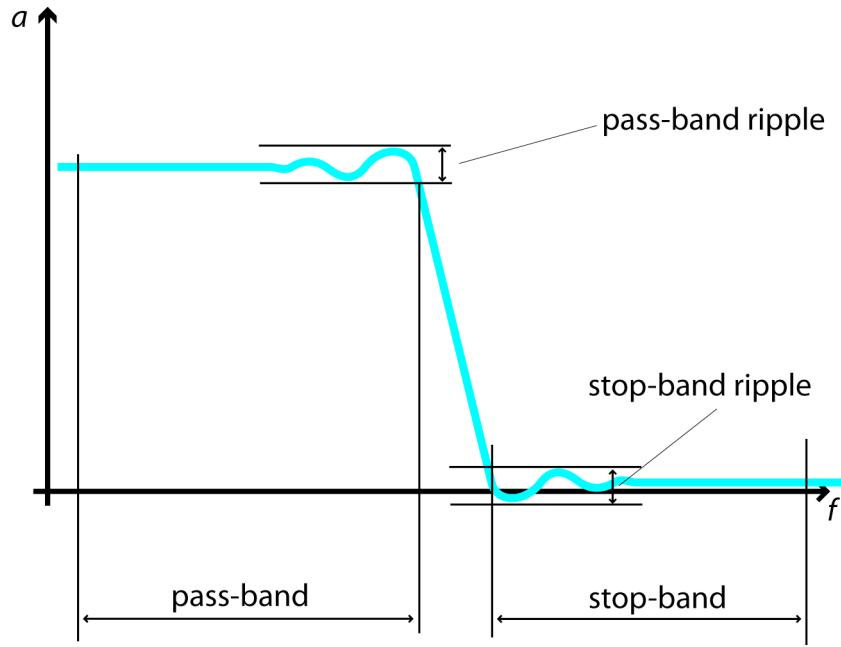


fig. 3: il ripple

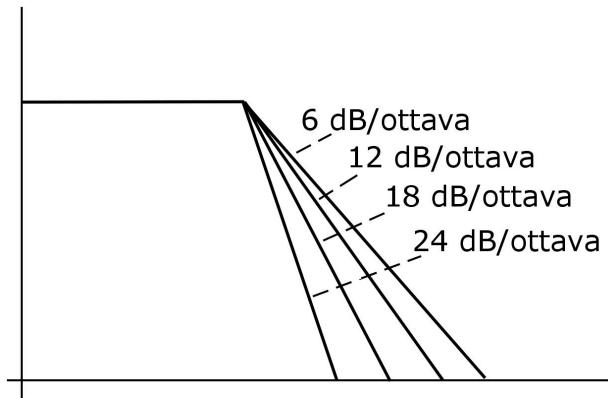


fig. 4: pendenza di un filtro

Un altro parametro che descrive il filtro è costituito dalla “pendenza” (slope), che descrive la rapidità di attenuazione del segnale oltre il punto di taglio (vedi fig. 4), ed è quantificato secondo la seguente tabella:

Ordine	Pendenza	
1° ordine	6 dB/ottava	20 dB/decade
2° ordine	12 dB/ottava	40 dB/decade
3° ordine	18 dB/ottava	60 dB/decade
4° ordine	24 dB/ottava	80 dB/decade

La pendenza indicata in dB/ottava si riferisce all'attenuazione prodotta dal filtro al raddoppio della frequenza, mentre la notazione in dB/decade descrive la stessa attenuazione riferita al decuplicarsi della frequenza. Tale

coefficiente esprime l'ordine del filtro, per cui un filtro a 6 dB/ottava è un filtro del primo ordine, un filtro a 12 dB/ottava del secondo ordine, ecc. Il filtro visualizzato in fig. 1 è un filtro del primo ordine, mentre se il circuito viene ripetuto una volta in serie diventa del secondo ordine, e così via.

Ogni filtro introduce delle elaborazioni, oltre che sulla risposta in frequenza, anche nella risposta in fase e nel tempo (risposta al rumore impulsivo), per cui esistono diverse tipologie circuitali di filtri che ottimizzano ora l'uno ora l'altro di questi parametri, di cui vediamo in fig. 5 evidenziati i più significativi.

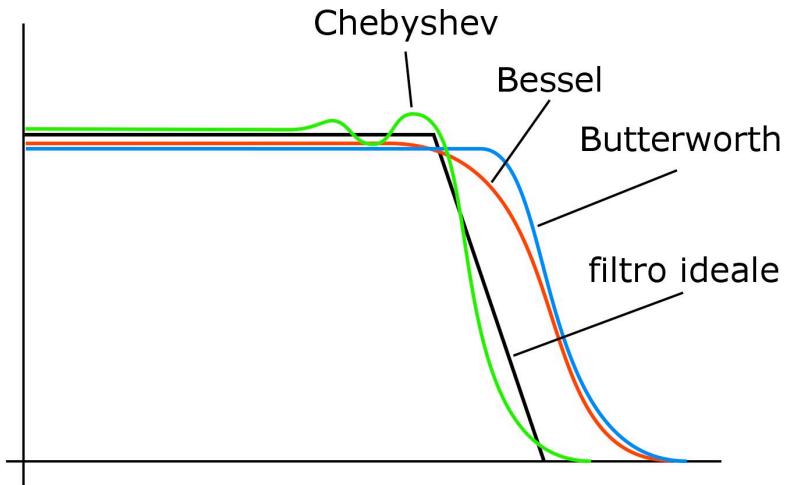


fig. 5: tipologie di filtri

In maniera molto sintetica queste sono le loro caratteristiche:

- Butterworth: migliore risposta in frequenza a scapito della risposta in fase
- Bessel: migliore risposta in fase a scapito della risposta in frequenza
- Chebyshev: compromesso tra i due a scapito del ripple

Un equalizzatore grafico è composto da un certo numero di bande, ognuna delle quali dispone di un unico controllo che può avere la funzione di esaltazione (passa-banda), o di attenuazione (reiezione di banda). La rappresentazione grafica dell'intervento di questi filtri è evidenziata in fig. 6.

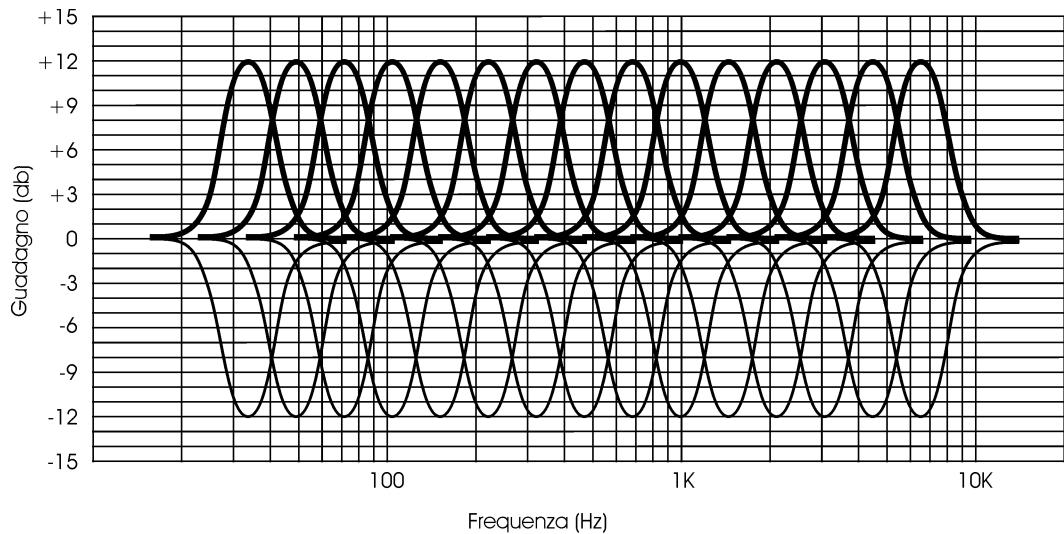


fig. 6: equalizzatore grafico

Se il numero delle bande è 10 si parla di equalizzatori grafici ad ottava, e le frequenze di centro banda potranno essere ad esempio:

31 – 63 – 125 – 250 – 500 – 1K – 2K – 4K – 8K – 16K

Se il numero delle bande è 30 si parla di equalizzatori a terzi d'ottava, le cui frequenze di taglio sono tipicamente:

25 – 31 – 40 – 50 – 63 – 80 – 100 – 125 – 160 – 200 – 250 – 315 – 400 – 500 – 630 – 800 – 1K – 1K25 – 1K6 – 2K – 2K5 – 3K15 – 4K – 5K – 6K3 – 8K – 10K – 12K5 – 16K – 20K

Nella fig. 7 vediamo raffigurato il pannello di un equalizzatore a terzi d'ottava con i valori di frequenza sopra indicati.

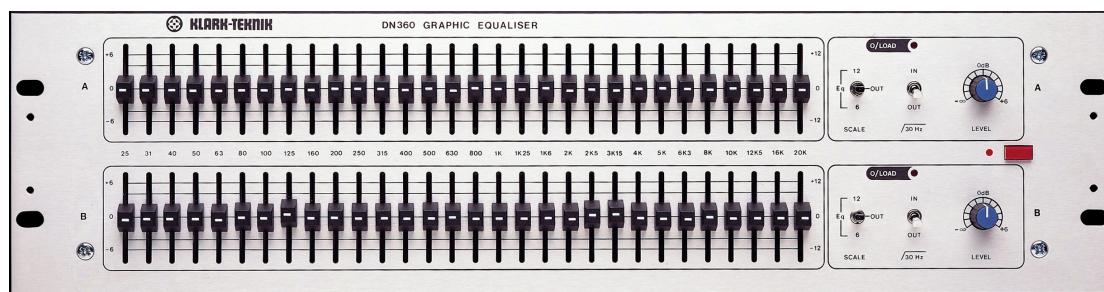


fig. 7: equalizzatore a terzi d'ottava

Esistono anche equalizzatori a 20 bande (2/3 ottava), ma i più usati rimangono quelli a 30 bande, che sono utilizzati anche e soprattutto nel campo dell'amplificazione, per correggere la risposta in frequenza delle casse acustiche di sala e dei monitor di palco.

L'attenuazione/esaltazione è generalmente almeno di ± 12 dB, ma è possibile, come nell'esempio illustrato, avere un commutatore che porti la scala a ± 6 dB,

per una migliore risoluzione nel caso non si debbano operare correzioni drastiche.

I compressori

La funzione del compressore è quella di agire sulla dinamica del segnale, variandone la scala a partire da una soglia (threshold) prefissata. Nella fig. 8 vediamo come l'amplificazione del segnale sia lineare solo fino al punto di soglia, mentre sopra tale punto è soggetto ad un incremento che segue un rapporto rispetto al segnale d'ingresso chiamato "rapporto di compressione" (ratio). Se ad esempio un valore di 8 dB al di sopra della soglia viene ridotto a 4 dB si parla di rapporto di compressione 2:1, se viene ridotto a 2 dB il rapporto è 4:1, e così via. Quando il rapporto di compressione è di almeno 20:1 (vale a dire 1 dB in uscita ogni 20 dB in ingresso sopra la soglia), il dispositivo prende il nome di "limitatore" (limiter).

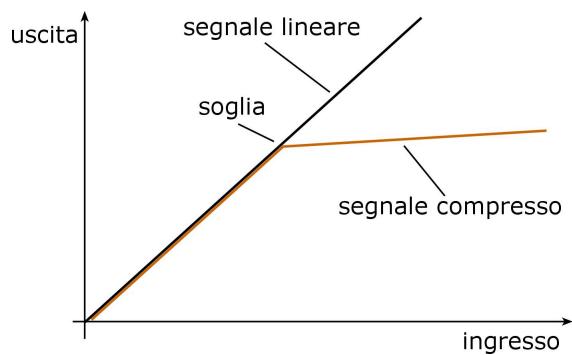


fig. 8: compressione della dinamica

Un fattore importante da considerare nel comportamento del compressore è quello del tempo: infatti dal momento in cui il segnale in ingresso supera la soglia al momento in cui il segnale viene modificato nel suo guadagno trascorre un intervallo di tempo, e lo stesso avviene tra il momento in cui il segnale torna sotto la soglia al momento in cui il compressore cessa di comprimere.

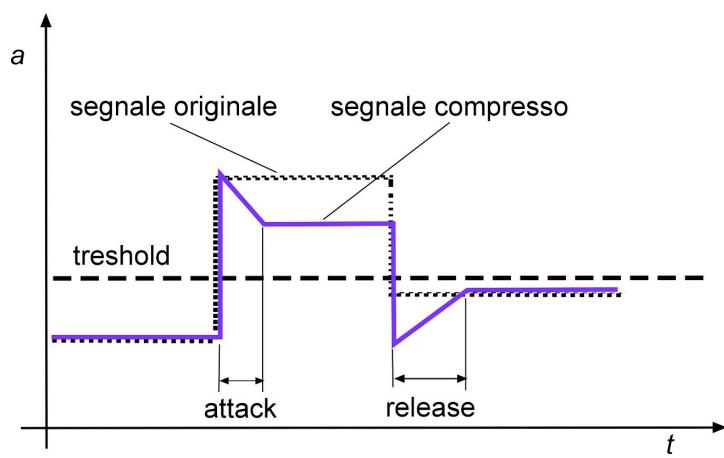


fig. 9: attack e release

La velocità di intervento del compressore (attack), come pure la velocità di rilascio (release), sono due parametri che è possibile regolare tramite appositi controlli, e sono di grande importanza nella determinazione dell'inviluppo dinamico finale del segnale. La fig. 9 visualizza, sull'asse del tempo, questi due parametri.

Se noi osserviamo la fig. 10, che esemplifica i controlli tipicamente presenti in un compressore, osserviamo, da sinistra: la regolazione del livello di soglia, il rapporto di compressione, i controlli di attacco e di rilascio e il guadagno d'uscita. Vediamo inoltre come sia presente un display ("gain reduction" o GR) che fornisce la visualizzazione dell'azione del compressore, indicando di quanto il segnale si sta attenuando. Talvolta il display può essere commutato per offrire la funzione di VU-meter, e talvolta è presente una seconda linea di LED destinata a questo scopo. Vi è infine un pulsante ("bypass") per escludere in qualsiasi momento l'azione del compressore.

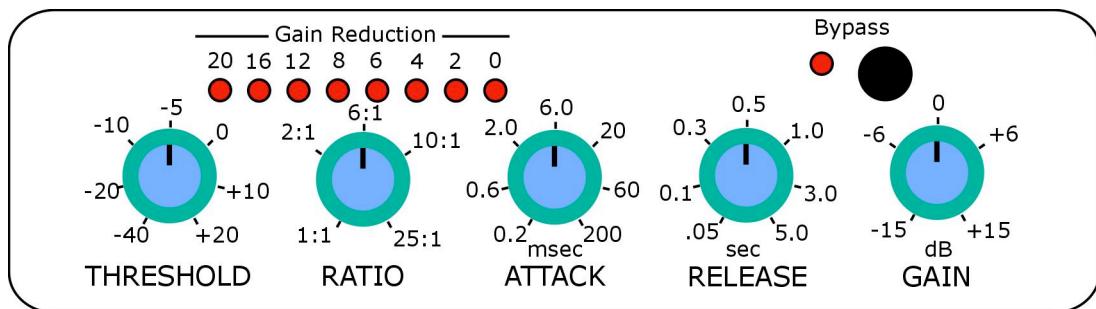


fig. 10: controlli di un compressore

Per rendere l'intervento del compressore meno avvertibile all'orecchio è talvolta presente anche un controllo chiamato "soft knee", che interviene per rendere meno brusco il passaggio tra segnale non compresso e segnale compresso (vedi fig. 11).

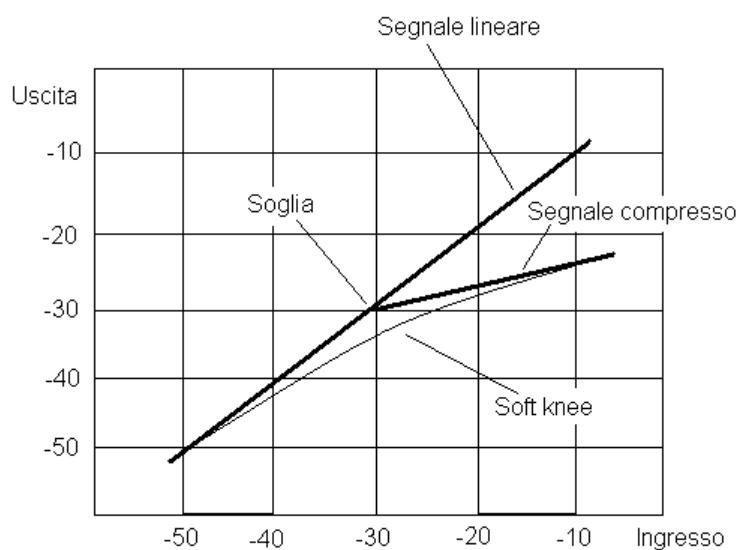


fig. 11: il soft knee

Talvolta in uno stesso chassis trovano posto due compressori, che possono essere usati singolarmente, oppure in configurazione stereo: in tal caso sarà presente un tasto “link” che ha la funzione di attivare il circuito di compressione in modo paritario in base alle dinamiche in ingresso di entrambi i canali, al fine di non perdere l’immagine stereofonica: in sostanza, il livello rilevato ad uno qualunque dei due ingressi del compressore controlla in modo uguale la dinamica di entrambi i canali.

Un altro controllo che è possibile trovare sul compressore è quello del “side-chain”, che ha la funzione di utilizzare un segnale esterno per comandare l’intervento del compressore. L’esempio più comune è quello del disk-jockey che saltuariamente parla sopra la musica: la sua voce viene mandata sull’ingresso side-chain di un compressore inserito sulla musica in modo che questa si abbassi automaticamente quando la voce inizia a parlare.

Molto importante, soprattutto nella fase di “Mastering”, ossia nella finalizzazione di un missaggio stereo, è il compressore “multibanda”, di cui vediamo un’immagine nella fig. 12. Tale compressore è presente quasi esclusivamente come plug-in, e svolge la sua funzione di compressione dopo avere suddiviso lo spettro in una serie di bande di frequenza. Ogni banda viene così trattata separatamente, in modo da preservare il più possibile l’energia complessiva della traccia stereo andando a controllare la dinamica solo nelle zone di frequenza più problematiche.

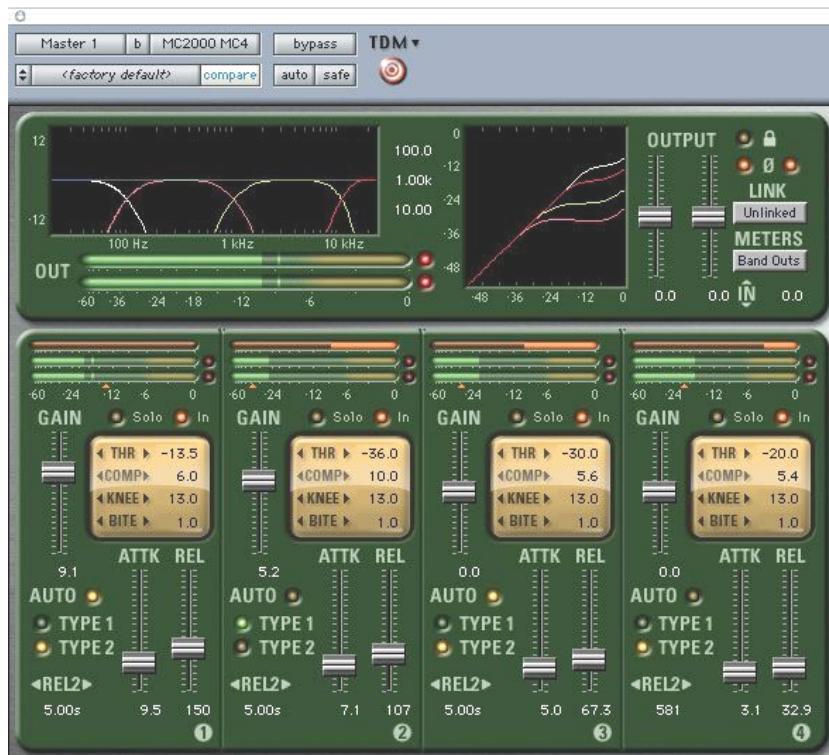


fig. 12: il compressore multibanda

Infine, un’ulteriore variante del compressore è rappresentata dal “de-esser”, che non è altro che un compressore che agisce sulla banda dei toni medio-alti

per andare a controllare la dinamica delle “esse” della voce umana, ove dovesse risultarne in maniera eccessiva.

I riverberi

L’aggiunta del riverbero artificiale è una delle operazioni più importanti del missaggio, soprattutto nelle registrazioni effettuate in studio, dove l’acustica molto neutra non fornisce alcun contributo alla collocazione di un suono in uno spazio acustico. Prima dell’avvento dell’era digitale il riverbero era ottenuto con diversi sistemi, cui occorre accennare, oltre che per dovere storico, anche perché in alcuni dei riverberi digitali attuali esistono delle configurazioni che intenzionalmente simulano il funzionamento dei riverberi analogici.

1) Camera d’eco. Il segnale, attraverso degli altoparlanti, veniva diffuso in una stanza costruita per offrire un riverbero naturale, e da lì ripreso con un microfono per essere rimandato al mixer.

2) Riverberi a molla. Il segnale, attraverso un opportuno trasduttore, metteva in movimento una molla tesa in aria libera, provocando una simulazione delle riflessioni attraverso una rigenerazione casuale, e veniva ripreso con un altro trasduttore all’estremità opposta.

3) Riverberi a piastra (“plate”). In luogo della molla la parte vibrante era costituita da una lastra d’acciaio, acusticamente isolata dall’ambiente circostante.

Con l’avvento della tecnologia digitale è stato possibile andare molto più in profondità con le tecniche di simulazione del riverbero, avvicinandosi direttamente ai modi di generazione del riverbero. Occorre quindi parlare brevemente di quello che accade nell’ambiente acustico reale.

Osserviamo in fig. 13 la rappresentazione grafica dell’evoluzione nel tempo di un suono in un ambiente riverberante.

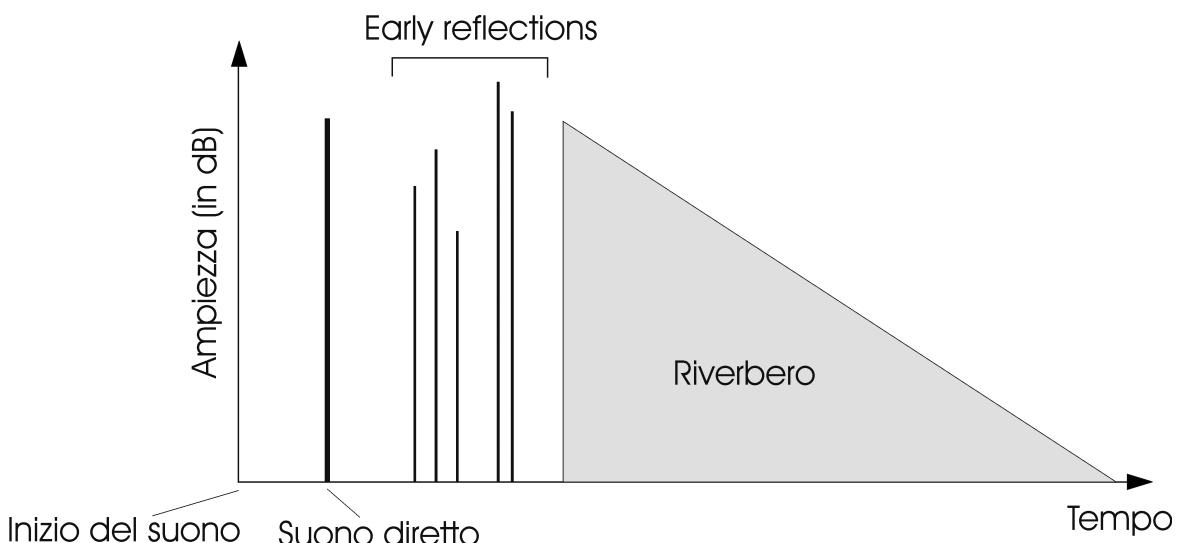


fig. 13: il riverbero

Un suono prodotto in un ambiente raggiunge un punto d'ascolto in un intervallo di tempo: l'ascolto del suono diretto è la prima percezione del suono. Successivamente, il suono raggiunge il punto di ascolto attraverso le prime riflessioni ("early reflections") prodotte dalle pareti, dal soffitto e dal pavimento: gli intervalli di tempo, in questo caso, dipendono dalle distanze percorse dal suono dal punto di origine al punto di ascolto passando per la riflessione con queste superfici. Dopo un ulteriore intervallo di tempo, inizia la coda del riverbero, che è quel momento in cui le riflessioni si moltiplicano tra di loro e diventano indistinguibili le une dalle altre. Possiamo dire che mentre le early reflections forniscono le informazioni relative al collocamento del suono nello spazio e alle dimensioni dell'ambiente riverberante, la coda di riverbero fornisce informazioni sulla qualità e la ricchezza timbrica della sala. Nel campo dell'audio digitale esistono due sistemi per la riproduzione del riverbero, molto differenti tra loro:

- 1) Riverberi a simulazione
- 2) Riverberi a convoluzione

Alla prima famiglia appartengono quei riverberi che riproducono, mediante opportune linee di ritardo, la generazione delle early reflections e della coda di riverbero. Tali riverberi hanno una architettura come quella schematizzata in fig. 14: dopo un ritardo iniziale, detto anche pre-delay, il segnale riproduce l'effetto delle early reflections tramite dei delay a ritardo singolo (tapped delay), quindi, attraverso una combinazione di linee di ritardo con feedback, cioè in grado di rigenerare il segnale, viene riprodotta la coda di riverbero, che viene successivamente sommata e inviata all'uscita. Molti di questi parametri ha la possibilità di essere regolata dall'operatore, dal pre-delay alle early reflections, oltre naturalmente alla durata del riverbero (reverb time). Alcuni modelli hanno la possibilità di impostare le dimensioni di un ambiente, per cui gli altri parametri saranno settati automaticamente in base a tali dimensioni per assicurare una coerenza acustica a quell'ambiente. Più sofisticato è l'apparecchio, più parametri sarà possibile regolare, ma essendo l'accuratezza di un riverbero artificiale data soprattutto dalla quantità di linee di ritardo che è in grado di produrre, il limite diventa quello del costo. Occorre comunque dire che generalmente, per quanto lontani dalla ricchezza e dalla complessità del riverbero naturale, i riverberi artificiali migliori riescono nella gran parte dei casi ad offrire una simulazione assolutamente soddisfacente dello spazio acustico.

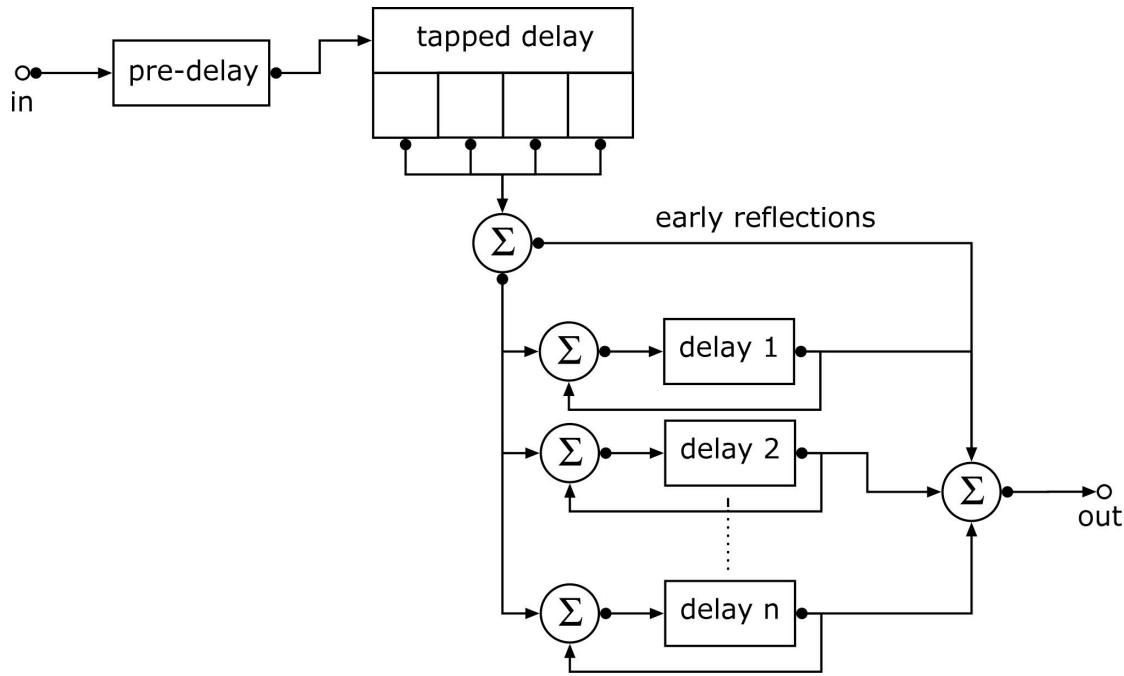


fig. 14: architettura del riverbero digitale

Il riverbero a convoluzione agisce secondo un principio completamente diverso, poiché applica ad un suono non riverberato il campionamento del riverbero di sale acustiche reali, secondo un processo di filtraggio chiamato, appunto, convoluzione.

In matematica, la convoluzione è definita come il prodotto di due funzioni del tempo, ed espressa da un integrale, che prende il nome di integrale di convoluzione: la convoluzione di un segnale continuo $x(\tau)$ con un filtro lineare caratterizzato dalla risposta all'impulso $h(\tau)$ produce un segnale d'uscita $y(\tau)$ dato da:

$$y(\tau) = x(\tau) \otimes h(\tau) = \int_0^{\infty} x(\tau-t) \cdot h(t) dt$$

Nel campo del riverbero, la nostra funzione $x(\tau)$ corrisponde al segnale originale da sottoporre a riverberazione, mentre la risposta all'impulso $h(\tau)$ è il campionamento di un ambiente acustico reale (sala da concerto, teatro d'opera, ecc.), effettuato con la registrazione del riverbero della sala risultante da un rumore impulsivo generato con vari sistemi (sparo di pistola, suono diffuso da altoparlante, ecc.), e di cui vediamo un'esemplificazione nella fig. 15.

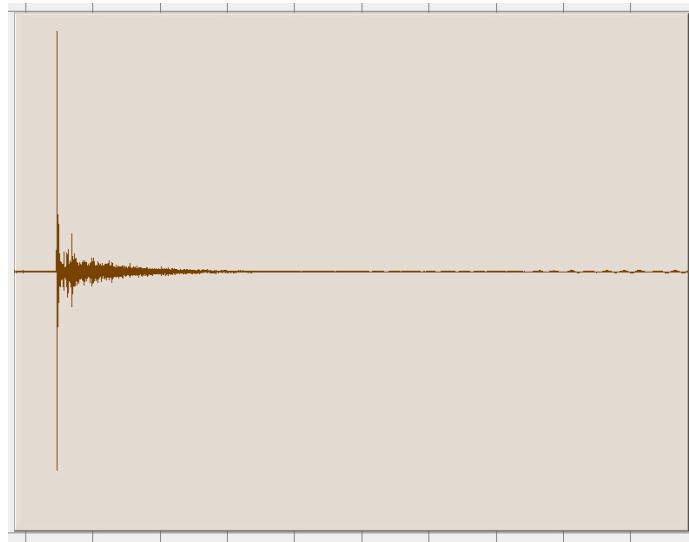


fig. 15: risposta all'impulso

Se consideriamo il dominio digitale in cui l'operazione viene effettuata, vediamo come, essendo sia la funzione di ingresso che il campionamento d'impulso espressi da una serie di valori discreti corrispondenti ai campioni dei segnali, l'integrale di cui sopra diventa la sommatoria di una serie di prodotti: in pratica, una convoluzione nel dominio del tempo implica che ogni campione del segnale d'ingresso deve essere moltiplicato per tutti i valori dei campioni della risposta all'impulso. Il numero di queste operazioni matematiche sarebbe troppo elevato per poter garantire una elaborazione in tempo reale, così si ricorre al passaggio per entrambi i segnali dal dominio del tempo al dominio della frequenza attraverso la FFT (Fast Fourier Transform), e al ritorno del segnale prodotto nel dominio del tempo attraverso la funzione inversa (IFFT).

La particolarità di questa tecnica di riverberazione è il grande realismo del risultato, con l'accortezza di usare in ingresso segnali quanto più possibile "asciutti", cioè privi di riverbero naturale, che andrebbero a confondere il segnale sovrapponendo due ambientazioni differenti.

I delay

Sotto il nome di "Delay" in realtà si devono classificare due tipi di outboard molto differenti: il primo è il delay inteso come pura linea di ritardo finalizzato alla messa in fase degli impianti di amplificazione, mentre il secondo è un effetto che può essere collegato all'uscita ausiliaria di un mixer, se deve servire più di un canale, oppure sulla presa Insert se deve servire un singolo canale.

Il delay del primo tipo, di cui è schematizzata la struttura in fig. 16, fornisce un minimo di tre linee di ritardo per ogni ingresso (lo si può trovare in versione monofonica o stereofonica), regolabili separatamente come livello e come quantità di ritardo. Nelle versioni più evolute di questi apparecchi, noti come "loudspeaker management" è possibile trovare molte funzioni

aggiuntive, come le memorie dei settaggi, gli equalizzatori parametrici su ogni uscita, i crossover, ecc.

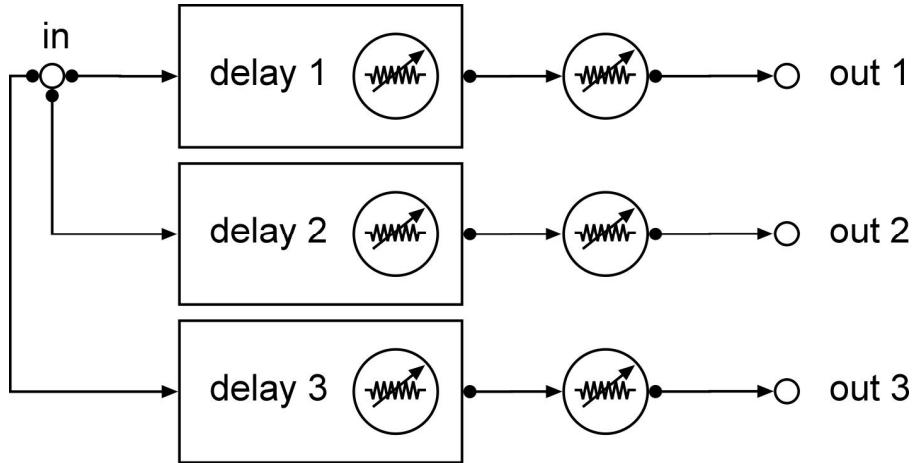


fig. 16: il delay per la messa in fase

I delay del secondo tipo, ossia gli outboard che forniscono effetti basati sui ritardi, sono generalmente degli apparecchi multi-effetto in cui sono contenuti anche programmi di riverbero, ma esistono delle versioni molto avanzate nelle quali vengono espletate solo le funzioni di delay senza altri effetti.



fig. 17: delay analogico

Dal punto di vista storico, prima dell'era digitale in cui è possibile lavorare il parametro del tempo di un segnale audio con una certa comodità, una macchina per produrre effetti di delay (vedi fig. 17) era costituita da un anello di nastro magnetico in grado di scorrere davanti ad un gruppo di testine di scrittura/lettura. La quantità di delay era data sia dalla selezione della testina di lettura sia dalla velocità di scorrimento del nastro, generalmente variabile in modo continuo.

Il delay è dunque un'elaborazione basata sul ritardo del segnale, e in fig. 18 possiamo osservare lo schema logico di questo effetto.

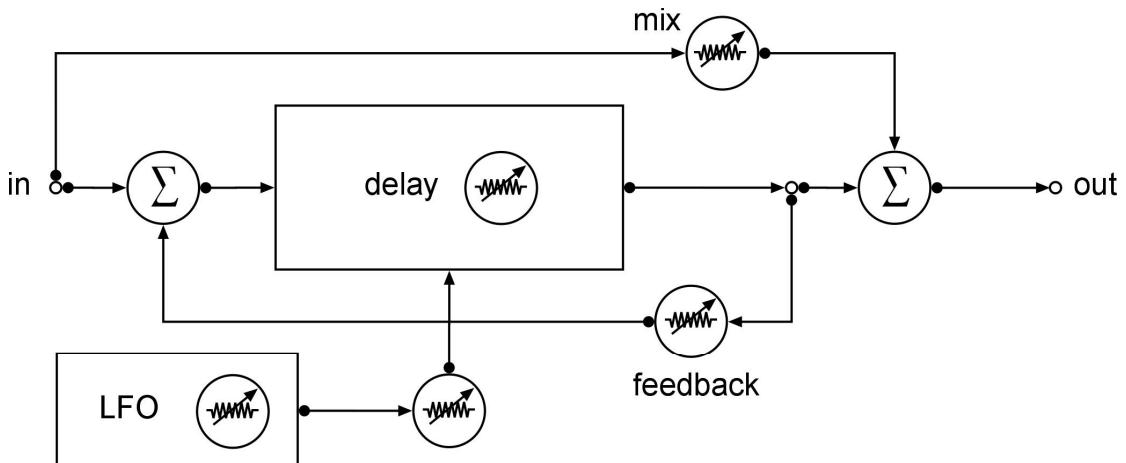


fig. 18: il delay come effetto

Il segnale, ritardato da un delay regolabile viene inviato all'uscita ad un sommatore al quale viene inviato, tramite il controllo mix, anche il segnale originale; il segnale ritardato, attraverso la regolazione del feedback, può essere ri-inviato all'ingresso della linea di ritardo per le ripetizioni successive. Il valore del ritardo può essere modulato da un oscillatore LFO a bassa frequenza (Low Frequency Oscillator, circa da 1 a 10 Hz), con frequenza e profondità di modulazione regolabili. La combinazione di tutti questi parametri fornisce una serie di effetti tra i quali i più noti sono:

- a) Echo: regolando solo il delay ed il feedback si ottiene una simulazione delle ripetizioni dell'eco
- b) Flanger: si ottiene modulando il delay con onda sinusoidale e valori di delay compresi tra 1 e 20 msec ed agendo opportunamente sul feedback
- c) Chorus: è un effetto come il Flanger ma con delay compresi tra 20 e 50 msec e generalmente senza l'uso del feedback

La forma d'onda dell'LFO non è necessariamente sinusoidale, ma può essere scelta anche tra triangolare, quadrata e dente di sega. Si tratta di un effetto molto creativo e personale, che a seconda di come viene usato può fornire leggere variazioni di suono oppure caratterizzazioni molto significative. Il Chorus, essendo pensato in origine per la trasformazione di un suono singolo in uno prodotto da una moltiplicazione dello stesso (si basa infatti sugli effetti di comb-filtering generati dalla decorrelazione temporale della forma d'onda) è talvolta usato per questa finalità di simulazione, ma il più delle volte fa parte di un processo creativo legato all'invenzione di nuove sonorità.