

RIVERBERI

RIVERBERO NATURALE
RIVERBERI DIGITALI CLASSICI
RIVERBERI A CONVOLUZIONE

TOMMASO ROSATI
SOUND ART



SUONO ELETTRONICO

MANUALE PER STUDENTI
DI TECNOLOGIE MUSICALI
E ALTRI ESPLORATORI
DI SUONI



TOMMASO ROSATI

IL LIBRO È
O R A
DISPONIBILE
IN TUTTI
GLI STORE!

COS'È IL RIVERBERO?

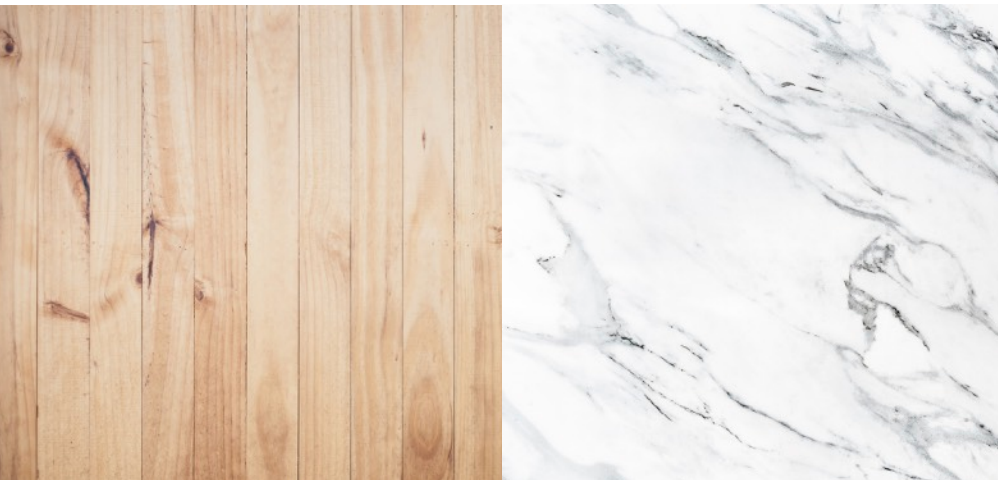
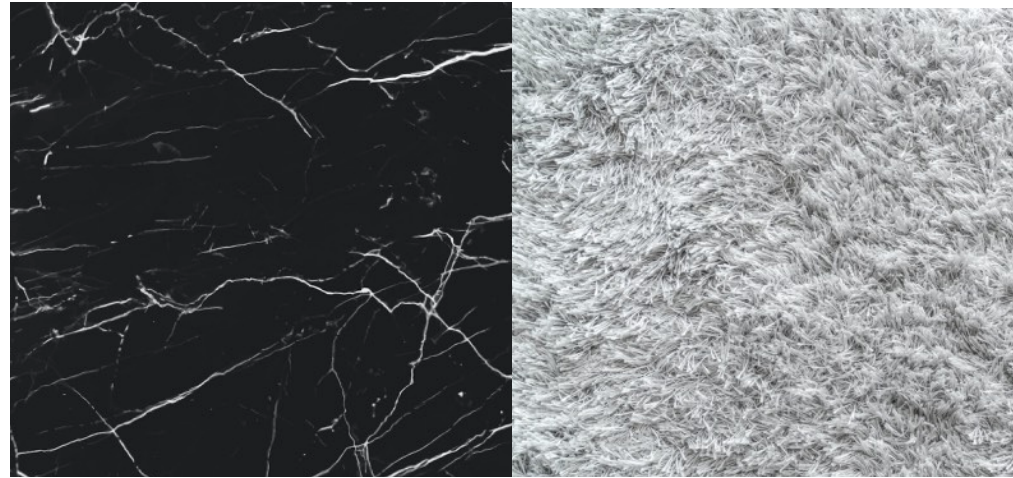
Il **Riverbero** è in acustica un risultato naturale dato dalle onde sonore che interagiscono con delle superfici prima di arrivare all'ascoltatore.



DIVERSE SUPERFICI, DIVERSE RIVERBERAZIONI

Le **superfici** possono essere vicine o lontane, morbide o dure, lisce o ruvide.

Superfici diverse danno riverberazioni diverse creando il "suono" o "**colore**" della stanza.



Questo perché una parte del suono che arriva alle superfici viene **assorbito** e una parte viene **riflesso**.

DIMENSIONI

La dimensione della stanza influisce molto sul tipo di riverberazione, in particolare sulla sua durata.



SPAZI APERTI

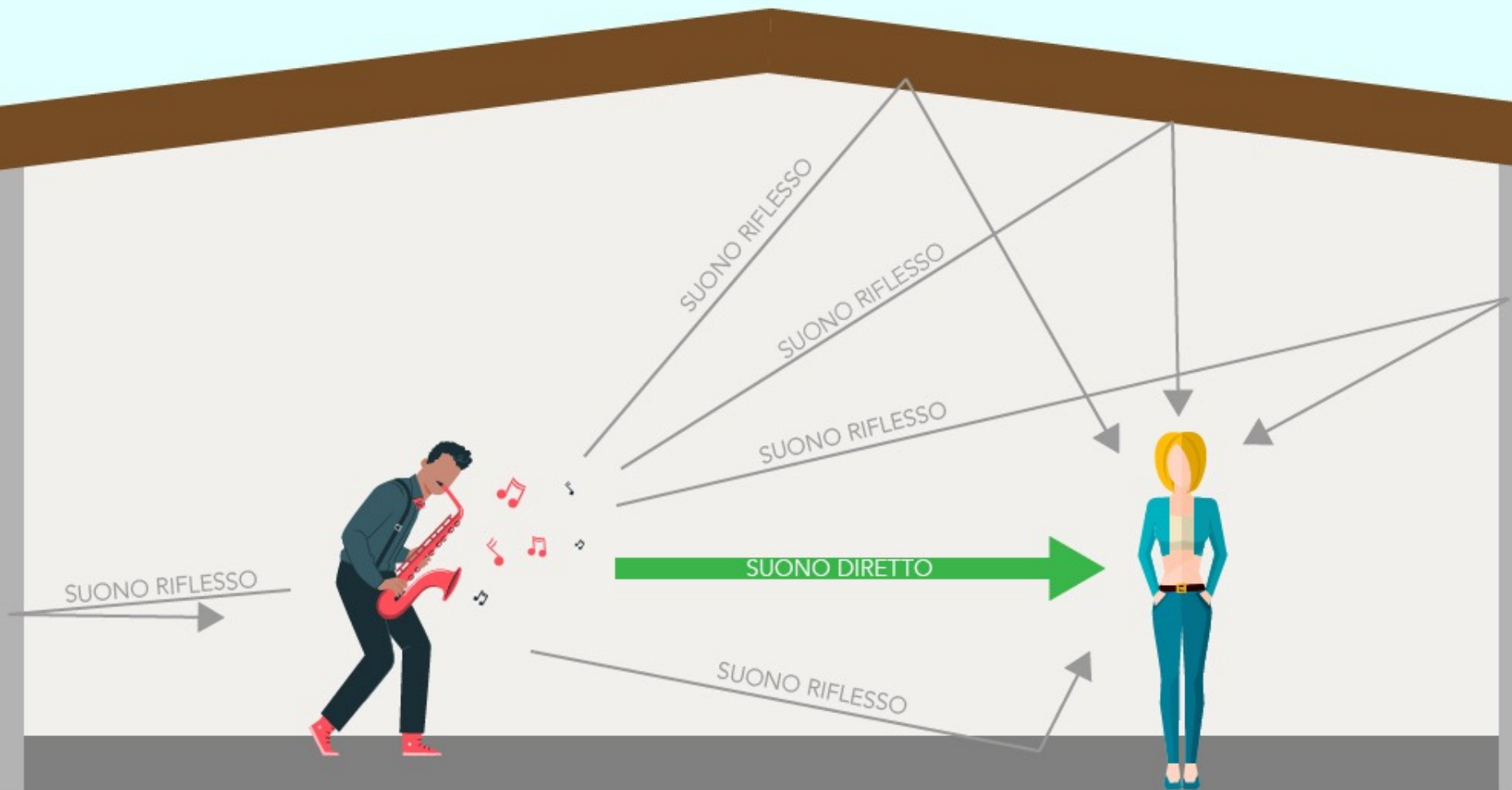
Se suoniamo in mezzo a un prato
all'aria aperta, non udiamo nessuna
riverberazione del suono.



SUONO DIRETTO SUONO RIFLESSO

In caso di spazi chiusi quindi il suono che giunge all'ascoltatore è di due tipi:

1. Suono diretto
2. Suono riflesso



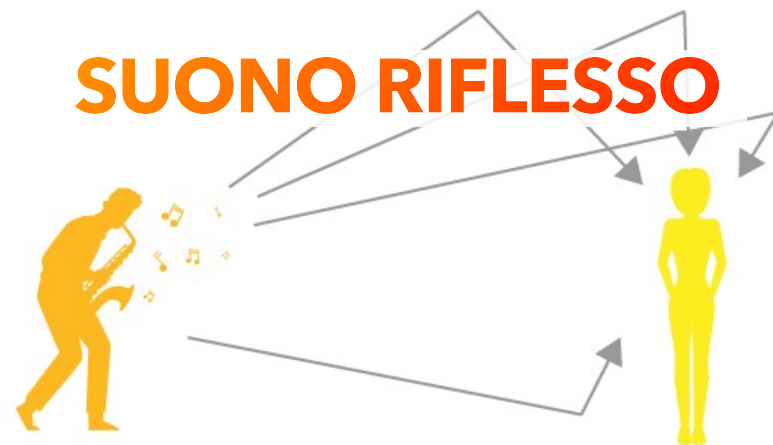
SUONO DIRETTO



Del suono diretto fanno parte tutte **le onde sonore che non incontrano ostacoli o superfici riflettenti di nessun tipo.**

L'unica differenza col suono originale sarà una differenza di ampiezza perché l'aria tra lo strumento e l'ascoltatore attenuerà in parte l'energia dell'onda creata.

SUONO RIFLESSO



Del suono riflesso fanno parte tutte **le onde sonore che incontrano superfici riflettenti o assorbenti.** Le onde vengono in parte assorbite e in parte riflesse per giungere poi all'ascoltatore.

Si tratta quindi di un suono:

- **Filtrato** delle frequenze alte assorbite dalle superfici incontrate
- **Attenuato in ampiezza** dall'aria che ha incontrato nel percorso e dalle superfici che ne hanno assorbito una parte dell'energia
- **Ritardato** a causa del percorso più lungo che ha dovuto compiere

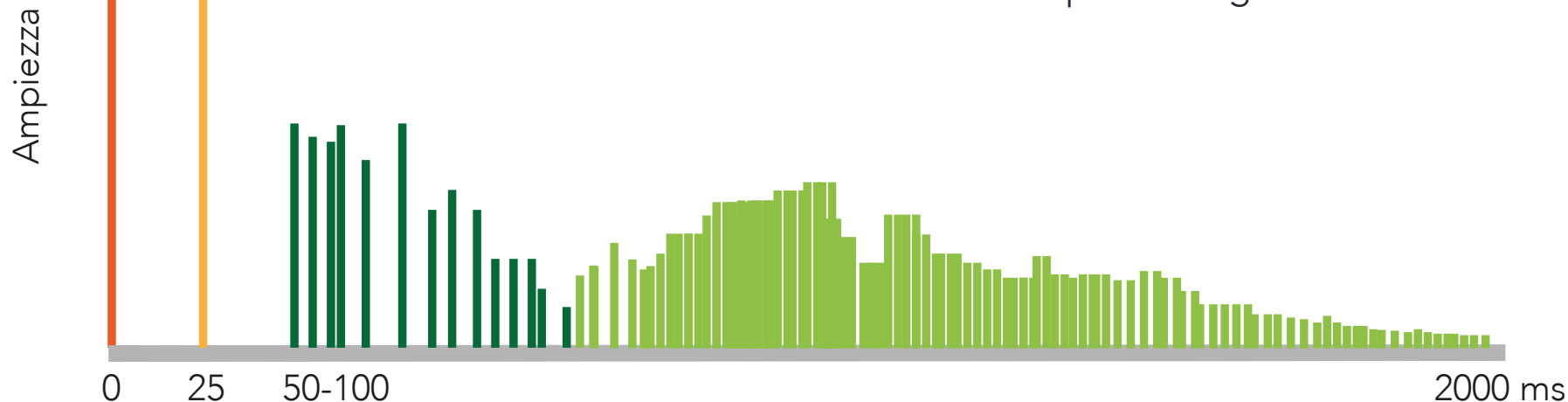
IMPULSO DI RISPOSTA



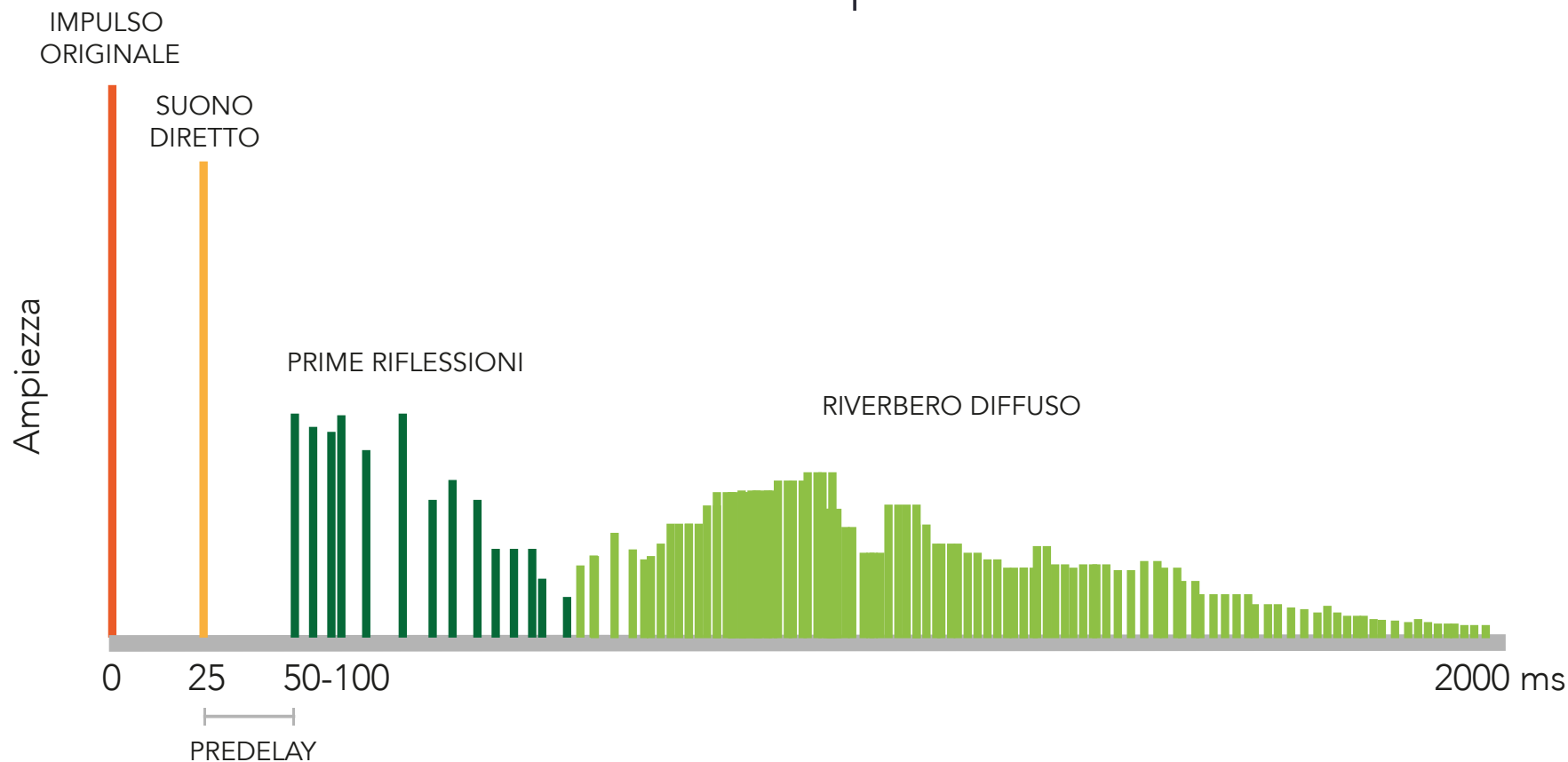
Se in una stanza creiamo un suono ricco e impulsivo, come per esempio un palloncino che scoppia, e misuriamo l'ampiezza del suono nel tempo otteniamo quello che si chiama impulso di risposta di una stanza (*Impulse Response*)

Ogni stanza ha il suo *Impulse Response* caratteristico.

Più o meno tutti i riverberi naturali hanno un andamento simile a quello in figura.



Il grafico è praticamente un racconto di come si comporta un riverbero naturale.

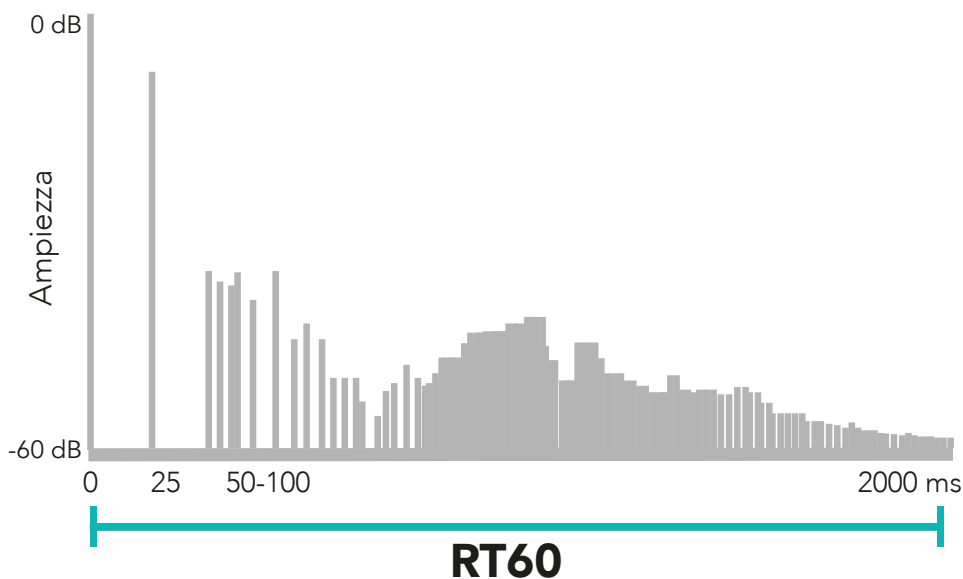




TEMPO DI RIVERBERAZIONE RT60

Il tempo di riverberazione RT60 è la misura della **lunghezza di un riverbero**.

Si tratta del tempo che una stanza impiega per attenuare un suono presente in essa di 60dB dal suo picco di ampiezza.



Valori medi di RT60

Cameretta

0,1 - 0,5 secondi

Studio di registrazione

0,3 - 0,7 secondi

Sala da concerto

1,5 - 3 secondi

Cattedrale

3 - 10 secondi

RIVERBERO ARTIFICIALE

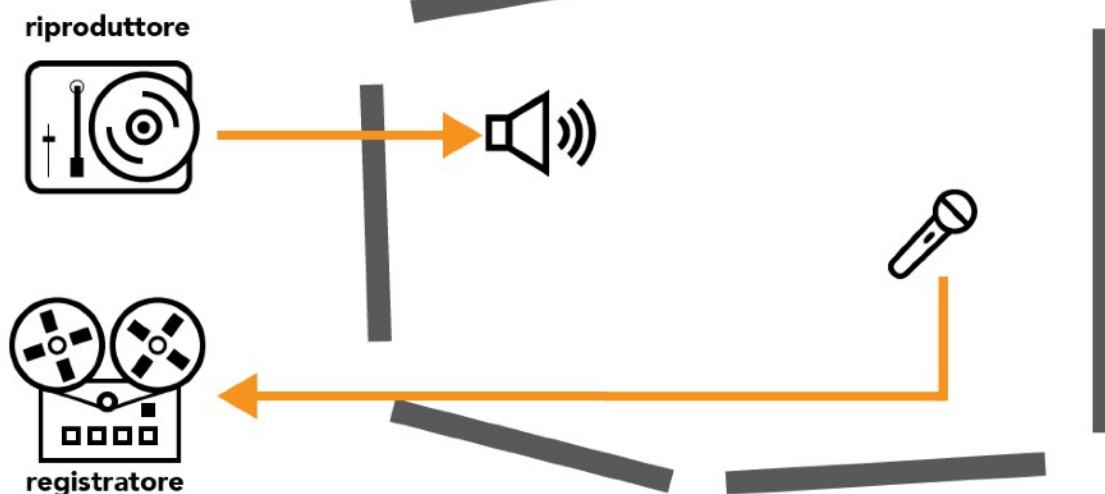
Camere d'eco acustiche

Sono vere e proprie stanze nelle quali viene riprodotto il suono da riverberare mentre si registra il risultato sonoro dato dal suono diretto e dalle riflessioni avvenute nella stanza.

La stanza può avere pareti fisse o anche mobili che permettono di cambiare cioè la geometria della stanza e di conseguenza il riverbero.

Per creare un riverbero artificiale bisogna ricreare la sensazione sonora che abbiamo analizzato nelle pagine precedenti.

Per farlo nella storia si sono utilizzate diverse tecniche e tecnologie.



Riverberi elettromeccanici

Il principio di funzionamento è quello di mettere un trasduttore che riproduce un suono, lo passa a un medium riverberante che a sua volta lo passa a un trasduttore che funge da speaker. Il medium riverberante è quello che introduce le copie sfasate del suono originale che danno la sensazione di riverbero.

Medium diversi danno risultati diversi. I più usati sono molle (**Spring Reverb**) e lastre di metallo (**Plate Reverb**).

SPRING REVERB



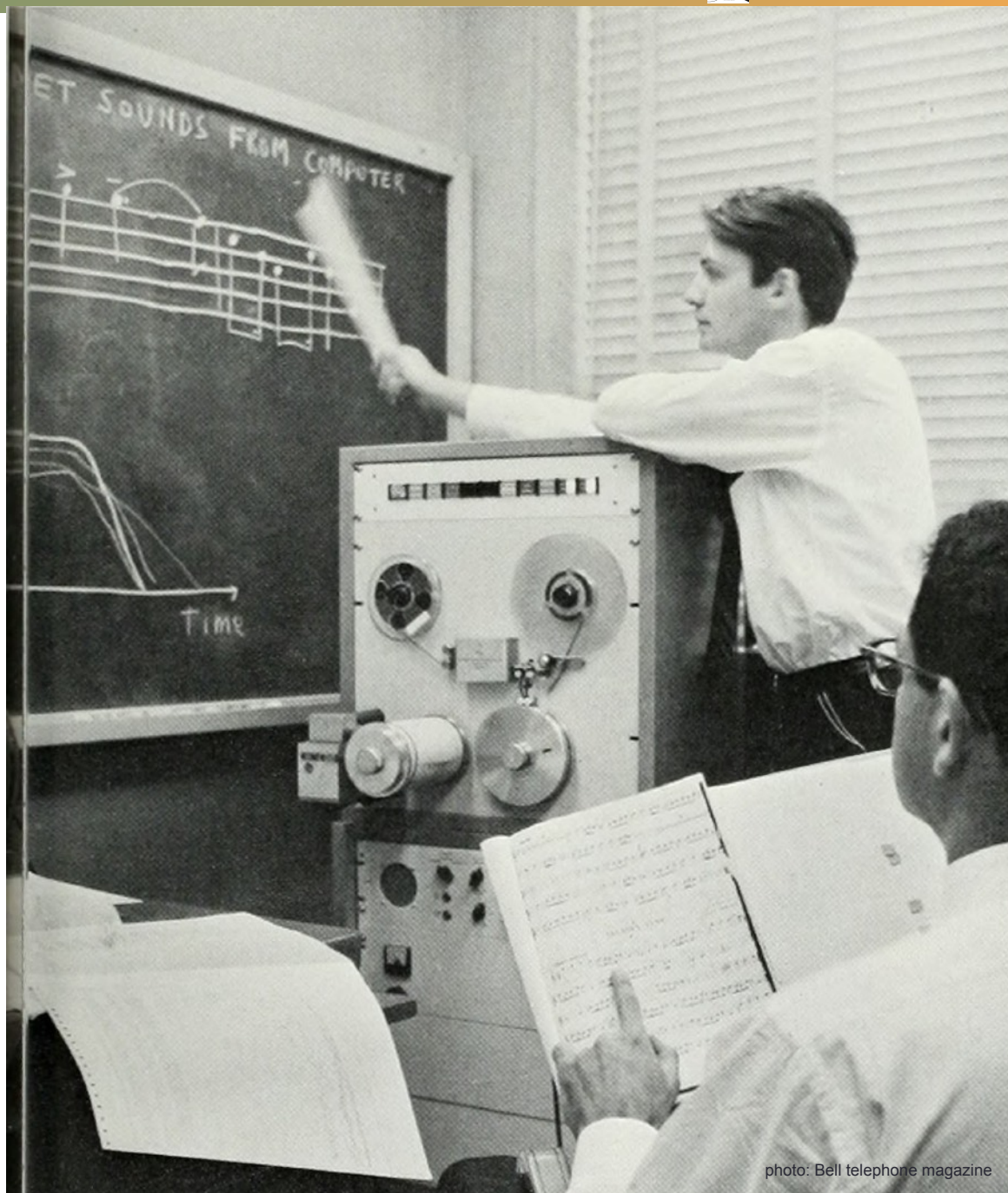
PLATE REVERB



Riverberi digitali "classici"

Nei riverberi digitali si crea un **algoritmo** che simula le varie parti di una riverberazione acustica.

Il primo a creare algoritmi digitali di riverberazione è stato **Manfred Schroeder** ai laboratori *Bell Telephone* a partire dal 1961. I suoi algoritmi sono ancora molto attuali.



Come abbiamo visto il riverbero può essere diviso in 3 parti:



Il rapporto di volume tra suono diretto e suono riverberato prende il nome di **DRY/WET**

Il ritardo tra Suono diretto e Prime riflessioni si chiama **pre-delay**.



Proviamo a dividere le varie parti e a costruire degli algoritmi che vadano a simularne le caratteristiche.

Per simulare le Prime Riflessioni si utilizzano dei **Delay Multitap**.



Si tratta di un insieme di dispositivi che creano copie in ritardo del suono in ingresso. Ogni dispositivo ha un suo ritardo indipendente e prende il nome di "tap".

I vari tap devono avere ritardi diversi tra loro per poter simulare le riflessioni in punti diversi delle pareti di una stanza.



Diversa e più complessa è la simulazione del Riverbero Diffuso perché si tratta di diverse centinaia di riflessioni da dover creare a partire dal suono iniziale.

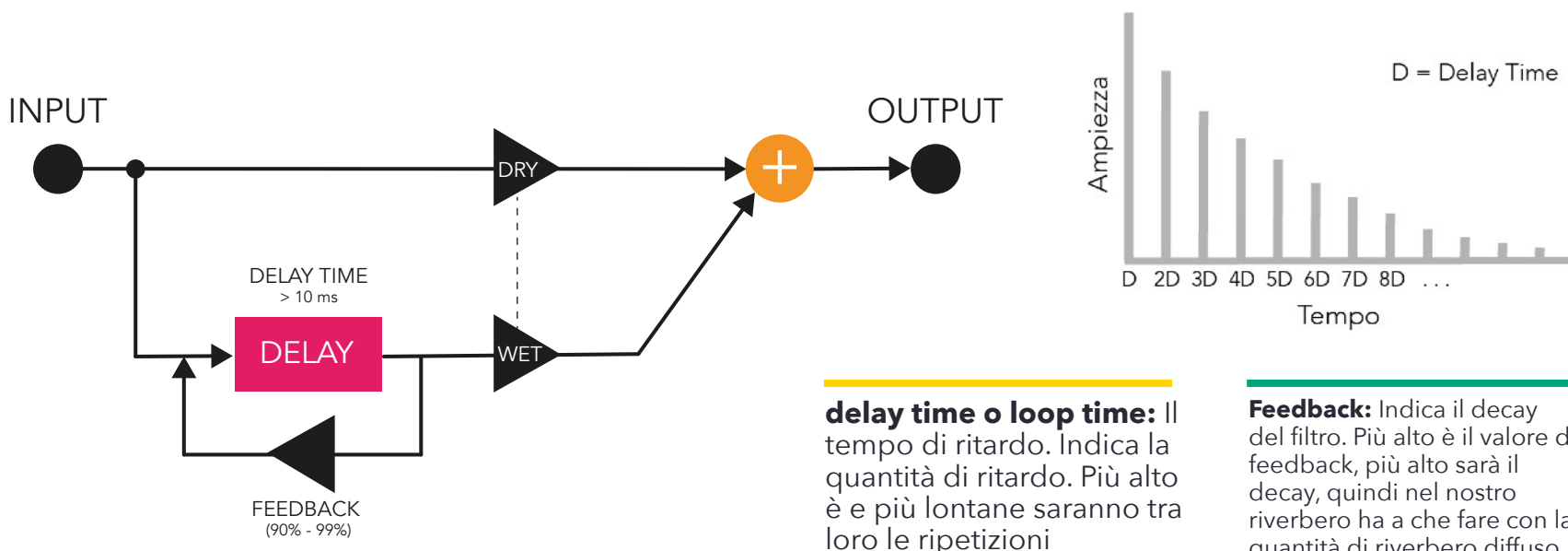
Per ottenere questo risultato ci sono due unità base che devono essere duplicate e interconnesse tra loro:

Filtri Comb e **Filtri All-pass**

Filtri Comb

Come abbiamo già visto nel capitolo dei delay, il filtro comb è un **delay con feedback che ha un delay time molto piccolo**.

Se il delay time è sotto i 10ms ottengo una serie di bande frequenziali a distanza costante che creano quindi uno spettro armonico. Se invece usiamo delay time più alti otteniamo una serie molto fitta di ripetizioni del suono, adattissime per creare la parte Diffusa del nostro Riverbero. Chiaramente quando andiamo a mettere più filtri comb insieme dobbiamo fare attenzione a che i delay time siano non solo diversi tra loro ma multipli NON interi, per evitare che si creino risonanze importanti all'interno del risultato finale.



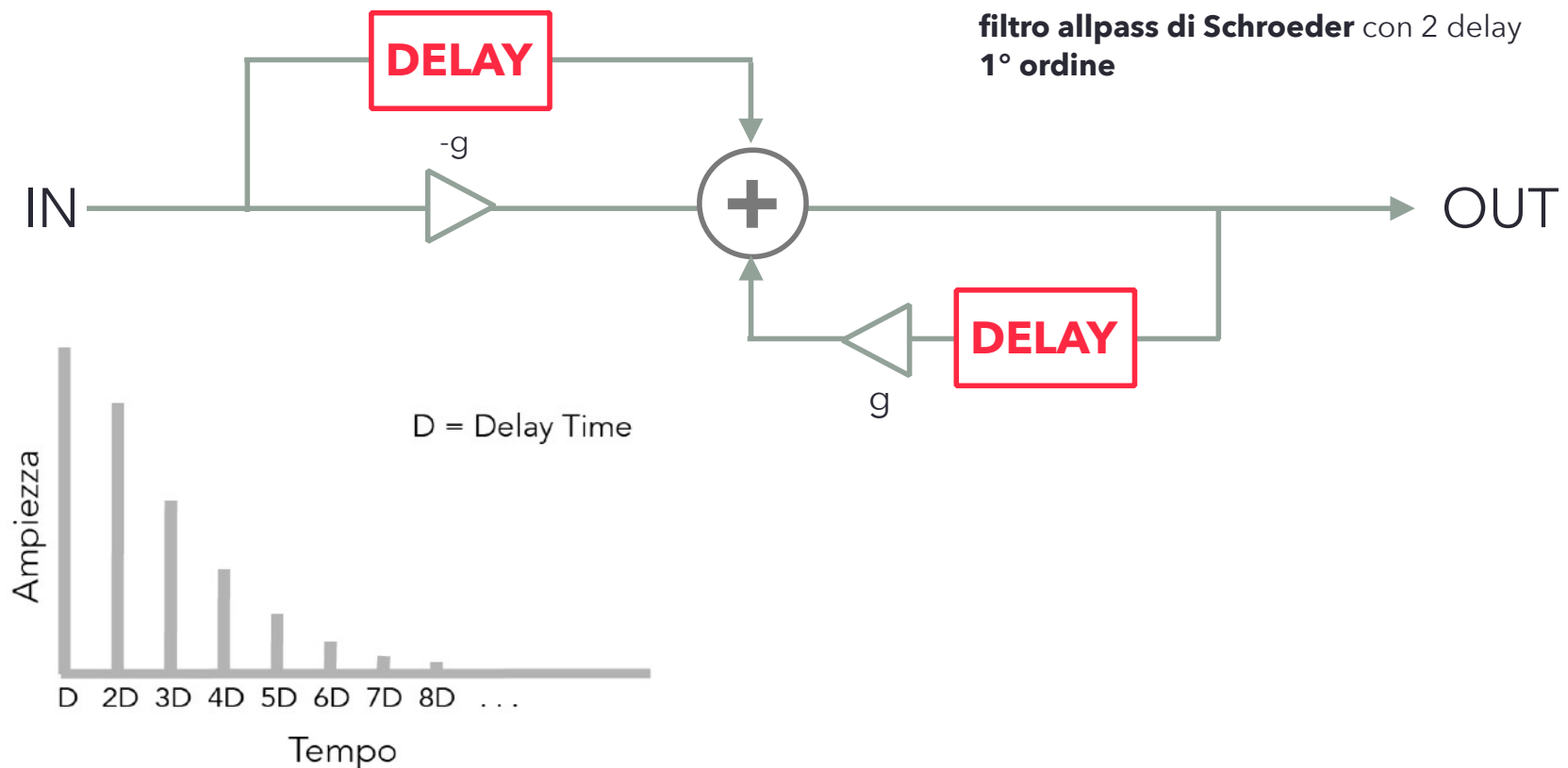
delay time o loop time: Il tempo di ritardo. Indica la quantità di ritardo. Più alto è e più lontane saranno tra loro le ripetizioni

Feedback: Indica il decay del filtro. Più alto è il valore di feedback, più alto sarà il decay, quindi nel nostro riverbero ha a che fare con la quantità di riverbero diffuso e la sua lunghezza nel tempo (RT60).

Filtri All-pass

Come abbiamo già visto nel capitolo dei delay, il filtro all-pass **fa passare inalterate tutte le frequenze cambiandone però le fasi**.

L'effetto di questo è l'introduzione di ritardi legati a particolari frequenze. Quando il *delay time* è tra 5 e 100 ms, si creano una serie di copie in ritardo del segnale in ingresso che decadono in maniera esponenziale, in modo analogo a quanto avviene con i filtri comb.

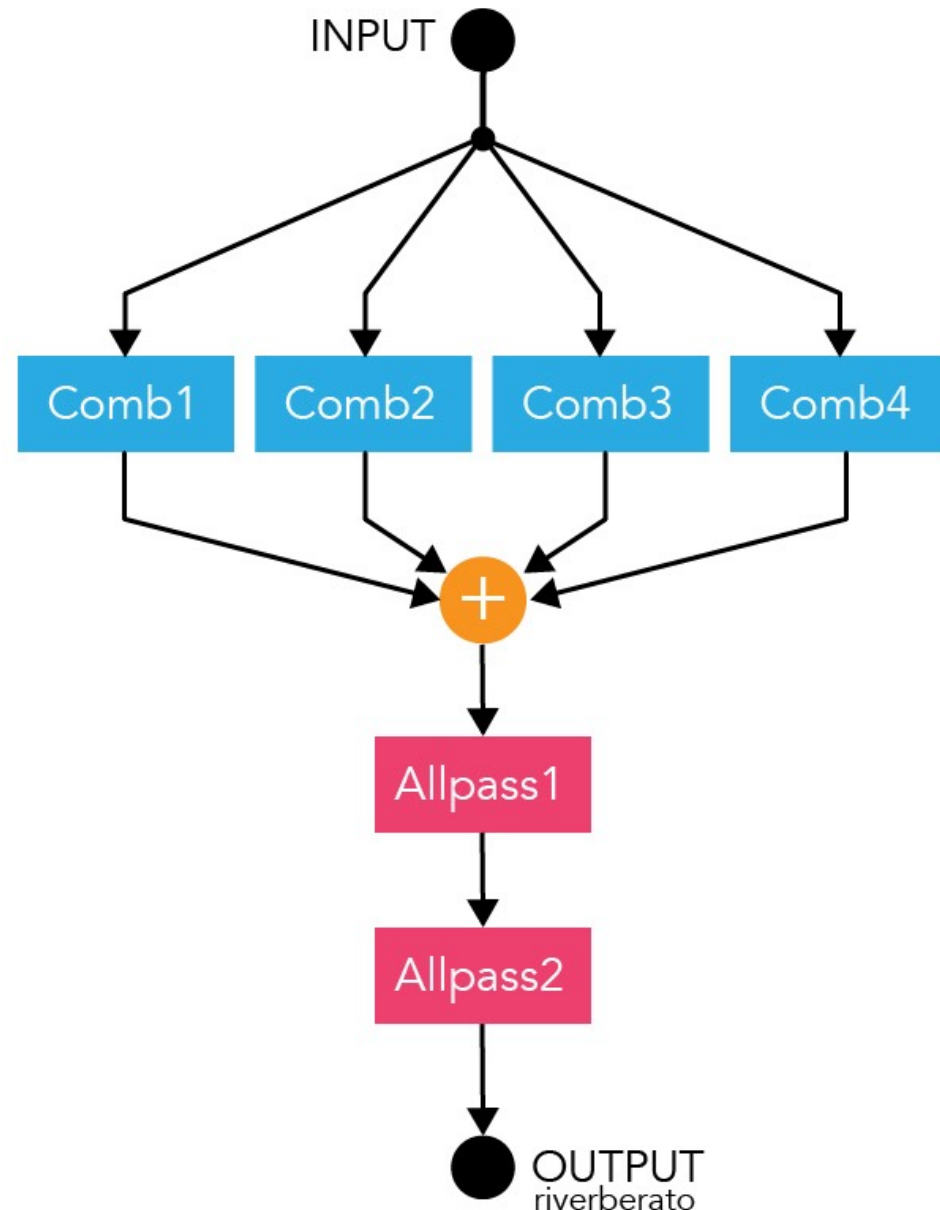


COMBINARE COMB E ALL-PASS

Per completare il nostro Riverbero Diffuso e ottenere una densità sufficiente per percepire la riverberazione come tale, è necessario combinare opportunamente più filtri comb e all-pass.

Questo può avvenire:

- **in parallelo:** meno densità perché sommo le riflessioni date da ogni comb o all-pass. Ottimo per i comb perché si minimizzano eventuali problemi di cancellazione
- **in serie:** più densità perché ogni riflessione si moltiplica per le riflessioni successive. Usato per gli all-pass perché in parallelo potremmo avere cancellazioni di fase



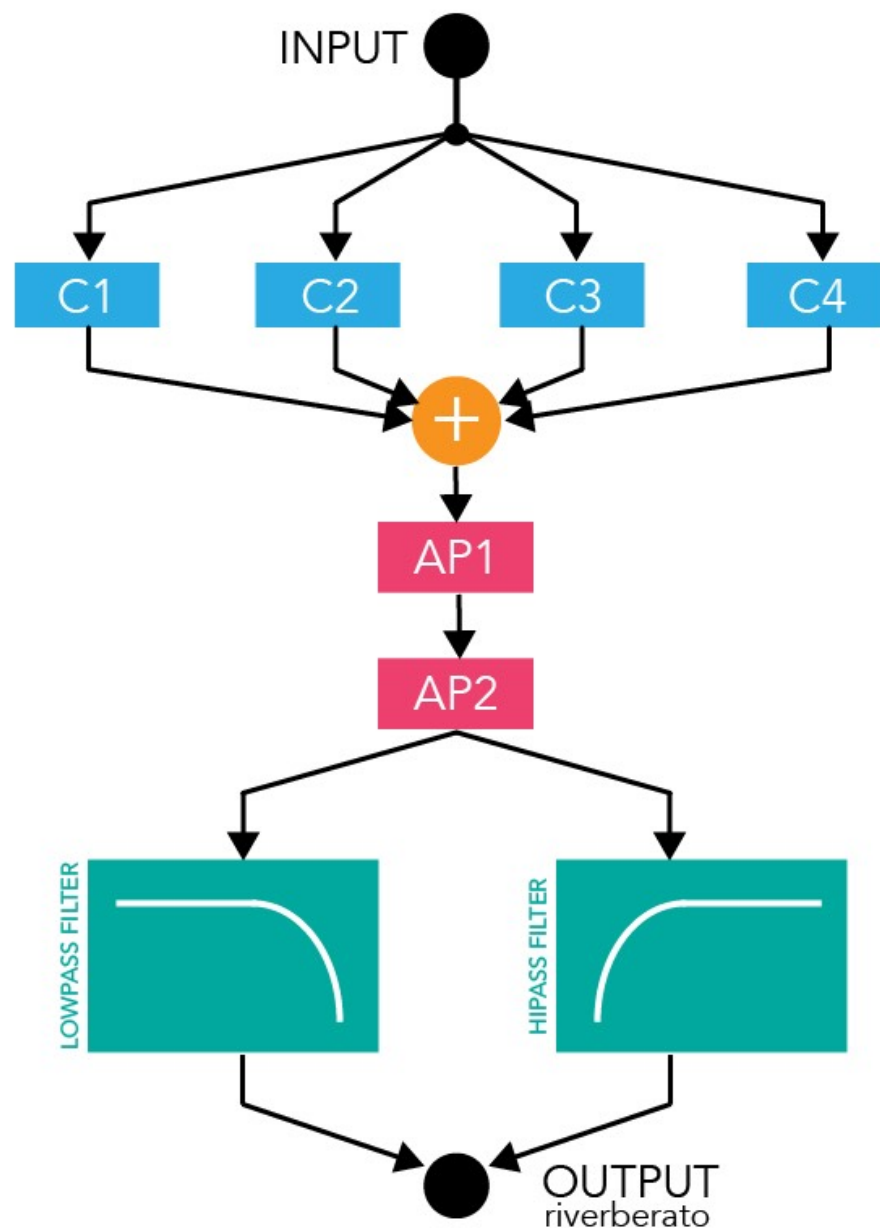
FILTRI

Per raffinare ulteriormente il nostro riverbero si possono utilizzare filtri low-pass o high-pass per simulare l'assorbimento di alcune frequenze da parte delle pareti della stanza.

Con un **Filtro Low-pass** otterremo un assorbimento delle frequenze alte, quindi un suono finale più "scuro".

Con un **Filtro High-pass** viceversa otterremo un suono più povero nelle basse e quindi più brillante.

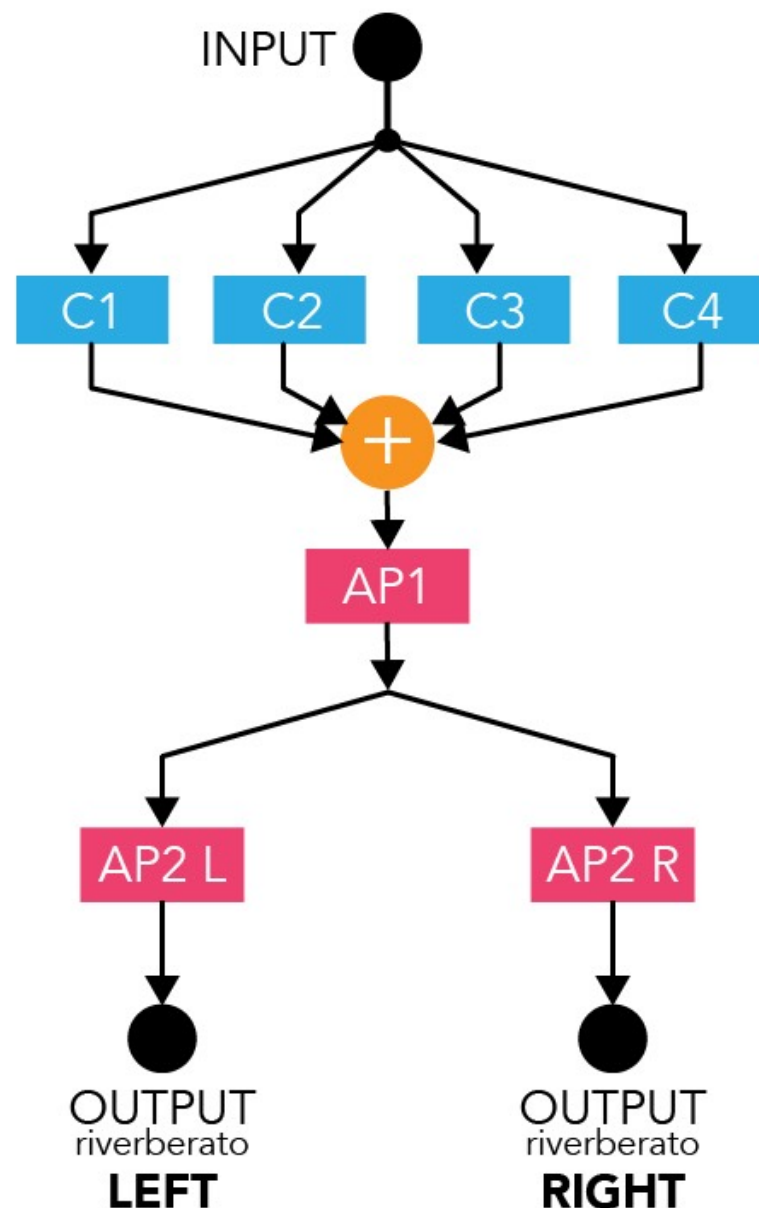
Il low-pass è certamente la soluzione più classica se vogliamo simulare un ambiente reale perché le pareti tendono usualmente a trattenere le alte frequenze e riflettere il resto del suono.



STEREOFONIA

Le riflessioni che si generano nelle stanze in cui ascoltiamo i suoni arrivano in maniera **differenziata tra un orecchio e l'altro**, a livello di tempi (fasi delle onde), di ampiezze (volumi diversi a seconda che la riflessione venga da destra o da sinistra) e di frequenze (percorso più lungo fa passare più aria, più aria filtra di più alcune riflessioni).

In un riverbero stereofonico è quindi necessario tenere conto della differenziazione tra canale destro e canale sinistro. Il modo più semplice per farlo è quello di **differenziare due all-pass finali** mandandoli uno a destra e l'altro a sinistra. Questo perché la quantità di riflessioni che gestisce ogni passaggio è sempre maggiore, addirittura esponenziale nel caso di unità riverberanti in serie, quindi l'ultima unità riverberante (l'all-pass in questo caso) gestire migliaia di riflessioni create nei passaggi precedenti.





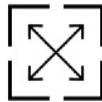
PARAMETRI DEI RIVERBERI

Si tratta nella maggior parte dei casi di **macro-parametri** cioè di impostazioni che vanno a lavorare su più parametri all'interno delle unità riverberanti (delay, comb, all-pass...).



PREDELAY

Controlla il ritardo (**delay time**) tra il suono originale e le prime riflessioni. Un predelay molto grande ci dà la sensazione di una stanza molto grande.



SIZE

Controlla i **delay time** delle varie unità riverberanti, simulando quindi la sensazione di dimensione della stanza. delay time più lunghi = simulazione di maggiore distanza delle pareti riflettenti.



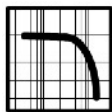
REVERBERATION TIME

Controlla la **durata complessiva** del riverbero, quanto dura cioè il suo decadimento (RT60).



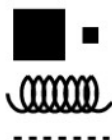
DIFFUSION

Determina la **densità di riflessioni** che il nostro riverbero crea. Simula la complessità della stanza, sia come forma che come capacità di riflessione da parte delle pareti.



FILTER

L'utilizzo di filtri simula l'**assorbimento di alcune frequenze da parte delle pareti** riflettenti/assorbenti. A volte questi controlli li troviamo col termine **Damping**.



TIPO DI RIVERBERO

Sono delle pre-impostazioni che vanno a simulare situazioni particolari o riverberi analogici, impostando valori caratteristici alle varie unità riverberanti. Per esempio: **Plate, Spring, Chamber, Hall, Gated**



MIX o DRY/WET

Controlla il **rapporto tra il suono originale e quello riverberato**.

Riverberi digitali a Modelli fisici

Si tratta di creare **modelli matematici che descrivono la diffusione delle onde sonore negli spazi.**

Il risultato sono riverberi molto realistici che simulano quasi perfettamente spazi reali ma che di contro hanno un "costo" computazionale notevole.

Ce ne sono di diversi tipi, il più usato è il **Riverbero a Convoluzione.**

I riverberi a convoluzione utilizzano un'operazione matematica chiamata convoluzione per mettere in relazione il nostro suono da riverberare con la stanza che vogliamo simulare.

Simbolo dell'operazione di convoluzione



Per poter funzionare hanno bisogno dell'**impulso di risposta** della stanza che vogliamo simulare e del suono che vogliamo riverberare.

L'impulso di risposta conserva le informazioni acustiche della stanza perché se ha in sé il comportamento nel tempo di ogni frequenza udibile all'interno della stanza stessa.





Devo quindi convolvere il suono in ingresso con l'impulso di risposta.

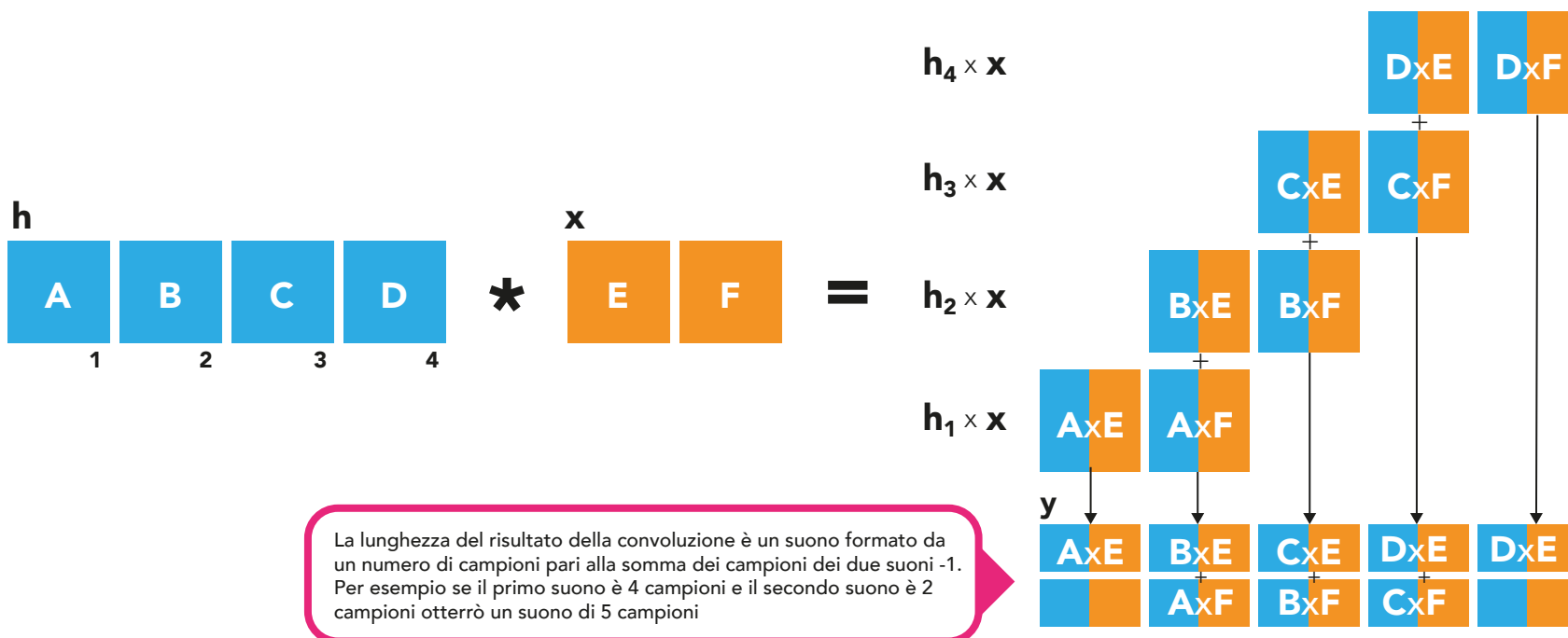
La convoluzione classica (**Direct Convolution**) è un'operazione che avviene nel dominio del tempo.

Praticamente nel caso di due suoni

h (l'impulso di risposta della stanza) e ***x*** (il suono da riverberare)

devo:

1. Moltiplicare tutti i campioni di ***h*** per tutti i campioni di ***x***
2. Posizionare ogni risultato in una tabella dal basso verso l'alto, spostando ogni nuova riga a destra di una colonna
3. Sommare ogni colonna per ottenere il risultato finale ***y***

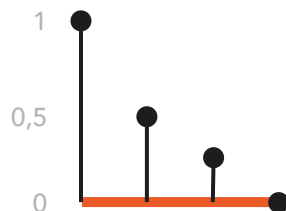


Prendiamo 3 casi semplici per capire meglio:

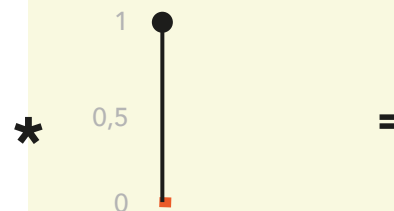
1

Nel primo caso faccio convolvere il mio suono con un impulso di risposta fatto da un solo sample di valore 1. Il risultato è un suono identico all'originale perché tutti i suoi samples vengono moltiplicati per 1.

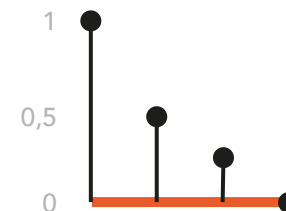
Suono da convolvere



Impulso di risposta (IR)

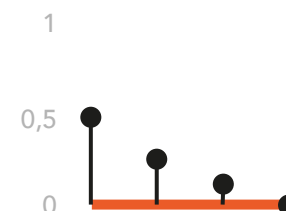
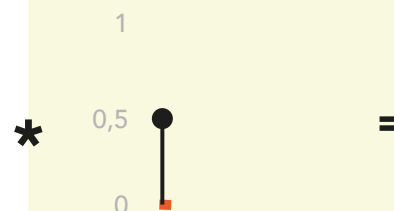
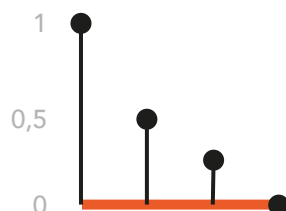


Risultato della Convoluzione



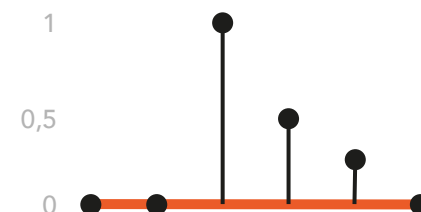
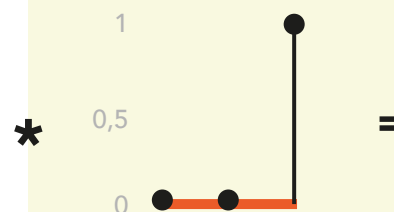
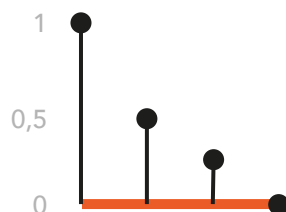
2

Nel secondo caso l'impulso di risposta è sempre un solo sample ma di valore 0.5. Questo provoca un riscaldamento del mio suono che viene dimezzato in tutti i suoi sample. Praticamente un abbassamento del suo volume.

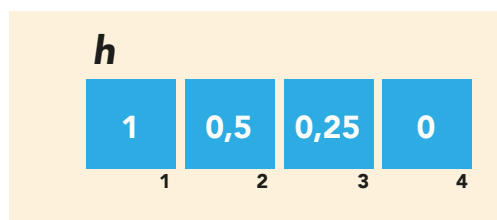


3

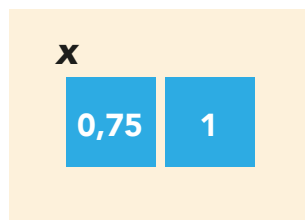
Nel terzo caso l'impulso di risposta è formato da 3 samples di cui i primi due di valore 0 e l'ultimo 1.. Questo provoca uno spostamento temporale del nostro suono. Praticamente è come se iniziasse 2 campioni dopo.



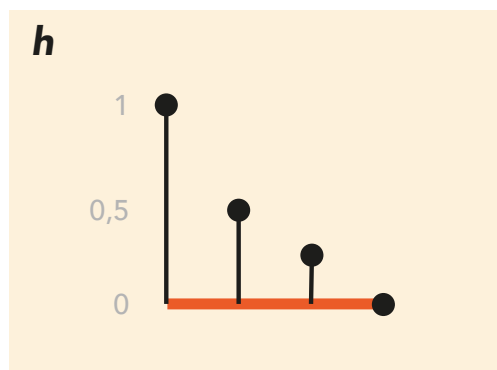
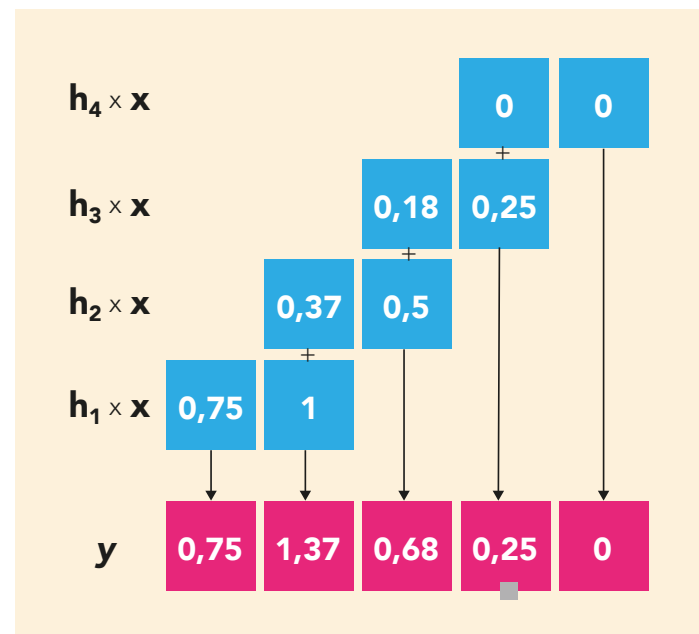
Come si intuisce dal risultato grafico, il suono finale **sarà un suono che ha caratteristiche del primo e del secondo suono.**



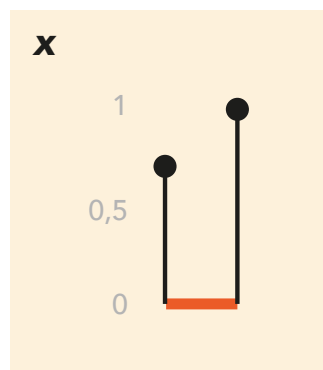
*



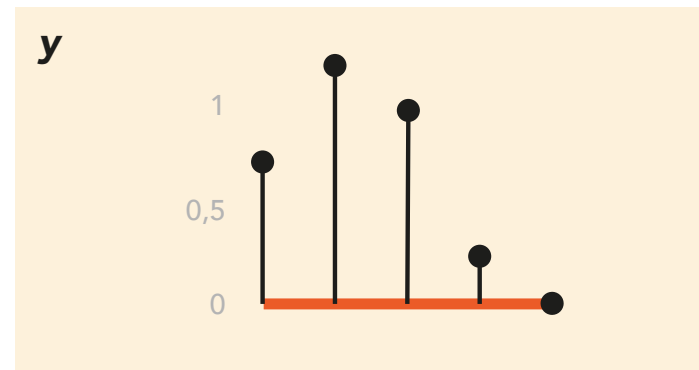
=



*

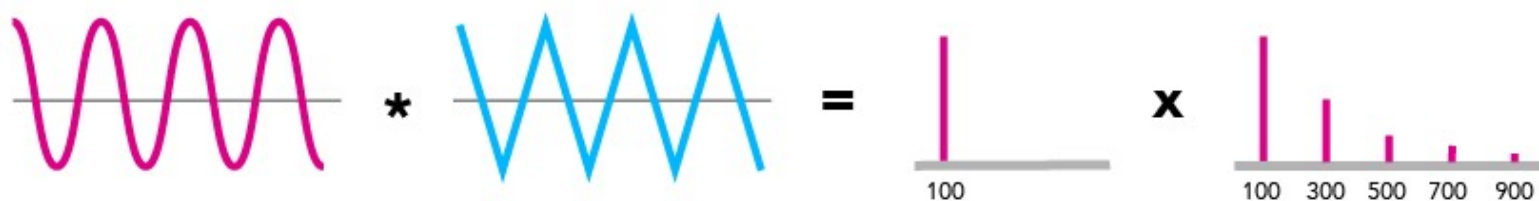


=



Dalla operazione matematica di convoluzione scaturisce un'interessante legge:

La convoluzione di due onde sonore equivale alla moltiplicazione dei loro relativi spettri!



Attenzione! Questo è uno **spettro** cioè una rappresentazione nel dominio delle frequenze e NON una rappresentazione nel dominio del tempo!

Si tratta di una convoluzione tra spettri: ogni banda dello spettro del primo suono viene convoluta con ogni banda del secondo suono esattamente come facevamo nel dominio del tempo con i samples!

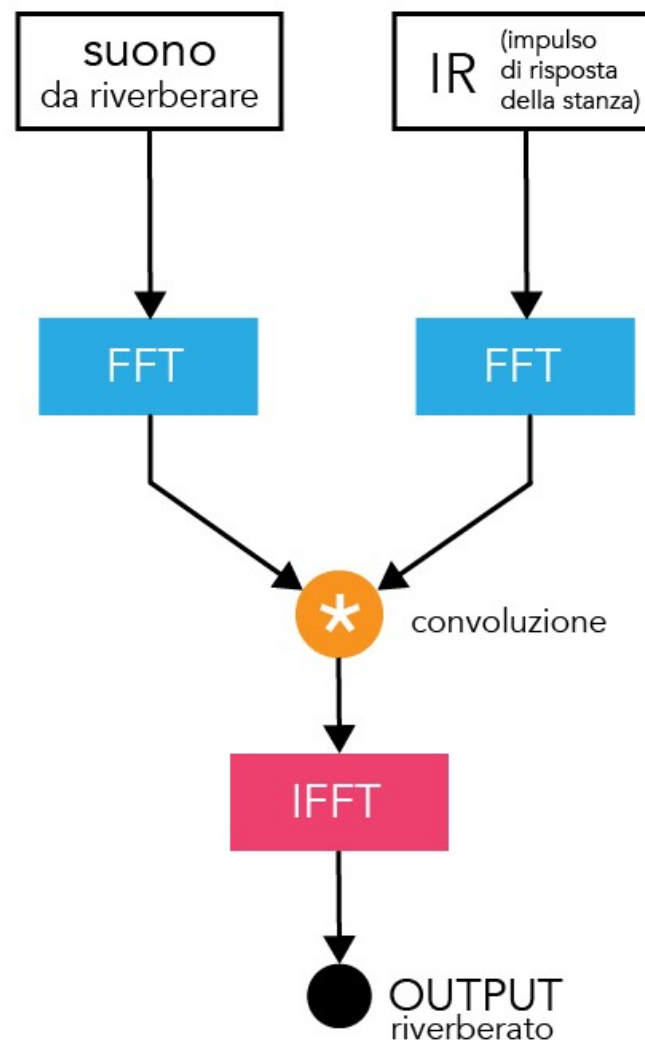
Perché questo è molto importante? Perché fare la convoluzione tra due suoni nel dominio del tempo (**Direct Convolution**) è molto faticoso come quantità di operazioni. Fare invece una convoluzione sugli spettri analizzati è molto più agile e riduce tempi e carichi del nostro processore. Questo procedimento si chiama **Fast Convolution**.



Fast Convolution = convoluzione degli spettri

Per ottenere lo spettro di un suono si utilizza la **Trasformata di Fourier**. Anzi, una versione ottimizzata di essa che si chiama Fast Fourier Transform (**FFT**).

Una volta fatta la convoluzione degli spettri devo ovviamente tornare nel dominio del tempo, generare cioè un suono fatto da samples da poter suonare. Per farlo utilizziamo la **Trasformata Inversa di Fourier Ottimizzata** o Inverse Fast Fourier Transform (**IFFT**).





SUONO ELETTRONICO

MANUALE PER STUDENTI
DI TECNOLOGIE MUSICALI
E ALTRI ESPLORATORI
DI SUONI



TOMMASO ROSATI

IL LIBRO È
ORA
DISPONIBILE
IN TUTTI
GLI STORE!