



Riverbero digitale mediante convoluzione di teatri famosi

Angelo Farina

Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di
Parma, Via delle Scienze 181/A - Parma, 43100 ITALIA –

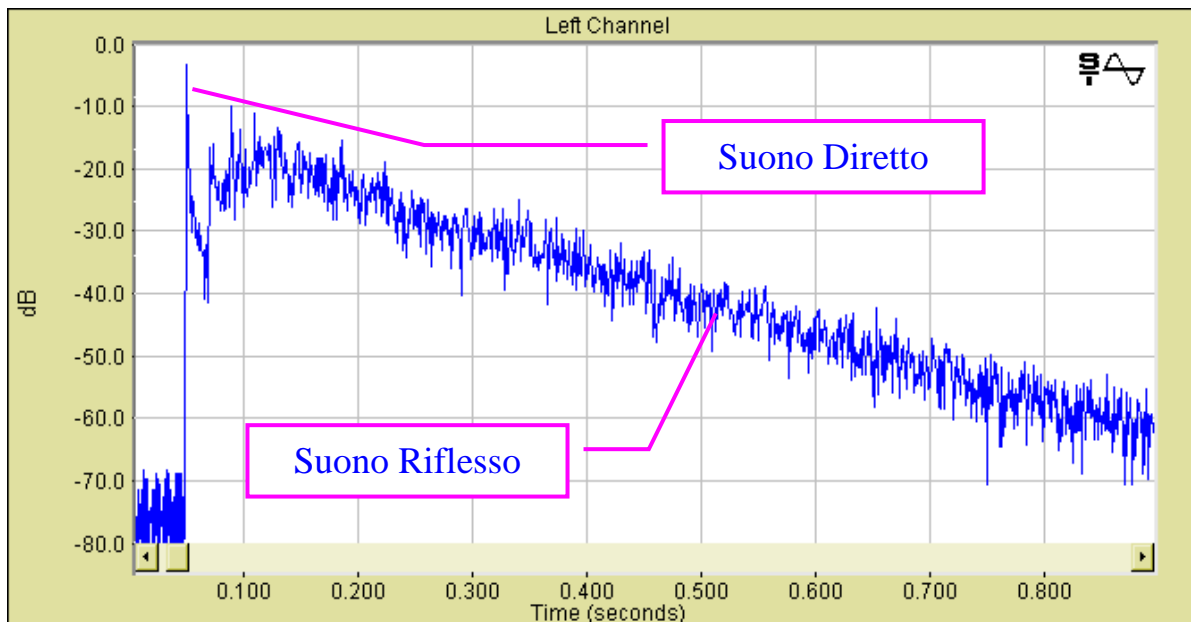
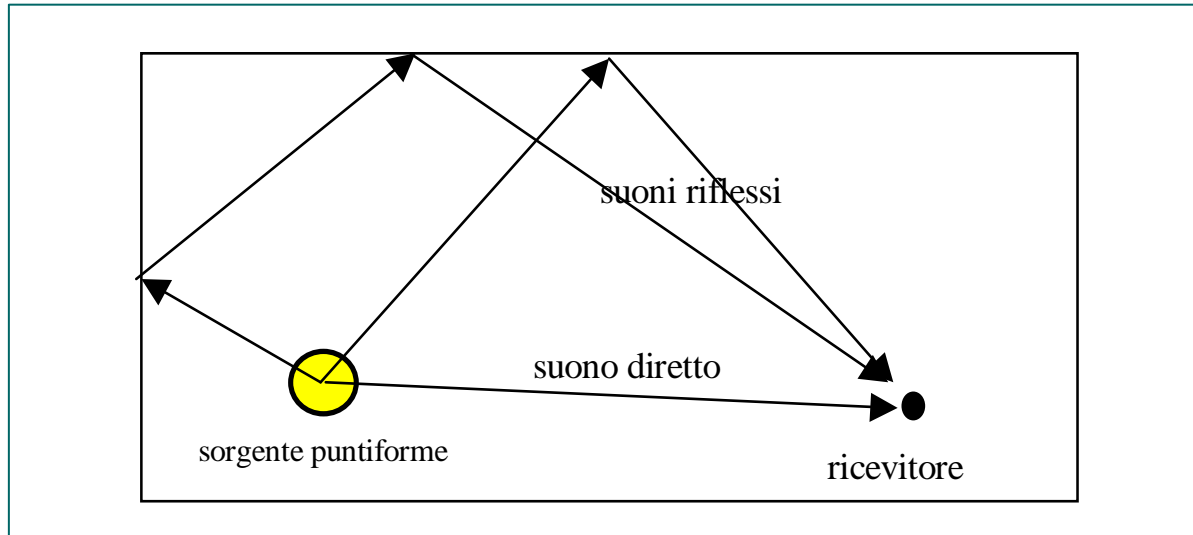
[HTTP://pcfarina.eng.unipr.it](http://pcfarina.eng.unipr.it)

[E-mail: farina@unipr.it](mailto:farina@unipr.it)

Qualità tecnica della musica trasmessa e riprodotta

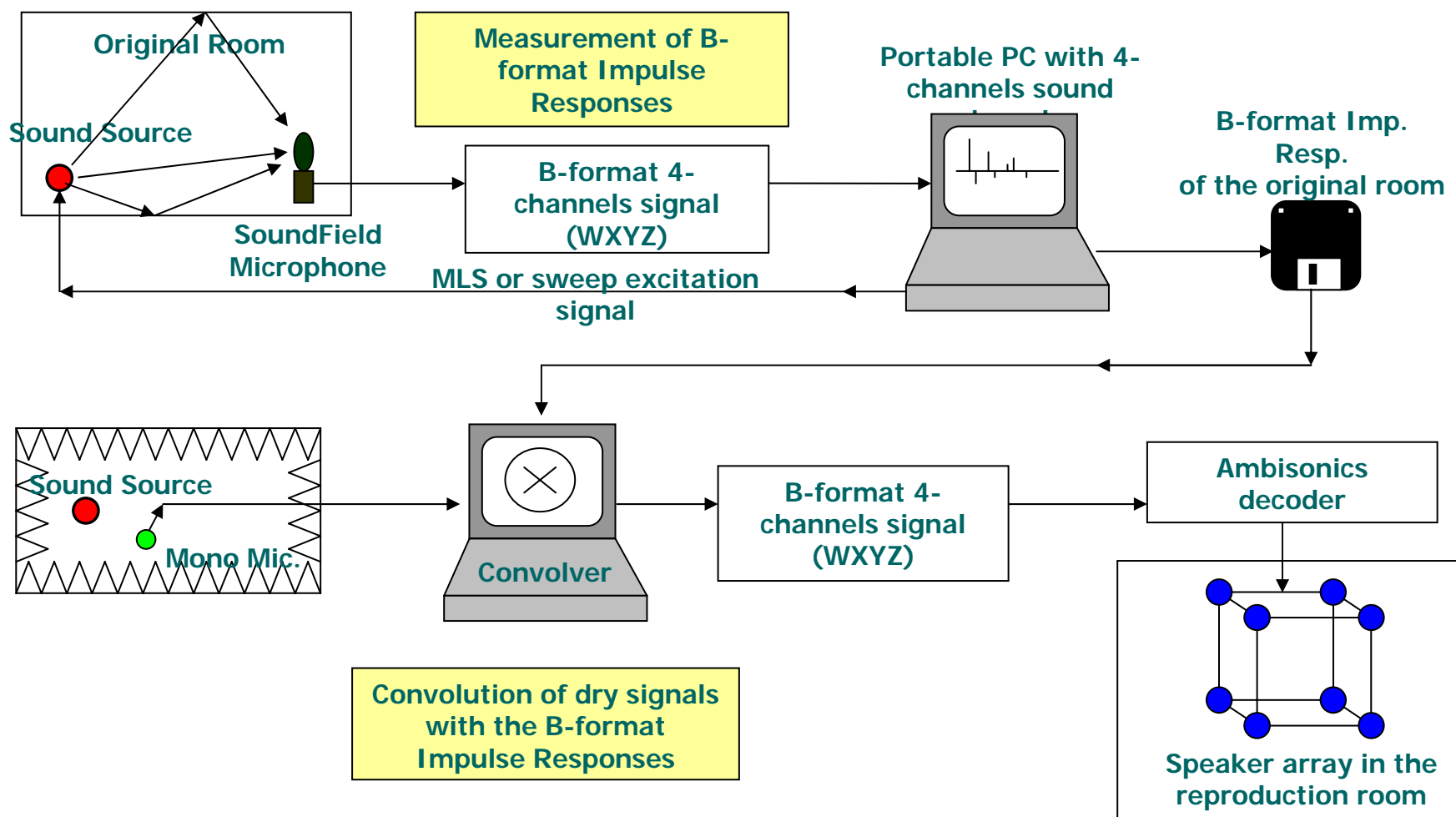
Ravello, 25 giugno 2005

Meccanismi di propagazione del suono nelle sale



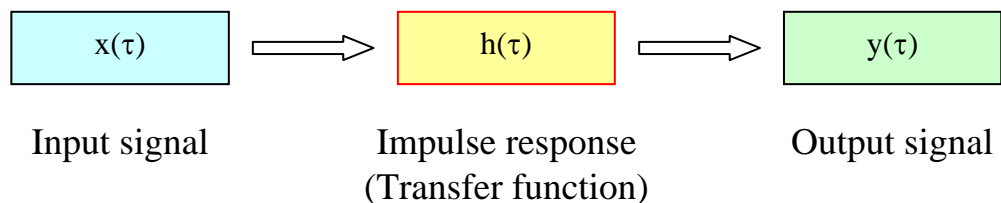
Registrazione/riproduzione di un teatro

(Gerzon, 1975, "Recording concert hall acoustics for posterity")

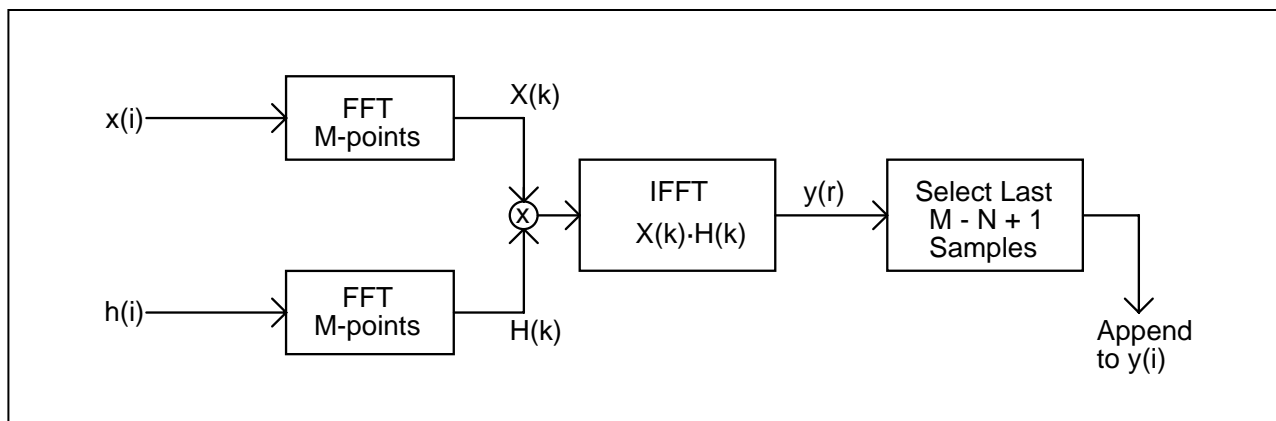


Auralizzazione

L'auralizzazione è il processo con cui un suono anecoico viene “proiettato virtualmente” in un ambiente acustico, caratterizzato dalla sua risposta all'impulso

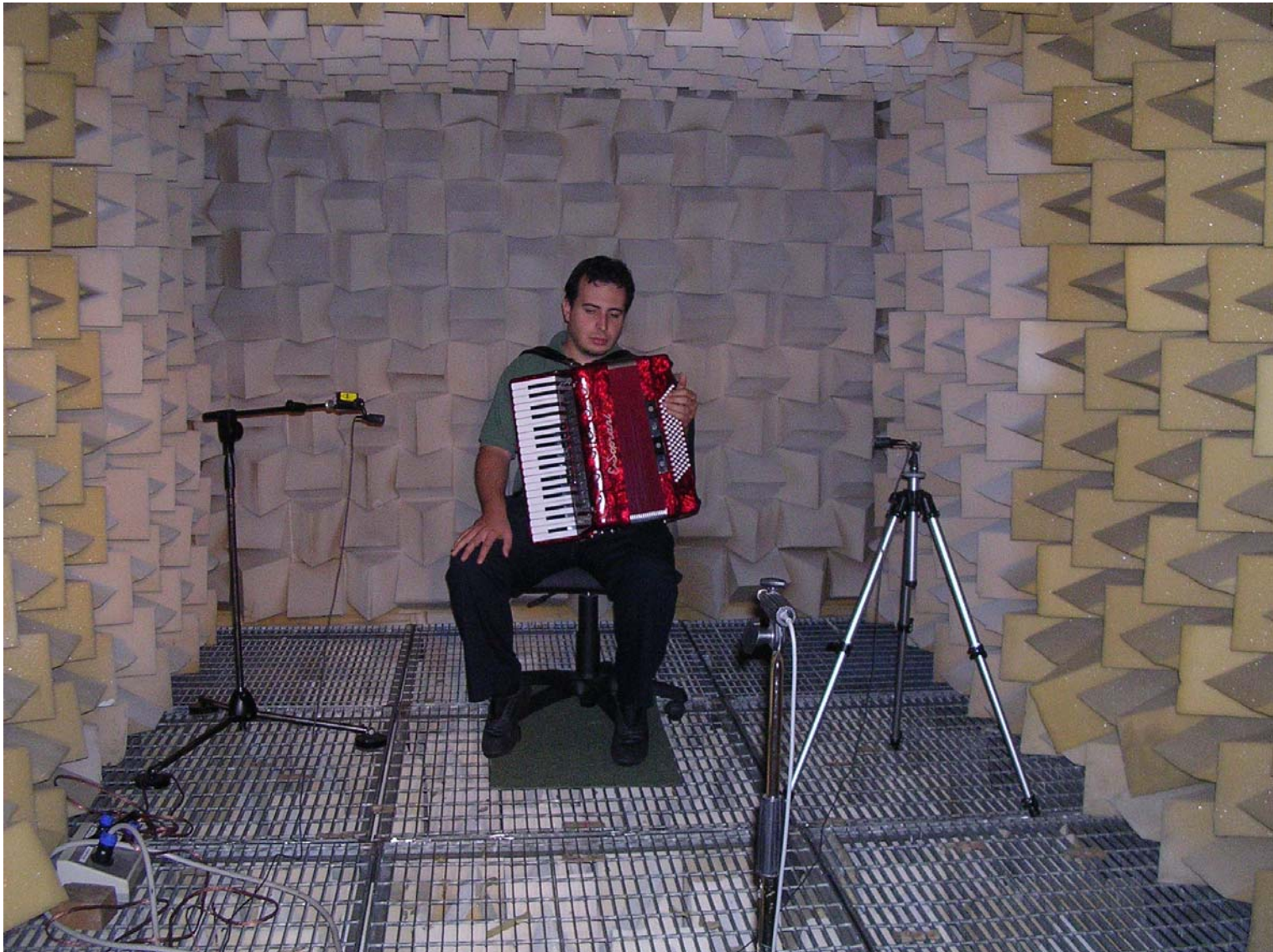


L'operazione di convoluzione, matematicamente molto “pesante”, viene normalmente implementata mediante l'algoritmo “overlap_and_save”, che opera tramite blocchi FFT



Registrazione anecoica

(camera anecoica ASK Industries, Reggio Emilia)



Esempio di Auralizzazione – La Fenice



IR Punto n. 12

Stop

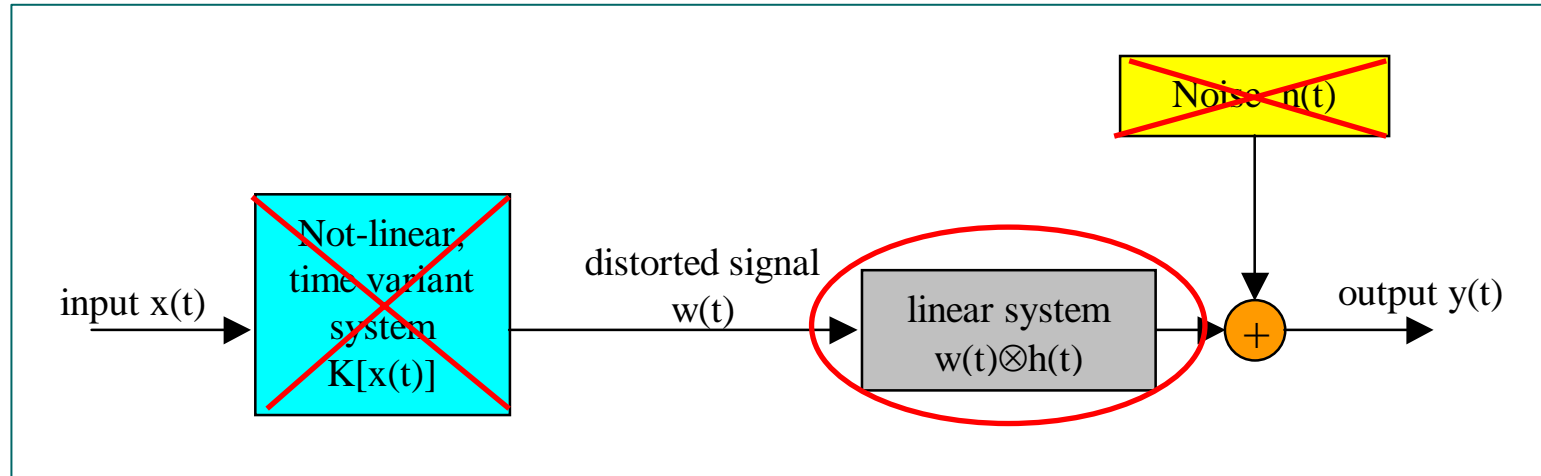
Overture alle Nozze di Figaro di Mozart

- Musica Anecoica
- Convoluzione con IR sperimentale (pt. 12)
- Convoluzione con IR calcolata al computer

Preludio al primo atto della Traviata di G.Verdi

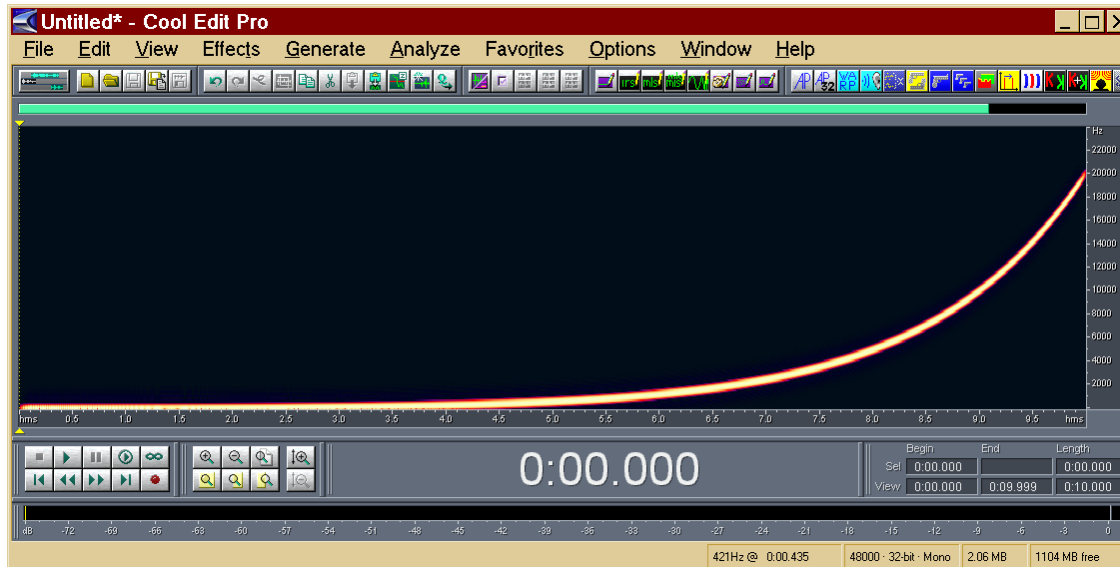
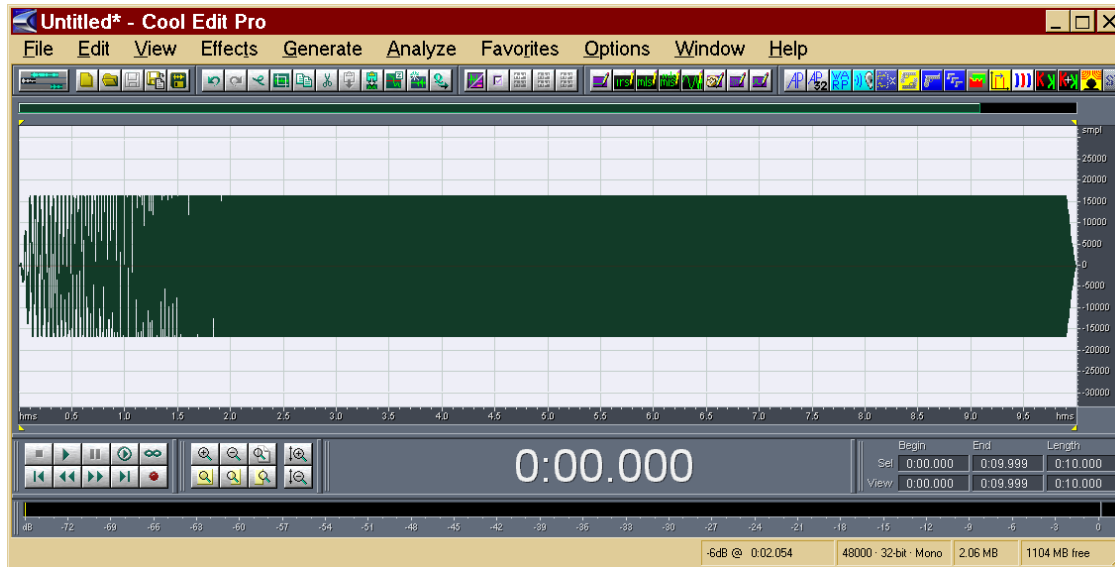
- Musica anecoica
- Convoluzione con IR sperimentale (pt. 12)
- Convoluzione con IR calcolata al computer

Metodo di misura “Waves 2003”

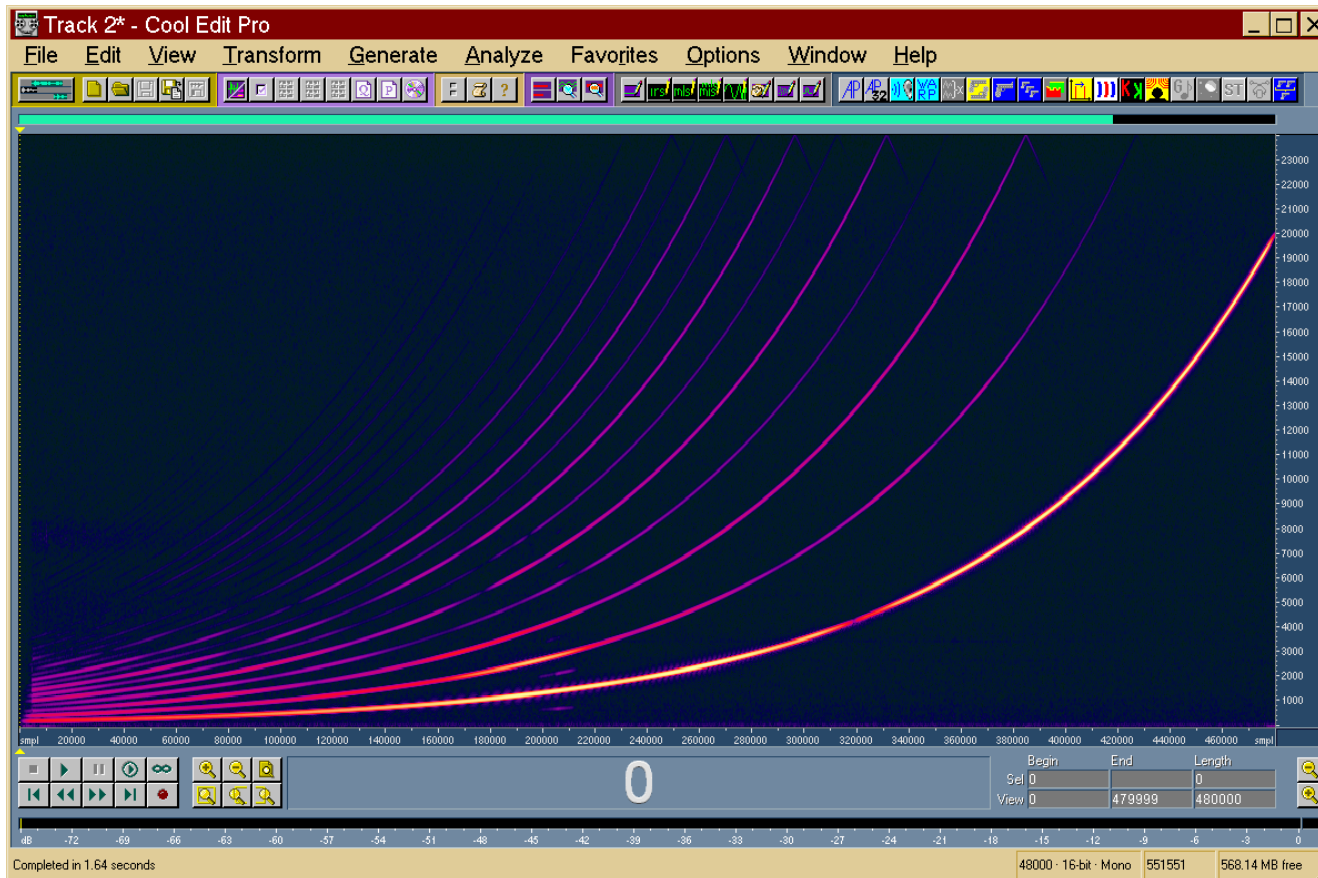


- Si desidera misurare la risposta impulsiva lineare $h(t)$. Essa può essere ricavata dalla conoscenza del segnale di test $x(t)$ e del segnale misurato $y(t)$. L'influenza della parte non lineare K e del rumore $n(t)$ deve essere minimizzata.

Segnale di test Log Sine Sweep

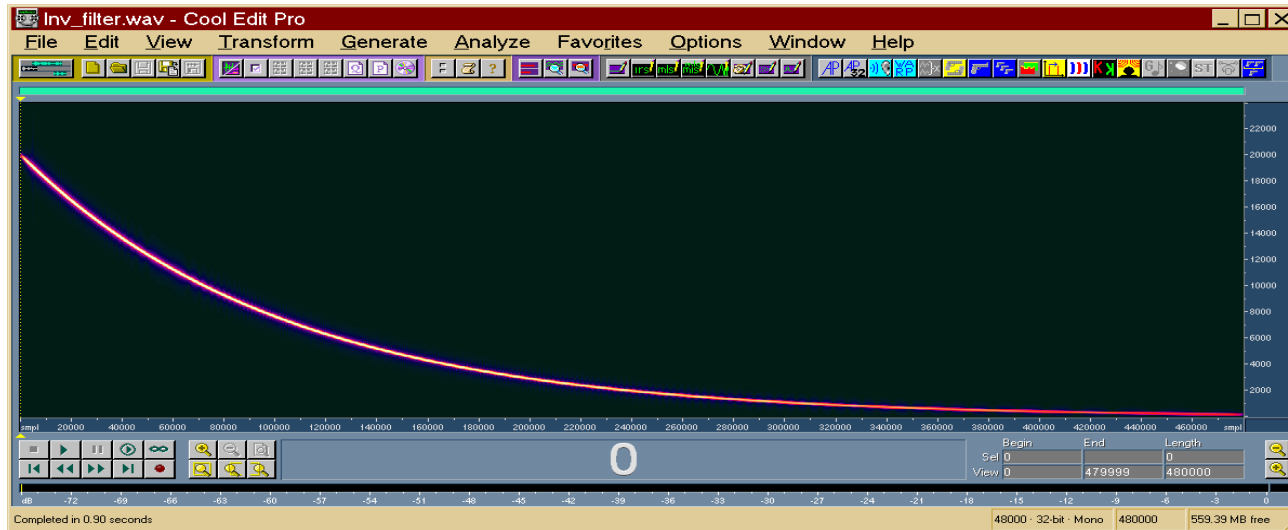
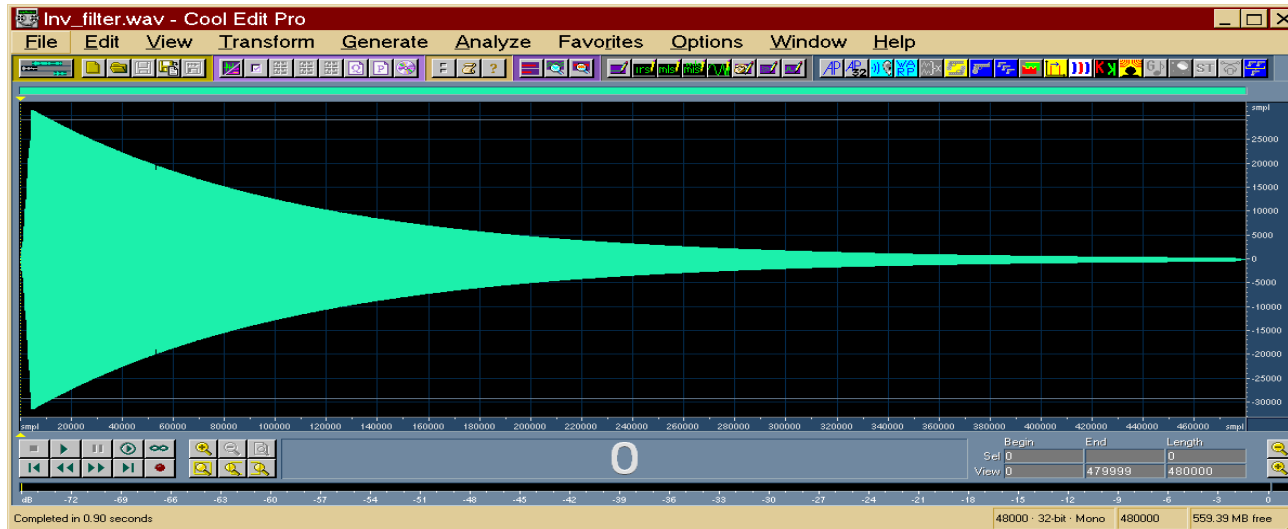


Segnale misurato $y(t)$



- ❖ La presenza di distorsione fa apparire numerose strisciate a frequenze multiple di quella di base

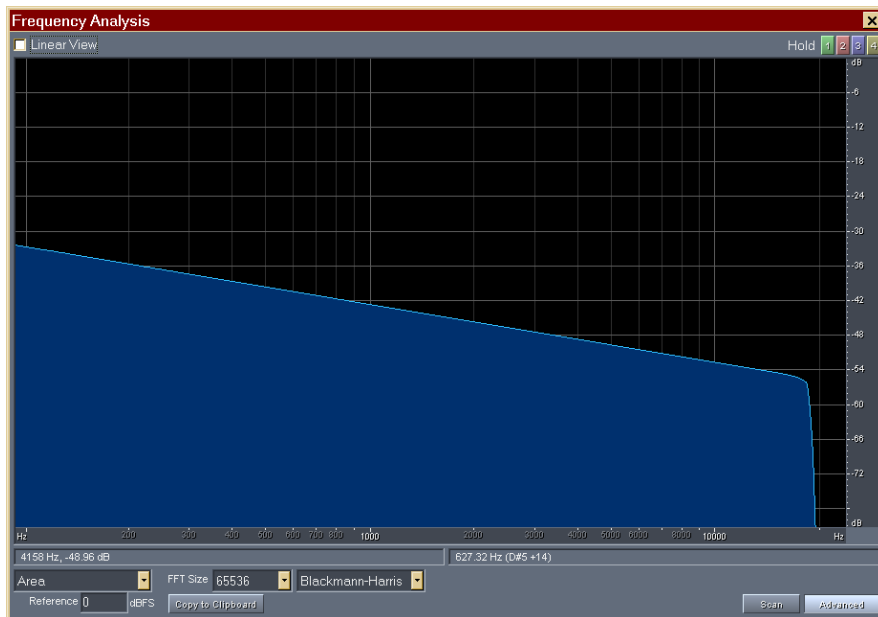
Deconvoluzione della risposta all'impulso



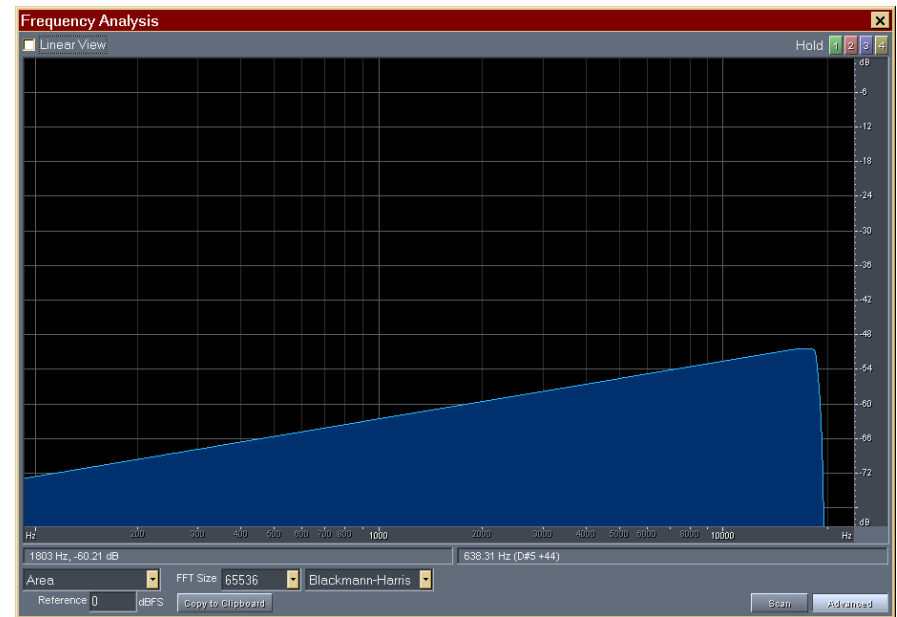
La deconvoluzione viene ottenuta convolvendo il segnale misurato $y(t)$ con un opportuno filtro inverso $z(t)$

Filtro Inverso

Il filtro inverso non è altro che il segnale sweep usato per la misura, invertito nel tempo (time reversal). Poichè il segnale sweep logaritmico non ha uno spettro piatto, ma decrescente con la frequenza, occorre equalizzare il segnale invertito nel tempo in modo da avere una pendenza spettrale inversa.



Test Signal $x(t)$



Inverse Filter $z(t)$

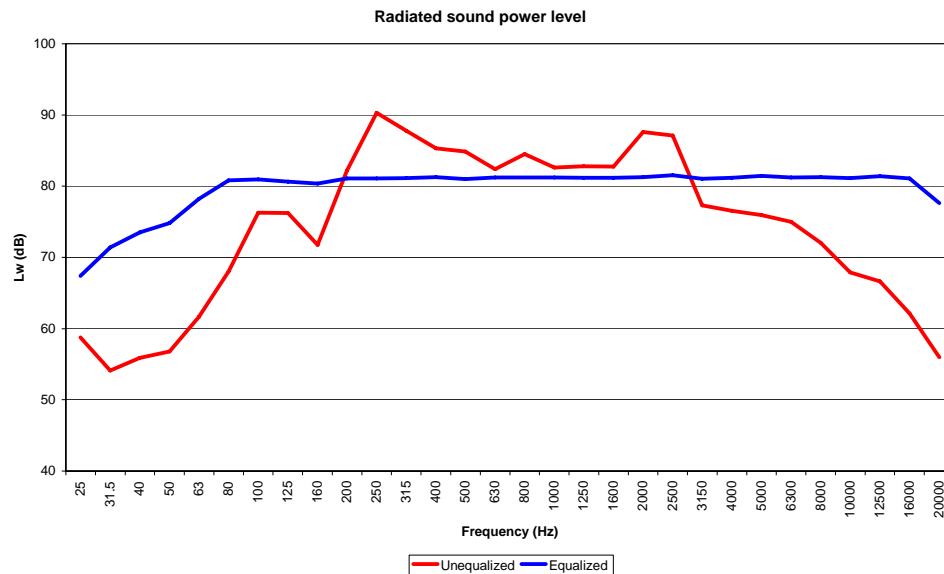
Risultato della deconvoluzione



The last impulse response is the linear one, the preceding are the harmonic distortion products of various orders

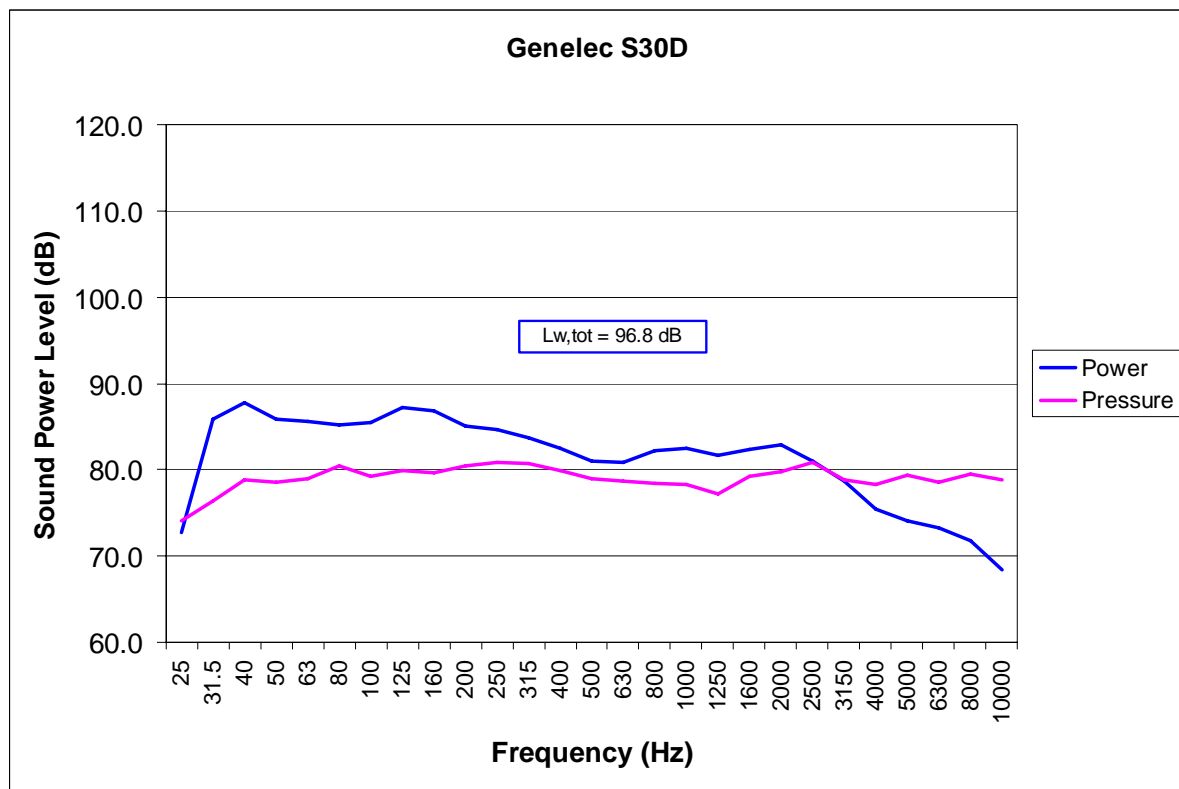
Apparecchiatura (sorgente omnidirezionale)

- Sorgente sonora equalizzata:
 - dodecaedro
 - subwoofer



Apparecchiatura (sorg. direttiva)

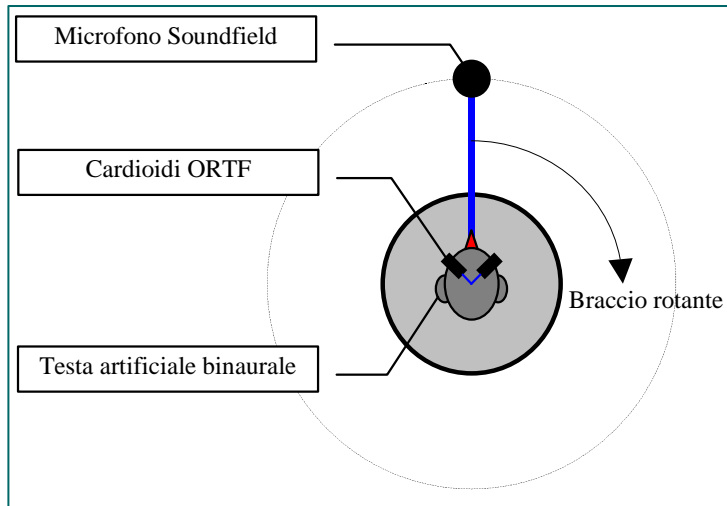
- Genelec S30D reference studio monitor:
 - Three-ways, active multi-amped, AES/EBU
 - Frequency range 37 Hz – 44 kHz (+/- 3 dB)



Metodo di misura

○ Microfoni:

- Testa artificiale binaurale (Neumann KU-100)
- Microfoni a cardioide ORTF (Neumann K-140)
- Microfono pressione-velocità B-Format 4 canali (Soundfield ST-250)



Apparecchiature

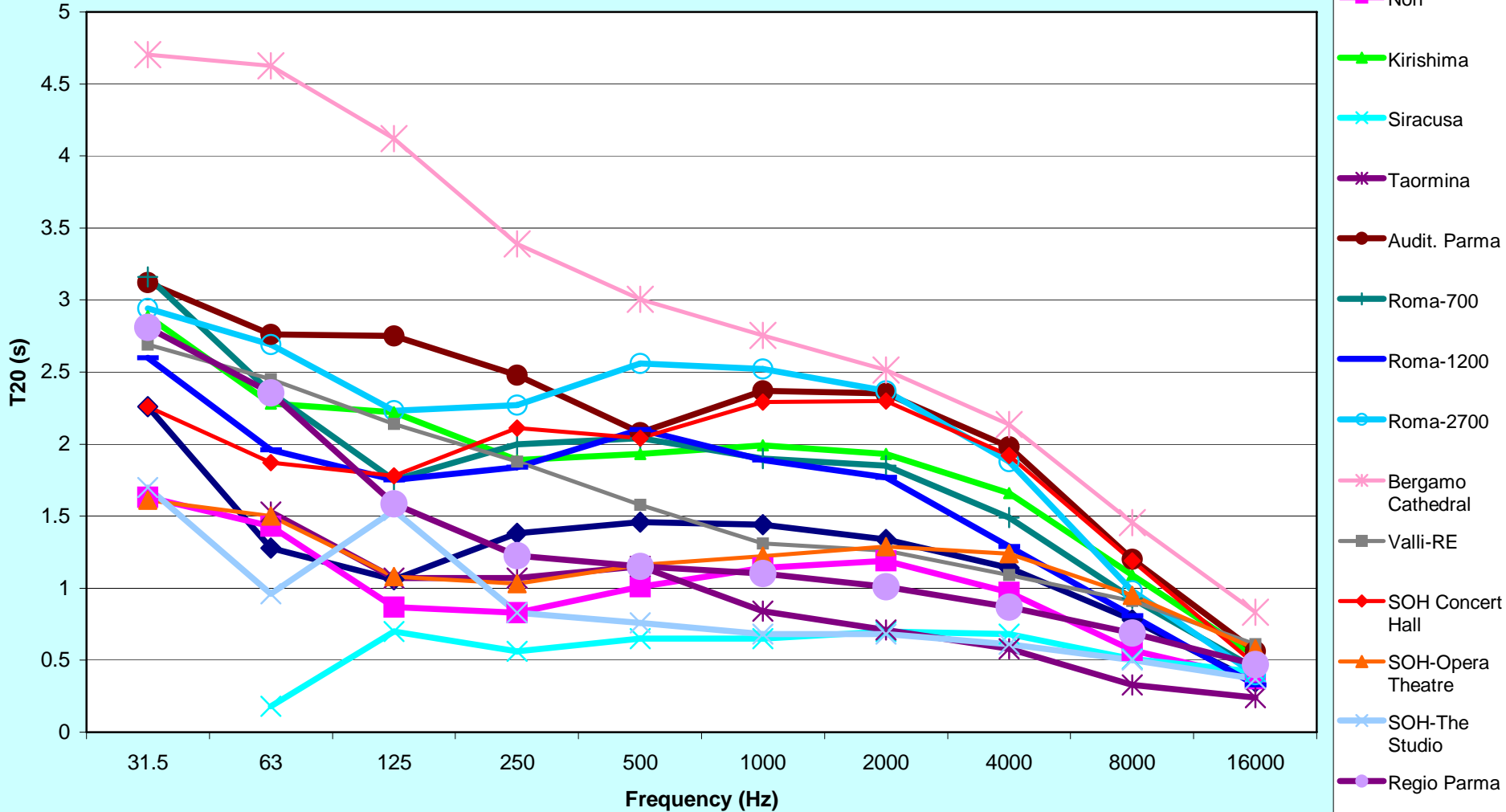
- Piatto rotante:
 - Outline ET-1



- Computer e scheda audio:
 - Signum Data Futureclient P-IV 1.8 GHz
 - Aardvark Pro Q-10, 96 kHz – 24 bits, 8 ch.

Teatri misurati

Reverberation Time T20



Teatri misurati



Uhara



Noh



Kirishima



Siracusa



Taormina



Parma



Roma 700



Roma 1200



Roma 2800



Bergamo



Sydney Opera



Sydney Concert



Sydney Studio



Teatro Valli RE

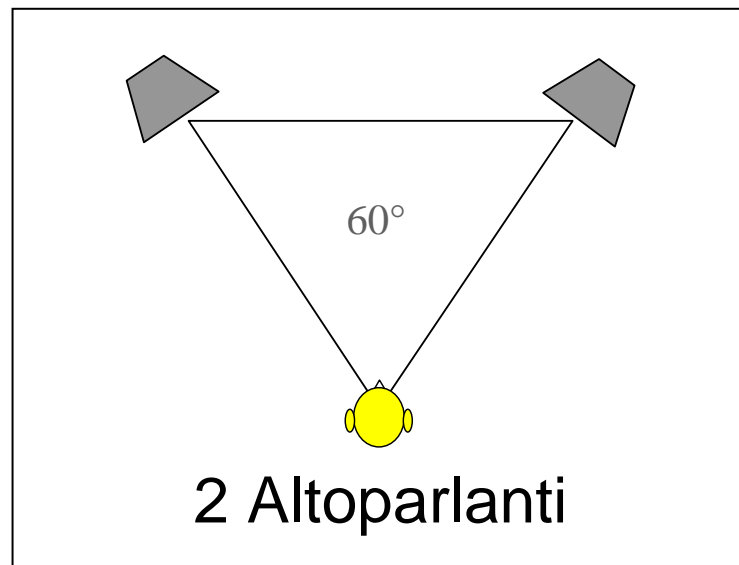
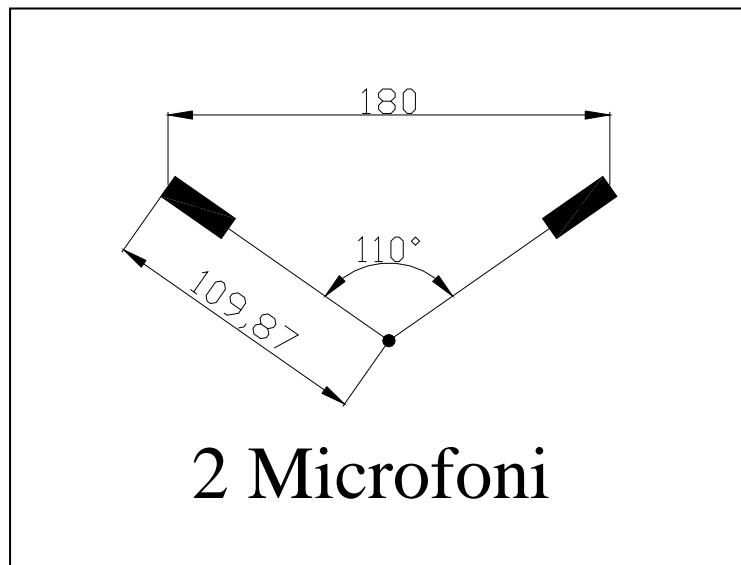


Teatro Regio PR

Possibili metodiche di Auralizzazione

- Stereo ORTF su 2 altoparlanti standard
- Binaurale in cuffia
- Binaurale su altoparlanti (Stereo-Dipolo)
- Metodo B-format (Ambisonics 1° ordine)
- Surround secondo standard ITU 5.1 canali
- Wave Field Synthesis (array di altoparlanti)
- Metodi ibridi (Ambiophonics)

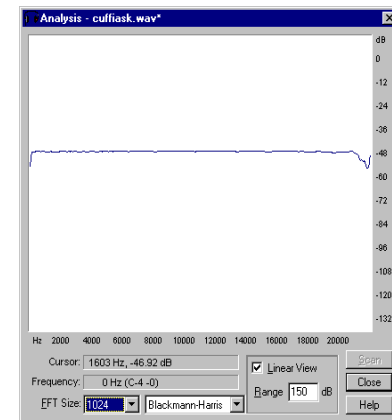
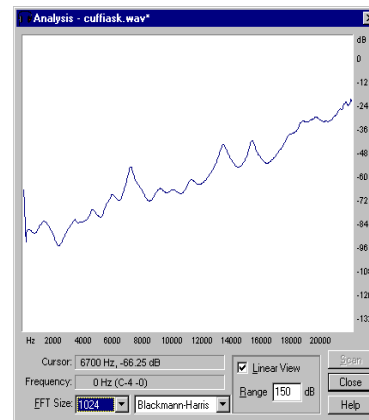
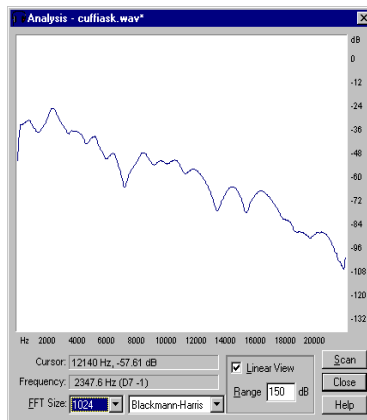
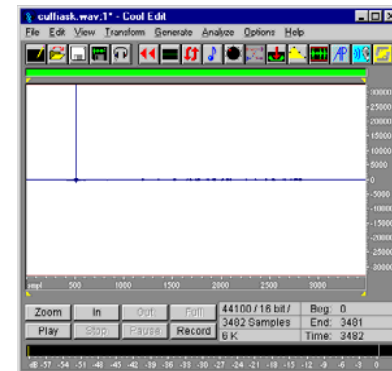
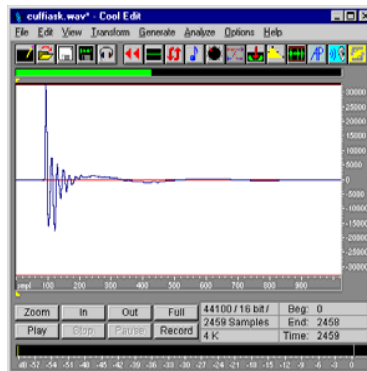
ORTF Stereo



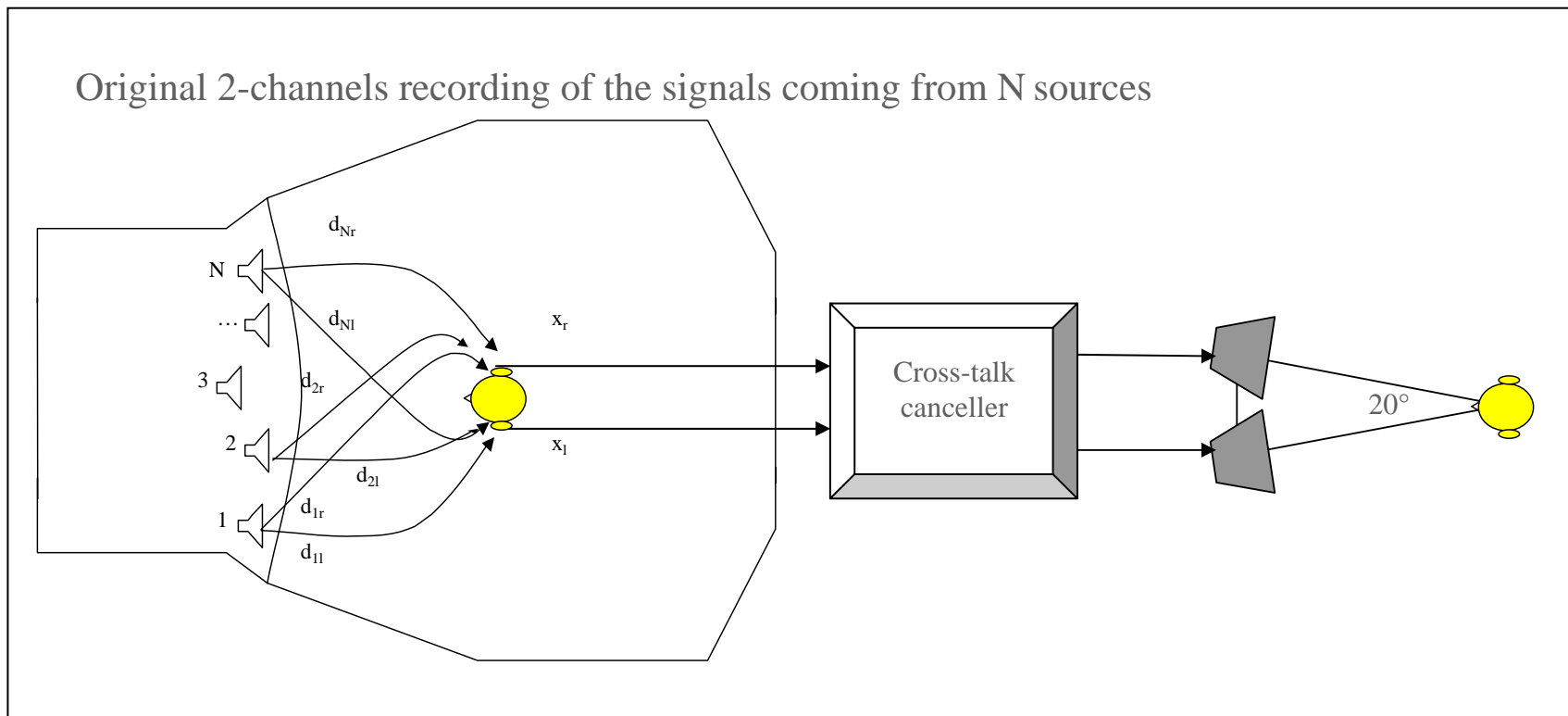
- La riproduzione avviene su due altoparlanti posti a $\pm 30^\circ$, ciascuno alimentato dal segnale del corrispondente microfono

Cuffia stereofonica

- E' necessario che la risposta della cuffia venga equalizzata digitalmente, onde garantire la corretta risposta in modulo/fase



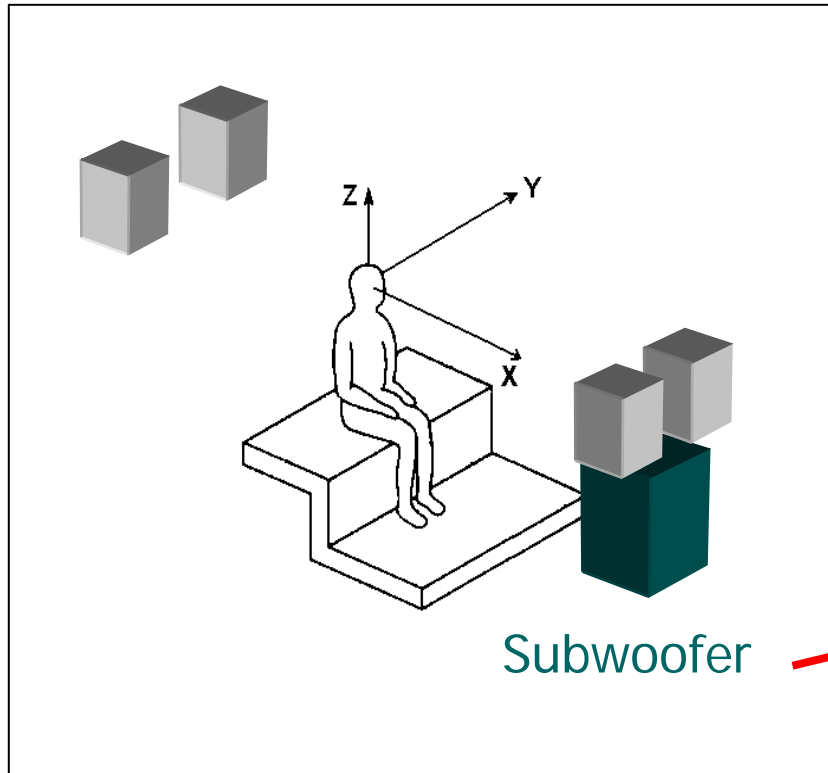
Binaural (Stereo Dipole)



- La riproduzione avviene su due altoparlanti posti a $\pm 10^\circ$, alimentati attraverso un sistema digitale di cancellazione del "cross-talk"

Binaural (Dual Stereo Dipole)

Schema



vantaggi:

- Riproduzione sonora 3D
- I filtri di cross-talk cancellation equalizzano gli altoparlanti

svantaggi:

- ~~Poche basse frequenze~~
- Colorazione fuori dallo "sweet spot"

Binaural (Dual Stereo Dipole)

Frontal



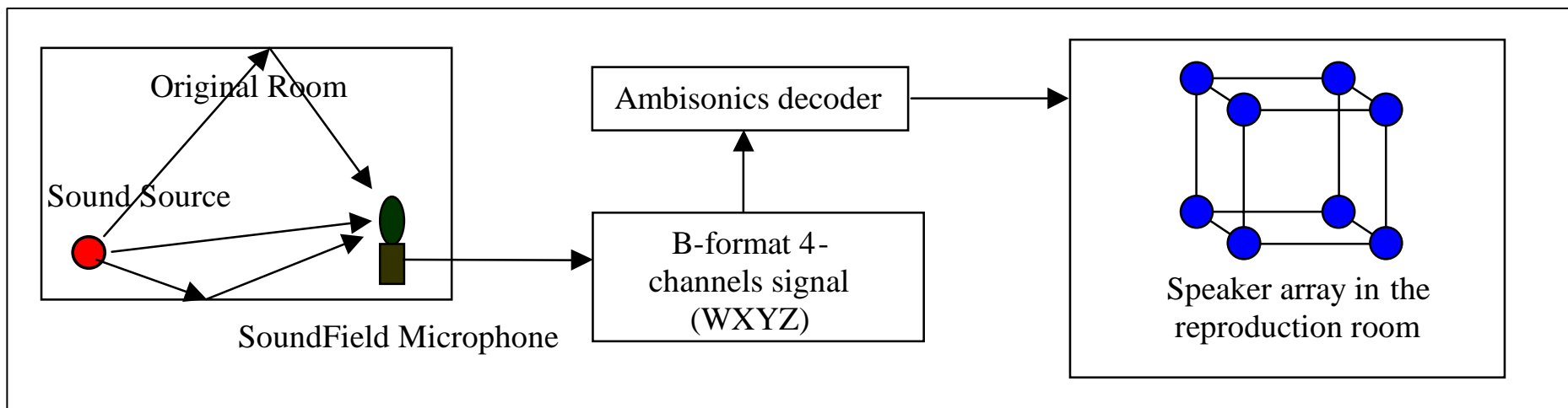
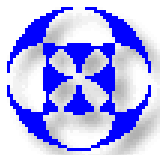
Quested 2108 monitors

Rear



Quested F11P monitors

Ambisonics 3D



- La riproduzione avviene su un array di 8-24 altoparlanti, attraverso un "decoder" Ambisonics

The Soundfield microphone

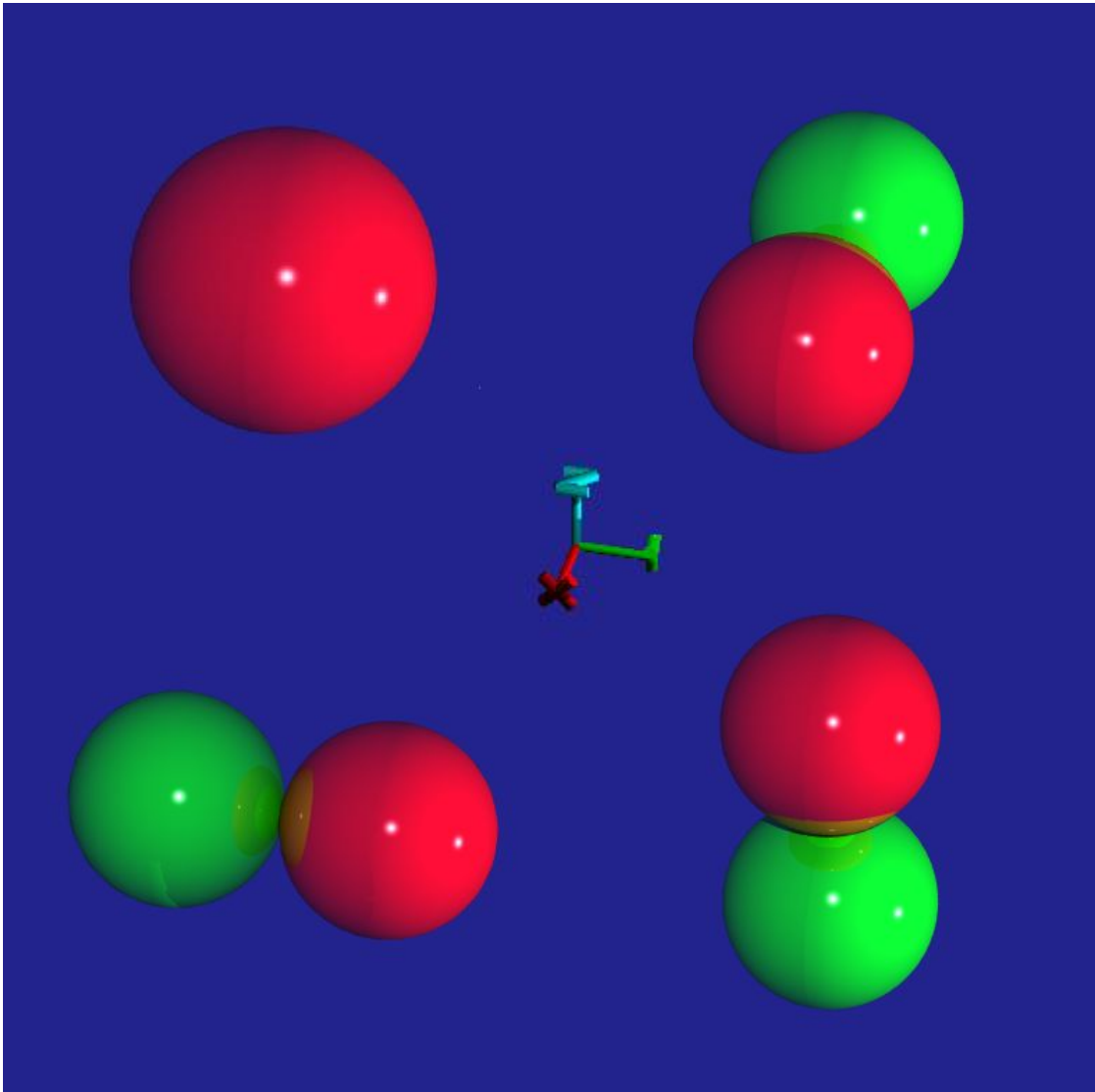


- This microphone is equipped with 4 subcardioid capsules, placed on the faces of a tetrahedron
- The signals are analogically processed in its own special control box, which derives 4 “B-format” signals
- These signals are:

- W : omnidirectional
- X,Y,Z : the three figure-of-eight microphones aligned with the ISO cartesian reference system

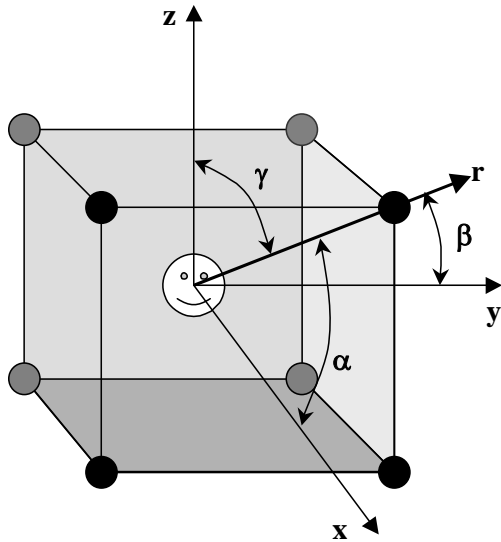


B-format components



- Physically, W is a signal proportional to the pressure, XYZ are signals proportional to the three Cartesian components of the particle velocity
- when a sound wave impinges over the microphone from the “negative” direction of the x -axis, the signal on the X output will have polarity reversed with respect to the W signal

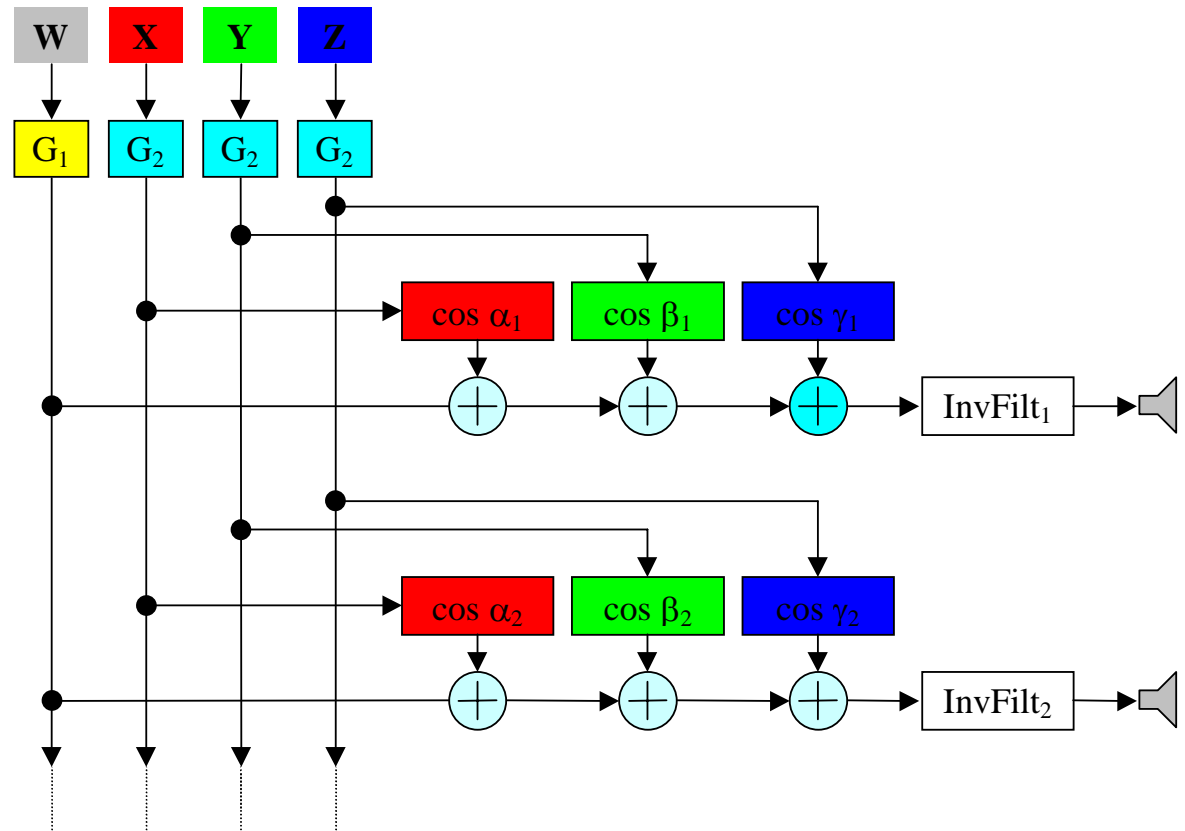
Ambisonics decoding



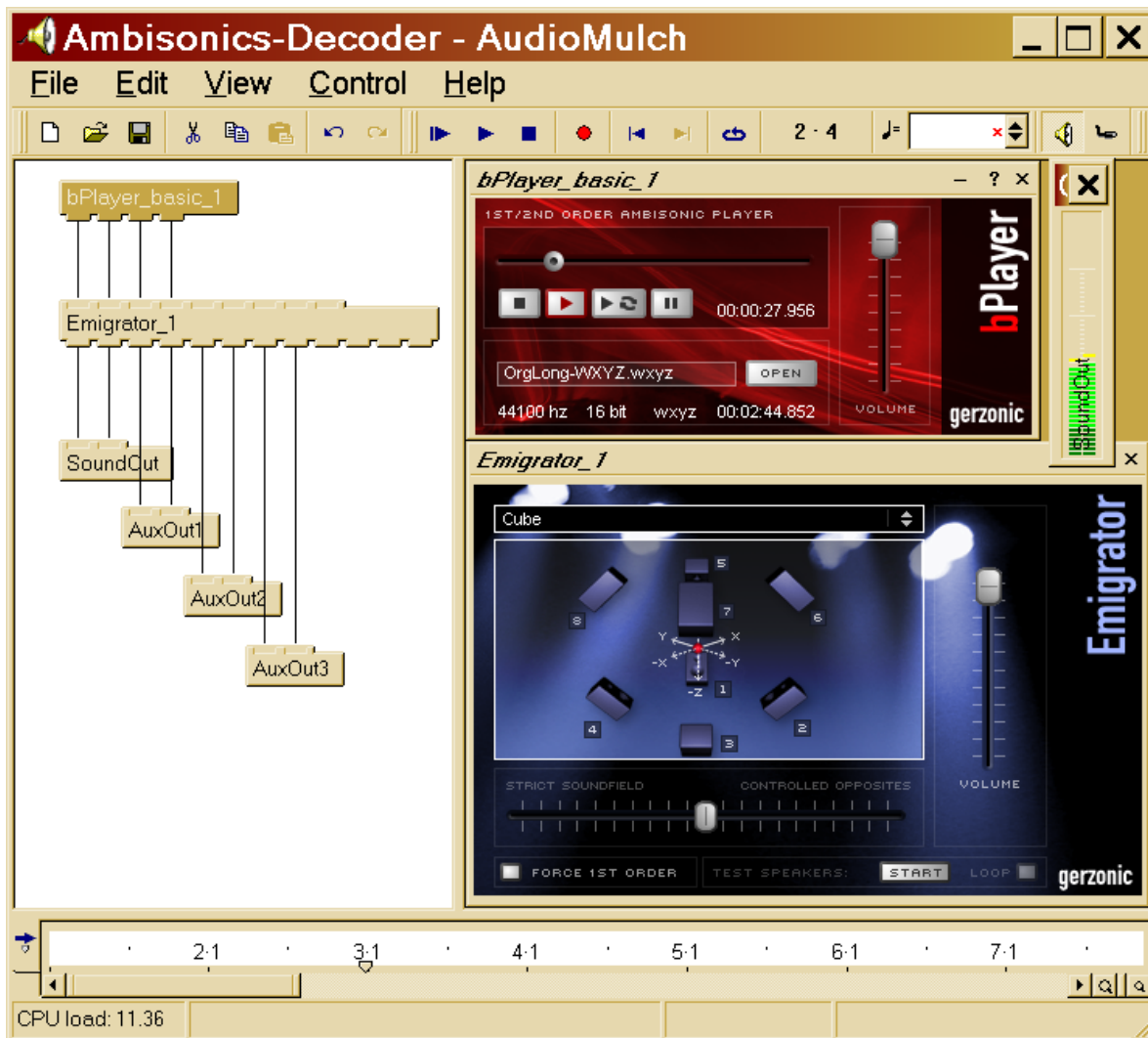
$$F_i = \frac{1}{2} \cdot [G_1 \cdot W + G_2 \cdot (X \cdot \cos(\alpha) + Y \cdot \cos(\beta) + Z \cdot \cos(\gamma))]$$

Each speaker feed is simply a weighted sum of the 4 B-format signals.

The weighting coefficients are computed by the cosines of the angles between the loudspeaker and the three Cartesian axes



A software Ambisonics decoder



Audiomulch VST
host

Gerzonic bPlayer

Gerzonic Emigrator

Sale Ambisonics 3D

ASK – Reggio Emilia



University of Ferrara



University of Bologna

ITU 5.1 surround

○ Williams MMA

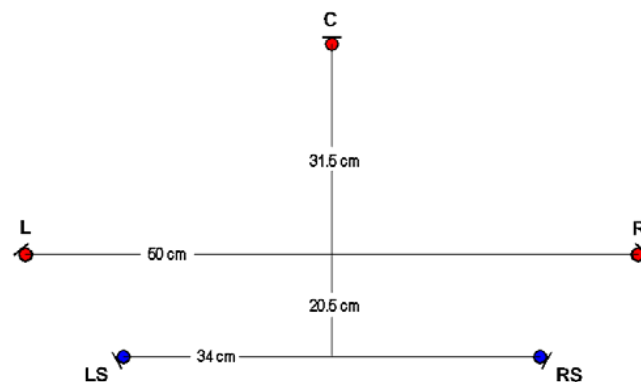
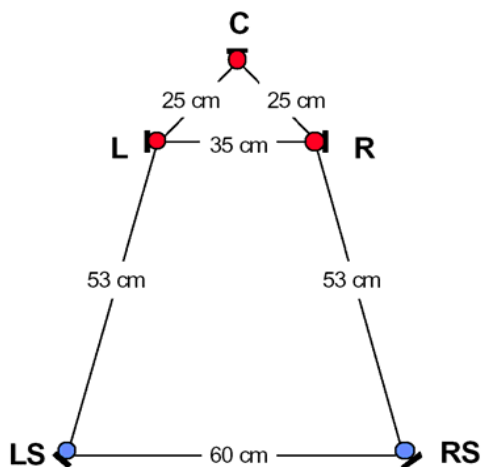
Schema del sistema microfonico

Williams MMA

C : Cardioide, 0°

L, R : Cardioide, $\pm 40^\circ$

LS, RS : Cardioide, $\pm 120^\circ$



● INA-5

Schema del sistema microfonico

INA-5

C : Cardioide, 0°

L, R : Cardioide, $\pm 90^\circ$

LS, RS : Cardioide, $\pm 150^\circ$

ITU 5.1 surround

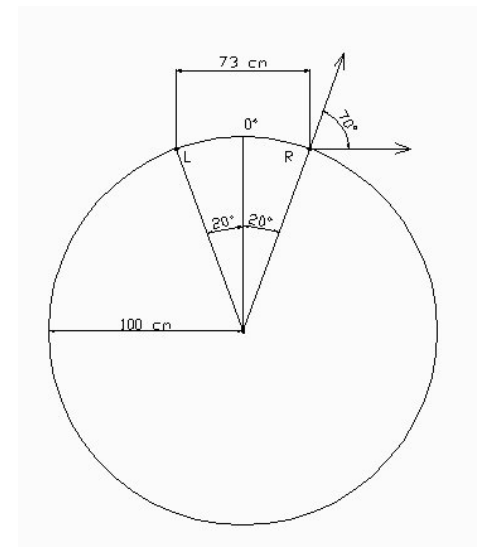
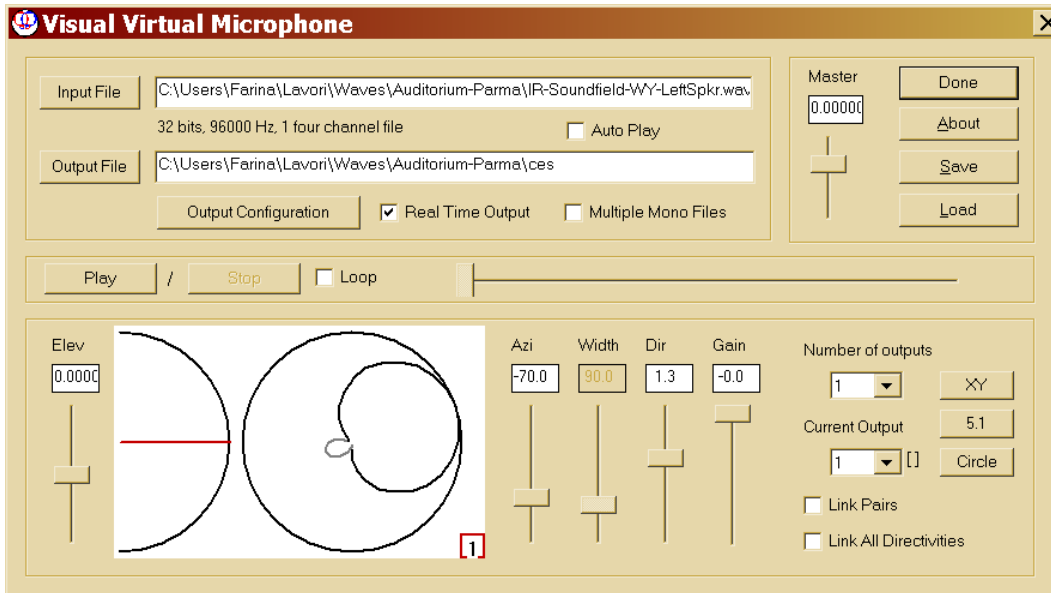
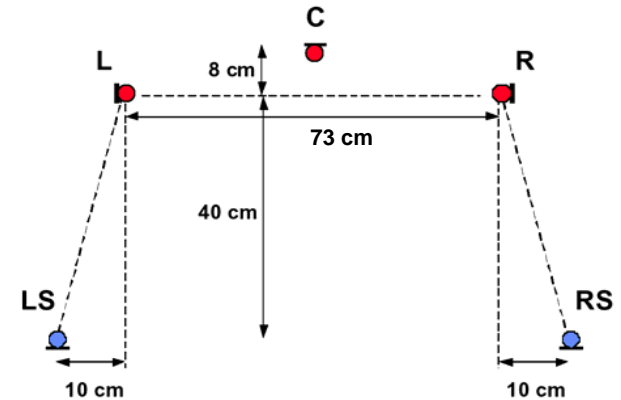
○ OCT

Schema del sistema microfonico OCT

C : Cardioide, 0°

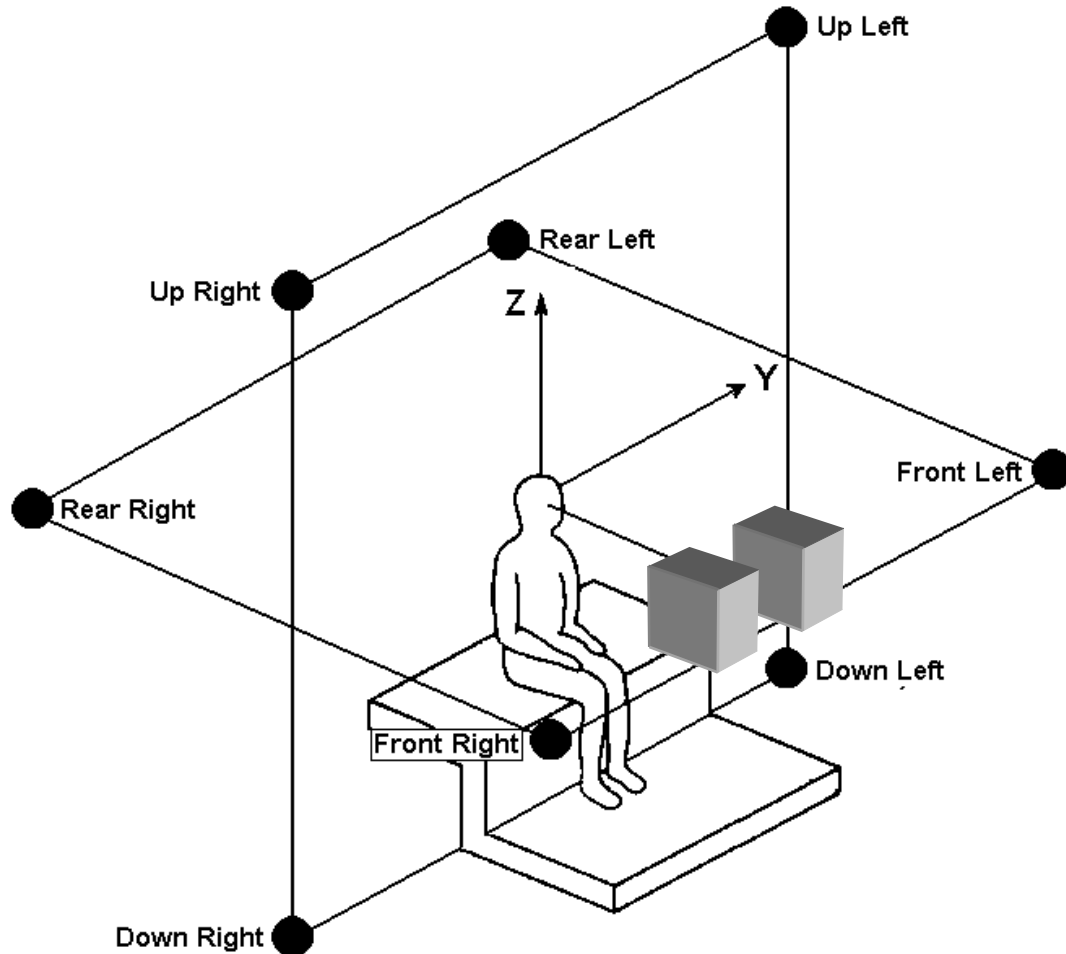
L, R : Super Cardioide, $\pm 90^\circ$

LS, RS : Cardioide, $\pm 180^\circ$



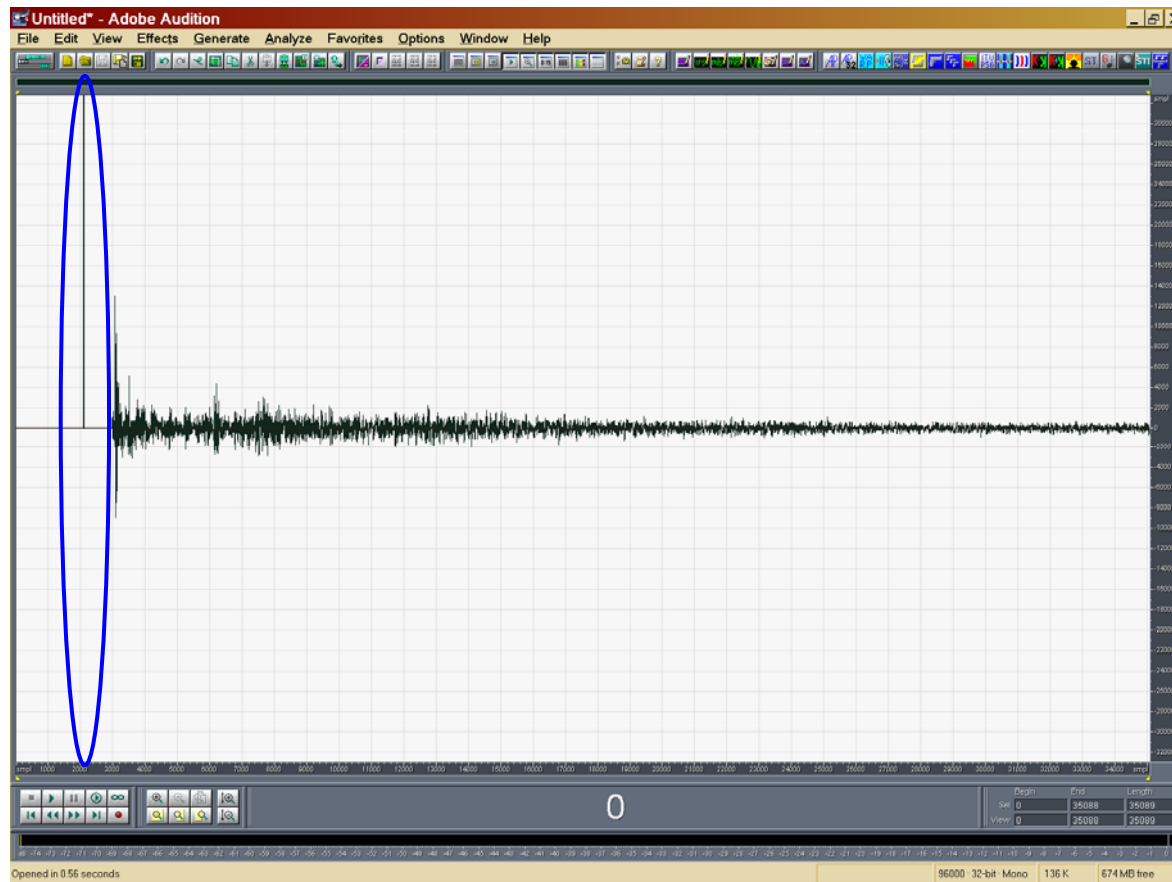
Metodi ibridi (Ambiophonics)

- Sistema Ambiophonics 3D (10 altoparlanti):

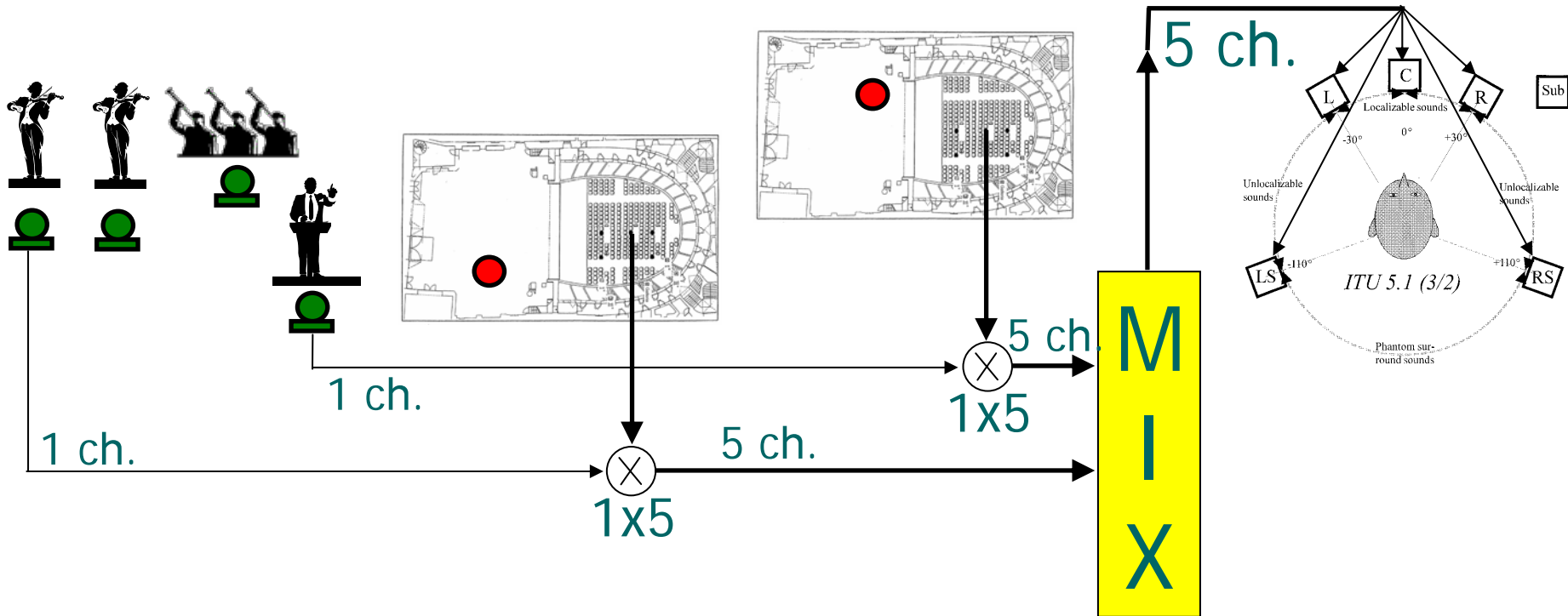


Auralizzazione o riverbero artificiale?

- Nel "full reverbization" artificiale, il diretto sound (misurato) si sostituisce un picco ideale (funzione Delta di Dirac)

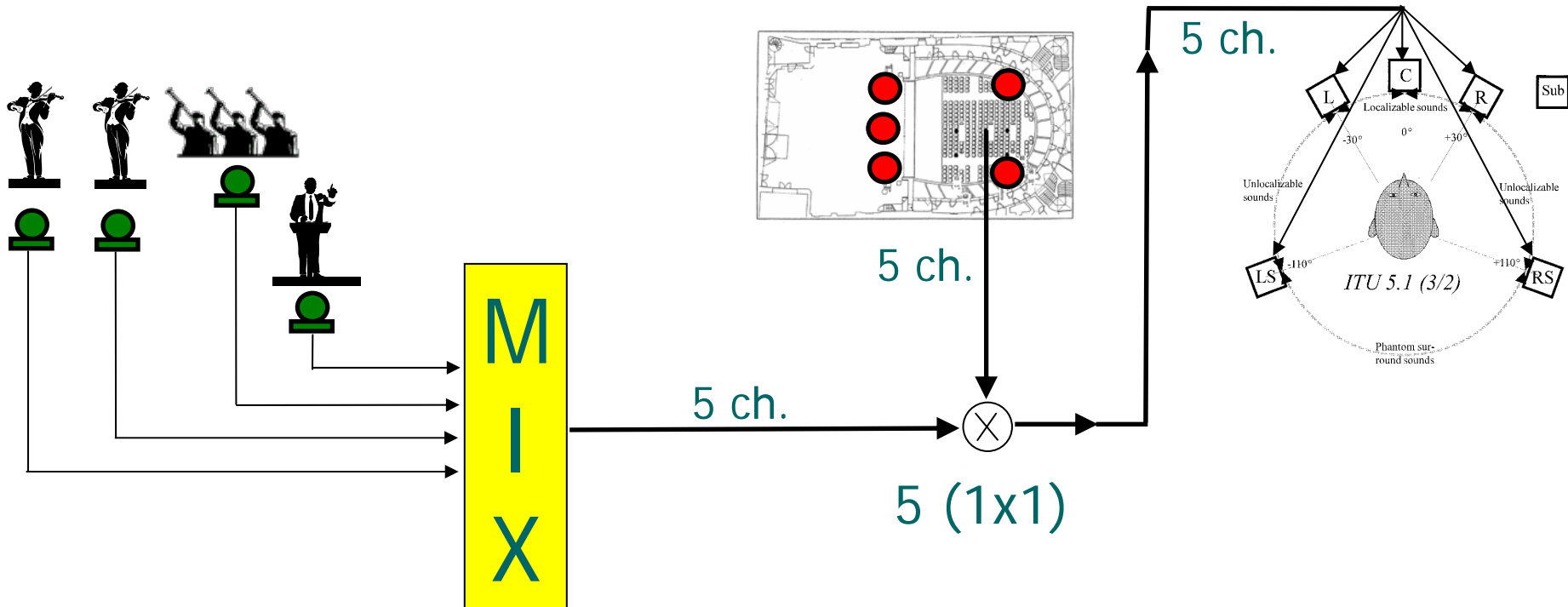


Auralizzazione di una intera orchestra



- Ciascuna traccia "asciutta" rappresenta una distinta sorgente sonora, che viene convoluta con l'appropriato set di risposte impulsive

Auralizzazione di un "mix" 5-canali asciutto



- L'effetto dell'ambiente è un unico set di filtri, applicato ad un segnale asciutto a 5 canali risultante dal mix

Software

- “plugins” Aurora per Adobe Audition

Generate Sine Sweep [X]

Sweep

Start Frequency (Hz)

End Frequency (Hz)

Duration (s or samples)

Amplitude

Linear Sweep Log Sweep

Fade-in and Fade-out duration

Fade-in (s or

Fade-out (s or

Silence

Duration (s or samples)

Repetitions

N. of cycles

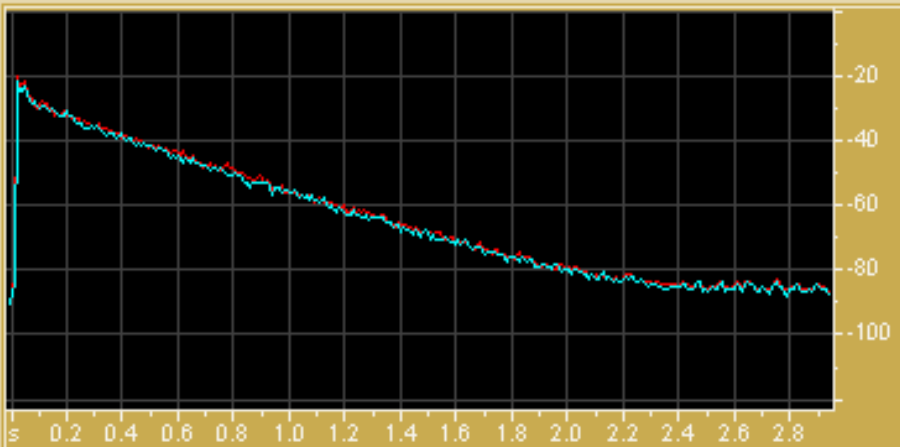
Generate control pulses on right channel

Generate inverse filter on right channel (time reverse)

User:

Reg. key:

Convolve with clipboard [X]



bypass

Autorange

Full autorange & RemoveDC (2 passes)

First Block autorange Gain (dB):

Advanced Options

TimeReverse Impulse Response

Preserve Length Preserve 16th bit

Info

Audio Data: 44100 Hz/16 Bits/Stereo/659928 Samples

Impulse Resp. 44100 Hz/16 Bits/Stereo/129080 Samples

FFT Size: 262144 Samples

Channels to convolve

Audio Data Left Right Both

Impulse Resp. Left Right Both

Crosstalk Cancel Mode

Impulse Response is 2x2

User:

Reg. key:

Software

- ~~Davies NRG Audio's Virtual Acoustic M (Emulator, Standard)~~

DirectX PlugIn - Waves IR1 Efficient

Factory Preset: Kirishima Concert Hall (Row 10)

IR-1 Undo A: Custom IR- IR_PR-Aud_ORTF_Pt1L A->B Load Save ? WAVES

Full CPU Reverse Bypass Gain Envelope Clear R 1.00 F 600 R 1.00 F 2500

Name: IR_PR-Aud_ORTF_Pt1L
SR: 44100Hz
Full Path: C:\Users\Farina\AppData\Local\Waves\IR-1\IR_PR-Aud_ORTF_Pt1L.wav

	Original	Current
Convolution:	3.00s	3.00s
RT60:	2.2s	2.2s
Channels:	2	2
Size:		
Distance:		

0.000Sec 2.000Sec Zoom + Reset

Damping

Equalizer

	16	62	250	1k	4k	16k
G	0.0	0.0	0.0	0.0		
F	100	301	1200	5005		
Q	1.00	1.28	1.64	1.00		

Reverb Time: Convolution Full, RT60 2.2s, Ratio 1.00

Size 1.00, Density 1.00, Reso 1.00, Decorr 0

Latency: Wet 11ms, Dry 0.0ms, Crosstalk 0.0, ER|TR-X 0ms

Dry/Wet 100

Direct 0.0, Predelay 0.0, ER 0.0, Tail 0.0

Output: -13.4, -5.4

Poll for property updates
 Force 32-bit Samples

Presets Add Del

- 01-Uhara
- 02-Noh
- 03-Kirishima
- 04-Siracusa
- 05-Taormina
- 06-Parma_Auditorium
- 07-Roma_700
- 08-Roma_1200
- 09-Roma_2800
- 10-Bergamo_Cathedral
- 11-T_Valli_Reggio_E
- 12-SOH_Opera_Theatre
- 13-SOH_Concert_Hall
- 14-SOH_The_Studio
- 15-T_Regio_Parma

Bypass

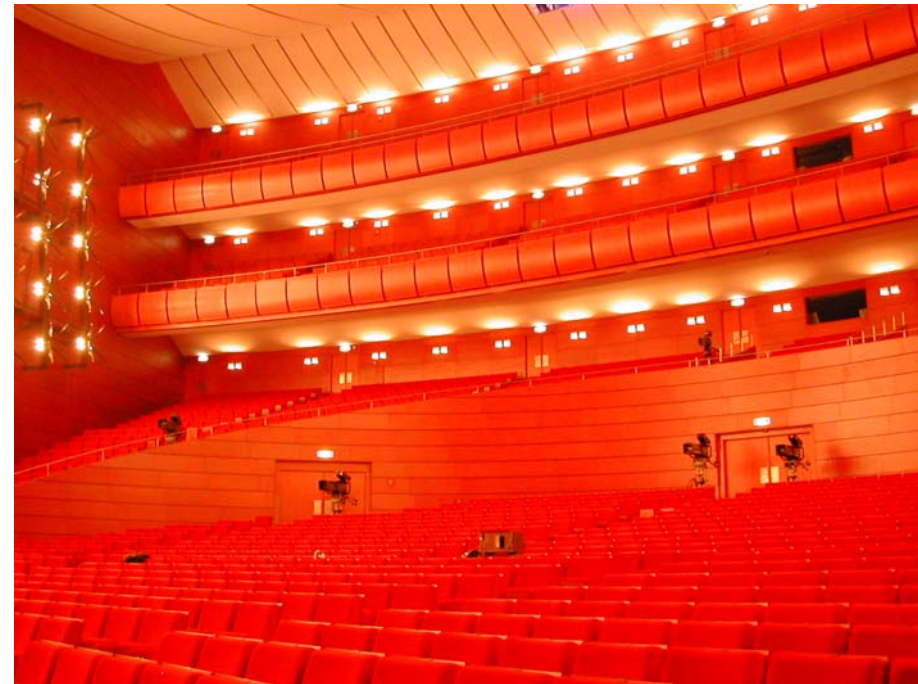
Stop Cancel

Close OK

Ascolto n. 1 – Teatro degli Arcimboldi - Mozart



- Platea, con pannelli



- Platea, senza pannelli

Ascolto n. 2 – Confronto Parigi - Parma



- Cité de la Musique, Parigi



- Auditorium di Parma

Conclusioni e sviluppi futuri

- La tecnologia della convoluzione con la risposta acustica di teatri famosi è attualmente lo stato dell'arte nel campo del riverbero digitale per gli studi di registrazione.
- Recentemente si è passati dal semplice riverbero (effetto temporale) alla creazione dell'ambiente surround (effetto spaziale) – plugin IR-360
- Il continuo incremento di velocità dei computer consente ora la convoluzione multicanale in tempo reale a bassa latenza: questo apre la porta ad applicazioni "live" per concerti all'aperto, ricreando l'acustica di una sala da concerto in piazze, stadi e teatri all'aperto.

Link Internet

- [HTTP://www.angelofarina.it](http://www.angelofarina.it)
- [HTTP://www.aurora-plugins.it](http://www.aurora-plugins.it)
- [HTTP://www.acoustics.net](http://www.acoustics.net)