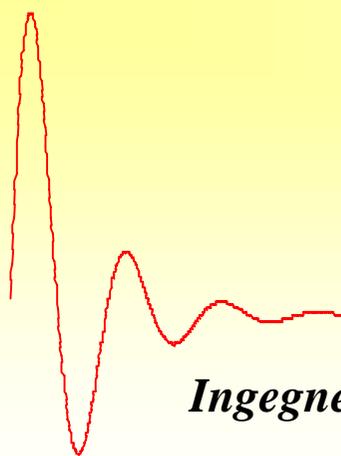


Criteria di progettazione acustica di una sala prova orchestra

Raffaele Pisani - Studio di ingegneria acustica Pisani, Rivoli (TO)

Paolo Onali – Studio di ingegneria acustica Pisani, Rivoli (TO)



Pisani
*Studio di
Ingegneria Acustica*

***via Cavalieri di Vittorio Veneto, 8
10098 Rivoli (TO)***

Allestimento della sala prova orchestra con pannelli chiusi



Parete alle spalle del Direttore d'Orchestra



Allestimento con pannelli aperti



Sala prova orchestra

Auditorium

Volume	1100 m³	6700 m³
Num. orchestrali	90	110
Volume per persona	12,2 m³	9,8 m³
Superficie disponibile per orchestra	150 m²	240 m²
Volume per musicista	13,2 m³	61 m³
Tempo di riverberazione medio	0,5 s	1,6 s
Raggio della sala	2,8 m	4,3 m

Criteri generali di progettazione

- **Le dimensioni ottimali**

volume per persona 16 m^3

superficie per persona $1,9 \text{ m}^2$

- **I parametri ottimali**

non definiti da norme per sala prove orchestra

✓ **Tempo di riverberazione** $T_{30} = 0,5 \text{ s}$

✓ **Guadagno o rinforzo** $G = 5 \text{ dB}$

✓ **Early Support** (*qualità per assieme*) $ST_{\text{Early}} = 8,0 \text{ dB}$

✓ **Late Support** (*riverb. percepita*) $ST_{\text{Late}} = 13,0 \text{ dB}$

Come progettare?

Utilizzo della sala

Preparazione dei concerti

Attività di lettura

Prove generali

Requisiti Acustici

Ottimo ascolto reciproco

Riduzione dell'esposizione al suono

Potere discriminante per il Direttore

Prova d'orchestra



Gli ambiti funzionali

Per i musicisti:

buone condizioni di ascolto reciproco;
non elevato livello del suono degli
strumenti vicini

**Condizioni di assieme
(Early Support)**

ST_{Early} (dB)

Misurato ST_{Early} = 8,3 dB



Per il Direttore d'orchestra:

percepire tutti gli strumenti anche con
elevato volume di suono in sala

**Percezione di spazialità
(Apparent Source Width)**

IACC_{t1=0, t2=80 ms}

Misurato IACC_{0,80} = 0,49



Il Direttore deve percepire ciascuno strumento musicale nei giusti rapporti timbrici, di intensità e di tempo

Il suono del contrabbasso è percepito in un insieme di suoni dell'orchestra che possiamo considerare rumore di ambiente, esclusivamente per la percezione del singolo strumento.



Le richieste del Direttore d'Orchestra

- ✓ *Percezione spaziale della posizione dei musicisti*
- ✓ *Separazione nella percezione dei singoli strumenti*
- ✓ *Aiuto alla facoltà di sopprimere percettivamente suoni di non interesse*

L'aiuto è fornito da

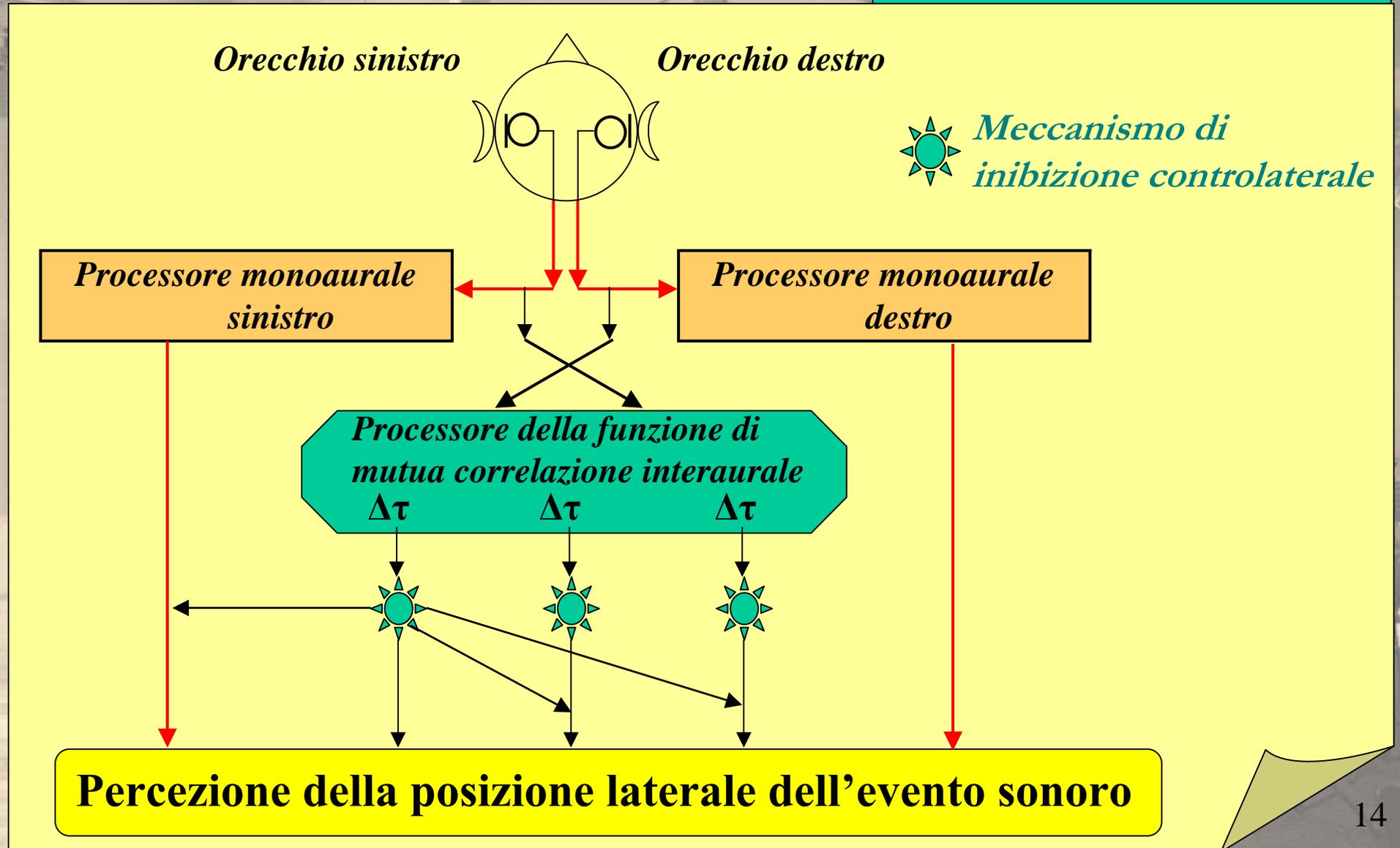
L'ascolto binaurale
La conoscenza dello spartito

Le richieste del Direttore d'Orchestra trovano riscontro nelle proprietà dell'ascolto binaurale in quanto:

- migliora la localizzazione dei singoli strumenti (*azimut, elevazione, distanza*)
- separa i segnali sonori emessi contemporaneamente anche in virtù della loro localizzazione spaziale
- riduce la percezione degli effetti di disturbo quali *la riverberazione, le riflessioni delle pareti e del soffitto, etc.*

Può un modello che simuli l'ascolto binaurale fornire elementi utili per il progetto?

Modello Jeffress - Lindemann



Le prove di acustica con la testa artificiale normalmente si eseguono determinando la risposta all'impulso binaurale



SISTEMA DI MISURA DEI PARAMETRI ACUSTICI dalla determinazione della risposta all'impulso secondo ISO 3382 - 1

- Microfono con diagramma di radiazione commutabile da omnidirezionale a figura di OTTO per la misura della frazione di energia laterale LF (0 – 80 ms)

- Testa artificiale normalizzata ITU P.58



La testa artificiale utilizzata per la registrazione della prova d'orchestra

Per le indagini proposte si utilizzano esclusivamente segnali musicali registrati durante tre distinte prove con i Maestri Cobos, Riccardo Muti e Zubin Metha



*Preparazione per la prova d'orchestra e le registrazioni binaurali in
prossimità del podio del Direttore d'Orchestra*

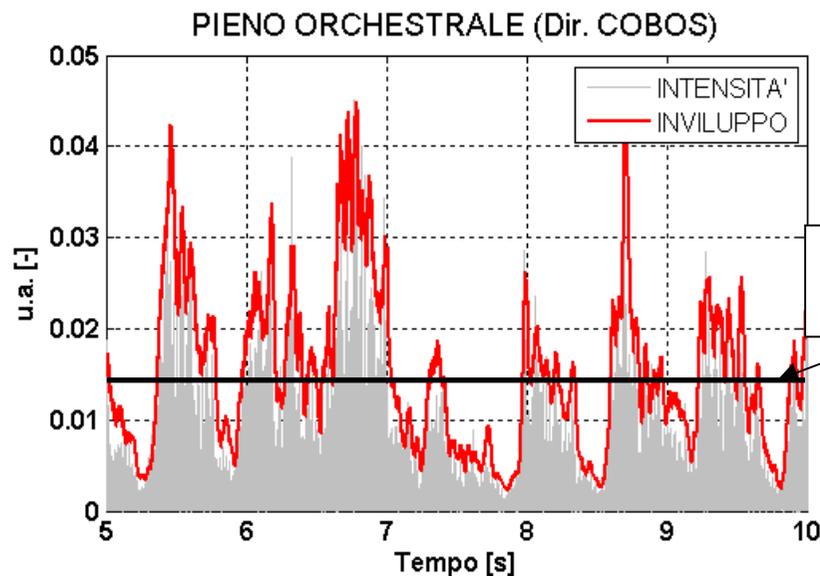


Intelligibilità Musicale : è dedotta per analogia con l'intelligibilità della voce che porta alla determinazione dell'indice STI

Calcolo del livello di modulazione m

Si calcola il livello di modulazione del segnale ricevuto dalle due orecchie mediante l'analisi dell'involuppo dell'intensità del segnale. Le frequenze della modulante per segnali musicali sono comprese tra 0,63 Hz e 12,5 Hz.

Si calcola il valor medio della funzione m.



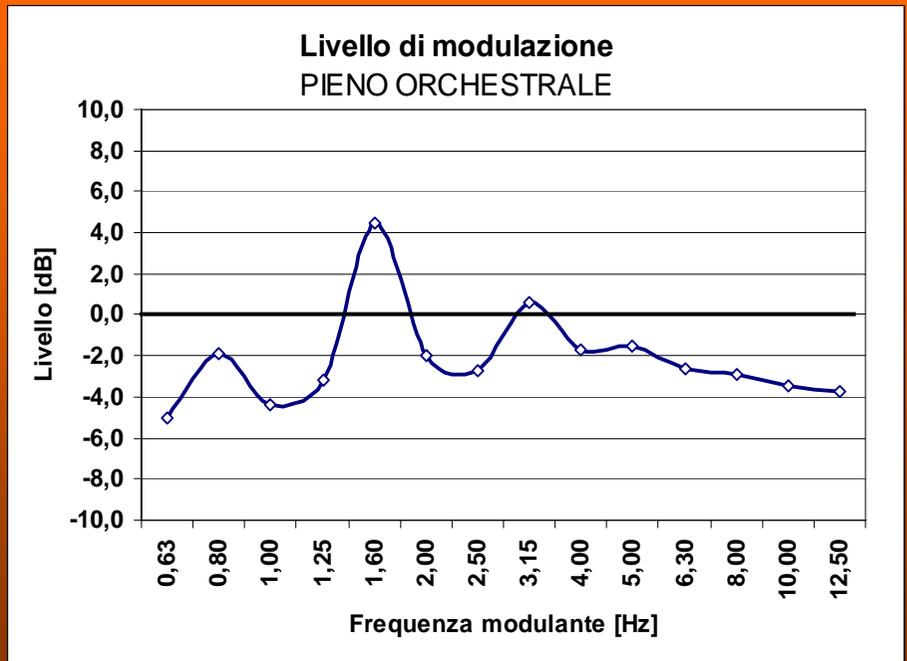
Fattore di modulazione

$$m(f, F) = \frac{\int_0^T p_F^2(f, t) \cdot dt}{\int_0^T p_{0,F}^2(f, t) \cdot dt}$$

Intelligibilità Musicale : si calcola determinando il livello di modulazione del segnale binaurale



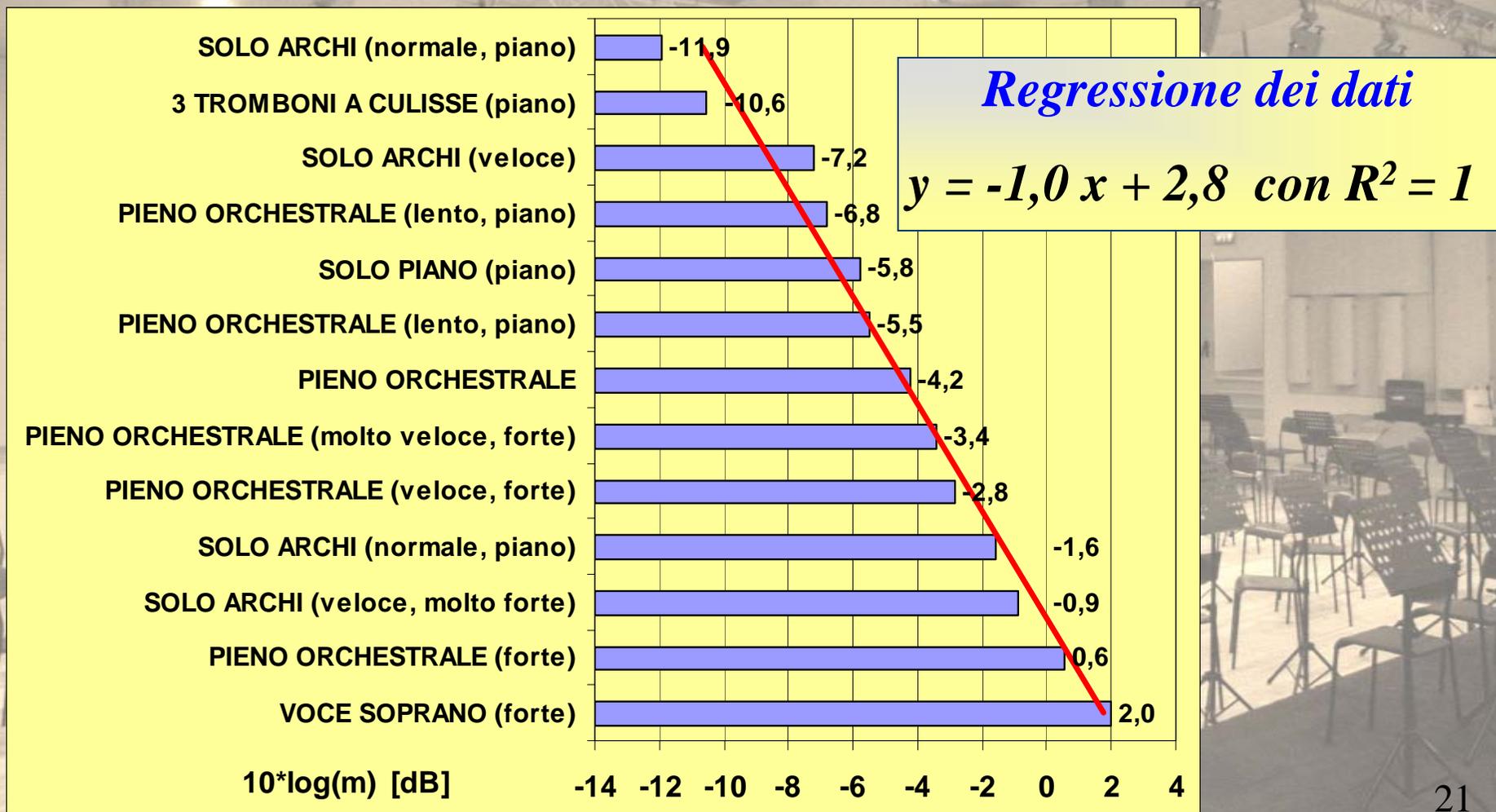
F[Hz]	f [Hz]						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0.63	-4.6	-8.1	-6.8	-3.1	-2.8	-8.1	-7.9
0.80	-7.5	-2.1	-2.7	-7.5	-4.9	-2.4	-1.2
1.00	-5.1	-3.3	-4.2	-2.6	-1.5	-6.4	-5.8
1.25	-6.9	-5.6	-7.7	-6.1	-5.1	-10.5	-5.3
1.60	-7.7	-1.2	-7.3	-7.7	-6.3	-3.6	-7.1
2.00	-4.2	-3.8	-5.4	-5.1	-7.2	-7.2	-5.4
2.50	-0.6	-3.6	-5.6	-7.1	-7.4	-6.8	-7.2
3.15	-1.7	-4.9	-6.5	-3.0	-6.6	-7.8	-8.8
4.00	-7.4	-3.2	-5.9	-3.1	-8.6	-8.2	-8.7
5.00	-7.2	-4.7	-5.4	-4.8	-3.8	-11.6	-11.4
6.30	-8.9	-7.4	-5.9	-4.4	-5.6	-12.8	-14.7
8.00	-7.5	-5.7	-7.4	-3.7	-5.3	-11.1	-14.0
10.00	-9.4	-6.4	-8.2	-4.5	-5.0	-9.7	-13.3
12.50	-4.8	-5.8	-7.5	-5.9	-5.2	-9.2	-14.9



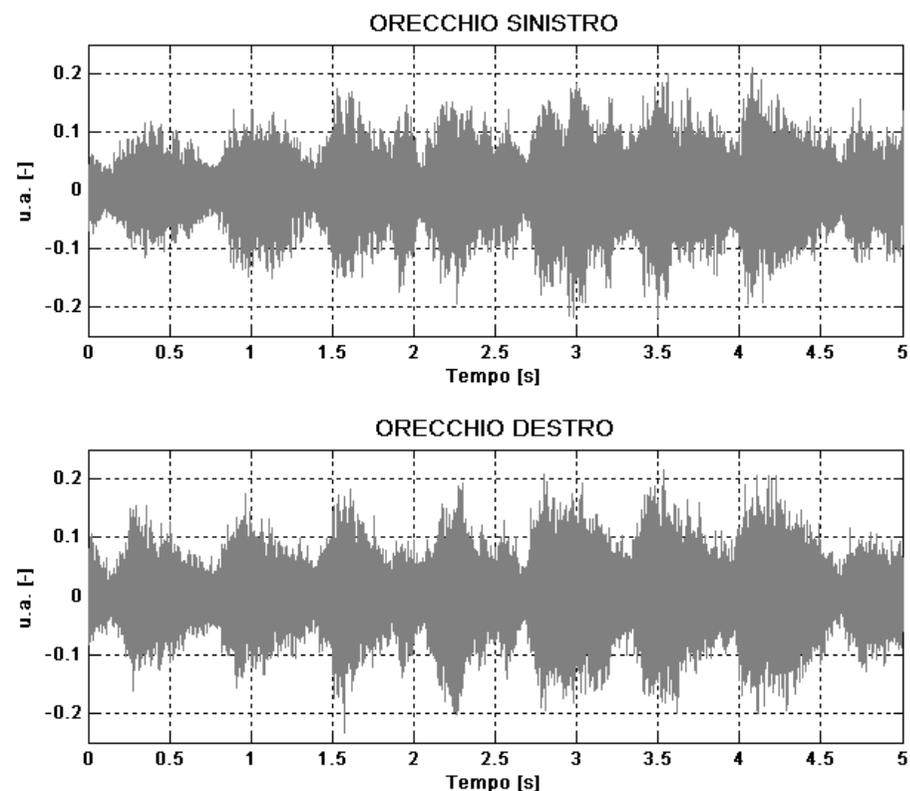
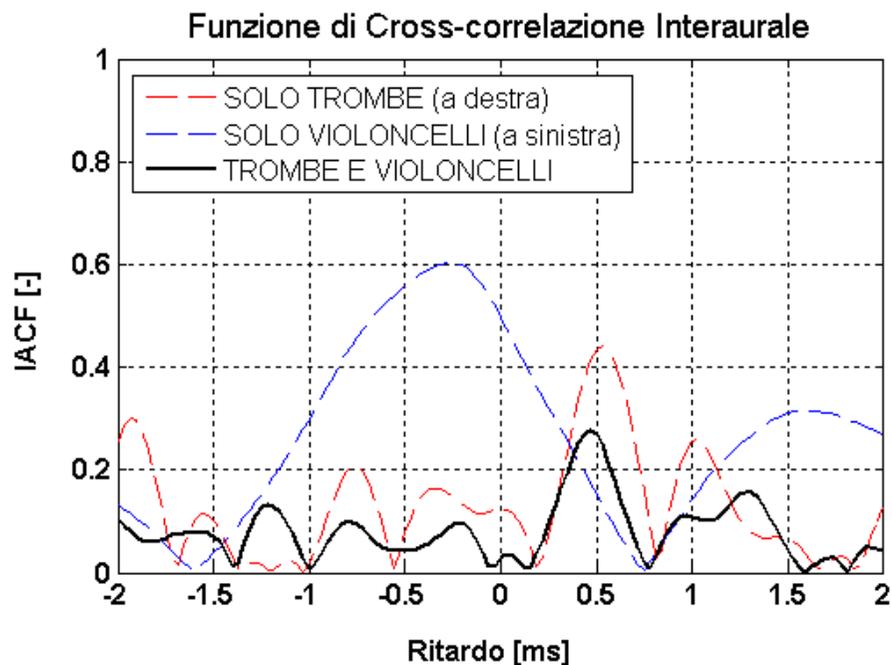
$$10 \cdot \log(m(f, F))$$

f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10log(m(f))	-5.2	-4.3	-5.9	-4.6	-5.0	-7.3	-7.2

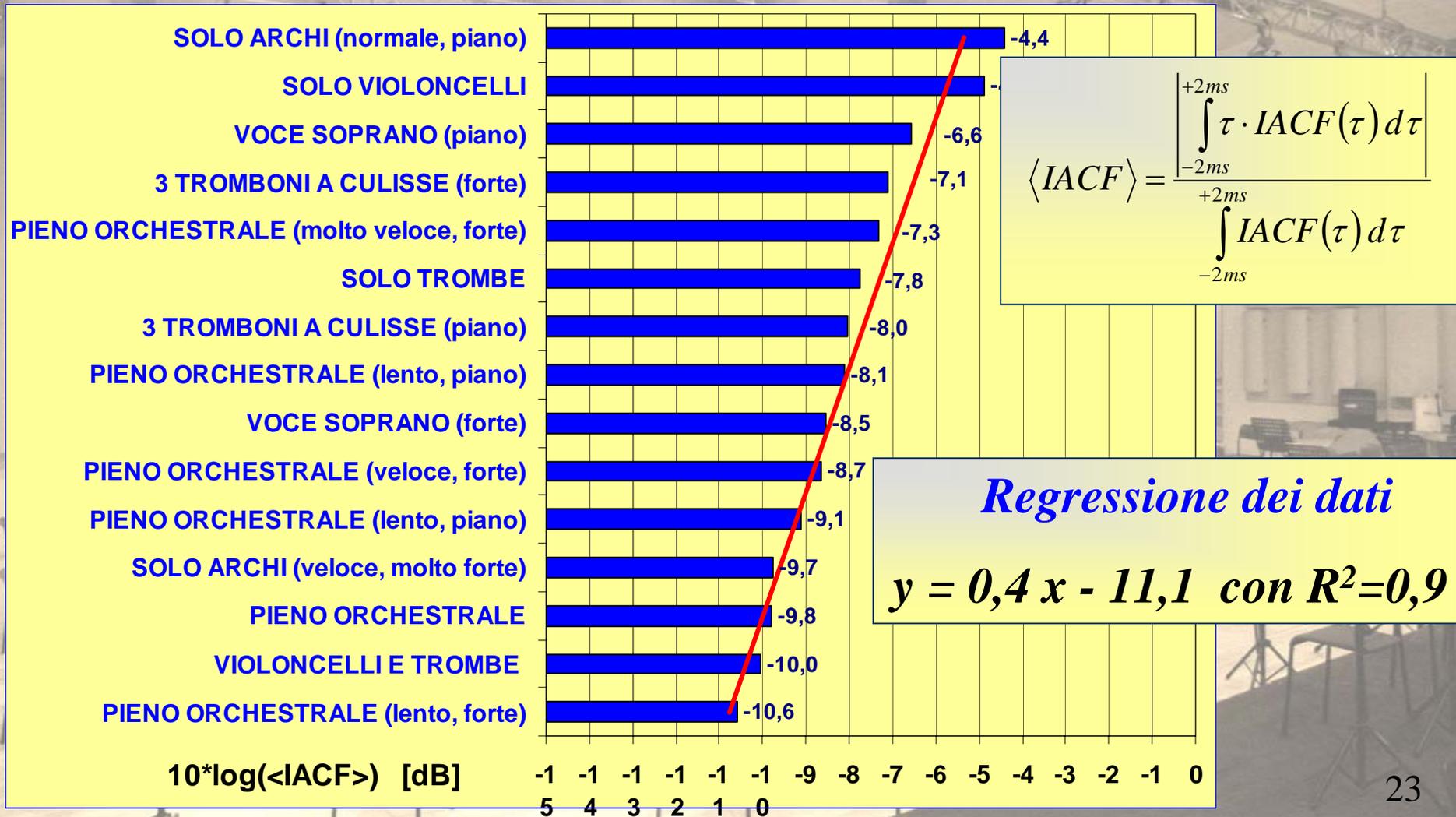
Livello della profondità di modulazione calcolato per diversi passaggi musicali e singoli settori nelle bande delle frequenze modulanti tra 0,63 Hz e 12,5 Hz



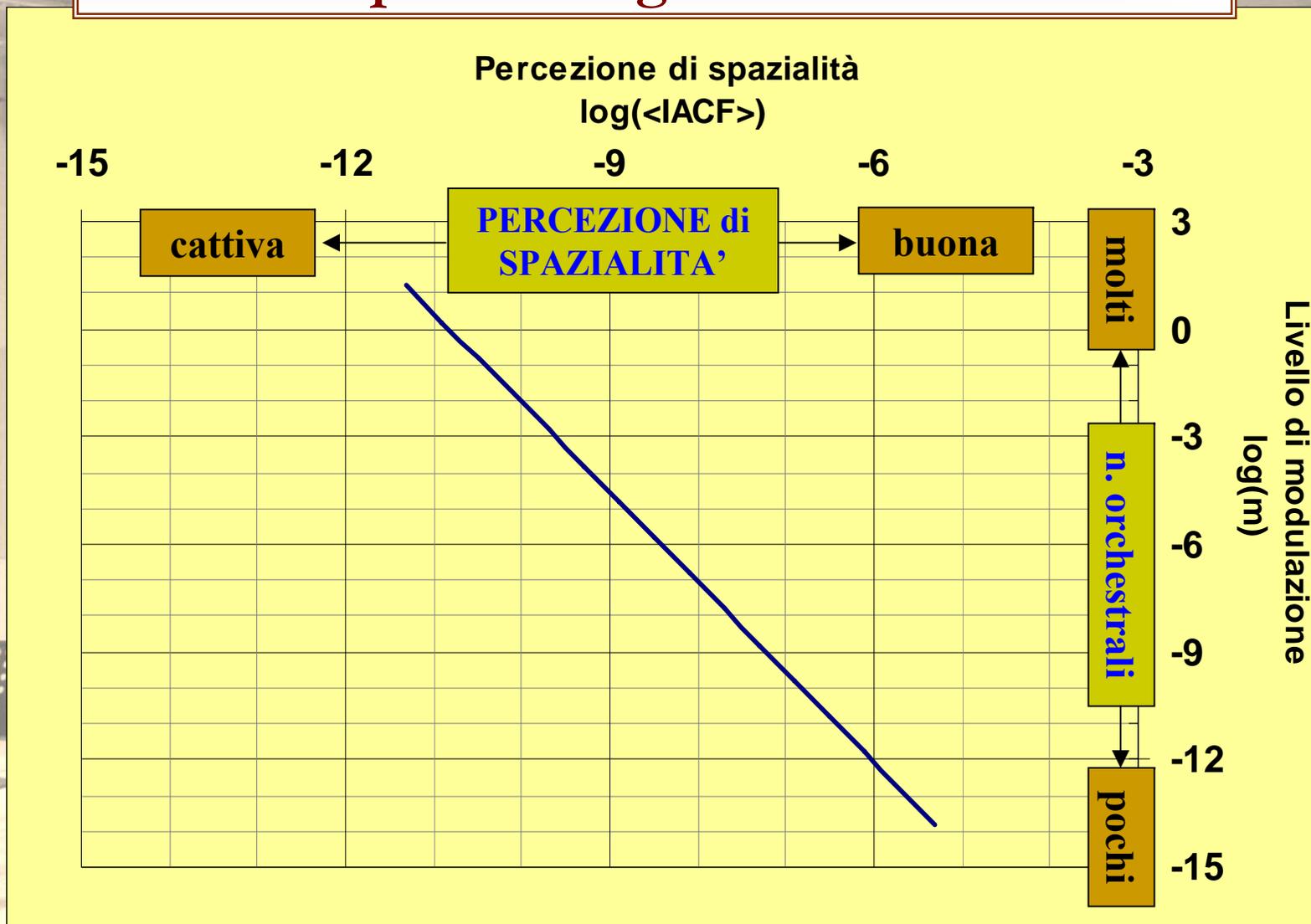
Livello del momento baricentrico della funzione di mutua correlazione
 $IACF(\tau)$ calcolato per diversi passaggi musicali e singoli settori



**Livello del momento baricentrico delle funzione di mutua correlazione
IACF(τ) calcolato per diversi passaggi musicali e singoli settori**

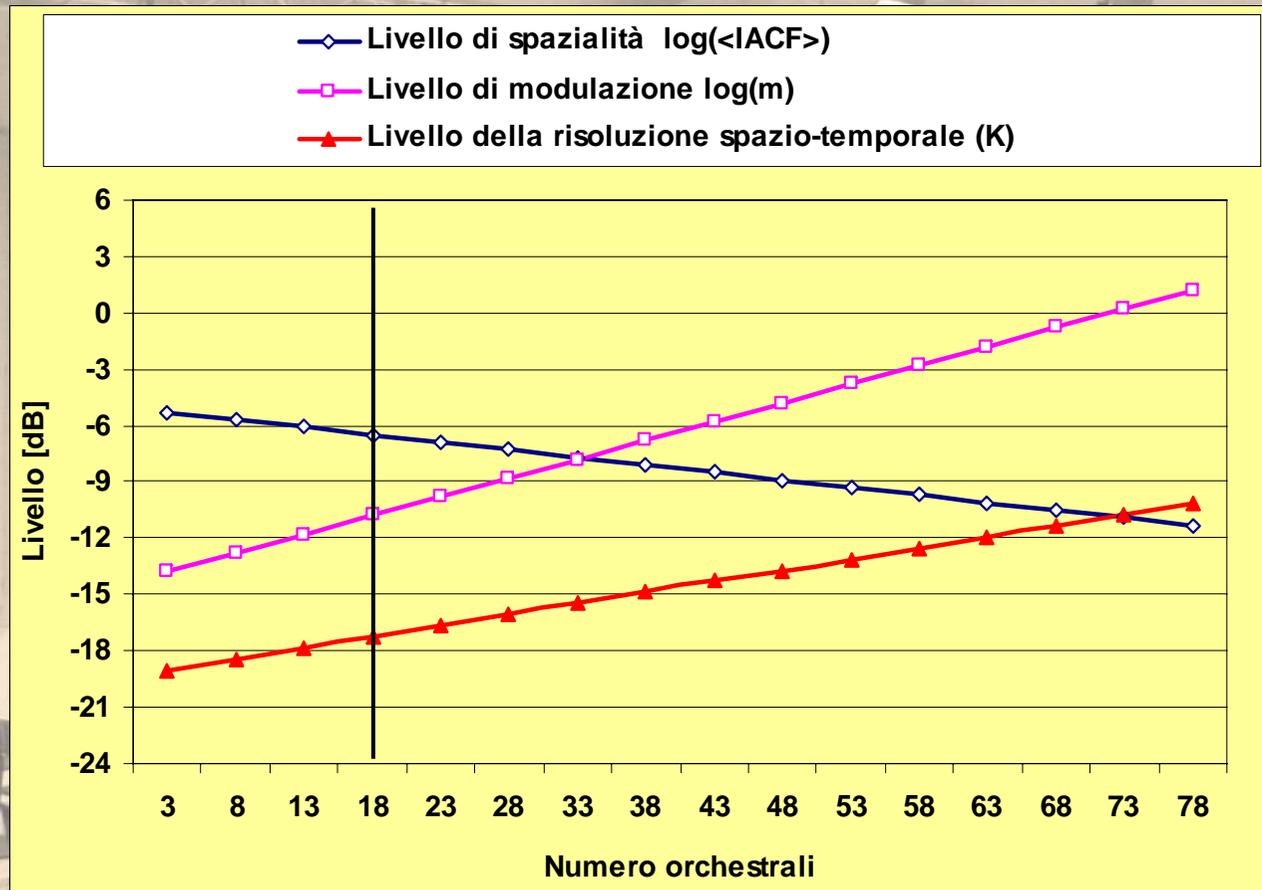


Relazione tra intelligibilità e percezione spaziale degli strumenti



Relazione tra intelligibilità e percezione spaziale degli strumenti

$$K = a \cdot \log_{10}(\langle IACF \rangle) + b \cdot \log_{10}(m)$$



Coefficienti di regressione

$$a = -0,7$$

$$b = 2,1$$

Esempio per

n = 18 elementi

$$\log(\langle IACF \rangle) = -6,5$$

$$\log(m) = -10,8$$

$$K = -17,3 \text{ dB}$$

$$\log(K) = -0,7 \cdot \log_{10}(\langle IACF \rangle) + 2,1 \cdot \log_{10}(m)$$

$$\log(K) = 0,12 \cdot n - 19,4$$

IN CONCLUSIONE

Non esistono, allo stato attuale, criteri di progettazione di una sala prova d'orchestra che portino al soddisfacimento delle richieste del Direttore d'orchestra:

- elevata capacità di poter discriminare il suono degli strumenti più deboli dalla massa sonora dell'orchestra
- livelli sonori tali da evitare che si raggiungano i livelli di mascheramento e quelli di intelligibilità musicale

La maggior parte dei parametri elencati nella ISO 3382-1 non sono utili per progettare e caratterizzare una sala prova orchestra

Dalle analisi svolte e dai risultati delle correlazioni tra indici di intelligibilità musicale e livelli del momento baricentrico della funzione di mutua correlazione parrebbe che le condizioni sopra indicate si realizzino se il volume disponibile per musicista supera $1,6 \text{ m}^3$ e che l'altezza ottimale della sala non sia inferiore a 8 m.

Da sviluppare

Il calcolo del livello di modulazione m' deve essere effettuato anche sul segnale desunto dopo una operazione di filtraggio spaziale (enanchement). L'operazione deve essere ripetuta nei nodi di una maglia disegnata sul piano d'orchestra. Si determina una matrice di risposte all'impulso.

Si determina la mappa di un indice di discriminazione spaziale $I = m'/m$ definito rapportando l'indice m' desunto dal filtraggio all'indice m desunto senza operazioni di filtraggio.

Più elevato è il valore dell'indice I migliore è la capacità di discriminare lo strumento musicale

La sperimentazione è volta ad accreditare un modello di calcolo.

La variazione delle forme e degli elementi architettonici della sala agirà sul momento baricentrico $\langle IACF \rangle$ e sul livello di modulazione $m(f)$ e, quindi, sull'indice complessivo K rappresentativo della capacità di risoluzione spazio temporale degli strumenti.