

L'ACUSTICA DELLE SALE DA CONCERTO E PER LA FRUIZIONE DEL PARLATO

Autore: *Paolo Galaverna*

Estratto dalla rivista "Backstage" n. 22, Dicembre 1999
per gentile concessione [Gruppo Editoriale Jackson](#)

L'approccio progettuale che è stato seguito contemplerà i più avanzati strumenti di calcolo e di misura presenti sul mercato.

In particolare è stata introdotta la geometria della sala, mediante un programma di CAD tridimensionale (Ramsete CAD), e si sono svolte tutte le elaborazioni necessarie per comprenderne il comportamento dal punto di vista acustico. Analizzando i primi risultati ottenuti si sono potute apportare modifiche alla geometria od ai materiali impiegati, ripetere le elaborazioni e valutare di nuovo i risultati. Ciò fino a quando l'affinamento del progetto non ha portato ai risultati desiderati.

Tali risultati sono stati prefissati tenendo presente il budget di spesa ma cercando di ottenere una sala polivalente, in grado cioè di poter ospitare concerti di piccole formazioni musicali, così come doveva essere possibile l'utilizzo della sala per convegni attrezzandola per videoproiezioni.

Tale polivalenza si è potuta realizzare tramite un'accurata scelta dei materiali, dei rivestimenti ed altri accorgimenti che incidono in parte sul tempo di riverbero ma in modo più pesante sul reindirizzamento del campo sonoro.

Utilizzando il programma Ramsete si possono ottenere tutti i parametri oggettivi di qualità acustica (tempo di riverbero, indice di chiarezza, ITDG, indice di intelligibilità del parlato...) necessari per la messa a punto dell'acustica di un teatro. Gli acustici, valutando tali parametri in ogni punto della sala, possono comprendere in che modo correggere il progetto al fine di rendere il comportamento acustico della sala il migliore ed il più uniforme possibile rispetto alla spesa prevista.

Descrittori acustici oggettivi

Con l'evolversi delle esigenze di progettazione e dei costi di realizzazione dei teatri e delle sale da concerto è sempre più cresciuta l'esigenza, da parte dei consulenti acustici, di avere a disposizione dei parametri di qualità del campo sonoro in un ambiente chiuso che fossero misurabili sperimentalmente, riconosciuti ed utilizzati in modo diffuso e correlabili a sensazioni uditive non direttamente esprimibili come risultato di una misura strumentale.

Dalla prima definizione di tempo di riverbero di Sabine, fino alle recenti teorie di Ando ed alle ultime tecniche di registrazione e misurazione binaurale e in B-Format, tali parametri si sono moltiplicati, fino a far nascere il bisogno di un riordino sistematico. In questo articolo utilizzeremo solo alcuni dei principali.

Misure dello stato di fatto

Per prima cosa è stata effettuata una campagna di misure nello stato di fatto, la sala al grezzo, utilizzando la seguente strumentazione: pistola a salve calibro 38, DAT Sony TCD 8, microfono

AKG, cuffia Bang & Olufsen Form 1, computer Pentium Pro 200.

Le misure sono state effettuate esplodendo colpi a salve da due posizioni, S1 ed S2, rispettivamente nella posizione del diffusore del canale centrale e del canale destro.

Al momento delle misure era presente un ponteggio quasi del tutto ininfluenza dal punto di vista acustico (a parte per la postazione 6); tutte le superfici della sala erano completate dal punto di vista geometrico ma al grezzo come grado di finitura, le porte non erano ancora state installate.

Poiché la struttura del teatro è perfettamente simmetrica, si è preferito concentrare le misure in una delle due metà (quella destra). Sono state effettuate 5 misure con la sorgente S1 e 4 misure con la sorgente S2. I colpi di pistola sono stati registrati su DAT e in un secondo tempo, dopo essere stati riversati tramite scheda audio su computer, analizzati al fine di estrarne le informazioni utili alla scelta dell'impianto audio e dei materiali.

Dalla risposta all'impulso di un ambiente si possono calcolare tutti i parametri acustici oggettivi e dal suo andamento nel tempo si possono evidenziare eventuali anomalie come echi ecc... Nella figura 1 è riportato uno dei diagrammi delle risposte all'impulso misurate.

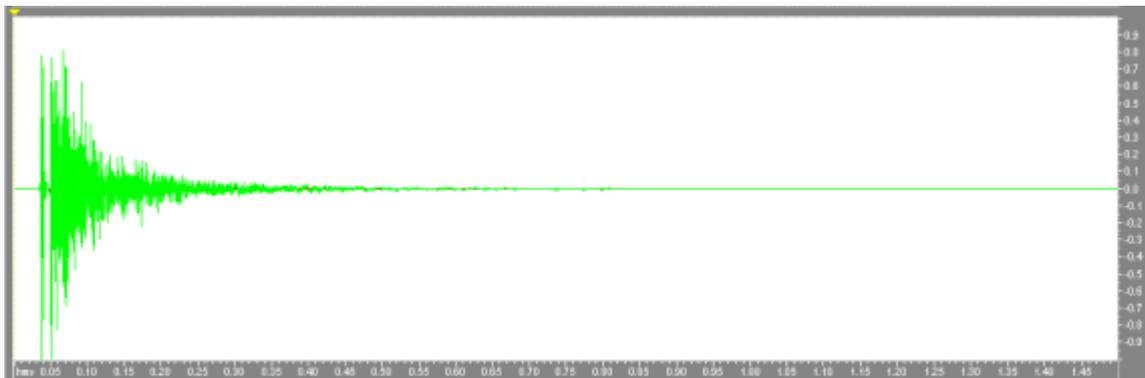


Figura 1: Una risposta all'impulso misurata

Dall'analisi delle risposte all'impulso si può notare la presenza di vari echi dovuti sia alla forma eccessivamente regolare e quadrata della sala sia al fatto che, al momento delle misure, presentava superfici di tipo riflettente. Naturalmente gli echi andranno eliminati per aumentare sia la chiarezza del parlato sia la piacevolezza della musica. Sono poi stati calcolati i tempi di riverberazione per bande d'ottava nei vari punti della sala (figura 2).

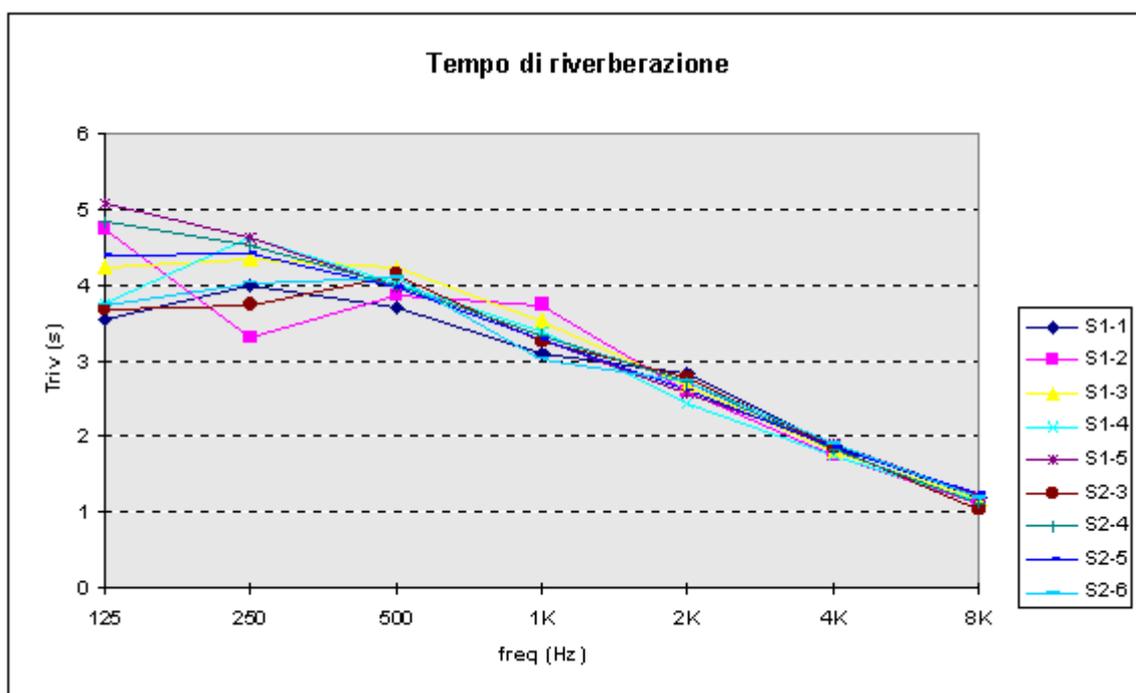


Figura 2: Tempi di riverberazione per bande d'ottava nei vari punti della sala

Come si può facilmente dedurre dal grafico e dalla tabella i valori dei tempi di riverbero sono eccessivamente elevati per l'utilizzo sia della sala sia come cinema sia come teatro, mentre è normale l'andamento decrescente con l'aumentare della frequenza ed apprezzabile l'omogeneità dei risultati in ogni punto di misura.

Studio previsionale del campo acustico all'interno della sala

Per prima cosa si è studiato il problema da un punto di vista strettamente geometrico, analizzando la forma della sala. La caratteristica più dannosa, dal punto di vista acustico, è senza dubbio rappresentata dalla forma quadrata e dalle due pareti laterali fra loro parallele e lisce. Solitamente è preferibile che siano un po' mosse, o comunque non parallele, onde evitare dannosi echi o risonanze (la cui presenza, d'altronde, si può verificare dalle risposte all'impulso precedentemente riportate). In questo caso si propone l'utilizzo di rivestimenti con caratteristiche diffondenti.

Per indagare la situazione iniziale si è inserita la geometria illustrata in figura considerando la sala spoglia, cioè con le pareti ed il pavimento di cemento; dall'elaborazione con Ramsete si è ottenuta una risposta all'impulso simulata molto simile a quella sperimentale.

Dalle risposte all'impulso sono stati calcolati i seguenti valori del tempo di riverberazione T20 riportati in figura 3, corrispondenti a quelli misurati sperimentalmente.

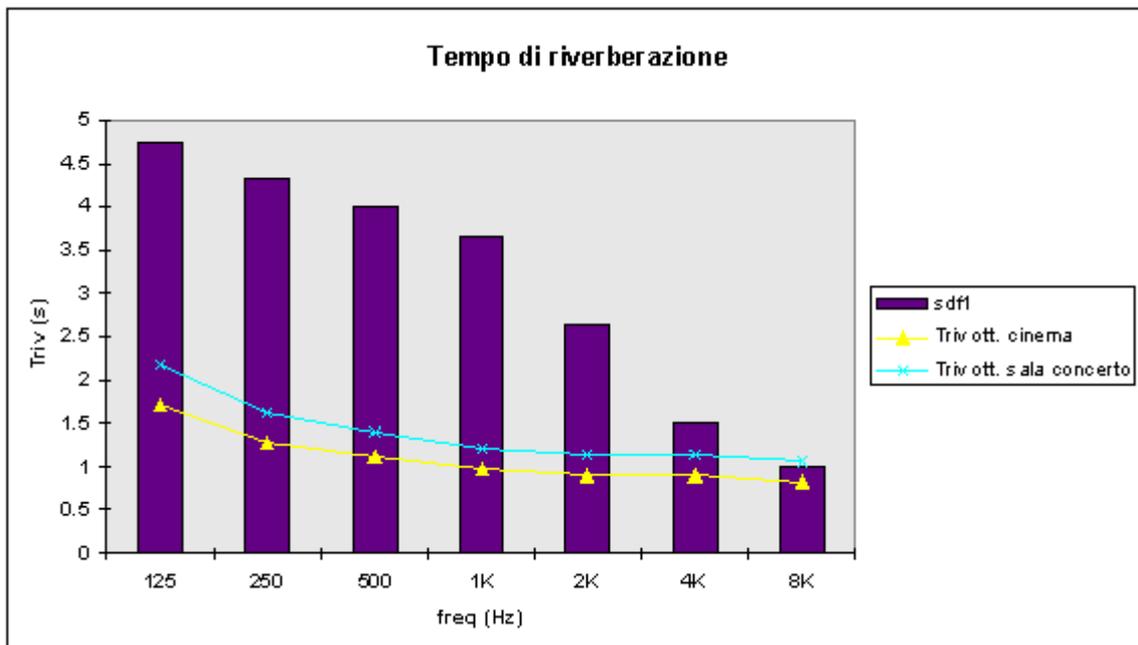


Figura 3: Tempi di riverbero simulati nella postazione 1 (sorgente S1,platea), confrontati con quelli massimi ammissibili

Naturalmente, viste le caratteristiche riverberanti, anche i valori di intelligibilità e di chiarezza non sono certo fra i migliori, ma con le opportune correzioni, si dovrebbe riuscire a ricondurre i suddetti parametri entro i valori ottimali previsti dalla letteratura per una buona sala.

Progettazione acustica della sala: scelta dei materiali

La scelta di massima delle caratteristiche acustico-estetiche dei materiali per il rivestimento della sala è stata operata in collaborazione con la committenza, gli architetti autori del progetto, i progettisti dell'impiantistica, l'installatore audio/video e l'architetto del nostro studio. In particolare le caratteristiche e i materiali prescelti sono stati i seguenti:

* controsoffitto: la forma del controsoffitto, a cassettoni, non è da ritenersi né la migliore né la peggiore delle forme possibili: pur non presentando infatti la forma convessa ideale per auditorium e teatri, risulta comunque essere mossa e questo evita antipatiche e dannose riflessioni speculari. È stato consigliato un materiale moderatamente fonoassorbente, sovrapposto da pannelli di lana di roccia con densità 50/60 kg/m² e spessore 5 cm. Particolarmente importante è stata la posa in opera, ottenuta mediante pendinatura con ganci antivibranti di opportuno coefficiente di elasticità. Bisognava anche fare attenzione a non creare fessurazioni od attriti che potrebbero in qualche modo mettere in vibrazione la struttura.

* pareti laterali: dalle simulazioni previsionali effettuate è scaturito che la scelta migliore sarebbe stata un materiale mediamente assorbente, anche alle basse frequenze, per la parte superiore ed un materiale con caratteristiche diffondenti per la parte inferiore. Per la parte superiore sono stati utilizzati pannelli di Eraclit Travertino (o simili) con spessore 2.5 cm montato a ridosso di pannelli di lana di roccia con densità 50/60 kg/m² e spessore 5 cm, lasciando un'intercapedine fra quest'ultima ed il muro. Per la parte inferiore, al posto dei pannelli di Eraclit sono stati utilizzati pannelli diffondenti appositamente studiati denominati K3, realizzati in massello di mogano. Tali pannelli, senza abbassare ulteriormente il tempo di riverberazione, consentiranno di evitare echi o riflessioni dannose; il montaggio con lana di roccia ed intercapedine d'aria ha consentito di assorbire le basse frequenze in eccesso.

* parete di fondo: deve avere caratteristiche di forte assorbimento e in parte di diffusione; la parte bassa della parete è stata realizzata con blocchi del tipo Soundblox A, mentre la parte superiore è

stata ricoperta con pannelli di Eraclit montati in aderenza con la sola interposizione di lana di roccia. Lo stesso discorso vale per la parete curva della cabina di proiezione.

* pavimento: per motivi di manutenzione e di durata doveva essere di marmaglia: quindi abbiamo solo potuto consigliare di ricoprire di moquette le corsie.

* palcoscenico: è stato interamente rivestito con pannelli di Eraclit nero montati in aderenza con la sola interposizione di lana di roccia, il pavimento, invece, è in legno massello.

* porte: sono state scelte con un adeguato potere fonoisolante (>41.0 dB) e ricoperte in legno.

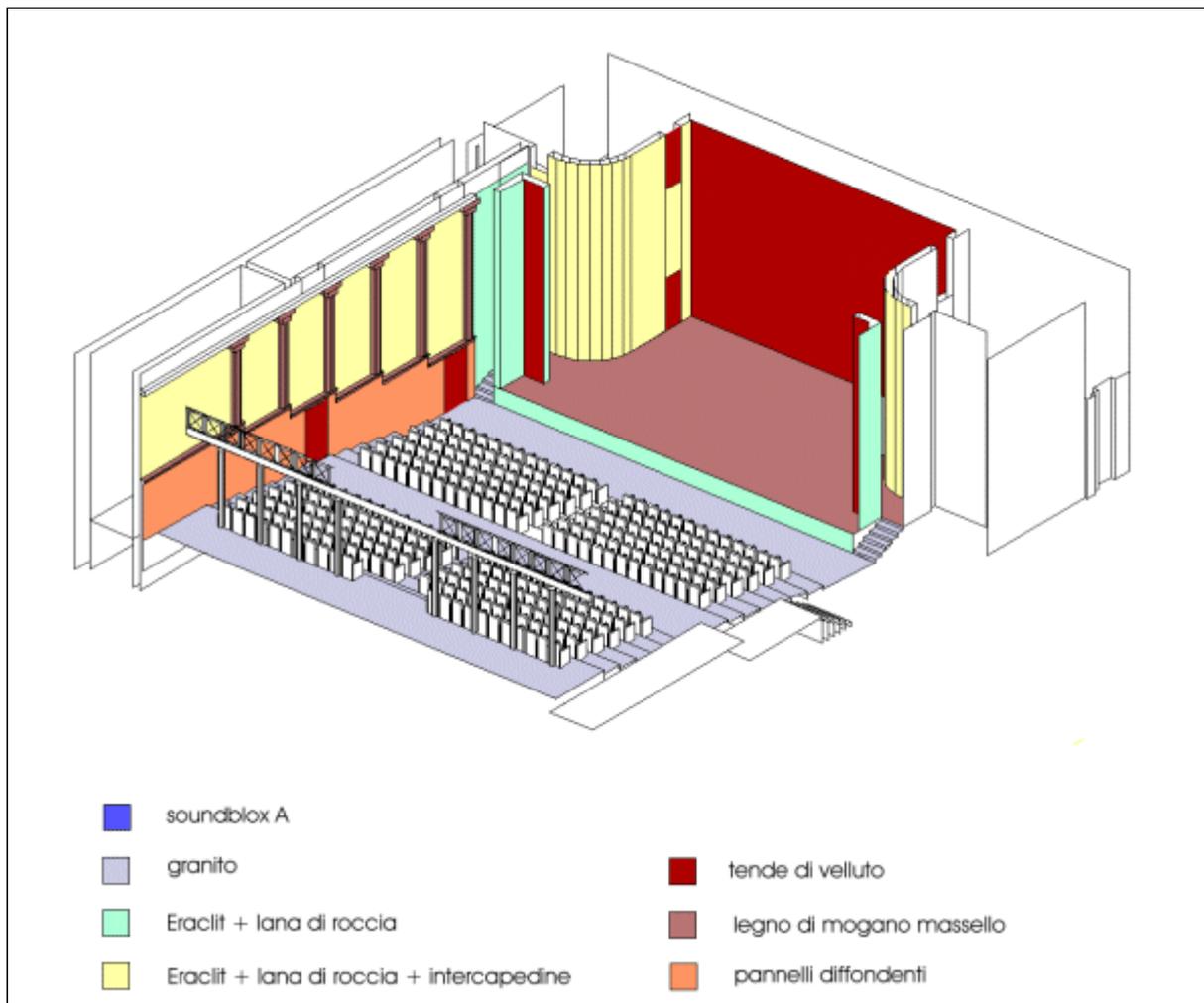
* tende: sono state scelte con un giusto coefficiente di fonoassorbimento e percentuale di ricchezza.

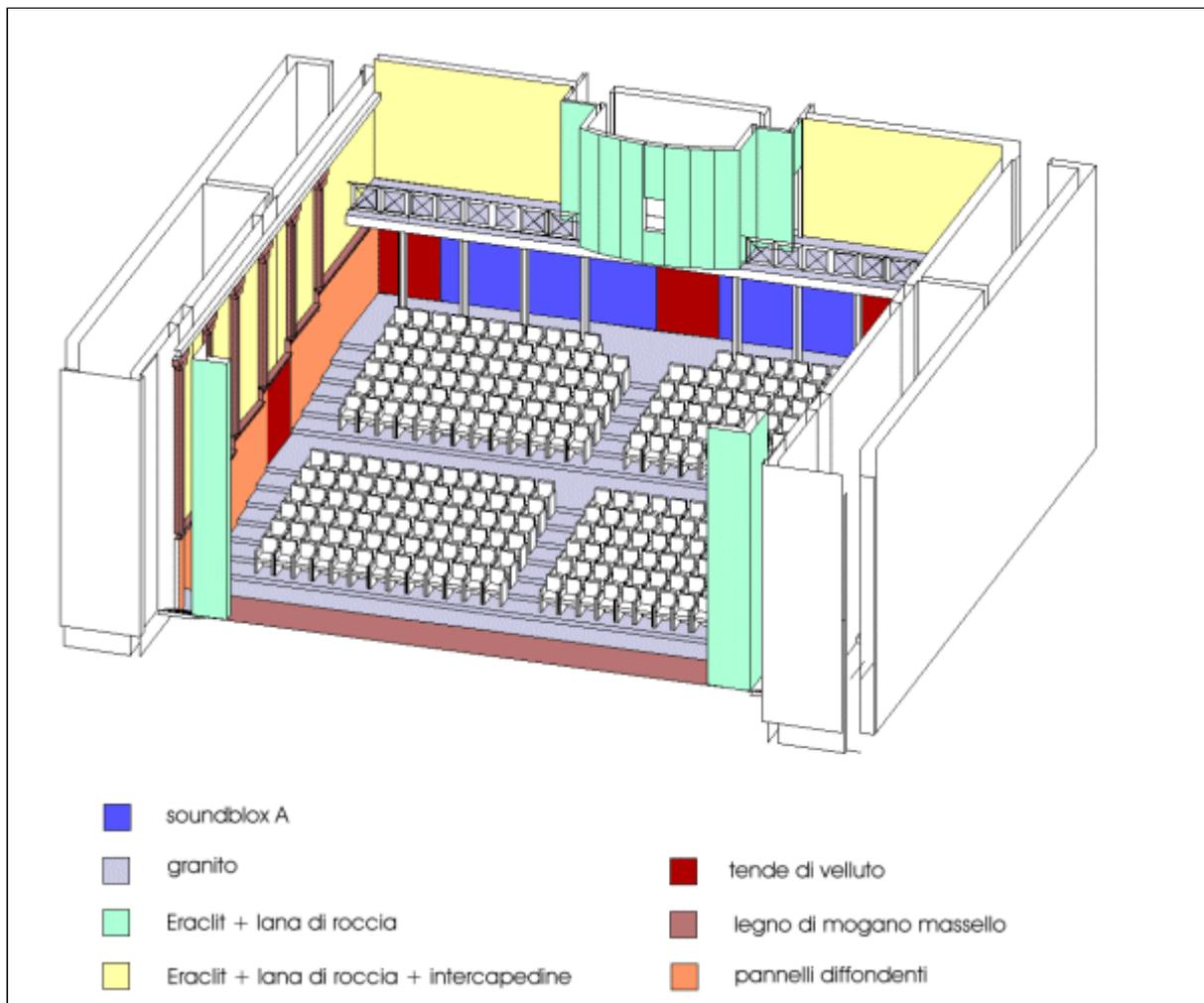
In figura 4 vengono riportate le caratteristiche acustiche dei vari materiali prescelti, così come sono state fornite dalle ditte ed inserite nel modello numerico. La scelta dei materiali è stata raffinata introducendone in quantità e disposizioni diverse e poi facendo calcolare a Ramsete i risultati. In particolare, la soluzione definitiva è consistita nell'utilizzo dei materiali in tabella e nell'utilizzo di elementi diffondenti in mogano. Ciascuno di questi elementi sarà alto circa 2 m (da terra alla base delle lesene) avrà uno spessore di 3 cm e sarà installato a ridosso di pannelli di lana di roccia.

coefficienti di fonoassorbimento										
Hz	31.5	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k	16 k
Eraclit travertino + lana di roccia	0.20	0.20	0.20	0.25	0.48	0.48	0.37	0.40	0.40	0.40
Eraclit travertino + lana di roccia + intercapedine aria	0.37	0.37	0.37	0.48	0.42	0.42	0.40	0.45	0.45	0.45
Elementi diffusori in mogano K3	0.21	0.21	0.21	0.22	0.28	0.20	0.20	0.20	0.25	0.25
Tende velluto	0.01	0.02	0.05	0.12	0.35	0.45	0.38	0.36	0.36	0.43
Controsoffitto	0.11	0.21	0.28	0.35	0.46	0.55	0.54	0.53	0.52	0.52
Soundblox A	0.55	0.55	0.55	0.70	0.45	0.60	0.40	0.38	0.38	0.38

Figura 4: Caratteristiche acustiche dei vari materiali

Le seguenti viste prospettive della sala arredata indicano l'esatta dislocazione di tutti i materiali, così come sono stati progettati ed inseriti nel modello previsionale.





Il modello che si è introdotto in Ramsete consiste quindi nella geometria della sala, con l'attribuzione ad ogni superficie del particolare materiale scelto; sono stati disegnati anche il palcoscenico, il controsoffitto e le poltroncine. Con il modello matematico si sono poi ottenute le nuove risposte all'impulso ed i risultati ottenuti per i valori del T20 sono riportati in figura 5. Come si può notare, i valori visualizzati nel grafico sono leggermente inferiori a quelli massimi previsti per cinema, sala da conferenze e musica da camera. E' una situazione di compromesso calcolata senza l'utilizzo delle quinte acustiche. In linea di massima si è privilegiato l'ascolto tramite l'impianto di amplificazione, come vedremo l'utilizzo delle quinte acustiche permetterà una certa variabilità del tempo di riverbero consentendo un suono più ricco.

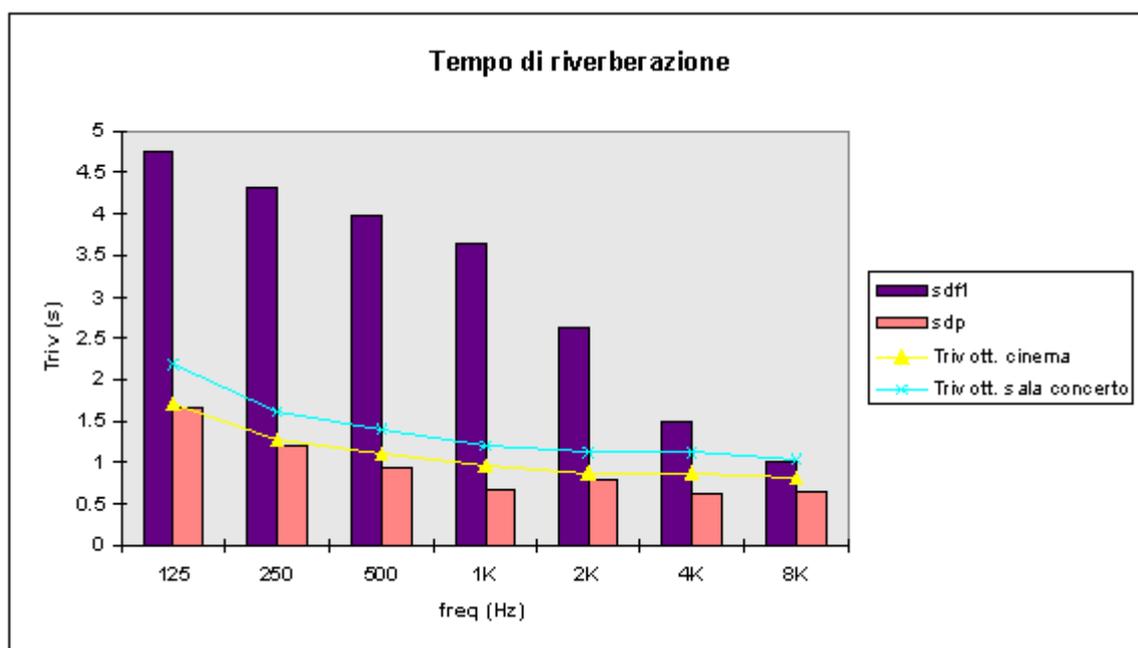


Figura 5: Confronto dei tempi di riverbero simulati nella postazione 1 (Sorgente S1,platea) dello stato di fatto e dello stato di progetto senza quinte acustiche

Progettazione di quinte acustiche

Sul palcoscenico è stato previsto l'impiego di otto quinte acustiche (modello tri-angle) appositamente progettate. Tali quinte sono di sezione triangolare e su una faccia hanno caratteristiche fonoassorbenti mentre dall'altra, essendo realizzate in massello di mogano, sono riflettenti e diffondenti.

Tali quinte, alte circa 5 m, possono ruotare e scorrere su binari incassati nella pavimentazione del palcoscenico formando un numero pressochè illimitato di combinazioni con diverse peculiarità acustico-estetiche; in alternativa possono essere impacchettate e riposte di fianco allo schermo cinematografico senza occupare inutilmente spazio.

In particolare segnaliamo le seguenti possibilità:

* configurazione acusticamente diffondente: in questa posizione (figura 6) le quinte seguono le pareti laterali del palcoscenico mostrando la parte in legno; è indicata per concerti non amplificati quando non ci sono problemi di ritorni microfonicici e gli esecutori devono essere avvolti nel campo sonoro. Tale configurazione potrebbe essere completata da un soffitto in legno inclinato opportunamente a formare una vera e propria camera d'orchestra.

* configurazione acusticamente assorbente: in questa posizione (figura 7) le quinte seguono le pareti laterali del palcoscenico mostrando la parte in tessuto, cioè quella assorbente. In tale modo si può utilizzare la sala per il cinema, per conferenze e per concerti amplificati.

* configurazione a quinte assorbenti: in questa posizione (figura 8) le quinte sono disposte, una parallela all'altra, mostrando la parte in tessuto. Tale configurazione è adatta ad un uso teatrale del palcoscenico (spettacoli amplificati in genere come balletto, prosa...).

* configurazione a quinte diffondenti: in questa posizione (figura 9) le quinte sono disposte, una parallela all'altra, mostrando la parte in legno; è indicata per concerti non amplificati di piccole formazioni o solisti quando non ci sono problemi di ritorni microfonicici e gli esecutori devono essere avvolti nel campo sonoro. Tale configurazione potrebbe essere completata da un soffitto in legno inclinato opportunamente a formare una vera e propria camera d'orchestra.

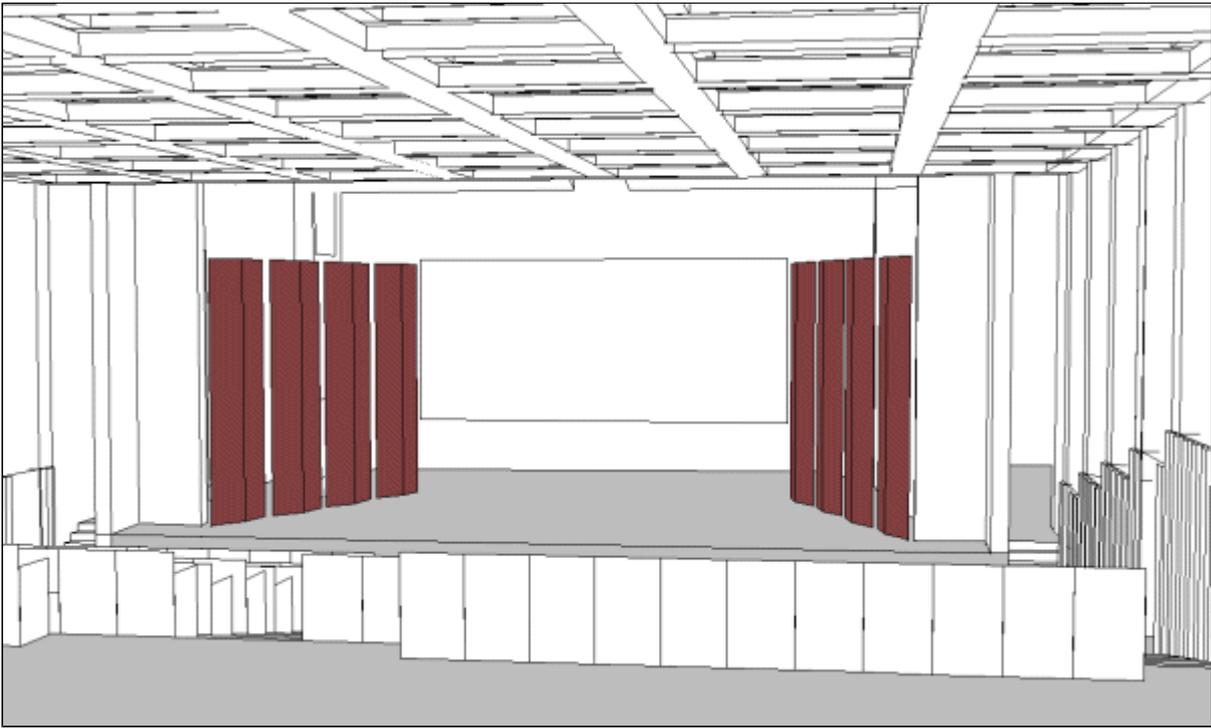


Figura 6: Configurazione acusticamente diffondente

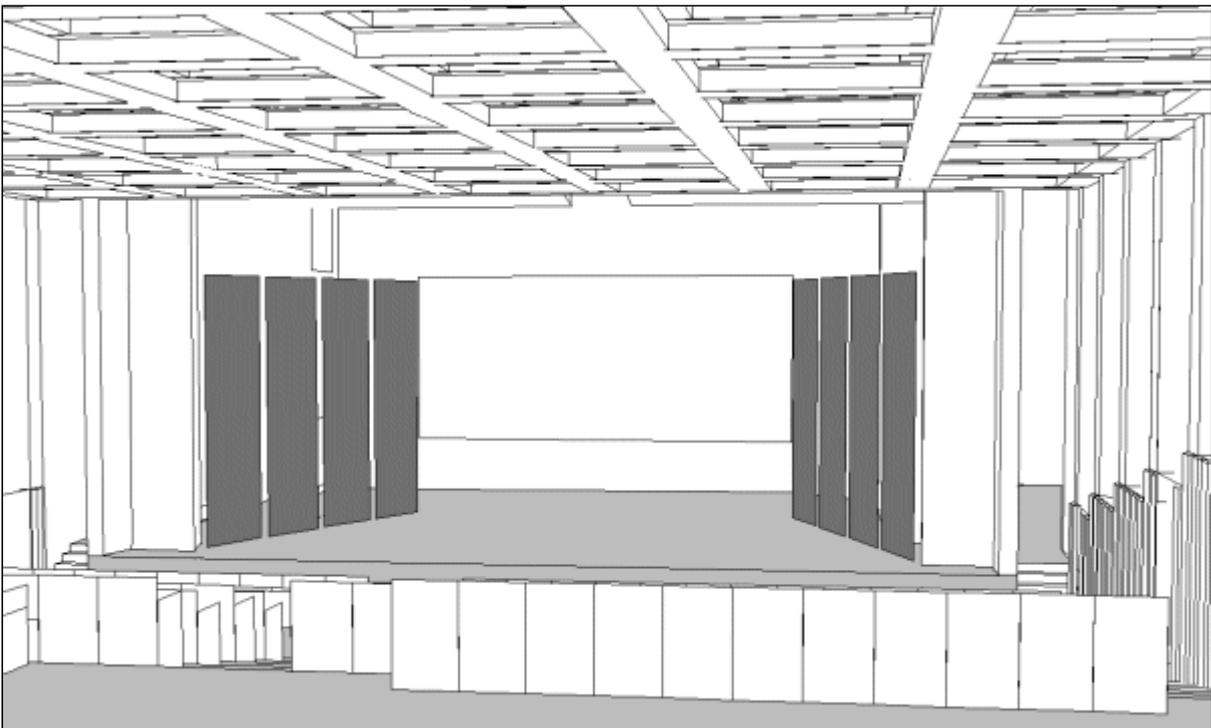


Figura 7: Configurazione acusticamente assorbente

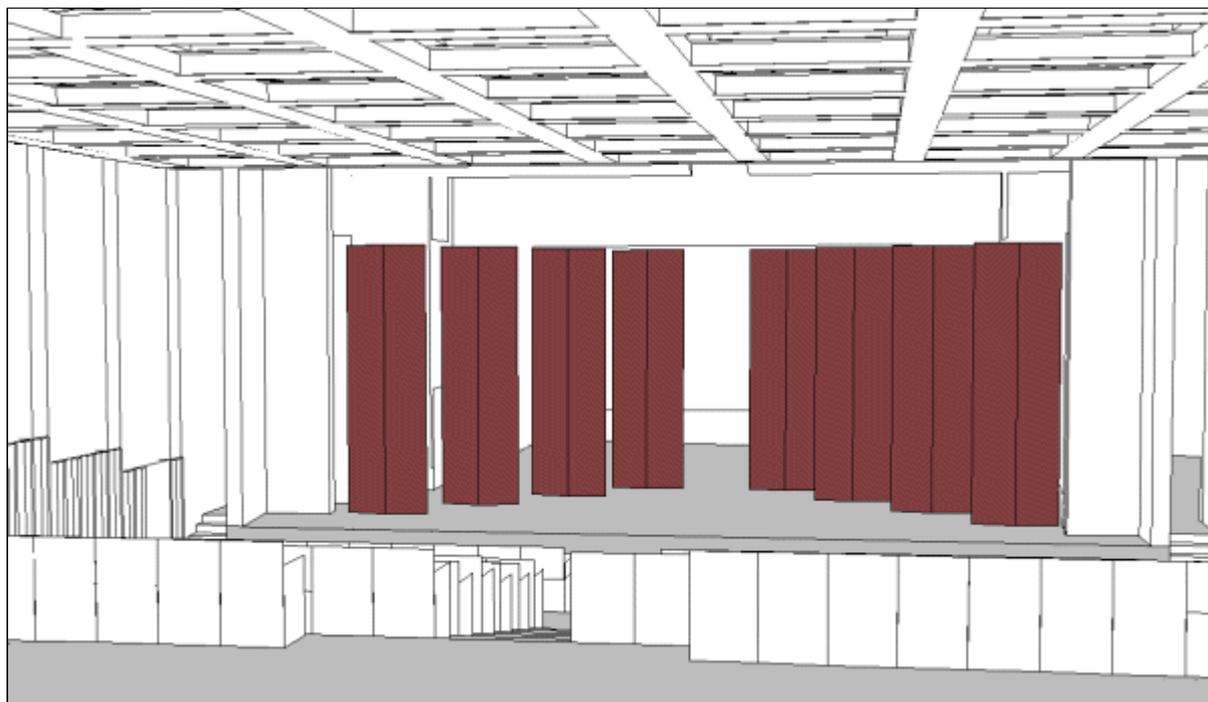


Figura 8: Configurazione a quinte diffondenti

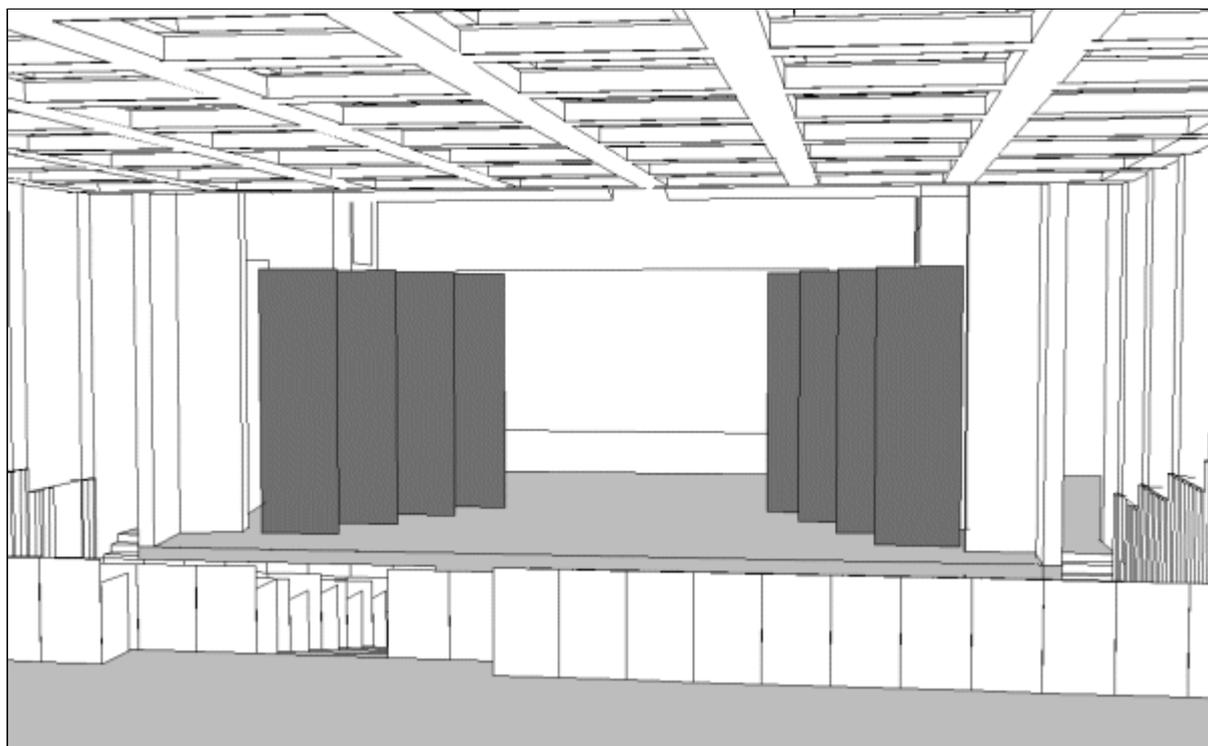


Figura 9: Configurazione a quinte assorbenti

Nelle precedenti quattro configurazioni lo sfondo era costituito da tende o dallo schermo cinematografico, ma, con le stesse otto quinte si può coprire completamente il fondale, ottenendo un palcoscenico completamente assorbente (se allineate e girate dalla parte di tela) o parzialmente riflettente-diffondente (se allineate e girate dalla parte del legno).

Sono possibili, comunque, anche configurazioni miste (alcune quinte usate in modo assorbente ed altre in modo diffondente) o posizioni diverse o asimmetriche, a seconda dello scopo che si vuole raggiungere sia dal punto di vista acustico, sia da quello estetico.

Il grafico in figura 10 riporta l'andamento dei tempi di riverberazione con l'utilizzo delle quinte

acustiche; come si può notare, nella configurazione diffondente si ha un certo aumento del tempo di riverbero, utile per l'impiego della sala senza utilizzare l'impianto di amplificazione del suono.

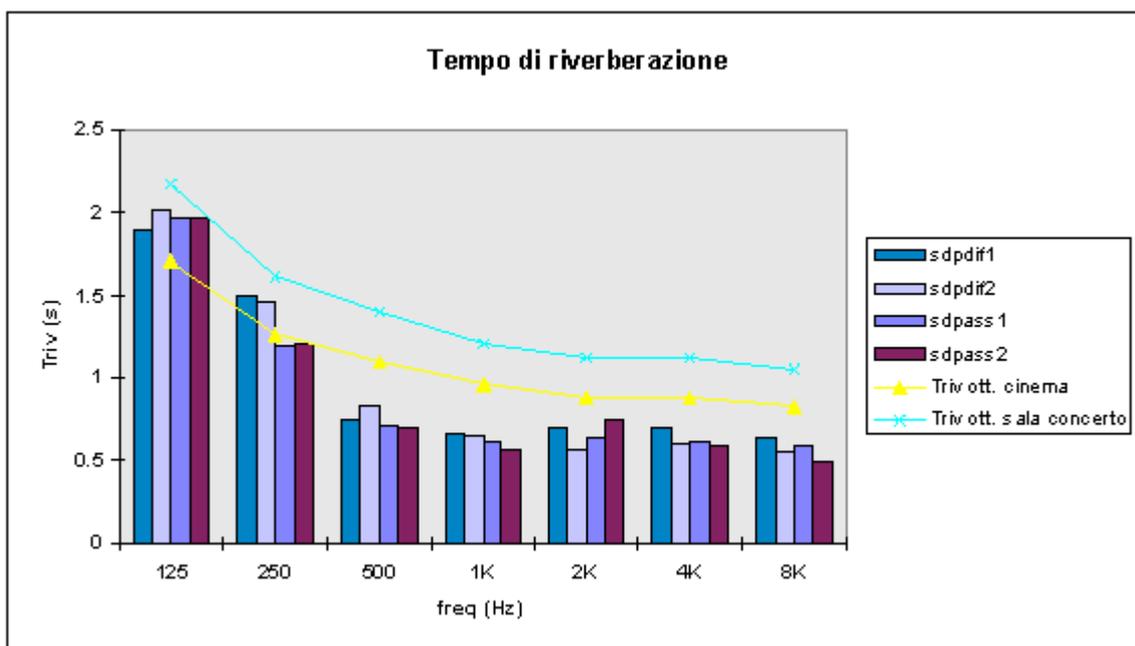


Figura 10: Confronto dei tempi di riverbero simulati nella postazione 1 (sorgente S1,platea) delle quattro configurazioni delle quinte acustiche

Dai grafici degli Indici di Chiarezza C50 e C80; utilizzati quali parametri oggettivi, per il parlato e per la musica, dopo l'intervento, si nota che entrambi sono molto aumentati rispetto allo stato di fatto, e questo consentirà di poter apprezzare la corretta articolazione della parola e del messaggio musicale, come visibile in figura 11 e 12.

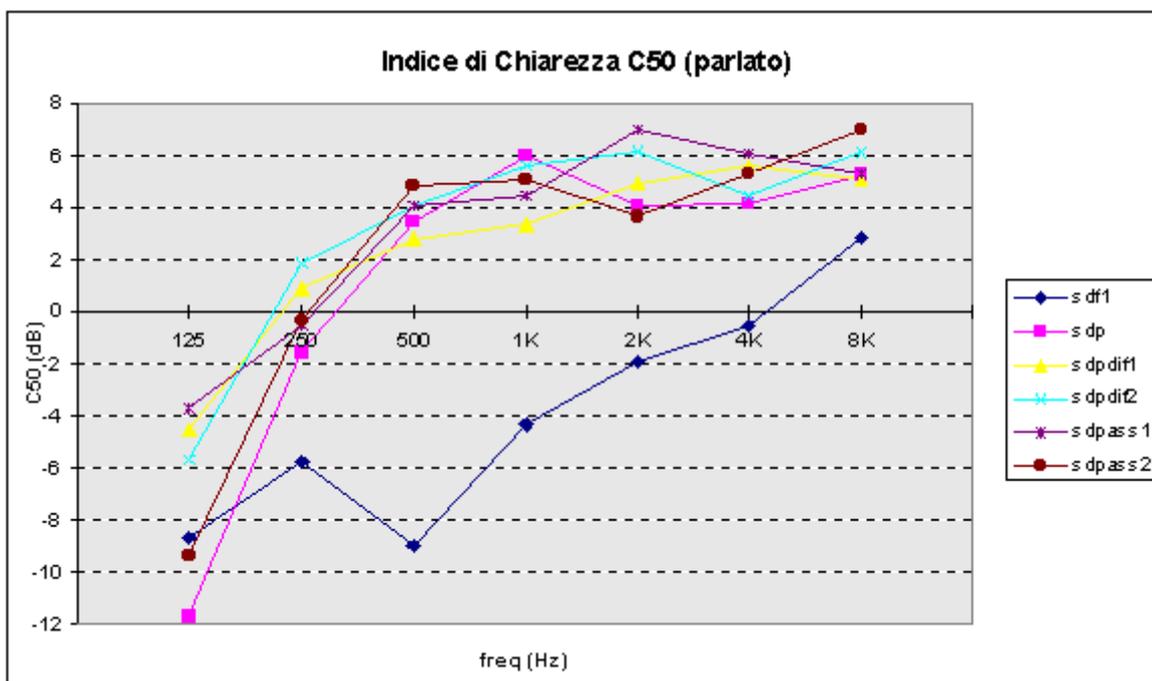


Figura 11: Confronto dei valori del C50 simulati nella postazione 1 (sorgente S1,platea) in tutte le configurazioni studiate

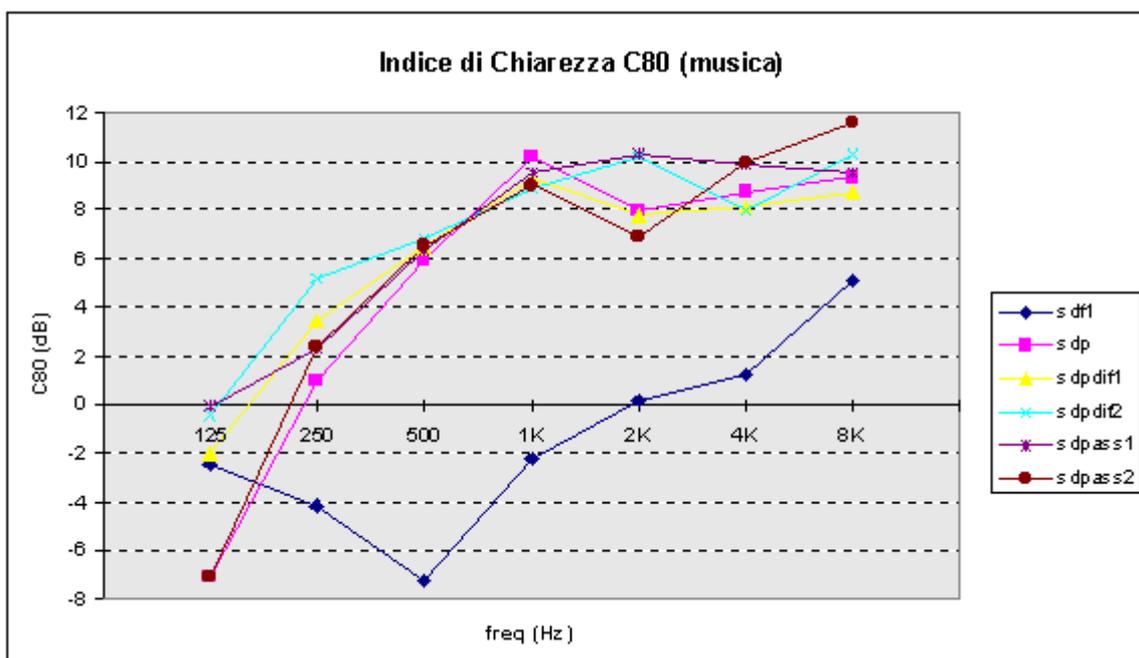


Figura 12: Confronto dei valori del C80 simulati nella postazione 1 (sorgente S1,platea) in tutte le configurazioni studiate

Come si può notare entrambi sono molto aumentati rispetto allo stato di fatto, e questo consentirà di poter apprezzare la corretta articolazione della parola e del messaggio musicale.

Nota: i pannelli diffondenti e le quinte tri-angle sono distribuite in italia da [Audiolink](http://www.audiolink.it).